

MILTON FERNANDO CHIRINDZA

**A FORMAÇÃO DE ZIMUARA,
UM SÍTIO DA IDADE DA PEDRA NO CENTRO DE MOÇAMBIQUE:
ESTUDO COM BASE EM SEDIMENTOLOGIA E GEOQUÍMICA**



MILTON FERNANDO CHIRINDZA

**A FORMAÇÃO DE ZIMUARA,
UM SÍTIO DA IDADE DA PEDRA NO CENTRO DE MOÇAMBIQUE:
ESTUDO COM BASE EM SEDIMENTOOLÓGIA E GEOQUÍMICA**

Mestrado em Arqueologia

Trabalho sob a orientação de:

Doutora Ana Isabel de Sousa Horta Dias Gomes;

Professor Doutor Nuno Gonçalo Viana Pereira Ferreira Bicho



UAlg **FC**HS

UNIVERSIDADE DO ALGARVE
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS E SOCIAIS

2025

A FORMAÇÃO DE ZIMUARA, UM SÍTIO DA IDADE DA PEDRA NO CENTRO DE MOÇAMBIQUE: ESTUDO COM BASE EM SEDIMENTOLOGIA E GEOQUÍMICA

DECLARAÇÃO

Declaro que este trabalho de obtenção do grau de Mestrado é resultado da minha investigação pessoal sob a orientação dos supervisores e que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico. Seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente referenciadas ao longo do texto, nas notas e na referência bibliográfica final. Tudo o que nele se encontra que não esteja citado constitui conhecimento próprio adquirido durante os meus estudos.

Copyright© Milton Fernando Chirindza.

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

À minha mãe, meus irmãos e sobrinhos!

Dedicatória

Primeiramente, dedico este trabalho a mim mesmo, pelas noites, madrugadas, fins de semana e feriados que passei estudando, com a convicção de que era o mínimo que poderia fazer pelo meu futuro. De seguida, dedico-o à minha mãe, Irene Panguene, que nunca poupou esforços para educar e conduzir os seus filhos ao sucesso. À minha irmã, Celeste Panguene e minha namorada Anifa Jojó por nunca terem deixado de acreditar em mim ao longo da minha caminhada académica e por terem reunido incansavelmente todas as condições para o meu progresso educacional.

Aos meus queridos sobrinhos, dedico-vos esta conquista com profundo carinho e esperança. Que cada página desta tese vos inspire a acreditar no poder do conhecimento e no valor do esforço. Que sigam sempre com curiosidade, coragem e sonhos grandes. Acreditem: o caminho académico pode transformar vidas, assim como transformou a minha. Que este seja apenas o começo do vosso próprio percurso brilhante.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso a minha profunda gratidão à European Research Council (ERC), no âmbito do Projeto 101052761–DISPERSALS - *Resilience, and Innovation in Late Pleistocene SE Africa* – ERC-2021-ADG, coordenado pelo Prof. Nuno Bicho, por ter financiado a minha bolsa de investigação de mestrado. De seguida, o meu agradecimento vai para o Prof. Nuno Bicho, que abriu as mãos de apoio para o meu desenvolvimento académico-científico, emocional e financeiro que me deu ao longo deste percurso académico. Sem o qual teria sido impossível embarcar para esta missão. O meu muito Kxanimambo.

Agradeço incansavelmente à Professora Ana Gomes, por ter aceite, pela segunda vez, ser minha orientadora e por ter dado todo o apoio científico e financeiro sempre que precisei, pela paciência e por todos os ensinamentos (granulometria, geoquímica e processamento de dados). Confesso que, em grande parte, nesta dissertação, a Doutora Ana Gomes foi a protagonista, a quem sempre estarei em dívida e a quem agradeço pela confiança que depositou em mim. Os seus ensinamentos levarei para toda a vida.

À toda a equipa do projeto DISPERSALS - *Resilience and Innovation in Late Pleistocene SE Africa*: ao Nuno Bicho por financiar o meu projeto, à Ana Gomes pela supervisão de todo o trabalho, à Li Li pela ajuda com os dados líticos, à Elena Skosey-LaLonde e ao Daniel Martins pelo tempo dedicado ao laboratório preparando as amostras de sedimentos, ao Jonathan Haws pela partilha de dados de campo da campanha de 2023. À Milena Carvalho, ao Jeffrey Rose, à Takalani Dubai e ao Mussa Raja pelo apoio moral. à May Murungi, ao Mike Benedetti, à Gina Buckley, à Sarah Marie Foley e ao Osama Samawi, o meu muitíssimo obrigado por todo o apoio prestado durante o campo e no ICArEHB.

Os agradecimentos estendem-se aos membros do ICArEHB, em destaque para a Catarina Marques e aos Professores João Cascalheira e Célia Gonçalves, que não jogam esforços para resolver questões técnico-administrativas; à Nompumelelo Maringa pelo apoio moral e académico, à Imperatriz do M.ICArEHB Patrícia Simão, que não mediu esforços para ajudar sempre que precisei; ao Chafim Braga, ao Miguel Ricardo e à Margarida Ramires do laboratório de Sedimentologia, por todo o apoio e ensinamentos prestados durante as análises de sedimentos.

À minha família, em destaque a minha mãe, Irene Panguene, que incansavelmente me manteve longe das distrações e de tudo que poderia atrapalhar e desviar deste percurso. Agradeço pelos sacrifícios e por sempre zelar pela minha educação e formação académica. O meu muito

obrigado estende-se também aos meus irmãos Jimelta Moamba, Martinho e Celeste Panguene, e ao Lino Chongo pela força e incentivo ao longo da minha caminhada académica. Ao meu cunhado Hilário Panguene pelos conselhos e orientações da vida.

Os agradecimentos estendem-se à minha namorada Anifa Jojó, a quem reneguei um tempo precioso em busca desta realização, não obstante, mesmo distante, esteve sempre do meu lado, compartilhando dos meus sonhos. A Judite Nhanombe, uma irmã que a vida académica me deu, obrigado pelo incentivo, apoio moral e partilha de informação, oportunidades e pela toda atenção dispensada.

Meu profundo agradecimento é extensivo a todos aqueles que, embora não tenham sido aqui mencionados, direta ou indiretamente, o seu esforço foi muito relevante para que a minha formação fosse um sucesso.

RESUMO

A presente dissertação investiga o sítio arqueológico de Zimuara, localizado no centro de Moçambique, através de uma abordagem geoarqueológica, combinando análises sedimentológicas, geoquímicas e dados arqueológicos. Integrado no projeto europeu ERC-DISPERSALS, o estudo visa compreender os processos de formação dos depósitos arqueológicos e identificar evidências de ocupação humana durante a Idade da Pedra.

As análises permitiram identificar a geologia aflorante em Zimuara (depósitos de escorrência eluvionares com composição areno-argilosa) e que as alterações observadas ao longo dos perfis das sondagens A4 e ZIM, correspondem aos horizontes (A, E e B) de um argissolo, típicos de regiões sub húmidas e temperadas húmidas. Este solo formou-se a uma taxa superior do que a taxa de deposição e caracteriza-se por ter uma composição essencialmente mineral pela presença do horizonte B argiloso iluvial. O sítio de Zimuara formou-se principalmente por processos naturais. Contudo, verificou-se ocupação humana em quatro fases durante a Idade da Pedra Superior: a mais antiga com mais de 40.000 anos); duas intermédias sendo a mais intensa tentativamente de há cerca de 40000 anos; e a mais recente por volta dos ~6800 anos B.P. A ocupação em torno dos 40000 e dos 6800 anos pode ser síncrona com a de outros sítios de Moçambique e em momento em que o clima seria mais húmido.

Assim, os resultados evidenciam que o sítio de Zimuara preserva uma sequência estratigráfica valiosa para a compreensão da ocupação humana no Pleistoceno Superior e no Holoceno em Moçambique. Além disso, este estudo demonstra o potencial da geoarqueologia na reconstrução de contextos paleoambientais e culturais em regiões ainda pouco exploradas cientificamente, contribuindo para o preenchimento de lacunas sobre a pré-história do sudeste africano e a mobilidade das populações humanas modernas.

Palavras-chave: *Zimuara, Idade da Pedra, Geoarqueologia, Sedimentologia, Ocupação Humana, África Austral.*

ABSTRACT

This dissertation investigates the Zimuara archaeological site, located in central Mozambique, through a geoarchaeological approach that combines sedimentological, geochemical, and archaeological analyses. As part of the European ERC-DISPERSALS project, the study aims to elucidate the formation processes of the archaeological deposits and to identify evidence of human occupation during the Stone Age.

The analyses enabled to identify the outcrop geology in Zimuara (eluvial runoff deposits with sandy-clayey composition) and that the changes observed along the profiles of the A4 and ZIM profiles correspond to the horizons (A, E and B) of an argisol, typical of sub-humid and humid temperate regions. This argisol was formed at a rate higher than the deposition rate

and is characterized by having an essentially mineral composition due to the presence of the illuvial clayey B horizon. The Zimuara site was formed mainly by natural processes. However, human occupation was observed in four phases during the Upper Stone Age: the oldest over 40,000 years old; two intermediate ones, the most intense tentatively around 40,000 years ago; and the most recent around ~6800 years B.P. Thus, the results show that the Zimuara site preserves a valuable stratigraphic sequence for understanding human occupation in the Late Pleistocene and Holocene in Mozambique. Furthermore, this study demonstrates the potential of geoarchaeology in reconstructing paleoenvironmental and cultural contexts in regions that are still little explored scientifically, thereby contributing to filling gaps in the prehistory of Southeast Africa and the mobility of modern human populations.

Keywords: *Zimuara, Stone Age, Geoarchaeology, Sedimentology, Human Occupation, Southern Africa.*

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iv
<i>Resumo</i>	vi
<i>Abstract</i>	vii
Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xii
Abreviaturas	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Estrutura da Tese	9
2. Área de estudo.....	11
2.1. Geologia e geomorfologia.....	11
2.2. Clima	13
2.3. Flora	14
3. Métodos.....	16
3.1. Trabalho de campo	16
3.1.1. Recolha de amostras.....	16
3.2. Trabalho de Laboratório	18
3.2.1. Granulometria.....	18
3.2.2. Geoquímica	20
3.3. Análise dos dados.....	22
4. Resultados	24
4.1. Sondagem A4	24
4.2. Sondagem ZIM.....	30
4.3. Comparação entre as sondagens.....	35
5. Discussão.....	37
5.1. Formação de Zimuará.....	37

5.2. A ocupação Humana de Zimbara	40
6. Conclusão	42
Referências	44
Apêndices	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ilustração esquemática das populações de origem na África sob sobre a hipótese de dispersão da rota sul e continuidade dos primeiros e últimos humanos modernos na África (Reyes-Centeno et al., 2015).....	2
Figura 1.2. Mapa de localização de sítios da Idade da Pedra em Moçambique (Gonçalves et al., 2016: 6).	3
Figura 2.1. Localização geográfica do sítio de Zimuara (Milton Chirindza 2024) e ilustração da paisagem do sítio (foto cedida por Jonathan Haws 2024).....	11
Figura 2.2. Ilustração das diferentes características orográficas da área da região do vale de Save; (B); Ilustração do da área de estudo, imagem por satélite (Fonte: Google Earth Adaptado por Chirindza 2025).	12
Figura 2.3. Mapa Geológico da região de Save (Elaborado por autor, com base no Qgis para cartografia geológica).....	13
Figura 2.4. Temperatura e Pluviosidade Média Mensal do distrito de Machanga (MICOA 2012: 3).....	14
Figura 3.1. A) ilustração da sondagem A4 com escala; B e C) representação da distribuição e dos intervalos entre os sedimentos coletados (Fotografias cedidas por Li Li 2023).....	17
Figura 3.2. A) Vista parcial do sítio onde foram recolhidas amostras na sondagem ZIM; B) ilustração da quadricula de 1,5 m de profundidade; C e D) recolha das amostras da sondagem ZIM (Fotografias de Jonathan Haws 2019).....	18
Figura 3.3. (A) Copo contendo amostras de sedimentos misturados com peróxido de hidrogénio no âmbito da destruição da matéria orgânica no Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve. (Foto: Milton Chirindza 2020); (B) Sedimentos no processo de remoção da matéria orgânica na placa de aquecimento, acelerando o processo de oxidação da matéria. Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve. (Foto: Milton Chirindza 2024).	19
Figura 3.4. Unidade de difração a laser Malvern Panalytical Mastersizer 3000, o equipamento usado no processo de medição de partículas de sedimentos (figura adaptada a partir de Brooks et al., 2022).....	19
Figura 3.5. (A) Copo de 600 ml contendo água com dispersante (NaHMP) em alinhamento no Malvern Panalytical Mastersizer 300, Laboratório de Sedimentologia da Universidade do algarve (Foto: Milton Chirindza 2024). (B) Momento de adição de amostras de sedimento ao copo contendo água com dispersante NaHMP alinhado ao Marvern Panalytical Mastersizer 300, Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve (Foto: Milton Chirindza 2024). 20	20

Figura 3.6. Ilustração do software GRADSTAT usado para a análise estatística multivariada de dados de granulometria (Blott & Pye 2001).....	23
Figura 3.7. Ilustração do Software Tília, V3.0.3 usado para a representação gráfica de dados de granulometria, líticos e líticos (Grimm 2023).....	23
Figura 4.1. Resultados das análises granulométricas, geoquímicas e número de artefactos líticos na sondagem A4.	25
Figura 4.2. Resultados das análises granulométricas, geoquímicas e datações na sondagem ZIM (dados cedidos por Ana Gomes).....	32

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1. Comparação das classes de tamanhos de partículas de Wentworth (1922), Friedman & Sanders (1978) e Blott & Pye (2001), adaptada de Blott & Pye (2001).	7
Tabela 3.1. Principais índices geoquímicos.	21
Tabela 4.1. Classificação das amostras da sondagem A4 de acordo com os parâmetros relativos ao tamanho do grão. 1 – Medida de concentração do tamanho das partículas em torno da média; 2 – medida de enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas grosseiras ou finas; 3 – medida da angulosidade da curva de distribuição granulométrica (i.e., mais achada ou proeminente que a curva de distribuição normal).	26
Tabela 4.2. Tabela com os conteúdos em azoto, carbono total carbono orgânico e inorgânico. Todos elementos estão abaixo do limite de detenção (N: 0.94463; C: 1.10628).	28
Tabela 4.3. Classificação das amostras da sondagem ZIM de acordo com os parâmetros relativos ao tamanho do grão. 1 – Medida de concentração do tamanho das partículas em torno da média; 2 – medida de enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas grosseiras ou finas; 3 – medida da angulosidade da curva de distribuição granulométrica (i.e., mais achada ou proeminente que a curva de distribuição normal) (dados cedidos por Ana Gomes).	33
Tabela 4.4. Rácios, elementos e índices geoquímicos calculados para ZIM (dados cedidos por Ana Gomes).....	34
Tabela 4.5. Comparação das unidades observadas em A4 e ZIM (à esquerda) e idades obtidas em ZIM à direita.....	36

ABREVIATURAS

IP -Idade da Pedra

BP- Before Present (Antes do Presente)

ERC – European Research Council

CIA – Chemical Index of Alteration

LOI – Loss on Ignition

CHN – Carbono, Hidrogenio e Nitrogenio (Análise elementar)

CCMAR – Centro de Ciências do Mar do Algarve

ISO – International Organization for Standardization

MICOA – Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (Moçambique)

USDA – United States Department of Agriculture

QGIS – Quatum Geographic Information System (utilizado para cartografia geológica)

ICP-OES – Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivação

Esta tese surge no âmbito do projeto ERC - DISPERSALS, *resilience, and innovation in Late Pleistocene SE Africa* (DISPERSALS 2023), que tem como objetivo investigar a dinâmica de migração e dispersão dos primeiros *Homo sapiens* na África Subsaariana e avaliar arqueologicamente o modelo genético que afirma que foram as populações humanas do sul da África que estiveram na origem da bem-sucedida dispersão para fora de África há cerca de 70.000 anos. Para atingir este objetivo, no DISPERSALS, serão investigadas continuidades/descontinuidades culturais e biológicas e movimentos populacionais humanos nos últimos 100.000 anos nas bacias hidrográficas do Save e do Limpopo, no centro e sul de Moçambique. Além disso, o DISPERSALS também busca comparar a ocupação humana e a ecologia na área de estudo com a dos dois centros geográficos mais importantes para o desenvolvimento humano, a África Oriental e austral, utilizando uma abordagem multi-escala baseada no estudo de traços culturais diacrónicos regionais.

De acordo com Rito *et al.* (2019) a teoria mais aceite sobre a origem dos humanos modernos (*Homo sapiens*) é de terem surgido na África há cerca de 200.000 anos, tendo se espalhado pelo continente e, eventualmente, para outras partes do mundo. Contudo, de acordo com Ritche *et al.* (2017), datações efetuadas no sítio norte-africano de Jebel Irhoud, Marrocos, sugerem que a nossa espécie pode ter aparecido antes em associação a materiais arqueológico da Idade da Pedra Média africana, há cerca de 300 mil anos. As evidências genéticas mostram que a diversidade genética é maior em África do que em qualquer outra parte do mundo, o que indica que a maior parte da evolução humana ocorreu neste continente antes da migração para fora de África. Além disso, os estudos de DNA parecem apontar para padrões de migração, sugerindo que os humanos modernos começaram a deixar a África a partir da rota do Sul (Fig. 1.1) como uma das principais saídas ocorrida há cerca de 60.000 a 70.000 anos atrás (Reyes-Centeno *et al.*, 2015: 89; López *et al.*, 2016: 59-6).

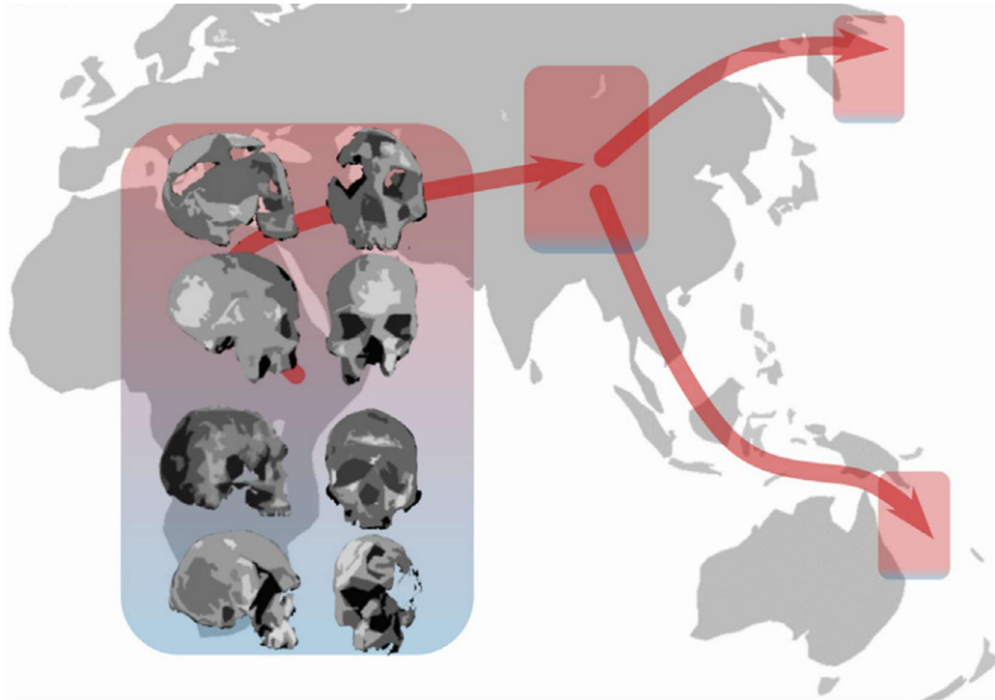


Figura 1.1. Ilustração esquemática das populações de origem na África sob sobre a hipótese de dispersão da rota sul e continuidade dos primeiros e últimos humanos modernos na África (Reyes-Centeno *et al.*, 2015).

Os dados arqueológicos, corroboram as evidências genéticas, com alguns dos fósseis mais antigos atribuídos ao *Homo sapiens* a surgirem na Etiópia (McDougall *et al.*, 2008; Clark *et al.*, 2003; White *et al.*, 2003), Sudão (Grün & Striger 1991; McDermott *et al.*, 1996), Tanzânia (Mehlman 1987; Mehlman 1991) e África do Sul (Grün 1996), com idades estimadas compreendidas entre 195 e 125 mil anos. Na Etiópia, Tanzânia e África do Sul, estes fósseis encontravam-se associados a conjuntos arqueológico da Idade da Pedra Média (Mehlman 1987; Grün 1996; White *et al.*, 2003). Em conjunto, dados genéticos, arqueológicos e climáticos indicam que a África Oriental e austral têm sido áreas importantes para a origem e difusão do *Homo sapiens*, funcionando como zonas de refúgio em tempos de stress climático e de ponto de partida para a migrações em tempos de melhoria climática (Basell 2008; López *et al.*, 2016; Rito *et al.*, 2019).

Apesar da localização geográfica chave de Moçambique entre a África Oriental e a África austral, as suas sequências da Idade da Pedra ainda são pouco conhecidas em relação a outros contextos pré-históricos africanos (Meneses 1988; Bicho *et al.*, 2016; Gonçalves *et al.*, 2016); Fig. 1.2). Assim, pelos motivos supracitados, Moçambique é potencialmente uma região fundamental para investigar a origem dos Humanos Anatomicamente Modernos, bem como para entender melhor as suas trajetórias de migração.

STONE AGE SITES

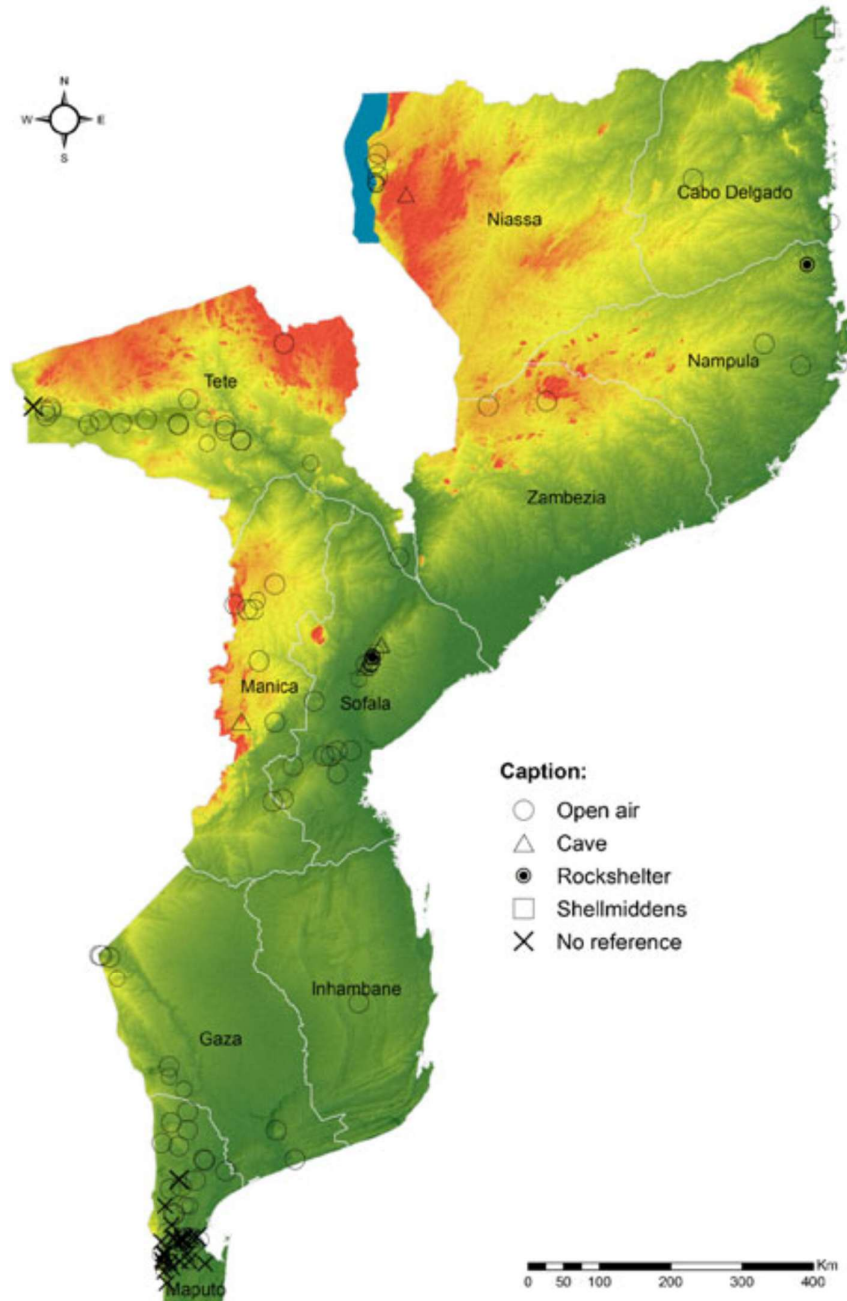


Figura 1.2. Mapa de localização de sítios da Idade da Pedra em Moçambique (Gonçalves et al., 2016: 6).

Em 1721 surge o interesse pela pré-história de Moçambique, com a apresentação dos painéis de artes rupestre moçambicanos na Academia Real das Ciências de Lisboa (Morais 1984; 1988). As primeiras investigações levadas a cabo em Moçambique, embora efetuadas por amadores da arqueologia, possibilitam a descrição e classificação de materiais líticos. Neste contexto, as primeiras descrições sobre artefactos líticos foram efetuadas em 1913 por Leite de Vasconcelos, através de peças lítica encontrada no rio, Búzi. Posteriormente, E. J. Wayland efetuou, em 1915,

descrição de artefactos líticos lascados encontrados na margem do rio Monapo (Meneses 1988: 5; Rodrigues 1998: 267).

Em 1936, foi criada a Missão Antropológica dirigida por Santos Júnior (1937), dando início a estudos etno-arqueológicos e geológicos em Moçambique, o que permitiu criar Cartas da Pré-história, da Arte Rupestre e Etnológica (Rodrigues 1998: 268–69). De entre os estudos que contribuíram para a criação das Cartas da Pré-históricas de Moçambique, é de destacar as publicações de Borges et al. (1939), Barradas (1942; 1947; 1955), Breuil (1944), Dias (1947; 1948), Simões (1951), Lowe (1953), Carvalho (1975) e Senna-Martinez (1975) que enquadram Moçambique no contexto da Idade da Pedra na África Austral.

Posteriormente, Meneses (1999) desenvolveu investigação sobre a Idade da Pedra Inferior no sul de Moçambique, ao longo dos rios Umbeluzi, Tembe e Changalane. Os trabalhos permitiram a comparação das evidências arqueológicas dos sítios escavados no sul de Moçambique com a África do Sul, concluído que Moçambique tem materiais de idade Acheulense.

De acordo com Bicho *et al.* (2016), em 2014 descobriram-se, nas zonas baixas do lago Niassa e no interior da província do Niassa, um conjunto de jazidas arqueológicas que apresentam instrumentos líticos da Idade da Pedra Média e Superior. A partir de 2015, a equipa liderada por Bicho também explorou os terraços fluviais do Limpopo, em destaque para o vale do Rio dos Elefantes, onde encontraram vários locais de ar livre e onde foi registada a presença de artefactos de pedra em sedimentos pliocénicos e holocénicos (Bicho *et al.*, 2018).

Face aos estudos acima citados, também são escassos os trabalhos de geoarqueologia em contextos da Idade da Pedra em Moçambique. O primeiro estudo que se focou sobre os processos de formação de um sítio arqueológico da Idade da Pedra em Moçambique foi a dissertação de Raja (2020), desenvolvida num terraço fluvial da Ribeira de Machampane (um afluente do Rio dos Elefantes). Antes disto Santos Júnior (1940), Alberto (1951), Barradas (1955), Oliveira (1964), Guerreiro (1965), Lopes (1974) e Carvalho (1975) apenas desenvolveram trabalhos de geologia no âmbito dos quais se descobriram importantes sítios pré-históricos em afloramento dos rios Zambeze e Massingir, na região Centro e Sul de Moçambique, respetivamente (Dias *et al.*, 1975).

Neste sentido, por forma a ter uma visão mais completa e integradora dos sítios da Idade da Pedra em Moçambique a presente investigação vai adotar uma abordagem geoarqueológica. A geoarqueologia é um ramo especializado da arqueologia que usa técnicas de geociências para avaliar e compreender o registo arqueológico (Rapp & Hill 2006). A geoarqueologia permite

estudar os processos de formação sedimentar dos registos arqueológicos, inferir o contexto paleoambiental associado aos sítios arqueológicos, desenvolver quadros cronológicos e medir e classificar as características físicas dos artefactos e geofactos (Rapp & Hill 1998: 1–3; Rapp & Hill 2006).

Inicialmente, os processos de formação de sítios arqueológicos foram identificados por Lewis Binford (1977; 1987) e Michael Schiffer (1972; 1975) e desde então tem sido apoiado por uma série de autores, como é o caso de Connah (2003), que afirma que “precisamos de compreender completamente como é que os dados arqueológicos que recuperamos surgiram tal como os encontramos, antes de os utilizarmos para abordar questões maiores”. A observação de McGuire (1995: 174) é de que o desenvolvimento do estudo dos processos de formação tem sido uma das maiores contribuições da arqueologia comportamental, que na visão de LaMotta & Schiffer (2001) insiste na necessidade de investigar os processos de formação, que são vistos como as principais fontes de variações não controladas, a fim de formular modelos melhorados de inferência. Este estudo continua a ser fundamental para o desenvolvimento de melhores inferências, mas também para ajudar a iluminar a organização e a mudança nos sistemas comportamentais do passado (LaMotta & Schiffer 2001: 16–41).

Em conjunto com a estratigrafia e geocronologia, que permitem conhecer a sequência e correlação entre os sedimentos e solos dos sítios arqueológicos e o seu contexto temporal (Waters 1992), as análises sedimentológicas e geoquímicas desses sedimentos e solos são duas metodologias utilizadas em estudos geoarqueológicos (ex., Farrand 1993; Goldberg & Macphail 2006). Ambas as metodologias permitem conhecer melhor a natureza e origem da matriz dos sítios, fornecendo novos conhecimentos sobre o registo arqueológico (Waters 1992).

Os sedimentos e os solos são duas componentes distintas da matriz dos sítios arqueológicos, uma vez que se formam através de processos diferentes (Waters 1992). Os sedimentos são partículas materiais naturais, sólidas e não coerentes, que se acumulam ou precipitam através de processos naturais ou antropogénicos (Dalezios *et al.* 2018, Goldberg & Macphail 2006). Assim, os depósitos sedimentares podem formar-se através: (i) da acumulação de partículas sedimentares que foram transportadas pela água, gelo, vento, gravidade ou humanos; (ii) da precipitação química de cristais de elementos dissolvidos em água; e (iii) da acumulação e decomposição de matéria orgânica (Friedman & Sanders 1978, Waters 1992). Os solos, tal como os sedimentos, são uma combinação de partículas orgânicas e minerais, ar e água em diferentes proporções (USDA 2024), mas estas não sofreram transporte. Os solos são o produto in-situ da meteorização física e química das rochas (Goldberg & Macphail 2006).

Quando se acumulam em ambientes sedimentares, os sedimentos podem organizar-se de diferentes formas dando origem a estruturas sedimentares (Lewis & McConchie 1994). Contudo, também há estruturas sedimentares que se podem formar depois da deposição dos sedimentos (Lewis & McConchie 1994). Alguns exemplos de estruturas sedimentares são a formação de camadas ou estratificação (Lewis & McConchie 1994, Waters, 1992). Exemplos de outras estruturas sedimentares que podem formar-se após a deposição dos sedimentos são falhas, dobras e estruturas criadas pela bioturbação (Lewis & McConchie 1994, Waters 1992). Assim, as estruturas sedimentares dão indicações os ambientes de deposição e paleocorrentes, sendo importantes para efetuar reconstituições paleoambientais e são mais bem estudadas no campo (Gough 2021, Lewis & McConchie, 1994). Além disso, as partículas que se depositam em diferentes ambientes sedimentares podem apresentar diferentes tamanhos. Os processos através dos quais são transportadas e depositadas, dão origem a depósitos com propriedades texturais distintas (López 2017). Consequentemente, as diferentes texturas de sedimentos são indicativas da disponibilidade dos diferentes tamanhos de grão no material parental, da forma como as partículas são transportadas e da energia do fluxo de transporte e do ambiente de deposição (Friedman 1979). Para classificar os sedimentos quanto à sua textura é necessário efetuar análises granulométricas. As análises granulométricas permitem classificar as partículas sedimentares de acordo tamanhos, desde argilas (partículas com alguns micrómetros) até blocos (partículas com vários metros) (Goldberg & Macphail 2006). As classes de tamanhos de partículas têm nomenclaturas e intervalos de tamanhos variáveis de acordo com o sistema adotado (ex. classificações de Udden 1914 e Wentworth 1922, Friedman & Sanders 1978, Blott & Pye 2001; Tabela 1.1). Contudo, os sedimentos encontrados num sítio podem ter partículas quase todas do mesmo tamanho ou apresentar uma mistura de tamanhos de partículas sendo as suas texturas classificadas recorrendo a vários sistemas. Um dos sistemas mais usados é o de Folk & Ward (1957; Blott & Pye 2001). Outra característica importante dos sedimentos é a sua calibração. A calibração é o grau de semelhança de tamanhos entre as partículas de uma amostra, isto é, é a medida de dispersão dos tamanhos dos grãos em torno dum tamanho médio na amostra (Blott & Pye 2001). Além das estruturas sedimentares e da textura dos sedimentos, é importante conhecer a sua composição química, pois esta informação é importante para determinar a proveniência ou fonte dos sedimentos (ex., Wittkop *et al.* 2020, Babu *et al.* 2023).

Tabela 1.1. Comparação das classes de tamanhos de partículas de Wentworth (1922), Friedman & Sanders (1978) e Blott & Pye (2001), adaptada de Blott & Pye (2001).

Tamanho da partícula (mm/μm)	Terminologia descritiva			
	Udden (1914) & Wentworth, (1922)	Friedman & Sanders (1978)	Blott & Pye (2001)	
2048 mm	Burgaus	Blocos muito grandes	Blocos	
1024		Blocos grandes		Muito grande
512		Blocos médios		Grande
256		Blocos pequenos		Médio
128		Burgaus grandes		Pequeno
64		Burgaus pequenos		Muito pequeno
32	Seixos	Seixo muito grosseiro	Muito grosseiro	Cascalho
16		Seixo grosseiro	Grosseiro	
8		Seixo médio	Médio	
4		Seixo fino	Fino	
2	Grânulos	Seixo muito fino	Muito fino	
1	Areia muito grosseira	Areia muito grosseira	Areia muito grosseira	Areia
500 μm	Areia grosseira	Areia grosseira	Areia grosseira	
250	Areia média	Areia média	Areia média	
125	Areia fina	Areia fina	Areia fina	
63	Areia muito fina	Areia muito fina	Areia muito fina	

Tamanho da partícula (mm/μm)	Terminologia descritiva			
	Udden (1914) & Wentworth, (1922)	Friedman & Sanders (1978)	Blott & Pye (2001)	
31	Silte	Silte muito grosseiro	Muito grosseiro	Silte
16		Silte grosseiro	Grosseiro	
8		Silte médio	Médio	
4		Silte fino	Fino	
2	Argila	Silte muito fino	Muito fino	
		Argila	Argila	

O processo de formação de solos envolve a alteração física e química de uma rocha. Ao longo do processo de formação do solo pode haver adição de materiais, transformação de substâncias, transferências verticais de materiais e remoção de constituintes (Water 1992). Durante este processo as características originais da rocha são destruídas e substituídas por novas estruturas, cores e texturas dos solos, criando-se horizontes distintos ao longo de um perfil (Water 1992). As diferentes cores dos horizontes são o reflexo das suas diferentes composições químicas (Water 1992). Um perfil de solo pode apresentar só alguns ou vários horizontes, sendo que os seis principais se designam pelas letras O, A, E, B, C e R (Water 1992):

- O horizonte O é uma superfície de acumulação de matéria orgânica de cor escura que se acumula sobre a componente mineral;
- O horizonte A é um horizonte mineral que se forma à superfície ou por baixo do horizonte O que se encontra misturada com matéria orgânica humificada tendo também uma cor mais escura do que os horizontes subjacentes;
- O horizonte E encontra-se abaixo do O ou do A e tem uma cor mais clara devido à perda de argilas, ferro e alumínio solúveis e à consequente concentração de quartzo e outros minerais resistentes à meteorização;

- O horizonte B ou de iluviação é um horizonte mineral que tem poucas semelhanças com a rocha que lhe deu origem e caracteriza-se pela concentração dos produtos iluviados dos horizontes subjacentes (i.e., argila, ferro, alumínio, húmus, carbonatos, gesso ou sílica);
- O horizonte C é um horizonte mineral que corresponde ao material parental apenas ligeiramente alterado;
- O horizonte R corresponde à rocha que se encontra subjacente do solo, isto é, ao material parental.

De acordo com a presença ou ausência destes horizontes ao longo de um perfil e, por exemplo a zona climática onde eles se encontram, os solos podem ser classificados em várias categorias que constituem a Taxonomia dos solos (Water 1992). Outra propriedade importante dos solos é o seu pH, propriedade esta que também é avaliada em laboratório (Water 1992).

Desta forma, para o seguinte trabalho apresento os seguintes objetivos:

- Estabelecer unidades estratigráficas em duas sondagens escavadas em Zimuara, um sítio da Idade da Pedra no Centro de Moçambique, usando indicadores sedimentológicos e geoquímicos;
- Identificar os períodos de ocupação humana em Zimuara através da análise da distribuição espacial de artefactos recolhidos aquando da escavação da sondagem acima referida;
- Com base nos indicadores sedimentológicos, geoquímicos e arqueológicos, compreender as transformações ambientais e os processos que se levaram à formação deste mesmo sítio arqueológico.

1.2. Estrutura da Tese

Por forma a dar resposta aos objetivos supracitados, a tese é composta por cinco (5) capítulos, respetivamente:

O *primeiro capítulo* focando a motivação do estudo, abordando a sua relevância em termos geográficos, bem como os objetivos do presente estudo.

No *segundo capítulo*, descreve-se a área de estudo de forma mais detalhada e localizando-se o contexto do estudo no centro de Moçambique e no Save, para melhor se entender os aspetos paisagísticos da região e climáticos da região. Faz-se ainda uma apresentação e caracterização da jazida arqueológica de Zimuara.

No *terceiro capítulo*, descrevem-se os métodos utilizados nesta dissertação, desde a recolha das amostras no campo, o tratamento no laboratório até a interpretação de dados.

No *quarto capítulo*, são apresentados os resultados das análises granulométricas, geoquímicas e arqueológicas.

No *quinto capítulo* é apresentada a discussão dos resultados deste trabalho.

No *sexto, e último, capítulo*, são apresentadas as considerações finais deste estudo.

2. ÁREA DE ESTUDO

Zimuara é um sítio arqueológico situado no distrito de Machanga, no sul da província de Sofala, em Moçambique. Os limites de Machanga incluem o Rio Save ao sul, que o separa da província de Inhambane, o Oceano Índico a leste, os distritos de Chibabava e Buzi ao norte, e o distrito de Machaze a oeste (Fig. 2.1).

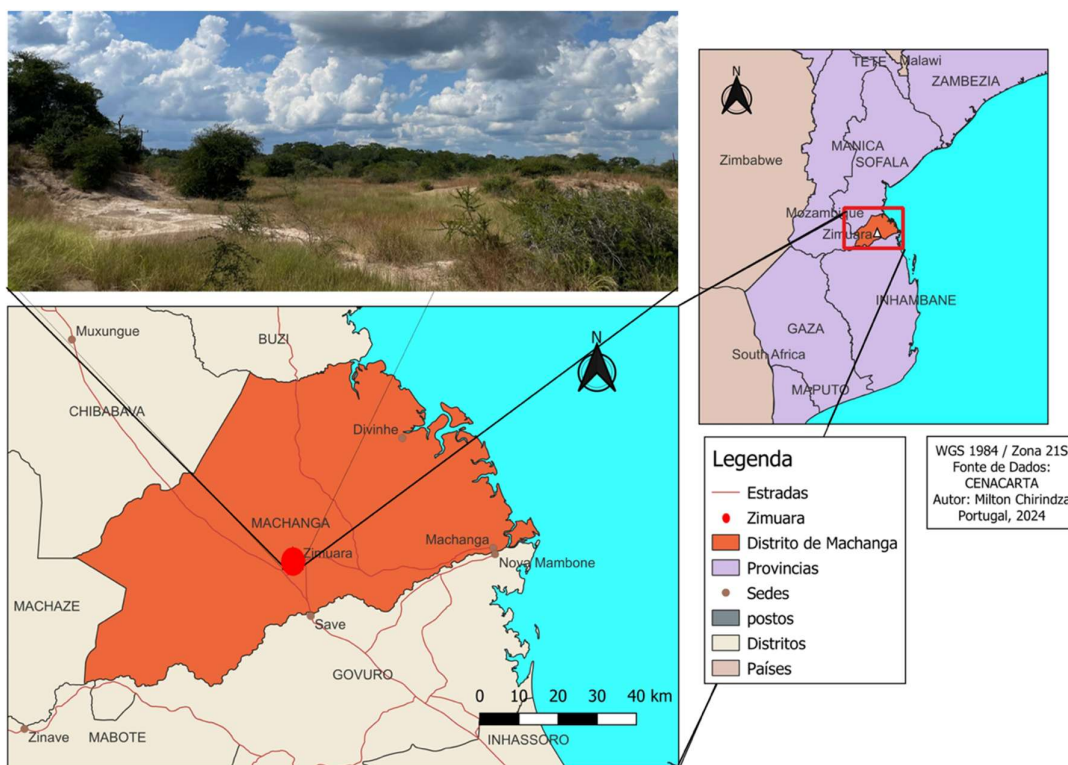


Figura 2.1. Localização geográfica do sítio de Zimuara (Milton Chirindza 2024) e ilustração da paisagem do sítio (foto cedida por Jonathan Haws 2024).

2.1. Geologia e geomorfologia

Zimuara é um sítio localizado em uma região rica em vegetação e matas indiferenciadas (Burrows *et al.*, 2018), com áreas cobertas por lagoas e pântanos que permanecem por longos períodos após as chuvas (Fig.2.2: B). O sítio encontra-se a 91 metros de altitude, no limite norte da bacia do rio Save. Além disso, está situado em uma área geomorfologicamente aplanada, resultante de processos de erosão e sedimentação (Google Earth 2025).

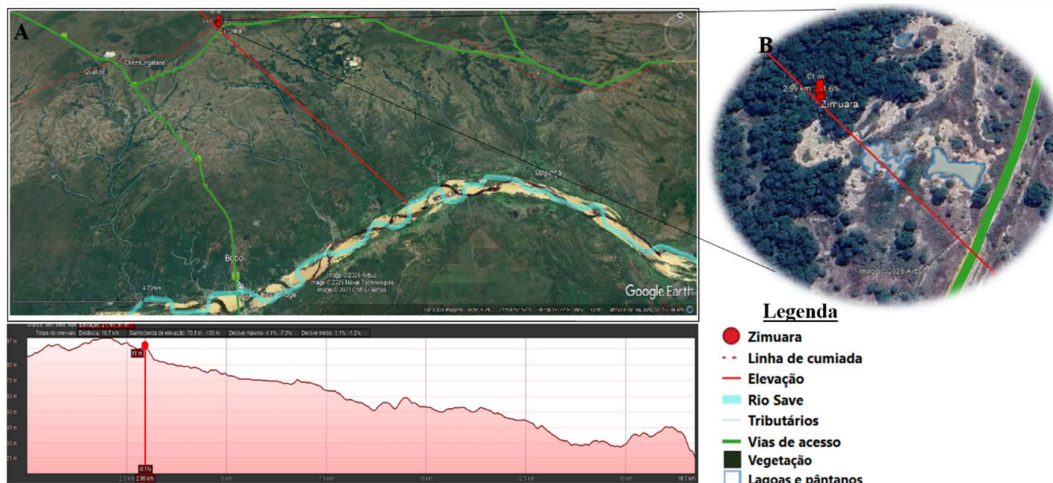
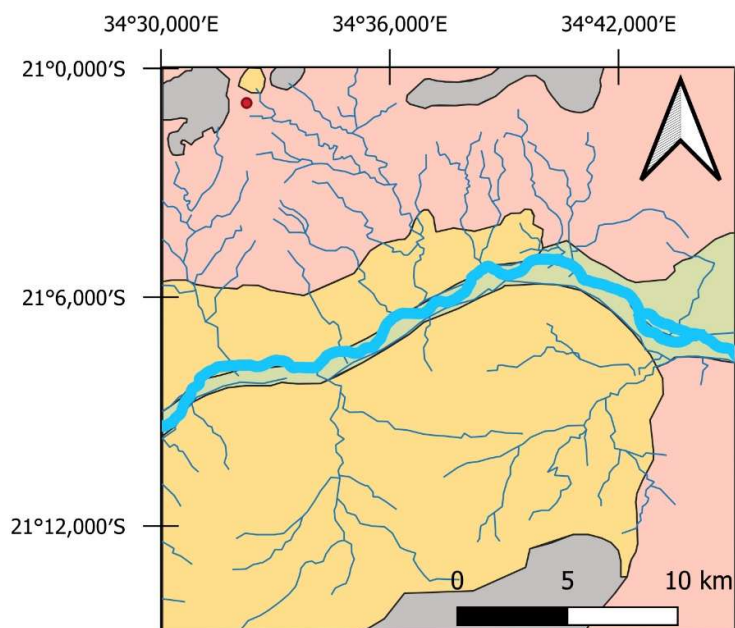


Figura 2.2. Ilustração das diferentes características orográficas da área da região do vale de Save; (B); Ilustração do da área de estudo, imagem por satélite (Fonte: Google Earth Adaptado por Chirindza 2025).

De acordo com o mapa geológico do Save/Bazaruto (Marques et al., 2006), o presente estudo foi realizado em cima de depósitos Quaternários, em uma unidade geológica Qpi (Fig. 2.3). Esta unidade é caracterizada por depósitos argilosos do tipo "lama de várzea eluvial" e, conseqüentemente, são áreas são frequentemente inundadas e cobertas por lagoas e pântanos. Estes depósitos formaram-se em ambientes de canais marinhos rasos que se localizavam entre as áreas com areia argilosa (GTK CONSORTIM 2006: 222-223). Ainda no mesmo depósito quaternário é possível encontrar outras unidades geológicas, como é o caso de Qps, constituído por areia argilosa de planície de inundação eluvial, formada devido ao desgaste das unidades de arenito por ação da água (GTK CONSORTIM 2006: 227).

Ao longo do Rio Save e seus tributários encontra-se a unidade Qa com depósitos aluviais recentes compostos por areia, silte e cascalho relacionados com processos deposicionais fluviais (GTK CONSORTIM 2006: 228-229).

Marques *et al.* (2006) indicam no mesmo mapa e nas proximidades da área de estudo, a presença dos depósitos terciários com rochas do Membro Cabe (calcarenito), também conhecido como Grès de Cabe. Este Membro é caracterizado por arenito calcário amarelo-acinzentado, de granulação fina a média, com microfauna abundante e fragmentos detríticos, incluindo feldspatos no horizonte inferior, o que sugere um ambiente litoral. Além disso, essa unidade está exposta em ambas as margens do rio Save e pode ser encontrada na área circundante ao estudo (GTK CONSORTIM 2006: 215; Marques *et al.*, 2006).



Legenda:

- Sítio
- Rio Save
- Afluentes
- Qpi - Escorrência argilosa fluvial
- TeJc - Membro do cabe, calcarenito com conglomerado e quartzito, fragmentos de fóssil
- Qps - Escorrência argilo-arenosa fluvial
- Qa - Aluvião, areia, sílte e cascalho

Figura 2.3. Mapa Geológico da região de Save (Elaborado por autor, com base no Qgis para cartografia geológica).

2.2. Clima

Segundo a classificação climática de Köppen (Muchangos 1999: 40), a província de Sofala possui um clima tropical chuvoso de savana (Aw).

De acordo com MICOA (2012: 3) a precipitação média mensal deste distrito apresenta uma variação sazonal relevante (Fig. 2.4), destacando-se:

- Um período húmido, entre novembro e abril, onde ocorre um valor de precipitação equivalente a cerca de 84 % do valor total anual da precipitação (1.428 mm), sendo o mês de janeiro o mês mais chuvoso com precipitação média mensal de cerca de 265 mm;

- Um período seco entre junho e outubro com médias mensais de precipitação inferiores a 35 mm, sendo que entre abril e novembro a evapotranspiração é sempre superior à precipitação.

O distrito de Machanga apresenta uma precipitação média anual de 1.428 mm e uma temperatura média anual de 24,7 °C, ocorrendo uma amplitude térmica anual relativamente baixa, de cerca de 3,6 °C. Fevereiro é o mês mais quente, com 27,8 °C, enquanto julho é o mais frio, com 20,6 °C (Fig.) (MICOA 2012: 3).

No sistema de ventos, de dezembro a abril, os ventos sopram principalmente de Sul e Sudeste, com uma velocidade média de 13,4 km/h. Essa situação mantém-se durante os meses de maio e junho, embora a velocidade média diminua para 11,7 km/h. entre julho e setembro, mas os ventos continuam a soprar de Sudeste e Sul, com uma velocidade média semelhante à do primeiro período, atingindo 13,3 km/h (*Idem*).

Por fim, em outubro e novembro ocorre uma mudança significativa, onde os ventos passam a ser predominantemente de Sudeste e Este, apresentando a velocidade média mais alta do ano, que chega à 16,2 km/h (MICOA 2012: 3).

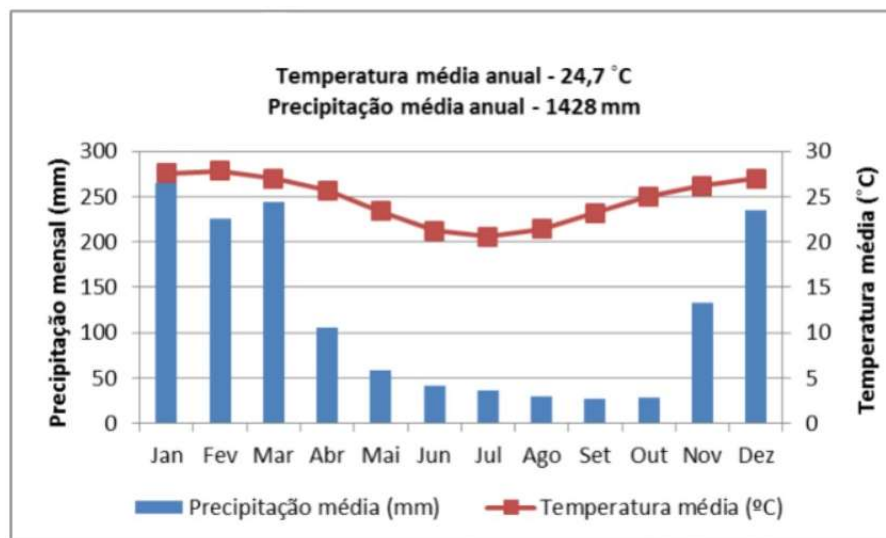


Figura 2.4. Temperatura e Pluviosidade Média Mensal do distrito de Machanga (MICOA 2012: 3).

2.3. Flora

O Distrito de Machanga está situado na grande faixa costeira que constitui o Mosaico Costeiro de Zanzibar-Inhambane (DNGRG 2022: 35). Dessa forma, os principais tipos de vegetação

dessa região incluem matas indiferenciadas e pradarias arborizadas (Burrows *et al.*, 2018; MICOA 2012: 21).

As formações vegetais presentes compreendem uma mistura de floresta alta de miombo aberta com floresta mista, ocasionalmente formando um mosaico com floresta costeira seca, caracterizada por *Pterocarpus angolensis*, *Borassus* e *Hyphaene*. Além disso, encontram-se árvores de pequeno porte como *Psorospermum febrifugum* e floresta aberta com vegetação típica da flora zambiana, representada por *Burkea africana* e *Julbernardia globiflora* (Burrows *et al.*, 2018; MICOA 2012: 21).

Outras características importantes dessa região são as pradarias costeiras higrófilas, como Cyperaceae, que abrigam numerosas bacias rasas ou lagos ricos em Nymphaeaceae, Hydrocharitaceae e outras espécies aquáticas. Algumas espécies representativas incluem as dos géneros *Hydrocotyle* e as de *Cyperus* (Burrows *et al.*, 2018).

3. MÉTODOS

3.1. Trabalho de campo

Como base nos resultados preliminares do trabalho de campo efetuado em 2019 em Zimuara, uma nova campanha foi planejada para 2023 no âmbito do projeto ERC-DISPERSALS.

3.1.1. *Recolha de amostras*

Em 2023, escavaram-se quatro sondagens arqueológicas (A1 a A4) em Zimuara, ao longo das quais se recolheram amostras de materiais arqueológicos, sedimento e amostras para efetuar datações. Os perfis destas sondagens foram também descritos quanto à textura da matriz, cor (recorrendo a uma Carta de Munsell) e sinais de bioturbação. Esta tese foi elaborada com base nas amostras recolhidas na sondagem A4 e na sondagem ZIM da campanha de 2019. A sondagem A4 localiza-se em 21° 0'28.29"S, 34°32'14.95"E, tem uma quadricula de 2x2 e uma profundidade de 2,5 m. A sondagem ZIM localiza-se em 21° 0'29.80"S, 34°32'14.51"E, e foi escavada numa área com 2x1 m, com um total de 1,5 m de profundidade.

Durante a escavação da sondagem A4, todos os materiais arqueológicos, amostras de sedimento e de datações foram georreferenciados com o auxílio de uma estação total. As amostras de sedimentos foram recolhidas a cada 10 centímetros, e amostras adicionais foram recolhidas em pontos específicos quando esta malha de amostragem não captava todas as mudanças nas propriedades de massa da matriz, seguindo as sugestões metodológicas descritas por Lewis & McConchie (1994). Isto fez um total de 29 amostras na sondagem A4 e 15 na sondagem ZIM. (Fig. 3.1 e 3.2).

Para a coleta de sedimentos, utilizou-se um colherim, um canivete e um martelo de geólogo para extrair as amostras necessárias, garantindo cerca de 400 gramas de sedimentos por amostra, o que possibilitou uma variedade de análises, como granulometria, pH e geoquímicas (litogeoquímica – análise de rochas totais e análise do conteúdo em carbono, hidrogênio e azoto).



Figura 3.1. A) ilustração da sondagem A4 com escala; B e C) representação da distribuição e dos intervalos entre os sedimentos coletados (Fotografias cedidas por Li Li 2023).



Figura 3.2. A) Vista parcial do sítio onde foram recolhidas amostras na sondagem ZIM; B) ilustração da quadricula de 1,5 m de profundidade; C e D) recolha das amostras da sondagem ZIM (Fotografias de Jonathan Haws 2019).

3.2. Trabalho de Laboratório

Nesta seção, são apresentados os métodos utilizados para o estudo dos sedimentos coletados na sondagem A4 do sítio de Zimuara. A partir dessas amostras de sedimentos, efetuaram-se subamostras com um peso de cerca de 6 g para análises granulométricas e geoquímicas e 25 g para pH.

3.2.1. Granulometria

Para efetuar as análises granulométricas um dos procedimentos iniciais utilizados foi a adição de peróxido de hidrogénio (H_2O_2) a 33% às amostras, visando eliminar a matéria orgânica (Fig. 3.3), deixando reagir durante 24 horas (Lewis & McConchie 1994b). Em seguida, as amostras foram levadas a uma placa de aquecimento a fim de completar a oxidação da matéria orgânica a quente (Fig. 3.3). Após a reação, as amostras foram deixadas a decantar antes da remoção do peróxido de hidrogénio.

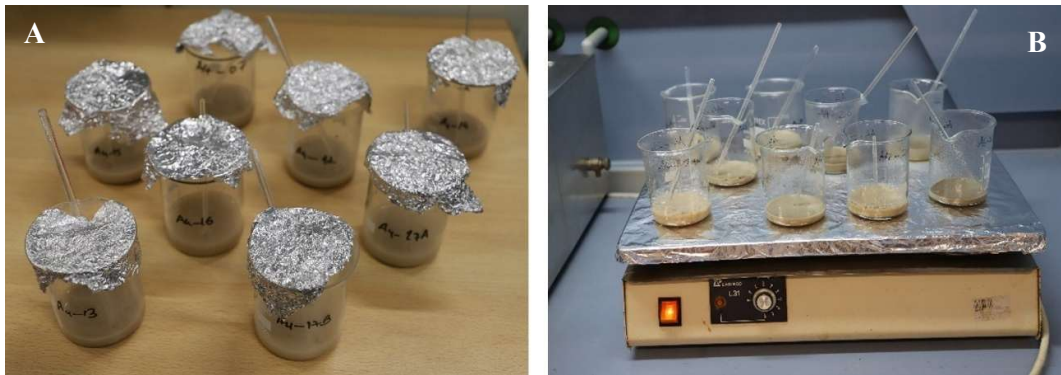


Figura 3.3. (A) Copo contendo amostras de sedimentos misturados com peróxido de hidrogénio no âmbito da destruição da matéria orgânica no Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve. (Foto: Milton Chirindza 2020); (B) Sedimentos no processo de remoção da matéria orgânica na placa de aquecimento, acelerando o processo de oxidação da matéria. Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve. (Foto: Milton Chirindza 2024).

Após a eliminação da matéria orgânica, adicionou-se aproximadamente 20 ml de uma solução de 0,5% de hexametáfosfato de sódio (NaHMP) às amostras para dispersar as partículas. As amostras ficaram a dispersar durante 24 horas (Fig. 3.3). Isto foi feito uma vez que as partículas finas, especialmente as argilas, tendem a aglomerarem-se e criar flocos (Lewis & McConchie 1994b; Maithel et al., 2019; Sperazza *et al.*, 2004). A análise granulométrica foi efetuada por difração a laser, realizada por um Malvern Panalytical Mastersizer 3000 (Fig. 3.4 e 3.5). Este equipamento utiliza princípios óticos para fornecer medições precisas e confiáveis do tamanho das partículas em uma amostra (Brooks *et al.*, 2022). Neste método, a amostra é colocada na unidade de dispersão húmida e o tamanho das partículas é lido através de luzes laser no analisador (Fig. 3.5).

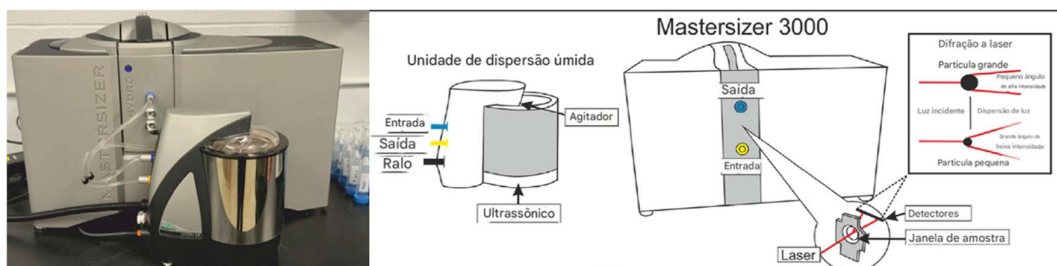


Figura 3.4. Unidade de difração a laser Malvern Panalytical Mastersizer 3000, o equipamento usado no processo de medição de partículas de sedimentos (figura adaptada a partir de Brooks *et al.*, 2022).



Figura 3.5. (A) Copo de 600 ml contendo água com dispersante (NaHMP) em alinhamento no Malvern Panalytical Mastersizer 300, Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve (Foto: Milton Chirindza 2024). (B) Momento de adição de amostras de sedimento ao copo contendo água com dispersante NaHMP alinhado ao Marvern Panalytical Mastersizer 300, Laboratório de Sedimentologia da Universidade do Algarve (Foto: Milton Chirindza 2024).

3.2.2. Geoquímica

As amostras foram enviadas para o Activation Laboratories Ltd., em Ancaster, Canadá, onde foram pulverizadas e submetidas às análises Litogeoquímica e Rochas Totais por meio de espectrometria de emissão ótica de plasma indutivamente acoplado (pacote WRA-ICP: 4B; Actlabs 2024: 14).

Esta análise permitiu conhecer a composição das amostras quanto aos seguintes elementos: dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3), óxido de ferro (Fe_2O_3), óxido de manganês (MnO), óxido de magnésio (MgO), óxido de cálcio (CaO), óxido de sódio (Na_2O), óxido de potássio (K_2O), dióxido de titânio (TiO_2), pentóxido de fósforo (P_2O_5), escândio (Sc), berílio (Be), vanádio (V), bário (Ba), estrôncio (Sr), ítrio (Y), zircônio (Zr), cromo (Cr), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn); gálio (Ga), germânio (Ge), arsênio (As), rubídio (Rb), neodímio (Nd), samário (Sm), európio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb), lutécio (Lu), háfnio (Hf), tatalo (Ta), tungstênio (W), tálio (Tl), chumbo (Pb), bismuto (Bi), tório (Th) e urânio (U). Além disso, esta análise permite saber qual é a percentagem de amostra perdida por ignição (LOI). Com base em alguns destes elementos químicos calcularam-se rácios e índices que permitiram compreender as transformações ambientais e os processos que se levaram à formação deste mesmo sítio arqueológico (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Principais índices geoquímicos.

Índice	Significado do índice	Referências
LOI	Indicador da percentagem combinada de matéria orgânica, fases minerais hidratadas e carbonato presentes nos sedimentos/solos.	Craft <i>et al.</i> , 1991
SiO ₂ / Al ₂ O ₃	Indicador granulométrico. Valores elevados indicam sedimentos arenosos ricos em silicatos. Valores baixos apontam para sedimentos argilosos ricos em aluminossilicatos.	Bibolé <i>et al.</i> , 2022; Sheldon & Tabor 2009.
TiO ₂ / Al ₂ O ₃	Indicador da proveniência de sedimentos uma vez que o teor de Ti pode ser bastante variável entre os diferentes tipos de rochas, enquanto os teores de Al são relativamente constantes. Os dois elementos são relativamente imóveis, logo o seu rácio deve ser constante durante a pedogénese em pHs quase neutros (5,5–8) e também deve ser constante em função da profundidade dentro de um paleosolo. Pode ainda ser indicador da intensidade de meteorização em paleosolos que não apresentam valores constantes com a profundidade no perfil (o Ti é removido mais facilmente por meteorização física e o Al por meteorização química).	Murray & Leinen 1996a; Murray & Leinen 1996b; Sheldon & Tabor 2009; Li 2000; Maynard 1992; Sheldon 2006.
Na ₂ O/ Al ₂ O ₃	Índice de alteração química. Uma meteorização química intensa pode causar concentração de elementos imóveis (ex. Al) comparativamente aos elementos móveis (ex. Na) dos depósitos. Este índice é utilizado como indicador de paleo-meteorização.	Cheng <i>et al.</i> , 2020; Smykatz-Kloss <i>et al.</i> , 2004;
(CaO+ MgO)/ Al ₂ O ₃	Índice indicador de calcificação. Durante a pedogénese, os elementos alcalino-terrosos são perdidos em comparação com o Alumínio.	Eze & Meadows 2015; Nesbitt & Young, 1984.
MnO/ Fe ₂ O ₃ (T)	Indicador de transições redox e diagénese subóxica uma vez que o Mn é móvel em condições subóxicas e separa-se do Fe durante a diagénese (Marsh <i>et al.</i> 2007). Relações constantes de Mn/Fe indicam condições óxicas e ausência de fracionamento dos elementos. Os picos de Mn/Fe ocorrem durante a diagénese subóxica quando o Mn é mobilizado e difunde-se ao longo de gradientes de concentração para retribuir em novos limites óxicos/pós-óxicos.	Croudace & Rothwell 2015.

Índice	Significado do índice	Referências
$(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$	Indicador de salinização por acumulação de elementos alcalinos, como sais solúveis, não removidos do horizonte do solo.	Sheldon & Tabor 2009; Nesbitt & Young 1982; Eze & Meadows 2015.
$CIA = 100 \times \frac{(Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O))}{1}$	Índice de alteração química (CIA). Índica o grau de meteorização. As alterações neste índice refletem a proporção dos feldspatos e minerais de argila existentes ao longo de um perfil. Quanto mais minerais aluminosos produzidos pela meteorização, maior é o valor do índice.	Nesbitt & Young 1982.
Ba/ Sr	Um índice indicador de lixiviação/hidrólise (i.e., paleometeorização. O Sr é mais solúvel que o Ba, assim valores mais elevados representam mais lixiviação.	Sheldon & Tabor 2009; Wang et al., 2016.

A análise elementar do carbono, hidrogénio e azoto (CHN) foi um procedimento geoquímico realizado no laboratório do Centro de Ciência do Mar do Algarve (CCMAR) em Portugal. Esse procedimento permitiu determinar os conteúdos de carbono total (CT), carbono inorgânico (CI) e nitrogénio total (TN). O carbono orgânico é calculado pela diferença entre o CT e o CI.

3.2.2.1. pH

De acordo com Faria *et al.* (2023) para inferir e interpretar reações químicas e biogeoquímicas em solos/sedimentos, é necessária uma medida da acidez ou alcalinidade da solução do solo. Assim, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análises Químicas da Universidade do Algarve, para determinação do pH conforme a norma ISO 10390: 2005.

3.3. Análise dos dados

Após as análises laboratoriais, os resultados das análises granulométricas provenientes do Malvern Panalytical Mastersizer 3000 foram tratados com o software GRADISTAT (Blott & Pye 2001) (Fig. 3.6), seguindo a classificação de Folk & Ward (1957), permitindo realizar a descrição dos sedimentos e a análise estatística multivariada (e.g., média, mediana, assimetria, curtose, distância, desvio padrão e descrição gráfica).

Por fim, todos os dados os de granulometria, geoquímica e número de artefactos líticos e baldes com líticos por cada 10 cm foram representados graficamente usando o Software Tília, versão 3.0.3 (Grimm 2023), que é gratuito e acessível (Fig. 3.7).

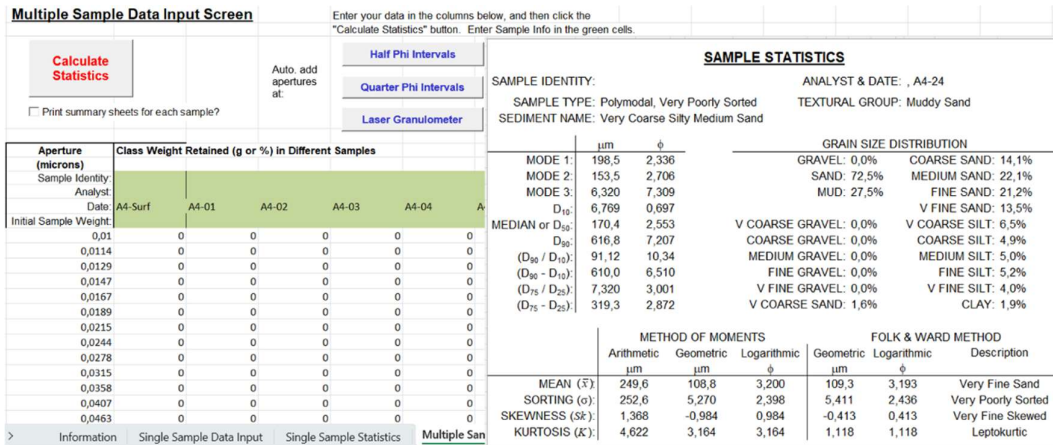


Figura 3.6. Ilustração do software GRADSTAT usado para a análise estatística multivariada de dados de granulometria (Blott & Pye 2001).

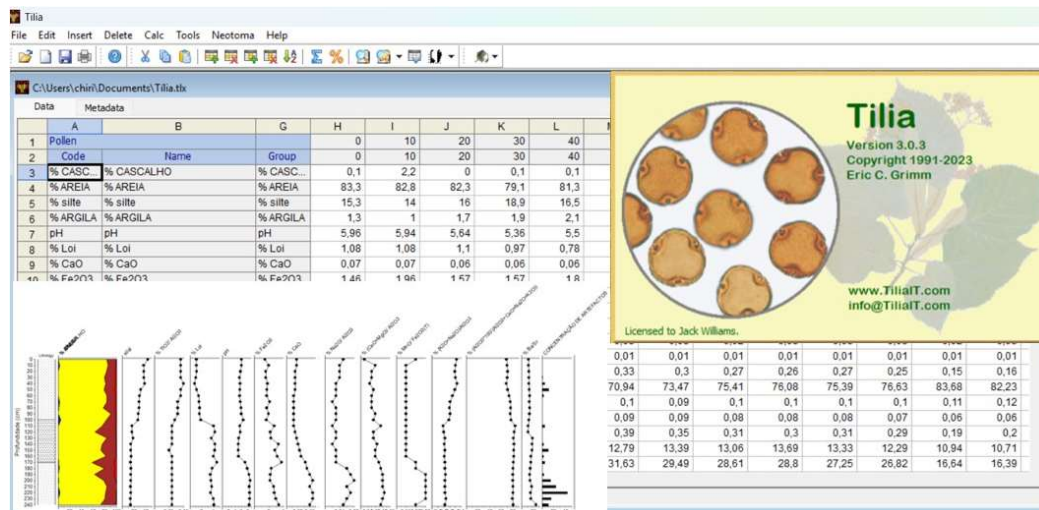


Figura 3.7. Ilustração do Software Tilia, V3.0.3 usado para a representação gráfica de dados de granulometria, líticas e líticas (Grimm 2023).

Os dados do número de artefactos líticos e baldes com líticos (Apêndice A) foram cedidos por Li e processados usando o Software R (Shinde *et al.*, 2017) dados e código para processamento em apêndice (Apêndices B e C). Os artefactos líticos não foram analisados até ao momento. Os resultados das análises granulométricas e geoquímicas da sondagem ZIM foram processados e cedidos por Gomes. Em ZIM existem dados de datações por luminescência, por isso, os resultados obtidos para esta sondagem vão ser utilizados para estabelecer uma correlação com os dados obtidos através das análises efetuadas em A4. Foram recolhidas amostras para datações por luminescência em A4, mas ainda se estão a aguardar os resultados.

4. RESULTADOS

4.1. Sondagem A4

De acordo com as observações efetuadas no campo, a sondagem A4 é constituída por 3 unidades distintas (ver Fig. 3.1; Fig. 4.1). Os resultados das análises granulométricas (Tabela 4.1; Fig. 4.1; Apêndice D) e geoquímicas (Tabela 4.2; Fig. 4.1; Apêndices E, F e G) efetuadas às amostras recolhidas na sondagem A4, serão abaixo descritas para cada uma das unidades observadas (exceto os resultados apresentados na Tabela 4.2 por se encontrarem todos abaixo do limite de deteção do analisador).

Unidade A4-I (profundidades de 240–170 cm; amostras A4-24 a A4-17b) – composta por uma matriz muito dura, de cor castanha (10 YR 5/4) (ver Fig.3.1). A textura da matriz varia entre areia lodosa ligeiramente cascalhenta (aos 230–200, 180, 170 e cm) a areia lodosa (aos 190 e 24 cm), é muito mal calibrada (aos 240–220 e 190–170 cm) a calibrada (aos 210 e 200 cm), fortemente assimétrica no sentido dos finos (aos 240, 230, 180 e 170 cm) a simétrica (220 cm), e entre muito platicúrtica (170 cm) a muito leptocúrtica (180 cm) (Tabela 4.1). Os rácios $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 14,7 aos 180 cm e 13,8 aos 230 cm) e $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,6) mantêm-se ambos com valores baixos e relativamente constantes ao longo da unidade, tal como o índice $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre os 0,22 aos 240, 220–200, 180 e 170 cm e 0,24 aos 230 cm) (Fig. 4.1). O LOI varia entre 4,6 (170 cm) e 3,5 % (220 e 190 cm). A matriz desta unidade apresenta os valores de pH mais elevados ao longo da sondagem sendo este neutro a levemente alcalino, variando 8,6 aos 200 cm e 7,08 aos 170 cm de profundidade. O pH correlaciona-se com a percentagem de CaO que também atinge os valores mais elevados nesta unidade (0,18 %–230, 220 e 200 cm– a 0,13 %–170 cm), tal como com os rácios $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,08 aos 200 cm a 0,03 aos 170 cm), $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,13 aos 220 cm a 0,1 aos 170 cm) e $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (0,03 aos 230–190 cm a 0,02 aos 240, 180 e 170 cm). A percentagem de ferro varia entre 3,75 (170 cm) e 2,14 % (200 cm). O CIA varia entre 80,57 (170 cm) e 79 (230 cm) e o Ba/Sr entre 24,49 (240 cm) e 13,77 (190 cm) (Fig. 4.1; Apêndice H). Nesta unidade, observa-se o maior número de materiais líticos recolhidos em cada intervalo de 10 cm (Fig. 4.1), com um valor máximo de 43 líticos aos 220 cm e um mínimo de 0 aos 180 cm de profundidade (Fig. 4.1; Apêndice H).

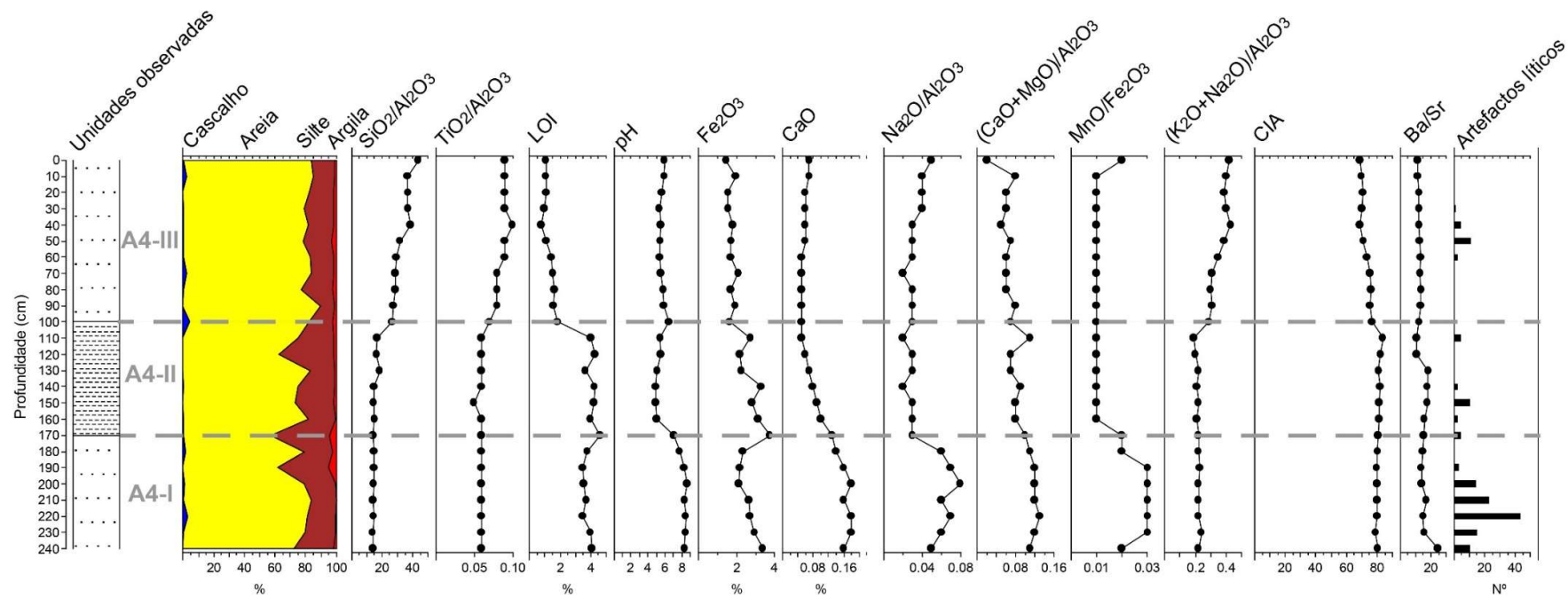


Figura 4.1. Resultados das análises granulométricas, geoquímicas e número de artefactos líticos na sondagem A4.

Tabela 4.1. Classificação das amostras da sondagem A4 de acordo com os parâmetros relativos ao tamanho do grão. 1 – Medida de concentração do tamanho das partículas em torno da média; 2 – medida de enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas grosseiras ou finas; 3 – medida da angulosidade da curva de distribuição granulométrica (i.e., mais achada ou proeminente que a curva de distribuição normal).

Amostras	Profundidades (cm)	Grupo textural	Método de Folk & Ward				
			Média descritiva	Média (µm)	Calibração ¹	Assimetria ²	Curtose ³
A4-Surf	0	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	210.0	Mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-01	10	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia média	258.9	Muito mal calibrado	Assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-02	20	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	211.8	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-03	30	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	193.9	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-04	40	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	185.1	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-05	50	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	160.2	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-06	60	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	208.4	Mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-07	70	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	244.0	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-08	80	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	148.1	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-09b	90	Areia lodosa	Areia média	320.7	Mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
A4-10b	100	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia média	270.3	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-11	110	Areia lodosa	Areia fina	126.5	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-12	120	Areia lodosa	Areia muito fina	77.12	Muito mal calibrado	Assimétrica no sentido dos finos	Mesocúrtico
A4-13	130	Areia lodosa	Areia fina	218.7	Mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico

Amostras	Profundidades (cm)	Grupo textural	Método de Folk & Ward				
			Média descritiva	Média (µm)	Calibração ¹	Assimetria ²	Curtose ³
A4-14	140	Areia lodosa	Areia fina	137.6	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-15	150	Areia lodosa	Areia muito fina	124.7	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Mesocúrtico
A4-16	160	Areia lodosa	Areia fina	187.5	Mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-17b	170	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	67.98	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Platicúrtico
A4-18	180	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	129.8	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
A4-19	190	Areia lodosa	Silte muito grosseiro	61.59	Muito mal calibrado	Assimétrica no sentido dos finos	Platicúrtico
A4-20	200	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	178.7	Mal calibrado	Assimétrica no sentido dos finos	Mesocúrtico
A4-21	210	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	206.3	Mal calibrado	Assimétrica no sentido dos finos	Mesocúrtico
A4-22	220	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	220.1	Muito mal calibrado	Simétrica	Mesocúrtico
A4-23b	230	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	184.6	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
A4-24	240	Areia lodosa	Areia muito fina	109.3	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico

Tabela 4.2. Tabela com os conteúdos em azoto, carbono total carbono orgânico e inorgânico. Todos elementos estão abaixo do limite de detenção (N: 0.94463; C: 1.10628).

Sondagem	Amostra	% N	% C	% C orgânico	% C inorg
A4	SURF	0,0143	0,1385	0,1116	0,0269
A4	1	0,0677	0,3705	0,3200	0,0505
A4	2	0,0591	0,2960	0,2649	0,0311
A4	3	0,0585	0,1810	0,1477	0,0332
A4	4	0,0602	0,2141	0,1870	0,0271
A4	5	0,0644	0,1649	0,1408	0,0241
A4	6	0,0593	0,1366	0,1036	0,0330
A4	7	0,0627	0,1818	0,1398	0,0420
A4	8	0,0645	0,1830	0,1533	0,0297
A4	9B	0,0578	0,0824	0,0596	0,0228
A4	10B	0,0572	0,0989	0,0734	0,0256
A4	11	0,0721	0,1465	0,1128	0,0338
A4	12	0,0794	0,1866	0,1484	0,0382
A4	13	0,0748	0,1481	0,1123	0,0358
A4	14	0,0995	0,1509	0,1090	0,0419
A4	15	0,1121	0,1740	0,1355	0,0385
A4	16	0,1216	0,1801	0,1450	0,0351
A4	17B	0,1964	0,2019	0,1704	0,0315
A4	18	0,2369	0,1573	0,1276	0,0297
A4	19	0,2257	0,1084	0,0773	0,0311
A4	20	0,2767	0,1252	0,0841	0,0411
A4	21	0,1735	0,1037	0,0626	0,0410
A4	22	0,0781	0,1205	0,0900	0,0305
A4	23B	0,0464	0,1363	0,1026	0,0337
A4	24	0,0423	0,1153	0,0785	0,0368

Unidade A4-II (profundidades de 170–100 cm; amostras A4-16 a A4-10b) – com uma matriz dura quando seca e friável quando húmida, apresentada tons castanhos (10 YR 5/1 e 10 YR 4/2 entre 170 e 130 cm e 10 YR 4/6 e 10 YR 5/4 entre 130 e 100 cm) com uma fronteira plana e claramente marcada, de cor branca (10 YR 6/1: 100 cm), com a unidade A4-III (ver Fig. 3.1). A matriz apresenta uma textura entre areia lodosa ligeiramente cascalhenta (aos 100 cm) a areia lodosa (dos 160 aos 110 cm), é muito mal calibrada (aos 150, 140 e 120–100) a mal calibrada (aos 160 e 130 cm), fortemente assimétrica no sentido dos finos (aos 160–130, 110 e 100) a assimétrica no sentido dos finos (120 cm), mesocúrtica (150 e 120 cm) a leptocúrtica (160, 140,

130, 110 e 100 cm) (Tabela 4.1). Tal como na unidade A4-I, os rácios $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 26,82 aos 100 cm e 14,51 aos 150 cm) e $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,07 aos 100 cm e 0,05 aos 150 cm) e o índice $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,29 aos 100 cm e 0,19 aos 110 cm) continuam a apresentar valores relativamente baixos e pouco variáveis nesta unidade (Fig. 4.1). As percentagens de LOI (entre 4,26 % aos 120 cm e 1,83 % aos 100 cm) e $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (entre 3,3 % aos 140 cm e 1,64 % aos 100 cm de profundidade) atingem os valores mais elevados do perfil nesta unidade. O pH baixa relativamente aos valores registados na unidade A4-I, variando entre 6,5 (100 cm) e 4,93 (150 cm). O decréscimo dos valores de pH é também acompanhado pela diminuição da percentagem de CaO (entre 0,1 % aos 160 cm e 0,05 % aos 110 e 100 cm) e dos rácios $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,03 aos 160, 150, 130, 120 e 100 cm de profundidade e 0,02 aos 140 e 110 cm), $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre os 0,11 aos 110 cm e 0,07 aos 130, 120 e 100 cm) e $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (com um valor constante de 0,01). O CIA apresenta valores semelhantes aos da unidade A4-I, decrescente ligeiramente a partir dos 110 cm (83,68 aos 110 cm e 76,63 aos 100 cm). O mesmo acontece com o rácio Ba/Sr (que varia entre 18,25 na profundidade de 130 cm, 10,71 aos 120 cm de profundidade), contudo, este começa a decrescer ligeiramente a partir dos 120 cm. Nesta unidade o número máximo de líticos (N=10) encontra-se aos 150 cm de profundidade e o número mínimo (N=0) aos 130, 120 e 100 cm (Fig. 4.1; Apêndice H).

Unidade A4-III (profundidades de 100 a 0 cm; amostras A4-09 a A4-Surf) – composta por uma matriz friável, de cor castanho acinzentado a creme (10 YR 6/2: 100–60 cm; 10 YR 6/3: 60–25 cm; e 10 YR 5/3: 25–0 cm), e onde estavam presentes raízes finas (particularmente entre os 30 cm e a superfície; ver Fig. 3.1). É composta por uma matriz de textura entre areia lodosa ligeiramente cascalhenta (80–0 cm) a areia lodosa (90 cm), muito mal calibrada (80, 70, 50–10 cm) a mal calibrada (90, 60 e 0 cm), fortemente assimétrica no sentido dos finos (90–20 e 0 cm) a assimétrica no sentido dos finos (10 cm), leptocúrtica (80–0 cm) a muito leptocúrtica (90 cm) (Tabela 4.1). Os rácios $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 43,58 à superfície e 27,25 aos 90 cm de profundidade) e $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,1 aos 40 cm e 0,08 entre os 90 e os 70 cm) e o índice $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,43 aos 40 cm e 0,3 aos 80 cm) apresentam, nesta unidade, os valores mais elevados do perfil, sendo a sua tendência crescente da base para o topo da unidade. Comparativamente com as unidades anteriormente descritas, o LOI diminui e passa a variar entre 1,64 % (80 cm) e 0,78 % (40 cm). À semelhança do LOI, esta unidade também se caracteriza por uma tendência decrescente da base para o topo, e valores inferiores, da percentagem de $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (entre 2,09 e 1,46 %, respetivamente aos 70 e 0 cm), $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,08 aos 90 e 10 cm, e 0,02, aos 0 cm) e do CIA (entre 76,08 e 86,66,

respetivamente aos 80 e aos 30 cm). O pH regista valores semelhantes aos da unidade A4-II (entre 5,96 à superfície e 5,36 aos 30 cm). A percentagem de CaO varia pouco da base para o topo da unidade com valores entre 0,07 (10 e 0 cm) e 0,05 % (90 a 60 cm). O rácio $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$, à semelhança da percentagem de CaO, varia entre 0,05 (0 cm) e 0,02 (70 cm) e aumenta ligeiramente da base para o topo da unidade. O rácio $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ continua apresentando valores baixos e constantes de 0,01; porém, aos 0 cm de profundidade, o valor aumentam para 0,02. O rácio Ba/Sr apresenta valores relativamente constantes e na ordem dos já atingidos na unidade A4-II, variando de 13,69 a 80 cm e 11,47 a 10 cm de profundidade. O valor máximo de líticos foi registado 50 cm de profundidade (N=11) e o mínimo (N=0) dos 90 aos 70 cm e dos 20 aos 0 cm (Apêndice H).

4.2. Sondagem ZIM

Aquando da escavação da sondagem ZIM, observaram-se 2 unidades distintas (ver Fig. 3.2; Fig. 4.2). Os resultados das análises granulométricas (Tabela 4.3; Fig. 4.2) e geoquímicas (Tabela 4.4; Fig. 4.2) efetuadas em ZIM pela investigadora Ana Gomes, são abaixo apresentados para cada uma das unidades observadas.

Unidade ZIM-I (entre os 150 a 67,5 cm de profundidade; amostras ZIM-150 a ZIM-transição; 40000 ± 3000 anos aos 140 cm de profundidade) – possui uma matriz de textura de areia lodosa ligeiramente cascalhenta, muito mal calibrada, fortemente assimétrica no sentido dos finos e muito platicúrtica (70 cm de profundidade) a muito leptocúrtica (130, 120 e 80 cm) (Tabela 3). Ao longo desta unidade, os valores de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 13,38 e 11,95 aos 120 e 70 cm), $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre os 0,09 aos 140 cm e 0,07 aos 80 e 70 cm), LOI (de 6,42 %, aos 150 cm, a 5,75 % aos 120 cm), $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (2,46 % aos 80 cm a 2,17 % aos 100 cm) e CIA (entre 112,41 e 107,45, respetivamente aos 110 e 150 cm) variam pouco (Tabela 4.4; Fig. 4.2). Apenas ao atingir a transição para a Unidade II (amostra ZIM-transição aos 67,5 cm), marcada por uma fronteira plana de cor branca (ver Fig. 3.2), se verifica uma variação mais significativa destes rácios, LOI, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ e CIA, respetivamente para 23,02; 0,1; 2,57; 1,75 e 122,78 (Tabela 4.4; Fig. 4.2). A percentagem de CaO e o índice $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ diminuem da base para o topo da unidade. O CaO varia entre 0,32 % (150 cm) e 0,05 % (67,5 cm) e o $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ entre 0,28 (150 cm) e 0,12 (67,5 cm). O rácio $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ também acompanha esta tendência de diminuição da base para o topo (entre os 0,06 e 0,03), mas regista um ligeiro aumento aos 67,5 cm (para 0,04), tal como o $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ que varia entre 0,28 aos 150 cm e 0,19 aos 80 e 70 cm, subindo aos 67,5 cm para 0,33. O rácio $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ varia entre 0,04 (150

cm) e 0,01 (110–67,5 cm). O Ba/Sr varia entre 23,76, pico registrado aos 100 cm, e 7,62 aos 80 cm (Tabela 4.4; Fig. 4.2).

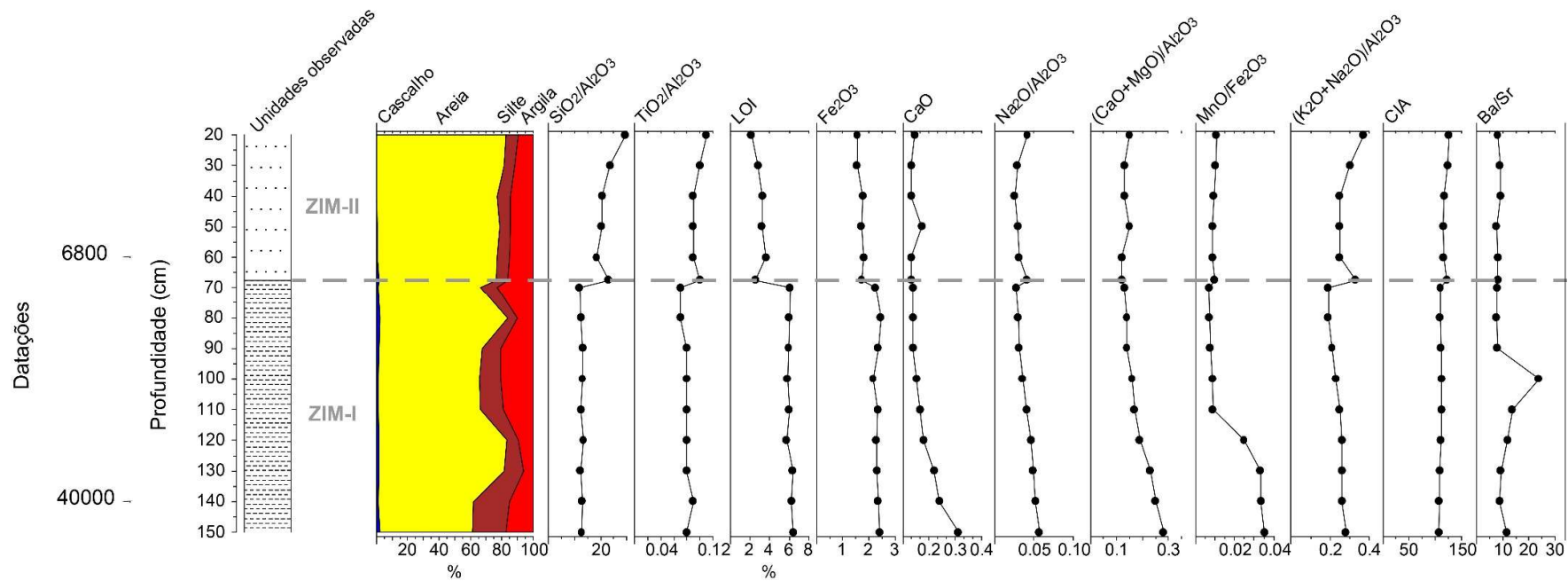


Figura 4.2. Resultados das análises granulométricas, geoquímicas e datações na sondagem ZIM (dados cedidos por Ana Gomes).

Tabela 4.3. Classificação das amostras da sondagem ZIM de acordo com os parâmetros relativos ao tamanho do grão. 1 – Medida de concentração do tamanho das partículas em torno da média; 2 – medida de enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas grosseiras ou finas; 3 – medida da angulosidade da curva de distribuição granulométrica (i.e., mais achada ou proeminente que a curva de distribuição normal) (dados cedidos por Ana Gomes).

Amostras	Profundidades (cm)	Método de Folk & Ward				
		Grupo Textural	Média	Calibração ¹	Assimetria ²	Curtose ³
ZIM-20	20	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
ZIM-30	30	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
ZIM-40	40	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
ZIM-50	50	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
ZIM-60	60	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
ZIM-transição	67.5	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Leptocúrtico
ZIM-70	70	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Platicúrtico
ZIM-80	80	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia média	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
ZIM-90	90	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Platicúrtico
ZIM-100	100	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Platicúrtico
ZIM-110	110	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia muito fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Platicúrtico
ZIM-120	120	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
ZIM-130	130	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Areia fina	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Muito Leptocúrtico
ZIM-140	140	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Silte muito grosseiro	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Platicúrtico
ZIM-150	150	Areia lodosa ligeiramente cascalhenta	Silte muito grosseiro	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrica no sentido dos finos	Platicúrtico

Tabela 4.4. Rácios, elementos e índices geoquímicos calculados para ZIM (dados cedidos por Ana Gomes).

Profundidades (cm)	20	30	40	50	60	67.5	70	80	90	100	110	120	130	140	150
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	29.47	23.65	20.64	20.34	18.45	23.02	11.95	12.50	13.09	13.06	12.43	13.38	12.33	12.90	12.70
TiO ₂ /Al ₂ O ₃	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
LOI (%)	2.13	2.83	3.26	3.22	3.64	2.57	6.11	6.02	5.95	5.82	6.02	5.75	6.37	6.25	6.42
Fe ₂ O ₃ (T)	1.56	1.55	1.78	1.72	1.81	1.73	2.26	2.46	2.36	2.17	2.34	2.29	2.31	2.36	2.41
CaO	0.07	0.05	0.05	0.11	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.08	0.10	0.12	0.18	0.21	0.32
Na ₂ O/Al ₂ O ₃	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06
(CaO + MgO)/Al ₂ O ₃	0.15	0.13	0.13	0.15	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.25	0.28
MnO/Fe ₂ O ₃ (T)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04
(K ₂ O + Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	0.37	0.30	0.25	0.25	0.25	0.33	0.19	0.19	0.21	0.23	0.25	0.26	0.26	0.26	0.28
100*Al ₂ O ₃ / (Al ₂ O ₃ +CaO+Na ₂ O+K ₂ O)	126.9 4	123.8 6	117.6 8	115.7 5	116.4 3	122.7 8	110.2 4	109.9 8	111.5 6	112.2 6	112.4 1	111.4 1	109.3 0	108.3 8	107.4 5
Ba/Sr	8.03	8.93	9.10	7.69	8.19	8.19	7.87	7.62	7.89	23.76	13.69	11.79	9.25	8.82	11.54

Unidade ZIM-II (profundidades de 67,5 cm a 20 cm; amostras ZIM-60 a ZIM-20; 6800±400 anos aos 60 cm de profundidade) – composta por areia lodosa ligeiramente cascalhenta, muito mal calibrada, fortemente assimétrica no sentido dos finos e leptocúrtica (aos 60 e 40 cm) a muito leptocúrtica (30, 20 e 50 cm) (Tabela 4.3). No que refere aos rácios e índices, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ apresentam a mesma tendência (Fig. 4.2). Além disso, o $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 29,47 aos 20 cm e 18,45 aos 60 cm), $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,11 aos 20 cm e 0,09 dos 60 aos 40 cm) e $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,37 aos 20 cm e 0,25 dos 60 aos 40 cm) aumentam os seus valores relativamente a ZIM-I (Tabela 4.4; Fig. 4.2). O rácio $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ varia entre 0,04 (20 cm) e 0,03 (60 a 40 cm). As percentagens de LOI (3,64 % aos 60 cm e 2,13 % aos 20 cm) e $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ (1,81 % aos 60 cm e 1,55 % aos 30 cm) registam valores inferiores aos da unidade I. As percentagens de CaO (entre 0,11 % e 0,05 % aos 50 cm e 60, 40 e 30 cm) e $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$ (entre 0,15 aos 50 e 20 cm, e 0,12 aos 60 cm), tal como na unidade I, co-variam, mas apresentam valores mais baixos. O rácio $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ mantém-se constante (0,01) e igual ao valor registado na camada branca de transição. O rácio Ba/Sr, também não apresenta uma grande variação nesta unidade (entre 9,1 aos 40 cm e 7,69 aos 50 cm). Por fim, o CIA varia entre 126,94 (20 cm) e 115,75 (50 cm) (Tabela 4.4; Fig. 4.2).

4.3. Comparação entre as sondagens

Comparando os dados sedimentológicos das sondagens A4 e ZIM, verifica-se que no geral em ZIM a percentagem de partículas finas (siltes e argilas) é mais elevada do que ao longo da sondagem A4 (Fig. 4.1 e 4.2), variando entre 22 ± 8 % em A4 e entre $25,9 \pm 8$ % em ZIM. Verifica-se ainda, em ambas as sondagens, que o rácio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, é mais elevados nas unidades A4-III e ZIM-II do que nas unidades que se encontram abaixo destas, indicando que a matriz destas unidades é mais rica em silicatos do que em partículas argilosas ricas em aluminossilicatos, o que está de acordo com os resultados das análises granulométricas (Fig. 4.1 e 4.2). Além disto, seguindo o mesmo padrão que o indicador granulométrico, o indicador da proveniência de sedimentos ($\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) apresenta pouca variação nas unidades A4-I, A4-II e ZIM-I e uma tendência crescente da base para o topo de A4-III e ZIM-II. O indicador de salinização por acumulação de sais solúveis ($(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$), é outro dos índices que apresentaram valores superiores A4-III e ZIM-II. No entanto, A4-III e ZIM-II são as unidades com percentagens combinadas mais baixas de perda por ignição de matéria orgânica, fases minerais hidratadas e carbonato presentes na matriz das unidades, por oposição a A4-I, A4-II e ZIM-I, onde as percentagens de CaO e o índice de calcificação ($(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{Al}_2\text{O}_3$) também atingem valores mais elevados. Tanto a percentagem de CaO como o índice de calcificação

aumentam do topo para a base de ZIM-I, A4-II e A4-I. Adicionalmente, as percentagens de CaO registadas em ZIM-I são semelhantes às de A4-II e A4-I. A4-I, A4-II e ZIM-I também apresentam as percentagens mais elevadas de Fe₂O₃(T), sendo que este óxido permite claramente distinguir A4-I de A4-II, mas o mesmo padrão de variação não se verifica ao longo de ZIM-I. Contudo, ZIM-I mimetiza o padrão de variação do indicador de transição redox e diagénese subóxida em A4-I de A4-II. O índice de lixiviação/hidrólise (Ba/Sr) também atinge os valores mais elevados em A4-I, A4-II e ZIM-I. O CIA, apesar de variar pouco ao longo de ZIM, tem valores superiores nesta sondagem e um comportamento oposto ao de A4, isto é, é mais elevado em ZIM-II do que em ZIM-I, enquanto em A4-III é mais baixo do que em A4-I e A4-II).

Assim, ZIM-I é equivalente a A4-I e A4-II e todas estas unidades têm uma idade Plistocénica. ZIM-I e A4-II separam-se das unidades que se encontram acima por uma camada fina, plana e esbranquiçada retratadas nas Figuras 3.1 e 3.2. A4-III e ZIM-II são unidades equivalentes nas duas sondagens e formaram-se durante o Holocénico (Tabela 4.5). Assim, os picos de líticos registados em A4-I, A4-II, A-III são de ocupações pelo menos do final da idade da Pedra. Nenhum dos artefactos líticos encontrados era uma peça diagnóstica.

Tabela 4.5. Comparação das unidades observadas em A4 e ZIM (à esquerda) e idades obtidas em ZIM à direita.

A4-III	ZIM-II	- 6800 anos
A4-II	ZIM-I	- 40000 anos
A4-I		

5. DISCUSSÃO

Neste capítulo, são discutidos os resultados das análises feitas nos capítulos anteriores, organizados em duas subseções. A primeira seção dedica-se à interpretação do processo de formação de Zimuara, enquanto a segunda se dedica à sua ocupação humana durante o Pleistoceno Superior e o Holoceno.

5.1. Formação de Zimuara

Os depósitos A4 e ZIM têm idade Quaternária, conforme consta no mapa geológico de Marques *et al.* (2006). Ainda de acordo com os autores do mapa geológico (Marques *et al.*, 2006), A4 e ZIM teriam sido escavados numa área onde afloram depósitos de escorrências eluvionares com composição argilosa (Qpi; ver Capítulo 2). Contudo, de acordo com os resultados das análises granulométricas (Tabelas 4.1 e 4.3, Capítulo 4) a matriz que compõe A4 e ZIM tem uma textura arenosa e não argilosa. Este facto sugere que a geologia aflorante na área de estudo corresponde aos depósitos Qps (depósitos de escorrência eluvionares com composição areno-argilosa). Adicionalmente, a notícia explicativa da carta geológica (GTK CONSORTIM 2006), também refere que os depósitos Qpi afloram apenas em área deprimidas e estão cobertos pelos depósitos Qps, e os locais onde A4 e ZIM foram escavados não são áreas deprimidas (ver Capítulo 2).

Assim, torna-se também claro que as alterações da textura e geoquímica (e.g., $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ – Sheldon & Tabor 2009) da matriz de ambos os perfis, são exclusivamente fruto de um processo de pedogénese. Tanto A4 como ZIM, são perfis de um argissolo (Mack *et al.*, 1993) ou alfissolo (USDA 1999), o que está de acordo com a distribuição destes solos no mapa global de solos (USDA 2005). Esta classificação deve-se ao facto deste tipo de solos se caracterizar pela presença de um horizonte argiloso iluvial subsuperficial (i.e., horizonte B) (Orr & Roberts, 2024), com maior quantidade de óxidos de ferro e alumínio, que restringe o movimento da água, e onde se acumula também carbonato de cálcio secundário tornando a matriz mais dura (United States Natural Resources Conservation 1999). Nos presentes casos, este horizonte corresponderia às unidades I e II em A4 e I em ZIM. Além disto, estes solos têm uma composição mineral, isto é, não apresentam materiais orgânicos significativos (United States Natural Resources Conservation 1999), o que está de acordo com os resultados das análises ao carbono orgânico apresentados na Tabela 4.2.

Os alfissolos encontram-se principalmente em regiões sub húmidas e temperadas húmidas (University of Idaho 2025). Isto está de acordo com o clima atual e passado sentido na área de estudo (Muchangos 1999; MICOA, 2012; ver Capítulo 2). Desde o final do Plistocénico, a

vegetação na zona centro e sul de Moçambique também reflete condições no geral húmidas, apesar da humidade variar entre períodos glaciais e interglaciais (Castañeda *et al.*, 2016; McWethy *et al.*, 2016). O mesmo sinal é encontrado no Sudeste de África (Dupont *et al.*, 2011), apontando para a estabilidade ambiental na área, em contraste com outras áreas tropicais de África (Castañeda *et al.*, 2016).

Adicionalmente, considerando os perfis simples, maduros e com zonações horizontais, a distribuições dos materiais líticos ao longo da matriz dos sítios e as datações obtidas em ZIM, o processo de pedogénese parece não ter sido interrompido pela sedimentação. De acordo com Orr & Roberts (2024) e Marriott & Wright (1993), este tipo de perfis acumulados formam-se sob condições de sedimentação constante com uma taxa de pedogénese superior à taxa de agradação e por sobreposição de horizontes inferiores. Estes perfis caracterizam-se também pela presença de um horizonte B espesso. Em Zimuara, as espessuras do horizonte B variam entre 140 cm (A4) e 82,5 cm (ZIM). Em A4, as observações de campo e os resultados das análises granulométricas e geoquímicas permitiram imediatamente fazer a distinção entre dois horizontes subordinados do horizonte B: Bk e Bst, respetivamente correspondentes às unidades A4-I e A4-II (United States Natural Resources Conservation, 1999; IUSS Working Group WRB, 2022; Orr & Roberts, 2024). A4-I é classificado como Bk porque é o horizonte que apresenta percentagens de CaO, índice de calcificação $((CaO + MgO)/Al_2O_3)$ – Eze & Meadows 2015; Nesbitt & Young, 1984) e indicador de diagénese subóxida $(MnO/Fe_2O_3(T))$ – Croudace & Rothwell 2015) mais elevados do perfil, indicando a acumulação de carbonatos secundários (e.g., carbonato de cálcio). A4-II é classificado como um horizonte Bst uma vez, tal como em Bk, é um dos horizontes onde o valores do indicador de lixiviação/hidrólise (Ba/Sr) – Sheldon & Tabor 2009; Wang *et al.*, 2016) é mais elevado ao longo do perfil, contudo distingue-se de Bk pela acumulação de argilas que permitiu distinguir a unidade A4-II no campo (Figura 4.1), e acumulação de óxidos de ferro e maior percentagem de matéria orgânica, fases minerais hidratadas e carbonato (i.e., LOI – Craft *et al.*, 1991) iluviados dos horizontes subjacentes. Como explicado na secção 4.3, em ZIM-I é também unidade onde há mais perda por ignição de matéria orgânica, fases minerais hidratadas e carbonato, e maior percentagem de óxidos de ferro (Figuras 4.1 e 4.2). É ainda onde se regista a maior percentagem de óxidos de cálcio e maior índice de calcificação, aumentando do topo para a base da unidade como em A4-II e A4-I. O padrão de variação do indicador de transição redox e diagénese subóxida em ZIM, também mimetiza em que acontece em A4-I de A4-II. Assim, ZIM-I também pode ser dividido em dois horizontes subordinados (Bk – 150 a 110 cm; Bst – 110 a 67.5 cm; (United States Natural

Resources Conservation, 1999; IUSS Working Group WRB, 2022; Orr & Roberts, 2024). A diferença entre ZIM e A4 é que a transição é mais difusa entre os horizontes subordinados de ZIM do que em A4 onde a transição é mais abrupta (Orr & Roberts, 2024). Tal pode estar relacionado com o facto do perfil de ZIM estar exposto à meteorização. Esta ideia surge do facto de em ZIM a percentagem de argilas ser superior a A4 (ver Capítulo 4), e ZIM encontra-se no limite entre a área aplanada e coberta de vegetação (onde A4 foi escavado) e uma área deprimida (ver Capítulo 2).

A unidade A4-III corresponde assim aos horizontes E e A do argissolo e a unidade ZIM-II ao horizonte E, sendo, em ambos os casos, a transição de B para E marcada por uma transição abrupta e plana de cor branca (Figuras 3.1 e 3.2; Orr & Roberts, 2024). Esta transição corresponde a um horizonte subordinado Bn (United States Natural Resources Conservation, 1999; IUSS Working Group WRB, 2022; Orr & Roberts, 2024), pois como é possível verificar no perfil de ZIM (Figura 4.2), nela acumulam-se sais (ver diagrama $(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$) que são lixiviados do(s) horizonte(s) acima, mas que são impedidos de continuar a percolar pelo aumento do conteúdo em argilas no horizonte B, depositando-se (Nesbitt & Young 1982; Smykatz-Kloss *et al.*, 2004; Sheldon & Tabor 2009; Eze & Meadows 2015; Cheng *et al.*, 2020).

O horizonte E caracteriza-se em ambos os casos por, tal como definido na introdução desta tese, tem uma cor mais clara devido à perda de argilas, ferro e alumínio solúveis e à consequente concentração de quartzo e outros minerais resistentes à meteorização (Waters 1992). Estas características foram visíveis no campo (Figuras 3.1 e 3.2), mas também através das análises granulométricas e geoquímicas. Especificamente, estas características foram confirmadas pelos valores mais elevados do indicador granulométrico (Bibolé *et al.*, 2022; Sheldon & Tabor 2009) em A4-III e ZIM-II, percentagem mais baixas de óxidos de ferro nestas unidades e de perda por ignição de de matéria orgânica, fases minerais hidratadas e carbonato presentes na matriz das unidades (Craft *et al.*, 1991) (Figuras 4.1 e 4.2).

Em A4-III foi possível distinguir um horizonte A entre a superfície e os 30 cm de profundidade. O que permite distinguir um horizonte A do horizonte E no perfil A4 é a alteração da cor (mais escura no horizonte A) e a maior quantidade de raízes presentes nos 30 cm mais superficiais (Figura 3.1) e matéria orgânica (valores mais elevados do carbono orgânico na Tabela 4.2, apesar de estarem abaixo do limite de deteção do equipamento utilizado) (Water 1992; Orr & Roberts, 2024). Em ZIM-II, o Horizonte A parece não estar presente (Figura 3.2), mas não foram recolhidas amostras entre a superfície e os 20 cm de profundidade.

5.2.A ocupação Humana de Zimuara

A formação de Zimuara resulta principalmente de uma interação complexa entre fatores naturais (e.g., climáticos, geológicos, geomorfológicos e biológicos) que moldaram a paisagem ao longo do tempo. Contudo, em Zimuara, também foi possível identificar vestígios de ocupação humana durante a Idade da Pedra africana. A distribuição dos artefactos líticos na sondagem A4 permitiu inferir quatro fases de ocupação humana, a destacar:

- a fase mais antiga (240 – 190 cm de profundidade) com o maior número de líticos do perfil, com pico aos 220 cm (maior número de artefactos líticos). O contexto geológico e a comparação com o perfil ZIM (para o qual há datações) sugerem uma ocupação pelo menos da Idade da Pedra média, isto é, do Plistocénico superior (com mais de 40.000 anos).
- duas fases intermédias (170 – 140 cm de profundidade e aos 110 cm de profundidade), com um máximo de líticos registado aos 150 cm e aos 110 cm. Por comparação com o registo de ZIM o pico de líticos aos 150 cm pode tentativamente corresponder a uma ocupação com cerca de 40000 anos.
- a ocupação mais recente (60 – 30 cm de profundidade) com o máximo de lítico a ocorrer aos 50 cm, durante o Holoceno (i.e. por volta dos ~6800 anos B.P., por comparação com ZIM).

Comparando com outros registos em Moçambique, verifica-se que Mercader *et al.* (2009) também encontram ocupações humanas em N'galue (gruta no Niassa) entre 105000 e 42000 anos. Assim, ambos os sítios parece ter havido ocupação humana durante a Idade da Pedra Média anterior aos 40000 anos. De acordo com Castañeda *et al.* (2016), nesta altura a área de estudo estaria a experienciar uma fase climática mais quente e húmida. A ocupação de Zimuara em torno dos 6800 anos pode também ser síncrona com uma ocupação de Txina-Txina (sítio ao ar-livre no sul de Moçambique; (Raja 2020), momento em que o clima da região também estaria a passar por uma fase mais húmida (Castañeda *et al.*, 2016). Kusimba (1999), Henshilwood *et al.* (2001) e Ziegler *et al.* (2013) sustentam que a ocupação de espaços durante períodos húmidos e quentes na Idade da Pedra Superior pode estar relacionada com várias razões, (e.g., a procura de recursos aquáticos, vegetais e raízes, que seriam muito mais abundantes nessas áreas). Contudo, para confirmar isto é necessário ter os resultados das amostras de A4 enviadas para datações e efetuar modelos de idade-profundidade para todos os sítios analisados em Moçambique. Além disso, é importante adquirir mais dados arqueológicos em Moçambique,

acompanhados de dados ambientais. Tal vai permitir compreender melhor a evolução ecologia humana (Kingston, 2007) e do seu comportamento ao longo do tempo.

6. CONCLUSÃO

A presente investigação proporcionou avanços relevantes na compreensão dos processos de formação e ocupação antrópica no sítio arqueológico de Zimuara, por meio da aplicação integrada de metodologias sedimentológicas e geoquímicas em uma perspectiva geoarqueológica. A análise das sondagens A4 e ZIM permitiu identificar que a informação constante no mapa geológico da área está incorreta e em Zimuara afloram depósitos de escorrência eluvionares com composição areno-argilosa. Os resultados das análises granulométricas e geoquímicas efetuadas à matriz das sondagens escavadas em Zimuara, em conjugação com as observações de campo permitiram concluir que a formação de Zimuara está intimamente ligada a um processo de pedogênese que ocorreu a uma taxa superior à taxa de agradação, uma vez que a sedimentação não foi interrompida. Isto deu origem à formação de perfis acumulados de um argissolo, caracterizado por uma composição essencialmente mineral pela presença de um horizonte B argiloso iluvial, típicos de regiões sub húmidas e temperadas húmidas. Tal está de acordo com as condições (paleo)ambientais da área de estudo. Além do horizonte B, os perfis de Zimuara apresentam também um horizonte A e E. O horizonte A, mais superficial, aparentemente apenas presente na sondagem A4, distingue-se pela presença de alguma matéria orgânica que lhe dá um tom mais escuro em relação ao horizonte E, bem como pela presença de raízes. O horizonte E é rico em quartzo e outros minerais resistentes à meteorização. A transição do horizonte E para o B é abrupta e plana e está bem marcada pela sua cor branca, correspondendo a um horizonte subordinado Bn, onde se acumularam sais lixiviado(s) horizonte(s) A e E, cuja percolação é impedida pelo aumento do conteúdo em argilas no horizonte B. O horizonte B, apresenta dois horizontes subordinados, transição é mais difusa entre os horizontes subordinados de ZIM do que em A4. Estes horizontes são o Bst, de acumulação de argilas e óxidos de ferro e matéria orgânica, fases minerais hidratadas e carbonato iluviados dos horizontes subjacentes, e o Bk de acumulação de carbonatos secundários.

Apesar da formação de Zimuara resultar principalmente de causas naturais, foi possível identificar quatro fases de ocupação humana durante a Idade da Pedra africana: a mais antiga no final da Idade da Pedra Média, (com mais de 40.000 anos); e dois horizontes, tendo a mais intensa cerca de 40000 anos, e a mais recente por volta dos ~6800 anos B.P ambas já da Idade da Pedra Superior. Verificou-se ainda que a ocupação em torno dos 40000 e dos 6800 anos pode

ser síncrona com a de outros sítios de Moçambique e em momento em que o clima seria mais húmido.

Este estudo destaca o papel de Moçambique como região estratégica na compreensão das rotas de dispersão dos primeiros *Homo Sapiens* no contexto africano, e reforça a importância da abordagem geoarqueológica para a reconstrução de contextos arqueológicos em regiões ainda com muito por explorar. Os resultados aqui apresentados fornecem uma base sólida para futuras investigações interdisciplinares voltadas à compreensão da pré-história africana e da evolução do comportamento humano.

REFERÊNCIAS

- Activation Laboratories Ltd. 2024. *Geochemistry Schedule of Services & Fees*. Euro. <https://actlabs.com/wp-content/uploads/2024/01/Actlabs-Geochemistry-Schedule-of-Services-2024-%E2%80%93-EURO.pdf> ;
- Alberto, M.S. 1951. “A Pré-história de Moçambique”. *Boletim da Sociedade de Estudos da Colónia* 68:115–152;
- Allen, T. 1997. *Particle Size Measurement*. 5th edition, v.1. London: Chapman and Hall;
- Ambrose, S. H. 1998. “Chronology of the Later Stone Age and Food Production in East Africa”. *Journal of Archaeological Science* 25: 377–392;
- Ayodele, O. S & Madukwe, H . Y. 2019. “Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria”. *International Journal of Geosciences* 10 (3). [International Journal of Geosciences > Vol.10 No.3, March 2019](#) ;
- Babu, V., Davaraju, J., Rai, S & Bhan. 2023. “Utilizing Geochemical Analysis for Provenance Determination in Sedimentary Systems”. *Journal of Chemistry and Environment* 27 (7): 126-132. <http://dx.doi.org/10.25303/2707rjce1260132> ;
- Barradas, L 1942. “Uma estação paleolítica em Magude”. *Boletim da Sociedade dos Estudos de Colónia de Moçambique* 11 (45): 83: 101;
- Barradas, L. 1947. “Origem dos solos quaternários do sul de Moçambique”. *Boletim da Sociedade de Estudos da Colónia de Moçambique* XVI 55: 197–216;
- Barradas, L. 1955. Complexos geológicos-arqueológicos do Quaternário no sul de Moçambique. *Boletim da Sociedade de Estudos da Colónia de Moçambique* 90:3–20;
- Basell, L. S. 2008. “Middle Stone Age (MSA) site distributions in eastern Africa and their relationship to Quaternary environmental change, refugia and the evolution of Homo sapiens”. *Quaternary Science Reviews* 27: 2484–2498. <https://doi:10.1016/j.quascirev.2008.09.010> ;
- Beaumont, P B., De Villiers, H. & Vogel, J. C. 1978. “Modern man in sub-saharan Africa prior to 49 000 years B. P: A review and evaluation with Pamicular reference to Border Cave”. *South African Joutnal of Science* 74: 409-419;
- Beaumont, P. B. 1973. “Border Cave - a Progress Report”. *South African Journal of Science* 69: 41–46.

- Bibolé, J. A., Eyong, J. T & SamanKassou. 2022. “Provenance, paleoweathering, depositional setting and paleoclimatic constraints of cretaceous and neogene deposits of The Mamfe Basin, southwest Cameroon”. *Heliyon* (8) 10304: 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10304>;
- Bicho, N., Cascalheira, J., Haws, J & Gonçalves, C. 2018. “Middle Stone Age Technologies in Mozambique: A Preliminary Study of the Niassa and Massingir Regions”. *Journal of African Archaeology* 16: 1–23. <https://doi.org/10.1163/21915784-20180006> ;
- Bicho, N., Haws, J., Raja, M., Madime, O., Gonçalves, C., Cascalheira, J., Benedetti, M., Pereira, T & Aldeias, V. 2016. “Middle and Late Stone Age of the Niassa region, northern Mozambique. Preliminary results”. *Quaternary International* 30: 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.059> ;
- Binford, L. R. 1977 Introduction. In L. R. Binford (ed.) *For Theory Building in Archaeology: Essays on Faunal Remains, Aquatic Resources, Spatial Analysis, and Systemic Modeling*: 1–10. New York: Academic Press ;
- Binford, L. R. 1987 Researching Ambiguity: Frames of Reference and Site Structure. In S. Kent (ed.) *Method and Theory for Activity Area Research: an Ethnoarchaeological Approach*: 449–512. New York: Columbia University Press ;
- Blome, M. W., Cohen, A. S., Tryon, C. A., Brooks, A. S. & Russell, J. 2012. “The environmental context for the origins of modern human diversity: A synthesis of regional variability in African climate 150,000-30,000 years ago”. *Journal of Human Evolution* 62: 563–592.
- Blott, S.J & Pye, K. 2001. GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms* 26: 1237-1248. <https://doi.org/10.1002/esp.261>;
- Borges, A., Cox, L.R & Stubblefield, Cj. 1939. “Depósitos terciários e pós-pliocenos do distrito de Inhambane e estudo paleontológico das respetivas faunas de moluscos e de crustáceos”. *Boletim dos Serviços de Indústria Minas e Geologia* 3 Lourenço Marques.
- Bozkaya, O & Yalçin, H. 2013. “Geochemical monitoring of clays for diagenetic evolution of the Paleozoic–Lower Mesozoic sequence in the northern Arabian plate: Hazro and Amanos regions, Southeastern Turkey”. *Journal of Africa Earth Sciences* 86: 10-24. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.06.005> ;

- Brandt, S. A., Fisher, E. C., Hildebrand, E. A., Vogelsang, R., Ambrose, S. H., Jesur, J & Wang, H. 2012. “Early MIS 3 occupation of Mochena Borago Rockshelter, Southwest Ethiopian Highlands: Implications for Late Pleistocene archaeology, paleoenvironments and modern human dispersals”. *Quaternary International* 274: 38-54. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.03.047> ;
- Braun, K., Nehme, C., Pickering, R., Rogerson, M & Scroxton, N. 2019. “A Window into Africa’s Past Hydroclimates: The SISAL_v1 Database Contribution”. *Quaternary* 2 (4): 1-33. <https://doi.org/10.3390/quat2010004> ;
- Breuil, H. 1944. “II Parte das primeiras impressões de uma viagem de estudos arqueológicos no Sul de Moçambique”. *Moçambique Documentário Trimestral. Lourenço Marques* 40: 39–48 ;
- Brimhall, G.H & Dietrich, W.E., 1987. “Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: results on weathering and pedogenesis”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51, 567–587. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90070-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90070-6) ;
- Brooks, H. L., Steell, E & Moore, M. 2022. “Grain-Size Analysis of Ancient Deep-Marine Sediments Using LaserDiffraction”. *Frontiers in Earth Science*: 1-24. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.820866> ;
- Burrows, J., Barrows, S., Lötter, M & Achmidt, E. 2018. *Trees & Shrubs Mozambique*. Cape Town: Publishing Print Matters (Pty) Lda, Noordhoek.
- Carvalho, G. 1975. “Quaternary Sedimentology and Lithostratigraphy of Massingir”. *Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique* 10, Serie B: 76–95;
- Castañeda, I. S., Caley, T., Dupont, L., Kim, Jung-Hyun., Malaizé, B & Schouten, S. 2016. “Middle to Late Pleistocene vegetation and climate change in subtropical southern East Africa”. *Earth and Planetary Science Letters* 450: 306-316. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2016.06.049>;
- Cheng, L., Bae, C. J., Hong, H., Huang, S., Wang, W., Yin, K & Wang, C. 2020. “Environmental fluctuation impacted the evolution of Early Pleistocene non-human primates: Biomarker and geochemical evidence from Mohui Cave (Bubing, Guangxi, southern China)”. *Quaternary International* 563: 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.02.035> ;

- Chilingar, G. V. 1952. "Study of the dispersing agents". *Journal of Sedimentary Research* 22 (4): 229–233. <https://doi.org/10.2110/jsr.22.229> ;
- Clark, J. D., Beyene, Y., Gabriel, G. W., Hart, W. K., Renne, P. R., Gilberto, H., Defleur, A., Suwa, G., Katoh, S., Ludiwing, K. R., Boissieric, J-R., Asfaw, B & Branco, T. D. 2003. "Stratigraphic, chronological and behavioural contexts of Pleistocene *Homo sapiens* from Middle Awash, Ethiopia". *Nature* 423 (6941): 747–752. <https://doi:10.1038/nature01670> ;
- Connah, G. 2003. "Problem Orientation in Australian Historical Archaeology". *Historical Archaeology* 37 (1): 146–158 ;
- Craft, C. B., Seneca, E. D & Broome, S. W. 1991. "Loss on Ignition and Kjeldahl Digestion for Estimating Organic Carbon and Total Nitrogen in Estuarine Marsh Soils: Calibration with Dry Combustion". *Estuaries* 14 (2): 175-179. <https://doi.org/10.2307/1351691> ;
- Croudace, I. W & Rorhwell, R. G. 2015. *Micro-XRF Studies of Sediment Cores*. London: Springer Dordrecht Heidelberg ;
- Dalezios, N.R., Eslamian, S., Ostad-Ali-Askari, K., Rabbani, S & Saeidi-Rizi, A. 2018. "Sediments". In: Bobrowsky, P.T & Marker, B (eds) *Encyclopedia of Engineering Geology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73568-9_254 ;
- Dias, M. B. 1948. Contribuição para o estudo da pré-história a sul do Save. *10º Congresso da Sociedade de Estudos da Colonia de Moçambique*, Lourenço Marques ;
- Dias, M. de B. 1947. *Relatório da campanha de reconhecimento geo-arqueológico. Regiões de Umbehizi e Changanane*. Unpublished;
- Dias, M. L., Morais, J. M., & Duarte, R.T. 1975. "First contribution to the knowledge of the Massingir Stone Age Artefacts". *Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique*, 10 (B): 123-182 ;
- Diez-Martín, F., Domínguez-Rodrigo, M., Sánchez, P., Mabulla, A. Z. P., Tarrinõ, A., Barba, R., Prendergast, M. E & Luque, L. 2009. "The Middle to Later Stone Age Technological Transition in East Africa. New Data from Mumba Rockshelter Bed V (Tanzania) and their Implications for the Origin of Modern Human Behavior". *Journal of African Archaeology* 7 (2): 147-173. <https://doi.org/10.3213/1612-1651-10136> .
- Direção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (DNGR). 2022. *Projecto de Construção de Diques para Contenção das Águas Pluviais*. Técnica Engenheiros Consultores: Maputo;

- DISPERSALS 2023. Disponível em: <https://dispersals.icarehb.com/> ;
- Dupont, L.M., Caley, T., Kim, J.H., Castañeda, I., Malaizé, B., Giraudeau, J., 2011. “Glacial–interglacial vegetation dynamics in South Eastern Africa coupled to sea surface temperature variations in the Western Indian Ocean”. *Clim. Past*7: 1209–1224.
- Eze, P. N & Meadows, M. E. 2015. “Geochemistry and palaeoclimatic reconstruction of a palaeosol sequence at Langebaanweg, South Africa”. *Quaternary International* 376: 1-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.09.048> ;
- Faria, M., Mertocco, T., Barroso, A., Carvalho, M., Fonseca, F., Matos, C. D., Figueiredo, T., Braga, A. S., Valente, T & Jiménez-Ballesta, R. 2023. “A Comparison of Analytical Methods for the Determination of Soil pH: Case Study on Burned Soils in Northern Portugal”. *Fire* 5 (227): 1-13. <https://doi.org/10.3390/fire6060227>
- Ferrand, W. R. 1993. “Discontinuity in the Stratigraphic Record: Snapshots from Franchthi Cave”. In: Goldberg, P., Nash, D. T & Petraglia, M. D (ed). *Formation Processes in Archaeology Context*: 85-96. Madison Wisconsin: Prehistory Press ;
- Folk, R. L & Ward, W. C. 1957. “Brazos River bar: a study in the significance of grain parameters”. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1):3-26. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D> ;
- Folk, R. L. & Ward, W. C., 1957. “Brazos River bar: a study in the significance of grain parameters”. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1):3-26;
- Friedman, G. M & Sanders, J. E. 1978. *Principles of Sedimentology*. New York: John Wiley Son ;
- Friedman, G. M. 1979. “Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins”. *Sedimentology* 26: 3-32. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3091.1979.tb00336.x> ;
- Gasse F. 2000. “Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum”. *Quaternary Science Reviews* 19:189–211. [http://dx.doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00061-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00061-X) ;
- Goldberg, P & Macphail, R. I. 2006. *Pratica and Theoretical Geoarchaeology*. London: Blackwell Publishing ;

- Gonçalves, C., Raja, M., Madime, O., Cascalheira, J., Haws, J., Matos, D & Bicho, N. 2016. "Mapping the Stone Age of Mozambique" *African Archaeological Review* 33: 1–12. [10.1007/s10437-016-9212-4](https://doi.org/10.1007/s10437-016-9212-4) ;
- Goodwin, A & Lowe, V. R. C. 1929. "The Stone Age cultures of South Africa." *Annals of the South African Journal of Science* 27: 1-289.
- Gough, A. 2021. "Sedimentary Structures". In: Alderton, D & Elias, S.A (Eds). *Encyclopedia of Geology (Second Edition)*. Academic Press: 787–808. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11996-7>;
- Grimm, E.C. 1987. "Coniss: A Fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares". *Computers & Geosciences*, 13: 13–35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7) ;
- Grimm, E.C., 2023. *TILIA v3.0.3 (computer software)*. Illinois State Museum, Research and Collections Center, Springfield, IL ;
- Grün, R & Stringer, C. B. 1991. "Electron spin Resonance Dating and The Evolution of Modern Humans". *Archaeometry* 33 (2): 153–199 ;
- Grün, R., Brink, J.S., Spooner, N.A., Taylor, L., Stringer, C.B., Franciscus, R.G & Murray, A.S. 1996. "Direct dating of Florisbad hominid". *Nature* 382 (6591): 500–1. <https://doi.org/10.1038/382500a0> ;
- GTK CONSORTIUM. 2006. 2006. *Notícia Explicativa da Carta Hidrogeológica: FOLHA Nº 2134 / 2135*. Escala 1:250 000. Maputo: Direção Nacional de Geologia
- Guerreiro, M. V. 1965. Pinturas rupestres de Manica. *Geographica* 1 (2). Lisboa: Sociedade Geográfica de Lisboa ;
- Hamer, J.M.M., Sheldon, N.D., Nichols, G.J & Collinson, M.E., 2007b. "Late Oligocene–Early Miocene palaeosols of distal fluvial systems, Ebro Basin, Spain". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 247: 220–235. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.10.016>;
- Hartemink, A & Minasny, B. 2014. "Towards digital soil morphometrics". *Geoderma* 230-231: 205- 217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.03.008> ;
- Hassan, F. A. 1978. "Sediments in Archaeology: Methods and Implications for Paleoenvironmental and Cultural Analysis". *Journal of Field Archaeology*, 5,197-213;

Henshilwood, C. S., D’Errico, F., Marean, C.W., Milo, R.G & Yates, R. 2001. “An early bone tool industry from the Middle Stone Age at Blombos Cave, South Africa: implications for the origins of modern human behaviour, symbolism and language”. *Journal of Human Evolution* 41 (6): 631-678. <https://doi.org/10.1006/jhev.2001.0515> ;

IUSS Working Group WRB. 2022. *World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria;

Kusimba, S. B. 1999. “Hunter Gatherer Land Use Patterns In Later Stone Age East Africa”. *Journal of Anthropological Archaeology* 18: 165-200. <https://doi.org/10.1006/jaar.1998.0335> ;

LaMotta, V. M. & Schiffer, M. B. 2001. “Behavioural Archaeology: Toward a New Synthesis”. In I. Hodder (ed.) *Archaeological Theory Today*: 14–64. Cambridge: Polity Press ;

Lewis, D. W & McConchie, D. 1994a. *Analytical Sedimentology*. British Library Cataloguing, 2^a edição ;

Lewis, D. W & McConchie, D. 1994b. *Practical Sedimentology*. British Library Cataloguing, 2^a edição;

Li, Y.-H., 2000. *A Compendium of Geochemistry*. Princeton University Press, Princeton;

Lopes, M. E. 1974. “The Paleoclimatic Significance of Petrographic Composition of Olifants river Terraces Coarse Deposits in Massingir”. *Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique* 10 (B): 101-120 ;

López S, Dorp, L. V & Hellenthal, G. 2016. “Human Dispersal Out of Africa: A Lasting Debate”. *Evolutionary Bioinformatics* 11(2): 57-68. <https://www.researchgate.net/publication/301566568> ;

López, G, I. 2016. “Grain Size Analysis”. In: Gilbert, A. S (ed). *Encyclopedia of Geoarchaeology*: 341-348: Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-4409-0_18;

Lowe, C. Van-Riet. 1953. “Subsídios para a Pré-história de Moçambique”. In: *Moçambique: documentário trimestral* 9 (36): 5–12 ;

Maithel, S. A., Brand, L. L & Whitmore, J. H. 2019. “A Methodology For Disaggregation and Textural Analysis of Quartz-cemented Sandstones”. *Journal of Sedimentary Research* 89 (7): 599–609. <https://doi.org/10.2110/jsr.2019.35> ;

- Marck, G. H., James, C. W & Monger, H. C. 1993. "Classification of Paleossols". *GSA Bulletin* 105 (2): 129-136. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1993\)105%3C0129:COP%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1993)105%3C0129:COP%3E2.3.CO;2) ;
- Marques, J., Ferrara, M & Rebêlo, L. 2006. Levantamento Geológico: FOLHA N° 2134 / 2135. Escala 1:250 000. Maputo: Direção Nacional de Geologia;
- Marriott, S & Wright, V. 1993. "Palaeosols as indicators of geomorphic stability in two Old Red Sandstone alluvial suites, South Wales". *Journal of the Geological Society* 150 (6): 1109-1120. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.150.6.1109> ;
- Matthews M. D. 1991. "The effect of grain shape and density on size measurement". In: Syvitski, P. M. (Ed.), *Principles, Methods and Application of Particle Size Analysis*. 22-42. Cambridge: Cambridge University Press;
- Maynard, J.B., 1992. "Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols". *Journal of Geology* 100: 279–289. <https://doi.org/10.1086/629632> ;
- McDermott, F., Stringer, C., Verde, R., Williams, C. T., Din, C. T & Hawkesworth, C. J. "New Late-Pleistocene uranium–thorium and ESR dates for the Singa hominid (Sudan)". *Journal of Human Evolution* 31 (6): 507-516. <https://doi.org/10.1006/jhev.1996.0076> ;
- McDougall, I., Brown, F. H & Fleagle, J. G. 2008. "Sapropels and the age of hominins Omo I and II, Kibish, Ethiopia". *Journal of Human Evolution* 55 (3): 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2008.05.012> ;
- McGuire, R. H. 1995. "Behavioural Archaeology: Reflections of a Prodigal Son". In Skibo, J. M., Walker, W. H & Nielsen, A. E. (eds.) *Expanding Archaeology*: 162–177. Salt Lake City: University of Utah Press ;
- McLaren, P & Bowles, D. 1985. "The effects of sediment transport on grain-size distributions". *Journal of Sedimentary Research* 55 (4): 457–470. <https://doi.org/10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D> ;
- McWethy, D. B., Neumann, F. H., Steinbruch, F., Ryan, C. M & Valsecchi, V. 2016. "Late Quaternary vegetation development and disturbance dynamics from a peatland on Mount Gorongosa, central Mozambique". *Quaternary Science Reviews* 137: 221-133. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.02.004> ;
- Mehlman, M. 1987. "Proveniência, idade e associações de crânios arcaicos de *Homo sapiens* do Lago Eyasi, Tanzânia". *Journal of Archaeological Science* 14 (2): 133-162: [https://doi.org/10.1016/0305-4403\(87\)90003-3](https://doi.org/10.1016/0305-4403(87)90003-3) ;

- Mehlman, M.J. 1991. “Context for the emergence of modern man in Eastern Africa: some new Tanzanian evidence”. In: Clarck, J. D (ed). *Cultural Beginnings: Approaches to Understanding Early Hominid Life-Ways in the African Savanna*: 177-196: Bonn: R. Habelt ;
- Meneses, m. p. g. 2002. *Glossário de alguns conceitos e termos utilizados em arqueologia*. D.A.A/ U.E.M ;
- Meneses, M.P.G. 1988. “Idade da Pedra em Moçambique, os primórdios da sociedade humana: evidencias arqueológicas”. In: *Trabalhos de Arqueologia e Antropologia*. -Nº.5: 3–25 ;
- Meneses, M.P.G. 1999. *New Methodological Approaches to the Study of the Acheulean from Southern Mozambique*. The State University of New Jersey ;
- Mercader, J., Asmerom, Y., Bennett, T., Raja, M & Skinner, A. 2009. “Initial excavation and dating of Ngalue cave: A Middle Stone Age site along the Niassa Rift, Mozambique”. *Journal of Human Evolution* 57(1):63-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2009.03.005> ;
- Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (MICOA). 2012. *Perfil Ambiental e Mapeamento do uso Actual da Terra nos Distritos da Zona Costeira de Moçambique*. Impacto: Maputo;
- Mitchell, P. 1988. “The Late Pleistocene Early Microlithic Assemblage of Southern Africa”. *World Archaeology* 20 (1): 27-39. <https://www.jstor.org/stable/124523> ;
- Morais, J. M. 1984. Mozambican Archaeology: Past and Present. *The African Archaeological Review* 2: 113–128. <https://www.jstor.org/stable/25130440> ;
- Morais, J. M. 1988. *The Early Farming Communities of Southern Mozambique*. Lisboa;
- Muchangos, A. dos. 1999. *Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais*. Edição: do Autor. Disonível em: https://www.academia.edu/36964927/MOCAMBIQUE_PAISAGENS_E_REGIOES_NATUR AIS ;
- Murray, R. W., & Leinen, M. 1996a. “Scavenged excess aluminum and its relationship to bulk titanium in biogenic sediment from the central equatorial Pacific Ocean”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 60 (20): 3869-3878. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(96\)00236-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(96)00236-0);
- Murray, R. W., & Leinen, M. 1996b. “Geochemistry of Marine Sediments”. In: *Marine Geochemistry*. Springer;

- Nesbitt, H. W & Young, G. M. 1982. “Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites”. *Nature* 229: 715-717. <http://dx.doi.org/10.1038/299715a0> ;
- Nesbitt, H. W & Young, G. M. 1984. “Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations”. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48 (7): 1523-1534. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90408-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3)
- ;Phillips, S. C., Johnson, J. E., Miranda, E & Disenhof, C. 2011. “Improving CHN measurements in carbonate-rich marine sediments”. *Limnology and Oceanography* 9: 194-203. <http://dx.doi.org/10.4319/lom.2011.9.194> ;
- Oliveira, O.R. 1964. “Pinturas rupestres do monte Chinhamapere, contraforte da Serra Vumba, em Vila de Manica (Moçambique)”. *Associação dos Arqueólogos Portugueses* ;
- Orr, T. J & Roberts, E. M. 2024. “A review and field guide for the standardized description and sampling of paleosols”. *Earth-Science Reviews* 253: 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104788>.
- Partridge, T. C. 1993. “Warming phases in Southern Africa during the last 150,000 years: an overview”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 110 (3-4): 237-244. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(93\)90016-C](https://doi.org/10.1016/0031-0182(93)90016-C) ;
- Partridge, T. C., Avery, D. M., Botha, G. A., Brink, J. S., Deacon, J., Herbert, R. S., Maud, R. R., Scholtz, A., Scott, L., Talma, A. S & Vogel, J. C. 1990. “Late Pleistocene and Holocene Climatic Change in Southern Africa”. *South African Journal of Science* 86: 302-306;
- Puecha, E., Urregoa, D. H., Goñia, M.F.S., Backwelle, L & D’erricoce, F. 2017. “Vegetation and environmental changes at the Middle Stone Age site of Wonderkrater, Limpopo, South Africa”. *Quaternary Research*: 1-14. <https://hal.science/hal-03463223> ;
- Quick, L. J., Carr, A. S., Meadows, M. E., Boom, B., Bateman, M. D., Roberts, D. L., Reimer, P. J & Chase, B. M. 2015. “A late Pleistocene–Holocene multi-proxy record of palaeoenvironmental change from Still Bay, southern Cape Coast, South Africa”. *Journal of Quaternary Science* 30 (8): 870: 885. <https://doi.org/10.1002/jqs.2825> ;
- Raja, M. I M. 2020. “A Geoarqueologia da Jazida da Idade da Pedra Superior de Txina-Txina, Massingir, Moçambique”. Tese de Doutoramento. Faro: Universidade do Algarve/ Faculdade de Ciência Humanas e Sociais ;

- Rapp, G. Jr & Hill, C. L. 1998. “Theoretical and Historical Overview”. In: *Geoarchaeology: The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation*: 1–17. London: Yale University Press;
- Rapp, Jr., G. R & Hill, C.L. 2006. *Geoarchaeology: the Earth Science approach to archaeological interpretation*, 2nd edition. New Haven: Yale University Press ;
- Reyes-Centeno, H., Hubbe, M., Hanihara., Stringer, C & Harvati, K. 2015. “Testing modern human out-of-Africa dispersal models and implications for modern human origins”. *Journal of Human Evolution* 87: 95-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhevol.2015.06.008> ;
- Richter, D., Grün, R., Joannes-Boyau, R., Steele, T. E., Amani, F., Rué, M., Fernandes, P., Raynal, J. P., Geraads, D., Ben-Ncer, A., Hublin. J. J. 2017. “The age of the hominin fossils from Jebel Irhoud, Morocco, and the origins of the Middle Stone Age”. *Springer Nature* 546: 293–310. <https://doi:10.1038/nature22335> ;
- Rito, T., Vieira, D., Silva, M., Conde-Souza, E., Pereira, L., Mellars, P., Richards, M. B & Soares, P. 2019. “A dispersal of Homo sapiens from southern to eastern Africa immediately preceded the out-ofAfrica migration”. *Scientific Reports* 9 (4728): 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41176-3> ;
- Rodrigues, M. C. 1998. “Os primórdios da investigação arqueológica em Moçambique e o prof. Santos Júnior”. *Niva Série* 15 (20): 265–278 ;
- Santos Júnior, J. R. 1940. “Pré-História de Moçambique.” In: *Congresso do Mundo Português IX*. Lisboa: Instituto de Antropologia da Universidade do Porto ;
- Santos Júnior, J. R. dos. 1937. “Contribuição para estudo da Idade da Pedra em Moçambique: A estação lítica de Marissa (Tete)”. *Lourenço Marques* 12: 93–103.
- Schiffer, M. B. 1972. “Archaeological Context and Systemic Context”. *American Antiquity* 37 (2): 156–165 ;
- Schiffer, M. B. 1975. “Archaeology as behavioural science”. *American Anthropologist* 77: 836–848 ;
- Scott, L & Thackeray, J. F. 1987. “Multivariate analysis of Late Pleistocene and Holocene pollen spectra from Wonderkrater, Transvaal, South Africa”. *South African Journal of Science* 83: 93–98.

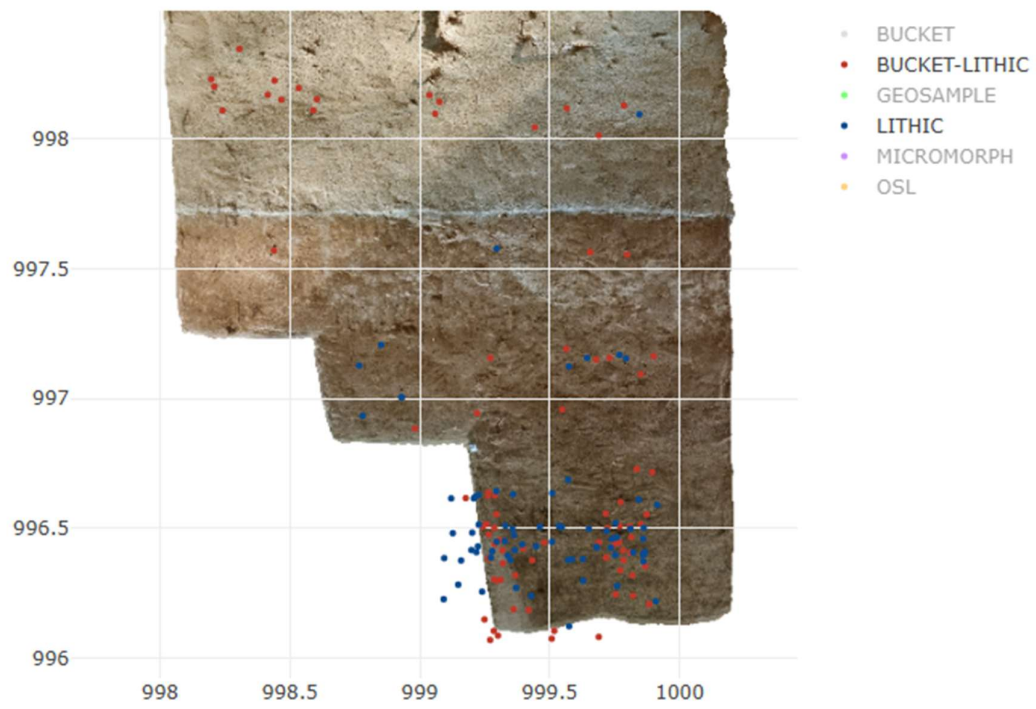
- Scott, L. 1999. “Vegetation history and climate in the Savanna biome South Africa since 190,000 ka: a comparison of pollen data from the Tswaing Crater (the Pretoria Saltpan) and Wonderkrater”. *Quaternary International* 57–58: 215–223. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(98\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(98)00062-7) ;
- Senna-Martinez, J. C. 1975. *Algumas Notas para o Estudo das Populações do litoral da África Sul-Oriental à Chegada dos Portugueses*. Maputo. Universidade Eduardo Mondlane. Papers do Seminário de História de Moçambique Colonial ;
- Sheldon, N. D. 2006. “Precambrian paleosols and atmospheric CO₂ levels”. *Precambrian Research* 147 (2): 148-155 ;
- Sheldon, N. D., Retallack, G. J & Takana, S. 2002. “Geochemical Climofunctions from North American Soils and Application to Paleosols across the Eocene-Oligocene Boundary in Oregon”. *The Journal of Geology* 119 (6): 687-696. <http://dx.doi.org/10.1086/342865> ;
- Sheldon, N.D & Tabor, N.J., 2009. “Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols”. *Earth-Science Reviews* 95 (2):1-52. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.03.004> ;
- Shinde, P. P., Oza, K. O & Kamat, R. K. 2017. “Big data Analysis: Using R Analytical Toll”. *International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)*: 839-842. <https://doi.org/10.1109/I-SMAC.2017.8058297> ;
- Simões, M. 1951. “A Pré-história de Moçambique”. *Boletim da Sociedade de Estudos da Colónia de Moçambique*, 68:115–152 ;
- Singer, R & Wymer, J. 1982. *The Middle Stone Age at Klasies River Mouth in South Africa*. Chicago: University of Chicago Press;
- Smykatz-Kloss, W., Smykatz-Kloss, B., Naguib, N & Zöller, L. 2004. “The reconstruction of palaeoclimatological changes from mineralogical and geochemical compositions of loess and alluvial loess profiles”. *Werner Smykatz-Kloss and Peter Felix-Henningsen (Eds.): LNES 102*: 101–118. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-540-44930-0_7.pdf ;
- Sperazza, M., Moore, J. N & Hendrix, M. S 2004. “High-Resolution Particle Size Analysis of Naturally Occurring Very Fine-Grained Sediment Through Laser Diffractometry”. *Journal of Sedimentary Research* 74 (5): 736–743. <https://doi.org/10.1306/031104740736> ;
- Truc, L., Chevalier, M., Favier, C., Cheddadi, R., Meadows, M.E., Scott, L. & Chase, B.M. 2013 “Quantification of climate change for the last 20, 000 years from Wonderkrater, South

- Africa: Implications for the long-term dynamics of the Intertropical Convergence Zone”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 386: 575–587. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.06.024> ;
- Udden, J. A. 1914. “Mechanical composition of clastic sediments”. *Bulletin of the Geological Society of America* 25: 655–744 ;
- Újvári, G., Varga, A., Raucsik, B & Kovács. J. 2014. “The Paks loess-paleosol sequence: A record of chemical weathering and provenance for the last 800 ka in the mid-Carpathian Basin”. *Quaternary International* 319: 22-37. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.04.004> ;
- University of Idaho. 2025. *Alfisols*. Disponível em: <https://www.uidaho.edu/cals/soil-orders/alfisols> ;
- USDA – United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2024. *What is a soil?* Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/resources/education-and-teaching-materials/what-is-soil>
- USDA – United States Departments of Agriculture. 1999. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Second Edition;
- USDA – United States Departments of Agriculture. 2005. *Global Soil Region*. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/12/USDA_soil_taxonomy_global_map.png ;
- Wadley, L., 1997. “Rose Cottage Cave: archaeological work 1987 to 1997”. *South African Journal of Science* 93: 439-444;
- Wang, C., Hong, H., Abels, H. A., Li, Z., Cao, K., Yin, K., Song, B., Xu, Y., Ji, J & Zhang, K. 2016. “Early middle Miocene tectonic uplift of the northwestern part of the Qinghai–Tibetan Plateau evidenced by geochemical and mineralogical records in the western Tarim Basin”. *International Journal of Earth Sciences* 105:1021–1037. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-015-1212-0> ;
- Waters, M.R. 1992. *Principles of Geoarchaeology: A North American Perspective*. The University of Arizona Press ;
- Wentworth, C. K. 1922. “A scale of grade and class terms for clastic sediments”. *Journal of Geology* 30: 377–392 ;

- White, T., Asfaw, B., DeGust, D., Gilbert, H., Richards, G.D., Suwa, G., Howell, F.C., 2003. "Pleistocene Homo sapiens from middle awash, Ethiopia". *Nature* 423: 742–747. <http://dx.doi.org/10.1038/nature01669> ;
- Willoughby, P. 2012. "The Middle and Later Stone Age in the Iringa Region of southern Tanzania". *Quaternary International* 270: 103-118. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.02.021> ;
- Wilson, C., Davidson, D & Cresser, M. S. 2008. "Multi-element soil analysis: an assessment of its potential as an aid to archaeological interpretation". *Journal of Archaeological Science Volume 35, Issue 2*: 412-424. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.04.006> ;
- Wittkop, C., Bartley, J. K., Krueger, R., Bouvier, A., Georg, R. B., Knaeble, A. R., Clair, K. St. Piper, C & Breckenridge, A. 2020. "Influence of provenance and transport process on the geochemistry and radiogenic (Hf, Nd, and Sr) isotopic composition of Pleistocene glacial sediments, Minnesota, USA". *Chemical Geology* 532: 119390. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119390>;
- Zhao, J., Jin, Z., Jin, Z., Wen, X & Geng, Y. 2017. "Origin of authigenic quartz in organic-rich shales of the Wufeng and Longmaxi Formations in the Sichuan Basin, South China: Implications for pore evolution". *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 38: 21-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.11.037> ;
- Ziegler, M., Simon, M. H., Hall, I. R., Barker, S. Stringer, C & Zahn, R. 2013. "Development of Middle Stone Age innovation linked to rapid climate change". *Nature Communications* 4 (1905): 1-9. <https://doi.org/10.1038/ncomms2897> ;

APÊNDICES

APÊNDICE A. Ilustração da distribuição espacial dos materiais líticos da sondagem A4
(Imagem cedida por Li).



APÊNDICE B. Tabela de dados usados para calcular o número dos líticos por cada 10 cm de profundidade.

CODE	Count	Interval	Z_min	Z_max
LITHIC-BUCKET	1	[998.3,998.4)	998,278	998,378
LITHIC-BUCKET	4	[998.2,998.3)	998,183	998,276
LITHIC	1	[998.1,998.2)	998,081	998,178
LITHIC-BUCKET	10	[998.1,998.2)	998,081	998,178
LITHIC-BUCKET	2	[998,998.1)	997,982	998,077
LITHIC	1	[997.5,997.6)	997,478	997,577
LITHIC-BUCKET	3	[997.5,997.6)	997,478	997,577
LITHIC	1	[997.2,997.3)	997,186	997,272
LITHIC-BUCKET	1	[997.2,997.3)	997,186	997,272
LITHIC	5	[997.1,997.2)	997,079	997,173
LITHIC-BUCKET	5	[997.1,997.2)	997,079	997,173
LITHIC	2	[997,997.1)	996,979	997,076
LITHIC	1	[996.9,997)	996,879	996,975
LITHIC-BUCKET	3	[996.9,997)	996,879	996,975
LITHIC	1	[996.7,996.8)	996,688	996,767
LITHIC-BUCKET	2	[996.7,996.8)	996,688	996,767
LITHIC	9	[996.6,996.7)	996,58	996,661
LITHIC-BUCKET	5	[996.6,996.7)	996,58	996,661
LITHIC	13	[996.5,996.6)	996,482	996,573
LITHIC-BUCKET	10	[996.5,996.6)	996,482	996,573
LITHIC	29	[996.4,996.5)	996,379	996,477
LITHIC-BUCKET	14	[996.4,996.5)	996,379	996,477
LITHIC	5	[996.3,996.4)	996,279	996,378
LITHIC-BUCKET	10	[996.3,996.4)	996,279	996,378
LITHIC	5	[996.2,996.3)	996,186	996,275
LITHIC-BUCKET	5	[996.2,996.3)	996,186	996,275
LITHIC	1	[996.1,996.2)	996,083	996,171
LITHIC-BUCKET	5	[996.1,996.2)	996,083	996,171
LITHIC-BUCKET	2	less than 996.1	996,051	996,077

APÊNDICE C. Código para calcular o número de líticos por cada 10 cm de profundidade.

```
library(tidyverse)
a4 = read.csv("/Users/lili_faro/Library/CloudStorage/Dropbox/Moz2023/Analysis/A4.csv")
a4 = a4 %>%
  mutate(Interval = cut(Z, breaks = seq(min(Z, na.rm = TRUE), max(Z, na.rm = TRUE),
length.out = 11),
      labels = 10:1, include.lowest = TRUE)
  )
interval_ranges <- a4 %>%
  group_by(Interval) %>%
  summarise(
    Z_min = min(Z, na.rm = TRUE),
    Z_max = max(Z, na.rm = TRUE),
    .groups = "drop"
  )
summary_table <- a4 %>%
  filter(CODE %in% c("LITHIC", "LITHIC-BUCKET")) %>%
  group_by(Interval, CODE) %>%
  summarise(Count = n(), .groups = "drop") %>%
  left_join(interval_ranges, by = "Interval") # Add Z range to summary table
summary_table <- summary_table %>%
  mutate(
    Z_min = format(Z_min, digits = 3, nsmall = 3),
    Z_max = format(Z_max, digits = 3, nsmall = 3)
  )

# Print summary table
print(summary_table, row.names = FALSE)
# Print summary table
print(summary_table)
```

APÊNDICE D. Tabela dos resultados de granulometria efetuados no software GRADSTAT V 8.0 (Blott 2010).

ANALYST AND DATE:	A4-Surf,	A4-01,	A4-02,	A4-03,	A4-04,	A4-05,	A4-06,	A4-07,	A4-08,	A4-09b,	A4-10b,	A4-11,	A4-12,	A4-13,	A4-14,	A4-15,	A4-16,	A4-17b,	A4-18,	A4-19,	A4-20,	A4-21,	A4-22,	A4-23b,	A4-24,	
SIEVING ERROR:																										
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Trimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Bimodal, Very Poorly Sorted	Bimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Trimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Bimodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Trimodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Bimodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Trimodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	Polymodal, Very Poorly Sorted	
TEXTURAL GROUP:	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand
METH OD OF MOME NTS Arithme tic (mm)	MEAN $(\bar{x}_a):$	332,0	464,0	357,7	345,2	315,0	342,4	331,1	452,3	314,9	357,0	574,5	279,6	157,1	347,2	250,6	250,4	297,9	259,5	355,1	170,2	341,7	338,6	441,8	326,7	249,6
	SORTING $(\sigma_a):$	290,2	504,1	318,5	336,9	296,9	316,8	301,2	492,5	348,7	191,6	617,1	255,3	156,8	289,2	241,1	246,5	265,4	357,3	441,9	187,4	414,2	339,4	540,4	330,9	252,6
	SKEWNESS $(K_a):$	1,485	2,083	1,278	1,493	1,594	1,428	1,816	2,369	2,680	0,053	1,729	1,019	1,189	0,998	1,394	1,271	1,276	2,708	2,875	1,534	2,812	2,093	2,199	1,808	1,368
	KURTOSIS	6,828	8,379	4,848	5,898	6,895	6,377	9,240	10,25	14,83	2,614	6,121	3,603	3,706	3,584	4,988	4,211	4,477	14,48	13,70	5,402	13,84	9,802	8,390	7,913	4,622
METH OD OF MOME NTS Geomet ric (mm)	MEAN $(\bar{x}_g):$	180,6	227,4	181,8	162,0	156,2	152,3	175,1	213,5	138,4	252,1	239,2	124,9	73,61	194,2	125,6	117,6	169,9	65,15	141,5	63,16	171,7	194,4	204,3	164,0	108,8
	SORTING $(\sigma_g):$	4,280	4,447	4,755	5,019	4,813	5,811	4,512	5,020	5,432	3,307	5,936	5,486	4,590	4,068	4,394	4,735	3,699	8,137	5,960	6,156	3,784	3,365	4,195	4,282	5,270
	SKEWNESS $(K_g):$	-1,491	-1,215	-1,439	-1,240	-1,378	-1,337	-1,564	-1,426	-1,238	-2,556	-1,301	-1,140	-0,869	-1,459	-1,094	-1,002	-1,218	-0,403	-1,121	-0,823	-0,642	-0,827	-0,701	-1,054	-0,984
	KURTOSIS $(K_g):$	5,141	4,727	4,737	4,152	4,557	4,056	5,465	5,074	4,115	9,979	4,384	3,398	3,090	5,150	3,834	3,433	4,660	1,860	3,527	2,733	3,329	3,811	3,544	3,864	3,164
METH OD OF MOME NTS Logarit mic (f)	MEAN $(M_G):$	2,469	2,137	2,460	2,626	2,678	2,715	2,514	2,228	2,853	1,988	2,064	3,001	3,764	2,364	2,993	3,088	2,558	3,940	2,821	3,985	2,542	2,363	2,292	2,608	3,200
	SORTING $(\sigma_G):$	2,098	2,153	2,249	2,328	2,267	2,539	2,174	2,328	2,441	1,726	2,570	2,456	2,198	2,024	2,136	2,243	1,887	3,024	2,575	2,622	1,920	1,751	2,069	2,098	2,398
	SKEWNESS	1,491	1,215	1,439	1,240	1,378	1,337	1,564	1,426	1,238	2,556	1,301	1,140	0,869	1,459	1,094	1,002	1,218	0,403	1,121	0,823	0,642	0,827	0,701	1,054	0,984
	KURTOSIS	5,141	4,727	4,737	4,152	4,557	4,056	5,465	5,074	4,115	9,979	4,384	3,398	3,090	5,150	3,834	3,433	4,660	1,860	3,527	2,733	3,329	3,811	3,544	3,864	3,164
FOLK AND WARD METH OD (mm)	MEAN	210,0	258,9	211,8	183,9	185,1	160,2	208,4	244,0	148,1	320,7	270,3	126,5	77,12	218,7	137,6	124,7	187,5	67,98	129,8	61,59	178,7	206,3	220,1	184,6	109,3
	SORTING	3,790	4,130	4,239	4,671	4,270	5,480	3,898	4,427	5,092	2,409	5,481	5,441	4,679	3,716	4,227	4,691	3,433	8,148	6,134	6,396	3,679	3,223	4,060	4,089	5,411
	$(K_G):$	-0,396	-0,290	-0,429	-0,395	-0,383	-0,526	-0,395	-0,399	-0,444	-0,457	-0,402	-0,508	-0,299	-0,411	-0,362	-0,359	-0,302	-0,361	-0,458	-0,410	-0,200	-0,208	-0,146	-0,305	-0,413

		SKEWNESS																								
		KURTOSIS																								
FOLK AND WARD METH OD (f)	MEAN (M_z) : (σ_I) :	2,252	1,950	2,239	2,443	2,434	2,642	2,262	2,035	2,756	1,641	1,887	2,983	3,697	2,193	2,861	3,003	2,415	3,879	2,946	4,021	2,485	2,277	2,184	2,438	3,193
	SORTING (Sk_I) : (K_G) :	1,922	2,046	2,084	2,224	2,094	2,454	1,963	2,146	2,348	1,268	2,455	2,444	2,226	1,894	2,080	2,230	1,779	3,027	2,617	2,677	1,879	1,688	2,021	2,032	2,436
	SKEWNESS	0,396	0,290	0,429	0,395	0,383	0,526	0,395	0,399	0,444	0,457	0,402	0,508	0,299	0,411	0,362	0,359	0,302	0,361	0,458	0,410	0,200	0,208	0,146	0,305	0,413
	KURTOSIS	1,402	1,254	1,396	1,242	1,416	1,357	1,439	1,492	1,316	2,261	1,364	1,152	1,045	1,253	1,135	1,089	1,128	0,655	1,608	0,899	1,002	0,994	1,033	1,150	1,118
	MEAN:	Fine Sand	Mediu m Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Mediu m Sand	Mediu m Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Fine Sand	Very Coarse Silt	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Very Leptok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Mesok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic	Mesok urtic	Leptok urtic	Very Platyk urtic	Very Leptok urtic	Platyk urtic	Mesok urtic	Mesok urtic	Mesok urtic	Leptok urtic	Leptok urtic
MODE 1 (mm):	427,0	427,0	427,0	427,0	331,0	427,0	427,0	427,0	331,0	427,0	551,0	427,0	104,6	427,0	331,0	153,5	331,0	427,0	256,0	198,5	331,0	376,0	331,0	427,0	198,5	
MODE 2 (mm):		153,5		104,6	256,0				256,0			5,565	153,5		256,0	104,6	256,0	5,565	331,0	153,5	256,0	256,0	256,0	256,0	153,5	
MODE 3 (mm):		104,6							15,45				5,565		104,6	19,95		15,45	4,305	104,6	153,5	153,5	153,5	153,5	6,320	
MODE 1 (f):	1,231	1,231	1,231	1,231	1,598	1,231	1,231	1,231	1,598	1,231	0,863	1,231	3,260	1,231	1,598	2,706	1,598	1,231	1,969	2,336	1,598	1,414	1,598	1,231	2,336	
MODE 2 (f):		2,706		3,260	1,969				1,969			7,492	2,706		1,969	3,260	1,969	7,492	1,598	2,706	1,969	1,969	1,969	1,969	2,706	
MODE 3 (f):		3,260							6,019				7,492		3,260	5,650		6,019	7,863	3,260	2,706	2,706	2,706	2,706	7,309	
D ₁₀ (mm):	21,23	36,28	15,94	13,42	12,35	8,021	20,95	21,14	9,494	59,55	15,37	6,504	6,319	29,67	13,94	10,31	29,31	3,161	5,602	3,489	27,82	38,98	32,91	20,99	6,769	
D ₅₀ (mm):	262,5	304,9	280,9	247,3	232,8	272,2	257,6	323,4	222,8	354,5	382,7	220,3	98,51	283,6	180,6	170,3	223,4	123,0	228,4	106,6	207,9	234,2	241,4	221,3	170,4	
D ₉₀ (mm):	726,0	1094,5	799,2	814,4	722,2	767,9	722,2	981,6	711,1	610,8	1415,9	646,3	398,4	759,3	588,5	613,1	676,3	678,0	794,8	438,8	785,5	773,1	1143,8	772,0	616,8	
(D ₉₀ / D ₁₀) (mm):	34,20	30,17	50,15	60,71	58,49	95,74	34,48	46,44	74,90	10,26	92,09	99,37	63,05	25,59	42,22	59,44	23,07	214,5	141,9	125,8	28,23	19,83	34,75	36,78	91,12	
(D ₉₀ - D ₁₀) (mm):	704,8	1058,2	783,3	801,0	709,9	759,9	701,2	960,4	701,6	551,2	1400,5	639,8	392,0	729,7	574,6	602,8	647,0	674,8	789,2	435,3	757,7	734,1	1110,8	751,1	610,0	
(D ₇₅ / D ₂₅) (mm):	4,241	5,461	4,765	6,054	4,769	5,732	4,345	4,654	5,793	2,013	6,223	7,009	7,122	4,656	5,978	6,867	4,714	44,19	4,632	13,03	5,854	4,959	6,524	5,877	7,320	
(D ₇₅ - D ₂₅) (mm):	365,4	510,4	410,9	424,9	357,9	419,0	363,8	459,6	358,1	243,0	662,9	367,3	210,6	401,3	306,4	323,0	340,3	384,8	344,6	235,2	371,4	377,0	481,2	394,5	319,3	
D ₁₀ (f):	0,462	-0,130	0,323	0,296	0,470	0,381	0,470	0,027	0,492	0,711	-0,502	0,630	1,328	0,397	0,765	0,706	0,564	0,561	0,331	1,188	0,348	0,371	-0,194	0,373	0,697	
D ₅₀ (f):	1,930	1,714	1,832	2,016	2,103	1,877	1,957	1,629	2,166	1,496	1,386	2,182	3,344	1,818	2,469	2,554	2,162	3,023	2,130	3,230	2,266	2,094	2,051	2,176	2,553	
D ₉₀ (f):	5,558	4,785	5,971	6,220	6,340	6,962	5,577	5,564	6,719	4,070	6,023	7,264	7,306	5,075	6,165	6,599	5,092	8,305	7,480	8,163	5,168	4,681	4,925	5,574	7,207	
(D ₉₀ / D ₁₀) (f):	12,03	36,732	18,47	21,00	13,50	18,27	11,88	207,4	13,66	5,722	12,006	11,53	5,502	12,78	8,061	9,349	9,025	14,81	22,58	6,869	14,84	12,61	25,418	14,93	10,34	
(D ₉₀ - D ₁₀) (f):	5,096	4,915	5,648	5,924	5,870	6,581	5,108	5,537	6,227	3,359	6,525	6,635	5,978	4,678	5,400	5,893	4,528	7,745	7,149	6,975	4,819	4,310	5,119	5,201	6,510	
(D ₇₅ / D ₂₅) (f):	2,958	4,610	3,388	3,667	2,972	3,574	2,960	3,872	3,098	1,961	8,748	3,298	2,396	3,291	2,788	2,981	2,847	5,064	2,864	2,877	3,200	3,134	4,319	3,381	3,001	
(D ₇₅ - D ₂₅) (f):	2,084	2,449	2,253	2,598	2,254	2,519	2,119	2,218	2,534	1,009	2,638	2,809	2,832	2,219	2,580	2,780	2,237	5,466	2,211	3,703	2,550	2,310	2,706	2,555	2,872	
% GRAVEL:	0,1%	2,2%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	2,4%	0,6%	0,0%	4,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	1,7%	0,0%	1,3%	0,4%	2,9%	0,2%	0,0%	
% SAND:	83,3%	82,8%	82,3%	79,1%	81,3%	77,9%	83,2%	81,1%	76,4%	89,7%	77,7%	74,8%	62,5%	83,1%	74,8%	73,1%	81,7%	56,7%	77,6%	61,9%	77,5%	83,0%	78,6%	79,4%	72,5%	
% MUD:	16,6%	15,0%	17,7%	20,8%	18,6%	22,0%	16,6%	16,5%	23,0%	10,3%	17,8%	25,2%	37,5%	16,9%	25,2%	26,9%	18,3%	42,7%	20,7%	38,1%	21,2%	16,6%	18,6%	20,4%	27,5%	
% V COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
% COARSE GRAVEL:	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	

APÊNDICE E. Tabela de classificação dos elementos químicos das amostras da Sondagem A4: dados de concentração dos compostos principais do solo em peso percentual.

Analyte Symbol	SiO2	Al2O3	Fe2O3(T)	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	LOI	Total
Unit Symbol	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Detection Limit	0,01	0,01	0,01	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,001	0,01		0,01
Analysis Method	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	GRAV	FUS-ICP
A4-SURF	93,7	2,15	1,46	0,026	0,08	0,07	0,14	0,76	0,186	< 0,01	1,08	99,64
A4-01	92,86	2,55	1,96	0,023	0,1	0,07	0,15	0,88	0,218	< 0,01	1,08	99,9
A4-02	92,84	2,52	1,57	0,016	0,09	0,06	0,15	0,83	0,22	< 0,01	1,1	99,4
A4-03	93,91	2,55	1,57	0,016	0,09	0,06	0,14	0,88	0,239	< 0,01	0,97	100,4
A4-04	92,5	2,41	1,8	0,018	0,08	0,06	0,15	0,89	0,243	< 0,01	0,78	98,93
A4-05	92,69	2,93	1,72	0,017	0,12	0,06	0,17	0,97	0,271	< 0,01	1,12	100,1
A4-06	92,29	3,13	1,7	0,016	0,14	0,05	0,14	0,94	0,273	< 0,01	1,45	100,1
A4-07	91,26	3,19	2,09	0,018	0,15	0,05	0,13	0,86	0,261	< 0,01	1,53	99,53
A4-08	91,58	3,18	1,69	0,015	0,15	0,05	0,13	0,82	0,241	< 0,01	1,64	99,49
A4-09B	91,83	3,37	1,94	0,017	0,16	0,05	0,14	0,91	0,274	< 0,01	1,58	100,3
A4-10B	91,45	3,41	1,64	0,015	0,16	0,05	0,15	0,84	0,252	< 0,01	1,83	99,8
A4-11	86,18	5,18	2,73	0,02	0,31	0,05	0,18	0,78	0,293	< 0,01	4,02	99,74
A4-12	79,67	4,86	2,18	0,014	0,29	0,06	0,2	0,79	0,278	< 0,01	4,26	99,06
A4-13	87,97	4,77	2,26	0,019	0,28	0,07	0,22	0,84	0,295	< 0,01	3,65	100,4
A4-14	84,73	5,8	3,3	0,025	0,35	0,08	0,26	0,95	0,326	< 0,01	4,25	100,1
A4-15	84,72	5,84	2,82	0,019	0,35	0,09	0,28	0,98	0,32	< 0,01	4,21	99,63
A4-16	85,95	5,7	3,12	0,024	0,37	0,1	0,31	0,9	0,316	< 0,01	3,98	100,8
A4-17B	83,9	5,93	3,75	0,089	0,45	0,13	0,36	0,94	0,331	< 0,01	4,6	100,5
A4-18	85,97	5,84	2,33	0,058	0,52	0,14	0,36	0,94	0,345	< 0,01	3,78	100,3
A4-19	86,48	5,92	2,18	0,076	0,54	0,16	0,36	0,98	0,357	< 0,01	3,47	100,5
A4-20	86,16	5,93	2,14	0,073	0,52	0,18	0,36	0,96	0,358	< 0,01	3,55	100,3
A4-21	85,48	6,02	2,65	0,069	0,54	0,16	0,37	0,97	0,35	< 0,01	3,71	100,3
A2-22	85,82	5,94	2,72	0,079	0,58	0,18	0,37	0,95	0,352	< 0,01	3,5	100,5
A2-23A	85,23	6,04	2,72	0,081	0,55	0,19	0,38	1	0,363	< 0,01	3,92	100,5
A2-23B	82,64	5,98	2,94	0,093	0,55	0,18	0,42	0,99	0,366	0,01	3,98	98,15
A2-24	83,84	5,97	3,37	0,07	0,52	0,16	0,4	0,9	0,354	< 0,01	4,07	99,65

APÊNDICE F. Tabela de classificação dos elementos químicos das amostras da Sondagem A4: dados de concentração dos compostos principais do solo em ppm.

Analyte Symbol	Sc	Be	V	Ba	Sr	Y	Zr	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Rb	Nb	Mo	Ag	In
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	1	5	2	2	1	2	20	1	20	10	30	1	1	5	2	1	2	0,5	0,2
Analysis Method	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-ICP	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
A4-SURF	< 1	< 1	14	197	17	3	103	90	3	< 20	< 10	< 30	3	< 1	< 5	27	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-01	1	< 1	16	218	19	2	125	120	4	< 20	< 10	< 30	3	< 1	< 5	33	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-02	1	< 1	16	210	17	4	128	110	3	< 20	< 10	< 30	3	< 1	< 5	31	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-03	1	< 1	17	222	18	3	151	110	3	< 20	< 10	< 30	3	< 1	< 5	31	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-04	1	< 1	16	222	18	3	130	100	3	< 20	< 10	< 30	3	< 1	< 5	31	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-05	1	< 1	20	243	19	3	158	110	3	< 20	< 10	< 30	3	< 1	< 5	34	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-06	1	< 1	19	241	18	4	149	130	3	< 20	< 10	30	4	< 1	< 5	35	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-07	2	< 1	19	222	17	3	135	130	3	< 20	< 10	< 30	4	< 1	< 5	34	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-08	2	< 1	20	219	16	3	122	290	3	< 20	< 10	< 30	4	< 1	< 5	32	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-09B	2	< 1	20	240	18	3	150	130	3	< 20	< 10	< 30	4	< 1	< 5	36	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-10B	2	< 1	21	209	17	4	143	110	3	< 20	< 10	< 30	4	< 1	< 5	34	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-11	3	< 1	29	186	17	4	141	130	5	20	10	< 30	6	< 1	< 5	41	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-12	3	< 1	28	182	17	4	128	110	5	20	< 10	< 30	5	< 1	< 5	39	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-13	3	< 1	27	365	20	4	149	130	5	20	< 10	< 30	5	< 1	< 5	40	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-14	3	< 1	33	408	23	4	135	140	6	30	10	< 30	6	< 1	< 5	45	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-15	3	< 1	32	427	24	4	146	140	6	20	10	< 30	7	< 1	< 5	49	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-16	3	< 1	32	394	25	6	145	160	6	30	10	< 30	7	< 1	< 5	43	4	2	< 0.5	< 0.2
A4-17B	3	1	33	433	28	14	150	150	23	40	20	< 30	7	< 1	< 5	46	3	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-18	3	< 1	32	423	29	17	164	150	13	50	30	< 30	7	< 1	< 5	46	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-19	3	< 1	35	413	30	12	170	150	15	50	10	< 30	6	< 1	< 5	49	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-20	4	< 1	33	437	31	11	167	140	16	50	10	< 30	7	< 1	< 5	49	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A4-21	3	< 1	34	549	32	10	165	150	15	50	10	< 30	6	< 1	< 5	49	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A2-22	4	< 1	34	436	29	10	175	160	16	130	10	< 30	6	< 1	< 5	47	4	< 2	< 0.5	< 0.2
A2-23B	4	< 1	39	487	31	11	177	160	18	50	10	< 30	7	< 1	< 5	51	5	< 2	< 0.5	< 0.2
A2-24	4	< 1	39	857	35	9	173	150	14	50	10	< 30	7	< 1	< 5	49	5	< 2	< 0.5	< 0.2

Analyte Symbol	Sn	Sb	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	1	0,5	0,5	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,01	0,2	0,1	1	0,1	5
Analysis Method	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
A4-SURF	< 1	< 0.5	0,5	8,6	15,2	1,57	5,5	0,9	0,12	0,7	0,1	0,6	0,1	0,3	0,05	0,3	0,05	2,6	0,2	< 1	0,1	< 5
A4-01	1	< 0.5	0,6	6,3	10,5	1,11	3,5	0,7	0,14	0,5	< 0.1	0,6	0,1	0,3	0,06	0,3	0,05	3,2	0,2	< 1	0,2	6
A4-02	< 1	< 0.5	0,8	9,6	17,4	1,77	5,9	1	0,15	0,9	0,1	0,8	0,2	0,5	0,08	0,5	0,07	3,3	0,2	12	0,2	6
A4-03	< 1	< 0.5	0,6	7,1	12,4	1,27	4,6	0,8	0,14	0,6	0,1	0,6	0,1	0,4	0,06	0,4	0,06	3,7	0,3	< 1	0,2	5
A4-04	< 1	< 0.5	0,6	7,9	14	1,48	5,1	0,9	0,15	0,7	0,1	0,6	0,1	0,4	0,06	0,4	0,07	3,3	0,3	< 1	0,2	6
A4-05	5	< 0.5	0,5	9,4	16,6	1,8	6,2	1,1	0,16	0,7	0,1	0,6	0,1	0,4	0,06	0,4	0,06	3,5	0,3	< 1	0,2	5
A4-06	< 1	< 0.5	0,5	7,9	14,2	1,4	5,1	0,9	0,19	0,7	0,1	0,7	0,1	0,4	0,07	0,5	0,07	3,5	0,2	< 1	0,2	6
A4-07	1	< 0.5	0,6	6,9	12,1	1,25	4,5	0,7	0,14	0,7	< 0.1	0,6	0,1	0,4	0,06	0,4	0,07	3,1	0,3	< 1	0,2	6
A4-08	1	< 0.5	0,5	6,9	12	1,27	4,6	0,8	0,15	0,7	0,1	0,6	0,1	0,3	0,06	0,4	0,06	2,9	0,2	< 1	0,2	6
A4-09B	< 1	< 0.5	0,6	7,2	12,6	1,32	5	0,9	0,16	0,7	0,1	0,7	0,1	0,4	0,07	0,5	0,09	3,8	0,3	< 1	0,2	7
A4-10B	< 1	< 0.5	0,9	7	12	1,34	4,6	0,8	0,15	0,7	0,1	0,6	0,1	0,4	0,07	0,5	0,07	3,4	0,3	< 1	0,2	6
A4-11	1	< 0.5	1,1	8,6	14,1	1,55	5,7	1	0,22	0,9	0,1	0,8	0,2	0,5	0,08	0,5	0,08	3,6	0,3	< 1	0,2	7
A4-12	1	< 0.5	0,8	8,4	13,7	1,49	5,6	1	0,2	0,8	0,1	0,7	0,2	0,4	0,06	0,5	0,08	3,1	0,3	< 1	0,2	7
A4-13	1	< 0.5	1	9,9	16,4	1,8	6,6	1,1	0,25	1	0,2	0,8	0,2	0,5	0,08	0,5	0,08	4,1	0,3	2	0,2	8
A4-14	1	< 0.5	1	8,7	13,5	1,55	5,8	1	0,22	0,9	0,1	0,8	0,2	0,5	0,07	0,5	0,09	3,3	0,3	< 1	0,3	8
A4-15	1	< 0.5	1	9,8	15,1	1,85	6,3	1,1	0,23	0,8	0,2	0,9	0,2	0,5	0,07	0,5	0,08	3,9	0,4	< 1	0,3	11
A4-16	1	< 0.5	1,3	8,3	12,5	1,54	6,1	1,2	0,23	1,1	0,2	1,2	0,3	0,8	0,12	0,8	0,12	3,4	0,3	< 1	0,2	9
A4-17B	1	< 0.5	1,1	32,7	92,3	6,39	23	4,2	1	3,1	0,5	2,7	0,5	1,4	0,19	1,1	0,18	3,6	0,3	< 1	0,2	16
A4-18	1	< 0.5	0,8	49,8	42,7	9,54	33,8	5,5	1,22	4,2	0,6	3,1	0,6	1,6	0,2	1,1	0,16	4,4	0,4	< 1	0,2	16
A4-19	1	< 0.5	1,8	31,6	55,5	5,46	20,3	3,4	0,81	2,4	0,4	2,1	0,4	1,1	0,15	1	0,15	3,7	0,4	< 1	0,3	14
A4-20	1	< 0.5	1,6	26,3	51,5	4,95	19,2	3,4	0,77	2,4	0,4	2,1	0,4	1,1	0,16	1	0,17	4	0,3	< 1	0,3	14
A4-21	1	< 0.5	1,6	24,2	45,5	4,65	17,1	2,9	0,67	2,2	0,3	1,8	0,4	1	0,15	0,9	0,14	3,9	0,3	< 1	0,3	13
A2-22	1	< 0.5	1,4	22,8	48,8	4,43	16,7	3	0,68	2,3	0,3	1,9	0,4	1,1	0,14	0,9	0,16	4,1	0,4	< 1	0,2	13
A2-23B	1	< 0.5	1,4	26,7	55,9	5,26	20,1	3,4	0,77	2,5	0,4	2,1	0,4	1,1	0,15	1	0,16	4,2	0,3	< 1	0,3	15
A2-24	1	< 0.5	1,3	24,7	41,5	4,66	18,1	2,9	0,68	2,2	0,3	1,9	0,3	1	0,14	0,9	0,14	4,2	0,6	< 1	0,2	14

Analyte Symbol	Bi	Th	U	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Tl	Pb	Bi	Th	U
Unit Symbol	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	0,4	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,01	0,2	0,1	1	0,1	5	0,4	0,1	0,1
Analysis Method	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS	FUS-MS
A4-SURF	< 0.4	5,8	0,5	0,3	0,05	0,3	0,05	2,6	0,2	< 1	0,1	< 5	< 0.4	5,8	0,5
A4-01	< 0.4	3,7	0,5	0,3	0,06	0,3	0,05	3,2	0,2	< 1	0,2	6	< 0.4	3,7	0,5
A4-02	< 0.4	6,5	0,6	0,5	0,08	0,5	0,07	3,3	0,2	12	0,2	6	< 0.4	6,5	0,6
A4-03	< 0.4	4,8	0,6	0,4	0,06	0,4	0,06	3,7	0,3	< 1	0,2	5	< 0.4	4,8	0,6
A4-04	< 0.4	5,1	0,5	0,4	0,06	0,4	0,07	3,3	0,3	< 1	0,2	6	< 0.4	5,1	0,5
A4-05	< 0.4	5,2	0,6	0,4	0,06	0,4	0,06	3,5	0,3	< 1	0,2	5	< 0.4	5,2	0,6
A4-06	< 0.4	4,8	0,6	0,4	0,07	0,5	0,07	3,5	0,2	< 1	0,2	6	< 0.4	4,8	0,6
A4-07	< 0.4	4,5	0,6	0,4	0,06	0,4	0,07	3,1	0,3	< 1	0,2	6	< 0.4	4,5	0,6
A4-08	< 0.4	4,6	0,5	0,3	0,06	0,4	0,06	2,9	0,2	< 1	0,2	6	< 0.4	4,6	0,5
A4-09B	< 0.4	5	0,6	0,4	0,07	0,5	0,09	3,8	0,3	< 1	0,2	7	< 0.4	5	0,6
A4-10B	< 0.4	5,7	0,6	0,4	0,07	0,5	0,07	3,4	0,3	< 1	0,2	6	< 0.4	5,7	0,6
A4-11	< 0.4	6,1	0,6	0,5	0,08	0,5	0,08	3,6	0,3	< 1	0,2	7	< 0.4	6,1	0,6
A4-12	< 0.4	5,4	0,5	0,4	0,06	0,5	0,08	3,1	0,3	< 1	0,2	7	< 0.4	5,4	0,5
A4-13	< 0.4	7,2	0,7	0,5	0,08	0,5	0,08	4,1	0,3	2	0,2	8	< 0.4	7,2	0,7
A4-14	< 0.4	6,7	0,6	0,5	0,07	0,5	0,09	3,3	0,3	< 1	0,3	8	< 0.4	6,7	0,6
A4-15	< 0.4	7,5	0,7	0,5	0,07	0,5	0,08	3,9	0,4	< 1	0,3	11	< 0.4	7,5	0,7
A4-16	< 0.4	7,1	0,8	0,8	0,12	0,8	0,12	3,4	0,3	< 1	0,2	9	< 0.4	7,1	0,8
A4-17B	< 0.4	7,6	0,6	1,4	0,19	1,1	0,18	3,6	0,3	< 1	0,2	16	< 0.4	7,6	0,6
A4-18	< 0.4	8,3	0,7	1,6	0,2	1,1	0,16	4,4	0,4	< 1	0,2	16	< 0.4	8,3	0,7
A4-19	< 0.4	8,4	0,6	1,1	0,15	1	0,15	3,7	0,4	< 1	0,3	14	< 0.4	8,4	0,6
A4-20	< 0.4	7,3	0,6	1,1	0,16	1	0,17	4	0,3	< 1	0,3	14	< 0.4	7,3	0,6
A4-21	< 0.4	7,5	0,7	1	0,15	0,9	0,14	3,9	0,3	< 1	0,3	13	< 0.4	7,5	0,7
A2-22	< 0.4	7,9	0,7	1,1	0,14	0,9	0,16	4,1	0,4	< 1	0,2	13	< 0.4	7,9	0,7
A2-23B	< 0.4	8,6	0,8	1,1	0,15	1	0,16	4,2	0,3	< 1	0,3	15	< 0.4	8,6	0,8
A2-24	< 0.4	8,1	0,7	1	0,14	0,9	0,14	4,2	0,6	< 1	0,2	14	< 0.4	8,1	0,7

APÊNDICE G. Tabela de resultados das análises de pH.

Amostras	pH (escala Sorensen) (H2O) a 25°C
A4-Surf	5,96
A4-01	5,94
A4-02	5,64
A4-03	5,36
A4-04	5,5
A4-05	5,45
A4-06	5,4
A4-07	5,56
A4-08	5,81
A4-09b	5,9
A4-10b	6,05
A4-11	5,45
A4-12	5,54
A4-13	5,11
A4-14	4,94
A4-15	4,93
A4-16	5,04
A4-17b	7,08
A4-18	7,73
A4-19	8,25
A4-20	8,61
A4-21	8,32
A4-22	8,46
A4-23b	8,44
A4-24	8,31

APÊNDICE H. Tabela de dados de granulometria e geoquímica da sondagem A4 para a construção de gráficos no Tillia.

	A4-Surf	A4-01	A4-02	A4-03	A4-04	A4-05	A4-06	A4-07	A4-08	A4-09b	A4-10b	A4-11	A4-12	A4-13	A4-14	A4-15	A4-16	A4-17b	A4-18	A4-19	A4-20	A4-21	A4-22	A4-23b	A4-24
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Cascalho (%)	0,1	2,2	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	2,4	0,6	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,6	1,7	0,0	1,2	0,4	2,7	0,2	0,0
Areia (%)	83,3	82,8	82,3	79,1	81,3	77,9	83,1	81,1	76,4	89,7	77,7	74,8	62,5	83,1	74,5	73,2	81,7	56,7	77,6	61,9	77,5	83,0	78,6	79,4	72,5
Silte (%)	15,3	14,0	16,0	18,9	16,5	18,6	14,7	14,5	20,2	9,2	15,6	23,2	35,6	15,9	23,9	25,3	17,5	38,4	18,4	33,3	21,1	16,5	18,3	19,7	25,6
Argila (%)	1,3	1,0	1,7	1,9	2,1	3,2	2,0	2,0	2,8	1,1	2,2	2,0	2,0	1,0	1,3	1,5	0,7	4,3	2,3	4,8	0,2	0,1	0,4	0,7	1,9
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	43,58	36,42	36,84	36,83	38,38	31,63	29,49	28,61	28,80	27,25	26,82	16,64	16,39	18,44	14,61	14,51	15,08	14,15	14,72	14,61	14,53	14,20	14,45	13,82	14,04
TiO ₂ /Al ₂ O ₃	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
LOI (%)	1,08	1,08	1,1	0,97	0,78	1,12	1,45	1,53	1,64	1,58	1,83	4,02	4,26	3,65	4,25	4,21	3,98	4,6	3,78	3,47	3,55	3,71	3,5	3,98	4,07
pH	5,96	5,94	5,64	5,36	5,50	5,45	5,40	5,56	5,81	5,90	6,50	5,45	5,54	5,11	4,94	4,93	5,04	7,08	7,73	8,25	8,61	8,32	8,46	8,44	8,31
Fe ₂ O ₃ (%)	1,46	1,96	1,57	1,57	1,8	1,72	1,7	2,09	1,69	1,94	1,64	2,73	2,18	2,26	3,3	2,82	3,12	3,75	2,33	2,18	2,14	2,65	2,72	2,94	3,37
CaO (%)	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,13	0,14	0,16	0,18	0,16	0,18	0,18	0,16
Na ₂ O/ Al ₂ O ₃	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,06	0,05
(CaO+MgO)/Al ₂ O ₃	0,02	0,08	0,06	0,06	0,05	0,07	0,06	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,07	0,07	0,09	0,08	0,08	0,10	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,11
MnO/ Fe ₂ O ₃ (T)	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
(K ₂ O+Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	0,42	0,40	0,39	0,40	0,43	0,39	0,35	0,31	0,30	0,31	0,29	0,19	0,20	0,22	0,21	0,22	0,21	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,24	0,22
100*(Al ₂ O ₃ +CaO+Na ₂ O+K ₂ O))	68,91	69,86	70,79	70,25	68,66	70,94	73,47	75,41	76,08	75,39	76,63	83,68	82,23	80,85	81,81	81,22	81,31	80,57	80,22	79,78	79,81	80,05	79,84	79,00	80,35
Ba/Sr	11,59	11,47	12,35	12,33	12,33	12,79	13,39	13,06	13,69	13,33	12,29	10,94	10,71	18,25	17,74	17,79	15,76	15,46	14,59	13,77	14,10	17,16	15,03	15,71	24,49
Artefactos líticos (Nº)	0	0	0	1	4	11	2	0	0	0	0	4	0	0	2	10	2	4	0	3	14	23	43	15	10