



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Morfologia e Sedimentação de uma Praia Estuarina Amazônica (Marahú/PA) Durante Amplitudes de Marés Distintas

Carolina Costa Ramos¹, Leilanne Almeida Ranieri²

¹Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Naval, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. E-mail: carolinaramosufpa@gmail.com;

²Professora Efetiva da Faculdade de Oceanografia e Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil. E-mail: laranieri@ufpa.br

Artigo recebido em 25/04/2020 e aceito em 28/07/2021

RESUMO

As praias estuarinas são depósitos intermareais de areia ou cascalho localizados às margens de estuários. Marahú é uma destas praias, situada no Rio Pará, estuário amazônico. O objetivo deste artigo foi analisar a variação morfosedimentar de curto período nesta praia, buscando averiguar de uma maré de sizígia a uma maré de quadratura, se há alterações na morfologia e sedimentação praial em apenas um ciclo lunar. A importância deste estudo é constatar o dinamismo sedimentar de praias localizadas em estuários dominados por marés. A metodologia consistiu em aquisição de dados topográficos através de perfis de praia e amostragem de sedimentos superficiais, em 30/09/2016 e 09/11/2016. A partir dos resultados obtidos pôde-se conferir que na praia do Marahú predominou o estado morfodinâmico intermediário ao reflexivo (2° a 6°) e, que houve mudanças significativas no volume sedimentar praial de uma situação de maré a outra, em apenas um ciclo lunar. Na maré equinocial de sizígia ocorreu maior volume sedimentar nos perfis praias ($53,62 \text{ m}^3/\text{m}$ a $175,37 \text{ m}^3/\text{m}$) e, predominância de areia média (1 a 2 ϕ). Já na maré de quadratura também houve esta predominância, mas houve perda de sedimentos de $-0,35 \text{ m}^3/\text{m}$ a $-71,19 \text{ m}^3/\text{m}$. Como as amostragens ocorreram em período de transição à estação mais chuvosa amazônica, ou seja, quando os índices pluviométricos começam a aumentar, pôde-se constatar também a predominância da sazonalidade climática sobre a dinâmica sedimentar. Desta forma, a tendência de perda de sedimentos da estação menos chuvosa a mais chuvosa na praia.

Palavras-chave: Morfodinâmica Costeira, Sedimentologia, Praia Estuarina, Maré, Amazônia.

Morphology and Sedimentation of an Amazon Estuarine Beach (Marahú/PA) During Different Tide Ranges

ABSTRACT

Estuarine beaches are intertidal sand or gravel deposits located on the banks of estuaries. Marahú is one of these beaches, located on the Pará River, an Amazonian estuary. The objective of this paper was to analyze the short-term morphosedimentary variation on this beach, seeking to ascertain from a spring tide to a neep tide, if there are changes in morphology and sedimentation beach in just one lunar cycle. The importance of this study is to verify the beaches sedimentary dynamism located on tidal dominated estuaries. The methodology consisted of topographic data acquisition through beach profiles, and surface sediment sampling, in 09/30/2020 and 10/09/2020. From the results obtained, it was possible to verify that at Marahú beach the intermediate to reflective morphodynamic state (2° to 6°) predominated and that there were significant changes on the beach sedimentary volume from one tidal situation to another, in just one cycle lunar. In the equinoctial spring there was a greater sedimentary volume in the beach profiles ($53.62 \text{ m}^3/\text{m}$ to $175.37 \text{ m}^3/\text{m}$). In the neep tide, there was also this predominance, but there was a loss of sediment from $-0.35 \text{ m}^3/\text{m}$ to $-71.19 \text{ m}^3/\text{m}$, especially fine sand ($> 2 \phi$). As the sampling occurred in a transition period to the Amazon rainiest season, when the rainfall indexes start to increase, it was also possible to verify the predominance of climatic seasonality over the sedimentary dynamics. Thus, the tendency of sediment loss from the least rainy to the rainiest season on the beach.

Keywords: Coastal Morphodynamics, Sedimentology, Estuarine Beach, Tide, Amazon.

Introdução

A ampla gama de processos hidromorfodinâmicos que afetam as zonas costeiras, tais como ondas, correntes e marés, entre outros, interagem em diferentes escalas espaciais e temporais, tornando essas zonas ambientes altamente variáveis (Alvarez-Ellacuria et al., 2010).

Esta dinâmica costeira é a principal responsável pelo desenvolvimento das praias arenosas e pelos processos erosivos e deposicionais que as mantêm em constante alteração (Muehe, 2003).

Os estudos sobre a variabilidade morfosedimentar de praias permitem o acompanhamento de ciclos de erosão e sedimentação. Além de permitir traçar um fluxo sedimentar (Marino, 2013).

Estando sujeitas a um dinamismo natural intenso, as praias arenosas estuarinas da Zona Costeira do Estado do Pará, apresentam importantes alterações em suas morfologias, devido ao domínio das marés. Como esta zona é caracterizada por reentrâncias formadas por baías e estuários, ocorrem inúmeras praias estuarinas (El-Robrini et al., 2018).

O ambiente estuarino é caracterizado como um sistema complexo na interface entre o rio e o mar. A natureza e distribuição de ambientes de sedimentação em um estuário são controlados pela interação entre disponibilidade de sedimentos, processos hidrodinâmicos e morfologia de fundo (Nichols e Biggs, 1985).

Desta forma, entende-se que os estuários são ambientes bastante dinâmicos que sofrem transformações temporais em função de fatores oceanográficos, climáticos, geológicos e antrópicos.

Schettini (2001) afirma que todo o tipo de estuário tem fatores particulares que os diferencia; e os estuários da Amazônia, com os ventos fortes e ação das marés e ondas, formam diversas praias estuarinas.

A Ilha de Mosqueiro é um exemplo de região estuarina fortemente influenciada pelos ventos e ondas locais, bem como pela ação das marés e sazonalidade climática.

A Ilha pertence à região metropolitana de Belém e está localizada a 79 km desta. Está inserida no estuário do Rio Pará, com influência das águas do Oceano Atlântico.

As praias estuarinas ocorrem na margem ocidental da Ilha, que apresenta uma costa

vulnerável à erosão, como exemplo, a Praia do Marahú (El-Robrini et al., 2018), que é a área de estudo deste artigo.

No setor continental estuarino do NE do Pará, onde encontram-se a Ilha de Mosqueiro, não há muitos estudos referentes à morfosedimentação em praias estuarinas e os processos cíclicos erosivos-deposicionais. Mais escassos ainda são as pesquisas que analisam a influência de distintas amplitudes de marés nas praias e os efeitos que elas podem trazer a morfologia e sedimentação praial.

Fato que não pode ser desprezado ao considerar que a Ilha se localiza num setor da costa brasileira dominado por meso-macromarés, cujas amplitudes e intensidades das correntes ainda são influenciadas pela ação fluvial da Bacia do Amazonas e pela pluviosidade da região equatorial.

El-Robrini (2001), realizou estudos sobre a variabilidade morfosedimentar das praias estuarinas da Ilha de Mosqueiro e evidenciou mudanças morfológicas durante um ciclo sazonal, sendo estas influenciadas pela interação dos seguintes fatores: a variação das condições meteorológicas e climáticas e, dos processos oceanográficos e hidrológicos.

Neste artigo pretendeu-se averiguar através de perfis transversais na praia do Marahú se há também alterações significativas na morfologia e sedimentação durante um ciclo lunar. Consequentemente, na ocorrência de distintas amplitudes de maré: maior – maré de sizígia equinocial (condição extrema), e menor – maré de quadratura (condição normal).

Os resultados obtidos permitem agregar maiores informações sobre a dinâmica sedimentar de praias estuarinas dominadas por marés. Constatando se as mudanças morfológicas e sedimentares são expressivas também na alternância de uma fase lunar a outra e, de condição hidrodinâmica elevada a normal.

Material e Métodos

Área de Estudo - A área de estudo está localizada na Praia do Marahú, Ilha de Mosqueiro/PA (Figura 1). Esta localiza-se na margem direita do estuário do Rio Pará, separada do continente pelos furos do Maguari e das Marinhas. A ilha compõe a Região Metropolitana de Belém.

A ilha apresenta 17 km de praias de água doce, e altitude média de 15 m acima do nível do mar. Tem uma configuração de costa caracterizada por uma sucessão de promontórios e enseadas arenosas, as quais formam ao todo 21 praias, que

se estendem por 220,85 km² da Ilha (El-Robrini et al., 2001).

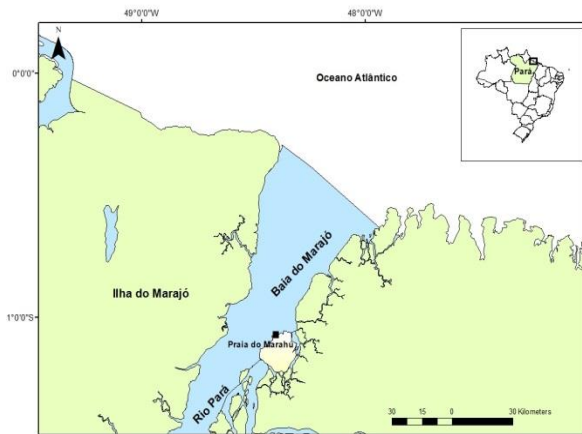


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

De acordo com Klein et al. (2003), em praias arenosas que apresentam essa configuração, a linha de costa geralmente assume forma curvada, podendo desenvolver formas assimétricas.

Na margem ocidental da Ilha de Mosquero, os contornos angulosos e escarpados, influenciados por falhas geológicas normais e transcorrentes, alternam-se em enseadas com praias e pontões rochosos, ilhas e plataformas de abrasão (Igreja et al., 1990; El-Robrini et al., 2018).

A praia do Marahú apresenta um traçado retilíneo, sendo semi-protegida por promontórios em forma de pontais rochosos e limitada ao continente pelo planalto costeiro. Sua orientação SW-NE corresponde ao setor norte da Ilha de Mosquero que apresenta um segmento praias que possui 3 km de extensão.

Bem como outras praias pertencentes à costa amazônica, a praia em estudo apresenta potencialidades ao turismo, que, neste caso, é viabilizado pela proximidade da capital Belém.

O setor oeste da praia é bordado por falésias, modificadas por construções urbanas, como revestimento por concreto e construções de casas sobre elas. Essas construções se estendem até a zona da praia em alguns pontos.

Enquanto o setor leste é constituído por uma porção central sem a presença de falésias, mas com construções de barracas e pista de acesso, próximo a LMA (Linha de Maré Alta), que são alcançadas em marés de sizígia e afetadas com o processo de erosão. A porção final deste setor é menos urbanizada e apresenta falésias com vegetação natural (Figura 2).

A praia tem faixa de areia curta inundada pelas marés semidiurnas, escarpas praias, devido a presença das falésias e berma, sedimentos com

granulometria grosseira e declives moderadamente acentuados.

Além disso, é influenciada pelo clima equatorial (quente e úmido) da Região Norte, que é sazonalmente bem definido com um período quente/seco ou menos chuvoso de Junho a Novembro e um período chuvoso de Dezembro a Maio (INMET, 2015).

Essa variação sazonal é determinada por mudanças na posição da Zona de Convergência Intertropical durante o curso do ano (Arraut et al., 2012).

Segundo El-Robrini et al. (2018), os ventos Alísios ENE são responsáveis pela formação das ondas na costa paraense, inclusive no setor continental estuarino, onde está localizada a Ilha de Mosquero.

Informações relacionadas às características das ondas na Ilha de Mosquero foram observadas por El-Robrini (2001), indicando que as ondas quebram com altura de até 1 m, neste caso, com períodos em torno de 8 s.

Em condições de maré baixa, a superfície da água na Ilha é tranquila, com presença de pequenas ondulações, que não chegam a 0,3 m de altura. As praias de água doce de baías têm ondas volumosas que lembram as praias oceânicas.

Quanto à amplitude das marés, as praias da Ilha do Mosquero sofrem uma variação média de 3,5 m durante a sizígia (El-Robrini, 2001) e 2,8 m durante a quadratura.

Amostragem - O levantamento do perfil praias foi elaborado segundo o método topográfico de "Stadia", aperfeiçoado para praias por Birkemeier (1981), onde foi utilizado um Nível Ótico (Marca Nikkon), que é composto de uma mira telescópica, um tripé e uma régua graduada escalonável de 5 m.

Os locais previstos para o levantamento de cada perfil foram dispostos sempre em direção perpendicular à linha da costa e, os pontos iniciais de localização dos perfis (transectos) foram georreferenciados, mediante o uso de um GPS.

Ao longo dos perfis foram coletados dados nas cinco zonas delimitadas para ambientes de meso-macromaré: supramaré, intermaré superior, média e inferior, e inframaré (Souza Filho et al., 2003; Short, 2003; Ranieri e El-Robrini, 2012).



Figura 2. Ocupação sobre falésias no setor oeste, com revestimento por concreto e construções de casas (A). Setor leste: sem falésias, mas com construções sobre o pós-praia (B) e, com falésias sem construções na sua extremidade (C).

As campanhas de campo para a coleta de dados ocorreram em 30 de setembro de 2016 e, após completar um ciclo lunar, em 9 de novembro de 2016. Ambas realizadas no final do período menos chuvoso amazônico.

A primeira campanha correspondeu a situação de maré de sizígia equinocial (condição extrema: 4,0 m) e, a segunda campanha, correspondeu à maré de quadratura (condição normal: 2,9 m), de acordo com os dados de amplitude de maré para Ilha de Mosqueiro, disponibilizado pelo Centro de Hidrografia da Marinha (DHN, 2016).

Os levantamentos topográficos foram distribuídos em 9 pontos da Praia do Marahú, sendo quatro pontos (Perfis A, B, C, D) no setor oeste e cinco pontos (Perfis E, F, G, H, I) no setor leste. O espaçamento entre os perfis foi de aproximadamente 400 m (Figura 3).



Figura 3. Localização dos perfis topográficos da área de estudo.

As amostras de sedimentos superficiais foram coletadas simultaneamente à realização dos perfis. As coletas foram realizadas com auxílio de um amostrador de PVC (10 cm de diâmetro e 5 cm de profundidade), cuja profundidade é referente à deposição semi-diurna mais recente.

As amostras foram transportadas ao Laboratório de Análise do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), para o tratamento (lavagem, secagem, peneiramento e pesagem) e a realização dos procedimentos analíticos, adotando-se a escala de tamanho de grãos proposta por Wentworth (1922).

Para a caracterização dos parâmetros estatísticos (média, seleção, assimetria e curtose) (Folk e Ward, 1957) dos sedimentos foi aplicado o software *SysGran*.

Os resultados obtidos de tamanho médio dos grãos de sedimentos, bem como os parâmetros estatísticos restantes, foram plotados no *software Surfer 10*, sendo produzidos mapas temáticos de cada parâmetro.

Os dados topográficos levantados em campo foram processados através do programa *Microsoft Office Excel*, no qual foi gerado um banco de dados dos perfis de praia.

Para a plotagem e visualização gráfica da topografia dos perfis foi utilizado o *software Grapher 9.0* onde se puderam notar as variações

morfológicas ocorridas entre as marés de sizígia equinocial e de quadratura de cada perfil analisado.

Empregou-se os seguintes parâmetros morfométricos sobre os dados topográficos e sedimentares de cada perfil praiar: Vv – volume sedimentar (m^3/m), Yb – largura da praia (m) e β – declividade da praia ($^\circ$). Sendo este último parâmetro determinante para caracterização do estado morfodinâmico de cada perfil de praia, considerando os índices propostos por Sazaki (1980), que inclui a declividade da face praiar (β), obtida através da fórmula:

$$\tan\beta = \text{oposto/adjacente}$$

O dado oposto corresponde à altura e o dado adjacente corresponde à distância entre o máximo e o mínimo valor registrado do perfil praiar.

Resultados

Aspectos Morfológicos - As mudanças morfológicas e os cálculos morfométricos da praia do Marahú (Tabela 1) foram descritos segundo a divisão em dois setores.

A largura média (Yb) no setor Oeste foi de aproximadamente 45 m e no setor Leste foi aproximadamente 58 m.

O volume sedimentar (Vv) na praia foi maior durante a maré equinocial de sizígia, e nos primeiros e últimos perfis, localizados nas extremidades da praia (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros morfométricos calculados para a praia do Marahú durante as duas situações de estudo.

Maré equinocial de sizígia (30/09/2016)			
Perfil	Yb (m)	β ($^\circ$)	Vv (m^3/m)
A	34	5 $^\circ$	104,05
B	46,7	4 $^\circ$	141,21
C	55	3 $^\circ$	116,23
D	45	2 $^\circ$	62,05
E	42	4 $^\circ$	73,49
F	40	5 $^\circ$	53,62
G	61	2 $^\circ$	133,62
H	94,7	2 $^\circ$	175,37
I	109	2 $^\circ$	140,59
Maré de quadratura (09/11/2016)			

Perfil	Yb (m)	β ($^\circ$)	Vv (m^3/m)
A	45	6 $^\circ$	110,31
B	50	5 $^\circ$	124,29
C	51	4 $^\circ$	79,76
D	38,7	4 $^\circ$	39,47
E	35	6 $^\circ$	61,52
F	42,3	4 $^\circ$	73,98
G	42	4 $^\circ$	62,43
H	51	4 $^\circ$	122,4
I	63	3 $^\circ$	144,40

Para o período estudado, o padrão de variabilidade da morfologia praiar se mostrou típico de praias intermediárias à reflexivas (Tabela 2), ou seja, moderado a alto gradiente da praia caracterizado pela energia de ondas variando de média a baixa.

Tabela 2. Estados morfodinâmicos identificados na praia do Marahú em 30/09/2016 (maré de sizígia equinocial) e 09/11/2016 (maré de quadratura).

SETOR OESTE		
Perfil	30/09/2016	09/11/2016
A	Reflexivo	Reflexivo
B	Intermediário	Reflexivo
C	Intermediário	Intermediário
D	Intermediário	Intermediário
SETOR LESTE		
Perfil	30/09/2016	09/11/2016
E	Intermediário	Reflexivo
F	Reflexivo	Intermediário
G	Intermediário	Intermediário
H	Intermediário	Intermediário
I	Intermediário	Intermediário

Setor Oeste - O setor oeste é marcado por uma zona de supramaré limitada por falésias ativas do Grupo Barreiras, e suas extremidades finalizadas com promontórios e afloramentos rochosos (Figura 4).



Figura 4. Presença de falésias ativas do Grupo Barreiras no setor oeste (A); Afloramento Rochoso que se estende da zona de intermaré até a zona de inframaré do perfil D (B).

Este setor apresentou maior ocorrência do estado reflexivo de praia (Tabela 2), com declividades mais íngremes (2° a 6°), que o setor adjacente (leste). A maior variação da declividade da face praial do setor oeste ocorreu no perfil D, sendo de 2° durante a maré equinocial, para 4° na maré de quadratura.

As medições topográficas (Figura 5) demonstraram um decréscimo no volume sedimentar da praia quando comparadas as duas situações de marés, sugerindo um balanço de negativo de sedimentos (Figura 6), indo de $-0,35 \text{ m}^3/\text{m}$ (Perfil A) a $-36,47 \text{ m}^3/\text{m}$ (Perfil C).

Setor Leste - A face praial do setor leste apresentou maiores alterações quanto a morfologia na porção central do setor, que é caracterizado por uma ocupação urbana mais significativa. Enquanto a porção oriental do setor, que marca o término da praia e, é bordejada por falésias sem construções, apresentou as menores variações morfológicas (Figura 7).

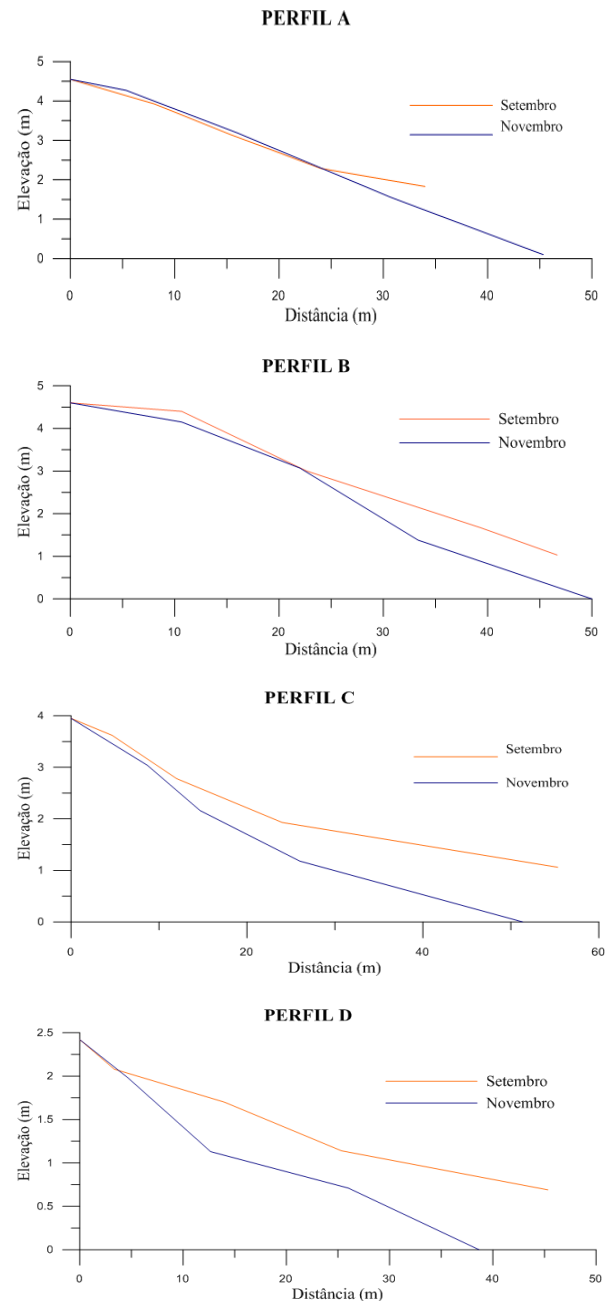


Figura 5. Morfologia praial nos perfis do Setor Oeste do Marahú em 30/09/2016 (maré de sizígia equinocial) e 09/11/2016 (maré de quadratura).

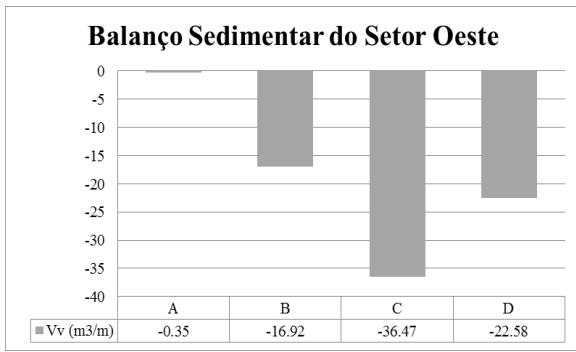


Figura 6. Balanço sedimentar obtido nos perfis do Setor Oeste entre 30/09/2016 (maré de sizígia equinocial) e 09/11/2016 (maré de quadratura).



Figura 7. Setor Leste com urbanização sobre a praia: Perfil F (A). Construções sobre o pós-praia no perfil G (B). Falésias ativas no pós-praia e afloramento rochoso da zona de intermaré a inframaré do perfil I (C).

No setor leste, apenas o perfil F (Figura 8) apresentou um decréscimo na declividade praial entre as duas situações de marés analisadas. Sendo pequeno, de 5° durante a maré equinocial e largura da praia (Yb) de 40 m, para 4° na maré de quadratura, com largura de 42 m.

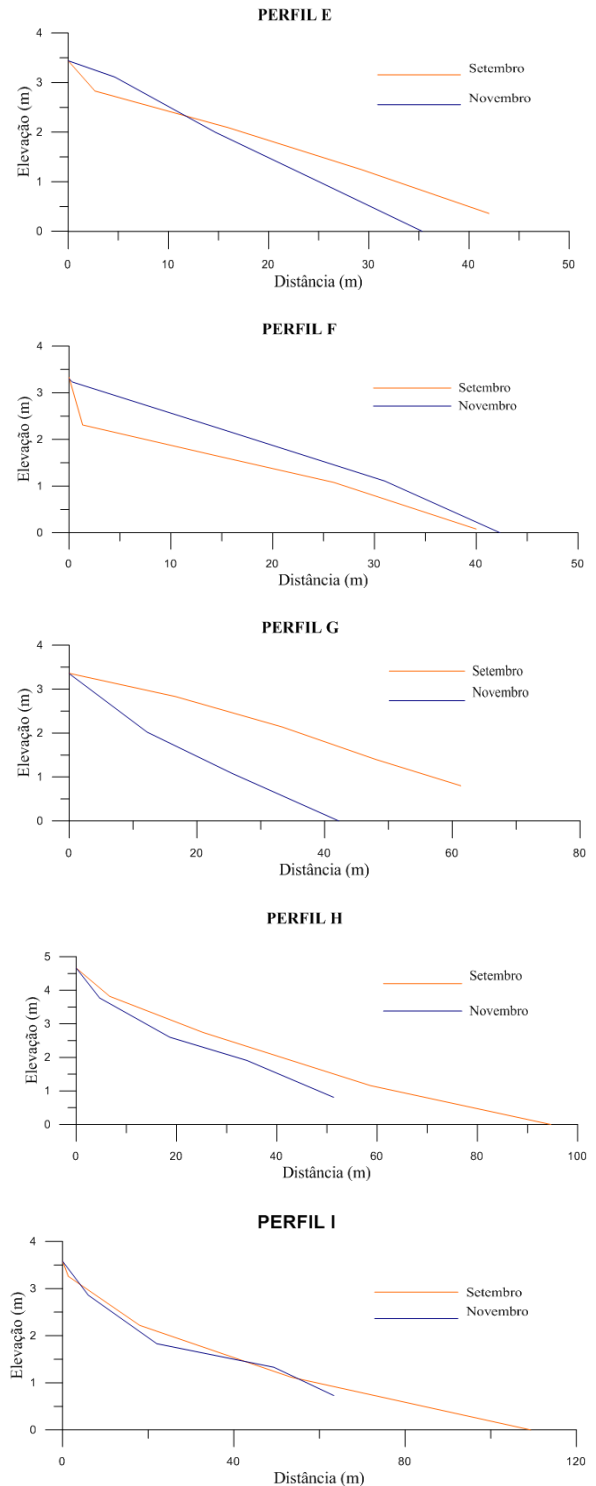


Figura 8. Morfologia praial dos perfis do Setor Leste em 30/09/2016 (maré de sizígia equinocial) e 09/11/2016 (maré de quadratura).

A variação de volume sedimentar foi positiva no perfil F, implicando num acréscimo de 53,62 m³/m para 73,98 m³/m, ou seja, um balanço positivo de +20,36 m³/m (Figura 9).

Porém, todo restante do setor, apresentou um decréscimo no volume sedimentar quando comparadas as duas situações de marés, sugerindo um balanço sedimentar negativo, chegando a -71,19 m³/m no Perfil G (Figura 9).

O setor leste apresentou maior tendência para o estado intermediário, com declividades entre 2° a 6°, contudo mais suaves que no setor oeste, especialmente devido a maior largura da face praial. Dentre os perfis estudados neste setor, destaca-se também o perfil I, cuja morfologia não apresentou grandes mudanças, exceto em extensão, ocorrendo um balanço negativo no volume sedimentar de apenas -4,45m³/m da maré equinocial à maré de quadratura (Figura 9). A largura da praia (Yb) apresentou 109 m na primeira e 63 m na segunda. A declividade da face praial apresentou a menor variação do setor leste, sendo de 2° para 3° entre as duas situações de maré.

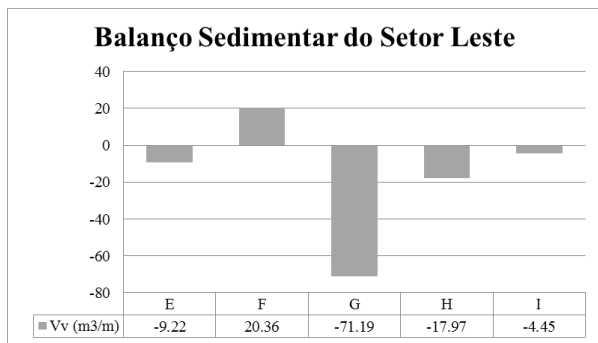


Figura 9. Balanço sedimentar obtido nos perfis do Setor Leste entre 30/09/2016 (maré de sizígia equinocial) e 09/11/2016 (maré de quadratura).

Parâmetros Estatísticos - O diâmetro médio dos grãos no setor oeste e leste sofreram diferenças pouco significativas. O valor médio deste parâmetro para as amostras dos perfis do setor oeste variou de 1,44 a 1,57 Φ , indicando a predominância de areia média, observada também no setor leste, cujo valor médio nos perfis foi de 1,5 a 1,74 Φ (Figura 10 e 11).

Houve ocorrência de sedimentos mais grossos depositados nas zonas de supramaré e intermaré e, sedimentos mais finos na zona de inframaré.

O grau de seleção predominante dos sedimentos foi de moderadamente selecionados (0,5 a 1,0 Φ) em 30/09/2016 em ambos os setores, ocorrendo maiores alterações nas zonas de supramaré e intermaré em 09/11/2016. Ainda assim a classificação de moderadamente selecionados foi predominante, no entanto, houve

também ocorrência de amostras bem selecionadas (0,35 a 0,50 Φ) (Figuras 12 e 13).

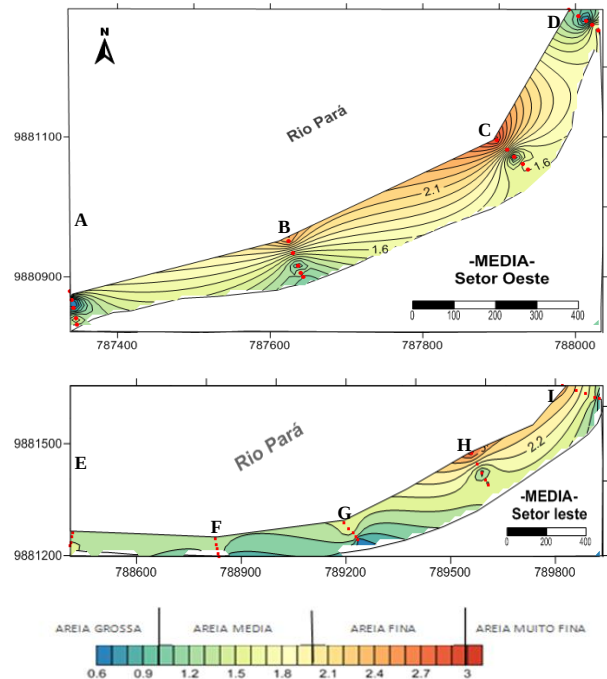


Figura 10. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico média nos setores oeste e leste durante a maré de sizígia equinocial.

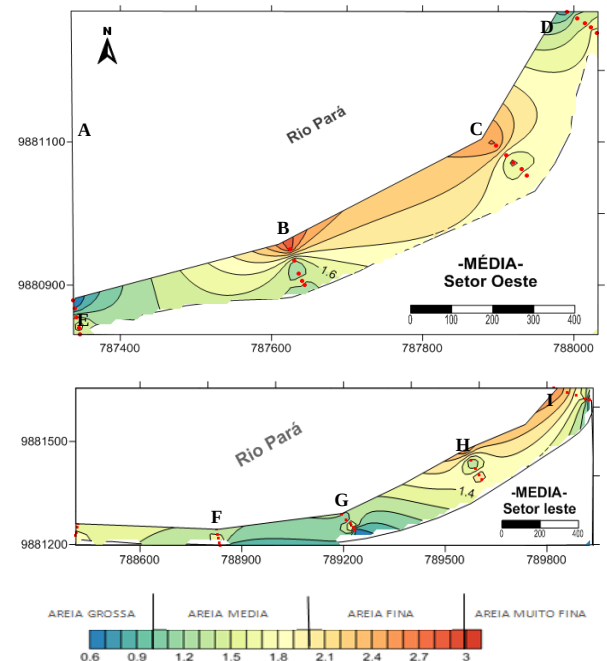


Figura 11. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico média nos setores oeste e leste durante a maré de quadratura.

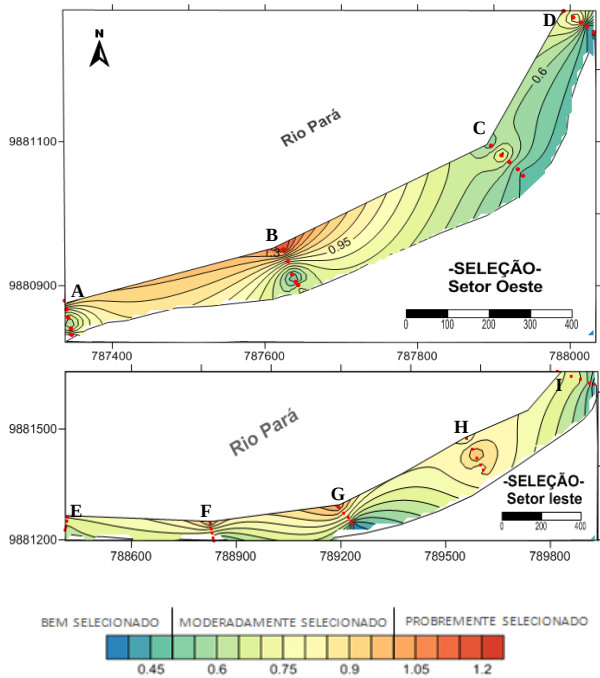


Figura 12. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico seleção nos setores oeste e leste durante a maré de sizígia equinocial

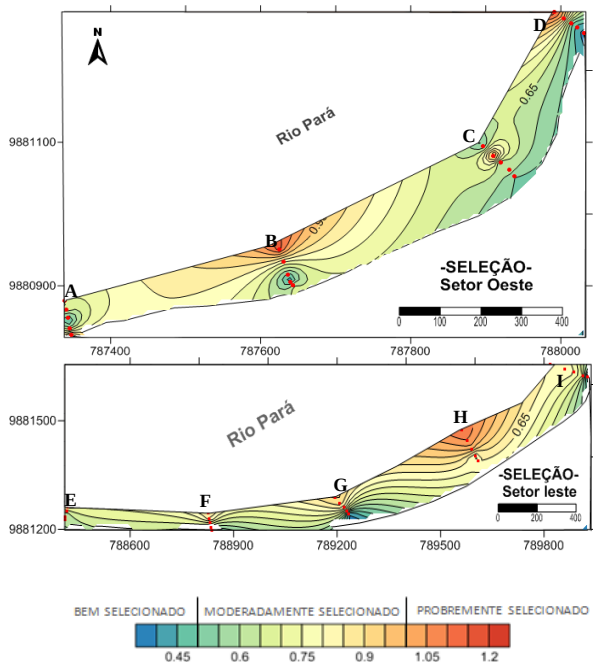


Figura 13. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico seleção nos setores oeste e leste durante a maré de quadratura.

O setor oeste foi o que apresentou maiores variações no grau de assimetria em ambas situações de maré, ocorrendo assimetria positiva (0,10 a 0,30) e negativa (-0,30 a -0,10) na zona de supramaré e intermaré (Figuras 14 e 15).

No setor leste, foram variações de aproximadamente simétrica a negativa, com pouca ocorrência de assimetria positiva. Neste setor apenas o perfil E, apresentou alterações em todas as zonas do perfil praiar.

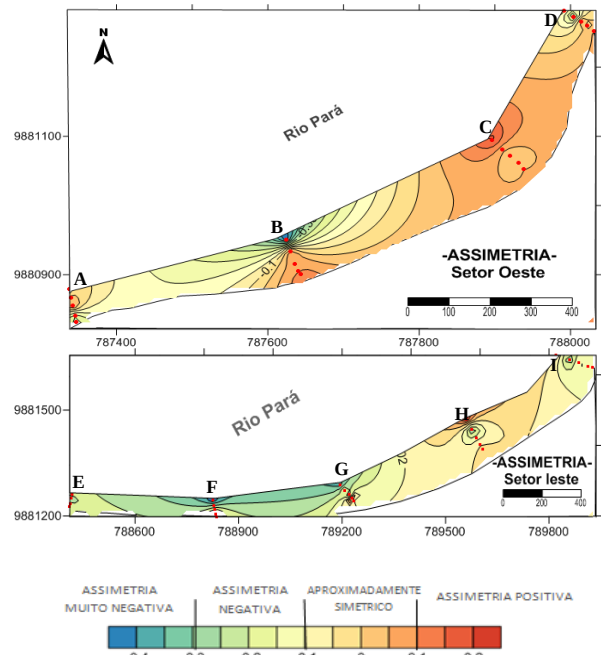


Figura 14. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico assimetria nos setores oeste e leste durante a maré de sizígia equinocial.

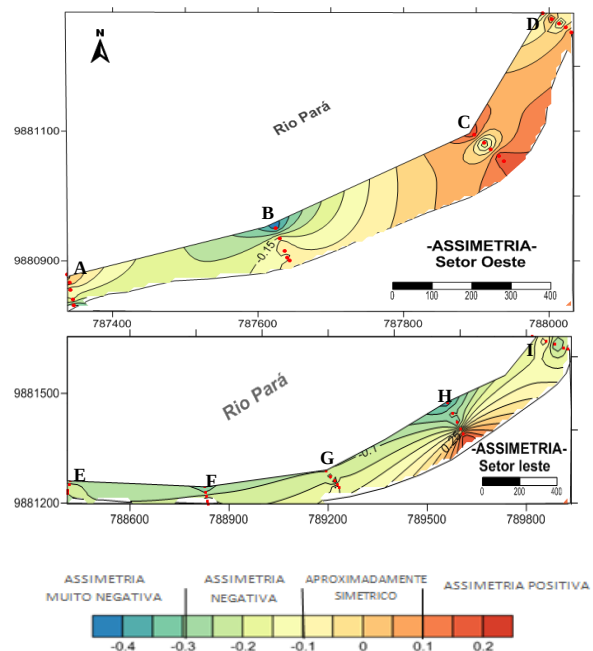


Figura 15. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico assimetria nos setores oeste e leste durante a maré de quadratura.

O grau de curtose foi de mesocúrtica (0,90 a 1,11) e leptocúrtica (1,11 a 1,5) no setor oeste. As maiores variações ocorreram no setor leste, que chegou a apresentar alteração em todas as zonas de alguns perfis estudados (Perfil G e H), mas registrando grau de curtose predominante de mesocúrtica, contudo em algumas zonas, valores de platicúrtica (0,67 a 0,90) e leptocúrtica (Figuras 16 e 17).

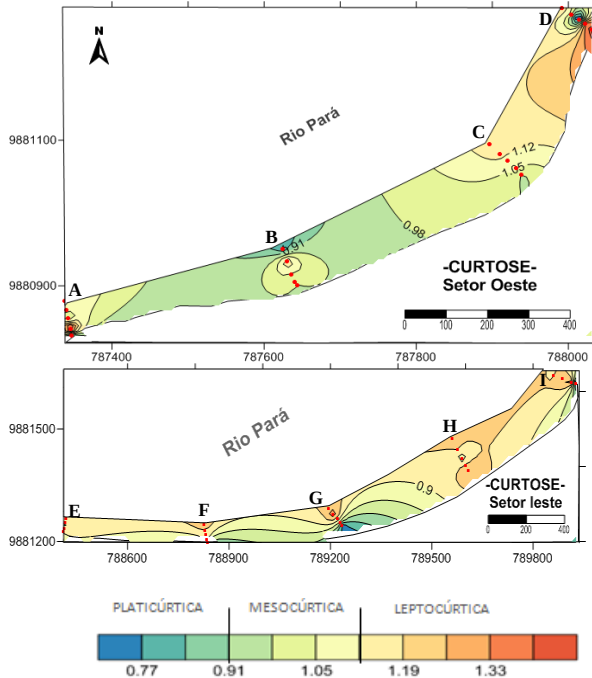


Figura 16. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico curtose nos setores oeste e leste durante a maré de sizígia equinocial.

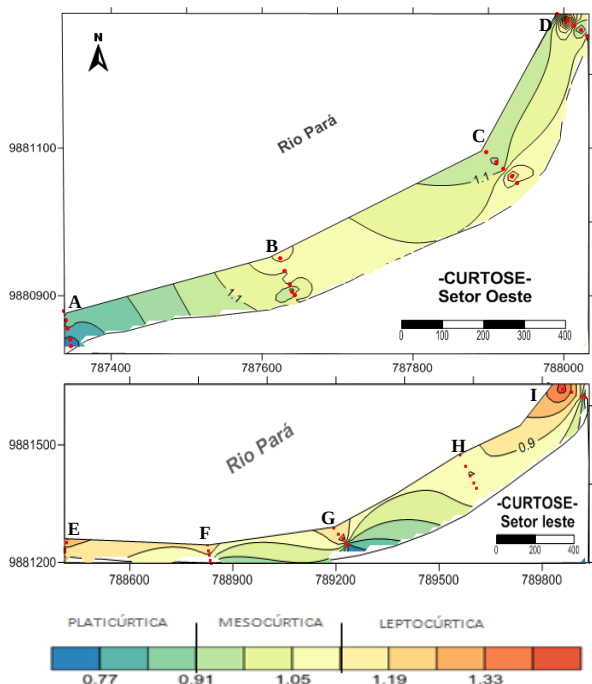


Figura 17. Mapa de distribuição do parâmetro granulométrico curtose nos setores oeste e leste durante a maré de quadratura.

Discussão

Segundo as características morfológicas, sedimentares e hidrodinâmicas agrupadas por Sazaki (1980), para identificação de estados morfodinâmicos de praia, Marahú apresentou comportamento intermediário a reflexivo, com declives de praia moderados a altos (Tabelas 1 e 2), onde ocorrem ondas mergulhantes ou ascendentes.

De acordo com Nordstrom (1992), as praias estuarinas são ambientes afetados por correntes de maré e por ondas de baixa a moderada energia, geradas localmente dentro de baías ou estuários. As ondas retrabalham os sedimentos trazidos pelas correntes de maré ou provenientes de depósitos ou feições costeiras em erosão.

Na praia do Marahú, estes depósitos são os sedimentos recentes do Quaternário, distribuídos pela hidrodinâmica estuarina. Além dos depósitos pleistocênicos e holocênicos do Grupo Barreiras e Sedimentos Pós-barreiras que compõem o planalto costeiro e margeia a Ilha de Mosqueiro, representados por feições como: falésias ativas, promontórios e afloramentos rochosos (Costa et al., 1996).

Em ambas as situações de amostragem desta pesquisa (maré de sizígia equinocial e maré de quadratura), a granulometria dos sedimentos coletados na praia foram predominantemente de areias médias (Figuras 10 e 11) moderadamente selecionadas (Figuras 12 e 13), indicando a proximidade com áreas fontes de sedimentos e, portanto, médio retrabalhamento dos grãos.

Na maré de sizígia equinocial (30/09/2016), houve o aparecimento mais expressivo de areias grossas nas porções mais superiores dos perfis, indicando ação eficaz do espreamento de ondas na porção superior da praia (zona de intermaré superior).

Durante a maré de sizígia equinocial (condições mais energéticas), o transporte sedimentar tanto de carga suspensa, como de carga de fundo é maior, envolvendo também elevado volume de sedimentos de granulometria variada: grãos finos a grossos.

A assimetria negativa a aproximadamente simétrica (Figuras 14 e 15), predominante ao longo da praia, indica esta tendência aos sedimentos de granulometria média a grossa, especialmente na amostragem ocorrida durante a maré de quadratura (09/11/2016).

Segundo Folk e Ward (1957), a assimetria negativa indica a adição de sedimentos grossos ou uma subtração de sedimentos finos. Desta forma, a assimetria negativa pode ser causada pela remoção dos sedimentos finos pelos processos costeiros, já que durante a maré de quadratura, as ondas e correntes são menos energéticas para retirar sedimentos mais grosseiros da praia ao estuário.

Como predominou areia média na praia, com variações para areia grossa e até mesmo areia fina, em alguns casos (Perfil I), o grau de curtose predominante foi de mesocúrtica (Figuras 16 e 17), corroborando com a média heterogeneidade dos grãos distribuídos ao longo da praia.

A praia do Marahú, de maneira geral, apresentou curta largura praial que, segundo Nordstrom (1992), é uma característica de praias estuarinas. Além de estreitas faixas de zona de supramaré, com presença de algumas escarpas erosivas nesta zona, enquanto as zonas de intermaré foram mais largas e íngremes. A posição da linha de maré alta, separando uma zona da outra, varia de acordo com a fase erosiva ou acrecional, controlando a largura e o gradiente do perfil praial.

Bascom (1951), um dos precursores de estudos em praias, conclui a partir de um estudo feito em 40 praias arenosas da Costa Pacífica Americana, que o tamanho da partícula, juntamente com a intensidade de ação de ondas, controla a declividade da face praial.

Corroborando com os resultados de Bascom, cuja declividade é diretamente proporcional ao tamanho de grão, a praia do Marahú apresenta em sua maioria sedimentos médios e moderada declividade, estando sujeita a mudanças tanto na morfologia, quanto nas características texturais dos sedimentos, controlada de modo principalmente sazonal por processos costeiros.

Essas mudanças ocorrem tanto vertical, como horizontalmente, ocasionando alterações de curto período na linha de costa, ocorrendo uma predominância de perfis de acreção no período menos chuvoso. Enquanto no período mais chuvoso, quando o índice pluviométrico é maior, as marés possuem as maiores amplitudes, e ocorrem os perfis erosivos, principalmente na parte superior das praias.

A partir dos dados morfométricos obtidos na praia do Marahú foi possível observar as variações morfológicas da praia entre duas fases de marés distintas também, contudo havendo ainda uma forte relação com a variação climática sazonal, que predomina na dinâmica sedimentar da região.

Visto que na primeira coleta de dados, ocorrida durante uma maré de sizígia equinocial, quando se esperava ter maior erosão na praia, houve maior deposição na face praial que durante uma maré de quadratura.

As mudanças num ciclo lunar representam uma resposta dos perfis às alterações apenas de maré e, eventuais condições extremas que vejam a ocorrer, como tempestades e até mesmo a ocorrência do fenômeno do Equinócio.

Enquanto, que as variações sazonais vem acompanhadas com as consequências da alternância climática anual, sendo elas: intensificação e diminuição da precipitação, elevação e abaixamento do nível das águas dos rios, maior e menor influência da amplitude de marés, aumento e redução na intensidade dos ventos e, consequentemente, maior e menor energia de ondas e de correntes.

Como esta pesquisa ocorreu em meses de transição da estação menos chuvosa à mais chuvosa, pode ter ocorrido a influência climática da região amazônica sobre a dinâmica sedimentar praial.

Ranieri e El-Robrini (2012), enfatizaram que as praias podem perder areia durante a estação mais chuvosa, quando os estuários e canais de marés apresentam um maior volume de água e as ondas tendem a ser mais energéticas que as da estação menos chuvosa.

Durante a estação menos chuvosa, a zona de espraiamento, possui menor quantidade de energia turbulenta, sendo que as areias removidas para trás da zona de arrebenção tendem a migrar novamente, agora em direção à zona de espraiamento (Masselink e Short, 1993).

Estas afirmações devem ser consideradas com cautelas para praias estuarinas, especialmente as dominadas por maré. Pois a ação das ondas pode ser bem limitada, tal como dentro de um estuário dominado por ondas e, no caso de uma praia em estuário dominado por maré, o grau de exposição às ondas irá depender tanto da posição da praia em relação à atuação dos ventos, como também de quão intenso é este vento.

Na zona costeira amazônica, os ecossistemas são favorecidos pelos ventos alísios de NE, atuando na faixa equatorial.

A praia do Marahú, está localizada no Rio Pará, no sentido de sua foz, cuja posição está para direção NE, propiciando ventos moderados a fortes no local. Por isso, há ocorrência de ondas que podem alcançar 1 m na praia (El-Robrini et al., 2018), tal como nas praias oceânicas.

O padrão dos ventos locais é um fator preponderante para analisar a mobilidade sedimentar e as mudanças topográficas numa praia.

No final do período menos chuvoso, quando ocorreu esta pesquisa, a intensidade dos ventos pode aumentar na região NE do Pará (Ranieri e El-Robrini, 2016), sendo que em setembro de 2016, a velocidade média dos ventos de 4,0 m/s foi maior do que em novembro (3,1 m/s) (INPE, 2017).

Os ventos auxiliam na formação das ondas, trazendo sedimentos *offshore*, configurando um perfil mais deposicional.

Desta forma, isto pode ter sido o fator mais favorável à condição deposicional na praia do Marahú durante a maré de sizígia.

A situação acrecional dos perfis ocorrida em 30/09/2016 também foi influenciada pelo evento de Equinócio de Primavera no Hemisfério Sul, que eleva a amplitude de marés e as intensifica.

Tais fatores propiciaram o crescimento volumétrico da face praial, oriundo da carga sedimentar trazida pelo estuário. Com exceção do perfil F (Figura 9), que apresentou menor volume sedimentar que a etapa posterior de coletas (09/11/2016). Estando localizado na porção central da praia, que sofre mais com a erosão costeira.

Após completar um ciclo lunar, ocorreu redução no volume sedimentar da praia do Marahú, analisando os dados topográficos obtidos durante a maré de quadratura de 09/11/2016 (Figuras 6 e 9). Isto ocorreu tanto no setor oeste, como no setor leste da praia, indicando a suavização dos perfis praias, como também a possível influência da proximidade com a estação mais chuvosa, onde há maior perda de sedimentos nas praias amazônicas.

Devido novembro ser um mês de transição para a estação mais chuvosa, pode ter ocorrido esta tendência oriunda do clima, já que começa a aumentar a ocorrência de chuvas, e os consequentes efeitos erosivos.

Como as mudanças meteorológicas e oceanográficas são gradativas ao longo do ano, do mês de setembro a novembro, as características típicas de modificações frente a transição de uma estação amazônica à outra ainda são pouco relevantes, e não podem ser utilizadas com exatidão para a caracterização de um efeito sazonal.

Desta forma, entende-se que os fatores marés, ventos, ondas, Equinócio, e seus efeitos específicos no período deste estudo, conduziram mais seguramente às mudanças morfológicas e

sedimentares na praia do Marahú ao longo de um ciclo lunar.

Segundo Nordstrom (1992) e Nordstrom e Jackson (1992), há dois padrões de mudança morfológica em praias estuarinas de meso-macromaré: (1) tipo A: caracteriza-se pela remoção de sedimentos da porção superior da praia e deposição na parte inferior; e (2) tipo B: consiste no deslocamento vertical de todo o perfil praial, acompanhado por pequena ou nenhuma mudança do gradiente praial.

A comparação entre o modelo de Nordstrom e Jackson (1992) e o comportamento morfológico da praia do Marahú entre os meses estudados (Figuras 5 e 8), revelou que os perfis transversais se caracterizam principalmente pelo padrão de mudança tipo B, pois apesar do volume de sedimentação ter sido bem alterado, as mudanças no gradiente praial foram pequenas para um curto período.

Brand et al. (2019), em estudo numa praia dominada por maré na Bélgica, também identificaram mudanças significativas na sedimentação praial durante períodos de 10 a 15 dias, envolvendo condições extremas e calmas de maré, consequentemente de modificações no transporte sedimentar e, os processos de erosão e acreção praial.

Na praia do Marahú, foi observada a formação de características morfológicas mais acentuadas na porção superior, durante condições energéticas (maré de sizígia equinocial) e suavização da morfologia em condições calmas (maré de quadratura).

Notou-se que houve diferenças na variação de volume sedimentar ao longo da praia e período do estudo. Como nas extremidades dela, no setor oeste (Perfis A e B) e no setor leste (Perfis H e I), onde as variações foram menores, enquanto na porção central da praia, variações significativas após um ciclo lunar foram observadas (Tabela 1).

A configuração morfológica convexa da praia do Marahú é marcada por sucessivos promontórios e afloramentos rochosos, que acabam dissipando a energia de onda antes de atingir a porção superior em alguns pontos da praia. Estas feições estão localizadas nas extremidades dela.

Na extremidade oeste e, principalmente, na extremidade leste da praia do Marahú ocorreu um comportamento típico de praia de enseada descrita por Finkelstein (1981). Geralmente, praias de enseada exibem zona de sombra, próximo aos promontórios rochosos, protegida da energia das ondas e fortemente curvada; e outra zona (à

sotamar), relativamente retilínea, normalmente paralela à ação das ondas.

Segundo Carter (1988), praias de enseada podem apresentar variações longitudinais no tamanho de grão, com sedimentos finos e baixa declividade na “zona de sombra”, e sedimentos médios a grossos e alta declividade na zona mais exposta à ação das ondas.

Este padrão é similar ao encontrado nos perfis A e I (extremo oeste e leste da praia do Marahú), situados adjacentes a um promontório rochoso, estando sujeitos a baixa interferência do clima de ondas e as menores variações de gradiente topográfico (Tabela 1) e volume sedimentar (Figura 9), inclusive com ocorrência de areia fina e muito fina no perfil I (Figuras 10 e 11).

Já os perfis E, F, encontram-se na região mais exposta e mais vulnerável a erosão, apresentando baixo volume sedimentar (Tabela 1), devido a maior hidrodinâmica na praia atuando na remoção dos grãos.

Conclusão

Ao analisar a praia do Marahú durante as condições de maré de sizígia equinocial e maré de quadratura normal, em aproximadamente um ciclo lunar, observou-se grandes variações morfológicas para um curto período. Mas com pequenas variações na sedimentologia.

A granulometria dos sedimentos coletados na praia foi predominantemente de areias médias moderadamente selecionadas, com pequenas ocorrências de grãos finos a grossos. Desta forma, resultando em assimetria negativa a aproximadamente simétrica, e grau de curtose predominante de mesocúrtica, corroborando com a média heterogeneidade dos grãos distribuídos ao longo da praia.

No geral, a praia esteve mais larga durante a situação de maré de sizígia equinocial, com melhor distribuição textural e volume de sedimentos na face praial do que durante a condição de maré de quadratura, após completar o ciclo lunar. Assim, respondendo ao questionamento que deu origem a esta pesquisa. De que o dinamismo sedimentar em praias estuarinas dominadas por marés é elevado, principalmente em se tratando de uma praia localizada na Bacia Amazônica.

O objetivo deste estudo foi analisar a variação morfosedimentar nos setores leste e oeste da Praia do Marahú, Ilha de Mosqueiro (PA), com o intuito de averiguar se havia também alterações significativas na morfologia e sedimentação

durante um ciclo lunar, tal como ocorre durante um ciclo sazonal.

Apesar de se constatar esta proposição, foi possível também supor a forte influência sazonal que ocorre ano a ano nas praias estuarinas amazônicas, incluindo a do Marahú, com perda de sedimentos da estação menos chuvosa a mais chuvosa.

Contudo, os fatores marés, ventos, ondas, Equinócio, e seus efeitos e intensidades específicas no período deste estudo (ciclo lunar), foram os principais responsáveis pelas mudanças morfológicas e sedimentares na praia.

Notou-se a situação mais deposicional na praia, durante a condição extrema de maré de sizígia equinocial do período menos chuvoso, associado aos ventos mais fortes de setembro e, consequentemente, melhor ação das ondas local também.

A praia foi caracterizada neste estudo por um padrão morfológico de deslocamento vertical de todo o perfil praial, acompanhado por pequena mudança do gradiente praial, na transição de maré de sizígia equinocial para a maré de quadratura, após um ciclo lunar completo.

A classificação morfodinâmica de praia observada foi de reflexiva a intermediária. Sendo mais intermediária em 09/11/2016 (maré de quadratura) e no setor oeste.

A porção central da praia é a mais exposta e mais vulnerável a erosão, apresentando baixo volume sedimentar e sem nenhuma ocorrência de sedimentos com granulometria mais fina.

Já as extremidades da praia, caracterizam-se como “zonas de sombra”, favorecidas pela presença de promontórios e afloramentos rochosos, que permitem uma melhor deposição e permanência dos sedimentos, inclusive mais finos.

Agradecimentos

Ao Instituto de Geociências e Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros da Universidade Federal do Pará.

Referências

- Alvarez-Ellacuria, A., Orfila, A.; Olabarrieta, M.; Medina, R.; Vizoso, G.; Tintoré, J., 2010. A Nearshore Wave and Current Operational Forecasting System. *Journal of Coastal Research* 26 (3), 503-509.
- Arraut, J. M.; Nobre, C., Barbosa, H. M. J.; Obregon, G., and Marengo, J., 2012. Aerial Rivers and Lakes: Looking at Large-Scale Moisture Transport and Its Relation to

- Amazonia and to Subtropical Rainfall in South America. *J. Climate* 25, 543–556.
- Bascom, W. N., 1951. The relationship between sand-size and beach face slope. *Transactions, American Geophysical Union* 32, 866-874.
- Birkmeier, W. A., 1981. Fast accurate twoperson beach survey. *Coastal Engineering Technical Aid* 81-11. U. S. Army Engineers Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Brand, E., De Sloover, L., De Wulf, A., Montreuil, A.-L., Vos, S., Chen, M., 2019. Cross-Shore Suspended Sediment Transport in Relation to Topographic Changes in the Intertidal Zone of a Macro-Tidal Beach (Mariakerke, Belgium). *Journal of Marine Science and Engineering* 7, 172.
- Carter, R.W.G., 1988. Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, London.
- Costa, J. B. S., Bemerguy, R. L., Hasui, Y., Borges, M. S., Ferreira Júnior, C. R. P., Bezerra, P. E. L., Fernandes, J. M. G., Costa, M. L., 1996. Neotectônica da região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. *Revista de Geociências* 4 (2), 23-43.
- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2016. Tábua de marés. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 24 de setembro de 2016.
- El-Robrini, M. H. S., 2001. Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas, Ilha de Mosqueiro. Dissertação (Mestrado). Belém, Universidade Federal do Pará.
- El-Robrini M., Ranieri, L. A., Silva, P. V. M., Alves, M. A. M. S., Gerreiro, J. S., Oliveira, R. R. S., Silva, M. S. F., Amora, P. B. C., El-Robrini M. H. S., Fenzl, N., 2018. Pará. In: Muehe, D. (Ed.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Brasília, 65-166.
- Finkelstein, K., 1981. Morphological variations and sediment transport in crenulate-bay beaches, Kodiak island, Alaska. *Marine Geology* 47, 261-281.
- Folk, R. L., Ward, W. C., 1957. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of sedimentary petrology* 27, 3-26.
- Klein, A. H. F., Filho, L. B., Hsu, J. R. C., 2003. Stability of Headland Bay Beaches in Santa Catarina: A Case Study. *Journal of Coastal Research* 35, 151-166 p.
- Igreja, H. L. S., Borges, M. S., Alves, R. J., Costa Júnior, P. S. C., Costa, J. B. S., 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro, NE do Estado do Pará. In: SBG, 36º Congresso Brasileiro de Geologia, 5, 1990, Natal. Anais, p. 2110-2123.
- INMET. Instituto de Meteorologia Nacional, 2015. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 23 de novembro de 2015.
- INMET. Instituto de Meteorologia Nacional, 2017. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=climac/normaisClimatologicas>. Acesso em: 04 agosto de 2017.
- INPE. Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais - 2017. Estação Synop. Disponível em: www.cptec.inpe.gov.br. Acesso em: 29 de agosto de 2017.
- Marino, M. T. R. D., Freire, G. S. S., Horn Filho, N. O., 2013. Variações granulométricas ao longo da costa da região metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 13 (3), 267-282.
- Masselink, G., Short A. D., 1993. The effect of tide range of beach morphodynamics: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research* 9, 785-800.
- Muehe, D., 2003. Beach morphodynamics research in Brazil: Evolution and applicability. *Journal of Coastal Research*. Itajaí, Santa Catarina 35, 32-42.
- Nordstrom, K., 1992. Estuarine beaches. An introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords. Elsevier Science Publishers Ltd, New York
- Nordstrom, K. F., Jackson, N. L., 1992. Site-specific controls on wind and wave processes and beach mobility on estuarine beaches. *Journal of Coastal Research* 8, 88-98.
- Nichols M. M., Biggs R. B., 1985. Estuaries. In: Davis, R. A. (Ed) *Coastal Sedimentary Environments*. Springer Verlag, New York.
- Ranieri, L.A., El-Robrini, M., 2012. Comportamento morfodinâmico sazonal da Praia da Romana, Ilha dos Guarás (Nordeste do Pará), como indicativo do transporte litorâneo da área. *Pesquisas em Geociências* 39 (3), 231-246.
- Ranieri, L. A.; El-Robrini, M., 2016. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Geociências* 35 (3), 457-471.
- Sazaki, T.O., 1980. *Proceedings of Coastal Zone*. ASCE 3197- 3209.

- Short, A. D., 2003. Australia beach system – The morphodynamic of wave through tide-dominated beachdune systems. *Journal of Coastal Research* 35, 7-20.
- Souza Filho, P.W.M., Tozzi, H.A.M., El-Robrini, M., 2003. Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sand beach, Northern Brazil. *Journal of Coastal Research* 35, 580-589.
- Schettini, C. A. F. 2001., Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-açu, SC. Tese (Doutorado). Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Wentworth, W.C., 1922. Grade and class terms for clastic sediments. *Journal Geology* 30, 377-372.