Physis Terrae
Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente
Iberian-African-American Journal of Physical Geography and Environment

Dinâmica sedimentar na praia de Macuti: morfodinamismo e erosão costeira na cidade da Beira, Moçambique

Sedimentary dynamics at Macuti beach: morphodynamics and coastal erosion in the city of Beira, Mozambique

João Manenga Daniel, Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR), Universidade Federal Fluminense, Brasil, *jodaniel@id.uff.br*
https://orcid.org/0009-0008-1178-525X
Efraime Daniel, Laboratório de Dinâmica Oceânica (LABDINO), Universidade Federal Santa Catarina, Brasil, *efraimedaniel@gmail.com*
https://orcid.org/0009-0007-3811-3691
Jairson Alberto Sami, Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR), Universidade Federal Fluminense, Brasil, *jairsonalberto@id.uff.br*
https://orcid.org/0009-0009-7844-5783
Fernando Victor Saide, Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras (ESCMC), Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique, *fernandovsaide@gmail.com*

Resumo: O artigo aborda a dinâmica de transporte e distribuição de sedimentos na Praia de Macuti, localizada na cidade da Beira, Moçambique (África), que possui grande importância socioeconômica devido às atividades de pesca, turismo e lazer. A área costeira é sujeita a contínuas mudanças morfodinâmicas influenciadas por processos continentais e marinhos, como marés, ondas e correntes. O trabalho foca nos impactos da erosão na praia, que tem sofrido alterações devido à falta de sedimentos e à construção de obras de proteção, como esporões.
A metodologia da pesquisa incluiu coleta de dados de campo em três setores da praia (norte, central e sul), análise granulométrica dos sedimentos, e monitoramento de perfis topográficos para observar mudanças na linha de costa. Os resultados sugerem que a praia é composta principalmente por areia média e bem selecionada, com variações nos parâmetros granulométricos. A análise dos perfis topográficos indica uma variação moderada na declividade da praia e na largura da zona de praia.
A pesquisa ressaltou a influência das intervenções humanas na dinâmica sedimentar e os impactos ambientais, como a destruição de dunas costeiras e a acumulação de sedimentos em algumas áreas. O trabalho fornece uma base para compreender os processos de sedimentação na praia e os efeitos das obras de engenharia costeira, sendo essencial para a gestão da praia e a mitigação de impactos ambientais.

***Palavras-Chave*:** Dinâmica de transporte de sedimentos; Morfodinâmica; Granulometria; Erosão.

Abstract: The article addresses the sediment transport and distribution dynamics at Macuti Beach, located in the city of Beira, Mozambique (Africa), which holds significant socio-economic importance due to fishing, tourism, and leisure activities. The coastal area is subject to continuous morphodynamic changes influenced by continental and marine processes, such as tides, waves, and currents. The study focuses on the impacts of erosion on the beach, which has undergone changes due to sediment depletion and the construction of protective structures, such as groins.
The research methodology included field data collection at three beach sectors (north, central, and south), grain-size analysis of the sediments, and topographic profile monitoring to observe changes in the shoreline. The results suggest that the beach is mainly composed of medium-grained, well-sorted

sand, with variations in grain-size parameters. The analysis of the topographic profiles indicates moderate variation in beach slope and the width of the beach zone.
The research highlighted the influence of human interventions on sediment dynamics and the environmental impacts, such as the destruction of coastal dunes and sediment accumulation in some areas. The study provides a foundation for understanding sedimentation processes on the beach and the effects of coastal engineering works, which are essential for beach management and environmental impact mitigation.

***Keywords*:** Sediment transport dynamics; Morphodynamics; Grain-size analysis; Erosion.

Introdução

Um dos desafios encontrados na zona costeira em todo o mundo são as consequências em decorrência do fenômeno da erosão (Bird, 1996; Souza & Ramos-da-Silva, 2021; Muehe, 2005; Souza, 2009; Souza-Filho & Paradella, 2002), sendo um dos seus reflexos mais expressivos a perda de áreas recreativas e edificadas devido ao recuo da linha de costa. Para Dias e Silva (2003), o recuo do litoral em direção ao continente apresenta-se como um processo natural que apenas se torna um problema quando estruturas permanentes são construídas em áreas propensas a erosão ou do impacto direto das ondas. Neste sentido, a zona costeira apresenta-se como um ambiente vulnerável a alguns fenômenos associados a dinâmica litorânea, como processos de erosão e deposição, ventos intensos, marés meteorológicas, inundações, entre outros (Mazzer *et al*., 2008).

No entanto, segundo apontado por Muehe (2005), a identificação das causas da erosão costeira tem sido frequentemente um “exercício de adivinhação”, em decorrência da falta de informações sobre a tendência de variação do nível do mar, do clima, das ondas e da própria evolução da linha de costa ao longo dos anos. Consequentemente, torna-se difícil diferenciar episódios erosivos e progradantes de tendências regionais de longo prazo e tal diferenciação carece de monitoramento e observações sobre os processos observados ao longo da linha de costa (Muehe, 2005).

Dentre os ambientes costeiros do litoral da cidade da Beira, a planície costeira composta por depósitos recentes (Quaternário) de origem fluvial, marinha e aluvial, formados devido à interação entre o Delta do rio Pungué e o Oceano Índico, possui certo destaque e tem sido tradicionalmente objeto de pesquisas científicas (Lämmle *et al*., 2022; Souza-Filho & Paradella, 2003; Nzualo, 2010; Theron & Barwell, 2012; Medina & Uacane, 2024). Os processos de mudança englobam principalmente a erosão ou a acreção da costa, ou seja, a erosão consiste na remoção dos sedimentos ocasionado por processos químicos, físicos e biológicos, particularizando a ação das ondas, enquanto a acreção, o mecanismo contrário do anterior, expressa-se pela acumulação de sedimentos nesses locais. Estes processos são acompanhados pela variação do nível médio do mar, que devido ao aumento das atividades antropogénicas, torna-o mais acelerado (Medina & Uacane, 2024).

Durante décadas, as áreas costeiras têm vindo a ser sujeitas a intensa urbanização, acompanhada de crescimento populacional, à qual a cidade da Beira não é excepção.

Por ser uma zona com elevada importância, não só do ponto de vista social como económico, necessita de uma gestão, planeamento e compreensão adequados, para impedir ou, pelo menos, minimizar as várias ameaças a que estas áreas se encontram sujeitas.

Segundo Theron e Barwell (2012), a praia de Macuti está a sofrer o processo de erosão e, como forma de mitigação, foram construídas obras de proteção costeira como esporões e muros de proteção, para evitar o desaparecimento da praia e de construções. A praia em estudo é influenciada pelo regime de meso a macromarés semidiurnas, que induz a formação das correntes de marés e exerce um importante papel na circulação local, influenciando fortemente o transporte sedimentar litorâneo (Souza Filho & Paradella, 2002, 2003).

Pesquisas referentes à dinâmica do transporte de sedimentos e morfo-sedimentação em praias de meso-macromarés no litoral da cidade Beira, foram largamente realizados por diversos autores. Dentre os trabalhos podem-se citar os de Theron e Barwell (2012) ou Medina e Uacane (2024). A praia de Macuti tem sofrido diversos impactos ambientais dos quais se destacam a erosão causada pela carência de sedimentos e pelas obras de proteção marinha (esporões), que influenciam na dinâmica sedimentar. Por outro lado, no ambiente em estudo observa-se a destruição das dunas costeiras e o ambiente sedimentar tem sofrido alterações devido às intervenções humanas.

Esta pesquisa visa auxiliar a compreensão da dinâmica sedimentar e costeira ao longo da praia de Macuti, bem como as intervenções de engenharia costeira e os impactos ambientais associados. Tais informações constituem importantes ferramentas para os gestores municipais, visando traçar estratégias de planejamento, ocupação e usos múltiplos do litoral, tanto nos trechos sob domínio do processo erosivo, quanto naqueles em franco processo progradacional.

Assim, o principal objetivo desta pesquisa é analisar a dinâmica de transporte e distribuição de sedimentos na praia de Macuti, em Moçambique, bem como avaliar os impactos da erosão e das intervenções humanas, como a construção de esporões, na morfodinâmica da área, dando continuidade aos trabalhos que vem sendo desenvolvidos na região (Figura 1).

A cidade da Beira localiza-se no centro de Moçambique, na Província de Sofala, com uma área de 633 km², e está situada nas coordenadas 19°50' Sul e 34°51' Leste. É uma cidade portuária situada no canal de Moçambique, na entrada da Baía de Sofala, uma região pantanosa junto ao norte da foz do Rio Pungue que ao desaguar no Oceano Índico desenvolve uma planície aluvionar, com sedimentos recentes, que termina num delta submarino, criando um estuário. A área de estudo incide sobre a praia de Macuti, localizada na cidade da Beira, com as coordenadas latitude 19°50’56.95’’S e longitude 34°53’26.70’’E. Segundo Quental et al. (2009), a cidade é atravessada por uma linha de água com mangal, historicamente conhecido por rio Chiveve.

A sua geomorfologia está assente sobre uma planície costeira, desenvolvida em depósitos aluvionares fluviais correlativos do último evento de regressão marinha, que teve lugar no Pleistoceno em toda a faixa costeira da África Oriental (Manuel, 2015). Segundo o autor (Manuel, 2015), este evento permitiu que os Rios Púngue e Búzi, que desaguam num delta na área da cidade da Beira, depositassem os sedimentos continentais transportados desde os afloramentos localizados a montante.

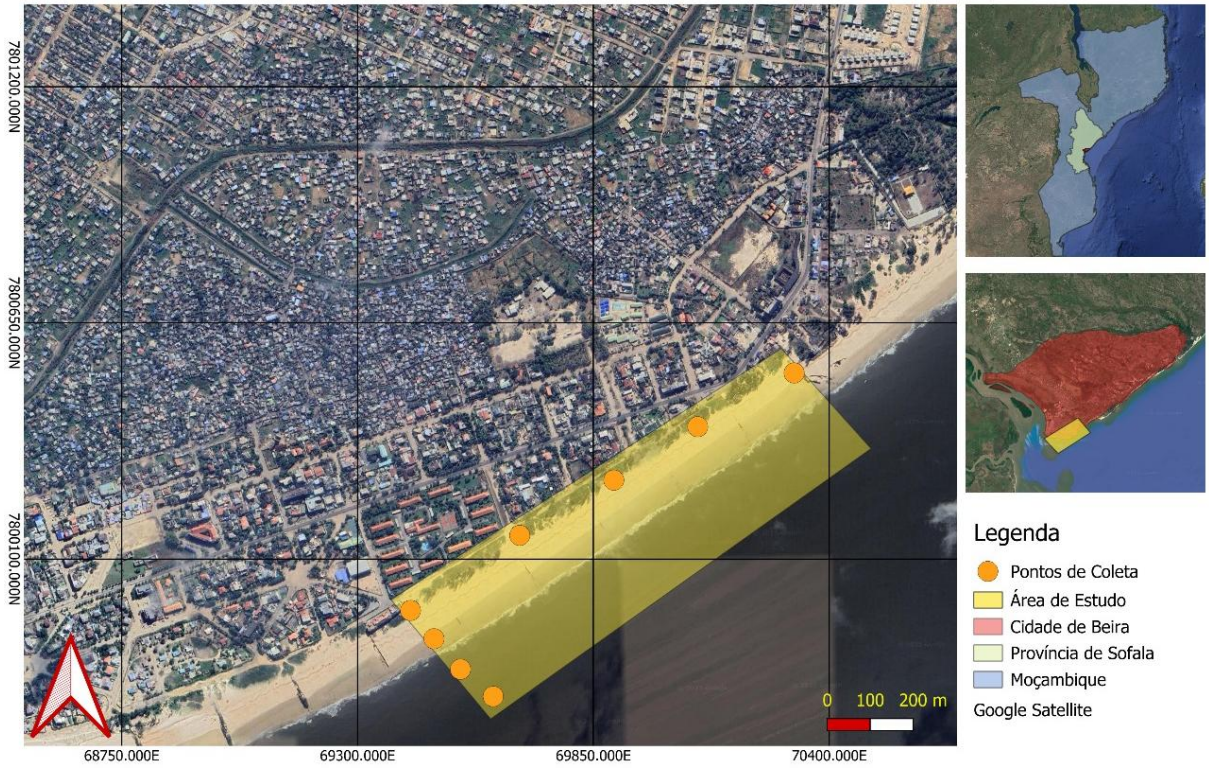

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (A). Os pontos numerados representam a rede de monitoramento de perfis de praia no Macuti (B).

O relevo característico da cidade da Beira é predominantemente de planície itoral, com uma altitude que varia de 6 a 20 m, com um declive médio suave, onde aflora uma alternância de depósitos argilosos e arenosos (Manuel, 2015), provavelmente como resultado da sedimentação dos rios que desaguavam na baía desde épocas geológicas remotas. No contexto geológico da cidade da Beira e seus arredores, pertencem a idade recente, resultante das sucessivas fases da acumulação de sedimentos pleistocênicos e holocênicos. Também houve uma singular alternância de depósitos argilosos e arenosos provenientes da sedimentação dos rios que desaguavam na baía em épocas geológicas.

Quanto à hidrologia, a nível regional destacam-se três grandes rios internacionais que desaguam no oceano Índico: os rios Zambeze, Púngue e Búzi, desaguando os dois últimos na Baía de Sofala. Segundo Luis (2011), a região central da cidade contém somente o Rio Chiveve. Este representa, também, um elemento paisagístico típico da

cidade, pois é circundado pelos mangais. Contudo, suas condições hidrológicas foram profundamente modificadas pela crescente intervenção humana na cidade.

De acordo com a Consultec (2007), a variação do nível da água na região da praia de Macuti atinge cerca de 6,7 m, com um mínimo de 0,6 m e um máximo de 7,3 m entre os picos de baixa-mar e da preamar, respectivamente. As amplitudes das marés variam ao longo do ano, sendo aproximadamente 1,5 m durante as marés quadratura e até 6,4 m durantes as marés de sizígia.

A amplitude da maré é variável ao longo da costa moçambicana, atingindo o seu máximo na baía de Sofala, onde atinge 6,4 m. Esse fenómeno é atribuído à forma afunilada da baía, que intensifica a convergência e reduz o efeito do atrito, resultando em maiores alturas de marés e correntes mais intensas em direção à cabeceira. No resto da plataforma continental moçambicana, a amplitude da maré geralmente não ultrapassa os 3 m.

A altura significativa das ondas na área norte da baía de Sofala varia entre os 7 e os 11,7 m, tanto em águas rasas como em águas profundas, sendo que a maior tendência (mais de 60% dos casos) de direção é de leste (E), sudeste(SE) e sul (S) (Jica, 1998).

Com base nos resultados modelados pelo sistema internacional GROW (Oceanweather, 2006) e reportados pela Consultec (2007), afirma-se que as ondas significativas na cidade da Beira provêm da direção SE a S, com alturas significativas médias de 0,5 a 2,0 m de NE a E, igualmente com alturas significativas de 0,5 a 2,0 m. As ondas com altura acima de 2,5 m ocorrem vindas de SE-S, podendo chegar a 6,5 m, sendo que os períodos computados variam entre 4 a 12 s, podendo ocorrer eventualmente períodos de até 30 s.

1. Materiais e métodos

A metodologia consistiu em quatro etapas: (i) trabalho de campo, no qual foi realizada a mobilização dos equipamentos; (ii) aquisição de dados, durante uma campanha de campo, compreendendo um ciclo sazonal; (iii) análise laboratorial, para o tratamento de sedimentos adquiridos em campo; e (iv) análise descritiva, onde os resultados do tratamento dos dados de campo foram discutidos.

1.1. Aquisição de dados

Foi realizada uma campanha de campo para o reconhecimento da área de estudo nos dias 28 e 29 de abril de 2019, onde delimitou-se os dez pontos nas duas secções (transversal e longitudinal) de experimentação do trabalho, compreendendo os setores norte, central e sul na praia de Macuti (Figura 1). Os pontos escolhidos foram distantes entre si de 100 m. Para a coleta de dados em campo foi realizada uma saída, dividida em períodos distintos: (a) de transição sazonal, no final da época chuvosa (01 de Maio de 2019), correspondente às condições atmosféricas normais. Em cada ponto de amostragem foram retiradas amostras a uma profundidade de 15 cm (onde as propriedades químicas e físicas são mais estáveis), com ajuda de pá de corte, e

posteriormente armazenadas em sacos plásticos devidamente etiquetados. A profundidade de amostragem foi determinada com auxílio de uma fita métrica. Após a coleta, o material sedimentar foi devidamente conservado (Figura 2) e posteriormente transportado para o laboratório de solos da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras (ESCMC), da Universidade Eduardo Mondlane (UEM).

Figura 2: Coleta de amostras em campo, devidamente etiquetadas, nas duas seções em estudo.

1.2. Perfil Topográfico

O objetivo no estabelecimento do perfil topográfico ou perfil de praia foi verificar a tendência erosiva ou progradacional na praia de Macuti. Segundo Muehe (2003), ressalta a divisão do perfil praial em três segmentos, sob o ponto de vista metodológico do levantamento: (i) subaéreo, que vai do pós-praia até o limite inferior da face praial; (ii) da zona de surf e arrebentação; e (iii) perfil submarino. Apenas o perfil subaéreo foi realizado, devido às limitações impostas pelas condições oceanográficas que impedem a manutenção da mira (acessório do instrumento topográfico) na posição vertical, tornando os dados não confiáveis. O perfil praial foi realizado com a finalidade de fornecer um arcabouço da morfologia da parte subaérea da praia (zona de espraiamento) para entender de que forma os sedimentos mobilizados na zona de espraiamento interferem no comportamento morfológico da praia, bem como para ilustrar feições sedimentares e ratificar os resultados obtidos das análises granulométricas das medições restantes realizadas no trabalho.

As coletas dos dados foram feitas utilizando-se como equipamentos principais uma Estação Total e um prisma refletor (mira do instrumento) aplicando-se os métodos propostos por (Nicholls *et al*., 1998). As medições foram realizadas em situação de maré baixa de sizígia, e tiveram início na linha de maré alta de sizígia de cada perfil praial e as cotas seguintes foram registradas seguindo um padrão a cada 20 m linearmente, cessando-se até um pouco além da linha de maré baixa de sizígia de cada perfil (Figura 7 - a, b, c, e d).

Os marcos previamente determinados e assinalados (marcações em árvores, casas, etc) e GPS (Global Positioning System) serviram de pontos de identificação dos perfis praiais durante todos os períodos de coleta.

1.3. Análise laboratorial

As amostras de sedimentos coletadas foram submetidas a tratamentos em laboratório. Esta etapa consistiu, em primeiro caso, no tratamento das amostras brutas visando a separação das diferentes frações granulométricas. Este tratamento pode ser feito através de peneiramento a seco, peneiramento a húmido, velocidade de decantação em tubo de sedimentação e, mais recentemente, a laser. O peneiramento a seco, que se utiliza de um conjunto de peneiras em intervalos tais que permitem o estabelecimento da curva de distribuição granulométrica, é o mais utilizado. Contudo, a escolha do método de tratamento depende dos objetivos da pesquisa. Segundo Muehe (2005), a necessidade de precisão na determinação dos parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica, fundamental para a inferência de direções de transporte, das condições hidrodinâmicas atuantes e para o estabelecimento de correlações com a fauna bentônica, recomenda o uso do método do peneiramento. Sendo assim, este método inicia-se com a lavagem das amostras e decantação das mesmas. Este processo foi realizado três vezes para que houvesse a melhor remoção de sais contidos nestas amostras. Depois, as amostras foram secadas em estufa a 60°C (Figura 2), até adquirirem condições ideais, e logo após esta etapa, foi feito o quarteamento destas amostras, a seleção de alíquotas de 100g para cada amostra quarteada e peneiramento das mesmas por cerca de 10 min., utilizando-se peneiras com os seguintes intervalos em mm: 0,71 – 0,50 – 0,35 – 0,25 – 0,18 – 0,125 – 0,09 – 0,063 – <0,063, de acordo com a metodologia sugerida por Suguio (1973). Por fim, as diferentes frações encontradas no processo de peneiramento foram pesadas em balança e os pesos foram anotados.

Para obtenção da granulometria de sedimento foram utilizados os crivos milimétricos, obedecendo a metodologia descrita por Suguio (1973), que envolve a separação das frações de areia e silte utilizando crivos com aberturas de 2 a 0,063 mm. Esta fase consistiu na determinação dos parâmetros estatísticos (Tabela I), seguindo a metodologia proposta por Folk & Ward (1998), a mesma metodologia usada por Veloso (2001) e Dias (2004).

Tabela I: Formula para cálculo de parâmetros estatísticos dos sedimentos, traduzida e modificada.

Parâmetros	Formula de Folk & Ward (1957)
Media	$Mz=\phi 54$
Desvio padrão	$\Phi=\phi 84-\phi 164+\phi 95-\phi 56{,}6$
Assimetria	$SKI=\phi 16+\phi 84-2\phi 502(\phi 84-\phi 10)+\phi 5+\phi 95-2\phi 502(\phi 95-\phi 5)$
Curtose	$KG=\phi 95-\phi 52{,}44\ (\phi 75-\phi 25)$

Fonte: Martinek (2006).

1.4. Parâmetros morfodinâmicos

A superposição dos perfis topográficos possibilitou o cálculo dos parâmetros morfométricos: variação do volume sedimentar (Vv); declividade da face praial (β); largura da praia (Yb) e variação da largura da praia (DpYb), expressa em metros; e coeficiente de variação da linha de costa (CVYb). Além destes, foi obtido o parâmetro Ws, correspondente à velocidade de decantação das partículas sedimentares. Tais parâmetros morfométricos e adimensionais, sugeridos por Short (1999), foram calculados com o intuito de relacioná-los aos estados morfodinâmicos propostos por Wright e Short (1984) e Scott *et al*. (2011). Os modelos estabelecidos Wright e Short (1984) utilizam-se principalmente do parâmetro Ω de Dean (1973), conhecido como velocidade de decantação adimensional, fornecendo a informação do estado morfodinâmico da praia.

Tendo-se dois perfis, paralelos entre si, pode-se calcular o volume do trecho, compreendido entre os perfis, somando as áreas dos dois perfis e multiplicando pela metade da distância entre os mesmos. Para obtenção do volume sedimentar, expresso em m^3/m, utilizou-se o programa Surfer 11 da Golden Software, que verifica automaticamente mudanças de volume para distâncias comuns a duas superfícies.

Para determinar o estado morfodinâmico da praia no presente trabalho utilizou-se a equação proposta por Wright e Short (1984) respectivamente:

$$\Omega = Hb/Ws*T \qquad (1)$$

Onde: Hb Altura de onda na zona de arrebentação;

T período da Onda; Ws velocidade de queda.

De acordo com Peixoto (2005), os valores de Ω na Tabela II abaixo:

Tabela II: Valor de ômega, relacionando estágios morfodinâmicos de praia.

Estado	Ω
Refletivo	≤ 1,5
Intermediário de terraço de baixa-mar	2,4
Intermediário de bancos transversais	3,15
Intermediário de banco e praia de cúspide	3,5
Intermediário de banco e calha longitudinal	4,7
Dissipativo	>5,5

2. Resultados

2.1. Parâmetros estatísticos granulométricos

Dos resultados observados, na região em estudo, houve um comportamento quase padrão durante a coleta de sedimentos: valores da média granulométrica e assimetria aumentando na secção longitudinal e aumento no grau de seleção e curtose na

secção longitudinal e transversal, respectivamente, e, por consequência, a variação no tamanho dos sedimentos encontrados. Os sedimentos da face praial foram compostos predominantemente de material carbonato e grãos de quartzo em várias proporções. Grãos de quartzo foram encontrados entre 76% e 20% nas amostras. Em cerca de 68% das amostras o quartzo era o sedimento predominante. O material carbonato foi dominado pelo retrabalhamento, derivado da erosão na plataforma ou dos promontórios, ou seja, em 60% das amostras o carbonato representava menos que 30% do sedimento da face praial (da praia).

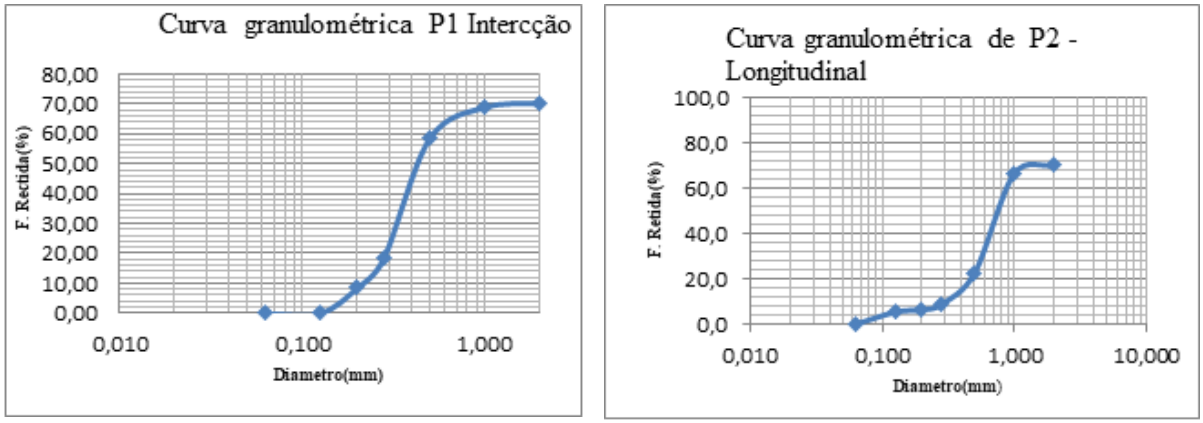

Figura 3: Curvas granulométricas da distribuição de frequência simples dos pontos 1 interceção e ponto 2 na Secção Longitudinal.

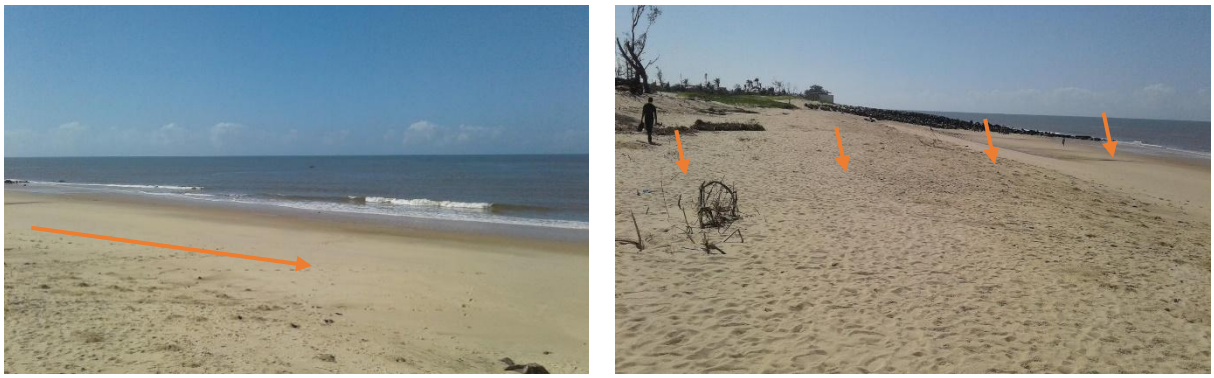

Figura 4: Imagem obliqua do ponto de intercçao (P1) e Secção transversal (P2).

Em alguns pontos de coleta, o grau de assimetria variou inversamente proporcional ao grau de seleção. Quando há aumento no grau de seleção, há diminuição no grau de assimetria (Figura 5). A média granulométrica obtida das amostras apresentou variação predominante de 1,5 a 2Φ, indicando a ocorrência quase absoluta de areia media na praia de Macuti. Na secção transversal ocorreram os valores mais baixos e, portanto, as maiores variações granulométricas, onde valores abaixo de 2,5Φ foram obtidos na zona de intermaré. O grau de seleção predominante dos sedimentos foi de bem selecionados (0,35 a 0,50Φ) e muito bem selecionados (<0,35Φ), ocorrendo

também nas zonas de supramaré e intermaré a classificação de moderadamente selecionados (0,5 a 1Φ) para a secção longitudinal.

De modo geral, o aspecto superficial dos grãos de quartzo mostrou uma tendência de maior grau de arredondamento na praia em quase todos os setores (Sul, central e mais ao norte), observados nas figuras 5 e 6, e um equilíbrio entre angulosos e arredondados, com grãos mais angulosos do que arredondados, ora ao contrário, nas regiões central e sul da área de estudo.

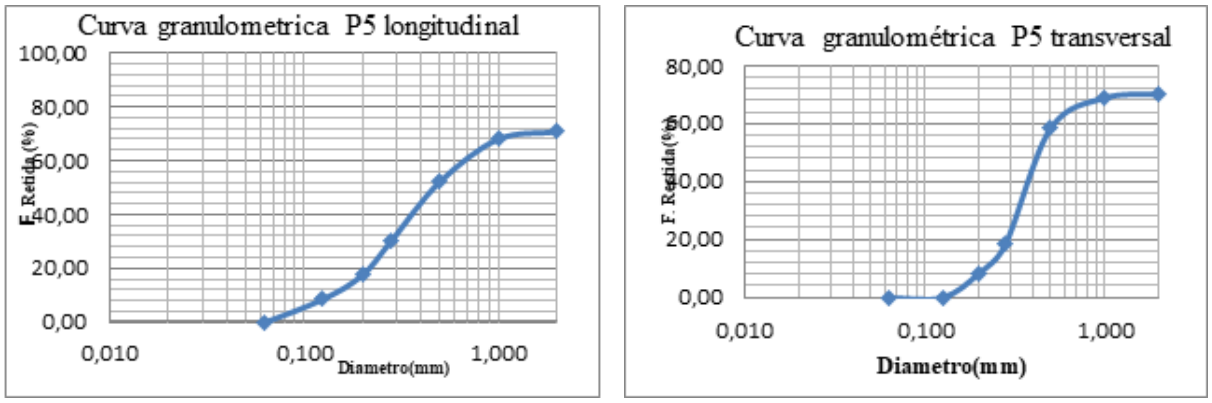

Figura 5: Curvas granulométricas da distribuição de frequência simples dos pontos 5 longitudinal e transversal.

Figura 6: Seção Longitudinal da praia, com evidências de erosão costeira em infraestruturas (P5) e Secção transversal (P5).

2.2. Padrão dos perfis topográficos e análise do estado morfodinâmico

O comportamento observado nos perfis de praia foi condizente com o verificado em trabalho de campo, onde os perfis P1 e P2 foram aqueles que apresentaram os maiores índices de erosão. Os perfis P3 e P4 mostraram também comportamento de recuo, porém enquadradas na classe de erosão severa. No entanto, é possível verificar através da declividade que os perfis variam entre alta e baixa declividade.

Nesta seção, paralelamente à linha de costa na praia de Macuti, apresentou migração em direção ao mar. A largura da praia (Yb) na área central apresentou o máximo de

230 m e o mínimo de 113 m, implicando no maior decréscimo no coeficiente de variação da linha de costa (CVYb).

Semelhante à secção transversal, houve migração em direção ao mar. A largura da praia (Yb) neste setor apresentou o máximo de 220 m, e o mínimo de 142 m, implicando num decréscimo no coeficiente de variação da linha de costa (CVYb) de 16,43%. A maior variação na declividade da face praial nesta secção também foi verificada, sendo de 0,92°.

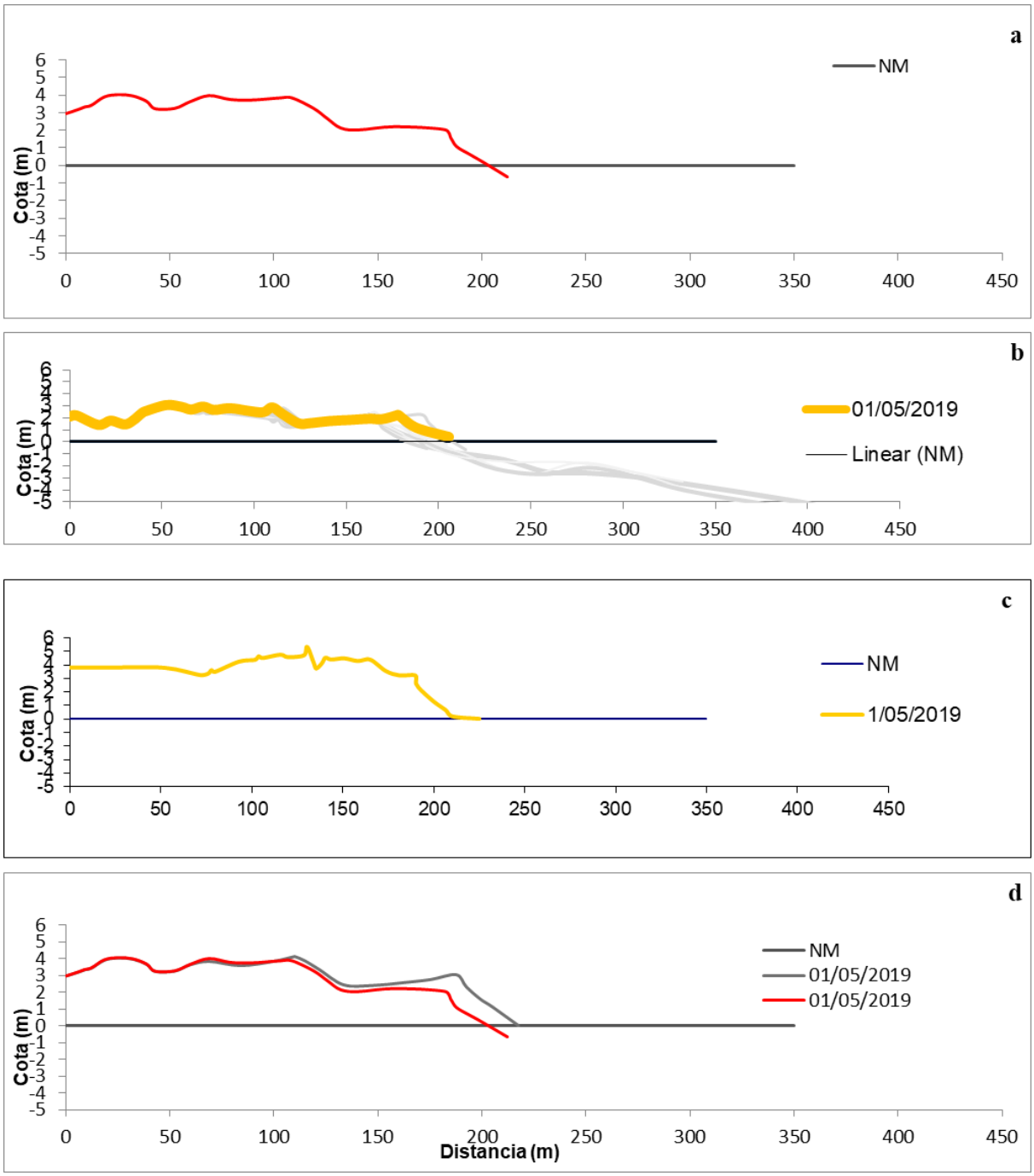

Figura 7: Perfils praial (a, b, c e d) na Praia de Macuti.

3. Discussão

A variabilidade dos tamanhos dos grãos na área de estudo é devida às diferentes fontes sedimentares ao longo da costa, como input de rios, planícies costeiras e plataforma continental. Em direção ao sul observa a diminuição do tamanho do grão, possivelmente por causa da contribuição fluvial dos rios Pungue e Buzi, nos quais os sedimentos finos são retrabalhados em sistemas de planícies costeiras, que também aumentam o grau de seleção dos sedimentos (Giannini, 1993, apud Silva *et al*., 2006). Estudos em praias da cidade da Beira sugerem que a variabilidade granulométrica é devida à combinação do retrabalhamento de sedimentos finos e o sedimento grosso originado do afloramento cristalino (Uacane, 2018). Já outros estudos atribuem a distribuição granulométrica em segmentos distintos do litoral Beirense ao transporte longitudinal e fonte sedimentar (Theron & Barwell, 2012).

De maneira geral, notou-se uma diminuição granulométrica nas duas secções da praia, havendo predomínio de areia fina (>2 a 3 Φ) bem seleccionada (0,35 a <0,50 Φ) e muito bem selecionada (<0,35 Φ), para o período em estudo. O mesmo comportamento de predomínio de areia fina ocorreu na praia de Ponta-gea (Uacane, 2018) e mais para o norte do litoral Rio Maria (Theron & Barwell, 2012), que também apresentaram baixa variabilidade granulométrica temporal e espacial. Isto indica que esta situação é independente da amplitude de maré e, por conseguinte, da extensão da face praial (estirâncio) e do estado morfodinâmico. As maiores variações na granulometria da praia de Macuti ocorreram na secção longitudinal, onde a classificação predominante da assimetria foi de distribuição negativa e aproximadamente simétrica. Os baixos valores na assimetria indicam maior heterogeneidade granulométrica neste setor, que apresentou percentuais mais significativos, inclusive de areia média. Nesta secção, a curva granulométrica estende-se para os sedimentos menos finos, principalmente na zona de inframaré, zona de permanente mobilização de sedimentos, onde a quantidade de sedimentos mais finos da praia foi baixa, de acordo com a figura 3, indicando perda desses sedimentos por correntes longitudinais, fluindo para direção W, em direção a secção transversal. Este fato indica um melhor equilíbrio sedimentar para esta secção, especialmente durante o período mais chuvoso. Poucas alterações ocorreram também no transporte e distribuição de sedimentos na praia de Macuti. O grau de seleção aumentou na secção transversal, no sentido da região ante praia à zona de arrebentação, assim como o grau de curtose. Quanto menor o grau de seleção, menor é a dispersão em relação à média granulométrica (Muehe, 2005).

Portanto, a secção longitudinal foi o que apresentou melhor grau de selecionamento. Durante o trabalho de campo, não houve classificação inferior a bem selecionada (>0,50 Φ) para o grau de seleção, indicando um bom selecionamento dos grãos. A maior média (3,053 Φ) foi encontrada na zona de supramaré, na secção transversal (Figura 5), em virtude da erosão dos sedimentos de dunas pelas marés, somado ao transporte eólico que fixa os sedimentos na vegetação de restinga, na zona de supramaré da mesma secção. Para a secção longitudinal, os maiores valores da média ocorreram na zona de inframaré. Por ser mês de marés equinociais, houve

mais sedimentos finos envolvidos nesta zona de permanente mobilização de sedimentos.

Apesar do gradiente granulométrico apontar uma deriva litorânea de norte para sul na região, isso não é corroborado pelo grau de seleção e o grau arredondamento dos grãos de quartzo. Estudando as praias de Chesil na costa sul da Inglaterra, Bird (1996) observou um gradiente granulométrico ao longo da praia juntamente com o aumento da seleção e do arredondamento do sedimento. Isso ocorre pela combinação de várias características, como tamanho, forma e densidade do grão e equivalência hidráulica frente a processos de onda.

Segundo Masselink (1992), o gradiente longitudinal em praias em equilíbrio dinâmico é devido a uma fonte sedimentar, pois em praias baía-promontório a deriva litorânea não é suficiente para promover o selecionamento do sedimento.

Silva *et al*. (2006) acreditam que o gradiente ocorra se existir fonte sedimentar local na zona costeira e a deriva litorânea seja capaz de promover a combinação ou mistura das classes sedimentares. Por isso, para explicar o gradiente lateral em praias dinâmicas baía-promontório é necessário aumentar estudos sobre fontes sedimentares, por serem fundamentais para explicar o padrão de distribuição sedimentar (Komar, 1976; Carter, 1998). Assim, de acordo com Silva *et al*. (2006), é possível concluir que a ocorrência e localização de classes granulométricas em praias baía-promontório não dependem exclusivamente da energia de onda, como já foi sugerido por alguns autores (Short, 1999; Klein & Menezes, 2001). A relação entre o estado de equilíbrio da praia e o gradiente lateral é influenciada pelas características da fonte sedimentar.

A praia de Macuti apresenta estado morfodinâmico refletivo, ou seja, baixo gradiente da praia caracterizado pela alta energia de onda e larga zona de surf, e praias semi-expostas apresentaram granulometria de areia média a muito fina e todos os tipos morfodinâmicos.

Estudos no ambiente praial (Komar, 1976; Wright & Short, 1984; Short, 1999; Klein & Menezes, 2001; Silva *et al*., 2006) mostram a variabilidade do estado morfodinâmico devido às características sedimentares, principalmente para praias exposta e semi-expostas. Sedimentos finos, por exemplo, tendem a produzir praias dissipativas e sedimentos grossos praias refletivas, para um dado contraste de onda. De acordo com Short (1999), a granulometria (com a altura de onda) controla a forma e a dinâmica da praia. Ondas similares em praias compostas de granulometria fina, média ou grossa interagem para produzir diferentes tipos praiais.

O estado morfodinâmico refletivo nas praias do litoral da Beira, como Macuti e Ponta-Gea, são influenciadas diretamente pela Formação Barreira. De acordo com Silva (1993), areias grossas e médias de praias refletivas e intermediárias estão associadas com praias localizadas em pequenas planícies costeiras (Formação Barreira), muitas vezes originadas do retrabalhamento de leques aluviais e aporte de rios.

Levoy *et al*. (2000), ao estudar praias de macro-marés da costa oeste de Cotentin, na Península de Cherbourg em Normandy (França), resumiram o papel das ondas, influenciando predominantemente no transporte *cross-shore*, e o das marés, no transporte litorâneo para moldagem da morfologia da praia. Em época chuvosa as duas secções da praia foram as mais refletivas, devido ao efeito erosivo das marés equinociais. Em agosto (período seco), mês de acreção sedimentar, o gradiente topográfico aumentou, por isso o decréscimo no parâmetro adimensional Ω.

No tocante aos estudos sobre as ondas e distribuição sedimentar em praias refletivas (Nzualo, 2010), mostram as descargas do volume vindo dos rios (Pungué e Buzi), que distribuído para sul atinge aproximadamente 4400 m³/dia, o que aparentemente não é suficiente de retardar a erosão costeira.

Conclusão

O litoral da cidade da Beira é marcado pela forte atuação de processos associados a dinâmica costeira que conferiu a este trecho da praia de Macuti uma grande mobilidade ao longo dos últimos anos. A pesquisa forneceu importante subsídio para a compreensão dos processos que ocorrem neste ambiente costeiro. Daí conclui-se que os sedimentos que compõem a praia de Macuti são predominantemente do tamanho areia grossa, areia média e areia fina, são moderadamente selecionados, com curvas de assimetria muito negativa (excesso de grãos maiores) e mesocorticais (curvas normais). A sua distribuição longitudinal mostra uma diminuição no tamanho do grau (granodecrescência), do P1, que é intersecção, até o último ponto de coleta. Transversalmente não se verifica uma mudança significativa nos parâmetros estatísticos dos sedimentos. Os sedimentos tendem a transportar-se em dois sentidos opostos, nordeste e sudoeste, convergindo e divergindo-se em áreas de erosão e deposição, respectivamente. Em relação ao estado morfodinâmico, a partir da aplicação da equação empírica de Wright e Short (1984), o resultado foi encontrado como sendo uma praia refletiva. Os perfis encontrados apresentam maior declividade característica de praias refletivas e perfis de baixa declividade, o que caracteriza áreas onde esteja ocorrendo erosão.

Agradecimentos

Os autores agradecem a contribuição dos avaliadores. O primeiro autor também deixa um agradecimento especial para todos aqueles que fazem parte do Laboratório dos Solos da Escola Superior de ciências Marinhas e Costeiras (LSESCMC), e Laboratório de Geografia Física (LAGEF/UFF), pois, de alguma forma, sempre contribuíram no desenvolvimento das pesquisas.

Conflito de Interesses

Os autores declaram que não têm qualquer conflito de interesse relativo a este artigo.

Bibliografia

Bird, E. (1996). Lateral Grading of Beach Sediments: A Commentary. Journal of Coastal Research, 12(3), 774–785. http://www.jstor.org/stable/4298523

Carter, R. W. G. (1998). Coastal Environments: an Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. 6. Ed. London: Academic Press.

Consultec (2007). Estudo Ambiental Simplificado da Dragagem do Canal de Acesso ao Porto da Beira. Relatório final.

Dias, J. M. A., & Silva, A. P. (2003). A Erosão nas Costas Arenosas. Jornadas do Mar 2002. Escola Naval, Alfeite, Portugal.

Giannini, P. C. F. (1993). Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC. Tese de Pós-graduação. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

JICA (1998). The Study for the maintenance and improvement Plan of access Channel of Beira Port in the Republic of the Mozambique.

Klein, A. H. da F., & Menezes, J. T. (2001). Beach morphodynamics and profile sequence for a headland bay coast. Journal of Coastal Research, 17(4), 812-835. Disponível em: https://journals.flvc.org/jcr/article/view/81507

Komar, P. D. (1976). Beach processes and sedimentation (2th edition). New Jersey: Prentice-Hall.

Lämmle, L., Filho, A. P., Donadio, C., Moreira, V. B., de Jesus Santos, C., & Oliveira Souza, A. (2022). Low marine terraces associated with holocenic marine transgressions and regressions in the Coastal Plain of the Paraiba do Sul River, Rio de Janeiro, Brazil. Revista Brasileira de Geomorfologia, 23(2), 1285–1303. https://doi.org/10.20502/rbg.v23i2.1992

Levoy, F., Anthony, E. J., Monfort, O., & Larsonneur C. (2000). The morphodynamics of megatidal beaches in Normandy, France. Marine Geology, 171(1-4), 39-59. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00110-9

Luis, A. (2011). Aplicação dos sistemas de informação geográfica e detecção remota no monitoramento do mangal. Estudo de caso: cidade da Beira. Dissertação de mestrado. UCM. Disponível em: http://sugik.isegi.unl.pt/documentos/doc_86_1.pdf

Manuel, A. (2015). Análise da perigosidade de tsunami para a cidade da Beira, Moçambique. Dissertação de mestrado. FCUL. http://hdl.handle.net/10451/18025

Masselink, G. (1992). Longshore variation of grain size distribution along the coast of the Rhone Delta, Southern France: a test of the “McLaren model”. Journal of Coastal Research, 8(2), 286-291. Disponível em: https://journals.flvc.org/jcr/article/view/78697

Mazzer, A. M., Dillenburg, S. R., & Souza, C. R. (2008). Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da ilha de Santa Catarina, Brasil. Revista Brasileira de Geociencias, 38(2), 278-294. https://doi.org/10.25249/0375-7536.2008382278294

Medina, J., & Uacane, M. S. (2024). Uma breve análise teórica sobre a evolução da linha costeira da cidade da beira (moçambique). Cadernos do LOGEPA, 11. https://doi.org/10.22478/ufpb.2237-7522.2023v11.69312

Muehe, Dieter (2005). Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. Mercator, 4(7), 97-110. Disponível em: http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/113

Nicholls, R. J., Birkemeier, W. A., & Lee, G.-H. (1998). Evaluation of depth of closure using data from Duck, NC, USA. Marine Geology, 148(3-4), 179-201.

https://doi.org/10.1016/S0025-3227(98)00011-5

Nzualo, T. (2010). Estudo hidrodinâmico e ambiental do estuário da Beira – Moçambique. Dissertação de Mestrado, UFRJ. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-peno_upl//THESIS/10001567/2010_mestrado_teodosio_das_neves_milisse_nzualo_reduzed_20210730135238539.pdf

Oceanweather (2006). GROW – Global Reanalysis Ocean Waves. Disponível em: https://www.oceanweather.com/metocean/grow/index.html

Quental, L., Oliveira, T, Dias, R., Batista, M., & Fernandes, J. (2009). Land cover characterization and change detection using multispectral imagery for the Beira area, Mozambique: a preliminary approach. Proceedings of the 33rd International Symposium of Remote Sensing of the Environment (ISRSE). Joint Research Centre. http://hdl.handle.net/10400.9/631

Scott, T., Masselink, G., & Russell, P. (2011). Morphodynamic characteristics and classification of beaches in England and Wales. Marine Geology, 286(1–4), 1–20. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.04.004

Short, A. (1999). Handbook of Beach and Shoreface Morphodinamics. Chichester: Wiley, 379 p.

Short, A. D. (1999). Beaches. In: Short, A. D. (Ed.) Handbook of beach and shoreface morphodynamics. Chichester, John Wiley & Sons.

Silva, C. G. (1993). Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia. Anuário Do Instituto de Geociências, 16, 84–84. https://doi.org/10.11137/1993_0_84-84

Silva, G. M., Klein, A. H. F., & Almeida, L. E. S. B. (2006). Effect of planform equilibrium state in the sedimentology of headland bay beaches. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), 692-696. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/25741666

Souza-Filho, P. W. M., & Paradella, W. R. (2002). Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. Wetlands Ecology and Management, 10, 123-132. https://doi.org/10.1023/A:1016527528919

Souza-Filho, P. W. M, & Pardella, W. R. (2003). Use of synthetic aperture radar for recognition of Coastal Geomorphological Features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 75(3), 341-356. https://doi.org/10.1590/S0001-37652003000300007

Souza, D. C., Ramos-da-Silva, R. (2021) Ocean-Land Atmosphere Model (OLAM) performance for major extreme meteorological events near the coastal region of southern Brazil. Climate Research, 84, 1-21. https://doi.org/10.3354/cr01651

Souza, T., Bulhões, E., Amorim, I. (2015). Ondas de tempestade na Costa Norte Fluminense. Quaternary and Environmental Geosciences, 6(2), 10–17. https://doi.org/10.5380/abequa.v6i2.41139

Suguio, K. (1973). (1973). Rochas Sedimentares: Propriedades, Gênese e Importância Económica. São Paulo: Edgard Blucher.

Theron, A. K. & Barwell, L. (2012). Responding to climate change in Mozambique: Theme 2: Coastal planning and adaptation to mitigate climate change impacts. Stellenbosch: CSIR.

Uacane, M. S. (2018). Contribuição de fatores humanos na dinâmica da cobertura especial das áreas do mangal na Beira (1984-2014). Tese de Doutoramento. UPM.

Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. Marine Geology, 56(1–4), 93–118. https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2

Artigo recebido em / Received on: 22/01/2021

Artigo aceite para publicação em / Accepted for publication on: 30/12/2025

Página intencionalmente deixada em branco