



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MORFOLOGIA E SEDIMENTAÇÃO DA PRAIA DO MARAHÚ
(ILHA DE MOSQUEIRO/PA) – ANTES E APÓS A
CONSTRUÇÃO DE SUA ORLA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por:

YAN MARCEL QUADROS PEREIRA

Orientador (a): Prof^ª. Dr. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

**BELÉM – PARÁ
2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MORFOLOGIA E SEDIMENTAÇÃO DA PRAIA DO MARAHÚ
(ILHA DE MOSQUEIRO/PA) – ANTES E APÓS A
CONSTRUÇÃO DE SUA ORLA**

YAN MARCEL QUADROS PEREIRA

**BELÉM – PARÁ
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- P436m Pereira, Yan Marcel Quadros.
Morfologia e sedimentação da praia do Marahú (Iha de Mosqueiro/PA) - antes e após a construção de sua orla / Yan Marcel Quadros Pereira. — 2022.
xiii, 39 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Leilanne Almeida Ranieri
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2022.
1. Morfodinâmica de praia. 2. Praias estuarinas. 3. Sedimentação. 4. Amazônia. 5. Marahú. I. Título.

CDD 551.303



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

MORFOLOGIA E SEDIMENTAÇÃO DA PRAIA DO MARAHÚ
(ILHA DE MOSQUEIRO/PA) – ANTES E APÓS A
CONSTRUÇÃO DE SUA ORLA

APRESENTADO POR:

YAN MARCEL QUADROS PEREIRA

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia Geológica,
Morfodinâmica de Praia.**

Data de aprovação: 08/02/2022

Banca examinadora:

Leilanke A. Ranieri

Prof.^a Dr.^a. Leilanke Almeida Ranieri – Orientadora

Robini

Prof. Dr. Maâmar El Robrini – Membro

Juliana de Sá Guerreiro

Mestre Juliana de Sá Guerreiro – Membro

Dedico este trabalho aos meus familiares mais próximos, e aos amigos que fiz ao longo dessa jornada que, embora distantes, seu apoio jamais será esquecido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha orientadora, **Leilane Almeida Ranieri**, pela qual, sem sua presença e orientação este trabalho não seria possível, sua enorme paciência e dedicação fizeram toda a diferença.

Aos amigos **Emerson, Cássia, Leandro e Matheus** por me fazerem lembrar o quanto é importante se fazer presente na vida de quem realmente importa.

Ao **Gabriel** por seu apoio em vários momentos difíceis, sobretudo, quando pensei em desistir.

Aos meus pais **José Antonio e Angela Maria** que não mediram esforços para o meu crescimento pessoal em vários aspectos da vida.

À minha afilhada **Eva Viana da Silva**, para que este trabalho sirva de inspiração para sempre seguir um caminho melhor.

Aos meus companheiros de laboratório (LABOGEO - Laboratório de Oceanografia Geológica) por todo apoio técnico e, por vezes, emocional.

“Espero que tenha uma vida da qual se orgulhe. E se você descobrir que não tem, espero que tenha forças para conseguir começar novamente”.

Eric roth (Curioso caso de Benjamin Button)

RESUMO

A Ilha de Mosqueiro (PA), pertencente à região metropolitana de Belém, está situada no estuário do Rio Pará, tendo uma costa configurada por uma sucessão de promontórios e enseadas arenosas, às quais formam praias estuarinas que nas últimas décadas tem sido bastante afetadas pela hidrodinâmica do rio e, a conseqüente erosão costeira, como é o caso da praia do Marahú, onde obras de contenção de erosão foram implantadas para minimizar o problema. O objetivo deste trabalho foi analisar as alterações morfossedimentares da praia do Marahú antes e após a construção de sua orla com muro de arrimo. A metodologia de estudo foi realizada através de coleta de dados amostrais dos anos de 2016 a 2018; análise laboratorial; e tratamentos de dados topográficos e sedimentológicos. Para a caracterização do estado morfodinâmico de praia foi utilizado o parâmetro morfométrico declividade da praia β , oriundo do tratamento dos dados topográficos em 9 perfis de praia, seguindo a síntese de Sazaki (1980) para classificação de praias. Espera-se obter resultados sobre as mudanças ocorridas na praia do Marahú, após a construção de sua orla, relacionado à morfologia, sedimentação e perigos hidrodinâmicos associados. Observou-se que a praia apresenta estado morfodinâmico dissipativo a refletivo e que os sedimentos variam de areia grossa a fina, sendo majoritariamente areia média, variando de pobremente selecionado a bem selecionado. Antes da construção da orla e o muro de arrimo, a praia apresentava maior variação sazonal no seu estado morfodinâmico. Após a implantação da obra, a praia ficou com mobilidade sedimentar mais restrita, atenuando esta variação. A obra minimizou os impactos da erosão. Trabalhos como este são importantes, pois geram informações que podem ajudar a amenizar problemas socioambientais, como o indicativo de iminentes perdas de patrimônios públicos e privados, por conta da erosão costeira, bem como para dar subsídios na previsão de possíveis acidentes geológicos associados à ação pluvial e fluvial em praias estuarinas de enseadas, localizadas nas bordas de tabuleiros costeiros.

Palavras-chave: morfologia praial; sedimentação; Marahú; praia estuarina; Amazônia.

ABSTRACT

Mosqueiro Island (PA), belongs to the metropolitan region of Belém, is located in the estuary of Para River, with a coastline formed by a succession of promontories and sandy coves, which forms estuarine beaches that in recent decades have been greatly affected by the hydrodynamics of the river and the consequent coastal erosion, as is the case of Marahu beach, where erosion containment works were implemented to minimize the problem. The objective of this work was to analyze the morpho-sedimentary changes of Marahu beach before than after the construction of its edge with retaining wall. The study methodology was carried out by collecting sample data from the years 2016 to 2018; laboratory analysis; and treatments of topographic and sedimentological data. For the characterization of the morphodynamic state of the beach, morphometric parameter beach slope β was used, derived from the treatment of topographic data in 9 beach profiles, following the synthesis of Sazaki (1980) for beach classification. It is expected to obtain results on de chances that occurred on Marahu beach, after the construction of its edge, related to morphology, sedimentation and associated hydrodynamics hazards. It was observed that the beaches present a dissipative to reflective morphodynamics state and that the sediments vary from coarse to fine sand, being mostly medium sand, ranging from poorly sorted to well sorted. Before the construction of the edge and the retaining wall, the beach presented greater seasonal variation in its morphodynamic state. After the implementation of the work, the beach had more restricted sedimentary mobility, attenuating this variation. The work minimized the impacts of erosion. Works like this are important, as they generate information that can help alleviate socio-environmental problems, such as the indication of imminent losses of public and private heritage, due to coastal erosion, as well as to provide subsidies in the prediction of possible geological accidents associated with rainfall and fluvial in estuarine beaches of coves, located on the edge of coastal tablelands.

Keywords: beach morphology; sedimentation; Marahú; estuarine beaches; Amazon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Setorização da praia de acordo com a hidrodinâmica e morfologia. Fonte: Ranieri (2014).....	5
Figura 2- Estágios morfodinâmicos praiais segundo a classificação de Wright & Short (1984), onde: DD = domínio dissipativo; DR = domínio refletivo; BM = baixamar; PM preamar; setas pretas indicam o fluxo das correntes de retorno (rips). Fonte: Adaptado de Dalrymple <i>et al.</i> (2011, Reichow 2018).	7
Figura 3- Mapa de localização da área de estudo. Setor Oeste (A); Setor Leste (B); Falésia na divisa dos dois setores (C) – perfil 4 (P4).....	9
Figura 4- Falésia com cerca de 6 m na praia do Marahú (perfil P9).	11
Figura 5- Esquema dos pontos de amostragem e medição ao longo do perfil praiar	12
Figura 6- Instrumentos utilizados para aquisição de dados topográficos. Nível ótico + tripé (esquerda). Régua (direita). Fonte: Do autor.	13
Figura 7- Coleta de dados topográficos. Fonte: Do autor.....	13
Figura 8- Evolução da morfologia praiar ao longo do ciclo sazonal nos perfis (1-9) dos meses de novembro/2016 (Ramos, 2017); março, junho e setembro de 2017. Período anterior à construção do muro de arrimo na praia.....	20
Figura 9- Evolução da morfologia praiar ao longo do ciclo sazonal nos perfis (1-9) dos meses de fevereiro, junho, setembro e dezembro de 2018. Período posterior da construção do muro de arrimo na praia.....	23
Figura 10- Processo de construção da Orla do Marahú e muro de arrimo (A). Orla e muro construídos (B). Fotografias retiradas em: 30/06/2018 e 08/12/2018, respectivamente. Fonte: Do autor.	25
Figura 11- Média granulométrica dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.....	26
Figura 12- Seleção dos grãos dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.....	27
Figura 13- Grau de assimetria das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.	28
Figura 14- Grau de curtose das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.	29
Figura 15- Média granulométrica dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.....	30

Figura 16- Seleção dos grãos dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.....	31
Figura 17- Grau de assimetria das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.	32
Figura 18- Grau de curtose das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.	33
Figura 19- Formato das ondas incidentes na praia do Marahú. Fonte: Do autor.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação do grau de seleção (A), assimetria (B) e curtose (C), segundo Folk & Ward (1957). Fonte: Almeida (2006).	15
Tabela 2- Classificação granulométrica de Wentworth (1922) – média granulométrica – para sedimentos arenosos e lamosos.....	15
Tabela 3- Classificação morfodinâmica de praias arenosas, segundo a síntese de Sasaki (1980).	16
Tabela 4- Parâmetros morfométricos de Short & Hesp (1982) dos perfis (1-9) antes da construção.	21
Tabela 5- Parâmetros morfométricos de Short & Hesp (1982) dos perfis (1-9) após a construção.	24
Tabela 6- Estados Morfodinâmicos de praia obtidos antes e após a construção do muro de arrimo.....	35

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 AMBIENTE DE PRAIA.....	4
3.1.1 Praias estuarinas.....	5
3.2 CLASSIFICAÇÃO MORFODINÂMICA DAS PRAIAS.....	6
3.3 OBRAS DE ENGENHARIA RÍGIDAS NA ZONA COSTEIRA.....	8
4 ÁREA DE ESTUDO	9
5 MATERIAL E MÉTODOS	12
5.1 AMOSTRAGEM.....	12
5.2 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	14
5.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	14
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
6.1 MORFOLOGIA DA PRAIA.....	18
6.1.1 Antes da construção do muro de arrimo.....	18

6.1.1 Depois da construção do muro de arrimo.....	22
6.2 SEDIMENTOLOGIA DAS PRAIAS.....	25
6.2.1 Antes da construção do muro de arrimo.....	25
6.2.1 Depois da construção do muro de arrimo.....	29
6.3 ESTADO MORFODINÂMICO DE PRAIA.....	34
7 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira está relacionada aos processos físicos nela contidos. Onde ocorrem interações complexas que envolvem descarga de água e sedimentos de estuários, orientação de linha de costa, correntes costeiras, ondas e correntes das marés (Brand *et al.* 2020). Logo, são ambientes altamente passíveis de reestruturação ou remodelagem ao longo do tempo conforme as condições ambientais do local.

Na zona costeira paraense, os ambientes de sedimentação são influenciados grandemente pela ação conjunta do regime pluvial, descarga fluvial, energia das ondas, de correntes costeiras, e das grandes subidas de maré. Estes fatores integrados, periodicamente causam o desgaste da costa, a possível destruição de obras costeiras e residências, e perigos devido à alta hidrodinâmica, em conjunto com as características geomorfológicas dos ambientes (Maurity 2021).

As praias são ambientes de sedimentação, mais comumente arenosos, que apresentam mobilidade e se ajustam às condições de ondas e marés (Muehe 2011). Segundo Komar (1976), a acumulação subaérea de sedimentos inconsolidados (areia ou cascalho) se estende do limite médio de maré baixa até alguma mudança fisiográfica como um rochedo, falésia, campo de dunas ou uma vegetação permanente.

Praias arenosas são facilmente encontradas dentro de baías e estuários no mundo inteiro. As estuarinas são geralmente caracterizadas pela ação de ondas de pequena amplitude ($< 0,25$ m) durante condições climáticas normais (Jackson *et al.* 2002). Estas ondas geradas localmente sobre uma curta zona de praia são responsáveis pelos processos de retrabalhamento de sedimentos (Nordstrom 1992). A forte relação entre a amplitude das marés e altura de onda diferencia estes sistemas de muitas praias oceânicas e leva a uma resposta diferente do perfil morfológico praias.

A Ilha de Mosqueiro encontra-se à margem direita deste estuário do Rio Pará e é separada do continente, a leste, pelo canal denominado Furo das Marinhas e, ao sul, por um conjunto de ilhas (Sales, 2005). A praia do Marahú é uma praia estuarina, localizada ao norte da Ilha de Mosqueiro (PA).

Neste setor há poucos estudos referentes à morfossedimentação em praias estuarinas, tais como de Farias (2006) na Ilha de Caratateua e El-Robrini (2001) na Ilha de Mosqueiro. Esta última está sofrendo um intenso processo erosivo. Komar (1976) define a erosão costeira como o resultado de uma complexa interação entre os processos físicos, gerando movimentos combinados de água induzidos por ondas incidentes, tempestades, marés e correntes

interagindo com a costa. Segundo El Robrini *et al.* (2006), a presença de uma camada concrecionária laterítica na linha de pós-praia, a perda da vegetação e as inundações pelas marés de sizígia são fatores que contribuem acentuadamente no processo erosivo em várias praias da Ilha, com destaque à praia do Marahú.

Na Ilha de Mosqueiro (PA), a renda local, em grande parte, está pautada diretamente ao turismo onde as praias são o principal destino. Nestas, é notável a densidade de ocupação imobiliária, dividindo-se entre imóveis residenciais, restaurantes, pousadas ou hotéis entre outros. Desta forma, em 2017, iniciou-se o processo de revitalização, com construção de orla que visa mobilidade pública, estabilidade costeira e demanda turística, sendo parte do projeto de Revitalização da Orla de Mosqueiro, assinado em 17 de maio de 2017, com convênio do Ministério da Integração Nacional e a Prefeitura de Belém (Revitalização da orla de Mosqueiro, 2017). Contudo, o projeto iniciado em 26/09/2017 causou modificações na morfologia, na dinâmica sedimentar e no paisagismo local

Desta forma, neste trabalho pretendeu-se estudar a variabilidade morfossedimentar sazonal da praia do Marahú frente à hidrodinâmica costeira, antes e após a realização da obra de engenharia no local, visando agregar informações sobre a continuidade ou não da vulnerabilidade à erosão costeira. E através de dados de morfodinâmica praias disponíveis dos anos antecedentes a obra (2016 e 2017), fazer um comparativo com o estado pós-obra na praia do Marahú, em termos geomorfológicos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar as alterações morfossedimentares da praia do Marahú antes e após a construção de sua orla e muro de arrimo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as alterações morfológicas (topografia, largura, estado morfodinâmico) da praia considerando três ciclos sazonais (nov/2016-set/2017, set/2017-jun/2018 e jun/2018-dez/2018);
- Analisar a distribuição granulométrica (volume de sedimentos, diâmetro médio e dispersão dos grãos) e/ou as alterações sedimentológicas durante este período;
- Ilustrar a morfossedimentação da praia antes e depois da construção da orla do Marahú;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. AMBIENTE DE PRAIA

As praias configuram um depósito sedimentar comumente arenoso que apresentam mobilidade e se ajustam às condições de ondas e marés (Muehe 2011). Sua principal característica é a sua mobilidade morfológica e sedimentar. Para Short (1999) elas estão entre os sistemas físicos mais dinâmicos da superfície da Terra. Sendo assim, pode-se afirmar que este tipo de ambiente, presente na zona costeira, em função de seu dinamismo, pode ser considerado sensível às ligeiras modificações das forçantes que as modelam, sejam estas naturais (marés, correntes, ventos ou ondas) ou antrópicas (obras de engenharia rígida, por exemplo).

Segundo Komar (1976), praia é uma acumulação subaérea de sedimentos inconsolidados (areia ou cascalho) que se estende do limite médio de maré baixa até alguma mudança fisiográfica como um rochedo, falésia, campo de dunas ou uma vegetação permanente.

O ambiente praiado pode ser subdividido segundo a morfologia (Short 1999, Ranieri 2014) e hidrodinâmica (Davis 1985), nas seguintes zonas (Figura 1):

- **Zona de supramaré ou Pós-Praia (*Backshore*):** É o setor da praia na qual se estende após o nível de maré alta de sizígia até o início da base de uma falésia, duna, terraço marinho ou linha de vegetação permanente. Segundo Mendes (1992), na porção inferior podem ocorrer bermas que representam uma estratificação suave em direção ao continente. Esta zona é esporadicamente atingida pelas ondas de tempestade que podem ali desenvolver uma berma de tempestade, atingindo o seu limite superior ou até ultrapassá-lo (Souza *et al.* 2005).

- **Zona de Intermaré ou Face da Praia (*Foreshore*) ou Zona de Espraimento (*Swash Zone*):** Esta zona é caracterizada por ser uma região setorizada entre a máxima e a mínima propagação da onda sobre a face da praia, atuam os processos de fluxo e refluxo (*swash* e *backwash*, respectivamente). Na zona de espraimento podemos encontrar feições deposicionais de sedimentos denominada berma, onde a ação das ondas está relacionada a essa deposição.

- **Zona de Inframaré ou Ante-praia (*Shoreface*) ou Zona de Surfe (*Surf Zone*):** Esta zona é caracterizada pela dissipação da energia das ondas que incidem na costa. Em praias com baixa declividade, as ondas quebram formando vagalhões, no entanto, em praias muito íngremes, a zona de surfe tende a ser dominada por movimentos de frequência sub-harmônica.

- **Costa afora (*Offshore*) e Zona de Arrebentação (*Breaking Zone*):** Área na qual ocorre o início da quebra das ondas de bom tempo e de tempestade (esta última na área *offshore*, antes da zona de arrebentação). Nos pontos de quebra, comumente, associa-se a ocorrência de um banco arenoso seguido de uma cava, podendo assim haver mais de uma zona de arrebentação nas praias. Com isso, considera-se zona de arrebentação a região situada entre a arrebentação mais distante e a mais próxima à costa.

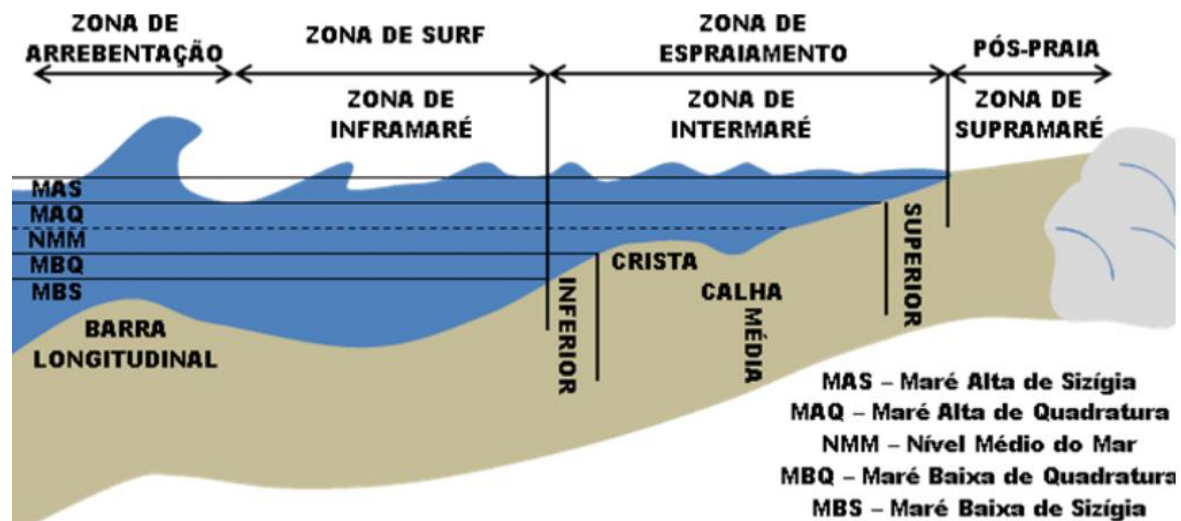


Figura 1- Setorização da praia de acordo com a hidrodinâmica e morfologia. Fonte: Ranieri (2014).

3.1.1. Praias estuarinas

Praias são formados na interface entre a terra e o mar ou outro corpo aquoso de grandes dimensões (rios, lagos), onde os sedimentos são retrabalhados por processos atuais associados a ondas, marés, ventos ou correntes geradas por um desses três agentes (Souza 2006).

Em se tratando de praias estuarinas, localizam-se em zonas costeiras estuarinas. Nordstrom & Roman (1996) as define como depósitos de sedimentos inconsolidados (areia, cascalho ou conchas) livremente retrabalhados por ondas e correntes associadas. São comumente encontradas ao longo de linhas de costa onde a energia das ondas é adequada para erodir o material inconsolidado das formações costeiras, adjacentes à estuários. Também dominam em linhas de costa próximas a *inlets* (canais) oceânicos, onde os sedimentos são depositados e redistribuídos no estuário por ondas e correntes da maré enchente.

Num estuarino ocorre mudanças constantes em resposta a forçantes naturais (ondas, marés e correntes) tratando-se de um ambiente de transição entre o oceano e o continente (Miranda *et al.* 2002).

Segundo Nordstrom (1992), as praias estuarinas podem se formar em todos os ambientes, onde haja suprimento de areia ou cascalho e energia suficiente de ondas e correntes de maré para o retrabalhamento dos sedimentos. A extensão poderá variar entre alguns metros até muitos quilômetros. Em função de sua proximidade com as áreas fontes de sedimento, as praias estuarinas, geralmente apresentam baixo grau de retrabalhamento dos sedimentos, ou seja, existe uma tendência a apresentar sedimentos mais grosseiros e menos selecionados.

3.2. CLASSIFICAÇÃO MORFODINÂMICA DAS PRAIAS

As praias podem ser classificadas a partir do seu estado morfodinâmico. Wright & Short (1984) as classificaram em seis estágios morfológicos distintos (Figura 2), sendo eles dois extremos e quatro intermediários (Calliari *et al.* 2003):

- **Praias Dissipativas:** São praias que possuem alta energia com ângulo de incidência de onda baixo na costa, arrebentação de onda do tipo deslizante e uma larga zona de espraiamento (zona de surf) com a quebra de ondas longe da face praial. A morfologia apresenta declividade $< 2^\circ$ tendendo a plano, apresentando geralmente sedimentos finos de granulometria $> 0,125$ mm.

- **Praias Intermediárias:** São praias marcadas por evolução de bancos submersos, que podem apresentar variação no seu comportamento de acordo com a maré, com nível de energia de onda moderado, ângulo de incidência de onda médio na costa, arrebentação de onda do tipo deslizante/mergulhante. A morfologia apresenta declividade $2 - 4^\circ$, apresentando geralmente sedimentos médios de granulometria $0,125 - 0,250$ mm. O estágio intermediário pode ser dividido em quatro tipos: banco e calha longitudinal, banco e praia de cúspide, bancos transversais e terraço de baixa mar, de acordo com a morfologia apresentada.

- **Praias Refletivas:** São praias que possuem baixa energia com alto ângulo de incidência de onda na costa, arrebentação de ondas do tipo mergulhante/frontal e uma curta zona de espraiamento e de surf, com a quebra de ondas próxima da face praial. A morfologia apresenta declividade $> 4^\circ$ tendendo a inclinado, apresentando geralmente sedimentos médios a grossos de granulometria $< 0,250$ mm.

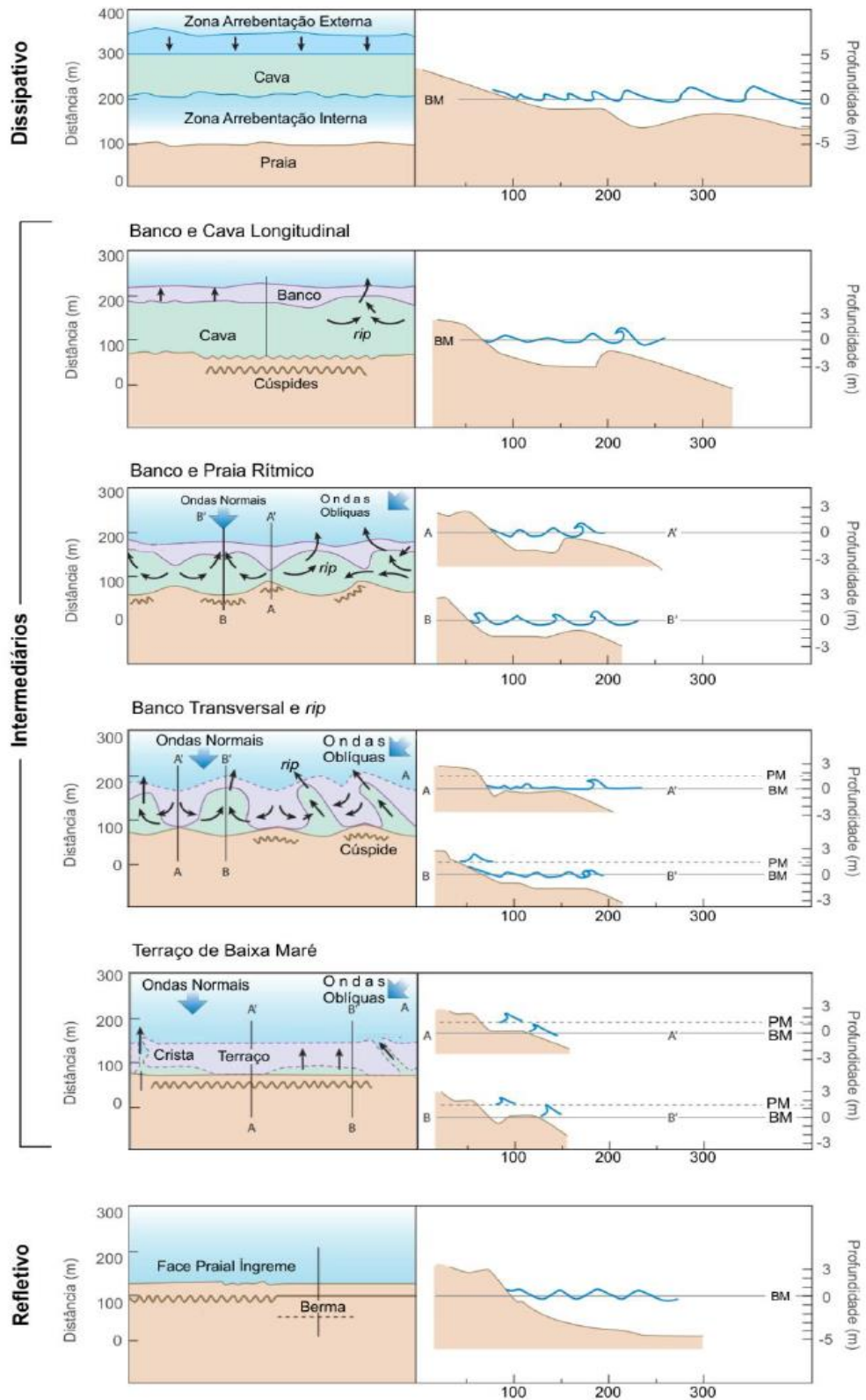


Figura 2- Estágios morfodinâmicos praias segundo a classificação de Wright e Short (1984), onde: DD = domínio dissipativo; DR = domínio refletivo; BM = baixamar; PM preamar; setas pretas indicam o fluxo das correntes de retorno (rips). Fonte: Adaptado de (Dalrymple *et al.* 2011, Reichow 2018).

3.3. OBRAS DE ENGENHARIA RÍGIDAS NA ZONA COSTEIRA

Segundo Nascimento & Lima (2010), a costa brasileira é ocupada por diferentes configurações espaciais, devido às distintas atividades econômicas ali instaladas, e sujeita a processos morfodinâmicos cujos efeitos afetam a ocupação humana. As orlas atlânticas e ribeirinhas do Estado do Pará apresentam situações típicas de ocupação antrópica em expansão, bem como próprias da diversidade amazônica.

A ocupação da zona costeira, tendo em vista a conservação dos patrimônios de natureza privada ou pública, acarreta em posteriores modificações estruturais representadas por construções na forma de obras de engenharia, sobretudo as rígidas, nas quais tem o objetivo de reduzir efeitos da erosão resultantes dos processos físicos naturais. Farinaccio (2008) destaca alguns exemplos de construções recorrentes na zona costeira, tais como:

- Espigões
- Quebra-mares
- Aterros sobre o pós-praia
- Emissários
- Dragagens de canais e da face praial
- Barragens
- Engordamento praial
- Muros (de arrimo)

Sendo este último o objeto do presente estudo, ao qual o autor, salienta como consequência um possível efeito modificador da dinâmica natural de transporte de sedimento pela limitação do espreadimento e acumulação de sedimentos e alteração do perfil praial.

As estruturas de contenção, também chamadas de muros de arrimo ou muros de peso, podem ser construídas em alvenaria (tijolos ou pedras) ou em concreto (armado ou simples). Esses muros são os elementos mais comuns e presentes nas orlas do Estado do Pará por apresentarem boa funcionalidade e domínio da tecnologia e execução das estruturas (Nascimento & Lima 2010), uma vez que são estruturas projetadas para atuar na contenção de maciços de terra principalmente na estabilização de encostas e talude.

4. ÁREA DE ESTUDO

A praia do Marahú (Figura 3) apresenta 3 km de extensão e situa-se ao extremo norte da Ilha de Mosqueiro, que está localizada a 79 km de Belém/PA. Segundo Ramos (2017), Marahú apresenta um traçado retilíneo com orientação WSW-ENE, sendo semi-protégida por promontórios formados por pontais rochosos e limitada pelo planalto costeiro. A praia apresenta faixa de areia curta inundada pelas marés, escarpas praias, devido a presença das falésias e berma, sedimentos com granulometria grosseira e declives levemente acentuados.

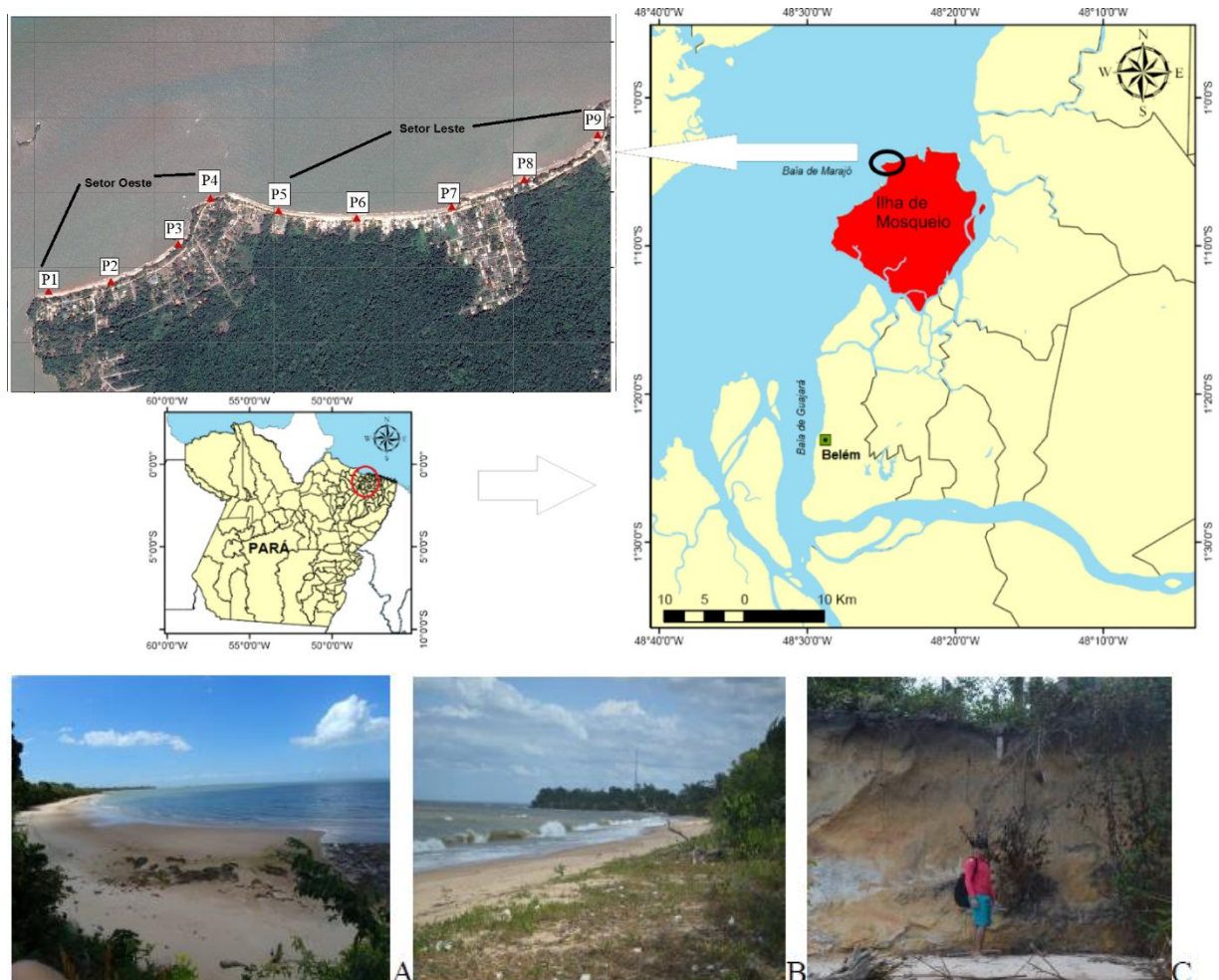


Figura 3- Mapa de localização da área de estudo. Setor Oeste (A); Setor Leste (B); Falésia na divisa dos dois setores (C) – perfil 4 (P4).

Em face à localização da Ilha de Mosqueiro, próximo à linha do equador, zona de constante incidência solar; as estações do ano não são bem definidas na área de estudo, portanto,

o regime pluviométrico é o fator controlador das diferenças climatológicas da região. Segundo Martorano *et al.* (1993) esta Ilha está centrada sob uma região cuja condição climática é representada pelo subtipo climático Am1, no qual é representado pela precipitação média anual superior a 3000 mm. El-Robrini *et al.* (2006) destaca a existência de dois períodos com características distintas, um período chuvoso (dezembro a junho), e outro seco (julho a dezembro). Tal distribuição deve-se, principalmente, ao deslocamento sazonal da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) sobre a região, onde os ventos alísios de NE e SE são os mais atuantes. Segundo Alves (1999), os ventos Alísios ENE são responsáveis pela formação das ondas na costa paraense.

A superfície das águas na Ilha do Mosqueiro, caracteriza um tranquilo sistema de enseadas, com presença de pequenas ondulações, que variam entre 0,3 e 0,6m de altura. Contudo, podem ocorrer ondas de mais de 1m de altura (El-Robrini 2001) em condições de maré enchente.

A Ilha de Mosqueiro é dominada por mesomarés de natureza semi-diurna. Esse padrão de marés é caracterizado pela ocorrência de duas preamares (PM) e duas baixamares (BM) no período de um dia lunar (24h50). As praias da Ilha do Mosqueiro sofrem uma variação média de marés de 3,5m durante a sizígia e 1,4m durante a quadratura (El-Robrini *et al.* 2001).

Estas praias encontram-se à margem direita do estuário do Rio Pará, desta forma, sendo praias estuarinas. Segundo Rosário (2016), o estuário do Rio Pará é caracterizado como um ambiente altamente dinâmico afetado principalmente pela sazonalidade fluvial e da maré.

Rosário (2016) realizou medições de correntes de maré em dois períodos distintos. Durante o período de baixa descarga, a máxima velocidade de corrente vazante foi 1,64 m/s e a máxima velocidade de enchente foi de -1,76 m/s (o sinal negativo indica sentido a montante do rio). Já no período de alta descarga, a máxima velocidade de corrente vazante foi de 1,3 m/s e a máxima corrente de enchente foi de -1,6 m/s.

O relevo da Ilha de Mosqueiro é resultado de flutuações climáticas ou glacioeustáticas, que ocorreram durante o Terciário e o Quaternário. Tais flutuações foram responsáveis pela constituição das camadas deposicionais denominadas Formação Barreiras e Sedimentos Pós-barreiras (Viana 2013), onde estão presentes falésias (Figura 4), promontórios, afloramentos rochosos e enseadas que originam praias arenosas (depósitos recentes do período Quaternário).



Figura 4- Falésia com cerca de 6 m na praia do Marahú (perfil P9).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. AMOSTRAGEM

A morfologia da praia e granulometria dos sedimentos foi verificada a partir de coleta de dados topográficos e amostragem de sedimentos em trabalhos de campo, englobando três ciclos sazonais: 09/11/2016 (Ramos, 2017), 29/03/2017, 07/06/2017 e 20/09/2017 – antes da construção do muro de arrimo e, 17/02/2018, 30/06/2018, 22/09/2018, 08/12/2018 – depois da construção do muro de arrimo.

A área de estudo foi dividida em dois setores, leste e oeste, onde 9 transectos topográficos transversais à praia (Figura 1) foram iniciados a partir da linha de maré alta de sizígia (perfil 1 a 4: setor oeste; perfil 5 a 9: setor leste), sendo os perfis equidistantes aproximadamente 250 m. As medições topográficas prosseguiram em cada subambiente praial (supramaré, intermaré superior, média, inferior e inframaré) (Figura 5).

Concomitante a essas medições foram coletadas amostras sedimentares superficiais correspondentes a deposição semi-diurna (12 horas) mais recente para posterior classificação granulométrica dos sedimentos.

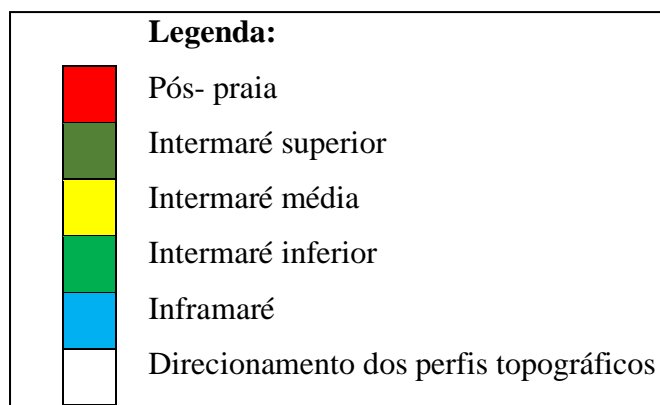


Figura 5- Esquema dos pontos de amostragem e medição ao longo do perfil praial

O levantamento do perfil praial 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 5m (Figura 6). Os locais previstos para o levantamento de cada perfil foram dispostos sempre em direção perpendicular à linha da costa (Figura 7).



Figura 6- Instrumentos utilizados para aquisição de dados topográficos. Nível ótico + tripé (esquerda). Régua (direita). Fonte: Do autor.



Figura 7- Coleta de dados topográficos. Fonte: Do autor

5.2. ANÁLISES LABORATORIAIS

No Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, serão realizadas separações por peneiramento das diferentes frações granulométricas das amostras de sedimentos coletadas em campo.

Este método inicia-se com a lavagem das amostras e decantação das mesmas. Passando essa etapa, as amostras serão colocadas em estufa a 60°C até adquirirem condições ideais (secas). Posteriormente é realizado o quarteamento destas amostras, a seleção de alíquotas de 100g para cada amostra quarteada e peneiramento das mesmas, utilizando-se peneiras com os intervalos em mm: 2,0 - 1,4 - 1,0 - 0,71- 0,50- 0,35 - 0,25 - 0,18 - 0,125 - 0,09 - 0,063 - <0,063. Por fim, as diferentes frações encontradas no peneiramento são pesadas em balança.

5.3. ANÁLISE DOS DADOS

Foi utilizado neste trabalho o software Sysgran 3.0 para determinação de parâmetros estatísticos granulométricos (seleção, assimetria e curtose) de Folk & Ward (1957) (Tabela 1) e a classificação de Wentworth (1922) para a média granulométrica (diâmetro médio) (Tabela 2).

Tabela 1- Classificação do grau de seleção (A), assimetria (B) e curtose (C)

Grau de seleção	Intervalo (phi)	
Muito bem selecionado	< 0,35	
Bem selecionado	0,35 – 0,50	
Moderadamente selecionado	0,50 – 1,00	
Mal selecionado	1,00 – 2,00	
Muito mal selecionado	2,00 – 4,00	
Extremamente mal selecionado	> 4,00	(A)
<hr/>		
Assimetria (Sk)	Intervalos	
assimetria muito negativa	-1,00 a -0,30	
assimetria negativa	-0,30 a -0,10	
aproximadamente simétrica	-0,10 a 0,10	
assimetria positiva	0,10 a 0,30	
assimetria muito positiva	0,30 a 1,00	(B)
<hr/>		
Curtose (K_G)	Intervalos	
muito platicúrtica	< 0,67	
Platicúrtica	0,67 - 0,90	
Mesocúrtica	0,90 - 1,11	
Leptocúrtica	1,11 - 1,50	
muito leptocúrtica	1,50 - 3,00	
Extremamente leptocúrtica	> 3,00	(C)

Fonte: Segundo Folk & Ward (1957) e Almeida (2006).

Tabela 2- Classificação granulométrica de Wentworth (1922) – média granulométrica – para sedimentos arenosos e lamosos.

Classificação	Phi (φ)	Milímetros (mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,0625
Silte	4 a 8	0,0625 a 0,0039
Argila	>8	>0,0039

Os dados dos perfis topográficos foram processados nos softwares Microsoft Office Excel e inseridos no Grapher 5 da Golden Software, para representação gráfica da morfologia praial e cálculo do volume sedimentar.

Outros parâmetros morfométricos de Short & Hesp (1982) foram calculados no Excel, sendo eles: declividade da praia (β), largura da praia (Y_b), desvio padrão da largura da praia

(DpYb) e coeficiente de variação da largura da praia (CVYb%).

O parâmetro DpYb diz respeito ao desvio padrão da largura média praial (Yb). O cálculo deste parâmetro foi feito pela função do Microsoft Excel:

$$f(x)=\text{DESVPADA}(\text{intervalo do Yb de cada perfil}) \text{ (Equação 1).}$$

O coeficiente de variação da largura praial (CVYb%) representa a taxa de variação da largura praial em relação ao DpYb. Calcula-se este parâmetro morfométrico da seguinte forma:

$$\text{CVYb\%}=\text{DpYb}/\text{Yb}*100 \text{ (Equação 2).}$$

O parâmetro de declividade praial (β) é calculado a partir da tangente de β ($Tg\beta$) pela seguinte fórmula:

$$Tg\beta=\text{oposto}/\text{adjacente} \text{ (Equação 3).}$$

Oposto: equivale a altura do perfil.

Adjacente: equivale a distância do perfil.

O valor de declividade da face praial (β) obtido foi usado também para averiguar o estado morfodinâmico de praias no modelo de Sazaki (1980), que se baseia nas características desses estados (Tabela 3). Comumente esse modelo é útil quando os dados de clima de ondas não estão disponíveis.

Tabela 3- Classificação morfodinâmica de praias arenosas, segundo a síntese.

PARÂMETROS	Dissipativo	Intermediário	Reflexivo
Ondas			
Tipo de quebra	Deslizante	Deslizante/mergulhant	Mergulhante/frontal
Nº de quebras	>3	e	1
Refletividade	Baixa	1-3	Alta
Nível relativo de energia	Alto	-	Baixo
Ângulo de incidência	Normal à costa	Médio Médio (0-10°)	Oblíquo (10-45°)

PARÂMETROS	Dissipativo	Intermediário	Reflexivo
Correntes			
Horizontais Costa afora	Grandes giros Correntes de retorno intensas	Pequenos giros Correntes de retorno médias	Unidirecional Fluxo rumo sotamar
Morfologia			
Barras Declividade média Cúspides e irregularidades da linha de costa Perfil praias	Múltiplas, paralelas <2° Embaixamentos rítmicos/aperiódicos Plano	Em crescente 2-4° Cúspides de surfe Transicional (berma)	Sem barras >4° Cúspides de espraiamento Em degraus (berma)
Transporte de Sedimentos			
Longitudinal Costa-adentro/costa-afora Modo dominante Granulometria Atividade eólica	Baixo Alto Suspensão Fina Alta	Médio Médio Misto Média Média	Alto Baixo Carga de fundo Grossa Baixa

Fonte: De Sazaki (1980).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 MORFOLOGIA DA PRAIA

6.1.1. Antes da construção do muro de arrimo

A morfologia apresentou uma variabilidade bem maior que a granulometria, indicando alta mobilidade no transporte e deposição dos sedimentos ao longo da face praial, mesmo com a baixa variabilidade granulométrica destes ao longo do tempo. Os perfis topográficos transversais (1 – 9) estão representados nos gráficos bidimensionais da Figura 8, tendo sido tratados os dados de todas as campanhas de campo.

Os perfis da extremidade oeste (P1 e P2) foram os mais íngremes (Figura 8). A declividade (β) dos perfis deste setor apresentaram uma média de 7 a 8° no mês de setembro/2017. Em contrapartida nos perfis P8 e P9 apresentaram 1 a 2° de inclinação em meses variados (Tabela 4). Com exceção do perfil 2, houve uma tendência a perda de sedimentos na transição da estação seca (novembro/2016) a chuvosa (março/2017). O mês de março, de volume pluvial e aporte fluvial bastante elevado no Rio Pará, normalmente apresenta condições erosivas, devido o escoamento superficial oriundo das chuvas e, as grandes amplitudes e correntes de maré associadas ao Equinócio de Outono (Hemisfério Sul). Em junho/2017 e setembro/2017 notou-se o restabelecimento dos perfis praias, inclusive com volume sedimentar crescente nos perfis 3 e 4 (Figura 8).

O setor leste (perfis 7, 8, 9) apresentou acréscimo no volume sedimentar a partir de novembro/2016 (Figura 8) não indicando condições erosivas intrínsecas de março/2017, sendo mais estável, pois se trata de um setor menos exposto à ação de ondas, protegido por promontório rochoso, criando uma zona de sombra. Segundo Finkelstein (1981), numa zona de sombra em praia de enseada, tal como a do Marahú, os locais próximos a promontório rochoso ficam protegidos da energia das ondas.

Os perfis 5, 6 e 7, onde a área é mais exposta às condições hidrodinâmicas na praia, foram os que apresentaram maiores variações morfológicas (Figura 8), especialmente o perfil 6. Houve uma alternância entre a perda e ganho na sedimentação da praia ao longo das campanhas de campo ou sazonalidade amazônica: novembro a março – transitando para a estação chuvosa – houve perda; março a junho – transitando para o fim da estação chuvosa – houve ganho; junho a setembro – transitando para o fim da estação seca – houve perda sedimentar na face praial.

Esta parece ser uma tendência generalizada à praia, observada também nos outros setores, pois apenas os perfis 3 e 4 não apresentaram perda de volume sedimentar no último período (junho-setembro/2017), no qual corresponde ao período de verão amazônico, onde normalmente espera-se maior deposição sedimentar em praias (Baptista Neto 2004).

El-Robrini (2001) confirma dizendo que a Praia do Marahú não apresenta sazonalidade marcante, muito provavelmente em função da elevada atividade hidrodinâmica, revelando, então, perdas e ganhos no volume sedimentar indiferentes às estações do ano.

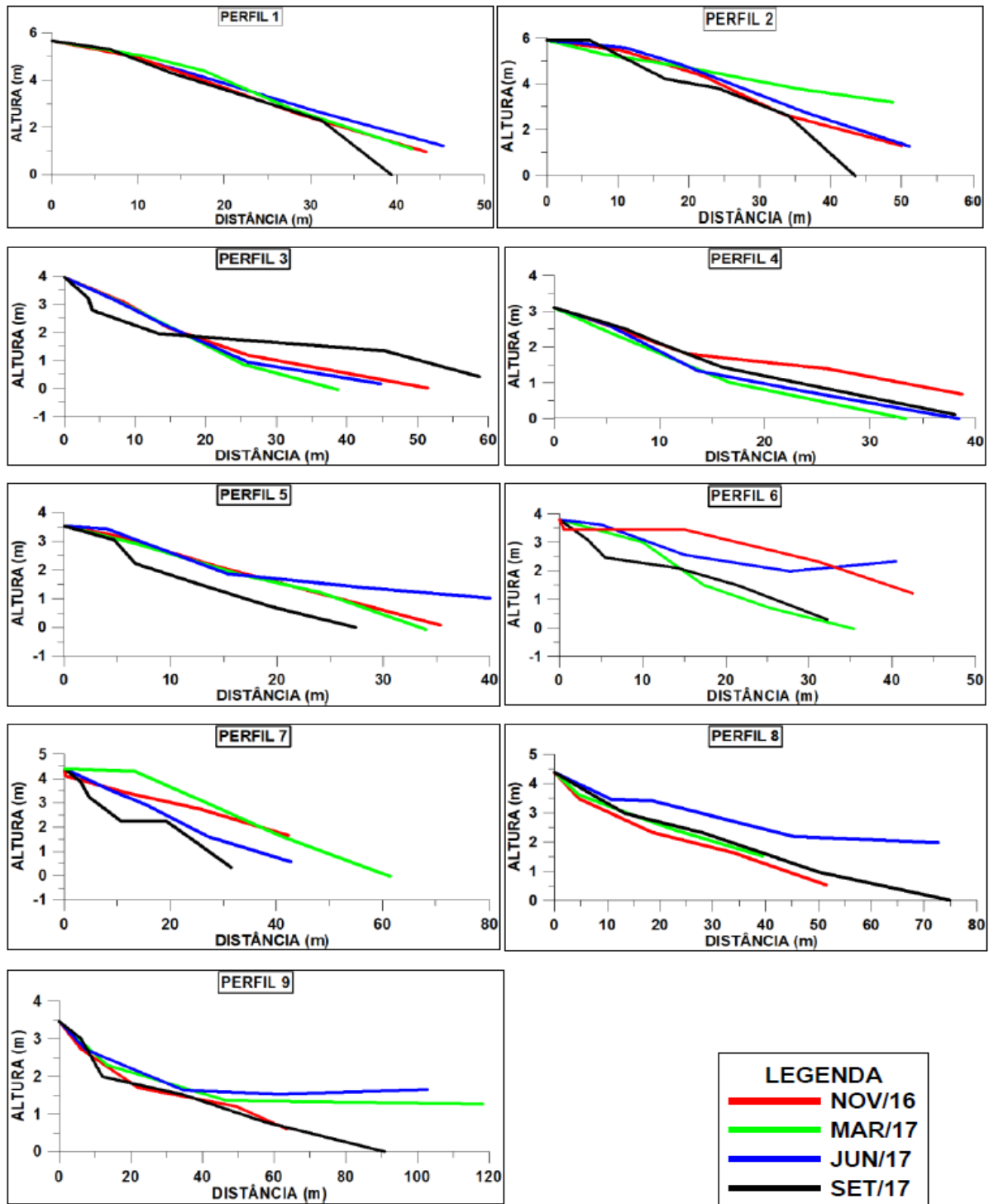


Figura 8- Evolução da morfologia praial ao longo do ciclo sazonal nos perfis (1-9) dos meses de novembro/2016 (Ramos, 2017); março, junho e setembro de 2017. Período anterior à construção do muro de arrimo na praia.

Tabela 4- Parâmetros morfométricos de Short & Hesp (1982) dos perfis (1-9) antes da construção.

	<i>2016/2017</i>	β	<i>Yb</i>	<i>DpYb</i>	<i>CpYb%</i>
<i>Perfil 1</i>	Nov	5°	45	2,5	5,6%
	Mar	6°	43		5,8%
	Jun	6°	42		6,0%
	Set	8°	39		6,4%
<i>Perfil 2</i>	Nov	5°	50	3,59	7,2%
	Mar	3°	49		7,3%
	Jun	5°	51		7,0%
	Set	7°	43		8,4%
<i>Perfil 3</i>	Nov	4°	51	8,54	16,8%
	Mar	5°	39		16,8%
	Jun	4°	45		21,9%
	Set	3°	59		19,0%
<i>Perfil 4</i>	Nov	5°	38,7	2,6	14,5%
	Mar	5°	33		6,8%
	Jun	4°	38		6,9%
	Set	4°	38		6,9%
<i>Perfil 5</i>	Nov	5°	35	5,35	15,3%
	Mar	6°	34		15,7%
	Jun	3°	40		13,4%
	Set	7°	27		19,8%
<i>Perfil 6</i>	Nov	3°	42,3	4,6	11,1%
	Mar	6°	35		13,4%
	Jun	2°	40		11,7%
	Set	6°	32		14,6%
<i>Perfil 7</i>	Nov	4°	42	12,4	29,6%
	Mar	4°	61		20,4%
	Jun	5°	43		28,9%
	Set	7°	31		40,1%
<i>Perfil 8</i>	Nov	4°	51	17,46	34,2%
	Mar	4°	39		44,8%
	Jun	1°	73		23,9%
	Set	3°	75		23,3%
<i>Perfil 9</i>	Nov	2°	63	23,28	37,0%
	Mar	1°	118		19,7%
	Jun	1°	103		22,6%
	Set	2°	91		25,6%

6.1.2 Depois da construção do muro de arrimo

De maneira geral, em ambos os setores (Figura 9), os perfis tenderam a manter certa estabilidade vertical ao longo do ano, com exceção dos perfis 6, 7 e 8 cuja variação de nível sedimentar mostrou-se bem expressiva. O mês de dezembro se destaca aos demais perfis representando predisposição ao processo deposicional neste período. Toma-se atenção à presença da formação de bermas nos perfis 1 e 2 deste mesmo mês.

Em comparação à situação anterior à construção da orla, Marahú demonstrou-se topograficamente pouco variada em relação ao ano de 2017, os desníveis apresentados por esta seguem certa uniformidade ao longo de sua seção longitudinal, ou seja, na maioria dos perfis; quanto à seção transversal, deve-se prestar atenção à taxa de variação da largura praial (CVYb%) pois esta foi menor em relação ao ano anterior com um máximo de 82 m no P9 e mínimo de 31 m no P7 (Tabela 6) na qual, percebe-se que há um acúmulo expressivo na base do sistema praial (zona de intermaré inferior e inframaré), onde o mês de dezembro alcança as maiores larguras durante todo o estudo, e por conseguinte, tendências para o acúmulo de sedimentos nesta zona.

Segundo Nordstrom (1992) e Nordstrom & Jackson (1992), há dois padrões de mudança morfológica em praias estuarinas de mesomaré: (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.

No caso da praia do Marahú, o tipo A é o que melhor corresponde à morfossedimentação praial. Ramos (2017) já havia observado esta característica anteriormente à construção do muro de arrimo, contudo tem se mostrado mais acentuada após a obra.

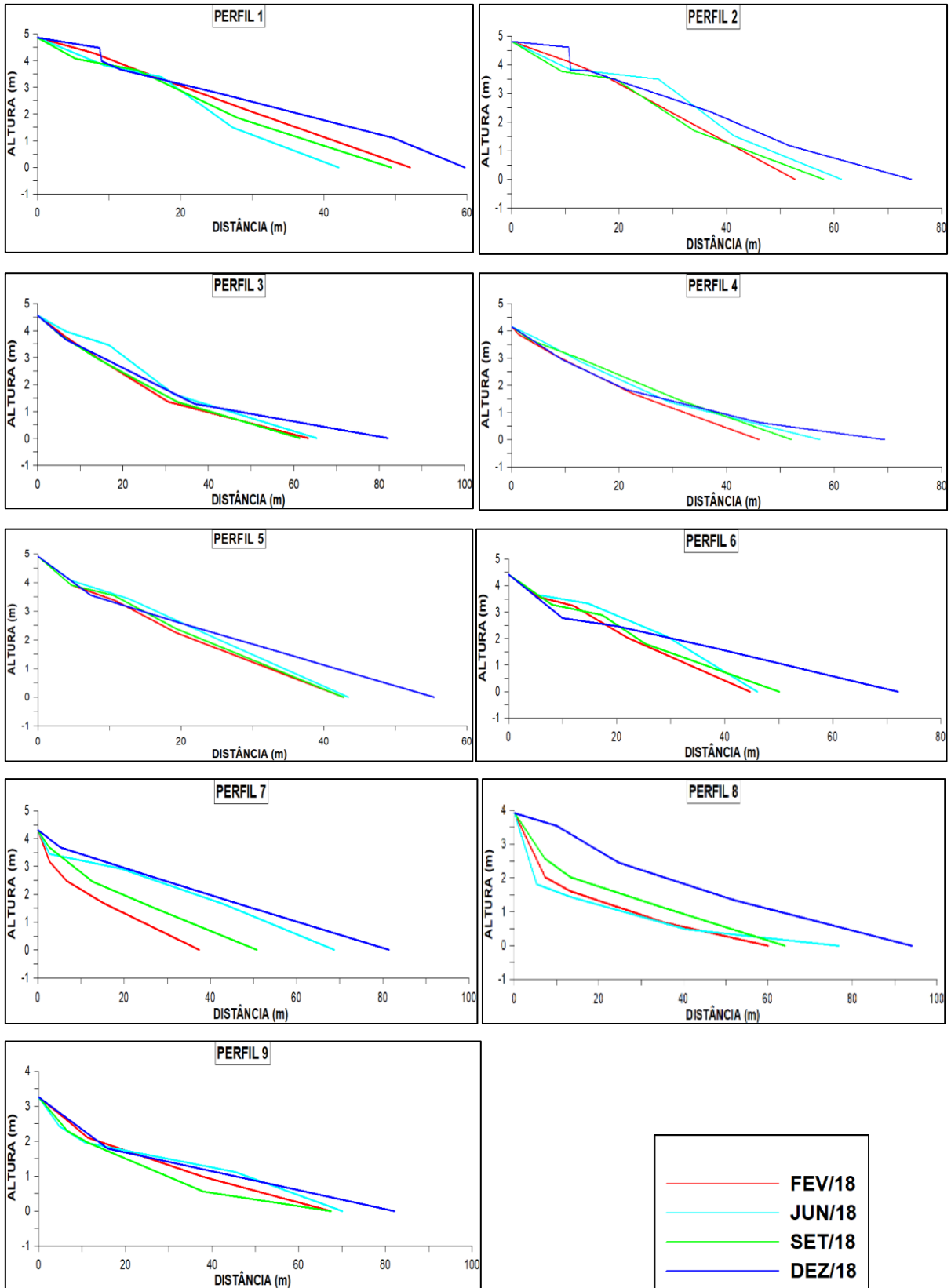


Figura 9- Evolução da morfologia praial ao longo do ciclo sazonal nos perfis (1-9) dos meses de fevereiro, junho, setembro e dezembro de 2018. Período posterior da construção do muro de arrimo na praia.

Tabela 5- Parâmetros morfométricos de Short & Hesp (1982) dos perfis (1-9) após a construção.

	<i>2018</i>	β	<i>Yb</i>	<i>DvYb</i>	<i>%CVYb</i>
<i>Perfil 1</i>	FEV	5°	52	7,45	14,33%
	JUN	5°	42		17,75%
	SET	5°	49		15,2%
	DEZ	4°	60		12,4%
<i>Perfil 2</i>	FEV	5°	53	8,96	16,9%
	JUN	4°	61		14,69%
	SET	4°	58		15,45%
	DEZ	3°	74		12,1%
<i>Perfil 3</i>	FEV	3°	63	9,63	15,3%
	JUN	4°	65		14,8%
	SET	4°	61		15,8%
	DEZ	3°	82		11,75%
<i>Perfil 4</i>	FEV	5°	46	9,76	21,22%
	JUN	4°	57		17,12%
	SET	4°	52		18,77%
	DEZ	3°	69		14,1%
<i>Perfil 5</i>	FEV	6°	43	5,65	13,1%
	JUN	6°	43		13,1%
	SET	6°	47		12%
	DEZ	4°	55		10,2%
<i>Perfil 6</i>	FEV	5°	45	12,6	28,02%
	JUN	5°	46		27,4%
	SET	4°	51		24,7%
	DEZ	3°	72		17,5%
<i>Perfil 7</i>	FEV	4°	37	19,4	52,4%
	JUN	3°	69		28,1%
	SET	4°	51		38,07%
	DEZ	3°	81		40,1%
<i>Perfil 8</i>	FEV	2°	60	17,4	29%
	JUN	1°	77		22,6%
	SET	2°	56		31,07%
	DEZ	2°	94		18,5%
<i>Perfil 9</i>	FEV	2°	67	8,18	12,21%
	JUN	2°	70		11,7%
	SET	2°	63		13%
	DEZ	2°	82		9,98%

Sabe-se que a região onde foi erguida a construção da orla e muro de arrimo do Marahú abrange a localização de dois perfis, sendo estes os perfis 6 e 7, logo, espera-se que estes sejam os setores mais vulneráveis ao processo erosivo, todavia, isso poderá ocorrer por dois possíveis motivos:

- I. Esta região da praia é, intrinsecamente, mais exposta às ações das ondas, portanto, este pode ser um fator de estresse físico ambiental predominante nesta dada localidade. O que diferencia esta região das demais é a ausência dos promontórios rochosos que circundam os limites leste e oeste do Marahú, pois, estes criam regiões de sombra frente aos agentes físicos de onda e corrente;
- II. Com a edificação do muro, a troca de sedimentos entre a zona de espriamento e o pós-praia é cessada, tendendo à intensificação do processo erosivo, pois, uma possível fonte sedimentar estaria contida nos espaços internos ao muro, logo, este seria um fator intensificador haja vista que o balanço sedimentar desse depósito seria negativado, ou seja, o *output* sobreporia o *input* de sedimentos.



Figura 10- Processo de construção da Orla do Marahú e muro de arrimo (A). Orla e muro construídos (B). Fotografias retiradas em: 30/06/2018 e 08/12/2018, respectivamente. Fonte: Do autor.

6.2 SEDIMENTOLOGIA DA PRAIA

6.2.1 Antes da construção do muro de arrimo

A média granulométrica é conceituada comumente como parâmetro estatístico ao qual se direciona a classe sedimentar predominante (Suguio 1973). Os gráficos da Figura 7 revelam uma tendência a apresentar areias grossas a médias nos perfis 1 e 2; os perfis 3 e 4, areias médias a finas; perfis 5, 6 e 7 uma tendência (com exceção de setembro e março/2017) ao engrossamento de areia; e, finalmente, os perfis 8 e 9 com redução novamente do diâmetro médio dos grãos (Figura 11): de areias finas a muito finas. Isto revela alguns possíveis fatores

sobre o ambiente, em particular, da posição dos perfis: areias mais grosseiras necessitam de mais energia para serem transportadas, ou seja, locais mais expostos à hidrodinâmica, como os perfis 5, 6 e 7. Já os perfis onde são protegidos por promontórios, como os perfis 8 e 9 é favorecida a deposição de sedimentos mais finos.

Contudo, as amostras, em geral, indicam predominância de areias médias com presença de areias finas a muito finas somente no perfil 9.

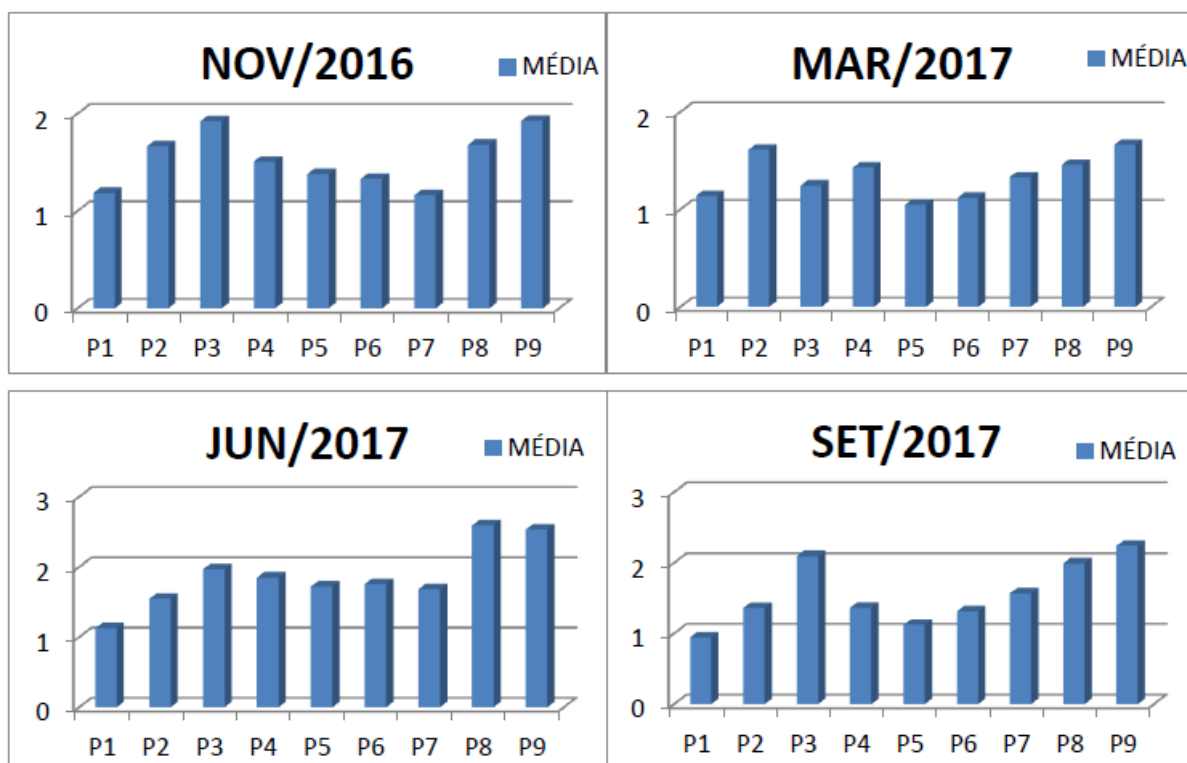


Figura 11- Média granulométrica dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

O grau de selecionamento (Figura 12) também apresenta uma relação direta com a energia e os ambientes subjacentes ao sistema praiar. Em suma, as amostras demonstraram-se moderadamente selecionadas (0,5 – 1,0) ao longo do período estudado, variando pouco em qualquer dos meses, uma exceção é o perfil 5, em novembro de 2016, ao qual se obteve grãos bem selecionados (0,35 – 0,5).

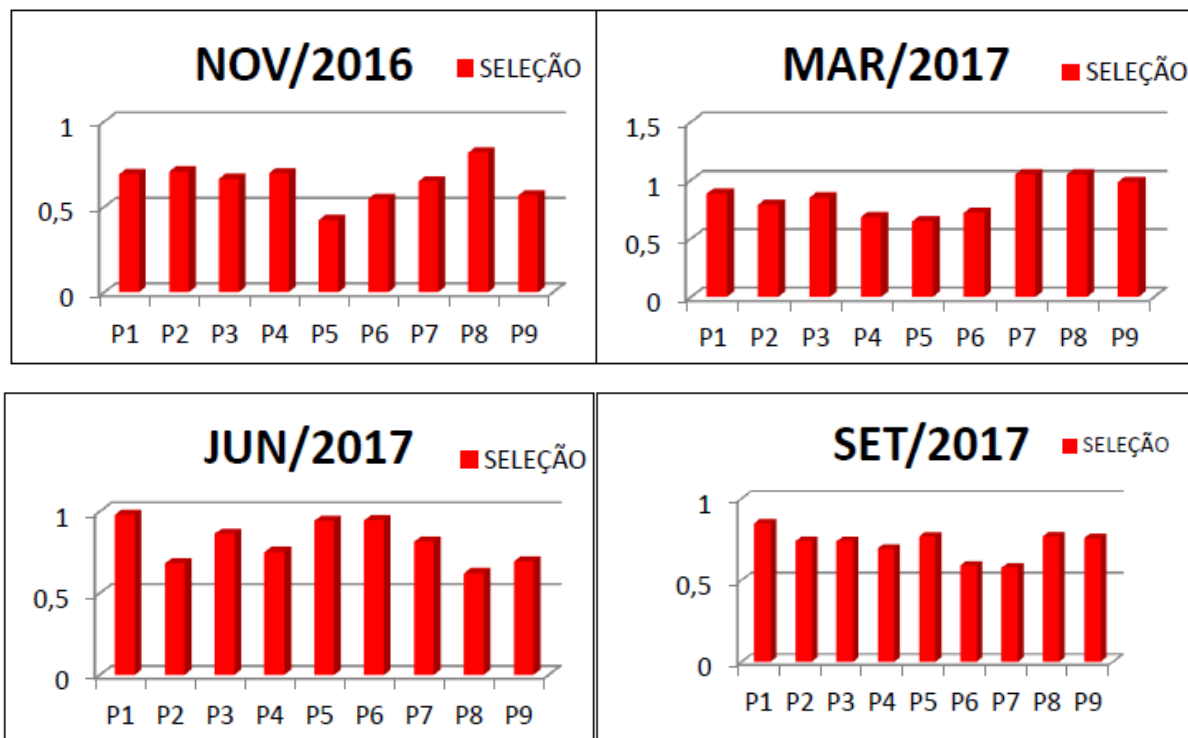


Figura 12- Seleção dos grãos dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

O parâmetro de assimetria está intimamente relacionado aos preceitos de estatística elementar, pois, este é melhor representado pela curva de distribuição das frações granulométricas. Pode ser relacionado com o parâmetro média visto que é conceituado como a inclinação da curva de distribuição partindo-se da média (Suguio 1973).

A assimetria (Figura 13), segundo os resultados, demonstrou tendência aos valores negativos, sobretudo para a classificação como assimetria negativa, evidenciando predisposição para os sedimentos mais grosseiros.

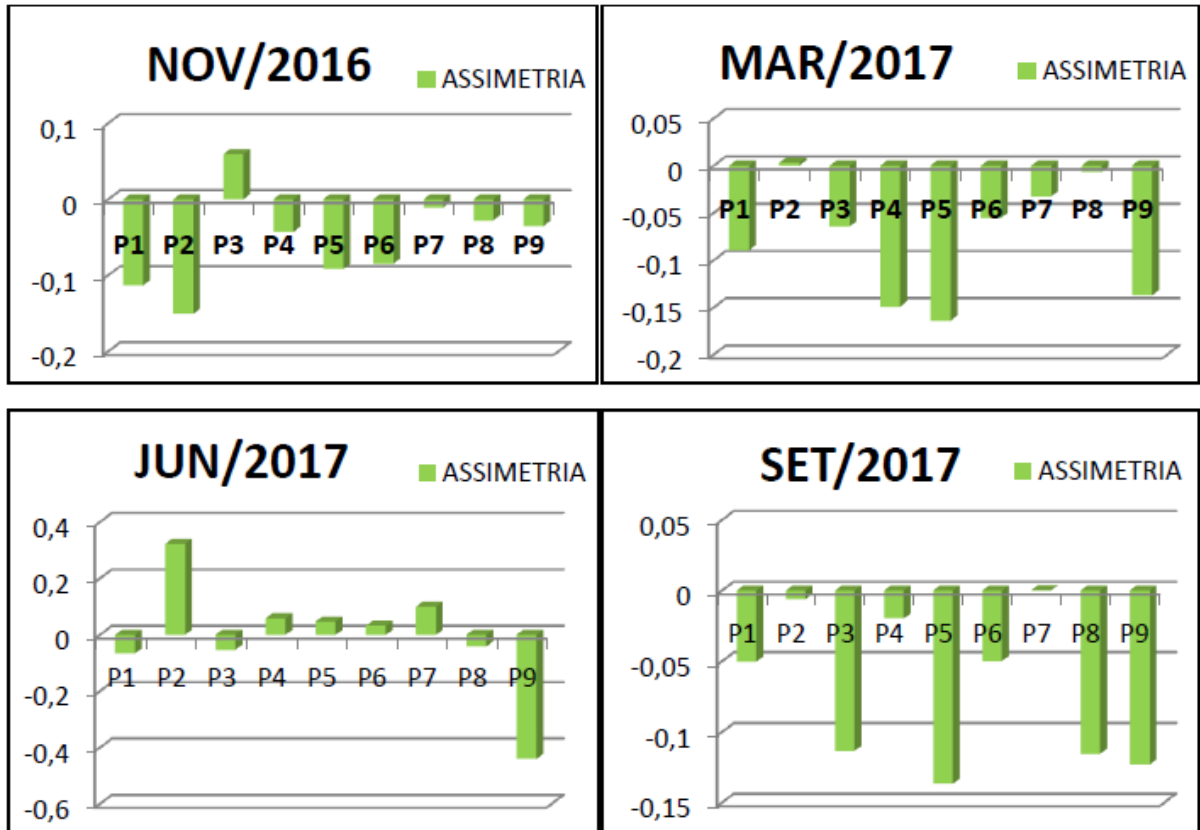


Figura 13- Grau de assimetria das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

A curtose é um parâmetro cujo conceito não é bem definido. Mas pode ser entendido como o grau de esbelteza ou agudez dos picos da curva de distribuição de frequência (Suguio 1973). Isto nos remete à concentração de determinada classe granulométrica presente na amostra. Quanto menos esbelta for a curva, ou seja, platicúrtica ($<0,9$), menos selecionada a amostra. Contudo, quanto mais leptocúrticas ($>1,1$), melhor selecionadas as amostras, ou seja, há uma variedade de tamanhos de grãos presentes na amostra.

No geral, as amostras foram classificadas como leptocúrticas, principalmente as amostras de novembro/2016. Os maiores valores de curtose estão nos perfis 7, 8 e 9 (Figura 14).

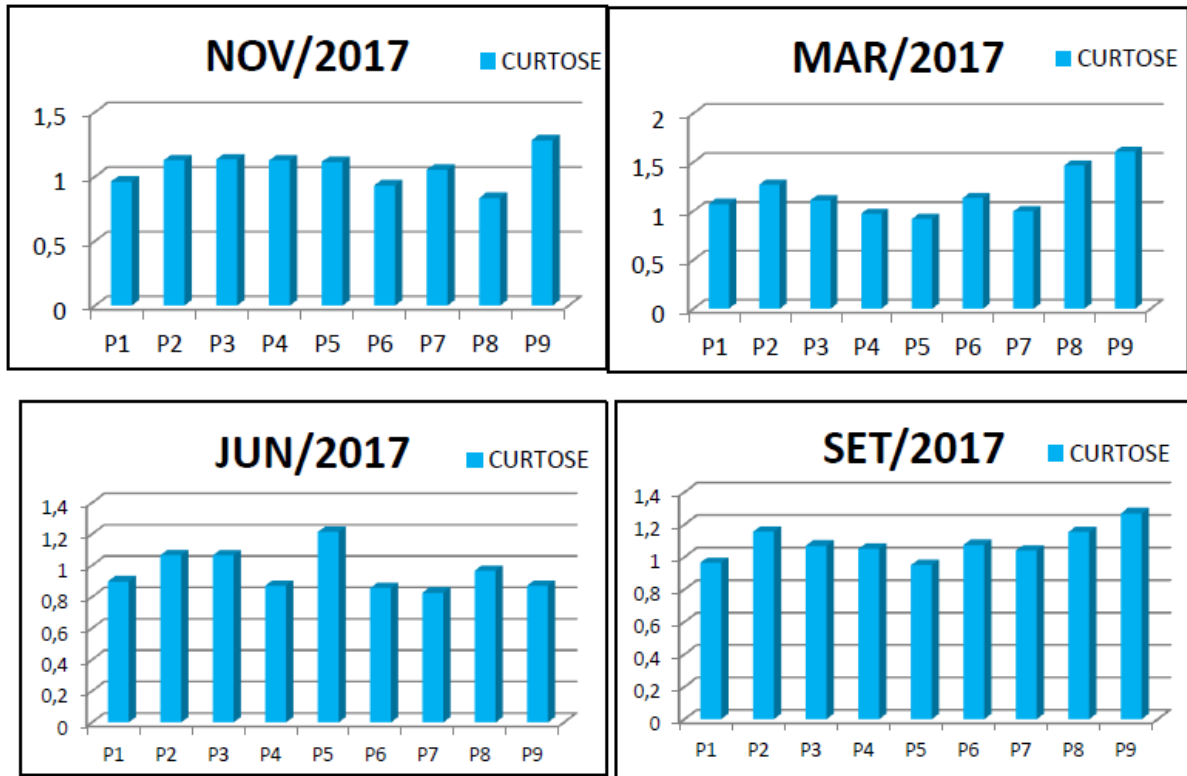


Figura 14- Grau de curtose das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

6.2.2 Depois da construção do muro de arrimo

A média granulométrica (Figura 15) se manteve aproximadamente constante ao longo do estudo. Com algumas poucas variações na extremidade leste (P8 e P9). O mês de fevereiro, de forma geral, foi o mês que apresentou os menores valores e, portanto, a Praia do Marahú aportou uma predominância de sedimentos médios a grosseiros; dezembro, no entanto, exibiu os maiores valores médios dos grãos, indicando baixa competência de transporte de sedimentos médios a finos, mostrando certa tendência ao processo deposicional. A Praia do Marahú apresentou predominância de areias médias para ambos os períodos estudados ($> 1 - 2 \phi$).

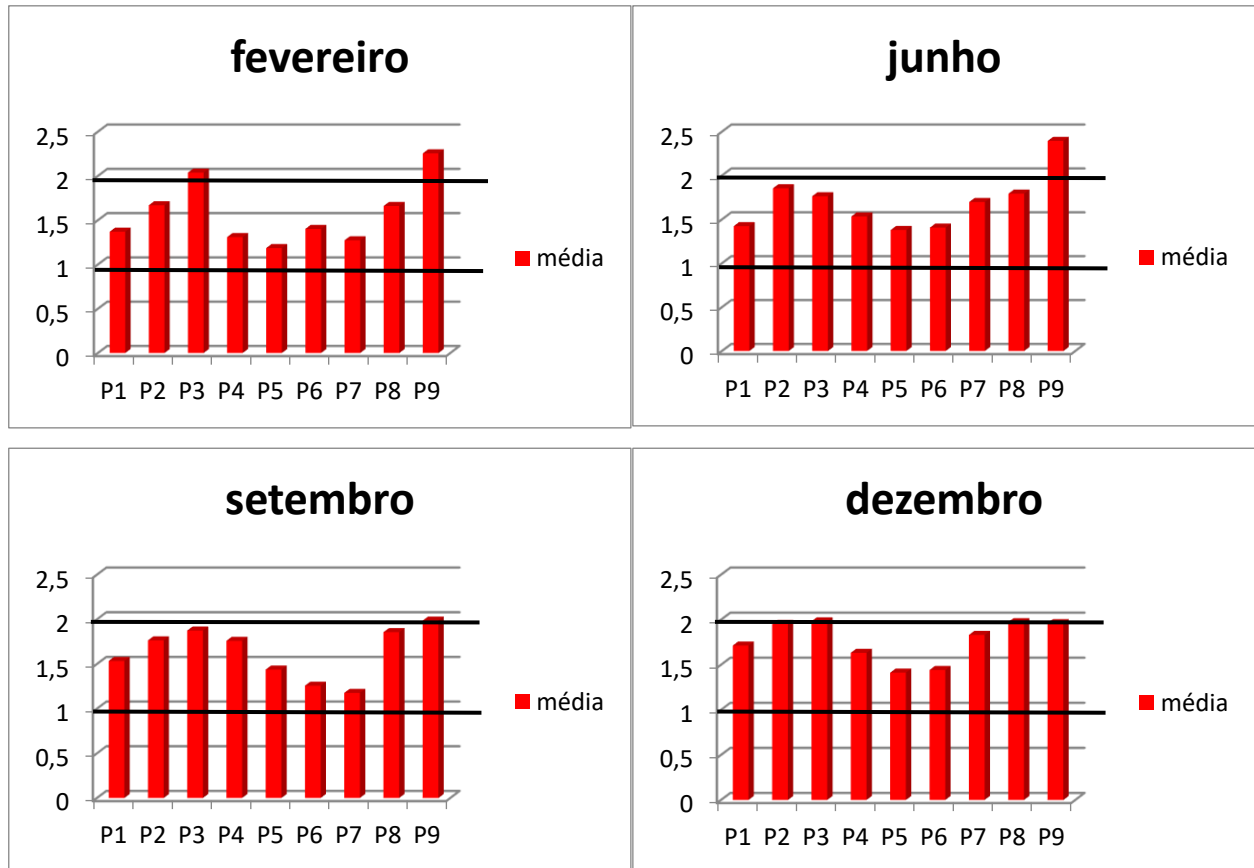


Figura 15- Média granulométrica dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

Quanto ao grau de seleção das amostras (Figura 16), estas predominantemente apresentaram-se moderadamente selecionadas (0,5 – 1,0). Sabe-se que o ambiente estuarino, sobretudo o estuário do Rio Pará apresenta grande dinâmica ao longo de sua extensão longitudinal. Os sistemas costeiros deposicionais adjacentes recebem grande influência desse dinamismo hidrodinâmico. Segundo Nordstrom (1992), sedimentos superficiais de praias estuarinas são mais grosseiras quando comparados aos sedimentos de praias oceânicas. Isso se dá em face ao retrabalhamento sedimentar ser extremamente recente para este tipo de ambiente.

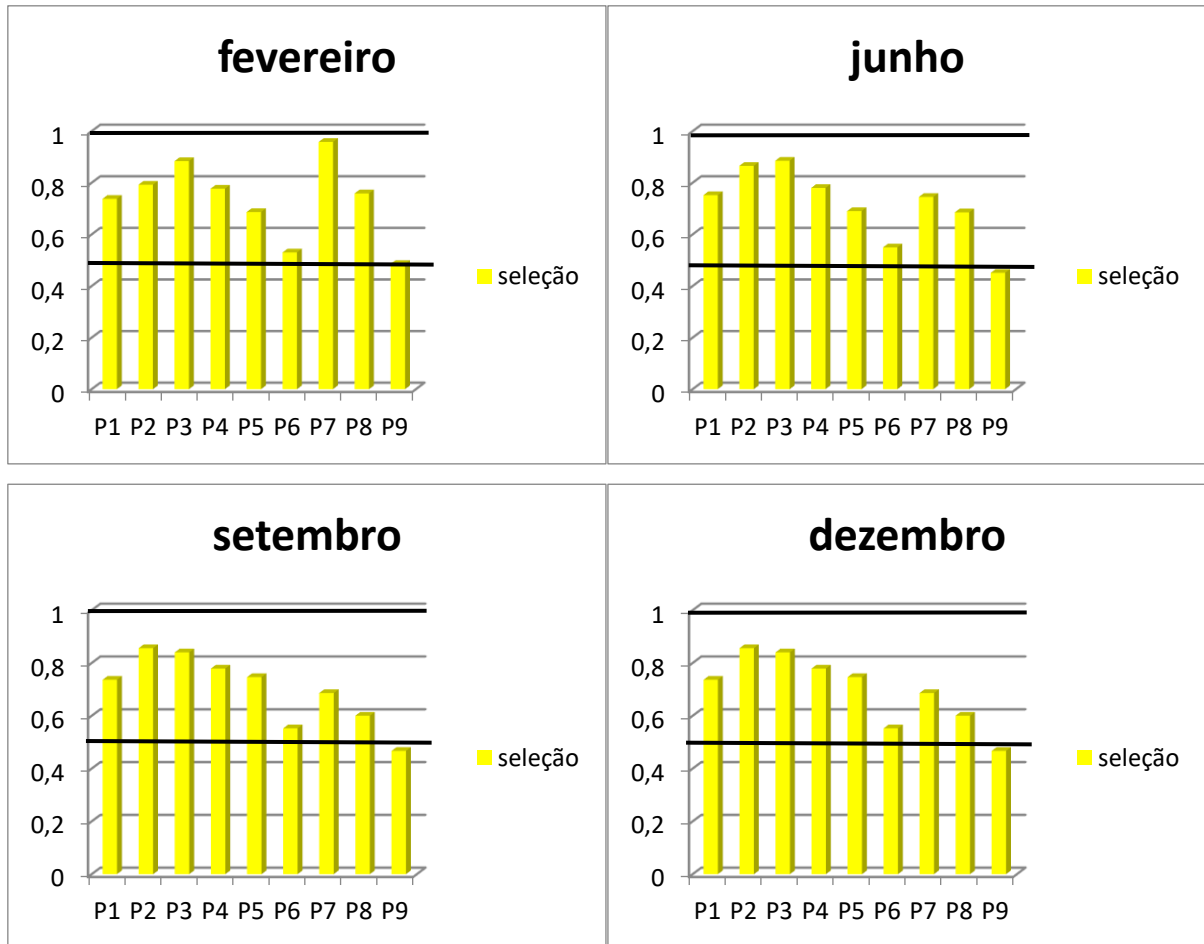


Figura 16- Seleção dos grãos dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

A assimetria (Figura 17) apresentou uma grande variedade quanto às tendências das classes granulométricas, no entanto, pode-se afirmar que, em geral, Marahú apontou domínio de assimetria aproximadamente simétrica (-0,1 – 0,1). Com isso, podemos afirmar que a Praia do Marahú indica predominância de areias médias com tendências às mais grossas.

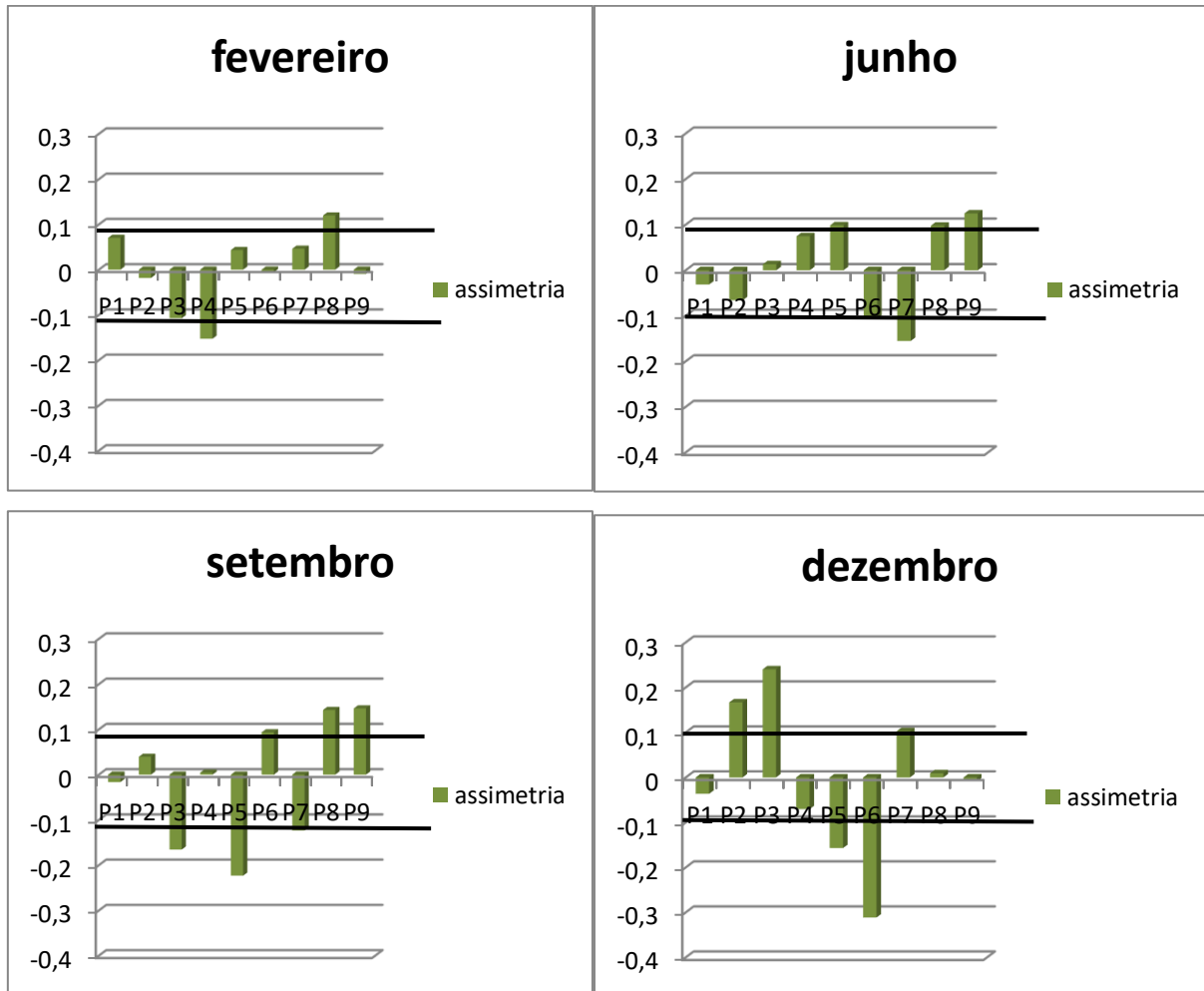


Figura 17- Grau de assimetria das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

Quanto à curtose (Figura 18), esta manifestou uma expressiva variação quanto à sua classificação, variou de mesocúrtica (0,9 – 1,11) à leptocúrtica (1,11 – 1,5). Sendo este parâmetro um reflexo da dispersão dos tipos de grãos presentes na praia (desde areia grossa a fina), pode-se correlacionar com o grau de seleção, na qual predominou o comportamento de moderadamente selecionado, e também, afirmar que os fatores físicos, sobretudo ondas e marés, que modelam a Praia do Marahú, são mal selecionadores do transporte sedimentar. Isto devido os depósitos arenosos estarem muito próximos de áreas fontes de sedimentos (falésias da Formação Barreiras, que compõem o Planalto Costeiro e, os promontórios rochosos), além da posição da praia, estuário adentro, favorecendo sedimentos menos selecionados.

A característica de seleção do grão é influenciada devido a flutuação do nível energético do agente deposicional, e sua capacidade de classificar os materiais mobilizados. A disponibilidade sedimentar da área fonte e as condições energéticas do meio influenciam, de certo modo, o grau de seleção dos sedimentos depositados em um dado ambiente (Sahu 1964).

Portanto, a sucessão de promontórios presente na ilha e a Formação Barreiras e Pós-barreiras no pós-praia, atuam como área fonte de sedimentos, influenciando diretamente a seleção dos grãos das praias, junto com o nível energético de ondas e marés (Maurity, 2021).

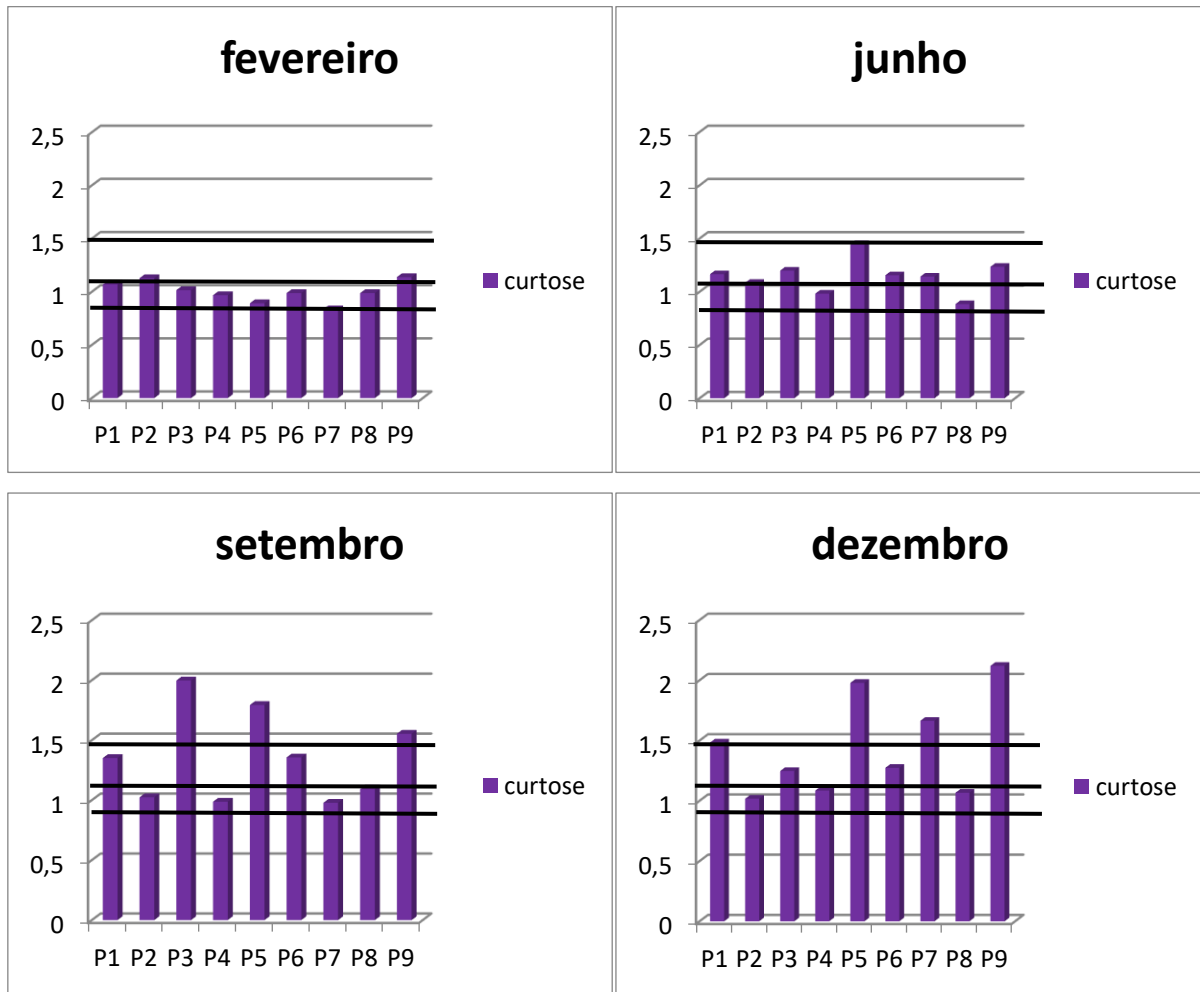


Figura 18- Grau de curtose das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos perfis, após a construção do muro de arrimo.

6.3 ESTADO MORFODINÂMICO DE PRAIA

Comumente, os estágios ou estados morfodinâmicos propostos por Wright & Short (1984) são dados como referência para classificações morfológicas dos ambientes praias, contudo, esta classificação de referência foi adotada por meio de estudos e experimentações de padrões morfológicos de praias oceânicas; somando-se a isso, para o cálculo efetivo seria necessário a medição da altura de ondas (H_b). Desta forma, tendo em vista à limitação de dados disponíveis de ondas locais e a configuração da praia do Marahú como sendo estuarina, optou-se por utilizar a classificação de Sasaki (1980), por meio do parâmetro declividade praias (β).

Em função das observações do formato das ondas (Figura 19), no geral, mergulhante/frontal, e dos ângulos de declividade média (Tabelas 4 e 6), a praia do Marahú possui características de praia dissipativa a reflexiva/refletiva.

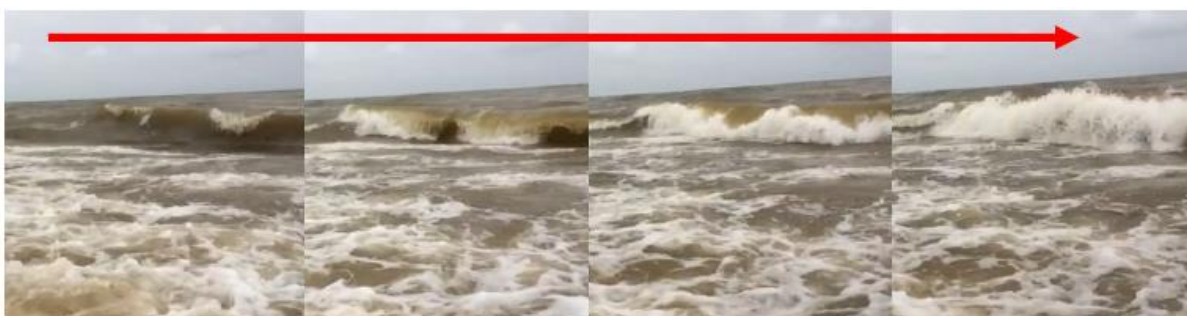


Figura 19- Formato das ondas incidentes na praia do Marahú. Fonte: Do autor.

Antes da construção da orla, é evidente a predominância de características morfodinâmicas do tipo reflexiva/refletiva. Contudo, após a construção, com base nos resultados de declividade, o estado morfodinâmico do tipo intermediário prevaleceu. Logo, é possível que o muro de arrimo tenha proporcionado uma movimentação mais uniforme dos sedimentos, tendo em vista que o muro – localizado longitudinalmente no pós-praia (zona de supramaré) dos perfis P7 e P6, como barreira física, diminuiu a troca de sedimentos com esta zona em razão da limitação do espriamento, conforme exposto por Farinaccio (2008), ocasionando um acúmulo sedimentar na zona de inframaré.

Tabela 6- Estados Morfodinâmicos de praia obtidos antes e após a construção do muro de arrimo.

	Ano 2016-2017	ANTES DA CONSTRUÇÃO DO MURO DE ARRIMO	Ano 2018	DEPOIS DA CONSTRUÇÃO DO MURO DE ARRIMO
Perfil 1	NOV	<i>Refletivo</i>	FEV	<i>Refletivo</i>
	MAR	<i>Refletivo</i>	JUN	<i>Refletivo</i>
	JUN	<i>Refletivo</i>	SET	<i>Refletivo</i>
	SET	<i>Refletivo</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 2	NOV	<i>Refletivo</i>	FEV	<i>Refletivo</i>
	MAR	<i>Intermediário</i>	JUN	<i>Intermediário</i>
	JUN	<i>Refletivo</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Refletivo</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 3	NOV	<i>Intermediário</i>	FEV	<i>Intermediário</i>
	MAR	<i>Refletivo</i>	JUN	<i>Intermediário</i>
	JUN	<i>Intermediário</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Intermediário</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 4	NOV	<i>Refletivo</i>	FEV	<i>Refletivo</i>
	MAR	<i>Refletivo</i>	JUN	<i>Intermediário</i>
	JUN	<i>Intermediário</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Intermediário</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 5	NOV	<i>Refletivo</i>	FEV	<i>Refletivo</i>
	MAR	<i>Refletivo</i>	JUN	<i>Refletivo</i>
	JUN	<i>Intermediário</i>	SET	<i>Refletivo</i>
	SET	<i>Refletivo</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 6	NOV	<i>Intermediário</i>	FEV	<i>Refletivo</i>
	MAR	<i>Refletivo</i>	JUN	<i>Refletivo</i>
	JUN	<i>Intermediário</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Refletivo</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 7	NOV	<i>Intermediário</i>	FEV	<i>Intermediário</i>
	MAR	<i>Intermediário</i>	JUN	<i>Intermediário</i>
	JUN	<i>Refletivo</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Refletivo</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 8	NOV	<i>Intermediário</i>	FEV	<i>Intermediário</i>
	MAR	<i>Intermediário</i>	JUN	<i>Dissipativo</i>
	JUN	<i>Dissipativo</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Intermediário</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>
Perfil 9	NOV	<i>Dissipativo</i>	FEV	<i>Intermediário</i>
	MAR	<i>Intermediário</i>	JUN	<i>Intermediário</i>
	JUN	<i>Intermediário</i>	SET	<i>Intermediário</i>
	SET	<i>Dissipativo</i>	DEZ	<i>Intermediário</i>

7. CONCLUSÃO

A pesquisa realizada na praia do Marahú, Ilha de Mosqueiro/PA, indica que antes da construção do muro de arrimo, a praia apresentava condições erosivas significativas na zona do pós-praia, sobretudo, nos perfis onde o muro foi construído (P6 e P7). E após a implantação da obra de engenharia rígida, resultou em efeitos que amenizaram, pontualmente, a dinâmica morfológica, com ênfase, para os perfis supracitados, onde a hidrodinâmica é mais intensa. Observou-se certo grau de acumulação sedimentar na zona de inframaré inferindo uma possível modificação na configuração sazonal da face praial, que antes da obra resultava numa distribuição sedimentar em direção ao pós-praia, que agora fica dificultado o transporte para esta zona devido ao muro de arrimo, implicando em um acúmulo sedimentar mais expressivo na parte inferior da praia.

Observou-se em ambas situações a predominância de areias médias, moderadamente selecionadas ao longo da praia, assimetria negativa a aproximadamente simétrica, evidenciando ocorrências pontuais de sedimentos mais grosseiros nas amostras; e curtose de mesocúrtica a leptocúrtica, indicando certa dispersão dos grãos de sedimentos para as classes de areia fina e grossa. Logo, após comparação do antes e depois da orla, foi observado que a construção não acarretou consideráveis alterações nos aspectos granulométricos.

A realização de obras de proteção costeira (muro de arrimo) na praia do Marahú desacelerou o processo da erosão, trazendo benefícios sócioeconômicos para os moradores locais (proteção contra o efeito erosivo e aumento do turismo). Contudo, a implantação da obra requer custos elevados com manutenção. Um aspecto negativo a se ressaltar refere-se à diminuição da largura praial e dificuldade de acesso à praia (usuário precisa descer por escadas de madeira improvisadas).

Conclui-se que este trabalho contribuiu com informações da morfologia e dinâmica costeira da praia do Marahú, que podem ajudar na tomada de medidas necessárias para manutenção do espaço costeiro e para evitar futuros problemas relacionados à erosão na obra implantada (ano de 2018).

REFERÊNCIAS

- Almeida E. R. S. 2006. *Estado morfodinâmico da praia central de Maratázes, ES*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Espírito Santo. 54p.
- Alves, M. A. M. S. 1999. *Caracterização sedimentológica e geomorfológica da plataforma e parte superior do talude continental do Estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 114p.
- Baptista Neto J.A., Ponzi V.R.A., Schel S.E. 2004. *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, 279p.
- Birkmeier W.A. 1981. *Fast, Accurate two-person beach surveys*. Fort Belvoir, Coastal Engineering Research Center. 22p.
- Brand E., Montreuil A.L., Houthuys R., Chen M. 2020. Relating hydrodynamic forcing and topographic response for tide-dominated sandy beaches. *Journal of Marine Science and Engineering*, **8**(3): 151. <https://doi.org/10.3390/jmse8030151>.
- Calliari L.J., Muehe D., Hoefel F.G., Toldo Jr J. 2003. Morfodinâmica praias: uma breve revisão (Beach morphodynamics: a brief review). *Revista Brasileira de Oceanografia*, **51**:63-78.
- Davis R. A. 1985. *Coastal sedimentary environments*. N.Y., Springer-Verlag.
- El-Robrini M.H.S. 2001. *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas, Ilha de Mosqueiro*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 85 p.
- El-robrini M., Alves M.A.M.S., Souza Filho P.W.M., El-Robrini M.H.S., Silva Júnior O.G., França C.F. 2006. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do Estado do Pará – Região Amazônica: Áreas oceânica e estuarina. In: Muehe D. (ed.) *Atlas de erosão e progradação da Zona Costeira Brasileira*. São Paulo, p. 1-34.
- Farias D.R. 2006. Variabilidade morfo-sedimentar das praias estuarinas da ilha de Caratateua (Pará). MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 134 p.
- Farinaccio A. 2008. *Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas*. PhD Theses em Ciências, Programa de Oceanografia química e Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, xi, 217 p.
- Finkelstein K. 1981. Morphological variations and sediment transport increnulate-bay beaches, Kodiak island, Alaska. *Marine Geology*, **47**: 261-281.
- Folk R.L. & Ward W.E. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal Sedimentary Petrology*, **27**: 3-26.
- Jackson N.L., Nordstrom K.F., Eliot I., Masselink G. 2002. 'Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, **48**(1-3): 147-162.
- Komar P.D. (ed.) 1976. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey, Prentice-Hall, 129 p.

Martorano L.G., Pereira L.C., Cesar E.G.M, Pereira I.C.B. 1993. *Estudos climáticos do estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwhite, Mather)*. Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 53 p.

Maurity P.V.O. 2021. *Estado morfodinâmico, segurança ao banho e o perfil dos banhistas das praias da Ilha de Mosqueiro, Estado do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 57p.

Mendes J. C. 1992. *Elementos de estratigrafia*. São Paulo, Queiroz T. A. Editor Ltda. 394p.

Miranda L. B.de., Castro M.de. C., Kjerfve B. 2002. *Princípio de oceanografia física de estuários*. São Paulo, EDUSP.

Muehe D. 2011. Geomorfologia costeira. In: Guerra Antônio José Teixeira e Cunha Sandra Baptista da (orgs.) *Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil.

Nascimento do F.C. & Lima J.J.F. 2010. Diretrizes técnicas para locação de limites edificados em praias. *Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, **10**(4): 197-218. (1678-8621).

Nordstrom K.F. 1992. *Estuarine beaches. An introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords*. London, Elsevier Science Publishers LTD. 225 p.

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.

Ramos C.C. 2017. *Morfologia e sedimentação de praia estuarina amazônica (Marahú - Ilha de Mosqueiro/PA)*. TCC, Graduação Curso de Bacharelado em Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 82 p.

Ranieri L. A. 2014. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará)*. PhD Theses, Geologia, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 195 p.

Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2016. Condição oceanográfica, uso e ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina – Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **16** (2): 133 – 146. Disponível em: http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-565_Ranieri.pdf.

Reichow C. 2018. *A barreira costeira holocênica e suas relações com a morfodinâmica praial no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil*. MD Dissertation, Geociências, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 77p.

Revitalização da orla de Mosqueiro. 2017. Disponível em: <https://dol.com.br/noticias/para/noticia-450069-belem-ja-tem-r-7-milhoes-para-orla-de-mosqueiro.html?d=1>. Acesso em: 12/2021.

Rosário R.P. 2016. *Análise de processos oceanográficos no estuário do Rio Pará*. PhD Theses, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 137 p.

Sahu B.K. 1964. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, **34**: 73-83.

Sales G.M. *Ecologia da paisagem da Ilha de Mosqueiro, NE do Estado do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 119 p.

Sazaki T.O. 1980. *Proceedings of Coastal '80*. ASCE 3197- 3209p.

Short A.D. & Hesp P.A. 1982. Wave beaches and dunes Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, **48**:259- 284.

Short A.D. 1999. *Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester-New York, Willey. p.378.

Silva C.G., Patchineelam S.M., Baptista Neto J.A., Ponzi, V.R.A. 2004. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de Costa. *In*: Perillo G. M. *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, p. 175-218.

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.

Souza C.R.G., Souza Filho P.W.M., Esteves L.S., Vital H., Dillenburg S.R., Patchineelam S.M., Addad J.E. 2005. Praias arenosas e erosão costeira. *In*: Souza C.R.G., Suguio K., Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. (eds.). *O Quaternário do Brasil*. Holos, Ribeirão Preto. p. 130-152.

Suguio K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher.

Viana I. G. S. 2013. *Estrutura e fisiologia da paisagem da praia do Areião, Ilha de Mosqueiro (Belém-PA)*. MS Dissertation, Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém,73p.

Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**:377-392.

Wright L.D. & Short A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, **56**: 93-118.