



FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOLOGIA APLICADA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DA BENTONITE DA MINA  
DE MAFUIANE DO DISTRITO DE NAMAACHA, PROVÍNCIA DE MAPUTO**

**Autora:**

Ester de Sousa Alves Lourenço.

**Supervisores:**

Prof. Doutor Estêvão Sumburane (UEM)

Lic. Gertrudes Jochua Gomane (INAMI)

*Maputo, Janeiro de 2024*

RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E MINERALÓGICA DA BENTONITE DA MINA  
DE MAFUIANE DO DISTRITO DE NAMAACHA, PROVÍNCIA DE MAPUTO**

**Autora:**

Ester de Sousa Alves Lourenço.

**Supervisores:**

Prof. Doutor Estêvão Sumburane (UEM)

Lic. Gertrudes Jochua Gomane (INAMI)

*Maputo, Janeiro de 2024*

## Dados Gerais da Estagiária e do Local de Estágio

### Dados da Estagiária

Nome: Ester de Sousa Alves Lourenço  
Registo Académico: 20192932  
Curso: Geologia Aplicada  
Supervisor: Prof. Doutor Estêvão Sumburane

### Dados do Local de Estágio

Empresa: Instituto Nacional de Minas (INAMI)  
Supervisor: Lic. Gertrudes Jochua Gomane

Autora:

---

(Ester de Sousa Alves Lourenço)

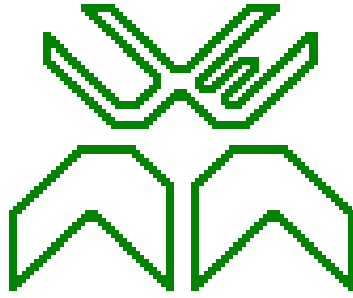
Supervisores

---

(Estêvão Sumburane)

---

(Gertrudes Jochua Gomane)



### **Declaração sob compromisso de Honra**

*Declaro por minha honra, que o presente relatório de estágio é da minha autoria, em cumprimento dos requisitos para a obtenção do grau de licenciatura em Geologia Aplicada, tendo usado os recursos aos quais faço referência ao longo do texto, e que constitui o resultado da minha investigação pessoal. O presente relatório nunca foi apresentado para avaliação, ou para atribuição de qualquer grau académico em nenhuma outra instituição, nem para qualquer outro propósito.*

## Dedicatória

*Mas Deus escolheu as coisas loucas deste mundo para confundir as sábias; e Deus escolheu as coisas fracas deste mundo para confundir as fortes. E Deus escolheu as coisas vis deste mundo, e as desprezíveis, e as que não são para aniquilar as que são; para que nenhuma carne se glorie perante ele.*

***1 Coríntios 1: 27-29***

## **Agradecimentos**

Em primeiro lugar agradeço imensamente ao meu Senhor e Bondoso Deus, que ao longo da minha vida me presenteou com a Sua Graça, e por causa Dela, cheguei aqui; por iluminar e guiar o meu caminho, me dando Sabedoria para prosseguir e força para continuar a lutar a cada dia que passa, prosseguindo para o Alvo.

Agradeço também aos meus pais António Armando Alves Lourenço e Ana Rosa de Sousa, e meus irmãos Valdo Alves de Sousa Lourenço e Raquel de Sousa Alves Lourenço Vuvu e ao meu cunhado Adilson Vuvu pelo apoio e suporte ao longo de todos estes anos. Aos amigos e familiares que sempre deram-me suporte, que directa ou indirectamente contribuiu para que eu chegasse aqui.

Aos meus dois supervisores, Prof. Doutor Estêvão Sumburane (UEM) e dra. Gertrudes Jochua Gomane (INAMI), que apoiaram-me ao longo deste trabalho com grande sabedoria recorrendo à grande capacidade que têm em transmitir as suas ideias e conhecimento. Agradeço também a Dra. Carolina pelo apoio nesta jornada no Laboratório e a todos os colaboradores do INAMI que me apoiaram bastante. A todos os Docentes e trabalhadores da UEM eu agradeço de coração.

Agradeço também ao Eric Carlos pelo apoio e pelos conselhos ao longo do meu percurso académico. Agradeço também, aos vários amigos e colegas da faculdade como Carcénia, Olga, Carmona, os The Five, toda a turma de 2019, que me ajudaram, não só com o esclarecimento de determinadas dúvidas mas também pelos incentivos que me dispensaram, e pelos belos momentos que irei carregar como lembrança ao longo da minha jornada. Agradeço as minhas melhores amigas Shizney, Shirley e Anika por todo suporte ao longo desta caminhada.

Agradeço também aos colegas do estágio: Denise, Maisha, Adélia, Vera, Nenésio, Cohene e Alexandre pelo suporte e ensinamento ao longo do estágio, pois pude trabalhar em equipe e aprender sobre diferentes áreas no Laboratório.

Ao Eng. Chale, a Idalma e a todos os colaboradores da Empresa MIMOC, por me abrirem as portas e me darem a oportunidade de contribuir de forma positiva na Empresa e adquirir conhecimentos sólidos sobre a área de Mineração, pois os ensinamentos serviram de força motriz na materialização deste relatório.

Aos amigos da Igreja, e as pessoas que fui conhecendo ao longo da vida que acreditaram e acreditam em mim e que querem ver o meu crescimento académico.

A todos que de forma directa ou indirecta, perto ou longe me deram suporte nesta jornada, o meu muitíssimo obrigada.

## **Resumo**

O presente trabalho apresenta o relatório de Estágio Profissional realizado no intuito de obtenção do grau de Licenciatura em Geologia Aplicada pela UEM.

A responsável pelo acompanhamento das actividades realizadas pela estagiária por parte da empresa foi a Lic. Gertrudes Jochua Gomane, e por parte da Universidade foi o Prof. Doutor Estêvão Sumburane.

Durante um período de 6 meses, a estagiária foi parte integrante da equipa do Laboratório de Geologia, especializado em projectos nas mais diversas áreas de mineração e ensaios laboratoriais.

As actividades desenvolvidas pela estagiária consistiram na elaboração de um relatório que tinha como principal objectivo a caracterização da bentonite em diferentes parâmetros, e a melhoria de qualidade da mesma. Consistiu também, em um trabalho de campo feito na mina e obedecendo os critérios de amostragem, monitorados pela empresa MIMOC e a posterior, ensaios laboratoriais monitorados pelo INAMI.

Todas estas actividades realizadas estiveram sob orientação de ambos supervisores, e também auxiliadas por profissionais experientes e qualificados, que fazem parte da empresa.

A motivação da escolha do estágio profissional teve como principal propósito, a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

Para além disso, ajudou a conhecer o mercado de trabalho na área de Geologia e Mineração.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Local do Estágio.....	1
1.1.1. Perfil da Empresa.....	1
1.1.2. Serviços da Empresa.....	1
1.1.3. Visão, Missão e Valores.....	2
1.1.4. Estrutura Organizacional do Laboratório de Geologia.....	3
2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	4
3. RELEVÂNCIA DO PROJECTO.....	5
4. SUMÁRIO.....	6
4.1. OBJECTIVOS.....	6
4.1.1. Objectivo geral:.....	6
4.1.2. Objectivos específicos:.....	6
5. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	7
6. REVISÃO DA LITERATURA.....	8
6.1. Argilas e Argilominerais.....	8
6.1.1. Classificação Estrutural dos Argilominerais.....	9
6.1.2. Formação dos argilominerais.....	10
6.1.3. Purificação dos argilominerais.....	10
6.2. Bentonite.....	11
6.2.1. Tipos de Bentonite.....	12
6.2.2. Principais Características da Bentonite e sua Classificação.....	13
6.2.3. Características Mineralógicas da Bentonite.....	14
6.2.4. Aplicações da Bentonite.....	15
6.3. Estrutura da Montmorilonite.....	16
6.3.1. Efeitos das Impurezas na Qualidade da Bentonite.....	17
6.3.2. A Sílica na Bentonite.....	18
7. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	19
7.1. Enquadramento Geográfico.....	19
7.1.1. Clima e Hidrografia.....	20
7.1.2. Relevo e Solos.....	20
7.1.3. Vegetação.....	21
7.2. Geologia Regional.....	21
7.3. Geologia Local e pontos de amostragem.....	23
7.3.1. Geologia dos depósitos de bentonite.....	25
7.3.2. Geoquímica das bentonites.....	25



8. PARTE EXPERIMENTAL.....	28
8.1. Preparação das amostras .....	28
8.1.1. Caracterização mineralógica por DRX .....	28
8.1.2. Caracterização química por XRF .....	32
8.1.3. Determinação do teor de humidade. ....	34
8.1.4. Determinação do pH .....	37
9. CONCLUSÕES .....	41
10. RECOMENDAÇÕES .....	42
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

## **Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos**

**°C** - Graus Célsius

**Cm** - Centímetro

**CTC** - Capacidade de troca catiónica

**DRX** - Difraccão por raio-X

**Fig.** - Figura

**FRX** - Fluorescência de raio-X

**g** - Grama

**H** - Humidade

**Kg** - Quilograma

**m** - Metro

**min** - Minuto

**ml** - Mililitro

**MMT** - Montmorilonite

**MEV** - Microscopia eletrônica de varredura

**µm** - Micrómetro

**nm** - Nanómetro

**Nº** - Número

**N** - Norte

**NE** - Nordeste

**P** - Peso

**pH** - Potencial hidrogeniônico

**PDF**- (International Center for Diffraction Data)

**UEM** - Universidade Eduardo Mondlane

**S** - Sul

**SW** - Sudoeste

**T** - Temperatura

## Lista de figuras.

<b>Figure 1:</b> Diagrama esquemático das folhas tetraédricas e octaédricas; Fonte: Rodrigues 2020. ....	9
<b>Figure 2:</b> Difractogramas de raios-X de amostras da argila K (bruta) e da fração < 2µm após peneiramento; (E = esmectite, Q = quartzo, F = feldspato); Adaptada por Neto & Neto 2009.....	11
<b>Figure 3:</b> Representação esquemática da estrutura da montmorillonite; Fonte: Rodrigues 2020. ...	16
<b>Figure 4:</b> Mina de bentonite de Mafuiane; Fonte: Autora, 2024. ....	19
<b>Figure 5:</b> Mapa de Localização Geográfica da área de estudo; Fonte: Autora, 2024.....	20
<b>Figure 6:</b> As unidades geológicas aqui apresentadas constituem parte da Formação vulcânica do Alto Karoo de idade Liássica. É alongado aproximadamente N-S e é caracterizado principalmente por rochas vulcânicas, riolitos e basaltos, que recobrem os sedimentos mais antigos do Karoo.....	22
<b>Figure 7:</b> Mapa da área de estudo e pontos de amostragem; Fonte: Autora, 2024.....	24
<b>Figure 8:</b> Imagem ilustrativa dos gráficos das rochas-mãe riolíticas e seus produtos alterados nos diagramas A-CN-K e A-CNK-FM (em base molar); Fonte: Muchangos, 2000.....	27
<b>Figure 9:</b> Amostras de bentonite quarteadas; A: Amostra BPCS; B Amostra BPSS; C: Amostra BBCS; D: Amostra BBSS; Fonte: Autora 2024. ....	28
<b>Figure 10:</b> Resultado da DRX da amostra 1 (BPCS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT.....	30
<b>Figure 11:</b> Resultado da DRX da amostra 2 (BPSS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT.....	30
<i>Figure 12: Resultado da DRX da amostra 3 (BBCS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT. ....</i>	31
<i>Figure 13: Resultado da DRX da amostra 4 (BBSS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT. ....</i>	31
<b>Figure 14:</b> Preparação das amostras de bentonite para a análise de FRX; A: Após a preparação de 1g de amostra e 10g de fundente, as amostras foram introduzidas em frascos; B: As amostras foram prensadas em um equipamento adequado para a introdução das mesmas no equipamento; C: Amostras prontas para serem analisadas; D: Amostras introduzidas ao equipamento; Fonte: Autora, 2024....	33
<b>Figure 15:</b> Materiais a serem utilizados para a análise do teor de humidade; Fonte: Autora 2024..	36
<b>Figure 16:</b> Imagem ilustrativa dos equipamentos utilizados para a análise; A: equipamento para aleitura do pH; B: Leitura da amostra líquida; C: Leitura da amostra sólida dissolvida em água destilada; Fonte: Autora, 2024.....	40

## **1. INTRODUÇÃO**

O estágio profissional é a fase inicial e crucial de qualquer carreira, é o elo de ligação entre a vida estudantil e a vida profissional, onde todos os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso são colocados em prática em um ambiente de trabalho. Um dos grandes objectivos da realização de um estágio profissional é a aproximação gradual e sólida ao mercado de trabalho. Este é um meio fundamental para a aquisição de uma maior experiência e percepção do modo de funcionamento desta nova realidade para um estudante finalista. O relatório de estágio é um documento que regista as actividades desenvolvidas pelo estudante durante o estágio, permitindo assim se ter uma visão dos trabalhos feitos, conhecimentos e experiência adquirida.

### **1.1.Local do Estágio**

O Estágio Profissional foi realizado no Instituto Nacional de Minas (INAMI), no Laboratório de Geologia, localizado em Maputo, Av: General Sebastião Marcos Mabota, por um período de 6 meses.

#### **1.1.1. Perfil da Empresa**

O Instituto Nacional de Minas (INAMI) foi criado pela Lei 20/2014, de 18 de Agosto (Lei de Minas), como pessoa colectiva de direito público dotada de personalidade jurídica, com autonomia administrativa e financeira, e é tutelado pelo Ministro que superintende a área dos Recursos Minerais. Iniciou as suas actividades em Outubro de 2015. É a autoridade reguladora da actividade mineira, responsável pelas directrizes para a participação do sector público e privado na pesquisa, exploração, tratamento, exportação e importação de produtos mineiros e seus derivados.

#### **1.1.2. Serviços da Empresa**

O INAMI tem como serviços essenciais:

- Licenciamento da actividade mineira;
- Realização das actividades de prospecção, pesquisa e investigação de recursos minerais;
- Mapeamento geológico sistemático, elaboração e publicação das respectivas cartas e notícias explicativas;
- Promoção, apoio e controlo em coordenação com outras instituições da actividade mineira;
- Levantamento de dados geomagnéticos;
- Monitoria de eventos sísmicos;
- Prestação de serviços de assistência técnica e tecnológica às entidades públicas e privadas, no domínio geológico mineiro;
- Realização de análises e ensaios laboratoriais de materiais geológicos e outros;
- Classificação e certificação de produtos minerais;
- Asseguração da observância das normas de qualidade aplicáveis nos laboratórios;

- Avaliação económica dos materiais geológicos e emissão dos respectivos pareceres;
- Prestação de serviços laboratoriais em apoio à actividade de investigação geológico-mineira e a qualquer organismo incluindo a mineração artesanal e de pequena escala;
- Criação e gerenciamento do banco de dados sobre a informação laboratorial;
- Emissão de parecer sobre o estabelecimento de outros laboratórios para a área mineira; e
- Execução das demais funções que lhe sejam superiormente determinadas.

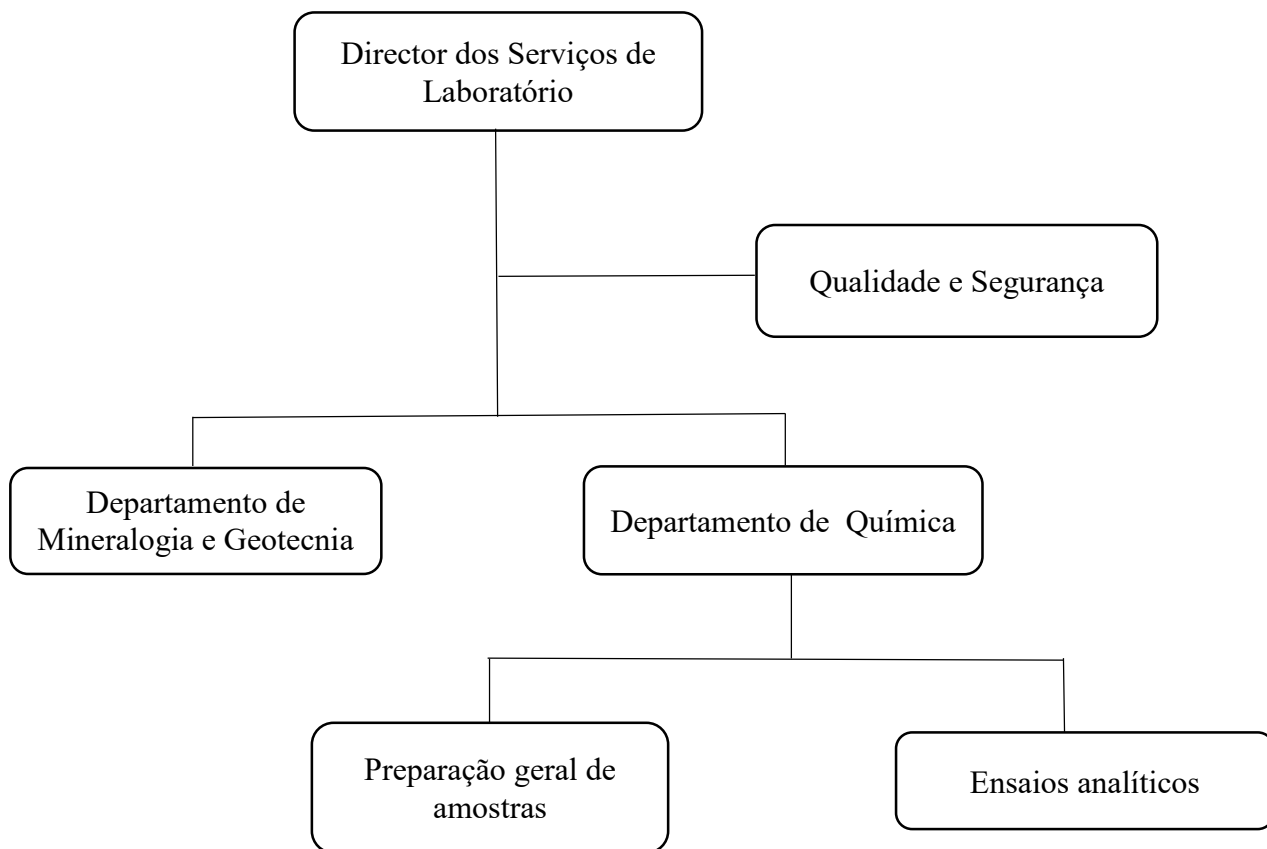
### **1.1.3. Visão, Missão e Valores**

**Visão:** contribuir na área de geociências para que a indústria extractiva se coloque na vanguarda de desenvolvimento sustentável do País.

**Missão:** dinamizar e otimizar o processo de licenciamento mineiro e conduzir a pesquisa científica, tecnológica em geociências de elevada qualidade que promova o conhecimento e uso sustentável do potencial geológico mineiro de Moçambique.

**Valores:** integridade, transparência, profissionalismo e excelência.

#### 1.1.4. Estrutura Organizacional do Laboratório de Geologia



*Fluxograma 1: Estrutura Organizacional do Laboratório de Geologia.*

## 2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A bentonite é uma mistura de material geológico, constituída essencialmente por um argilomineral montmorilonítico (esmectítico), podendo conter outros minerais argilosos em maior ou menor percentagem (Silva et al., 2008). Por causa das suas excelentes propriedades coloidais, ela é aplicada em diferentes áreas tais como:

- ✓ Sondagens (execução de furos de água e de pesquisa geológica);
- ✓ Fundição;
- ✓ Selagem /Revestimento de barragens e pequenas represas e diques;
- ✓ Controle ambiental;
- ✓ Cerâmica;
- ✓ Agricultura (melhoria de solos arenosos);
- ✓ Alimentação animal (para eliminação de toxinas de alimentos);
- ✓ Indústria de vinho (como clarificante);
- ✓ Indústria de cosméticos;
- ✓ Furos de água.

A cristobalite, um mineral não esmectítico, e por sua vez considerada uma impureza para a bentonite é considerada nociva à saúde humana. A agência internacional investigadora de Cancro, citada por Onal et al. (2007), declarou potencialmente carcinogénico o pó de todas as formas polimórficas da sílica cristalina com tamanho inferior a 5 µm. A purificação e enriquecimento de minerais argilosos têm sido uma exigência cada vez mais crescente para a sua utilização na preparação de materiais sofisticados, por exemplo nanocompósitos plásticos (Bergaya et al., 2006). Estes autores recomendam a remoção de impurezas da argila, para a purificação e melhoria da mesma.

### **3. RELEVÂNCIA DO PROJECTO**

A caracterização de uma bentonite visa conhecer a variabilidade de suas propriedades geoquímicas e mineralógicas, que, normalmente, são factores determinantes na aplicação industrial desse material. O emprego das argilas bentoníticas está concentrado na indústria petrolífera, principalmente, como matéria-prima na fabricação de fluidos para perfuração de poços. Entretanto, o uso das esmectites abrange diversos sectores industriais, estando presente na indústria química, cerâmica, farmacêutica, na construção civil, e demais.

O presente trabalho torna-se bastante relevante na medida em que os resultados obtidos poderão ser um suporte importante á informação mineira na área de estudo, uma vez que a área em causa se encontra numa posição proeminente no quadro socioeconómico do país. A exploração da bentonite é de extrema relevância para a indústria mineira, visto que, a mesma pode proporcionar melhor conhecimento da área por explorar.



## 4. SUMÁRIO

### 4.1.OBJECTIVOS

Para a realização deste trabalho foram definidos os seguintes objectivos:

#### 4.1.1. Objectivo geral:

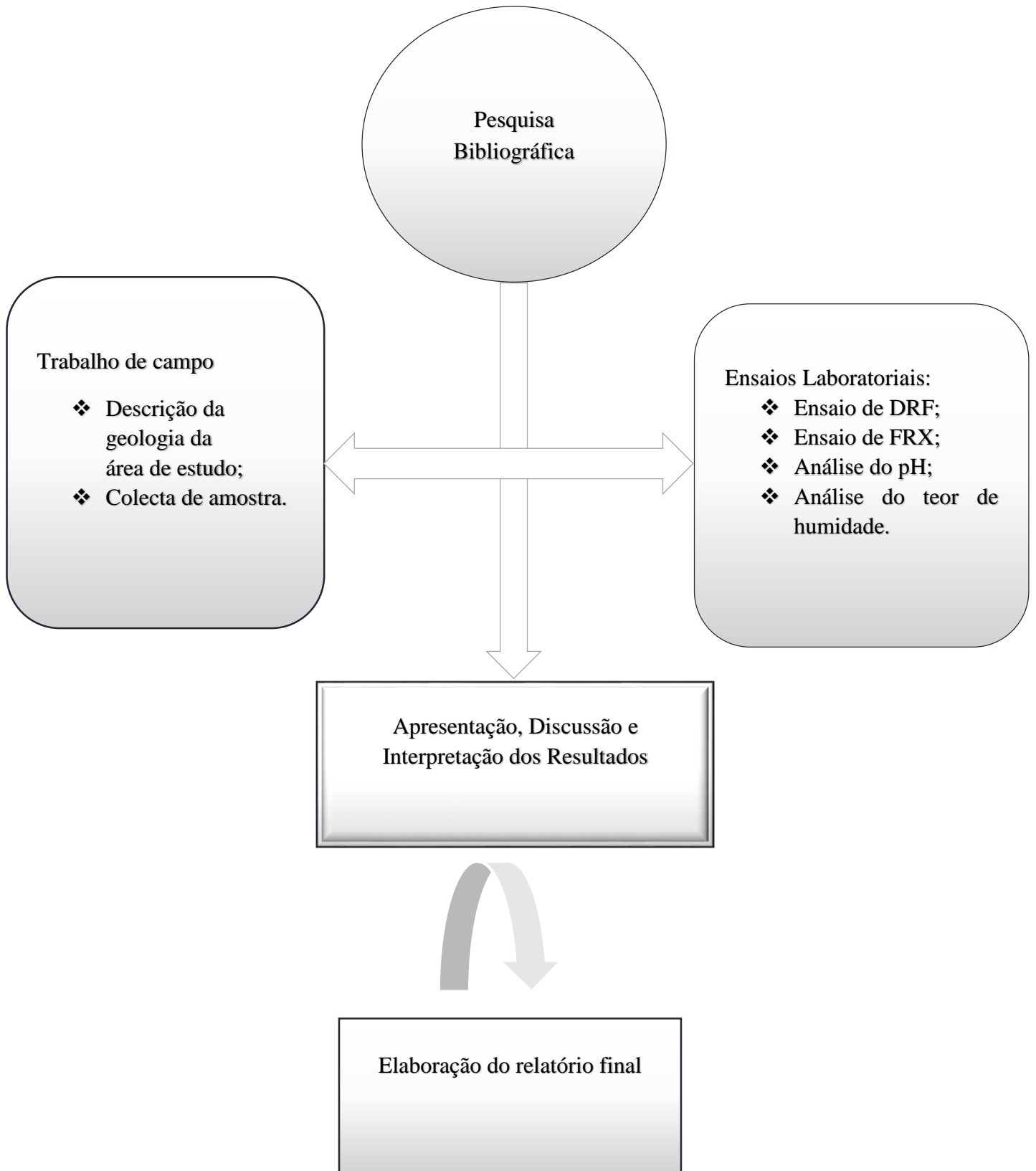
- ✓ Caracterizar geoquimicamente e mineralogicamente a bentonite da mina de Mafuiane, e tentar melhorar a qualidade da mesma.

#### 4.1.2. Objectivos específicos:

- ✓ Minimizar o conteúdo de impurezas e homogeneizar a bentonite;
- ✓ Através do uso de diversas técnicas de caracterização, estudar o comportamento da bentonite ao longo do processo;
- ✓ Avaliar o efeito da purificação e enriquecimento da bentonite, pela determinação da composição química em FRX, composição mineralógica em DRX;
- ✓ Avaliar se com o aditivo da empresa, a bentonite realmente melhora a sua qualidade, e se é possível melhorar com outra componente.

## 5. METODOLOGIA DE TRABALHO

O presente trabalho seguiu a seguinte metodologia:



*Fluxograma 2: Metodologia do Trabalho*

## 6. REVISÃO DA LITERATURA

### 6.1. Argilas e Argilominerais

As argilas são sedimentos muito finos, com diâmetro inferior 1/256 milímetros (4 micrômetros), que são formadas por minerais denominados: argilominerais. As argilas podem ser formadas por apenas um tipo de argilomineral, ou ainda por uma mistura deles. Porém, apresentam sempre um argilomineral predominante (*Pardini*). Possuem um comportamento plástico quando húmidas e quando secas ou queimadas se endurecem. Possuem também uma estrutura formada por lamelas cristalinas nanométricas quase bidimensionais empilhadas, como um baralho de cartas. As lamelas têm pouco menos que 1 nm de espessura e poucas centenas de nanômetros de diâmetro médio (*Neto & Neto 2009*).

Os argilominerais são os minerais constituintes das argilas. Eles são silicatos de alumínio hidratados, que podem conter pequenas quantidades de elementos alcalinos (K, Na, Li) e alcalino terrosos (Ca, Mg), como constituintes essenciais.

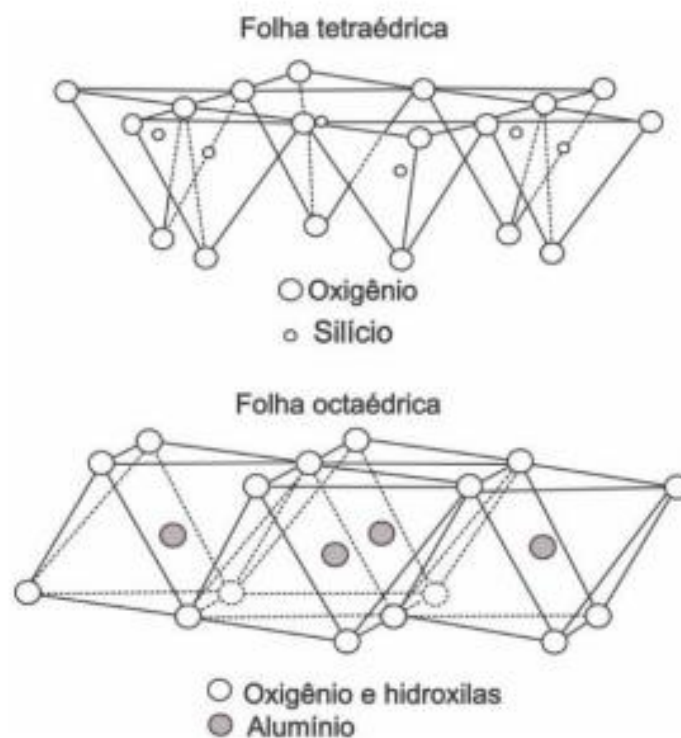
Os argilominerais são filossilicatos (silicatos com hábito foliado ou lamelar), que, por sua vez, são formados por subcamadas (ou folhas) tetraédricas e octaédricas (*Sartori et al., 2011*), com estruturas cristalinas em camadas, muitas vezes chamados “silicatos em camadas” (layer silicates) e “filossilicatos”, constituídos por folhas contínuas de tetraedros (T) SiO<sub>4</sub>, ordenados de forma hexagonal, condensados com folhas octaédricas (O) de hidróxidos de metais tri e divalentes (*Figura 1*). O arranjo e a composição das folhas octaédricas e tetraédricas são responsáveis pela maioria das diferenças nas propriedades físicas e químicas dos mesmos. Os vértices dos grupos tetraédricos e octaédricos são compostos por átomos ou iões oxigênicos e por iões hidroxila, no qual estão ao redor de pequenos catiões. Nos grupos tetraédricos os catiões comuns são Si<sup>4+</sup>, Al<sup>3+</sup> e Fe<sup>3+</sup>. Os catiões do grupo octaédrico são geralmente Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Fe<sup>2+</sup>, mas outros catiões, como Li<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, V<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup> e Ti<sup>4+</sup> já foram identificados. Neste grupo ocorre certo grau de substituição isomórfica. Essas substituições isomórficas são responsáveis pelo excesso de cargas elétricas negativas na superfície das folhas (*Brigatti 2006, Coelho & Santos 2007, Murray 2006, Santos 1989*).

Existem cerca de 40 argilominerais, no entanto, são poucos os constituintes das Argilas Industriais e das Argilas Especiais, devido possuírem algumas propriedades muito peculiares e/ou específicas que levam ao seu maior valor tecnológico (*Coelho & Santos 2007*).

### 6.1.1. Classificação Estrutural dos Argilominerais

Os argilominerais podem ser classificados em função da disposição das subcamadas, considerando a razão entre subcamadas tetraédrica e octaédrica, respectivamente:

- a. Argilominerais: grupo dos filossilicatos;
- b. São divididos em minerais de estrutura 1:1; 2:1; e 2:1:1;
- c. Minerais de estrutura 1:1 são: caulinite, diqnite, narsite, haloisite;
- d. Minerais de estrutura 2:1 são: grupo da ilite, grupo da vermiculite, grupo da esmectite, montmorilonite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite e volconscoite;
- e. Minerais de estrutura 2:1:1 são: grupo da clorite com várias espécies. Argilominerais pertencentes ao grupo dos minerais de camadas mistas ou interestratificadas.



**Figure 1:** Diagrama esquemático das folhas tetraédricas e octaédricas; Fonte: Rodrigues 2020.

Dos argilominerais, destacam-se os esmectíticos, que são alumino-silicatos hidratados de sódio, cálcio, magnésio, potássio e lítio. As diferentes esmectites distinguem-se em função: i) da ocupação dos sítios octaédricos: dioctaédricas, nas quais 2/3 do total destes sítios são ocupados por cátions trivalentes; e trioctaédricas, com total ocupação de tais sítios por cátions divalentes; ii) da natureza dos cátions presentes na sua estrutura e iii) da localização das substituições isomórficas geradoras de carga (Tab.1) (Aranha et al., 2007).

**Table 1:** Classificação das principais esmectites e suas fórmulas ideais (Magandane, 2013).

Catiões octaédricos predominantes	Carga lamelar octaédrica	Carga lamelar tectaédrica
$Al^{+3}$	Montmorilonite $R+0,33(Al_{1,67}Mg_{0,33})Si_4O_{10}(OH)_2$	Beidelite $R+0,33Al_2(Si_{3,67}Al_{0,33})O_{10}(OH)_2$
$Mg^{+2}$	Hectorite $R+0,33(Mg_{2,67}Li_{0,33})Si_4O_{10}(OH)_2$	Saponite $R+0,33Mg_3(Si_{3,67}Al_{0,33})O_{10}(OH)_2$
$Fe^{+3}$		Nontronite $R+0,33Fe_{32}(Si_{3,67}Al_{0,33})O_{10}(OH)_2$

(R+) catião interplanar.

### 6.1.2. Formação dos argilominerais

Os argilominerais, ou minerais secundários, são formados por processos diagenéticos e hidrotermais de minerais pertencentes ao grupo dos silicatos, com excepção do quartzo. Esses processos ocorrem em duas partes: i) a desintegração e ii) decomposição das rochas.

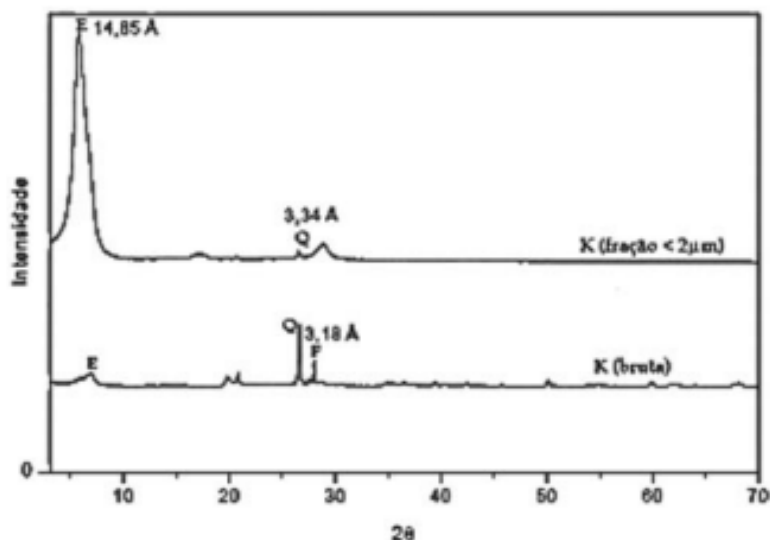
Na primeira fase, ocorre o rompimento das rochas em juntas sob a acção de agentes intempéricos, como água, pressão, vento e temperatura. Nesse processo, ainda não ocorre mudança na composição química e mineralógica da rocha. Por sua vez, na segunda fase (decomposição) ocorre alteração mineralógica das rochas. Onde a acção, principalmente, da água e de agentes químicos promovem a carbonatação, a oxidação e a hidratação dos minerais. Ambas etapas, normalmente, ocorrem simultaneamente, uma vez, que as fissuras geradas na desintegração permitem a circulação de água e dos agentes químicos que realizam a decomposição (*Pardini*).

Os argilominerais também podem ser chamados de minerais neoformados ou de neoformação. Neste caso, são resultantes da precipitação ou combinação de substâncias resultantes do intemperismo de outros minerais (*Pardini*).

### 6.1.3. Purificação dos argilominerais

Na Fig. 2 são mostrados difractogramas de raios - X de uma amostra de argila, denominada argila K, (bruta) e após o fraccionamento por peneiramento com corte granulométrico de 2  $\mu m$ . A atribuição dos picos nos difractogramas mostra que a argila bruta é formada por minerais do grupo das esmectites (E) contendo impurezas, como quartzo (Q) e feldspato (F). Grande parte das impurezas,

como quartzo e feldspato, pode ser removida com um corte granulométrico abaixo de 2  $\mu\text{m}$ , como pode ser observado pela variação nas intensidades relativas dos picos E, Q e F na Fig. 2, obtendo-se uma amostra rica no argilomineral do grupo das esmectites (Neto & Neto 2009).



**Figure 2:** Difractogramas de raios-X de amostras da argila K (bruta) e da fração < 2  $\mu\text{m}$  após peneiramento; (E = esmectite, Q = quartzo, F = feldspato); Adaptada por Neto & Neto 2009.

## 6.2. Bentonite

O termo bentonite provém da argila descoberta no ano de 1898, em Fort Benton Wyoming. Por sua vez, montmorilonite é o nome dado à argila que foi identificada em 1896, em Montmorillon, uma cidade na região de Poitou, França (Magandane, 2013).

Bentonite é uma terminologia tecnológica aplicada a argilas com granulação muito fina, essencialmente constituídas por argilominerais do grupo das 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 (Magandane, 2013).

A bentonite, consiste essencialmente por argilominerais do grupo das esmectites. Os argilominerais do grupo das esmectites são constituídos por duas folhas de silicato tetraédricas (T) e uma folha central octaédrica de aluminato (O) unidas entre si por átomos de oxigênio comuns a ambas as folhas. O argilomineral mais comum é a montmorilonite (MMT), ocorrendo em concentrações variando de 60 a 95% de massa da bentonite (Magandane, 2013).

A bentonite possui uma característica física muito particular: expande várias vezes o seu volume, quando em contacto com a água, formando géis tixotrópicos. Alguns catiões provocam uma expansão tão intensa que as camadas dos cristais podem se separar até a sua célula unitária (*Luz et al, 2008*).

A bentonite pode apresentar diversas cores, desde a branca, cinzenta, amarela e outras cores, dependendo da sua origem e composição química (*Magandane, 2013*). Também ocorre associada ao mineral montmorilonite e impurezas não esmectites tais como: caulinite, ilite, feldspato, anfíbolito, cristobalite e quartzo (*Tonnesen, 2012*). A presença de impurezas não esmectíticas na bentonite, num teor superior a 5%, diminui o seu valor industrial, consequentemente, o seu valor comercial também diminui.

A qualidade de uma bentonite também pode ser avaliada através dos limites de consistência e de ensaios de expansão livre. Sendo que, quanto maior for o limite de plasticidade e o limite de liquidez melhor é a qualidade da bentonite.

O limite de liquidez de uma esmectite cálcica varia entre 100 e 150%, enquanto o limite de liquidez de uma esmectite sódica varia entre 300 e 500%. Os testes de expansão livre mostram que quanto maior a capacidade de expansão da bentonite melhora a sua qualidade (*Chave, 2019*).

A bentonite de Mafuiane tem vantagem competitiva em relação às bentonites comuns, pois possui uma cor esbranquiçada. Devido a sua escassez e boa qualidade conferida ao produto onde se aplica, o preço da bentonite esbranquiçada chega a ser 10 vezes mais elevado que a bentonite comum (*Allo e Murray, 2004*). Todavia, o valor comercial da bentonite da Província de Maputo é menor que o das bentonites comuns, devido ao elevado teor da impureza cristobalite (*Guyen, 1971*). *Massinga et al., (2010)* determinaram a seguinte composição da bentonite, em relação à massa total da amostra: 60.3% de montmorilonite, 35.7% de cristobalite e 4% de quartzo.

### **6.2.1. Tipos de Bentonite**

Existem dois tipos de Bentonite: bentonite sódica que é normalmente a mais utilizada em obras de selagem e impermeabilização, ela também é uma argila muito pegajosa que incha quando recebe água, com um alto grau de contracção e tem tendência a fractura-se durante o aquecimento e o esfriamento. E a bentonite cálcica que é mais estável quimicamente quando exposta a alguns compostos químicos, e quando comparada a outros argila minerais, como caulinite, clorite e ilite pode-se dizer que também é bastante expansiva (*Chave, 2019*).

### 6.2.2. Principais Características da Bentonite e sua Classificação

As bentonites podem ser caracterizadas por apresentarem:

- ❖ Partículas muito finas;
- ❖ Elevada área superficial;
- ❖ Elevada carga superficial;
- ❖ Alta capacidade de troca catiónica (atingindo valores na faixa de 60 a 170 cmolc/kg);
- ❖ Inchamento (afastamento das camadas) quando em presença de água;
- ❖ Alto poder expansivo (até 20 vezes o seu volume inicial);
- ❖ Tixotropia;
- ❖ Constituição coloidal;
- ❖ Grande superfície específica (até 800 m<sup>2</sup>/g); e
- ❖ Baixa condutividade hidráulica tendo a água como líquido percolante.

Uma maneira de caracterizar a bentonite (esmectite sódica), está baseada na sua capacidade de inchamento, quando se adiciona água. A bentonite, tendo o sódio como elemento dominante ou como um íon tipicamente trocável, possui elevada capacidade de inchamento e tem as características de uma massa, quando adicionada água.

Quando a bentonita tem o cálcio como íon predominante, possui menor capacidade de inchamento. As bentonites sódicas/cálcicas, denominadas mistas, incham de forma moderada e formam géis de menor volume do que as bentonites sódicas.

Dessa forma, as bentonites são classificadas como: i) de alto inchamento ou sódica, ii) baixo inchamento ou cálcica e de iii) moderado inchamento ou tipo mista.

Na indústria existem vários critérios para a classificação da bentonite, uma delas baseia-se no grau de inchamento em meio aquoso. Portanto, existem dois tipos de argilas bentoníticas: as que não incham em presença de água, que têm o cálcio como catião interlamelar predominante (bentonites cálcicas), e as que incham em presença de água, nas quais o sódio é o catião interlamelar predominante (bentonites sódicas).

O grau de inchamento nas bentonites sódica é maior devido ao elevado poder de hidratação dos catiões monovalentes de sódio. Isto está associado a adsorção de várias moléculas de água a estes íões, provocando o distanciamento das camadas lamelares da argila, o que pode significar em um aumento de até 20 vezes sobre o volume inicial da dispersão (Rosário, 2010).



A diferença no inchamento das montmorilonites sódicas e cálcicas deve-se essencialmente a intensidade de atracção entre as camadas, que é acrescida pela presença do cálcio, reduzindo a quantidade de água que poderá ser adsorvida, enquanto o catião sódio provoca uma menor força atractiva, permitindo que uma maior quantidade de água penetre entre as camadas, e seja então adsorvida (Oliveira, 2009).

Na montmorilonite sódica, esta adsorção de água, quando continuada, pode distanciar as camadas estruturais a tal ponto que as interacções electrostáticas sejam demasiadamente fracas, causando o desfolhamento individualizado das partículas de argila. Deste modo, cada unidade estrutural pode-se dispersar no meio líquido como partículas de dimensões coloidais, negativamente carregadas nas suas superfícies e balanceadas pela fixação de catiões de sódio.

Para além da natureza do catião trocável predominante, o grau de inchamento é influenciada por outras propriedades específicas do material como grau de pureza, área superficial, carga da camada, distribuição das cargas interlamelares, bem como informações sobre o sistema, nomeadamente, a quantidade e actividade do solvente, temperatura (Rosário, 2010).

### **6.2.3. Características Mineralógicas da Bentonite**

Alguns autores sugerem que os padrões de DRX obtidos em amostras de bentonite consistem principalmente de esmectite e cristobalite. Outros componentes que também podem estar presentes são quartzo, feldspatos, caulinite, calcite e iliea. Os dados de difracção de raios-X da reflexão basal  $d(001)$  indicam montmorilonite (14-15 Å) como principal argilomineral e vestígios de caulinite (7Å).

Os padrões das fracções  $<2\mu\text{m}$  das amostras saturadas com K exibem valores de 11-12 Å.

Dados sobre catiões trocáveis mostram que a montmorilonite é do tipo Ca (Muchangos, 2000), embora algumas amostras também tenham Na, K e Mg como catiões intercamados. A cristobalite e o quartzo são as fases de sílica detectadas nas bentonites. A cristobalite também está presente nas fracções inferiores a 2  $\mu\text{m}$  em algumas amostras. Caulinite e ilite também são detectadas por difracção de raios-X, porém seus padrões apresentam reflexões difusas.

Os valores dos principais elementos das bentonites derivados da alteração dos riolitos em bentonite são muito semelhantes para a análise. Característico é o teor muito elevado de sílica (68,10%  $\pm$  2,10%) atribuível à presença de fases de sílica na mineralogia da bentonite, mas também ao seu precursor riolítico. O teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10-15% em peso) e o teor de MgO (1,4-3,1% em peso) da bentonite são baixos em comparação com a bentonite típica com  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (16-20% em peso) e MgO (3- 6% em peso (Muchangos, 2000). A afinidade da bentonite com o material original silicioso é indicada por seus valores semelhantes das razões dos elementos imóveis Zr/TiO<sub>2</sub> e Nb/Y (Winchester e Floyd, 1977). Esses oligoelementos são geralmente considerados imóveis durante processos de

alteração próximos à superfície. Segundo Winchester e Floyd (1977) as razões mencionadas podem ser usadas como índices de diferenciação e de alcalinidade, respectivamente, para discriminar entre tipos de rochas vulcânicas comuns.

#### **6.2.4. Aplicações da Bentonite**

Os principais usos da bentonite são: agente tixotrópico de fluidos de perfuração de poços de petróleo e de água, pelletização de minérios de ferro, aglomerante de areias de moldagem usadas em fundição, descoramento de óleos vegetais, minerais e animais, impermeabilização de bacias (Lut e Oliveira, 2008).

Apresenta também mais de 140 aplicações industriais (Silva e Ferreira, 2008). Cada uma destas aplicações industriais específicas exige propriedades e características específicas. Entre as características mais valiosas encontra-se a cor, facilidade de intercalação de moléculas orgânicas e inorgânicas, e elevada CTC (Allo e Murray, 2004).

As principais aplicações das bentonites podem ser divididas em três categorias:

- Na primeira, estão incluídas as aplicações que apresentam maior consumo da bentonite: areias de fundição, materiais de vedação em engenharia civil, pelletização de minério de ferro e em fluidos de perfuração de poços de petróleo;
- Na segunda, estão incluídas as aplicações com menor consumo de bentonite, como tintas, adesivos (em materiais asfálticos e látex), cerâmica, usos farmacêuticos, cosméticos, como cargas e na purificação (de água, vinhos e óleos);
- Na terceira, estão incluídas as novas tendências: nanocompósitos, engenharia de nanopartículas e heteroestruturas porosas.

#### **Materiais e minerais alternativos à bentonite:**

Como minerais e materiais alternativos à bentonite, podem ser citados, em função do uso:

- (i) Como fluido de perfuração na indústria de petróleo, é influenciado pelo preço do petróleo e pelas tecnologias de exploração. O uso de fluidos de perfuração onde a fase contínua é um polímero, e não água, vem contribuindo para reduzir o consumo de bentonite nesta aplicação;
- (ii) Na pelletização de minérios, os polímeros orgânicos, já disponibilizados há mais de 20 anos. O atractivo maior é a isenção de sílica, possibilitando a produção de pelotas com baixíssimo teor de sílica. Devido ao preço, no entanto, ainda não ameaçam a bentonite nesta utilização;
- (iii) Na indústria de fundição, como aglutinante de areia de moldagem, o uso de polímeros orgânicos se restringe a situações especiais de fundição. A longo prazo, a bentonite deve continuar sendo o principal material para esse fim.

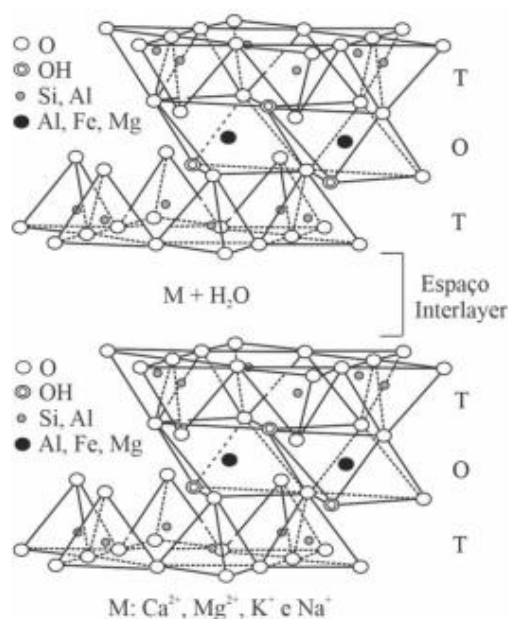
Nos últimos anos, crescem as pesquisas visando o uso da esmectite como carga funcional nos polímeros. Para esse tipo de aplicação, as partículas individuais de esmectite são dispersas em uma

matriz polimérica, resultando em um material composto por argila polímero. Tendo em vista que a espessura das placas de argila estão próxima de 1 nm, o material composto formado pode ser denominado de nanocompósito . O uso desse tipo de material tem ainda um mercado limitado, mas espera-se um crescimento, na medida que o mercado se adapte a essa nova tecnologia.

### 6.3.Estrutura da Montmorilonite

Do ponto de vista estrutural, os argilominerais da bentonite são constituídos de unidades empilhadas que compreendem camadas de sanduíches de íões coordenados octaedralmente entre duas camadas de íões coordenados tetraedralmente (*Luz e Oliveira, 2008*).

A montmorilonite é o argilomineral mais abundante entre as esmectites, cuja fórmula química geral é  $Mx(Al_2yMgy)Si_4O_{10}(OH)_2.H_2O$  (*Cadene et al., 2005*). Possui partículas de tamanhos que podem variar de 2  $\mu\text{m}$  a 0,1  $\mu\text{m}$ , com tamanho médio de 0,5  $\mu\text{m}$  e formato de placas ou lâminas. Pertence ao grupo dos filossilicatos 2:1, cujas placas são caracterizadas por estruturas constituídas por duas folhas tectraédricas de sílica com uma folha central octaédrica de alumínio, que são unidas entre si por átomos de oxigênio que são comuns a ambas as folhas. As folhas apresentam continuidade nas direcções dos eixos a e b e geralmente possuem orientação aproximadamente paralela nos planos (001) dos cristais, o que confere a estrutura laminar. São unidas entre si por átomos de oxigênio comuns a ambas as folhas (*Paiva et al., 2008; Silva e Ferreira, 2008*).



**Figure 3:** Representação esquemática da estrutura da montmorillonite; Fonte: Rodrigues 2020.

As lamelas da montmorillonite apresentam perfil irregular: são muito finas, têm tendência a se agregarem no processo de secagem e apresentam boa capacidade de delaminação quando colocadas em água (*Ferreira, 2008*). Na estrutura cristalina da MMT, as folhas de tectraedro de lamelas

diferentes encontram-se adjacentes, ficando os átomos de oxigénio em posições opostas, levando a uma fraca ligação entre as camadas (Aranha *et al.*, 2007).

A montmorilonite possui deficiência de cargas positivas na sua estrutura cristalina, causada por substituições isomórficas, resultando em um excesso de cargas negativas distribuídas pela superfície das lamelas. Estas substituições podem ser do  $\text{Si}^{4+}$  pelo  $\text{Al}^{3+}$  nos sítios tetráedricos, do  $\text{Al}^{3+}$  pelo  $\text{Mg}^{2+}$ , do  $\text{Mg}^{2+}$  pelo  $\text{Li}^{+}$ , entre outros nos sítios octaédricos. O excesso de cargas negativas resultante é contrabalançado por catiões interlamelares hidratados, alcalinos ( $\text{Na}^{+}$  e  $\text{K}^{+}$ ) ou alcalinos terrosos ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) (Luz *et al.*, 2004 e Paiva *et al.*, 2008).

O desbalanceamento eléctrico gerado por substituições isomórficas, porém compensado pela presença de catiões interplanares, contribui para o aumento da distância entre as camadas quando em presença de água. A esmectite possui uma rede capaz de sofrer expansão, na qual todas as superfícies das camadas estão disponíveis para a hidratação e troca dos catiões interplanares, sendo esta a sua principal característica (Aranha *et al.*, 2007).

### **6.3.1. Efeitos das Impurezas na Qualidade da Bentonite**

A bentonite de alta qualidade contém maioritariamente montmorilonite na sua composição. Porém, é comum a co-existência de outros materiais constituintes, tais como argilominerais de outros grupos: ilite, caulinite e clorite, minerais não argilosos, como quartzo, cristobalite, feldspato, carbonatos, óxidos; além de matéria orgânica e outras impurezas, como falado anteriormente (Rosário, 2010; Batista *et al.*, 2009). Muitas vezes, estes materiais indesejáveis encontram-se associados à estrutura da montmorilonite, interferindo nas suas propriedades e causando um efeito muito adverso sobre a qualidade da argila (Erdogan e Demirci, 1996).

Os carbonatos, por exemplo, actuam como reservatórios de catiões multivalentes, interferindo negativamente no inchamento e na troca catiónica das argilas em que participam. Por outro lado, cristais de quartzo e feldspato podem-se localizar entre os tactóides, agindo como agentes cimentantes na formação de aglomerados (Rosário, 2010). Quanto maior a fracção de partículas grosseiras, menor será a dispersão de tais partículas em sistemas aquosos, o que representa uma baixa separação das lamelas, e consequentemente, um menor poder de inchamento e de troca iónica (Bergaya *et al.*, 2006).

Adicionalmente, a agência internacional de pesquisa sobre o câncer declarou, em 1987, que a sílica cristalina como o quartzo, cristobalite e tridimite com o diâmetro inferior a 5  $\mu\text{m}$  das suas partículas e com massa de 0,1% em qualquer material é provavelmente cancerígena, para os humanos (Önal *et al.*, 2007).

### 6.3.2. A Sílica na Bentonite

A Bentonite é o produto da alteração das cinzas vulcânicas e tufos que são ricos em sílica. Na natureza, a sílica ocorre como quartzo, cristobalite, tridimite, coesite, stishovite, lechatelierite (vidro de sílica), e opalas. Os cinco primeiros são cristalinos, o vidro de sílica é amorfo e as opalas também são amorfos ou parcialmente sílicas cristalinas hidratadas (*Magandane, 2013*). A opala é frequentemente identificada erroneamente como cristobalite, pois compartilha uma associação genética com bentonite a sua diferença com as outras sílicas não está só na composição química, mas também na reactividade química. A cristobalite e o quartzo são outros minerais siliciosos que ocorrem na bentonite. Actualmente há exigências regulamentares de protecção ao consumidor que exigem identificação de polimorfos de sílica cristalina acima de 0.1% em massa, em qualquer material, e sua distinção de silicatos e formas de sílica amorfa (*Miles, 1993*).

É particularmente importante a identificação de polimorfos de baixa temperatura de opala-A, opala-CT e opala-C, o que, dependendo do grau de ordenação, pode ser confundido com cristobalite em padrões DRX, nas reflexões  $4.04\text{Å}$  d(101) e  $2.84\text{Å}$  d(102) que são também características das opalas (*Guyen e Grim, 1972* e *Miles, 1993*), se nenhum outro teste for aplicado.

O Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional nos EUA, citado por Miles (*1993*), publicou um método químico para a análise de poeiras respiráveis de menos de 5  $\mu\text{m}$  em tamanho de partícula, que se apoia no facto de alguns silicatos e sílicas amorfas serem solúveis em ácido fosfórico, enquanto sílicas cristalinas são muito mais resistentes. Este método foi aperfeiçoado para a concentração de quartzo e cristobalite no resíduo insolúvel resultante da reacção de silicatos e algumas sílicas amorfas com refluxo de ácido fosfórico. O método assume que toda a sílica residual é a sílica cristalina, a menos que a mineralogia seja conhecida e minerais interferentes corrigidos. Miles (*1993*) propôs que a digestão em ácido fosfórico pode ser usada como uma técnica de concentração eficaz para subsequente análise por difracção de raios-X dos componentes de sílica cristalina. Esse autor, mostrou que a opala exhibe reactividade e solubilidade completa em ácido fosfórico enquanto o quartzo e cristobalite originada em temperatura elevada têm reactividade muito inferior e são insolúveis em ácido fosfórico.

## 7. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 7.1. Enquadramento Geográfico

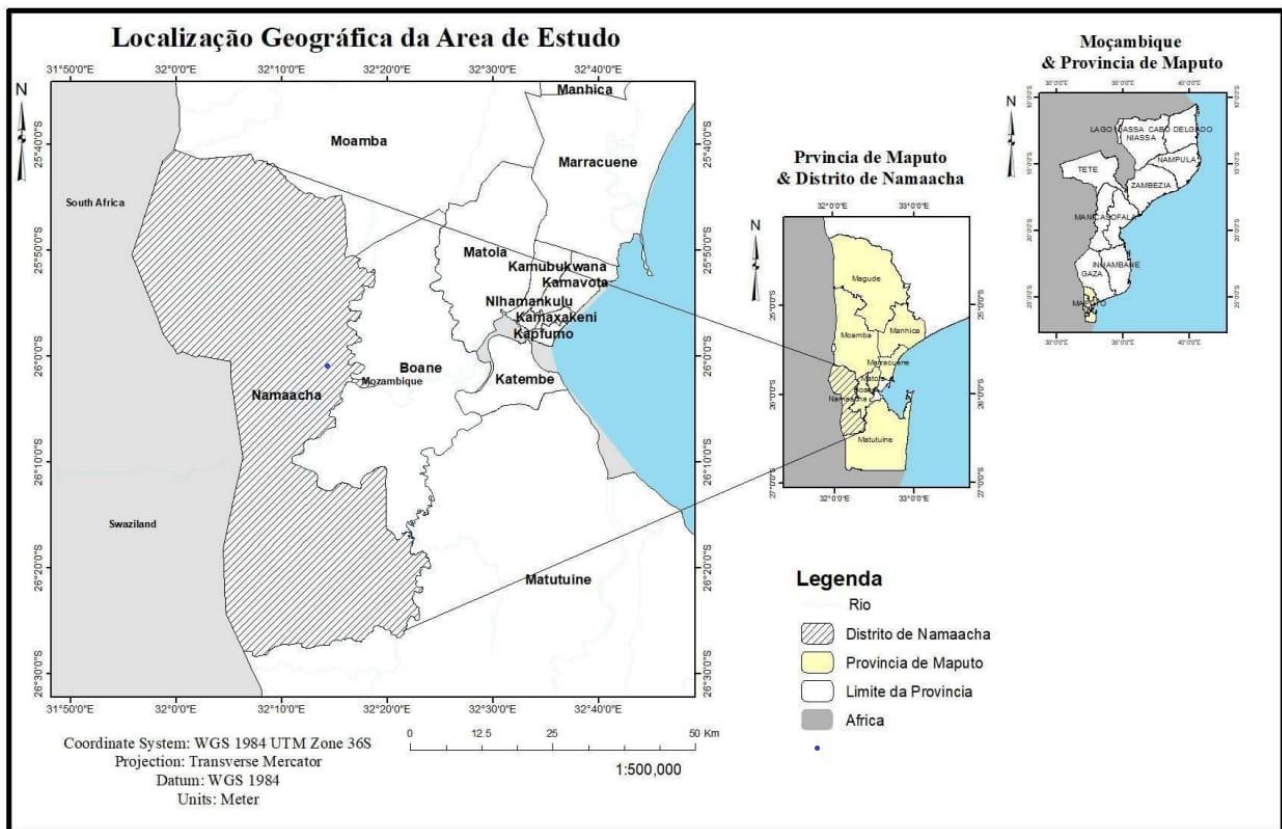
A mina e a planta de processamento da bentonite, está localizada nos montes Pequenos Libombos, a 35 km SW da cidade de Maputo, no Distrito de Namaacha, Posto Administrativo de Namaacha, na localidade de Mafuiane e a cerca de 9 km de Boane. O acesso a este jazigo é feito pela estrada asfaltada Maputo-Boane, e do distrito de Boane à zona mineira, pela estrada que se dirige à Namaacha (Magandane, 2013).



*Figure 4: Mina de bentonite de Mafuiane; Fonte: Autora, 2024.*

As ocorrências de bentonite são generalizadas, mas os depósitos mais conhecidos estão ao longo do rio leste das montanhas dos Pequenos Libombos (Muchangos, 2000).

As ocorrências estudadas situam-se nos Riólitos dos Pequenos Libombos, a oeste da confluência dos rios Movene e Umbelúzi. A tendência dos Pequenos Libombos N-S ao longo de uma distância de cerca de 60km com largura média de 5km, é delimitada no seu lado oeste por rochas basálticas mais antigas do Grupo Libombo e no seu lado leste pelos Basaltos Movene, também designados como Basaltos Superiores de Libombo. Os Basaltos Movene são considerados a formação mais jovem do Grupo Libombo (Muchangos, 2000).



**Figure 5:** Mapa de Localização Geográfica da área de estudo; Fonte: Autora, 2024.

### 7.1.1. Clima e Hidrografia

De acordo com a classificação Köppen, o clima de Namaacha é tropical húmido (AW), modificado pela altitude. A Norte e Leste, o clima é seco de estepe (BS). Predominam 2 estações: a quente e de pluviosidade elevada, entre Outubro e Abril; e a fresca e seca, entre Abril a Setembro, (*Ministério da Administração Estatal, 2005*).

O clima é ameno, com uma temperatura média anual de 21° C e a precipitação média anual é de 751.1 mm (751 mm em Goba, 680 mm em Changalane), ocorrendo cerca de 60% desta precipitação entre Novembro e Março. O distrito beneficia das águas dos rios Movene, Mabenga, Calichane, Impaputo e Umbelúzi, bem como as reservas da albufeira dos Pequenos Libombos, (*Ministério da Administração Estatal, 2005*).

### 7.1.2. Relevo e Solos

Segundo o Ministério da Administração Estatal (2005), o distrito pode ser dividido de acordo com as seguintes unidades geomorfológicas:

- ❖ Terras altas: Complexo da Cadeia dos Libombos;
- ❖ Planaltos médios: adjacentes ao primeiro;
- ❖ Encostas;

- ❖ Pequenas planícies de 100 - 200 m nos vales aluvionares ao longo dos rios.

É marcado pela cordilheira dos Libombos, que se estende no sentido Norte-Sul, tendo o seu ponto mais alto a cerca de 800 m, no monte Mponduíne.

A superfície de aplanção desce para Leste, com vários rios a cortar as montanhas no sentido Este-Oeste. Nestas superfícies os solos são basálticos avermelhados e pretos com profundidades variáveis.

### **7.1.3. Vegetação**

De acordo com Ministério da Administração Estatal (2005), o distrito apresenta uma vegetação do tipo savana e floresta rica em diversidade de plantas medicinais bem como árvores que fornecem madeira, estacas e lenha para a produção de carvão e esculturas. A fauna bravia do distrito é constituída predominantemente por animais de pequeno e médio porte tais como: coelhos, galinhas do mato, antílopes, macacos, jibóias entre outros. O distrito apresenta também uma diversidade de rochas na cadeia dos Libombos donde extrai-se pedras, barro e areias.

As empresas de extracção mineira existentes são de bentonite na localidade de Mafuiane, riolito, tijoleira na Localidade de Impaputo, Tamega na localidade de Matsequenha.

### **7.2. Geologia Regional**

De acordo com Afonso, *et al*, (1993), do ponto de vista geológico, a área de estudo faz parte do distrito de Namaacha que insere-se na bacia sedimentar de Moçambique, sul do Save. O preenchimento da bacia por sedimentos teve o seu início no Cretácico e foi acompanhado por transgressões e regressões provocadas por variações climáticas e por movimentos verticais que resultam na formação de uma série de Grabens com orientação N-S. A Bacia sedimentar de Moçambique apresenta uma estrutura complexa que é caracterizada por sedimentos terrestres e marinhos, como resultado dos eventos geológicos que tiveram o seu início no Cretácico inferior, atingindo o Paleozóico Superior. Estes eventos foram seguidos por um levantamento e consequente rifting no Karoo. A bacia de Moçambique a Sul do Save durante o seu desenvolvimento foi marcada por dois ciclos transgressivos. Um ocorreu entre o Neocomiano e o Cenomaniano e o segundo no Senoniano, separados através de uma transgressão que teve lugar no Turoniano.

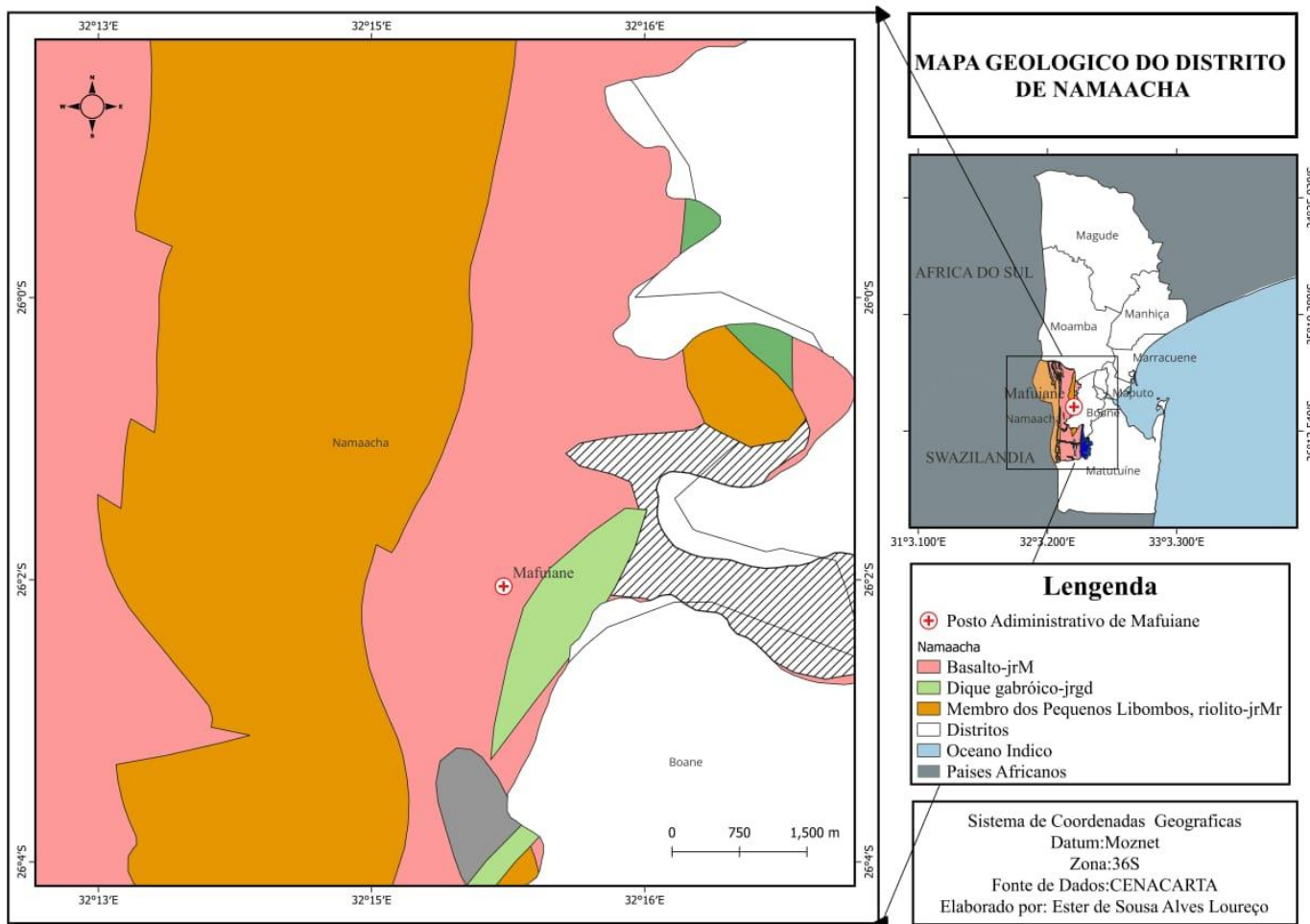
A geologia da Namaacha, faz parte dos dois litotipos que formam a cadeia dos Libombos, que é uma sequência bimodal vulcânica, com direcção N-S, formando um monoclinal que inclina de 15° - 30° para E e SE a sequência alternada de basaltos e riólitos distribui-se da base ao topo da seguinte forma:

- ❖ Riólitos dos grandes Libombos;
- ❖ Basaltos inferiores do Impaputos;
- ❖ Riólitos dos pequenos Libombos ;
- ❖ Basaltos de Movene.



Os riolitos são mais resistentes a meteorização com relação aos basaltos onde formam cadeias montanhosas e os basaltos formam vales que intercalam os riolitos.

### Mapa representando a geologia da área de estudo



**Figure 6:** As unidades geológicas aqui apresentadas constituem parte da Formação vulcânica do Alto Karoo de idade Liássica. É alongado aproximadamente N-S e é caracterizado principalmente por rochas vulcânicas, riolitos e basaltos, que recobrem os sedimentos mais antigos do Karoo.

22

As rochas resultaram de um vulcanismo do tipo fissural e representam uma formação que se sobrepõe concordantemente aos sedimentos do Permo-Triássico. As rochas variam de granulação fina a riolito vítreo, basaltos e seus tufos, todos expostos em toda a área. Estas rochas formam um monoclinial com inclinação de 10°- 20°, deformado para baixo até o molde ao longo da margem da província vulcânica de Karoo. As rochas do monoclinial consistem em uma sequência de aproximadamente 10.000 metros de riolitos e basaltos. Mais a leste, os vulcões são cobertos por sedimentos do Cretáceo, Terciário e Quaternário. Durante o Cretáceo, a actividade vulcânica subordinada, relacionada principalmente ao sistema de rift africano (Cilek 1986), produziu corpos mais jovens e menores de basaltos e corpos riolíticos e alcalinos intrusivos. Estruturalmente, a área é controlada por falhas e sistemas com

22

orientação principalmente NS, NE-SW e E-W, geralmente mergulhando 70°- 80° NW. Essas falhas e juntas quase verticais no riolito são geralmente preenchidas com diques e soleiras basálticas.

### **7.3.Geologia Local e pontos de amostragem**

Muitos dos maiores depósitos comerciais da bentonite do mundo, são formados pela alteração de detritos vulcânicos de granulação fina, depositados em áreas relativamente grandes. Outras bentonites formadas in situ alteração hidrotermal de rochas ígneas mais grosseiras. Porque certos vestígios químicos são geralmente retidos quando uma substância ígnea da rocha se transforma em argila. Gráficos de proporções desses elementos em uma grade geoquímica muitas vezes pode indicar a composição do material ígneo pai.

A topografia do depósito da bentonite de Mafuiane é quase plana, e coberta por vegetação densa coberta por matagal em alguns lugares (*Chale, 2009*).

A área é drenada por pequenos afluentes e riachos conectados ao principal rio Umbeluzi. A idade geológica da formação vai do Jurássico ao Quaternário. A formação Karroo da série Stormberg (Jurássico) consiste completamente de rochas vulcânicas compostas de um basalto e um complexo riolítico em um monoclinal mergulhando para leste.

O riolito do karroo é dividido em duas fases eruptivas, nomeadamente:

- Estágio 1: representado por riolitos e rochas porfiríticas, mas não está surgindo;
- Estágio 2: consiste de riolitos, brechas vulcânicas e basaltos. Esta segunda fase dos riolitos que são mais jovens, estão expostos ao longo das paredes laterais e do fundo (em alguns lugares) anteriormente extraído na área minada.

Um dolerito intrusivo (dique) é exposto na parte inferior da atualmente área minada, com o striking NE-SW.

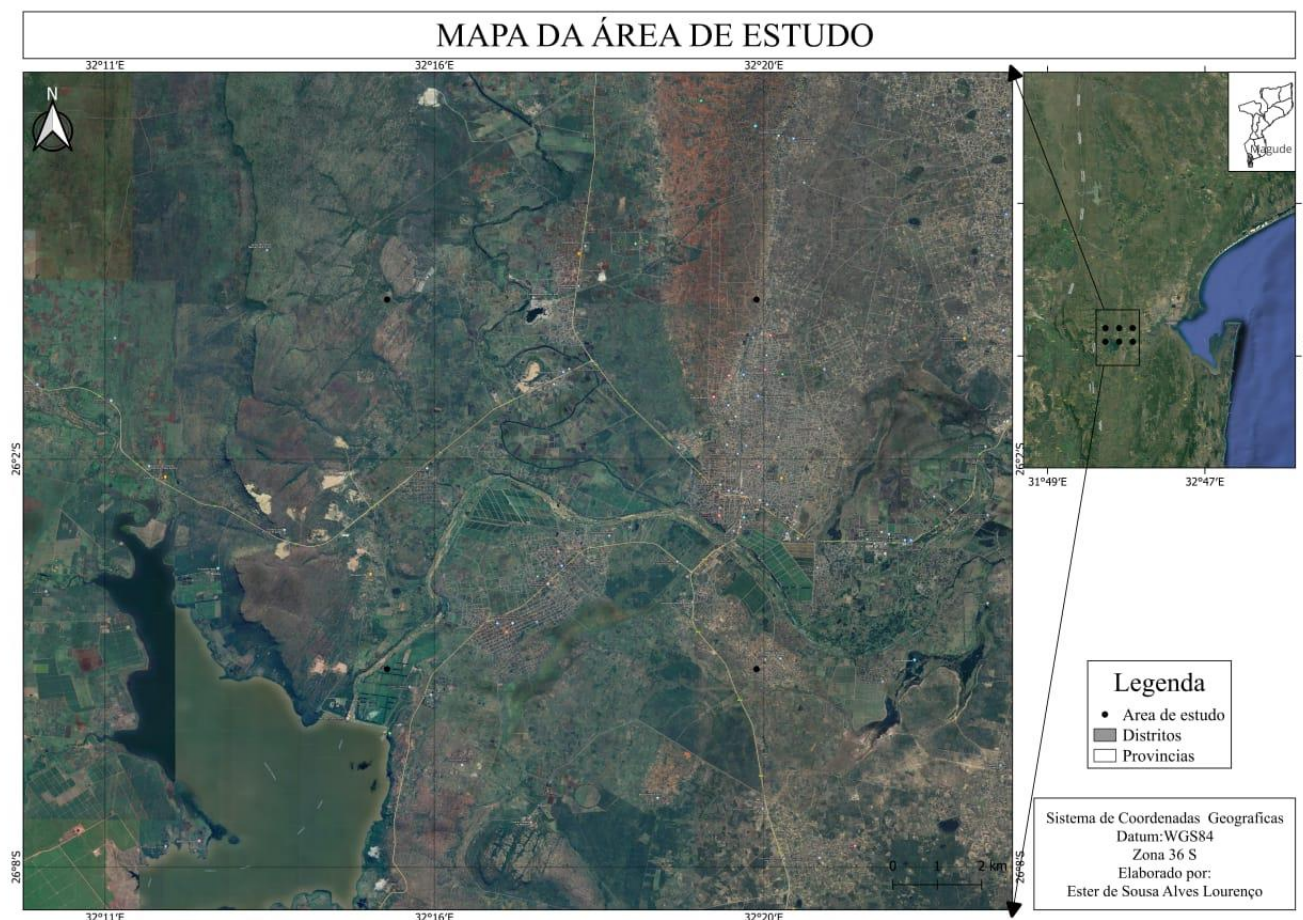
A jazida de bentonite tem direção Norte-Sul e foi interrompido pela tendência quase Norte-Sul, falhas desenvolvidas localmente. Provavelmente estas falhas são responsáveis pela subdivisão do depósito em pequenos blocos e pode ser a variação da espessura do corpo mineral e a sobrecarga é devido às mesmas falhas. Dobras menores foram observadas nos afloramentos e nas paredes de uma antiga pedra trituradora.

O depósito de bentonite está conectado às rochas vulcânicas da formação karroo e a bentonite é originada a partir do metamorfismo das rochas riolíticas, tufos e vidros vulcânicos da segunda fase eruptiva. A espessura da camada de bentonite varia consideravelmente e está entre 2,1 metros a 10,6 metros. A sobrecarga de 0,9 a 6 metros.

A bentonite deste jazigo está associada à alteração de cinzas e tufos vulcânicos da fase II do complexo vulcânico dos pequenos Libombos do Karoo Superior (*Lehto e Gonçalves, 2008*). Este jazigo é atravessado por falhas do rifte, que o divide em blocos de várias dimensões (*Chale, 2009*). Uma zona de cerca de 2 km de comprimento e 500 m de largura com uma espessura média de 6 m foi calculada para conter 15 milhões de toneladas de bentonite (*Lehto e Gonçalves 2008*). *Massinga et al. (2010)* encontraram a seguinte composição mássica mineralógica da bentonite: 60.3% de montmorilonite, 35.7% de cristobalite e 4% de quartzo. Para o presente trabalho foram recolhidas amostras em quatro locais/níveis da mina de Mafuiane e estas foram designadas:

- ❖ Amostra 1- Bentonite processada com soda (BPCS);
- ❖ Amostra 2- Bentonite processada sem soda (BPSS);
- ❖ Amostra 3- Bentonite bruta com soda (BBCS);
- ❖ Amostra 4- Bentonite bruta sem soda (BBSS);
- ❖ Amostra 5- Amostra Líquida (AL).

Um dos objectivos é de fazer a comparação das amostras de bentonite, tanto brutas como processadas do mesmo material, adicionado a soda que a empresa utiliza para melhorar a sua qualidade.



**Figure 7:** Mapa da área de estudo e pontos de amostragem; Fonte: Autora, 2024.

### 7.3.1. Geologia dos depósitos de bentonite

As bentonites estão associadas a rochas vulcânicas, particularmente riolitos, tufos e vidros da idade do Alto Karoo. Estas rochas estão subjacentes aos sedimentos do Cretáceo Superior-Terciário e Quaternário, maioritariamente areias argilosas e conglomerados não consolidados, que podem atingir cerca de 5-8 metros de espessura. Na área como um todo as camadas bentoníticas variam em espessura desde alguns centímetros até mais de 20 metros. Em locais intercamados com poucos cm de espessura ocorrem com material original ligeiramente alterado. Os corpos bentoníticos são geralmente em forma de lente, apresentando espessuras decrescentes para fora a partir da parte central do corpo. Os contactos inferiores com as rochas subjacentes nem sempre são bem definidos, existindo normalmente uma zona de transição de alguns centímetros, onde ocorrem blocos de material relativamente fresco. Frequentemente, nesta zona de transição, as estruturas relíquias, como faixas de fluxo, riolítico em faixas, brechas vulcânicas e vidro da rocha-mãe podem permanecer macroscopicamente reconhecíveis.

Em alguns locais, concreções duras silicificadas contendo calcite, bem como concreções calcíticas únicas ocorrem intercaladas com massas bentoníticas nos níveis médio e inferior de um perfil vertical. Isto provavelmente está relacionado ao movimento descendente das soluções percoladas causando alteração. A sílica opalina, diferentemente das concreções calcíticas, está disseminada na bentonite e ocorre também como nervuras ao longo de fracturas anteriores evidenciadas pelo aparecimento de nervuras adjacentes aos diques basálticos com posição quase subvertical, preenchendo claramente as fracturas nos riolitos.

### 7.3.2. Geoquímica das bentonites

Existem muito poucas diferenças no conteúdo dos principais elementos das bentonites. O alto teor de  $\text{SiO}_2$  (64-72% em peso) e o teor relativamente baixo de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (9,66 -14,95% em peso) são dignos de nota comparativa com a bentonite típica da literatura (*Seidov e Alizade, 1966; Vogt e Köster, 1978; Altaner e Grim, 1990; Pablo-Galán, 1990*). As altas percentagens de  $\text{SiO}_2$  podem ser atribuídas às fases de sílica sempre presentes em quantidades consideráveis. São relatados valores de até 50% de cristobalite nas bentonites de Boane (*Cilek, 1989*). Além disso, impurezas observadas em bentonites de fragmentos vulcânicos siliciosos inalterados também podem causar altos teores de sílica. Na fig. 8, há gráficos ternários mostrando a variação da composição dos principais elementos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{MgO}$  em proporções molares) acompanhando a alteração de riolitos em bentonites. As principais concentrações de elementos na bentonite em relação às rochas riolíticas mostram claramente enriquecimento em  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e, em menor grau,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{SiO}_2$  são os componentes menos móveis, seguidos por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ , que estão relativamente esgotados nos riolitos alterados. Pela formação de bentonite com ou sem zeólitos a partir de rochas-mãe riolíticas. Christidis (1998) relatou migração de álcalis e Si e ganhos de Mg, Fe e Ca, enquanto Al e Ti são imóveis.

O esgotamento dos componentes  $K_2O$  e  $MnO$  são substancialmente muito maiores. Notável é, o forte enriquecimento de  $MgO$  e a depleção de  $K_2O$ , ambos representando casos extremos. Os elementos  $Mg$ ,  $Fe$  e  $Ti$  são geralmente fixados durante a formação da bentonite por incorporação estrutural em argilas ou em óxidos e hidróxidos secundários (*Muchangos, 2000*). O  $Ca$  muito provavelmente sofre troca iônica e ocupa posições intercamadas nas argilas ou é incorporado na calcite ou outras fases minerais contendo  $Ca$  não detectadas pela análise de raios - X (*Vogt e Köster, 1978; Christidis, 1998*). A remoção dos iões solúveis por lixiviação são o principal mecanismo que causa o esgotamento.

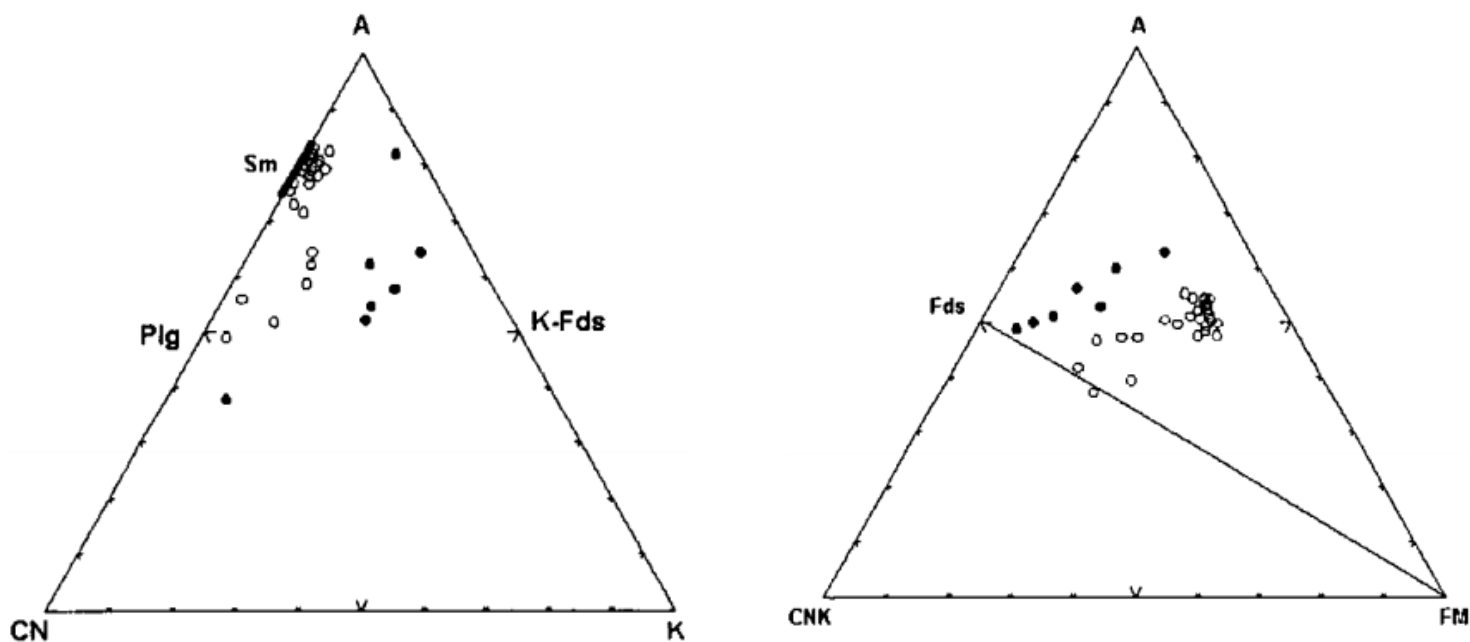
O elemento alcalino altamente solúvel  $K$ , é facilmente libertado durante a alteração das rochas riolíticas, e, se estiver ocupando locais intercamados na montmorilonite, é facilmente trocado por iões de  $Ca^{2+}$  dissolvido (*Zielinski, 1982*). O  $H$  também é mencionado como um provável intercambiador de  $Na$  e  $K$  durante a dissolução de rochas sílicas. A sílica também forma um elemento móvel durante a alteração do riolito. *White (1983)* relatou mecanismos de libertação de  $Si$  durante a dissolução de rochas vítreas. Sua remoção está relacionada à destruição da matriz de silicato e não à troca iônica. Mecanismo semelhante pode ter causado a libertação de  $U$  durante a alteração de riolitos em condições alcalinas oxidantes, conforme documentado por *Zielinski (1982)*. O comportamento do  $Si$  depende da química da rocha mãe (*Christidis, 1998*).

A formação de esmectite testemunha o facto de que tanto as concentrações de sílica quanto as relações de actividade  $(Na^+ K^+)/H$  das soluções foram moderadas. A dissolução de vulcões ácidos produz esmectites apenas quando o sistema está bem lavado (*Christidis et al., 1995; Christidis e Dunham, 1997*).

Análise Química	%
$Fe_2O_3$	2,48
$Al_2O_3$	10,057
$SiO_2$	61,623
$SiO_3$	0,015
$CaO$	0,046
$K_2O$	1,581
$Na_2O$	0,807
$TiO_2$	0,217
$BaO$	0,34
$ZnO$	0,017
$Rb_2O$	0,008
$SrO$	0,006

Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,018
ZrO <sub>2</sub>	0,06
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,013
I	0,297
Cl	0,125

**Tabela 2:** Composição química da bentonite bruta de Mafuiane; Fonte: Empresa MIMOC.



**Figure 8:** Imagem ilustrativa dos gráficos das rochas-mãe riolíticas e seus produtos alterados nos diagramas A-CN-K e A-CNK-FM (em base molar); Fonte: Muchangos, 2000.

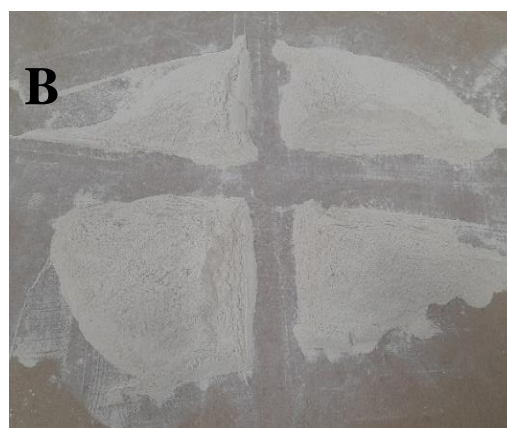
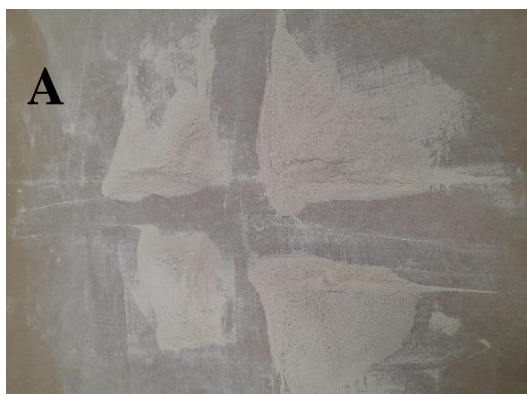
Legenda dos símbolos: círculos preenchidos = rocha mãe riolítica, círculos abertos-bentonites, Sm-esmectite, Plg-feldspato plagioclásio, K-fds=feldspato potássico.

## 8. PARTE EXPERIMENTAL

### 8.1.Preparação das amostras

As amostras de bentonite passaram pelo processo de homogeneização que consiste em quebrar a amostra para que a mesma fique homogênea.

Para as amostras BBSS e BBCS, foi realizado o processo de pulverização com vista a diminuir o tamanho dos grãos da amostra.



**Figure 9:** Amostras de bentonite quarteadas; A: Amostra BPCS; B Amostra BPSS; C: Amostra BBCS; D: Amostra BBSS; Fonte: Autora 2024.

Após quarteadas, foram, separadas 100g de amostras para diferentes análises.

As amostras passaram por diferentes ensaios laboratoriais para caracterização das mesmas nomeadamente:

#### 8.1.1. Caracterização mineralógica por DRX

A difracção de raio - X (DRX), proporciona a rápida identificação de partículas de materiais, argilas e outros minerais. Ela produz informações detalhadas sobre a estrutura cristalográfica de suas amostras, que podem ser usadas para identificar as fases presentes.

A DRX é especialmente útil para identificar fases de grão fino que são difíceis de identificar por outros métodos.

*Objectivo:* Identificar as fases da bentonite, e os minerais presentes maioritários nas amostras.

Aparelho, equipamento e requisitos de desempenho técnico:

✓ Aparelho Panalytical;

Material a ser usado:

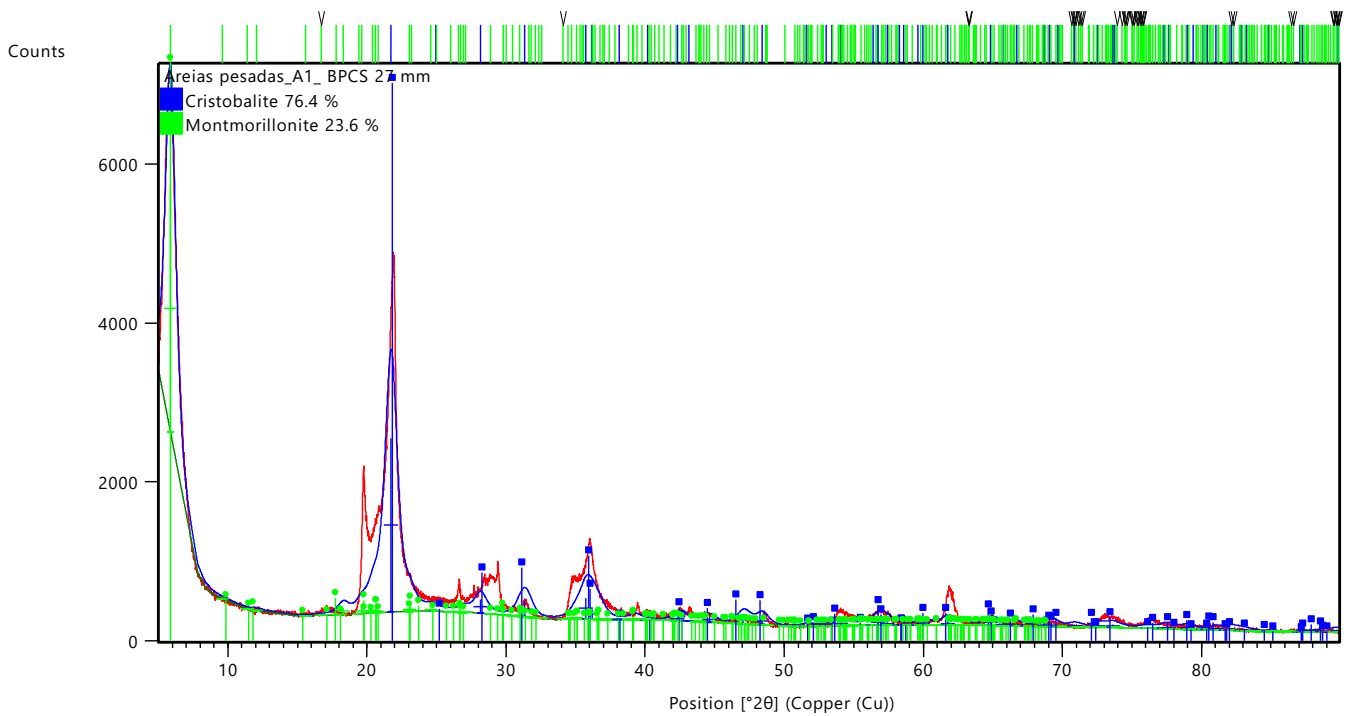
- ❖ Algodão;
- ❖ Esguicho com água;
- ❖ Prensa
- ❖ Espátula
- ❖ Porta-amostra;
- ❖ Lâmina;
- ❖ Papel toalha.

### **Preparação da amostra**

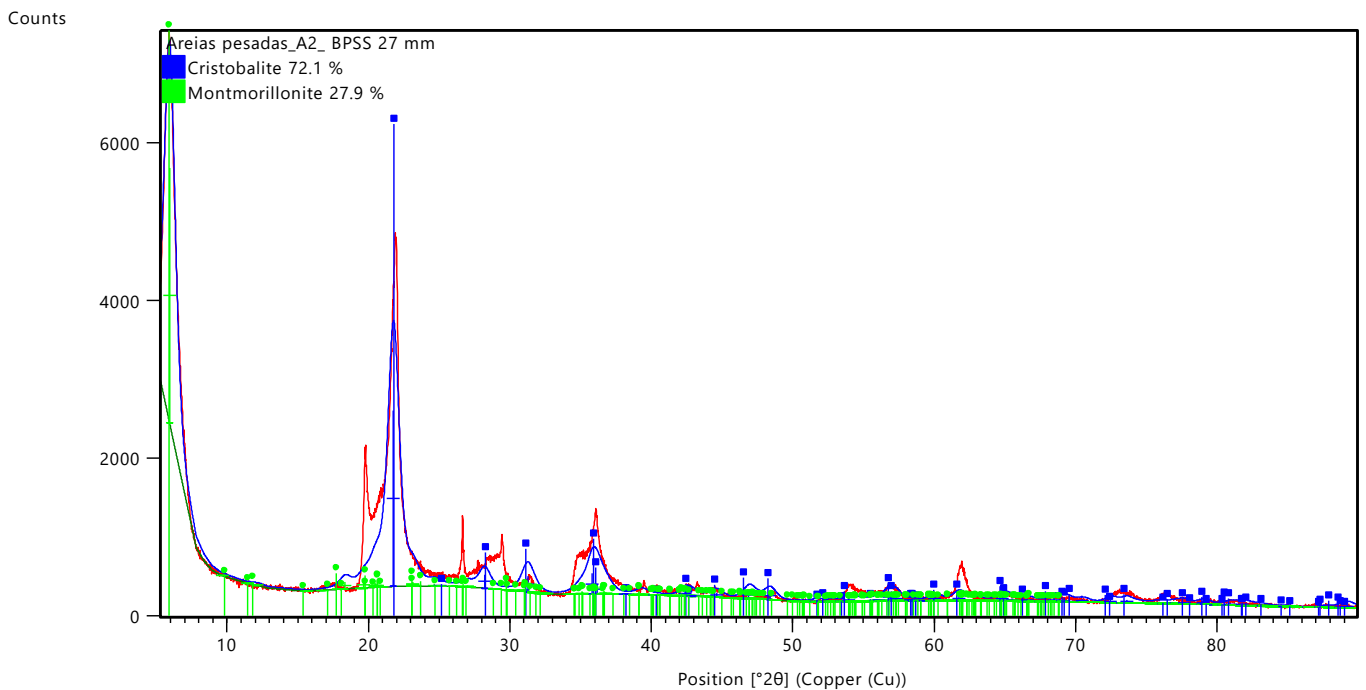
As amostras pulverizadas e devidamente moídas em almofariz de 0.63 µm foram colocadas em um porta-amostra de alumínio, prensadas até obter uma superfície regular, com a ajuda de uma lâmina específica para este processo e inseridas no suporte do goniômetro do difractômetro. Um padrão de silício foi utilizado para calibrar o equipamento. A interpretação qualitativa foi realizada por comparação com padrões existentes na base de dados PDF2 (International Center for Diffraction Data, ICDD) utilizando software específico. A análise quantitativa foi realizada por meio do método de refinamento de Rietveld<sup>13</sup>).



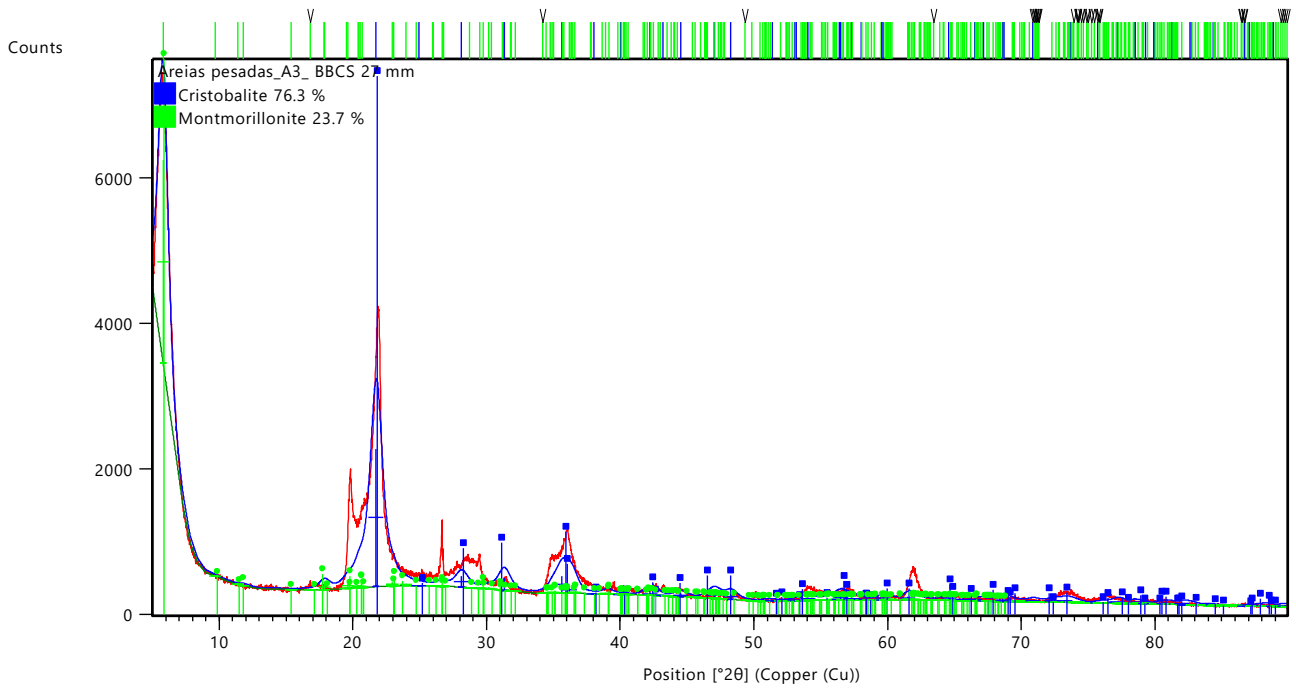
## Resultados e discussões



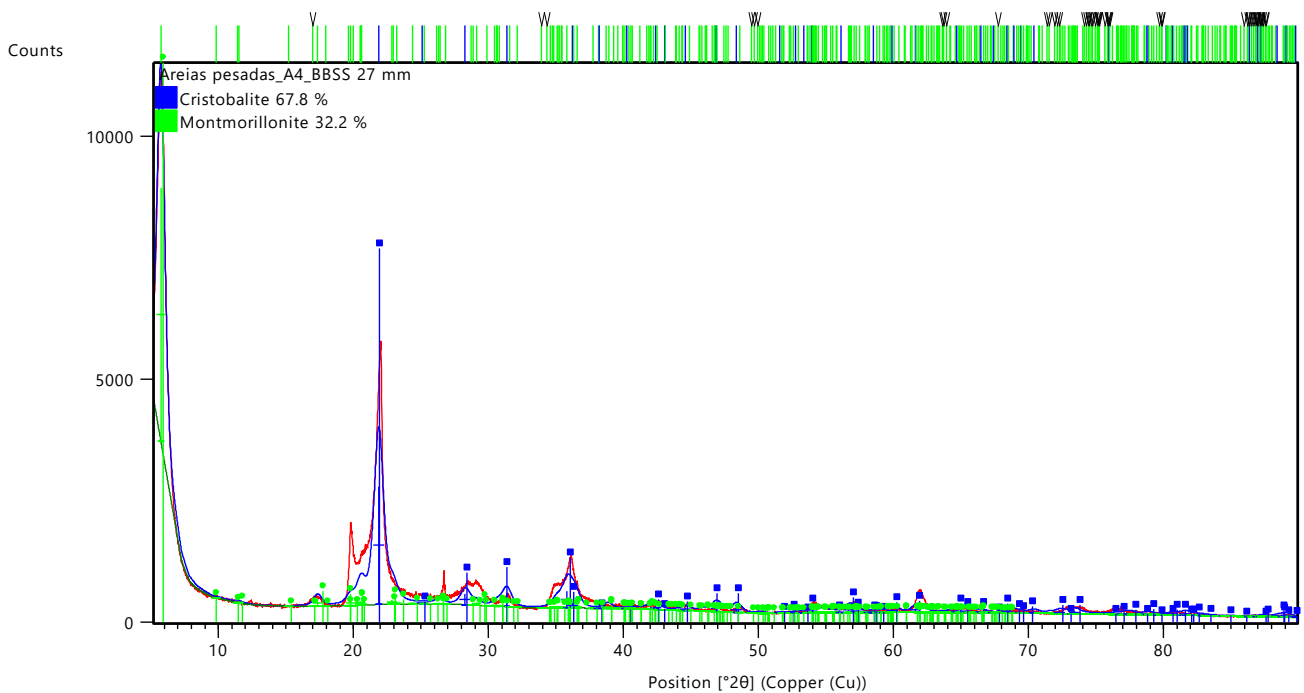
**Figure 10:** Resultado da DRX da amostra 1 (BPCS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT.



**Figure 11:** Resultado da DRX da amostra 2 (BPSS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT.



**Figure 12:** Resultado da DRX da amostra 3 (BBCS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT.



**Figure 13:** Resultado da DRX da amostra 4 (BBSS), indicando maior intensidade de cristobalite em relação à MMT.

Todas as amostras revelam teores elevados de cristobalite, que ultrapassam os teores de montmorilonite. É possível ver que a amostra BPCS é a amostra com maior quantidade de cristobalite

e com menor quantidade de montmorilonite, e que mesmo com o aditivo (soda), a qualidade é reduzida, pois a cristobalite é uma das formas polimorfas do quartzo. Em contrapartida, a amostra BBSS, neste caso uma amostra natural, apresenta alta quantidade de cristobalite e alguma significativa de montmorilonite.

A empresa MIMOC, utiliza a soda como aditivo, para melhorar a qualidade da bentonite devido as diferentes aplicações da mesma e com vista a purificar para remover uma alta quantidade de impureza (cristobalite). De acordo com os resultados apresentados nas análises de DRX, mesmo com a soda não há uma diminuição significativa na percentagem de sílica, tanto em amostras brutas como em amostras processadas.

### **8.1.2. Caracterização química po XRF**

A Fluorescência de raios-X, é uma técnica de ensaio químico que funciona a partir da interação entre as ondas eletromagnéticas, geradas pelo equipamento, e os átomos do material. É uma análise utilizada para identificar elementos químicos presentes na estrutura do material, bem como para quantificar a concentração desses elementos.

Quimicamente, as bentonites são caracterizadas por concentrações relativamente altas de  $\text{SiO}_2$ , herdadas da rocha-mãe siliciosa, e proporções de elementos altamente imóveis  $\text{Zr/TiO}_2$  e  $\text{Nb/Y}$  indicando composição riolítica, riolítica-dacítica. Geralmente, os baixos teores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{MgO}$  são uma característica típica das bentonites (*Muchangos, 2000*).

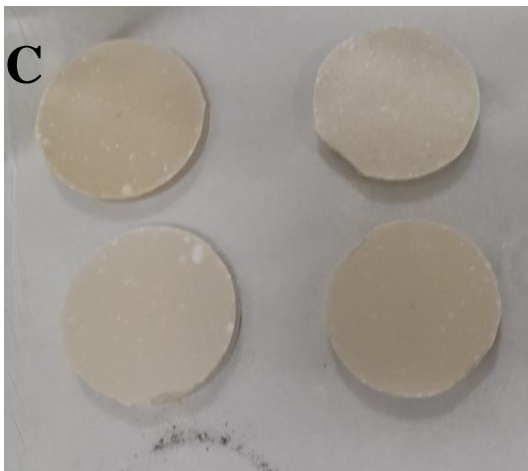
*Objectivo:* Caracterização e análise química da bentonite.

Aparelho, equipamento e requisitos de desempenho técnico:

- ✓ Balança para pesagem com limite de erro de 0,01g;
- ✓ Aparelho Panalytical;

Material a ser usado:

- ❖ Algodão;
- ❖ Barquinha;
- ❖ Frascos para armazenamento das amostras;
- ❖ Bandeja
- ❖ Esguicho com água destilada;
- ❖ Prensa
- ❖ Espátula;
- ❖ Lâmina;
- ❖ Papel toalha.



**Figure 14:** Preparação das amostras de bentonite para a análise de FRX; A: Após a preparação de 1g de amostra e 10g de fundente, as amostras foram introduzidas em frascos; B: As amostras foram prensadas em um equipamento adequado para a introdução das mesmas no equipamento; C: Amostras prontas para serem analisadas; D: Amostras introduzidas ao equipamento; Fonte: Autora, 2024.

Após pulverizadas, as amostras foram devidamente moídas em almofariz de 0.63  $\mu\text{m}$  para a análise.

### Resultados e discussões

%	BPCS	BPSS	BBCS	BBSS
SiO <sub>2</sub>	78.97	78.37	76.80	79.60
MgO	2.39	2.64	2.42	2.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.75	12.76	13.11	12.25
K <sub>2</sub> O	0,27	0.355	0.33	0.24
CaO	1.66	1.11	1.46	0.68
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.31	0.35	0.33
Na <sub>2</sub> O	1.12	1.02	1.13	0.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.01	2.97	3.98	3.57
MnO	0.12	0.02		0.01

<b>Total</b>	99.63	99,56	99,38	99.62
--------------	-------	-------	-------	-------

**Tabela 3:** Composição química das amostras colectadas na mina de Mafuiane.

A Tabela apresenta a composição química das amostras da bentonite (BPCS, BPSS, BBCS, BBSS). Comparando as amostras nota-se uma alta quantidade do teor da sílica em todas as amostras de bentonite. A sílica ( $\text{SiO}_2$ ), está relacionada às impurezas do mineral de quartzo e também é um dos constituintes do mineral argiloso montmorilonite.

Os resultados de DRX apontam o baixo teor da esmectite (MMT) conforme apresentado na Figura . Além disso, é notável excessivamente um baixo teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em relação à  $\text{SiO}_2$ , que é o principal indicador da esmectite (MMT), sugerindo o baixo teor da esmectite (MMT). O  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , está associado principalmente à montmorilonite e à caulinite, pois, impurezas como o quartzo não possuem alumínio em sua composição.

### 8.1.3. Determinação do teor de humidade.

Teor de humidade/humidade de uma amostra: é o quociente expresso em percentagem, de massa de água que evapora da amostra entre  $105^\circ\text{C}$  e  $110^\circ\text{C}$ , pela massa da amostra depois de seca.

*Objectivo:* Determinar o teor em água de uma amostra de bentonite, quando a mesma não se destina a ser utilizada noutra determinação normalizada.

Aparelho, equipamento e requisitos de desempenho técnico:

- ✓ Balança para pesagens com limite de erro de 0,01g;
- ✓ Estufa para a secagem T  $105^\circ\text{C}$  a  $110^\circ\text{C} \pm 0,4$ ;
- ✓ Cápsula de porcelana ou de quartzo de 50ml ou 100ml.

Condições ambientais exigidas e período de estabilização:

- ✓ Temperatura  $25^\circ\text{C} \pm 0,4$ ;
- ✓ Tempo de estabilização da estufa 17 minutos;
- ✓ Temperatura de estabilização da estufa  $105^\circ\text{C} \pm 0,4$ .

Material a ser usado:

- ❖ Pinça  $\pm 24\text{cm}$ ;
- ❖ Sabão líquido;
- ❖ Pincel;
- ❖ Espátula de dimensão 15 ou 17cm;
- ❖ Excicador com sílica – gel anidra, para conservação e arrefecimento da amostra;
- ❖ Algodão.

### Descrição do procedimento:

- Lavar a cápsula de porcelana ou de quartzo com água e sabão, passar ar comprimido para remover a água e depois humedecer o algodão com álcool e passar na cápsula;
- Levar a cápsula de quartzo ou porcelana a estufa, previamente, ligada a uma temperatura de 105° durante 30min, para a retirada da humidade na cápsula;
- Passados 30min, tirar a cápsula da estufa e deixar arrefecer no excicador com a tampa fechada durante 15min;
- Passados 15min de arrefecimento , abrir o excicador e retirar o cadinho com a amostra e levar a balança previamente preparada, de seguida fazer a leitura peso;
- Com auxílio da espátula, pesar 50,0g de amostra directamente para a cápsula de quartzo ou porcelana para obter o peso da amostra;
- Após o registo do peso da amostra, levar a cápsula contendo a amostra a estufa (previamente ligada a 105°C) por 4 horas;
- Após 4horas do tempo cronometrado, retirar a cápsula contendo a amostra na estufa e deixar no excicador durante  $\pm 15$ min.





**Figure 15:** Materiais a serem utilizados para a análise do teor de humidade; Fonte: Autora 2024.

### Resultados e discussões

Amostra	Peso da cápsula	Peso da amostra	Peso total
BPCS	156.7g	50g	200.2g
BPSS	154.4g	50g	197,9g
BBCS	144.7g	50g	186.5g
BBSS	150.2g	50g	192.0g

**Tabela 4:** Dados das amostras colectadas em Mafuiane para a análise do teor de humidade.

### Fórmula geral

$$\%H = \frac{P1 - P2}{P} \times 100\%$$

**Dados (BPCS):**

P1=50g

P2= 43.32g (200.2g-156,7g)

P=50g

$$\%H = \frac{50g - 43.32g}{50g} \times 100\%$$

$$\%H=13,4\%$$

**Dados (BPSS):**

$$P1=50g$$

$$P2= 43.5g (197,9g-154,4g)$$

$$P=50g$$

$$\%H = \frac{50g - 43.5g}{50g} \times 100\%$$

$$\%H= 13\%$$

**Dados (BBCS):**

$$P1=50g$$

$$P2= 41.8g (186,5g-144,7g)$$

$$P=50g$$

$$\%H = \frac{50g - 41.8g}{50g} \times 100\%$$

$$\%H= 16,4\%$$

**Dados (BBSS):**

$$P1=50g$$

$$P2= 41.8g (192g-150,2g)$$

$$P=50g$$

$$\%H = \frac{50g - 41.8g}{50g} \times 100\%$$

$$\%H= 16,4\%$$

Os resultados apontam maior teor de humidade em amostra bruta tanto com o aditivo soda, como sem a soda, é de salientar que estas duas amostras passaram por um processo de secagem ao ar completa, para que o procedimento tivesse maior resultado.

A empresa MIMOC tem como padrão do teor de humidade de amostra bruta com soda 13.2%, e aqui vemos um aumento significativo. As amostras processadas estão no padrão estabelecido pela empresa.

#### **8.1.4. Determinação do pH**

O pH é utilizado para representar o potencial hidrogeniônico presente em uma determinada solução ou mistura. Esse potencial refere-se à quantidade (concentração molar ou molaridade) de cátions



hidrônio ( $H^+$  ou  $H_3O^+$ ) presentes no meio e denomina-se esse meio ou mistura de ácido, básico ou neutro.

*Objectivo:* Conhecer o pH das amostras.

Nesta análise serão feitos dois ensaios nomeadamente:

- ✓ Da amostra processada sem soda (BPSS) e da amostra líquida (AL)

Aparelho, equipamento e requisitos de desempenho técnico:

- ✓ pH metro electrónico;
- ✓ Balança analítica (para pesar a amostra)

Para a calibração do equipamento:

- ✓ LOT: 9569;
- ✓ EXP: 04/2026;
- ✓ VOL: 30ml
- ✓ HI7082S
- ✓ 3.5M KCl Reference;
- ✓ Electrolyte Fill Solution.

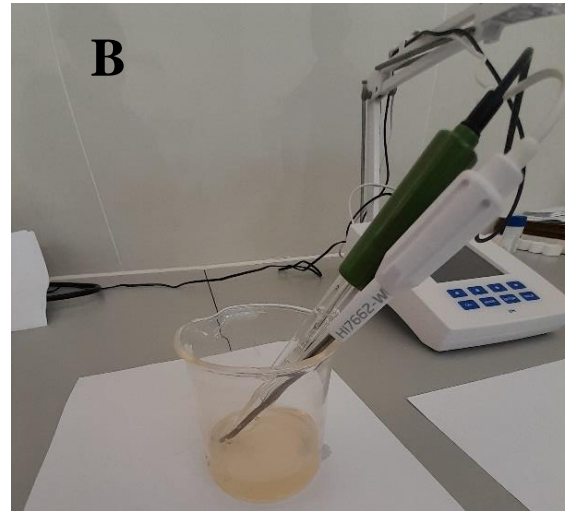
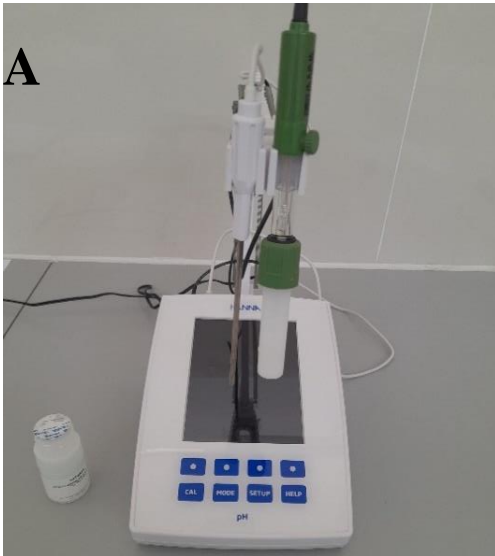
Material a ser usado:

- ❖ 2 copos de precipitação;
- ❖ 1 vareta;
- ❖ Esguincho;
- ❖ Vidro de relógio;
- ❖ Proveta;
- ❖ Espátula de dimensão 15 ou 17cm;
- ❖ Algodão.

Descrição do procedimento:

- Limpeza do equipamento com álcool ;
- Calibração com solução;
- Limpeza com água destilada;
- Introdução dos eléctrodos.

A amostra BPSS passou pelos seguintes procedimentos: i) Homogeneização da amostra; ii) Pesagem de 30g de amostra na balança analítica; iii) Dissolução da amostra em água destilada; iv) Colocação dos eléctrodos; v) Leitura do pH.



**Figure 16:** Imagem ilustrativa dos equipamentos utilizados para a análise; A: equipamento para leitura do pH; B: Leitura da amostra líquida; C: Leitura da amostra sólida dissolvida em água destilada; Fonte: Autora, 2024.

### Resultados e discussões

A leitura foi feita em 3 momentos, a temperaturas diferentes e a posterior fez-se a média dos 3 valores obtidos.

T em °C	23.6	23.5	23.4	<b>23.5</b>
pH	8.291	8.578	8.479	<b>8.449~8.45</b>

**Tabela 5:** Resultados da amostra BPSS.

A amostra líquida passou pelos seguintes procedimentos:

Separação de 50ml de amostra líquida

Colocação dos eléctrodos;

Leitura do pH.

A leitura foi feita em 3 momentos, a temperaturas diferentes e a posterior fez-se a média dos 3 valores obtidos.

T em °C	22.9	22.7	22.5	<b>22.7</b>
pH	6.681	6.665	6.649	<b>6.665~6.67</b>

**Tabela 6:** Resultados da amostra AL.

O pH da bentonite estipulado pela empresa é de 9,03, ao passo que, o resultado da análise da amostra BPSS é de 8.45, e o mesmo é básico conforme estabelecido, contudo, pode ser devido a alguns factores como a chuva que alterou o mesmo, mas não foi de forma significativa. A AL apresenta um pH ácido e pode também sugerir a intensidade de chuvas naquela região e a contaminação com outros elementos.

## 9. CONCLUSÕES

Esta pesquisa pretendia caracterizar geoquimicamente e mineralogicamente a bentonite da Mina de Mafuiane.

- ❑ Em amostras de bentonite, a argila do tipo esmectite (montmorilonite), é considerada a principal componente mineral, com teores variando até 75%, porém os resultados não sugeriram esta percentagem.
- ❑ Uma fase de sílica, cristobalite, quartzo e também sílica opalina estão sempre presentes e podem variar seus teores.
- ❑ Os resultados de DRX permitiram concluir que a sílica livre presente na bentonite de Mafuiane encontra-se sob a forma de cristobalite e em percentagem bastante elevada que até chega a ultrapassar os padrões definidos por alguns autores.
- ❑ Através da fluorescência de raios-X, foi possível avaliar a composição química de todas as amostras de bentonite tendo-se verificado um aumento significativo da sílica e diminuição do óxido de alumínio mostrando deste modo uma perda significativa da esmectite na fase analisada concordando deste modo com os resultados de DRX.
- ❑ Os resultados do teor de humidade sugerem que a amostra BBSC e BBSS possuem maior quantidade de água em sua composição, e as amostras BPCS e BPSS estão nos padrões definidos pela empresa, talvez pelo facto de serem amostras já processadas na Fábrica da empresa.
- ❑ O pH básico da amostra sólida sugere o padrão também definido, e a amostra líquida um pH ácido que pode ser devido a chuvas que ocorreram na semana na qual a amostra foi retirada, o que, pode ter interferido na análise.

*A existência de cristobalite em bentonites constitui um perigo para a saúde humana consequentemente, a sua aplicação será limitada o que poderá manter a baixa procura, e baixa comercialização para a empresa.*

## 10. RECOMENDAÇÕES

Para a remoção de uma quantidade significativa de cristobalite e melhoria da qualidade, recomenda-se a utilização do:

- ❑ Método de purificação por elutriação e a posterior a realizarem-se as análises de FRX, MEV;
- ❑ Método Rietveld.

O método de purificação por elutriação, consiste na separação de fracções de argilas expansíveis baseado na Lei de Stokes - processo este denominado elutriação, de forma a garantir e expandir possíveis aplicações industriais deste material. A posterior, é necessário caracterizar ou analisar as amostras por difracção de raios-X, fluorescência de raios-X e microscopia eletrônica de varredura.

O método Rietveld permite quantificar as principais fases minerais: montmorilonite, caulinite, nontronite e quartzo, alcançando 85% em massa da fase montmorilonite ao fim do processo. Os resultados mostram que o método utilizado é eficiente para remover quase todo o quartzo, carbonatos e matéria orgânica a partir da amostra. Observa-se também uma distribuição monomodal de tamanhos de grão dos materiais elutriados com grãos finos, por volta de  $(18,1 \pm 1,8) \mu\text{m}$  ao fim do processo. É um método que demonstra resultados promissores a serem aplicados de modo a elutrir quilogramas de argilas e pode ser utilizado a escala industrial.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Allo, W.A & Murray, H.H., (2004), Mineralogy, chemistry and potential applications of a white bentonite in San Juan province, Argentina, *Applied Clay Science* 25;
- ✓ Afonso, J. & Marques, João M. (1993), *A Evolução Geológica de Moçambique* IICT, Lisboa & DNG-Maputo, pag 79;
- ✓ Altaner, SP e Grim, RE, (1990), Mineralogia, Química e Diagênese de tufos na Formação Sucker Creek (Mioceno), Leste de Oregon. *Argilas e Minerais de Argila*, Vol.38, No.6;
- ✓ Aranha, I. B.; de Oliveira, C. H.; Neumann, R.; Neto, A. A.; Munayco, P.; Scorzelli, R. B.; Gil, R. A. S. S. (2007), Caracterização mineralógica de uma bentonite na mina Bravo, Boa Vista, Paraíba, *Arquivo do Museu Nacional, Rio de Janeiro* 65;
- ✓ Batista, A. P.; Menezes, R. R.; Marques, N. L.; Campos, L. A.; Neves, G. A.; Ferreira, H.C, (2009), Caracterização de argilas bentoníticas de Cubati-P. *Revista electrónica de Materiais e Processos*;
- ✓ Bergaya, F., Theng, B., Lagaly, G., (2006), *Handbook of Clay Science*, Elsevier, Oxford;
- ✓ Cadene, A., Durand-Vidal, S.; Turq, P.; Brendle, J. (2005), Study of individual Namontmorillonite particles size, morphology, and apparent charge, *Journal of colloid and interface Science*;
- ✓ Chale, C., (2009), *Bentonite Production (Maputo) MIMOC-Minerais Industriais de Moçambique*;
- ✓ Chave, A., (2019), *Caracterização Geotécnica da Argila Bentonítica para aplicação de base de um aterro*;
- ✓ Christidis, G.E, (1998), Estudo comparativo da mobilidade de elementos principais e traços durante a alteração de um andesito e riolito em bentonita, nas ilhas de Milos e Kimolos, Aegaen, Grécia. *Argilas e Minerais de Argila*, Vol. 46. Nº 4;
- ✓ Christidis, G.E, Scott, P.W e Marcopoulos, T., (1995), Origem dos Depósitos de Bentonita de Milos Orientais, Egeu, Grécia: Evidências Geológicas, Mineralógicas e Geoquímicas. *Argilas e Minerais de Argila*, Vol. 43. Nº 1;
- ✓ Cilek, V.G., (1986), *Minerais Industriais de Moçambique. Pesquisa Geológica*, Praga;
- ✓ Erdogan, B.; Demirci, S. (1996), Activation of some Turkish bentonites to improve their drilling fluid properties 10;
- ✓ Ferreira, H. S.; Menezes, R.R.; Martins, A.B.; Neves, G.A.; Ferreira, H.C. (2008), Análise da influência do tratamento de purificação no comportamento de inchamento de argilas organofílicas em meios não aquosos, *Cerâmica* 54;
- ✓ Guven, N., Grimi, R., (1971), X-ray diffraction and electron optical studies on smectite and  $\alpha$  cristobalite associations, *Clays and Clay Minerals*;
- ✓ Lehto, T. e Gonçalves, R. (2008), Mineral resources potential in Mozambique. *Geological Survey of Finland, Special Paper* 48;

- ✓ Luz, A. B. da, Oliveira, C. H., Aranha, I. B., Argila - Bentonita, Rochas e Minerais Industriais - CETEM/2008, 2a Edição, Cap. 11;
- ✓ Luz, A. B. da; Baltar, C. A. M.; de Oliveira, C. H.; Aranha, I. B. (2004), Caracterização, activação e modificação superficial de bentonites Brasileiras;
- ✓ Magandane, B. J., (2013), Remoção de impurezas não esmectíticas da bentonite de Boane, Maputo;
- ✓ Massinga, P., Focke, W., Vaal, P. e Atanasova, M. (2010), Alkyl ammonium intercalation of Mozambican bentonite, Applied Clay Science 49;
- ✓ Miles, W.J. (1993), Crystalline silica analysis of Wyoming bentonite by X-ray diffraction after phosphoric acid digestion, Analytica Chimica Acta, 286;
- ✓ Ministério da Administração Estatal, (2005), Perfil do Distrito de Namaacha (Província de Maputo);
- ✓ Neto, É.T., & Neto Â.A.T., (2009), Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado, Quim. Nova, Vol. 32, No.3;
- ✓ Önal, M., Kahraman, S., e Sarkaya, Y. (2007), Differentiation of  $\alpha$ -cristobalite from opals in bentonites from Turkey, Applied Clay Science 35;
- ✓ Oliveira, M. F. D. de (2009), Estudo da modificação de bentonite para a remoção de fenol em águas produzidas na indústria de petróleo, Tese de mestrado. Univesidade do rio grande do norte;
- ✓ Paiva, L.B. de; Morales, A.R.; Diaz F.R.V. (2008), Argilas Organofílicas: Características, Metodologias de Preparação, Compostos de Intercalação e Técnicas de Caracterização, Cerâmica 54;
- ✓ Pardini, P., O que são argilas e argilominerais?
- ✓ Pablo-Galan, L., (1990), Diagênese de tufos vítricos do Oligoceno-Mioceno em depósitos de montmorilonita e K-feldspato, Durango, México. Argilas e Minerais de Argila, vol. 38;
- ✓ Rodrigues, A. O., (2020), Diferenciação catiônica de bentonites por infravermelho: Um estudo dos efeitos da hidratação dos catiões trocáveis;
- ✓ Rosário, J.A. do (2010), Obtenção de materiais antimicrobiano a partir de bentonite nacional tratada com prata, Tese de doutoramento. Florianópolis, Universidade Fideral de Santa Catarina;
- ✓ Sartori, R. A.; de Moraes, L. C.; Consolin-Filho, N.; Marques D. D.; Gessner, F. (2011), Adsorção do corante azul de metileno em partículas de argilominerais: análise dos tamanhos das partículas, Química nova 34;
- ✓ Silva, A.R.V.; Ferreira, H. C., (2008), Argilas bentoníticas: conceitos, estruturas, propriedades, usos industriais, reservas, produção e produtores/fornecedores nacionais e internacionais, Revista electrónica de materiais e processos 32;
- ✓ Seidov, AV e Alizade, Kh. A., (1966), A Formação e Mineralogia das Bentonitas no Azerbaijão. Minerais de Argila 6;
- ✓ Tonnesen, D. A.; Bertolino, L. C.; Luz, A. B.; Silva, F. T.; Timóteo, D. M. O., (2012), Caracterização mineralógica e beneficiamento das bentonite da região de Cubati e Pedra lavrada-PB;

- ✓ White, AF, (1983), Química de Superfície e Cinética de Dissolução de Rochas Vítreas a 25°C, *Geologia Química. Geochimica et Cosmochimica Acta* No. 47;
- ✓ Winchester, J. A. e Floyd, PA, (1977), Discriminação geoquímica de diferentes séries de magma usando elementos imóveis, *Geologia Química* 20;
- ✓ Zielinski, RA, (1982) A mobilidade do urânio e outros elementos durante a alteração das cinzas de riolito em montmorilonita: Um estudo de caso na Formação Troublesome, Colorado, EUA, *Chemical Geology* 35.