



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROJECTO CIENTÍFICO

Estudo da Morfologia, Petrografia e Análise da Relevância Científica, Educativa e Turística dos Basaltos Colunares de Matsequenha, Distrito de Namaacha para fins de Geoconservação



Autor:

Bande, Cardoso Brito Domingos

Maputo, 10 de Junho de 2024



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROJECTO CIENTÍFICO

Estudo da Morfologia, Petrografia e Análise da Relevância Científica, Educativa e Turística dos Basaltos Colunares de Matsequenha, Distrito de Namaacha para fins de Geoconservação

Curso:

Licenciatura em Cartografia e Pesquisa Geológica

Autor:

Bande, Cardoso Brito Domingos

Supervisores:

Prof. Doutor Farisse Chirindja (*Departamento de Geologia – UEM*)

Prof. Doutor Marcelino Moiana (*Museu Nacional de Geologia*)

Msc. Nelson Ernesto Nhamutole (*Museu Nacional de Geologia*)

Maputo, 10 de Junho de 2024

DEDICATÓRIA

Aos meus sobrinhos:
Labeina, Inércio, Agcénio,
Lidoval, Kimberley e a Madleny

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço à Deus pelo dom da vida e por me salvar do mal durante a jornada. De seguida, agradeço aos meus pais, Brito Domingos Bande e Laurinha Supinho Nhampa, por tudo quanto fizeram desde a tenra idade até o presente. Agradeço-os igualmente por terem cultivado em mim valores que hoje me caracterizam. O percurso não foi simples e não esperava que fosse. Com o vosso apoio e bênção, termino esta etapa na esperança de abraçar novos desafios que a vida me reserva.

Agradeço profundamente aos meus irmãos, começando pelo Arcénio Brito Bande e Liberato Brito Domingos, pelo sacrifício de seus projectos de vida, para dar lugar e suporte aos dos mais novos. Aos demais irmãos, Serafina Brito Bonde, Irene Brito Domingos, Inoque Brito Bande, Zacarias Bande e Wilma Brito Bande, as minhas sobrinhas, Ivete Bartolomeu e Olásia Bartolomeu, agradeço profundamente pela vossa presença em todos os momentos bons e de sacrifício em que juntos atravessamos. Agradeço-os igualmente pela alegria proporcionada e pelos conselhos. Apesar da distância que nos separa, espero que o Senhor na sua infinita bondade, mantenha-os protegidos e presente no meu dia-a-dia e vice-versa. Que cada um, continue sendo a rocha e o pilar que sustenta o outro.

Agradecimentos especiais, endereço aos meus supervisores, o Prof. Doutor Farisse Chirindja, o Prof. Doutor Marcelino Moiana e ao MSc. Nelson Nhamutole pelos ensinamentos e apoio proporcionado de forma incondicional, durante a realização deste projecto, pois, sem os mesmos, não seria possível realizar este estudo.

Estendo o meu agradecimento ao Dr. Dino Milisse, Director do Museu Nacional de Geologia (MNG), a Dra. Estela Cuambe, Chefe do Departamento de Administração e Finança do MNG, e ao Chefe Lino José, pela oportunidade concedida para realizar um estágio Técnico-Profissional que culminou com a realização deste estudo, como também, agradeço-os pela oportunidade ímpar que me concederam de participar em diversas actividades e projectos desenvolvidos pelo MNG. Estas oportunidades marcaram positivamente no início da minha carreira profissional na área da geologia e da mineração como Geólogo. Aos demais colegas do Museu Nacional de Geologia, muito obrigado pelos ensinamentos

Por fim, reservo-me a agradecer a todos os amigos, desde os da tenra idade até aos actuais, por tudo quanto vivenciamos e pelo que ainda não vivemos. A todos os colegas do curso, em especial

ao Mocuba Joaquim Mocuba, Savata Albeto Banze, Salomão Edson Pery (*in memorian*), agradeço profundamente pelo companheirismo, solidariedade, irmandade, espírito de trabalho em equipe e pelo brio . Foi um enorme prazer aprender ao vosso lado.

Aos amigos e colegas da Faculdade de Ciências Agrárias - Universidade Lúrio, em especial ao Hotélio Rodrigues Abdala, Gerson Raimundo Namatenga e a todos os outros da Turma de Engenharia Florestal 2016, vai o meu muito obrigado.

A todos que directa ou indirectamente contribuíram no meu percurso estudantil e na realização deste, mas que por razões alheias à minha vontade não foram mencionados, o meu muito obrigado!

Declaração de Honra

Eu, **Cardoso Brito Domingos Bande**, declaro por minha honra que o presente Projecto Científico é da minha autoria. O projecto nunca foi submetido e apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico. O projecto resulta de uma pesquisa por mim realizada, com a orientação e apoio dos meus supervisores. Todas as bibliografias consultadas encontram-se devidamente citadas e referenciadas na bibliografia.

O Candidato

(Cardoso Brito Domingos Bande)

Maputo, 10 de Junho de 2024

Resumo

Em Moçambique, regista-se nos últimos tempos, uma tendência crescente do número de estudos sobre o património geológico, para fins de conservação. Como resultados destes estudos, o país possui actualmente, geossítios com classificação de património geológico mundial, dada sua representatividade e interesse científico. Entretanto, a quantificação da relevância de geossítios neste domínio é um tema recente, e o mesmo constitui um passo fundamental para a compreensão do interesse patrimonial do geossítio, assim como, a definição de estratégias para a sua conservação.

Os basaltos colunares de Matsequenha constituem o único exemplar de disjunção colunar conhecido no país. Estes basaltos ocorrem a nordeste do Distrito de Namaacha, Província de Maputo, região caracterizada pela presença de geossítios com um interesse científico, turístico e cultural invejável. Neste contexto, com o objectivo de compreender a relevância científica, educativa e turística destes basaltos, fez-se a inventariação e quantificação dos elementos que ocorrem neste geossítio, seguido de análise do seu potencial para fins de geoconservação.

A metodologia usada para a inventariação e quantificação da relevância dos basaltos colunares de Matsequenha, foi adaptada do modelo de inventariação, caracterização e avaliação do património geológico proposto por Cumbe (2007). Como resultados, constatou-se que os basaltos colunares de Matsequenha apresentam colunas regulares, com um padrão de disjunção maioritariamente pentagonal e por vezes hexagonal, com um diâmetro médio que varia de 21 a 35 cm e o comprimento médio relativo das pequenas colunas denominadas colunades atinge quatro metros. As colunas estudadas apresentam bandamentos que acompanham a deformação das colunas em dobras do tipo Chevron e apresentam vesículas preenchidas por um material criptocristalino de composição carbonática.

Os dados obtidos durante a quantificação evidenciam que os basaltos colunares de Matsequenha apresentam uma considerável relevância científica e educativa, calculada em [$A = 0.56$], associada às características morfológicas, petrográficas e estruturais. Quanto a relevância turística, o valor calculado é baixo [$U = 0.43$], e o geossítio não apresenta uma grande utilidade para fins turísticos, associado a fraca relação com outros elementos de natureza biótica e cultural, assim como, a sua menor extensão de área em que ocorre. Adicionalmente, o geossítio apresenta elevado grau de vulnerabilidade, calculada em [$V = 0.66$], devido à sua exploração como material de construção.

Com a avaliação qualitativa e quantitativa realizada, conclui-se que os basaltos colunares de Matsequenha apresentam um interesse patrimonial, associada à sua raridade no contexto geológico local e nacional, as suas feições morfológicas, petrográficas e estruturais que fazem do geossítio, um local ideal para a realização de estudos petrológicos, mineralógicos, tectónicos e estruturais. No entanto, tendo em consideração o risco de destruição em que o geossítio se encontra, existe uma urgente necessidade de proteger este local, de modo a garantir a sua prevalência para o desenvolvimento de pesquisas científica, assim como na formação de geocientistas.

Palavras-chave: Basaltos colunares, Geoconservação, Matsequenha, Património Geológico, Quantificação

ÍNDICE

DEDICATÓRIA	i
Agradecimentos	ii
Declaração de Honra.....	iv
Resumo	v
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
CAPÍTULO I - GENERALIDADES.....	1
1. Introdução.....	1
1.1. OBJECTIVOS DO PROJECTO.....	2
1.1.1. Objectivo geral.....	2
1.1.2. Objectivos específicos	2
1.2. RELEVÂNCIA DO ESTUDO	2
1.3. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO	3
1.3.1. Localização geográfica da área de estudo.....	3
1.3.2. Clima e Hidrografia	4
1.3.3. Relevo e solos	5
1.4. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO	5
1.4.1. Geologia Regional	5
1.4.2. Geologia local	7
CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	8
2.1. Basaltos colunares.....	9
2.1.1. Características mineralógicas dos basaltos.....	10
2.1.2. Principais características texturais dos basaltos	11
2.1.3. Mecanismos de Formação de Basaltos Colunares	12
2.1.4. Características morfológicas e padrões de disjunção colunar em basaltos	14
2.1.5. Principais estruturas em um complexo de disjunção colunar	17
2.2. GEODIVERSIDADE E GEOCONSERVAÇÃO	20

2.2.1. Geodiversidade e seus valores	20
2.2.2. Relação entre a geodiversidade e património geológico	22
2.2.3. Estratégias para a conservação do património geológico - Geoconservação	23
3.1. Materiais	27
3.2. Metodologia	27
3.2.1. Revisão bibliográfica.....	27
3.2.2. Trabalho de campo	27
3.2.3. Trabalhos laboratoriais	30
3.2.4. Tratamento e interpretação de dados.....	31
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
4.1. Petrografia dos Basaltos colunares de Matsequenha	33
4.1.1. Descrição Macroscópica.....	33
4.1.2. Descrição Microscópica	34
4.2. MORFOLOGIA E ESTRUTURA DOS BASALTOS COLUNARES DE MATSEQUENHA	37
4.2.1. Variabilidade geométrica e diâmetro das colunas	37
4.2.2. Grau de simetria e distribuição espacial das colunas	39
4.3. QUANTIFICAÇÃO DOS BASALTOS COLUNARES DE MATSEQUENHA	41
4.3.1. Localização Geográfica do Geossítio.....	41
4.3.2. Tipo de interesse do geossítio	42
4.3.3. Avaliação quantitativa do Geossítio.....	42
CAPÍTULO V – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	46
5.1. Morfologia das colunas.....	46
5.2. Relevância dos Basaltos Colunares de Matsequenha e Potencial para a Geoconservação	47
5.2.1. Relevância Científica e Educativa	49
5.2.2. Relevância Turística	49
CAPÍTULO VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

7.1. BIBLIOGRAFIA	53
Apêndices.....	58
Apêndice I. Coordenadas geográficas e medições de campo	59
Apêndice II – Micrografias de lâminas delgadas.....	60
Apêndice III – Painel geológico e interpretativo do geossítio de basaltos colunares de Matsequenha	62
ANEXOS	63
Anexo I – Ficha de inventariação e caracterização do património geológico	64

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização geográfica do afloramento de basaltos colunares de Matsequenha. 4
- Figura 2.** Enquadramento da geologia regional do monoclinal dos Libombos. Mapa Adaptado de GTK Consortium (2006a). 7
- Figura 3.** Material criptocristalino de cor clara que preenche as vesículas e superfície de contacto entre as colunas (esquerda), e um conjunto de colunades inclinadas para NE (direita). 8
- Figura 4.** Mapa simplificado da geologia da área de estudo. Modificado de GTK Consortium (2006a) 8
- Figura 5.** Modelo simplificado de formação de basaltos colunares, a partir da propagação contínua de fraturas para várias direcções (a). A bifurcação de um segmento de fracturas origina colunas hexagonais (b) com ângulos de aproximadamente 120° (c). Em (d) é representado a transição do modelo de disjunção colunar em T para Y num regime steady-state. Adaptado de Hofmann et al., (2015). 13
- Figura 6.** Padrões geométricos dos basaltos colunares coloridos com base no número de faces. Quadriláteros com a cor vermelha, pentagonais com a cor laranja, hexagonais com a cor verde, heptagonais com a cor azul e octogonais com a cor lilás. Goehring & Morris (2005). 15
- Figura 7.** Modelo esquemático de colunades. A direcção de fluxo de calor acontece da base para o topo, e o processo de arrefecimento, na no sentido contrário. Na superfície de contacto (W) a perda de calor e a circulação de fluidos é maior. A espessura das colunades (h) e a largura das colunas (s), depende das condições térmicas de arrefecimento da lava. Adaptado de Chao et al., (2020). 17
- Figura 8.** Principais unidades de um complexo de disjunção colunar, evidenciando colunades inferiores, entablaturas e colundades superiores. Adaptado de Spry (1962). 18
- Figura 9.** Diferentes padrões de disjunção colunar e orientação das colunas. Em **a** – prismas colunares transversais, **b** – prismas colunares do tipo chevron e chevron invertido, **c** – prismas colunares do tipo chevron óbliqua e radial, **d** – prismas colunares do tipo delta ou de um chamine vulcânico (superior) e prismas com aspecto basal (em baixo). Spry (1962). 19
- Figura 10.** Ciclo de vida de um programa de geoconservação, ilustrando a relação entre a geodiversidade, património geológico e a sua importância para o ecoturismo e geoturismo, num contexto do desenvolvimento sustentável. Adaptado de Nascimento et al., (2008). 24

Figura 11. Equipamentos utilizados durante os trabalhos de campo.	28
Figura 12. Procedimentos laboratoriais e equipamentos utilizados desde a amostragem (a), dimensionamento e etiquetagem das amostras (b), pesagem de amostras para o envio ao laboratório (c e d) e descrição petrográfica das laminas delgadas (e).	31
Figura 13. Colunas basálticas zonadas (a) com vesículas preenchidas por material de grão fino e cor clara (b). Em c e d , observa-se colunas com cristais de prismáticos de calcite, em que os números representam os pontos em que os cristais começam a se desenvolver.	34
Figura 14. Amostra de mão de basalto colunar (a). Textura microporfirítica de basaltos em XPL (b), com fenocristais ripiformes e euédricos de clinopiroxenas (c e d) - XPL. As micrografias (c e d) foram obtidas com a objectiva de médio aumento e 200% de zoom do microscópio.	35
Figura 15. Variações texturais dos basaltos colunares de Matsequenha. Textura glomerofítica semicircular (a e b), textura hipovítrea acicular (c). O material de coloração avermelhada a castanho escuro na figura (d) representa os minerais de alteração das olivinas em idingsite.	37
Figura 16. Padrões de disjunção dos basaltos colunares de Matsequenha (a) e distribuição espacial (b), tendo em consideração o comprimento (c) e diâmetro das colunas (d).	39
Figura 17. Colunas basálticas deformadas em dobras tipo Chevron (a), com bandamentos e estrias ao longo das faces (b e d). A direcção de movimento das colunas é indicada pela seta destacada em azul (b).	40
Figura 18. Inclinação das colunas na direcção NNE – SSW (diagrama de rosetas), acompanhando o plano de deslizamento (sc), onde se dá a descontinuidade das colunas. As superfícies de descontinuidade, são preenchidas por material precipitado de carbonato de cálcio e por vezes sílica.	41
Figura 19. Localização geográfica dos basaltos colunares de Matsequenha. Fonte: Google Earth (2023).	42
Figura 20. Exploração de basaltos colunares de Matsequenha como material para construção.	44
Figura 21. Representação gráfica da relevância científica, educativa e turística dos basaltos colunares de Matsequenha para fins de geoconservação.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informação sobre o grau de conhecimento científico	43
Tabela 2. Avaliação quantitativa dos atributos naturais do geossítio	43
Tabela 3. Avaliação quantitativa da utilidade do geossítio.....	43
Tabela 4. Avaliação quantitativa da vulnerabilidade do geossítio.....	44
Tabela 5. Avaliação da relevância dos basaltos colunares de Matsequenha como sendo de interesse nacional ou local.	45
Tabela 6. Resumo de avaliação quantitativa dos basaltos colunares de Matsequenha	45

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

Apêndice 1. Coordenadas geográficas e medições de campo	
Apêndice 2. Micrografias de lâminas delgadas	
Apêndice 3. Painel geológico e interpretativo dos basaltos colunares de Matsequenha	
Anexo 1. Ficha de inventariação e caracterização do património geológico utilizada	

LISTA DE ABREVIATURAS

<u>Abreviatura</u>	<u>Legenda</u>
Cm	Centímetros
Cpx	Clinopiroxena
g	Gramma
°C	Graus Centígrados
%	Percentagem
Fig.	Figura
Idg	Idingsite
IGME	Instituto Geológico e Mineiro da Espanha
INE	Instituto Nacional de Estatística
IUGS	International Union of Geological Science
Km²	Quilómetros quadrado
m	Metros
Ma	Milhões de anos
MAE	Ministério da Administração Estatal
N	Norte
NNE	Norte Nordeste
Opc	Opacos
Ol	Olivina
Pl	Plagioclase
PPL	Plain Polarized Light
PROGEO	International Association for the Conservation of Geological heritage
S	Sul
Séc.	Século
SSW	Sul Sudoeste
Tab	Tabela
XPL	Cross Polarized Light

CAPÍTULO I – GENERALIDADES

1. Introdução

A geoconservação é uma das mais recentes áreas de estudo inserida no domínio das ciências da terra, a partir dos meados década do século XX (Carcavilla *et al.*, 2019). Desde o seu surgimento, o estudo da diversidade geológica (geodiversidade) e do património geológico (geopatrimónio) para fins da sua conservação (geoconservação), tem vindo a ganhar consistência a nível global, culminado com a identificação de sítios geológicos de interesse científico, educativo, turístico e cultural.

A geoconservação tem como finalidade avaliar, proteger e divulgar as potencialidades desses geossítios, visando a sua exploração para o desenvolvimento de pesquisas científicas, a prática de actividades de lazer, assim como propor a sua classificação como património geológico de interesse local, regional, nacional ou internacional (Borba *et al.*, 2013 & Silva *et al.*, 2019).

Em Moçambique ocorrem vários sítios geológicos (geossítios) de interesse científico, associados à diversos processos geológicos que moldaram o estrato ou substrato rochoso (GKT Consortium, 2006a). Por outro lado, o desenvolvimento de estudos voltados a protecção e conservação destes locais, é de um modo geral fraco, registando-se alguns trabalhos realizados de forma exploratória, a maioria dos quais, com foco no reconhecimento de potenciais locais de interesse patrimonial. Ressalva-se neste domínio os mais recentes esforços do Museu Nacional de Geologia (MNG) na divulgação do património geológico nacional, que tem culminado com a identificação e classificação de sítios geológicos de interesse patrimonial (Nhamutole *et al.*, 2021).

Neste contexto, o presente estudo faz o estudo e a quantificação da relevância científica, educativa e turística dos basaltos colunares de Matsequenha, Distrito de Namaacha, para fins de geoconservação. No âmbito do estudo do património geológico nacional, a quantificação da relevância de geossítios é um tema recente, e o presente estudo constitui uma das etapas iniciais para o estabelecimento de estratégias de geoconservação de locais de interesse patrimonial.

O conhecimento das potencialidades de cada geossítio, constitui um passo fundamental para a sua classificação como património geológico, assim como o desenvolvimento de estratégias de geoconservação, capaz de ser aplicável a nível local ou nacional (Silva *et al.*, 2019). Para o efeito, a metodologia usada neste estudo, baseou-se no modelo de inventariação e avaliação do património geológico proposto por Cumbe (2007). Adicionalmente a esta metodologia, fez-se a integração de

estudos petrográficos de lâminas delgadas, com objectivo de realçar as características mineralógicas e texturais das rochas. Com esta base metodológica, espera-se que o presente estudo sirva de contributo para a divulgação e valorização contínua do património geológico de Moçambique no geral, e particular, da província de Maputo.

1.1. OBJECTIVOS DO PROJECTO

1.1.1. Objectivo geral

O presente estudo tem como objectivo avaliar a relevância dos basaltos colunares de Matsequenha, Distrito de Namaacha para fins de geoconservação, tendo em consideração as suas características morfológicas, petrográficas e estruturais.

1.1.2. Objectivos específicos

- Identificar as principais características mineralógicas e texturais dos basaltos colunares de Matsequenha;
- Analisar os padrões de distribuição espacial e variabilidade geométrica dos basaltos colunares de Matsequenha;
- Quantificar a relevância científica, educativa e turística dos basaltos colunares de Matsequenha para fins de geoconservação.

1.2. RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A geoconservação é uma das mais recentes áreas de estudo inserida no domínio das ciências da terra, a partir dos meados do séc. XX. Os trabalhos de inventariação, caracterização e valorização do património geológico desenvolvidos a partir desta época contribuíram de forma significativa para o conhecimento e aprimoramento dos princípios de geoconservação e do património geológico, numa escala global (Carcavilla *et al.*, 2019).

No entanto, o desenvolvimento destes estudos em Moçambique ainda é bastante reduzido, registando-se apenas algumas iniciativas desenvolvidas de forma exploratória, visando o reconhecimento de sítios geológicos de interesse patrimonial (Fombe *et al.*, 2019). Na província de Maputo, em particular no Distrito de Namaacha, ocorrem sítios geológicos com um valor científico, turístico e cultural de carácter relevante. Neste caso, trata-se dos basaltos colunares de Matsequenha, único exemplo de disjunção colunar conhecidos no país, caracterizados por um

padrão de disjunção pentagonal e hexagonal, formado a partir da contracção térmica da lava em arrefecimento.

Dado o elevado nível de ameaça em que esta formação se encontra, devido a sua exploração como material de construção, existe uma urgente necessidade de se avaliar a potencialidade de se proteger o local caso seja considerado um geossítio. A sua geoconservação permitirá a sua prevalência e exploração para o desenvolvimento de pesquisas científicas, formação de geocientistas e a prática de actividades de lazer. Por outro lado, justifica-se a relevância deste estudo pelo contributo que o mesmo poderá trazer para a valorização destas estruturas e do geossítio como património geológico da província de Maputo.

1.3. ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

1.3.1. Localização geográfica da área de estudo

O Distrito de Namaacha está localizado na Província de Maputo, região Sul de Moçambique. Dista a cerca de 76 km a Sudoeste da Cidade de Maputo, entre os paralelos 25°28'19" e 25°40'26" latitude Sul e meridianos 31°55'53" e 32°24'08" longitude Este. É limitado a Norte pelo Distrito de Moamba, a Sul pelo Distrito de Matutuine, a Este pelo Distrito de Boane e a Oeste, faz fronteira com a República de África do Sul e o Reino de Eswatini (MAE, 2005, INE, 2012).

O Distrito de Namaacha apresenta área de cerca de 2196 km² e uma população estimada em cerca de 47.129 habitantes (INE, 2017). Por outro lado, o distrito está dividido em dois postos administrativos, nomeadamente: posto administrativo de Changanane, composto pelas localidades de Changanane, Goba, Mahelane e Michangulene, e o Posto Administrativo de Namaacha, onde faz parte a Vila de Namaacha e as localidades de Chimuchuanine, Impaputo, Mafuiane e Matsequenha, sendo nesta última localidade, onde se situa a área de estudo ^[1].

A localidade de Matsequenha situa-se a nordeste do distrito de Namaacha e faz limite com o Distrito de Moamba e de Boane (fig. 1). O afloramento de basaltos colunares por sua vez, ocorre nas proximidades do distrito de Moamba, nas seguintes coordenadas geográficas, no centro do afloramento: 25°48'30.3" S e 32°14'41.8" E. Do ponto de vista geológico, este afloramento ocorre ao longo dos vulcanitos riolíticos da cadeia monoclinial dos Pequenos Libombos, numa antiga pedreira, que pode ser facilmente acessível a partir da vila do distrito de Boane, através da R. 401 que liga o distrito de Boane com o distrito de Moamba (fig. 1).

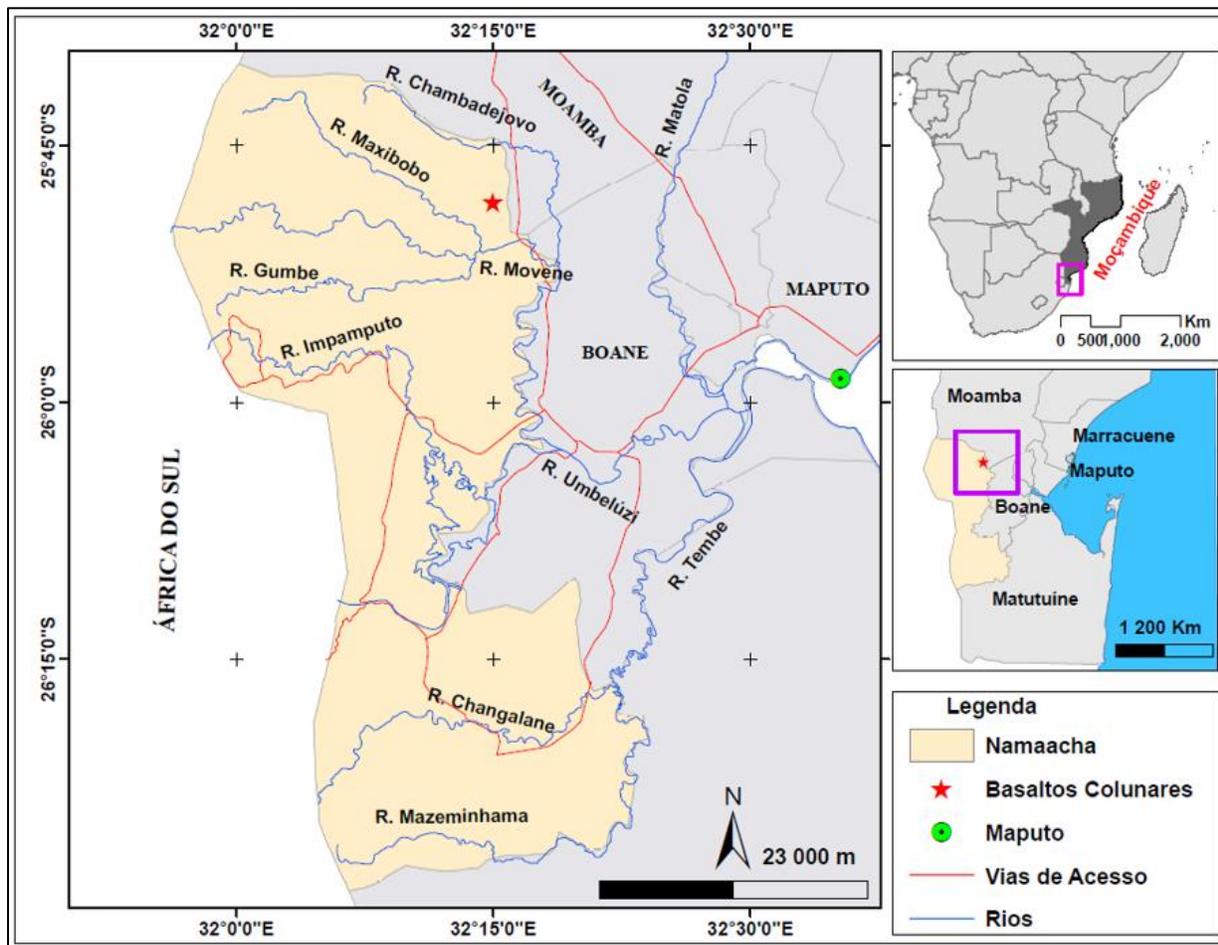


Figura 1. Localização geográfica do afloramento de basaltos colunares de Matsequenha.

1.3.2. Clima e Hidrografia

De acordo com a classificação climática de Koppen, a área de estudo é caracterizada por um Clima Tropical Húmido (AW), variando para um clima tropical seco de Estepe (BS), causada pela variação de altitude nos Postos Administrativos de Namaacha Sede e Goba.

O distrito de Namaacha é caracterizado por duas estações, uma seca e outra fresca. A estação seca ou quente é caracterizada por uma elevada pluviosidade entre Outubro e Abril, seguido da estação fresca que varia de Abril a Setembro (MAE, 2005).

A temperatura média é de 21°C e a precipitação média anual é de 896 mm. Em termos hidrográficos, o distrito de Namaacha é atravessado por dois rios de grande ordem, nomeadamente, Rio Umbelúzi e Rio Maputo, e por vários outros cursos de água de pequena extensão, tais como: rio Movene, rio Mazeminhama, rio Changalane, rio Mabenga, rio Gumbe, rio Chambadejovo e inúmeras nascentes que formam as cascatas com o nome do distrito (MAE, 2005).

1.3.3. Relevo e solos

O Distrito de Namaacha é marcado pelas cordilheiras dos Libombos, disposta no sentido Norte-Sul, com o monte M'Ponduine como sendo o ponto mais alto da província de Maputo, com aproximadamente 800 metros de altitude. Em toda a sua extensão o distrito de Namaacha é caracterizado por solos basálticos avermelhados e ocasionalmente acastanhados (MAE, 2005). O distrito de Namaacha é igualmente caracterizado por várias unidades geomorfológicas, com destaque para (i) - terras altas que fazem parte do complexo da Cadeia dos Libombos; (ii) - Planaltos médios que são adjacentes ao primeiro; (iii) - encostas; e (iv) - pequenas planícies de 100 – 200 metros ao longo dos vales aluvionares dos rios, onde os solos apresentam tonalidade mais acinzentada devido a alteração química de solos primários por acção da água (MAE, 2005).

1.4. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

1.4.1. Geologia Regional

A área de estudo encontra-se inserida nos terrenos vulcânicos do Karoo Superior e série Stromberg (Paulino, 2009). No contexto geológico local, a área de estudo ocorre ao longo do cinturão monoclinal dos Libombos – um prolongamento linear com orientação de norte a sul, num comprimento de cerca de 600 km e 20 a 30 km de largura. Este prolongamento Vulcano-tectónico, estende-se desde Pafuri na província de Gaza, até o Reino de Eswatini, passando pela fronteira com República de África do Sul (Britsow, 1982 & GTK Consortium, 2006a).

O monoclinal dos Libombos faz parte das grandes províncias ígneas do Karoo, ou seja, KLIP (Karoo Large Igneous Province) (Sweeney, 1986). Compreende a uma estrutura que se formou durante a erupção de enormes quantidades de lavas através de um conjunto de fissuras, o que permitiu a transferência de magma das zonas mais profundas para a superfície (Afonso, 1976).

O cinturão dos Libombos é caracterizado por rochas ígneas subvulcânicas de idade Jurássico – Cretássico. Estas unidades litológicas por sua vez, encontram-se parcialmente sobrepostas no extremo este, por um conjunto de formações sedimentares Meso - Cenozóico da Bacia de Moçambique, que se estendem até próximo a zona costeira com uma espessura média de 6 – 13 Km (Afonso, 1976a & GTK Consortium, 2006a).

Os basaltos colunares de Matsequenha enquadra-se na Formação Movene (**JrM**), ao longo do cinturão monoclinal dos Libombos. A Formação Movene é mais pronunciada no extremo norte do

cinturão (Sweeney, 1986), sendo caracterizada basicamente por basaltos de composição máfica e textura vesiculares associados a outros fluxos de lava com um caráter geoquímico bimodal, com destaque para riolitos, tufos riolíticos quartzo latito (**JrMq**) (Bristow, 1982 & GTK Consortium, 2006a).

No extremo Oeste, ocorrem corpos riolíticos em níveis mais coalescentes e alongados na direção norte-sul. Estes riolitos membro dos Pequenos Libombos, pertencem a Formação Umbelúzi (**JrUr**), que ocorrem na parte central do monoclinal e encontram-se parcialmente instalados em lavas basálticas da Formação Movene (**JrM**) (GTK Consortium, 2006a). As rochas nesta região do monoclinal pendem cerca de 15° - 20° para este, acompanhando a inclinação do flanco (Afonso, 1976a; Bristow, 1982 & Sweeney, 1986).

Por fim, no extremo leste da área de estudo, predominam formações sedimentares Meso-Cenozóicas da Bacia de Moçambique, que estão em contacto com corpos lenticulares de sienitos nefelínicos (**JrPnS**) e lavas alcalinas de Pessene (**JrPal**). Em termos litostratigráficos, os basaltos vesiculares de Movene (**JrM**) e os riólitos, membro dos Pequenos Libombos (**JrUr**), ocorrem sobrepostos aos basaltos vesiculares e picríticos da Formação do Rio Sábié (**JrSba**), situados mais a norte do monoclinal e que resultaram de processos de descompressão adiabática do manto superior, seguido por subdução junto à fronteira entre o manto superior e o manto inferior (180.1±1.0 Ma) (Bristow, 1982 & Sweeney, 1986).

Os basaltos vesiculares de Sábié (**JrSba**) por sua vez, estendem-se junto à fronteira com a vizinha África do Sul, onde são intersectados por pequenos corpos lenticulares de dacitos e traquitos (**JrUt**), riólitos, ignimbritos e tufos que antecedem os riólitos da Formação Umbelúzi (**JrUr**) (Bristow, 1982 & GTK Consortium, 2006a). No topo da Formação Movene, ocorrem sienitos nefelínicos (**JrPnS**) e lavas alcalinas de Pessene (**JrPal**), parcialmente cobertos por formações sedimentares Meso-Cenozoicas da bacia de Moçambique (fig. 2) (GTK Consortium, 2006a).

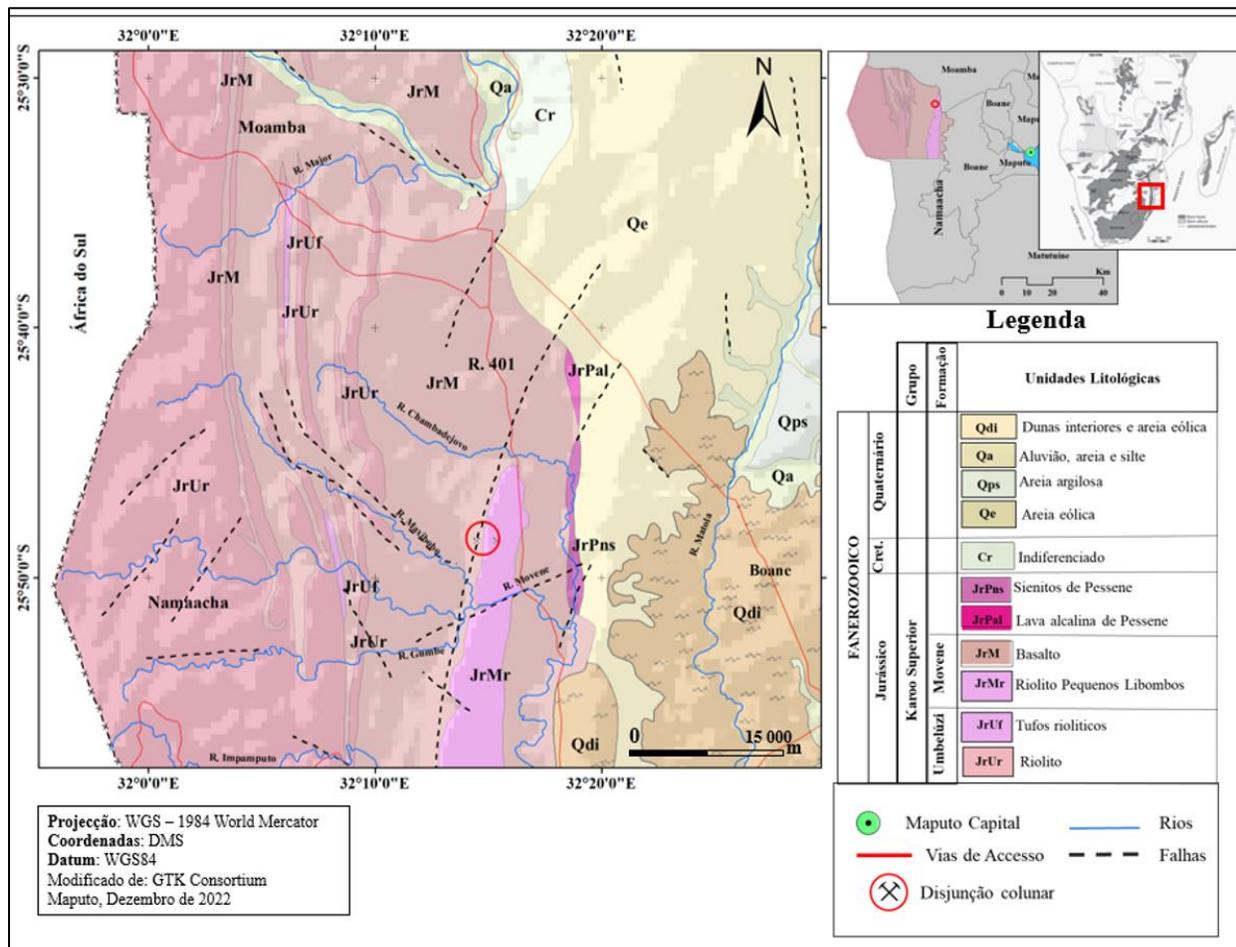


Figura 2. Enquadramento da geologia regional do monoclinal dos Libombos. Mapa Adaptado de GTK Consortium (2006a).

1.4.2. Geologia local

Os basaltos colunares de Matsequenha pertencem a série do Stromberg, Karoo Superior, datados de Jurássico (~195 Ma) – Cretássico (~137 Ma) (Bristow, 1982). Estes basaltos ocorrem de forma intercalada com riólitos, membro dos Pequenos Libombos e são cobertos por materiais sedimentares recentes, que ocorrem de forma descontínua e em pequenas manchas (GTK Consortium, 2006a).

No geral, os basaltos de Matsequenha são finos, cor escura e com tonalidades acastanhadas e alaranjado na superfície externa, resultado da alteração química. Adicionalmente, as rochas apresentam vesículas de dimensões variadas, preenchidas por sílica e por cristais criptocristalinos de composição maioritariamente carbonática.

Tendo em consideração o ambiente tectónico em que a área de estudo se encontra, no limbo este numa dobra monoclinial, com inclinação de cerca de 10° a 20° para este (Afonso, 1976), as rochas

encontram-se pouco fracturadas e ligeiramente deformadas em dobra do tipo Chevron, com orientação de aproximadamente NNE – SSW.



Figura 3. Material criptocristalino de cor clara que preenche as vesículas e superfície de contacto entre as colunas (esquerda), e um conjunto de colunades inclinadas para NE (direita).

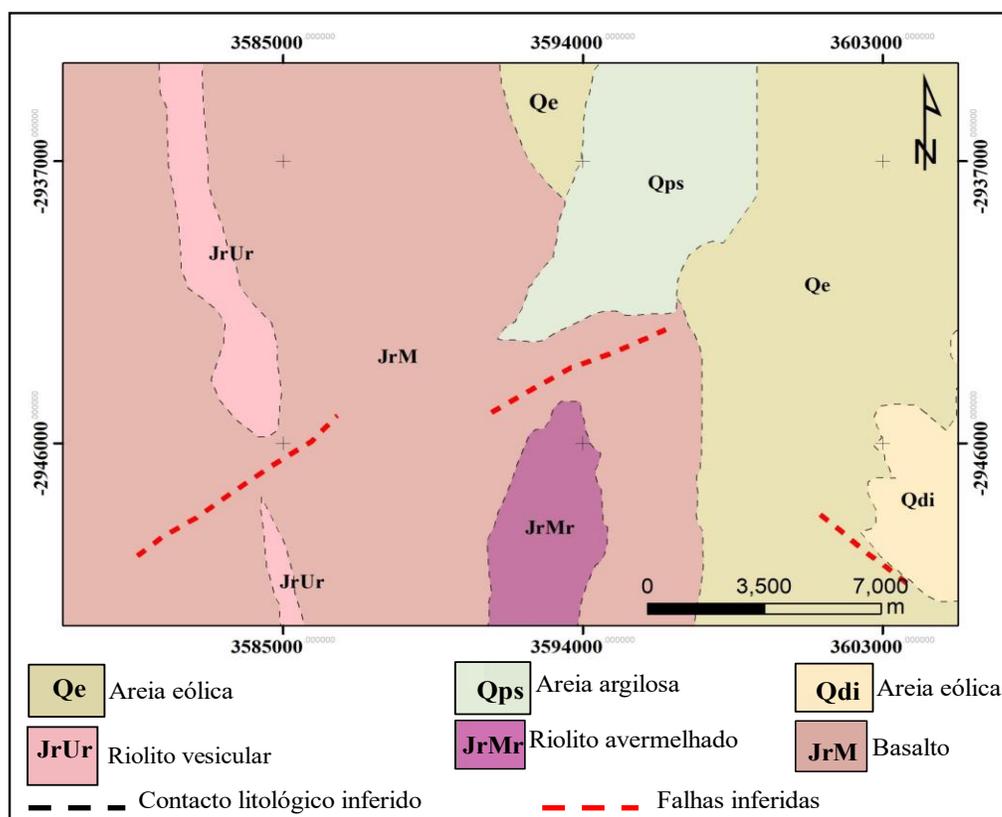


Figura 4. Mapa simplificado da geologia da área de estudo. Modificado de GTK Consortium (2006a)

CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta sessão apresenta-se de forma detalhada conceitos relacionados às disjunções colunares em basaltos, características mineralógicas e texturais, mecanismos de formação e principais aspectos morfológicos das estruturas colunares.

2.1. Basaltos colunares

Os basaltos são rochas vulcânicas de composição máfica, caracterizadas por uma matriz vítrea e textura de granulometria fina. Formam-se a partir da solidificação da lava na superfície da terra ou em zonas próximas à superfície (Teixeira *et al.*, 2000 & Gill, 2010).

Os basaltos colunares são também designados por disjunções colunares ou simplesmente por disjunção prismática (Teixeira *et al.*, 2000). Correspondem a um conjunto de estruturas formadas por contração térmica da lava, podendo ser na superfície, como nas zonas mais profundas do fluxo de lava (Spry, 1962; Goehring, 2008 & Hofmann *et al.*, 2015).

Em ambientes ígneo-vulcânicos, as estruturas colunares podem ser formadas tanto em basaltos, quanto em outros tipos de rochas, como por exemplo, riólitos, traquitos e dacitos (Goehring, 2008). Adicionalmente, alguns corpos intrusivos como diques e soleiras, apresentam um aspecto similar ao de estruturas resultantes da disjunção colunar (Teixeira *et al.*, 2000 & Philpott e Ague, 2009).

Os basaltos colunares podem ser formados e ocorrer em diversos ambientes continentais, como em arcos de ilha, bacias intra-oceânicas, províncias ígneas e em riftes intracontinentais (Teixeira *et al.*, 2000; Gill, 2010 & Philips *et al.*, 2013). No entanto, a história de formação destas rochas é complexa e envolve a actuação integrada de diversos processos geológicos (Hofmann *et al.*, 2015 & Lamur *et al.*, 2018).

A ocorrência de estruturas colunares dá-se de forma descontínua e sem uma regularidade específica (Spry, 1962). O seu arranjo geométrico é por um lado, influenciado pela variação das condições térmicas, e por outro, pelo regime tectónico em que estão associados, podendo ser de compressão ou de extensão (Wei *et al.*, 2011). De um modo geral, a ocorrência de estruturas colunares em basaltos é mais frequente que em qualquer outro tipo de rocha vulcânica. Esta frequência resulta do facto de magmas basálticos serem os mais abundantes na superfície da terra, quando comparado com os magmas andesíticos (Teixeira *et al.*, 2000). Associando esta abundância de magmas basálticos com a sua composição mineralógica relativamente simples, faz com que o estudo dos basaltos seja um bom ponto de partida para estudos sistemáticos das rochas, assim como para a compreensão dos processos de formação das mesmas (Gill, 2010).

2.1.1. Características mineralógicas dos basaltos

A composição mineralógica e química de uma rocha é associada aos tipos de minerais que constituem a rocha e a respectiva composição química (Gill, 2010). Estes parâmetros além de evidenciarem as espécies minerais presentes e a proporção entre elas, são dois requisitos fundamentais para a nomenclatura e classificação petrográfica das rochas (Gill, 2010).

A classificação mineralógica das rochas, pode ser feita a partir de diferentes parâmetros (Teixeira *et al.*, 2000 & Gill, 2010). De acordo com Teixeira *et al.* (2000), a presença de fenocristais e o índice de cor das rochas, são considerados alguns indicadores que podem ser utilizados para inferir a sua composição mineralógica, assim como, a sua classificação em máficas ou félsicas. No entanto, as análises petrográficas e químicas são as técnicas mais recomendadas para fazer uma classificação mais precisa das rochas, pois, permitem determinar a variação composicional de cada rocha (Gill, 2010).

Com base na variação composicional que as rochas apresentam, permite subdividir as rochas em ácidas, quando o teor de sílica varia entre 66% - 52%, rochas básicas, com teor de sílica entre 52% - 45% e rochas ultrabásicas, quando o teor de sílica é inferior a 45%, tal como é descrito em Teixeira *et al.*, (2000). Com base nesta classificação os basaltos como rochas máficas, apresentam um teor de sílica que varia entre 45% e 52%, e composição mineralógica relativamente simples, sendo constituídos maioritariamente por piroxenas e plagioclases cálcicas (Teixeira *et al.*, 2000).

Tendo em consideração que a composição mineralógica de uma rocha é por convenção determinada a partir do tipo de minerais constituintes, a abundância de um tipo de mineral e ausência de outro, desempenha um papel fundamental na classificação das rochas (Gill, 2010). Em função disto, os minerais podem ser classificados em essenciais, quando a sua presença determina o nome de raiz da rocha, e, secundários quando a sua presença não afecta ou não determina o nome da rocha (Teixeira *et al.*, 2000).

Neste contexto, os basaltos são essencialmente caracterizados pela predominância de olivinas, piroxenas e plagióclases cálcicas. Deste conjunto, constituem minerais essenciais a augite e plagióclase cálcica e, minerais secundários a enstatite e/ou pigeonite e olivinas. Uma outra classe de minerais que ocorrem nos basaltos, são os minerais acessórios, que resultam da alteração

químicas de minerais essenciais e/ou secundários, sendo os mais comuns óxidos de cromite, ilmenite e apatite (Gill, 2010).

De acordo com Gill (2010), os minerais acessórios são caracterizados como sendo opacos em muitos estudos petrográficos. Entretanto, nos basaltos colunares estes minerais podem ocorrer como resultado da exposição prolongada destas rochas à circulação de fluidos hidrotermais, principalmente nas superfícies de contacto entre as colunas (Spry, 1962 & Goehring, 2008). Quando isto acontece, minerais silicáticos formados a temperaturas magmáticas, por exemplo, reagem e formam novos minerais mais estáveis nas novas condições em que as colunas se encontram inseridas (Goehring *et al.*, 2011 & Hofmann *et al.*, 2011). Como resultado desta exposição, mudanças significativas na textura das rochas podem ser originadas, acelerando também o processo de alteração das rochas (Teixeira *et al.*, 2000).

2.1.2. Principais características texturais dos basaltos

De acordo com Gill (2010), a textura de uma rocha espelha todos os aspectos físicos visíveis da rocha. Dentre eles, destaca-se a cristalinidade da rocha, a granulação, as formas geométricas e o padrão de arranjo dos minerais que constituem a rocha (Teixeira *et al.*, 2000).

Como se fez referência anteriormente, os basaltos colunares se formam a partir de uma sequência de eventos geológicos, integrados entre si. Durante este processo, aspectos relacionados com as características primárias da composição do magma podem ser preservadas ou então alteradas, dando lugar a novas, com uma certa similaridade ou não. Tendo em consideração estes aspectos, os basaltos podem apresentar duas ou mais gerações de texturas, que se diferenciam entre si, pelas características mineralógicas ou tamanho de grãos dos minerais (Gill, 2010).

De acordo com MacKenzie *et al.* (1982), a variação textural que os basaltos apresentam está associada à processo de fluxo e solidificação da lava em diferentes ambientes geológicos. Como resultado, os basaltos podem apresentar fenocristais ou microfenocristais de olivina, piroxena e por vezes, plagioclase na sua textura. Ainda de acordo com este autor, a identificação desses aspectos em estudos petrográficos de rochas, é um aspecto importante que permite compreender os processos de acumulação da lava, a sua história evolutiva, e ainda, permite classificar as rochas em diferentes categorias.

Os basaltos são em geral, caracterizados por uma textura afanítica, podendo variar para porfírica, vítrea, seriada ou amigdalóide (Gill, 2010). Quando estas variações acontecem, a textura dos basaltos pode ser caracterizada por uma matriz intergranular onde cristais euédricos e ripiformes de plagioclase constituem uma malha, em cujos interstícios estão presentes cristais de clinopiroxena e magnetite (Squisato *et al.*, 2009).

A textura porfírica por sua vez, pode apresentar outras variações, com destaque para a texturas glomeroporfírica e hipovítrea. A primeira é caracterizada por cumulos de cristais prismáticos de plagioclases e olivinas, e na segunda, os fenocristais de plagioclase constituem a matriz fina, comumente formada por material criptocristalino de cristalização vítrea ou desvitrificado de outros minerais (Nascimento & Gorayeb, 2004). Segundo Gill (2010), a textura porfírica é indicativa de processos complexos de arrefecimento da lava.

De um modo geral, a variação textural nos basaltos é caracterizada pela diferença do tamanho de grau e forma dos minerais. A avaliação destes parâmetros em estudos petrográficos baseados em amostras de mão ou em análises microscópicas de lâminas delgadas, contribui significativamente para a classificação dos basaltos em diferentes categorias (Gill, 2010).

2.1.3. Mecanismos de Formação de Basaltos Colunares

Os basaltos colunares formam-se principalmente por contração térmica da lava (Spry, 1962; Jagla, 2002; Goehring & Morris, 2005 & Hofmann *et al.*, 2015). Com base neste modelo, a geometria e a regularidade das colunas resulta da actuação integrada de diversos mecanismos de transferência de calor (Aydin & DeGraff, 1988 & Goehring & Morris, 2008).

Considerando-se o fluxo de lava como uma camada fina, horizontalmente uniforme em que a dimensão lateral é maior que a sua espessura, o arrefecimento de lava ocorre do topo, em direcção à parte inferior do fluxo da lava. Durante este processo, a lava contrai gradualmente, gerando um conjunto de fracturas que se propagam lateralmente e transversalmente a partir do topo em direcção a parte inferior do fluxo, em profundidade (fig. 5) (Spry, 1962 & Hofmann *et al.*, 2009).

O padrão preferencialmente hexagonal das colunas, resulta da propagação e reorganização estrutural de um conjunto de fracturas, que se desenvolveu a partir de um único ponto de disjunção tripla com ângulos de aproximadamente 120° (fig. 5b&c) (Spry, 1962 & Goehring,

2008). Segundo Brilha (1998), justifica-se a ocorrência de disjunções colunares com um padrão hexagonal, com base na teoria de que o hexágono é a forma geométrica mais estável em condições de roptura de uma dada superfície.

Na fase inicial da formação das colunas, a propagação lateral e transversal das fracturas, caracteriza um padrão de disjunção planar ou em forma da letra T, cujo ângulo interfacial é de aproximadamente 90° (fig. 5d). Com o aumento do volume de fluxo de lava solidificada e quando este é influenciado por esforços externos, compressão ou extensão, o padrão de disjunção inicial tende a mudar gradualmente para um padrão do tipo Y (Hofmann *et al.*, 2015).

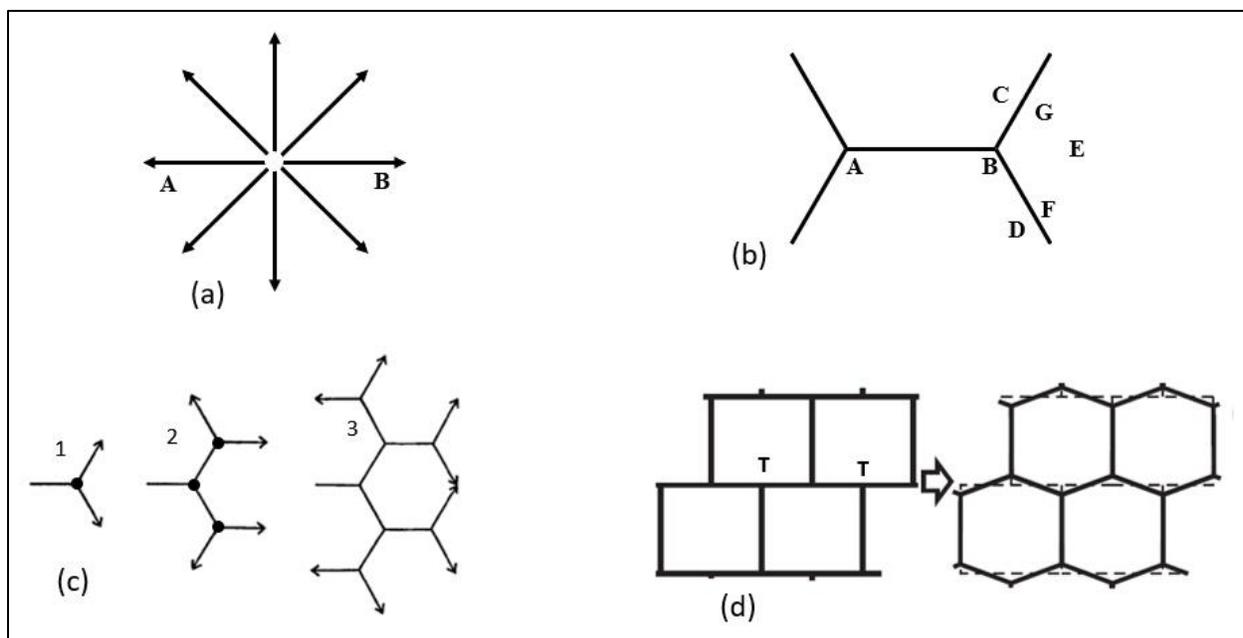


Figura 5. Modelo simplificado de formação de basaltos colunares, a partir da propagação contínua de fracturas para várias direcções (a). A bifurcação de um segmento de fracturas origina colunas hexagonais (b) com ângulos de aproximadamente 120° (c). Em (d) é representado a transição do modelo de disjunção colunar em T para Y num regime steady-state. Adaptado de Hofmann *et al.*, (2015).

A pressão litostática gerada pelas camadas superiores solidificadas contribui para mudança do padrão de disjunção em T, para disjunção tipo Y com ângulos interfaciais de aproximadamente 120° (fig. 5d) (Hofmann *et al.*, 2015). De acordo com vários autores, a mudança do regime de disjunção está associada ao regime tectónico de contração, como resultado da actuação de esforços externos sobre as rochas (Spry, 1962; Aydin & DeGraff, 1988; Goehring & Morris, 2008).

O ponto de bifurcação e intercessão das fracturas na disjunção do tipo Y é caracterizado por ser uma zona de maior alívio de pressão e libertação de calor (Aydin & DeGraff, 1988; Goehring & Morris, 2008). O mesmo processo é verificado quando a mudança do tipo de disjunção ocorre, pois, acontece na direcção da zona de máxima tensão e menor energia livre (Hofmann *et al.*, 2011).

Por exemplo, quando a fonte de lava se encontra suficientemente distante da superfície, o arrefecimento por contração é menos eficiente quando comparado com a perda de calor por convecção e radiação. Quando isto acontece, um estado de equilíbrio *steady-state* pode ser gerado e a taxa de libertação de calor e arrefecimento da lava, decorrerá de maneira constante e colunas geradas, poderão apresentar um maior diâmetro (Goehring & Morris, 2008; Hofmann *et al.*, 2015).

2.1.4. Características morfológicas e padrões de disjunção colunar em basaltos

Os basaltos colunares resultam da contração térmica da lava em arrefecimento (Hofmann *et al.*, 2015). Este processo pode ocorrer na superfície ou em zonas próximas à superfície (Wei *et al.*, 2001). A lava quando solidificada, fratura-se em diversas unidades prismáticas, com um padrão de disjunção preferencialmente hexagonal (fig. 6) (Spry, 1962 & Goehring, 2015).

O padrão hexagonal apresenta um certo grau de simetria que pode ser facilmente visível ao longo da secção transversal, e os ângulos interfaciais são de aproximadamente 120° (Spry, 1962). No entanto, para Goehring (2008), a regularidade na simetria das colunas não é a regra geral, existindo prismas com 7, 5 e 3 lados em que tal simetria não é aplicável.

Para Hofmann *et al* (2015), o padrão de simetria entre as colunas é um aspecto relacionado com processos termomecânicos. Por exemplo, o padrão regular e hexagonal das colunas resulta da reordenação de micro-fraturas desenvolvidas durante o arrefecimento relativamente lento da lava, em estado de equilíbrio (Spry, 1962 & Goehring, 2008).

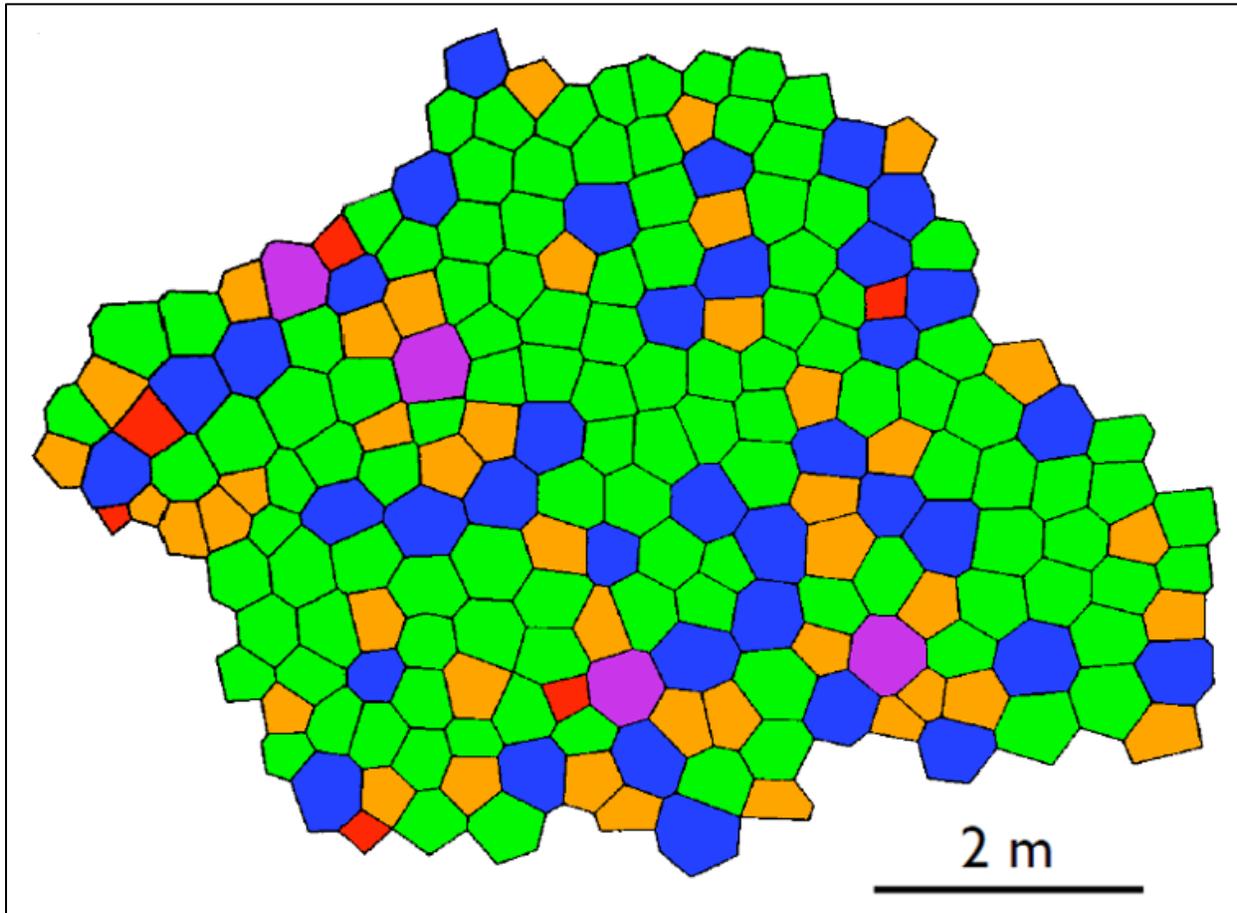


Figura 6. Padrões geométricos dos basaltos colunares coloridos com base no número de faces. Quadriláteros com a cor vermelha, pentagonais com a cor laranja, hexagonais com a cor verde, heptagonais com a cor azul e octogonais com a cor lilás. Goehring & Morris (2005).

Cada coluna é formada pela combinação de colunades - unidades rochas de menor dimensão sobrepostas entre si e perpendiculares à direcção de fluxo da lava e calor (fig. 7). As colunades por sua vez, formam-se a partir do arrefecimento da lava sob influência da circulação de fluidos, que são responsáveis por acelerarem o processo de contração térmica e solidificação da lava (Spry, 1962).

De acordo com Goehring & Morris (2005), a superfície de contacto entre as colunades como é ilustrado na fig. 7, desempenha um papel importante na rápida circulação de fluidos e libertação de calor. A eficiência deste processo observa-se também na zona de contacto entre as colunas, sendo igualmente caracterizada como locais ideais para a acomodação de minerais de cristalização vítrea ou desvitrificado de outros minerais.

Figura 7. Modelo esquemático de colunades. A direcção de fluxo de calor acontece da base para o topo, e o processo de arrefecimento, na no sentido contrário. Na superfície de contacto (W) a perda de calor e a circulação de fluidos é maior. A espessura das colunades (h) e a largura das colunas (s), depende das condições térmicas de arrefecimento da lava. Adaptado de Chao *et al.*, (2020).y

2.1.5. Principais estruturas em um complexo de disjunção colunar

Em um complexo de disjunção colunar distinguem-se três zonas principais: colunades inferiores e superiores, e as entablaturas (fig. 8). As colunades inferiores são caracterizadas por um conjunto de estruturas colunares com orientação vertical. São mais regulares e apresentam um maior grau de simetria entre as faces, quando comparado com as colunades inferiores (Spry, 1962).

A zona de entablatura situa-se na parte mediana, entre as colunades superiores e inferiores. São caracterizadas por serem mais finos, menos regulares e apresentarem orientação para várias direcções, devido ao seu arrefecimento superápido e pressão litostática causada pelo volume de colunades superiores (Spry, 1962; Goehring, 2008; Phillips *et al.*, 2013).

De acordo com Phillips *et al.*, (2013), as colunades superiores não estão sempre presentes em muitos complexos de disjunção colunar, uma vez que podem sofrer de processos erosivos quando afectados por esforços externos. Quando presente, são caracterizadas por pseudo-prismas ou colunas geralmente mais finas que as que ocorrem na zona de entablatura, o que evidencia a sua formação precoce, a partir de escoriações de lava. Outro factor levado em consideração para explicar o menor diâmetro das colunades superiores é a rápida migração de fluidos, devido a elevada exposição destas estruturas aos agentes atmosféricos (Spry, 1962; Goehring & Morris, 2008).

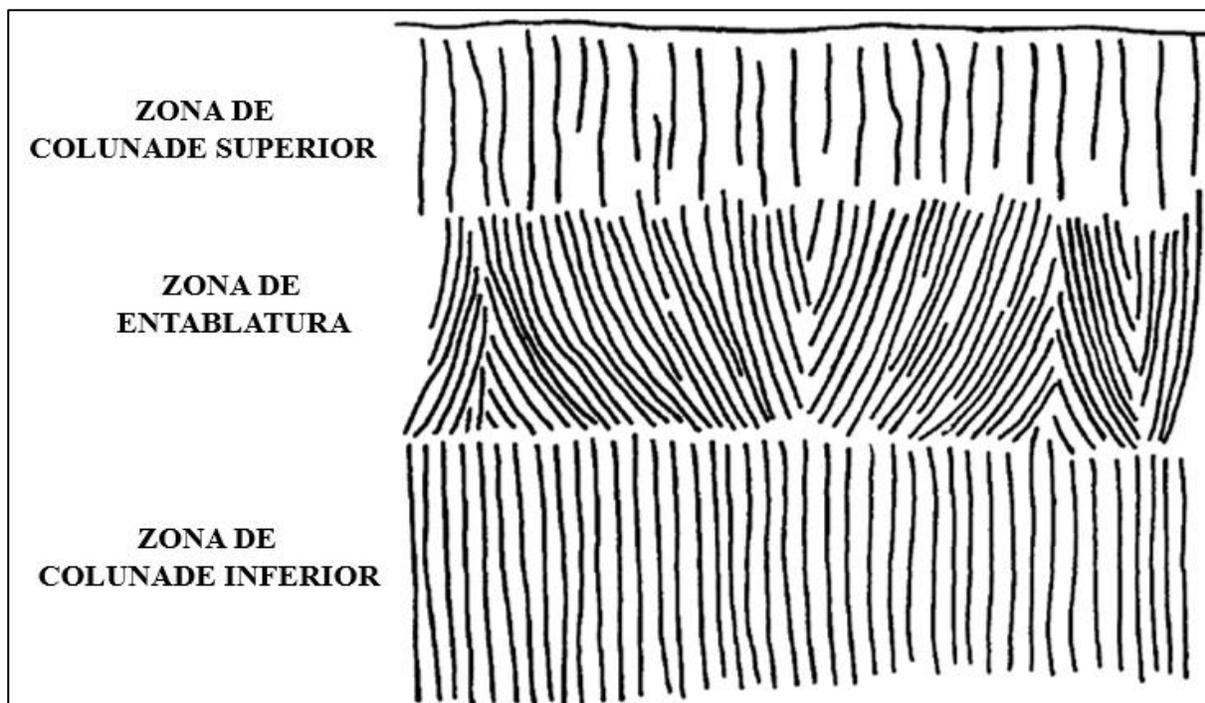


Figura 8. Principais unidades de um complexo de disjunção colunar, evidenciando colunades inferiores, entablaturas e colunades superiores. Adaptado de Spry (1962).

Segundo Philpotts & Ague (2009), o processo de arrefecimento das entablaturas é por sua vez, mais rápido que nas colunades inferiores. Este arrefecimento relativamente lento das colunades inferiores é responsável pela regularidade das colunas geradas.

A transição de uma zona para a outra é, as vezes difusa, podendo ser ocasionalmente distinguível com base na forma e tamanho das colunas. Por exemplo, em situações em que em um complexo de disjunção colunar, as colunades inferiores ocorrem de forma simultânea com as colunades superiores, a zona de entablatura é interpretada como sendo uma região responsável pela conexão de duas zonas com disjunções opostas, razão pela qual as colunas são irregulares e com faces deformadas (Spry, 1962 & Phillips *et al.*, 2013).

Todavia, a zona de transição entre as entablaturas e as colunades inferiores é caracterizada como sendo uma região de descontinuidade abrupta, sendo visível nesta zona, diferenças significativas do tamanho das colunas, a direcção de orientação e inclinação das colunas, presença de material escoriáceo e de cristalização vítrea (Spry, 1962). Quando assim acontece, as colunas podem apresentar diferentes arranjos geométricos, padrões de orientação e variabilidade do comprimento e diâmetro (fig. 9) (Spry, 1962).

De acordo com Garel (2019), quando o arrefecimento da lava ocorre de forma rápida, as colunas daí resultantes são de menor diâmetro e menos regular, quando comparado com os ambientes em que o arrefecimento é mais lento. Contudo, observa-se que em um complexo de disjunção colunar, podem ocorrer diversos arranjos geométricos, com destaque para o arranjo transversal, radial e Chevron, que podem servir de indicadores para a diferenciação de uma zona para a outra (Spry, 1962).

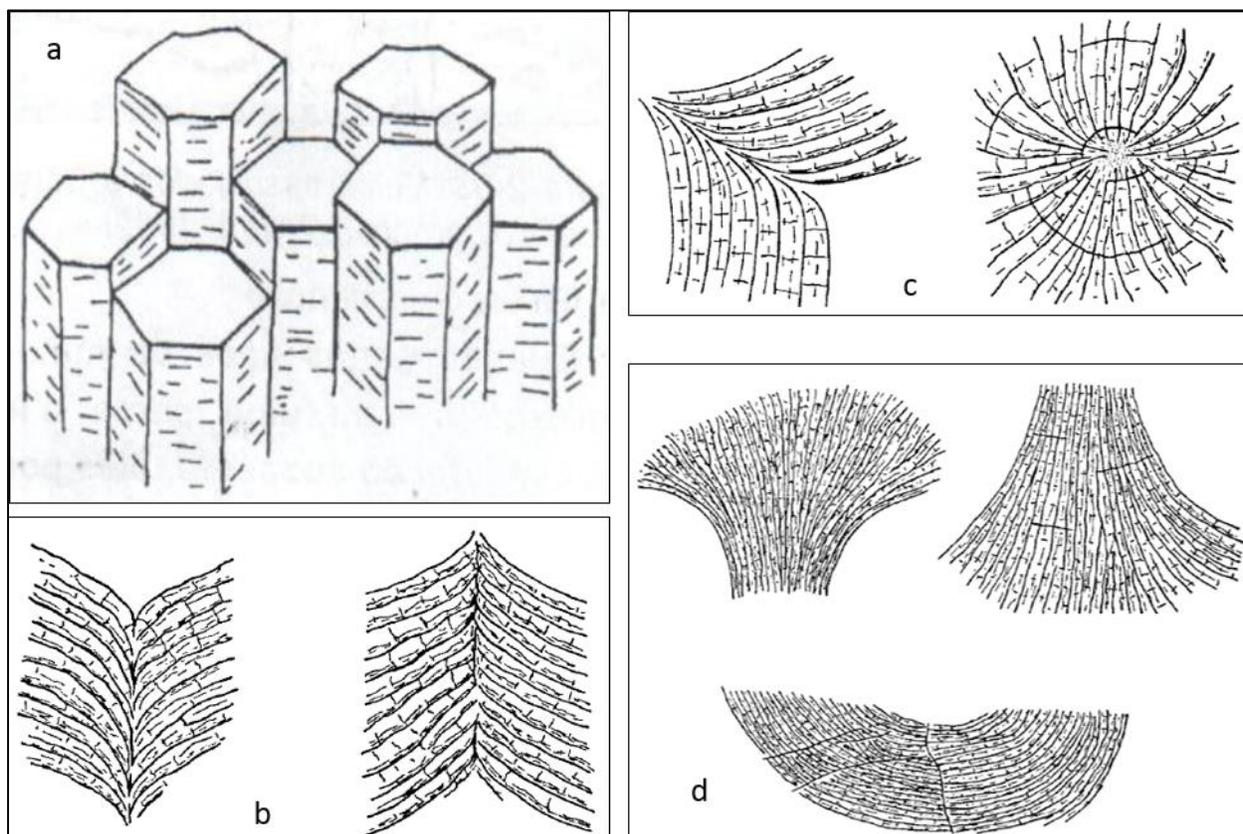


Figura 9. Diferentes padrões de disjunção colunar e orientação das colunas. Em **a** – prismas colunares transversais, **b** – prismas colunares do tipo chevron e chevron invertido, **c** – prismas colunares do tipo chevron óbliqua e radial, **d** – prismas colunares do tipo delta ou de um chaminé vulcânico (superior) e prismas com aspecto basal (em baixo). Spry (1962).

No padrão morfológico do tipo delta ou chaminé vulcânico, as colunas irradiam essencialmente a partir de um ponto, assemelhando-se à forma de cogumelo ou cone vulcânico. Por conseguinte, no padrão do tipo chevron, as colunas estendem-se a partir de um plano, dando continuidade por alguma distância na direcção desse plano. Embora estruturas simples como as mencionadas acima possam ser facilmente reconhecidas, nas entablaturas pode ocorrer uma combinação e intercalação de estruturas verticais, inclinadas, em forma de leque, chevron entre outras (Spry, 1962).

2.2. GEODIVERSIDADE E GEOCONSERVAÇÃO

Nesta sessão apresentam-se conceitos que facilitam a delimitação do tema, nomeadamente a geodiversidade, o património geológico e a geoconservação.

2.2.1. Geodiversidade e seus valores

Os conceitos sobre a geodiversidade e a geoconservação surgem a partir da última década do século XX (Carcavilla *et al.*, 2019), e estão intimamente relacionados com aspectos geológicos que caracterizam uma determinada região (Nascimento *et al.*, 2008).

A geodiversidade não teve o mesmo grau de reconhecimento como nos dias actuais. O uso deste termo começou a ganhar maior expressividade a partir da conferência de Malven sobre a Conservação Geológica e Paisagística, em 1993 no Reino Unido (Brilha, 2005, Nascimento *et al.*, 2008, Jorge & Guerra, 2016).

Com o passar do tempo, a compreensão sobre a abrangência do termo geodiversidade vem ganhando consistência a nível global, notando-se de forma gradual, uma mudança na forma em que o Homem se relaciona com a Terra (Gray, 2004). Conservar a natureza e promover a sua sustentabilidade pode ser considerado como um direito, uma necessidade e um dever de toda a humanidade, nos dias actuais (Brilha, 2005).

O termo “**geodiversidade**” é originário do inglês “*geodiversity*”, uma abreviatura de “*Geological Diversity*”, ou seja, “**diversidade geológica**”. Refere-se a uma diversidade de elementos geológicos formados em diferentes períodos da história evolutiva da terra. Fazem parte destes elementos as rochas, os minerais, os fósseis, os solos, as paisagens naturais entre outros (Carcavilla *et al.*, 2019).

De acordo com a *Royal Society for Nature Conservation* citado por Brilha (2005) e ProGeo (2011), a geodiversidade compreende a uma variedade de ambientes, fenómenos e processos geológicos que deram origem a paisagens naturais, as rochas, os minerais, os fósseis, os solos entre muitos outros recursos que dão suporte à vida na terra. Todos estes elementos que caracterizam a geodiversidade, são um testemunho da história evolutiva e dinâmica da terra, desde a sua formação a cerca de 4.5 milhões de anos até o presente (Gray, 2004).

Para se conhecer a diversidade geológica de um determinado território, é preciso antes, compreender os seus valores, ou seja, é importante, primeiro identificar os diferentes elementos bióticos e abióticos que ocorrem na região e analisar a relação entre eles (Brilha, 2005). Para o efeito, a análise da relação entre os elementos é feita com base em um conjunto de valores atribuídos, que além de sustentarem a sua relevância, ajudam na definição do seu valor para fins de conservação (Brilha, 2005).

Neste contexto, segundo Gray (2004), os principais valores que caracterizam a geodiversidade de uma determinada são categorizados em valores intrínsecos, culturais, estéticos, económicos, funcionais, científicos e educativos. Mais informações sobre as características de cada um desses valores, podem ser encontrados em Gray (2004), Brilha (2005), Nascimento *et al.*, (2008) e Forte (2014), pelo que, neste estudo, dá-se maior ênfase ao valor funcional, educativo e científico, por serem os que mais se destacam na área de estudo.

Valor funcional

De acordo com Gray (2004) citado por Forte (2014), o valor funcional é um valor estruturante associado à geodiversidade. De acordo com Brilha (2005), o valor funcional da geodiversidade pode ser *in situ*, quando apresenta um carácter utilitário para o Homem ou então, valor da geodiversidade enquanto substrato para a sustentação dos sistemas físicos e ecológicos na superfície terrestre.

O valor *in situ* da geodiversidade refere-se à valorização da geodiversidade "intocada", ao invés do seu valor depois de explorada. Este valor pode servir de um suporte estruturante da grande parte das actividades humanas (Brilha, 2005), ao passo que, o valor da geodiversidade enquanto substrato, refere-se ao papel que a geodiversidade tem na sustentação dos sistemas físicos e ecológicos, na actuação no combate à erosão, no suporte da biodiversidade e de todos os habitats, entre outras aplicabilidades (Forte, 2014).

Valor científico e educacional

De acordo com Gray (2004), os valores científicos e educativos assumem-se de várias formas, como os mais importantes, uma vez que o ambiente físico constitui um verdadeiro laboratório para

o desenvolvimento pesquisa aplicada dada as características peculiares que alguns locais apresentam.

De acordo com Brilha (2005), a investigação científica ligada ao domínio das ciências da terra, baseia-se fundamentalmente no acesso e posterior estudo de amostras representativas destes locais com características peculiares, designadas por geossítios. O geossítio dos basaltos colunares por exemplo, constitui um local ideal para o desenvolvimento de investigação científica, pois além de permitir compreender os mecanismos de formação das rochas, ajudam-nos a conhecer melhor a história da terra. Neste contexto, o valor científico da geodiversidade resume-se na exploração de locais com um valor científico acima da média, para o desenvolvimento de investigação para diferentes áreas do saber (Brilha, 2005 & Nascimento *et al.*, 2008).

No domínio educativo, o valor educativo visa mostrar que o contacto com a geodiversidade seja em actividades formativas ligadas a profissionais ou seja actividades de âmbito escolar, formais ou informais, conferem à geodiversidade um extraordinário valor educativo, além de proporcionar novas perspectivas de ensino e aprendizagem para a sociedade (Brilha, 2005).

Deste modo, a necessidade de proteger e conservar a geodiversidade e seus elementos é justificado com base nos valores ora atribuídos, como também, pela ameaça a que estes estão sujeitos, que de alguma forma, comprometem à sua manutenção (Cumbe & Mugabe, 2009; Jorge & Guerra, 2016). Tendo-se em consideração que o fim da geodiversidade é a identificação de elementos que podem constituir o património geológico de uma dada região ou país, apresenta-se a seguir a relação entre a geodiversidade e o património geológico, seguido da sua relação com a geoconservação.

2.2.2. Relação entre a geodiversidade e património geológico

Os diversos elementos que caracterizam a geodiversidade de um determinado lugar podem constituir um património geológico desse local, quando devidamente inventariados (Brilha, 2005).

Refere-se património geológico a um ou conjunto de elementos geológicos, com um certo valor científico, educativo, turístico ou cultural de carácter relevante (Brilha, 2005; Nascimento *et al.*, 2008). Apesar de se considerar por vários autores, património geológico como o conjunto de geossítios (Vieira & Cunha, 2006; Pereira, 2006; Jorge & Guerra, 2016), no presente estudo, leva-se em consideração a possibilidade de um só geossítio, poder constituir património geológico de

uma certa região, quando os seus elementos apresentam características singulares, num contexto geológico a que se encontra inserido.

Um geossítio é uma área com um ou mais elementos geológicos considerados relevantes. Esta relevância é atribuída comparando-se a natureza destes elementos, com os outros que ocorrem a sua volta (Carcavilla *et al.*, 2019). Neste contexto, um determinado geossítio pode apresentar uma relevância de escala local, nacional ou internacional (Brilha, 2005).

A relevância do geossítio é determinada com base nos trabalhos de inventariação, cujo objectivo principal é definir o valor e a potencial utilidade do mesmo (Brilha, 2005). Deste modo, a inventariação constitui uma acção de fundamental importância, para a definição de estratégias de geoconservação e exploração sustentável do património geológico (Carcavilla *et al.*, 2019).

Apesar do património geológico representar uma parte da geodiversidade, não devem ser considerados como sinónimos (Nascimento *et al.*, 2008). O património geológico compreende a uma pequena parcela da enorme geodiversidade, podendo ser de particular interesse para a geomorfologia, paleontologia, mineralogia, petrologia, hidrogeologia, tectónica ou qualquer outra área das geociências (Brilha, 2005 & Nascimento *et al.*, 2008).

O património geológico é uma parte do vasto património natural, que apesar das especificidades, joga um papel importante na reconstrução da história da terra. Segundo a IUGS (2022), o estudo do património geológico de uma certa região, contribui para a sua visibilidade territorial, visto que os sítios geológicos podem ser conhecidos por quase todos os geólogos, embora poucos geólogos, conheçam com detalhe a relevância destes locais.

2.2.3. Estratégias para a conservação do património geológico - Geoconservação

A geoconservação corresponde a um conjunto de acções direccionadas à valorização do património geológico de uma determinada área (Brilha, 2005; Borba *et al.*, 2013 & Carcavilla *et al.*, 2019). Alguns elementos que ocorrem em um determinado geossítio, são de difícil recuperação, uma vez destruídos (Xavier *et al.*, 2022).

A geoconservação tem a finalidade de avaliar, proteger e propor estratégias que contribuam para uma gestão adequada dos geossítios (Carcavilla *et al.*, 2019), dando prioridade para aqueles que

apresentam um certo valor acima da média ou riscos eminentes de destruição. Adicionalmente, tem como objectivo de proteger aqueles geossítios que mais se destacam pelo seu elevado valor científico, educativo ou turístico (Nascimento *et al.*, 2008).

De forma simplificada, uma estratégia de geoconservação compreende a um conjunto de passos a seguir, com o objectivo de avaliar, proteger e divulgar as potencialidades de um determinado geossítio. Os passos a seguir para o estabelecimento de uma estratégia de geoconservação são sequenciadas desde a inventariação, classificação, quantificação da relevância, conservação, valorização, divulgação e monitoria. Cada uma dessas etapas encontra-se detalhadamente descrita em Brilha (2005 & 2015) e são fundamentais para o ciclo de vida de um programa de geoconservação (fig. 10).

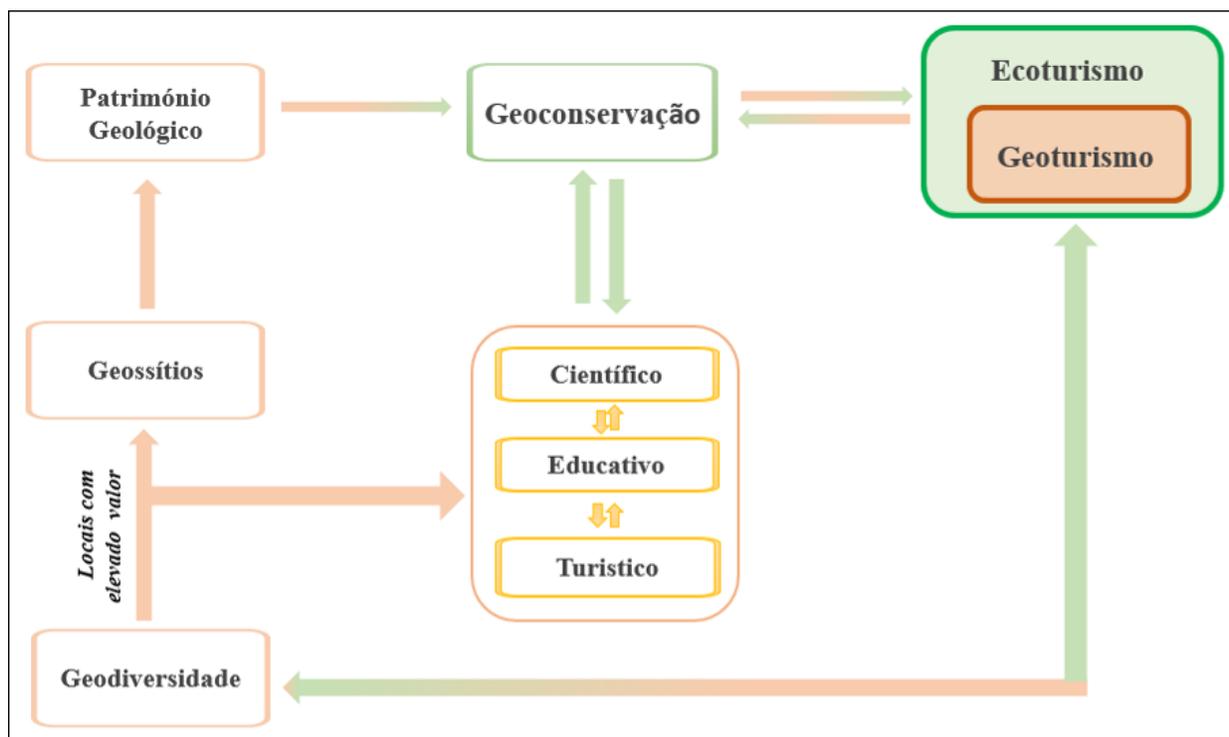


Figura 10. Ciclo de vida de um programa de geoconservação, ilustrando a relação entre a geodiversidade, património geológico e a sua importância para o ecoturismo e geoturismo, num contexto do desenvolvimento sustentável. Adaptado de Nascimento *et al.*, (2008).

A geoconservação no seu mais amplo sentido, tem como propósito a utilização sustentável de recursos geológicos. No sentido mais restrito, atenta apenas à conservação de um grupo específico de recursos geológicos, dada as suas particularidades (Brilha, 2005). A geoconservação é uma acção fundamental para a manutenção da biodiversidade e da geodiversidade, visto que o valor

intrínseco e funcional da geodiversidade estão associados a qualquer forma de vida (Gray, 2004; Brilha, 2005).

No âmbito das acções para a geoconservação, a inventariação de geossítios constitui uma etapa fundamental, visto que nesta fase, são estabelecidos alguns parâmetros para a quantificação dos elementos e a sua relevância, através da integração e combinação de dados qualitativos e quantitativos (Silva *et al.*, 2019). A combinação destes dados, tem contribuído de forma significativa para a redução de subjectividade na atribuição de valores aos elementos e na interpretação da relevância do geossítios para fins de geoconservação (Fortes, 2014 & Chundo *et al.*, 2019).

No entanto, a quantificação dos elementos não é tarefa simples, e a mesma não tem sido efectuada em muitos trabalhos realizados neste domínio de património geológico e geoconservação, principalmente, pelo facto de os critérios de base não se encontrarem muito bem definidos (Brilha, 2005). Quando executada, o cálculo da relevância dos elementos em cada geossítio pode levar em consideração diversos critérios, com destaque para as características intrínsecas do geossítio, o potencial uso do geossítio e o nível de protecção necessário, que é associado as ameaças do geossítio (Brilha, 2005; Cumbe, 2007 & Forte, 2014).

Neste contexto, a necessidade de se proteger um determinado geossítio resulta da combinação de vários factores, como por exemplo, o valor que os elementos apresentam quer do ponto de vista científico, educativo ou turístico, assim como as ameaças a que os geossítios estão sujeitos (Cumbe & Mugabe, 2009; Jorge & Guerra, 2016). Estes indicadores permitem definir um conjunto de acções prioritárias para a geoconservação, assim como a escolha de geossítios mais relevantes (Cumbe, 2007).

Para que acções visando a geoconservação sejam levados a cabo, é importante que se tenha bons conhecimentos sobre os geossítios, os elementos de interesse, processos envolvidos na sua formação, técnicas de avaliação, bem como, identificação de riscos que colocam em ameaça a integridade dos geossítios (Carcavilla *et al.*, 2019). Neste âmbito, as estratégias de geoconservação não devem estar focadas somente em elementos de interesse para a geologia. Estas devem ser extensivas à conservação de elementos de interesse cultural, estético entre outros, quando presentes. Para a conservação de sítios de interesse patrimonial, a geoconservação busca um

caráter multidisciplinar dos geossítios, de modo a proporcionar a sociedade novas perspectivas para a exploração dos geossítios (Nascimento *et al.*, 2008).

CAPÍTULO III - METODOLOGIA

3.1. Materiais

Para a realização deste projecto, fez-se o uso de várias ferramentas, como é a seguir descrito.

Durante os trabalhos de campo, foram utilizados seguintes materiais: mapas geológicos na escala de 1: 250 000, martelo de geólogo, máquina fotográfica da marca Canon EOS 1200 D, bússola Brunton True Arc 15, GPS map 62 da Garmin, fita métrica e lupa.

Outras ferramentas utilizadas durante a realização deste trabalho são: Software ArcGis 10.8 para a elaboração de mapas geológicos e de inserção da área de estudo;

- Adobe ilustrator 9.0 e canvas: para o tratamento e a combinação de imagens microscópicas;
- Google Earth 10.5 Pro para a delimitação da área do geossítio;
- Microsoft Excel para a criação de base de dados e elaboração de tabelas e gráficos;

3.2. Metodologia

Com vista a alcançar os objectivos predefinidos neste estudo, a metodologia adoptada compreendeu a 4 fases principais: pesquisa bibliográfica, trabalhos de campo, trabalhos laboratoriais e trabalho de gabinete. Estas fases encontram-se representadas de forma esquemática no fluxograma da fig. 13.

3.2.1. Revisão bibliográfica

A pesquisa bibliográfica constituiu a primeira etapa de trabalho, tendo incidido em temas sobre disjunções colunares, geodiversidade e geoconservação. Adicionalmente, fez-se pesquisas sobre métodos de inventariação, quantificação e classificação do património geológico, seguido de análise e interpretação de mapas geológicos na escala de 1: 250 000.

Durante a pesquisa bibliográfica que foi conduzida durante todas as fases do estudo, fez-se a consulta de artigos científicos, dissertações de projectos e livros relacionados ao tema da pesquisa, com destaque para Spry (1962), Aydin & Degraff (1988), Goehring (2008) e Hofmann *et al* (2011). Na perspectiva de geodiversidade e geoconservação, serviram de referência estudos clássicos desenvolvidos por: Brilha (2005), Gray (2004), Cumbe (2007). Em geral, esta fase teve lugar no Departamento Técnico do Museu Nacional de Geologia e na biblioteca do Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane.

3.2.2. Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado em Agosto de 2022, e o mesmo tinha como objectivo confirmar a existência de vestígios dos basaltos colunares e o grau de preservação. Durante esta fase, fez a análise e medição dos padrões geométricos das colunas (tipo de disjunção, diâmetro e comprimento das colunas), descrição petrográfica das rochas e o preenchimento da ficha de inventariação, caracterização e avaliação do património geológico proposta por Cumbe (2007). Na inventariação, cada ponto de observação foi devidamente cartografado e as coordenadas geográficas foram registadas com ajuda de um GPS Garmin 62s. De seguida fez-se a medição da direcção de orientação e inclinação das colunas e registo fotográfico. Constituíram alguns dos equipamentos utilizados durante esta fase: máquina fotográfica da marca Canon EOS 1200D, bússola Brunton True Arc 15, fita métrica, lupa de 10x (fig. 11).



Figura 11. Equipamentos utilizados durante os trabalhos de campo.

No fim da inventariação, procedeu-se com a quantificação dos elementos que ocorrem no geossítio. Este trabalho consistiu basicamente na atribuição de valores para as diversas feições observadas, visando a definição da relevância do geossítio (Brilha, 2005).

O valor do geossítio foi calculado com base na avaliação de três parâmetros principais: os atributos naturais ou o valor intrínseco do geossítio (A), a utilidade do geossítio (U), e a vulnerabilidade dos

geossítios e a necessidade de protecção dos geossítios (V). Esses indicadores são avaliados numa escala de pontuação que vai de 1 a 5, sendo 1 a pontuação mínima e 5 a pontuação máxima.

O cálculo do valor de cada indicador (A), (U) e (V), é baseado no somatório de diferentes critérios de selecção definidos de forma padronizada para cada indicador, sendo representado pelas fórmulas [1], [2] e [3] (ver Cumbe, 2007).

$$A = \frac{\Sigma(A1 + A2 + A3 + \dots A9)}{45} \quad [1]$$

$$U = \frac{\Sigma(U1 + U2 + U3 + \dots U8)}{40} \quad [2]$$

$$V = \frac{\Sigma(V1 + V2 + V3 + \dots V7)}{35} \quad [3]$$

Pela aplicação das fórmulas [1], [2] e [3], o valor dos indicadores [A], [U] e [V], variam entre 0.20 a 1.00. Assim sendo, a partir da média aritmética dos três principais critérios de selecção da relevância dos geossítios, nomeadamente os atributos naturais, a utilidade e a vulnerabilidade do geossítio, determinou-se o valor final do geossítio [G] usando a seguinte fórmula:

$$G = \frac{\Sigma(A + U + V)}{3} \quad [4]$$

Onde:

G – Representa o valor final do geossítio (0,20-1,00);

A – Quociente entre o somatório dos valores dos indicadores referentes aos atributos naturais do geossítio e o valor máximo do somatório;

U – Quociente entre o somatório de valores dos indicadores relativos à utilidade do geossítio e o valor máximo do somatório;

V – Quociente entre o somatório dos valores dos indicadores relativos à vulnerabilidade do geossítio e o valor máximo do somatório.

A₁, U₁, V₁ ... – Corresponde a subindicadores de [A], [U] e [V] que são utilizados de selecção da relevância dos geossítios padronizados.

De acordo com Cumbe (2007), para facilitar o estabelecimento de prioridades para fins de geoconservação, cada geossítio inventariado é atribuído um código, o qual é composto pelo valor final do geossítio [G], seguido do valor relativo aos atributos naturais [A], potencial utilidade do geossítio [U] e o valor referente a vulnerabilidade do geossítio [V], como é representado a seguir:

3.2.3. Trabalhos laboratoriais

Esta fase resume-se em duas etapas principais: A primeira consistiu na preparação e pesagem de amostras colhidas durante os trabalhos de campo e envio das mesmas para o laboratório, para a preparação de lâminas delgadas. Esta preparação laboratorial teve lugar na Escola de Geociências da Universidade de Witwatersrand na África do Sul (fig. 12a-d). A segunda fase, consistiu na descrição petrográfica mesoescalar e das lâminas delgadas. Esta fase teve lugar no Departamento Técnico do Museu Nacional de Geologia e no Departamento de Geologia da Universidade Eduardo Mondlane.

Foram descritas no total 4 lâminas delgadas, número considerado representativo, dada maior similaridade observada nas rochas durante a descrição macroscópica e mesoscópica de amostras de mão. Para o efeito, foi utilizado um microscópio petrográfico de luz transmitida da marca Olympus BX 43, com auxílio do software EP VIEW (fig. 12e). Adicionalmente, fez-se o uso de Adobe Illustrator e Canvas para o tratamento e a combinação de micrografias.

As técnicas de descrição microscópica permitiram identificar as principais associações mineralógicas e características texturais das rochas. Para o alcance deste objectivo, fez-se a consulta de livros e atlas de descrição petrográfica de rochas ígneas, com destaque para Mackenzie (1982) e McPhie *et al.*, (1993).



Figura 12. Procedimentos laboratoriais e equipamentos utilizados desde a amostragem (a), dimensionamento e etiquetagem das amostras (b), pesagem de amostras para o envio ao laboratório (c e d) e descrição petrográfica das laminas delgadas (e).

3.2.4. Tratamento e interpretação de dados

Esta fase cingiu-se na análise e interpretação de dados. A integração de técnicas de geoprocessamento nesta fase foi de fundamental importância para a representação e interpretação dos dados na forma gráfica, tabelar mapas. Estas técnicas foram aplicadas em subsídio das análises qualitativas, com vista a reduzir subjectividades na interpretação dos dados.

A análise e interpretação de dados microscópicos procedeu-se de forma independente e em separado com a análise e interpretação dos dados produzidos durante a inventariação dos basaltos de Matsequenha. As análises foram realizadas em separado com o intuito de permitir uma melhor comparação e correlação entre dos dados, de modo facilitar a interpretação dos resultados.

Para o tratamento dos dados, recorreu-se ao uso de algumas ferramentas, com destaque para ArcGIS 10.5 para a produção de mapas, Geo Rose 10.3 para a projecção e representação de dados estruturais e Microsoft Excel para a elaboração de gráficos e tabelas. A etapa final desta fase

culminou com a compilação do relatório final e a elaboração de mapa de delimitação de área do geossítio para fins de geoconservação.

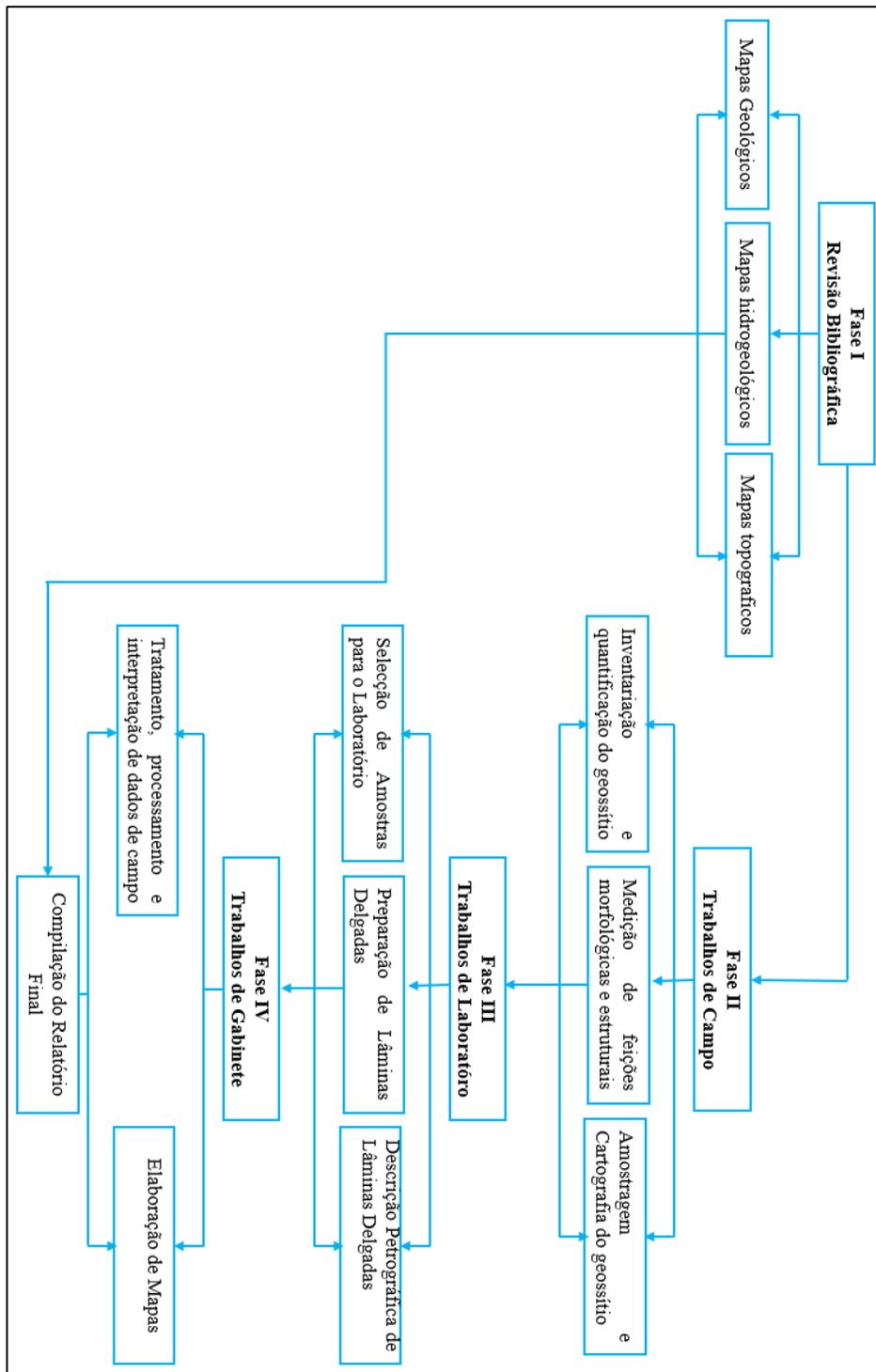


Figura 13. Fluxograma da metodologia de trabalho e as respectivas fases da pesquisa

CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Petrografia dos Basaltos colunares de Matsequenha

4.1.1. Descrição Macroscópica

A descrição petrográfica macroscópica permitiu observar que as rochas conservam coloração cinza escuro, com tonalidades variando para um castanho alaranjado na superfície externa das colunas, formando uma camada fina de espessura milimétrica que reveste a parte central das colunas (fig.14a). A textura varia de maciça a amigdalóide em algumas colunas (fig. 14b).

As vesículas encontram-se preenchidas por material granulometria muito fina, de composição maioritariamente carbonática e por vezes silicática, com base no teste ácido realizado no campo. Em alguns casos, as colunas apresentam cristais idiomórficos e ripiformes de calcite muito bem desenvolvidos e com um crescimento radial a partir da origem (fig. 14d).

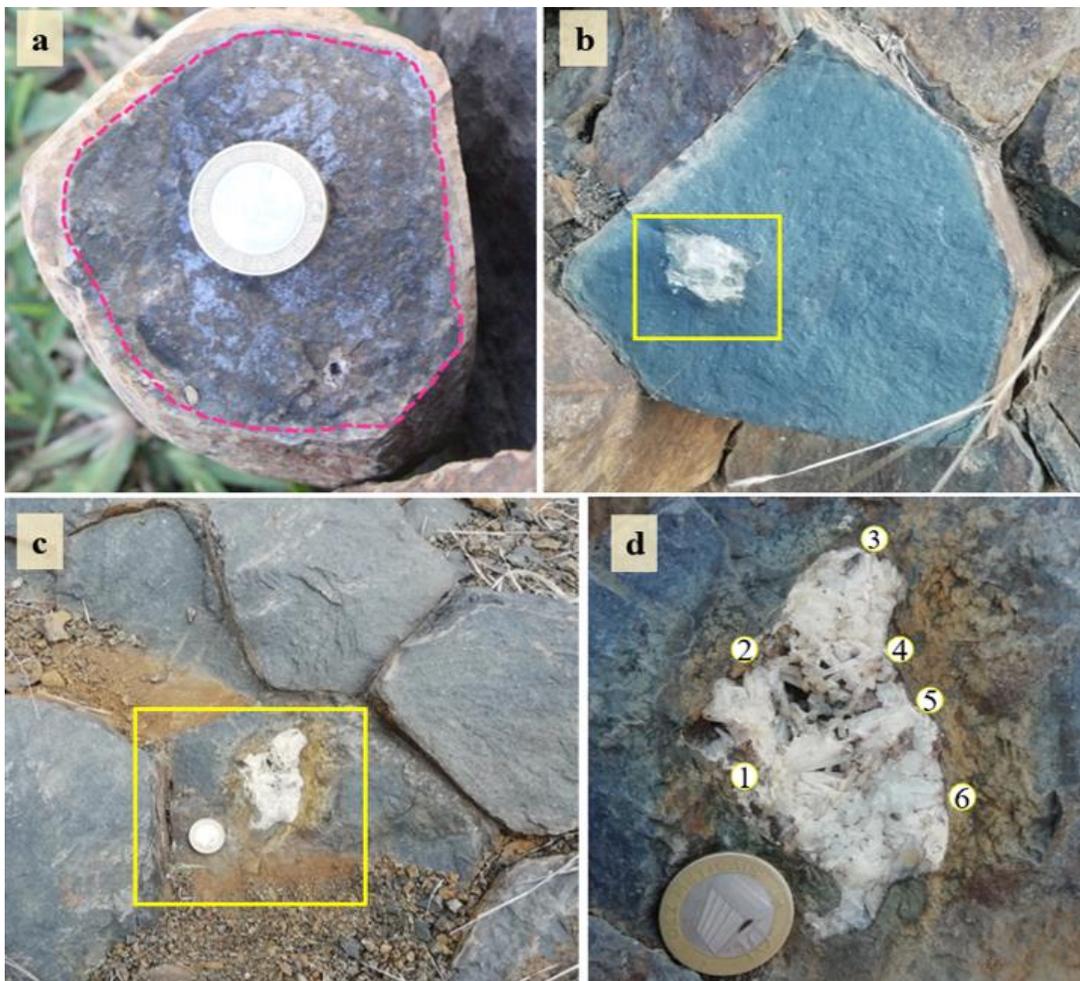


Figura 13. Colunas basálticas zonadas (a) com vesículas preenchidas por material de grão fino e cor clara (b). Em c e d, observa-se colunas com cristais de prismáticos de calcite, em que os números representam os pontos em que os cristais começam a se desenvolver.

De acordo com Goehring (2008) e Hofmann *et al.*, (2011), o material de granulometria fina que preenche as vesículas é também designado por criptocristalino. Este material pode ter se formado a partir do arrefecimento super-rápido da lava (*quenching*), quando em contacto com água. Por outro lado, este material pode também, ser resultante da desvitrificação da rocha, como por exemplo, quando as colunas são movidas de uma zona de disjunção para outra. Durante o movimento, as colunas sofrem desgastes ao longos das faces, ocasionando o desenvolvimento de lineações e estrias e este material de grão muito fino.

O material desvitrificado por sua vez, é acomodado ao longo das superfícies de contacto entre as colunas e quando houver uma perturbação térmica, o material é aquecido por fluidos hidrotermais, seguido de reacção e formação de novos minerais (Goehring, 2008; Hofmann *et al.*, 2011; Lamur *et al.*, 2018). Segundo Nascimento & Gorayeb (2004), alguns dos minerais formados a partir da recção do material desvitrificado com fluidos hidrotermais são clorite, zeólitos, epídoto, carbonato, quartzo e prenhite. No caso particular dos basaltos colunares de Matsequenha, constatou-se que o material de preenchimento predominante é sílica e carbonato de cálcio.

O zoneamento que os basaltos colunares de Matsequenha apresentam, resulta da alteração das rochas, devido a sua exposição prolongada a condições atmosféricas (Brilha, 1998). Ainda de acordo com este autor, a exposição prolongada das colunas, principalmente às chuvas, contribui para a rápida meteorização das rochas, ocasionando assim um zoneamento em termos de coloração nas colunas.

4.1.2. Descrição Microscópica

A análise microscópica da rocha foi realizada a partir de 4 lâminas delgadas, preparadas na universidade Wits – África do Sul. A partir da descrição petrográfica realizada, constatou-se que os basaltos colunares de Matsequenha apresentam uma textura porfirítica, onde fenocristais de olivinas e clinopiroxenas encontram-se envolvidos em uma matriz de plagióclases.

Os basaltos são predominantemente constituídos por olivinas, piroxenas e ocasionalmente, apresentam microfenocristais de plagióclases com maclas polissintéticas de carlsbad pouco

desenvolvidas, visíveis na superfície de contacto com fenocristais euédricos e prismáticos de clinopiroxena.

Os grãos de olivina são inequigranulares e apresentam um hábito subédrico, por vezes arredondado e prismático. Os cristais de olivina não apresentam pleocroísmo, possuem um relevo positivo em relação às piroxenas e plagioclase e a sua extinção é paralela. Adicionalmente, apresentam cores de interferência fortes, situando-se na faixa de cores da segunda ordem na tabela de Michel-Lévy. Por outro lado, as olivinas alteram-se em idingsite, material caracterizado pela cor vermelho e por vezes castanho escuro.

As piroxenas apresentam um hábito euédrico a subédricos e um relevo positivo em relação as plagioclases. Adicionalmente, as piroxenas, principalmente as clinopiroxenas, apresentam uma clivagem bem desenvolvida na duas direcções e extinção oblíqua (fig. 15c), e cores de interferência da segunda ordem, com um zoneamento pouco desenvolvido (fig. 15d).



Figura 14. Amostra de mão de basalto colunar (a). Textura microporfírica de basaltos em XPL (b), com fenocristais

ripiformes e euédricos de clinopiroxenas (c e d) - XPL. As micrografias (c e d) foram obtidas com a objectiva de médio aumento e 200% de zoom do microscópio.

Os fenocristais de clinopiroxena na fig. 15c&d encontram-se embebidos em uma matriz hipocristalina de plagioclases, e os mesmos exibem um hábito prismático e faces idiomórficas. À nicóis paralelos apresentam uma coloração cinza a verde pálida, relevo médio a alto e um pleocroísmo fraco. Os seus planos de clivagem estão bem desenvolvidos em uma direcção e ocasionalmente nas duas direcções, em ângulos de intersecção de quase 80°. Adicionalmente, os cristais apresentam-se fracturados e associados aos opacos.

Os minerais opacos exibem formas idiomórficas, com secções cubicas. Estes encontram-se associados à cristais de clinopiroxena e por vezes, às olivinas. Em duas das quatro lâminas analisadas, as rochas apresentam cristais idiomórficos de clinopiroxena, com um hábito hexagonal (fig. 16a), contribuindo assim para a variação textural da rocha, de porfirítica para glomerofítica semicircular e hipovítrea amigdaloidal acicular (fig. 16b).

A textura glomerofítica semicircular é caracterizada por uma ligeira orientação de cristais subédricos e alongados de olivina e clinopiroxenas a volta de cristal euédrico e hexagonal de piroxena (fig. 16a). Ao passo que a textura amigdaloidal semicircular, apresenta linhas concêntricas com reentrâncias e dimensões variadas, preenchidas por cumulos de cristais ripiformes de olivina e clinopiroxena, envolvidos em uma matriz fina e tom verde (fig. 16b).

A textura hipovítrea acicular é uma variação da textura semicircular e é caracterizada por linhas esqueletais (*tailing*) de cor escura (similar a dentrites de manganês) associadas à minerais opacos e cristais subédricos de olivina e piroxenas (fig. 16c). De acordo com Nascimento & Gorayeb (2004), as linhas aciculares e esqueletais que ocorrem nos basaltos, provavelmente resultam da dissolução de outros minerais. A dissolução e nucleação de minerais foi seguido de um arrefecimento rápido (*quenching*), principalmente em zonas próximas à superfície terrestre (Raith *et al.*, 2014).

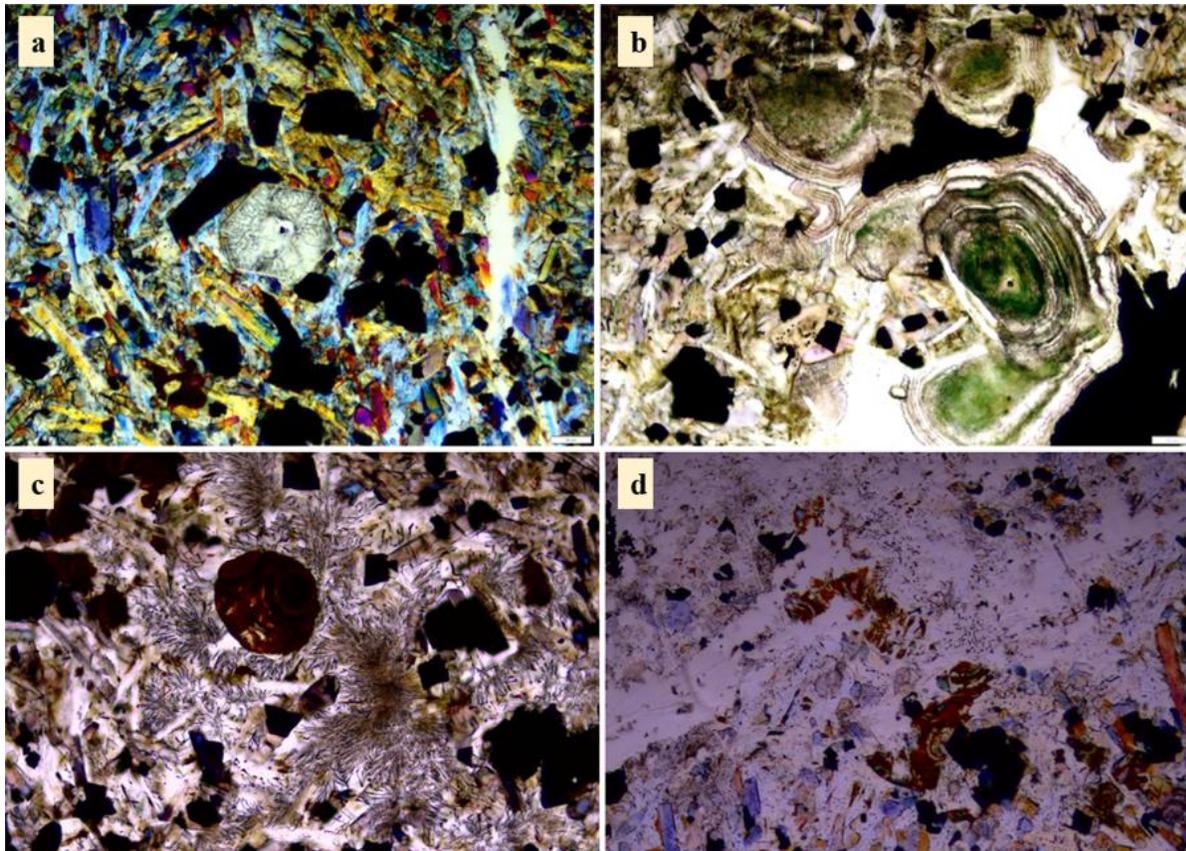


Figura 15. Variações texturais dos basaltos colunares de Matsequenha. Textura glomerofítica semicircular (a e b), textura hipovítica acicular (c). O material de coloração avermelhada a castanho escuro na figura (d) representa os minerais de alteração das olivinas em idingsite.

4.2. MORFOLOGIA E ESTRUTURA DOS BASALTOS COLUNARES DE MATSEQUENHA

4.2.1. Variabilidade geométrica e diâmetro das colunas

Durante os trabalhos de campo constatou-se que os basaltos colunares de Matsequenha são caracterizados por um conjunto de colunas regulares desde a base até ao topo. As colunas evidenciam ao longo da secção transversal um padrão de disjunção maioritariamente pentagonal, seguido do tetragonal e hexagonal (fig. 17a). O histograma da fig. 17b mostra que as colunas pentagonais são mais representativas, em relação as colunas com padrão geométrico trigonal e heptagonal, apesar de ocorrer na maioria das vezes intercalados a colunas pentagonais e hexagonais.

Quanto ao diâmetro, as colunas apresentam uma considerável variação no diâmetro e comprimento (fig. 17c). Com base em dados estatísticos das medições feitas em campo, os basaltos colunares de Matsequenha são agrupados em duas classes principais:

Classe I – constituído por colunas com um diâmetro médio que varia de 15.3 – 25.3 cm. Estas colunas são ligeiramente finas e com um padrão de disjunção maioritariamente pentagonal e tetragonal. O comprimento médio relativo das colunades varia de 0.5 – 1.5 metros, e as colunas apresentam uma ligeira inclinação na direcção norte-sul.

Classe II – é caracterizada por colunas com um diâmetro médio que varia de 25.3 – 35.3 cm e um padrão de disjunção maioritariamente hexagonal, com ângulos interfaciais de aproximadamente 120° (fig. 13.a). O comprimento máximo das colunas é de até de 4 metros, com bandeamentos e estrias bem desenvolvidas ao longo das faces (fig. 17c).

A terceira classe e menos representativa, é caracterizada por colunas com um diâmetro médio que varia de 35.5 cm a 45 cm (fig. 17d). De acordo com a Global Geoparks Network (2022), o diâmetro das colunas varia pode atingir até 1.2 metros e cerca de 100 metros de comprimento.

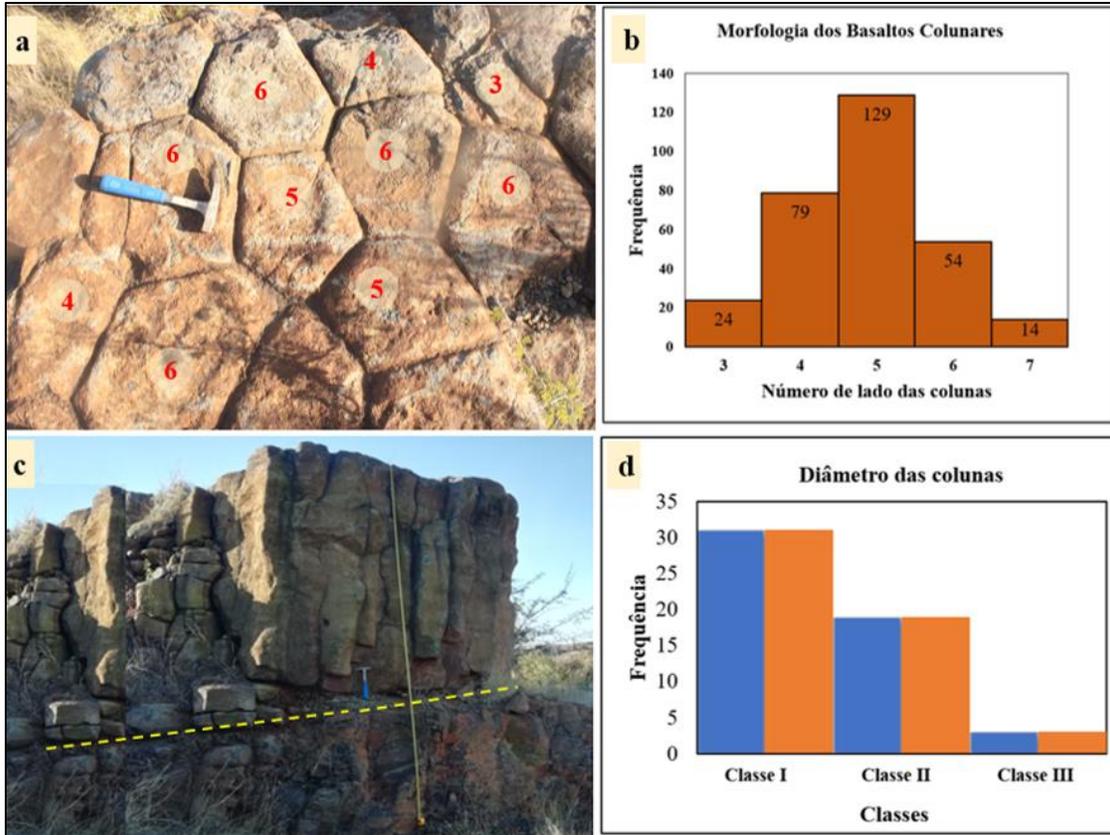


Figura 16. Padrões de disjunção dos basaltos colunares de Matsequenha (a) e distribuição espacial (b), tendo em consideração o comprimento (c) e diâmetro das colunas (d).

4.2.2. Grau de simetria e distribuição espacial das colunas

As colunas que ocorrem no geossítio de basaltos colunares de Matsequenha são maioritariamente regulares e apresentam um baixo grau de simetria entre as faces e regularidade dos ângulos interfaciais. Algumas colunas encontram-se deformadas em dobras do tipo Chevron, caracterizada por apresentar os flancos menos curvos (fig. 18).

As colunas deformadas apresentam ao longo das faces um conjunto de estrias e bandamentos, caracterizadas por leves ondulações, as quais permitem identificar a direcção de movimento das colunas. A espessura das bandas e o tamanho das estrias varia de forma considerável, sendo mais espessas em colunas com disjunção tetragonal e pentagonal.

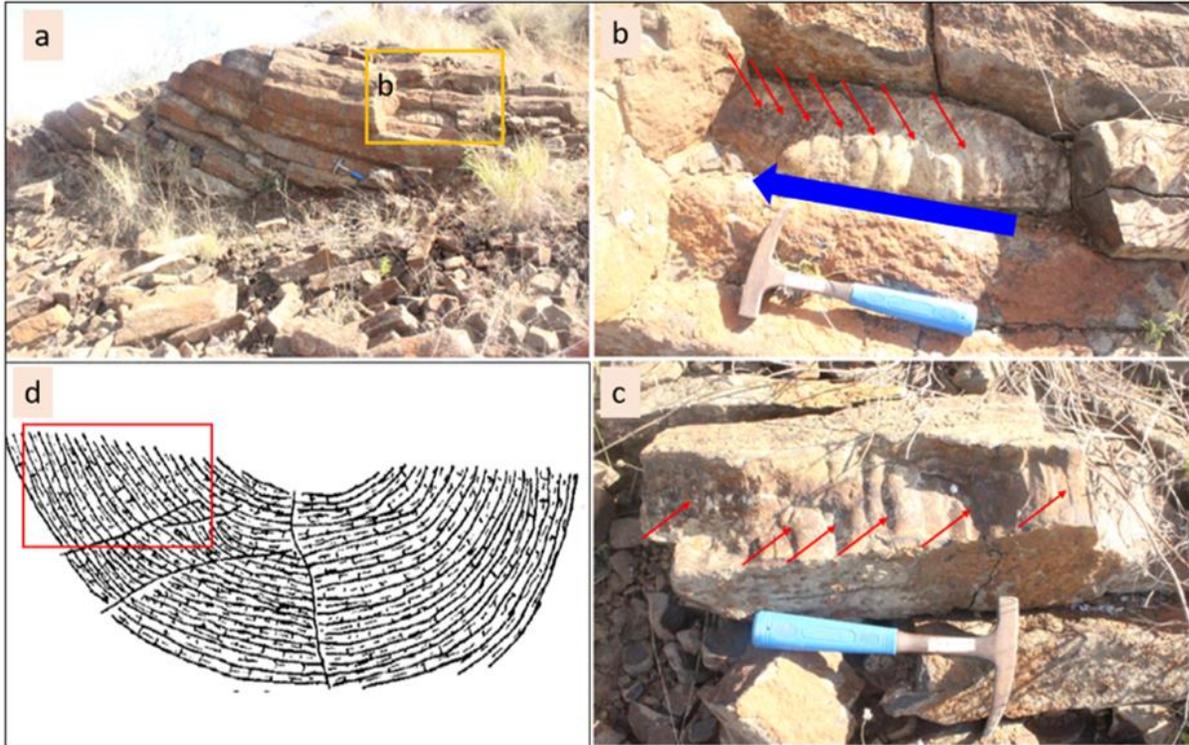


Figura 17. Colunas basálticas deformadas em dobras tipo Chevron (a), com bandamentos e estrias ao longo das faces (b e d). A direcção de movimento das colunas é indicada pela seta destacada em azul (b).

Os basaltos colunares de Matsequenha apresentam uma ligeira zona de descontinuidade originada possivelmente por um esforço tectónico, causando uma leve mudança na direcção de orientação das colunas para o sentido NNE-SSW (fig. 19). Na zona de descontinuidade entre as colunas ou colonadas (sc), ocorre um material de tom claro e por vezes acinzentado. A composição deste material é maioritariamente carbonatica e por vezes silicatica.



Figura 18. Inclinação das colunas na direcção NNE – SSW (diagrama de rosetas), acompanhando o plano de deslizamento (sc), onde se dá a descontinuidade das colunas. As superfícies de descontinuidade, são preenchidas por material precipitado de carbonato de cálcio e por vezes sílica.

4.3. QUANTIFICAÇÃO DOS BASALTOS COLUNARES DE MATSEQUENHA

4.3.1. Localização Geográfica do Geossítio

O geossítio encontra-se na parte central de uma pedreira recentemente reactivada, nas proximidades do distrito de Moamba. O geossítio goza de uma boa localização geográfica, podendo ser facilmente acessível através da Rua 401, que liga o distrito de Boane com o distrito de Moamba.

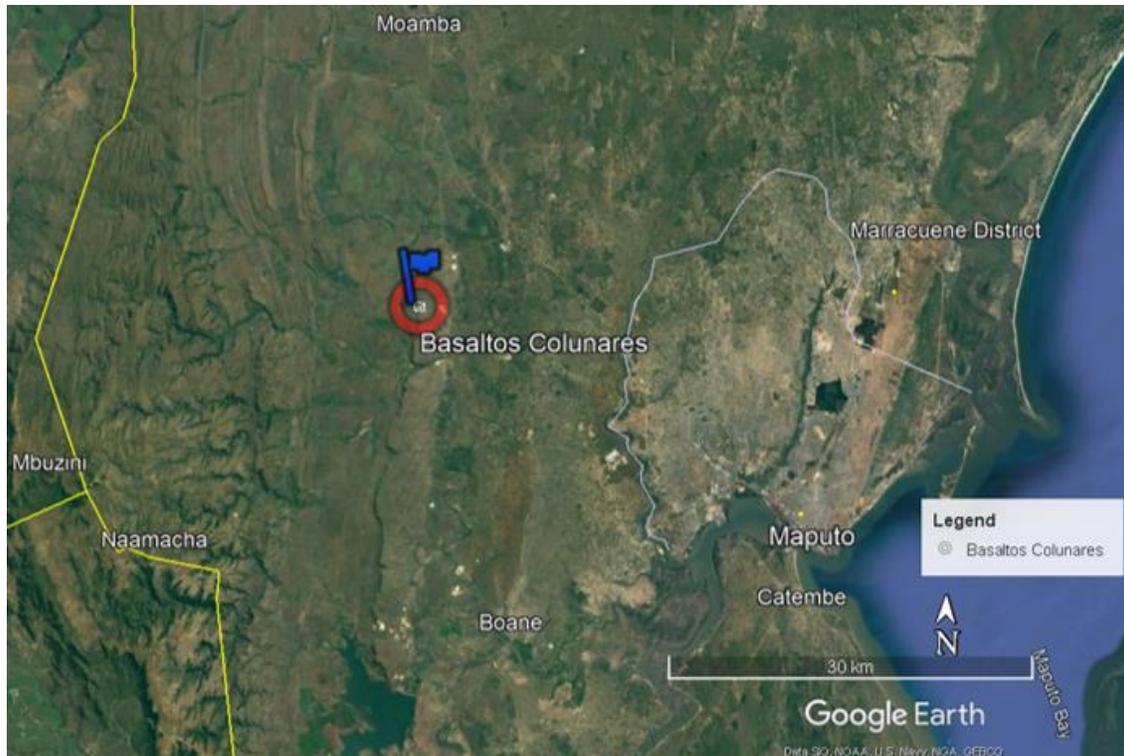


Figura 19. Localização geográfica dos basaltos colunares de Matsequenha. Fonte: Google Earth (2023).

4.3.2. Tipo de interesse do geossítio

O geossítio em apresso tem um interesse petrológico como primário e mineralógico, estrutural e tectónico, como secundário. Com base nestas características, o geossítio pode ser utilizado como uma referência para compreender os processos de formação das rochas, recristalização mineral e mecanismos de deformação das rochas.

4.3.3. Avaliação quantitativa do Geossítio

Depois do enquadramento geográfico e geológico do geossítio, passa a se fazer a quantificação dos elementos que ocorrem no geossítio, tendo em consideração o modelo de inventariação e quantificação do património geológico proposto por Cumbe (2007).

Tabela 1. Informação sobre o grau de conhecimento científico

Indicador	Sub-indicadores	Nº de sub-indicadores
Grau de conhecimento científico	Teses de doutoramento	
	Teses de mestrado	
	Teses de licenciatura	
	Publicações em revistas internacionais	
	Publicações em revistas nacionais	
	Outro tipo de publicações	
	Relatórios/documentos não publicados	1*
	Não existe nenhuma publicação	

* Relatório de inventariação e caracterização do património geológico da província de Maputo, realizado pelo Museu Nacional de Geologia em 2009.

Tabela 2. Avaliação quantitativa dos atributos naturais do geossítio

Indicador	Pontuação
A ₁ – Exemplos de processos geológicos actuais	3
A ₂ – Exemplos de processos geológicos do passado	5
A ₃ – Diversidade de elementos de interesse presentes	1
A ₄ – Associação com elementos de natureza cultural	1
A ₅ – Associação com elementos do meio natural	1
A ₆ – Abundância/ raridade dos elementos	5
A ₇ – Local-tipo	5
A ₈ – Estado de conservação	3
A ₉ – Extensão	1
$A_1 + A_2 + \dots + A_9$	25
$A = \Sigma (A_1 + A_2 + \dots + A_9) / 45$	0.56

Tabela 3. Avaliação quantitativa da utilidade do geossítio

Indicador	Pontuação
U ₁ – Actividades que podem ser desenvolvidas	1
U ₂ – Possibilidade de colheita de objectos geológicos	4
U ₃ – Acessibilidade do geossítio	3
U ₄ – Condições de observação dos elementos no geossítio	3
U ₅ – Proximidade em relação a centros de serviços	3
U ₆ – Número de turistas	1
U ₇ – Produto Interno Bruto	1
U ₈ – Índice de Desenvolvimento Humano	1
$U_1 + U_2 + \dots + U_8$	17
$U = \Sigma (U_1 + U_2 + \dots + U_8) / 40$	0.43

Tabela 4. Avaliação quantitativa da vulnerabilidade do geossítio

Indicador	Pontuação
V ₁ – Situação actual	5
V ₂ – Ameaças actuais ou potenciais	5
V ₃ – Fragilidade Natural	3
V ₄ – Fragilidade induzida	5*
V ₅ – Número de habitantes na zona envolvente, num raio de 25 Km	1
V ₆ – Interesse para a exploração mineira	3
V ₇ – Regime de propriedade	1
$V_1 + V_2 + \dots + V_7$	23
$V = \Sigma (V_1 + V_2 + \dots + V_7) / 35$	0.66

* Segundo Cumbe & Mugabe (2009), o considerável crescimento da actividade mineira constitui uma ameaça à integridade de alguns sítios geológicos de interesse patrimonial.

De acordo com Brilha (2005), a maior parte das ameaças à geodiversidade advém, directa ou indirectamente da actividade humana. Assim, a crescente exploração dos basaltos colunares de Matsequenha como material de construção, constitui uma maior preocupação para a geoconservação, uma vez que os basaltos têm sido destruídos.

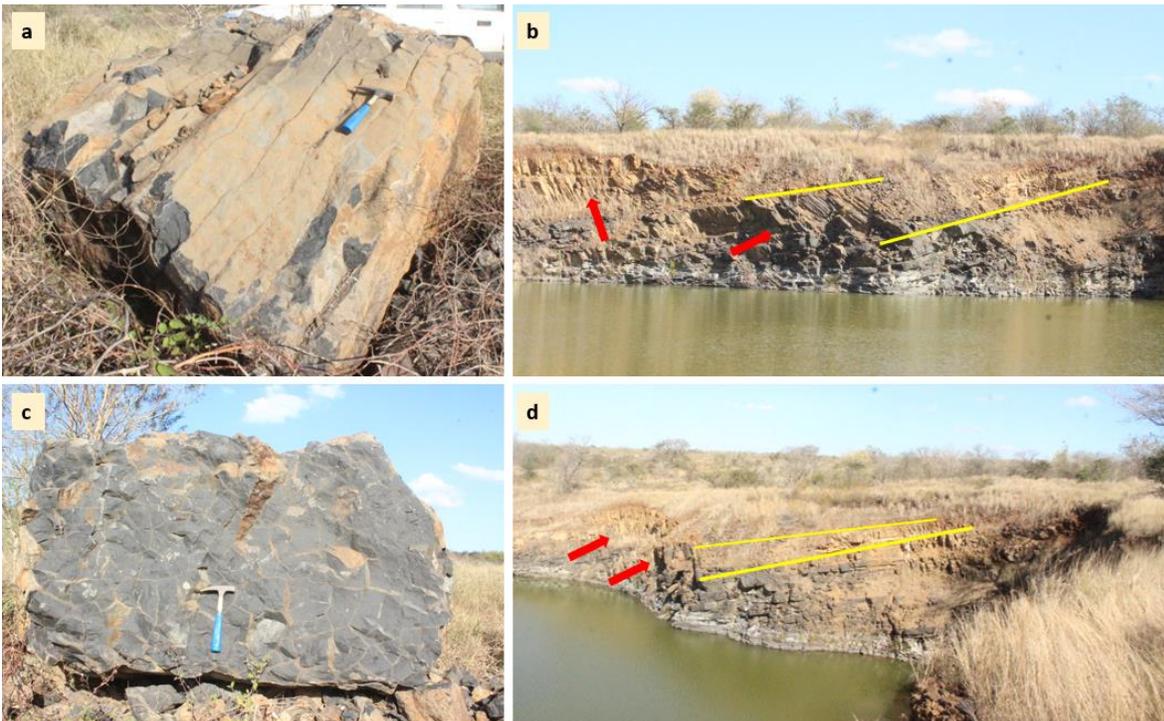


Figura 20. Exploração de basaltos colunares de Matsequenha como material para construção.

Constatou-se durante os trabalhos de campo que os basaltos colunares de Matsequenha não apresentam nenhum estatuto de protecção legal. Outro aspecto que contribui para a vulnerabilidade

do geossítio a extinção está associada ao facto de deste local estar localizado na parte central de pelo menos 3 licenças de exploração mineira em que cujas actividades de mineração estão em curso, tornando assim a sua protecção um certo desafio.

Tabela 5. Avaliação da relevância dos basaltos colunares de Matsequenha como sendo de interesse nacional ou local.

Sub-indicadores	Observação
$A_1 \geq 3$	Admissível
$A_3 \geq 1$	Não admissível
$A_6 \geq 5$	Admissível
$A_9 \geq 1$	Não admissível
$U_1 \geq 1$	Não admissível
$U_2 \geq 4$	Admissível

A tabela 5 ilustra os critérios utilizados para determinar a relevância de um geossítio, para ser classificado como património geológico de interesse mundial, nacional, regional ou local (Brilha, 2005 & Cumbe, 2007). Deste modo, um geossítio torna-se de interesse nacional ou internacional se possuir em acumulação os valores indicados na tabela 5. Os geossítios que não cumprem com os critérios da tabela poderão ser considerados como sendo de âmbito regional ou local.

Neste contexto, tendo em consideração os dados da tabela 5, o valor final do geossítio [G] e o código do geossítio foram determinados com base nas fórmulas [4] e [5], respectivamente.

$$G = \frac{\Sigma(A + U + V)}{3} \quad [4]$$

$$[G][A][U][V] \quad [5]$$

[0.55][0.56][0.43][0.66]

$$G = \frac{0.56 + 0.43 + 0.66}{3}$$

$$G = 0.55$$

Tabela 6. Resumo de avaliação quantitativa dos basaltos colunares de Matsequenha

Indicadores de selecção da relevância	Pontuação
A - Atributos naturais do geossítio	0.56
U – Potencial utilização do geossítio	0.43
V – Vulnerabilidade do geossítio	0.66

G - Valor final do geossítio	0.55
Código do geossítio	[0.55][0.56][0.43][0.66]

CAPÍTULO V – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Morfologia das colunas

A partir dos trabalhos de campo, foi possível observar que as colunas que ocorrem na área em estudo são regulares e com um baixo grau de simetria entre as faces, assim como dos ângulos interfaciais. Algumas colunas encontram-se deformadas em dobras tipo Chevron, caracterizadas por uma curvatura menos pronunciada dos flancos. Segundo Goehring (2008), a presença de bandamentos e estrias em colunas basálticas é uma evidência do seu arrefecimento relativamente lento, quando comparado com outras rochas vulcânicas. No caso específico dos basaltos de Matsequenha, as estrias e os bandamentos acompanham a deformação das colunas e com um tamanho muito variável.

De acordo com Spry (1962), a regularidade das colunas e a simetria entre as faces não devem ser considerados como regra geral, visto que, a morfologia das colunas é resultado da actuação integrada de processos geotérmicos, conjugados com a tectónica. Por exemplo, a actuação de esforços externos sobre uma coluna formada, pode levar a sua deformação e por vezes, o transporte da mesma da zona de colunades inferiores para as entablaturas, ou destas para as colunades superiores.

Ainda de acordo com Spry (1962), a presença de bandeamentos e de estrias em muitos fluxos de lavas sub-aéreas é um aspecto importante que permite definir a geometria das colunas e inferir o regime tectónico em que as colunas se formaram. Adicionalmente, Goehring (2008) considera que as estrias e bandamentos podem estar distribuídas em toda a extensão do comprimento das colunas. Todavia, em alguns casos não é possível visualizar a continuidade destas estruturas a partir da superfície, principalmente quando as colunas não afloram por completo, tal como acontece com os basaltos colunares de Matsequenha.

O diâmetro e comprimento dos basaltos de Matsequenha varia de forma considerável. Segundo Brilha (1998), esta variação pode ser resultado da variação da taxa de arrefecimento e solidificação

da lava. De acordo com Phillips *et al.* (2013) & Garel (2019), quando o arrefecimento da lava ocorre de forma rápida, as colunas geradas são mais finas e com um diâmetro menor. Por outro lado, quando o arrefecimento se dá de forma lenta, as colunas geradas são mais regulares e o seu diâmetro também é maior. Esta variação do diâmetro foi observável nos basaltos colunares de Matsequenha, tendo sido agrupados em duas classes principais. A primeira classe compreende a colunas com um diâmetro que varia de 15-21cm e a segunda classe, com colunas cujo diâmetro varia de 21 – 35 cm de diâmetro. De acordo com Garel (2019), esta variação do diâmetro serve de evidencia da variação das condições térmicas, durante a formação das rochas.

Contudo, devido à fraca exposição dos basaltos colunares de Matsequenha, não foi possível identificar nem diferenciar a zona de colunades das entablaturas. Entretanto, tendo em consideração a forma, o tamanho e a regularidade das colunas é de se considerar que a parte exposta corresponda às colunades inferiores.

De acordo com Goehring & Morris (2008), quando as colunas se encontram pouco expostas, os critérios para distinguir as colunades das entablaturas são pouco compreendidos. Quando tal acontece, a transição de uma zona para a outra é difusa e pode ser ocasionalmente identificada com base na forma, no tamanho das colunas e aspectos texturais das rochas (Spry, 1962 & Phillips *et al.*, 2013). A presença de material de granulometria muito fina na zona de entablatura é também um dos critérios que pode ser utilizado para diferenciar uma região da outra, mesmo que forma empírica. As entablaturas podem apresentar maior quantidade de material de cristalização vítrea, quando comparado com as colunades, devido às diferenças de taxas de arrefecimento do fluxo de lava (Spry, 1962 & Hofmann *et al.*, 2015) No entanto, este facto não foi observável durante o estudo dos basaltos colunares de Matsequenha, razão pela qual, não foi levado em consideração neste estudo.

5.2.Relevância dos Basaltos Colunares de Matsequenha e Potencial para a Geoconservação

Os basaltos colunares de Matsequenha constituem o único exemplar de rochas com disjunção colunar conhecido na província de Maputo e no país. Ocorrem nos terrenos vulcânicos do Karoo, ao longo do monoclinal dos Libombos. Com base nos resultados da inventariação, estes basaltos apresentam um considerável interesse petrológico, mineralógico, estrutural e tectónico.

A partir da avaliação qualitativa e quantitativa realizada durante a inventariação, o geossítio de basaltos colunares de Matsequenha foi classificado como sendo de relevância local ou regional (Tab. 5). De acordo com Brilha (2015), 3 dos 6 critérios estabelecidos (Tab. 5) para classificar um geossítio como de interesse nacional ou internacional, não são aplicáveis, pois, apresentam pontuação abaixo da média.

Os basaltos colunares de Matsequenha apresentam uma considerável relevância científica e educativa, a qual está associada aos atributos naturais, com a pontuação de [**A = 0.56**], quando comparado com o interesse turístico [**U = 0.43**]. Adicionalmente, constatou-se também durante a avaliação quantitativa que o geossítio apresenta um elevado índice de vulnerabilidade, com pontuação máxima [**V = 0.66**].

Com base no modelo de inventariação e quantificação do geossítio aplicado, a relevância científica, educativa e turística dos basaltos colunares de Matsequenha foi calculada a partir da média dos critérios indicados nas tabelas 1 a 4, respeitando os critérios estabelecidos por Brilha (2015) para cada categoria. No gráfico abaixo observa-se que os basaltos de Matsequenha apresenta 32% de relevância turística, 33% para a relevância educativa e 35% de relevância científica.

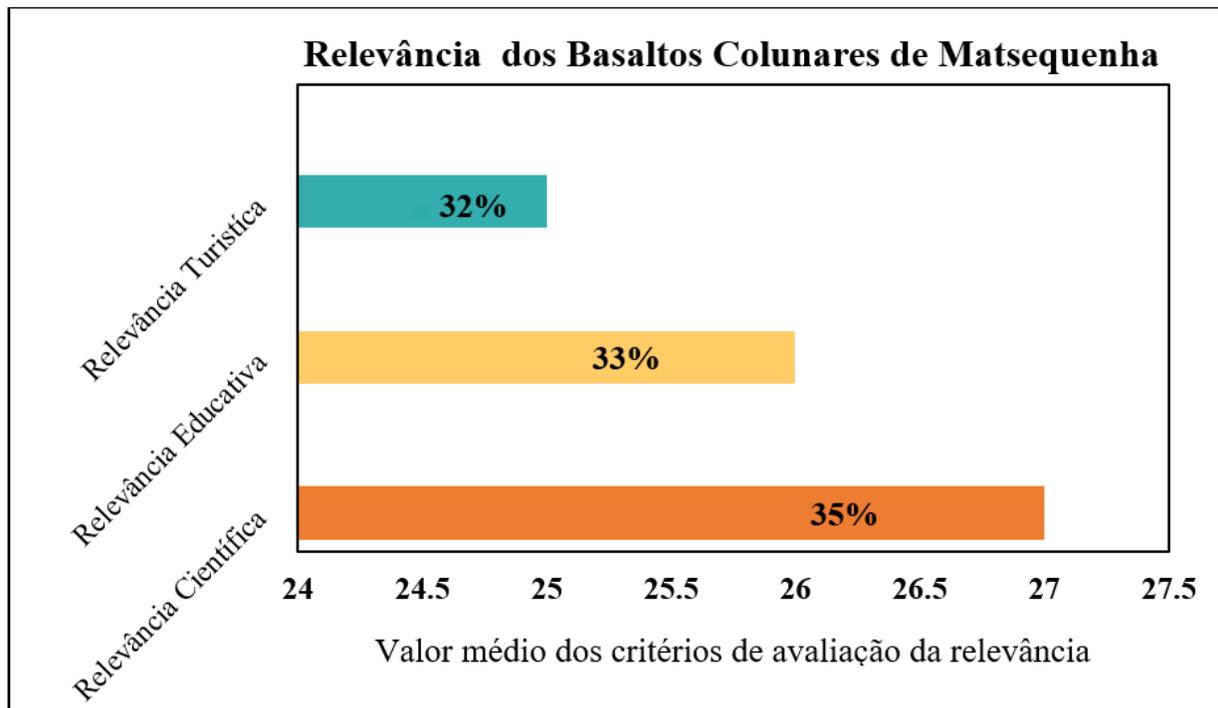


Figura 21. Representação gráfica da relevância científica, educativa e turística dos basaltos colunares de Matsequenha para fins de geoconservação.

5.2.1. Relevância Científica e Educativa

Tendo em referência a fig. 23, a relevância científica e educativa dos basaltos colunares de Matsequenha representa cerca de 68%. Segundo Brilha (2015), a avaliação da relevância científica de um geossítio é baseada em 7 critérios principais: **i** - representatividade do geossítio, **ii** - local-tipo, **iii** - nível de conhecimento científico, **iv** - integridade do geossítio, **v** - diversidade do geossítio, **vi** – raridade e, **vii** - não existência de limitações de uso do geossítio. Apesar da baixa pontuação no critério **iii** e **v** de acordo com a tabela 1 e 2, todos os critérios são aplicáveis ao geossítio em estudo, elevando assim a sua relevância científica.

De acordo com Diaz-Martinez *et al.* (2022), o critério **vii** apesar de não estar relacionado com as características intrínsecas dos geossítios, sim com o potencial uso dos geossítios. No entanto, justifica-se a sua inclusão na análise da relevância científica do geossítio em estudo por possibilitar que o mesmo possa ser utilizado para o desenvolvimento de pesquisas científicas tanto no presente, quanto no futuro.

Relativamente ao potencial educativo do geossítio, 12 critérios são levados em consideração (Brilha, 2015 & Diaz-Martinez *et al.*, 2022), dentre eles: **i** - vulnerabilidade, **ii** - acessibilidade, **iii** - limitações de uso, **iv** - segurança, **v** - logística, **vi** - densidade populacional, **vii** - associação com outros elementos, **viii** - panorama paisagístico, **ix** - singularidade ou raridade dos elementos, **x** - condições de observação dos elementos, **xi** - potencial didático e **xii** - diversidade geológica. Não se adequam ao geossítio dos basaltos colunares de Matsequenha os critérios **v**, **vi**, **vii** e **viii**, pela baixa pontuação obtida durante a quantificação da relevância do geossítio, (vide os indicadores [A4 e A5] na tabela 2, indicador [U8] na tabela 3 e [V5] na tabela 4).

No entanto, as possibilidades de divulgação do geossítio são muito altas, pelo facto deste gozar de uma boa localização geográfica (Cumbe & Mugabe, 2009) e servir de referência sobre a importância da geologia pra pessoas com nível cultural adequado (Brilha, 2015).

5.2.2. Relevância Turística

Quanto a utilidade do geossítio para a prática de actividades turísticas, o geossítio apresenta a pontuação mínima, não constituindo assim um atrativo turístico da região. Por outro lado, a menor área que o geossítio ocupa [A9], aliado a fraca relação com outros elementos natureza biótica ou de natureza cultural [A4 e A5], utilidade do geossítio é de alguma forma direccionada a um público específico (geocientistas), quando comparado com as outras classes sociais (tabela 2 e 3, respectivamente) (Brilha, 2015).

De acordo com Carcavilla et al. (2022) e Diaz-Martinez *et al.* (2022), outros factores que contribuem para a relevância turística dos geossítios são: **i** - vulnerabilidade, **ii** - acessibilidade, **iii** - limitações no uso, **iv** - segurança, **v** - logística, **vi** - densidade populacional, **vii** - associação com outros elementos, **viii** - cenário paisagístico, **ix** - singularidade ou raridade, **x** - condições de observação, **xi** - potencial interpretativo, **xii** - nível económico, e, **xiii** - proximidade a outros locais de recreação ou infraestruturas. No entanto, deste conjunto de critérios, são de aplicação imediata aos basaltos colunares de Matsequenha os critérios **i**, **ii**, **iv**, **ix** e **x** pela pontuação relativamente alta que apresentaram durante a quantificação do geossítio.

Apesar da considerável relevância científica e educativa que os basaltos colunares de Matsequenha apresentam, o seu potencial interpretativo é baixo, ou seja, a morfologia e geometria das estruturas não é facilmente compreendida e interpretada por pessoas que não tem um conhecimento geológico. Por outro lado, o geossítio não apresentam nenhum estatuto de protecção legal, muito menos placas informativas sobre os basaltos, com a sinalização de pontos de maior interesse para observação.

O potencial para a protecção e conservação dos basaltos colunares de Matsequenha justifica-se pela sua considerável relevância científica-educativa e a vulnerabilidade à destruição (Brilha, 2005 e 2015; Cumbe, 2007 & Carcavilla *et al.*, 2022). A protecção deste geossítio poderá contribuir para a prevalência dos elementos, permitindo a sua utilização para o desenvolvimento de pesquisas científicas e formação da nova geração de geocientista, num contexto de desenvolvimento sustentável.

Contudo, os resultados do presente estudo podem contribuir em grande medida para o estudo da geodiversidade e património geológico do país, podendo ser aplicados durante a fase de estudos de detalhes de potenciais geossítio identificados.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Feita a pesquisa do trabalho, constatou-se que os basaltos colunares de Matsequenha compreendem o único exemplar de rochas com disjunção colunar, até agora conhecido no país. Com base nas características estruturais, morfológicas e mineralógicas que estas rochas apresentam, fazem do geossítio um local ideal e de referência para o desenvolvimento de estudos petrológicos, mineralógicos, estruturais e tectónicos. Por outro lado, conclui-se que:

- Quanto as características mineralógicas, os basaltos colunares de Matsequenha são predominantemente constituídos por olivinas e piroxenas, os quais encontram-se embebidos em uma matriz fina composta por plagióclases. Os basaltos apresentam uma textura porfirítica, com ligeiras variações para amigdalóide semicircular e hipovítrea, tendo sido diagnosticados como basaltos olivínicos de textura porfirítica.
- Quanto a morfologia e variabilidade geométrica, os basaltos de Matsequenha apresentam colunas regulares, com um padrão de disjunção maioritariamente pentagonal e por vezes hexagonal. O diâmetro médio das colunas varia de 21 a 35 cm, e um comprimento médio de até quatro metros. As colunas apresentam estrias e bandamentos que acompanham a deformação de algumas colunas em dobras tipo Chevron e com vesículas ao longo das faces. As vesículas encontram-se preenchidas por um material de granulometria muito fina e composição de carbonato de cálcio e por vezes, sílica.
- Quanto a relevância, os basaltos colunares de Matsequenha apresentam uma considerável relevância científica e educativa, em relação ao seu potencial para fins turísticos. A relevância científica destas rochas está associada aos seus aspectos morfológicos, petrográficos e estruturais, que fazem deste local, uma referência ao longos dos terrenos vulcânicos do Karoo Superior, para a realização de estudos petrológicos, mineralógicos, tectónicos e estruturais. A combinação da relevância científica e educativa com o grau de vulnerabilidade de destruição, o geossítio depreende-se de uma urgente necessidade de protecção.

O fraco potencial dos basaltos colunares de Matsequenha está relacionado a falta de diversidade e relação com outros elementos naturais e de natureza cultural, a limitações de uso devido a menor extensão que o geossítio abrange. Adicionalmente a fraca exposição das colunas não contribui a

exploração do geossítio para a prática de actividades de lazer de forma isolada. Pelo que, estes podem constituir um importante atractivo turístico se estiver inserido noutros roteiros geoturísticos da região, como por exemplo, as cascatas de Namaacha, as grutas de Namaacha “Santinha”, a barragem dos pequenos Libombos, entre outros.

A urgente necessidade de protecção do geossítio resulta do facto destas rochas estarem a ser exploradas como material para a construção. Apesar do geossítio não apresentar nenhum estatuto de protecção legal, a sua protecção poderá evitar a destruição massiva das colunas, permitindo a sua utilização para fins científicos e formação de geocientistas.

Por fim, tendo em consideração que os primeiros trabalhos desenvolvidos neste domínio de geoconservação foram de natureza exploratória, os resultados do presente estudo podem contribuir para o estudo da geodiversidade e património geológico do país, podendo ser aplicados durante a fase de estudos de detalhes de potenciais geossítio identificados.

6.2. Recomendações

Com vista a aprimorar o conhecimento científico sobre estes basaltos e na perspectiva de melhor proteger o local de modo a proporcionar um bom uso público, recomenda-se o seguinte:

- Realização da geoquímica dos elementos maiores e traços dos basaltos colunares de Matsequenha, com vista a compreender a abundância dos elementos e os processos geológicos relacionados;
- A realização de mais estudos, visando definir um modelo eficaz para a protecção e conservação do geossítio como património geológico;
- Com vista a proporcionar um melhor uso público, recomenda-se a criação e colocação de painéis de sinalização no geossítio, com maior destaque para os pontos de interesse para observação científica. Estes painéis vão servir de um guia de visita pelo local (roteiro científico), cujo objectivo é facilitar a visita e o reconhecimento de elementos de destaque que agregam maior valor ao geossítio;

CAPÍTULO VII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1. BIBLIOGRAFIA

- Afonso, R. S. (1976). *A Geologia de Moçambique: Notícia Explicativa da Carta Geológica de Moçambique 1: 2 000 000*. Imprensa Nacional de Moçambique. Maputo.
- Afonso, R. S. (1976a). *Contribuição para o Conhecimento da Tectónica de Moçambique (Notícia Explicativa da Carta Tectónica de Moçambique Escala - 1: 2000000)*. Imprensa Moderna. Maputo.
- Aydin, A., & Degraff, J. M. (1993). *Effect of Thermal Regime on Growth Increment and Spacing of Contraction Joints in Basaltic Lava*. Journal of Geophysical Research, Vol. 98, 6411-6430.
- Borba, A. W., Souza, L. F., Mizusaki, A. M., Almeida, D. P., & Stumpf, P. P. (2013). *Inventário e Avaliação Quantitativa de Geossítios: Exemplo de Aplicação ao Património Geológico do Município de Caçapava do Sul (RS, Brasil)*. Pesquisas em Geociências, 275-294.
- Brilha, J. (2005). *Património Geológico e Geoconservação - A Conservação da Natureza na Sua Vertente Geológica*. Palimagem Editores. Braga, Portugal.
- Brilha, J. (2015). *Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review*. The European Association for Conservation of the Geological Heritage, 8:119-134. doi:10.1007/s12371-014-0139-3
- Brilha, J. R., Braga, M. A., Proust, D., & Dudoingnon, P. (1998). *A Disjunção Colunar na Chaminé Vulcânica de Penedo de Lexim (Complexo Vulcânico de Lisboa) - Morfologia e Génese*. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro (pp. B164-B167). Université de Poitiers - France. Lisboa.
- Bristow, J. W. (1982). *Geology and Structure of Karoo Volcanic and Sedimentary Rocks of The Northern and Central Lebombo*. Transation of The Geology Society of South Africa, 167-178.
- Carcavilla, L. C. M. (2022). *Thirty Years of Geoconservation in Spain*. Museuologia e Patrimônio - Vol.15, No. 1.
- Carcavilla, L., Díaz-Martinez, E., Garcia-Cortés, Á., & Vegas, J. (2019). *Geoheritage and Geodiversity*. Instituto Geológico e Mineiro de Espanha. PanAfGeo. Madrid.

- Chao, Z., Ma, G., & Wang, M. (2020). *The Investigation of Seepage Model for Columnar Jointed Rock Masses During Cyclic Loading and Unloading of Confining Pressure*. Arabian Journal of Geosciences, 13:621.
- Chundo, D. M., Simbe, F. F., Muianga, I. F., Tembe, J. F., Gelo, H. C., & Hassamo, U. I. (2019). *Potencialidades Turísticas, Científico-Pedagógicas e Socio-Económicas da Vila de Namaacha*. III Encontro Luso-brasileiro de Património Geomorfológico e Geoconservação (pp. 176 - 185). CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento Territorial. Guimarães, Portugal.
- Cumbe, Â. N. (2007). *O Património Geológico de Moçambique: Proposta de Metodologia de Inventariação, Caracterização e Avaliação*. Universidade do Minho. Braga, Portugal.
- Cumbe, Â., & Mugabe, J. (2009). *Inventariação e Caracterização de Património Geológico na Província de Maputo*. Museu Nacional de Geologia (Inédito). Maputo.
- Diaz-Martinez, E. V. (2022). *The Spanish Inventory of Geological Sites os Interest (IELIG)*. Geological Society of America. Vol 54. No. 5, 71-5.
- Fombe, A., Manjate, C., Cataua, F. B., Dgedge, G. S., Nhancale, H. M., Remane, M. A., Fumo, R. I. (2019). *Avaliação do Geopatrimónio do Distrito de Namaacha: As Cascatas de Namaacha, Maputo - Moçambique*. III Encontro Luso-brasileiro de Património Geomorfológico e Geoconservação (pp. 186 - 204). CEGOT - Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento Territorial. Guimarães, Portugal.
- Forte, J. P. (2014). *Avaliação Quantitativa da Geodiversidade: Desenvolvimento de Instrumentos Metodológicos com Aplicação ao Ordenamento do Território - Tese de Doutoramento*. Universidade do Minho. Portugal.
- Garel, F., Bosshard, S., Mattsson, H. B., Hetényi, G., & Médard, É. (2019). *Scales of Columnar Jointing in Igneous Rocks: Field Measurements and Controlling Factors*. Springer, 74:457-482. doi:10.1007/s00445-011-0534-4
- Gill, R. (2010). *Igneous Rocks And Processes - A Practical Guide*. Wiley - Blackwell. Malaysia.
- Goehring, L. (2008). *On the Scaling and Ordering of Columnar Joints* - PhD Tesis. University of Toronto. Toronto.
- Goehring, L., & Morris, S. W. (2005). *Order and Disorder in Columnar Joints*. Europhysics Letters, 69.

- Gray, M. (2004). *Geodiversity - Valuing and Conserving Abiotic Nature*. John Wiley and Sons. New York.
- GTK, C. (2006a). *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 1. Maputo.
- Hofmann, M., Anderssonhn, R., Bahr, H.-A., Weib, H.-J., & Nellesen, J. (2015). **Why Hexagonal Basalt Columns?**. *Physical Review Letters*, 115. doi:10.1103/PhysRevLett.115.154301.
- Hofmann, M., Bahr, H. A., Weiss, H.-J., Bahr, U., & Balke, H. (2011). *Spacing of Cracking Patterns Driven by Steady-State Cooling or Drying and Influenced by a Solidification Boundary*. *Physical Review*. Doi:10.1103/PhysRevE.83.036104
- IGME, I. G. (2021). *Building Connections For Global Geoconservation - X International ProGeo Symposium*. PROGEO. Espanha.
- INE, I. N. (2012). *Estatística do Distrito de Namaacha*. INE. Maputo - Moçambique.
- INE, I. N. (2017). *CENSO 2017 - IV Recenseamento Geral da População e Habitação*. INE. Maputo - Moçambique.
- IUGS, I. U. (2022). *The First 100 IUGS Geological Heritage Sites*. IUGS. Zumala, Espanha.
- Jagla, E. A., & Rojo, A. G. (2002). *Sequential Fragmentation: The origin of Columnar Quasihexagonal Patterns*. *Physical Review*, Vol. 65. Doi:10.1103/Phys Rev E.65.026203
- Jorge, M. C., & Guerra, A. J. (2016). *Geodiversidade, Geoturismo e Geoconservação - Conceitos, Teorias e Métodos*. Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, vol.6, n.1, 151-174.
- Lamur, A., Lavallée, Y., Iddon, F. E., Hornby, A. J., Kendrick, J., Von Aulock, F. W., & Wadsworth, F. (2018). *Disclosing the Temperature of Columnar Jointing in Lava*. *Nature Communications*.
- Mackenzie, W. S., Donaldson, C. H., & C., G. (1982). *Atlas of Igneous Rock and Their Textures*. ELBS - English Language Boo Society. England.
- Ministério da Administração Estatal. (2005). *Perfil do Distrito de Namaacha - Província de Maputo*. MÉTIER - Consultoria & Desenvolvimento, Lda. Maputo.
- Morris, S. W., Goehring, L., & Mahadevan, L. (2008). *Nonequilibrium Scale Selection Mechanism for Columnar Jointing*. *PNAS*, Vol. 106, no. 2. 387-392.
- Nascimento, M. A., Ruchkys, ú. A., & Neto, V. M. (2008). *Geodiversidade, geoconservação e geoturismo - Trinômio Importante para a Protecção do Património Geológico*. SBGEO. Brazil.

- Nascimento, R. s., & Gorayeb, P. S. (Dezembro de 2004). *Basaltos da Suíte Parapui, Graben Jaibaras, Noroeste do Ceará: Caracterização, Petrográfia, Geoquímica e Química Mineral*. Revista Brasileira de Geociências.
- Nhamutole, N., Moiana, M., Bamford, M., Araújo, R., Vegas, J., & Diaz-Martinez, E. (2021). *Need of Inventory and Preservation of the Tete Fossil Forest: a recognition of the largest fossil forest in Africa*. Building Connection for Global Geoconservation - Abstract Books. X International ProGeo Symposium (pp. 49-50). ProGeo. Espanha.
- Paulino, F. J. (2009). *Proposta da Estratigrafia do Supergrupo do Karoo de Moçambique, a Luz dos Dados da Nova Cartografia Geológica na Escala 1:250 000*. Tese de Licenciatura. Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
- Pereira, P. J. (2006). *Patrimônio geomorfológico: conceptualização, avaliação e divulgação. Aplicação ao Parque Nacional de Montesinho*. Universidade do Minho. Obtido de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/6736>. Portugal.
- Phillips, J. C., Humphreys, M. C., Daniels, K. A., Brown, R. J., & Witham, F. (2013). *The Formation of Columnar Joints Produced by Cooling in Basalts at Staffa, Scotlad*. Bull Volcanol, 75:715. doi:10.1007/s00445-013-0715-4
- Philpotts, A. R., & Ague, J. J. (2009). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Second Edition ed. Cambridge University Press. USA.
- PROGEO. (2011). *Conserving our shared geoheritage – a protocol on geoconservation principles, sustainable site use, management, fieldwork, fossil and mineral collecting*. ProGeo. Obtido de <http://www.progeo.se/progeo-protocol-definitions-20110915.pdf>. Spain.
- Raith, M. M., Raase, P., & Reinhardt, J. (2014). *Guia para Microscopia de Minerais em Lâminas Delgadas*. University of KwaZulo-Natal. South Africa.
- Sepulveda, G. O. (2017). *Petrographic and Geochemical Attributes of the Basalts from Stolpen, Saxony, Germany*. UFOP. Ouro Preto, Brasil.
- Silva, M. L., Nascimento, M. A., & Mansur, K. L. (2019). *Quantitative Assessments of Geodiversity in the Area of the Seridó Geopark Project, Northeast Brazil: Grid and Centroid Analisis*. Geoheritage. doi:<https://doi.org/10.1007/s12371-019-00368-z>
- Spry, A. (1962). *The Origin of Columnar Jointing, Particularly in Basalt Flows*. Journal of the Geological Society of Australia, 191 - 216.

- Squisato, E., Nardy, A. J., Machado, F., B., Marques, L. S., Rocha Junior, E. R., & Oliveira, M. A. (2009). *Litogeoquímica e Aspectos Petrogenéticos dos Basaltos da Província Magmática do Paraná na Porção Centro- Norte do Estado de São Paulo*. UNESP, Geociências, 28, pp. 27-41.
- Sweeney, R. J. (1986). *Geology of the Sabie River Basalt Formation in the Southern Kruger National Park*. Koedoe, 105-116.
- Texeira, W. (2000). *Decifrando a Terra*. Oficina de Textos. São Paulo.
- Vieira, A. C. (2006). *Património geomorfológico – de conceito a projecto. O Maciço de Sicó*. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Vol. 3,. Obtido de http://oficinaexperimental.wikispaces.com/file/view/geomorfologia_sico.pdf. Portugal.
- Wei, Y., Xu, M., Wang, W., Shi, A., Tang, M., & Ye, Z. (2011). *Feasibility of Columnar Jointed Basalts Used for High-Arch Dam Foundation*. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 461-468.
- Xavier, F. C., Fernandes, L. A., Brilha, J. R., Martinez, E. D., & Fabri, M. (2022). *Inventory and Quantitative Evaluation of the Geological Heritage of Paraná, Southern Brazil*. Oxford Geoheritage Virtual Conference. OXGVC. USA.

Websites consultados:

- [1]. Portal do Governo da Província de Maputo: <https://www.pmaputo.gov.mz/por/A-Provincia/Perfis-Distritais/Namaacha>. Data de acesso: 06 de Fevereiro de 2023.

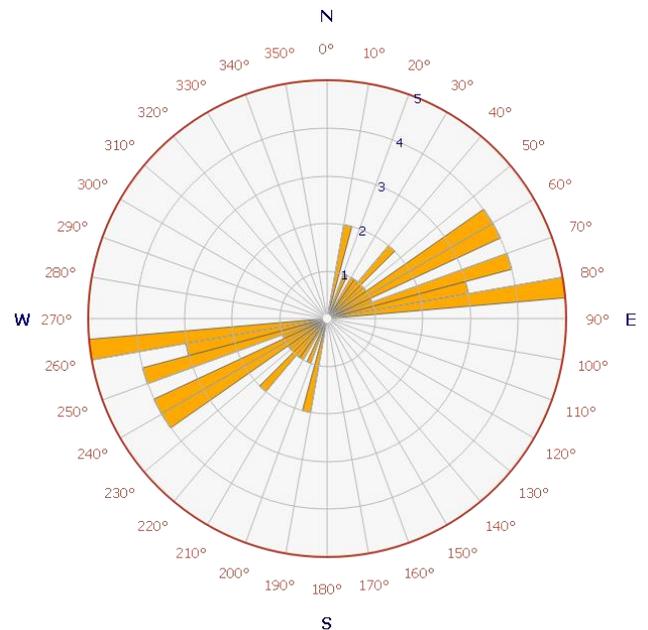
Apêndices

Apêndice I. Coordenadas geográficas e medições de campo

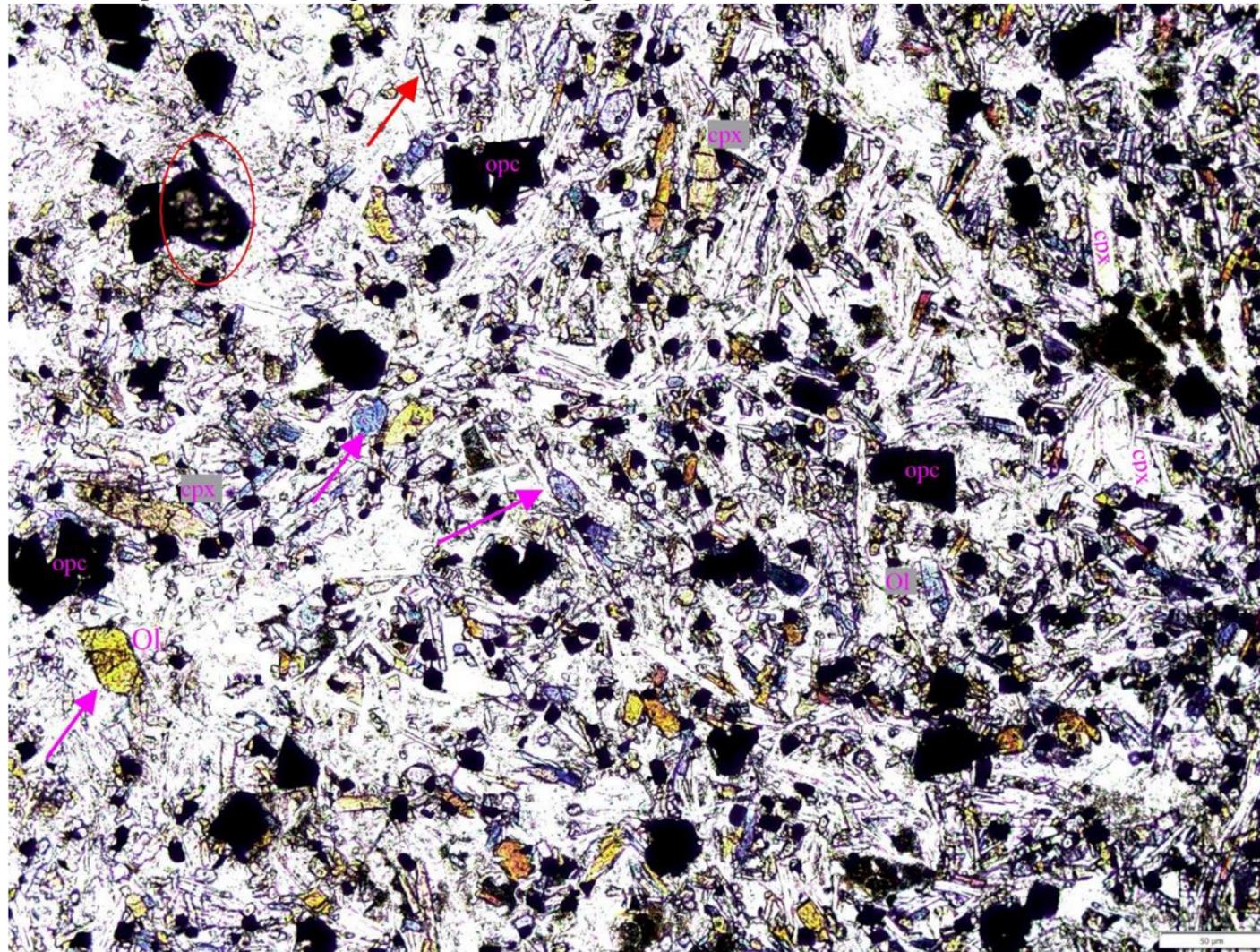
Coordenadas Geográficas dos pontos (UTM)		
ID	Latitude (m)	Longitude (m)
P01	-25.80805556	32.24527778
P02	-25.80508333	32.24936111
P03	-25.80761111	32.24747222
P04	-25.80866667	32.24694444
P05	-25.80888889	32.24630556
P06	-25.80897222	32.24558333
P07	-25.80702778	32.24602778
P08	-25.80705556	32.24491667
P09	-25.80455	32.24233611
P10	-25.80506944	32.24938889
P11	-25.80793611	32.24922778
P12	-25.80818333	32.25066111
P13	-25.811375	32.24889722
P14	-25.8115	32.24573889
P15	-25.81133611	32.24376111
P16	-25.80948611	32.24385
P17	-25.80925278	32.24236111

Medições de diâmetro			
Diâmetro das colunas (cm)			
24.5	17.3	26.7	17.4
20.6	15.4	34.3	21.6
23.7	15.3	31.4	19.4
20.7	22.6	25.3	20.3
25.4	15.7	40.2	21.5
24.3	16.8	32.3	20.7
20.5	24.3	29.3	21.8
29.3	17.4	35.4	17.2
24.4	17.5	31.6	29.4
33.7	17.6	25.7	24.3
23.8	20.3	27.3	28.2
31.3	20.8	28.4	19.4
40.3	20.2	31.3	23.1
30.6	18.3	14.6	13.5

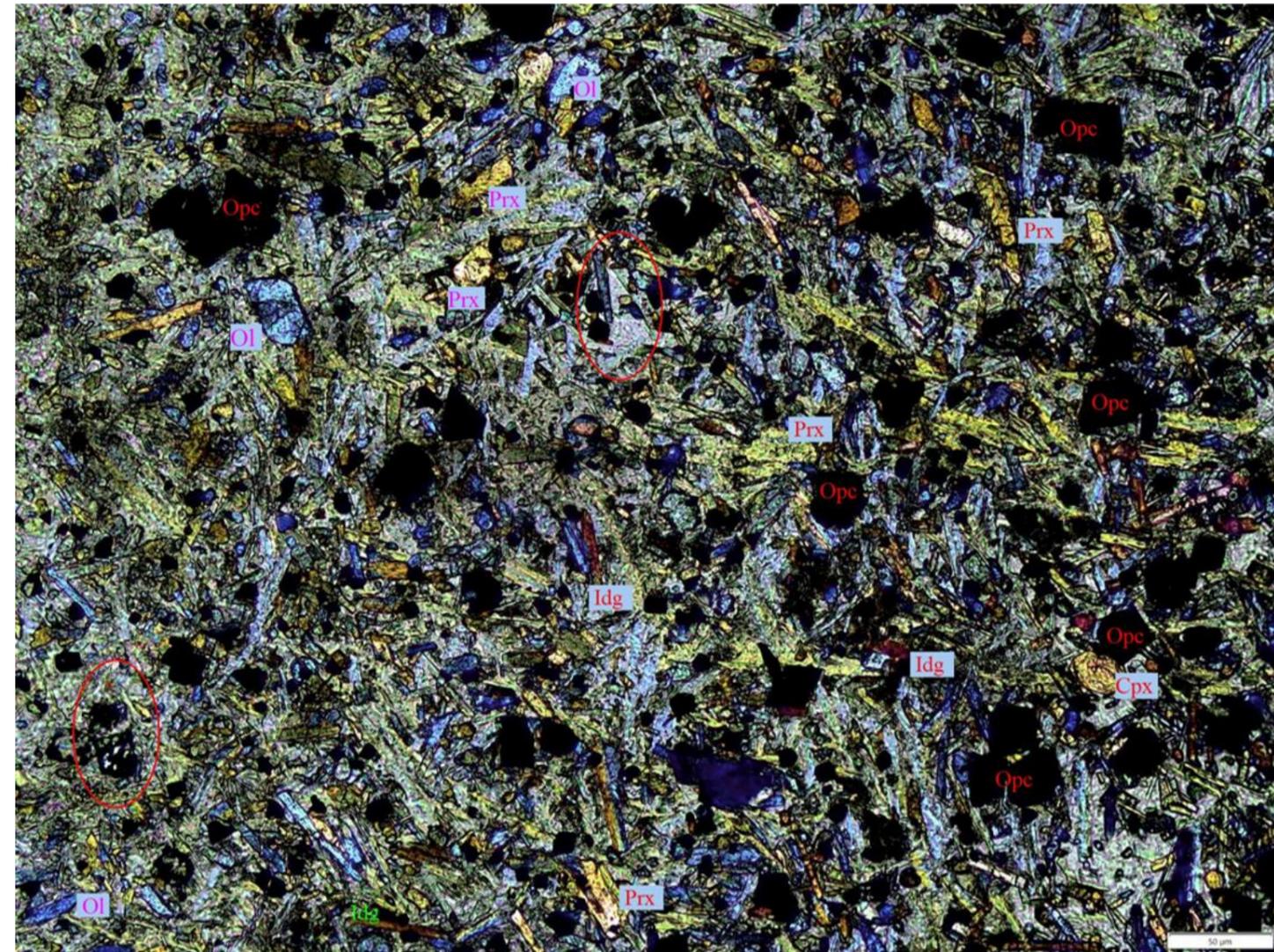
Orientação das colunas		
N82/263 SW	N58/239 SW	N60/244 SW
N78/258 SW	N44/225 SW	N70/256 SW
N80/261 SW	N84/264 SW	N70/259 SW
N59/238 SW	N82/264 SW	N57/238 SW
N62/242 SW	N80/265 SW	N62/246 SW
N70/250 SW	N58/239 SW	N32/215 SW
N54/235 SW	N70/255 SW	N60/241 SW
N11/191 SW	N78/252 SW	N38/218 SW
N20/220 SW	N76/257 SW	N67/249 SW
N48/224 SW	N62/241 SW	N62/257 SW



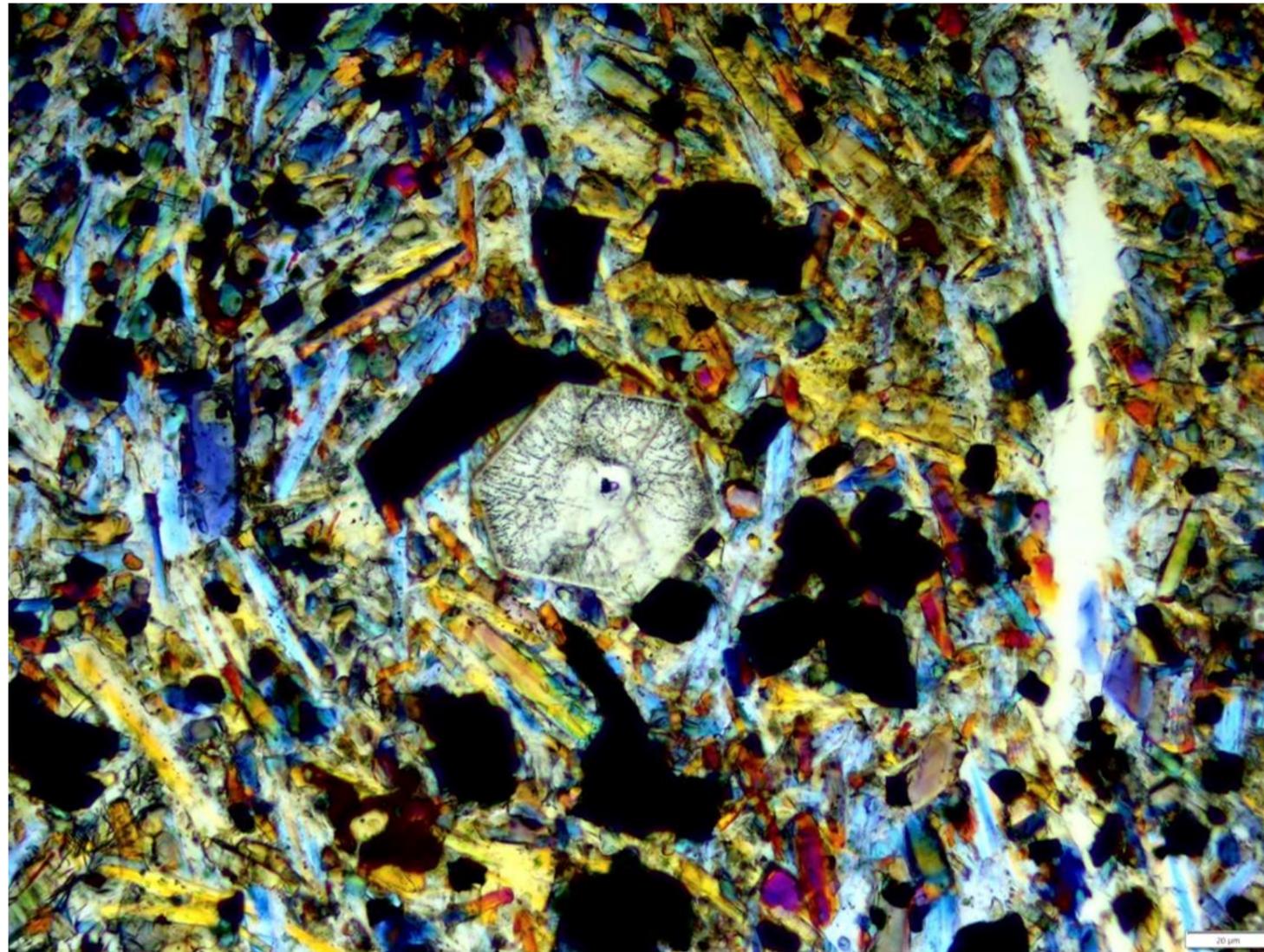
Apêndice II – Micrografias de lâminas delgadas



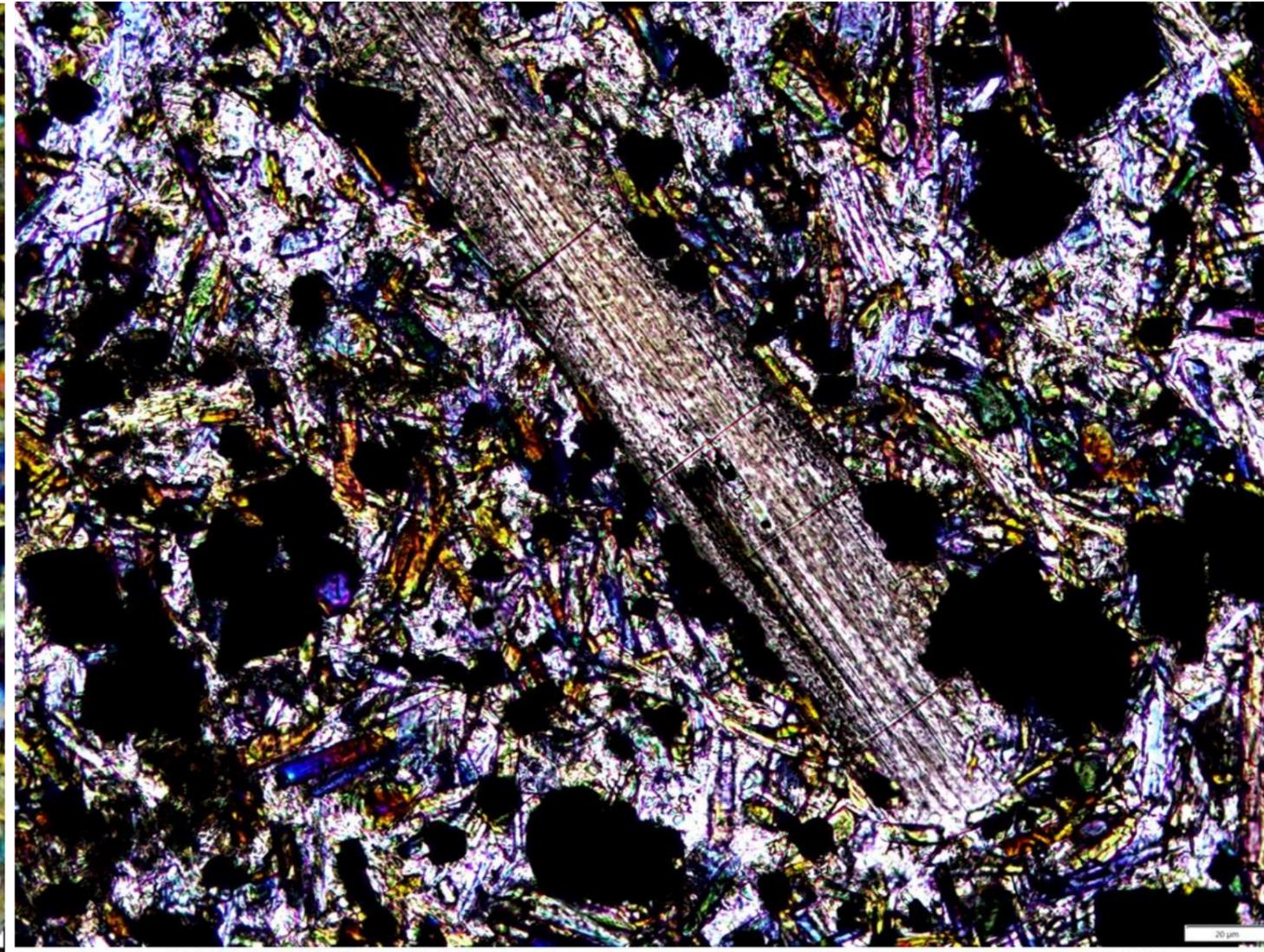
Amostra BC-M01 – PPL: Cristais de olivina (azul/laranja) com um relevo muito alto em relação as clinopiroxenas (50µm)



Amostra BC-M02 – XPL: Cristais subédricos de clinopiroxenas com um tom amarelo a (50µm)



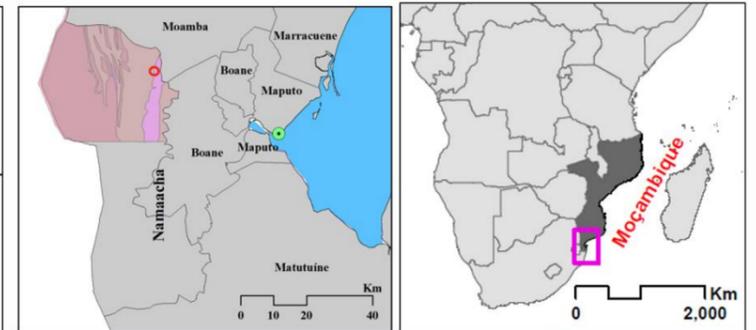
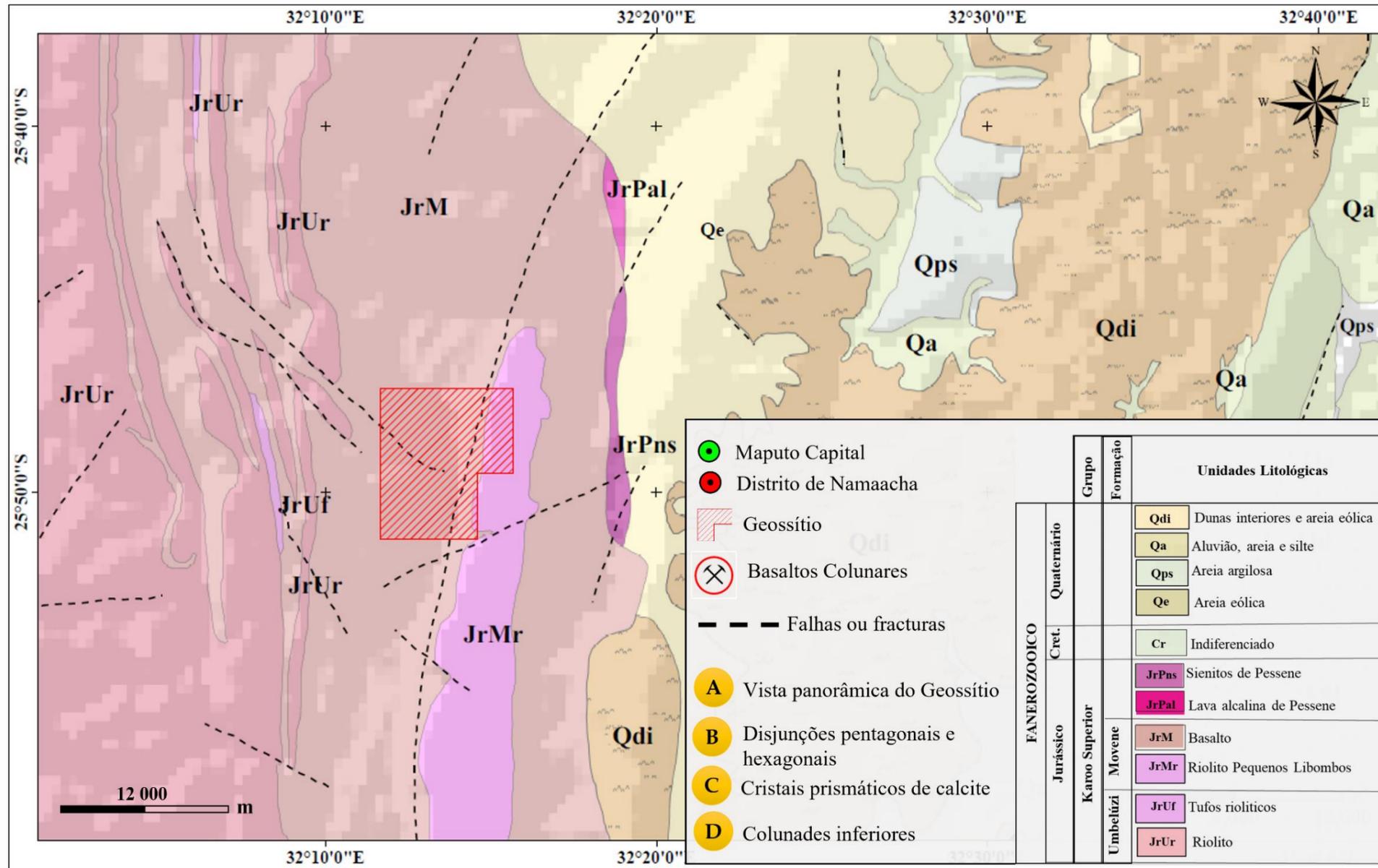
Amostra BC-M01 – XPL: Cristal hexagonal de clinopiroxena na parte central da lamina (20 μ m).



Amostra BC-M04 – XPL: Fenocristais de clinopiroxenas em contacto com minerais opacos (20 μ m e zoom 200%).

Apêndice III – Pannel interpretativo do geossítio de basaltos colunares de Matsequenha

PAINEL GEOLÓGICO E INTERPRETATIVO DO GEOSSÍTIO DE BASALTOS COLUNARES DE MATSEQUENHA – NAMAACHA / S 25°48'30.3", E 032°14'41.8"



	Grupo	Formação	Unidades Litológicas	
			Formação	Unidades Litológicas
FANEROZOICO	Quaternário		Qdi	Dunas interiores e areia eólica
			Qa	Aluvião, areia e silte
			Qps	Areia argilosa
			Qe	Areia eólica
	Cret.		Cr	Indiferenciado
		Jurássico	Karoo Superior	JrPns
	JrPal			Lava alcalina de Pessene
	Movene		JrM	Basalto
			JrMr	Riolito Pequenos Libombos
	Umbeluzi		JrUf	Tufos riolíticos
		JrUr	Riolito	

Projeção: WGS – 1984 World Mercator
 Coordenadas: DMS
 Datum: WGS84
 Elaborado por: Cardoso Bande
 Maputo, Fevereiro de 2023

O Geossítio de basaltos colunares está localizado no posto Administrativo de Matsequenha, Distrito de Namaacha, Província de Maputo. O geossítio ocorre ao longo do cinturão monoclinial dos Pequenos Libombos, inserido nos terrenos vulcânicos do karoo superior (jurássico médio). Ocorre no geossítio colunas pentagonais, tetragonais e hexagonais, com um diâmetro que varia de 21 a 45 cm.

Importância para a preservação:

- Constitui o único exemplar de disjunção colunar conhecido em Moçambique
- Tem um interesse científico e educacional
- Local ideal para a realização de estudos petrológicos, mineralógicos, tectónicos e estruturais.

ANEXOS

Anexo I – Ficha de inventariação e caracterização do património geológico