

Dinâmica Sedimentar de Praias Estuarinas na Ilha do Marajó (Brasil) *Sedimentary Dynamics of Estuarine Beaches on Marajó Island (Brazil)*

Mayara de Souza Rodrigues^{a,b} , Leilanhe Almeida Ranieri^{a,c} 

^aLaboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) - Universidade Federal do Pará

^bmay.rdg1@gmail.com, ^dlaranieri@ufpa.br



© 2025 The authors. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons license.

Resumo

As praias são compostas por acumulações de sedimentos de tamanhos variados (areia fina, seixo, cascalho), sob influência da altura e período das ondas e amplitude da maré, no geral, são sistemas naturais variáveis que passam por mudanças contínuas. Este artigo tem como objetivo analisar a dinâmica sedimentar das praias estuarinas da vila de Jubim assim como a sua morfologia durante um período sazonal (2023-2024). A metodologia envolveu os seguintes procedimentos: (1) captura de imagens aéreas por meio de fotogrametria com drone; (2) posicionamento da base GNSS Geodésica; (3) coleta de pontos de controle utilizando posicionamento estático-rápido com RTK (*Real Time Kinematic*); (4) aferição da altura das ondas e (5) tratamento de cotas topográficas coletadas previamente com Estação Total e de amostragens anteriores de sedimentos superficiais. Os resultados mapeados de cotas topográficas (2,7 a 5,5 m) evidenciam que as maiores delas ocorreram no período chuvoso na praias das Meninas (4,3 m), Baleia (4,7 m) e Curuanã (5,5 m), enquanto que na praia de Salazar, a maior cota topográfica foi no período seco (4,7 m). Com relação a distribuição granulométrica, a interpolação dos dados indicou principalmente areia fina (2 a 3 ϕ) nas praias de Salazar e Meninas, e nas praias da Baleia e Curuanã, areia média (1 a 2 ϕ). As praias foram classificadas como transicional: praia-planície de maré ($RTR > 15$), dominadas por marés durante todo o período sazonal.

Palavras-chave: Sedimentação; Morfologia; Praia estuarina.

Abstract

Beaches are composed of accumulations of sediments of varying sizes (fine sand, pebbles, gravel), under the influence of wave height and period and tidal amplitude. In general, they are variable natural systems that undergo continuous changes. This article aims to analyze the sedimentary dynamics on the estuarine beaches of the village of Jubim, as well as their morphology during a seasonal period (2023-2024). The methodology involved the following procedures: (1) capture of aerial images by means of drone photogrammetry; (2) positioning of the Geodetic GNSS base; (3) collection of control points using static-fast positioning with RTK (Real Time Kinematic); (4) measurement of wave height and (5) processing of topographic elevations previously collected with Total Station and previous sampling of surface sediments. The mapped results of the topographic elevations (2.7 to 5.5 m) show that the highest elevations occurred during the rainy season on the Meninas beach (4.3 m), Baleia beach (4.7 m) and Curuanã beach (5.5 m), while on the Salazar beach, the highest topographic elevation was during the dry season (4.7 m). Regarding the granulometric distribution, the interpolation of the data indicated mainly fine sand (2 to 3 ϕ) on the Salazar and Meninas beaches, and on the Baleia and Curuanã beaches, medium sand (1 to 2 ϕ). The beaches were classified as transitional: beach-tidal flat ($RTR > 15$), dominated by tides throughout the seasonal period.

Keywords: Sedimentation; Morphology; Estuarine beach.

1. Introdução

A Zona Costeira (ZC) Amazônica Brasileira (Amapá, Pará e Maranhão) possui características particulares, como o clima (altas temperaturas, baixa variação térmica e pluviométrica), altura de maré (macro e mesomarés) e extensos manguezais (Rodrigues 2020) e praias arenosas. A pluviosidade é um dos agentes indiretos de mobilidade sedimentar nesta zona, pois interfere na descarga fluvial de estuários e canais de maré. Podendo, ainda, ser influenciada por eventos de meso e macro escala como o El Niño e La Niña (Tavares et al. 2021).

Um dos ambientes que passa por constante mobilidade sedimentar na ZC é a praia, devido a uma combinação de fatores naturais (ondas, marés, correntes e descarga fluvial), além de fatores humanos (ocupação irregular, obras de engenharia e degradação de ecossistemas do pós-praia). As praias são compostas por acumulações de sedimentos de tamanhos variados (areia fina, seixo, cascalho), sob influência da altura e período das ondas e amplitude da maré (Short & Klein 2016); havendo interações físicas, químicas e biológicas entre o oceano e o continente (Serrão 2019). Em geral, são sistemas naturais variáveis (Gómez-Pujol & Orfila 2020), que resultam na sua mobilidade (Muehe 2022).

As praias estuarinas e em baías diferem de praias de costa aberta, pois são parcialmente ou totalmente protegidas das ondas oceânicas, com maior influência das marés e das correntes na contribuição de erosão e deposição (Concejo et al. 2020). A variação morfossedimentar na praia depende da sazonalidade, vegetação, condições de ondas e marés, alterando a largura e extensão, sendo suscetíveis à erosão, transporte e distribuição granulométrica (Erickson et al. 2017). De acordo com (Muehe 2019), a praia apresenta algumas terminologias que as caracterizam. Ela apresenta alguns subambientes e feições deposicionais, caracterizados por dunas frontais, berma, escarpa erosiva, face de praia, calhas e bancos longitudinais (Oliveira Filho & Fernandez 2021).

Sendo assim, as praias estão sujeitas a modificações importantes nos seus depósitos sedimentares, sendo o monitoramento *in situ* ideal para aferir estas modificações, como a medição da topografia delas, seja por aerofotogrametria, pelo posicionamento e altimetria por GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) ou uso de equipamentos comuns da área de Engenharia, como Estação Total, embasado pelo método Estadia descrito por (Birkmeier 1981). Cada técnica apresenta uma respectiva precisão e acurácia (Simões 2018).

O uso dos drones, para a aerofotogrametria, por exemplo, é uma técnica recente e inovadora no mapeamento costeiro, pela contribuição em diferentes tipos de estudos: análises de desastres naturais, vulnerabilidade costeira, mapeamento da linha de costa e geração de perfis topográficos (Turner et al. 2016). Na última década, a fotogrametria baseada em sistema/veículo aéreo não tripulado – UAS (*Unmanned Aerial System*) tornou-se comum em praias (Casella et al. 2020, Moloney et al. 2018).

Este artigo objetiva analisar a dinâmica sedimentar sazonal de praias estuarinas da vila de Jubim (Ilha do Marajó), assim como a sua morfologia. Os resultados contribuem no conhecimento da morfodinâmica de praias estuarinas dominadas por meso-macromarés e na difusão de técnicas de medições topográficas em praia.

2. Caracterização da área de estudo

A Ilha do Marajó localiza-se no extremo norte do Estado do Pará, Brasil, integrando o arquipélago Marajó, na foz do rio Amazonas, cujas ilhas formam um sistema misto de delta e estuário. Com área de 49.000 km², a ilha tem como limites o Oceano Atlântico (norte), o rio Pará (sul), a baía do Marajó (leste) e o rio Amazonas (oeste), conforme descrito por Miranda (2010). Na porção oriental da Ilha do Marajó estão os municípios de Soure e Salvaterra.

No município de Salvaterra, está o distrito de Jubim (0°47'28.80"S / 48°35'44.16"W; 0°49'47.73"S / 48°30'50.84"W) (Fig. 1). Atualmente, Jubim é uma das principais vilas tradicionais do município, marcada por traços indígenas e imigrantes, possuindo uma área mais rural, com maior potencial para pesca artesanal do que

para o turismo local. A área é banhada pela Baía do Marajó, fazendo limite na linha de costa com manguezais, falésias, plataforma de abrasão e praias.

As praias estudadas neste território foram: Salazar (divisa Vilas de Jubim e Passagem Grande), Meninas e Baleia (Vila de Jubim), e Curuanã (divisa Vila de Jubim e comunidade de Cururuzinho). Ao norte, a hidrografia de Jubim é marcada pelo igarapé do Limão, também conhecido como canal do Jubim.

O regime de chuvas na região amazônica é dividido em dois períodos sazonais, o período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, com precipitação média de 2.566 mm, e maiores índices entre fevereiro e abril, o que representa 86 % do total anual precipitado – período de maior influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). E o período menos chuvoso, de junho a novembro, que apresenta os menores índices entre setembro e novembro, com média de 414,3 mm de chuvas, equivalentes a 14% do total pluviométrico anual (Lima et al. 2005).

Nesta costa, assim como para todo o litoral paraense, incidem os ventos Alísios de Nordeste, responsáveis pela formação das ondas, inclusive em águas estuarinas, e possuem velocidades médias de 7 m/s (Lima et al. 2005). Esses ventos são, geralmente, precedidos de calmaria e, quase sempre, acompanhados de rajadas violentas e chuvas intensas. Os ventos alísios são responsáveis não só pelo processo de distribuição dos grãos de sedimentos nos ambientes praiais, como também pela deriva litorânea oriunda das ondas geradas. Eles favorecem o transporte de sedimentos ao longo das praias, retrabalhando os depósitos na zona de intermaré, periodicamente exposta, levando-os para as dunas e ainda, formando bancos arenosos longitudinais, ilhas barreiras, pontais arenosos, entre outros característicos do ambiente praial de zonas costeiras (Fonzar 1994).

Quanto às correntes costeiras, as principais que atuam no litoral paraense são as correntes de maré, que são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral e, secundariamente, as correntes litorâneas resultantes da chegada das ondas à costa. El-Robrini et al. (2018) destacam correntes de marés de cerca de 1,38 m/s e ondas de 0,3 m na Baía do Marajó, onde encontram-se as praias de Jubim.

3. Materiais e Métodos

3.1 Coleta de dados

Foram tratados dados morfológicos e sedimentares de 5 campanhas de campo de Rodrigues et al. (2025): 5 a 6 de março, 20 a 22 de maio, 16 a 18 de agosto, 24 a 27 de novembro de 2023 e 23 a 25 de março de 2024. Adicionalmente, para o presente artigo, e visando validar a morfologia local, foram feitos sobrevoos com drone nos dois últimos meses para criação de Ortomosaicos da área de estudo e o Modelo Digital de Elevação (MDE). Utilizando dados já coletados por

Rodrigues et al. (2025), foi possível também realizar outros mapeamentos nas praias de Jubim: mapas 3D da face praial e mapas 2D da distribuição granulométrica, através de métodos de interpolação de dados. Além do cálculo de balanço sedimentar nas praias, a fim de identificar estados erosivos e de acreção sedimentar ao longo do ciclo sazonal estudado (março/2023 a

março/2024). Das quatro praias estudadas (Salazar, Meninas, Baleia e Curuanã), apenas na praia do Salazar não houve coletas no mês de março e maio de 2023, por questões de limitação de acesso, devido à inundação na via de acesso à praia durante este período chuvoso.

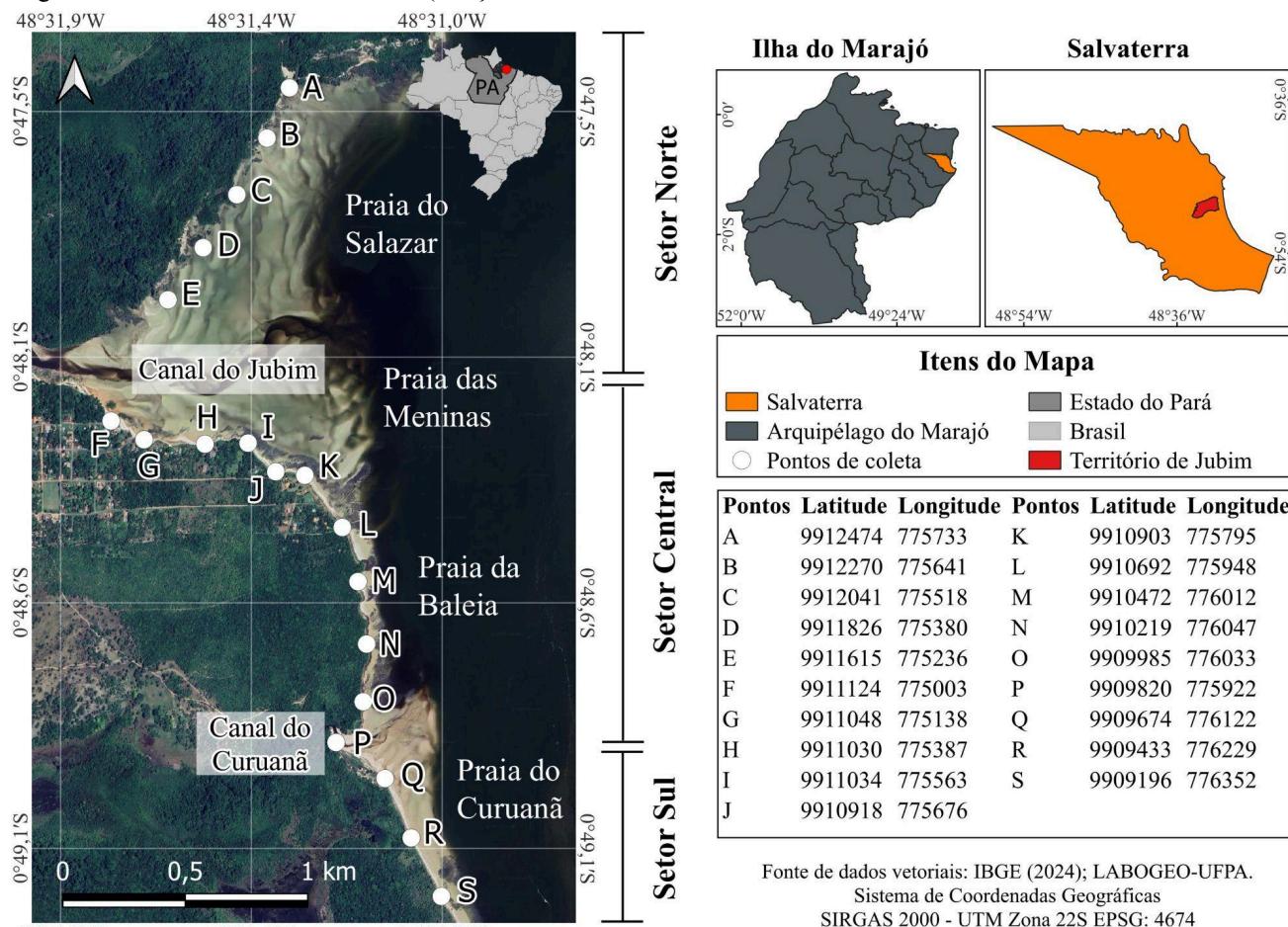


Fig. 1. Mapa de localização da vila de Jubim (distrito de Salvaterra/PA, Ilha do Marajó, Brasil). As praias estuarinas da pesquisa ocorrem na margem leste da ilha.

Perfis topográficos, realizados por Rodrigues et al. (2025), foram equidistantes cerca de 200 m, sendo realizados durante a maré baixa de sizígia com o equipamento Estação Total (marca Topcon ES105) e prisma refletor. Houve um ponto fixo de referência para início das medições topográficas: primeira rua da vila de Jubim, adjacente à praia das Meninas. Posteriormente, todos os perfis tiveram início acima da linha de preamar de sizígia (Praia do Salazar 5 perfis, Meninas 4 perfis, Baleia 6 perfis e Curuanã 4 perfis), totalizando 19 perfis perpendiculares à linha de costa. Além disso, Rodrigues et al. (2025) coletaram sedimentos superficiais ao longo dos perfis (zonas de supramaré, intermaré e inframaré), 57 amostras no total, para realizarem a caracterização do tamanho granulométrico médio. Esta foi obtida em laboratório, após lavagem e secagem, através do método de peneiramento à seco, utilizando-se peneiras de 1,0 – 0,500 – 0,250 – 0,125 – 0,063 mm para o fracionamento dos grãos de sedimentos e, posterior pesagem deles.

Considerou-se a classificação granulométrica de Wentworth (1922).

Para realizar a captura de imagens aéreas por drone foram seguidas as seguintes etapas: elaboração do plano de voo, cumprimento das diretrizes de segurança, instalação da estação GNSS geodésica, execução do voo com o drone e identificação dos pontos de controle.

A aerofotogrametria foi realizada mediante o drone modelo DJI Mavic Air 2S, com os aerolevantamentos feitos majoritariamente nas praias durante a baixa-mar, em novembro de 2023 e março de 2024, período seco e chuvoso, respectivamente. Simultaneamente ao aerolevantamento, foi realizado em pontos de controle ao longo das praias o georeferenciamento deles com um par de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System - Sistema Global de Navegação por Satélite*), para a posterior correção do posicionamento geográfico dado pelo drone. A utilização dos pontos de controles distribuídos é essencial para aprimorar a precisão das imagens e validar

produtos cartográficos. Portanto, nesse processo, optou-se pelo método RTK (*Real Time Kinematic*), que é o melhor método de posicionamento rápido, onde o receptor base coleta os dados de coordenadas conhecidas de satélite e transmite as correções para o receptor rover via rádio.

O RTK é uma técnica de posicionamento onde os levantamentos se caracterizam pela particularidade de obtenção de coordenadas geodésicas em tempo real. Um sistema RTK é composto por dois receptores com as respectivas antenas, link de comunicação (para transmitir ou receber correções e/ou observações da estação de referência) e software apropriado para realizar o processamento e a validação dos dados, assim descritos por Monico (2008).

3.2 Construção do plano de voo

Trata-se da utilização de aplicativos que permitem programar uma trajetória específica para o drone. Para isso, foi utilizado o aplicativo chamado *Drone Harmony Mobile* versão 2.3.0, que possibilitou ao operador construir o plano de voo e a escolha dos parâmetros como: sobreposição entre as imagens, velocidade, altitude e trajetória de voo. Além disso, o aplicativo fornece dados sobre a duração do voo, uso da bateria, número de fotos tiradas, entre outras informações. Neste artigo foi utilizada a sobreposição frontal de 60% e ângulo de -90° com 100 m de altura. No total, foram coletadas 829 imagens em novembro de 2023 e 818 imagens em março de 2024.

3.3 Instalação da base GNSS geodésica

As estações de referência (base 1, 2, 3 e 4 do receptor GNSS fixo) foram previamente pareadas com sinais de satélite durante 8h. Após isso, processou-se os dados da base em conjunto com as informações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) para obter os valores de coordenadas planas e a altitude geométrica do ponto instalado. Esse procedimento foi realizado por meio do serviço online de pós-processamento de dados GNSS do IBGE, conhecido como IBGE-PPP.

O serviço IBGE-PPP, que disponibiliza dados de correção de modo gratuito, tem a finalidade de realizar o pós-processamento de dados GNSS que foram coletados por receptores no modo estático ou cinematográfico, possibilitando a obtenção de coordenadas precisas referenciadas ao datum SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

As bases fixas obtidas com um dos receptores GNSS, modelo CHCNAV, foram posicionadas próximas a cada praia onde o levantamento das coordenadas geográficas foi realizado, cobrindo uma distância de aproximadamente 1 km da base 1 (Praia do Salazar), 838 m da base 2 (Praia das Meninas) até a base 3, e 934 m da base 3 até a base 4 (Praia da Baleia e Curuanã). O uso do GNSS rover (receptor móvel), no modo RTK, teve como objetivo aumentar a precisão das coordenadas geográficas das fotografias aéreas em conjunto com a base GNSS geodésica.

3.4 Tratamento dos dados

Os mapas em 2D e 3D que ilustram a média granulométrica (Folk & Ward 1957) e topografia da face praial, respectivamente, foram plotados e interpolados no software Surfer 10, por meio dos perfis de praia realizados por Rodrigues et al. (2025). Utilizou-se o método de Krigagem para estimar valores em locais não amostrados, levando em conta a correlação espacial dos dados vizinhos amostrados.

Os valores de variações do volume sedimentar (Vv) nas praias foram obtidos no software Grapher 19 com base na sobreposição de dados dos perfis topográficos da face praial, calculando-se a área na posição de cada perfil topográfico (m^3/m).

Para a classificação do estágio morfodinâmico de praia em relação ao domínio de ondas ou marés (Quadro 1), seguiu-se o modelo de Masselink & Short (1993) por meio do índice RTR (*Relative Tidal Range*, Eq. 1), o qual corresponde a razão entre a amplitude de maré (TR) e a altura da onda na arrebentação (Hb).

$$\text{RTR} = \text{TR}/\text{Hb} \quad (1)$$

O estágio/estado morfodinâmico de praia é usado para designar de forma completa o comportamento deposicional e a sua relação com os processos hidrodinâmicos.

As imagens captadas pelo drone foram transferidas para um sistema computacional e processadas no software Agisoft Metashape versão 2.0.0. Esse processo envolveu o alinhamento das imagens sobrepostas, utilizando os ângulos formados entre elas para realizar ajustes de verificação. Como resultado, foi gerada uma nuvem de pontos densa, permitindo a criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) e do ortomosaico. Além disso, pontos de controle (coordenadas geográficas) coletados ao longo das praias com o GNSS RTK foram também importados no referido software, para correção do posicionamento geodésico de GPS (*Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global*) dado pelo drone, que é menos preciso. Os dados do par de receptores GNSS foram anteriormente processados seguindo etapas no software CHC Geomatics Office 2, fornecido pelo fabricante do equipamento.

3.5 Medição de onda e maré

Os dados de ondas foram coletados em abril de 2023, em um ponto de coleta feito na praia das Meninas. As medições foram feitas com o Sensor OBS (*Optical Backscatter Sensors*), modelo Infinity-turbi ATU75W-USB, onde o equipamento realizou a coleta de dados por aproximadamente 12 horas, registrando cinco medições de ondas a cada segundo.

Os dados sobre a amplitude das marés e seus horários de preamar e baixamar foram obtidos à partir dos dados de previsões harmônicas de maré no ano de 2023, na seção Tábuas de Marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (<https://www.marinha.mil.br/chm/tabcas-de-mare>).

Quadro 1. Classificação morfodinâmica de Masselink e Short (1993).

| Amplitude relativa da maré | Grupo | Tipo de Praia |
|----------------------------|-----------------------|---|
| RTR<3 | Onda dominante | 1- Reflectivo 2- Intermediário 3- Dissipativo |
| 3<RTR<15 | Interação onda e maré | 4- Terraço de baixa-mar 5- Banco /corrente de baixa-mar 6- Ultradissipativo |
| RTR>15 | Maré dominante | 7- Transicional (praia para planície de maré) |

4. Resultados e Discussão

4.1 Topografia e dinâmica na face praial

Os resultados obtidos das medições topográficas na face praial de Rodrigues et al. (2025) foram utilizados para geração dos mapas tridimensionais da zona entremarés. Eles compreendem desde o limite inferior da zona de supramaré (linha de preamar de sizígia) até o limite superior da zona de inframaré (linha de baixamar de sizígia). Foi possível observar que as praias do litoral de Jubim possuem pequenas distinções em sua topografia e morfologia na região de entremarés, em decorrência da geomorfologia da linha de costa. Na Ilha do Marajó, as principais unidades morfológicas estão relacionadas em grande escala aos movimentos tectônicos e oscilações do nível do mar, e em pequena e média escala à dinâmica erosiva e deposicional que está associada à ação de condições atmosféricas como ventos, e consecutivamente a movimentação de ondas e, além da ação das marés (Sousa & Ranieri 2023). Assim, as praias estudadas, possuem topografia desigual, em função das unidades morfológicas a quais se limitam.

A praia de Salazar apresenta uma faixa de areia de cerca de 1,2 km de extensão, possuindo uma cota topográfica máxima de 4,4 m. (Fig. 2). A zona de supramaré nesta praia é limitada por uma extensa área de manguezais. Já a praia das Meninas possui uma faixa de areia com aproximadamente 800 m de extensão. Sua cota topográfica alcança 4,2 m (Fig. 2) e a zona de supramaré é limitada por uma vasta vegetação e área mais povoada do litoral de Jubim.

A praia da Baleia comprehende uma extensa plataforma de abrasão de 1,18 km de extensão. Sua cota topográfica, especificamente na face praial (Fig. 2), chega a 4,7 m (Rodrigues et al. 2025), e sua zona de supramaré é caracterizada por falésias ativas que podem alcançar cerca de 6 m. A praia da Curuanã possui uma faixa de areia com aproximadamente 760 m de extensão. Sua cota topográfica atinge 5,5 m (Rodrigues et al. 2025) (Fig. 2). Ao longo de toda a sua extensão, a zona de supramaré é limitada pela presença de vegetação arbustiva.

As praias são classificadas, segundo Masselink & Short (1993), como em transição para planície de maré (RTR>15), devido o alto domínio da forçante maré

(amplitude média: TR = 5,3), com o valor de RTR = 44 (Quadro 1).

Com relação aos valores do RTR, estes indicaram que a influência das marés é a principal ação modificadora dos perfis observados nas praias estudadas. McLachlan & Dorvlo (2005) afirmam que o perfil de praia não é meramente em função do sedimento, mas as marés também influenciam o perfil, semelhante à função das ondas, com praias tornando-se mais amplas com o aumento da amplitude das marés. Ainda segundo estes autores, as marés causam mudanças cíclicas nas praias, podendo atuar passivamente ou ativamente no transporte de sedimentos.

Quanto às ondas, estas tiveram influência secundária no transporte de sedimentos, mas são importantes para o retrabalhamento dos grãos e ação abrasiva nos afloramentos rochosos expostos na praia da Baleia. As alturas de ondas significativas (Hb) variaram de 7 a 30 cm, com maior frequência para 10 a 20 cm, considerando meio ciclo de maré (Fig. 3).

4.2 Validação geomorfológica com produtos cartográficos

Mediante ao cenário disposto, a aerofotogrametria por drone exerceu um bom papel para a análise geral da geomorfologia da área de estudo.

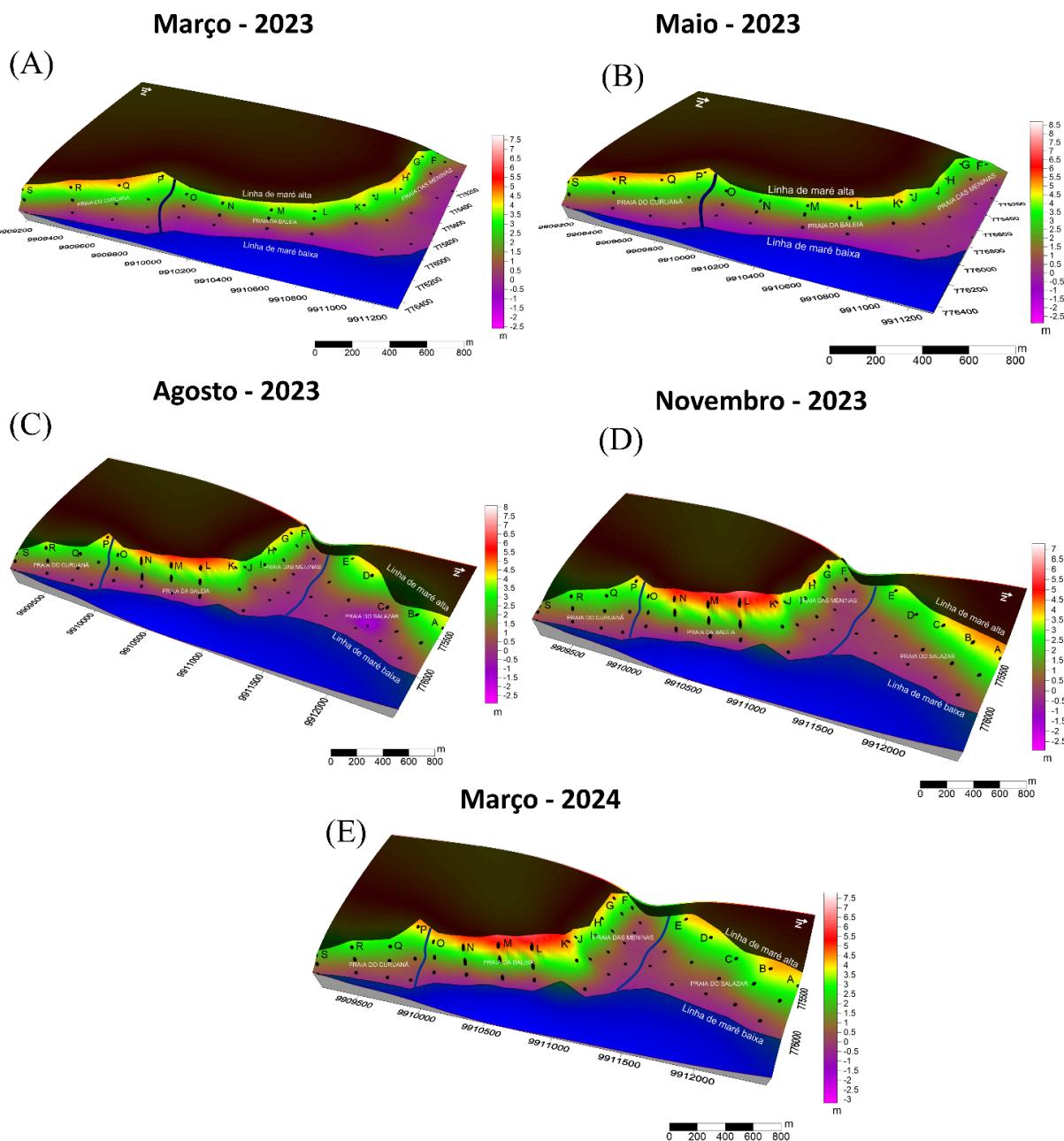
A análise de nuvens de pontos densas, etapa metodológica para realizar a reconstrução do espaço tridimensional da área em estudo, mostrou-se muito precisa na variação de elevação de terreno (praia e linha de costa adjacente). Os detalhes permitiram uma análise das características do solo, onde foi possível destacar elevações topográficas. Assim obteve-se relevo mais baixo ao norte da área de estudo, e ao sul relevo mais alto, mas especialmente na região central (Figs. 4 e 5). Essas diferenças no relevo dar-se pela geomorfologia de planície à planalto costeiro na região. França & Pimentel (2012), ressaltam ainda que essas diferenças ocorrem em resposta aos processos tectônicos (soerguimento, subsidência, e falhamento) e flutuações do nível do mar de caráter regional que a Ilha do Marajó experimentou em sua evolução geológica.

Os maiores gradientes topográficos (maiores declives praial) ocorreram nas praias de Curuanã e da Baleia, onde encontram-se falésias ativas, e o menor gradiente topográfico foi observado nas praias de Salazar e das

Meninas. Contudo, esta análise de declividade não estão visíveis no Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figs. 4 e 5), devido a face praial ser muito plana na área de estudo (transição para planície de maré), em comparação com a cota topográfica da linha de costa. Assim, a elevação atingiu valores máximos de 20 m, nas áreas de falésias ativas.

No ortomosaico das fotografias aéreas (Figs. 4, 5 e 6), pode-se visualizar a integração de todas as imagens captadas pelo drone durante o levantamento, resultando em uma única imagem, destacando a integridade de fotografias visuais da área de estudo. Notou-se uma descarga fluvial

mais intensa, com o canal de Jubim estando mais largo em março de 2024, destacando essa característica hidrológica do período chuvoso na região. Já no canal do Curuanã, que parece ter menor vazão fluvial, observou-se sua migração para direção norte do período seco ao período chuvoso, que pode estar relacionado com a menor intensidade de correntes longitudinais geradas por ondas. Estas são mais intensas no período seco (Sousa & Ranieri 2023), quando o deslocamento do canal foi para sul, forçando a sua desembocadura para esta direção, quase paralela à linha de costa, visto que morfologicamente é uma área propícia à refração de ondas (Fig. 6).



A-E (PRAIA DO SALAZAR); F-I (PRAIA DAS MENINAS); J-O (PRAIA DA BALEIA); P-S (PRAIA DO CURUANÃ)

Fig. 2. Topografia da face praial no período chuvoso de 2023 – março (2A) e maio (2B); período seco de 2023 – agosto (2C) e novembro (2D); período chuvoso de 2024 – março (2E). Dados interpolados de Rodrigues et al. (2025)

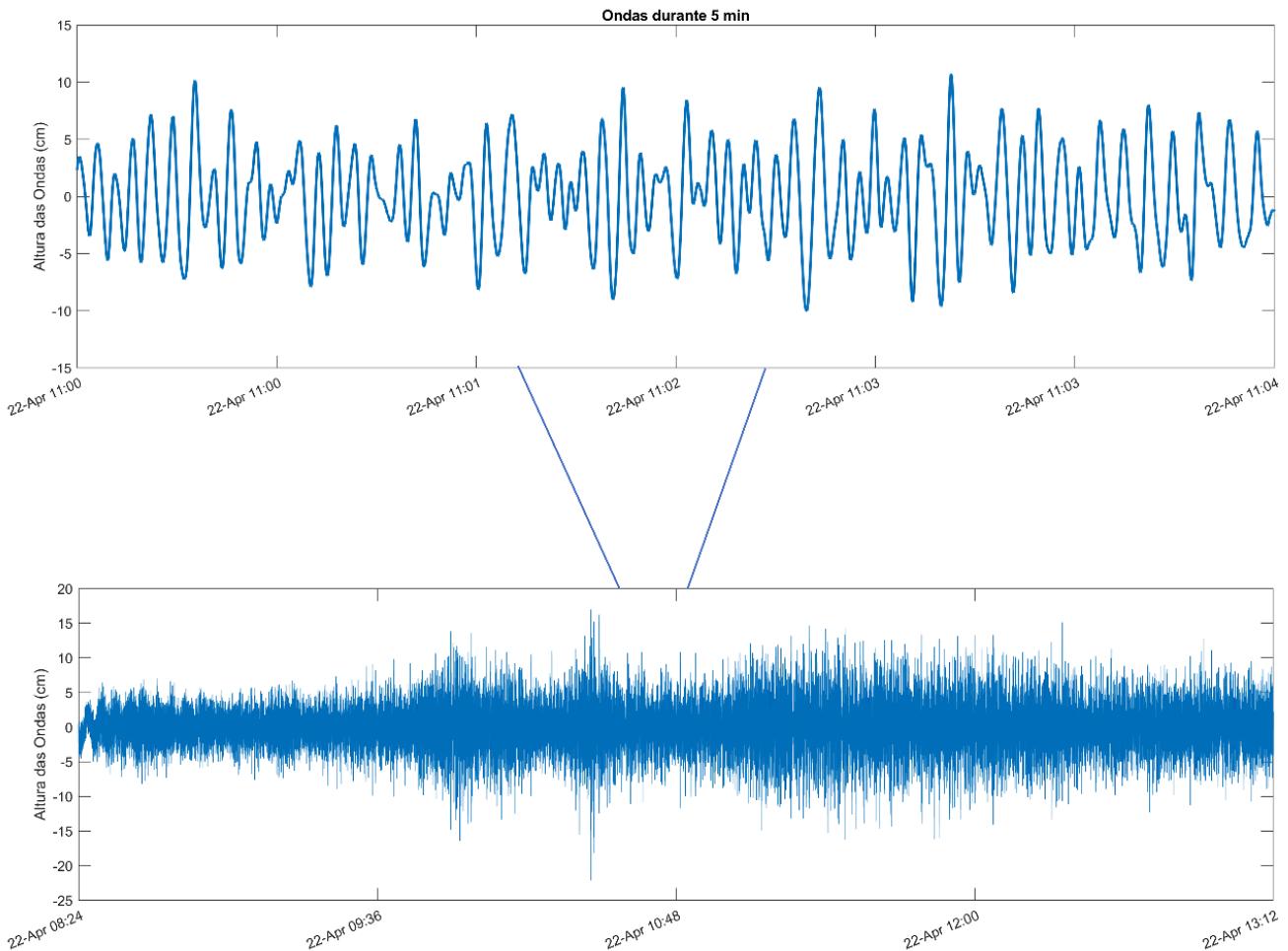


Fig. 3. Altura de onda registrada em abril de 2023 na área de estudo no período de meio ciclo de maré.

A aerofotogrametria com o drone permitiu a verificação da altimetria desde a linha de costa até a linha de maré baixa, além de detectar feições morfológicas, como os vários bancos e calhas arenosas formados nas praias estudadas. Ainda sim, é importante destacar que o drone não mostrou tanta eficiência na captura de algumas imagens, possivelmente pelo mal tempo ocorrido durante o

imageamento da área, o que proporcionou nas imagens leves distorções, dificultou na qualidade das imagens capturadas e, no posterior alinhamento das mesmas durante o tratamento no Agisoft Metashape 2.0.0. Esses erros são inevitáveis, uma vez que o resultado final nos mostra apenas visões simplificadas da realidade.

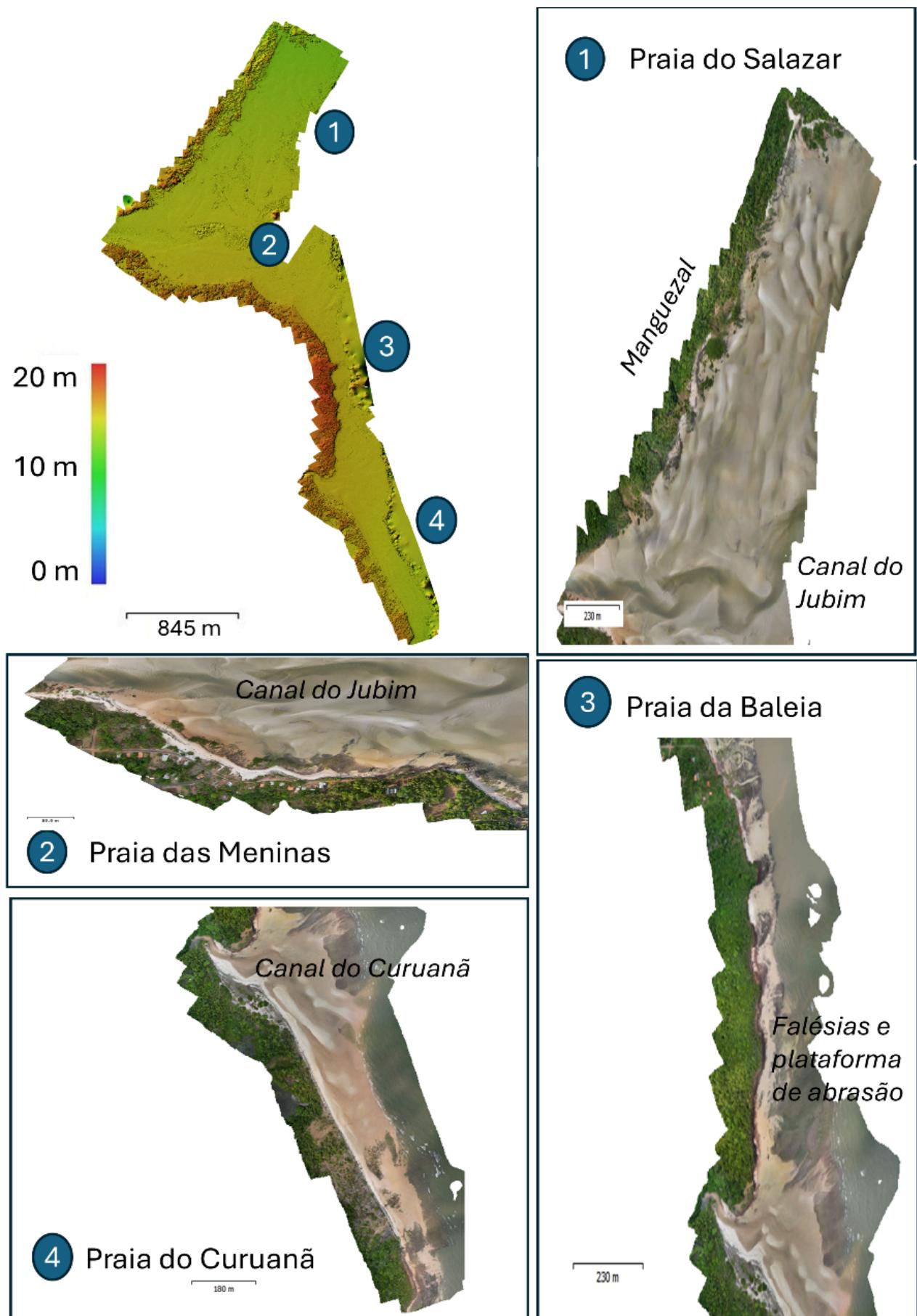


Figura 4. Modelo Digital de Elevação (MDE) e Ortomosaico das praias de Jubim. Período seco (novembro de 2024).

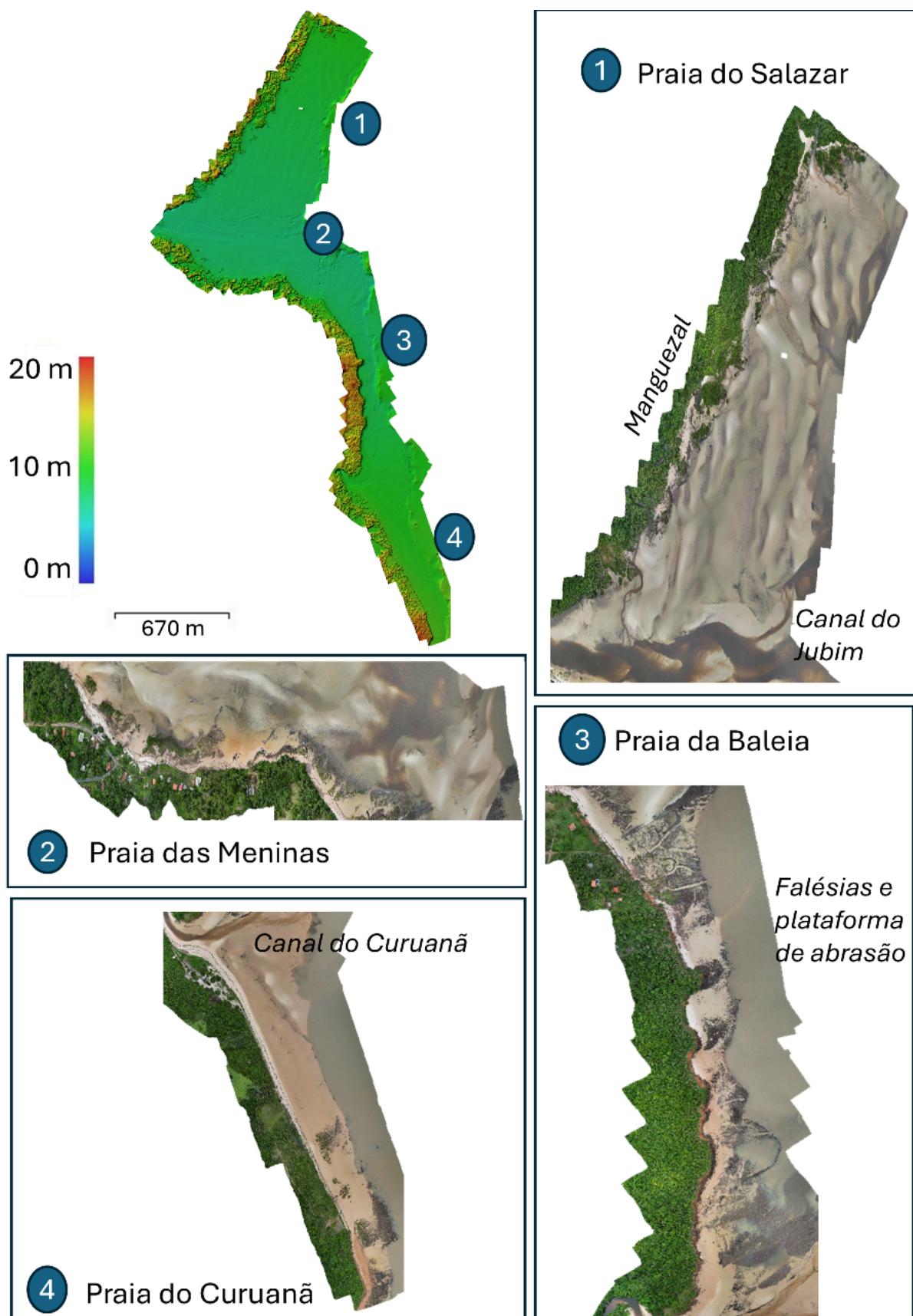


Figura 5. Modelo Digital de Elevação (MDE) e Ortomosaico das praias de Jubim. Período seco chuvoso (março de 2024).

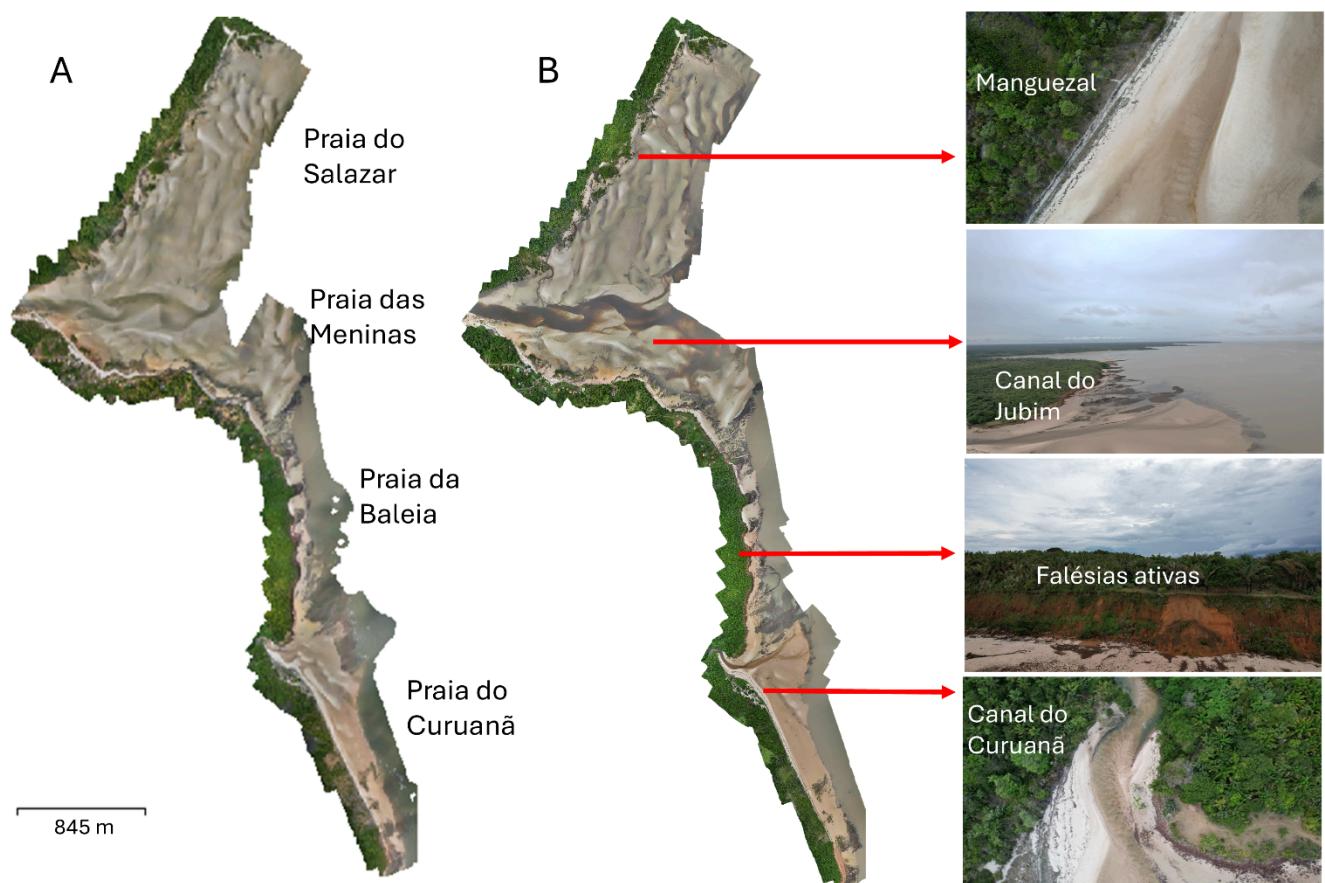


Figura 6. Detalhes das feições morfológicas e sedimentares no ortomosaico das praias de Jubim. A) Período seco (novembro de 2023) e B) Período chuvoso (março de 2024).

4.3 Balanço sedimentar

A partir dos perfis topográficos da pesquisa de Rodrigues et al. (2025), realizados nas praias de Jubim, foram calculados o balanço sedimentar delas do mês de março de 2023 a março de 2024, comparando o volume de sedimentos em cada mês de coleta de dados, por perfil de praia. Na Praia de Salazar, o balanço sedimentar foi negativo na transição do período seco para chuvoso, especialmente em dois perfis (B e E), com decréscimo de depósito sedimentar de $-142 \text{ m}^3/\text{m}$ e de $-274 \text{ m}^3/\text{m}$, respectivamente. Quanto aos demais perfis (C e D), os valores foram positivos não havendo erosão de sedimentos na face praial, e sim acreção, com máximo de $83 \text{ m}^3/\text{m}$ no perfil C (Fig. 7). O perfil A, embora tenha apresentado

decréscimo no Vv em novembro de 2023, apresentou Vv final positivo em março de 2024.

Na Praia das Meninas, os valores finais de variações do volume sedimentar (Vv) nos perfis foram negativos na transição de um período chuvoso a outro. No perfil G a erosão sedimentar foi maior em março de 2024 (o máximo registrado na praia das Meninas: $-229 \text{ m}^3/\text{m}$). Em contrapartida, o perfil H apresentou apenas $-67 \text{ m}^3/\text{m}$ neste mesmo mês. Nos demais meses, os valores foram continuamente positivos, indicando que houve mais deposição sedimentar durante um ciclo sazonal completo (Fig. 8).

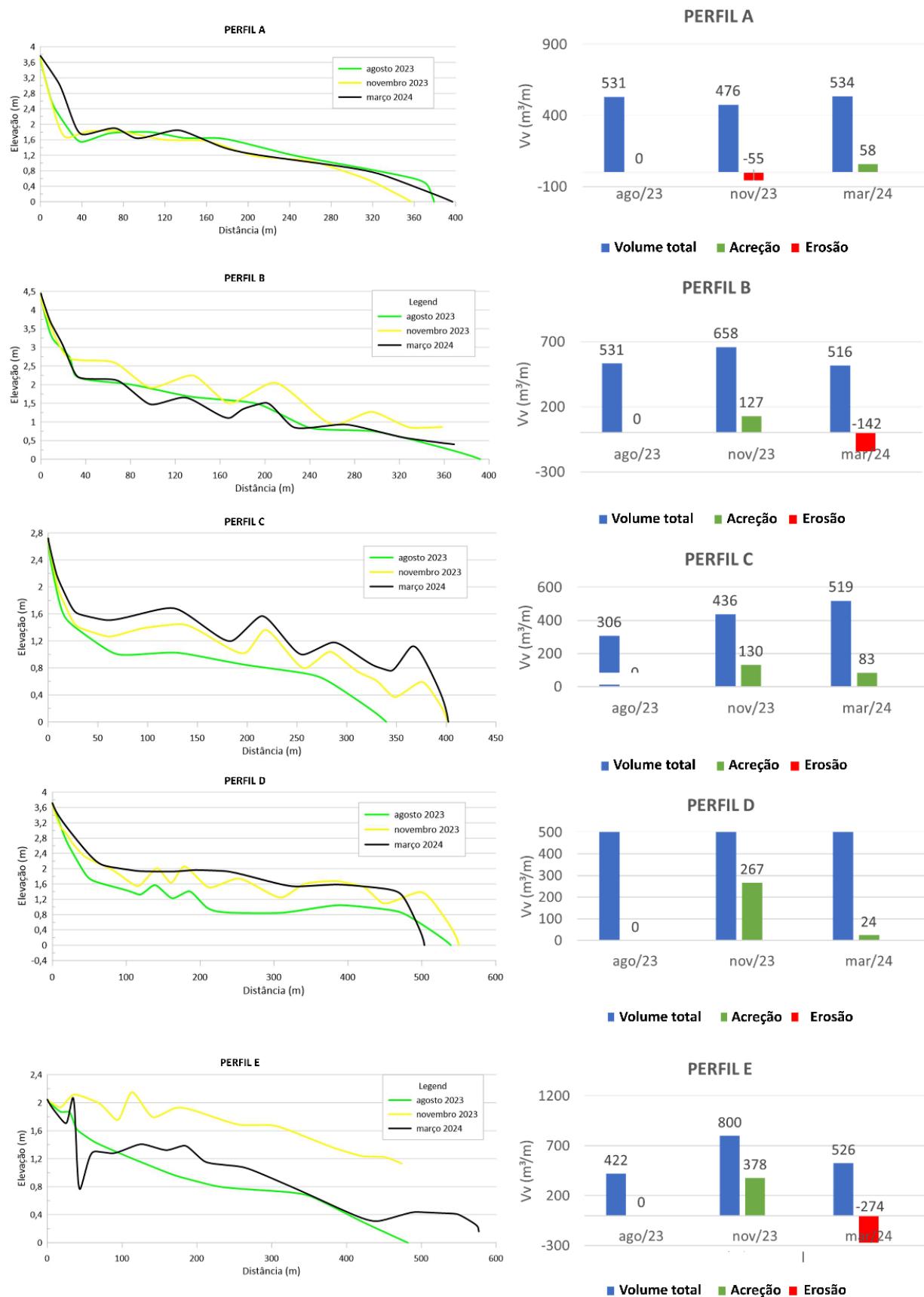


Figura 7. Volume sedimentar nos perfis da Praia de Salazar. Extraídos de Rodrigues et al (2025)

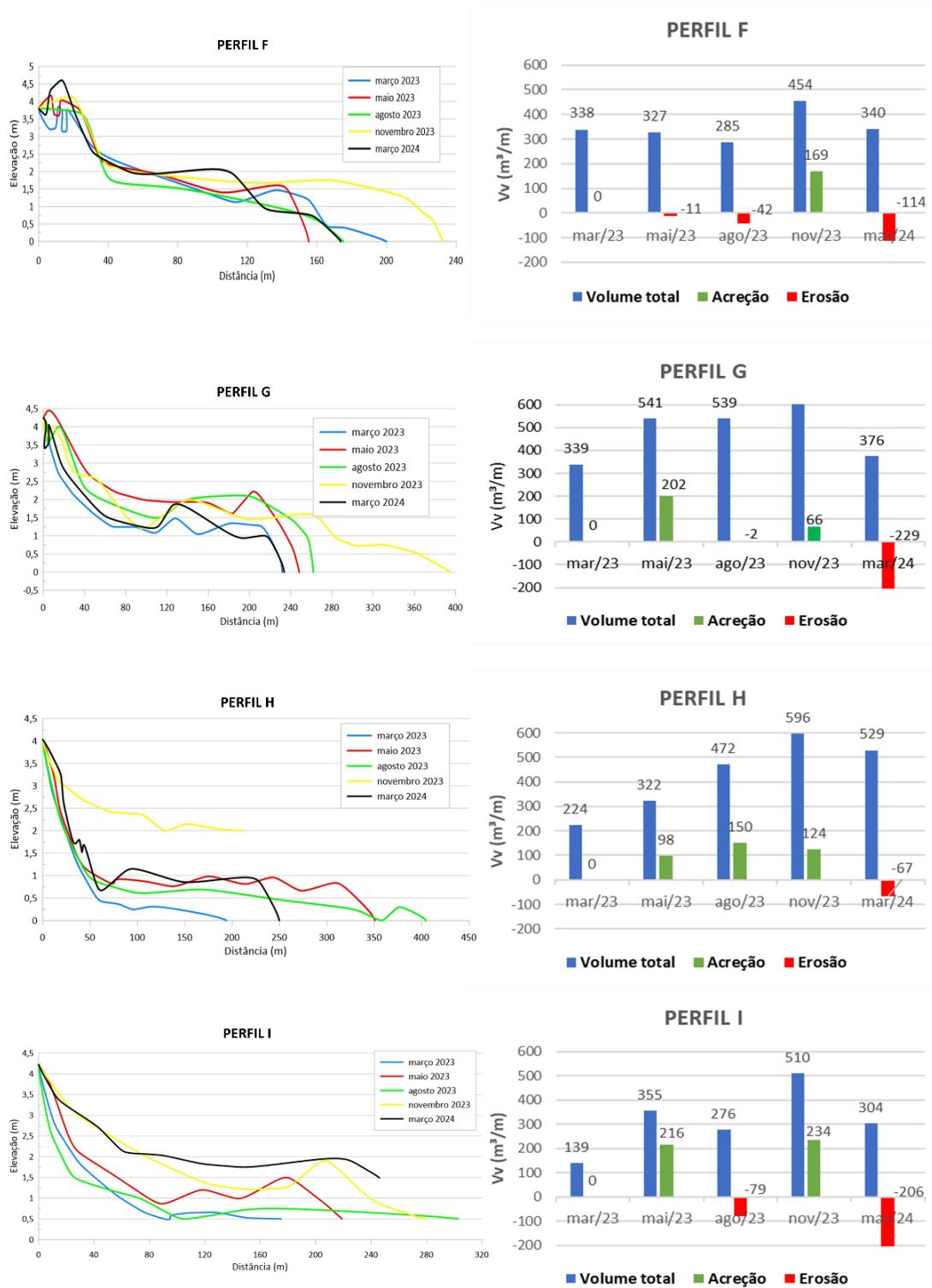


Figura 8. Volume sedimentar nos perfis da Praia das Meninas. Extraídos de Rodrigues et al (2025).

Na Praia da Baleia, as variações de volume sedimentar (Vv) positivas e negativas foram mais equilibradas, com uma maior erosão de sedimentos na transição do período chuvoso para o início do período seco de 2023 no perfil J (-227 m³/m). Os perfis desta praia, exceto o perfil J e K, apresentaram valores finais negativos da estação chuvosa de 2023 à estação chuvosa de 2024, contudo nota-se ainda uma balanço sedimentar equilibrado em todos eles, especialmente pela acreção de sedimentos nos meses

anteriores. Os valores máximos de acreção e erosão ocorreram no perfil J (256 m³/m: deposição sedimentar, em maio/2023; -227 m³/m: erosão, em agosto/2023) (Fig. 9).

A Praia do Curuanã mostrou variações de volume sedimentar (Vv) positivas e negativas, com erosão e acreção de sedimentos variando entre os meses durante todo o período sazonal, assim vistos nos perfis (P, Q e S) com perda máxima de -172 m³/m visto no perfil Q e ganho

máximo de 153m³/m observados no perfil P (Fig. 10). O valor final de Vv em metade dos perfis analisados nessa praia foram negativos. Considerando o saldo de ganho

nos meses anteriores, notou-se balanço sedimentar insuficiente de uma estação chuvosa (ano de 2023) a outra (março do ano de 2024).

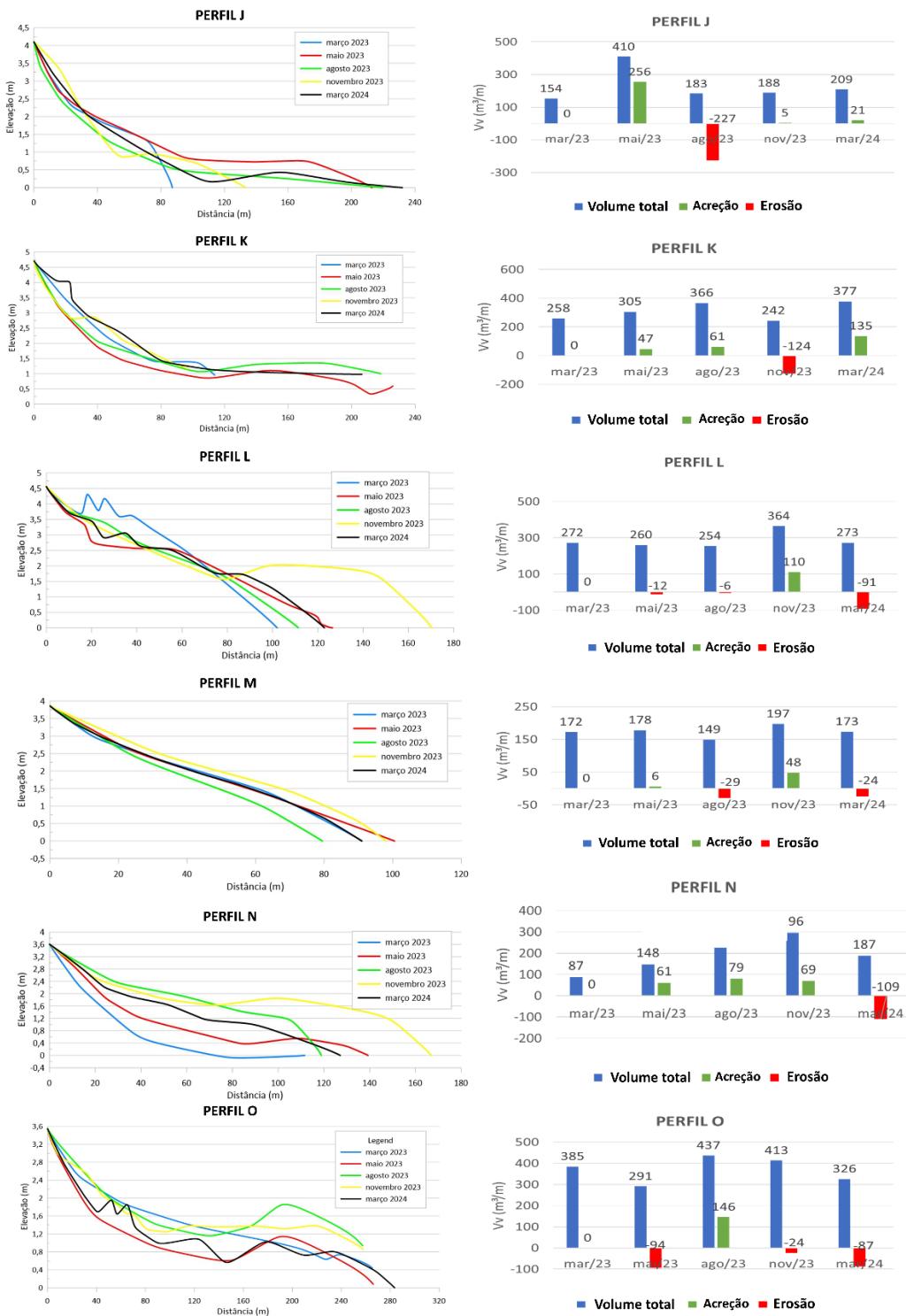


Figura 9. Volume sedimentar nos perfis da Praia de Baleia. Extraídos de Rodrigues et al (2025).

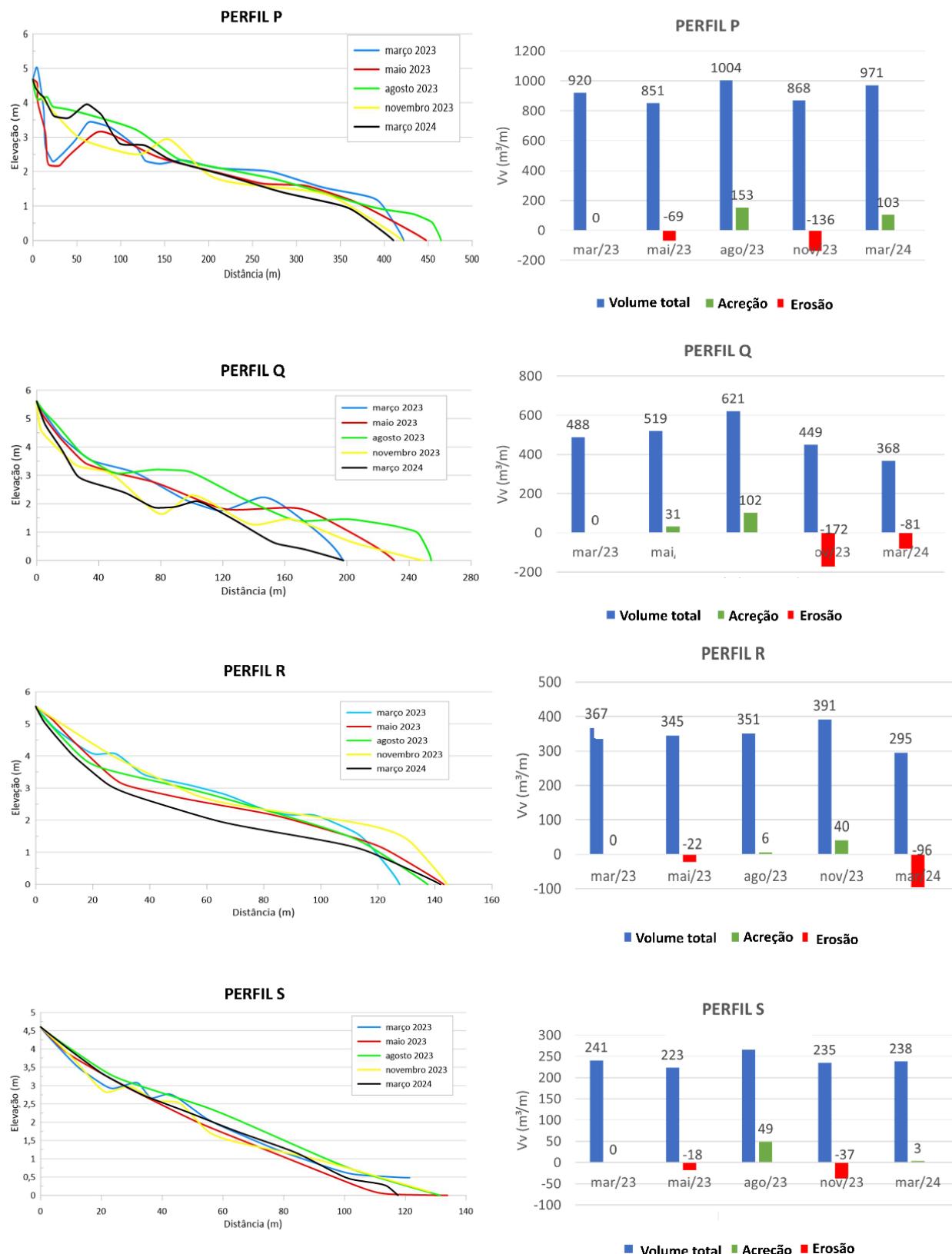


Figura 10. Volume sedimentar nos perfis da Praia de Curuanã. Extraídos de Rodrigues et al. (2025).

Em resumo, constatou-se que na praia de Sazalar a variação de volume sedimentar foi baixa, com acreção de

sedimentos na maioria dos perfis do período chuvoso ao seco. Já na praia das Meninas foi verificado que na maioria

dos perfis houve erosão de sedimentos, causando uma instabilidade na sedimentação principalmente no período chuvoso, evidenciando maior mobilidade sedimentar. Taaouati et al. (2011), Ranieri & El-Robrini (2020), Holanda et al. (2020), Sousa & Ranieri (2023), El-Robrini et al. (2024) obtiveram resultados semelhantes com a sazonalidade climática em outras praias arenosas de baixa declividade. No caso do litoral amazônico, tendências de erosão no período chuvoso são devido à forçante oceanográfica maré, somado às cheias dos rios, provocando maiores inundações e mobilidade sedimentar, principalmente nas margens estuarinas de topografia mais baixas (Sousa & Ranieri 2023).

Na praia da Baleia, a variação de volume sedimentar foi ainda mais instável, havendo perda de sedimentos em todos os perfis da praia, essa instabilidade foi vista em todo período sazonal com maior ocorrência na estação chuvosa, isso pode estar associado aos processos erosivos na praia junto aos níveis de pluviosidade intensa. A praia do Curuanã também possui instabilidade na variação de volume sedimentar, havendo mais perda de material em quase todos os perfis analisados, apresentando esta situação de um período chuvoso à outro.

4.4 Distribuição sedimentar

Os mapas de distribuição granulométrica foram gerados a partir da interpolação dos dados de tamanho médio dos grãos obtidos por Rodrigues et al. (2025) nas praias de Jubim, cuja pesquisa identificou tamanhos granulométricos dos sedimentos variando de $1,1 \phi$ a $2,5 \phi$ (areia média a areia fina, principalmente). Estes valores são similares aos encontrados por Sousa & Ranieri (2023), El-Robrini et al. (2024) em outras praias estuarinas da Ilha do Marajó. A distribuição de sedimentos mais finos está direcionada para o norte (Fig. 11), considerando todo segmento praial de Jubim. Relacionando este resultado com a geomorfologia local, a praia do Salazar, ao norte, é limitada por uma planície lamosa de manguezal, e a praia das Meninas, no setor central, está sobre o delta de vazante (Fig. 6) formado na foz do canal de Jubim. Ambas as praias estão na região de mais baixo relevo (Figs. 4 e 5), onde se têm os maiores estirâncios praial. Segundo Rodrigues et al. (2025), a praia de Salazar apresentou areia média especialmente no perfil A, tanto no período chuvoso quanto no seco (Figs. 11E, 11C e 11D). Mas no presente estudo, observou-se no restante da praia a maior distribuição de areia fina, encontradas desde a zona de supramaré (porção superior da face praial) até a zona de inframaré (porção inferior) durante todos os períodos.

Na praia das Meninas houve predominância de areia fina no período chuvoso (Figs. 11A, 11B e 11E), com aumento de ocorrência de areia média ($1,1 \phi$ a $1,4 \phi$) no período seco (Figs. 11C e 11D), segundo Rodrigues et al. (2025). A sedimentação fina se mostrou bem distribuída nas zonas de inframaré e sedimentos de granulometria média foram distribuídos nas zonas de supramaré e intermaré.

No período seco, diminui a quantidade de sedimentos em suspensão no rio (Melo et al. 2020), assim os depósitos marginais, onde encontram-se as praias estudadas, tendem a apresentar decréscimo desta sedimentação.

A praia da Baleia apresentou granulometria de sedimentos de $1,1 \phi$ a $2,6 \phi$, com predominância de areia média na maior parte da extensão da praia. Observou-se que a sedimentação de grãos de tamanho médio ocorreu de maneira uniforme (zona de supramaré, intermaré e inframaré) durante o período chuvoso. Já no período seco, houve ocorrência de sedimentos finos na zona de inframaré, especialmente no mês de novembro/2023 (Fig. 11D).

Na praia do Curuanã também se observou a predominância de areia média na maior parte da extensão da praia. Durante o período chuvoso, a sedimentação de areia média ocorreu na porção superior da praia (supramaré), e durante o período seco constatou-se a mesma situação, com exceção do mês de novembro/2023 (Figs. 11A, 11B, 11E e 11C). Edwards (2001), destaca que isso é resultado de uma maior mobilização dos sedimentos finos pelo espraiamento de ondas, o que facilita a deposição dos sedimentos mais grossos.

De um modo geral, obteve-se maior concentração de areia média nas porções superiores das praias, visto que em direção a zona de supramaré ocorre uma menor energia de ondas e marés (Ribeiro & Valadão 2021), dificultando o transporte e resultando em grãos mais grossos. Além disso, as praias estudadas estão margeando um estuarino amazônico, com bastante detritos orgânicos e, inclusive, arbustos que retém os sedimentos mais grossos na linha de costa. Sendo esta a causa principal de haver granulocrescência no sentido superior das praias.

Outra região com maior concentração de areia média localizou-se nas adjacências do canal do Curuanã, que atravessa área de maior relevo (Figs. 4 e 5), o chamado baixo planalto costeiro da região (Henriques 2022). Assim, no canal do Curuanã é transportado sedimentos com menor retrabalhamento em direção à praia.

Quanto ao padrão longitudinal, notou-se uma distribuição granulométrica crescente para sul e norte da área de estudo, mas principalmente maiores concentrações de sedimentos finos na região central, onde está localizada a praia das Meninas, bastante sedimentada pelo fluxo do canal do Jubim. Na região amazônica, as áreas recortadas por canais em planície costeira normalmente são favorecidas por maior aporte de sedimentos finos (Ranieri & El-Robrini 2015), quando a capacidade do rio é alta. Do contrário, pode-se observar sedimentos mais grossos, como obtido no outro canal a sul da área de estudo, o canal do Curuanã (Fig. 11), cujas fontes de sedimentos são depósitos mais grossos do planalto costeiro. A praia de Salazar e praia das Meninas tem seus limites margeados pelo canal do Jubim, já a praia da Baleia e Curunã tem seus limites margeados pelo canal do Curuanã.

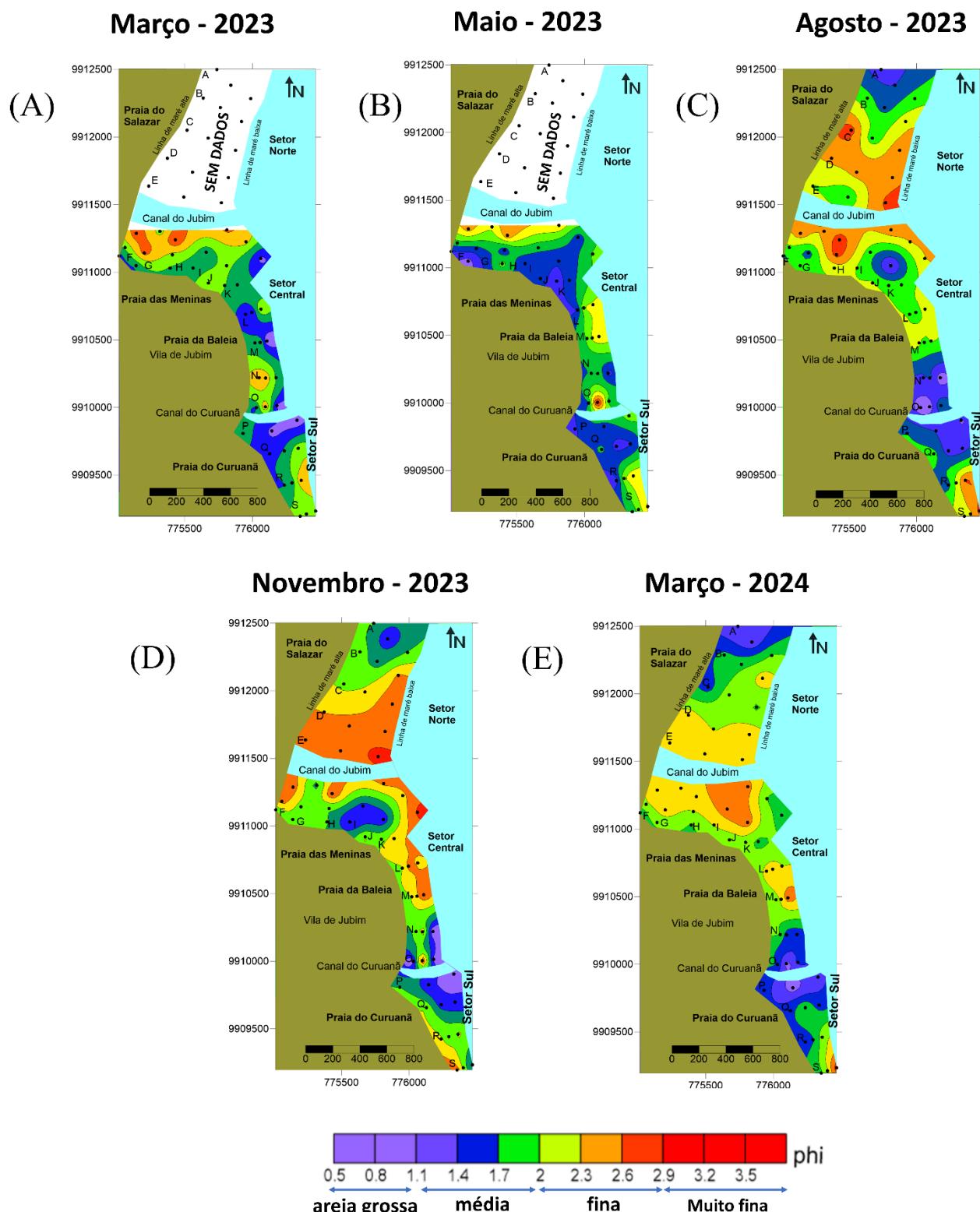


Figura 11. Distribuição granulométrica dos sedimentos das praias durante o período chuvoso – março/2023 (A); maio/2023 (B) e março/2024 (C). Dados interpolados de Rodrigues et al. (2025).

Em síntese, a praia do Salazar e a praia das Meninas apresentaram predominância de areia fina em praticamente toda a extensão. Já a praia da Baleia e Curuanã, mostram predominância de areia média na maior parte delas, sendo assim praias com predominância de areia fina possuem uma maior extensão na sua faixa de areia, com ondas relativamente baixas e maior retrabalhamento sedimentar. El-Robrini et al. (2023) ressaltam ainda que a baixa topografia das praias atua na diminuição da energia das ondas, promovendo maior deposição de sedimentos finos, como é o caso da Praia do Salazar e Meninas. Já praias com areia média possuem geralmente uma faixa de areia mais estreita e menor mobilidade sedimentar, a granulometria média também evidencia áreas fontes próximas, como é o caso da praia da Baleia que em toda a sua extensão é margeada por falésias ativas.

5. Conclusões

Este artigo destacou a dinâmica sedimentar em praias estuarinas da Ilha do Marajó, identificando as variações morfológicas e granulométricas sazonais nelas. Notou-se predominância de areia fina em toda área de estudo, com algumas ocorrências de areia média, principalmente na porção superior das praias, onde detritos orgânicos de vegetação, e mesmo arbustos presentes na linha de costa, aprisionam os sedimentos mais grossos.

Houve mais perda de sedimentos nos meses chuvosos (março e maio), reforçando a tendência erosiva dessa estação do ano na zona costeira amazônica.

A morfologia das praias, resultante da sedimentação, variou conforme a geologia da linha de costa. Praias limitadas por manguezais e outras vegetações tiveram menores variações topográficas na face praial, enquanto praias bordejadas por falésias apresentaram cotas topográficas maiores, assim como um relevo do terreno mais alto na interface praia-continente (área central tendo a maior altitude, coincidindo com o planalto costeiro).

As praias do litoral de Jubim tiveram uma resposta morfodinâmica condicionada ao domínio de marés (praias em transição para planície de maré), onde as ondas geradas por ventos locais foram pouco expressivas na mobilidade sedimentar.

Os resultados desta pesquisa são importantes na compreensão da dinâmica sedimentar de praias dominadas por marés, trazendo informações científicas importantes tanto para o monitoramento das praias estuarinas da costa leste da Ilha do Marajó, como demais praias equatoriais governadas pela pluviosidade e, consequente regime fluvial.

Agradecimentos

Aos integrantes do Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO) da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelo apoio nas atividades de campo e trabalhos laboratoriais. Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGOC) da UFPA. A Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento em projeto de

pesquisa (Processo FAPESPA: 2023/717500; Processo CNPq: 422166/2023-5).

Declaração de autoria

M.S.R: Research, Data processing, Conceptualization, Writing the original draft, Editing

L.A.R: Supervision, Review, Writing the original draft, Editing

Referências

- BIRKMEIER, W.A. 1981. Fast accurate two-person beach survey. Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station. Vickburg, Mississippi, Coastal Engineering Research Center, Vickburg, 22p.
- CASSELA, E.; DRECHSEL, J.; CRISTAO, I.; BENNINGHOFF, M.; ROVERE, A. 2020. Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. *Geo-Mar*, n.40, .255-268, p. DOI : <https://doi.org/10.1007/s00367-020-00638-8>.
- CONCEJO, A.V.; GALLOP, S.L.; LARGIER, J.L. 2020. Sandy beaches in estuaries and bays. *Sandy Beach Morphodynamics*, Elsevier, n.15, 3343-362p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00015-1>.
- EDWARDS, A.C. 2001. Grain Size and Sorting in Modern BeachSands. *Journal of Coastal Research*, v.17, n.1, 38 – 52p.
- EL-ROBRINI, M., RANIERI, L. A., SILVA, P. V. M., ALVES, M. A. M. S., GUERREIRO, J. S., OLIVEIRA, R. R. S., SILVA, M. S. F., AMORA, P. B. C., EL-ROBRINI, M. H. S., & FENZL, N. 2018. Pará, In D. Muehe (Org.), Panorama da Erosão Costeira no Brasil (Vol. 2, pp. 65-166). Ministério do Meio Ambiente. https://gaigerco.furg.br/images/Arquivos-PDF/Livro_panorama_erosao_costeira.pdf
- EL-ROBRINI, M., SILVA, P.V.M., COIMBRA, M.V.R. 2023. Morfodinâmica e transporte de sedimentos em praias amazônicas de meso-maré: O caso da Vila do Conde (Barcarena/Pará). *Cardeno de Geografia*, 75p. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n75p1300>
- EL-ROBRINI, M., SILVA, P.V.M., GUERREIRO, J.S., & RANIERI, L.A. 2024. Seasonal and macrotidal influence on the morphodynamics of estuarine beaches (Marajó island - Eastern amazon - Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 15. <https://doi.org/10.5380/qeg.v15i0.94228>
- ERIKSON, L., O'NEILL, A.; BARNARD, P.; VITOUSEK, S.; LIMBER, P. 2017. Climate change-driven cliff and beach evolution at decadal to centennial time scales. *Coastal Dynamics*, n.210, 125-136p.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. 1957 Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 365. <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>
- FONZAR, B.C. A. 1994. Circulação atmosférica na América do Sul, os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetória. *Caderno de Geociências*, 11-33p.
- FRANÇA, C.F & PIMENTEL, M.A.S. 2012. Diversidade paisagística das margens oeste e leste da baía de Marajó, Pará, norte do 373 Brasil. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 4, p. 900-910p.
- GÓMEZ-PUJOL & L. ORFILA, A. 2020. Reflective-dissipative continuum. *Sandy Beach Morphodynamics*, Elsevier, n. 18, 421-437p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102927-5.00018-7>.
- HOLANDA, T.F.; GONÇALVES, R.M.; LINO, A.P.; PEREIRA, P.S.; SOUSA, P.H.G.O. 2020. Classificação das variações morfodinâmicas e processos costeiros, praia do Paiva, PE, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 2, 235-251p. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i2.1796>
- HENRIQUES, R.J. 2022. Geoambientes, geoarqueologia e cenários de mudanças climáticas na Ilha do Marajó, Amazônia brasileira. Tese de doutorado, Pós-Graduação do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 203p.
- LIMA, A.M.M., OLIVEIRA, L.L., FONTINHAS, R.L., LIMA, R.J.S. 2005. Ilha do Marajó: Revisão histórica, hidroclimatológica, bacias hidrográficas e proposta de gestão. *Holos Environment*, v. 5, n. 1, 65–80p. <https://doi.org/10.14295/holos.v5i1.331>
- MASSELINK, G & SHORT, A.D. 1993. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. *Journal of Coastal Research*, v. 9, 785– 800p.

- MCLACHLAN, A.; DORVLO, A. 2005. Global Patterns in Sandy Beach Macrobenthic Communities. *Journal of Coastal Research*, v.4, n. 21, 674-687p. <https://doi.org/10.2112/03-0114.1>
- MELO, S. C. de, FILHO, J. C. de A., & CARVALHO, R. M. C. M. de O. 2020. Curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 13, n. 3, 1248-1262. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1248-1262>
- MIRANDA M.C.C. 2010. Sedimentologia, isótopos estáveis e palinologia de depósitos quaternário no leste da Ilha do Marajó, Estado do Pará. PhD Theses, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 214p.
- MOLONEY, J.G.; HILTON, M.J.; SIRGUEY, P.; SIMONS-SMITH, T. 2018. Coastal Dune Surveying Using a Low-Cost Remotely Piloted Aerial System (RPAS). *J. of Coastal Research*, v. 345, n.5, 1244-1255p. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-17-00076.1>
- MONICO, J. F. G. 2008. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. 2^a ed. São Paulo: EditoraUNESP.
- MUEHE, D. 2019. Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraias. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 10, n. 1, 40-43p. <https://doi.org/10.5380/abequa.v10i1.69217>
- MUEHE, D. 2022. Gestão e mudanças climáticas globais. BRIANA, B; TURRA, A; POLETTE, M. Gestão de praias do conceito à prática. CDD (20. ed). São Paulo, 259-283p.
- OLIVEIRA FILHO, S. R. & FERNANDEZ, G. B. 2021. Coastal MD: programa de cálculo de parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias arenosas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, n. 3, 717-729p. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1971>.
- RANIERI L.A. & EL-ROBRINI M. 2015. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, v. 42, n. 3, 207-226p.
- RANIERI, L.A. & EL-ROBRINI, M. 2020. Morfologia e sedimentação em praias oceânicos da Amazônia Oriental durante a variação anual de chuvas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 5, 2086-2102p. <https://doi.org/41010.26848/rbgf.v13.5.p2086-2102>
- RIBEIRO, S.R., & VALADÃO, R.C. 2021. Efeitos marinho e fluvial na dinâmica dos ambientes inundáveis do Estuário Superior do Rio Pará, Norte do Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 22, n. 4, 892p. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.2017>
- RODRIGUES, H. C. T. 2020. Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Barcarena-PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 1, 1598-1612p. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-110>.
- RODRIGUES, M.S., FIGUEIREDO, F.S., RANIERI, L.A. 2025. Morfodinâmica de praia em ambiente fluviomarinho amazônico (Jubim, Ilha do Marajó, Brasil). *Revista Brasileira de Geografia Física*. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v18.05.p3697-3717>
- SERRÃO P. F. 2019. Formação e manutenção de correntes de retorno: influência da morfologia e ondas incidentes. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Oceanografia geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 93p. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.21.2019.tde-17052019-105634>.
- SHORT, A. D., KLEIN, A. H. F. 2016. Brazilian Beach Systems. *Coastal Research Library*, v. 17, 1-74p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9>
- SIMÕES, R. S. 2018. Mobilidade do limite praia duna no balneário Mostardense – RS: monitoramento por drone. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SOUSA, M.B.P., & RANIERI, L.A. 2023. Morfodinâmica de praias estuarinas da costa leste da Ilha do Marajó, Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(3). <https://doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2350>
- TAAOUATI, M.; NACHITE, D.; BENAVENTE, J.; EL M'RINI, A. 2011. Seasonal changes and morphodynamic behavior of a 437high-energy mesotidal beach: Case study of Charf el Akab beach on the North Atlantic coast of Morocco. *Environmental Earth Sciences*, v. 64, n. 5, p. 1225-1236p. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-0937-8>
- TAVARES, A. L. et al. 2021. Climate indicators for a watershed in the eastern amazon. *Revista Brasileira De Climatologia*, 23p. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.61160>
- TURNER, I. L., HARLEY, M. D., DRUMMOND, C. D. 2016. UAVs for coastal surveying. *Coastal Engineering*, 114 19–24p. <https://doi.org/10.1016/j.coastalgeng.2016.03.011>.
- WENTWORTH, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5), 377-392. <https://www.jstor.org/stable/30063207>