



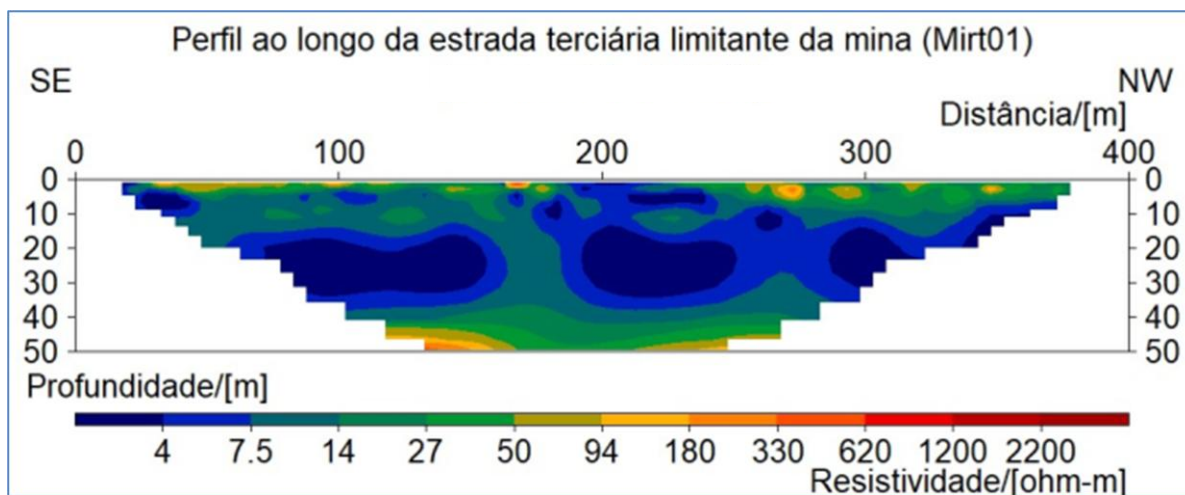
UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Curso: Licenciatura em Cartografia & Pesquisa Geológica

Projecto Científico:

**AValiação da Eficiência das Técnicas de Mapeamento Geofísico
na Exploração de Bentonite Aplicando SEV, TRE, TRADO Manual
e Radiometria na Mina de Bentonite, Localidade de Mafuiane.**



Nome do Candidato: Manuel Carmona Laurindo Mulungo

Maputo, Novembro 2025



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Curso: Licenciatura em Cartografia & Pesquisa Geológica

Projecto Científico:

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS TÉCNICAS DE MAPEAMENTO GEOFÍSICO
NA EXPLORAÇÃO DE BENTONITE APLICANDO SEV, TRE, TRADO MANUAL
E RADIOMETRIA NA MINA DE BENTONITE, LOCALIDADE DE MAFUIANE.**

Candidato: Manuel Carmona Laurindo Mulungo

Supervisor: Mestre João Silva Leonardo Unguana

Co-Supervisor: Prof. Doutor Daúd Liace Jamal

Maputo, Novembro 2025

DEDICATÓRIA

Dedico este projecto científico especialmente aos meus pais, Laurindo Bacião Sualé e Helena Feliciano Covane.

AGRADECIMENTOS

Ao Provedor da vida, criador dos céus e da Terra, endereço os meus eternos agradecimentos pela vida e a oportunidade que me foi concedida de frequentar o curso de cartografia e pesquisa geológica.

Aos meus Pais, pelo apoio incondicional e pelos sacrifícios que fizeram para a minha educação de modo a garantir a minha estabilidade e sanidade mental.

Meus agradecimentos especiais são direccionados aos meus honrados supervisores: Mestre João Silva Leonardo Unguana e Daúde Jamal por serem meu suporte nesta fase de finalização do curso, pela assistência, paciência e tempo gasto comigo para a realização do presente projecto científico.

Aos colegas e amigos pelo apoio durante todo o período da minha formação em particular ao Lazaro Ricardina Mavaieie, Milton Miguel dos Anjos Sebastião Milambo, Aldevina Dos Anjos Álvaro Zimba, Manuel Joaquim Sousa e ao Calisto Adelino Langa.

Os meus agradecimentos aos colegas Guedes Sitora, Nélio Clésio Regina Xirinda e Ester Lourenço pela assistência técnica dada para aquisição de informação e pelos grandes momentos de risadas e conversas construtivas.

Agradeço de forma inestimável os meus amigos e companheiros de infância, Alfredo Timóteo Lombene, Sidónio Alexandre Maculuve pela amizade e pela força dada. Ao Dinis Francisco Mafumo e Castigo Paulo Bila, ficam na história como meus manos mentores o meu muito obrigado!

“A graça do Senhor Jesus seja com todos”. Apocalipse 22:21

COMPROMISSO DE HONRA

Eu, **Manuel Carmona Laurindo Mulungo**, declaro por minha honra que o presente projecto científico é da minha autoria, pois foi elaborado por mim com base na revisão bibliográfica, trabalho de campo, processamento, análise e interpretação dos dados referenciados ao longo do texto. Este trabalho nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Janeiro de 2024

Manuel Carmona Laurindo Mulungo

*É muito difícil marcar um início ou princípio
em termos da constituição do novo ser.
Rumos da Psicologia 6ª edição pp.175*

RESUMO

A exploração de bentonite na Mina de Namaacha, localizada na localidade de Mafuiane, província de Maputo, Moçambique, tem grande relevância devido ao potencial econômico dessa commodity, resultante da alteração química de rochas riolíticas e cinzas vulcânicas. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência das técnicas de mapeamento geofísico na exploração de bentonite, aplicando métodos como a Sondagem Elétrica Vertical (SEV), Tomografia de Resistividade Elétrica (TRE), trado manual e radiometria. Foram realizados levantamentos geofísicos diretos e indiretos para obter informações sobre as características do jazigo de bentonite.

Os dados de SEV e TRE foram processados computacionalmente utilizando os softwares IP2win e Res2Div, respectivamente. A SEV permitiu gerar curvas relacionadas à estratigrafia do subsolo, enquanto a TRE produziu pseudoseções em duas dimensões, auxiliando na visualização das camadas subterrâneas. A radiometria, por sua vez, foi utilizada para determinar as concentrações naturais de radiação (alfa, beta e gama) nas rochas, possibilitando a quantificação dos elementos tório, urânio e potássio. A perfuração manual foi aplicada para determinar a profundidade estratigráfica das camadas de bentonite em pequenas profundidades, complementando os dados geofísicos.

Os resultados indicaram que a bentonite apresentou valores de resistividade elétrica muito baixos, variando de 0 a 14 ohm-metros, devido à alta humidade presente no material. O método radiométrico registrou concentrações de $K = 0,5\%$, $U = 3,1 \text{ ppm}$ e $Th = 17 \text{ ppm}$ para a bentonite, com valores mais elevados para o riolito ($K = 0,75\%$, $U = 3,6 \text{ ppm}$ e $Th = 17 \text{ ppm}$). A análise revelou que as técnicas geofísicas SEV e TRE foram as mais eficazes na identificação das camadas de bentonite, embora a TRE tenha limitado a identificação de camadas finas (menores que 5 metros de espessura). O trado manual e a radiometria apresentaram limitações, principalmente devido à profundidade de amostragem restrita.

Palavras-chave: Bentonite, Mapeamento geofísico, Tomografia de Resistividade Elétrica, Radiometria, Sondagem Elétrica Vertical.

Índice

DEDICATÓRIA.....	I
AGRADECIMENTOS.....	II
COMPROMISSO DE HONRA	III
RESUMO	V
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objectivos do projecto	2
1.2.1. Geral	2
1.2.2. Específicos	2
1.3. Apresentação do problema	2
1.4. Relevância do projecto	2
1.5. Localização da área de estudo	4
1.5.1. Localização geográfica.....	4
1.5.2. Área de estudo	4
CAPÍTULO II: MATERIAS E METODOLOGIA DO TRABALHO	5
2.1. Material Usado	5
2.2. Metodologia	6
2.2.1. Revisão bibliográfica.....	6
2.2.2. Trabalho de Campo	6
2.2.3. Trabalho de Gabinete, processamento e interpretação de dados.....	8
2.2.4. Produção do relatório final	9
CAPÍTULO III: ENQUADRAMENTO GEOTECTÓNICO, GEOLÓGICO, CLIMÁTICO, PEDOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO.	10
3.1. Enquadramento geotectónico e geológico.....	10
3.1.1. Cobertura fanerozóica	10
3.1.2. Geologia	10
3.1.3. Área de estudo	13
3.2. Clima	13
3.3. Características pedológicas	14
3.4. Aspectos geomorfológicos de Namaacha	15
CAPÍTULO IV: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
4.1. Riolito.....	17
4.1.1. Bentonites.....	17

4.1.2. História da origem do nome Bentonite	17
4.1.3. Bentonite em Moçambique	17
4.2. Electrorresistividade	18
4.2.1. Resistência eléctrica	18
4.2.2. Resistividade aparente e Princípios gerais do método de resistividade eléctrica.....	18
4.3. Sondagens Eléctricas Verticais (SEV)	19
4.3.1. Arranjo Schlumberger	20
4.3.2. Análise morfológica dos modelos da sondagem eléctrica vertical	20
4.4. Tomografia de Resistividade Eléctrica	21
4.5. Método radiométrico	21
4.5.1. Radiómetro RS-125.....	21
4.6. Perfuração Manual	22
CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	23
5.1. Sondagens eléctricas verticais	23
5.1.1. MISEV 01	23
5.1.2. MISEV 2	24
5.2. Tomografia de resistividade Eléctrica.....	25
5.2.1. Perfil ao longo da estrada terciária limitante da Mina (Mirt01).....	25
5.2.2. Perfil paralelo à linha de água no interior da Mina (G21)	27
5.2.3. Perfil ao longo da rua no interior da Mina (Chale1)	29
5.3. Radiometria	31
5.4. Trado Manual	32
CAPÍTULO VI: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	33
CAPÍTULO VII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	35
7.1. Conclusões	35
7.2. Recomendações.....	35
CAPÍTULO VIII: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
9. Anexos.....	40

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de localização geográfica da área de estudo, elaborado pelo autor no Arcmap 10.8.....	4
Figura 2. Mapa de localização geográfica das Sondagens eléctricas verticais e a Perfuração Manual.....	7
Figura 3. O mapa ilustra os perfis de resistividade eléctrica estabelecidos no campo, nomeadamente; G21 representada pela linha verde, o Chale1 representada pela linha amarela e o Mirt01 representada pela linha roxa.	8
Figura 4. Mapa Geológico da área de estudo, elaborando pelo autor no Arcmap 10.8.	12
Figura 5. Afloramento presente na mina da MIMOC ilustrando diferentes horizontes no solo. Fonte, Mulungo 2022.	13
Figura 6. Arranjo dos lineares AMNB com a configuração de quatro eléctrodos. AB correspondem a eléctrodos de corrente e MN são os eléctrodos de potencial.	19
Figura 7. Arranjo Schlumberger, M1N1 correspondem aos eléctrodos de potencial e A1B2 são eléctrodos de corrente.....	20
Figura 8. Curva da MISEV 01 (do tipo Q, com um RMS de 3,02%). Fonte: Autor, IP2Win.	23
Figura 9. Curva da MISEV 2 (do tipo Q, com um RMS de 4,04%).	24
Figura 10. Pseudosecção ilustrando modelo de três camadas geofísicas, a camada da base interpretada como sendo rocha alterada do seu embasamento zona de altas resistividades, a camada intermédia foi interpretada como Bentonite, zona de resistividades a camada intermédia foi interpretada como Bentonite, zona de resistividades baixas e a camada superficial foi interpretada como areias.....	26
Figura 11. Pseudosecção ilustrando modelo de duas camadas geofísicas; a camada da base interpretada como sendo rocha alterada do embasamento riolítico (com valores de resistividades 27-180 Ω m), a camada superficial foi interpretada como Argilas (com valores de resistividades baixas, 1-7.5 Ω m).	28
Figura 12. Pseudosecção ilustrando modelo de três camadas geofísicas; a camada da base interpretada como rocha maciça pouco meteorizada, zona de alta resistividade, a camada intermédia zona de resistividade média interpretada como rocha alterada do seu embasamento e a camada superficial de baixa resistividade interpretada como Bentonite. A parte superficial do perfil é composta por areias de espessura inferior a 5 m.	30

Lista de tabelas

Tabela 1. Características dos horizontes expostos em um dos afloramentos no interior da mina.....	13
Tabela 2. Os dados colectados em ambas litologias mostram que as maiores concentrações de K e U no Riólito em relação à Bentonite e o Th está em maiores (de um modo geral) concentrações na Bentonite em relação ao riólito.	31

Lista de Anexos

Anexo 1. Dados da SEV intitulada MISEV 01.	41
Anexo 2. Dados da SEV MISEV 02 em Mafuiane.	42
Anexo 3. Dados da SEV 1 em Mafuiane	43
Anexo 4. Coordenadas da Tomografia de Resistividade Eléctrica (Mirt01).	44
Anexo 5. Coordenadas da Tomografia de Resistividade Eléctrica (CHALE 1).	44
Anexo 6. coordenadas da Tomografia de Resistividade Eléctrica (G21).	44
Anexo 7. Imagem ilustrando o material usado na técnica de resistividade em duas dimensões. 1-eletrodos; 2-resistivímetro; 3-rolos de cabo 100 m; 4-cabos conectores; 5-selecionadores de eléctrodos; 6-conectores banana.....	45
Anexo 8. Afloramento no interior da mina mostrado o Riólito em contacto com a camada de Bentonite.	45
Anexo 9. fotografia retirada na estação da SEV 1.	46
Anexo 10. fotografia retirada na estação um, na realização da Tomografia De Resistividade Eléctrica. Perfil G21.....	46
Anexo 11. fotografia retida no momento da medição da taxa de contagem de radiação na Bentonite no interior da mina usando o Radiómetro RS-125.	47
Anexo 12. Fotografia retirada na realização do Trado 1.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS

SEV – Sondagem Eléctrica Vertical

TRE – Tomografia De Resistividade Eléctrica

NW – Noroeste

SW – Sudoeste

SE – Sudeste

NE – Nordeste

SI – Sistema Internacional

LISTA DE SIMBOLOS

ΔV – variação da voltagem

Ωm – Ohm-metro

Th – Tório

U – Urânio

K – Potássio

nSv/h – Nanosivert por hora

Km – Quilómetros

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Introdução

Em Moçambique há ocorrência de Bentonite, no distrito de Namaacha na Província de Maputo, as ocorrências mais conhecidas e investigadas ocorrem nos Pequenos Libombos, (Afonso et al, 1998; Lächelt, 2004). A mineradora responsável pela extracção da Bentonite no distrito de Namaacha é a MIMOC LTD, nos últimos anos de actividade extractiva vem enfrentando problemas na exploração do minério devido à ausência do conhecimento da espessura e continuidade da camada da Bentonite, na qual surge a oportunidade de realizar o trabalho de culminação do curso de Licenciatura em Cartografia & Pesquisa Geológica intitulado Contribuição na metodologia do mapeamento geológico na mina da MIMOC no distrito de Namaacha localidade de Mafuiane

Trabalhos foram feitos na área de estudo com o objectivo de remover as impurezas não esmetíticas da Bentonite (Magandame, em 2013). O Presente Trabalho visa contribuir na metodologia de mapeamento cujo objectivo é determinar a espessura e a distribuição espacial da Bentonite especificamente na mina em exploração da MIMOC LTD em Mafuiane, recorrendo à aplicação de métodos da geofísica aplicada e métodos geológicos. Os métodos da Geofísica aplicada (indirectos) usados foram a Sondagem Eléctrica Vertical, Tomografia De Resistividade Eléctrica e Radiométrico, porque através desses métodos é possível verificar e analisar o comportamento da rocha quando é injectada corrente eléctrica em profundidade e determinação a taxa de contagem de Radiação em baixas profundidade, estes métodos são métodos acessíveis e baratos. O método directo usado foi à perfuração Manual que foi útil na descrição do tamanho relativo dos grãos humidade relativa das formações geológicas na área de estudo.

O presente trabalho está organizado em oito Capítulos, o Primeiro Capítulo refere-se a Apresentação do Trabalho, Objectivos, Definição do Problema e Relevância Do Estudo. O segundo Capítulo aborda acerca dos materiais e Metodologia usados para elaboração do trabalho. O Terceiro Capítulo abordando o Enquadramento Geográfico, Climático, Pedológico, Geomorfológico, Geotectónico e Geológico. O Quarto Capítulo, refere-se aos fundamentos teóricos dos métodos usados no campo. O quinto Capítulo aborda a Apresentação e Interpretação dos Dados. O sexto capítulo retracta a Discussão dos Resultados. O sétimo Capítulo é referente às Conclusões e Recomendações e o oitavo Capítulo refere-se às Referências Bibliográficas.

1.2. Objectivos do projecto

1.2.1. Geral

- Avaliar a eficácia das técnicas de mapeamento geofísico (Sondagem Eléctrica Vertical - SEV, Tomografia de Resistividade Eléctrica - TRE, radiometria e perfuração manual) na exploração do jazigo de Bentonite na Mina da MIMOC em Mafuiane.

1.2.2. Específicos

- Aplicação no campo da SEV, TRE, do Trado Manual e do Radiómetro no mapeamento do jazigo de Bentonite na Mina de Mafuiane;
- Definir limites com base nos dados geofísicos e geológicos;
- Identificar os métodos mais eficazes na delimitação das formações geológicas;
- Correlacionar os resultados dos diferentes métodos usados.

1.3. Apresentação do problema

A exploração de bentonite na Mina de Namaacha, localizada na localidade de Mafuiane, província de Maputo, Moçambique, é de grande relevância econômica, pois a bentonite é um recurso importante utilizado em diversas indústrias, como perfuração de petróleo, fabricação de cerâmica e produtos de construção. Este minério é formado pela alteração química de rochas riolíticas e cinzas vulcânicas, sendo uma commodity estratégica.

No entanto, a MIMOC LTD, mineradora responsável pela extração da bentonite, enfrenta dificuldades na exploração devido à falta de informações precisas sobre as características do jazigo de bentonite, como a espessura e a continuidade das camadas no subsolo. A ausência de um mapeamento geológico detalhado tem dificultado o planejamento eficiente das actividades de extração, resultando em ineficiência operacional, aumento dos custos e potencial desperdício de recursos. Isso compromete a viabilidade econômica da mina e a sustentabilidade das operações, tornando essencial a obtenção de dados geológicos mais confiáveis.

Portanto, a exploração de bentonite na Mina de Namaacha está sendo prejudicada pela falta de conhecimento detalhado sobre o subsolo, bem como os métodos da geofísica aplicada são eficientes para efectuar esse mapeamento, o que dificulta a otimização das operações de extração e compromete o potencial de maximização da produção

1.4. Relevância do projecto

Este projeto tem como objetivo preencher a lacuna de conhecimento geológico sobre a Mina de Namaacha, aplicando técnicas geofísicas avançadas para mapear as camadas de bentonite no

subsolo. A avaliação da eficiência de métodos como Sondagem Elétrica Vertical (SEV), Tomografia de Resistividade Elétrica (TRE), trado manual e radiometria visa gerar dados mais precisos sobre as características do jazigo de bentonite, como espessura, profundidade e continuidade das camadas.

A relevância deste projeto é significativa, pois, ao aplicar essas técnicas de mapeamento geofísico, será possível otimizar a exploração do minério, melhorar a alocação de recursos e reduzir os custos operacionais. A SEV e a TRE permitirão a visualização mais precisa das camadas subterrâneas, enquanto a radiometria fornecerá informações adicionais sobre a composição dos minerais, contribuindo para uma análise mais detalhada. A perfuração manual complementar os dados obtidos pelas técnicas geofísicas, permitindo determinar as profundidades das camadas de bentonite de maneira direta.

Além disso, este estudo tem a capacidade de melhorar o planejamento das operações de extração, identificando as áreas mais promissoras para a exploração e evitando o desperdício de recursos em áreas não rentáveis. Ao gerar dados geológicos mais detalhados e confiáveis, a pesquisa ajudará a MIMOC LTD a tomar decisões mais informadas e a aumentar a eficiência da exploração.

Em suma, este projeto é essencial para melhorar a eficiência da exploração de bentonite na Mina de Namaacha, garantindo maior produtividade, redução de custos e um impacto positivo na economia local e no setor de mineração em Moçambique

1.5. Localização da área de estudo

1.5.1. Localização geográfica

Com uma superfície de 2.279,2 Km², o Distrito de Namaacha está situado no Sul de Moçambique, a Sudoeste da província de Maputo, entre os paralelos 25° 30' e 26° 30' Sul e os meridianos de 32° 00' e 32° 30' Este. Tem como limites principais: a Norte: Distrito de Moamba, a Sul o Distrito de Matutuine, a este Distrito de Boane, 4. Oeste: Suazilândia e África Do Sul

1.5.2. Área de estudo

A área de estudo, localiza-se a 40 km da Cidade de Maputo, na estrada Nacional número dois que liga Maputo-Namaacha, no Distrito de Namaacha (localidade de Mafuiane) entre a latitude 26° 02' 47'', 26° 03' 21'' S, longitude 32° 13' 11', 32° 16' 00'' E. A área situa-se na zona plana das encostas das montanhas dos pequenos Libombos, dividida pela estrada Maputo-Namaacha.

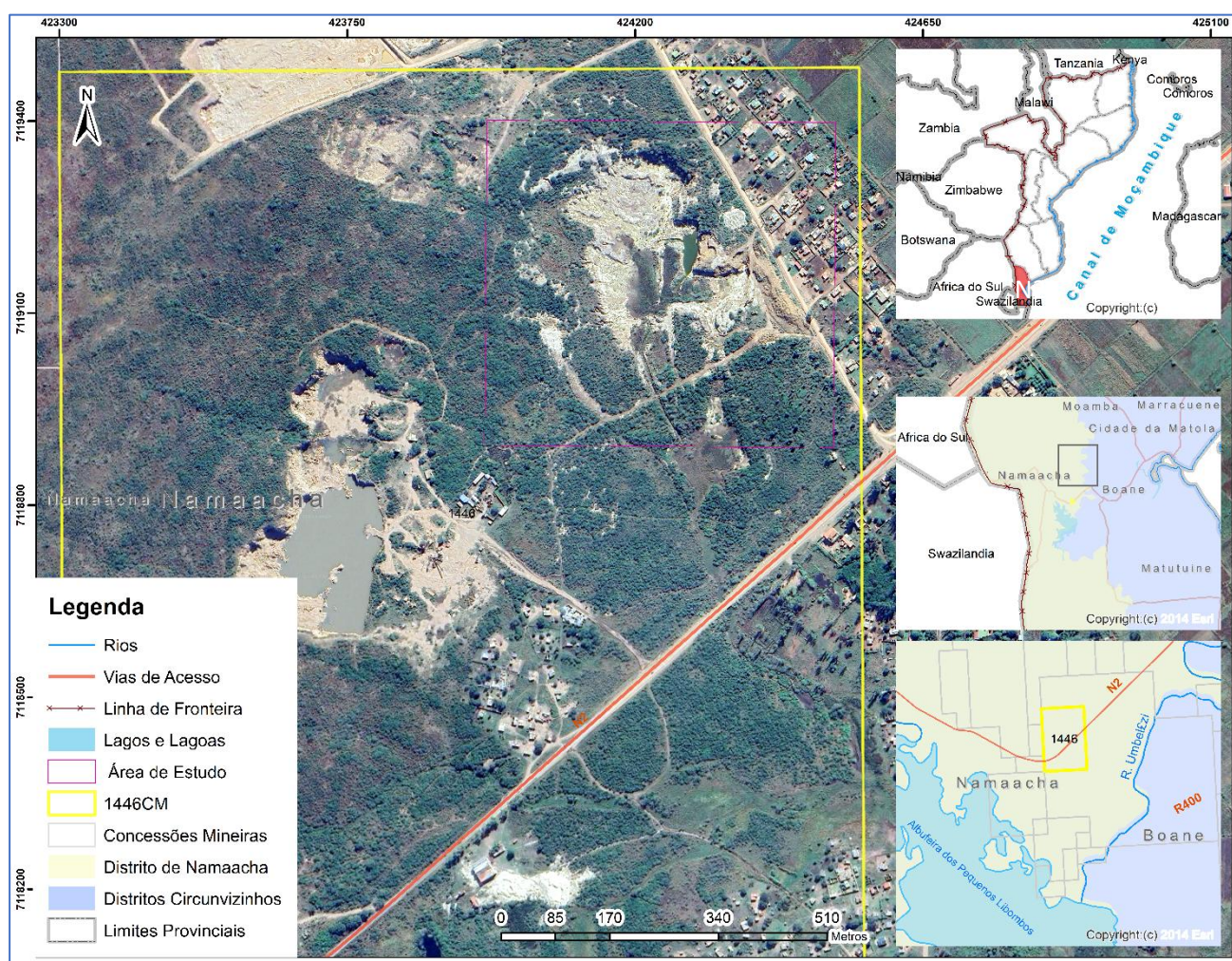


Figura 1. Mapa de localização geográfica da área de estudo, elaborado pelo autor no Arcmap 10.8.

CAPÍTULO II: MATERIAS E METODOLOGIA DO TRABALHO

2.1. Material Usado

Para o levantamento de dados foram usados os seguintes materiais:

1. Resistivímetro ABEM SAS 4000 – é a unidade básica do equipamento do método geoeléctrico que é usado nas técnicas de resistividade, polarização espontânea e induzida. O ABEM SAS 4000 possui 4 canais que o possibilitam a medição e armazenamento de 4 dados em simultâneo, conferindo ao equipamento uma maior rapidez na medição;
2. Seleccionador de Eléctrodos – é a unidade responsável pela selecção dos eléctrodos a usar em uma dada medição. Esta selecção é feita de acordo com o protocolo adicionado no resistivímetro;
3. Eléctrodos – São condutores com o formato de uma cruz e pontiagudo em uma das extremidades;
4. Rolo de Cabo – São cabos de 100 metros de comprimento com 21 saídas separadas 5 metros de distância. As saídas são pontos usados para conexão do cabo aos eléctrodos;
5. Conectores Banana – São conectores cilíndricos brancos que são usados como elo de ligação entre os Rolos de Cabo;
6. Cabos Curtos de Conexão (cable jumpers) – São cabos que estabelecem contacto entre os eléctrodos e o Rolo de Cabo;
7. Bateria – é a fonte de tensão de 12 V requerida para que o equipamento funcione;
8. Outros cabos conectores – Diferentes cabos conectores são usados para estabelecer contacto entre as componentes. Alguns destes servem para transferência de dados para um computador;
9. GPS Garmin – usado para extracção das coordenadas em locais desejados bem como a orientação dos perfis;
10. Dois rolos de cabo de cobre de 80 m – para realização das Sondagens eléctricas verticais;
11. Fita métrica – para medir o distanciamento entre os eléctrodos;
12. Trado Manual – para proceder com a perfuração Manual do subsolo;
13. Radiómetro – usado para medir a taxa de contagem de radiação;
14. Caderneta, caneta e telemóvel – para anotações de campo e fotografar os afloramentos.

2.2. Metodologia

Para alcançar os objectivos acima citados, o projecto científico teve como sequência metodológica:

2.2.1. Revisão bibliográfica

Esta fase consistiu na consulta de artigos científicos, revistas, monografias, dissertações, teses, análises de mapas geológicos e topográficos da área de estudo. A revisão bibliográfica teve como epicentro o estudo sobre o enquadramento geológico, bem como os métodos geofísicos a ser aplicados em campo, a Sondagem Eléctrica Vertical a Tomografia de Resistividade Eléctrica, o Radiométrico e a Perfuração Manual.

2.2.2. Trabalho de Campo

O trabalho de campo consistiu na colheita de dados de resistividade usando a SEV e a TRE, usando o Trado Manual obteve-se a sequência lito-estratigráfica em alguns pontos da mina e aplicando o método radiométrico determinou-se a taxa de contagem de radiação do Riolito e da Bentonite.

Para a realização das SEVs foi utilizado um resistivímetro alimentado por uma bateria de 12 V, 4 eléctrodos (dois usando como de corrente e outros dois de potencial) e cabos de cobre. Foram realizadas duas SEVs, nomeadamente, MISEV 1 e MISEV 2, usando a configuração Schulumberger com a separação dos eléctrodos de corrente até no máximo de $AB/2 = 60$ m, e de potencial uma separação máxima de $MN/2 = 2,5$ m.

O Trado Manual permitiu a colheita de amostras litológicas no campo, que consistiu em verificar a profundidade das mudanças litológicas em termos de tamanho relativo dos grãos, coloração, e humidade relativa. Realizou-se duas perfurações Manuais.

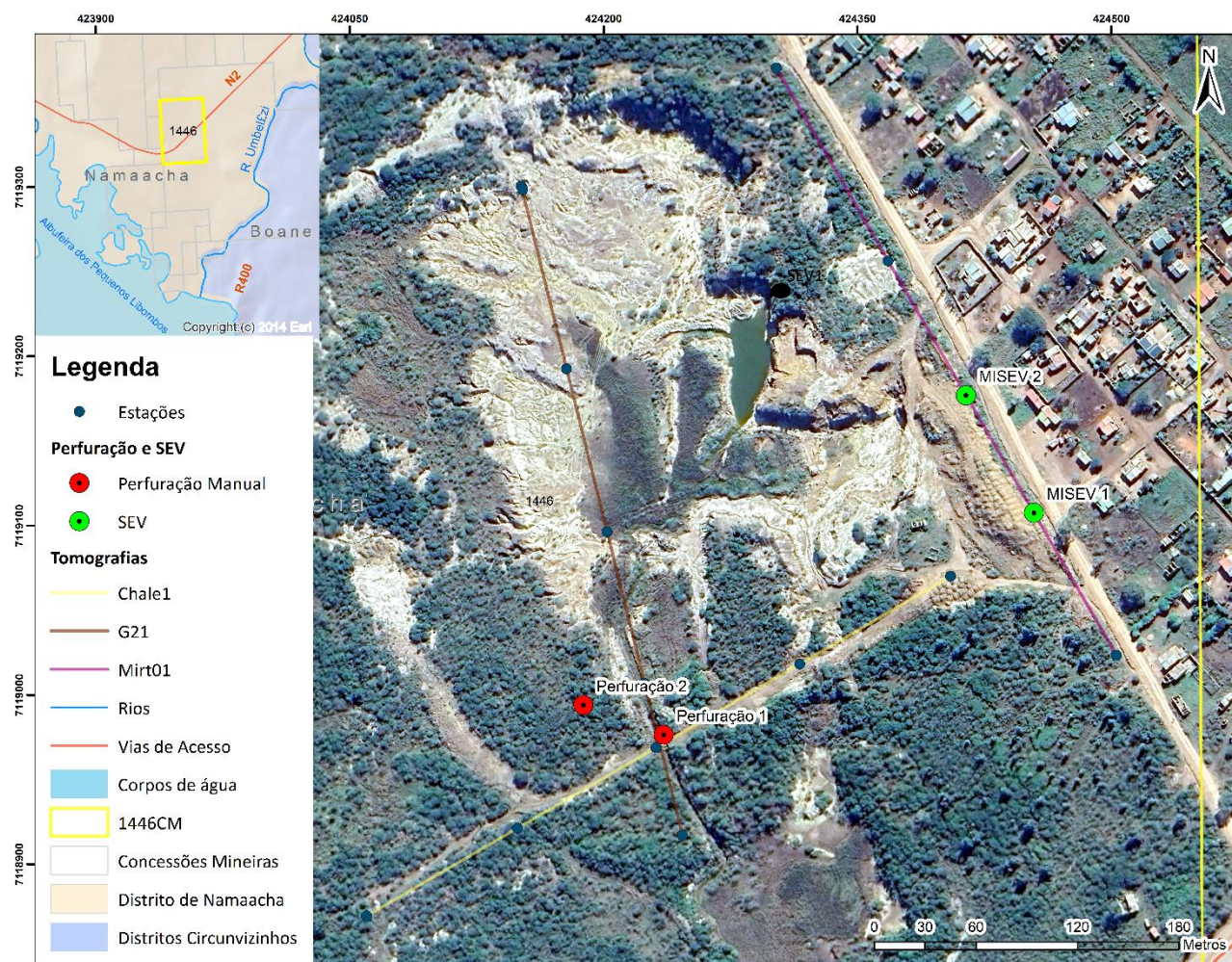


Figura 2. Mapa de localização geográfica das Sondagens eléctricas verticais e a Perfuração Manual.

Para a realização da TRE foi utilizado um resistivímetro alimentado por uma bateria de 12 V, 84 eléctrodos, um seleccionador de eléctrodo, conectores banana, cabos curtos de conexão e quatro rolos de cabo de 100 m. Foram estabelecidos três perfis de 400 m, nomeadamente:

Perfil ao longo da estrada terciária limitante da Mina (Mirt01) - é uma linha geofísica de resistividade eléctrica com a orientação SE-NW.

Perfil paralelo a linha de água no interior da Mina (G21) - É uma linha geofísica de resistividade eléctrica com a orientação NNW-SSE.

Perfil ao longo da rua no interior da Mina (Chale1) - É uma linha geofísica de resistividade eléctrica com a orientação NE-SW.

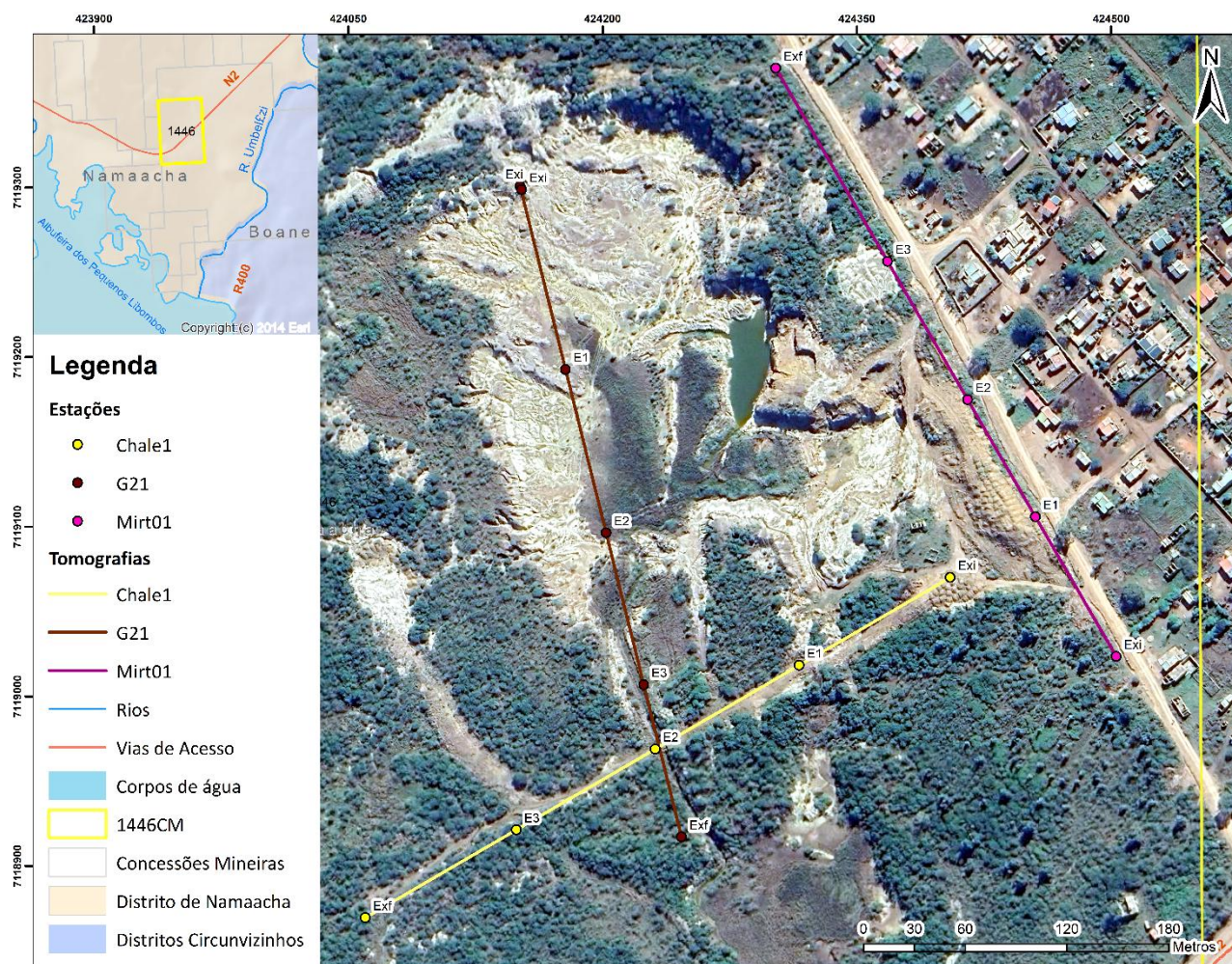


Figura 3. O mapa ilustra os perfis de resistividade eléctrica estabelecidos no campo, nomeadamente; G21 representada pela linha verde, o Chale1 representada pela linha amarela e o Mirt01 representada pela linha roxa.

2.2.3. Trabalho de Gabinete, processamento e interpretação de dados

O trabalho de gabinete consistiu no processamento e interpretação dos dados usando softwares como Google Earth, IP2win, Res2dinv, Arcmap 10.8, Erigraph.

Google Earth foi aplicado para visualização da área de estudos e extracção das coordenadas e elevação. O Ip2win foi aplicado para processar as medições de resistividade aparente da SEV, os resultados são apresentados em um gráfico bilogarítimo. Res2dinv, aplicado para interpolar e interpretar dados da TRE, os resultados são apresentados em forma de Pseudosecções em duas dimensões, o Erigraph foi aplicado para visualizar os dados invertidos no Res2dinv. Arcmap 10.8 foi aplicado para elaboração de mapas geográficos e geológicos da área de estudo.

2.2.4. Produção do relatório final

Esta fase consistiu na compilação de todas informações obtidas através de consultas bibliográficas, processamento e interpretação de dados geofísicos e geológicos obtidos durante o levantamento, para a produção do presente Projecto Científico.

CAPÍTULO III: ENQUADRAMENTO GEOTECTÓNICO, GEOLÓGICO, CLIMÁTICO, PEDOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO.

3.1. Enquadramento geotectónico e geológico

3.1.1. Cobertura fanerozóica

A cobertura fanerozóica compreende todas as litologias depositadas posteriormente ao ciclo Pan-Africano. Geralmente, tais litologias são constituídas por sedimentos continentais sub-horizontais a marinhos, e rochas sub-vulcânicas associadas, que não foram afectadas por deformação penetrativa, mas que puderam ter sofrido deformação frágil intensa (GTK Consortium, 2006).

A cobertura do Fanerozóico está dividida em (da mais antiga para a mais recente) Supergrupo do Karoo e um conjunto de sequências relacionadas com o Rifte Este-Africano. O primeiro pode ser dividido nos Grupos do Karoo Inferior e do Karoo Superior, os quais foram depositados durante o evento Karoo, ou seja, num rifte abortado ou numa fase de desmembramento do Gondwana. É caracterizado pelo desenvolvimento de fossas tectónicas intracratónicas e de bacias profundas, e terminou com a instalação da Grande Província Ígnea do Karoo, de idade jurássica inferior (GTK Consortium, 2006).

No sul de Moçambique, o Karoo é representado por vulcanitos básicos e ácidos dos estreitos monoclinais de Nuanétzi-Save com direcção ENE-WSW a NE-SW, dos Libombos com direcção N-S a NNWSSE e pelo cortejo filoneano de Okavango, orientado WNW-ESW, todos pertencentes ao Karoo Superior. O Graben do Médio Zambeze (orientado E-W), devido à sobreposição da tectónica extensiva do Cretácico, pode ser dividido nos grabens do Luia e de Moatize, com orientação NW-SE (GTK Consortium, 2006).

Os monoclinais dos Libombos e do Nuanétzi-Save podem ser considerados como grandes fissuras do tipo rifte (falhas), vulcânicos, que marcam a margem oriental dos Cratões do Kaapval e do Zimbabwe, em ascensão. A sua localização coincide com um importante intervalo geodinâmico entre espesso manto litosférico superior arcaico e manto litosférico superior moderno com espessura normal (GTK Consortium, 2006).

3.1.2. Geologia

A geologia do distrito de Namaacha será descrita em função do Eon, Era e Período geológico Tempo geológico. De forma geral a geologia da área descrita pertence ao Eon Fanerozóico, a

mesma pertence a duas eras, o Mesozóico (do período Jurássico e cretácico) e Cenozóico (do período terciário e quarternário).

➤ **Jurássico**

O embasamento geológico do distrito de Namaacha ocorreu no fim da época jurássica, na última fase do Karoo – O Stormberg. Este período foi caracterizado essencialmente pela emissão de lavas vulcânicas e riolíticas que constituem os Grandes Libombos; e pelo derramamento de basalto que formam a depressão do Impamputo – Umbeluzi, (Nunes, 1959 e Moura,1969).

Os Grandes Libombos, que ocupam toda a parte ocidental do distrito, são constituídos basicamente por riólitos, mas neles também se encontram grés e argilitos com estruturas fosseis que denunciam um carácter extrusivo contaminado por assimilação parcial, outras rochas turfaceas, brechas, tufos e cinzas vulcânicas, (Carvalho, 1974).

Os Basaltos de idade idêntica dos riólitos são denominados por basaltos de Impamputo, e ocorrem quase sempre em regiões aplanadas e vales. Tanto os basaltos como os riólitos são cortados por intrusões, geralmente em forma de dique, cones vulcânicos ou filões de rochas do tipo riolitico, traquitos, doleritos e basaltos doleríticos, (Carvalho 1974).

➤ **Cretáceo**

O Cretáceo está representado na área pelo complexo vulcânico dos pequenos Libombos, litologicamente são constituídos por riólitos típicos de cor vermelha acinzentada com estrutura fluvial, laminar e vaciolar ou brecha vulcânica. Localmente, são jaspóides e gresosos por provável contaminação. A este complexo sobrepõe-se aos dos basaltos dos Impamputo e têm uma espessura idêntica (Freitas 1974).

Os basaltos do Moveene e Changule, localizados na parte oriental do distrito de Boane, possuem grãos finos e compactos de textura porfiríca, por vezes doleríticas. Os primeiros estão cronologicamente associados ao complexo riolíticos dos pequenos Libombos e, portanto mais recentes que os basaltos de Impamputo. Ocupam uma área muito menos extensa que os do Impamputo.

➤ **Terciário**

O terciário da início a sequência sedimentar na área de estudo. A Formação do Tembe (TTsm) ocorre em forma de pequenas manchas ao longo da planície aluvial do rio Tembe e dos seus afluentes Changale e Mahabe (Boléo, 1950).

➤ Quaternário

A Sudeste do distrito o manto riolítico é cortado por alguns terraços e áreas de cobertura arenosa do quaternário. Estas formações sedimentares encontram-se com maior dimensão, representadas em todas as bacias fluviais de certa dimensão de área, tais como as dos rios Umbeluzi, Changalane e Mazeminhama. Assim como os aluviões, são bastante heterogêneos constituídos por sedimentos fluviais não consolidados e possuindo por vezes níveis de cascalheira, riólito, basalto e outras rochas trazidas pelas correntes de água e pelo vento da porção mais ocidental, os Grandes Libombos (Boléo, 1950).

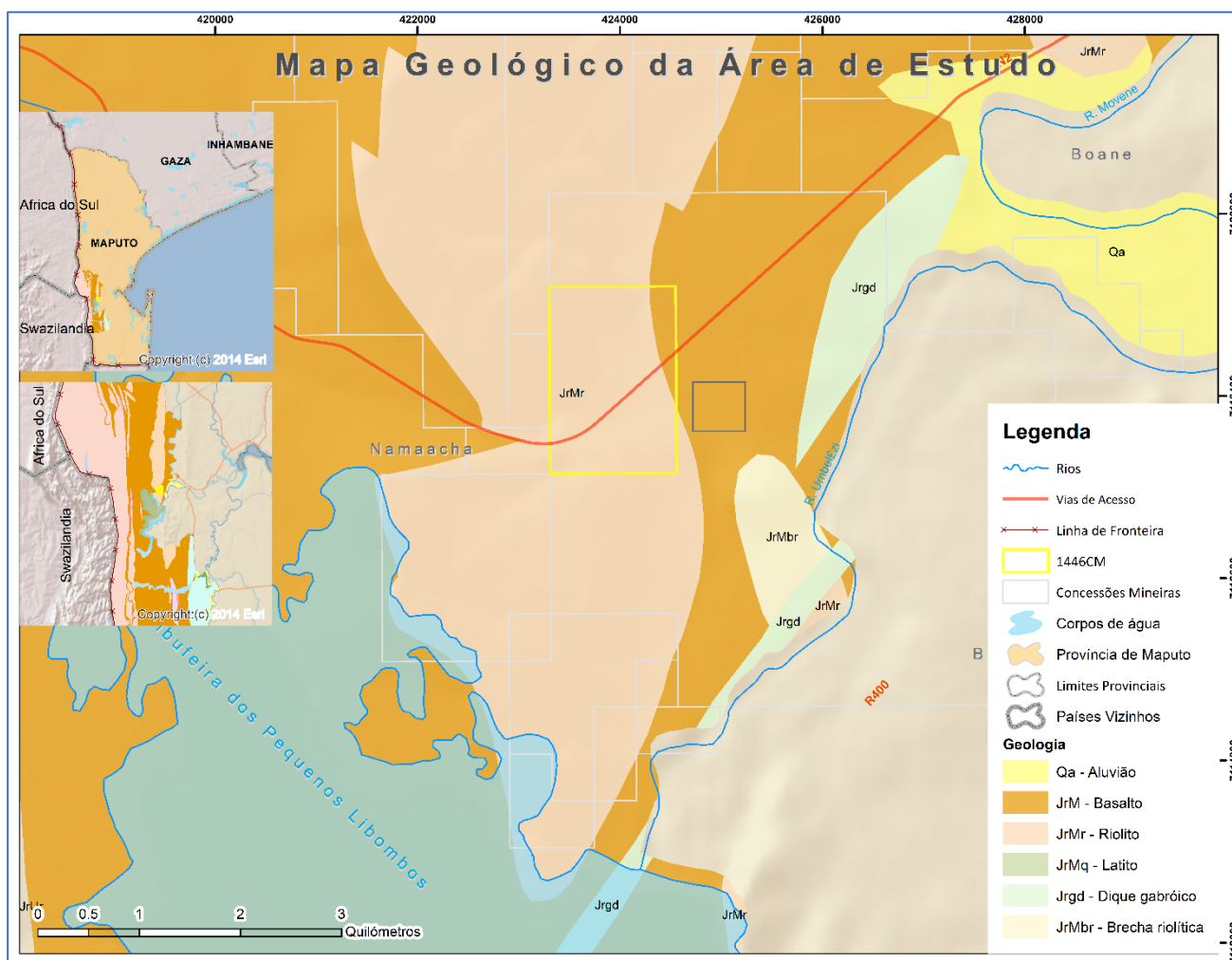


Figura 4. Mapa Geológico da área de estudo, elaborado pelo autor no Arcmap 10.8.

3.1.3. Área de estudo

A área geológica apresenta “camada” riolítica de idade cretácea e sedimentos de idade terciária e quaternária. A figura abaixo (figura 5) ilustra um afloramento que apresenta quatro diferentes horizontes, com características distintas e duas litologias respectivamente. As diferentes litologias apresentam variações de espessura ao longo do afloramento.

Tabela 1. Características dos horizontes expostos em um dos afloramentos no interior da mina.

Horizonte	Litologia e características distintivas
A	Riolito muito fracturado
B	Riolito muito alterado, presença de Geóides
C	Riolito pouco alterado
D	Bentonite



Figura 5. Afloramento presente na mina da MIMOC ilustrando diferentes horizontes no solo. Fonte, Mulungo 2022.

3.2. Clima

De acordo com a classificação climática de Koppen no distrito de Namaacha distinguem-se 3 tipos de climas:

Clima tropical de savana (Aw), que ocupa a menor superfície ao Sul do território. De acordo com Lopes (1979), ocorre na área correspondente aos Grandes Libombos, a Sudoeste do distrito, e para Carvalho (1968), também é identificado na localidade de Goba. Apresenta duas estações ao longo do ano, sendo a estação seca registada em Maio e Setembro e a chuvosa de Outubro a Abril.

Clima temperado húmido (Cf), na região Ocidental do distrito, numa pequena área junto a Vila de Namaacha, sendo igualmente identificado na região Central, onde abrange maior extensão (Carvalho, 1968).

Clima tropical de altitude (Cw), este tipo climático é característico das regiões de altitude. No distrito é identificado a 600 m de altitude e nos Grandes Libombos. Junto à fronteira com a Suazilândia e a África do Sul A vila de Namaacha está enquadrada nesta zona climática (Loureiro, 1969).

3.3. Características pedológicas

O distrito de Namaacha é pedologicamente constituído por seis agrupamentos de solos: os da cadeia vulcânica dos Libombos; os Mananga; os de Post-Mananga; os de coluviões, de seixos rolados e de aluviões.

Solos da cadeia vulcânica dos Libombos – neste grupo estão incluídos dois tipos de solos, nomeadamente; os riolíticos e basálticos durante o período Karoo.

Os solos riolíticos, localizam-se ao longo de toda faixa ocidental do distrito, nas áreas dos altos planaltos onde a altitude é superior a 500 m, podendo encontrar-se ainda, nas costeiras (cuestas) e encostas dos veles. Correspondem na sua maior área, as elevações dos Grandes e Pequenos Libombos (Lopes, 1979).

Os solos Basálticos, ocupam tal como os riólitos, extensas áreas do distrito. Encontram-se na região dos baixos planaltos, onde a altitude é maior que os 100 m, e nas encostas de topografia relativamente plana. Ao longo do distrito existem três variedades deste tipo de solo distinguindo-se pela profundidade a que aparece a rocha mãe e o basalto, têm geralmente bastante fertilidade, o que se deve não só a natureza das manchas de que derivam, como também por serem relativamente planos e por isso ao abrigo da erosão laminar, que se observa, por vezes, nas proximidades dos cursos de água, onde o terreno é já um pouco declivoso (Barradas, 1962).

Os solos de Mananga estão assentes em depósitos sódicos duros do pleistocénio e encontrando-se localizados nos planaltos baixos e nos fundos de vales, na zona de cobertura arenosa de espessura variável. Na região, observa-se uma maior concentração na parte Sul, Junto ao limite com o distrito de Boane. São solos de regular ou fraca fertilidade, com dificuldades de rega (Barradas, 1962).

Os solos de Post-Mananga, desenvolveram-se no pleistocénio superior. Ocorrem geralmente nos sopés das encostas dos vales. Não é fácil precisar a localização exacta deste tipo de solo, visto que se encontram dispersos em pequenas manchas por quase todo distrito.

Os solos de coluviões podem ter diferentes origens: os derivados de Mananga, os derivados de basaltos, os mistos e os derivados de rochas sedimentares. No distrito estes encontram-se dispersos pelas depressões circulares, nos sopos das encostas e nas linhas de drenagem.

Os solos de Seixos Rolados são frequentes nas áreas geologicamente constituídas por seixos basais de Mananga. Localizam-se sobre plataformas de seixos rolados de solos pouco desenvolvidos, e tal como os coluviais estão dispersos ao longo do território do distrito.

Os solos Aluviões ocupam os aluviões Holocénicos. São profundos. Localizam-se ora nos aluviões argilosos de topografia plana ora nas planícies de transição Mananga-planície estuário. São solos vulgares nos vales dos troços superiores e médios dos rios e ribeiras, sendo relativamente permeáveis.

3.4. Aspectos geomorfológicos de Namaacha

No distrito de Namaacha considera-se dois principais conjuntos morfoestruturais: os Libombos de origem vulcânica, as colinas.

➤ A cadeia dos Libombos

Esta formação, em território Moçambicano estende-se desde a margem esquerda do rio Maputo, no Sul da província até Pafúri, onde o rio Lipompo atravessa a fronteira, numa extensão de 900 quilómetros, com a orientação N-S juntando o Karoo do natal do médio Lipompo (Boléo 1950). Para Sul do País, entronca na série montanhosa do “Queme Range” formação essencialmente de rochas ígneas (Lopes, 1979).

Nesta cadeia enquadram-se os Grandes e os Pequenos Libombos. Os Pequenos Libombos, confinando directamente com a planície litoral, estendem-se desde as proximidades do rio Incomati até Changanane, sendo a altitude máxima de 291 m. São atravessados pelas baixas de Impamputo, sendo a tal como os Grandes Libombos, uma unidade geológica com afloramento riolítico, contrastando apenas em menos altitude e extensão. Nela existem algumas elevações como as Libovane, Muguene e Quindezanine. As maiores altitudes andam entre os 200 e 300 m (Dos Muchangos, 1991).

➤ As colinas

No distrito de Namaacha, as colinas ocupam a superfície entre o vale do rio Movenene e o distrito de Boane. Estas unidades geomorfológicas, em forma de “cuestas”, apresentam os topos

ligeiramente aplanados, as altitudes variam de 300-350 m. A própria Vila e Sede Distrital de Namaacha erguem-se numa larga colina.

CAPÍTULO IV: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. Riolito

É uma rocha ígnea vulcânica composta principalmente de feldspatos, quartzo e micas. Ele tem textura geralmente porfirítica, com cristais maiores de feldspatos imersos em uma matriz de quartzo e mica.

4.1.1. Bentonites

Bentonite é uma terminologia tecnológica aplicada a argilas com granulação muito fina, composta essencialmente por argilominerais do grupo da esmectites, sendo mais comum a montmorilonite em concentrações que podem variar de 60 a 95 % em massa. Esta argila é formada pela desvitrificação e subsequente alteração química de um material vítreo, de origem ígnea, usualmente um tufo ou cinza vulcânica em ambientes alcalinos de circulação restrita de água. (Luz et. al, 2004).

4.1.2. História da origem do nome Bentonite

O termo Bentonite foi derivado da localização do primeiro depósito comercial de uma argila encontrada nos Estados Unidos (EUA), (Ferreira; Silva, 2008). Knight reportou que desde 1888 William Taylor comercializava uma argila peculiar encontrada em Fort Benton (Wyoming, EUA) e propôs a denominação “taylorite”, sugerindo em seguida “Bentonite”, uma vez que a primeira denominação já era utilizada (Ferreira; Silva, 2008). Logo o termo “Bentonite” foi citado pela primeira vez na literatura pelo geólogo Knight em 1897, referindo-se a uma argila de consistência plástica e coloidal localizada em uma jazida nas proximidades de Fort Benton (Wyoming, EUA), (Neumann et. al, 2000).

4.1.3. Bentonite em Moçambique

A Bentonite ocorre em Moçambique como produto da meteorização de riólitos e tufos riolíticos. Os depósitos e ocorrências mais conhecidas e investigadas ocorrem nos pequenos Libombos, especialmente em Boane, cerca de 35 km a sudoeste de Maputo. (Afonso & Marques, 1998; Lachelt, 2004).

A Bentonite em “Boane” resulta da alteração química de rochas riolíticas e/ou materiais associados (cinzas vulcânicas), por meio de lixiviação e subsequente remoção de Potássio e Sódio em condições de sistema aberto da camada de Riolito (Dos Muchangos, 2000).

4.2. Electrorresistividade

O parâmetro físico resistividade possui um intervalo largo de variação quando comparado com outros parâmetros usados por outros métodos geofísicos no mapeamento da subsuperfície. (Loke 1999). A resistividade desempenha também um papel importante na caracterização em profundidade dos limites geológicos desde que as litologias presentes exibam forte contraste em termos de resistividade eléctrica.

4.2.1. Resistência eléctrica

É a capacidade de um corpo qualquer se opor a passagem da corrente eléctrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada. Seu cálculo é dado pela primeira Lei ohm, e, segundo o sistema internacional de Unidades (SI), é medida em ohms.

4.2.2. Resistividade aparente e Princípios gerais do método de resistividade eléctrica

No método de resistividade eléctrica, correntes eléctricas artificiais são geradas e introduzidas no solo, e as diferenças de potencial resultante é medida na superfície. Ao utilizar o mesmo arranjo de eléctrodos para efectuar medições sobre um meio heterogéneo, a diferença de potencial observada ΔV será diferente da registada sobre um meio homogéneo, pois o campo eléctrico deverá sofrer modificações em função desta heterogeneidade do meio.

Como na prática o subsolo não pode ser considerado um meio homogéneo, a quantia medida representa uma média ponderada de todas as resistividades verdadeiras em um volume de material em subsuperfície relativamente grande. Portanto ao se efectuar os cálculos pertinentes obtém-se uma resistividade aparente.

Nas medições geoelectricas transmite-se ao solo uma corrente eléctrica (A) através de dois eléctrodos de corrente (A e B), e mede-se a diferença de potencial (ΔV) resultante entre dois eléctrodos de voltagem (M e N). Todos os eléctrodos têm um arranjo linear, (Braga 2006).

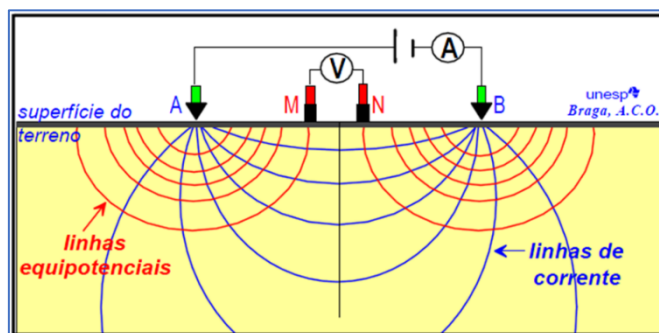


Figura 6. Arranjo dos lineares AMNB com a configuração de quatro eléctrodos. AB correspondem a eléctrodos de corrente e MN são os eléctrodos de potencial.

A resistividade aparente do subsolo (ρ_a) é calculada por meio da seguinte relação matemática;

$$\rho_a = K \frac{V}{I} = K * R$$

O valor do coeficiente geométrico (K) está relacionado com a disposição dos quatro eléctrodos usado a cada medição e é calculada pela relação:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_1P_2} - \frac{1}{C_2P_1} + \frac{1}{C_2P_2}}$$

4.3. Sondagens Eléctricas Verticais (SEV)

A técnica da sondagem eléctrica vertical consiste basicamente na análise e interpretação de um parâmetro físico, obtido a partir de medidas efectuadas na superfície do terreno, investigando de maneira pontual a sua variação em profundidade.

Para a aquisição dos dados em campo para a realização do presente projecto foi usado o arranjo de eléctrodos Schlumberger, pois este é:

- Mais prático no campo é necessário o deslocamento de apenas dois eléctrodos;
- As leituras estão menos sujeitas as interferências produzidas por ruídos indesejáveis, tais como, potenciais artificiais produzidos por cabos de estações de alta tensão,
- Menos susceptível a erros interpretativos em terrenos não homogéneos.

4.3.1. Arranjo Schlumberger

Neste tipo de arranjo, os eléctrodos de corrente A e B apresentam uma separação crescente (I), em relação ao centro do arranjo, os eléctrodos de potencial (MN) permanecem “fixos” durante o desenvolvimento do ensaio (vide a figura 7).

O arranjo de eléctrodos por Schlumberger é uma disposição simétrica em que a distância entre os eléctrodos de potencial (M e N) não varia e é pequena em relação à distância entre os eléctrodos (A e B) que se expande para a corrente atingir profundidades maiores. As medidas são atribuídas ao ponto central do dispositivo (Braga, 2007).

No desenvolvimento de uma SEV com o arranjo Schlumberger, ao introduzir, no subsolo a corrente eléctrica (I) por meio dos eléctrodos A e B, resulta que entre os eléctrodos M e N mede-se a diferença de potencial (ΔV) criada. As medidas obtidas são utilizadas para o cálculo da resistividade aparente (Braga, 2006).

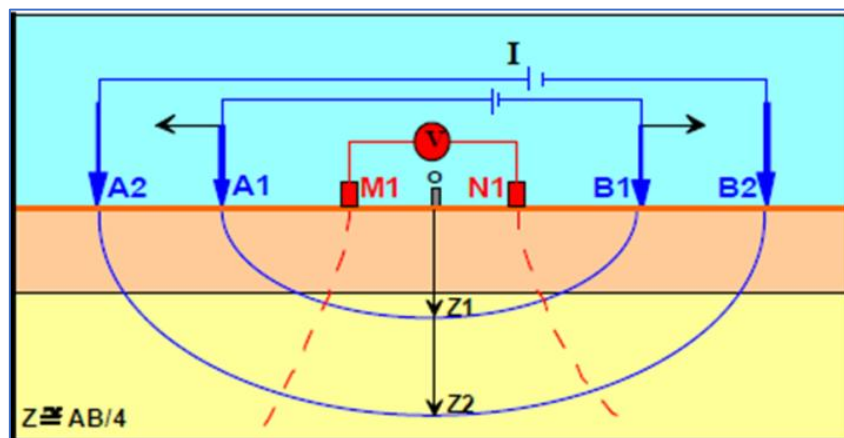


Figura 7. Arranjo Schlumberger, M1N1 correspondem aos eléctrodos de potencial e A1B2 são eléctrodos de corrente.

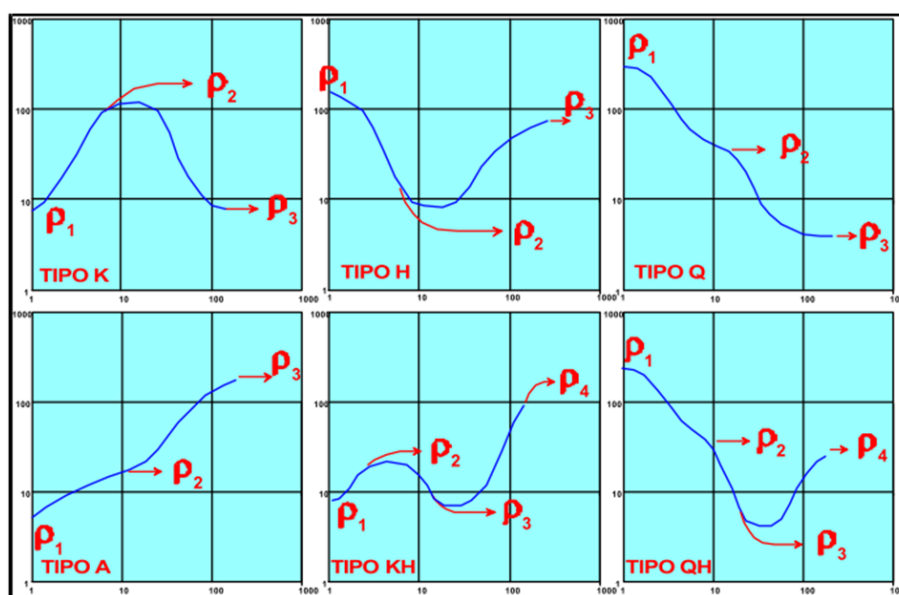
4.3.2. Análise morfológica dos modelos da sondagem eléctrica vertical

É um elemento muito importante quando realiza-se o trabalho de gabinete. Trata-se da familiaridade com a morfologia das curvas de campo e a relação que suas variações têm com as secções geométricas que representam.

Estas secções podem ser classificadas segundo seu número de camadas geoelectricas, isto é, de uma (difícil na prática/realidade), duas, três, quatro camadas, e entre outras. Em função do número de camadas identificadas, as secções de resistividade podem ser denominadas:

- Duas camadas - a) ascendente: $\rho_1 < \rho_2$; b) descendente: $\rho_1 > \rho_2$;
- Três camadas - a) K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$; b) H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$; c) A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$; e, d) Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$;

- Quatro camadas - a) KH: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$; b) QH: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 < \rho_4$.



4.4. Tomografia de Resistividade Eléctrica

Esta técnica baseia-se na análise e interpretação da resistividade, obtida a partir de medidas efectuadas na superfície do terreno investigado, ao longo de uma secção, sua variação na horizontal, a uma ou mais profundidades determinadas. Os resultados obtidos se relacionam através de Pseudosecções com várias profundidades de investigação (Pinto et, al, 2013).

Na Tomografia de Resistividade Eléctrica são aplicados eléctrodos ao redor da região a ser investigada gerando uma corrente eléctrica que percorre o objecto. A resistência eléctrica do meio é medida em cada eléctrodo, e a distribuição de resistividade eléctrica é calculada a partir dessas medições. Essa distribuição é então usada para gerar uma imagem da estrutura interna do objecto.

A Tomografia de Resistividade eléctrica não permite identificar camada com menos de cinco metros de espessura.

4.5. Método radiométrico

4.5.1. Radiómetro RS-125

É um instrumento utilizado na detecção de radiação natural emitida por rochas e mineiras, e são amplamente utilizados em estudos geológicos para o mapeamento de diferentes tipos de rochas, estes podem ser reconhecidos por sua distinta assinatura radioactiva.

O parâmetro que o radiómetro RS-125 mede é a taxa de contagem de radiação, que é a medida do número de partículas emitidas em um determinado período de tempo.

A identificação de elementos químicos em rocha pode ser realizada através de métodos radiométricos. Esta pode ser feita a partir do índice de radioactividade emitida naturalmente por cada elemento por meio de raios gama, alfa e beta. Os principais elementos químicos de interesse na exploração geofísica utilizando o método radiométrico são o Tório (^{232}Th), Urânio (^{238}U) e Potássio (^{40}K).

O isótopo ^{40}K é bastante comum em rochas ricas em potássio, que podem não estar associadas a concentrações de U e Th. O potássio pode, assim, obscurecer a presença de depósitos economicamente importantes e constitui uma forma de 'ruído' geológico nesse tipo de levantamento. (Kearey, Philip et al, 2002).

4.6. Perfuração Manual

Sondagem a trado é um método de investigação directa que utiliza o trado como ferramenta de perfuração. O trado é um tipo de amostrador de solo constituído por lâminas cortantes, que podem ser compostas por duas peças, de forma convexa (trado concha) ou única, e de forma helicoidal. A sondagem a trado não utiliza revestimento e é executada com ferramentas manuais, atravessando usualmente apenas a camada de solo de baixa resistência à perfuração (ABGE, 2013).

Uma sondagem a trado fornece informações como:

- Espessura de cada camada do solo até uma determinada profundidade;
- Profundidade da camada rochosa ou do material impenetrável ao amostrador.

CAPÍTULO V: APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

5.1. Sondagens eléctricas verticais

Foram realizadas duas SEVs e processadas que resultaram em curvas do tipo Q, interpretadas segundo o modelo de três camadas geofísicas.

5.1.1. MISEV 01

A curva intitulada MISEV 01, figura 8, corresponde ao modelo de três camadas geofísicas em que a primeira camada apresenta uma resistividade de $\rho_1=77.1 \Omega\text{m}$, espessura aproximada a 2 m interpretada como areia grosseira.

A camada intermédia de resistividade $\rho_2=17.8 \Omega\text{m}$, espessura aproximada a 7 m interpretada com areia húmida.

A última camada apresenta valores de resistividade igual a $\rho_3=4.55 \Omega\text{m}$, de espessura não determinada. A não determinação da espessura é justificada pela limitação do método. Seja como for essa foi interpretada como argila húmida (Bentonite).

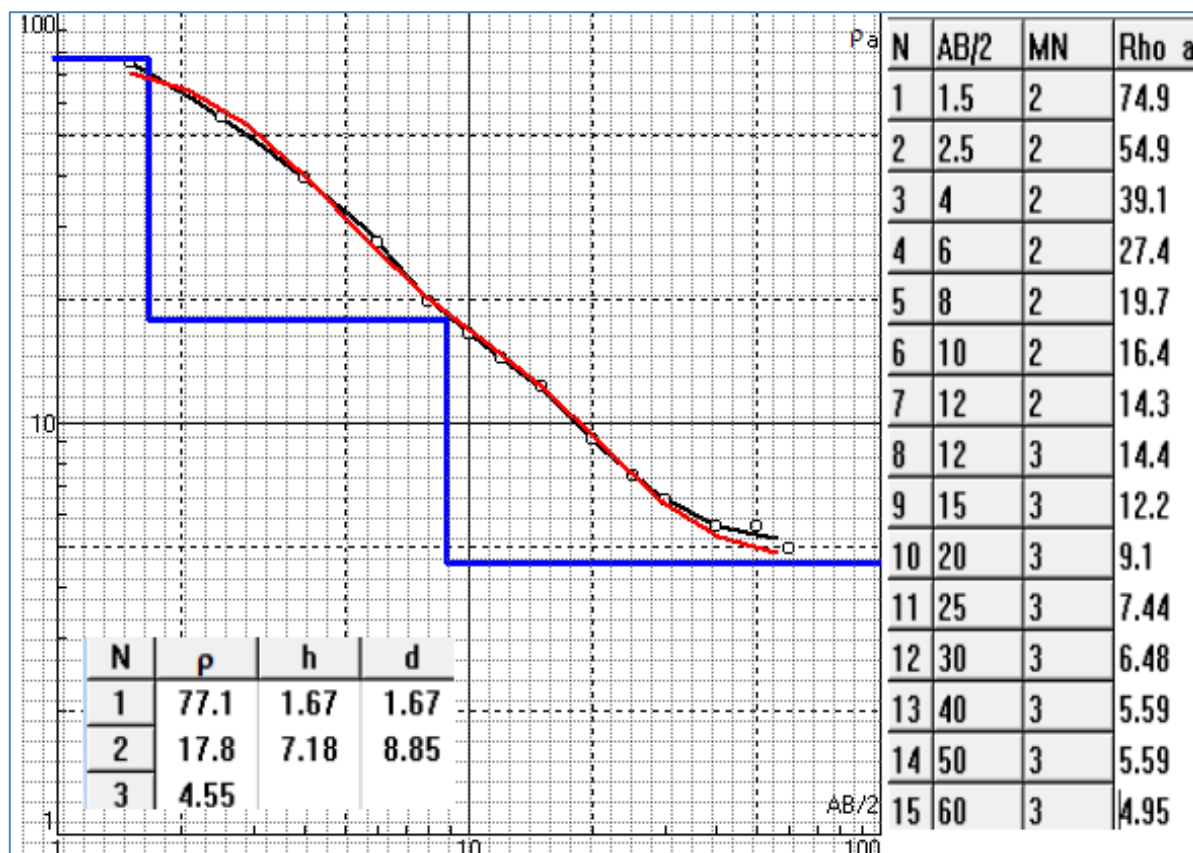


Figura 8. Curva da MISEV 01 (do tipo Q, com um RMS de 3,02%). Fonte: Autor, IP2Win.

5.1.2. MISEV 2

A curva MISEV 2, figura 9, corresponde ao modelo de três camadas geofísicas em que a primeira camada apresenta uma resistividade de $\rho_1=76.1 \Omega\text{m}$, espessura aproximada por defeito a 1 m interpretada como areia grosseira.

A camada intermédia apresenta uma resistividade de $\rho_2=21.7 \Omega\text{m}$, espessura de 9 m interpretada como areia húmida.

A última camada apresenta valor de resistividade igual a $\rho_3=4.54 \Omega\text{m}$, de espessura não determinada. A não determinação da espessura é justificada pela limitação do método. Seja como for essa foi interpretada como argila húmida (Bentonite).

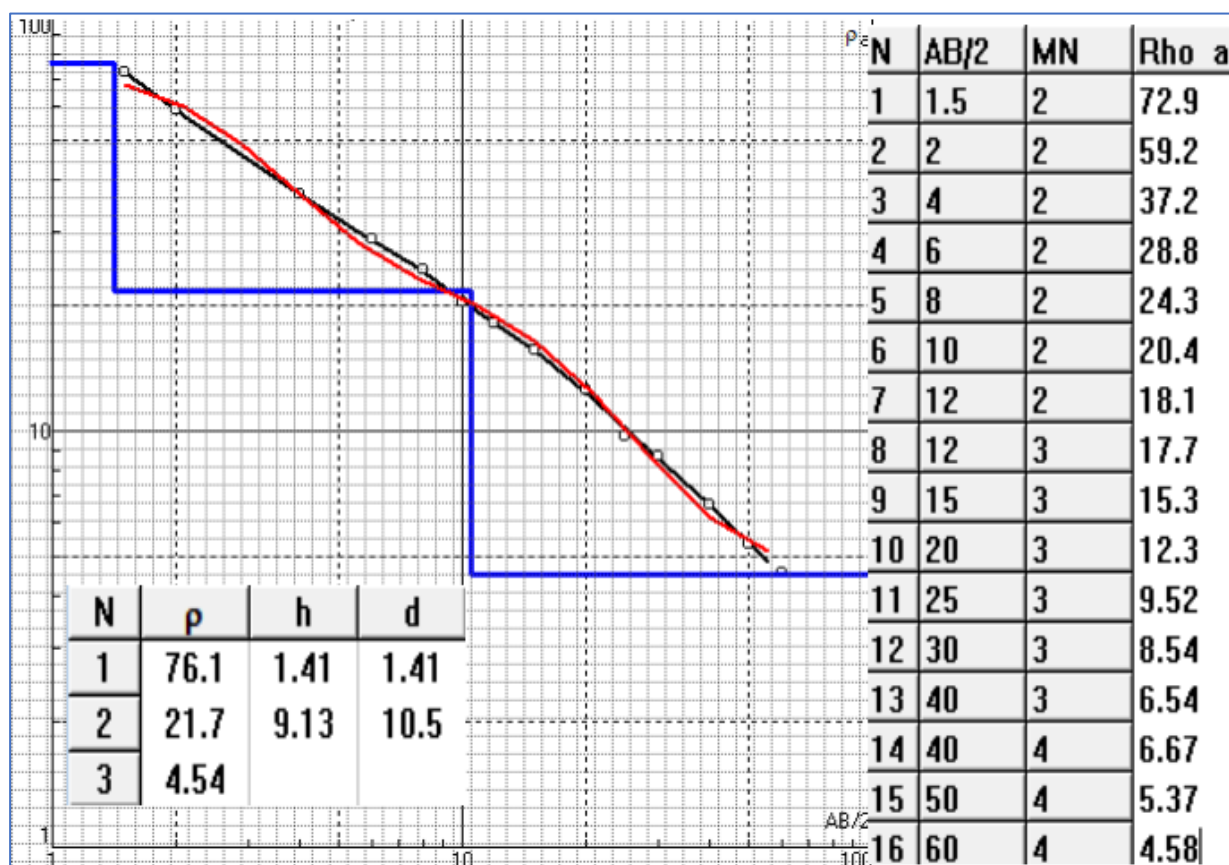


Figura 9. Curva da MISEV 2 (do tipo Q, com um RMS de 4,04%).

5.2. Tomografia de resistividade Eléctrica

5.2.1. Perfil ao longo da estrada terciária limitante da Mina (Mirt01)

O subsolo da área de estudo foi interpretado através do perfil Mirt01 segundo o modelo de três camadas geofísicas (vide figura 10), a saber:

[Camada A] - A camada possui valores de resistividade no intervalo de 14-94 Ωm com uma espessura variada e indeterminada por este método. Esta camada foi interpretada como sendo areais grosseiras alterada do embasamento riolito.

[Camada B] - Na zona intermédia do perfil, ocorrem Bentonites húmidas de resistividade no intervalo de 1-7.5 Ωm , contudo, a parte superior e inferior da camada são menos húmida e alteradas em relação a parte central que apresenta valores de resistividades mais baixos.

O topo da camada de Bentonite encontra-se entre as profundidades variadas de 8 a 10 m tendo a espessura total de 30 m aproximadamente.

[Camada C] - A camada possui valores de resistividade no intervalo de 14-94 Ωm , de espessura variada entre 8-10 m, interpretada como areias.

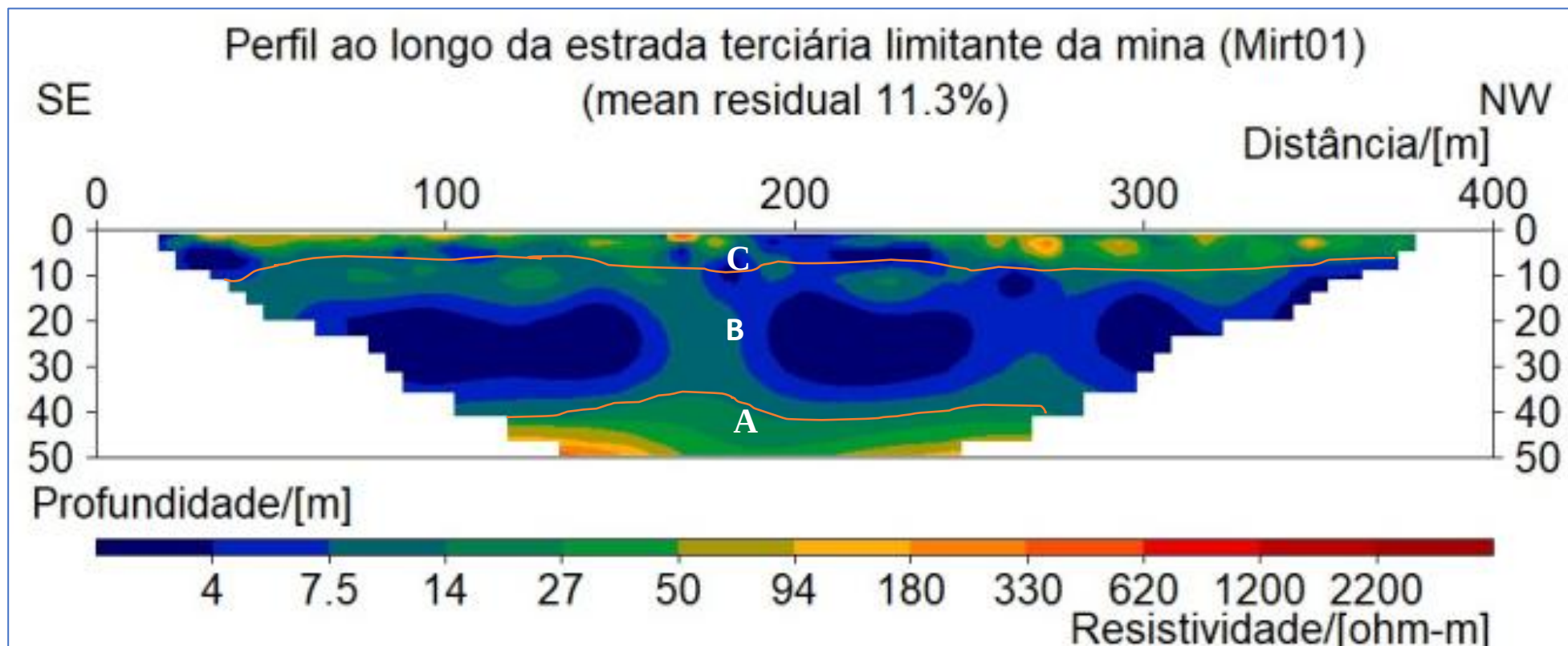


Figura 10. Pseudosecção ilustrando modelo de três camadas geofísicas, a camada da base interpretada como sendo rocha alterada do seu embasamento zona de altas resistividades, a camada intermédia foi interpretada como Bentonite, zona de resistividades baixas e a camada superficial foi interpretada como areias.

5.2.2. Perfil paralelo à linha de água no interior da Mina (G21)

O subsolo da área de estudo foi interpretado através do perfil G21 segundo o modelo de duas camadas geofísicas (vide figura 11), a saber:

[Camada A] - A camada possui valores de resistividade no intervalo de 27-180 Ωm com uma espessura variada e indeterminada por este método. Esta camada foi interpretada como sendo rocha alterada do embasamento riolítico

[Camada B] - A camada possui valores de resistividade no intervalo de 1-7.5 Ωm , de espessura variada entre 5-9 m, interpretada como argila (Bentonite). Como se pode ver na figura do anexo 9 na área em que se estabeleceu o perfil geofísico e que corresponde a parte superficial da camada B, há Bentonite húmida o que justifica os valores baixos de resistividade na camada geofísica B.

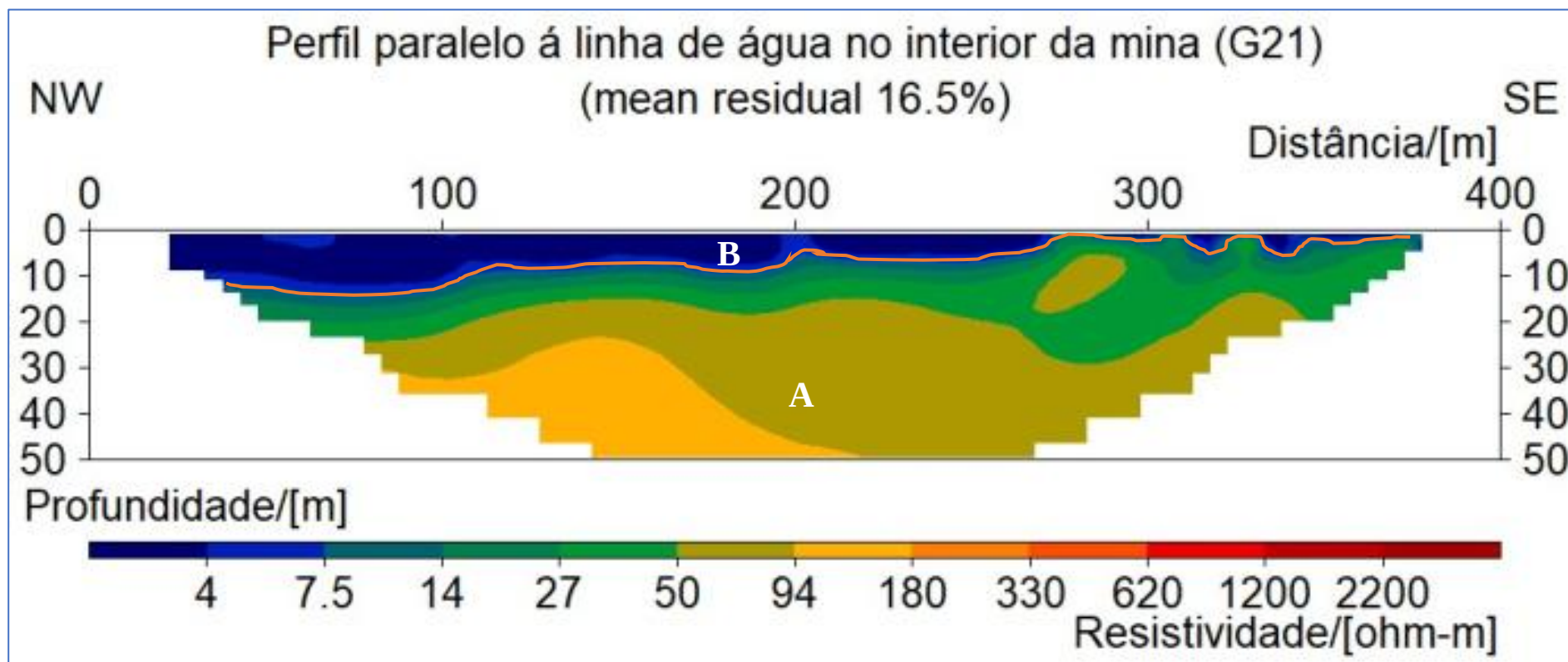


Figura 11. Pseudosecção ilustrando modelo de duas camadas geofísicas; a camada da base interpretada como sendo rocha alterada do embasamento riolítico (com valores de resistividades 27-180 Ωm), a camada superficial foi interpretada como Argilas (com valores de resistividades baixas, 1-7.5 Ωm).

5.2.3. Perfil ao longo da rua no interior da Mina (Chale1)

O subsolo da área de estudo foi interpretado através do perfil Chale1 segundo o modelo de três camadas geofísicas (vide figura 12), a saber:

[camada A] - A camada mais profunda apresenta valores altos de resistividade aparente entre [620-1200] Ωm de espessura indeterminável pela técnica geofísica. Esta camada foi interpretada como rocha riolítica sã.

[Camada B] - A segunda camada com valores de resistividade aparente entre 27-180 Ωm , de espessura variada e não determinada por este método foi interpretado como sendo rocha pouco alterada do embasamento riolítico.

[Camada C] - A camada possui valores de resistividade no intervalo de 1-7.5 Ωm , de espessura variada entre 7-9 m, interpretada como Bentonite.

Note: A parte superficial do perfil é preenchida de uma camada de areias com uma espessura não superior a 4 m.

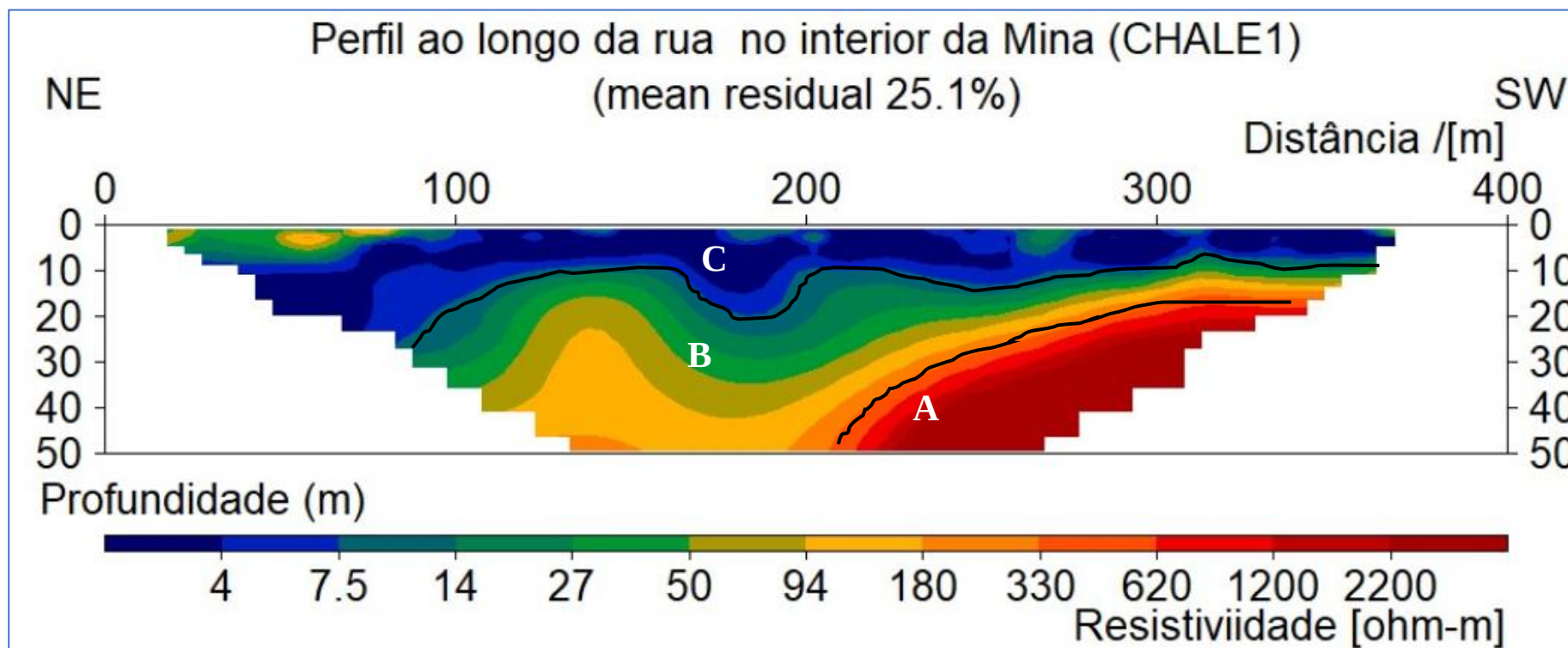


Figura 12. Pseudosecção ilustrando modelo de três camadas geofísicas; a camada da base interpretada como rocha maciça pouco meteorizada, zona de alta resistividade, a camada intermédia zona de resistividade média interpretada como rocha alterada do seu embasamento e a camada superficial de baixa resistividade interpretada como Bentonite. A parte superficial do perfil é composta por areias de espessura inferior a 5 m.

5.3. Radiometria

Medições pontuais

De um modo geral os dados radiométricos das rochas abaixo mostram que a quantidade da radiação total (dose rate) emitida pelo Riólito é maior que a radiação total emitida pela Bentonite. As concentrações dos elementos urânio e potássio são maiores no Riólito em relação à Bentonite. Contrariado a tendência, para o elemento Tório os valores de concentração são baixos no Riólito em relação à Bentonite.

Esta diferença na constituição das rochas pode ser justificada devido às alterações dos elementos resultado da combinação química.

Tabela 2. Os dados colectados em ambas litologias mostram que as maiores concentrações de K e U no Riólito em relação à Bentonite e o Th está em maiores (de um modo geral) concentrações na Bentonite em relação ao riólito.

Bentonite	Riólito	Coordenadas
1ª Medição	1ª Medição	
DR = 83.0 nSvh ⁻¹	DR = 97.2 nSvh ⁻¹	26° 2'40.26''S
K = 0.5 %	K = 0.7 %	
U = 3.1 PPM	U = 3.6 PPM	32° 14'37.26''E
Th = 17.0 PPM	Th = 17.0 PPM	
2ª Medição	2ª Medição	
DR = 81 nSvh ⁻¹	DR = 83.6 nSvh ⁻¹	26° 2'40.24''S
K = 0.4%	K = 1.2 %	
U = 1.8 PPM	U = 2.6 PPM	32° 14'37.75''E
Th = 19.0 PPM	Th = 14.3 PPM	
3ª Medição	3ª Medição	
DR = 79.0 nSvh ⁻¹	DR = 80.2 nSvh ⁻¹	26° 2'40.30''S
K = 0.4 %	K = 0.6 %	
U = 3.3 PPM	U = 4.3 PPM	32° 14'36.91''E
Th = 15.9 PPM	Th = 13.3 PPM	
4ª Medição	4ª Medição	
DR = 81.1 nSvh ⁻¹	DR = 81.1 nSvh ⁻¹	26° 2'40.25''S
K = 0.3 %	K = 0.5 %	
U = 2.4 PPM	U = 4.7 PPM	32° 14'36.62''E
Th = 14.1 PPM	Th = 15.3PPM	

5.4. Trado Manual

As amostras foram analisadas com o propósito de caracterizar o tamanho relativo dos grãos, de acordo com os princípios de classificação sedimentar propostos por Krumbein e Sloss (1963).

5.4.1. Trado 1

O Trado 1 foi realizado na latitude 26° 2'46,29'' S e longitude 32° 14'33,71'' E. Durante a sondagem, foram coletadas três amostras de solo:

A primeira amostra, da superfície até 1,5 m de profundidade, consistiu em argila escura, bastante rica em matéria orgânica.

A segunda amostra, coletada entre 1,5 m e 2 m de profundidade, foi caracterizada como argila arenosa.

A terceira amostra, da profundidade de 2 m até 3 m, apresentou argila escura húmida.

5.4.2. Trado 2

O Trado 2 foi realizado na latitude 26° 2'46,17'' S e longitude 32° 14'32,64'' E. A primeira amostra, coletada da superfície até 0,60 m de profundidade, apresentou argila rica em matéria orgânica. Não foi possível coletar a amostra 2 sendo um maciço.

5.4.3. Observações sobre as amostras

Todas as amostras coletadas foram analisadas com o objetivo de descrever o tamanho relativo dos grãos e caracterizar as camadas de solo presentes. Esta análise permite compreender a granulometria e a composição física dos solos, fornecendo informações importantes para o mapeamento geológico e a interpretação da formação do jazigo estudado.

CAPÍTULO VI: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. Análise Integrada dos Métodos de Resistividade, Trado Manual e Radiometria

A investigação geofísica realizada na Mina de Namaacha revelou diferenças significativas na capacidade de cada método em mapear e caracterizar as camadas de bentonite, evidenciando limitações e complementaridades entre os métodos aplicados.

Resistividade Elétrica

Os dados unidimensionais obtidos pelas sondagens MISEV 1 e MISEV 2 atingiram profundidades máximas de 10,5 m, porém não foram suficientes para determinar a espessura total da bentonite, evidenciando uma limitação típica da abordagem unidimensional. Em contrapartida, os dados bidimensionais provenientes da Tomografia de Resistividade Elétrica (TRE) forneceram informações mais detalhadas. Por exemplo, o perfil MIRT01 revelou que a bentonite ocorre a profundidades entre 8 e 10 m, com espessura estimada em cerca de 30 m. Os perfis G21 e Chale1, situados em áreas superficiais, indicaram camadas de bentonite com espessura variável e inferior a 10 m, demonstrando heterogeneidade espacial do depósito. A análise correlacionada dos afloramentos na mina evidenciou um padrão de aumento da profundidade da bentonite à medida que se desloca para nordeste, confirmando a necessidade de levantamento bidimensional para identificar corretamente a distribuição vertical e lateral do minério.

Trado Manual

O trado manual foi utilizado para discriminar as camadas superficiais em áreas de aluvião, atingindo profundidades de até 3 m. Embora limitado a zonas rasas, o trado forneceu informações importantes sobre a estratigrafia inicial e a textura do solo, servindo como referência direta para validar os resultados das medidas de resistividade na parte superficial. Esta correlação permitiu confirmar a presença de bentonite em camadas mais próximas à superfície, complementando os dados da TRE, que indicam profundidades maiores.

Radiometria

O método radiométrico, aplicado para medir a taxa de contagem da radiação natural (K, U e Th), demonstrou facilidade operacional em campo e diferenciou de forma clara os perfis do riolito e da

bentonite, registrando valores de K e U mais elevados no riolito em relação à bentonite. Contudo, sua aplicação mostrou-se limitada para o objetivo principal do estudo, que é determinar a espessura e a distribuição espacial da bentonite, devido à baixa profundidade de penetração do equipamento ($\leq 0,3$ m). Dessa forma, a radiometria forneceu dados complementares sobre a composição química das camadas superficiais, mas não foi adequada para caracterizar a extensão vertical do jazigo.

Correlação entre os métodos

A análise integrada evidencia que os métodos se complementam. A TRE forneceu informações robustas sobre profundidade e continuidade das camadas de bentonite, enquanto o trado manual validou a presença do minério em camadas superficiais, oferecendo dados diretos sobre a estratigrafia. Já a radiometria contribuiu com informações sobre a composição química, auxiliando na diferenciação de litologias, mas com limitação significativa em profundidade. A integração dos resultados permite uma visão mais completa do jazigo: os dados superficiais do trado e da radiometria corroboram a interpretação da TRE, enquanto a TRE é essencial para identificar camadas profundas e estimar sua espessura real.

Conclusão

Portanto, a combinação de técnicas geofísicas e diretas é fundamental para caracterizar com precisão os depósitos de bentonite. A TRE se destaca como método principal para mapeamento de profundidade e espessura, o trado manual como ferramenta de validação superficial e a radiometria como indicador de composição química, mostrando que cada técnica possui papel específico, mas que a interpretação integrada maximiza a confiabilidade das informações sobre a bentonite na Mina de Namaacha.

CAPÍTULO VII: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Após a realização do presente Projecto Científico chegou-se as seguintes conclusões:

- Eficiência dos métodos geofísicos: A Tomografia de Resistividade Elétrica (TRE) mostrou-se o método mais eficaz na identificação da bentonite em profundidade, permitindo estimar a espessura e a continuidade das camadas, enquanto a Sondagem Elétrica Vertical (SEV) unidimensional é limitada na resolução lateral e não permite determinar completamente a espessura do depósito.
- Complementaridade entre métodos diretos e indiretos: O trado manual, apesar de atuar apenas em pequenas profundidades, forneceu informações valiosas sobre a estratigrafia superficial, confirmando e complementando os dados obtidos pelas técnicas geofísicas. A integração desses métodos é essencial para aumentar a confiabilidade das interpretações geológicas.
- Limitações do método radiométrico: A radiometria foi útil para identificar diferenças na composição química entre bentonite e riolito em superfície, mas mostrou-se insuficiente para determinar a profundidade e espessura do minério devido à sua baixa penetração ($\leq 0,3$ m), demonstrando que este método sozinho não é adequado para o mapeamento completo do jazigo.

7.2. Recomendações

Com vista a aprimorar a fiabilidade dos resultados e as interpretações apresentadas neste projecto científico, recomenda-se:

- Adotar a Tomografia de Resistividade Elétrica (TRE) como método principal para determinar com precisão a profundidade, espessura e continuidade das camadas de bentonite.
- Que se testem os pontos sugeridos pela Tomografia de Resistividade Elétrica e aprofundadas por técnicas como sondagens mecânicas (profundas) para obtenção da informação estratigráfica.

- Aprimoramento da radiometria como ferramenta de controle litológico e elaboração de mapas geoquímicos superficiais contínuos.

CAPÍTULO VIII: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEM. (2010). ABEM Terrameter SAS 4000/ SAS 1000, User Manual. ABEM Instrument AB, Sundbyberg, Sweden, 148 pgs.
- ABGE. (2013). Manual de Sondagens - Boletim n. 3 (5ª edição). SP, Brasil.
- AFONSO, R. S., Marques, J. M., & Ferrara, M. (1998). A evolução geológica de Moçambique. Instituto de Investigação Científica Tropical, Lisboa; Direcção Nacional de Geologia, Maputo.
- BARRADAS, Lerenio. (1962). Esboço Agrológico do Sul de Moçambique, Serviços de Agricultura e Florestas, Instituto de Investigação Científica de Moçambique, Lourenço Marques.
- BOLEO, José de Oliveira. (1950). Geografia Física de Moçambique, Lisboa.
- BRAGA, A. C. O. (2006). Métodos da electrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, São Paulo, Brasil.
- BRAGA, A. C. O. (2007). Métodos geoelectricos aplicados: módulo hidrogeologia. Universidade Estadual Paulista, UNESP/Campus de Rio Claro.
- CARVALHO, Jorge Dias De. (1968). Esquema do Umbelizi, barragem dos Pequenos Libombos, Lourenço Marques, Direcção Provincial dos Serviços Hidráulicos de Moçambique.
- CARVALHO, Jorge Dias De. (1974). Monografia da Bacia do Umbeluzi, Lourenço Marques.
- FERREIRA, H. C., SILVA, S. R. V. (2008). Argilas betónicas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais. REMAP, V3,2.
- FREITAS, Fernando. (1974). Hidrologia do Sul do Save, Lourenço Marques.
- GTK, CONSORTIUM. (2006). Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250000. Direcção Nacional de Geologia, Volume I, Maputo.
- KEAREY, Philip, et al. (2002). Geofísica de Exploração, Oficina de Textos, 422 pgs.
- KRUMBEIN, W. C.; SLOSS, L. L. Stratigraphy and Sedimentation. San Francisco: W. H. Freeman, 1963.

- LÄCHELT, S. (2004). Geology and Mineral Resources of Mozambique. Direcção Nacional de Geologia, Maputo, Moçambique.
- LOKE, M. H. (1999). Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.
- LOUREIRO, J. J. Mimoso. (1969). Monografia da Bacia do Tembe, Lourenço Marques.
- LOPES, M. E. S. (1979). A Bacia do Rio Umbeluzi (Moçambique), Estudos Geomorfológicos, Lisboa.
- MENEZES, R. R., SOUTO, P. M., SANTANA, L. N. L., NEVES, G. A., KIMINAMI, R. H. G. A., FERREIRA, H. C. (2009). Argilas betónicas, Cubati, Paraíba, Brasil: caracterização física mineralógica. Cerâmica, Vol. 55, Nº 334, São Paulo.
- MINISTÉRIO DO AMBIENTE. (2012). Perfil Ambiental e Mapeamento do Uso Atual da Terra nos Distritos da Zona Costeira de Moçambique, Província de Maputo.
- MUCHANGOS, Amadeu Dos. (1991). Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais. Edição do Autor.
- MUCHANGOS, Amadeu Dos. Mineralogy and geochemistry of Bauxite and Bentonite deposits from Mozambique.
- PIRES, Elizete Márcia Pinto. (1995). Monografia do Distrito de Namaacha, UEM - Dpto. de Geografia, Maputo.
- MOURA, A. R. (1974). Notícia explicativa da parte sedimentar do grau quadrado 1340 (relatório inédito). Serv. Geol. Minas, Lourenço Marques.
- MOURA, A. R., & OBERHOLZER, W. F. (1969). Carta Geológica de Moçambique, folha Sul-G-36/0, Serviços de Geologia e Minas de Moçambique, Lourenço Marques.
- NUNES, A. de Figueiredo. (1959). Carta Geológica Provisória de Moçambique, Folha Sul-G36/I, Lourenço Marques.
- NEUMANN, A. G., GESSNER, F., CIONE, A. P. P., ARTOR, R. A., CAVALHEIRO, C. C. S. (2000). Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa. Química Nova, 23(6).

- PINTO, L. G. R., OLIVEIRA, C. E. S. de, FARIA, B. M., & ANDRADE, J. B. F. (2013). Estudos geoeletricos (Sondagem Vertical e Caminhamento Elétrico) em Sedimentos Aluvionares do Rio Madeira - Município de Porto Velho-RO.
- SALMAN, G., & ABDULA, I. (1995). Development of the Mozambique and Ruvuma sedimentary basins.

9. Anexos

Anexo 1. Dados da SEV intitulada MISEV 01.

MISEV 1			
Coordenadas		Elevação	
S 26° 2' 43"		50 m	
E 032°14' 43"			
C1C2	P1P2	Resist. Aparente (Ohm.m)	
AB/2	(MN/2)/2	ρ_a	Desvio padrão %
1,5	0.5	74.881	0.036
2,5	0.5	64.954	0.073
4	0.5	44.529	0.097
6	0.5	30.659	0.226
8	0.5	19.675	0.368
10	0.5	15.659	1.02
12	0.5	14.794	1.2
12	1.5	17.227	0.435
15	1.5	12.200	0.483
20	1.5	9.101	0.066
25	1.5	8.3782	0.873
30	1.5	10.92	1.01
40	1.5	7.58	1.44
40	2.5	5.6907	0.178
50	2.5	6.78	0.178
60	2.5	5.309	0.99

Anexo 2. Dados da SEV MISEV 02 em Mafuiane.

MISEV 2			
Coordenadas		Elevação	
S 26° 2' 39.90"		50 m	
E 032°14' 40.28"			
C1C2	P1P2	Resist. Aparente (Ohm.m)	
AB/2	(MN/2)/2	pa	Desvio padrão
1,5	0.5	24.673	0.049
2,5	0.5	12.681	0.065
4	0.5	6.1465	0.045
6	0.5	5.5448	0.037
8	0.5	6.4767	0.061
10	0.5	6.7473	0.02
12	0.5	6.7488	0.212
12	1.5	6.6236	0.417
15	1.5	6.0368	0.331
20	1.5	5.2310	0.312
25	1.5	7.309	2.44
30	1.5	6.7151	1.03
40	1.5	8.7962	3.53
40	1.5	7.417	3.19
50	1.5	7.968	2.67
60	1.5	15.56	3.65

Anexo 3. Dados da SEV 1 em Mafuiane

SEV1			
Coordenadas		Elevação	
S 26° 2’ 45"		50 m	
E 032 14’ 31"			
C1C2	P1P2	Resist. Aparente (Ohm.m)	
AB/2	(MN/2)/2	ρa	Desvio padrão
1,5	0.5	15.47	0.049
2,5	0.5	12.681	0.065
4	0.5	11.531	0.045
6	0.5	9.1693	0.037
8	0.5	5.556	0.061
10	0.5	5.653	0.02
12	1.5	5.7318	0.212
15	1.5	3.8726	0.417
15	1.5	3.8372	0.331
20	1.5	2.711	0.312
20	1.5	2.4768	2.44
25	1.5	2.8117	1.03
30	1.5	1.3967	3.53
40	2.5	2.4283	3.19
50	2.5	3.4345	2.67
60	2.5	3.076	3.65

Anexo 4. Coordenadas da Tomografia de Resistividade Eléctrica (Mirt01).

k\

Perfil ao longo da estrada terciária limitante da Mina (Mirt01)					
Coordenadas	Extremo Inicial	1ª Estação	2ª Estação	3ª Estação	Extremo final
Longitude	32° 14'43.32"E	32° 14'41.6"E	32° 14'40.06"E	32° 14'38.26"E	32° 14'36.57"E
Latitude	26° 2'44.92"S	26° 2'42.09"S	26° 2'39.50"S	26° 2'36.65"S	26° 2' 33.71"S

Anexo 5. Coordenadas da Tomografia de Resistividade Eléctrica (CHALE 1).

Perfil ao longo da Rua no interior da Mina (CHALE 1)					
Coordenadas	Extremo Inicial	1ª Estação	2ª Estação	3ª Estação	Extremo final
Longitude	32° 14'39.8"E	32° 14'36.7"E	32° 14'33.5"E	32° 14'30.3"E	32° 2'27.2"E
Latitude	26° 02'43.5"S	26° 02'45.1"S	26° 2'46.7"S	26° 02'48.1"S	26° 02' 49.7"S

Anexo 6. coordenadas da Tomografia de Resistividade Eléctrica (G21).

Perfil paralelo a linha de agua no interior da Mina (G21)					
Coordenadas	Extremo Inicial	1ª Estação	2ª Estação	3ª Estação	Extremo final
Longitude	32°14'31.74"E	32°14'32.09"E	32°14'32.43"E	32°14'32.75"E	32°14'33.09"E
Latitude	26° 2'35.84"S	26° 2'39.13"S	26° 2'42.34"S	26° 2'45.53"S	26° 2'48.79"S

Anexo 7. Imagem ilustrando o material usado na técnica de resistividade em duas dimensões. 1-eletrodos; 2-resistivímetro; 3-rolos de cabo 100 m; 4-cabos conectores; 5-selecionadores de eléctrodos; 6-conectores banana.



Anexo 8. Afloramento no interior da mina mostrado o Riolito em contacto com a camada de Bentonite.



Anexo 9. Fotografia retirada na estação da SEV 1.



Anexo 10. Fotografia retirada na estação um, na realização da Tomografia De Resistividade Eléctrica. Perfil G21.



Anexo 11. Fotografia retida no momento da medição da taxa de contagem de radiação na Bentonite no interior da mina usando o Radiometro RS-125.



Anexo 12. Fotografia retirada na realização do Trado 1.

