



Universidade Eduardo Mondlane

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia Para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

Estudo da Morfodinâmica e variabilidade sazonal da praia de Zalala com uso de drones e dados meteoceanográficos

Autor(a)

Epifanea Fernando Coana

Quelimane, maio de 2025



Universidade Eduardo Mondlane

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia Para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha

Estudo da Morfodinâmica e variabilidade sazonal da praia de Zalala com uso de drones e dados meteoceanográficos

Autor(a):

(Epifanea Fernando Coana)

Presidente de Júri

(Mestre Stélio Mangue)

Supervisor:

(Prof. Doutor Hélder Machaieie)

Co-supervisor:

(Prof. Doutor Rogério Manzolli)

Avaliador

(Prof. Doutor Fialho Paloge J. Nehama)

Dedicatória

Dedico este trabalho em primeiro lugar ao meu bom e Maravilhoso Deus, por ser o meu refúgio e fortaleza, socorro bem presente na angústia, toda a glória e reconhecimento sejam dados a ele.

Dedico-o também aos meus pais Maria Alice Tamele e Fernando Alberto Coana por serem a minha força motriz e maior motivação.

“Porque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amem!”

Romanos 11:36

Agradecimentos

Toda produção científica é uma construção coletiva, dependente sempre da generosidade das pessoas que estão ao seu redor, diretamente ou indiretamente. E assim, como o mar tem seus momentos de calma e de tempestade, da mesma forma é a nossa vida acadêmica, e sem essas pessoas, eu não conseguiria concluir esse trabalho.

Agradeço primordialmente ao meu Deus pois este trabalho é o testemunho vivo da sua bondade e misericórdia em minha vida (“Que darei eu ao Senhor por todos os benefícios que me tem feito- Salmos 116:12”).

Agradeço o amor da minha vida, a minha mamã por abrir mão dos seus sonhos e projectos em detrimento dos meus, ao meu querido e amado pai por ser o primeiro ser humano, a ver potencial e investir sempre em mim e aos meus Irmãos, Morina, Fernanda e Simone pelo infinito amor e apoio, amo-vos imenso.

A minha companheira de batalhas académicas e espirituais Shakira Ragú da Silva, o meu muito obrigado por seres tão presente em todas as esferas da minha vida, te amo xuxu.

Ao meu orientador Professor Doutor Hélder Arlindo Machaieie, os meus mais sinceros agradecimentos pelo apoio, orientação e paciência ao longo da elaboração do meu TCC e da minha carreira académica, sua expertise e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, sou extremamente grata por todas as orientações e feedbacks construtivos, que contribuíram para o meu crescimento académico e pessoal. Gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos ao meu co-supervisor, Professor Doutor Rogério Manzolli pelo seu apoio e orientação neste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, e sua dedicação em compartilhar conhecimento e fornecer feedback construtivo foram extremamente valiosas. Aos docentes da ESCMC em especial ao Msc Noca Furaca pelos ensinamentos e apoio durante o meu percurso académico na ESCMC. Agradeço ao Dr Aurio Mendes, M.Sc Manuel Simbe, M.Sc Carlota Alves, M.Sc Stélio Mangue, M.Sc Mabota, Ph.D. Anildo Naftal pelo seu contributo.

Aos meus colegas de curso e companheiros de batalha, o meu muito obrigado. Agradeço igualmente aos meus amigos, Hília Nhaca, Valério Matavele, Loida Miguel, maza Júnior, Lutcho Hermenegildo, Ricky Cabral e Luísa Pondja, pelo apoio moral e intermitentes orações. O meu obrigado a todos os residentes, em especial ao Levi Mutuque, Nildo Bento, Carmen Tivane, Jocelyn Thompson, pelo companheirismo durante este percurso. Ao Eden Reflorestation Project endereço os meus mais sinceros agradecimentos pela recepção calorosa e pelo seu contributo para o meu desenvolvimento profissional.

Declaração de honra

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado do meu labor individual, exceto nos trechos do documento que estão devidamente referenciados. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de Licenciatura em Geologia Marinha, da Universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, maio de 2025

Assinatura



(Epifanea Fernando Coana)

Resumo

A morfodinâmica de praia refere-se às interações dinâmicas entre os processos hidrodinâmicos, relativos a propagação e quebra das ondas em águas rasas, e a resposta morfológica dos diferentes subambientes praias (em função da sedimentação), em uma variedade de escalas de tempo-espço, tornando-se ainda mais complexa com processos adicionais, como marés, ventos e diferentes condições de contorno, como morfologia antecedente das feições de praia, características de sedimentos e biota.

Este estudo aprofunda sobre a morfodinâmica da praia de Zalala, com base dados topográficos derivados de levantamentos aéreos oriundos do drone DJI Mavic 3 e dados meteoceanográficos.

Os resultados do estudo mostraram que praia de Zalala alterna-se entre dois estágios morfodinâmicos: um estágio dissipativo que ocorre nos meses de inverno, com ocorrência de ondas altas e de elevada esbeltez (tempestade). E o outro estágio morfodinâmico da praia de Zalala é o estágio intermediário de "banco e calha longitudinal" (*longshore bar and trough*), que ocorre entre os meses de verão, período com o menor nível de energia e a praia, o espriamento na face da praia é relativamente alto com a formação feições erosivas, sendo menos evidentes e deposicionais associadas a ondas menos longas e de baixa energia. A análise climatológica das velocidades médias mensais não apresentou grandes variações de intensidade do vento ao longo do ano o que o sugere que as variações sazonais na morfologia da praia de Zalala estão associadas a frequência de tempestades, sendo mais frequentes no inverno.

As marés desempenham um papel preponderante no transporte de sedimentos ao longo da praia de Zalala, removendo os sedimentos na componente mais transversal das dunas para praia e no sentido contrário.

Palavra-chave: Morfodinâmica de praia, perfis topográficos, processos hidrodinâmicos, feições geomorfológicas.

Abstract

Beach morphodynamics refers to the dynamic interactions between hydrodynamic processes, such as wave propagation and breaking in shallow waters, and the morphological response of different beach subenvironments (based on sedimentation), across a variety of spatiotemporal scales. These interactions become increasingly complex with additional processes, such as tides and winds, and different boundary conditions, including antecedent beach morphology, sediment characteristics, and biota.

This study explores the morphodynamics of Zalala Beach based on topographic data derived from aerial surveys using the DJI Mavic 3 drone and meteceanographic data.

The results indicate that Zalala Beach alternates between two morphodynamic stages: A dissipative stage, occurring during the winter months, characterized by high, slender waves (storm conditions). An intermediate "longshore bar and trough" stage, observed during the summer months, a period with lower energy levels. During this phase, swash on the beach face is relatively high, with the formation of erosional features that are less pronounced, alongside depositional features associated with shorter, low-energy waves.

The climatological analysis of average monthly wind speeds showed no significant variation in wind intensity throughout the year. This suggests that the seasonal morphological variations at Zalala Beach are associated with the frequency of storms, which are more prevalent in winter.

Tides play a significant role in sediment transport along Zalala Beach, moving sediments transversally from dunes to the beach and vice-versa.

Keywords: Beach morphodynamics, topographic profiles, hydrodynamic processes, geomorphological features.

Lista de abreviaturas, Significados e Unidades

Sk - curtose

KG - Assimetria

J/m² - Joules por metro quadrado

SFM-Structure From Motion

DEM's -Modelos digitais de elevação

ICP-pontos de controle independentes

m/s – Metros por segundo

m – Metros

LWL - low water level

MSL - Mean sea level

HWL - high water level

ECMWF ERA 5 - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

GTK Consorssium - Geological Turvey Kinland Consorssium

GSD - Average Ground Sampling Distance

VANT's - veículos aéreos não tripulados

GNSS-RTK - Sistema global de navegação por satélite-cinemática em tempo real

UAS-Sistema aéreo não tripulado

RSME error- Root Mean Squared error

Lista de figuras

Figura 1: Terminologia acerca da hidrodinâmica e morfologia de praia, Fonte: Revista integrada de gestão costeira.....	10
Figura 2: (a) Mapa geral de Moçambique, (b) mapa da província de Zambézia, (c) Localização da praia de Zalala, (d) localização dos pontos de coleta de sedimentos.....	15
Figura 3: Modelo de elevação digital mostrando a configuração geomorfologia da praia de Zalala. (Fonte: Adaptado de Modelo de Elevação Digital).....	17
Figura 4: Transferência de nível com teodolito óptico.....	23
Figura 5: Altura significativa da onda em função do tempo para os dias 7-8 de agosto de 2017...25	25
Figura 6: Energia da onda (ilustração da energia da onda em função dos níveis da maré para os dias 7-8 de agosto, 2017).....	27
Figura 7: Direção das correntes (parte superior) ao longo do dia e intensidade das correntes (parte inferior) ao longo do dia 14 de outubro, 2017.....	29
Figura 8: Série temporal da intensidade do vento de 7 e 8 de agosto de 2017 e de 14 á 17 de outubro, 2017.....	30
Figura 9: Série temporal da intensidade do vento de 14 á 21 de outubro, 2023.....	31
Figura 10: Série temporal da intensidade do vento de 6 á 15 de abril2024.....	31
Figura 11: Climatologia mensal dos ventos calculada a partir de reanalise horarias das componentes zonais e meridionais durante o ano de 2023.....	33
Figura 12: Climatologia mensal dos ventos calculada a partir de reanalise horarias das componentes zonais e meridionais durante o ano de 2024.....	35
Figura 13: Diagramas percentuais da concentração dos sedimentos da praia para os níveis alto, médio e baixo da maré respetivamente Figura 14: Série temporal da intensidade do vento de 14 á 21 de outubro, 2023.	36
Figura 14: Mapa geográfico da distribuição percentual de sedimentos da praia ao longo dos perfis de amostragem.....	37
Figura 15: Perfil topográfico levantado em outubro e abril, na região Sul da praia, no período de 2023 e 2024.....	40

Figura 16: Perfil topográfico levantado em outubro e abril, na região central da praia, no período de 2023 e 2024.....	41
Figura 17: Perfil topográfico levantado em outubro e abril, na região norte da praia, no período de 2023 e 2024.....	42
Figura 18: Localização e estado das dunas em outubro de 2023 extraídos do MDE e ortomosaico..	43
Figura 19: Localização e estado das dunas em abril de 2024 extraídos do MDE e ortomosaico....	43
Figura 20: Feições geomorfológicas identificadas e mapeadas para o verão (15 de outubro, 2023)	46
Figura 21: Feições geomorfológicas identificadas e mapeadas para o inverno(10 de abril, 2024)	47

Lista de Tabelas

Tabela 1: Descrição dos dados usados, fornecedor dos dados e observações relativas aos dados de vento.....	19
Tabela 2: Comparação das vantagens do uso de dados do ECMWF ERA 5 em relação a outros sensores.....	19
Tabela 3: Parâmetros Granulométricos.....	21
Tabela 4: Significado dos parâmetros estatísticos dos tamanhos granulométricos estabelecidos por FOLK & WARD (1957)	22
Tabela 5: Detalhes da missão de voo.....	24
Tabela 6: Dados do RSME error e a distância Média de Amostragem no Solo (GSD) dos DEM's para os dois mapeamentos.....	25
Tabela 7: parâmetros estatísticos para cada amostra ao longo da praia de Zalala.....	39

Lista de equações

Equação 1. Transferência de datum.....	20
--	----

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Declaração de honra	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Lista de abreviaturas.....	vi
Lista de Tabelas	viii
Lista de equações.....	viii
1. Contextualização	1
1.1. Introdução	1
1.2. Problematização.....	2
1.3. Justificativa	3
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Geral:	5
2. Referencial teórico	6
2.1. Processos costeiros	6
2.1.1. Ondas e Ventos	6
2.1.3. Correntes costeiras.....	7
2.2. Conceito de Praia	7
2.3. Subdivisões do Ambiente Praial	8
2.4. Feições morfodinâmicas de uma praia	8
2.5. Morfodinâmica de praia.....	10
2.5.1. Estados morfodinâmicos praias	11
2.6. Perfil de praia e Volume Sedimentar	13
3. Metodologia	15
3.1. Descrição e Enquadramento Fisiográfico da Área de Estudo	15
3.1.1. Geologia local	16

3.1.2.	Geomorfologia.....	16
3.1.3.	Condições Climáticas	17
3.1.4.	Hidrologia (Recursos hídricos superficiais)	17
3.2.	Materiais e métodos.....	17
3.2.1.	Métodos	17
3.2.3.	Aquisição de dados Meteoceanográficos.....	18
3.2.3.1.	Ondas, velocidade e direção da corrente, velocidade e direção de ventos	18
3.2.3.2.	Processamento dos dados: Ondas, velocidade e direção da corrente, velocidade e direção dos ventos.....	19
3.2.4.	Coleta de sedimentos	20
3.3.5.	Análise granulométrica.....	20
3.3.6.	Determinação e análise dos Parâmetros Estatísticos granulométricos	20
3.4.	Topografia.....	22
3.4.1.	Transferência de datum.....	22
3.4.2.	Levantamento de fotografia aérea	23
3.4.2.1.	Processamento das imagens de drone.....	24
3.5.	Calibração e Validação	25
4.	Resultados	26
4.1.	Caracterização hidrodinâmica	26
4.1.1.	Ondas	26
4.1.5.	Direção e intensidade das correntes.....	27
4.1.6.	Intensidade do vento	28
4.1.7.	Direção e intensidade dos ventos em 2023	31
4.1.8.	Direção e intensidade dos ventos em 2024.....	33
4.2.	Distribuição percentual dos sedimentos da praia ao longo dos perfis de amostragem.....	35
4.3.	Parâmetros estatísticos para granulometria dos sedimentos ao longo da praia	36
4.3.1.	Distribuição do diâmetro medio dos sedimentos (Média).....	36
4.3.2.	Desvio padrão	36

4.3.3.	Comportamento da assimetria (sk)	37
4.3.4.	Comportamento da curtose (KG).....	37
4.4.	Perfis topográficos	38
4.5.	Caracterização Geomorfológica	41
4.5.1.	Feições geomorfológicas	41
5.	Discussão	47
5.1.	Distribuição percentual do diâmetro médio das partículas em cada ponto de amostragem	47
5.2.	Determinação dos parâmetros estatísticos para análises granulométricas.....	48
5.3.	Perfis topográficos	51
6.	Conclusão.....	57
7.	Limitações e Recomendações	59
8.	Referências bibliográficas.....	60
9.	Anexos	66

1. Contextualização

1.1. Introdução

A abordagem morfodinâmica valora as interações entre hidrodinâmica e morfologia, seus feedbacks positivos e negativos e o acoplamento dinâmico resultante que modifica processos e mantém a morfologia ao longo da zona costeira. Em sistemas de praias, essa abordagem acomoda a relação bidimensional entre a zona de deposição e quebra das ondas, a zona de arrebentação, o swash e a topografia móvel subjacente, incluindo o perfil submerso da plataforma costeira, a topografia da zona de arrebentação e a inclinação da face da praia, bem como a resposta tridimensional da praia à mudança das condições das ondas e marés (Short, 2012).

As praias são ambientes extremamente dinâmicos. Portanto, analisar a morfodinâmica de uma praia, juntamente com o acompanhamento espaço-temporal dos ciclos de erosão e deposição, define os níveis esperados de variação morfológica. Variações estas que podem ser dramáticas, resultando em rápida progressão ou regressão da linha de costa bem como em alterações nos regimes hidrodinâmicos e deposicionais (Filho, 2021). Entre os principais fatores que influenciam essa dinâmica, destaca-se a variação sazonal, que altera significativamente os padrões de energia das ondas e de transporte sedimentar ao longo do ano. Durante o inverno, as praias são caracterizadas por ondas mais energéticas associadas a tempestades e sistemas de baixa pressão, com tendência de erodir e transportar os sedimentos da parte mais superior da praia (pós-praia e bermas) para o mar. Já no verão, as ondas são geralmente menores e menos energéticas e os sedimentos que são transportados para o mar durante o inverno são lentamente trazidos de volta para a praia, reconstruindo-a e criando um perfil mais largo e suave, conhecido como perfil de verão.

A realização de estudos na zona costeira da Praia de Zalala é essencial para entender os processos hidrodinâmicos e sedimentares específicos que moldam esse ambiente dinâmico. Esses estudos permitem identificar os padrões de evolução das formas costeiras locais e como elas se adaptam às condições ambientais. A interação entre marés, ondas, ventos e correntes na Praia de Zalala influencia diretamente a erosão, o transporte e a deposição de sedimentos, fatores cruciais para o equilíbrio natural da zona costeira. Compreender essa dinâmica local é fundamental para prever as mudanças nas condições da praia e a manutenção de sua estabilidade a longo prazo. No entanto, as mudanças climáticas impõem desafios a esse equilíbrio, intensificando a frequência e a magnitude de eventos extremos, como ciclones, tempestades e aumento do nível do mar. Esses fenômenos podem acelerar a erosão costeira, provocar a destruição de habitats naturais, como dunas, mangais, marismas e recifes, comprometendo a capacidade de recuperação dos sistemas costeiros. Além disso, o aumento

das chuvas torrenciais e a elevação do nível do mar agravam a inundação de áreas litorâneas, afetando comunidades humanas e ecossistemas locais. Portanto, os estudos na zona costeira não apenas contribuem para a compreensão dos processos naturais, mas também fornecem subsídios essenciais para a gestão sustentável e a implementação de medidas adaptativas e mitigatórias frente às mudanças climáticas, garantindo maior resiliência aos impactos futuros.

1.2. Problematização

A praia de Zalala possui uma rica biodiversidade e abriga um ecossistema dinâmico. Os processos naturais, como a deposição e a erosão de sedimentos, juntamente com a ação das ondas, correntes e ventos, afetam constantemente essa zona costeira. O Rio Zambeze e outros sistemas fluviais influenciam a região ao transportar sedimentos e alterar periodicamente a linha de costa. Contudo, um dos maiores desafios para a manutenção do equilíbrio morfodinâmico de Zalala são as mudanças climáticas, que têm intensificado a ocorrência de ciclones tropicais e o aumento do nível do mar. Esses fatores, em conjunto com as pressões antropogênicas, como a construção de infraestruturas e atividades pesqueiras, têm comprometido a estabilidade da praia e a segurança das comunidades locais que dependem dessa área para suas atividades econômicas. Assim, para compreender os processos que regem a morfodinâmica de Zalala e fornecer subsídios para a sua conservação e gestão, é essencial a adoção de métodos de monitoramento precisos e de alta resolução.

A morfodinâmica da praia de Zalala tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas anteriores, como as de Marove (2015), Matola (2017) e Manjate (2017). Contudo, os resultados apresentados nesses trabalhos carecem de elevada confiabilidade, principalmente devido às limitações associadas aos métodos de aquisição de dados utilizados. Em geral, os autores recorreram ao uso do teodolito óptico para a obtenção de dados topográficos e extração de perfis de praia. Apesar de ser um instrumento tradicionalmente reconhecido pela sua precisão em medições angulares, o teodolito óptico apresenta uma série de limitações: sua operação exige uma linha de visada desobstruída entre o equipamento e o ponto a ser medido, além disso, é um método mais adequado para áreas de pequena extensão, sendo pouco eficiente para o mapeamento de grandes trechos costeiros, e o seu desempenho pode ser afetado pelas condições atmosféricas.

Os métodos tradicionais in situ de medição da topografia das praias, como o uso de GNSS-RTK (Sistema Global de Navegação por Satélite – Cinemática em Tempo Real), são bastante utilizados, especialmente para áreas de pequenas escalas (até algumas centenas de metros de costa). Esses métodos fornecem informações altamente precisas ao longo dos transectos medidos, com uma

precisão de até milímetros. No entanto, os equipamentos GNSS-RTK são relativamente onerosos, e os custos operacionais podem ser elevados, devido à necessidade de equipe especializada e ao tempo envolvido no levantamento dos dados.

Outra metodologia comum em estudos de morfologia de praia é a fotogrametria, que utiliza sensores aerotransportados ou orbitais para gerar modelos de elevação. Embora os aerolevantamentos tradicionais possam fornecer modelos precisos, sua aplicação em projetos pontuais de escala local é muitas vezes inviável devido aos custos elevados. Além disso, esses métodos exigem uma extensa logística de mobilização, tornando-os uma solução com uma relação custo-benefício questionável para áreas menores.

Por outro lado, os veículos aéreos não tripulados (VANTs) têm surgido como uma alternativa eficiente e de baixo custo para a realização de levantamentos aéreos das zonas costeiras. Comparados aos métodos tradicionais, os drones oferecem uma redução de custos de até 60% e são significativamente mais rápidos. A precisão dos levantamentos topográficos com drones, especialmente utilizando fotogrametria, pode ser comparável aos métodos tradicionais, atingindo precisão milimétrica em algumas situações. Outrossim, os drones oferecem maior acessibilidade a áreas de difícil acesso, como regiões de praias íngremes ou com risco de erosão, onde métodos tradicionais seriam limitados. Devido a alta precisão e o baixo custo de aquisição, os drones estão rapidamente se tornando ferramentas de pesquisa padrão (Casella, 2020).

No presente estudo foram utilizados dados topográficos gerados por drone para investigar a morfodinâmica e a variabilidade sazonal da praia de Zalala, oferecendo uma solução eficiente em termos de custos, tempo e precisão para monitoramento de áreas costeiras, uma vez que permitiu a coleta de dados com alta resolução e em tempo reduzido.

1.3. Justificativa

A dinâmica do ambiente costeiro, caracterizada por mudanças drásticas em sua configuração ao longo de dias, meses ou anos, exige um monitoramento constante dessas transformações. Isso é essencial para compreender os processos que regem essas mudanças e obter parâmetros que possibilitem diagnósticos precisos da dinâmica costeira (Macêdo, 2011). Nesse contexto, este estudo tem como foco a morfodinâmica da praia arenosa de Zalala.

A praia de Zalala, em particular, enfrenta problemas significativos relacionados à erosão costeira acelerada e à perda de áreas de praia devido à atividade humana e às mudanças climáticas. A

pressão das atividades pesqueiras, turismo e o impacto de eventos climáticos, como ciclones e variações sazonais nas marés, contribuem para a instabilidade da linha de costa e alteram os habitats locais. Estes fatores não apenas afetam o ecossistema, mas também têm implicações diretas na subsistência das comunidades que dependem da pesca e do turismo local, atividades que são vulneráveis às mudanças na configuração da praia. Portanto, compreender a morfodinâmica local da praia de Zalala é crucial para antecipar e mitigar esses impactos.

O uso de drones mostra-se uma ferramenta inovadora e eficaz para o monitoramento de ambientes costeiros, especialmente em áreas como a praia de Zalala, onde o acesso a métodos tradicionais de levantamento topográfico é limitado principalmente pelos custos elevados de tecnologias convencionais, como o GNSS-RTK e aerolevantamentos. Os drones oferecem uma solução de baixo custo, alta precisão e acessibilidade, permitindo a coleta de dados em tempo real e em áreas de difícil acesso. Este estudo utiliza a tecnologia de drones para gerar modelos detalhados da elevação e monitorar as mudanças morfodinâmicas ao longo do tempo. Isso não só facilita a obtenção de dados topográficos precisos, mas também ajuda a superar desafios de custo e acessibilidade que são comuns em estudos costeiros na província da Zambézia.

Além disso, a pesquisa está alinhada com a necessidade de ampliar o conhecimento sobre a dinâmica costeira de Moçambique, particularmente na província da Zambézia, onde a falta de dados consistentes sobre a morfodinâmica costeira limita o planeamento de políticas públicas e ações de conservação. Com a contribuição deste estudo, espera-se criar uma base inicial de dados que possa ser utilizada para futuros trabalhos e intervenções no posto administrativo de Maquival, no Distrito de Quelimane, região onde a praia de Zalala está localizada. O entendimento desses processos é vital não apenas para a proteção ambiental, mas também para a gestão de recursos e a promoção de atividades sustentáveis, que beneficiem as comunidades locais, especialmente aquelas que dependem da pesca e do turismo para sua sobrevivência.

1.5.Objetivos

1.5.1. Geral:

- Investigar a morfodinâmica e variabilidade sazonal da praia de Zalala com uso de drones e dados meteoceanográficos.

1.5.2. Específicos:

- Descrever os agentes meteoceanográficos (ventos, correntes e ondas) atuantes na praia de Zalala;
- Relacionar a distribuição granulométrica de sedimentos com a dinâmica morfológica da praia de Zalala;
- Caracterizar a morfologia da praia de Zalala no inverno e verão com base em dados de drone.

2. Referencial teórico

2.1.Processos costeiros

As diversas interações dinâmicas que ocorrem nas zonas costeiras moldam a morfologia e ditam a evolução das praias, tornando-se imprescindível uma abordagem acerca dos fatores que influenciam a dinâmica de uma praia, sendo estes condicionantes as ondas, os ventos, as marés, e as correntes. Estes estão descritos a seguir:

2.1.1. Ondas e Ventos

As ondas são geradas no oceano aberto pelos ventos e dependem fundamentalmente de sua velocidade, duração e extensão da pista na superfície do oceano sobre a qual eles atuam. A hidrodinâmica que existe ao longo da praia é resultante da interação das ondas incidentes, permanentes e aperiódicas e dos fluxos gerados por ondas e marés. Esse movimento gera atrito sobre os sedimentos, os quais são carregados em suspensão, causando gradientes espaciais e temporais no seu percurso. Assim, à medida que esse processo produz determinadas morfologias, indica que morfologia e hidrodinâmica evoluem conjuntamente (Moura, 2012).

O vento é um dos agentes de transporte de maior importância para a dinâmica costeira, sendo esse, responsável por grande parte da modelagem da praia através da velocidade e direção, também contribuindo para a sedimentação e a geração da corrente litorânea (Monteiro, 2017). Estes contribuem ainda para o processo de erosão localizada através do transporte de grãos, que varia em função da sua velocidade.

As ondas exercem um papel importante no balanço sedimentar litorâneo resultando da ação dos ventos e da transferência de energia para a superfície (Monteiro, 2017). A energia das ondas e a morfologia da praia estão fortemente interligadas, pois as características das ondas (como altura, comprimento e energia) influenciam diretamente a forma da praia. Ondas de menor energia são geralmente aquelas com alturas inferiores à 1 metro, as de energia moderada têm alturas entre 1 à 3 metros, comuns e em dias de vento moderado e as ondas de maior são ondas de alturas superiores à 3 metros, resultantes de tempestades, ventos fortes e fenômenos oceânicos como ciclones e frentes frias (Gibeaut, 1994).

A variação sazonal das ondas influencia diretamente o equilíbrio sedimentar da praia, definindo ciclos de erosão e acreção que afetam sua morfodinâmica. Durante estações de baixa energia, as ondas favorecem a deposição de sedimentos, tornando as praias mais largas e estáveis. Já nas estações de

alta energia, ondas maiores e mais intensas promovem erosão e transporte de sedimentos para offshore, contribuindo para a formação de bancos de areia submersos (Hughes, 2003)

2.1.2. Marés e Variações do nível do mar

As marés são provocadas pelos efeitos da combinação gravitacional da Terra, Sol e Lua, fazendo com que a altura da superfície oceânica seja alterada. É um mecanismo de extrema importância para a dinâmica costeira, propiciando profundas modificações no processo de sedimentação do litoral, seja acumulando ou erodindo a costa. São um elemento importante a serem considerados no que tange o transporte de sedimentos, além disso interferem na morfologia da costa, pois transferem as zonas de arrebentação, surfe e espraçamento sobre o perfil da praia (Moura, 2012 & Monteiro, 2017).

Quando as ondas atingem a costa geram diversos tipos de correntes, as quais, juntamente com a ação das ondas, irão trabalhar ininterruptamente, erodindo, transportando e depositando os sedimentos que ali se encontram (Villwock, 1987). As correntes são geradas a partir da dissipação de parte da energia da onda incidente na zona de surfe e seus padrões de circulação são definidos em função do ângulo de incidência das ondas relativamente à linha de praia. As correntes podem ocorrer de forma longitudinal ao longo da costa ou transversal à costa (Silva, 2006).

2.1.3. Correntes costeiras

As correntes costeiras são geradas através da ação das ondas e dos ventos e movem-se paralelamente a linha de costa onde transportam os sedimentos. A corrente costeira é uma corrente essencialmente paralela à costa que atua na plataforma interna gerada por fortes ondas que incidem mais ou menos obliquamente a linha de costa (Suguio, 1998).

2.2. Conceito de Praia

Praias são ambientes deposicionais formados por sedimentos inconsolidados, com granulometria variada, sendo maioritariamente depositados por ação das ondas, e secundariamente por marés, tendo, portanto, suas alterações morfológicas governadas pela ação hidrodinâmica correlacionada com fatores sedimentológicos. Apresentam uma ampla distribuição geográfica, podendo ser encontradas em diferentes áreas costeiras, havendo a necessidade de uma área para deposição sedimentar pela ação hidrodinâmica (Filho, 2021).

Segundo (Muehe, 2006) as praias são feições deposicionais no contacto entre terra emersa e água, constituídas por sedimentos arenosos mobilizados principalmente pelas ondas, sendo deslocados num vaivém, em constante busca de equilíbrio.

2.3. Subdivisões do Ambiente Praial

A faixa de praia apresenta diversas subdivisões, conforme descrito por diferentes literaturas ao redor do mundo, podendo ser caracterizada quanto a sua morfologia até sua forma de ocupação, dentro do seu perfil transversal a linha de costa. Tendo sido escolhidas para este estudo as propostas sugeridas por (Souza, *et al.* 2005), (Suguio, 1998) e (Muehe, & Morais, 1996), que asseveram que as faixas de praia podem ser subdivididas em três zonas: pós-praia, estirâncio e antepraia e, estas também, possuem subdivisões ou feições mais importantes como é descrito abaixo (Figura 1).

- **Zona de pós-praia**

É a porção limite ou superior da praia, que se estende a partir da linha de maré alta até o contacto com o campo de dunas, falésias, linha de vegetação permanente ou terraços marinhos. zona acima da influência da maré alta e esporadicamente alcançada pelas ondas de grandes amplitudes ou tempestade. É nesta zona da praia que se formam feições chamadas de berma, localizando-se no limite da pós-praia e consiste no resultado da deposição ou erosão efetuada pelas ondas no limite da zona de espraiamento, constituindo elevações planas com mergulho abrupto (Muehe, 2006).

- **Zona de estirâncio ou zona intermareal:** parte da faixa de praia, que fica exposta em maré baixa e submersa em maré alta. E nesta zona podemos observar em algumas praias, a presença de rochas de praia (*beachrocks*) que são arenitos e conglomerado (Muehe, & Morais, 1996). Também podemos encontrar feições das cúspides que são configurações assumidas pelos sedimentos devido a ação de ondas, expostas perpendicularmente a linha de costa.
- **Zona de antepraia:** é a zona praial que se encontra permanentemente coberta pelas águas, ficando exposta excecionalmente em marés de amplitude elevada (Suguio, 1998). O seu limite mar adentro vai até onde o empolamento de ondas, por ser o local no qual a onda reduz seu comprimento e aumenta sua altura para depois arrebentar (Morais, 1996); (Muehe, 1996). Encontram-se nesta zona, feições características como (cristas, calhas e barras) formadas pela ação das ondas, marés e pode intensificar durante as condições meteorológicas e costeiras (Suguio, 1973).

2.4. Feições morfodinâmicas de uma praia

As praias podem ser interpretadas a partir de diferentes feições ou por diferentes subambientes descritos desde a zona submarina até o contato com alguma feição mais interiorizada, e mais raramente atingida pelas ondas, como as dunas frontais (Filho, 2021), as quais são resultantes da deposição de partículas de sedimentos transportados pelo vento e acumulados na porção mais interna do ambiente costeiro e são estabilizadas pela vegetação (Moura, 2012); (Muehe, 1996). A escarpa

erosiva é uma face íngreme ou um declive acentuado formado pela ação erosiva de ventos, correntes ou ondas que atinge a base de dunas, criando uma escarpa visível podendo indicar recuo da linha de costa devido à ação erosiva dos agentes hidrodinâmicos costeiros (Moraes, 1996); A berma localiza-se no limite da pós-praia com a zona de estirâncio e consiste no resultado da deposição/erosão efetuada pelas ondas no limite da zona de espraçamento, constituindo elevações planas com mergulho abrupto. É caracterizada por um grande aporte de sedimentos e a sua ausência pode indicar a ocorrência de processos erosivos (Souza, et al., 2005).

Por sua vez, a face de praia corresponde a parte inclinada do perfil de praia onde ocorrem os processos de espraçamento. Localiza-se entre os níveis médios de maré baixa e de maré alta (Moura (2012); Majante (2017)). As praias reflectivas têm uma face de praia mais íngreme, enquanto praias dissipativas apresentam uma face mais suave e extensa. A inclinação e a forma da face de praia podem mudar rapidamente com as variações das marés, especialmente em praias de macro e meso-maré, onde a faixa entre marés alta e baixa pode ser extensa (Masselink, 1993). A superfície suavemente inclinada que se forma na zona intermaré dá-se nome de terraço de maré (Moura, 2012).

As cúspides são saliências ou promontórios de areia ou cascalho alternados com depressões ou reentrâncias ao longo da linha de costa. Essas configurações podem ser estáveis em praias de maré alta e moderada, mas são mais comuns em praias de energia mais baixa (Calliari, 2003) e as formas de leito em pequena escala, ou ondulações (*ripples*), são características onipresentes na zona costeira próxima às margens arenosas e têm importância fundamental nos processos de transporte de sedimentos. As formas de leito representam elementos de rugosidade para fluxos gerados por ondas e correntes na zona que fica exposta em períodos de maré baixa e submersa em períodos de maré alta (Masselink, 2007). As calhas são depressões submersas que canalizam o fluxo de água, enquanto os bancos longitudinais são elevações submersas paralelas à linha de costa, formadas pela acumulação de sedimentos devido à ação das correntes de fundo (Short, 1991).

Os bancos de areia são depósitos arenosos submersos e paralelos ou transversais à linha de costa, geralmente na zona de arrebentação. São comuns em praias dissipativas ou intermediárias, onde a energia das ondas é dispersada ao longo de uma zona de arrebentação ampla (Muehe, 1996). Nas praias de meso ou macro-maré, os bancos podem se formar e desaparecer dependendo das marés e do clima de ondas (Calliari, 2003). Outrossim, as cavas correspondem a escavações do fundo aquoso raso da antepraia formadas pela ação das ondas que em períodos de maré de Sizígia com maiores amplitudes ficam expostas que em nível de maré baixa (Moura, 2012).

Essas formas, em conjunto, refletem a resposta do ambiente praial às forças naturais, como ondas, marés e ventos, em um ciclo contínuo de erosão, transporte e deposição de sedimentos que garante a resiliência e a funcionalidade da zona costeira (Calliari 2003).

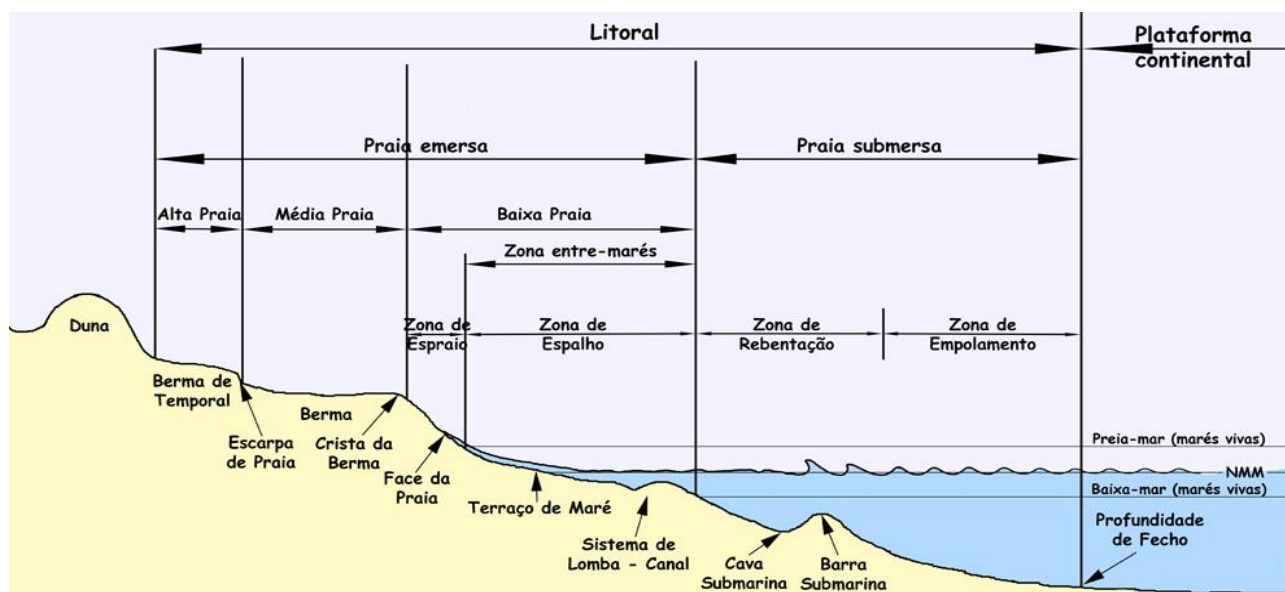


Figura 1: Terminologia acerca da hidrodinâmica e morfologia de praia, Fonte: Revista integrada de gestão costeira.

2.5. Morfodinâmica de praia

A morfodinâmica de praia refere-se às interações dinâmicas entre os processos hidrodinâmicos, relativos a propagação e quebra das ondas em águas rasas, e a resposta morfológica dos diferentes subambientes praias (em função da sedimentação), em uma variedade de escalas de espaço-tempo, tornando-se ainda mais complexa com processos adicionais, como marés e ventos, e diferentes condições de contorno, como morfologia antecedente das feições de praia, características de sedimentos e biota. A morfodinâmica de praia tem sido estudada através de diferentes tipos de abordagens. Por exemplo, através de relações empíricas, a partir de experimentos em praias, relacionadas a parâmetros adimensionais com a finalidade de classificação de praias em estados modais, interação ondas-praia-dunas, impactos gerados por tempestade, impactos provocados por obras de engenharia (Filho, 2021).

O estudo da Morfodinâmica de praia possui uma diversidade de métodos, que integra observações morfológicas e dinâmicas numa descrição mais completa e coerente da praia e zona de arrebatamento. Segundo Wright & Short (1984) a hidrodinâmica que existe ao longo da praia é o resultado da interação de ondas incidentes, refletidas ou parcialmente refletidas da face da praia, modos ressonantes de oscilações (ondas de borda - *edge waves*, estacionárias ou progressivas), fluxos

permanentes e aperiódicos, que resultam da arrebentação e dos fluxos gerados por ondas e marés. Estes movimentos da água, exercem atrito sobre os sedimentos móveis da praia, causando gradientes espaciais e temporais em seu transporte. São estes gradientes que ocasionam mudanças em morfologia, as quais, por sua vez induzem modificações no padrão hidrodinâmico atuante. A medida que a hidrodinâmica produz determinadas morfologias, as mesmas induzem mudanças no padrão hidrodinâmico atuante, ou seja, morfologia e hidrodinâmica evoluem conjuntamente (Calliari, 2003).

2.5.1. Estados morfodinâmicos praias

À medida que as praias se ajustam a um estado de equilíbrio para acomodar um conjunto particular de condições ambientais locais ou ondas variáveis no tempo, elas podem variar entre dois extremos morfodinâmicos: (a) praias predominantemente íngremes e reflexivas, com zonas de arrebentação estreitas, nas quais a energia das ondas é refletida; e (b) praias predominantemente planas e dissipativas, com zonas de arrebentação largas e com barras, nas quais as ondas dissipam sua energia antes de atingir a face da praia (Short, 1984). Além dos extremos dissipativo e refletivo, foram reconhecidos mais quatro (c) estados intermediários, associados a diferentes regimes de ondas e maré.

a) Estado refletivo

O estado refletivo, ao contrário, é caracterizado por elevados gradientes de praia e fundo marinho adjacente, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surfe. Tende a prevalecer em praias fortemente compartimentadas, em zonas protegidas entre promontórios, na presença de areias grossas ou após longos períodos de acreção. A reserva de areia se encontra, principalmente, na porção subaérea da praia, com pouca areia depositada na porção submarina, fato que faz com que mesmo condições de energia reduzida induzam a erosão (Calliari, 2003).

A arrebentação predominante neste estágio é do tipo ascendente (*surging*) e mergulhante (*plunging*). Em condições refletivas, a energia pode ser aprisionada por refração mantendo, assim, uma onda de borda (*edge wave*) subarmônica (duas vezes o período da onda incidente) responsável pela formação de cúspides praias na zona do estirâncio.

Contrariamente ao que acontece em praias dissipativas, o espraçamento na face da praia é máximo e o "set-up" é reduzido e os valores de " $\mathcal{E}$ " geralmente são inferiores à 2.5, embora em condições totalmente refletivas (raras na natureza) valores de " $\mathcal{E}$ " sejam menores que 1.

b) Estado dissipativo

No estado dissipativo, a zona de surfe é larga, apresenta baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. As condições dissipativas são favorecidas pela ocorrência de ondas altas e de elevada esbeltez (tempestade) ou pela presença de areias de granulometria fina.

Geralmente, em tais condições, as ondas arrebentam longe da face da praia, decaindo progressivamente em altura à medida que dissipam sua energia através da arrebentação. A energia é transformada em "*set-up*" ou subida do nível médio do mar e fluxos de corrente de retorno, os quais podem ocorrer devido a variações espaciais na altura da arrebentação. A energia também é transferida para outras formas de movimento, os quais possuem período maior (Calliari, 2003). Wright et al. (1982) demonstraram que ondas estacionadas de longo período ($T > 100$ s) são a forma de energia predominante em zonas de arrebentação dissipativa e em função da baixa declividade da face da praia, o espraçamento da onda na face da praia (*run-up*) é reduzido e os valores de " $\mathcal{E}$ " são superiores à 20, podendo chegar à 200, e o tipo de arrebentação geralmente em derrame (*spilling*). Porque neste estágio a reserva de areia se encontra na zona submarina da praia, bancos longitudinais, paralelos à praia, são comuns.

C) Estados intermediários

Os quatro estágios intermediários apresentam propriedades de ambos extremos, dissipativo e refletivo. Estas praias são a forma típica das praias de Sydney e são favorecidas por ondas de 1 a 2,5 metros de altura. Os estados modais das praias de Sydney, com altura de onda de 1,5 metros, dominam as praias de energia moderada a alta.

Foram propostos por Wright e Short (1984) em sua classificação morfodinâmica das praias, sendo os seguintes:

- **Banco e cava longitudinais (*longshore bar and trough*):** podem se desenvolver a partir de um perfil dissipativo numa sequência acrescional. As ondas dissipam energia no banco, se reformam na cava mais profunda e, ao atingir a face da praia O espraçamento na face da praia é relativamente alto e a formação de cúspides praias é comum.
- **Banco e praias rítmicas (BPR):** No estágio de banco e praia rítmico, feições rítmicas ondulantes em forma de cúspides submarinas são frequentes. Neste tipo de ambiente, correntes de retorno (*rip currents*) podem ocorrer nas depressões dos bancos. Nos bancos desenvolvem-se condições dissipativas, enquanto que nas pequenas baías, predominam condições refletivas.
- **Banco transversal e Rip (BTR):** desenvolve-se, preferencialmente, em sequências acrescionais quando as extremidades dos bancos, em forma de cúspide, se soldam à face da praia. Neste estágio, as áreas rasas dos bancos com grande dissipação, baixo espraçamento da onda na face da praia é elevado "*set-up*" se alternam com áreas mais inclinadas (baías) as quais apresentam elevado espraçamento da onda, baixo "*set-up*" e fortes correntes de retorno, as quais são proporcionais à energia das ondas. (Calliari, 2003).

- **Terraço de baixa-mar (*low tide terrace*):** é o tipo de praia intermediária com o menor nível de energia. Condições ideais para seu desenvolvimento incluem as partes extremas mais protegidas de longas praias, em baías moderadamente abrigadas ou em regiões mais expostas, onde a areia é fina. O terraço prolonga-se de alguns metros a dezenas de metros em direção ao mar continuando ligado à praia ao longo da costa. Pode ser plano e sem feições, apresenta uma crista central ou sulcos representados por canais rasos (*mini-rips*) a intervalos de algumas dezenas de metros e durante a preamar ondas de altura inferiores à 1 m ultrapassam o terraço sem romper e a praia se comporta como refletiva. Durante a baixa mar, especialmente a de sizígia, o terraço é totalmente exposto, podendo apresentar um relevo de bancos e calhas dispostos paralelamente à praia (*ridge and runnel*).

Dependendo da variabilidade do clima de ondas, da maré, do vento e das características dos sedimentos, uma praia pode variar amplamente de configuração em relação ao estado mais frequente ou modal. O estado modal de uma determinada praia é caracterizado pelas condições mais frequentes, em resposta ao tipo de arrebentação e ao tipo de sedimento predominantes. E são justamente tanto o estado modal quanto a amplitude de variação em relação a este estado, que diferenciam as praias no tocante à sua morfodinâmica.

2.6. Perfil de praia e Volume Sedimentar

De acordo com as condições hidrodinâmicas de uma praia, o perfil praial modifica-se continuamente em busca de uma adaptação para as mesmas. Esse perfil é resultante da interação existente entre as ondas e a corrente de deriva litorânea com o volume e a granulometria dos sedimentos.

No período de verão as ondas são mais fracas e menos esbeltas, sendo mais construtivas. Os sedimentos migram da antepraia para a praia, chegando a pós-praia (quando existente), influenciando no acréscimo de sedimentos para a zona da praia e aumentando o volume de sedimentos. Já no inverno, as ondas atingem as maiores amplitudes e as ressacas são mais frequentes, ocorrendo a retirada do material sedimentar da zona de praia, podendo até chegar nas retiradas das bermas (quando existentes) (Monteiro, 2017).

O perfil topográfico é uma ferramenta importante na descrição da morfologia praial, pois através dele podemos verificar a variação da linha de costa em curto prazo, se houve a estabilidade, deposição ou erosão da linha de costa durante o período de monitoramento, bem como apresentar o balanço sedimentar a partir dessa alteração no perfil (Menezes, 2008).

A partir da elaboração dos perfis topográficos podem-se extrair informações sobre o balanço sedimentar. Menezes (2008) explica que o balanço de sedimentos nada mais é do que a aplicação do

princípio da continuidade e conservação de massa para sedimentos litorâneos. A taxa de troca de sedimentos e o sistema são dependentes, ou seja, a taxa de sedimento que entra no sistema é a mesma taxa que sai dele.

O balanço de sedimentos é usado para ampliar o conhecimento das fontes, perdas, direção e magnitude de transporte de sedimentos para uma região selecionada e por um período de tempo determinado. Em praia em estabilidade dinâmica e que não apresenta variação da sua linha de costa por processos erosivos ou deposicionais, pode-se entender que o volume sedimentar dessa praia é o mesmo volume retirado pelas interações das fontes de energia (Rosati, 2005).

3. Metodologia

3.1.Descrição e Enquadramento Fisiográfico da Área de Estudo

A praia de Zalala localiza-se no posto administrativo de Maquival, Distrito de Quelimane, na província da Zambézia, entre os paralelos 17°50'186" Latitude Sul e 37°07'27" Longitude, tendo limite a Norte a localidade de Macuse no distrito de Namacurra, a Sul a localidade de Madal no distrito de Nicosadala, a Este o oceano Índico e a Oeste o posto administrativo de Maquival no distrito de Nicosadala (Nhatsave & Machaieie, 2021) e com uma largura média de 36. 27 quilómetros.

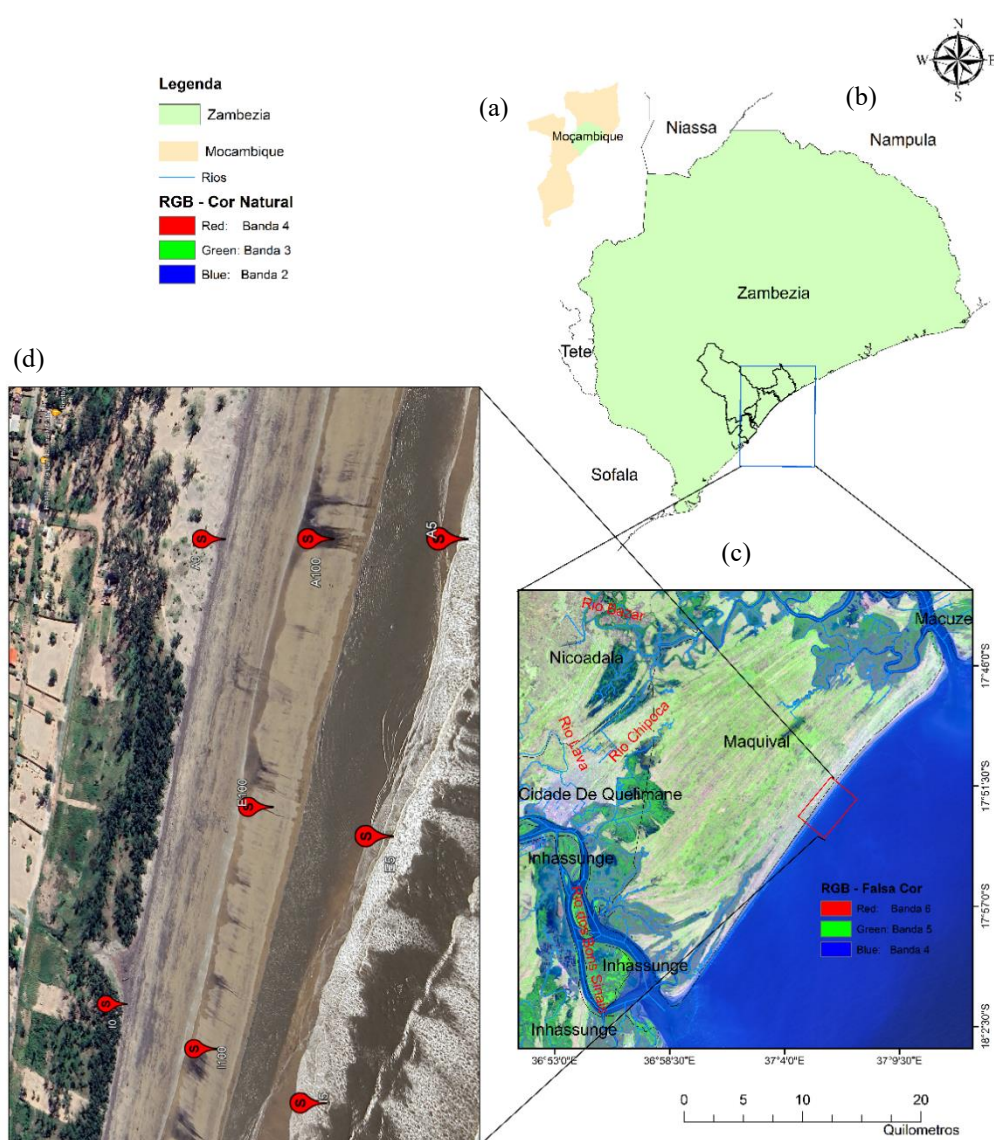


Figura 2: (a) Mapa geral de Moçambique, (b) mapa da província de Zambézia, (c) Localização da praia de Zalala, (d) localização dos pontos de coleta de sedimentos.

3.1.1. Geologia local

A praia de Zalala está assente sobre formações Proterozóicas do Complexo Metamórfico de Base com ocorrência de intrusões ácidas e básicas e, formações do Terciário e Quaternárias.

De acordo com a carta geológica de Moçambique na escala 1:250000, a área compreende unidades sedimentares clásticas inconsolidadas de idade Quaternária, composta por Areia de duna costeira e areia de praia (Qd), Coluviões (Qc), Aluvião argiloso fluvio-marinho (Qst) e aluvião, areia, silte, cascalho (Qa). A geologia local da praia de Zalala, composta por sedimentos quaternários inconsolidados, influencia diretamente sua dinâmica costeira, tornando-a altamente suscetível a processos de erosão e deposição. As areias de duna e de praia indicam intensa mobilidade sedimentar, influenciada por ventos, marés e correntes litorâneas. A presença de aluviões e coluviões também afeta a estabilidade da praia, evidenciando a interação entre processos eólicos, fluviais e marinhos (GTK Consortium, 2006).

3.1.2. Geomorfologia

A Praia de Zalala é uma planície costeira de acumulação marinha, composta predominantemente por sedimentos de areia inconsolidados ou fracamente consolidados, e é vegetada por casuarinas, que podem atuar como uma barreira natural contra a erosão ou um indicador de estabilidade costeira, conforme evidenciado no modelo digital de elevação abaixo (figura 3).

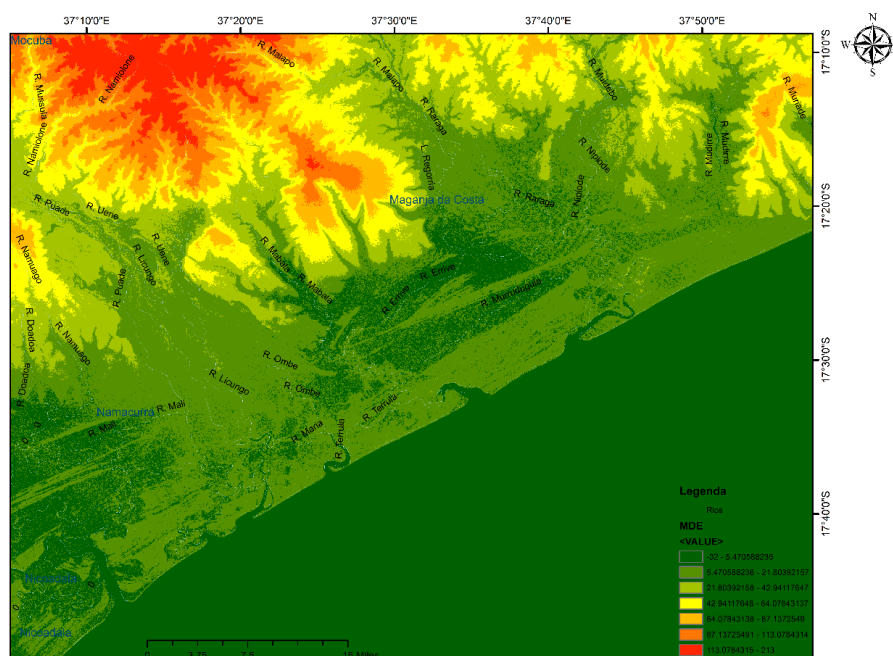


Figura 3: Modelo de elevação digital mostrando a configuração geomorfológica da praia de Zalala. (Fonte: Adaptado de Modelo de Elevação Digital).

3.1.3. Condições Climáticas

A Praia de Zalala, apresenta um clima tropical caracterizado por uma marcada variação sazonal na precipitação e temperaturas relativamente estáveis ao longo do ano. Essas condições climáticas têm um impacto significativo na morfodinâmica da praia, influenciando processos como erosão, transporte de sedimentos e formação de dunas. A precipitação média anual em Quelimane é de 1162.0 mm, com uma variação inter-anual significativa (desvio padrão de ~200 mm, p-value < 0.05, com base em dados de 30 anos). A temperatura média anual na região é de 27°C, com uma semi-amplitude térmica anual relativamente pequena, inferior a 4°C. O mês mais quente é fevereiro, com temperaturas médias de 27°C, enquanto julho é o mês mais frio, com médias de 20°C (dados com significância estatística, p-value < 0.05, baseados em séries temporais de 20 anos), o mês mais ventoso é novembro com uma média de 33 km/h e o mais chuvoso é fevereiro, com 2115 mm de média de precipitação (MICOA, 2012; timeanddate, 2025).

3.1.4. Hidrologia (Recursos hídricos superficiais)

Existem vários rios em redor de Quelimane e por causa do terreno plano, todos eles são influenciados por períodos de maré, inibindo a sua utilização para fins de consumo. Toda a área está encharcada e os rios principais são os seguintes: R. Chipoca, R. Maiua, R. Catuela, R. Dabada, Rio Cuacua, R. Licuari, R. Lava, Rio dos Bons Sinais e R. Namacurra (Souto, 2014).

3.1.5. Importância socioeconómica da praia de Zalala

A praia de Zalala possui significativa importância socioeconómica para a região, sendo reconhecida como um dos principais destinos turísticos do país, a praia atrai tanto visitantes locais quanto internacionais, especialmente durante eventos como o Festival de Zalala, que celebra a cultura e a gastronomia locais. Este fluxo turístico impulsiona a economia local, gerando empregos e renda para a comunidade, além de fortalecer o comércio informal e formal nas proximidades. Além do turismo, a pesca artesanal desempenha um papel crucial na subsistência de muitas famílias da região, fornecendo alimento e renda (Choé, 2025).

3.2. Materiais e métodos

3.2.1. Métodos

Os procedimentos metodológicos da pesquisa foram divididos em quatro etapas, descritas como: (1) levantamento bibliográfico, (2) Atividades de campo: georreferenciamento dos pontos e registro fotográfico, coleta de dados oceanográficos (agentes hidrodinâmicos) e coleta de amostras de

sedimentos, (3) Atividades laboratoriais: análise granulométrica e estatística dos sedimentos, (4) análise e integração dos dados: correlação dos dados de campo e laboratoriais, análise e interpretação das imagens e gráficos.

3.2.2. Levantamento bibliográfico

Para a revisão bibliográfica, realizou-se uma busca nas bases de dados Scielo, Google Acadêmico e Research gate, além da consulta a relatórios de instituições de ensino internacionais e publicações da UEM-ESCMC. A seleção das obras priorizou estudos publicados entre 1922 á 2022 com vista a integrar conhecimentos clássicos e contemporâneos de várias regiões e métodos, em português e inglês, que tratassem do uso de drones e fotogrametria aplicados a levantamentos topográficos em praias, avaliando a qualidade das medições obtidas, estudo da morfodinâmica de praias de meso e macromáres e especialmente estudos sobre morfodinâmica ou dinâmica sedimentar da praia de Zalala.

3.2.3. Aquisição de dados Meteoceanográficos

3.2.3.1. Ondas, velocidade e direção da corrente, velocidade e direção de ventos

As medições de ondas foram realizadas com um RBR Tide-Wave Recorder-2050 (Marégrafo) com uma precisão de $\pm 0,05\%$ da escala total, ancorado durante a baixa-mar da maré de sizígia a uma profundidade de 1 metro. O instrumento foi configurado para registrar dados a cada 10 minutos, com uma frequência de 1 Hz. No mesmo local e profundidade, também foi ancorado um Seaguard Record Current Meter (correntômetro) com uma precisão de $\pm 0,15 \text{ cm/s} \pm 1\%$ da leitura, para medir a velocidade da corrente de maré, utilizando a mesma configuração de amostragem. As medições foram realizadas ao longo de 29 horas (dia 7-8 de agosto, 2017).

Tabela 1: Descrição dos dados usados, fornecedor dos dados e observações relativas aos dados de vento

Descrição dos dados	Fornecedor de dados	Observações
Velocidade e direção do vento	ECMWF ERA 5	Dados de reanalise (resolução espacial horizontal de 0,125 graus) para as estações seca e chuvosa de 2017, 2023 e 2024

A escolha dos dados de velocidade e direção dos ventos do sensor ECMWF ERA5 em relação a outros sensores ou fontes de dados meteorológicos, como estações terrestres, boias, e outros sites deveu-se

a cobertura global e oceânica, histórico longo e contínuo, dados consistentes e reanalisados, acesso gratuito e disponibilidade de múltiplos níveis atmosféricos.

Abaixo encontra-se a tabela comparando as vantagens de usar dados de velocidade e direção dos ventos do sensor ECMWF ERA 5.

Tabela 2: Comparação das vantagens do uso de dados do ECMWF ERA 5 em relação a outros sensores

Critério	ECMWF ERA5	APDRC	Outros (MERRA-2, JRA-55, etc.)
Origem/Instituição	ECMWF (Copernicus Climate)	APDRC/IPRC – Universidade do Havaí	NASA, NOAA, JMA, etc.
Resolução Espacial	~31 km	Variada, depende do dataset (muitos são ~1° ou 0,5°)	Variável (de 0,25° a 2,5°)
Resolução Temporal	1 hora	Diária e mensal, principalmente	Geralmente 6 horas ou diária
Cobertura Geográfica	Global	Global (com foco no Pacífico e Ásia)	Global
Período Histórico	1950-presente	Varia conforme o dataset (alguns desde 1948)	1948-presente (depende do modelo)
Precisão e Qualidade	Alta, reanálise moderna	Boa para grandes escalas; menos detalhado localmente	Boa, mas varia entre produtos
Acesso	Gratuito (Copernicus, CDS)	Gratuito (interface web e OPeNDAP)	Gratuito

3.2.3.2. Processamento dos dados: Ondas, velocidade e direção da corrente, velocidade e direção dos ventos

Os dados de ondas foram visualizados através do Software Ruskin, do qual também foram extraídos os gráficos relativos a altura significativa, altura máxima, energia das ondas na praia de Zalala. A

visualização e conversão dos dados da corrente de maré foi feita no software Seaguard Studio, e posteriormente foram armazenados em uma planilha Microsoft Office Excell onde foram produzidos os respectivos gráficos da velocidade e direção da corrente de maré para a praia de Zalala no período de amostragem. Os dados correspondentes a velocidade e direção de ventos foram processados com recurso a linguagem de programação em Matlab na sua versão 2018a, obtendo-se gráficos relativos a velocidade e direção dos ventos.

3.2.4. Coleta de sedimentos

Devido a logística e onerosidade da coleta e processamento dos dados, os sedimentos foram amostrados em 9 pontos previamente definidos no Google Earth Pro. Dividiu-se a área de amostragem em 3 (três) perfis. Em todos os perfis as amostras de sedimentos foram coletadas nos seguintes níveis da maré, *High Water Level* (HWL), *Mean Sea Level* (MSL) e *Low Water Level* (LWL). O processo de amostragem consistiu na extração dos sedimentos superficiais nos primeiros 20 centímetros. Os sedimentos colhidos foram colocados em sacos plásticos devidamente catalogados segundo a posição em que foram amostrados.

3.3.5. Análise granulométrica

As amostras de sedimentos coletadas foram submetidas à análise granulométrica por peneiramento do material arenoso, seguindo os procedimentos descritos por Suguio (1973). Essa análise consiste na separação e quantificação das frações granulométricas que compõem os sedimentos, com o objetivo de determinar a distribuição do tamanho das partículas. Inicialmente, os sedimentos foram lavados para remoção de impurezas e, em seguida, secos em estufa a 60 °C. Posteriormente, as amostras foram submetidas ao peneiramento em série de peneiras com aberturas variando de 0,07 mm á 2,0 mm de diâmetro, utilizando um agitador automático por 10 minutos. Após esse processo, foram obtidas as percentagens relativas de abundância de cada fração granulométrica. A interpretação dos resultados seguiu a escala granulométrica proposta por Folk e Ward (1957), que classifica os sedimentos de acordo com as dimensões das partículas.

3.3.6. Determinação e análise dos Parâmetros Estatísticos granulométricos

Os dados referentes aos pesos percentuais das classes granulométricas correspondem às massas das frações retidas em cada peneira após o processo de peneiramento. Esses pesos foram determinados após a secagem e separação granulométrica das amostras, realizada em agitador automático por 10 minutos, conforme descrito anteriormente. Cada fração retida em uma peneira foi pesada em balança de precisão, e os valores obtidos foram convertidos em percentagens relativas em relação ao peso

total da amostra. O processamento dos dados foi realizado no software Microsoft Excel, onde foram calculadas as percentagens acumuladas e os parâmetros estatísticos granulométricos – média, desvio padrão, assimetria e curtose – segundo as fórmulas e a classificação propostas por Folk e Ward (1957). Esses parâmetros auxiliam na descrição da distribuição granulométrica ao longo da praia, permitindo interpretar as características deposicionais e os processos hidrodinâmicos atuantes no local. As equações utilizadas para o cálculo dos parâmetros estatísticos, bem como a interpretação de seus significados, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 3: Parâmetros Granulométricos

Parâmetros	Fórmula segundo WARD (1957)
Média	$M = \frac{\varphi_{84} + \varphi_{50} + \varphi_{16}}{3}$
Desvio Padrão	$\sigma = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6}$
Assimetria (sk)	$sk = \frac{\varphi_{84} + \varphi_{16} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_{95} + \varphi_5 - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$
Curtose (KG)	$KG = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44(\varphi_{75} - \varphi_{25})}$

Tabela 4: Significado dos parâmetros estatísticos dos tamanhos granulométricos estabelecidos por FOLK & WARD (1957)

Média (M)	Desvio – padrão (σ)	Assimetria (Sk)	Curtose (KG)
-1 a 0	$\sigma < 0,35$	$Sk > + 0,30$	$KG < 0,67$
Areia Muito Grossa	Muito bem selecionado	Assimetria muito positiva	Muito Platicúrtica
0 a 1	$0,35 \leq \sigma < 0,50$	$+0,30 \geq Sk > +0,10$	$0,67 \leq KG < 0,90$
Areia Grossa	Bem selecionado	Assimetria positiva	Platicúrtica
1 a 2	$0,50 \leq \sigma < 1,00$	$+0,10 \geq Sk > -0,10$	$0,90 \leq KG < 1,11$
Areia media		Simétrica	Mesocúrtica
2 a 3	$1,00 \leq \sigma < 2,00$	$-0,10 \geq Sk > -0,30$	$1,11 \leq KG < 1,50$

Areia Fina	Mal selecionado	Assimetria	Leptocúrtica
		negativa	
3 a 4	$2,00 \leq \sigma < 4,00$	$Sk \leq -0,30$	$1,50 \leq KG < 3,00$
Areia Muito Fina	Muito mal selecionado		Muito Leptocúrtica
4 a 8	$\sigma \geq 4,00$ Extremamente mal selecionado		$KG \geq 3,00$
Silte			Extremamente Leptocúrtica
> 8			
Argila			

Fonte: Tabela adaptada de Veloso (2001)

3.4. Topografia

3.4.1. Transferência de datum

A atividade de levantamento topográfico foi realizada com para a descrição das formas de relevo e das características físicas da área, incluindo as variações de elevação, as estruturas e as feições geológicas da praia de Zalala, e foi antecedida pela transferência de datum. O termo *datum* refere-se ao sistema de referência geodésico utilizado para estabelecer coordenadas e altitudes precisas de pontos na superfície terrestre. Neste caso, o nível de referência foi transferido do benchmark localizado na porta da casa da administração marítima (coordenadas: x: 301113.454 e y: 8027091.484) até a região da área de amostragem. A transferência foi realizada utilizando o teodolito óptico Topcon AT-B4, com precisão de 24x e 2.0 mm.

Para georreferenciar o benchmark, foi utilizado o sistema de coordenadas UTM, especificamente na zona UTM 37S, que cobre a região da praia de Zalala. A distância total percorrida para a transferência de datum foi de 260 metros, com a realização de 26 estações estabelecidas a cada 10 metros. O intervalo de 10 metros entre as estações foi determinado com base na precisão desejada para o levantamento e na necessidade de capturar detalhes significativos da morfologia da praia de Zalala. A escolha do intervalo de amostragem pode variar dependendo da complexidade da área e dos objetivos do estudo, sendo adequado para o nível de precisão necessário para a investigação da dinâmica da área.

A elevação de cada ponto foi calculada com base na altura do instrumento, conforme metodologia descrita por Ghilani (2015):

$$elev_{FSn} = elev_{BSn} + BS_n - FS_n$$

Onde: FS e BS são chamados previsão e retrospectiva respectivamente.

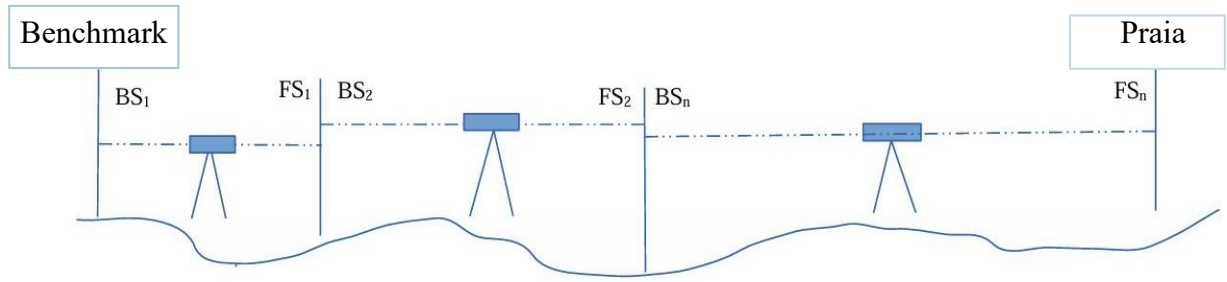


Figura 4: Transferência de nível com teodolito óptico.

3.4.2. Levantamento de fotografia aérea

As imagens foram capturadas com o drone DJI Mavic 3 sendo que o módulo de navegação deste drone não oferece suporte a aplicativos de terceiros para a configuração de missões de voo destinadas ao mapeamento, a solução encontrada foi o uso da função waypoints, disponível no próprio drone, para planejar a missão. Essa abordagem permitiu controlar de forma precisa a trajetória do voo, superando as limitações do equipamento.

Optou-se por um conceito de planejamento simples, no qual se mantiveram constantes os parâmetros como altitude, velocidade e o intervalo de tempo entre as fotos. O objetivo dessa estratégia foi de garantir que as fotografias capturadas pelo drone se sobreponham de forma estratégica, criando uma sequência contínua e consistente. Outrossim, este processo é essencial para assegurar a precisão do mapeamento e a obtenção de dados geoespaciais confiáveis (sobreposição eficiente) o que permite uma cobertura abrangente da área mapeada e uma coleta de pontos com boa densidade e dispersão.

Tabela 5: Detalhes da missão de voo

Setup	Detalhes
Drone	DJI Mavic 3
Velocidade do drone	5 m/s
Tempo da sessão fotográfica	5s
Drone yaw	130°
Gimbal pitch	90°
Altitude do voo	50m

Distância média de amostragem terrestre	1.4cm
Erros de GPS (total)	1.56m
Erros de GPS(Z)	1.752M

3.4.2.1. Processamento das imagens de drone

Foram realizados 2 voos, um no dia 15 de outubro de 2023(verão) tendo sido tiradas 274 fotos, e o outro voo foi realizado no dia 10 de abril de 2024(inverno) onde foram tiradas 1515 fotos que posteriormente foram processadas no programa Agisoft Metashape (versão 1.3.4; <http://www.agisoft.com/>). O processamento consistiu na criação de um mapa composto por várias ortofotos unidas, que são imagens aéreas corrigidas geometricamente (ortofotomosaicos) e modelos digitais de elevação (DEM) para a área entre a parte superior da zona de *swash* e a parte inicial da duna. Segundo (Rovere, 2020), extrair o modelo digital de elevação para a área entre a parte superior da zona de swash e a parte inicial da duna evitará inconformidades na reconstrução do modelo devido a oscilações das ondas neste local.

Foram por sua vez desenvolvidos scripts no Matlab para comparar os valores de elevação dos pontos de controle independentes (ICP's) e a elevação dos modelos digitais de elevação (DEM's) nos mesmos pontos. O alinhamento dos parâmetros foi programado para "alta", a geração da nuvem densa de pontos executada para "altas" definições e o modo de filtragem da profundidade configurada para "agressivo". A nuvem densa foi o recurso usado para construir o modelo digital de elevação com interpolação desativada, como descrito por (Rovere, 2020). Com recurso ao Global mapper na sua versão 25.1 a partir do modelo digital de elevação foram traçados os perfis topográficos da praia.

Tabela 6: Dados do RSME error e da distância Média de Amostragem no Solo (GSD) dos DEM's para os dois mapeamentos.

Mês	Abril		Outubro
Distância Média de Amostragem no Solo (GSD)	1.82 cm		1.48 cm
RSME Error (m)	X[m]	Y[m]	Z[m]
Abril	0.061	0.057	0.130
Outubro	0.127	0.127	0.306

3.5. Calibração e Validação

As imagens processadas com o efeito de "doming" são aquelas que apresentam um erro relacionado à falta de pontos de controle terrestre. Esse efeito é mais comum em Modelos Digitais de Superfície (MDS) gerados por algoritmos de *Estrutura a partir do Movimento* (Structure from Motion ou SFM), que é a técnica utilizada para processar as imagens. Em geral, o uso de pontos de controle terrestre e pontos de verificação costuma ser mais limitado nesse tipo de processamento (Robson, 2014). Para minimizar esse efeito, Robson (2014) sugere o uso de diferentes trajetórias de voo, ajustes na inclinação do gimbal (dispositivo estabilizador da câmera) e rotação da aeronave.

O "efeito de doming" ocorre quando a imagem processada apresenta uma curvatura ou distorção, fazendo com que o terreno pareça ter uma forma de cúpula, especialmente em áreas onde não há muitos pontos de referência no solo. A calibração e validação são processos importantes para corrigir esse tipo de erro. Durante a calibração, os parâmetros da câmera e a posição do drone foram ajustados para reduzir as distorções e melhorar a precisão das imagens. Já a validação envolveu a comparação dos dados processados com informações de referência, garantindo que a imagem final estivesse correta e com precisão geoespacial adequada.

4. Resultados

4.1. Caracterização hidrodinâmica

4.1.1. Ondas

Os gráficos abaixo ilustram o comportamento das ondas (altura significativa da onda, altura máxima da onda e a energia da onda) na praia de Zalala. Os dados são correspondentes aos dias 7 e 8 de agosto de 2017.

4.1.2. Altura significativa da onda

A onda apresentou uma altura significativa que variou de 0.36-1m, sendo que o pico máximo da altura significativa da onda foi de 1.11 metros, registado às 1:10 do dia 8 de agosto de 2017.

Às 10:10, a altura significativa começou a aumentar, atingindo o seu primeiro pico às 12:30 do dia 7 de agosto de 2017, apresentando uma altura de 1 metro. A menor altura significativa da onda foi registada no mesmo dia 7 de agosto às 21:40 com uma altura de 0.36m como ilustrado na figura 5.

A Hs apresentou um padrão de oscilação ao longo do tempo, com períodos de aumento e redução, sem necessariamente manter-se constante.

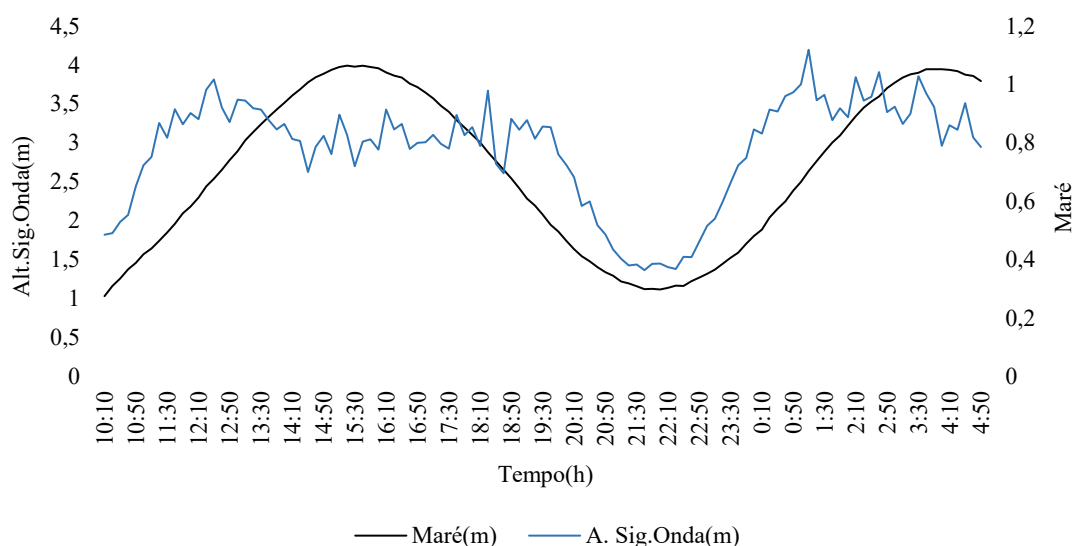


Figura 5: Altura significativa da onda em função do tempo para os dias 7-8 de agosto de 2017.

4.1.3. Altura máxima da onda

A altura mais baixa foi registada no dia 7 de agosto de 2017 às 21:30, tendo uma altura de 0.53 metros. Já o pico máximo da altura máxima da onda foi de 1.56, isto às 2:30 do dia 8 de agosto de 2017.

A altura máxima da onda mostrou-se amenamente variável, sendo que a menor altura foi registada no dia 7 de agosto de 2017 às 21:30, tendo uma altura de 0.53 metros. Já o pico da altura máxima da onda foi de 1.56, isto às 2:30 do dia 8 de agosto de 2017.

4.1.4. Energia da onda

A energia da onda foi correlacionada com a maré no instante em que a energia foi medida e está apresentada na figura 10. Em períodos de preamar (enchente), a onda também apresentou maior energia. A maior energia da onda para o dia 7 de agosto foi de 720 j/m^2 às 12:30 e o pico da fase da maré para este dia foi registada às 15:30 (3.97 metros). Para o dia 8 de agosto de 2017, a energia máxima da onda foi de 835 j/m^2 no período das 1:10 da manhã, energia esta que correspondeu um a maré de 3.94 metros.

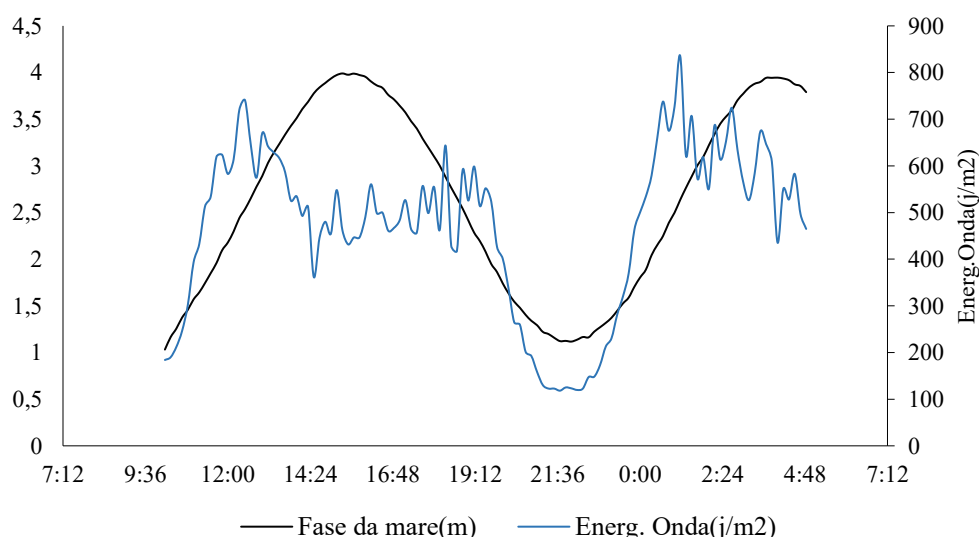


Figura 6: Energia da onda (ilustração da energia da onda em função dos níveis da maré para os dias 7-8 de agosto, 2017).

4.1.5. Direção e intensidade das correntes

Direção da corrente

A figura 7 ilustra a direção e intensidade da corrente em diferentes momentos do dia. No início do dia, entre 04h00 a 07h00, as correntes têm valores ligeiramente negativos, o que indica um movimento predominante em direção ao Norte. À medida que o dia avança, entre 07h00 e 14h00, há um predomínio de valores próximos de zero, o que sugere uma corrente com pouca variação em direção, possivelmente movendo-se ao longo da costa sem uma orientação clara para Norte ou Este. No

intervalo das 14h00 e 16h00, as correntes passam a ter valores ligeiramente positivos, indicando um movimento em direção ao Este.

Por volta das 19h00, ocorre uma variação abrupta na direção da corrente torna-se fortemente negativo sugerindo que a corrente se move intensamente em direção à Norte. Porém, por um curto período de tempo, este fenômeno teve duração de menos de uma hora.

Intensidade da Corrente

No início do dia, a intensidade da corrente é moderada, variando em torno de 0,5 m/s. À medida que o dia avança, a intensidade aumenta de forma gradual, atingindo picos de 1,0 m/s, especialmente entre o intervalo das 07h00 á 16:48, quando a corrente se move principalmente para o Este. O maior pico de intensidade ocorre às 19:12, onde a corrente atinge cerca de 2,0 m/s. Esse pico coincide com o movimento brusco em direção ao Norte, sugerindo que a corrente se torna muito mais rápida ao se mover nessa direção, entretanto este evento foi de curto prazo levando não menos de uma hora até que a corrente voltasse a atingir intensidade frequente.

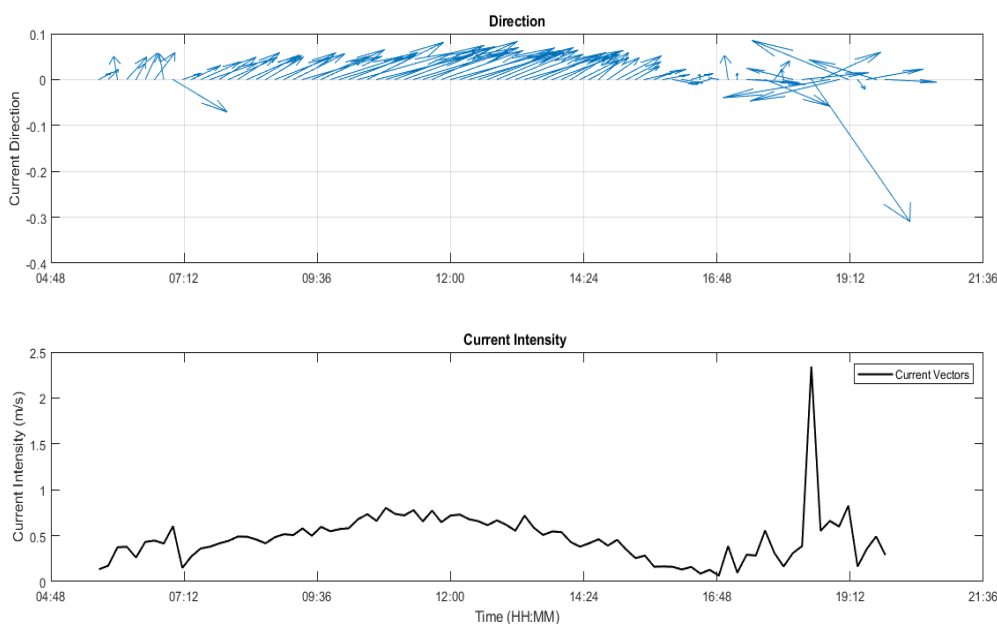


Figura 7: Direção das correntes (parte superior) ao longo do dia e intensidade das correntes (parte inferior) ao longo do dia 14 de outubro, 2017.

4.1.6. Intensidade do vento

A figura 8 corresponde aos gráficos da intensidade do vento ao longo do tempo para os dias 7 e 8 de agosto de 2017 e para os dias 14 á 17 de outubro do mesmo ano. Durante o mês de agosto (verão)

observa-se que a velocidade do vento é moderada, atingindo o pico máximo de aproximadamente 6,5 m/s no dia 7 de agosto. Essa alta intensidade é o ponto mais destacado da série temporal.

No início do dia 7, o vento já apresenta uma tendência de aumento da velocidade do vento, e ao longo desse mesmo dia, há uma subida acentuada, que se estabiliza em valores elevados próximos à 6 m/s. Essa intensidade se mantém durante a maior parte do dia 7 e continua elevada no dia 8, com pequenas flutuações em torno de 5,5 à 6 m/s.

A partir do final do dia 8, a intensidade do vento começa a mostrar uma leve tendência de queda, mas ainda se mantém relativamente alta em comparação com os dias anteriores, sugerindo que esse período foi caracterizado por condições de vento forte e sustentado.

No gráfico dos dias 14 à 17 de outubro de 2017(inverno). Focando-se no dia 14 de outubro, observa-se um comportamento distinto da velocidade do vento. No início do dia, à meia-noite, o vento é forte, próximo à 8 m/s representando um dos picos mais altos da série. Esse pico de intensidade ocorre logo nas primeiras horas do dia e é seguido por uma queda gradual e consistente na velocidade do vento ao longo da manhã e tarde. Até cerca do meio-dia de 14 de outubro, o vento é fraco, decaindo para valores em torno de 3 m/s. Essa queda contínua e se estabiliza nas horas seguintes, com o vento permanecendo fraco (entre 2,5 à 3 m/s) pelo restante do dia.

O dia 14 de outubro começa com ventos fortes, mas a intensidade diminui drasticamente, resultando em condições de vento relativamente calmas a partir do final da tarde até à noite.

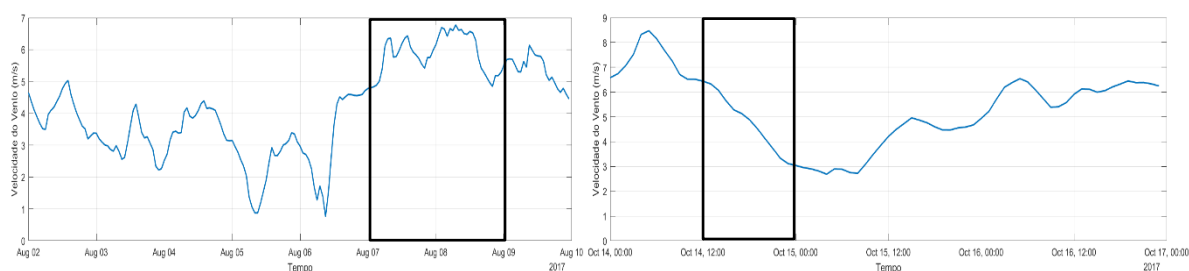


Figura 8: Série temporal da intensidade do vento de 7 e 8 de agosto de 2017 e de 14 à 17 de outubro, 2017.

Abaixo encontra-se o gráfico da intensidade do vento (figura 9) entre 14 à 21 de outubro de 2023. Focando-se no dia 15 de outubro, que corresponde ao dia do mapeamento para a estação do verão na praia de Zalala.

A velocidade do vento começa em torno de 6 m/s para as primeiras horas do dia 15, mostrando um padrão de ventos moderados a fortes. Observa-se uma ligeira diminuição da intensidade do vento até cerca de 3.5 m/s para as horas seguintes. Os ventos mantiveram-se persistentes sem grandes flutuações oscilando entre 5 e 6 m/s na maior parte do tempo, tendo atingido o pico de quase 8 m/s. A velocidade permanece estável, indicando um dia sem grandes picos ou quedas bruscas, o que pode significar uma condição atmosférica estável e favorável a ventos consistentes. Em resumo, o dia 15 de outubro foi marcado por ventos moderados e constantes.

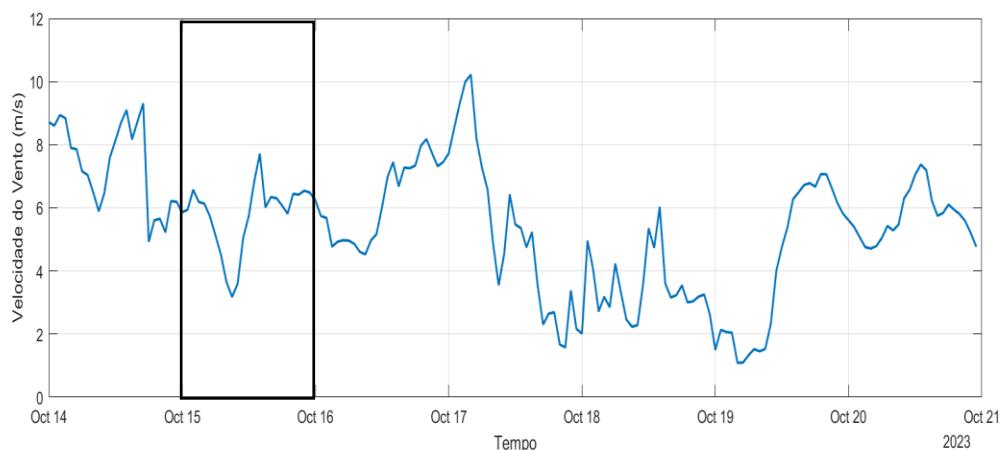


Figura 9: Série temporal da intensidade do vento de 14 á 21 de outubro, 2023.

A figura 10 apresenta uma série temporal da velocidade do vento entre os dias 6 e 15 de abril de 2024, com ênfase no dia 10 de abril, dia em que foi feito o mapeamento para a estação do inverno.

No início do dia 10, a velocidade do vento começa moderada em torno de 5 m/s, ao longo do dia, observa-se um aumento gradual na velocidade, atingindo um pico próximo de 10 m/s, sugerindo uma intensificação do vento. Após atingir esse pico, a velocidade diminui ligeiramente, mas permanece alta, flutuando entre 7 e 8 m/s até o final do dia. Essa variação indica que o dia 10 de abril foi caracterizado por um aumento significativo da intensidade do vento, marcando um dos pontos altos da série temporal.

Em resumo, o dia 10 de abril destaca-se como um período de intensificação dos ventos, com ventos consistentemente fortes em comparação aos dias anteriores. Essa observação sugere uma mudança nas condições atmosféricas, resultando em ventos mais fortes e persistentes.

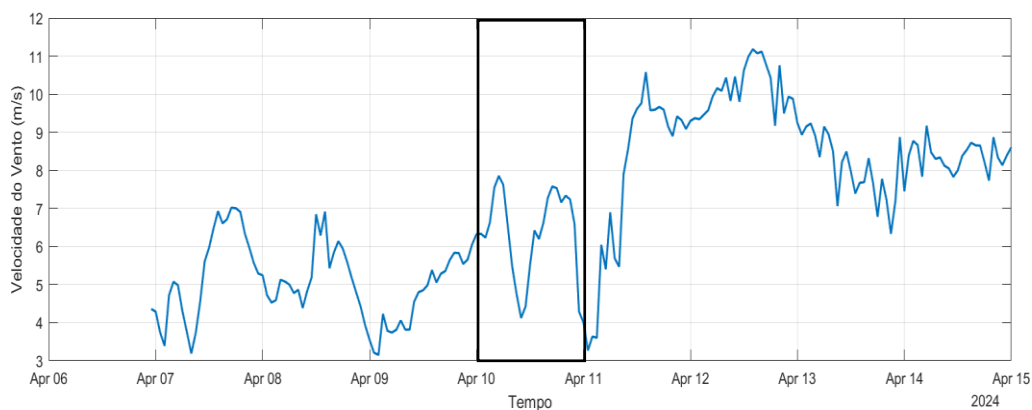


Figura 10: *Série temporal da intensidade do vento de 6 à 15 de abril, 2024.*

4.1.7. Direção e intensidade dos ventos em 2023

A Figura 11 apresenta a direção predominante dos ventos, sua intensidade e frequência ao longo de 2023 na praia de Zalala, focando na direção e magnitude dos ventos mais ou menos predominantes em cada mês.

Nos meses de janeiro, fevereiro e agosto, os ventos na praia de Zalala apresentaram intensidades elevadas, com a direção predominante sendo leste-nordeste, ocorrendo em cerca de 8% do tempo. Em janeiro, os ventos variaram de 2 à 5 m/s, com picos de até 7 m/s. Em fevereiro e agosto, a magnitude e direção dos ventos aumentaram para cerca de 15%, com velocidades predominantes entre 3 e 6 m/s. Esse aumento de intensidade e frequência nesses meses revela a influência de sistemas atmosféricos sazonais, como frentes e monções, que geram ventos mais fortes e frequentes.

Nos meses de maio, setembro e outubro, a praia de Zalala registrou ventos predominantemente de leste-nordeste, com intensidades moderadas. A direção e magnitude dos ventos nesses meses foram de 10% à 15%, com velocidades predominantes entre 3 e 5 m/s, e alguns picos superiores à 5 m/s em maio e outubro.

Já em março, junho, julho, novembro e dezembro, os ventos foram mais suaves e menos frequentes, com a direção mantendo-se de leste-nordeste. As velocidades variaram entre 1 e 4 m/s, com frequências mais baixas (abaixo de 10%). Em março e dezembro, houve uma leve elevação na intensidade e frequência dos ventos, mas, de modo geral, esses meses foram caracterizados por uma maior estabilidade atmosférica.

Ao longo de 2023, a praia de Zalala experimentou ventos predominantemente de leste-nordeste, com variações nas intensidades e frequências ao longo do ano. Picos de intensidade ocorreram

principalmente em janeiro, fevereiro e agosto, refletindo a influência de sistemas atmosféricos regionais, como monções e ciclones, que alteram tanto a intensidade quanto a direção do vento durante o ano.

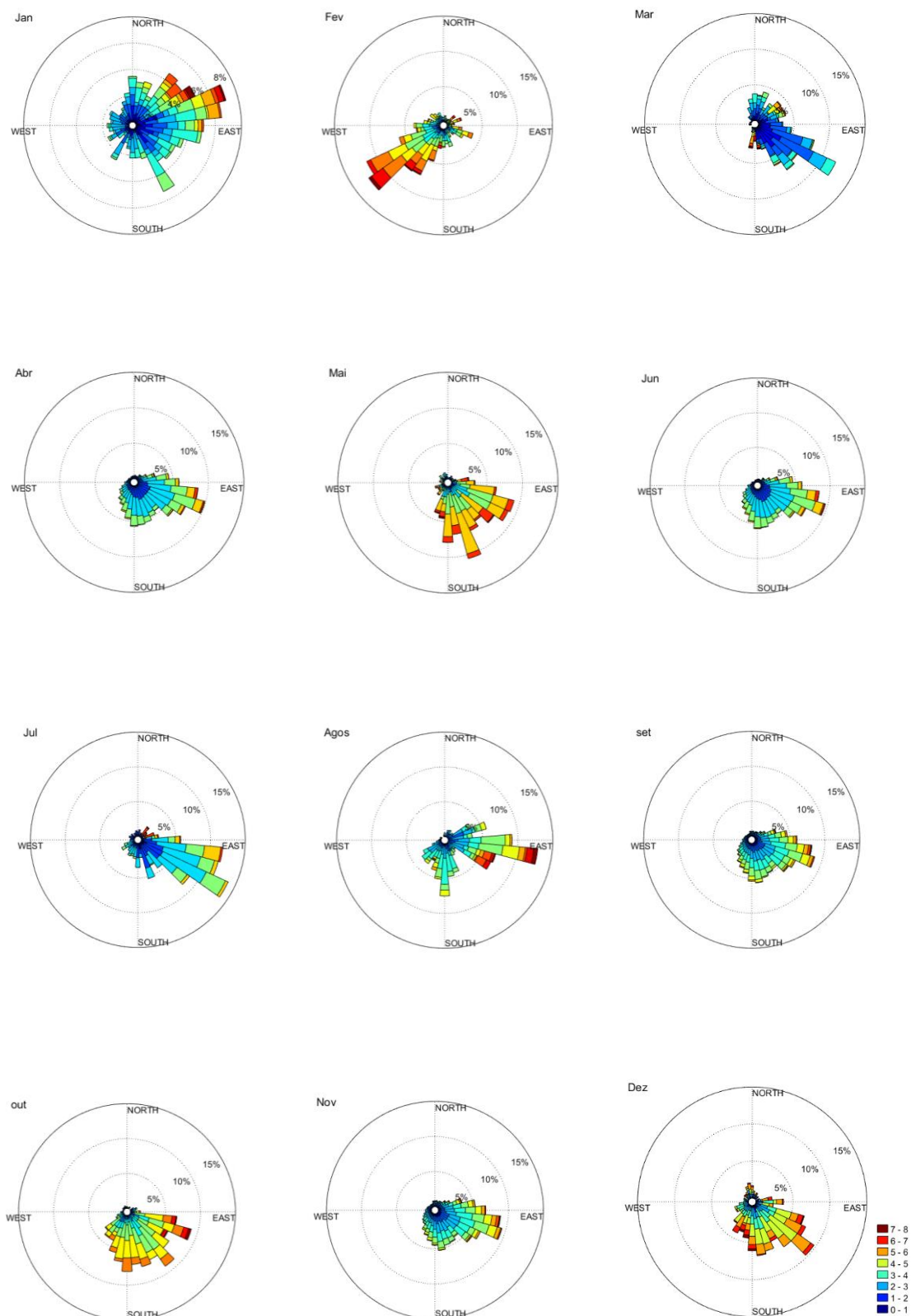


Figura 11: *Climatologia mensal dos ventos calculada a partir de reanálise horárias das componentes zonais e meridionais durante o ano de 2023.*

4.1.8. Direção e intensidade dos ventos em 2024

Ao longo de 2024, a praia de Zalala apresenta uma variação sazonal bem definida da direção e intensidade dos ventos, conforme ilustrado na Figura 12.

Nos meses de janeiro, fevereiro e março, os ventos predominantes têm direções que variam entre nordeste (NE) e leste (E). A frequência desses ventos atinge picos em torno de 15%, com a maioria dos ventos registrando velocidades entre 1 e 3 m/s, e algumas rajadas mais intensas alcançando entre 3 e 5 m/s. Esses ventos estão associados a condições atmosféricas estáveis, favorecendo correntes fracas em direção ao leste.

Durante os meses de abril, maio e junho, a direção predominante dos ventos permanece entre nordeste (NE) e leste (E), com frequências que chegam a até 15%. No entanto, observa-se uma redução na intensidade dos ventos, com velocidades mais comuns entre 1 e 3 m/s.

Nos meses de julho, agosto e setembro, os ventos predominam nas direções sul (S) e sudeste (SE), com frequências ligeiramente menores, em torno de 10 a 15%. A intensidade dos ventos nesses meses é moderada, com velocidades variando principalmente entre 2 e 4 m/s.

Nos meses de outubro e novembro, os ventos voltam a soprar predominantemente de leste (E) e sudeste (SE), mas apresentam uma consistência maior em relação aos meses anteriores. Em novembro, observa-se uma frequência dos ventos com velocidades ligeiramente mais altas, variando entre 3 e 5 m/s, indicando um fortalecimento dos ventos, associado à aproximação da estação do verão.

No mês de dezembro de 2024, os ventos predominantes foram provenientes do setor sudoeste (SW), com uma distribuição significativa de velocidades variando entre 3 m/s e 9 m/s. Observa-se que as velocidades mais frequentes se situaram entre 4 m/s e 7 m/s, com episódios de ventos mais intensos alcançando até 9 m/s.

A frequência relativa dos ventos mais intensos (superiores a 6 m/s) foi mais expressiva nesta direção, indicando a presença de sistemas atmosféricos que favorecem ventos moderados a fortes vindos do oceano para o continente.

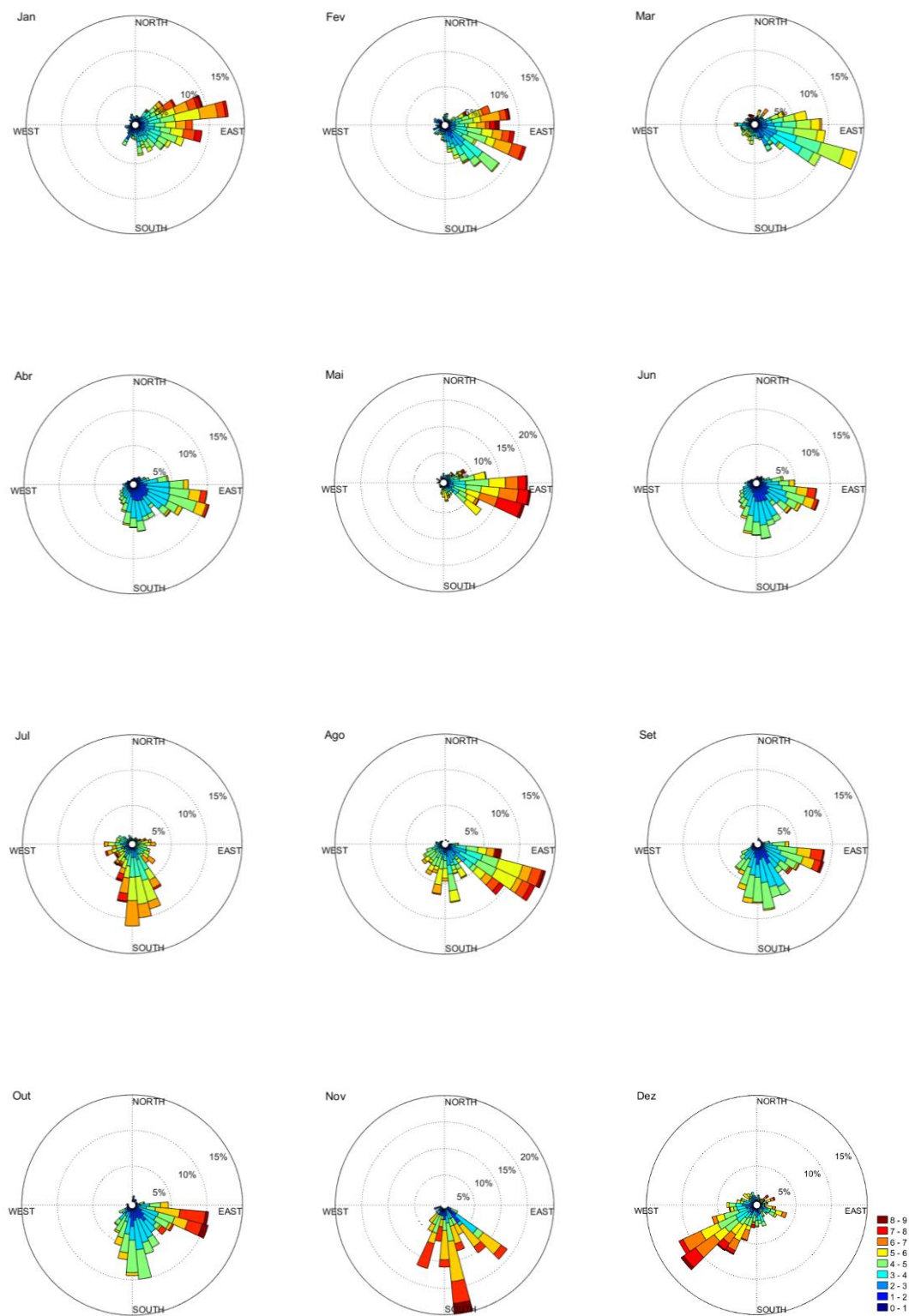


Figura 12: Climatologia mensal dos ventos calculada a partir de reanálise horárias das componentes zonais e meridionais durante o ano de 2024.

4.2. Distribuição percentual dos sedimentos da praia ao longo dos perfis de amostragem

Nos diagramas da distribuição dos sedimentos apresentados na figura 13, verifica-se domínio da areia fina ao longo dos níveis baixo e médio da maré, ao passo que no nível alto da maré verifica-se domínio da areia muito fina.

Subdividindo a praia em três partes conforme a metodologia de amostragem (linha alta da maré, zona intermédia e linha baixa da maré), foi possível observar que a distribuição dos sedimentos na praia de Zalala apresenta-se decrescente desde o nível baixo da maré de Sizígia até ao nível alto da maré de Sizígia, isto é, a areia fina diminui da linha baixa para a linha alta e o contrário se observa para a areia muito fina, importa realçar que não há mudanças significativas nas variações transversais na distribuição granulométrica dos sedimentos, tendo sido observado o mesmo comportamento.

Cerca de 87% da concentração de sedimentos no nível baixo apresenta uma granulometria fina, 73% de sedimentos de granulometria fina no nível médio, e apenas 24% dos sedimentos presentes na linha alta da maré são de granulometria fina, tendo dominado para o último nível da maré a areia muito fina.

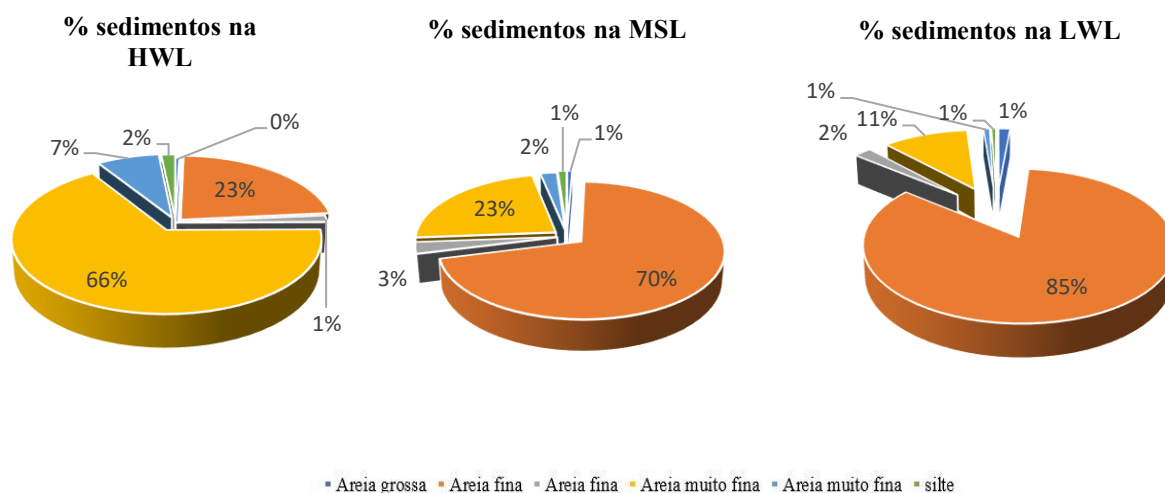


Figura 13: Diagramas percentuais da concentração dos sedimentos da praia para os níveis alto, médio e baixo da maré respetivamente.

A variação latitudinal não mostrou uma tendência clara sendo que as concentrações de sedimentos ao longo dos níveis da maré estiveram muito próximas, onde para o nível baixo da maré nos três pontos (A5, E5 e I5) de amostragem registou-se 17%, 88% e 87% de concentrações de areia fina respetivamente e ao longo do nível alto da maré nos pontos A0, E0 e I0 cerca de 29%, 21% e 24% de concentração de areia fina e ao longo da linha intermediária nos pontos A100, E100 e I100 as concentrações de areia fina foram de 39%, 61% e 73% respetivamente. Transversalmente, nota-se o mesmo comportamento relativo a distribuição granulométrica de sedimentos, os perfis transversais

mostraram uma diminuição das concentrações da areia fina do nível mais baixo ao nível mais alto da maré, o contrário observa-se na areia muito fina.

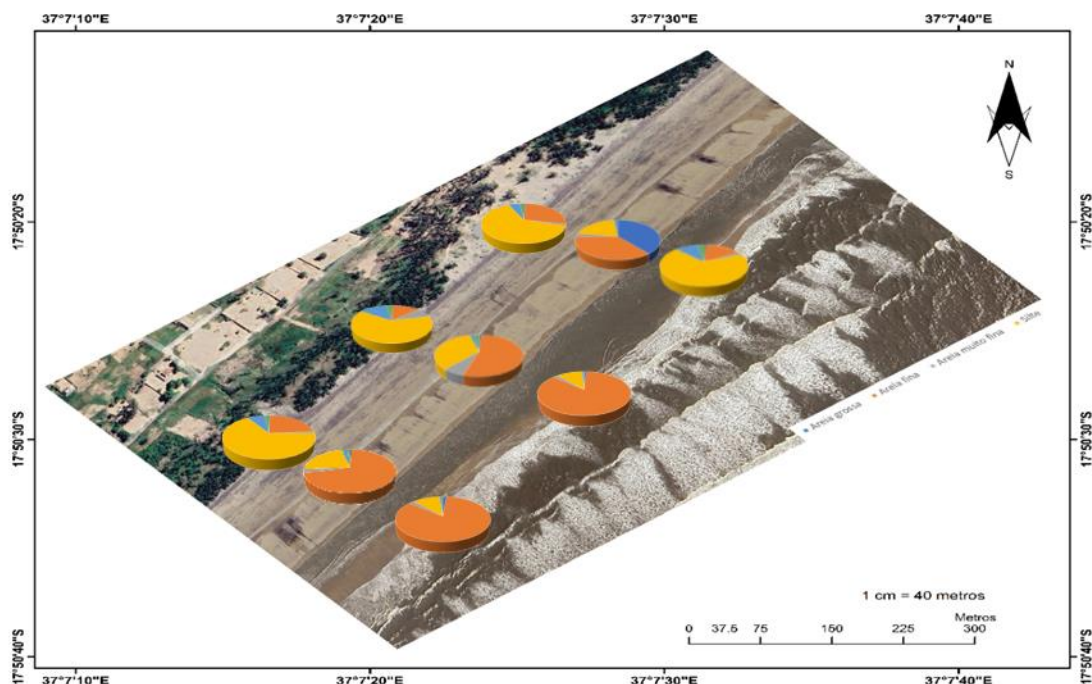


Figura 14: Mapa geográfico da distribuição percentual de sedimentos da praia ao longo dos perfis de amostragem.

4.3. Parâmetros estatísticos para granulometria dos sedimentos ao longo da praia

4.3.1. Distribuição do diâmetro medio dos sedimentos (Média)

A média dá indicações sobre a tendência central do tamanho médio dos grãos de um dado sedimento que fornece dados sobre a energia cinética média do agente de deposição (Folk & Ward, 1957).

Na linha de alcance mínimo da maré ou zona intertidal (LWL), as amostras apresentaram uma distribuição heterogénea do diâmetro-médio com valores que variaram de 3.26 á 3.56 ϕ . Enquanto que, a zona intermediaria (MSL) apresentou 2.67 ϕ para os três pontos de amostragem (I100, A100 e E100), mostrando uma distribuição homogénea do diâmetro-médio.

Para a zona de nível alto da maré de sizígia (HWL) os valores variaram de 2.62 á 2.81 ϕ , mostrando que a distribuição do diâmetro-medio para os três pontos foi heterogénea.

4.3.2. Desvio padrão

Os sedimentos da zona de alcance máximo (HWL) variaram de moderadamente seleccionados a muito bem seleccionados apresentando os seguintes valores para cada ponto de amostragem: -0.73 para o

ponto A0($\sigma < 0,35$ sedimentos muito bem selecionados), -0.57 para E0($\sigma < 0,35$ sedimentos muito bem selecionados) e 0.65 para o ponto I0($0,50 < \sigma < 1,00$ sedimentos moderadamente selecionados).

Na zona do alcance mínimo da maré, os sedimentos do ponto I5 apresentaram-se como moderadamente selecionados com um desvio padrão igual a 0.90 ($0,50 < \sigma < 1,00$ Sedimentos moderadamente selecionados), os restantes pontos apresentaram um desvio padrão de 0.40 ($0,35 < \sigma < 0,50$ Sedimentos bem selecionados), conferindo-se assim a classificação de sedimentos bem selecionados ($0,35 < \sigma < 0,50$ Sedimentos bem selecionados). Por sua vez, a zona intermediária apresentou sedimentos muito bem selecionados ($\sigma < 0,35$ Sedimentos muito bem selecionados)

4.3.3. Comportamento da assimetria (sk)

A zona intermediária (MSL) apresenta 0.77 (assimetria muito positiva) para os três pontos. Os valores de assimetria para a zona de alcance máximo da maré (HWL) foram de -1.48 (assimetria negativa) para I0, 0.72 (assimetria muito positiva) para o E0 e 1.56 (assimetria muito positiva) para o A0. No alcance mínimo da maré, a assimetria foi de -1.03 (assimetria negativa) para o ponto I5 e para os dois restantes (A5 e E5) pontos a assimetria foi de 1.00 (assimetria positiva), indicado a abundância de sedimentos finos.

4.3.4. Comportamento da curtose (KG)

A curtose para a Zona intermediária (MSL) é homogênea com 0.89Φ (platicúrtica). Na zona de alcance mínimo (LWL) os valores de curtose variam entre 1.54Φ (muito leptocúrtica) à 0.23Φ (muito platicúrtica). Enquanto na zona de alcance máximo (HWL), curtose apresentou -0.36 (muito platicúrtica) para o ponto I0, 0.85 (platicúrtica) para o A0 e 0.59 (muito platicúrtica) para o ponto E0 respectivamente.

Os resultados do cálculo dos parâmetros estatísticos para cada amostra ao longo da praia de Zalala estão descritos na tabela 7.

Tabela 7: parâmetros estatísticos para cada amostra ao longo da praia de Zalala

Zona	Amostra	Média (ϕ)	Desvio padrão (σ)	Assimetria(sk)	Curtose(KG)
	I0	2.62	0.65	-1.48	-0.36
HWL	A0	2.50	-0.73	1.56	0.85
	E0	2.81	-0.57	0.72	0.59
	I5	3.26	0.90	-1.03	1.54
LWL	A5	3.56	0.40	1.00	0.23
	E5	3.56	0.40	1.00	0.23
	I100	2.67	-0.59	0.77	0.89
MSL	A100	2.67	-0.59	0.77	0.89
	E100	2.67	-0.59	0.77	0.89

4.4. Perfis topográficos

As figuras 15, 16 e 17 ilustram os perfis topográficos (perfil 1, 2 e 3) da praia de Zalala extraídos dos modelos digitais de elevação (vide o anexo II) ao longo de uma distância horizontal, comparando as elevações da superfície da praia em duas estações: Inverno (abril à setembro) e Verão (outubro à março), sendo que a amostragem foi feita nos meses de abril(inverno) e outubro(verão). O perfil 1 está situado na estação sul, o perfil 2 localiza-se na estação centro e o perfil 3 está situado na estação norte da área de amostragem.

A praia em outubro de 2023, estação seca (verão) apresentou uma inclinação mais suave e estável, com um ângulo de cerca de 0.41° , sem grandes variações morfológicas ao longo das secções transversais observadas. Por outro lado, em abril de 2024, correspondente a estação chuvosa (inverno) a praia apresentou uma maior variação de elevação, com um declive mais acentuado, apresentando uma inclinação de -1.71° e observou-se uma variação expressiva na morfologia.

No perfil 1(figura 15) foi possível evidenciar as variações sazonais na morfologia da praia sendo que no mês de outubro, a secção transversal observada apresentou um declive bastante suave e com quase poucas variações morfológicas, a elevação decresceu gradualmente desde a distância de 0 m (zona de pós-praia) até os 100 m de distância onde a elevação atingiu os 27 metros, entretanto, a partir da distância de 130 m é possível observar uma variação crescente da elevação resultando numa barra

submarina que é uma acumulação submersa de sedimentos frequentemente formada logo após a zona de arrebentação, geralmente paralelas à costa, submersas de forma contínua e não ficam expostas mesmo na maré baixa. Todavia, no mês de abril verificou-se um declive bastante acentuada e variações morfológicas desde a zona de dunas até a ante-praia, tendo apresentado uma elevação de cerca 34 metros, exatamente nas dunas frontais resultantes da deposição de partículas de sedimentos transportados pelo vento e acumulados na porção mais interna do ambiente costeiro e são estabilizadas pela vegetação. Foi identificada a esta mesma elevação uma face íngreme ou um declive acentuado formado pela ação erosiva de processos costeiros que atingem a base de dunas, criando uma escarpa visível. Verificou-se também, nas distâncias entre 33-50 m e a uma elevação de 30-28 m, a face de praia que corresponde a parte do perfil onde ocorrem os processos de espraimento, localizando-se entre os níveis médios da maré baixa e da maré alta. Uma superfície suavemente inclinada que se forma na zona de entremarés, na área entre os níveis de maré alta e maré baixa (terraço de maré) destaca-se entre os 65-97 m de distância onde a elevação variou de 29-27 m. Já no fim da secção transversal, foram identificadas uma barra submarina e uma cava submarina ou depressão erosiva que aparece na zona submareal e no perfil submerso mais associada a regimes de macromarés ou mesomarés.

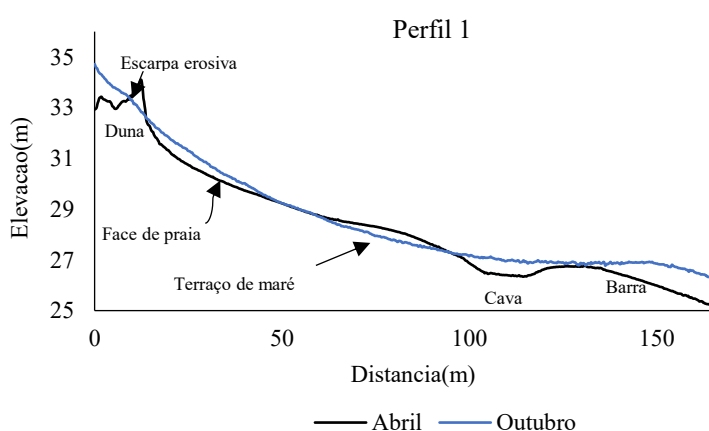


Figura 15: Perfil topográfico levantado em outubro e abril, na região Sul da praia, no período de 2023 e 2024

Na figura 16, variações morfológicas proeminentes e declivais são observados entre o verão e o inverno. Em outubro, a secção transversal exibiu um declive gradual, com pouca variação morfológica. A secção transversal no verão mostrou-se bastante estável e suavizada. Não obstante, em abril, a praia apresentou um declínio mais acentuado e uma maior variação de elevação ao longo da secção, variações morfológicas também foram observadas. Na secção de abril, observa-se uma depressão acentuada que indica a presença de uma cava submarina, associada a processos erosivos

entre 50 e 120 m de distância, com uma diferença mínima de elevação de cerca de 4 metros quando comparada com a secção de outubro de 2023. Durante o inverno, as praias frequentemente sofrem maior erosão devido à intensificação de tempestades, ventos mais fortes e ondas de maior energia. Este padrão está claramente visível na secção de abril, onde há uma significativa diminuição na elevação da praia entre 40 m e 120 m, indicando que os sedimentos foram removidos da praia e transportados para áreas mais profundas, como barras de areia submarinas.

Durante o verão, as praias geralmente passam por um processo de recuperação, com menor energia das ondas e maior deposição de sedimentos. Isso explica a secção mais elevada e estável mostrada para outubro. No verão, há menos erosão e mais deposição, resultando em uma praia mais larga e elevada, como evidenciado pela secção de outubro que apresenta elevações superiores e um declive menos acentuado, principalmente 40 m e 120 m de distância, destacando-se a formação do terraço de maré, cava submarina e da barra submarina respetivamente.

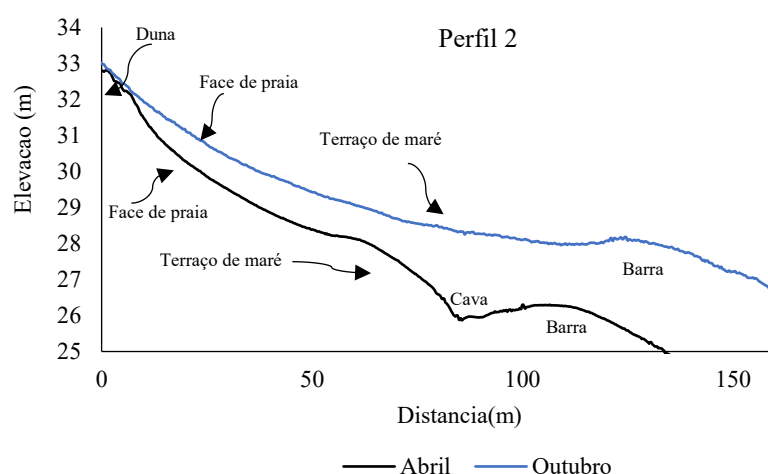


Figura 16: Perfil topográfico levantado em outubro e abril, na região central da praia, no período de 2023 e 2024.

Para o perfil 3 (figura 17), as secções observadas também correspondem as duas estações vigentes: verão e inverno, tendo sido possível distingui-las em termos de variações de declive e morfologia praial. Em outubro, a secção foi caracterizada por um declínio gradual e suave desde a distância 0 - 134 m, a elevação decresceu gradualmente de 32.5-28 m, sem uma variação expressiva na morfologia. Em contrapartida, a secção transversal de abril, apresentou uma maior variação de elevação, com um declínio mais acentuado, a variação na morfologia foi bastante evidente principalmente no intervalo de distância de 104 -130m, como resultado do decréscimo da elevação até cerca de 26 m é evidente

a existência de uma cava submarina. De modo geral, as seguintes feições foram identificadas neste perfil: dunas, face de praia, terraço de maré, barra submarina e cava submarina respectivamente.

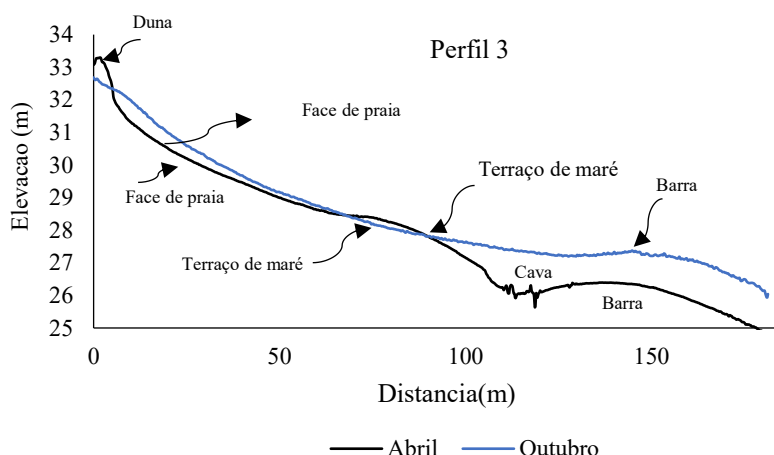


Figura 17: Perfil topográfico levantado em outubro e abril, na região norte da praia, no período de 2023 e 2024.

4.5.Caracterização Geomorfológica

4.5.1. Feições geomorfológicas

Nas figuras 20 e 21 estão apresentadas as principais feições geomorfológicas da praia de Zalala identificadas com base em ortomosaicos correspondentes as observações dos dias 15 de outubro de 2023(verão) e 10 de abril de 2024(inverno) respectivamente.

Na zona de pós-praia foram identificadas dunas eólicas, que são transportadas pelo vento e estabilizadas por uma vegetação nativa da área (vide as figuras: 22A e 23B) e no limite entre a zona de pós-praia e a zona intertidal, na base das dunas localiza-se uma erosiva escarpa visível, resultante da ação dos ventos e das ondas podendo indicar recuo da linha de costa(figura 22D e 23A).

As dunas em outubro aparecem menos inclinadas e com vegetação, porém erodidas na base, apresentando uma espessura reduzida e com múltiplas zonas de deflação ou cavas que apresentaram uma largura que variou entre 10 á 13 metros e uma altura máxima de 32 centímetros (vide a figura 20).

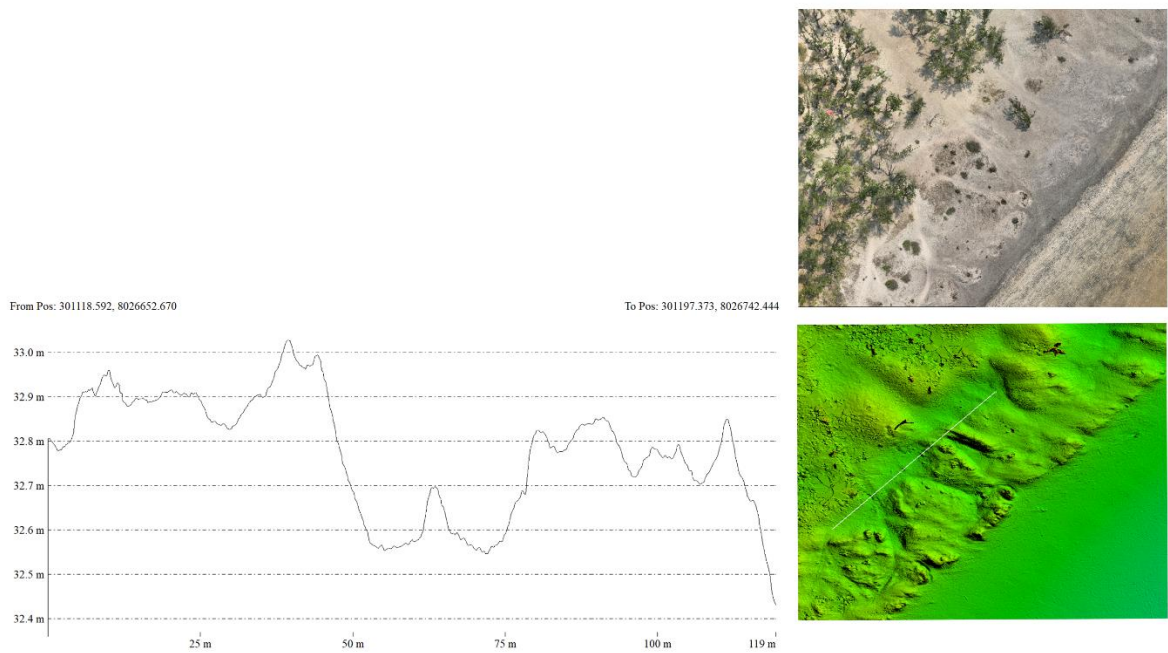


Figura 18: Localização e estado das dunas em outubro de 2023 extraídos do MDE e ortomosaico.

Já em abril, as dunas apresentaram uma vegetação mais densa, sendo mais espessas e inclinadas com cavas de largura entre 4 á 10 metros e uma altura máxima de 80 centímetros (vide a figura 19).

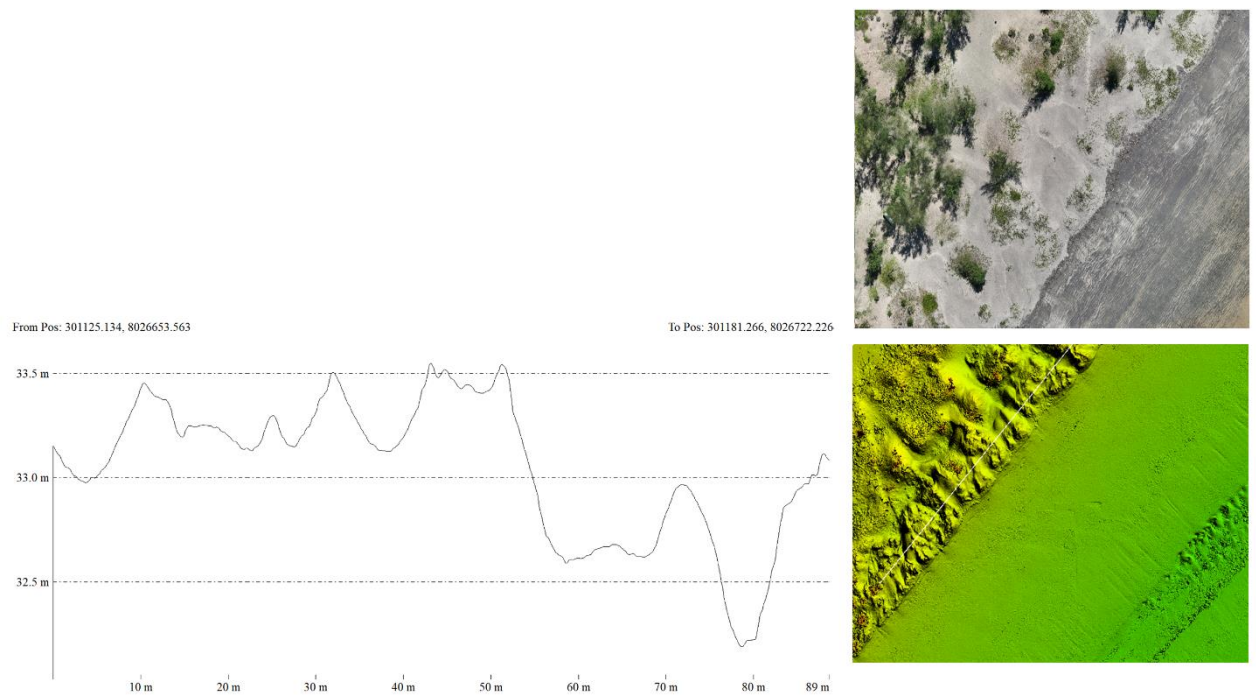


Figura 19: *Localização e estado das dunas em abril de 2024 extraídos do MDE e ortomosaico.*

Foram igualmente identificadas múltiplas ondulações(ripples) nas duas observações de outubro de 2023(verão) e abril de 2024(inverno) que são feições formadas na superfície de sedimentos pela ação das ondas e correntes na zona que fica exposta em períodos de maré baixa e submersa em períodos de maré alta (vide 20B e 21E).

- As ondulações em outubro mostraram-se rítmicas (ripples com cristas e vales mais uniformes) facto que pode estar associada a ondas menos longas e de baixa energia enquanto que em abril a rítmica das ondulações é menor, mostrando-se quase inexistentes (ripples assimétricas) e associadas a ondas de comprimento maior e consequentemente maior energia.

Na zona da ante-praia ou simplesmente praia submersa, verificou-se a presença de feições subaéreas erosivas e deposições, tais como: bancos de areia ou depósitos arenosos paralelos a praia, situados precisamente na zona de arrebentação.

- Os bancos formados em outubro são bancos mais achatados e extensos expostos na maré baixa e submersos na maré alta e em abril formam-se bancos de areia mais robustos e com estruturas complexas (vide as figuras 20C e 21C).

Para além dos bancos de areia foram também identificadas cúspides, padrões rítmicos e alternados de pequenas cristas e vales ao longo da linha da maré e têm uma forma de "V", com as pontas voltadas para o mar.

- Em outubro, foram formadas cúspides de maior espaçamento e com formas mais suaves, porém em abril, formou-se cúspides mais marcadas e espaçadas de forma regular ao longo da costa (vide as figuras 20E e 21D). As saliências das cúspides de outubro apresentaram uma largura de 58 metros e uma altura de 27 centímetros e reentrâncias de 25 metros de largura e 12 centímetros de altura máxima. Por outra, as cúspides de abril apresentaram uma largura de 6 metros e uma altura máxima de cerca de 70 centímetros.

Foram identificadas conjuntamente calhas longitudinais (canais alongados e paralelos à linha de costa) localizadas entre bancos de areia e a face da praia, servindo de caminho para o fluxo de água que retorna ao oceano após as ondas quebrarem (vide as figuras 20F e 21F).

- As calhas de outubro e abril diferem na profundidade da depressão: a de outubro mostra-se menos aprofundada e pouco escavada, com 31 centímetros de profundidade e em contrapartida a de abril é mais profunda e pronunciada apresentando 93 centímetros de profundidade.

Nota-se que apesar da variação sazonal do mapeamento realizado, a ocorrência de feições na praia de Zalala mostrou-se equitativa, ocorrendo as mesmas feições erosivas e deposicionais no verão (outubro de 2023) e no inverno (abril de 2024).

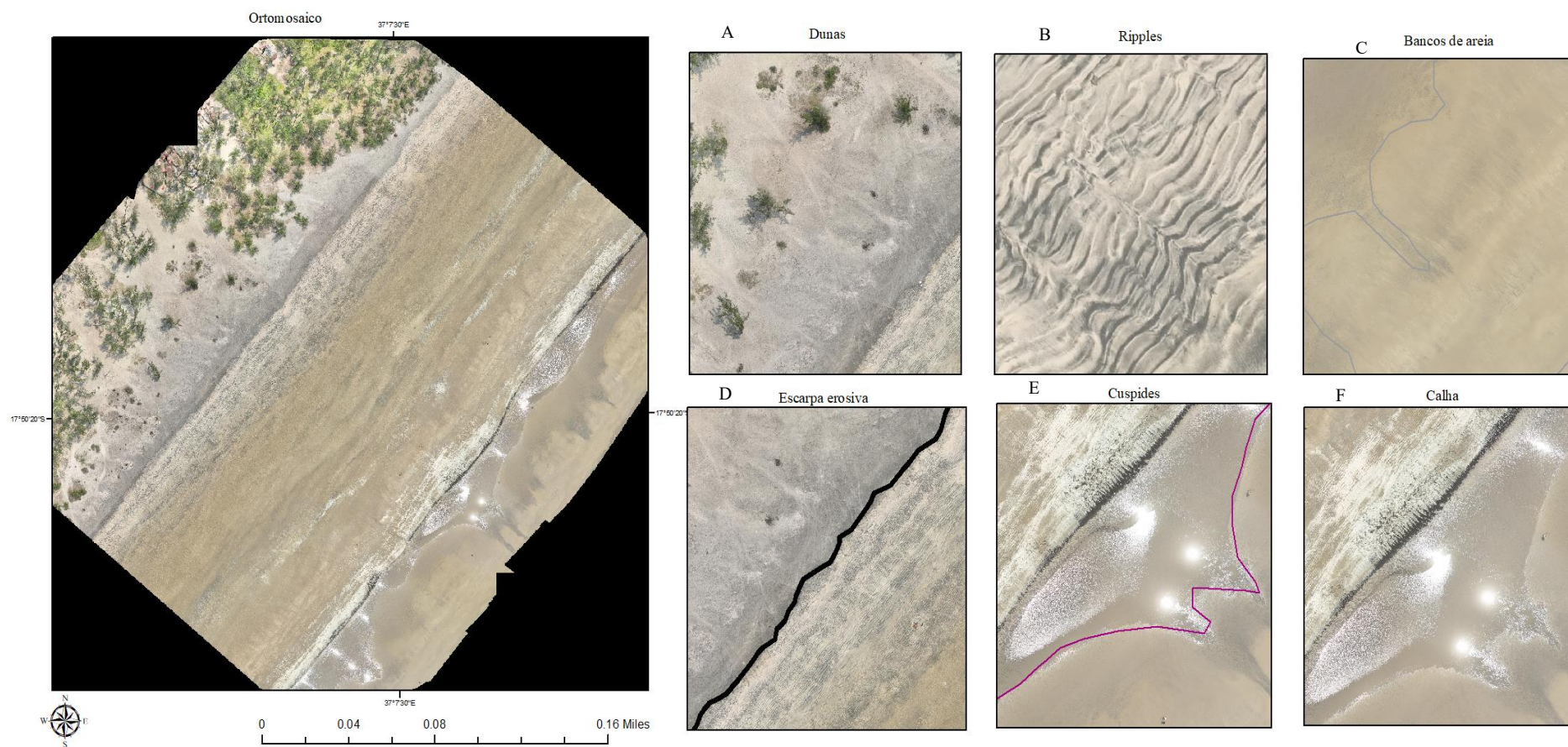


Figura 20: Feições geomorfológicas identificadas e mapeadas para o verão (15 de outubro, 2023).

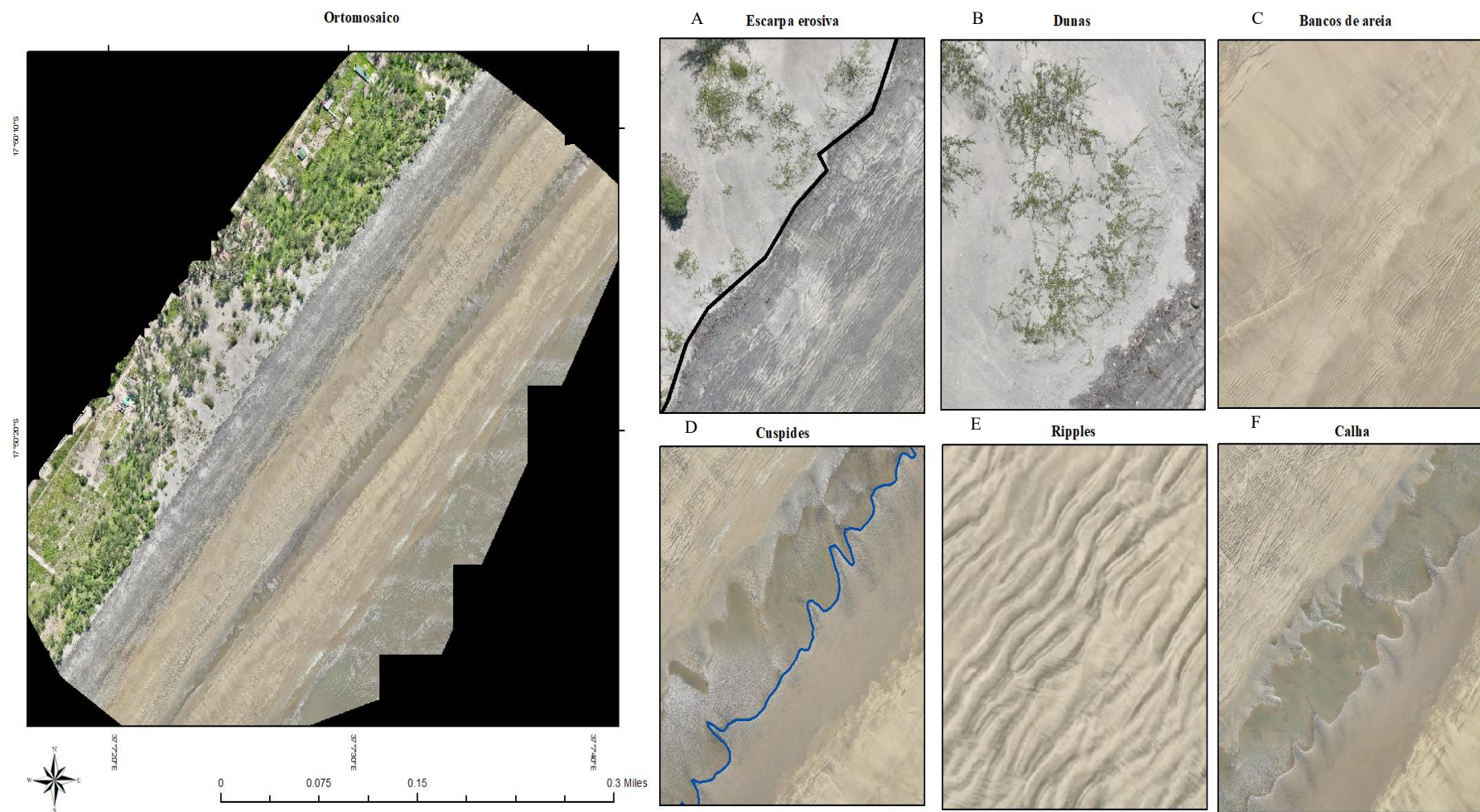


Figura 21: Feições geomorfológicas identificadas e mapeadas para o inverno (10 de abril, 2024).

5. Discussão

5.1. Distribuição percentual do diâmetro médio das partículas em cada ponto de amostragem

O diâmetro médio percentual analisado em cada perfil é de aproximadamente $\sigma=3.24$ que corresponde a 0.106 mm, o que indica que na praia de Zalala há predominância de sedimentos finos. Ao se fazer a divisão da praia em três transetos: Linha Alta da Maré, Zona Intermédia e Linha Baixa da maré, paralelamente à praia verifica-se que o diâmetro médio apresenta maiores concentrações de sedimentos muito finos na Linha baixa da Maré, onde apresentou 88% de sedimentos finos e as baixas concentrações de sedimentos finos foram encontrados na linha alta da maré com cerca de 21%. Estas baixas concentrações podem estar relacionadas ao transporte eólico durante a maré baixa, no qual o sedimento mais fino é transportado pelo vento para as dunas.

No geral, a acumulação de sedimentos finos tende a ocorrer em ambientes de baixa energia, como zonas protegidas ou áreas com menor ação de ondas e correntes, enquanto ambientes de alta energia, como praias expostas, costumam ser locais de depósito de partículas mais grossas, como cascalho e areia grossa (Jesus & Andrade, 2013). No entanto, no presente estudo, foram observadas maiores concentrações de sedimentos muito finos na linha alta da maré, uma área que, em teoria, estaria sujeita a condições de maior energia. Esse fato sugere que a deposição de sedimentos muito finos ocorre principalmente durante momentos de estagnação, quando as velocidades das correntes são quase nulas, permitindo que partículas menores se sedimentem.

Os sedimentos muito finos encontrados na linha alta da maré são provenientes da erosão das dunas adjacentes, que ocorre principalmente durante as marés de sizígia. Segundo Braga (2007), as marés de sizígia, caracterizadas por maiores amplitudes entre a maré alta e a baixa, são um dos processos que contribuem para a erosão das dunas, transportando e depositando sedimentos mais finos na linha alta da maré. Esse mecanismo explica a presença de sedimentos finos em uma zona que, em condições normais, seria dominada por partículas mais grossas.

A análise granulométrica dos sedimentos permitiu identificar a predominância de partículas muito finas, associadas à erosão das dunas durante eventos de marés de sizígia. Esse padrão pode ser comparado com observações feitas por Samuel (2017) em seu estudo sobre dinâmica da linha de costa da praia Nova na cidade da Beira desde 2005 a 2016, tendo constatado que a praia Nova apresenta sedimentos de granulometria fina sendo que a ação das ondas, correntes e marés são os principais agentes responsáveis pela erosão da zona e também estes agentes modificam o perfil topográfico.

A erosão das dunas costeiras durante eventos de maior energia como em marés de sizígia, pode resultar na deposição de sedimentos finos em áreas mais elevadas da praia. Este fenômeno ocorre devido à ação intensa das ondas e correntes associadas a esses eventos, que transportam sedimentos das zonas mais baixas para as mais altas (Oliveira, 2019). Da mesma forma, a dinâmica sedimentar durante marés de sizígia e tempestades contribui para a redistribuição de sedimentos finos, especialmente em áreas protegidas ou de baixa energia (FitzGerald, 2004).

5.2.Determinação dos parâmetros estatísticos para análises granulométricas

A determinação dos parâmetros estatísticos permite uma interpretação mais clara e detalhada sobre a sedimentologia do ambiente, fornecendo informações sobre os mecanismos de transporte e condições de deposição dos sedimentos (Folk & Ward, 1957). A interpretação é feita analisando as medidas de tendência central, desvio padrão, assimetria e curtose conforme sugerem Folk & Ward (1957) onde desvio padrão auxilia na descrição do grau de seleção das partículas, assimetria indica a tendência do material depositado, e a curtose indica o grau de achatamento de uma determinada curva de distribuição, podendo ser normal quando assemelha-se uma curva de distribuição normal, achatada quando há ocorrência simultânea e proporcional de várias classes granulométricas ou alongada quando há domínio de uma certa classe e baixa ocorrência ou ausência de algumas classes granulométricas (Nhatsave & Machaieie, 2021).

De modo geral, a praia de Zalala é caracterizada por sedimentos do tipo areia fina a muito fina (d_{50}), com o grau de seleção que varia de moderadamente bem selecionado a muito bem selecionado ($\sigma=0.30$), com predomínio de assimetria positiva ($sk=1.56$) e de grau de achatamento da curva platicúrtica à muito platicúrtica (0.23ϕ e -0.36ϕ).

Na linha alta a praia de Zalala apresenta sedimentos que tendem a ser mais homogêneos, apresentando valores médios pouco variáveis, de 2.50 a 2.81ϕ e 2.67ϕ o que indica predominância de sedimentos finos na zona intermédia. A linha baixa da maré da praia apresenta valores de 3.26 a 3.56ϕ .

O diâmetro médio das partículas do ambiente estudado revelou que a energia de deposição foi relativamente baixa o que permitiu a deposição de partículas finas e muito finas nesse ambiente, contudo variando em função do tipo de agente de transporte em causa. Veloso (2001) refere que o diâmetro médio das partículas de sedimentos é função da fonte de suprimento, do processo de deposição e da taxa de energia imposta ao sedimento que depende da intensidade da corrente ou turbulência do meio.

As concentrações das diferentes classes sedimentares na praia estudada variam tanto na direção longitudinal quanto na direção transversal em virtude da variação da energia de transporte e possível aproximação de uma área fonte. Na linha alta da maré, há predominância do diâmetro médio muito fino cuja deposição dá-se em virtude da perda de energia no momento do fluxo e refluxo da onda, alteração do agente de transporte hidrodinâmico para eólico, e/ou possivelmente pela erosão das dunas frontais durante a flutuação do nível da maré, que permite a erosão das dunas frontais caracterizadas por sedimentos muito finos que são transportados e depositados pelos ventos costeiros. Prata (2005) afirma que a velocidade de refluxo da água após a quebra de onda é geralmente menor que a do fluxo devido a percolação nos sedimentos durante o retorno, principalmente em praias de menor declividade, permitindo a deposição de sedimentos muito finos na linha de espraimento, Martins (2006) afirma ainda que o vento seleciona gradativamente os grãos mais finos, mais sensíveis ao transporte, deixando para trás os grãos mais grossos.

O grau de seleção é representado pelo desvio padrão (σ) e indica o quão dispersos os tamanhos da amostra de sedimentos estão. Uma amostra bem selecionada revela menor dispersão dos valores dos tamanhos dos sedimentos em relação ao tamanho médio (Folk & Ward, 1957). Jesus e Andrade (2013) afirmam que em praias, o desvio padrão pode revelar a fonte dos sedimentos transportados para as zonas costeiras, os agentes dinâmicos envolvidos (ondas, correntes e ventos) e as condições energéticas do ambiente durante o seu retrabalhamento.

Verifica-se que a praia apresenta sedimentos classificados como bem selecionado a muito bem selecionados, sendo que, na linha baixa e alta da maré, há predominância de sedimentos muito bem selecionado e na zona intermédia da maré verificam-se sedimentos bem selecionados. Essas características revelam pouca dispersão dos grãos pela abundância de sedimentos muito bem selecionados com tendência a bem selecionados ocasionado pela alteração do agente de transporte na zona intermédia.

Folk e Ward (1957) afirmam que os sedimentos das praias com a mesma proveniência tendem a ser bem selecionados do que sedimentos fluviais, devido a ação das ondas, marés e ventos que promovem a seleção das partículas. Martins (1965) adiciona que as partículas sedimentares que recobrem as praias geralmente apresentam sedimentos moderadamente selecionados a bem selecionados, enquanto que os sedimentos dos rios são pobremente a moderadamente selecionados e os sedimentos eólicos costumam ser bem selecionados, comprovando o carácter bem e muito bem selecionado dos sedimentos da praia de Zalala.

A assimetria é uma variável importante pois permite aferir as classes sedimentares mais frequentes, os agentes de transporte e a fonte dos sedimentos praias. Areias de praias energéticas expostas somente a ondas e correntes tendem a apresentar assimetria negativa resultante da remoção de grãos mais finos durante o fluxo e refluxo da onda enquanto areias de rios e dunas, apresentam assimetria positiva (Jesus & Andrade (2013) & Nhatsave & Machaieie 2021)).

A praia de Zalala apresenta sedimentos com assimetria positiva a muito positiva, variando em função de cada perfil de amostragem. Na Linha Alta e baixa da Maré predomina assimetria muito positiva e na Zona Intermédia assimetria positiva. O domínio da assimetria positiva e muito positiva verificado nas três regiões da praia, como fora referenciado anteriormente por Jesus e Andrade (2013), deixa evidente a contribuição dos ambientes circunvizinhos como rios durante as descargas fluviais, e dunas de areia erodidas durante a flutuação da maré na maré de sizígia, fornecendo deste modo o material ao ambiente de praia. Os resultados obtidos no corrente estudo corroboram com os de Nhatsave & Machaieie (2021) onde a praia de Zalala apresentou uma assimetria positiva.

No contexto de distribuição granulométrica dos sedimentos, relaciona-se a curtose com o desvio-padrão de uma dada amostra, onde as curvas mais achatadas denominadas platicúrticas refletem misturas de várias classes sedimentares que se distribuem de forma proporcional entre os extremos esquerdo (partículas mais grossas) e direito (partículas mais finas), o pico mais alongado na parte central das curvas denominadas leptocúrticas denota melhor seleção da amostra, já as curvas de distribuição normal padrão, classificadas como mesocúrticas apresentam características intermediárias, não são nem muito pontiaguda nem muito achatada (Velo (2001) & Nhatsave & Machaieie (2021)).

A amostra de sedimentos do ambiente estudado apresenta uma variedade em termos da forma de achatamento ao longo dos perfis de amostragem. A praia de Zalala mostra-se quase linear ao longo dos perfis, apresentando curvas platicurticas na Zona Intermédia, e curvas muito platicurticas nas linhas alta e baixa da maré. Martins (1965), afirma que os sedimentos de praias no geral possuem curvas leptocúrticas devido a atuação dos agentes costeiros que promovem melhor selecionamento. Este facto provavelmente está associado à mistura de diferentes classes granulométricas provenientes de outros ambientes, conservando as características da área-fonte Este ou à incorporação de material proveniente de outros ambientes, sem alteração das características da área-fonte, conforme afirmam Folk e Ward (1957). De facto, a praia de Zalala recebe sedimentos provenientes do estuário dos Bons sinais que por sua vez é influenciado pelos rios Cuácua e Licuar, para além disso a praia tende a transportar sedimentos finos do ambiente das dunas para a praia durante o pico das marés de sizígia.

5.3.Perfis topográficos

A análise morfológica dos perfis evidencia que a praia de Zalala apresenta uma notável variação espacial na sua morfologia, marcada pela heterogeneidade ao longo da secção transversal.

No verão de outubro de 2023, a praia de Zalala apresentou uma inclinação mais suave e estável, sem grandes variações morfológicas com tendências de deposição de sedimentos ao longo das secções transversais observadas. Por outro lado, em abril de 2024 correspondente ao inverno, período geralmente caracterizado por ondas destrutivas e regimes de ventos fortes (Gibeaut, 1994), a praia apresentou uma variação expressiva na morfologia, destacada por maior variação de elevação, declive mais acentuado e tendências de erosão. Este comportamento da praia está em conformidade com as teses de Short (1999), Hugles (2003), Short (1984), Komar (1998) e Dean (1973) afirmando que as variações sazonais das variáveis como ondas, marés, ventos e correntes afetam diretamente os processos de erosão e deposição de sedimentos, moldando o perfil da praia de maneiras diferentes em épocas de tempestade (inverno) e de calmaria (verão). Durante o inverno, as praias em regiões temperadas são caracterizadas por ondas mais energéticas associadas a tempestades e sistemas de baixa pressão, com tendência de erodir e transportar a areia da parte mais superior da praia (pós-praia e bermas) para o mar, formando barras de areia submersas (Komar, 1998). Os dados meteorológicos e hidrodinâmicos da praia de Zalala coletados durante o inverno revelam se tratar de uma praia caracterizada por ondas energéticas com alturas significativas que podem atingir quase 2 metros e com ventos que variam de moderados a fortes com velocidades que chegam á 7 metros e que consistentemente predominam nas direções leste(E) e nordeste(SE) com elevado potencial de erodir o perfil de praia (vide o perfil topográfico de abril).

No verão, época que engloba o mês de outubro, período em que foram feitos os perfis em 2023, as ondas são geralmente menores e menos energéticas e a areia que é transportada para o mar durante o inverno é lentamente trazida de volta para a praia, reconstruindo-a e criando um perfil mais largo e suave, conhecido como perfil de verão (Shepard, 1950). De facto, os ventos na praia de Zalala no verão mostraram-se moderadamente intensos podendo ser associados a ondas de menor energia e mesomarés (vide a figura 5) com variações entre 2-4 metros, proporcionam um período de calmaria e reconstrução da praia (vide figura 15, perfil de outubro).

Características similares foram apresentadas por Calliari (2006) em seu estudo sobre as praias do Rio Grande do Sul, onde as praias de Querência e Navio Altair apresentaram perfis mais suaves e largos durante o verão, associados a ondas de menor energia e perfis mais íngremes associados a ondas energéticas no inverno. No entanto, os resultados do presente trabalho divergem com os resultados encontrados por Marove (2015) Manjate (2017) e Matola (2017), nos quais, para a mesma área de

estudo observaram perfis topográficos com uma declividade suave, com pouca variação morfológica nas duas estações (verão e inverno).

As discrepâncias entre os estudos supracitados e o presente estudo podem estar associadas as diferenças nas metodologias aplicadas. Nos trabalhos de Marove (2015), Matola (2017) & Manjate (2017), foi usado o teodolito óptico para a aquisição de dados topográficos e extração dos perfis, que é um instrumento tradicional e preciso para medições angulares, porém que possui as seguintes limitações: requer uma linha de visada clara entre o instrumento e o ponto a ser medido, é limitado a áreas pequenas, para além de ser influenciado pelas condições atmosféricas que podem afetar a visibilidade e a precisão da leitura (Silva, 2017). Estas limitações podem ter influenciado no baixo nível de detalhamento obtido nos perfis e na identificação de feições ao longo dos trechos observados. Em contrapartida, no corrente estudo foi usado o drone DJI Mavic 3 que permitiu a aquisição remota de dados topográficos de alta resolução e geração de modelos digitais de terreno e mosaicos de imagens ortorretificadas com pouca interferência humana na aquisição de dados. Os drones são seguros e rentáveis, apresentando elevada precisão e rapidez necessárias para os levantamentos em praias (Casella, 2020).

No que concerne a feições morfológicas ao longo dos perfis topográficos foram observadas variações morfológicas presentes nas duas estações desde a zona de pós-praia até a região submersa que são discutidas abaixo.

Na zona de pós-praia formam-se dunas, feições mais interiorizadas de praias arenosas de baixa a moderada energia das ondas e onde ocorre transporte eólico que acumula os sedimentos acima da linha de maré alta, na qual o impacto direto das ondas é mínimo, podendo atingir apenas a base das dunas (Cardoso (2018) & Filho (2021)).

As barras submarinas formam-se na zona de estirâncio no perfil da praia de Zalala pela quebra das ondas e pelo movimento de sedimentos causado pela turbulência associada. Durante o transporte de sedimentos, parte do material é deslocado para o mar, formando elevações (barras) submersas paralelas à costa. Essas barras são dinâmicas e podem migrar conforme a sazonalidade das ondas e das correntes de retorno, igualmente ao que se verifica na praia de Nine Mile, Queensland (Austrália) onde uma ou duas barras oscilantes e morfologia transversal da barra são observadas no nível da maré baixa (Hegge, 1995). Para Short (1982) & Short (1991), a formação de barras arenosas é característica típica de uma praia de meso á macromaré de estado morfodinâmico dissipativo. Foram formadas cavas submarinas entre as barras submarinas formadas pela ação de correntes de retorno e pela ação das ondas que erodem sedimentos, criando uma depressão(cava). Realmente a praia de Zalala segundo a classificação proposta por Calliari (2003) caracteriza-se por um regime de mesomarés (2-

4 m) que podem atingir alturas superiores a 3 metros justificando a formação de barras arenosas e cavas submarinas ao longo do perfil de praia.

A face da praia é formada pelo espraçamento das ondas, que transporta e deposita sedimentos em uma inclinação. Representa a parte do perfil de praia sobre o qual ocorrem os processos de espraçamento, fluxo e refluxo (swash e backwash) e localiza-se entre o nível médio do mar no momento da observação e a crista da berma (Short, 1999). A face de praia em outubro mostrou uma declividade mais suave e gradual, e a face de praia em abril apresentou uma declividade mais íngreme, típico deste período de condições energéticas altas e ventos mais fortes. A face de praia, é amplamente estudada por autores como Wright e Short (1984) que discutem a dinâmica das praias do sul da Austrália, observando como as mudanças na energia das ondas afetam a largura e a inclinação da face de praia. Eles destacam que praias expostas apresentam faces mais íngremes durante a temporada de ondas fortes, enquanto em períodos de calmaria, a deposição de sedimentos resulta em faces mais suaves tornando os resultados obtidos no presente estudo consistentes.

Para os dois períodos observados (outubro e abril) é formado um terraço de maré entre a zona de maré alta e baixa, onde a ação das ondas é intermitente, dependendo do nível da maré. Durante a maré alta, o espraçamento das ondas deposita sedimentos no terraço, enquanto na maré baixa, esses sedimentos ficam temporariamente expostos (Short, 1984). Assim, em outubro o terraço de maré apresentou-se suave e nas condições de energia alta (abril) foi formado um terraço mais íngreme. Estes resultados são consistentes com os obtidos por Hegge (1995) ao afirmar que a presença de um terraço de maré caracterizado por um suave gradiente está associada a condições energéticas menores propiciando a formação de barras submarinas em condições de baixa maré e as condições de maior energia justificam a formação de um terraço mais íngreme.

Esta dinâmica sazonal do perfil de praia possui profundas implicações ecológicas e socioeconômicas visto que a alteração do perfil da praia pode modificar habitats críticos para diversas espécies, influenciando a biodiversidade local. A pesca e a dinâmica dos ecossistemas costeiros variam conforme a composição do substrato, sendo mais produtiva no verão, com sedimentos finos, e mais desafiadora no inverno, quando predominam sedimentos mais grossos e este facto contribui para uma baixa renda e agrava a situação de pobreza em que muitos pescadores artesanais vivem. Ademais, a variação sazonal do perfil de praia pode impactar a estética e a funcionalidade do espaço, afetando negativamente o turismo que representa uma das formas de subsistência das comunidades costeiras, caso concreto dos moradores de Zalala (Costa, 2023).

5.4. Feições geomorfológicas

Foi identificada a formação das seguintes feições erosivas na praia de Zalala para os dois períodos observados: dunas eólicas, escarpas erosivas, ondulações (*ripples*), bancos de areia, cúspides e calhas longitudinais (vide as figuras 22 e 23), cuja presença pode denotar intercalação entre diferentes estágios hidrodinâmicos.

No verão (outubro de 2023) foram formadas *ripples* simétricas com cristas e vales mais uniformes associadas a ondas de baixa energia e período de calmaria que se observa no verão, por sua vez, no inverno as ondas mais fortes e correntes turbulentas geraram *ripples* assimétricas, com uma inclinação mais acentuada em um lado sendo que a intensidade das ondas foi alta o suficiente para redistribuir os sedimentos e criar padrões mais complexos tal como mencionado por Masselink (2007) em sua análise sobre a geometria e dinâmica das ondulações na zona costeira da Inglaterra, constatou que sob condições de ondas baixas (períodos de baixa energia) formam-se *ripples* de menor comprimento e com padrões rítmicos simétricos e debaixo de condições de alta energia, as *ripples* formadas são assimétricas e são de ordens de magnitude relativamente maiores.

Além disso, Neto (2018) ressalta em seu estudo sobre a distribuição das formas de fundo e padrões sedimentares no porto de Mucuri, que as *ripples* são micro-feições definidas como ondulações arenosas, podendo ser *wave/current ripples* as que apresentam comprimento <0.6 m sendo que estas estão associadas a ondas de comprimento menor e baixa energia e as *large ripples* que são formadas por ondas de maior energia e altura, essas *ripples* apresentam um comprimento entre 0.6 -1 metro. Apesar das duas estações apresentarem condições energéticas distintas, com base na categorização de Neto (2018), no presente estudo foram identificadas apenas as *wave/current ripples* no inverno e verão.

As cúspides são formações de areia em forma de pequenas baías e promontórios, que se alternam ao longo da linha de costa. Elas são resultado da interação entre as ondas e o fluxo de retorno. Em outubro, foram formadas cúspides de maior espaçamento e com formas mais suaves e que estão associadas a ondas de menor energia, porém em abril formou-se cúspides mais marcadas e espaçadas de forma regular ao longo da costa devido à ação repetitiva e consistente de ondas mais energéticas, que moldam a areia com maior intensidade. Resultados similares foram obtidos por Klein (1993) em seu estudo sobre praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS, onde identificou na praia de Querência feições secundárias, sob a forma de cúspides praias acentuados e associadas ao aumento do nível de energia sugerindo que a formação de cúspides está associada a ondas energéticas e capazes de criar pequenas baías e promontórios.

Hegge (1995) em seu estudo sobre a costa central de Queensland(Austrália), afirma ainda que cúspides mais marcadas e com espaçamento regular denotam condições de energia relativamente alta ($H > 0,5$ m) e por uma zona de arrebentação reflexiva e cúspides de maior espaçamento e forma suave estão associadas a ondas de ondas baixas ($H < 0.5$ m) presentes em torno do nível da maré alta corroborando com os resultados obtidos no presente estudo onde as ondas menores de cerca de 0.36 m observadas na praia de Zalala propiciaram a formação de cúspides de maior espaçamento e mais suaves no período de verão e as condições energéticas de ondas de alturas que variam de 1-1.6 m e ventos de 7-8 metros de intensidade ocasionaram a formação de cúspides mais marcadas e com espaçamento regular.

Das feições mais expressivas foram identificadas as dunas frontais resultantes da deposição de partículas de sedimentos transportados pelo vento e acumulados na porção mais exterior da praia e são estabilizadas pela vegetação sendo atingida na base por uma face íngreme formada pela ação erosiva dos processos costeiros, a escarpa erosiva (Terres, 2018).

Na praia de Zalala as dunas de declividade mais expressa com vegetação relativamente menos intensa foram observadas em outubro. Em abril as dunas apresentavam uma declividade relativamente íngreme e intensa vegetação denotando condições energéticas relativamente altas neste período do ano. Apresentando-se mais vegetadas e espessas e com um escarpamento mais expressivo no inverno (abril). De facto, Manjate (2017) em suas observações constatou que no mês de março(verão), período caracterizado por ondas de menor energia as dunas eram mais planas e com declividade suave, ao passo que no mês de julho(inverno), a praia de Zalala apresentou altas condições energéticas e as dunas apresentaram nesse período uma declividade mais íngreme, sugerindo que a variabilidade morfológica das dunas da praia é primeiramente modulada pelas ondas.

Apesar de existirem diferenças em termos na intensidade da energia das ondas, elas são suficientemente energéticas para atingir a base das dunas nas duas estações observadas. Similarmente as observações feitas por Terres (2018), no presente estudo foram identificadas dunas frontais com características variáveis no que diz respeito à sua morfoecologia, altura, largura e presença de comunidades vegetais características, além da presença de escarpas nas duas estações, as quais ocorrem com maior expressão no inverno. Calliari (2000) identificou dunas embrionárias e frontais na praia do Cassino no Brasil, onde sedimentos são acumulados em épocas de menor energia hidrodinâmica (primavera e verão) e são destruídas durante os eventos de maior energia hidrodinâmica (inverno) como as marés meteorológicas. Dunas menos espessas e com declividade suave e menos vegetadas estão associadas a ondas construtivas, já as dunas com declividade mais

íngreme e vegetação mais intensa principalmente na face virada a praia são associadas a ondas de alta energia (Sousa, 2022).

Por sua vez, a formação de calhas na praia de Zalala está associada principalmente à energia das ondas e às interações entre as correntes de retorno e a morfologia da praia. As correntes de retorno, que ocorrem quando as ondas quebram e a água flui de volta para o mar, erodem sulcos no fundo da praia, formando as calhas. Geralmente formam-se em praias de alta energia, onde as correntes de retorno são mais intensas e focadas (Short, 1991), concordando com Filho (2007) que no setor SE (baixa a moderada energia da onda) da praia de Ajuruteua, Brasil constatou a presença de barras arenosas e calhas, na zona de estirâncio, característica típica de uma praia de macromaré de estado dissipativo, acordando com a tese de Short (1982), Short (1991). Realmente as marés da praia de Zalala são caracteristicamente de alturas de cerca de 4 m tornando-a uma praia de meso-macromaré e propicia para a formação de calhas longitudinais.

Em costas oceânicas caracterizadas pela alternância de ondas de tempestades ou de ondulações de alta energia com períodos de ondulações de baixa energia, os bancos aparecem como feições muito dinâmicas, migrando em direção ao mar durante tempestades e com direção à costa durante regimes de menor energia (Calliari, 2003) é o que acontece na praia de Zalala no inverno(período de maior energia), bancos de areia mais robustos e com estruturas complexas são formados, entretanto nesse período de energia como já mencionado por Klein (1993) pode ocorrer acreção no prisma praial pela diminuição ou inexistência de sistemas frontais, o que diminui a energia das ondas.

Grandes saltos morfológicos estão relacionados a eventos de grande energia, que podem desestabilizar o prisma praial (Sallenger, 1993) transportando sedimentos de dunas e do pós-praia para a zona de arrebentação, formando bancos paralelos. Com redução dos níveis energéticos o movimento contrário é observado, transportando os bancos até a linha de praia os quais podem ser soldados a mesma concentrando o estoque de sedimentos na parte subárea da praia (Aagaard, 1993) como ocorre em outubro de 2023 onde os bancos são mais achatados e extensos, expostos na maré baixa e submersos na maré alta, semelhante ao que acontece na praia de Ajuruteua onde há formação do banco arenoso em frente a praia, fazendo com que o sedimento oriundo da plataforma continental, fique retido no banco. Fazendo com que as correntes de maré de vazantes e à deriva litorânea, seja o principal mecanismo para o transporte de sedimento entre as extremidades da praia, dificultando o suprimento de sedimento no setor mais erosivo da praia de Ajuruteua.

6. Conclusão

O presente estudo sobre a morfodinâmica da praia de Zalala permitiu constatar que a praia de Zalala enquadra-se nas praias arenosas caracterizadas por um regime do tipo meso e macromaré, com granulometria fina, apresentando um comportamento sazonal no perfil de praia.

Durante o verão, a praia apresenta um perfil suave e estável, sem grandes variações morfológicas, por outro lado, no inverno a praia apresenta maior variação na elevação e um declive mais acentuado com variação expressiva na morfologia. O perfil da praia no inverno é claramente associado a processos erosivos denotados pela formação de cavas e bancos submarinos bem destacados e um escarpamento bastante acentuado na base das dunas eólicas com vegetação mais robusta e maior espessura e íngremes, *ripples* assimétricas e cúspides mais marcadas, mais espaçadas regulares. No verão a praia de Zalala passa por um processo de recuperação, com ondas relativamente menos energéticas denotadas pelo perfil dissipativo numa sequência acrescional, resultando em uma praia mais larga e elevada, de uma face mais íngreme com a formação de uma calha menos profunda e escavada. Durante o verão as cúspides apresentam maior espaçamento e com formas mais suaves e os bancos são mais achatados e extensos. As *ripples* de verão apresentam cristas e vales mais uniformes e por sua vez as dunas menos íngremes e vegetadas, porém erodidas na base, apresentando uma espessura menor.

Os resultados desta pesquisa propõem que a praia de Zalala alterna-se entre dois estágios morfodinâmicos: um estágio dissipativo que ocorre nos meses de verão, com ocorrência de ondas menores (calmaria) e outro estágio morfodinâmico intermediário de "banco e calha longitudinal" (*longshore bar and trough*), que ocorre entre os meses de inverno, período com o maior nível de energia, o espraçamento na face da praia é relativamente alto com a formação feições erosivas, sendo mais evidentes e deposicionais associadas a ondas longas e de alta energia.

A análise climatológica das velocidades médias mensais não mostrou grandes variações de intensidade do vento ao longo do ano o que o sugere que as variações sazonais na morfologia da praia de Zalala estão associadas a frequência de tempestades, sendo mais frequentes no inverno. As marés desempenham um papel preponderante no transporte de sedimentos ao longo da praia de Zalala, removendo os sedimentos na componente mais transversal das dunas para praia e vice-versa.

Compreender a morfodinâmica e a variação sazonal do perfil das praias é essencial, pois esses fatores influenciam diretamente a biodiversidade marinha e as atividades socioeconômicas das comunidades costeiras. Alterações no perfil praias afetam habitats de invertebrados, provocam erosão e impactam a pesca artesanal, tornando o conhecimento desses processos crucial para a gestão sustentável dos recursos naturais. Ademais, a consistência dos resultados apresentados neste estudo, aliada a precisão

e eficiência logística do aparelho na coleta e processamento de dados, tornam o uso de drones uma solução eficaz para a observação mais frequente da morfologia das zonas costeiras de Moçambique, contribuindo desta forma para sua gestão sustentável.

7. Limitações e Recomendações

O presente trabalho apresentou as seguintes limitações:

1. A falta de instrumentos para a aquisição de dados oceanográficos referentes ao período estudado;
2. A falta de informação recente sobre uso de drones para estudos morfodinâmicos de praias em Moçambique;
3. Indisponibilidade de softwares de acesso livre para a geração de Ortomosaicos e DEM's.

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- A aquisição e utilização de dados oceanográficos (como altura de ondas, correntes e marés) referentes ao período exato da análise, obtidos por meio de sensores in situ ou fontes de reanálise confiáveis. Isso permitirá maior precisão na correlação entre os processos hidrodinâmicos e as mudanças morfológicas observadas;
- A realização de estudos que envolvam o cálculo do balanço sedimentar da praia ao longo das estações do ano, permitindo quantificar as perdas e ganhos de sedimento, o que é fundamental para entender a resiliência da praia frente a eventos extremos e variações climáticas sazonal.

8. Referências bibliográficas

- Aagaard, S. &. (1993). Single and multi-bar beach change models. pp. 141-157.
- Antonio Rodrigues Ximenes Neto, J. O. (2018). DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DE FUNDO E PADRÕES SEDIMENTARES NO PORTO DO MUCURIBE, FORTALEZA-CEARÁ. v. 19(nº 2). Obtido de <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1278>
- BRAGA, F. P. (2007). *Morfologia e Sedimentologia da Praia de Macromaré de Ajuruteua, Pará: um Estudo para Definição de Índices de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal do Pará,, Instituto de Geociências, Belém.
- Calliari, A. O. (Dezembro de 2006). Morfodinamica da praia do Mar Grosso, Sao Jose do Norte/RS. (4), pp. 23-36.
- Calliari, D. M. (2003). Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Morfodinâmica praial: uma breve revisão*, pp. 63-78.
- Calliari, D. M. (2003). Morfodinâmica praial: uma breve revisão. pp. 63-78.
- Calliari, H. A. (05 de 2000). Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS.
- Calliari, S. F. (2006). Sedimentologia e sua implicacoes na morfodinamica das praias adjacentes as desembocaduras da linha de costa do Rio Grande do Sul. (4), pp. 73-87.
- Cardoso, I. G. (2018). MORFODINÂMICA ENTRE PRAIA E DUNA EM TRECHO EXPOSTO A VENTOS DO MAR PARA A TERRA: ENFOQUE ESPECIAL AO EFEITO DE PISTA DE VENTO - LITORAL DE CABO FRIO, RJ.
- Casella, E. &. (23 de January de 2020). Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. pp. 256-268. doi: <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00638-8>
- Costa, M. C. (Janeiro de 2023). ESTUDO SAZONAL DA POLUIÇÃO POR RESÍDUOS SÓLIDOS NAS PRAIAS DAS ÉGUAS E DE JACUECANGA, ANGRA DOS REIS, RIO DE JANEIRO, BRASIL. 12(01). Obtido de <http://www.cadgeo.uff.br/index.php/cadgeo/index>
- Dean, R. (1973). "Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone". Proceedings of Coastal Engineering Conference.
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. P.h.D thesis, ETH Zürich, Switzerland.
- F.P., S. (1950). Beach cycles in Southern California Beach Erosion board. (20), p. 26.
- Fernandez, S. R. (1 de 7 de 2021). Coastal MD: programa de cálculo de parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias arenosas. *Coastal MD: programa de cálculo de parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias arenosas*, v. 22(nº 3), pp. 718-729. doi:10.20502/rbg.v22i3.1971

- Filho, S. R. (1 de 07 de 2021). Coastal MD: programa de cálculo de parâmetros adimensionais. v. 22(nº 3). doi:10.20502/rbg.v22i3.1971
- Filho, V. M. (2007). ESTUDO MORFODINÂMICO DURANTE UMA MARÉ EQUINOCTIAL DE SÍZIGIA EM UMA PRAIA DE MACROMARÉ DO LITORAL AMAZÔNICO (PRAIA DE AJURUTEUA-PA, BRASIL. (n. 60-6), pp. p. 31-43.
- FitzGerald, R. A. (2004). Beaches and Coasts.
- G. Masselink, M. J. (24 de October de 2007). Geometry and Dynamics of Wave Ripples in the Nearshore Zone of a Coarse Sandy Beach. *VOL. 112*, pp. 1-19. doi:10.1029/2006JC003839
- Ghilani, P. R. (2015). *Topografia* (14 edicao ed.). Mexico: Alfaomega.
- Gibeaut, R. A. (1994). Stages and Durations of Post-Storm Beach Recovery, Southeastern Texas Coast, U.S.A. pp. 884-908.
- GTK CONSORTIUM. (2006). *NOTÍCIA EXPLICATIVA / MAP EXPLANATION* (Vol. VOLUME 3).
- Hegge, G. M. (19 de June de 1995). Morphodynamics of meso- and macrotidal beaches: examples from central Queensland, Australia. pp. 1-23.
- Hugles, G. M. (2003). Introduction coastal processes and Gemorphology.
- <https://www.timeanddate.com/weather/@1095996/climate>
- Jackson, A. D. (2013). BeachMorphodynamics. *BeachMorphodynamics*, 10, pp. 106-129. doi:10.1016/B978-0-12-374739-6.00275-X
- JESUS, L. V. (2013). Parâmetros Granulométricos dos Sedimentos da Praia dos Artistas-Aracaju-SE. 9(5). Obtido de <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/1289/729>.
- João Francisco de Carvalho Choé, J. S. (Janeiro de 2025). Turismo e degradação ambiental na praia de Zalala- Zambézia. 17(4), pp. 413-429.
- Klein, L. J. (Agost de 1993). Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas Entre Rio Grande e Chuí, RS. (I. d. Geociências, Ed.) Obtido de <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21281>
- Komar, P. (1998). Beach Processes and Sedimentation.
- Lanza, R. O. (2018). UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO PARA CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES NO BRASIL.
- Machaieie, G. V. (01 de 07 de 2021). Análise comparativa da distribuição dos sedimentos em duas praias da província da Zambézia, Moçambique. v. 22. doi:<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1765>

- Manjate, E. T. (2017). *Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia de Zalala Quelimane*. Monografia, UEM-ESCMC, Ciencias Marinhas e Costeiras , Quelimane.
- Manjate, E. T. (2017). *Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia de Zalala Quelimane*. Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha , UEM_ESCMC, Ciencias Marinhas e Costeiras, Quelimane.
- Manjate, E. T. (2017). *Caracterização Morfológica e Sedimentar da Praia de Zalala-Quelimane*. Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Geologia Marinha , UEM, Ciencias Marinhas e Costeiras , Quelimane.
- Marove, J. F. (2015). *Estudo da morfodinamica sedimentar da praia de Zalala*. Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia, UEM, Ciencias Marinhas e costeiras , Quelimane.
- MARTINS, L. R. (1965). Significance of Skewness and Kurtosis in Environmental Interpretation. 35(3), pp. 768-770.
- Masselink, A. D. (1993). The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morfology: A conceptual Beach Model. 9(3), pp. 785-800.
- Matola, Z. T. (Novembro de 2017). *DINÂMICA MORFO-SEDIMENTAR DA PRAIA DE ZALALA – QUELIMANE*,. Monografia para Obtenção de Grau de Licenciatura em Geologia Marinha, UEM, Ciencias Marinhas e Costeiras, Quelimane.
- Menezes, J. T. (2008). *Balanco de sedimentos arenosos da enseada de baneario Camboriu-SC*. Pos-graduacao em Geociencias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Instituto de Geociencias , Porto Alegre.
- MICOA. (2012). *PERFIL AMBIENTAL E MAPEAMENTO DO USO ACTUAL DA TERRA NOS DISTRITOS DA ZONA COSTEIRA DE MOÇAMBIQUE*. Província da Zambézia .
- Modelo digital de elevação
- Monteiro, D. C. (2017). *CARACTERIZAÇÃO MORFODINÂMICA E SEDIMENTOLÓGICA DAS PRAIAS DO POÇO, CAMBOINHA, PONTA DE MATO E MIRAMAR, MUNICÍPIO DE CABEDELO, PARAÍBA*. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação, JOÃO PESSOA.
- MONTEIRO, D. C. (2017). *CARACTERIZAÇÃO MORFODINÂMICA E SEDIMENTOLÓGICA DAS PRAIAS DO POÇO, CAMBOINHA, PONTA DE MATO E MIRAMAR, MUNICÍPIO DE CABEDELO, PARAÍBA*. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA , CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA , JOÃO PESSOA.
- MORAIS, J. (1996). Processos e impactos ambientais em zonas costeiras. 9, pp. 191-242.

- Moura, M. R. (2012). *Dinamica Costeira e vulnerabilidade a erosao do litoral dos municipios de Caucaia e Aquiraz, Ceara*. Doutorado , Universidade Federal do Ceara-UFC, Departamento de Geografia, Fortaleza-Ceara.
- MUEHE, D. (1996). Geomorfologia Costeira.
- MUHUE, D. (2006). Definicao de limites e tipologias de orla sob aspectos morfodinamicos e evolutivo.
- OLIVE, A. C. (2021). *LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO COM O USO DE DRONE*. UNIEVANGÉLICA, CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, ANÁPOLIS / GO .
- Pereira, F. d. (2007). MORFOLOGIA E SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA DE MACROMARÉ DE AJURUTEUA, AMazônia, NORTE DO BRASIL. (n. 60-61), pp. p. 11-30.
- PRATA, P. M. (2005). *Variação Textural dos Sedimentos da Praia de Camburi Vitória – ES Após o Engordamento Artificial*. Dissertação (Graduação em Oceanografia), Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Vitória.
- R. O. Borges, A. J. (s.d.). UTILIZAÇÃO DE DRONES DE PEQUENO PORTE COMO ALTERNATIVA DE BAIXO CUSTO PARA CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES NO BRASIL .
- Revista integrada de gestão costeira
- Robson, M. R. (19 de June de 2014). Mitigating systematic error in topographic models derived from UAVandground-basedimagenetworks. (J. W. Ltd, Ed.) *Vol. 39*, pp. 1414-1420. doi:10.1002/esp.3609
- Rosati, J. D. (March de 2005). Concepts in Sediment Budgets. doi: 10.2112/02-475A.1
- Rovere, E. C. (23 de January de 2020). Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. pp. 255-268. doi:10.1007/s00367-020-00638-8
- SALLENGER, H. &. (1993). Sand bar generation: a discussion of the duck experiment series.
- Samuel, H. M. (2017). *Estudo da dinâmica da linha da costa da praia Nova na cidade da Beira desde 2005 a 2016*. Monografia, UEM_ESCMC, Ciências Marinhas e Costeiras, Quelimane.
- Short, A. D. (1982). Morphodynamics of a macrotidal beach. pp. 97-128.
- Short, A. D. (1991). Macro-Meso Tidal Beach Morphodynamics: An Overview. *Vol. 7*(No. 2), pp. 417-436. Obtido de <http://www.jstor.org/stable/4297847?origin=JSTOR-pdf>
- SHORT, A. D. (1999). Handbook of beach and shoreface morphodynamics.

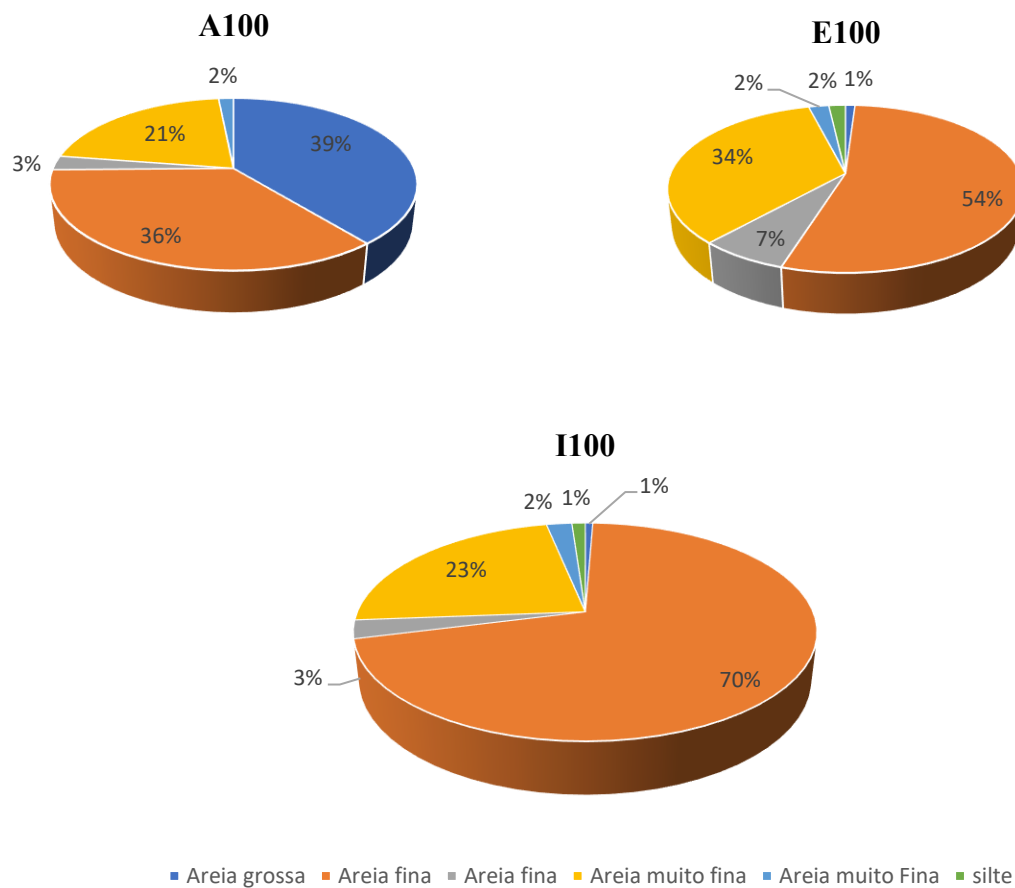
- SHORT, A. D. (2 de Janeiro de 2012). Beach Morphodynamics in Australia 1970s–2010. *Beach Morphodynamics in Australia 1970s–2010*, pp. 144-153. doi: 10.1111/j.1745-5871.2012.00760.x
 - Short, A., & Wright. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. pp. 93-118.
 - Silva, B. F. (2017). *ESTUDO COMPARATIVO DE GNSS E ESTAÇÃO TOTAL NO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO*. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, João Pessoa.
 - Silva, G. M. (2006). *Orientacao da Linha de Costa e Dinamica dos sistemas praia e Duna: Praia de Mocambique, Florianopolis, SC*. Dissertacao de pos-graduacao, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Geociencias , Porto Alegre.
 - SOUSA, J. V. (2022). *Variação morfológica e sedimentológica da face da praia em relação as mudanças sazonais (Praia de Ajuruteua - PA)*. Grau de Licenciado Pleno em Ciências Biológicas, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ-CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BRAGANÇA, FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS , BRAGANÇA – PA.
- SOUZA, C., FILHO SOUZA, P., ESTEVES, S. L., VITAL, H., DILLENBURG, S. R., PATCHINEELAM, S., & ADDAD, J. E. (2005). Praias arenosas e erosao costeira. pp. 130-152.
- Suguio, K. (1973). Introducao a sedimentologia. (E. Blücher, Ed.)
- SUGUIO, K. (1998). Dicionario de geologia sedimentar e areas afins. p. 222p.
- Terres, V. C. (julho de 2018). *VARIAÇÃO SAZONAL, GRANULOMÉTRICA E MORFOLÓGICA LONGITUDINAL DO SISTEMA PRAIA DUNA NO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL , NSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS , Porto Alegre.
- Ulisses Rocha de Oliveira, R. S. (2019). ROSÃO DE DUNAS SOB AÇÃO DE UM EVENTO EXTREMO DE ALTA ENERGIA DE ONDAS NA COSTA CENTRAL E SUL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL. 20(1), p. 22. doi:http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1352
- VELOSO, J. D. (2001). *Considerações Sobre a Analise Granulométrica de Sedimentos Praiais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Rio de Janeiro, Brasil.
- Victor, W. M. (25 de 08 de 2022). CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ZAMBEZE: UMA CONTRIBUIÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DO GRAU DE SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE TETE. v. 1(n. 3), pp. p. 105-121.

- Villwock, J. A. (1987). Processos costeiros e a formação das praias arenosas e campos de dunas ao longo da costa sul e sudeste brasileira. São Paulo: In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA. Obtido de <http://www.waves.com.br/>
- WARD, R. L. (MARCH de 1957). BRAZOS RIVER BAR: A STUDY IN THE SIGNIFICANCE OF GRAIN SIZE PARAMETERS. 27(1), p. 3 26 .
- WENTWORTH, C. (1922). Scale of grade and class terms for clastic sediments . pp. 377-392.

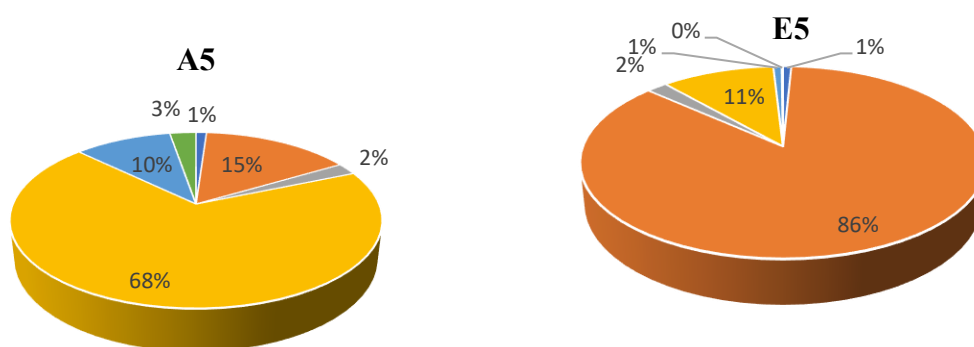
9. Anexos

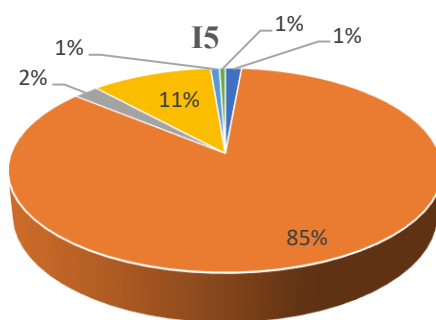
Anexo I- Distribuição percentual dos sedimentos da praia ao longo dos perfis de amostragem

Zona Intermédia

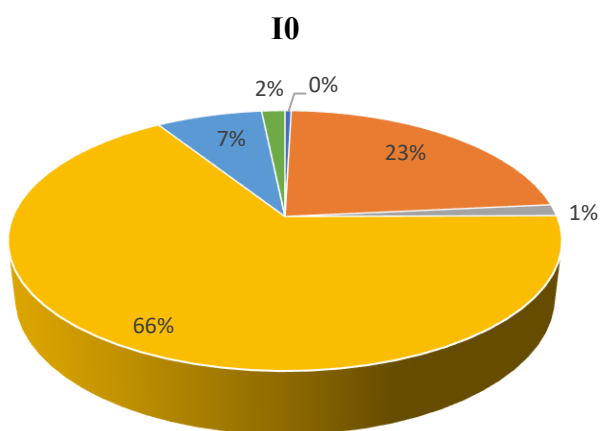
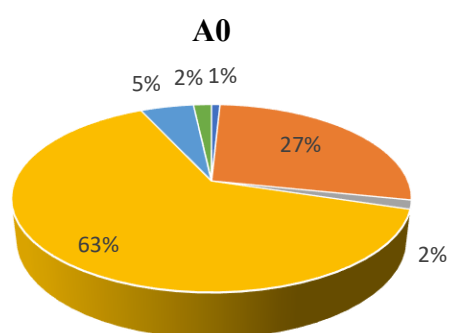
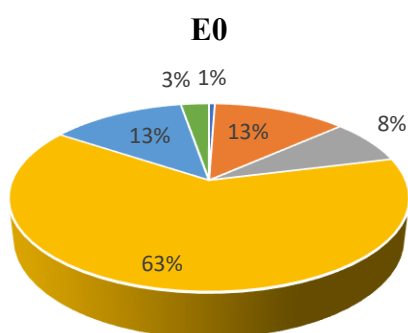


Linha da baixa de maré



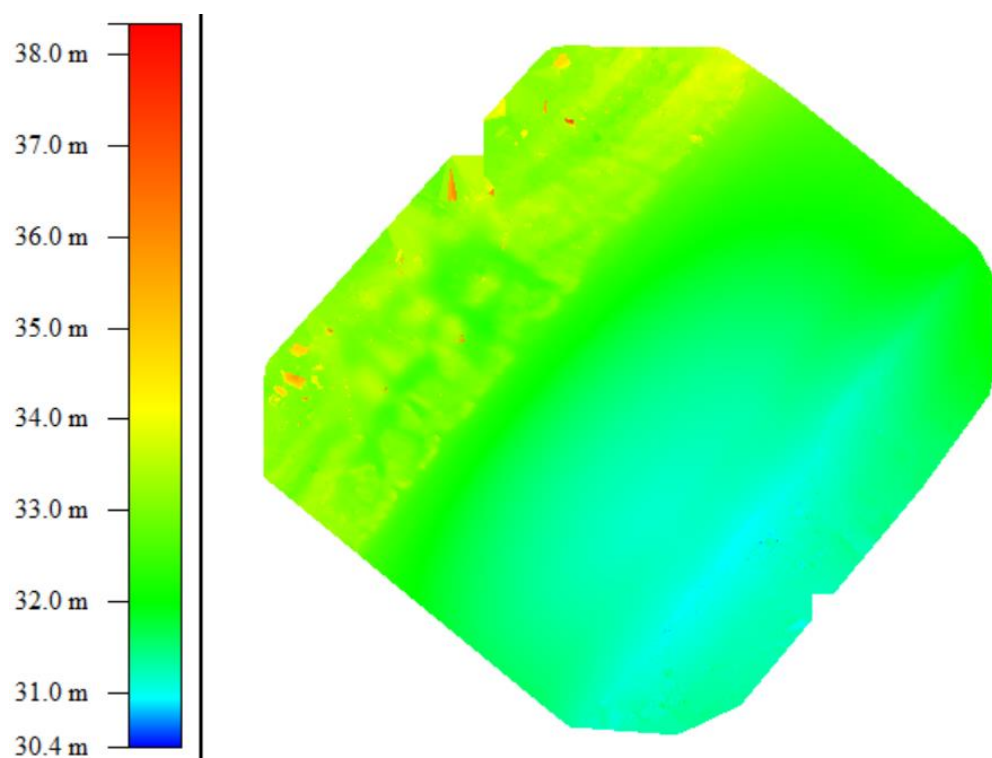


Linha Alta da Maré



■ Areia grossa ■ Areia fina ■ Areia fina ■ Areia muito fina ■ Areia muito Fina ■ silte

1. Modelo digital de elevação de outubro, 2023



2. Modelo digital de elevação de abril, 2024

