

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE -
PRODEMA

RIVALDO JUNIOR PINTO RAMOS

**MONITORAMENTO MORFODINÂMICO INTEGRADO E CIÊNCIA CIDADÃ EM
PRAIAS DE MACROMARÉ EM SÃO LUÍS-MA**

São Luís-MA

2026

RIVALDO JUNIOR PINTO RAMOS

**MONITORAMENTO MORFODINÂMICO INTEGRADO E CIÊNCIA CIDADÃ EM
PRAIAS DE MACROMARÉ EM SÃO LUÍS-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Recursos Naturais e Humanos em Sistemas Costeiros.

Orientador (a): Profa Dra Claudia Klose Parise

Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima

São Luís-MA

2026

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Ramos, Rivaldo Junior Pinto.

MONITORAMENTO MORFODINÂMICO INTEGRADO E CIÊNCIA CIDADÃ EM
PRAIAS

DE MACROMARÉ EM SÃO LUÍS-MA / Rivaldo Junior Pinto Ramos.

- 2026.

98 f.

Coorientador(a) 1: Leonardo Gonçalves de Lima.

Orientador(a): Claudia Klose Parise.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2026.

1. Morfodinâmica Praial. 2. Monitoramento Costeiro.
3. Macromaré. 4. Ciência Cidadã. 5. Coastsnap. I. de
Lima, Leonardo Gonçalves. II. Parise, Claudia Klose. III.
Título.

RIVALDO JUNIOR PINTO RAMOS

MONITORAMENTO MORFODINÂMICO INTEGRADO E CIÊNCIA CIDADÃ EM
PRAIAS DE MACROMARÉ EM SÃO LUÍS-MA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Recursos Naturais e Humanos em Sistemas Costeiros.

Aprovada em: _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Claudia Klose Parise (UFMA)/Orientadora

Prof. Dr. Pedro de Souza Pereira (UFSC)/Membro Externo

Prof. Dr. Leonardo Soares Silva (UFMA)/Membro Interno

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu irmão, à minha namorada, à minha família e aos meus amigos, pelo carinho, apoio e incentivo incondicionais, que foram fundamentais em cada etapa da minha jornada acadêmica e pessoal. Esta conquista é nossa!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Joana de Jesus Pinto e Antônio Rivaldo Ferreira Ramos, pelo amor, carinho, incentivo e suporte incondicional, fundamentais para a realização desta conquista.

Ao meu irmão, Antônio Geovani, por todo encorajamento e por ser uma constante fonte de inspiração ao longo da minha trajetória.

À minha namorada, Deyla Carvalho, pelo amor, cuidado, compreensão e incentivo em todos os momentos.

Aos demais membros da minha família, que sempre me apoiaram e acreditaram na concretização desta conquista.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Claudia Klose Parise e Prof. Dr. Leonardo Gonçalves de Lima, por todo o conhecimento compartilhado, pela oportunidade e por ampliarem meus horizontes para novas descobertas nas ciências do mar. Muito obrigado por todas as oportunidades que me concederam durante minha trajetória acadêmica, por acreditarem no meu potencial e por serem exemplos de professor e pesquisador.

Ao Professor Dr. Heitor Perotto, pelo conhecimento compartilhado, pela parceria no laboratório, pelas valiosas contribuições e pelos momentos de descontração.

Aos colegas do mestrado, LaClima e LEOG, pelo apoio, pelas trocas de conhecimento e pelos momentos de convivência e descontração, em especial a Ludmilla Carvalho, Matheus Cutrim e Antônio Melo.

Aos meus amigos de jornada na Oceanografia e no Mestrado, Luís Carlos Lago, Priscila Carvalho, Edilane Medeiros, Nicollas Silva e Mariana Nascimento pelo companheirismo ao longo dessa caminhada.

A todo o corpo docente do Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), ao Laboratório de Estudos e Modelagem Climática (LaClima) e ao Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG), pela contribuição direta para minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), pelo financiamento e incentivo durante o mestrado.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação e para a realização deste sonho. A todos, o meu sincero muito obrigado. Por fim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a minha formação e para a realização deste sonho. A todos, o meu sincero muito obrigado!

APRESENTAÇÃO

Esta Dissertação de Mestrado é composta por **INTRODUÇÃO e OBJETIVOS** gerais da pesquisa, seguida pelo **CAPÍTULO I (FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA)**, **CAPÍTULO II (ARTIGO 1)**, **CAPÍTULO III (ARTIGO 2)**, **CONSIDERAÇÕES FINAIS**, **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** e **ANEXOS**.

O **CAPÍTULO II (ARTIGO 1)**, intitulado “**Variabilidade sazonal da morfodinâmica em praias de macromarés: monitoramento integrado com geotecnologias de precisão na Praia do Olho d’Água, São Luís-MA**”, analisa a variabilidade sazonal da morfodinâmica em praias de macromaré, bem como o potencial da ciência cidadã como ferramenta complementar de monitoramento costeiro. Este artigo foi submetido à revista *Ocean and Coastal Research* (OCR, <https://www.ocr-journal.org/>), conforme comprovante constante nos ANEXOS.

O **CAPÍTULO III (ARTIGO 2)**, intitulado “**Ciência cidadã no monitoramento costeiro: Análise espaço-temporal nas praias arenosas de São Luís-MA via projeto CoastSnap-MA**”, investiga o engajamento social e a participação cidadã dos voluntários no monitoramento costeiro nas praias da Ponta d’Areia e Olho d’Água, fornece um panorama geográfico nacional e internacional do usuário do *CoastSnap* no Maranhão, de forma a democratizar a coleta de dados e apoiar a gestão costeira local. Este manuscrito será submetido à Revista de Desenvolvimento e Meio Ambiente (DMA; <https://revistas.ufpr.br/made>) da UFPR.

As **CONSIDERAÇÕES FINAIS** trazem um fechamento geral ao documento, ligando os principais resultados obtidos à problemática e aos objetivos propostos na Dissertação. O texto finaliza com as seções de **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** e **ANEXOS**.

RESUMO

Este estudo analisa a dinâmica costeira na orla de São Luís (MA) por meio de uma abordagem integrada que combina geotecnologias de alta resolução e ciência cidadã. A zona costeira da Ilha do Maranhão, caracterizada por um regime de macromaré semi-diurna com amplitudes de até 6,5 m, apresenta elevada complexidade morfodinâmica e vulnerabilidade a processos erosivos. A metodologia consistiu no monitoramento topográfico da Praia do Olho d'Água utilizando GNSS-RTK e fotogrametria para a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e cálculo de balanço sedimentar, além da implementação do projeto *CoastSnap*-MA nas praias da Ponta d'Areia e Olho d'Água para avaliar o engajamento social no monitoramento participativo. Os resultados da análise morfológica indicam um controle sazonal do sistema: no período de estiagem, a intensificação das ondas e ventos favorece processos erosivos e a formação de calhas de maré, predominando o estágio low tide bar/rip. No período chuvoso, a redução da energia hidrodinâmica promove a redistribuição e retenção de sedimentos, resultando em perfis mais suavizados. Os setores inferiores da praia (zonas de intermaré média e inferior) foram identificados como os mais vulneráveis, com variações altimétricas de até 0,5 m. Quanto à ciência cidadã, o *CoastSnap*-MA registrou 1.198 participantes de 26 estados brasileiros e 10 países, demonstrando alto potencial de conscientização ambiental e difusão da cultura oceânica, embora o engajamento tenha sido assimétrico entre as praias devido a fatores de infraestrutura e fluxo de usuários. Conclui-se que a integração de métodos de alta precisão com a participação comunitária oferece uma base de dados robusta e inovadora para subsidiar estratégias de gestão costeira e adaptação às mudanças climáticas na região.

Palavras-chave: Morfodinâmica praial, Monitoramento costeiro, Macromaré, Ciência cidadã, *CoastSnap*.

ABSTRACT

This study analyzes coastal dynamics along the coast of São Luís (MA) using an integrated approach that combines high-resolution geotechnologies and citizen science. The coastal zone of Ilha do Maranhão, characterized by a semi-diurnal macrotidal regime with amplitudes of up to 6.5 m, presents high morphodynamic complexity and vulnerability to erosive processes. The methodology consisted of topographic monitoring of Olho d'Água Beach using GNSS-RTK and photogrammetry to generate Digital Elevation Models (DEMs) and calculate sediment balance, in addition to implementing the CoastSnap-MA project on Ponta d'Areia and Olho d'Água beaches to assess social engagement in participatory monitoring. The results of the morphological analysis indicate a seasonal control of the system: during the dry season, the intensification of waves and winds favors erosive processes and the formation of tidal channels, with the low tide bar/rip stage predominating. During the rainy season, the reduction in hydrodynamic energy promotes the redistribution and retention of sediments, resulting in smoother profiles. The lower sectors of the beach (mid- and lower intertidal zones) were identified as the most vulnerable, with altimetric variations of up to 0.5 m. Regarding citizen science, CoastSnap-MA registered 1,198 participants from 26 Brazilian states and 10 countries, demonstrating high potential for environmental awareness and dissemination of ocean culture, although engagement was asymmetrical among beaches due to infrastructure factors and user flow. It is concluded that integrating high-precision methods with community participation offers a robust and innovative database to support coastal management strategies and adaptation to climate change in the region.

Keywords: *Morphodynamics, Coastal monitoring, Macrotidal, Citizen science, CoastSnap.*

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, com destaque para as praias de Olho D'Água (hachurada em vermelho) e da Ponta d'Areia (hachurada em verde).....	19
Figura 2. Perfil geral de delimitações das zonas supramaré, intermaré e inframaré para a praia do Olho d'Água, adaptado conforme classificação de Wright et al. (1982).....	32
Figura 3. Drone modelo DJI AIR 2S (a) com seu rádio controle (b) plano de voo sobre a área de estudo (c) e alvos artificiais (GCP) (d).....	33
Figura 4. (a) Estação CoastSnap-MA na Praia do Olho d'Água e (b) exemplo de imagem capturada e postada na mídia social. Fonte: Instagram.....	35
Figura 5. Perfis topográficos mensais dos transectos T1, T2 e T3 na Praia do Olho D'Água realizados de outubro/2024 até setembro/2025.....	39
Figura 6. Variação mensal de acreção e erosão por setor nos transectos T1, T2 e T3 na Praia do Olho D'Água entre outubro/2024 a setembro/2025, expressa em volume médio (m ³ /m) entre meses consecutivos.....	41
Figura 7. Modelos Digitais de Elevação (MDEs) bimensais entre outubro/2024 e agosto/2025.....	42
Figura 8. Mapas de diferenças mensais de altimetria (m) entre MDEs consecutivos entre outubro/2024 até agosto/2025, exibindo padrões de erosão (valores negativos) e deposição (valores positivos).....	44
Figura 9. Série temporal de Hs, Tp e Dir entre outubro/2024 e setembro/2025 simulados pelo modelo SWAN.....	46
Figura 10. Diagramas radar direcionais de Hs, Tp e Ws para o período de estudo (outubro/2024 a setembro/2025), apresentadas em frequência relativa (%) obtidos pela simulação com o modelo SWAN.....	47
Figura 11. Determinação das linhas de costa através da metodologia CoastSnap durante um período de maré de sizígia (a); regressão linear entre a altura de maré e o tempo (b); comparativo perfil RTK com perfil feito com as shorelines (c).....	48
Figura 12. Estágios morfodinâmicos da praia do Olho d'Água nos meses de período de estiagem (a) e chuvoso (b), de acordo com o modelo descrito por Masselink & Short (1993), utilizando os parâmetros Ω e RTR.....	50
Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	68
Figura 2. Estação CoastSnap-MA na Praia do Olho d'Água (a) e na Praia da Ponta d'Areia (b).....	69
Figura 3. Exemplo de utilização da base para gerar uma foto na praia da Ponta d'Areia (a); e exemplo de imagem capturada e postada na mídia social (b). Fonte: Instagram.....	70
Figura 4. Série temporal do número mensal de imagens coletadas pelo projeto CoastSnap	

nas praias da Ponta d'Areia e do Olho d'Água, em São Luís (MA), entre setembro de 2024 e março de 2026.....	71
Figura 5. Distribuição de participantes internacionais.....	73
Figura 6. Alcance de novos públicos no Instagram do projeto CoastSnap-MA (percentual de seguidores e não seguidores).....	74
Figura 7. Engajamento das publicações no Instagram do projeto CoastSnap-MA.....	75
Figura 8. Evolução das visualizações das publicações no Instagram do projeto CoastSnap (2024–2026).....	76

Lista de Tabelas

Tabela 1. Granulometria da praia do Olho d'Água no T2, segundo os métodos estatísticos descritos por Folk & Ward (1957).....	51
Tabela 1. Número de imagens coletadas por praia e turno (dia/noite).....	73
Tabela 2. Distribuição de participantes por estado (Brasil).....	74

Lista de Siglas

ASBOA - Associação de Surf e Bodyboard do Olho d'Água
DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação
ERA5 - *ECMWF Reanalysis v5*
GCPs - *Ground Control Points*
GNSS-RTK - *Global Navigation Satellite System - Real Time Kinematic*
MAS - Maré alta de sizígia
MAQ - Maré alta de quadratura
MBQ - Maré baixa de quadratura
MBS - Maré baixa de sizígia
MDE - Modelo Digital de Elevação
ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU - Organização das Nações Unidas
PPP - Posicionamento por Ponto Preciso
PRODEMA - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
RTR - *Relative Tidal Range*
SPU - Secretaria do Patrimônio da União
SWAN - *Simulating WAves Nearshore*
UFMA - Universidade Federal do Maranhão
UTM - *Universal Transverse Mercator*
ZCIT - Zona de Convergência Intertropical
ZI - Zona de intermaré
ZII - Zona de intermaré inferior
ZIM - Zona de intermaré média
ZIS - Zona de intermaré superior
ZS - Zona de supramaré

Lista de Símbolos

H_b - Altura da onda na arrebentação

H_s - Altura significativa de onda

Dir - Direção média de onda

T1 - Transecto 1

T2 - Transecto 2

T3 - Transecto 3

T_p - Período de pico

TR - Amplitude de maré (m)

W_s - Velocidade de decantação

x - Coordenada horizontal

y - Coordenada vertical

z - Cota altimétrica

Ω - Parâmetro ômega

φ - Phi

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	17
II. OBJETIVOS.....	18
1. Objetivo Geral.....	18
2. Objetivos Específicos.....	19
III. CAPÍTULO I.....	19
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
1.1 Área de estudo.....	19
1.2 Sistemas costeiros.....	21
1.3 Morfodinâmica praial.....	22
1.4 Fotogrametria aplicada ao monitoramento costeiro.....	23
1.5 Histórico, conceito e aplicações do <i>CoastSnap</i>	24
IV. CAPÍTULO II (ARTIGO 1).....	26
1. Introdução.....	28
2. Material e Métodos.....	30
2.1. Área de estudo.....	30
2.2. Perfis topográficos.....	31
2.3. Fotogrametria.....	32
2.4. Modelo de ondas e experimento numérico.....	34
2.5. Sedimentologia.....	34
2.6. <i>CoastSnap</i> -MA.....	35
2.7. Parâmetros Morfodinâmicos (Ω e RTR).....	37
3. Resultados.....	38
3.1. Perfis Topográficos.....	38
3.2. Modelos Digitais de Elevação (MDE).....	43
3.3. Modelagem de ondas na Praia do Olho D'Água.....	46
3.3. <i>CoastSnap</i> em praias macromaré.....	48
3.4. Análise sedimentológica.....	49
3.5. Estágios morfodinâmicos.....	50
4. Discussão.....	52
5. Conclusões.....	58
Referências.....	60
V. CAPÍTULO III (ARTIGO 2).....	65
1. Introdução.....	66
2. Materiais e métodos.....	68
2.1. Área de Estudo.....	68
2.2. Estações <i>CoastSnap</i> -MA.....	69
2.3. Aquisição e tratamento de imagens.....	70
3. Resultados.....	71
3.1 Participação por praia e turnos.....	71
3.2 Origem geográfica dos participantes.....	73

3.3 Engajamento social e alcance digital do <i>CoastSnap-MA</i>	74
4. Discussão.....	77
4.1 Participação e engajamento no monitoramento costeiro participativo.....	77
4.2 Fatores explicativos para a distribuição geográfica dos participantes.....	80
4.3 Implicações dos resultados para o monitoramento costeiro participativo.....	81
5. Conclusão.....	82
6. Referências.....	84
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO.....	89
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
VIII. ANEXOS.....	95

I. INTRODUÇÃO

A zona costeira caracteriza-se como ambiente energético, onde a interação contínua entre processos oceanográficos, atmosféricos e sedimentares controla a evolução morfológica das praias ao longo de diferentes escalas temporais (Masselink; Hughes, 2003; Short, 1999). Em regiões com dinâmica de macromaré, como o litoral do Maranhão, essa dinâmica assume complexidade, uma vez que a elevada amplitude de maré atua conjuntamente com o regime de ondas, promovendo intensas variações na configuração morfodinâmica das praias (Muehe, 2006; Masselink; Short, 1993). Nesse contexto, compreender os padrões de variabilidade morfológica torna-se essencial para o planejamento e a gestão costeira, principalmente diante de pressões antrópicas crescentes e das mudanças climáticas (Nicholls; Cazenave, 2010; Voudoukas *et al.*, 2020).

O município de São Luís (MA), situado na Ilha do Maranhão, no setor central do litoral maranhense e inserido no sistema estuarino do Golfão Maranhense, apresenta praias oceânicas caracterizadas por regimes hidrodinâmicos energéticos e forte domínio de maré, como as praias do Olho d'Água e da Ponta d'Areia. Esses ambientes apresentam variabilidade sazonal, refletindo mudanças nas condições de ondas, ventos e precipitação. O monitoramento desses sistemas é fundamental frente ao cenário de crise climática global, onde a elevação do nível do mar e a maior frequência de eventos extremos potencializam processos de erosão e inundação. Apesar dessa relevância, ainda são escassos os estudos que integram análises morfodinâmicas detalhadas a abordagens tecnológicas de alta resolução e estratégias participativas, evidenciando uma lacuna no conhecimento científico do Nordeste setentrional brasileiro.

Nos últimos anos, o avanço das geotecnologias, como a fotogrametria digital e a modelagem de superfícies tridimensionais, tem possibilitado a obtenção de dados topográficos de alta precisão (Westoby *et al.*, 2012; Fonstad *et al.*, 2013). Paralelamente, iniciativas de ciência cidadã, a exemplo do projeto global *CoastSnap*, têm emergido como ferramentas promissoras para ampliar a frequência de coleta de dados. Segundo Harley & Kinsela (2022), essa abordagem utiliza o engajamento da comunidade para o monitoramento contínuo da linha de costa, promovendo a democratização do conhecimento científico (Haklay, 2013). A integração dessas estratégias representa uma oportunidade inovadora para o monitoramento em regiões com limitações de recursos, alinhando-se às premissas de desenvolvimento sustentável e participação social.

Este estudo alinha-se à Agenda 2030 da ONU, especialmente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com destaque para o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao fornecer dados para adaptação climática; ODS 14 (Vida na Água), ao auxiliar na gestão de sistemas costeiros; e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ao utilizar o *CoastSnap* como ferramenta de governança participativa e inclusiva. A relação integrada entre a ciência de alta precisão e o engajamento social permite que o monitoramento subsidie políticas públicas resilientes para a orla ludovicense.

Nesta conjuntura, coloca-se a seguinte questão central: como a morfodinâmica das praias oceânicas de São Luís (MA) responde à variabilidade hidrodinâmica sazonal e de que forma abordagens integradas, baseadas em geotecnologias e ciência cidadã, podem aprimorar o monitoramento desses sistemas? Para responder a essa questão, o estudo orienta-se pelas seguintes questões norteadoras: (i) quais feições morfológicas são recorrentes nas praias e como se relacionam com os processos locais; (ii) qual a eficácia da combinação de geotecnologias na quantificação dessas variações; e (iii) como a participação cidadã via *CoastSnap* contribui para a conscientização ambiental dos usuários.

A hipótese central desta pesquisa sustenta que os processos morfodinâmicos das praias arenosas da orla oceânica de São Luís (MA) são governados pela interação sinérgica entre o regime de macromaré e o clima de ondas sazonal, os quais controlam o balanço sedimentar e as variações espaço-temporais da linha de costa. Adicionalmente, pressupõe-se que o uso integrado de geotecnologias de alta resolução e ciência cidadã permite identificar que, embora o domínio de maré seja constante, a variabilidade volumétrica sazonal é predominantemente controlada pela energia das ondas em períodos de maior forçante atmosférica.

II. OBJETIVOS

1. Objetivo Geral

Analisar a dinâmica costeira na orla de São Luís (MA) através de uma abordagem integrada, contemplando a caracterização morfodinâmica via geotecnologias e avaliação da ciência cidadã como ferramenta de monitoramento participativo.

2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os regimes de ondas e marés e sua influência na morfodinâmica (parâmetros, estágios morfodinâmicos e balanço sedimentar) da praia do Olho d'Água;

- Estruturar um fluxo de processamento de dados morfodinâmicos e oceanográficos para geração de indicadores de variabilidade da linha de costa, utilizando ferramentas de código aberto;
- Avaliar o potencial da ciência cidadã como ferramenta de monitoramento participativo e difusão da cultura oceânica, promovendo o engajamento social e a conscientização sobre as mudanças climáticas.

III. CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Área de estudo

A Ilha do Maranhão é composta por 4 municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. As praias do Olho D'Água ($2^{\circ}28'41.26''S$, $44^{\circ}13'56.51''W$; $2^{\circ}28'42.22''S$, $44^{\circ}13'30.30''W$ e da Ponta d'Areia ($2^{\circ}30'7.17''S$, $44^{\circ}19'14.73''W$; $2^{\circ}30'1.83''S$, $44^{\circ}18'49.94''W$) estão localizadas no município de São Luís, capital do estado do Maranhão (Fig. 1).

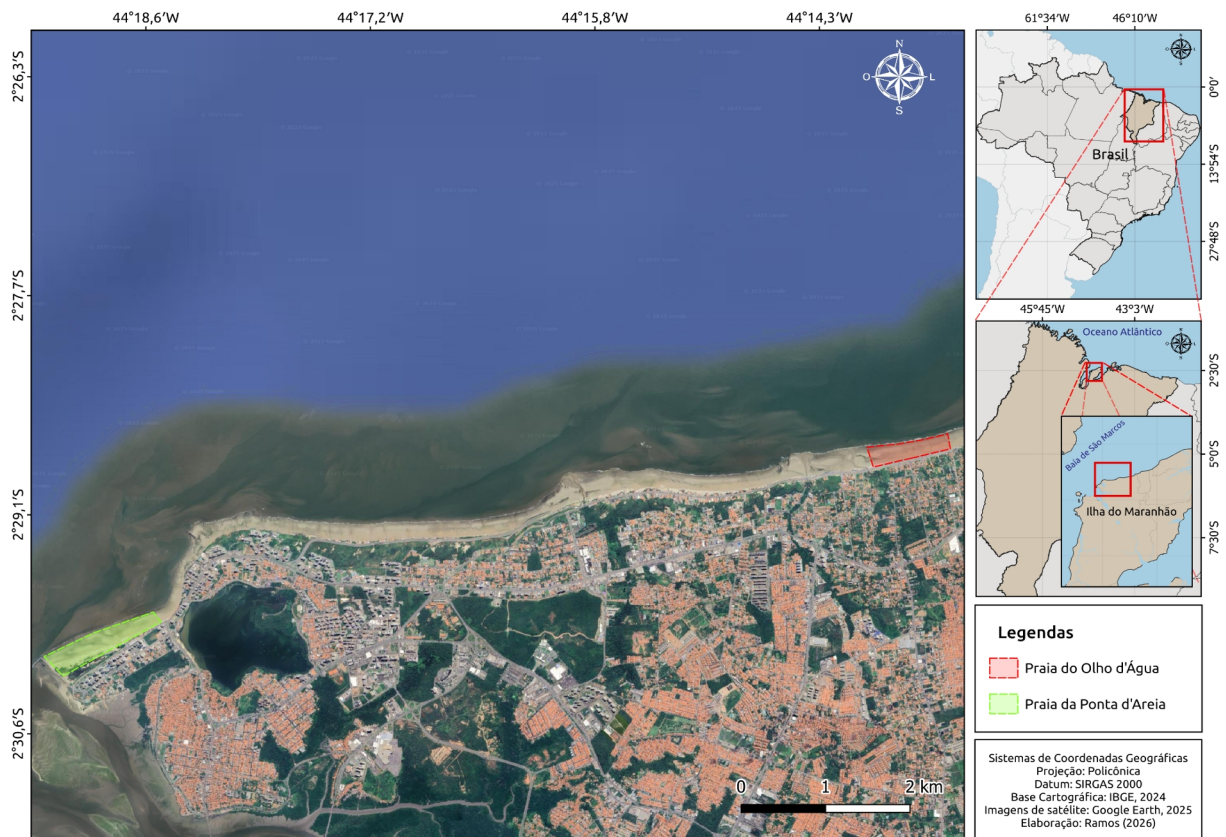


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, com destaque para as praias de Olho D'Água e da Ponta d'Areia.

Conforme Lima *et al.* (2020; 2022), as praias da Ilha do Maranhão apresentam largura média de aproximadamente 200 m, podendo variar frente à grande amplitude de maré. Esta região costeira está sob influência de um regime de macro-maré semi-diurna, com alturas de até 6,5 m (DHN, 2004). Segundo Reis *et al.* (2024), a altura significativa de ondas varia ao longo do ano de 0,5 a 2,2 m, com a amplitude das ondas diminuindo em direção à costa.

As praias oceânicas aqui estudadas são orientadas no sentido NE-SW, com transporte sedimentar longitudinal, da deriva litorânea, para SW (Pereira *et al.*, 2014). Observam-se canais de maré formados na zona intermaré, os quais assumem dimensões variadas e são constituídos por sedimentos finos (Feitosa & Christofolletti, 1993). A continuidade destas praias é interrompida somente pelos afloramentos (falésias) dos sedimentos do Grupo Barreiras e Formação Alcântara na face praial, que fazem parte da topografia antecedente, e contribuem para o surgimento de crostas lateríticas. Estes setores são altamente dinâmicos, sofrendo com intensa erosão costeira. Lima *et al.* (2020; 2022) descrevem as características geomorfológicas dos setores praias maranhenses como praias anexadas (*mainland beach*) e esporão arenoso (*spits*). As praias no município de São Luís posicionam-se sobre esporões arenosos, como a Praia da Ponta d'Areia, e nos limites de falésias das formações Itapecuru, Alcântara, Cujupe e Barreiras, como as Praias de São Marcos, Calhau, Caolho e Olho d'Água.

1.2 Sistemas costeiros

As praias arenosas constituem elementos dominantes nas zonas costeiras e são amplamente empregadas em estudos de variabilidade morfodinâmica e mobilidade da linha de costa, sobretudo para a identificação de tendências de erosão, estabilidade ou progradação (Muehe, 2014). Estima-se que mais de um terço do litoral mundial seja composto por esse tipo de ambiente (Luijendijk *et al.*, 2018), o qual apresenta elevada relevância socioeconômica, associada a atividades recreativas, turísticas e à provisão de serviços ecossistêmicos (Barbier *et al.*, 2011; Vousdoukas *et al.*, 2020). Em contextos de macromaré, caracterizados por amplitudes de maré superiores a 4 m, como em diversos trechos do litoral norte brasileiro, incluindo o Maranhão, a dinâmica praial tende a ser ainda mais complexa, com forte controle das marés sobre a zona de arrebenção, ampla variação da faixa entremarés e intensa mobilização sedimentar, o que confere elevada variabilidade espaço-temporal à morfodinâmica desses sistemas.

Nas últimas décadas, observa-se um crescimento expressivo da população em áreas

costeiras (Neumann *et al.*, 2015; Dritsas, 2020), frequentemente associado à ocupação desordenada e à insuficiência de planejamento territorial (Klein e Short, 2016). Esse contexto amplia a vulnerabilidade das zonas costeiras, sobretudo em regiões já suscetíveis à erosão, processo que, no Brasil, ocorre de forma generalizada ao longo do litoral e, em muitos casos, predomina sobre a acreção, conforme evidenciado no relatório “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro” (Muehe, 2006). Projeções indicam a continuidade das tendências de migração para a zona costeira, urbanização e crescimento demográfico (Jones & O’Neil, 2016), reforçando a necessidade de monitoramento sistemático e gestão integrada desses ambientes.

Nesse cenário, a Ilha do Maranhão destaca-se pela elevada suscetibilidade a processos erosivos, condicionada tanto por fatores hidrodinâmicos quanto pelas características geológicas locais (Lima *et al.*, 2020; 2022). A ação das ondas sobre setores de maior declividade intensifica a remoção de sedimentos e promove o recuo da linha de costa (Souza *et al.*, 2005), sendo esse processo agravado pela natureza pouco consolidada dos depósitos do Grupo Barreiras, compostos por siltitos, argilitos, arenitos e folhelhos, altamente erodíveis.

As praias do setor norte da Ilha do Maranhão apresentam elevada variabilidade morfológica, resultante da interação entre forçantes naturais e intervenções antrópicas (Santos, 1989; Feitosa, 1989, 1997; Tarouco e Santos, 1997; Sobrinho, 1998; Viana, 2000). A compreensão dessa dinâmica tem sido tradicionalmente fundamentada no conceito de equilíbrio dinâmico, segundo o qual as praias ajustam sua morfologia em resposta às condições de energia atuantes. Modelos clássicos de morfodinâmica de praias arenosas (Dean, 1973; Wright e Short, 1984; Masselink & Short, 1993), amplamente utilizados em estudos contemporâneos (Carter, 1988; Woodroffe, 2002), baseiam-se nesse princípio e fornecem suporte teórico para a análise da variabilidade da linha de costa.

Diante desse contexto, torna-se fundamental o desenvolvimento de abordagens integradas que permitam caracterizar a morfodinâmica costeira em diferentes escalas temporais, aliando o uso de geotecnologias de alta resolução à incorporação de estratégias participativas, como a ciência cidadã, ampliando a capacidade de monitoramento e a compreensão das mudanças na zona costeira.

1.3 Morfodinâmica praial

O modelo clássico de morfodinâmica praial, proposto por Wright & Short (1984), estabeleceu uma relação fundamental entre a energia das ondas, as características do

sedimento e a morfologia da praia. Nessa concepção, o espectro morfodinâmico é definido principalmente pelo parâmetro adimensional de velocidade de queda (Ω), que classifica as praias em uma sequência contínua desde os estágios reflexivos (baixa energia, sedimentos grossos) até os ultra-dissipativos (alta energia, sedimentos finos). Esta abordagem, centrada na dinâmica das ondas, tornou-se um pilar para a compreensão da variabilidade das praias, especialmente em ambientes de micromaré, onde a influência da maré é considerada secundária.

Posteriormente, Masselink & Short (1993) expandiram significativamente esse quadro conceitual ao integrar a amplitude relativa da maré RTR (*Relative Tidal Range*) como um fator crítico. Em sua proposta, a morfodinâmica praial é descrita como a interação dinâmica entre processos hidrodinâmicos e a resposta geomorfológica do sistema. Eles demonstraram que a classificação dos estágios morfodinâmicos depende não apenas de Ω , mas também da relação entre a energia das ondas e o regime de marés. A classificação morfodinâmica passou a depender, portanto, da interação entre dois parâmetros: Ω (energia das ondas/sedimento) e RTR (influência da maré). Essa integração permitiu explicar a variabilidade das praias em regimes de micromaré a macromaré, prevendo a transição entre perfis dominados pelo *swash* (reflexivos) e aqueles dominados pela ação dissipativa de ondas em águas rasas (dissipativos), e a supressão de feições como correntes de retorno em ambientes de maré elevada.

O modelo preditivo resultante permite descrever e compreender padrões morfológicos distintos, como a formação de barras submersas múltiplas em praias de macromaré dissipativas ou a ocorrência de amplos terraços de maré baixa, supressão de correntes de retorno (*rips*) em ambientes de maré significativa, onde a variação do nível d'água modula profundamente a atuação das ondas, fundamentando uma compreensão mais holística da resposta praial aos forçantes costeiro.

1.4 Fotogrametria aplicada ao monitoramento costeiro

Segundo Meneses e Almeida (2012, p. 3), “*Sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres*”. Trata-se, portanto, da técnica de análise de objetos da superfície terrestre através da transmissão da energia eletromagnética sem contato físico entre o sensor e o objeto, feita em episódios temporais conhecidos e que suportam os usuários com dados/informações espaciais sobre a evolução dinâmica desses objetos.

Essa definição de sensoriamento remoto é explícita em afirmar que o objeto imageado é registrado pelo sensor por meio de medições da radiação eletromagnética, tal como a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto. Nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto.

Nos últimos anos o sensoriamento remoto passou por uma série de avanços, revolucionando a sua abordagem na ciência costeira, oferecendo novas percepções sobre a caracterização morfológica e evolução no ambiente costeiro. Técnicas como LiDAR (*Light Detection and Ranging*) ou imagens multiespectrais são ferramentas indispensáveis na gestão costeira (Florio *et al.*, 2024; Shen *et al.*, 2023).

Atualmente a aquisição de modelos de superfície digital de alta resolução tem sido dominada pelo uso de LIDAR no ar (Haala & Rothermel, 2012). Esta técnica se apresenta como uma ferramenta especial no monitoramento costeiro para avaliar as mudanças de volume e a evolução morfológica de praias e dunas de areia (Sallenger *et al.*, 2003, Mitsova *et al.*, 2004, Mitsova *et al.*, 2009, White e Wang, 2003).

Com a disponibilidade e acessibilidade à câmeras fotográficas digitais nos últimos anos (Cramer, 2011), a fotogrametria tornou-se uma solução importante e possivelmente mais acessível para o monitoramento costeiro. Estes processos permitem a geração de nuvens de pontos 3D e modelo de superfície digital (DSM) com uma qualidade que só foi possível com o LIDAR no passado (Haala, 2009).

Além disso, esses métodos aprimoram a compreensão e o monitoramento dos processos costeiros atuais. Além disso, facilitam a reconstrução de paisagens passadas e a previsão de mudanças futuras. Utilizando imagens adquiridas remotamente e modelos digitais de elevação precisos processados em plataformas de computação, é possível observar o avanço em relação aos métodos tradicionais de mapeamento manual. O desenvolvimento de estruturas de medição baseadas em dados de sensoriamento remoto de alta resolução desempenha um papel crucial no enfrentamento desses desafios, fornecendo métricas consistentes e quantificáveis para o monitoramento de mudanças em ambientes costeiros.

1.5 Histórico, conceito e aplicações do *CoastSnap*

As iniciativas de monitoramento costeiro envolvendo a comunidade costeira na compreensão dos processos e formas de relevo costeiros, introduzem apropriação e responsabilidade pelos ecossistemas costeiros, ao mesmo tempo em que fornecem dados inestimáveis, em relação aos métodos tradicionais podem ter dificuldade em obter dados

devido ao custo e aos requisitos de treinamento. Esta abordagem colaborativa incentiva o intercâmbio de conhecimento, promovendo a aprendizagem mútua e a capacitação entre cientistas e comunidades, aprofunda a percepção científica e facilita a tomada de decisões mais bem informada (Conrad e Hilchey, 2011; Newman *et al.*, 2017). A integração dos cidadãos na coleta de dados científicos tem um precedente histórico bem estabelecido em vários campos de pesquisa (Fiorino, 1990; Callon, 1999; Dickinson *et al.*, 2010; McKinley *et al.*, 2017).

Atualmente, o projeto *CoastSnap Community Beach Monitoring* é exemplo neste modelo de pesquisa envolvendo ciência cidadã, o qual demonstra a eficiência e fácil aplicabilidade no monitoramento costeiro. Embora a utilização de fotografias tenha sido usada há quase 2 décadas em pesquisas (Zier e Baker, 2006; O'Connor e Bond, 2007; Burton *et al.*, 2011; Scott *et al.*, 2021), os algoritmos inovadores da *CoastSnap* para extrair dados quantitativos dessas imagens estabeleceram um novo padrão no monitoramento da costa através da ciência cidadã, aprimorando a utilidade da fotografia de smartphones e das mídias sociais (Bayas *et al.*, 2016; Droege, 2013; Harley *et al.*, 2019; Harley e Kinsela, 2022).

Realizando a instalação das estações em praias, o projeto *CoastSnap* tem como ponto vital coletar dados espaciais e temporais de alta qualidade, utilizando a participação da comunidade local e visitantes. As estações são posicionadas em pontos estratégicos, com visão privilegiada das praias, permitindo o registro fotográfico contínuo e padronizado das variações da linha de costa. Essa abordagem inovadora, baseada na ciência cidadã, não apenas facilita a coleta de dados em larga escala, mas também promove a conscientização ambiental sobre a importância da preservação das zonas costeiras. Além disso, a escolha desses locais permite a integração de dados com outras pesquisas científicas já em andamento, ampliando o entendimento sobre os processos costeiros na região (Harley *et al.*, 2019).

Embora o projeto *CoastSnap* tenha alcançado sucesso global e seja conhecido por sua simplicidade, ele enfrenta alguns desafios. Garantir o rigor científico e a qualidade dos dados ao longo do tempo é crucial para garantir a robustez e a utilidade dos dados recolhidos. Para a *CoastSnap*, isso abrange a seleção do site (equilíbrio de interesse científico com a popularidade da localização), instalação da estação (exigindo permissões e medições *in situ*), vigilância e manutenção contínuas (endereço de degradação e vandalismo), engajamento cidadã (promoção e *feedback*) e tarefas de gerenciamento e exploração de dados (coleta, curadoria, processamento e validação). Esses desafios variam em importância em diferentes locais e situações, levando a uma série de questões contextuais que exigem atenção focada.

No Brasil (Ribeiro *et al.*, 2021), o projeto *CoastSnap* é coordenado nacionalmente pelo Prof. Dr. Pedro Pereira (UFSC) em parceria com a Profa. Dra. Flavia Lins (UFRJ), com apoio financeiro de agências de fomento estaduais e federais. A iniciativa vem sendo aplicada nos diferentes estados costeiros, incluindo Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco, Bahia, Sergipe, Ceará, Maranhão e Amapá.

O projeto no estado do Maranhão (*CoastSnap-MA*) é coordenado localmente pelos professores Dra. Claudia Klose Parise e Dr. Leonardo Gonçalves de Lima do Departamento de Oceanografia da UFMA, e conta com duas estações em funcionamento na orla oceânica de São Luís-MA, especificamente nas Praias da Ponta d'Areia e do Olho d'Água, representando um avanço significativo no monitoramento costeiro da região. Esses locais foram escolhidos estrategicamente devido à sua relevância ambiental e dinâmica costeira, que refletem as variações naturais e antrópicas na linha de costa.

A estação de monitoramento na Praia do Olho d'Água, anexa à Avenida Litorânea, nas proximidades do Pico Asboa (Associação de *Surf* e *Bodyboard* do Olho d'Água). Criada em 2004, a Asboa é uma instituição de utilidade pública sob a Lei 10.430 de 08 de abril de 2016, e atua positivamente na sociedade maranhense através da prática de esportes (como o surfe), aliada a atividades de preservação e conservação do meio ambiente, sendo uma grande incentivadora e parceira deste projeto. Já a estação localizada no espigão da Praia Ponta d'Areia é um dos setores mais movimentados na orla de São Luís, especialmente nos finais de semana, o que pode facilitar a participação cidadã na coleta de imagens.

Nesse sentido, utilizar os recursos disponíveis na internet, através das mídias sociais, juntamente com a alta tecnologia contida nos celulares, para monitorar em rede nacional os ambientes costeiros, especificamente o ambiente praial, é o foco principal desta proposta. Ciente de que a população brasileira faz elevado uso cotidiano de redes sociais, essa ferramenta apresenta um grande potencial de monitoramento de feições costeiras de grande importância, tal como a linha de costa, principal indicador da erosão costeira, através da análise de imagens compartilhadas nas redes sociais.

IV. CAPÍTULO II (ARTIGO 1)

VARIABILIDADE SAZONAL MORFODINÂMICA EM PRAIAS DE MACROMARÉ ATRAVÉS DO MONITORAMENTO INTEGRADO COM GEOTECNOLOGIAS E CIÊNCIA CIDADÃ NA PRAIA DO OLHO D'ÁGUA, SÃO LUÍS-MA

MORPHODYNAMICS SEASONAL VARIABILITY ON MACROTIDAL BEACHES: INTEGRATED MONITORING USING GEOTECHNOLOGIES AND CITIZEN SCIENCE AT OLHO D'ÁGUA BEACH, SÃO LUÍS, MARANHÃO

Rivaldo Junior Pinto RAMOS^{*1,2}, Claudia Klose PARISE^{1,2}, Leonardo Gonçalves de LIMA^{1,2},
 Heitor PEROTTO², Pedro de Souza PEREIRA⁴, Ludmilla Vitoria Carvalho RABELO³

¹Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, São Luís – MA – Brasil.

²Laboratório de Estudos e Modelagens Climáticas (LACLIMA), Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, São Luís – MA – Brasil. E-mail: claudia.parise@ufma.br

³Laboratório de Estudos de Oceanografia Geológica (LEOG), Departamento de Limnologia e Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, São Luís – MA – Brasil. E-mail: lima.leonardo@ufma.br

⁴Laboratório de Oceanografia Costeira, Coordenadoria Especial de Oceanografia, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade – Florianópolis – SC, CEP: 88040-900.

*Author-correspondente: Rivaldo Junior Pinto Ramos. E-mail: rivaldojr.oceano@gmail.com

RESUMO - Este estudo avaliou a morfodinâmica da Praia do Olho d'Água, localizada na orla oceânica de São Luís - Maranhão, através de uma abordagem integrativa que engloba geotecnologias, fotogrametria e modelagem numérica e ciência cidadã. Seu objetivo foi investigar a variabilidade morfodinâmica do sistema praiar em ambiente de macromaré em resposta a diferentes períodos sazonais (período chuvoso e de estiagem). O estudo também discute como uma metodologia de ciência cidadã, o *CoastSnap*-MA, pode ser adaptada para aplicações em praias de macromaré. Durante o período de monitoramento (out/24 a set/25), foram realizados levantamentos topográficos mensais, utilizando receptores GNSS-RTK de alta precisão e levantamento fotogramétrico com drone, bimestralmente, que proporcionaram a construção de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de alta resolução (3,8 cm/pixel). Adicionalmente, os dados foram integrados à modelagem numérica (SWAN) de ondas e à análise sedimentológica, permitindo uma interpretação mais ampla dos processos morfodinâmicos atuantes. Os resultados indicam que a dinâmica praiar é intensamente controlada pela interação entre a energia de ondas, a variabilidade sazonal e a elevada amplitude de maré (6,5 m). A metodologia baseada em MDEs e perfis topográficos evidenciou que o setor 3 (zona de intermaré média) é o mais vulnerável, apresentando variações altimétricas de até 0,5 m associadas à formação de calhas de maré e migração transversal de sedimentos. A modelagem numérica revelou um regime bimodal, onde ondas

locais (*wind-sea*) predominam, mas *swells* remotos do Atlântico Norte intensificam processos erosivos durante o período de estiagem. O padrão sazonal revelou que no período chuvoso, a redução da energia hidrodinâmica favorece o estágio *low tide bar/rip*, com maior organização morfológica. Já no período de estiagem, ocorrem migrações mais evidentes para os estágios *non-barred dissipative* e *ultra-dissipative*, apesar do estágio *low tide bar/rip* manter-se como o estágio predominante neste período. Quanto à metodologia *CoastSnap-MA*, esta demonstrou seu potencial como ferramenta complementar de baixo custo e monitoramento participativo. No entanto, sua aplicabilidade em praias de macromaré mostra limitações em análises altimétricas precisas, pois nessas condições registros pontuais tendem a refletir majoritariamente o estado da maré no momento da captura, e não necessariamente mudanças morfodinâmicas reais. Os resultados evidenciam a elevada sensibilidade morfodinâmica da praia do Olho d'Água às variações sazonais e à dinâmica de macromaré, reforçando a importância de monitoramento contínuo e integrado como suporte à compreensão dos processos morfodinâmicos e à gestão costeira em cenários de mudanças climáticas.

Palavras-chave: Monitoramento costeiro, Morfodinâmica, Fotogrametria, *CoastSnap*.

ABSTRACT - This study evaluated the morphodynamics of Olho d'Água Beach, located on the oceanfront of São Luís - Maranhão, through an integrative approach encompassing geotechnologies, photogrammetry, numerical modeling, and citizen science. Their objective was to investigate the morphodynamic variability of the beach system in a macrotidal environment in response to different seasonal periods (rainy and dry seasons). The study also discusses how a citizen science methodology, *CoastSnap-MA*, can be adapted for applications on macrotidal beaches. During the monitoring period (Oct/24 to Sep/25), monthly topographic surveys were carried out using high-precision GNSS-RTK receivers, and bimonthly photogrammetric surveys were conducted with drones, which allowed the construction of high-resolution Digital Elevation Models (DEMs) (3.8 cm/pixel). Additionally, the data were integrated with wave numerical modeling (SWAN) and sedimentological analysis, allowing for a broader interpretation of the morphodynamic processes at play. The results indicate that beach dynamics are intensely controlled by the interaction between wave energy, seasonal variability, and the high tidal range (6.5 m). The methodology based on DEMs and topographic profiles showed that sector 3 (mid-intertidal zone) is the most vulnerable, presenting altimetric variations of up to 0.5 m associated with the formation of tidal channels and transverse sediment migration. Numerical modeling revealed a bimodal regime, where local waves (*wind-sea*) predominate, but remote swells from the North Atlantic intensify erosive processes during the dry season. The seasonal pattern revealed that during the rainy season, the reduction in hydrodynamic energy favors the low tide *bar/rip* stage, which exhibits greater morphological organization. Conversely, during the dry season, more evident migrations occur towards the *non-barred dissipative* and *ultra-dissipative* stages, although the low tide *bar/rip* stage remains the predominant stage during this period. Regarding the *CoastSnap-MA* methodology, it demonstrated its potential as a low-cost complementary tool for participatory monitoring. However, its applicability on macrotidal beaches shows limitations in precise altimetric analyses, since in these conditions point-in-time records tend to reflect mainly the state of the tide at the time of capture, and not

necessarily real morphodynamic changes. The results highlight the high morphodynamic sensitivity of Olho d'Água beach to seasonal variations and macrotidal dynamics, reinforcing the importance of continuous and integrated monitoring to support the understanding of morphodynamic processes and coastal management in climate change scenarios.

Keywords: *Coastal monitoring, Morphodynamics, Photogrammetry, CoastSnap.*

1. Introdução

A zona costeira configura-se como uma das regiões mais dinâmicas e intensamente ocupadas do planeta, concentrando uma parcela expressiva da população mundial (cerca de 29% na faixa costeira de até 50 km), bem como atividades socioeconômicas de relevância estratégica para o desenvolvimento sustentável (Small; Nicholls, 2003). Essas áreas vêm sendo progressivamente expostas a pressões ambientais e climáticas, naturais e antrópicas, como elevação do nível do mar, aumento da frequência e intensidade de tempestades no oceano, resultando em alterações sistêmicas nos ambientes oceânicos e costeiros (Balk *et al.*, 2009).

Globalmente, mais de um terço da costa é composta por praias arenosas (Luijendijk *et al.*, 2018), configurando ambientes altamente atrativos para atividades socioeconômicas, especialmente aquelas relacionadas ao turismo, recreação e provisão de serviços ecossistêmicos (Barbier *et al.*, 2011; Vousdoukas *et al.*, 2020). Nas últimas décadas, essas regiões têm registrado um crescimento populacional significativo (Neumann *et al.*, 2015; Dritsas, 2020), associado à ocupação desordenada e à ausência de planejamento territorial adequado (Klein; Short, 2016; Jones & O'Neil, 2016).

No contexto do planejamento e gestão costeira, a linha de costa constitui uma feição geomorfológica fundamental por representar a interface dinâmica entre os sistemas continentais e marinhos (Rangel-Buitrago *et al.*, 2017; Ardeshiri, 2019). Suas variações espaço-temporais refletem o balanço sedimentar e os processos morfodinâmicos atuantes, sendo indicativas de tendências evolutivas do sistema praial, podendo indicar tendências de erosão, acresção ou equilíbrio dinâmico de uma praia. Essa dinâmica é controlada por forças naturais, que incluem a ação de ondas, marés, correntes longitudinais e de retorno e variações do nível relativo do mar, além de fatores climáticos de longa duração. Adicionalmente, intervenções antrópicas, como obras costeiras, urbanização e alterações no aporte sedimentar, podem modificar significativamente esses processos, alterando a resposta geomorfológica dos sistemas praias. Nesse contexto, o monitoramento sistemático da posição

da linha de costa é ferramenta essencial para o estudo da dinâmica costeira de praias arenosas (Ghosh *et al.*, 2015; Papakonstantinou *et al.*, 2016; Tătuie *et al.*, 2019), especialmente aquelas dominadas pela energia das ondas.

O estudo pioneiro que aplicaram esse arcabouço conceitual às praias arenosas da orla oceânica de São Luís (MA), nordeste do Brasil, enfrentaram esse grande desafio, de avaliar as interações entre os processos hidrodinâmicos e em uma praia de macromaré. Lima *et al.* (2022), ao investigar os impactos da construção de um espigão costeiro sobre o balanço sedimentar e a morfodinâmica local na praia da Ponta d'Areia, revelaram que os estágios morfodinâmicos da praia da Ponta d'Areia variam entre *low tide bar/rip* na maré alta e *ultra-dissipative* na maré baixa. Isso reflete a forte influência do regime de macromarés atuante, com alturas de até 6,5 m (Jansen, 2024; Carvalho, 2025), e de ondas de 1,5 m (Reis *et al.* 2024) na remodelagem contínua da face praial.

Além da ação de forçantes naturais, como ondas de período mais longo provenientes do Atlântico Norte, correntes costeiras intensas e marés de grande amplitude, as praias arenosas de São Luís (MA) tem sua morfodinâmica fortemente afetada por pressões antrópicas, associadas à urbanização desordenada e ao planejamento costeiro ineficiente no município. Diante disso, o presente estudo propõe o uso de uma abordagem científica metodológica inovadora, que integra geotecnologias, modelagem numérica de ondas e ciência cidadã, permitindo uma análise integrada da dinâmica costeira em distintas escalas de tempo.

2. Material e Métodos

Esta seção apresenta os procedimentos metodológicos adotados para o monitoramento morfodinâmico integrado realizado na praia do Olho d'Água, trazendo a descrição da área de estudo, os métodos de aquisição e processamento de dados, incluindo levantamentos topográficos, fotogrametria, modelagem numérica e análises sedimentológicas, bem como os parâmetros utilizados para a classificação morfodinâmica do sistema praial.

2.1. Área de estudo

A Ilha do Maranhão é composta por 4 municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. A praia do Olho D'Água (2°28' 43.8"S, 44°13 '42.6"W) está localizada no município de São Luís, capital do estado do Maranhão (Fig. 1).

De acordo com Lima *et al.* (2020; 2022), as praias da Ilha do Maranhão apresentam largura média de aproximadamente 200 m, podendo variar frente à grande amplitude de

maré. Esta região costeira está sob influência de um regime de macro-maré semi-diurna, com alturas de até 6,5 m (DHN, 2004). A zona costeira do Maranhão apresenta alturas de ondas entre 0,5 e 2,2 m (Reis *et al.*, 2024).

Lima *et al.* (2020; 2022) descrevem as características geomorfológicas de grande escala das barreiras costeiras maranhenses como barreiras de praias anexadas (*mainland beach barrier*) e esporões arenosos ancorados (*headland spit barrier*). Algumas praias no município de São Luís posicionam-se sobre esporões arenosos, como a Praia da Ponta d'Areia e Panaquatira enquanto outras encontram-se anexadas diretamente às falésias das Formações Itapecuru, Cujupe e Barreiras, como as praias de São Marcos, Calhau, Caolho e Olho d'Água.

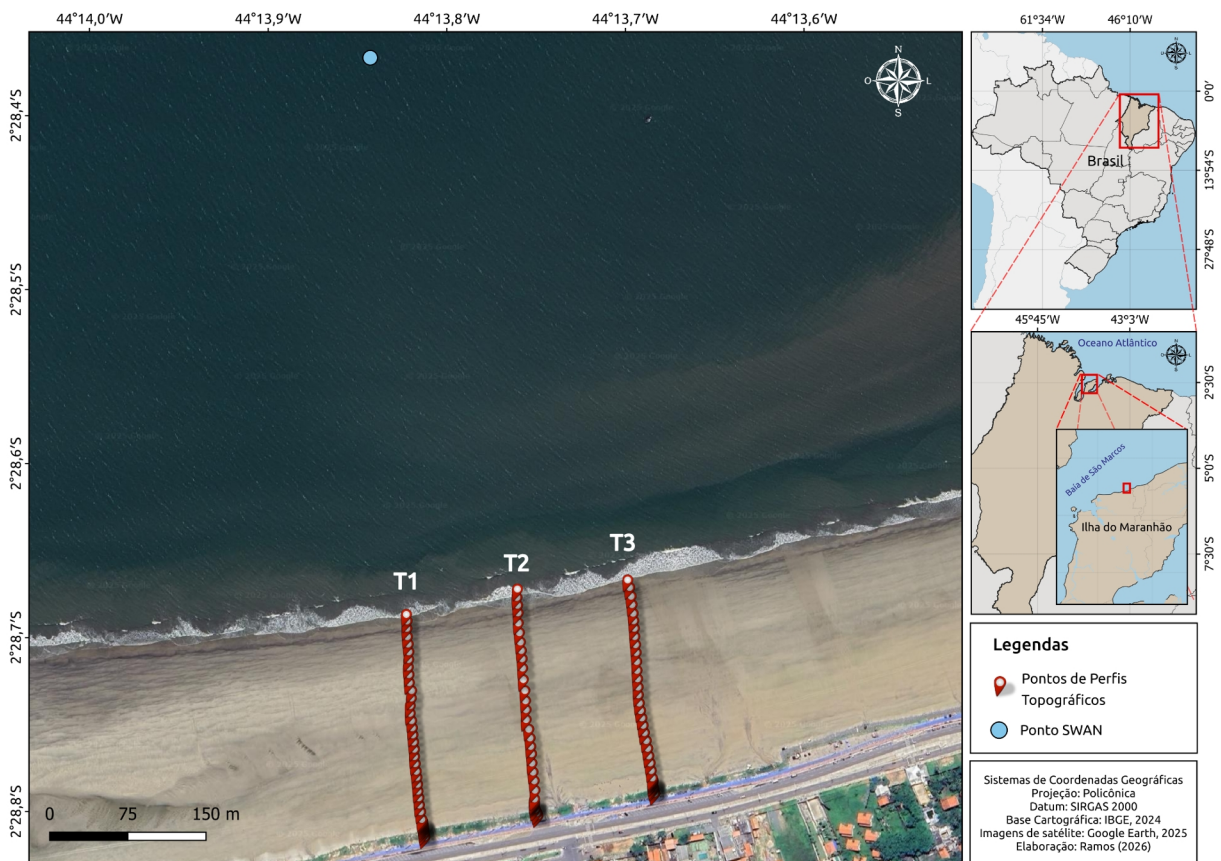


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, mostrando os transectos (T1, T2, T3) de perfis topográficos e o ponto de localização dos dados de modelagem de ondas.

O regime sazonal de chuvas no litoral maranhense é caracterizado por dois períodos bem definidos, um chuvoso e outro de estiagem (Nimer, 1989; Silva, 2012; Barreto *et al.*, 2018; Furtado, 2019). Esta variabilidade semi-anual da precipitação, associada ao regime dos ventos alísios na região, é governada principalmente pelo deslocamento meridional do sistema meteorológico conhecido como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), estando este sob influência de modos de variabilidade climática sazonal, interanual e decadal

(Furtado *et al.*, 2020; Soares, *et al.*, 2023; Furtado *et al.*, 2025).

2.2. Perfis topográficos

Os perfis topográficos foram realizados mensalmente na praia do Olho d'Água, totalizando 12 campanhas, cobrindo o período de outubro de 2024 a setembro de 2025. Ao longo da praia, foram medidos o transecto 1 (T1), transecto 2 (T2) e transecto 3 (T3) perpendiculares à linha de costa e com distâncias entre si de aproximadamente 120 m (Fig. 1). Os pontos coletados ao longo do perfil foram georreferenciados através de um equipamento receptor GNSS-RTK (*Real Time Kinematic*) de alta precisão da marca CHCnav. A antena base (modelo i50) permanece fixa por 5 horas a fim de se estabelecer um PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) de precisão milimétrica, enquanto um rover (modelo i73+) se move e recebe os sinais dos satélites e correções da base via rádio, sendo responsável pela aquisição dos pontos ao longo do perfil praias. Em cada ponto coletado ao longo de cada perfil praias são registradas as coordenadas (x e y) em formato UTM (*Universal Transverse Mercator*) e as cotas altimétricas (z).

O balanço sedimentar da praia do Olho D'água foi avaliado por meio do cálculo de volume dos perfis (em m^3/m). A praia do Olho d'Água teve sua face litorânea compartimentada em 4 setores, propostos conforme classificação de Wright *et al.* (1982), a saber: **Setor 1**, situa-se na zona de supramaré (ZS) de 0 m a 20 m; **Setor 2**, situado na zona de intermaré superior (ZIS) de 21 m a 80 m; **Setor 3**, situado entre a zona de intermaré superior (ZIS) e a zona de intermaré média de 81 m a 140 m e; **Setor 4**, delimitado na zona de intermaré média de 141 m a 200 m (Fig. 2). Entre os níveis de maré alta de sizígia (MAS) e maré alta de quadratura (MAQ) está a zona de intermaré superior (ZIS), mais abaixo da MAQ; ao passo que, antes da maré baixa de quadratura (MBQ) está a zona de intermaré média (ZIM). Entre a MBQ e a maré baixa de Sizígia (MBS) localiza-se a zona de intermaré inferior (ZII) e abaixo da maré baixa de Sizígia (MBS) está a zona de inframaré (ZI). Essa classificação será levada em consideração para a definição dos setores 1, 2, 3 e 4 monitorados na praia Olho d'Água.

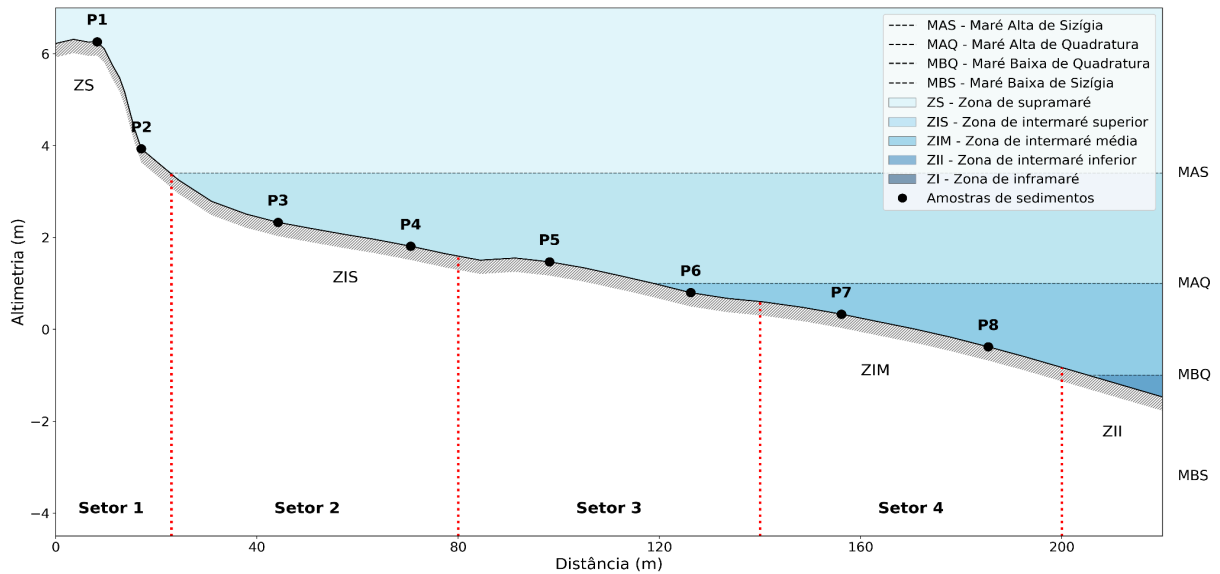


Figura 2. Perfil geral de delimitações das zonas supramaré, intermaré e inframaré para a praia do Olho d'Água, adaptado conforme classificação de Wright *et al.* (1982).

2.3. Fotogrametria

As campanhas de imageamento por drone na Praia do Olho d'Água foram realizadas bimestralmente, com um total de seis (6) campanhas realizadas nos meses de outubro e dezembro de 2024, e fevereiro, abril, julho e outubro de 2025. Zonas praias submersas podem gerar reflexão da luz na lâmina d'água, causando distorções no processamento das imagens e menor acuracidade na construção dos modelos digitais de terreno no *software* de fotogrametria. Assim, todos os voos foram realizados durante a maré baixa de Sizígia e preferencialmente sob condições de intensa radiação solar e com ausência de nuvens. O modelo de drone utilizado foi o *DJI AIR 2S* (Fig. 3a), o qual é equipado com uma câmera de 20MP, modelo FC3411 e sensor CMOS de 1 polegada. Todas as missões mantiveram um plano de voo padronizado (Fig. 3c), com altitude fixa de 60 m e sobreposição frontal e lateral de 75% resultando numa resolução espacial de 3,81 *cm/pixel*.

Ao longo da praia foram distribuídos GCPs (Pontos Artificiais de Controle) para auxiliar nas correções altimétricas no pós-processamento e validação da precisão dos modelos gerados. Utilizando o *software Agisoft Metashape*, versão 2.1, as imagens coletadas foram tratadas e alinhadas em um processo de descarte das que exibiam distorções de luz ou presença de lâmina d'água. Após o alinhamento, as imagens foram processadas em conjunto com os GCPs (Fig. 3d), que foram utilizados para corrigir a topografia dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs), garantindo maior precisão altimétrica e espacial para a confecção das nuvens de pontos.

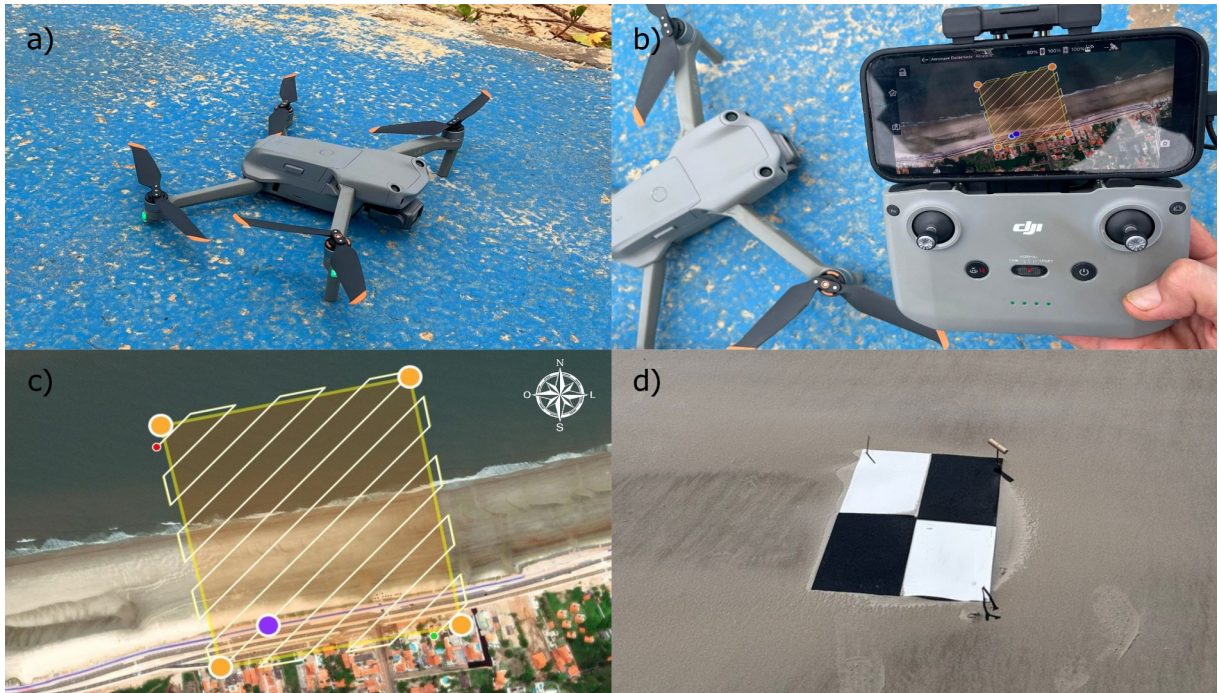


Figura 3. Drone modelo *DJI AIR 2S* (a) com seu rádio controle (b) plano de voo sobre a área de estudo (c) e alvos artificiais (GCP) (d).

Os MDEs foram exportados em formato *ASCII Grid* (.asc), alinhados espacialmente e submetidos a uma análise de diferenças pixel a pixel, a fim de verificar variações ao longo do tempo da elevação (z) do terreno praias em cada coordenada georreferenciada (x, y), utilizando o sistema de coordenadas SIRGAS 2000/UTM zona 23S (EPSG:31983). Para quantificar as mudanças altimétricas entre dois períodos distintos, foi calculada a diferença dos MDEs entre meses consecutivos realizada a subtração do MDE mais recente pelo MDE mais antigo ($MDE_{recente} - MDE_{anterior}$). Este procedimento resultou em um novo raster quantificando as variações altimétricas espaciais, onde os valores negativos indicam erosão e valores positivos indicam acreção. O arquivo final contém não apenas os dados das diferenças, mas também informações geográficas essenciais, como sistema de referência, resolução espacial e extensão territorial, garantindo a precisão da análise. Os resultados obtidos fornecem informações sobre a dinâmica sedimentar da praia, identificando áreas de erosão e deposição ao longo do tempo. As imagens passaram por uma correção geométrica onde o MDE foi utilizado como superfície de referência.

2.4. Modelo de ondas e experimento numérico

O SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) consiste num modelo numérico espectral de geração e propagação de ondas, de terceira geração, desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Delft (TU Delft), na Holanda, especificamente para simular condições de ondas

em águas rasas costeiras, lagos e estuários com a presença de correntes (Booij; Holthuijsen; Ris, 1996). O modelo opera resolvendo a equação de balanço da ação da onda, representando de forma explícita todos os processos físicos relevantes, tais como a propagação retilínea, a refração induzida por profundidade e correntes, a geração pelo vento, as interações não-lineares entre ondas e a dissipação por atrito com o fundo.

A simulação com o modelo SWAN abrange a região do Golfão Maranhense, o qual inclui a Baía de São Marcos (Figura 1), com resolução espacial de 1 km e temporal de 3 h, para o mesmo período de monitoramento praias (outubro/2024 a setembro/2025). As condições iniciais e de contorno foram constituídas por dados de espectro total bidimensional de ondas. O domínio espectral abrange 30 compartimentos de frequência espaçados logaritmicamente (de 0,03453 a 0,5478 Hz) e 24 compartimentos direcionais de 15° cada (totalizando os 360°), com frequência de 3 h. Estas condições foram obtidas da base de dados de reanálise ERA5, produzida pelo *Copernicus Climate Change Service* (Hersbach et al. 2020). Componentes zonal e meridional do vento a 10 m provenientes do ERA5 foram utilizadas como forçantes do modelo de ondas SWAN, estes dados são disponibilizados em uma grade regular com resolução horizontal de 0,25° x 0,25° de longitude e latitude e temporal de 3 h, com um tempo de integração do modelo de 15 min.

2.5. Sedimentologia

A análise granulométrica das oito amostras de sedimentos coletadas em setembro de 2025 ao longo do T2 (do ponto 1, situado na duna, até o ponto 8, na zona de arrebenção) foi conduzida em laboratório com o emprego do analisador granulométrico por difração a laser *Partica mini LA-350* (HORIBA). Esse equipamento possibilita uma caracterização ágil e precisa da distribuição granulométrica, fundamentando-se no princípio de difração da luz laser pelas partículas em suspensão. Após a preparação, cada amostra foi analisada, gerando dados brutos detalhados referentes à porcentagem volumétrica das partículas. Posteriormente, os dados primários fornecidos pelo granulômetro foram processados no *software* SYSGRAN 3.0® (Camargo, 2006) e analisados segundo os métodos estatísticos descritos por Folk & Ward (1957). Por meio desse sistema, foram calculados os parâmetros granulométricos (como média, mediana, moda, classificação e assimetria) e construídas as curvas de distribuição cumulativa para cada uma das amostras.

2.6. CoastSnap-MA

A metodologia do projeto *CoastSnap-MA* pode ser aplicada de forma qualitativa, por meio da comparação visual das imagens, ou quantitativa, mediante a retificação das imagens, que permite extrair dados como largura da faixa de areia, posição da linha de costa e análises de erosão e acreção costeiras (Harley & Kinsela, 2022). As imagens foram compartilhadas e publicadas nas mídias sociais do projeto (*Instagram, Facebook, X e WhatsApp*) com a hashtag *#coastsnapma*, seguida do nome da praia do Olho d'Água (Fig. 4). Também foi possível incluí-las no banco de dados utilizando um *QR Code* que direciona para uma conta do *WhatsApp*. A estação na Praia do Olho d'Água foi instalada estrategicamente em local de fácil acesso, boa visibilidade da linha de costa e elevado fluxo de pessoas, para maximizar o número de imagens capturadas. A mesma está situada junto à Avenida Litorânea, próximo à ASBOA (Associação de Surf e Bodyboard do Olho d'Água). Criada em 2004 e reconhecida como instituição de utilidade pública, a ASBOA atua na promoção de esportes como o surfe e em ações de preservação ambiental, sendo uma importante parceira do projeto.

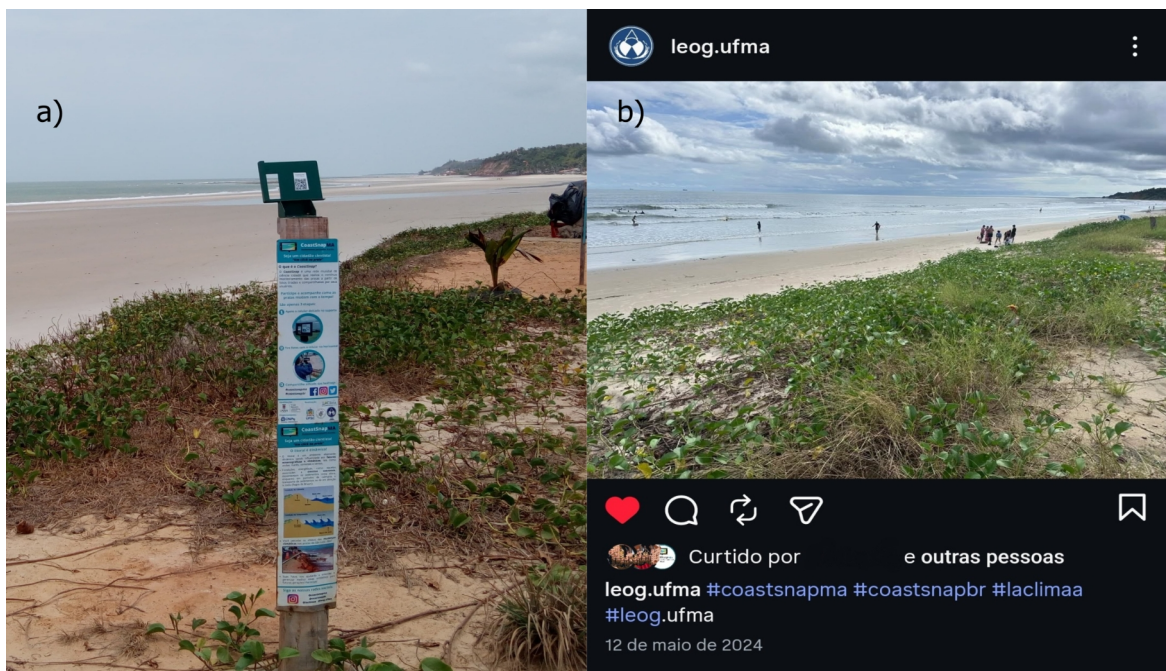


Figura 4. (a) Estação *CoastSnap-MA* na Praia do Olho d'Água e (b) exemplo de imagem capturada e postada na mídia social. Fonte: Instagram.

Além das fotos recebidas via compartilhamento popular, foi realizado um experimento contínuo e de alta frequência, realizado no dia 19 de dezembro de 2024, com imagens capturadas em intervalos de 20 minutos ao longo de um período de 4 horas e 30 minutos (das 11:22 às 15:42). Este período foi definido com o objetivo de registrar a elevação da linha d'água no estófo da maré baixa e acompanhar a fase de enchente até a preamar, permitindo a

observação detalhada da subida gradual da linha d'água. Diferentemente de abordagens convencionais de ciência cidadã, baseadas em registros esporádicos, este experimento foi conduzido de forma dirigida e padronizada, com controle temporal e metodológico das aquisições, assegurando maior consistência e comparabilidade dos dados.

Após o compartilhamento, as imagens são armazenadas em um banco de dados central, garantindo agilidade no envio e integridade temporal da série. O conjunto resultante forma uma série temporal visual para análise da dinâmica altimétrica da maré semidiurna.

Em laboratório, as imagens foram processadas através da aplicação de rotinas computacionais em linguagem de programação *@Matlab* (licença acadêmica: 40981746), agrupando as informações de cor em categorias como água e terra. A interseção entre esses grupos define a posição da linha de costa. Para uma espacialização adequada dos dados, é necessário obter pontos de controle no solo ou GCPs (*Ground Control Points*) com GNSS-RTK. Esses pontos permitem retificar e georreferenciar com precisão as imagens enviadas pela comunidade (Harley *et al.*, 2019). Para isso, o método baseia-se em transformações projetivas do tipo homografia, que estabelecem uma relação matemática entre as coordenadas do plano da imagem (u, v) e as coordenadas do plano real (x, y) (Holland *et al.*, 1997). Essa abordagem permite projetar pontos do plano real em um plano bidimensional, possibilitando a correção geométrica e a obtenção de uma visão em planta da cena.

Os dados maregráficos para o dia do experimento de alta frequência com o *CoastSnap* foram obtidos através das constantes harmônicas presentes no Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras (Femar, 2000). O Porto de Itaquí foi a estação escolhida e suas constituintes harmônicas foram calculadas via *software* PACMARÉ, desenvolvido por Franco (2009). O período da previsão de maré gerada para este estudo foi de janeiro de 2024 a dezembro de 2025.

A regressão linear foi aplicada pelo método dos mínimos quadrados para ajustar uma reta ao conjunto de dados, minimizando a soma dos quadrados das diferenças entre valores estimados e observados. Dependendo da inclinação da reta e do sinal do coeficiente, a tendência pode apresentar um coeficiente negativo, coeficiente positivo ou estável (Dolan *et al.*, 1990; Smith & Zarillo, 1990; Luijendijk *et al.*, 2018).

2.7. Parâmetros Morfodinâmicos (Ω e RTR)

Para caracterizar os estágios morfodinâmicos seguiu-se a metodologia proposta por Masselink & Short (1993), a qual por sua vez utiliza o parâmetro adimensional ômega (Ω)

(equação 1), (Wright & Short, 1984) integrado ao parâmetro RTR para os estudos em praias de macromaré (equação 2).

$$\Omega = \frac{Hb}{W_s \cdot T} \quad (1)$$

Onde:

H_b : altura significativa da onda na arrebentação (m);

W_s : velocidade média de decantação dos sedimentos (cm/s);

T : período médio das ondas (s).

$$RTR = \frac{TR}{Hb} \quad (2)$$

Onde:

TR : altura da maré de sizígia (m);

H_b : altura significativa da onda na arrebentação (m).

De acordo com o modelo de Masselink & Short (1993) para praias de macromaré, a praia do Olho d'Água foi classificada com base na amplitude de maré de sizígia (MSR), obtida a partir dos registros do projeto *CoastSnap*-MA durante o período de monitoramento. Os dados indicaram uma variação de maré de 5,17 m em um evento de maré alta de Sizígia (Fig. 13). A velocidade de queda dos sedimentos foi calculada a partir do diâmetro médio dos grãos obtido nas análises granulométricas, utilizando a fórmula de Soulsby (1997). Os dados de ondas (H_s e T_p) foram obtidos a partir de simulações com o modelo SWAN para o ponto de coordenadas 2°28'22.79"S, 44°13'51.61"W (Fig. 1).

A partir dessas variáveis, a análise foi conduzida em alta resolução temporal, utilizando dados com intervalo de 3 horas (*time step*). Os parâmetros hidrodinâmicos e morfodinâmicos foram calculados de forma contínua ao longo de toda a série temporal. Essa abordagem permite preservar a variabilidade natural das condições de onda e capturar transições de curto prazo entre estados morfodinâmicos, sendo particularmente relevante em ambientes de macromaré, onde a interação entre ondas e maré ocorre em escalas temporais reduzidas (Masselink & Short, 1993).

Para representar as condições na zona de arrebentação, os valores de altura significativa de onda (H_s) foram convertidos em altura de arrebentação (H_b) (equação 3), utilizando a formulação empírica proposta por Komar & Gaughan (1972):

$$H_b = 0,39 \cdot g^{0,2} \cdot (T_p \cdot H_s^2)^{0,4} \quad (3)$$

Onde:

H_b : altura significativa da onda na arrebentação (m);

H_s : altura significativa de onda (m);

T_p : período de pico das ondas (s);

g : aceleração da gravidade (m/s²);

3. Resultados

3.1. Perfis Topográficos

Os dados altimétricos indicam variações sutis entre os transectos T1, T2 e T3, em função dos setores 1, 2, 3 e 4 analisados. (Fig. 5). No perfil T1, o setor 1 apresentou os maiores valores altimétricos, com máxima de 6,32 m em novembro/2024 e fevereiro/2025 e mínima de 6,20 m em outubro/2024, resultando em amplitude de 0,12 m. No setor 2, a cota máxima foi registrada em fevereiro/2025 com 3,80 m e a mínima em setembro/2025 com 3,18 m, com amplitude de 0,62 m. O setor 3 apresentou máxima de 1,84 m em dezembro/2024 e mínima de 1,60 m em janeiro/2025, com amplitude de 0,24 m. Já o setor 4 registrou máxima de 0,83 m em junho/2025 e mínima de 0,49 m em setembro/2025, resultando em amplitude de 0,34 m.

No perfil T2, o setor 1 manteve baixa variabilidade, com máxima de 5,97 m em novembro/2024 e mínima de 5,83 m em julho/2025, com amplitude de 0,14 m. O setor 2 apresentou máxima de 3,92 m em novembro/2024 e mínima de 3,28 m em abril/2025, com amplitude de 0,64 m. No setor 3, a máxima foi de 1,83 m em agosto/2025 e a mínima de 1,60 m em setembro/2025, com amplitude de 0,23 m. Por fim, o setor 4 atingiu máxima de 0,83 m em junho/2025 e mínima de 0,47 m em setembro/2025, resultando em amplitude de 0,36 m.

Já no perfil T3, o setor 1 manteve estabilidade, com máxima em novembro/2024 de 5,63 m e mínima em julho/2025 com 5,51 m e amplitude de 0,12 m. O setor 2 atingiu a cota máxima de 3,58 m em dezembro/2024, janeiro e fevereiro/2025, e mínima de 3,21 m em julho/2025, com amplitude de 0,37 m. O setor 3 apresentou máxima em agosto/2025 com

1,92 m e mínima em setembro/2025 com 1,52 m, com amplitude de 0,40 m. O setor 4 teve máxima em maio/2025 com 0,86 m e mínima em setembro/2025 com 0,50 m, resultando em amplitude de 0,36 m.

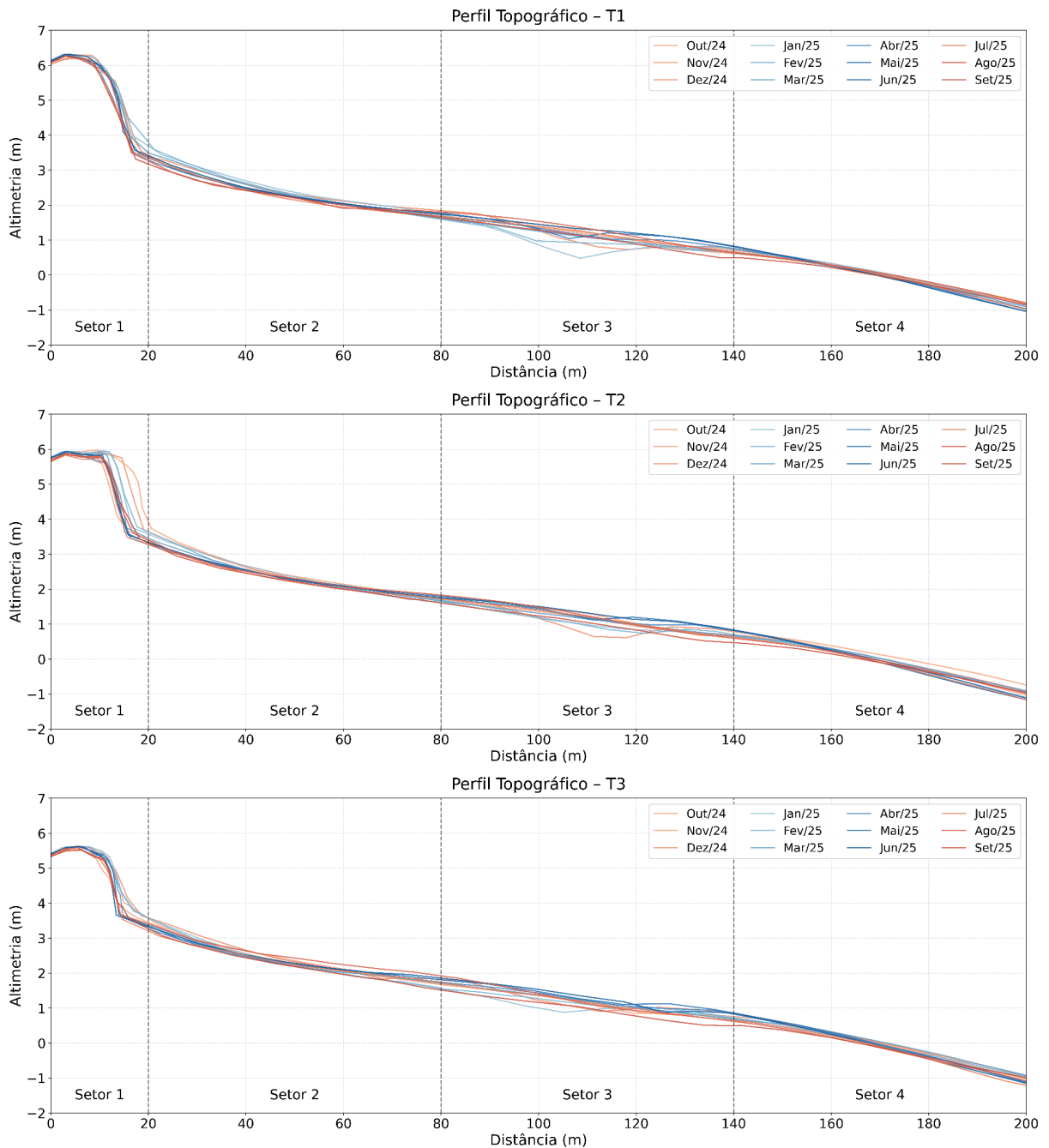


Figura 5. Perfis topográficos mensais dos transectos T1, T2 e T3 na Praia do Olho D'Água realizados de outubro/2024 até setembro/2025.

Os envelopes dos perfis topográficos realizados ao longo do estudo indicam que os setores 1 e 3 da praia apresentam a maior variabilidade morfológica (Fig. 5). No setor 1, situa-se a duna frontal, ancorada a um muro de concreto escalonado (estrutura artificial) que sustenta a passagem de pedestres na Avenida Litorânea. Essas dunas encontravam-se

vegetadas, especialmente no início do monitoramento, favorecendo um comportamento acrescido durante o período de estiagem, ao atuarem como barreira ao transporte eólico. Em contrapartida, a base da duna é submetida à erosão durante as grandes marés equinociais de março e setembro.

No setor 3, localiza-se a zona intermaré média e sua transição para a zona intermaré superior, esta última atingida apenas durante marés de sizígia. Nesse setor, a variabilidade está diretamente associada à presença de calhas de maré, feições responsáveis pela drenagem da zona intermaré. Em São Luís, essas estruturas são geralmente influenciadas pela migração de bancos arenosos que se soldam à face praial durante marés altas de sizígia. Além disso, a baixa permeabilidade da praia exerce papel fundamental na sua configuração, uma vez que o substrato antecedente ocorre a menos de 2 m de profundidade da superfície de sedimentos da praia (Lima *et al.*, 2024). O T3 intercepta a cabeceira de drenagem da calha, uma área menos proeminente, como indicado na Figura 5. Existem nos envelopes de todos os perfis topográficos, dois pontos de inflexão muito estáveis, que quase não apresentam variabilidade nas distâncias de 50 e 160 m. Estes pontos indicam claramente como as variações de maré modelam a dinâmica sedimentar na Praia do Olho D'Água.

A variação mensal do volume sedimentar evidencia diferenças claras na resposta morfodinâmica entre os transectos (Fig. 8). O T1 apresenta comportamento intermediário, caracterizado pela alternância entre fases de acreção e erosão, porém com tendência geral de perda volumétrica. Eventos deposicionais pontuais ocorrem, mas são superados por episódios erosivos mais intensos, especialmente no final da série, quando se registram os menores valores (até $-12,87 \text{ m}^3/\text{m}$), indicando instabilidade sedimentar moderada.

O T2, embora também submetido a eventos erosivos expressivos, demonstra maior capacidade de recuperação, evidenciada por pulsos deposicionais mais intensos e frequentes (atingindo até $+13,50 \text{ m}^3/\text{m}$). Esse comportamento resulta em elevada variabilidade volumétrica, porém com balanço menos negativo em comparação ao T1, sugerindo maior resiliência morfodinâmica.

Por outro lado, o T3 configura o setor mais crítico, com predominância de perdas volumétricas e maior recorrência de eventos erosivos, refletindo menor capacidade de recuperação do sistema. As maiores amplitudes de variação são observadas nesse transecto, incluindo o valor mínimo de todo o período ($-15,27 \text{ m}^3/\text{m}$), evidenciando forte instabilidade sedimentar.

O comportamento erosivo e deposicional associado ao balanço sedimentar mostrou-se, de modo geral, sincronizado entre os três perfis. Em grande parte do período, quando um

perfil apresentou tendência erosiva ou acrescionária, os demais também responderam de forma semelhante. As principais exceções ocorreram entre outubro e novembro/2024 e novembro e dezembro/2024, quando o perfil T2 destoava da tendência observada em T1 e T3.

De forma geral, observa-se intensificação dos processos erosivos nos meses finais da série (agosto a setembro/2025), sugerindo a atuação de um controle sazonal na dinâmica sedimentar, possivelmente associado a variações nas condições hidrodinâmicas ao longo do período analisado.

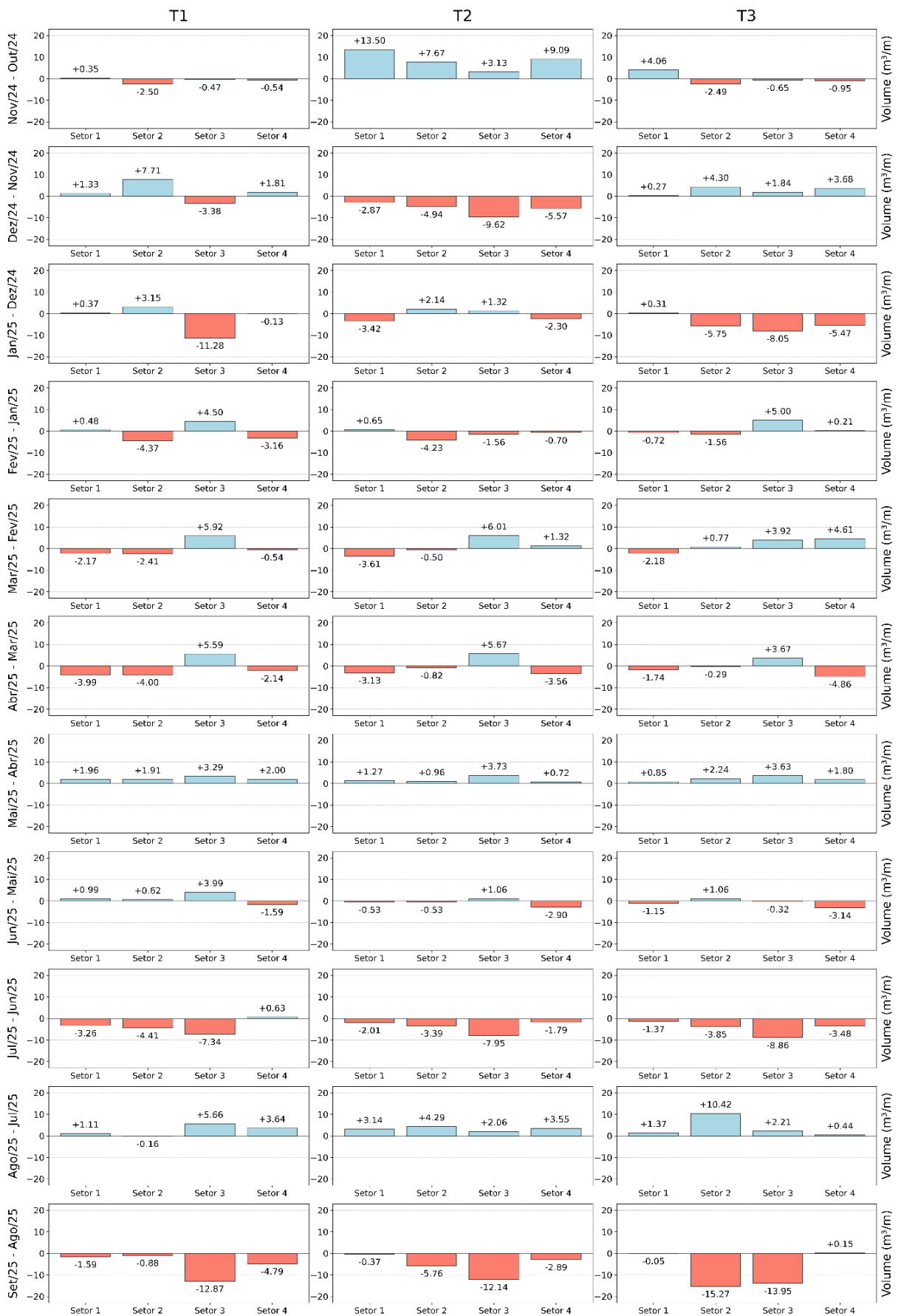


Figura 6. Variação mensal de acreção e erosão por setor nos transectos T1, T2 e T3 na Praia do Olho D'Água entre outubro/2024 a setembro/2025, expressa em volume médio (m^3/m) entre meses consecutivos.

3.2. Modelos Digitais de Elevação (MDE)

Todos os MDEs referentes aos meses analisados foram processados com uma resolução espacial rigorosamente padronizada de 3,81 cm/*pixel*, o que assegura total homogeneidade e comparabilidade entre os diferentes períodos. A consistência técnica observada em todos os arquivos inclui dimensões fixas de aproximadamente 15.106 *pixels* na direção x e 11.443 *pixels* na direção y, totalizando cerca de 172,9 milhões de pixels por modelo. Apesar da padronização da resolução e da área total de aproximadamente 251.100 m² por arquivo, observa-se uma pequena variação na quantidade de pixels válidos, que oscila entre 39,26 milhões e 39,80 milhões. Essa variação resulta em áreas válidas entre 57.000 m² e 57.800 m², o que corresponde a percentuais de cobertura entre 22,71% e 23,03%, respectivamente, refletindo diferenças nas condições ambientais e de aquisição dos dados ao longo do período analisado.

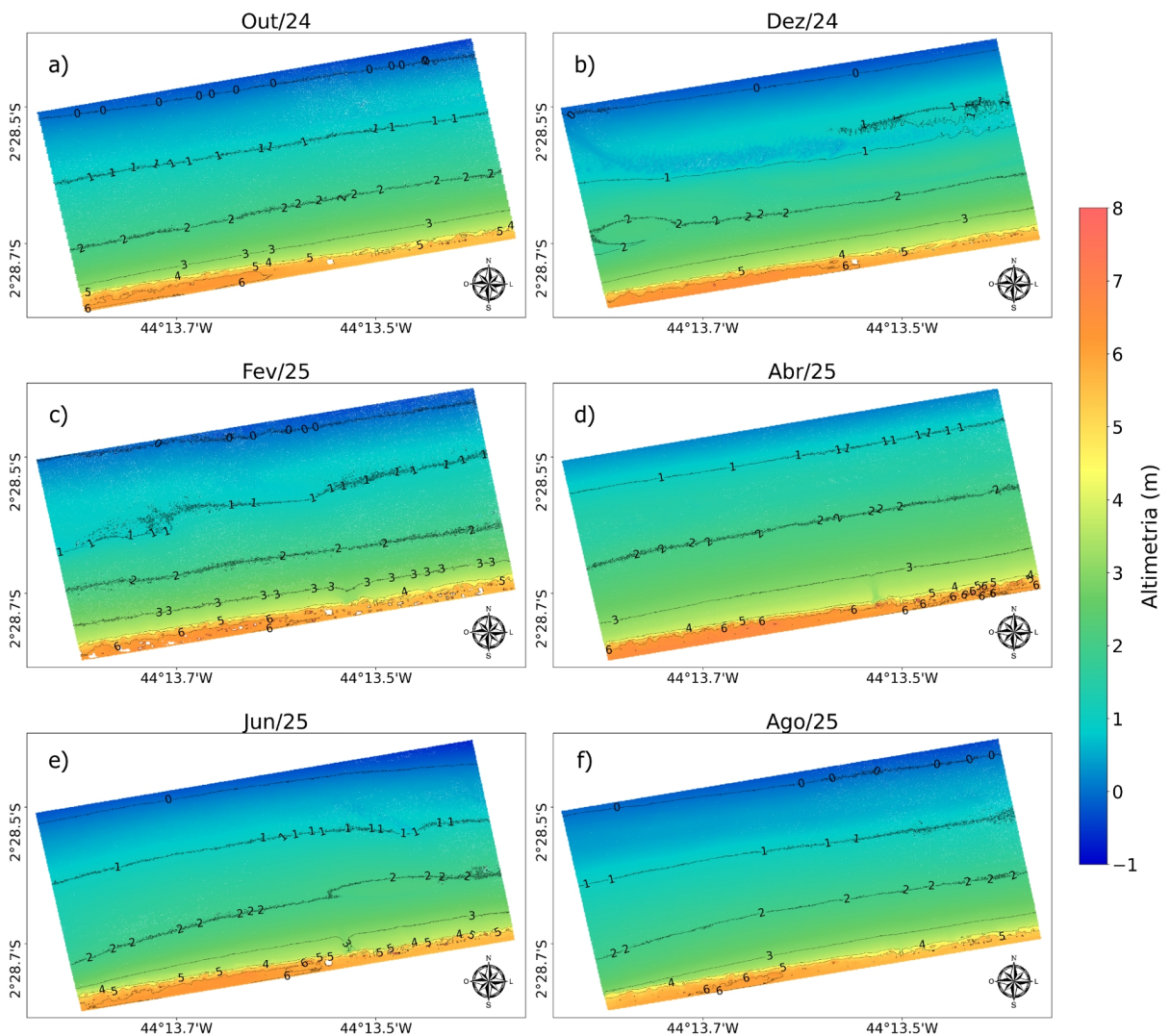


Figura 7. Modelos Digitais de Elevação (MDEs) bimensais entre outubro/2024 e agosto/2025.

A morfologia das calhas pode ser observada tanto no mês de dezembro como no mês de junho, sendo esta última, menos proeminente (Fig. 7). Além disso, no mês de abril ocorre um grande momento acrescivo da praia onde as isóbatas de 1 m e de 2 m encontram-se avançando pela praia de forma destoante dos demais meses. Nos demais meses a isóbata de 0 m ocorre na borda do campo de observação imageado pelo drone.

Em relação às características altimétricas, cada MDE apresenta um comportamento distinto ao longo da série temporal. Outubro/2024 registra altitude máxima de 7,71 m e mínima de -0,67 m, já dezembro/2024 apresenta valores de 7,67 m e -0,49 m, respectivamente. Fevereiro/2025 destaca-se pela menor altitude mínima de toda a série, atingindo -1,06 m, combinada com uma altitude máxima de 8,0 m. Abril/2025 é o único período sem valores negativos, com mínima de 0,01 m e a maior altitude máxima registrada com 8,22 m. Junho/2025 apresenta máxima de 7,89 m e mínima de -0,78 m, enquanto agosto/2025 encerra a série com a menor altitude máxima, de 7,56 m, e mínima de -0,52 m. É importante considerar que as variações positivas mais expressivas nas altitudes, especialmente aquelas que ultrapassam o valor de 6,06 metros (altura da base de referência).

Considerando as diferenças altimétricas entre os meses na análise dos MDEs, a padronização da escala permitiu comparar diretamente a mobilidade sedimentar na face praial ao longo do tempo. No período entre dezembro e outubro/2024 observa-se uma faixa longitudinal contínua de valores negativos na porção central da praia, indicando rebaixamento altimétrico nessa zona intermediária da praia, o que configura a feição de uma calha de maré. Em contraste, a faixa inferior (mais próxima à linha d'água) apresenta zonas positivas descontínuas, sugerindo que o banco arenoso encontra-se soldado à face da praia. Esse padrão indica provável migração transversal de sedimentos da zona média em direção à região mais externa do perfil, com erosão dominante no setor 3. No período entre fevereiro/2025 e dezembro/2024 ocorre uma reorganização espacial do balanço sedimentar. O setor 3 passa a apresentar predomínio de valores positivos, caracterizando acresção nessa faixa, enquanto áreas anteriormente deposicionais tornam-se mais heterogêneas. A alternância do sinal das diferenças sugere recuperação parcial do volume sedimentar perdido anteriormente, com redistribuição ao longo do perfil praial.

No período entre abril/2025 e fevereiro/2025 destaca-se a intensificação de valores negativos na faixa inferior do domínio, indicando erosão mais concentrada próxima ao setor 4. As áreas entre o setor 1 e 2 apresentam variações de menor magnitude, com predomínio de pequenas oscilações próximas de zero. Esse comportamento sugere atuação mais efetiva de processos hidrodinâmicos na zona de maior interação com as ondas, promovendo remoção de

sedimentos no setor 4. Entre junho/2025 e abril/2025 o padrão espacial torna-se mais difuso, com mosaico de áreas alternando erosão e deposição, embora se observe discreta predominância de valores positivos na zona média. Esse comportamento indica tendência de recomposição morfológica após a fase erosiva anterior, possivelmente associada a condições energéticas menos intensas ou mudança no regime de transporte sedimentar. Por fim, em agosto/2025 e junho/2025 volta a ocorrer intensificação de valores negativos nos setores 3 e 4, enquanto que o setor 2 apresenta áreas positivas.

As diferenças entre a topografia bimestral realizada (Fig. 10), indica que as calhas de maré estão presentes nos meses relacionados aos períodos de ventos como em dezembro/24 e outubro/24.

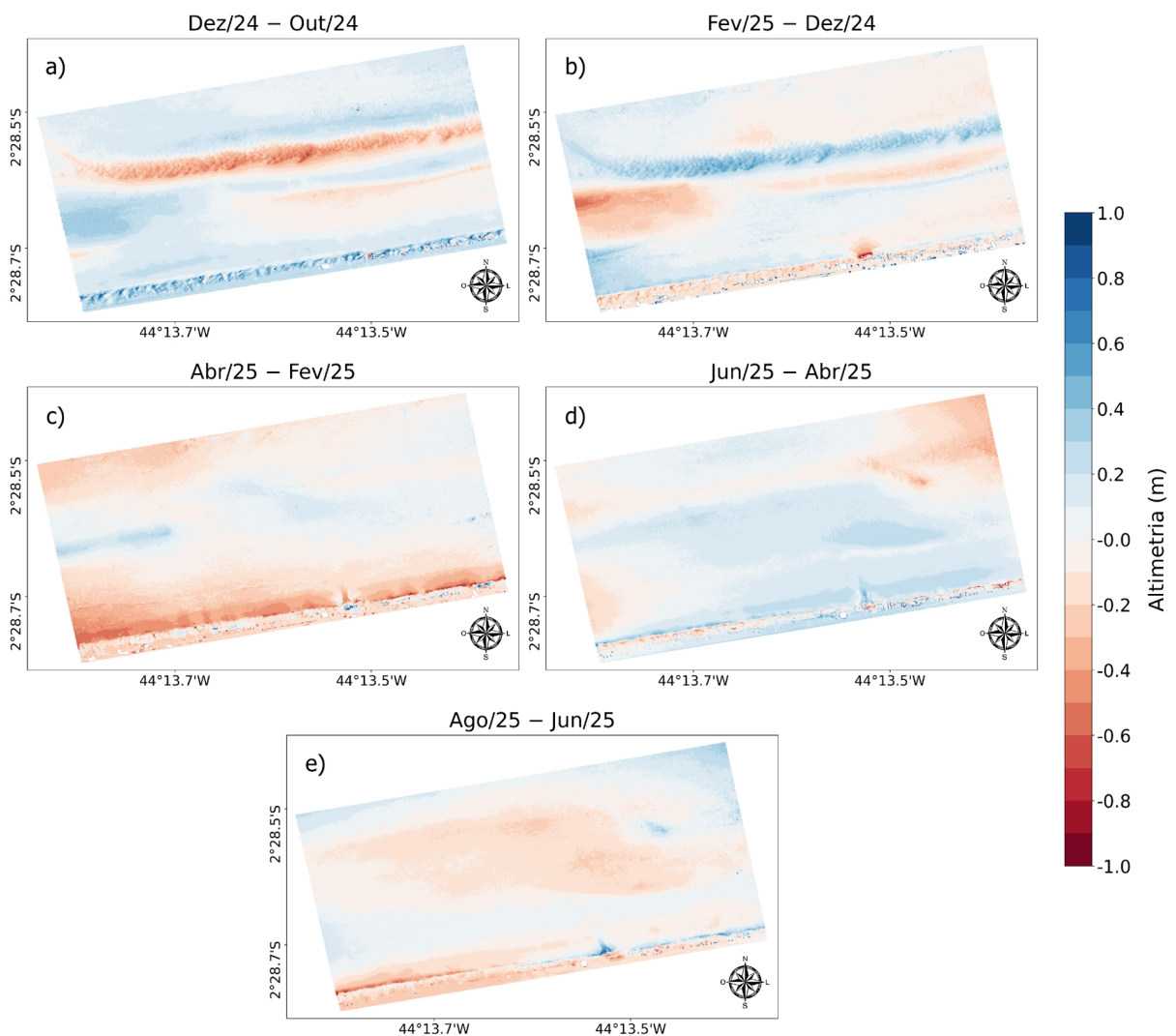


Figura 8. Mapas de diferenças mensais de altimetria (m) entre MDEs consecutivos entre outubro/2024 até agosto/2025, exibindo padrões de erosão (valores negativos) e deposição (valores positivos).

3.3. Modelagem de ondas na Praia do Olho D'Água

A série temporal de ondas simulada pelo modelo SWAN para o período de monitoramento praiado mostra variações bem definidas nos parâmetros H_s , T_p e Dir (Fig. 9). De forma geral, a H_s apresenta valores médios entre aproximadamente 0,5 e 0,8 m, com picos superiores a 1,0 m em outubro e novembro/2024 e próximos de 1,0 m no final de agosto e setembro/2025, indicando a ocorrência de eventos mais energéticos nesses meses. Entre março e agosto/2025, observa-se um período de condições menos energéticas, com uma redução progressiva de H_s , com valores oscilando entre 0,4 e 0,7 m. A partir de maio/2025, essa tendência de redução se acentua, com a maior parte das ocorrências situando-se abaixo de 0,6 m, sugerindo um mar mais calmo e com condições hidrodinâmicas menos energéticas. Esse comportamento perdura até meados de agosto, quando se inicia um aumento gradual dos valores de H_s .

Eventos de *swell* podem ser identificados principalmente pelos aumentos expressivos de T_p , frequentemente acima de 10 a 12 s, podendo chegar a 16 s, acompanhados de alturas moderadas a elevadas. Essas ondas de mais longo período aparecem de maneira mais evidente entre outubro/2024 e fevereiro/2025, com diversos picos de T_p que superam os 14 s. Nesses meses, a combinação de ondas mais longas e com direção relativamente consistente de nordeste/leste, variando predominantemente entre $0,4^\circ$ e 30° , indica a atuação de sistemas remotos gerando ondas mais organizadas, típicas de *swell*. Entre abril e agosto/2025, o T_p tende a se estabilizar entre 5 e 8 s, caracterizando uma predominância de mar gerado localmente (*sea*), com menor contribuição de *swell*, exceto por eventos pontuais.

Embora baseada em uma série temporal relativamente curta (12 meses), a simulação foi capaz de representar adequadamente a variabilidade sazonal da direção das ondas (Dir) (Fig. 9). Entre outubro e dezembro/2024, predominam ondas provenientes dos quadrantes nordeste/leste, com direções variando aproximadamente entre 15° e 30° . Já entre janeiro e março/2025, observa-se uma mudança no padrão de propagação, com maior influência do quadrante norte, refletida em valores mais concentrados entre cerca de 4° e 20° . A partir de abril e, principalmente, em maio/2025, há uma rotação progressiva das direções, com retorno da predominância de ondas de nordeste/leste (10° a 30°). Entre junho e agosto/2025, esse padrão se mantém, porém com maior variabilidade direcional, incluindo picos superiores a 35° e valores mínimos próximos de 5° . A partir de setembro/2025, a direção das ondas se estabiliza novamente, concentrando-se predominantemente entre 15° e 30° .

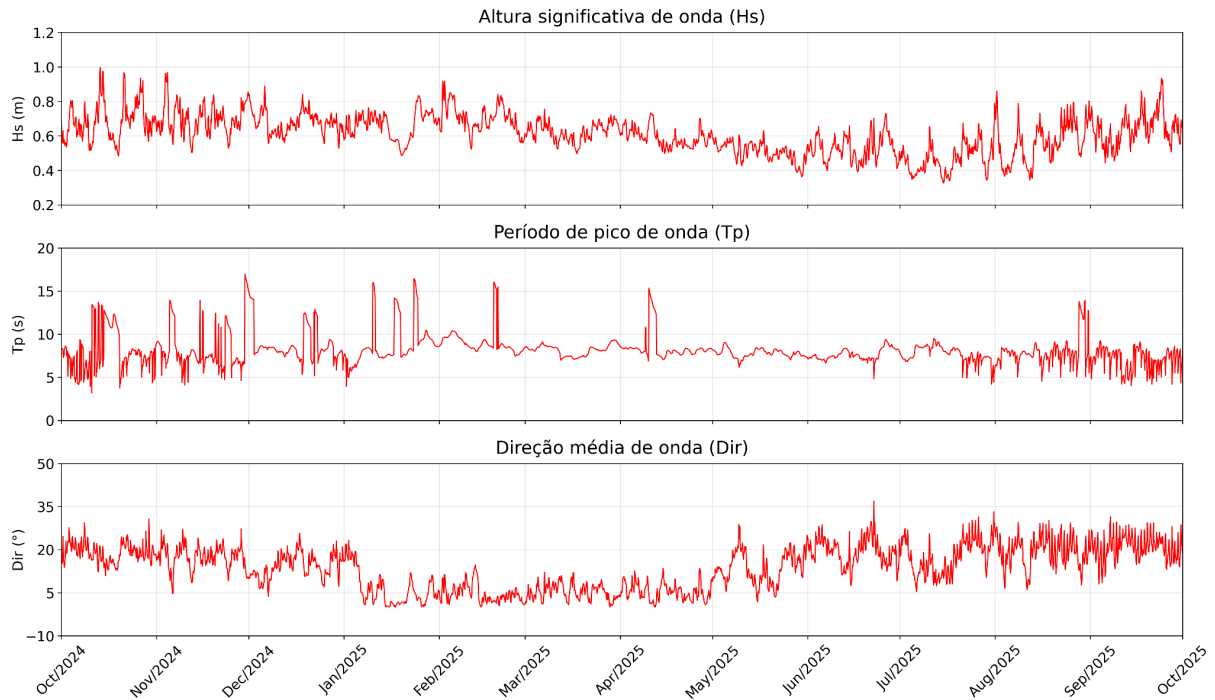


Figura 9. Série temporal de H_s , T_p e Dir entre outubro/2024 e setembro/2025 simulados pelo modelo SWAN.

Essa variabilidade está associada à migração sazonal da ZCIT, que modula a intensidade e a direção dos ventos alísios na região. Durante seu deslocamento para sul (com o pico em março), há maior influência dos ventos alísios de nordeste, resultando em direções mais consistentes. Com o deslocamento da ZCIT para o norte (pico em setembro), intensifica-se a reorganização do campo de ventos, refletida na maior dispersão e rotação direcional observada. Com a ZCIT posicionada mais ao norte, o regime de ventos tende a se estabilizar novamente, o que se reflete na menor dispersão das direções de onda observada a partir de setembro.

A análise integrada do clima de ondas e ventos revela padrões direcionais bem definidos e uma forte correlação entre os fenômenos. O diagrama radar de H_s mostra predomínio marcante de ondas provenientes das direções nordeste e leste (Fig. 10). A baixa frequência de ondas oriundas de outras direções, como sul e noroeste, reforça o padrão direcional bem estabelecido do clima de ondas na praia do Olho d'Água (Fig. 10).

No diagrama radar de T_p observa-se padrão direcional semelhante, também concentrado nos setores nordeste e leste, evidenciando coerência entre direção e características espectrais das ondas (Fig. 10). Observa-se também uma distribuição secundária de períodos mais longos, entre 11 e 17 s, provenientes do mesmo quadrante direcional, indicando a chegada eventual de *swell* de curto a médio período. O diagrama radar dos ventos (W_s) confirma a dominância do quadrante nordeste e leste, caracterizando um regime de

intensidade moderada (Fig. 10). A coincidência direcional entre ventos e ondas indica forte controle local do campo de ventos sobre a geração e propagação das ondas, sugerindo predominância de ondas do tipo *sea*, geradas localmente.

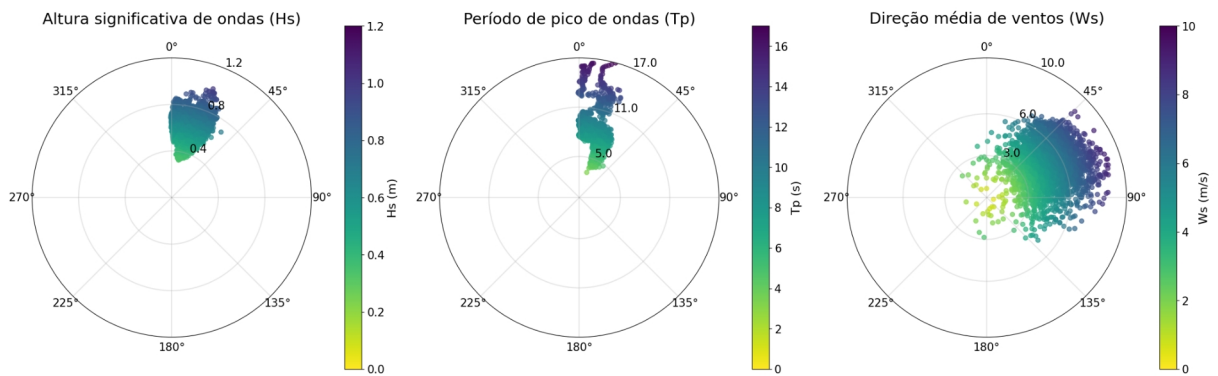


Figura 10. Diagramas radar direcionais de H_s , T_p e W_s para o período de estudo (outubro/2024 a setembro/2025), apresentadas em frequência relativa (%) obtidos pela simulação com o modelo SWAN.

3.3. *CoastSnap* em praias macromaré

As linhas de costa (*shorelines*) mapeadas exibem uma relação direta com a altura da maré, avançando à medida que o nível da água aumenta durante a fase de enchente. O monitoramento iniciou às 11:22 h, com a maré em 1,35 m, registrando um crescimento gradual que se intensifica, atingindo 5,17 m às 15:22 h (Fig. 11a). O aumento mais acentuado ocorre entre 12:22 h e 14:42 h, quando os incrementos a cada 20 minutos são maiores, refletindo a fase de subida mais rápida da maré (Fig. 11b).

Esse comportamento evidencia a variabilidade diária da zona intermareal de um ambiente de macromaré, com deslocamentos expressivos da linha de costa num período de poucas horas, não capturadas por levantamentos pontuais com o perfil RTK e MDEs, reforçando o caráter complementar desta abordagem.

A variação da maré no período analisado apresenta comportamento aproximadamente linear durante a enchente, padrão característico de trechos da curva de maré próximos à preamar. Nos instantes finais, observa-se uma leve redução na taxa de subida, indicando a aproximação da estufa da maré, momento em que a variação do nível d'água tende a diminuir antes do início da vazante (Fig. 11b).

Confrontando o perfil topográfico obtido por meio de um GNSS-RTK e o perfil construído a partir das *shorelines* do *CoastSnap* observamos diferenças substanciais (Fig. 11c). O perfil topográfico obtido por GNSS-RTK apresenta uma progressão decrescente de cotas de 5,7 m a -1,2 m ao longo de 200 m, caracterizando com precisão a morfologia da praia

desde a porção emersa até a zona submersa rasa. Trata-se de um método de alta acurácia e confiabilidade, amplamente utilizado como referência no monitoramento costeiro (Fig. 11c).

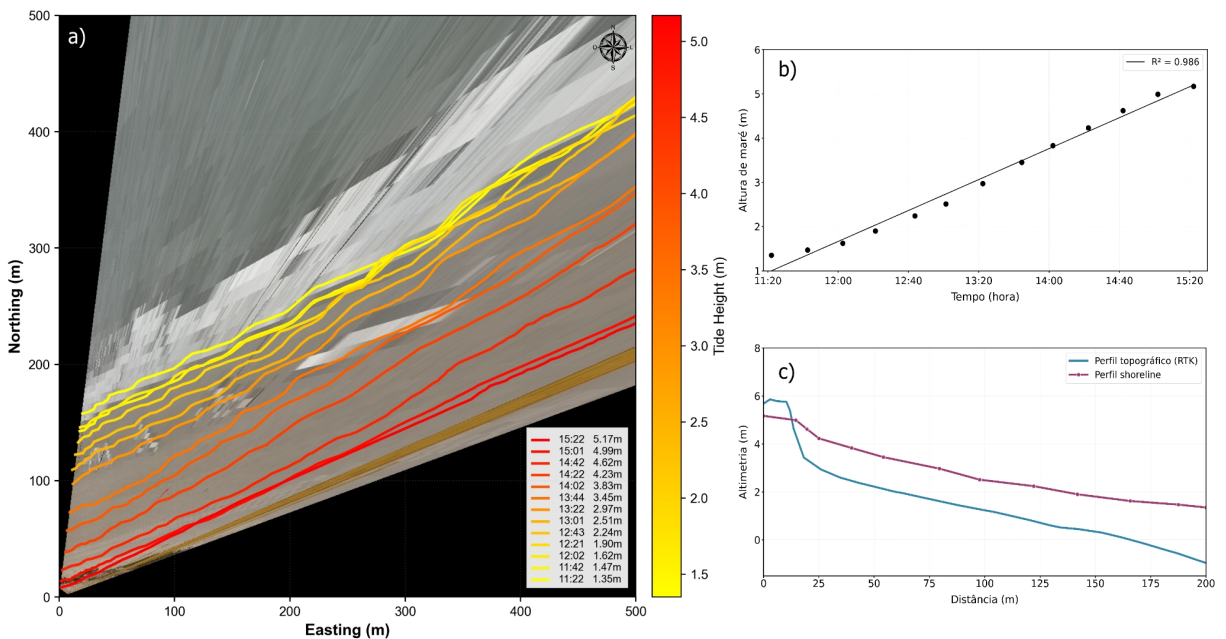


Figura 11. Determinação das linhas de costa através da metodologia *CoastSnap* durante um período de maré de sizígia (a); regressão linear entre a altura de maré e o tempo (b); comparativo perfil RTK com perfil feito com as shorelines (c).

O perfil *CoastSnap* apresenta valores sistematicamente superiores ao longo de toda a extensão analisada, com diferenças entre 0,1 m e 2,2 m em relação ao perfil RTK. Essa diferença, crescente em direção ao mar, indica que o perfil derivado do *CoastSnap* não representa a mesma superfície topográfica levantada pelo RTK, mas sim a posição da linha de água nas imagens, condicionada ao nível de maré no momento de cada aquisição.

As diferenças observadas também estão associadas às limitações no processo de ortorretificação das imagens, por conta da ausência de GCPs fixos na área de instalação do totem, o que pode comprometer a precisão da transformação geométrica, influenciando diretamente a acurácia do perfil derivado do *CoastSnap*.

3.4. Análise sedimentológica

A análise granulométrica revelou uma homogeneidade notável quanto à composição e aos parâmetros estatísticos dos sedimentos. Todos os pontos apresentam média entre 2,08 e 2,30 ϕ , o que os classifica como areia fina. Quanto à seleção (desvio padrão), os sedimentos apresentaram valores entre 0,33 e 0,44 ϕ , indicando variação entre muito bem selecionado a bem selecionado. O ponto P1 (0,34 ϕ), é classificado como muito bem selecionado, refletindo o processo eólico típico de dunas, que tende a produzir depósitos com granulometria melhor

selecionada devido a competência mais regular. Os pontos P6 (0,33 ϕ), P7 (0,33 ϕ) e P8 (0,33 ϕ) foram amostrados entre os setores 3 e 4, permanecendo inundada pela maré na maior parte do tempo quando comparado às demais zonas da face praial. Os demais pontos (P2, P3, P4 e P5) apresentam seleção entre 0,36 e 0,44 ϕ , sendo classificados como bem selecionados (Tabela 1). No entanto, estas amostras são ligeiramente mais grossas, resultado principalmente da ação de ondas maiores sobre as porções mais elevadas do perfil, que em condições de maré alta dissipam menos energia nas porções mais recuadas (baixas) do perfil topográfico. A curtose variou de 0,96 a 1,01, sendo todas as amostras classificadas como mesocúrticas, ou seja, com distribuição próxima à normal. Quanto à assimetria, a maioria dos pontos é classificada como aproximadamente simétrica, com exceção do ponto P2, que apresenta assimetria positiva (0,44 ϕ), indicando um leve excesso de sedimentos na fração mais grossa.

Tabela 1. Granulometria da praia do Olho d'Água no T2, segundo os métodos estatísticos descritos por Folk & Ward (1957).

Pontos	Média	Classificação	Seleção	Seleção	Assimetria	Curtose
P1	2,26	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P2	2,17	Areia fina	0,44	Bem selecionado	Positiva	Mesocúrtica
P3	2,08	Areia fina	0,39	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P4	2,12	Areia fina	0,36	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P5	2,14	Areia fina	0,37	Bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P6	2,15	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P7	2,26	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica
P8	2,30	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	Aproximadamente simétrica	Mesocúrtica

3.5. Estágios morfodinâmicos

Os dados indicam que o sistema praial apresenta variabilidade sazonal bem definida nos estágios morfodinâmicos, com predominância de condições intermediárias ao longo de todo o período de estudo. Nos meses associados a maiores energias hidrodinâmicas, observam-se as maiores concentrações na faixa intermediária em Ω e no RTR, situando-se principalmente no estágio *low tide bar/rip*, com transições pontuais para os estágios *non-barred dissipative* e *ultra-dissipative*.

Agrupando os meses por período sazonal, é possível observar diferenças que o sistema apresenta entre o período chuvoso (janeiro a junho/2025) (Fig. 13b) e o período de estiagem (outubro a dezembro/2024 e julho a setembro/2025) (Fig. 13a), especialmente na forma como os meses se distribuem entre os estágios morfodinâmicos.

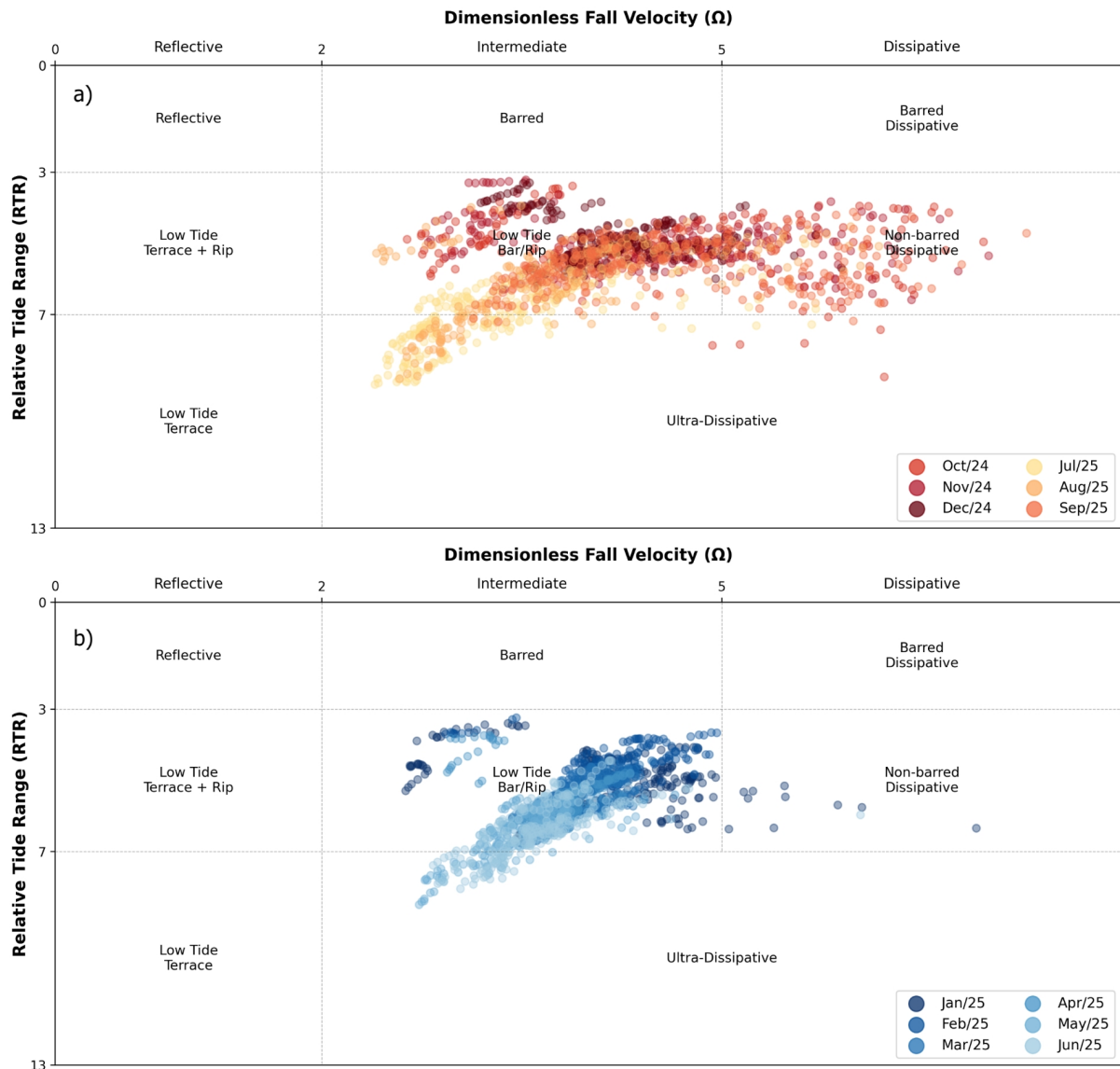


Figura 12. Estágios morfodinâmicos da praia do Olho d'Água nos meses de período de estiagem (a) e chuvoso (b), de acordo com o modelo descrito por Masselink & Short (1993), utilizando os parâmetros Ω e RTR

No período chuvoso, os meses se concentraram predominantemente no estágio *low tide bar/rip*, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril/2025, que permanecem de forma mais consistente dentro desse domínio, indicando maior estabilidade morfodinâmica (Fig. 13b). Fevereiro e março/2025 se mostram como os meses mais representativos desse estágio, com menor dispersão no diagrama. Já maio e junho/2025 apresentam um comportamento de transição, migrando pontualmente para o estágio

non-barred dissipative. O estágio *ultra-dissipative* não apresenta concentração relevante em nenhum mês desse período, com registros isolados em abril, maio e junho/2025.

No período de estiagem, observa-se maior variabilidade na distribuição mensal (Fig. 13a). Embora o estágio *low tide bar/rip* ainda ocorra predominantemente, principalmente em julho e agosto/2025, ele se apresenta de forma mais dispersa. À medida que se avança na estiagem, os meses migram frequentemente para o estágio *non-barred dissipative*, com destaque para setembro/2025, outubro e novembro/2024, refletindo condições mais dissipativas e menor organização morfológica. Durante os meses de julho e agosto/2025, o estágio *ultra-dissipative* também se torna mais presente, indicando episódios de dissipação de energia ao longo de perfis, possivelmente sob maior influência das marés.

4. Discussão

A análise integrada dos perfis evidencia uma clara compartimentação morfológica da praia do Olho d'Água. O setor 1 concentra as maiores cotas altimétricas (entre 5 e 6 m) e apresenta escarpas abruptas em dunas nos perfis T2 e T3, caracterizando uma zona relativamente estável, exceto pelo recuo da face da escarpa durante o período chuvoso. Essa estabilidade estende-se ao setor 2, onde a declividade é suave e as curvas mensais tendem a se sobrepor, indicando baixa intensidade de processos erosivos e deposicionais. Em contraste, o setor 3 apresenta a maior variabilidade dinâmica, com oscilações verticais de até 1 m e divergência entre os perfis de 2024 e 2025, refletindo a migração de bancos arenosos. Por fim, o setor 4 apresenta altimetria inferior ao nível zero e variabilidade moderada, com mudanças sutis na inclinação do perfil, condicionadas pela energia hidrodinâmica local.

No interior de cada perfil, a dinâmica entre os setores 1, 2, 3 e 4 indica que o transporte transversal de sedimentos foi mais evidente entre dezembro/2024 e abril/2025, período marcado pela alternância entre erosão e acreção ao longo do perfil. Durante a transição da estação chuvosa para a estação de ventos, os perfis passaram a apresentar comportamento mais homogêneo, indicando atuação mais uniforme dos processos hidrodinâmicos ao longo do perfil praiar.

A integração da análise dos perfis topográficos e da variação do volume sedimentar (Fig. 7 e 8) evidencia que a morfodinâmica da praia do Olho d'Água responde de forma variável à sazonalidade, com padrões distintos entre os períodos de estiagem e o período chuvoso. No período de estiagem de 2024, observa-se um sistema dinâmico, com alternância entre eventos de acreção e erosão, destacando-se ganhos volumétricos entre outubro e novembro/2024, seguidos por reorganizações rápidas do perfil praiar. Esse comportamento

indica elevada mobilização sedimentar, especialmente nos setores intermediários dos transectos, que atuam como zonas de intenso retrabalhamento, além da ação eólica contribuir para o transporte de sedimentos em direção às dunas frontais, favorecendo a recomposição parcial do sistema.

No período chuvoso, embora a dinâmica sedimentar permaneça ativa, nota-se uma mudança no padrão, com oscilações mais distribuídas ao longo do tempo e episódios de acreção associados à redistribuição sedimentar, como observado entre fevereiro e março/2025. Nesse período, os perfis topográficos sugerem uma tendência de reorganização morfológica com menor intensidade de eventos. Nota-se também um padrão de rearranjo sedimentar caracterizado por redução volumétrica no setor 1 e aumento no setor 3, indicando transporte transversal de sedimentos em direção ao perfil inferior, em concordância parcial com o modelo de Wright & Short (1984). No entanto, diferentemente do padrão clássico de deposição na antepraia com formação de barras submersas, os dados sugerem retenção sedimentar na zona de intermaré inferior, possivelmente associada à dinâmica de macromaré e à formação de barras intermareais rasas.

Já no período de estiagem de 2025, o sistema volta a apresentar eventos de maior magnitude para a região, com predominância de perdas volumétricas acentuadas, incluindo os maiores valores negativos da série, especialmente entre agosto e setembro/2025. Esse comportamento reforça que a estiagem está associada a condições mais energéticas, enquanto o período chuvoso atua como uma fase de ajuste e redistribuição, com dinâmica menos concentrada em eventos extremos e mais contínua ao longo do tempo. Esse cenário é semelhante ao observado em praias de macromaré da costa amazônica, como a praia de Ajuruteua, onde a dinâmica sedimentar apresenta forte controle sazonal associado à interação entre ondas e maré (Alves & El-Robrini, 2006). A atuação conjunta desses agentes promove a erosão das dunas frontais, com desenvolvimento de escarpas praias e transporte de sedimentos para a zona inframaré, onde são depositados na forma de bancos arenosos, resultando em perfis mais planos.

Essa conjuntura também coincide com o observado em praias de macromaré na Ilha do Marajó, onde a variabilidade sazonal está associada à alternância entre erosão e deposição em resposta às condições hidrodinâmicas e à amplitude de maré (El-Robrini *et al.*, 2024). Nesses ambientes, a dinâmica sedimentar é controlada pela interação entre ondas e maré, com elevada mobilidade nos setores de intermaré e inframaré, que atuam como zonas de intenso retrabalhamento, em concordância com o comportamento observado nos transectos do presente estudo. Em São Luís, estudos na praia da Ponta d'Areia demonstram que esses

ambientes apresentam reorganizações frequentes e alta mobilidade sedimentar em escalas de tempo curtas, refletindo um sistema em constante ajuste às forçantes ambientais (Lima *et al.*, 2022). Assim, a alternância entre erosão e acreção observada neste estudo representa uma característica natural de praias de macromaré, nas quais processos erosivos em períodos mais energéticos são seguidos por fases de recomposição sedimentar (Alves & El-Robrini, 2006).

Os MDEs reforçam essa interpretação ao evidenciar padrões espaciais coerentes com a variabilidade observada nos perfis. No período de estiagem de 2024, destacam-se feições erosivas organizadas, como a formação de uma calha de maré (dez/24 - out/24), indicando concentração de fluxos e remoção sedimentar direcionada. Lima *et al.* (2022) destaca que a presença de canais e irregularidades topográficas estão diretamente associadas à atuação das correntes de maré, reforçando o papel dessas feições como elementos chave na organização morfológica.

Durante o período chuvoso, os MDEs mostram maior heterogeneidade espacial, com alternância entre áreas de erosão e deposição, refletindo um sistema em constante ajuste morfológico. Já no período de estiagem de 2025, observa-se novamente a intensificação de áreas erosivas, principalmente nas porções inferiores do perfil, indicando retomada de processos de remoção mais eficientes. Esse padrão evidencia que a praia responde em ciclos, com fases de organização erosiva seguidas por períodos de recomposição e posterior reativação de processos erosivos. Esse comportamento também é descrito para praias amazônicas, onde a ação combinada de ondas e correntes de maré promove redistribuição sedimentar ao longo de amplas áreas do perfil (El-Robrini *et al.*, 2024; Oliveira; Pereira; Vila-Concejo, 2014).

As condições meteoceanográficas indicam que durante os períodos de estiagem, observa-se maior energia no sistema, com valores mais elevados de H_s e ocorrência de T_p mais longos, frequentemente associados a eventos de *swell*. Essas condições aumentam a capacidade de mobilização sedimentar, favorecendo tanto a erosão quanto o transporte ao longo do perfil praiar. Esses resultados são consistentes com o padrão descrito por Reis *et al.* (2024), que identificaram um regime bimodal de ondas na Plataforma Continental do Maranhão, caracterizado pela coexistência de ondas locais (*wind-sea*) e *swell* remoto. A análise climatológica de longo prazo (1979-2023) revelou um ciclo semi-anual bem definido na direção das ondas, com rotação entre os quadrantes nordeste, leste e sudeste, associado à variabilidade sazonal dos ventos alísios e da ZCIT.

No presente estudo, observa-se predominância das ondas locais, com alinhamento entre ventos e ondas e períodos mais curtos (5 a 8 s). Ainda assim, a ocorrência secundária de

períodos mais longos (11 a 17 s) indica a contribuição de swell, reforçando o caráter bimodal do regime. Segundo Reis *et al.* (2024), esses *swells* têm origem no Atlântico Norte, especialmente no inverno boreal (dezembro a fevereiro), quando tempestades extratropicais geram ondas de longo período que podem alcançar a costa do Maranhão em cerca de 3,5 a 7 dias, mantendo grande parte de sua energia. Esse aporte remoto está associado aos eventos de maior H_s , enquanto as ondas locais, de menor período, apresentam maior variabilidade e dependência do campo de ventos. Dessa forma, a interação entre *swell* remoto e *wind-sea* local explica a estrutura bimodal do clima de ondas e a variabilidade observada nos parâmetros analisados.

Observou-se que a intensificação dos ventos alísios favorece a geração de ondas mais energéticas e persistentes, contribuindo para um sistema mais instável. Em contraste, no período chuvoso ocorre redução da energia das ondas, com diminuição de H_s e T_p e predominância de ondas do tipo *sea*, o que limita o transporte sedimentar e favorece ajustes morfológicos do perfil praiial. Conforme descrito por Wright & Short (1984), variações em altura e período das ondas controlam diretamente o transporte sedimentar e a morfologia costeira, embora, neste caso, também haja influência da dinâmica de maré. A direção das ondas, predominantemente entre nordeste e leste, mantém-se relativamente constante, indicando que a variabilidade sazonal está mais associada à energia do sistema do que a mudanças direcionais.

No que se refere às características sedimentares, a distribuição granulométrica ao longo do perfil revela um padrão bem definido de controle por processos distintos. O ponto P1, localizado na região de duna, apresenta o maior grau de seleção sedimentar, resultado direto da ação eólica, que atua como um agente altamente seletivo, removendo partículas mais finas e promovendo depósitos mais homogêneos. Os pontos P6 a P8, situados na zona de arrebentação, também apresentam elevada seleção, porém associada à ação hidrodinâmica das ondas, que promovem constante retrabalhamento sedimentar. A energia das ondas atua como um mecanismo de triagem, removendo frações menos estáveis e mantendo uma granulometria mais uniforme. Já as zonas intermediárias apresentam seleção ligeiramente inferior, refletindo a sobreposição de processos e menor eficiência de segregação granulométrica. Esse padrão evidencia compartimentos sedimentares distintos ao longo do perfil, controlados por diferentes agentes de transporte.

A metodologia *CoastSnap*, no contexto da Praia do Olho d'Água, se apresenta como uma importante ferramenta de monitoramento espaço-temporal, permitindo a análise da dinâmica praiial a partir de séries temporais da posição da linha de costa, além de promover

monitoramento participativo e de baixo custo. Estudos internacionais e nacionais demonstram a eficiência do método nesse tipo de abordagem, especialmente quando associado à participação cidadã e à gestão costeira (Harley *et al.*, 2019; Splinter *et al.*, 2020; Lins-de-Barros *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2025).

Em ambientes de macromaré, onde a amplitude pode ultrapassar 4 m em poucas horas, a linha de água sofre deslocamentos horizontais expressivos, tornando o monitoramento frequente essencial. No contexto da análise da variação da linha de costa, sua aplicabilidade torna-se limitada em contextos como o do litoral maranhense, onde a elevada altura da maré impõe alta variabilidade instantânea (semi-diurna) na posição da linha d'água. Nessas condições, registros pontuais tendem a refletir majoritariamente o estado da maré no momento da captura, e não necessariamente mudanças morfodinâmicas reais.

No que diz respeito à precisão, o perfil realizado através *CoastSnap* não alcança o nível dos levantamentos GNSS-RTK, especialmente em praias de baixa declividade, onde pequenas variações no nível do mar resultam em grandes deslocamentos da linha de água. Assim, os perfis derivados de imagens não representam diretamente a topografia, mas sim a posição instantânea da linha de água, condicionada ao estágio de maré no momento da aquisição. O perfil obtido por GNSS-RTK permanece como referência para a caracterização morfológica da praia, enquanto o *CoastSnap* se destaca como ferramenta complementar, capaz de capturar a variabilidade temporal da zona intermareal, especialmente em escalas intra-diárias, ampliando a compreensão da dinâmica costeira quando integrado a outras técnicas.

Dessa forma, o método apresenta maior confiabilidade para análise de tendências temporais do que para medições altimétricas de alta precisão, sendo sua aplicação dependente de correções maregráficas e de um controle rigoroso das condições de aquisição. Sem esses ajustes, os perfis não são diretamente comparáveis nem substituem levantamentos topográficos convencionais.

A variabilidade dos parâmetros morfodinâmicos (Ω e RTR) e seus estágios associados refletem, de forma integrada, a resposta do sistema praias às variações climáticas sazonais e ao balanço entre energia de ondas e marés. No período de estiagem (especialmente entre outubro e dezembro/2024), a predominância do estágio *low tide bar/rip* está associada a um cenário de maior energia hidrodinâmica, influenciado por picos de H_s ($>1,0\text{m}$), eventos de *swell*, com valores de T_p acima de 14 s e ventos intensos de nordeste, que atuam como as principais forçantes na organização morfológica da praia. Sob essas condições de maior

energia, a maior influência de ondas favorece a manutenção de feições, marcadas pela presença de bancos e calhas de maré.

O estágio *ultra-dissipative* torna-se mais presente, especialmente nos meses iniciais da estiagem, como julho e agosto/2025, quando os dados atingem valores mais elevados de RTR, indicando maior dissipação de energia ao longo do perfil praial, possivelmente associada à maior influência das marés sob condições de menor energia de onda. Ainda ocorrem migrações para estágios mais dissipativos, como o *non-barred dissipative*, refletindo perfis mais suavizados e menor organização morfológica.

A predominância do estágio *low tide bar/rip* também marca o período chuvoso, evidenciando que o sistema praial permanece majoritariamente intermediário. Esse comportamento está associado a condições hidrodinâmicas energéticas, influenciado principalmente por eventos de *swell*, com valores de T_p acima de 14 s. A atuação dessas ondas mais longas e organizadas favorece a manutenção de estruturas morfológicas observadas nos MDEs. As transições para estágios mais dissipativos, como o *non-barred dissipative*, ocorrem de forma pontual, enquanto o estágio apresenta baixa representatividade, restrito a ocorrências isoladas associadas, principalmente, à maior influência das marés em determinados momentos, como nos meses de maio e junho/2025, quando há leve redução na energia das ondas.

Masselink & Short (1993), descrevem o estágio *low tide bar/rip* com identidade morfodinâmica complexa e podem apresentar características reflexivas em condições de maré alta e intermédia e comportamento dissipativo durante a maré baixa.

Dados de modelagem numérica (SWAN) são fundamentais para estimar parâmetros hidrodinâmicos ao longo do tempo, permitindo complementar e expandir análises baseadas em medições *in situ*, que geralmente são limitadas espacial e temporalmente. Nesse contexto, este estudo conecta-se com Franco (2018), que caracterizou sazonalmente as praias da Ilha do Maranhão, identificando a influência de ventos, pluviosidade e clima de ondas sobre os estágios *low tide bar/rip*, *non-barred dissipative* e *ultra-dissipative*, fornecendo um panorama regional relevante para a interpretação dos padrões observados na praia do Olho d'Água.

Os MDEs fornecem uma validação espacial consistente da relação entre os estágios morfodinâmicos e a resposta morfológica, evidenciando feições que não são plenamente captadas por perfis pontuais. Nos meses classificados como *low tide bar/rip*, os MDEs diferenciais mostram de forma recorrente a presença de uma calha de maré longitudinal contínua na porção central da praia, coincidente com o setor 3 (principalmente entre dezembro/2024 e janeiro/2025), onde também se concentram grandes perdas volumétricas de

sedimentos. Essa feição é acompanhada por zonas positivas descontínuas na faixa inferior do perfil, indicando transporte e migração transversal de sedimentos associados à dinâmica de bancos e canais.

Nos meses em que há maior ocorrência de condições mais dissipativas, especialmente no estágio *non-barred dissipative*, observa-se a atenuação ou desaparecimento dessas feições bem definidas, sendo substituídas por padrões mais difusos de ganho e perda sedimentar. Esse comportamento reflete uma reorganização do sistema, com redistribuição mais homogênea dos sedimentos ao longo do perfil. Já nos momentos em que ocorrem registros pontuais do estágio *ultra-dissipative*, os MDEs indicam uma intensificação desse padrão difuso, com maior suavização das formas e redistribuição sedimentar mais ampla, evidenciando o predomínio de processos dissipativos e a redução da organização morfológica associada às barras.

5. Conclusões

A análise integrada da morfodinâmica da praia do Olho d'Água evidencia que o sistema costeiro apresenta controle sazonal, resultante da interação entre ondas e a elevada amplitude de maré típica de ambientes de macromaré. Os dados topográficos, volumétricos e os MDEs demonstram que a praia responde por meio de ciclos definidos de erosão e redistribuição sedimentar, com maior mobilização na estiagem e reorganização morfológica mais difusa no período chuvoso.

Os resultados indicam que na estiagem, predominam processos erosivos associados à intensificação da ação das ondas e dos ventos, favorecendo a formação de feições como calhas de maré e promovendo transporte sedimentar transversal ao longo do perfil praiial. Já no período chuvoso, a redução da energia das ondas contribui para a redistribuição e retenção de sedimentos, resultando em perfis mais suavizados e maior estabilidade, ainda que com variabilidade espacial.

Os perfis topográficos indicam que a vulnerabilidade morfodinâmica concentra-se nos setores inferiores, especialmente nos setores 3 e 4, onde foram registradas as maiores variações altimétricas e perdas volumétricas. Esses setores, mais expostos à ação conjunta de ondas e marés, apresentam maior suscetibilidade à erosão e ao retrabalhamento sedimentar, enquanto os setores superiores demonstram maior estabilidade relativa. Dessa forma, as zonas inferiores do perfil configuram áreas críticas, prioritárias para monitoramento e gestão costeira.

A análise morfodinâmica evidencia que a praia é fortemente controlada pela variabilidade hidrodinâmica, com predominância do estágio *low tide bar/rip* durante o período chuvoso, refletindo maior organização morfológica e persistência de bancos e calhas, enquanto na estiagem, apesar do predomínio do estágio *low tide bar/rip*, também ocorrem migrações para *non-barred dissipative* e *ultra-dissipative*, indicando variações na energia de onda e maior influência relativa das marés em determinados momentos. A dinâmica praial ocorre por transições graduais entre os estágios, revelando a interação contínua entre ondas e marés.

O *CoastSnap* destaca-se como uma ferramenta complementar relevante para o monitoramento contínuo da linha de costa, permitindo a obtenção de séries temporais de baixo custo e alta frequência. No entanto, sua aplicação apresenta limitações relacionadas à necessidade de correções maregráficas, controle geométrico rigoroso e padronização das imagens, o que pode restringir seu uso para análises quantitativas mais detalhadas em ambientes de macromarés.

A integração de diferentes abordagens metodológicas mostrou-se eficaz para a compreensão da dinâmica costeira em múltiplas escalas espaciais e temporais. O uso de geotecnologias de alta precisão, associado à modelagem numérica e à ciência cidadã, permitiu identificar padrões morfodinâmicos consistentes e avaliar as potencialidades e limitações de cada método.

Em síntese, os resultados evidenciam a vulnerabilidade da praia do Olho d'Água às variações sazonais e às mudanças nas condições hidrodinâmicas, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e integrado como base para o gerenciamento costeiro. A abordagem adotada fornece subsídios consistentes para a tomada de decisão e o planejamento ambiental, sendo essencial para a mitigação de processos erosivos, redução de riscos costeiros e adaptação às mudanças climáticas em ambientes de macromaré, marcados por elevada variabilidade espaço-temporal.

Referências

- ALVES, M. A. M. S.; EL-ROBRINI, M. Morphodynamics of the macrotidal beach: Ajuruteua, Bragança North Brazil. **Journal of Coastal Research**, Itajaí, SI 39, p. 949-951, 2006.
- ARDESHIRI, A.; SWAIT, J.; HEAGNEY, E. C.; KOVAC, M. Willingness-to-pay for coastline protection in New South Wales: Beach preservation management and decision making. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 178, 104805, 2019.
- BALK, D.; BRICKMAN, M.; ANDERSON, G. B.; ZAITCHIK, B.; LICHTENBERG, E.; PATZ, J. Mapping urban settlements and the risks of climate change in Africa, Asia and South America. In: GUZMÁN, J. M.; MARTINE, G.; MCGRANAHAN, G.; SCOONES, I.; TACOLI, C. (ed.). **Population Dynamics and Climate Change**. [s. l.]: UNFPA/IIED, 2009. p. 80–103.
- BARBIER, E. B.; HACKER, S. D.; KENNEDY, C.; KOCH, E. W.; STIER, A. C.; SILLIMAN, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, [s. l.], v. 81, n. 2, p. 169–193, 2011.
- BARBOSA, V. M.; GREGÓRIO, A. M. S.; BUSMAN, D. V.; COSTA, R. A. A. M.; SOUSA FILHO, P. W. M.; PEREIRA, L. C. C. Estudo morfodinâmico durante uma maré equinocial de sizígia em uma praia de macromaré do litoral amazônico (Praia de Ajuruteua-PA, Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências da Terra, Belém, v. 1, p. 55-72, 2009.
- BARRETO, H. N.; PARISE, C. K.; ALMEIDA JR., E. B. The Cocais Forest Landscape. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. (org.). **The Physical Geography of Brazil**. Cham: Springer, 2018. p. 1–17.
- BOOIJ, N.; HOLTHUIJSEN, L. H.; RIS, R. C. The “SWAN” wave model for shallow water. In: **International Conference On Coastal Engineering**, 25., 1996, Orlando. Proceedings [...]. New York: ASCE, 1996. p. 668–676.
- BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua das marés para o Porto de Suape (Estado de Pernambuco)**. Rio de Janeiro: DHN, 2004. Disponível em: <http://www.dhn.mar.mil.br>. Acesso em: 25 mar. 2026.
- CAMARGO, M. G. SYSGRAN: um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 345–352, 2006.
- CARVALHO, Daniele Oliveira de. *Variação espaço-temporal do nível do mar no Golfão Maranhense: contribuições astronômicas e meteorológicas*. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Oceanografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.
- DODET, Guillaume et al. Wave-current interactions in a wave-dominated tidal inlet: WAVE-CURRENT INTERACTIONS IN TIDAL INLET. **Journal of Geophysical Research. Oceans**, v. 118, n. 3, p. 1587–1605, 2013.

DOLAN, R.; FENSTER, M. S.; HOLME, S. J. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 723–744, 1990.

DRITSAS, S. E. The effect of sea level rise on coastal populations: The case of the Gironde (Estuaries of Gironde). **Economic Analysis and Policy**, [s. l.], v. 66, p. 41–50, 2020.

EL-ROBRINI, M.; MARQUES, M.; SILVA, M. A. M. A. da; EL-ROBRINI, M. H. S.; FEITOSA, A. C.; TAROUCO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S. dos; VIANA, R. J. Maranhão. In: MUEHE, D. (org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro. **Brasília: Ministério do Meio Ambiente**, 2006. p. 87–130.

FEITOSA, A. C.; CHRISTOFOLETTI, A. C. F. E. A. Caracterização geomorfológica das praias do litoral norte do município de São Luís-MA. In: **Simpósio De Geografia Física Aplicada**, 5., 1993, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: USP, 1993. p. 231–236.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 3–26, 1957.

FRANCO, A. S. **Marés: previsão e análise**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar (FEMAR), 2009.

FRANCO, J. B. Caracterização morfodinâmica das praias oceânicas da Ilha do Maranhão. 2018. 58 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

FUNDAÇÃO ESTUDOS DO MAR (FEMAR). **Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras**. Rio de Janeiro: FEMAR, 2000.

FURTADO, T. M. S.; BARBOSA, W. L.; ROCHA, A. V. O.; MACHADO, A. M. B.; PARISE, C. K. Avaliação do regime de precipitação no estado do Maranhão em resposta a um extremo positivo no campo de gelo marinho antártico. In: NOBRE, C. P.; OLIVEIRA, A. C. S. de (org.). **Estudos ambientais e agrônômicos: resultados para o Brasil**. Ponta Grossa: Editora Pascal, 2020. v. 3.

FURTADO, T. M. S. Variabilidade Climática e Tendência da Precipitação Pluviométrica no estado do Maranhão e sua relação com a temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical Equatorial. 70 p. TCC (**Trabalho de Conclusão de Curso em Oceanografia**). Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2019.

FURTADO, T. M. S.; ASSAD, L. P. F.; PARISE, C. K.; VASCONCELLOS, F. C.; SANCHO, L.; CARPENEDO, C. B.; BARBOSA, W. L.; SOARES, L. A. M. Variability of the Atlantic Niño: impacts on precipitation in the state of Maranhão, Brazil. *Atmosfera*, [s. l.], v. 39, p. 225–246, 2025.

GHOSH, M. K.; KUMAR, L.; ROY, C. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 101, p. 137–144, 2015.

GONÇALVES, Marta; RUSU, Eugen; SOARES, C. Evaluation of the wave models SWAN and STWAVE in shallow water using nested schemes. In: **Maritime Engineering and Technology**. [S.l.]: CRC Press, 2012. p. 481–485.

GORRELL, L. et al. SWAN predictions of waves observed in shallow water onshore of complex bathymetry. **Coastal Engineering**, v. 58, n. 6, p. 510–516, 2011.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, E.; VOS, K. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. **Coastal Engineering**, [s. l.], v. 150, p. 175–189, 2019.

HARLEY, M. D.; TURNER, I. L.; SPLINTER, K. D.; SHORT, A. D. CoastSnap: a citizen science smartphone app for shoreline monitoring. **Coastal Engineering**, [s. l.], v. 150, p. 1–12, 2019.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A. CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. **Continental Shelf Research**, [s. l.], v. 245, 104796, 2022.

HERSBACH, Hans *et al.* The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. **Royal Meteorological Society** (Great Britain), v. 146, n. 730, p. 1999–2049, 2020.

HOLLAND, K. T.; HOLMAN, R.; LIPPMANN, T.; STANLEY, J.; PLANT, N. Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 81–92, 1997.

JANSEN, T. R. S. Propagação das marés no Golfão Maranhense e cenários de inundação na orla oceânica da Ilha do Maranhão – Brasil. 2024. 78 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024.

JONES, B.; O’NEIL, B. C. Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 11, n. 8, 084003, 2016.

KLEIN, A. H. F.; SHORT, A. D. Brazilian Beach Systems: Introduction. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. (ed.). **Brazilian Beach Systems**. [s. l.]: Springer, 2016. p. 1–36.

KOMAR, P. D.; GAUGHAN, M. K. Airy wave theory and breaker height prediction. In: **Coastal Engineering Conference**, 13., 1972, Vancouver. *Proceedings...* Reston: American Society of Civil Engineers (ASCE), 1972.

LIMA, L. G.; ALBUQUERQUE, S. S.; CERVEIRA, G. S.; PARISE, C. K.; FERREIRA, M. S.; FRANCO, B. J. Estratigrafia e evolução de um esporão arenoso em ambiente de macromaré: Ponta d’Areia – São Luís – Maranhão – Brasil. **Geociências, São Paulo**, v. 39, n. 4, p. 997–1008, 2020.

LIMA, L. G.; FERREIRA, M. S.; FRANCO, B. J.; PARISE, C. K.; SANTOS, J. H. S. Morfodinâmica da Praia da Ponta da Areia: considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. **Geociências, São Paulo**, v. 41, n. 2, p. 503–515, 2022.

LINS-DE-BARROS, F.; FRANCISCO, A. B. P.; SILVA, L. C. B. da; RIBEIRO, P. R. M.; MILCZEWSKI, R. S.; SOUSA, R. E. J. de. Contribuições de monitoramentos participativos de praias arenosas para a gestão costeira integrada. **Revista Costas**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 1–15, 2023.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, n. 1, 6641, 2018.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 785–800, 1993.

MORADI, Mehrdad; CHERTOUK, Narimene; ILINCA, Adrian. Modelling of a wave energy converter impact on coastal erosion, a case study for Palm Beach-Azur, **Algeria. Sustainability**, v. 14, n. 24, p. 16595, 2022.

NEUMANN, B.; VAFEIDIS, A. T.; ZIMMERMANN, J.; NICHOLLS, R. J. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - **A global assessment. PLoS ONE**, [s. l.], v. 10, n. 6, e0131375, 2015.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: **IBGE**, 1989.

OLIVEIRA, S. M. O.; PEREIRA, L. C. C.; VILA-CONCEJO, A. Processos morfodinâmicos em uma praia de macromaré no litoral amazônico. **Quaternary and Environmental Geosciences**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 125-136, 2014.

PAPAKONSTANTINO, A.; TOPOUZELIS, K.; PAVLOGEORGATOS, G. Coastline zones identification and 3D coastal mapping using UAV spatial data. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 5, n. 6, p. 75, 2016.

RANGEL-BUITRAGO, N.; WILLIAMS, A.; ANFUSO, G.; ACEVEDO, A.; GIRALDO, A.; FRANCO, L.; BLANCO, B.; CABRERA, J.; CORREA, I.; PRIETO, M. Magnitudes, sources, and management of beach litter along the Atlantico department coastline, Caribbean coast of Colombia. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 138, p. 142–157, 2017.

REIS, B. L. R.; PARISE, C. K.; CORREIA, G. S.; LIMA, L. G.; PEROTTO, H.; BOSE, N. A.; MENDONÇA, L. F. F. The bimodal regime of ocean waves and winds over the continental shelf of Maranhão. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 256, 107293, 2024.

SILVA, Q. D. Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão. 2012. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2012.

SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. A global analysis of human settlement in coastal zones. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 584–599, 2003.

SOARES, L. A. M.; PARISE, C. K.; MACHADO, A. M. B.; CARPENEDO, C. B.; FURTADO, T. M. S.; BARRETO, H. N.; LIMA, L. G.; SOUSA, H. L. S. Influences of strong and moderate ENSO events on the Maranhão precipitation from the western equatorial Atlantic SST anomalies. **Ocean and Coastal Research**, [s. l.], v. 71, e23043, 2023.

SOULSBY, R. Dynamics of marine sands: a manual for practical applications. London: **Thomas Telford Publications**, 1997.

SPLINTER, K. D.; TURNER, I. L.; REESE, A.; HARLEY, M. D.; VOS, K.; COX, R. J. A generalized approach for shoreline mapping using citizen science data. **Coastal Engineering**, [s. l.], v. 159, p. 103732, ago. 2020.

TĂTUI, F.; ZĂINESCU, F.; VESPREMEANU-STROE, A.; MATTHIESEN, M.; TONIS, R.; CONSTANTIN, S. The Black Sea coastline erosion: Index-based sensitivity assessment and management-related issues. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], v. 182, 104949, 2019.

VOUSDOUKAS, M. I.; RANASINGHE, R.; MENTASCHI, L.; PLOMARITIS, T. A.; ATHANASIOU, P.; LUIJENDIJK, A.; FEYEN, L. Sandy coastlines under threat of erosion. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 10, p. 260–263, 2020.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, [s. l.], v. 56, n. 1-4, p. 93–118, 1984.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D.; NIELSEN, P. Morphodynamics of high energy beaches and surf zones: a brief synthesis. Sydney: University of Sydney, 1982. (**Coastal Studies Unit Technical Report**, 82/5).

V. CAPÍTULO III (ARTIGO 2)

CIÊNCIA CIDADÃ NO MONITORAMENTO COSTEIRO EM SÃO LUÍS-MA: EXPERIÊNCIAS, DESAFIOS E PARTICIPAÇÃO SOCIAL NO PROJETO COASTSNAP-MA

*CITIZEN SCIENCE IN COASTAL MONITORING IN SÃO LUÍS-MA: EXPERIENCES,
CHALLENGES AND SOCIAL PARTICIPATION IN THE COASTSNAP-MA PROJECT*

Rivaldo Junior Pinto RAMOS¹, Claudia Klose PARISE², Leonardo Gonçalves de LIMA³,
Ludmilla Vitoria Carvalho RABELO³, Pedro de Souza PEREIRA⁴, Flavia Moraes
LINS-DE-BARROS⁵, Ligia de Freitas TEBECHRANI⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, São Luís – MA – Brasil. E-mail: rivaldojr.oceano@gmail.com

²Claudia K. Parise, Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, São Luís, MA, Brasil. Telefone: +55 (98) 98163-4664. E-mail: claudiakparise@gmail.com.

³Laboratório de Estudos de Oceanografia Geológica (LEOG), Departamento de Limnologia e Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, São Luís – MA – Brasil.

⁴Laboratório de Oceanografia Costeira, Coordenadoria Especial de Oceanografia, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Trindade – Florianópolis – SC, CEP: 88040-900.

⁵Laboratório de Geografia Marinha e Gestão Costeira Integrada, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ – Brasil, 21941-972.

*Author-correspondente: Rivaldo Junior Pinto Ramos. E-mail: rivaldojr.oceano@gmail.com

RESUMO - Este estudo analisa o engajamento da ciência cidadã no monitoramento costeiro em São Luís (MA), a partir da implementação do projeto CoastSnap-MA nas praias da Ponta d'Areia e do Olho d'Água. O sistema baseia-se na participação voluntária de usuários que registram e compartilham fotografias padronizadas da faixa de praia por meio de estações fixas instaladas em pontos estratégicos. Foram analisadas 912 imagens válidas, provenientes de 1.198 participantes, permitindo avaliar padrões de participação espacial, temporal e geográfica ao longo do período de monitoramento. Os resultados evidenciam forte assimetria no engajamento entre as praias monitoradas, com predominância da Ponta d'Areia (mais de 90% das contribuições), associada a fatores como maior fluxo de usuários, melhor infraestrutura urbana e maior visibilidade da estação. Em contraste, a praia do Olho d'Água apresentou baixa participação, influenciada por características locais e pela interrupção temporária da coleta de dados. Observou-se também predominância de registros diurnos (92,2%), indicando viés temporal na participação. A análise da origem dos participantes revelou ampla abrangência geográfica, com contribuições de 26 estados brasileiros e 10 países, embora com predominância local (52,1% do Maranhão). Os resultados destacam a

importância da escolha estratégica dos locais de instalação das estações e da adoção de ações contínuas de divulgação para ampliar o engajamento e a participação pública. No contexto da gestão costeira, o projeto demonstra potencial como ferramenta complementar de monitoramento, ampliando a base de dados disponíveis e promovendo o envolvimento direto da sociedade na observação de mudanças ambientais. Além disso, a iniciativa contribui para o avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 11, 13 e 14), ao incentivar a conscientização ambiental e fortalecer a governança participativa em zonas costeiras.

Palavras-chave: Ciência cidadã, Monitoramento costeiro, CoastSnap, Gestão Costeira.

ABSTRACT - This study analyzes the engagement of citizen science in coastal monitoring in São Luís (MA), based on the implementation of the CoastSnap-MA project on the beaches of Ponta d'Areia and Olho d'Água. The system relies on the voluntary participation of users who record and share standardized photographs of the beach area through fixed stations installed at strategic points. 912 valid images from 1,198 participants were analyzed, allowing for the evaluation of spatial, temporal, and geographic participation patterns throughout the monitoring period. The results show a strong asymmetry in engagement among the monitored beaches, with Ponta d'Areia predominating (more than 90% of contributions), associated with factors such as higher user flow, better urban infrastructure, and greater visibility of the station. In contrast, Olho d'Água beach showed low participation, influenced by local characteristics and the temporary interruption of data collection. A predominance of daytime records (92.2%) was also observed, indicating a temporal bias in participation. Analysis of the participants' origin revealed a wide geographic range, with contributions from 26 Brazilian states and 10 countries, although with a local predominance (52.1% from Maranhão). The results highlight the importance of strategically choosing the locations for installing the stations and adopting continuous outreach actions to broaden public engagement and participation. In the context of coastal management, the project demonstrates potential as a complementary monitoring tool, expanding the available database and promoting the direct involvement of society in observing environmental changes. Furthermore, the initiative contributes to the advancement of the Sustainable Development Goals (SDGs 11, 13, and 14) by encouraging environmental awareness and strengthening participatory governance in coastal zones.

Keywords: *Citizen science, Coastal monitoring, CoastSnap, Coastal management.*

1. Introdução

A linha costeira e seus arredores compõem uma região de alta densidade populacional, da biodiversidade ambiental, atividade econômica e lazer. Desempenham um papel fundamental como barreira de proteção, desempenham um papel fundamental como barreira natural de proteção, atenuando a energia das ondas e mitigando os efeitos de níveis elevados de maré sobre assentamentos costeiros vulneráveis (Harley *et al.*, 2017; Masselink *et al.*, 2016).

Apesar de muitos estudos apontarem para a importância de monitoramento morfológico das praias, muitos locais ainda possuem dados de observação limitados para fornecer uma compreensão das taxas e magnitudes da resposta da linha costeira em relação a processos costeiros de longo prazo (Barnard *et al.*, 2015; Turner *et al.*, 2016).

Nessa perspectiva, as iniciativas de monitoramento costeiro que envolvem a comunidade no levantamento de dados e na compreensão dos processos que ocorrem nestes ambientes têm grande relevância, pois podem fornecer dados inestimáveis, além de se sobressair em relação aos métodos tradicionais que apresentam dificuldade em obter dados devido aos custos e aos requisitos de treinamento. Monitoramentos participativos, através do que se denomina ciência cidadã, aumentam a cobertura de dados, aprimorando a compreensão da dinâmica costeira em diferentes locais. Esta abordagem colaborativa incentiva o intercâmbio de conhecimento, promove a aprendizagem mútua e a capacitação entre cientistas e comunidades, aprofunda a percepção científica e facilita a tomada de decisões mais bem informada (Conrad & Hilchey, 2011; Newman *et al.*, 2017).

A integração dos cidadãos na coleta de dados científicos tem um precedente histórico bem estabelecido em vários campos de pesquisa (Fiorino, 1990; Callon, 1999; Dickinson *et al.*, 2010; Mckinley *et al.*, 2017). Técnicas de fotogrametria e processamento de imagens são responsáveis por obter dados precisos da posição da linha de costa, sendo estes dados coletados através de cientistas cidadãos fazendo e compartilhando imagens de praia nas estações instaladas (Harley *et al.*, 2019), contribuindo para entendimento da dinâmica praias e os efeitos extremos dos eventos, informando as decisões de gerenciamento costeiro.

Atualmente, o projeto *CoastSnap - Community Beach Monitoring* é exemplo neste modelo de pesquisa envolvendo ciência cidadã, o qual demonstra a eficiência e fácil aplicabilidade no monitoramento costeiro. Embora a utilização de fotografias tenha sido usada há quase 2 décadas em pesquisas (Zier & Baker, 2006; O'connor & Bond, 2007; Burton *et al.*, 2011; Scott *et al.*, 2021), os algoritmos inovadores da *CoastSnap* para extrair dados quantitativos dessas imagens estabeleceram um novo padrão no monitoramento da costa através da ciência cidadã, aprimorando a utilidade da fotografia de smartphones e das mídias sociais (Bayas *et al.*, 2016; Droege, 2013; Harley *et al.*, 2019; Harley & Kinsela, 2022). Desde a sua criação na Austrália em 2017 pela UNSW (Universidade de Nova Gales do Sul), o *CoastSnap* emergiu rapidamente como o maior programa coordenado de monitoramento costeiro terrestre em todo o mundo, operando em mais de 20 países (Harley & Kinsela, 2022).

O uso da ciência cidadã para monitoramento costeiro já vem sendo utilizado em diversas partes do mundo com diferentes finalidades. No Brasil, o projeto *CoastSnap* é

financiado pelo CNPq, e coordenado por pesquisadores da UFSC, em parceria com outras instituições federais nacionais e internacionais. A iniciativa vem sendo aplicada nos diferentes estados costeiros, através de coordenações locais, incluindo Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco, Bahia, Sergipe, Ceará, Maranhão e Amapá. No estado do Maranhão, o *CoastSnap* implementou duas (2) estações na orla oceânica de São Luís-MA, especificamente nas praias da Ponta d'Areia (associada a um espigão costeiro e com visada para o setor a montante da corrente) e do Olho d'Água (associado ao uso da praia para a prática do surfe). Apenas a estação da Ponta d'Areia permanece em operação, visto que a estação do Olho d'Água foi vandalizada e desativada em janeiro de 2026.

Nesse sentido, utilizar os recursos disponíveis na internet, através das mídias sociais, juntamente com a alta tecnologia contida nos celulares e em programas de processamento de dados, para monitorar em rede nacional os ambientes costeiros, especificamente o ambiente praias, é o foco principal desta proposta. Ciente de que a população brasileira faz elevado uso cotidiano de redes sociais, essa ferramenta apresenta um grande potencial de monitoramento de feições costeiras de grande importância, tal como a linha de costa, principal indicador da erosão costeira, através da análise de imagens compartilhadas nas redes sociais.

O presente estudo tem como objetivo analisar os fatores que influenciam o engajamento da ciência cidadã no projeto *CoastSnap-MA*, com ênfase nas diferenças de participação entre as praias da Ponta d'Areia e do Olho d'Água, bem como nas limitações observadas durante sua implementação. Parte-se da hipótese de que o engajamento é maior em áreas com maior fluxo de usuários, melhor infraestrutura e maior visibilidade das estações, sendo reduzido por limitações locais e interrupções operacionais.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de Estudo

A Ilha do Maranhão é composta por 4 municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa. As praias do Olho D'Água (2°28'46.82"S, 44°13'50.28"W) e Ponta d'Areia (2°30'5.27"S, 44°19'16.95"W) estão localizadas no município de São Luís, capital do estado do Maranhão (Fig. 1). Segundo Lima *et al.* (2020; 2022), as praias da Ilha do Maranhão apresentam largura média de aproximadamente 200 m, podendo variar frente a grande amplitude de maré. Esta região costeira está sob influência de um regime de macro-maré semi-diurna, com alturas de até 6,5 m (DHN, 2004). Segundo Reis *et al.* (2024), a zona costeira maranhense apresenta uma variação na altura significativa de ondas entre 0,5

e 2,2 m, com a altura das ondas diminuindo em direção à costa.

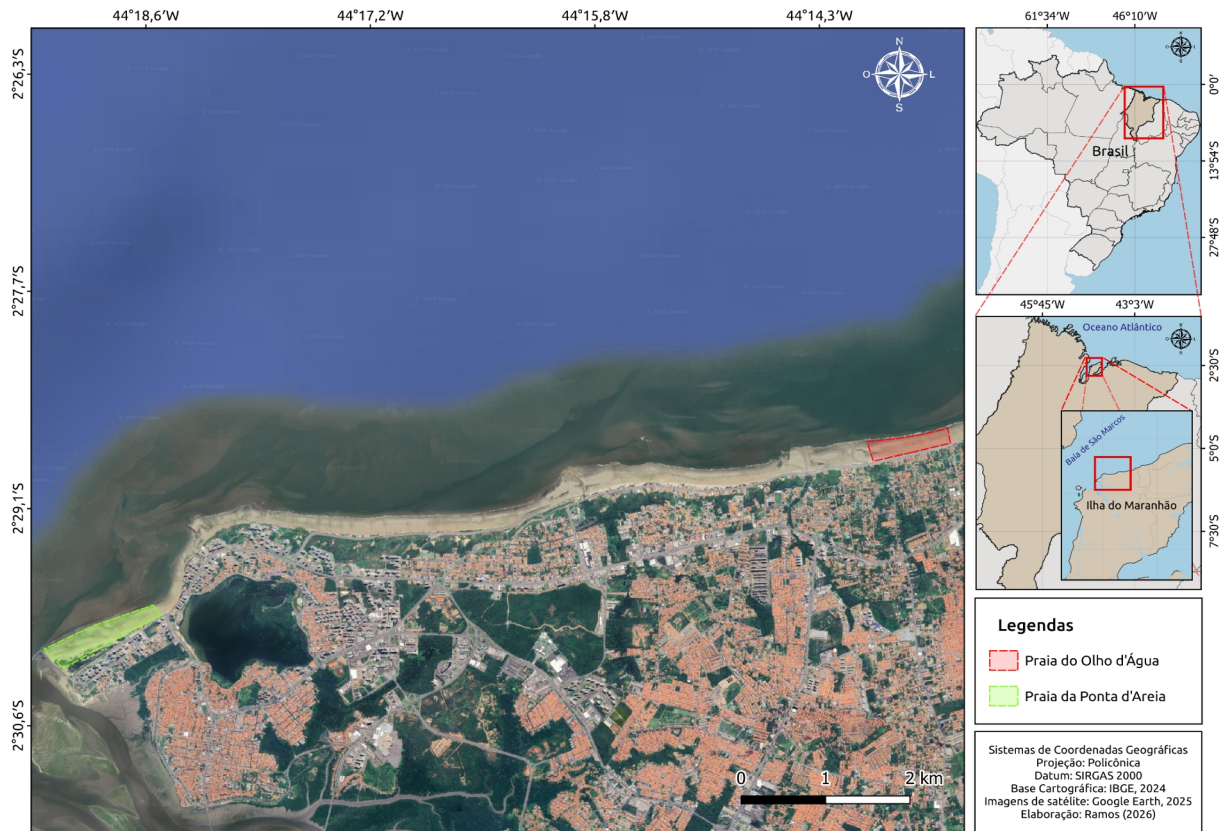


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2.2. Estações CoastSnap-MA

A praia da Olho d'Água e praia Ponta d'Areia foram escolhidas para a realização do monitoramento, que consistiu inicialmente na instalação de estruturas de baixo custo (Fig. 2) em um local escolhido por ser de fácil acesso, ter boa visada da linha de costa e bom fluxo de pessoas para que um maior número possível de imagens possam ser capturadas. A estação da praia do Olho d'Água foi instalada no dia 05 de maio de 2024, enquanto que a estação da praia da Ponta d'Areia foi instalada no dia 18 de janeiro de 2025.

A estação de monitoramento na Praia do Olho d'Água, anexa à Avenida Litorânea, nas proximidades do Pico Asboa (Associação de *Surf* e *Bodyboard* do Olho d'Água). Criada em 2004, a Asboa é uma instituição de utilidade pública sob a Lei 10.430 de 08 de abril de 2016, e atua positivamente na sociedade maranhense através da prática de esportes (como o surfe), aliada a atividades de preservação e conservação do meio ambiente, sendo uma grande incentivadora e parceira deste projeto. Já a estação localizada no espigão da praia Ponta d'Areia é um dos setores mais movimentados na orla de São Luís, especialmente nos finais de semana, o que pode facilitar a participação cidadã na coleta de imagens.

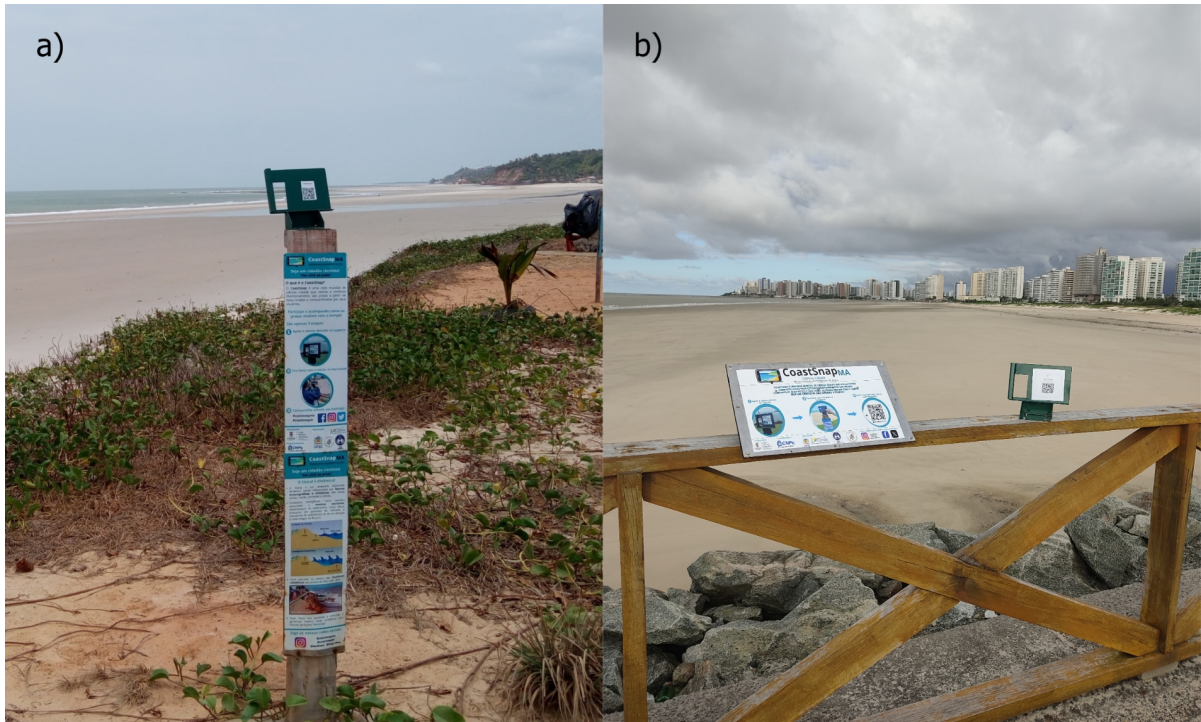


Figura 2. Estação *CoastSnap*-MA na Praia do Olho d'Água (a) e na Praia da Ponta d'Areia (b).

2.3. Aquisição e tratamento de imagens

Para que as imagens sejam incluídas no banco de dados do *CoastSnap*-MA devem ser postadas nas mídias sociais do projeto, no caso *Instagram*, *Facebook*, *X* e *WhatsApp*, através da *hashtag* #coastsnapma, seguida do nome das praias da Ponta d'Areia ou Olho d'Água (Fig. 3). As imagens também podem ser incluídas no banco de dados utilizando o *QR Code* que dá acesso à conta *WhatsApp*.

Cada imagem passa por um processo inicial de triagem manual, no qual são excluídas fotografias fora de foco, com enquadramento inadequado, em baixa resolução ou que não atendam aos requisitos mínimos para futura retificação e georreferenciamento. Também são descartadas imagens que não seguem o enquadramento padrão do suporte do *CoastSnap*, impossibilitando o registro adequado da linha de costa, bem como fotografias do tipo selfie ou sem relevância para a análise geomorfológica. O principal critério para a aceitação das imagens é a clara visibilidade da linha de costa, condição essencial para a extração de informações espaciais. As imagens consideradas válidas permanecem no banco de dados, alimentando um acervo que subsidia análises posteriores sobre a dinâmica costeira, ao mesmo tempo em que permite o acompanhamento do engajamento da comunidade.

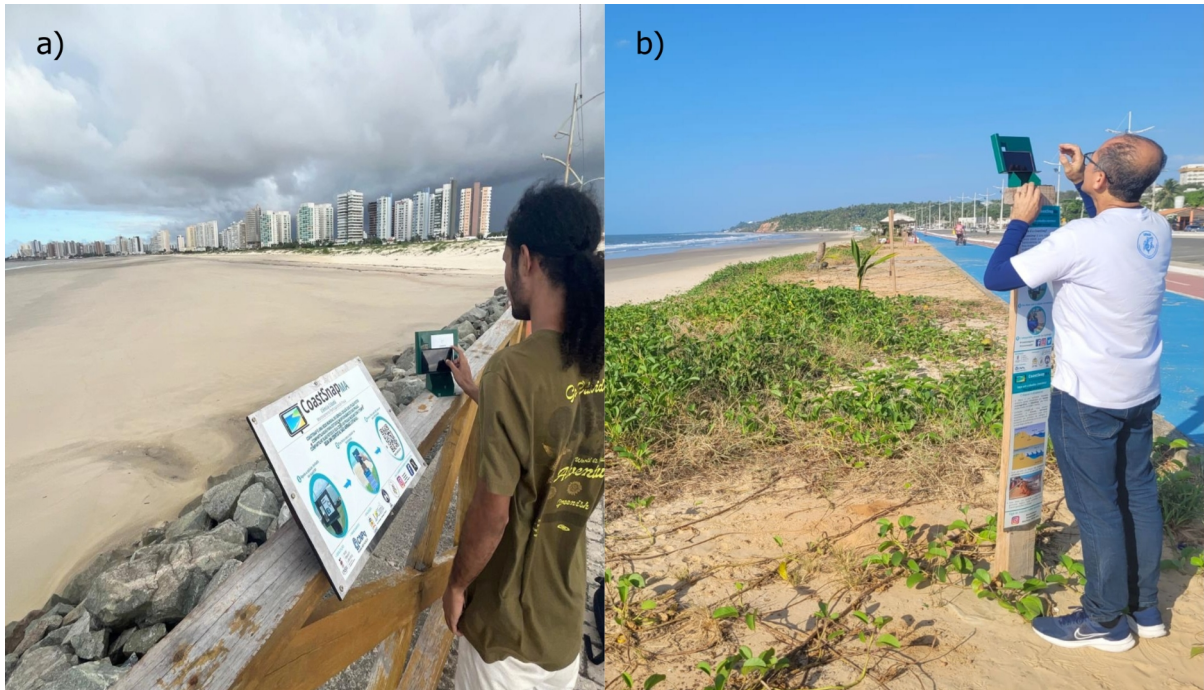


Figura 3. Exemplo de utilização da base para gerar uma foto na praia da Ponta d'Areia (a); e exemplo de imagem capturada e postada na mídia social (b). Fonte: *Instagram*.

As imagens consideradas válidas permanecem no banco de dados, alimentando um acervo que subsidia análises posteriores sobre a dinâmica costeira, ao mesmo tempo em que permite o acompanhamento do engajamento da comunidade. A partir desse conjunto de imagens válidas, os dados foram organizados e armazenados em um banco de dados digital estruturado, que permite a classificação das informações por diferentes categorias de análise. As imagens foram segmentadas por turno (dia/noite), com base no horário de captura, e por praia de origem (Ponta d'Areia ou Olho d'Água).

3. Resultados

3.1 Participação por praia e turnos

Provenientes de 1.198 voluntários, 912 imagens coletadas durante o período de monitoramento mostraram diferenças expressivas no engajamento da comunidade entre as duas praias monitoradas. A praia da Ponta d'Areia apresentou volume significativamente superior de contribuições, totalizando 823 imagens, o que representa 90,2% do total de fotografias enviadas. A praia do Olho d'Água, por sua vez, apresentou um cenário distinto, com 89 imagens coletadas, representando apenas 9,8% do total de imagens. Todos os registros desta praia foram capturados durante o dia, não havendo qualquer contribuição noturna (Tabela 1). Quanto à distribuição por turno, observou-se que a maioria absoluta das imagens

foi capturada durante o dia, totalizando 839 registros diurnos, enquanto o período noturno contribuiu com 73 imagens. Este padrão era previsível, considerando que as praias são naturalmente mais frequentadas durante o dia, quando as condições de luminosidade também são mais favoráveis para a captura de imagens de qualidade.

Tabela 1. Número de imagens coletadas por praia e turno (dia/noite).

Praia	Dia	Noite	Total
Ponta d'Areia	750	73	823
Olho d'Água	89	0	89
Total	839	73	912

Os resultados evidenciam uma assimetria significativa na quantidade de registros entre os dois pontos de monitoramento. A praia da Ponta d'Areia apresentou valores superiores ao longo de toda a série temporal, com incremento acentuado a partir de fevereiro de 2025 e máximo em julho de 2025 (Fig. 4). Após esse pico, observa-se uma tendência de decréscimo gradual no número de fotografias, embora os valores permaneçam relativamente elevados até o final de 2025, indicando manutenção do engajamento no período subsequente

Em contraponto, a praia do Olho d'Água apresentou baixa frequência de registros ao longo de todo o período analisado, com valores predominantemente inferiores a 10 fotografias mensais. Exceções pontuais incluem novembro de 2024 (19 registros) e setembro de 2025 (18 registros), que configuram os principais picos da série para esse setor. No geral, a variabilidade temporal neste ponto é limitada e sem tendência clara de crescimento sustentado.

Esses padrões sugerem diferenças relevantes na dinâmica de uso e acessibilidade entre os pontos monitorados, refletindo diretamente na adesão ao sistema *CoastSnap*. A maior densidade de registros na Ponta d'Areia pode estar associada a fatores como maior fluxo de usuários, melhor visibilidade do equipamento ou maior atratividade turística, enquanto a baixa contribuição no Olho d'Água indica possível limitação na participação dos usuários ou menor exposição do ponto de monitoramento.

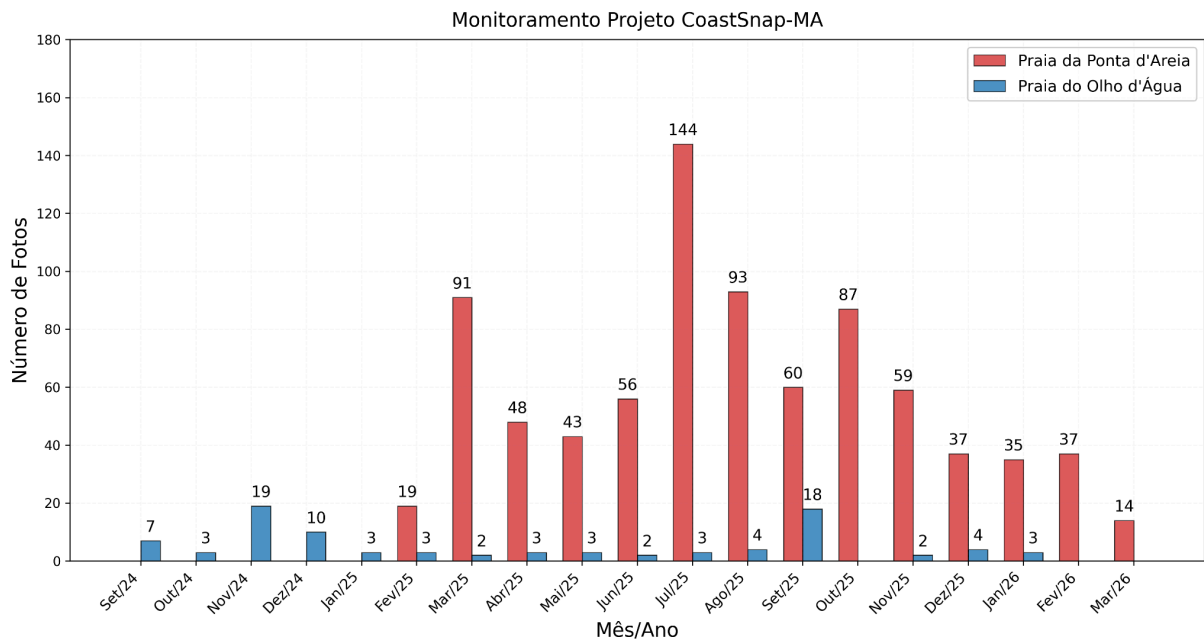


Figura 4. Série temporal do número mensal de imagens coletadas pelo projeto *CoastSnap* nas praias da Ponta d'Areia e do Olho d'Água, em São Luís (MA), entre setembro de 2024 e março de 2026.

3.2 Origem geográfica dos participantes

A análise da origem geográfica dos 1.198 participantes do projeto *CoastSnap-MA* revelou a presença de contribuições de 26 estados brasileiros, além do Distrito Federal, e de 10 países. O estado do Maranhão registrou 615 participantes, representando 52,1% do total. São Paulo contribuiu com 146 participantes (12,4%), Pará com 86 (7,3%), Rio de Janeiro com 53 (4,5%) e Distrito Federal com 33 (2,8%). Os demais 22 estados somaram 283 participantes (23,7%) (Tabela 2).

Tabela 2. Distribuição de participantes por estado (Brasil).

Estado	Participantes	%
MA	615	52,10%
SP	146	12,40%
PA	86	7,30%
RJ	53	4,50%
DF	33	2,80%
MG	31	2,60%
PI	30	2,50%
PR	26	2,20%
RS	25	2,10%
CE	20	1,70%
BA	19	1,60%

SC	16	1,40%
GO	15	1,30%
PE	11	0,90%
TO	8	0,70%
AM	8	0,70%
MS	7	0,60%
MT	7	0,60%
ES	6	0,50%
PB	4	0,30%
RR	4	0,30%
SE	3	0,30%
AL	3	0,30%
RO	3	0,30%
AP	1	0,10%
RN	1	0,10%
TOTAL	1.183	100%

No que diz respeito à participação internacional, foram registradas 15 contribuições provenientes de 10 países. Os Estados Unidos contribuíram com 4 participantes, Itália e França com 2 participantes cada, e os demais países (Bélgica, Uruguai, Camarões, Peru, Áustria, Bolívia e Alemanha) com 1 participante cada (Fig. 5).

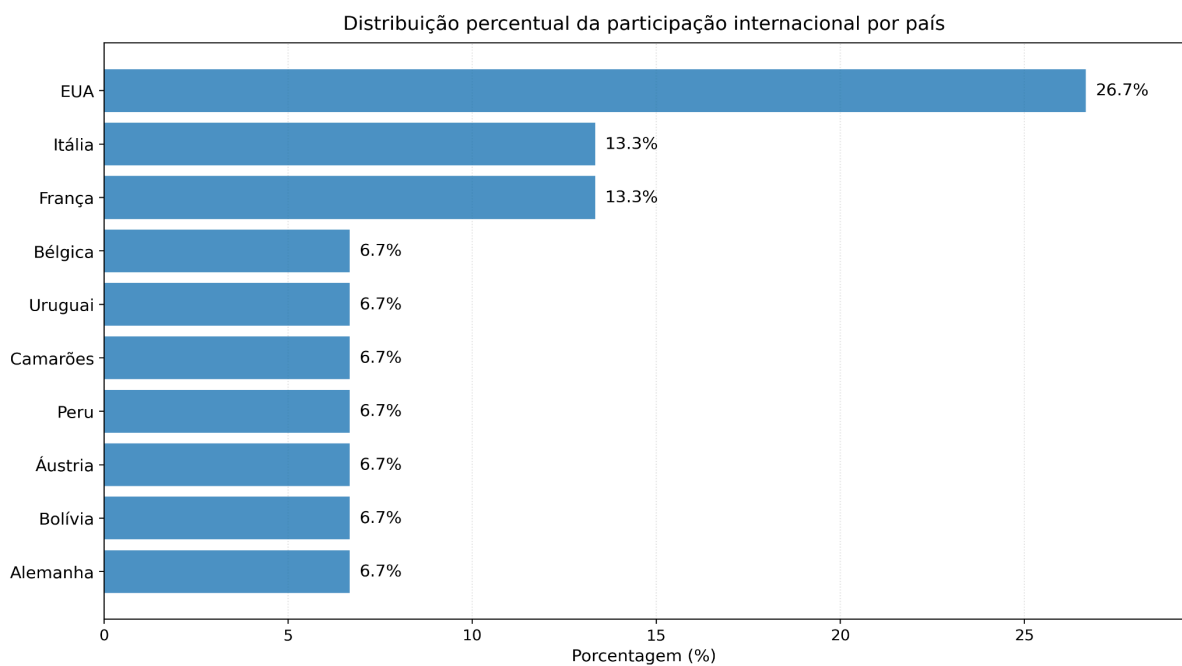


Figura 5. Distribuição de participantes internacionais.

3.3 Engajamento social e alcance digital do *CoastSnap-MA*

A análise do alcance das publicações no *Instagram* demonstra que o projeto *CoastSnap-MA* apresenta forte capacidade de atingir novos públicos, com predominância de visualizações por não seguidores ao longo do período analisado. Em meses como janeiro e fevereiro de 2026, esse percentual atingiu cerca de 98%, evidenciando amplo alcance externo (Fig. 6).

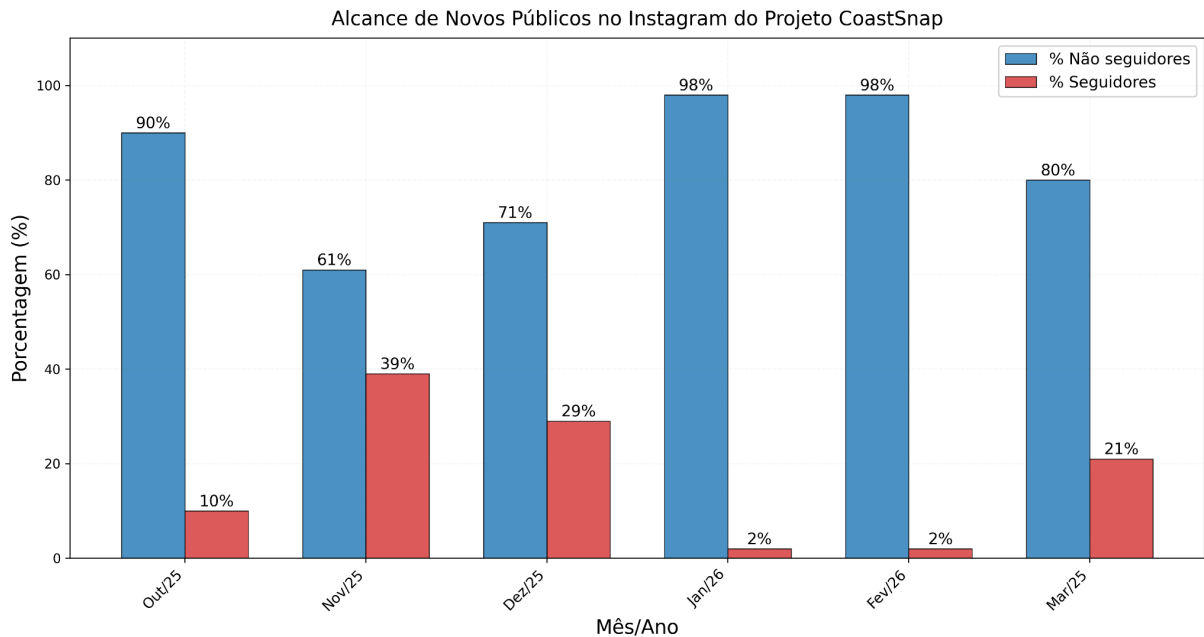


Figura 6. Alcance de novos públicos no Instagram do projeto *CoastSnap-MA* (percentual de seguidores e não seguidores).

Esse resultado indica o potencial do projeto como ferramenta de disseminação da ciência cidadã e educação ambiental, especialmente em áreas costeiras como São Luís. Ao alcançar usuários que ainda não acompanham o perfil, o *CoastSnap-MA* contribui para ampliar o conhecimento sobre processos costeiros e estimular a participação social. Por outro lado, a baixa proporção de seguidores revela a necessidade de estratégias voltadas à fidelização do público. Assim, embora o projeto apresenta elevado alcance, torna-se fundamental fortalecer o engajamento contínuo, visando consolidar a participação da comunidade no monitoramento costeiro.

A análise das interações das publicações no Instagram do projeto *CoastSnap-MA* evidencia um crescimento gradual no engajamento ao longo do período analisado (Fig 8). Nos primeiros meses, observa-se baixo nível de interação, com predominância de curtidas e pouca participação por meio de comentários e compartilhamentos, indicando uma fase inicial de consolidação do perfil (Fig. 7).

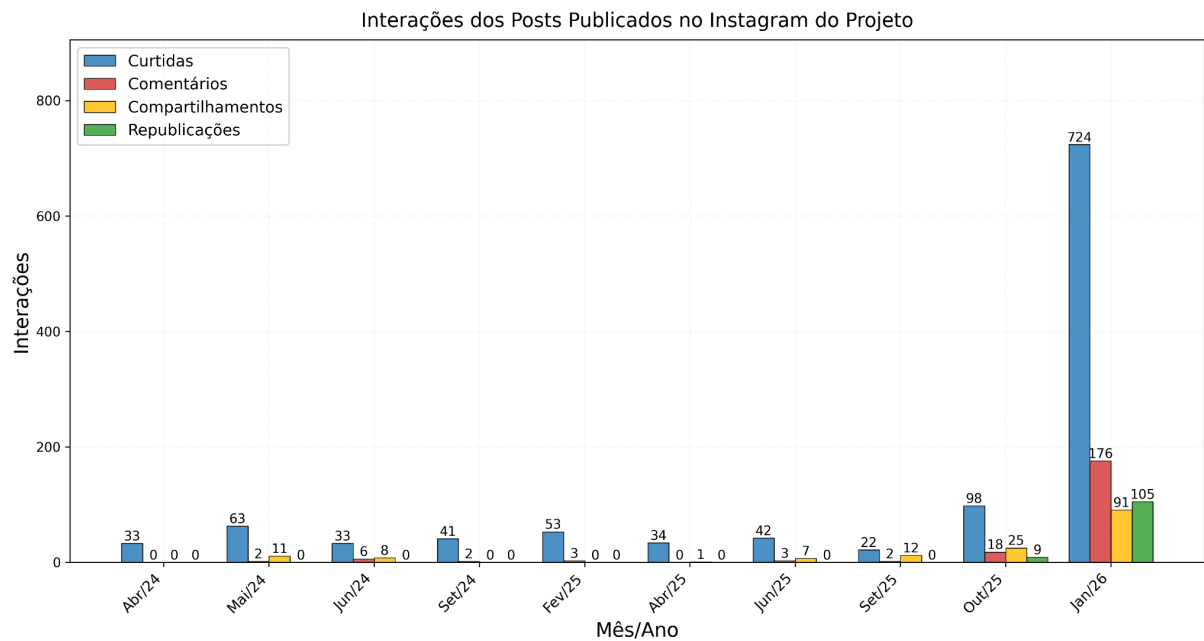


Figura 7. Engajamento das publicações no Instagram do projeto *CoastSnap-MA*.

A partir de 2025, verifica-se aumento progressivo nas interações, especialmente em comentários e compartilhamentos, o que demonstra maior envolvimento do público com o conteúdo. Esse comportamento indica uma transição de um público mais passivo para um público mais participativo, contribuindo para a ampliação do alcance das publicações. Destaca-se o mês de janeiro de 2026, que apresentou um crescimento expressivo em todas as métricas de engajamento. Esse aumento está diretamente relacionado à repercussão de um episódio de vandalismo envolvendo a retirada do totem do *CoastSnap-MA*, amplamente divulgado nas redes sociais. A situação gerou maior visibilidade e mobilização do público, refletindo no aumento significativo das interações.

Observa-se, uma variação significativa no número de visualizações das publicações ao longo do período analisado no Instagram do projeto *CoastSnap-MA*. A maioria dos meses apresenta valores moderados de alcance, com crescimento gradual ao longo do tempo (Fig. 8).

Destaca-se, entretanto, o mês de janeiro de 2026, que registrou um pico expressivo de 12.516 visualizações, valor significativamente superior aos demais períodos. Esse aumento atípico no alcance está associado à repercussão de um evento específico, relacionado ao vandalismo e retirada do totem do *CoastSnap-MA*. A situação gerou maior visibilidade nas redes sociais, especialmente a partir da divulgação de um vídeo produzido pela ASBOA, evidenciando as condições em que a estrutura foi deixada.

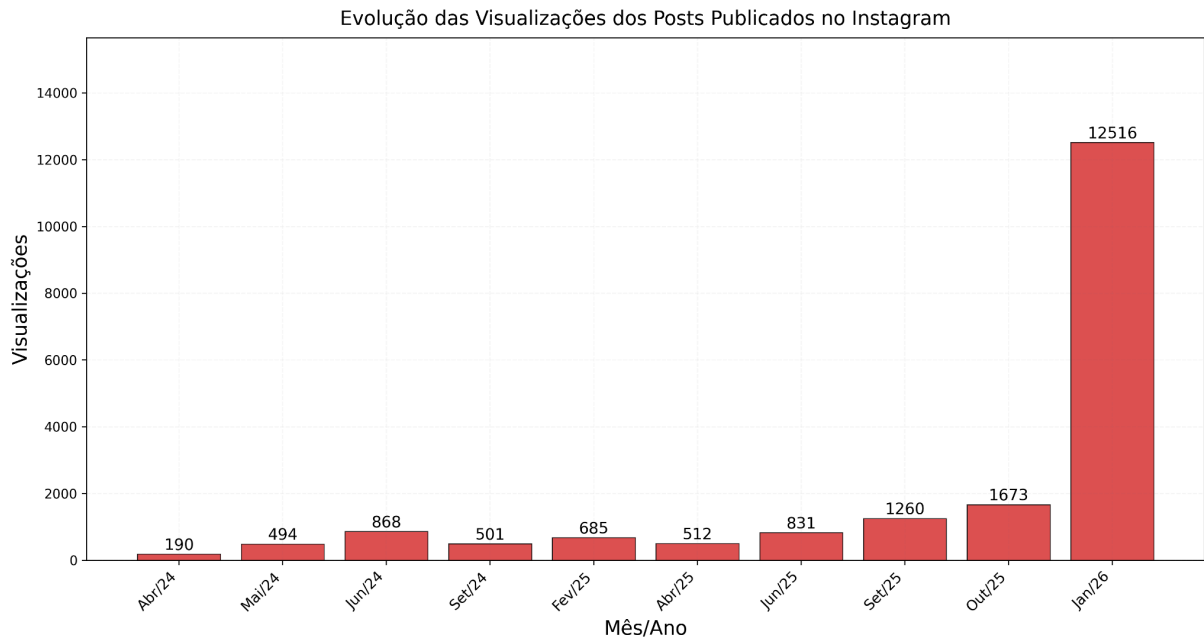


Figura 8. Evolução das visualizações das publicações no Instagram do projeto *CoastSnap* (2024–2026)

Esse episódio demonstra como eventos pontuais, sobretudo aqueles de caráter negativo ou de impacto social, podem influenciar diretamente o alcance das publicações, ampliando a visibilidade do projeto. Ao mesmo tempo, evidencia o potencial das redes sociais como ferramenta de denúncia, sensibilização e mobilização da comunidade em relação à conservação de equipamentos e iniciativas de monitoramento ambiental.

4. Discussão

4.1 Participação e engajamento no monitoramento costeiro participativo

A expressiva diferença no volume de imagens entre a praia da Ponta d'Areia (823 fotos) e a praia do Olho d'Água (89 fotos) pode ser atribuída a múltiplos fatores que envolvem características urbanas, infraestrutura, perfil de frequentadores, dinâmicas de uso do espaço costeiro e, no caso específico da praia do Olho d'Água, um evento externo que impactou diretamente a coleta de dados. Esse padrão de desigualdade na participação também é observado em aplicações internacionais do *CoastSnap*, nas quais a participação frequentemente é associada a áreas mais acessíveis e com maior fluxo de usuários, refletindo condicionantes logísticos e padrões de uso do espaço (Harley *et al.*, 2019; Harley & Kinsela, 2022). No entanto, embora essa relação seja amplamente documentada, ela levanta uma questão central: até que ponto o engajamento em projetos de ciência cidadã reflete efetivamente o interesse público, ou simplesmente reproduz desigualdades pré-existentes de acesso e uso do espaço costeiro? Nesse sentido, os dados obtidos sugerem que o

CoastSnap-MA não apenas capta a dinâmica costeira, mas também espelha a própria organização socioespacial da cidade.

A praia da Ponta d'Areia está localizada em uma área altamente urbanizada da orla de São Luís, especificamente num espigão costeiro, que funciona como um ponto de convergência para moradores e turistas. Este local concentra uma série de atrativos, como quiosques, bares, restaurantes, ciclovias, calçadão para caminhadas e mirantes, o que garante fluxo constante de pessoas ao longo de todo o dia e se estende durante a noite, especialmente nos finais de semana. A infraestrutura de iluminação pública adequada e a percepção de segurança no local são fatores que incentivam a permanência noturna e, conseqüentemente, a possibilidade de registros fotográficos neste período. Além disso, a estação da Ponta d'Areia está posicionada em um ponto estratégico com visada privilegiada da linha de costa, o que pode ter estimulado os frequentadores a registrar e compartilhar imagens de paisagens, pôr do sol e momentos de lazer, mesmo sem conhecimento prévio do projeto.

O maior número de fotos na Ponta d'Areia corrobora os estudos de Harley *et al.* (2019), onde estações localizadas em mirantes de fácil acesso e alto fluxo turístico geraram volumes de dados significativamente maiores. No Brasil, resultados semelhantes foram observados por Lins-de-Barros *et al.* (2023), destacando o potencial dos monitoramentos participativos, como o *CoastSnap*, na geração de dados em áreas costeiras com maior uso público e interação sociedade-ambiente. Entretanto, embora esses resultados confirmem a eficiência do método em contextos favoráveis, eles também revelam uma limitação estrutural importante, marcada pela super-representação de áreas turísticas e urbanizadas em detrimento de ambientes menos frequentados, o que pode comprometer a representatividade espacial da base de dados.

De maneira oposta, a praia do Olho d'Água apresenta características distintas. Embora também seja uma praia oceânica frequentada por banhistas e surfistas, seu entorno é predominantemente residencial, com menor presença de estruturas voltadas ao lazer e à permanência, como bares, quiosques e áreas de convivência. Essa configuração tende a reduzir o fluxo contínuo de usuários, especialmente no período noturno. A menor intensidade e cobertura da iluminação pública nas proximidades da estação podem desestimular a frequência noturna e, por consequência, a captura de imagens após o pôr do sol.

A parceria com a Associação de *Surf e Bodyboard* do Olho d'Água (Asboa) representa um importante diferencial para esta praia, pois mobiliza uma comunidade específica e engajada com a causa ambiental e esportiva. No entanto, o volume de 89 imagens

exclusivamente diurnas sugere que este engajamento, embora valioso, ainda não se traduziu em participação massiva. É possível que a estação esteja posicionada em um ponto de fluxo mais restrito, ou que a divulgação direcionada à comunidade de surfistas não tenha alcançado outros segmentos de frequentadores da praia, como famílias e turistas. Esse resultado assemelha-se a estudos que apontam que iniciativas baseadas em nichos específicos tendem a gerar dados mais consistentes, porém menos volumosos, indicando um trade-off entre quantidade e qualidade das contribuições (Mckinley *et al.*, 2017).

Outro aspecto a considerar é a sazonalidade e os horários de prática do surfe, atividade que concentra os frequentadores nos períodos da manhã e final da tarde, mas não necessariamente estimula o registro fotográfico sistemático para fins de monitoramento. A ausência de registros noturnos também pode refletir o perfil de uso predominantemente diurno da praia, associado a atividades como banho de mar, caminhadas e esportes aquáticos.

É fundamental destacar um fator externo que impactou significativamente a coleta de dados na praia do Olho d'Água: durante o período de pré-carnaval, a estação de monitoramento foi retirada do local por uma empresa prestadora de serviços, caracterizando-se como um ato de vandalismo ou remoção não autorizada. Este episódio ocorreu apesar de a estação possuir toda a documentação e autorização legal para operar na praia, concedida pela Secretaria do Patrimônio da União (SPU).

A remoção da estação interrompeu a coleta de imagens neste ponto, o que certamente contribuiu para o volume reduzido de contribuições em comparação com a praia da Ponta d'Areia. A não reinstalação da estação ao longo do período de monitoramento reforça os desafios operacionais associados à manutenção desse tipo de metodologia. Este tipo de ocorrência evidencia a vulnerabilidade de estruturas de monitoramento participativo instaladas em espaços públicos, um desafio também reconhecido em iniciativas como o *CoastSnap*, que apontam o vandalismo como um fator recorrente e a necessidade de manutenção contínua das estações (Harley & Kinsela, 2022). Além disso, esse episódio destaca uma limitação importante, relacionada à dependência de infraestrutura física exposta, que pode comprometer a continuidade das séries temporais e a confiabilidade dos dados a longo prazo.

A análise das métricas de engajamento no Instagram do projeto *CoastSnap*-MA revela uma evolução do envolvimento do público ao longo do período, caracterizada pela transição de interações predominantemente passivas, como curtidas, para formas mais ativas, como comentários e compartilhamentos. Esse padrão sugere um processo gradual de consolidação do perfil junto aos usuários, indicando que o conteúdo publicado passou a gerar maior

interesse e participação ao longo do tempo. Destaca-se o pico de engajamento observado em janeiro de 2026, que reforça o papel de eventos pontuais na ampliação do engajamento, especialmente quando associados a situações de impacto social, como o episódio de vandalismo envolvendo o totem. Nesse contexto, as redes sociais demonstram não apenas capacidade de difusão, mas também de mobilização e sensibilização pública, contribuindo para ampliar a visibilidade do projeto e potencializar o envolvimento da comunidade com iniciativas de monitoramento costeiro participativo.

4.2 Fatores explicativos para a distribuição geográfica dos participantes

A predominância de participantes do Maranhão (52,1%) era esperada e reflete o êxito das estratégias de divulgação local, incluindo a parceria com a Universidade Federal do Maranhão (UFMA), a mobilização em redes sociais regionais e a instalação física das estações em praias de grande circulação na capital. Este resultado demonstra que o projeto conseguiu cumprir um de seus objetivos principais: engajar a comunidade local no monitoramento costeiro participativo. Esse padrão também é consistente com a literatura de ciência cidadã, na qual a participação tende a ser predominantemente local, devido à proximidade geográfica com as áreas monitoradas (Dickinson *et al.*, 2010; Newman *et al.*, 2017).

A expressiva participação de outros estados, com destaque para São Paulo (12,4%), Pará (7,3%) e Rio de Janeiro (4,5%), pode ser explicada por diferentes meios, como o fluxo turístico. São Luís é um destino turístico relevante no nordeste brasileiro, atraindo visitantes de diversas regiões do país. Turistas de São Paulo, Pará e Rio de Janeiro, ao visitarem as praias da Ponta d'Areia e Olho d'Água, podem ter utilizado as estações e compartilhado imagens, contribuindo para a diversidade geográfica dos dados; o interesse científico compõe outro fator, uma vez que participantes do Distrito Federal e Minas Gerais e outros estados com tradição em pesquisa oceanográfica e costeira podem estar associados ao interesse de estudantes, pesquisadores e profissionais da área em conhecer e apoiar iniciativas de ciência cidadã. Esse comportamento também é observado em outros estudos, nos quais a participação pode ser ampliada por fluxos de visitantes e redes de divulgação científica (Mckinley *et al.*, 2017).

A presença de participantes de 26 estados, incluindo todas as regiões brasileiras, demonstra que o *CoastSnap*-MA transcendeu os limites locais e alcançou projeção nacional, ainda que a participação fora do Maranhão seja majoritariamente de turistas ou visitantes eventuais.

Quanto à participação internacional, ainda que modesta (15 participantes de 10 países, representando 1,25% do total), ela é qualitativamente relevante por indicar o potencial de visibilidade global do projeto. Os Estados Unidos lideram com 4 participantes (26,7% das contribuições internacionais), o que pode estar relacionado à presença de pesquisadores brasileiros em universidades americanas, ou de turistas norte-americanos visitando São Luís. A participação de países europeus (Itália, França, Bélgica, Áustria, Alemanha) e sul-americanos (Uruguai, Peru, Bolívia) sugere que o projeto alcançou diferentes continentes, ainda que em escala reduzida.

4.3 Implicações dos resultados para o monitoramento costeiro participativo

Os resultados obtidos reforçam a importância do planejamento cuidadoso da localização das estações de monitoramento participativo. A diferença de quase dez vezes no volume de imagens entre as duas praias evidencia que estações instaladas em áreas de alto fluxo de pessoas, com infraestrutura urbana consolidada e boa visada da linha de costa, tendem a gerar muito mais participação do que estações em áreas de menor circulação, ainda que contem com parcerias locais importantes. Esse padrão é consistente com estudos internacionais do *CoastSnap*, nos quais o engajamento está associado à acessibilidade e ao uso recreativo das praias (Harley *et al.*, 2019; Harley & Kinsela, 2022), além de aplicações brasileiras que reforçam o papel das condições locais no engajamento (Lins-de-Barros *et al.*, 2023).

Essa constatação não implica que a estação da praia do Olho d'Água deva ser desativada ou realocada, mas sugere a necessidade de estratégias complementares para este contexto. Enquanto a praia da Ponta d'Areia se beneficia do grande volume de frequentadores, o Olho d'Água apresenta potencial para engajamento de nichos específicos, como a comunidade de surfistas mobilizada pela Asboa, que podem produzir dados de alta qualidade e regularidade, ainda que em menor quantidade. Esse cenário revela também um desafio quanto ao horário das contribuições, visto que a ausência de registros noturnos no Olho d'Água e a baixa proporção na Ponta d'Areia (8,7%) sugerem que o monitoramento participativo ainda é predominantemente diurno, o que pode introduzir vieses nos dados.

A distribuição geográfica dos participantes, com forte componente local mas alcance nacional e internacional, demonstra que projetos de ciência cidadã bem divulgados podem transcender suas fronteiras geográficas imediatas e contribuir para a conscientização ambiental em escala mais ampla. Esse comportamento também é amplamente descrito na literatura de ciência cidadã, na qual a participação tende a ser local, mas com potencial de

expansão por redes sociais e turismo (Dickinson *et al.*, 2010; Newman *et al.*, 2017). Adicionalmente, essa conjuntura indica que o engajamento não é linear, mas fortemente influenciado por eventos pontuais, sugerindo que estratégias de comunicação podem desempenhar papel tão relevante quanto, ou até superior, à infraestrutura física na sustentação desses projetos de ciência cidadã.

5. Conclusão

A experiência do projeto *CoastSnap*-MA no monitoramento costeiro participativo das praias da Ponta d'Areia e Olho d'Água, em São Luís do Maranhão, evidenciou aspectos centrais do engajamento comunitário, dos desafios operacionais e do papel da ciência cidadã como ferramenta de apoio à gestão costeira.

A análise das 912 imagens coletadas, provenientes de 1.198 participantes distribuídos por 26 estados brasileiros e 10 países, demonstra a capacidade do projeto de mobilizar a comunidade local e alcançar visibilidade em diferentes escalas. A predominância de participantes maranhenses (52,1%) confirma a eficácia das estratégias de divulgação regional e das parcerias institucionais, especialmente com a Universidade Federal do Maranhão (UFMA), enquanto a participação de outros estados reflete a influência do turismo e das redes sociais na ampliação do alcance da iniciativa. A contribuição internacional, ainda que reduzida, indica potencial de projeção global.

As diferenças no volume de imagens entre as duas praias definem diretrizes claras para a implantação de estações. A praia da Ponta d'Areia consolida-se como ambiente favorável ao monitoramento participativo, em função do alto fluxo de pessoas, da infraestrutura urbana e da visada da linha de costa. Contudo, a praia do Olho d'Água evidencia limitações associadas ao contexto residencial, à menor infraestrutura e à interrupção da coleta decorrente da remoção não autorizada da estação, o que comprometeu a continuidade dos dados.

A vulnerabilidade da estação do Olho d'Água evidencia um ponto crítico do método: a dependência de infraestrutura física exposta. Esse fator compromete a continuidade das séries temporais e exige estratégias de proteção institucional, comunicação pública e articulação com atores locais.

A parceria com a Associação de Surf e Bodyboard do Olho d'Água (Asboa) demonstra o potencial de engajamento por nichos específicos. No entanto, os resultados indicam que esse tipo de mobilização tende a gerar contribuições mais consistentes, porém em menor volume, reforçando a necessidade de estratégias complementares para ampliar a participação.

Os resultados indicam que a efetividade do monitoramento participativo está diretamente condicionada a fatores socioespaciais, especialmente ao padrão de uso e acessibilidade das praias. Estações em áreas de alto fluxo geram maior volume de dados, enquanto contextos menos dinâmicos exigem abordagens direcionadas.

Uma limitação do estudo é a ausência de informações detalhadas sobre o perfil e as motivações dos participantes. A incorporação de instrumentos como questionários e entrevistas pode aprofundar a compreensão do engajamento e contribuir para o aprimoramento do projeto.

O *CoastSnap*-MA confirma o potencial da ciência cidadã como ferramenta complementar ao monitoramento e à gestão costeira, ampliando a coleta de dados e incorporando a participação pública. Entretanto, os resultados evidenciam que essa abordagem não é neutra: a distribuição das contribuições reflete padrões de uso e acesso ao espaço costeiro, podendo introduzir vieses na base de dados. Assim, sua aplicação requer interpretação crítica e planejamento espacial das estações. Ao integrar monitoramento ambiental e engajamento social, o projeto contribui para os ODS 11, 13 e 14. Dessa forma, a efetividade dessas iniciativas depende da articulação entre infraestrutura, estratégias de comunicação e contexto socioespacial, oferecendo subsídios objetivos para o aprimoramento da gestão costeira participativa.

6. Referências

- BARNARD, P. L.; SHORT, A. D.; HARLEY, M. D.; SPLINTER, K. D.; VITOUSEK, S.; TURNER, I. L.; ALLAN, J.; BANNO, M.; BRYAN, K. R.; DORIA, A.; HANSEN, J. E.; KATO, S.; KURIYAMA, Y.; RANDALL-GOODWIN, E.; RUGGIERO, P.; WALKER, I. J.; HEATHFIELD, D. K. Coastal vulnerability across the Pacific dominated by El Niño/Southern Oscillation. **Nature Geoscience**, v. 8, n. 10, p. 801–807, 2015.
- BARRETO, H. N.; PARISE, C. K.; ALMEIDA JR, E. B. The Cocais Forest Landscape. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. (eds.). **The Physical Geography of Brazil**. [S.l.]: Springer, 2018. p. 1-17.
- BAYAS, J. C. L.; SEE, L.; FRITZ, S.; STURN, T.; PERGER, C.; DÜRAUER, M.; KARNER, M.; MOORTHY, I.; SCHEPASCHENKO, D.; DOMIAN, D.; MCCALLUM, I. Crowdsourcing in-situ data on land cover and land use using gamification and mobile technology. **Remote Sensing**, v. 8, n. 11, p. 905, 2016.
- BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua das Marés para o Porto de Suape (Estado de Pernambuco)**. 2004. Disponível em: <http://www.dhn.mar.mil.br>. Acesso em: 3 maio 2025.
- BURTON, C.; MITCHELL, J. T.; CUTTER, S. L. Evaluating post-Katrina recovery in Mississippi using repeat photography. **Disasters**, v. 35, n. 3, p. 488-509, 2011.
- CALLON, M. The role of lay people in the production and dissemination of scientific knowledge. **Science, Technology & Society**, v. 4, n. 1, p. 81-94, 1999.
- CONRAD, C.; HILCHEY, K. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 176, p. 273-291, 2011.
- DICKINSON, J. L.; ZUCKERBERG, B.; BONTER, D. N. Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 41, p. 149-172, 2010.
- DOLAN, R.; FENSTER, M. S.; HOLME, S. J. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. **Journal of Coastal Research**, v. 6, n. 3, p. 723–744, 1990.
- DROEGE, S. Using iPhones, Photo-Stitching, Time Lapse. **Monitorchange.org**. 2013. Disponível em: <http://monitorchange.org>.
- EL-ROBRINI, M.; MARQUES, M.; SILVA, M. A. M. A.; EL-ROBRINI, M. H. S.; FEITOSA, A. C.; TAROUÇO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S.; VIANA, R. J. Maranhão. In: MUEHE, D. (ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 87-130.

FIORINO, D. J. Citizen participation and environmental risk: A survey of institutional mechanisms. **Science, Technology, & Human Values**, v. 15, n. 2, p. 226-243, 1990.

FONSTAD, M. A.; DIETRICH, J. T.; COURVILLE, B. C.; JENSEN, J. L.; CARBONNEAU, P. E. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 38, n. 4, p. 421-430, 2013.

FURTADO, T. M. S.; BARBOSA, W. L.; ROCHA, A. V. O.; MACHADO, A. M. B.; PARISE, C. K. Avaliação do Regime de Precipitação no Estado do Maranhão em Resposta a um Extremo Positivo no Campo de Gelo Marinho Antártico. In: NOBRE, C. P.; OLIVEIRA, A. C. S. (eds.). **Estudos Ambientais e Agrônômicos: Resultados para o Brasil**. [S.l.]: Editora Pascal, 2020. v. 3, p. 24.

FURTADO, T. M. S.; ASSAD, L. P. F.; PARISE, C. K.; VASCONCELLOS, F. C.; SANCHO, L.; CARPENEDO, C. B.; BARBOSA, W. L.; SOARES, L. A. M. Variability of the Atlantic Niño: Impacts on precipitation in the state of Maranhão, Brazil. **Atmosfera**, v. 39, p. 225-246, 2025.

HARLEY, M. D.; TURNER, I. L.; SHORT, A. D.; RANASINGHE, R. Extreme coastal erosion enhanced by anomalous extratropical storm wave direction. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 6033, 2017.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, E.; VOS, K. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. **Coastal Engineering**, v. 150, p. 175-189, 2019.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A. CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. **Continental Shelf Research**, v. 245, 104796, 2022.

HOLLAND, K. T.; HOLMAN, R.; LIPPMANN, T.; STANLEY, J.; PLANT, N. Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 22, n. 1, p. 81-92, 1997.

LIMA, L. G.; ALBUQUERQUE, S. S.; CERVEIRA, G. S.; PARISE, C. K.; FERREIRA, M. S.; FRANCO, B. J. Estratigrafia e evolução de um esporão arenoso em ambiente de macromaré: Ponta d'Areia - São Luís - Maranhão - Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 39, p. 997-1008, 2020.

LIMA, L. G.; FERREIRA, M. S.; FRANCO, B. J.; PARISE, C. K.; SANTOS, J. H. S. Morfodinâmica da Praia da Ponta da Areia: considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. **Geociências**, v. 41, n. 2, p. 503-515, 2022.

LINS-DE-BARROS, F. M.; FRANCISCO, A. B. P.; SILVA, L. C. B.; RIBEIRO, P. R. M.; MILCZEWSKI, R. S.; SOUSA, R. E. J. Contribuições de monitoramentos participativos de praias arenosas para a gestão costeira integrada a partir do Projeto Mar à Vista (UFRJ) e da

metodologia CoastSnap. **Costas**, v. 4, n. 1, p. 117–148, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.25267/Costas.2023.v.3.i2.07>.

LIST, J. H.; FARRIS, A. S.; SULLIVAN, C. Reversing storm hotspots on sandy beaches: Spatial and temporal characteristics. **Marine Geology**, v. 226, n. 3-4, p. 261-279, 2006.

MASSELINK, G.; HUGHES, M. G. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. London: Hodder Arnold, 2003.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 3, p. 785-800, 1993.

MASSELINK, G.; CASTELLE, B.; SCOTT, T.; DODET, G.; SUANEZ, S.; JACKSON, D.; FLOC'H, F. Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 5, p. 2135-2143, 2016.

MCKINLEY, D. C.; MILLER-RUSHING, A. J.; BALLARD, H. L.; BONNEY, R.; BROWN, H.; COOK-PATTON, S. C.; EVANS, D. M.; FRENCH, R. A.; PARRISH, J. K.; PHILLIPS, T. B.; RYAN, S. F.; SOUKUP, M. A. Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. **Biological Conservation**, v. 208, p. 15-28, 2017.

MUEHE, D. (org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

NEWMAN, G.; CHANDLER, M.; CLYDE, M.; MCGREAVY, B.; HAKLAY, M.; BALLARD, H.; GRAY, S.; SCARPINO, R.; HAUPTFELD, R.; MELLOR, D.; GALLO, J. Leveraging the power of place in citizen science for effective conservation decision making. **Biological Conservation**, v. 208, p. 55-64, 2017.

NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-level rise and its impact on coastal zones. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, 2010.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989.

O'CONNOR, P. J.; BOND, A. J. Maximizing the effectiveness of photopoint monitoring for ecological management and restoration. **Ecological Management & Restoration**, v. 8, n. 3, p. 228-234, 2007.

PEREIRA, D. M.; BARBOSA, L. F.; SILVA, M. H.; SANTOS, J. H. S. Avaliação Preliminar da Proveniência Sedimentar das Praias Oceânicas da Marcela, Ponta do Farol e Ponta D'Areia de São Luís/MA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA**, 2014, Itajaí. Anais... Itajaí: Associação Brasileira de Oceanografia, 2014.

REIS, B. L. R.; PARISE, C. K.; CORREIA, G. S.; LIMA, L. G.; PEROTTO, H.; BOSE, N. A.; MENDONÇA, L. F. F. The bimodal regime of ocean waves and winds over the continental shelf of Maranhão. **Ocean & Coastal Management**, 2024.

RIBEIRO, V.; PINTO, M. A. S.; MESQUITA, R. K. B.; MOREIRA, L. B.; COSTA, M. F.; CASTRO, I. B. Marine litter on a highly urbanized beach at Southeast Brazil: A contribution to the development of litter monitoring programs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 163, 111978, 2021.

SCOTT, S. L.; VENTER, Z. S.; PETERSEN, H.; JACK, S. L.; NAVARRO, R. A.; HOFFMAN, M. T. Documenting changing landscapes with rePhotoSA: A repeat photography and citizen science project in southern Africa. **Ecological Informatics**, v. 64, 101390, 2021.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.

SHORT, A. D.; TREMBANIS, A. C.; TURNER, I. L. Beach oscillations, rotation and the Southern Oscillation, Narrabeen Beach, Australia. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING**, 27., 2000. Proceedings... [S.l.: s.n.], 2000. p. 2439-2452.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SMITH, G.; ZARILLO, G. Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques. **Journal of Coastal Research**, v. 6, n. 3, p. 502-513, 1990.

SOARES, L. A. M.; PARISE, C. K.; MACHADO, A. M. B.; CARPENEDO, C. B.; FURTADO, T. M. S.; BARRETO, H. N.; LIMA, L. G.; SOUSA, H. L. S. Influences of strong and moderate ENSO events on the Maranhão precipitation from the western equatorial Atlantic SST anomalies. **Ocean and Coastal Research**, v. 71, e23043, 2023.

SOPKIN, K. L.; STOCKDON, H. F.; DORAN, K. S.; PLANT, N. G.; MORGAN, K. L. M.; GUY, K. K.; SERAFIN, K. A. **Hurricane Sandy**: Observations and analysis of coastal change. Reston: U.S. Geological Survey, 2014. (Open-File Report 2014-1088).

THOM, B. G.; HALL, W. Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 16, n. 4, p. 113-127, 1991.

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; SHORT, A. D. A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia. **Scientific Data**, v. 3, n. 1, 160024, 2016.

VOUSDOUKAS, M. I.; RANASINGHE, R.; MENTASCHI, L.; VOS, K.; MICHAILEDIS, P.; CORTESSO, R.; GIACOMO, G.; FEYEN, L. Sandy coastlines under threat of erosion. **Nature Climate Change**, v. 10, n. 3, p. 260-263, 2020.

WESTOBY, M. J.; BRASINGTON, J.; GLASSER, N. F.; HAMBREY, M. J.; REYNOLDS, J. M. 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, 2012.

ZIER, J. L.; BAKER, W. L. A century of vegetation changes in the San Juan Mountains, Colorado: An analysis using repeat photography. **Forest Ecology and Management**, v. 228, n. 1-3, p. 251-262, 2006.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS DA DISSERTAÇÃO

A presente pesquisa permitiu compreender a complexa dinâmica morfodinâmica das praias de macromaré de São Luís (MA), validando a hipótese de que a interação entre o regime de marés de alta amplitude (até 6,5 m) e a variabilidade sazonal das ondas governa o balanço sedimentar da região. A abordagem integrada, unindo geotecnologias de alta precisão e ciência cidadã, revelou-se uma estratégia eficaz para superar lacunas de dados em ambientes costeiros dinâmicos.

Os levantamentos topográficos e os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) demonstraram que a Praia do Olho d'Água apresenta uma sensibilidade morfológica distinta entre os setores. O Setor 3 (zona de intermaré média) foi identificado como o mais vulnerável, apresentando variações altimétricas de até 0,5 m, majoritariamente associadas à formação e migração de calhas de maré. Observou-se um nítido controle sazonal: enquanto o período chuvoso favorece perfis mais suaves e processos de redistribuição sedimentar, o período de estiagem (marcado pela intensificação de ventos e ondas) potencializa processos erosivos e a alternância entre os estágios *low tide bar/rip* e estágios mais dissipativos.

No âmbito tecnológico, o uso da fotogrametria com drones consolidou-se como uma ferramenta de alta acurácia (3,8 cm/pixel), essencial para o cálculo preciso do balanço sedimentar e para a identificação de feições morfológicas que métodos tradicionais poderiam omitir. Complementarmente, a modelagem numérica com o SWAN permitiu correlacionar as mudanças observadas no terreno com as forçantes hidrodinâmicas, destacando o papel dos *swells* do Atlântico Norte na erosão durante o segundo semestre.

Quanto à ciência cidadã, o projeto *CoastSnap*-MA provou ser uma ferramenta de governança participativa sem precedentes para a orla ludovicense. Embora existam limitações inerentes à precisão altimétrica em ambientes de macromaré devido à variação do nível d'água no momento da captura, o engajamento de mais de 1.100 participantes demonstra o elevado potencial da metodologia para a difusão da cultura oceânica e o monitoramento contínuo da linha de costa.

Conclui-se que o monitoramento integrado fornece subsídios técnicos robustos para o planejamento costeiro e a mitigação de riscos diante do cenário de mudanças climáticas. Recomenda-se, para estudos futuros, a integração de algoritmos de inteligência artificial para o processamento automatizado das imagens de ciência cidadã, bem como a expansão da rede de estações *CoastSnap* para outros setores críticos do litoral maranhense, fortalecendo a resiliência das comunidades e ecossistemas costeiros.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIER, E. B. *et al.* The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological Monographs**, [s. l.], v. 81, n. 2, p. 169-193, 2011.
- BARRETO, H. N.; PARISE, C. K.; ALMEIDA JR, E. B. The Cocais Forest Landscape. *In*: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. (ed.). **The Physical Geography of Brazil**. [S. l.]: Springer, 2018. p. 1-17.
- BAYAS, J. C. L. *et al.* Crowdsourcing in-situ data on land cover and land use using gamification and mobile technology. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 905, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8110905>.
- BURTON, C.; MITCHELL, J. T.; CUTTER, S. L. Evaluating post-Katrina recovery in Mississippi using repeat photography. **Disasters**, [s. l.], v. 35, n. 3, p. 488-509, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2010.01227.x>.
- CALLON, M. The role of lay people in the production and dissemination of scientific knowledge. **Science, Technology & Society**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 81-94, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/09717218990040010>.
- CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. (ed.). **Coastal evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- CONRAD, C.; HILCHEY, K. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s. l.], v. 176, p. 273-291, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1582-5>.
- CRAMER, M. Geometry Perfect - Radiometry Unknown? *In*: **Photogrammetric Week 2011**. [S. l.]: Wichmann Verlag, 2011. p. 65-77.
- DAVIS JR, R. A.; FITZGERALD, D. M. **Beaches and Coasts**. Oxford: Blackwell Publishing, 2004.
- DICKINSON, J. L.; ZUCKERBERG, B.; BONTER, D. N. Citizen science as an ecological research tool: Challenges and benefits. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [s. l.], v. 41, p. 149-172, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>.
- DRITSAS, S. E. The effect of sea level rise on coastal populations: The case of the Gironde (Estuaries of Gironde). **Economic Analysis and Policy**, [s. l.], v. 66, p. 41-50, 2020.
- DROEGE, S. **Using iPhones, Photo-Stitching, Time Lapse**. Monitorchange.org, 2013. Disponível em: <http://monitorchange.org>. Acesso em: 14 abr. 2026.
- EL-ROBRINI, M. *et al.* Maranhão. *In*: MUEHE, D. (ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. p. 87-130.

FEITOSA, A. C. **Contribuição ao estudo da evolução geomorfológica da Ilha do Maranhão**. 1989. Tese (Doutorado em Geografia) – IGCE, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1989.

FEITOSA, A. C. Dinâmica dos processos geomorfológicos da área costeira do Município de São Luís-MA. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 14, p. 101-114, 1997.

FEITOSA, A. C.; CHRISTOFOLETTI, A. C. F. E. A. Caracterização geomorfológica das praias do litoral norte do município de São Luís-MA. *In*: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5., 1993, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 1993. v. 1, p. 231-236.

FINKL, C. W. Coastal classification: systematic approaches to help understand the dynamics of coastal environments. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach, v. 20, n. 2, p. 524-550, 2004.

FLORIO, A. *et al.* UAV close-range photogrammetry for breakwater damage assessment in a Tyrrhenian coastal. **Coastal Engineering Journal**, [s. l.], v. 66, n. 2, p. 294-311, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21664250.2024.2308388>.

FONSTAD, M. A. *et al.* Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.], v. 38, n. 4, p. 421-430, 2013.

HAALA, N. Comeback of digital image matching. *In*: **Photogrammetric Week**. [S. l.]: Wichmann Verlag, 2009. p. 289-301.

HAALA, N.; ROTHERMEL, M. Dense Multi-Stereo Matching for High Quality Digital Elevation Models. **PFG Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation**, [s. l.], v. 4, p. 331-343, 2012.

HARLEY, M. D.; KINSELA, M. A. CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines. **Continental Shelf Research**, [s. l.], v. 245, 104796, 2022.

HARLEY, M. D. *et al.* Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. **Coastal Engineering**, [s. l.], v. 150, p. 175-189, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.04.003>.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

JONES, B.; O'NEIL, B. C. Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways. **Environmental Research Letters**, [s. l.], v. 11, n. 8, 084003, 2016.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

- LIMA, L. G. *et al.* Morfodinâmica da Praia da Ponta da Areia: considerações sobre a construção de um espigão costeiro em ambiente de macromaré. **Geociências**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 503-515, 2022.
- LUIJENDIJK, A. *et al.* The state of the world's beaches. **Scientific Reports**, [s. l.], v. 8, n. 1, 6641, 2018.
- MASSELINK, G.; HUGHES, M. G. **Introduction to coastal processes and geomorphology**. London: Hodder Arnold, 2003.
- MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 785-800, 1993.
- MCKINLEY, D. C. *et al.* Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 208, p. 15-28, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.
- MITASOVA, H. *et al.* Raster-based analysis of coastal terrain dynamics from multitemporal LIDAR data. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 25, n. 2, p. 507-514, 2009.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Brasília: MMA, 2008.
- MUEHE, D. (ed.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. **Quaternary and Environmental Geosciences**, [s. l.], v. 5, n. 2, 2014.
- NEUMANN, B. *et al.* Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-A global assessment. **PLOS ONE**, [s. l.], 2015.
- NEWMAN, G. *et al.* Leveraging the power of place in citizen science for effective conservation decision making. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 208, p. 55-64, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.07.019>.
- NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-level rise and its impact on coastal zones. **Science**, [s. l.], v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, 2010.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989.
- O'CONNOR, P. J.; BOND, A. J. Maximizing the effectiveness of photopoint monitoring for ecological management and restoration. **Ecological Management & Restoration**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 228-234, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2007.00373.x>.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 14 abr. 2026.

REIS, B. L. R. *et al.* The bimodal regime of ocean waves and winds over the continental shelf of Maranhão. **Ocean & Coastal Management**, [s. l.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103629>.

RIBEIRO, V. *et al.* Marine litter on a highly urbanized beach at Southeast Brazil: A contribution to the development of litter monitoring programs. **Marine Pollution Bulletin**, [s. l.], v. 163, 111978, 2021.

SALLENGER, A. H. *et al.* Evaluation of airborne topographic lidar for quantifying beach changes. **Journal of Coastal Research**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 125-133, 2003.

SANTOS, J. H. S. dos. **Introdução ao estudo geomorfológico da Praia da Ponta D'areia - São Marcos**. 1989. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 1989.

SANTOS, J. H. S. dos. **Análise por geoprocessamento da ocupação na franja costeira ao norte da cidade de São Luís - MA**. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

SCOTT, S. L. *et al.* Documenting changing landscapes with rePhotoSA: A repeat photography and citizen science project in southern Africa. **Ecological Informatics**, [s. l.], v. 64, 101390, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101390>.

SHEN, N. *et al.* A review of terrestrial laser scanning (TLS)-based technologies for deformation monitoring in engineering. **Measurement**, [s. l.], v. 223, 113684, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.113684>.

SHORT, A. D. (ed.). **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1999.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SOBRINHO, J. P. C. **Estudo morfodinâmico da Praia do Meio - São José de Ribamar-MA**. 2005. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2005.

SOUZA, C. R. de G. (ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005.

TAROUCO, J. E. F.; SANTOS, J. H. S. dos. Morfodinâmica da Praia do Araçagi. Paço do Lumiar-MA. *In: FÓRUM LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA FÍSICA APLICADA*, 1., 1997. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 1997. v. 1, p. 474-478.

THOM, B. G.; HALL, W. Behaviour of beach profiles during accretion and erosion dominated periods. **Earth Surface Processes and Landforms**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 113-127, 1991.

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; SHORT, A. D. A multi-decade dataset of monthly beach profile surveys and inshore wave forcing at Narrabeen, Australia. **Scientific Data**, [s. l.], v. 3, n. 1, 160024, 2016.

VIANA, J. R. **Estudo da morfodinâmica da Praia de São Marcos, São Luís - Maranhão**. 2000. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2000.

VOUSDOUKAS, M. I. *et al.* Sandy coastlines under threat of erosion. **Nature Climate Change**, [s. l.], v. 10, p. 260-263, 2020.

WESTOBY, M. J. *et al.* ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, [s. l.], v. 179, p. 300-314, 2012.

WHITE, S. A.; WANG, Y. Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 85, p. 39-47, 2003.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, [s. l.], v. 56, n. 1, p. 93-118, 1984.

ZIER, J. L.; BAKER, W. L. A century of vegetation changes in the San Juan Mountains, Colorado: An analysis using repeat photography. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 228, n. 1-3, p. 251-262, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.049>.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

Diretrizes da revista e comprovação de submissão do Artigo 1 “**Seasonal Morphodynamic Variability on Macrotidal Beaches through Integrated Monitoring with Geotechnologies and Citizen Science at Olho D’água Beach, São Luís-MA**” à **Ocean and Coastal Research (OCR)**.

Diretrizes para Autores

Os autores estão convidados a fazer uma submissão a esta revista. Todas as submissões serão avaliadas por um editor para determinar se atendem aos objetivos e escopo desta revista. Aqueles considerados adequados serão enviados para avaliação por pares antes de determinar se serão aceitos ou rejeitados.

Antes de fazer uma submissão, os autores são responsáveis por obter permissão para publicar qualquer material incluído na submissão, como fotos, documentos e conjuntos de dados. Todos os autores identificados na submissão devem consentir em ser identificados como autores. Onde apropriado, a pesquisa deve ser aprovada por um comitê de ética apropriado de acordo com os requisitos legais do país do estudo.

Um editor pode rejeitar uma submissão se ela não atender aos padrões mínimos de qualidade. Antes de submeter, certifique-se de que o desenho do estudo e o argumento da pesquisa estejam estruturados e articulados adequadamente. O título deve ser conciso e o resumo deve ser autossuficiente. Isso aumentará a probabilidade dos avaliadores concordarem em avaliar o artigo. Quando estiver satisfeito de que sua submissão atende a esse padrão, siga a lista de verificação abaixo para preparar sua submissão.

Original Article

Original articles are designed to report detailed results of unique and innovative investigations via scientifically sound approaches, models and experiments.

Brief Communication

Review

Review articles are manuscripts expected to provide a synthesis of the available relevant literature for an important research question, applying a critical approach and providing suggestions for future research.

Assay

Assay is a manuscript type suitable for detailed reflection, with greater freedom from the author to defend a certain position, which aims to deepen the discussion or present a new contribution/approach regarding a relevant topic.

Discussion

Discussions are invited contributions related to a specific article or issue of a journal.

Collective Positioning

Collective positioning is a document for publicizing a position or group consensus from multiple researchers who are experts in a certain subject.

Methods

- **Methods** is a document describing methodological advances, including innovative methods and improvements to existing

- **Methods** is a document describing methodological advances, including innovative methods and improvements to existing methods. The document should include evidence of the method's effectiveness and comparisons with previously available methods.

Case Report

Case Reports are reports on a case study or application.

Editorial

Editorial is an opinion piece, political statement or general comment, written by a member of the editorial board, or by a guest editor.

Declaração de Direito Autoral

All the content of the journal, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons License](#) type BY. More information on intellectual property can be found [here](#) and on Scielo's [Open Access Statement](#).

Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.



Ocean and Coastal Research

Seasonal Morphodynamic Variability on Macrotidal Beaches Through Integrated Monitoring with Geotechnologies and Citizen Science at Olho D'Água Beach, São Luís-MA

Journal:	<i>Ocean and Coastal Research</i>
Manuscript ID	OCR-2026-0078
Manuscript Type:	Original Articles
Date Submitted by the Author:	14-Apr-2026
Complete List of Authors:	Ramos, Rivaldo Junior; Universidade Federal do Maranhao, Departamento de Oceanografia Parise, Cláudia; Universidade Federal do Maranhao, Departamento de Oceanografia de Lima, Leonardo; Universidade Federal do Maranhao Perotto, Heitor; UFMA, Departamento de Oceanografia Pereira, Pedro; Universidade Federal de Santa Catarina Rabelo, Ludmilla; Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Oceanografia
Keyword:	Coastal Monitoring, Beach Morphodynamics, Photogrammetry, CoastSnap

SCHOLARONE™
Manuscripts

<https://mc04.manuscriptcentral.com/ocr-scielo>