



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**SEDIMENTAÇÃO E HIDRODINÂMICA EM UMA PRAIA DE MACROMARÉ:  
AJURUTEUA, PARÁ**

**Dissertação apresentada por:**

**PAULA ELIANE PAGLIARINI CORDOVIL**

**Orientador: Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho (UFPA)**

---

**BELÉM  
2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

C794s Cordovil, Paula Eliane Pagliarini  
Sedimentação e hidrodinâmica em uma praia de macromaré:  
Ajuruteua, Pará / Paula Eliane Pagliarini Cordovil; Orientador: Pedro  
Walfir Martins e Souza Filho – 2010  
xi, 33 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-  
Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

1. Sedimentologia. 2. Ambiente Depositional. 3. Macromaré. 4.  
Praia de Ajuruteua (Bragança-Pa). 5. Costa Norte do Brasil. I. Souza  
Filho, Pedro Walfir Martins e, *orient.* II. Universidade Federal do  
Pará. III. Título.

CDD 20. ed.: 551.353

---



**Universidade Federal do Pará**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica**

**SEDIMENTAÇÃO E HIDRODINÂMICA EM UMA PRAIA DE  
MACROMARÉ: AJURUTEUA, PARÁ**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

**PAULA ELIANE PAGLIARINI CORDOVIL**

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
**GEOLOGIA**

Data de Aprovação: **06 / 10 / 2010**

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. PEDRO WALFIR MARTINS E S. FILHO  
(Orientador-UFPA)

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> MARIA OZILEIA BEZERRA MENÉSES  
(Membro-UFC)

Prof. Dr. NILS EDVIN ASP NETO  
(Membro-UFPA)

*Aos meus pais, Paulo e Eliane, por todo o apoio e confiança  
e aos meus avós Livino, Nair e Nazaré,  
por estar presentes em mais esta etapa da minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

Concluo mais esta etapa da minha vida com muito a agradecer... Agradecer a Deus, por me permitir mais esta experiência... e que experiência! Cheia de erros e acertos, decepções e alegrias e muitas, muitas lágrimas.

Ao longo do desenvolvimento dessa dissertação tive a graça da ajuda de vários anjos que souberam criticar, elogiar, dar apoio, avisar quando estive errada, dar conselhos para minha melhora, orar por mim ou simplesmente me distrair quando precisei... Gostaria de agradecer:

- ao meu orientador, que me aceitou e se arriscou me apoiando na decisão de voltar ao começo, quando eu já estava na metade do caminho;
- à professora Odete Silveira, que me puxou a orelha num momento decisivo, me ajudando a tomar a melhor escolha e sempre me apoiou;
- à minha família, que é meu porto seguro e minha fonte de inspiração;
- ao professor Nils Asp pelo apoio em campo e com idéias e materiais, à professora Luci Cajueiro pela concessão dos dados hidrodinâmicos e à professora Ozilea pela participação na banca;
- a todos que me ajudaram nos trabalhos de campo e laboratoriais, Afonso, Nils, Pedrinho (do Pedro), Edu, Tommy, Pedrinho (do Afonso), Maura, Di Sfrendrech, Paulo, Erikinha, Dante, Néilton, Marcelo Moreno, Celso, Jordana, Amanda, Handerson...
- aos meus amigos de sempre, que me apoiaram em todos os momentos, Maura, Renan, Clara, Murilo, Karla;
- às minhas companheiras da sala 5, Laysa e Susane;
- ao PPGG pela infra-estrutura e ao CNPQ pela concessão da bolsa;
- e a todos que, direta ao indiretamente, me ajudaram para a realização deste trabalho...

MUITO OBRIGADA!

“Mas onde está a sabedoria? Onde está o lugar da inteligência?  
O homem não conhece o seu valor, e nem ela se acha na terra dos viventes.  
O abismo diz: ‘Não está em mim’; e o mar diz: ‘Ela não está comigo’...”  
(Jo 28: 12-14)

## RESUMO

Many classifications to coastal environments had been proposed over the years. By morphological, sedimentary and hydrodynamics analysis, it is possible to classify recent depositional environments according the dominant coastal process. This research had the purpose to analyze the hydrodynamic and sedimentary pattern of Ajuruteua beach in order to classify it in relation to the depositional environment. It had been done field researches in 2009, during the rainy (March and April) and dry seasons (September and November), where it was done topographic survey, sedimentary collection and peels obtainment in spring low tide conditions and hydrodynamic data collection (wave, current and tide). Ajuruteua beach responded to seasonal hydrodynamic variations presenting differentiated morphology between rainy and dry seasons. During the dry season, along the beach was observed sediment loss of intertidal zone and sediment addition of supratidal zone and, only at NW sector, was generated a ridge and runnel system, at raining season, the both sectors had regular and similar morphology. It was observed, that in both sectors of beach, the sediments presented similar granulometric characteristics, with mean grain size of fine sand, fluctuating of  $2,64 \Phi$  to  $2,61 \Phi$  of rainy season to dry, well sorting, of  $0,48 \Phi$  throughout the year and positive skewness fluctuating of  $0,2 \Phi$  to  $0,17 \Phi$  of rainy season to dry. In the peels was found six sedimentary facies, where was observed the presence of wave generated structures during rainy and dry seasons and absence of tide generated structures. Therefore, it was concluded that throughout the year the waves are important environment moulder agents, but due to importance of local tidal range, Ajuruteua beach can be classified as a type 1 of Short macrotidal beach, as a mixed energy environment, included in the category "meso/macrotidal beach" of coastal classification used in this research.

Key-words: Ajuruteua beach, North Coast, Depositional Environment, Macrotidal.

## ABSTRACT

Many classifications to coastal environments had been proposed over the years. By morphological, sedimentary and hydrodynamics analysis, is possible to classify recent depositional environments according the dominant coastal process. This work had as purpose to analyze the hydrodynamic and sedimentary pattern of Ajuruteua Beach in order to classify it in relation to depositional environment. It had been realized works of field in 2009, during the rainy seasons (March and April) and dry (September and November), where it realize topographic survey, sedimentary collection and peels obtainment in spring low tide conditions and hydrodynamic data collection (wave, current and tide). Ajuruteua Beach responded to seasonal hydrodynamic variations presenting differentiated morphology between rainy and dry seasons. During dry season, along of beach was observed sediment loss of intertidal zone and sediment addition of supratidal zone and, only at NW sector, was generated a ridge and runnel system, at raining season, the both sectors had regular and similar morphology. It was observed, that in both sectors of beach, the sediments presented similar granulometric characteristics, with mean grain size of fine sand, fluctuating of  $2,64 \Phi$  to  $2,61 \Phi$  of rainy season to dry, well sorting, of  $0,48 \Phi$  throughout the year and positive skewness fluctuating of  $0,2 \Phi$  to  $0,17 \Phi$  of rainy season to dry. In the peels was found six sedimentary facies, where was observed presence of wave generated structures during rainy and dry seasons and absence of tide generated structures. so, it concluded that throughout the year the waves are important environment moulder agents, but due to importance of local tidal range, Ajuruteua Beach can be classified as a type 1 of Short macrotidal beach, as a mixed energy environment, included in the category "meso/macrotidal beach" of coastal classification used in this work.

Key-words: Ajuruteua beach, North Coast, Depositional Environment, Macrotidal.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Modelo de classificação costeira elaborado por: a) Boyd et al. (1992) , b) Yang et al. (2005), e c) Dashtgard et al. (2009).....	6
Figura 2: Mapa de localização da área de estudo. ....	7
Figura 3: Chuva acumulada mensal durante o ano de 2009. Fonte: Inmet (2010).....	8
Figura 4: Localização dos perfis topográficos nos setores SE (perfil A) e NW (perfil ) da praia. Fonte: Imagem Ikonos, 2008. ....	10
Figura 5: Esquema de distribuição dos pontos de amostragem superficial e das trincheiras, e localização dos equipamentos de análise hidrodinâmica. ....	11
Figura 6: Amplitudes das marés de sizígia medidas em março e setembro de 2009. ....	12
Figura 7: Altura (a) e Período de onda (b) nos meses de março e setembro de 2009. ....	12
Figura 8: Velocidade e direção de correntes para os meses de março (a) e setembro (b) de 2009. ....	13
Figura 9: Localização dos perfis topográficos, subdivisão da zona de intermaré e a morfologia geral dos perfis. A) Perfil A (SE) e B) Perfil B (NW). Fonte: Imagem Ikonos, 2008. ....	14
Figura 10: Variação morfológica do perfil A, setor SE, nos períodos chuvoso e seco de 2009. ....	15
Figura 11: Variação morfológica do perfil B, setor NW, nos períodos chuvoso e seco de 2009. ....	16
Figura 12: Variação dos parâmetros granulométricos ao longo dos perfis praias.....	17
Figura 13: Variação dos parâmetros estatísticos granulométricos média, seleção, assimetria e curtose ao longo do perfil A, períodos chuvoso (a) e seco (b). ....	18
Figura 14: Variação dos parâmetros estatísticos granulométricos média, seleção, assimetria e curtose ao longo do perfil B, períodos chuvoso (a) e seco (b). ....	19
Figura 15: Relação entre tamanho médio do grão e seleção. ....	20
Figura 16: Quadro de fácies sedimentares encontradas ao longo da zona intermaré. ....	21
Figura 17: Peels e estruturas sedimentares encontrados nas subzonas da intermaré no período chuvoso:.....	22
Figura 18: Peels e estruturas sedimentares encontrados nas subzonas da intermaré no período seco: .....	23
Figura 19: Localização da zona de arrebentação do perfil A durante a preamar nos períodos chuvoso (a) e seco (b) de 2009. ....	26
Figura 20: Classificação da praia de macromaré de Ajuruteua. Fonte: Modificada de Boyd et al. (1992).....	27

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ab – Areia fina com bolhas  
 Aba – Areia fina com laminação cruzada de baixo ângulo  
 Ac – Areia fina com laminação cruzada cavalgante  
 Af – Areia fina com estruturas fluidizadas  
 Am – Areia fina maciça  
 Ao – Areia fina com laminação ondulada  
 App – Areia fina com laminação plano-paralela  
 Aqp – Areia fina com laminação quase-planar  
 CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
 DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação  
 E – Leste  
 H – altura  
 Hs – altura significativa  
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
 LMAQ – Linha de maré alta de quadratura  
 LMAQM – Linha de maré alta de quadratura média  
 LMAS – Linha de maré alta de sizígia  
 LMASM – Linha de maré alta de sizígia média  
 LMBQ – Linha de maré baixa de quadratura  
 LMBQM – Linha de maré alta de quadratura média  
 LMBS – Linha de maré baixa de quadratura  
 LMBSM – Linha de maré alta de sizígia média  
 m – metro  
 m<sup>3</sup> – metro cúbico  
 mm – milímetro  
 m/s – metros por segundo  
 NW – Noroeste  
 NW-SE – Noroeste-sudeste  
 NE – Nordeste  
 s – segundo  
 SE – Sudeste  
 SE-NW – Sudeste- noroeste  
 ZIFM – Zona de inframaré  
 Zi – Zona de intermaré inferior  
 ZIM – Zona de intermaré  
 ZIm – Zona de intermaré média  
 ZIs – Zona de intermaré superior  
 ZSM – Zona de supramaré  
 Φ – phi

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>EPÍGRAFE .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>x</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 SISTEMA PRAIAL .....	2
1.2 ESTUDOS EM PRAIAS DE MACROMARÉ.....	3
1.3 OBJETIVOS .....	4
1.3.1 Objetivo Geral .....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
<b>2 SEDIMENTAÇÃO E HIDRODINÂMICA EM UMA PRAIA DE MACROMARÉ: AJURUTEUA, PARÁ .....</b>	<b>5</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	5
2.2 ÁREA DE ESTUDO.....	7
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	9
2.4 RESULTADOS .....	11
2.4.1 Hidrodinâmica.....	11
2.4.2 Morfologia do perfil praial.....	14
2.4.3 Granulometria .....	16
2.4.4 Estruturas sedimentares na zona de intermaré.....	20
2.5 DISCUSSÃO .....	24
2.6 CONCLUSÕES .....	27
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>30</b>

## 1 - INTRODUÇÃO

A zona costeira é uma zona de fronteira que está sujeita a contínuas alterações morfodinâmicas, temporais e espaciais, em função de uma série de processos geológicos continentais e marinhos (Silva et al., 2004). Dessa forma, as praias, que compõem o limite frontal do sistema costeiro, são ambientes altamente dinâmicos, cujas características morfológicas refletem o agente modificador predominante (ondas e marés) e os atributos dos sedimentos que as compõem, principalmente a granulometria (Braga, 2007).

Komar (1976) define o ambiente de praia como um depósito de sedimentos não coesivos e inconsolidados sobre a zona costeira, dominado primariamente por ondas e limitado internamente pelos níveis máximos da ação de ondas de tempestades ou onde haja mudança abrupta de sedimentos e/ou declividade, como dunas ou falésias, e externamente pelo início da zona de arrebentação ou, quando o corpo de água é sujeito a flutuações de macromarés, pelo nível de maré mais baixa de sizígia. Todos os ambientes costeiros são caracterizados pela constante mudança. Porém, a praia apresenta-se como um dos mais dinâmicos desses ambientes, sendo também um ambiente bastante sensível, que expressa múltiplas funções, entre elas a proteção costeira para os ecossistemas adjacentes e às atividades urbanas, recreação, turismo e habitat para várias espécies animais e vegetais (Davis, 1985; Muehe, 1998; Souza et al., 2005).

De acordo com Short (1999), a ocorrência de praias é totalmente dependente das ondas e sedimentos, porém é independente de muitos outros processos e, conseqüentemente, as praias ocorrem em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas. Podem ser, entretanto, influenciadas e modificadas por processos como marés e ventos e por outros parâmetros, como biota, química da água, ar e temperatura.

No Brasil, as praias dominadas por macromarés estão distribuídas no litoral do Pará, do litoral sul ao cabo norte do Estado do Amapá e ao Estado do Maranhão (Muehe, 1998). A importância das praias como recurso econômico tem aumentado nas últimas décadas, com o crescimento da indústria do turismo. A atividade turística triplicou na última década no Brasil, apesar disto, não existem dados consistentes sobre investimentos para a conservação das praias brasileiras, já que geralmente sua conservação é realizada de maneira pontual, com investimentos municipais e particulares (Souza et al., 2005).

A praia de Ajuruteua é alvo de estudo deste trabalho e localiza-se no município de Bragança, sendo uma das praias mais frequentadas da região nordeste do Estado do Pará e que vem sofrendo problemas relacionados à ocupação desordenada, à erosão marinha e à exploração dos seus recursos naturais (Guimarães, 2005; Pereira et al., 2007; Souza Filho et al., 2003).

## 1.1 - SISTEMA PRAIAL

O sistema praial pode ser subdividido em ambientes, usualmente referidos como zonas. Para este trabalho, adotou-se a subdivisão proposta por Wright et al. (1982) na qual a praia é dividida em três zonas morfológicas: a) zona de supramaré, b) zona de intermaré e c) zona de inframaré.

A zona de supramaré compreende a porção superior do espraiamento da onda até o limite topográfico da praia em direção ao continente. Nesta zona, podem ocorrer berma e areias retrabalhadas por ação eólica.

A zona de intermaré compreende a área entre os níveis de maré alta e baixa de sizígia, é a face da praia propriamente dita. Pode ainda ser subdividida em zona de intermaré superior, média e inferior. A zona de intermaré superior é a porção compreendida entre os limites de maré alta de sizígia e de quadratura. A zona de intermaré média compreende a porção entre a linha de maré alta de quadratura e a linha de baixa de quadratura. E a zona de intermaré inferior representa a zona entre o limite da maré baixa de quadratura e da maré baixa de sizígia.

A zona de inframaré é a porção situada abaixo da linha de maré baixa de sizígia que se estende até a zona de arrebentação, representando a área inferior do perfil praial.

Em relação à hidrodinâmica praial são observadas três zonas distintas, segundo Hoefel (1998): a) zona de arrebentação, b) zona de surfe e c) zona de espraiamento.

A zona de arrebentação está compreendida entre os limites de quebra das ondas mais distante e mais próximo da costa. É na zona de arrebentação que ocorre a dissipação das ondas e o número de zonas de arrebentação está diretamente relacionado com o número de bancos de areia e calhas existentes na praia.

A zona de surfe é a região localizada entre as zonas de arrebentação e de espraiamento, onde dominam os processos de transporte de sedimentos por correntes de deriva litorânea e de retorno. Em praias dissipativas, a zona de surfe é difícil de ser

reconhecida, quase sempre se confundindo com a zona de arrebenção.

A zona de espraiamento é a região entre a máxima e a mínima excursão da vaga sobre a face da praia ou zona de intermaré.

## 1.2 - ESTUDOS EM PRAIAS DE MACROMARÉ

A dinâmica das feições morfológicas e sua função na estabilidade de praia tem sido um dos maiores focos da investigação praial nestas últimas décadas (Wright et al., 1982; Short, 1999; Masselink et al., 2007, entre outros). A estabilidade morfológica de praias de macromaré é, na verdade, mais aparente que real. As mudanças no nível de base dessas praias podem ser limitadas, porém, quando considerada a largura da zona de intermaré, a quantidade de sedimentos que é remobilizada, a cada ciclo de maré, pode ser substancial (Masselink et al., 2007).

Apesar de as mudanças na zona de intermaré das praias ocorrerem somente quando esta encontra-se submersa, os fluxos de sedimentos e as taxas de mudança morfológicas podem ser grandes. Dessa forma, pode-se obter o entendimento sobre as respostas desse ambiente considerando as mudanças sedimentológicas que acompanham o desenvolvimento morfológico do mesmo (Masselink et al., 2007).

Em praias dominadas por processos de macromaré, durante um ciclo de maré, a posição da zona de espraiamento, surfe e arrebenção é modificada juntamente com a maré, tanto na vertical como na horizontal, em direção às linhas de preamar e baixa-mar (Masselink e Short, 1993).

Muitas investigações de campo de curto período (dias a semanas) realizadas em praias de micro e meso-marés mostram que as respostas morfológicas destas praias arenosas estão relacionadas à ação de ondas e marés. Por outro lado, cenários de macromarés recebem atenção limitada (Short, 1999; Masselink et al., 2007), sendo as variações morfodinâmicas de praias de macromarés um assunto ainda pouco estudado.

No Brasil, o interesse pelo estudo da dinâmica de praias vem sendo cada vez mais explorado (Bittencourt et al., 1992; Klein et al., 2005, entre outros), mas ainda há carência nos estudos sobre a influência dos processos meteoceanográficos na dinâmica de praias e a forma de atuação desses processos costeiros na variação da linha de costa, se tratando de praias de macromarés a carência é maior ainda, pois apenas a partir dessa década foi que começou-se a

dar maior enfoque nos estudos destes ambientes (Souza Filho et al., 2003; Braga et al., 2007; Pereira et al., 2007).

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo analisar o padrão hidrodinâmico e sedimentar da praia de Ajuruteua em relação ao processo físico dominante para classificá-la em relação ao ambiente deposicional.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar as fácies sedimentares (granulometria, textura e estruturas) ao longo da zona de intermaré;
- Analisar o padrão morfossedimentar sazonal da praia de Ajuruteua;
- Integrar os dados hidrodinâmicos e sedimentológicos com o intuito de fornecer subsídios para a análise dos principais agentes dominantes na morfologia local sazonal.

## **2 - SEDIMENTAÇÃO E HIDRODINÂMICA EM UMA PRAIA DE MACROMARÉ: AJURUTEUA, PARÁ**

### **2.1 - INTRODUÇÃO**

Diversas classificações de ambientes costeiros foram propostas ao longo dos anos. Johnson (1919) propôs o agrupamento de feições morfológicas a partir do nível relativo do mar em costas emergentes e submergentes. Mais tarde, Curray (1964), utilizou as variáveis “suprimento sedimentar” e “nível relativo do mar” para distinguir costas transgressivas de regressivas. Inman e Nordstrom (1971), a partir do controle estrutural, propuseram classificação das costas em montanhosas, com plataformas estreitas e planas, e com plataforma larga e plana. Shepard (1973) propôs uma classificação que empregava uma aproximação genética dos ambientes baseada nos processos dominantes, utilizando processos marinhos e não-marinhos. Pouco depois, Galloway (1975) propôs uma classificação ternária, baseada nos processos de onda, maré e fluvial.

Desde a metade do século XX, a classificação costeira evoluiu para uma abordagem mais geológica e, com o intuito de elaborar uma classificação baseada na dominância dos processos costeiros, levando em consideração as componentes evolucionária e morfológica, e incluindo uma gama de ambientes deposicionais clásticos, Boyd et al. (1992) modificaram a classificação ternária de Galloway (1975) (Figura 1a). Essa classificação descreve os ambientes costeiros, na base do triângulo, pela influência relativa de ondas e de marés, e, em direção ao topo, pela influência fluvial.

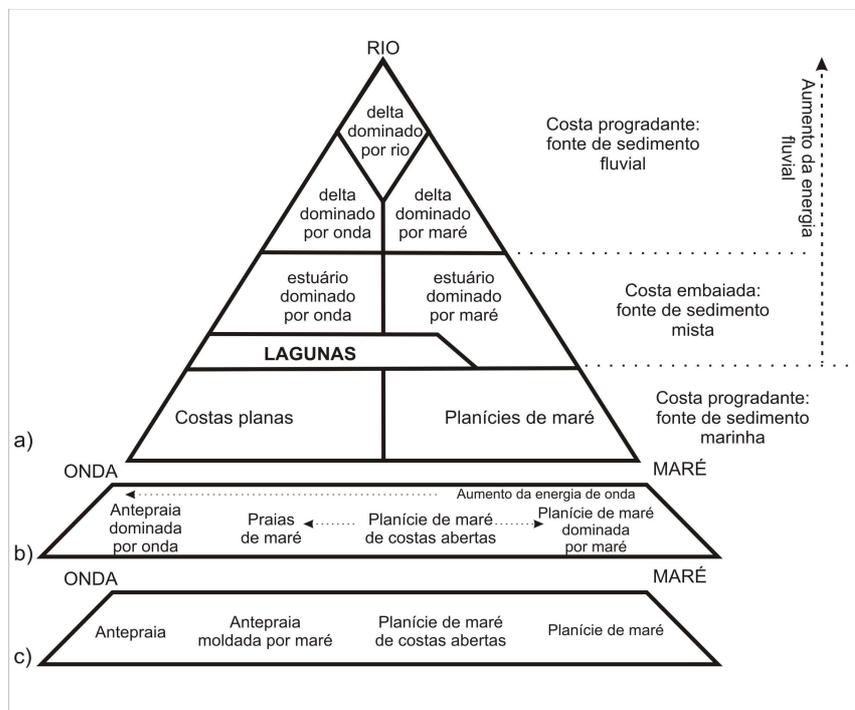
Mesmo com as classificações, até então existentes, indicando uma transição entre os ambientes dominados por onda e maré, a maioria dos estudos ainda se concentrava nas configurações extremas de ambientes dominados por onda e por maré. Assim, Yang et al. (2005), ao estudarem as costas chinesa e sul-coreana, observaram que processos de onda poderiam ser um importante agente de sedimentação de planícies de maré de costas abertas, apesar das definições padrão afirmarem que planícies de maré são ambientes influenciados por maré enquanto praias são dominadas por ondas. Observaram também, que em determinados ambientes costeiros poderiam ocorrer casos de dominância sazonal alternada entre ondas e marés.

A partir de então, estes autores propuseram um modelo de classificação de costas, modificado de Boyd et al. (1992), no qual foi incluído um espectro de ambientes transicionais

entre as dominâncias de maré e de ondas: as planícies de maré de costas abertas e as praias de maré (Figura 1b). Para eles, ambientes de energia mista eram muito mais comuns do que sugeria a literatura e concluíram que, de uma forma geral, planícies de maré de costas abertas e praias de maré podem possuir o mesmo regime de marés e ondas.

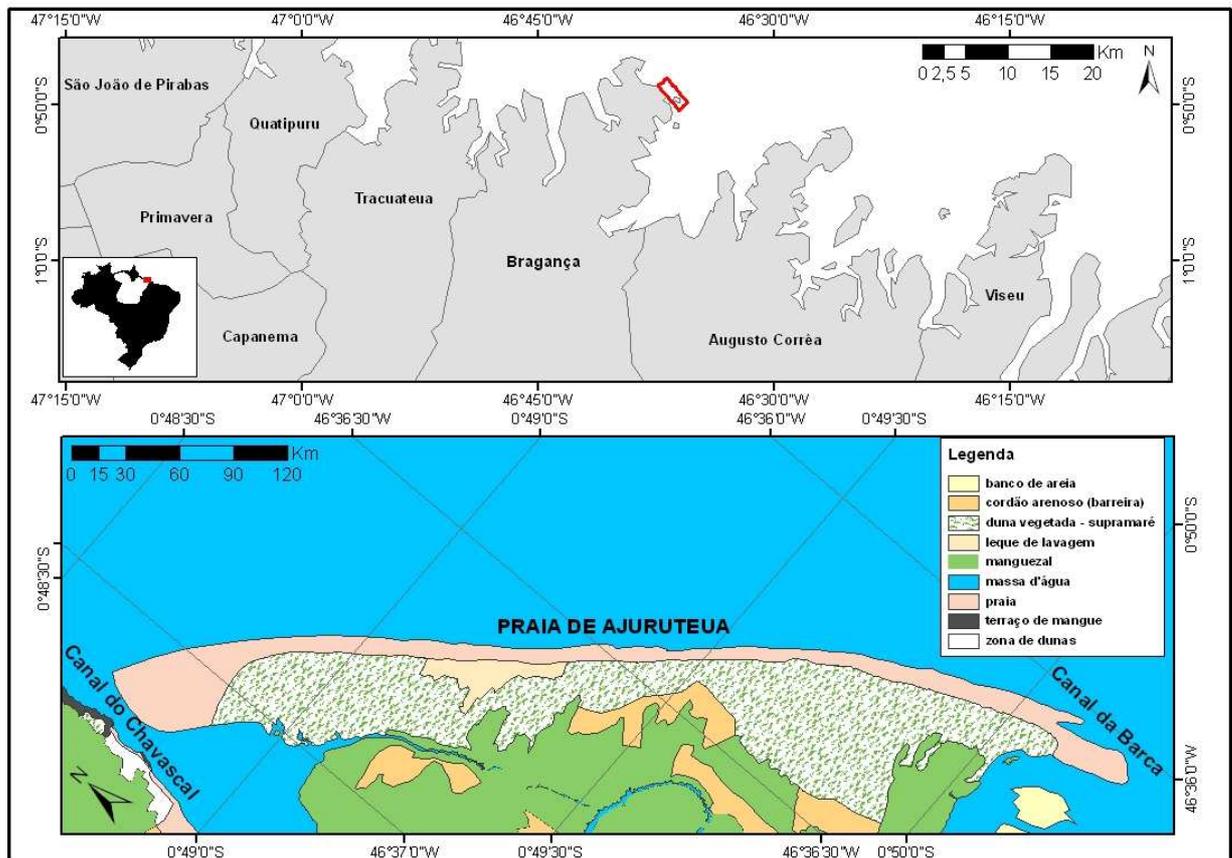
Short (1991) elaborou um modelo conceitual que incluía a influência da maré e das ondas, agrupando praias de micro, meso e macromarés, bem como planícies de maré. Esse modelo apontou 3 (três) tipos de praias de macromarés, utilizando como base a influência de ondas: i) praias que sofrem ação de ondas altas ( $H > 0,5$  m), côncavas ou planares, com inclinação de 1 a 3°; ii) praias que sofrem ação de ondas moderadas, resultando num baixo gradiente (aproximadamente 0,5°) com presença de sistema de barra/calha; e, iii) as últimas, que não são praias propriamente ditas, mas planícies de maré onde as principais forças atuantes são as marés.

Mais tarde, Dashtgard et al. (2009) propuseram uma classificação que também se originou da classificação ternária de Boyd et al. (1992) utilizando como critério classificatório apenas a ação dos processos físicos operantes na costa e utilizando um modelo equivalente às praias de macromarés descritas por Short (1991), onde a antepraia é modulada pela maré” (Figura 1c).



**Figura 1: Modelo de classificação costeira elaborado por: a) Boyd et al. (1992) , b) Yang et al. (2005), e c) Dashtgard et al. (2009).**

A proposta desse trabalho é analisar o padrão hidrodinâmico e de sedimentação da praia de Ajuruteua (Figura 2) em relação ao processo físico dominante, para então classificá-la em relação ao ambiente deposicional.



**Figura 2: Mapa de localização da área de estudo.**

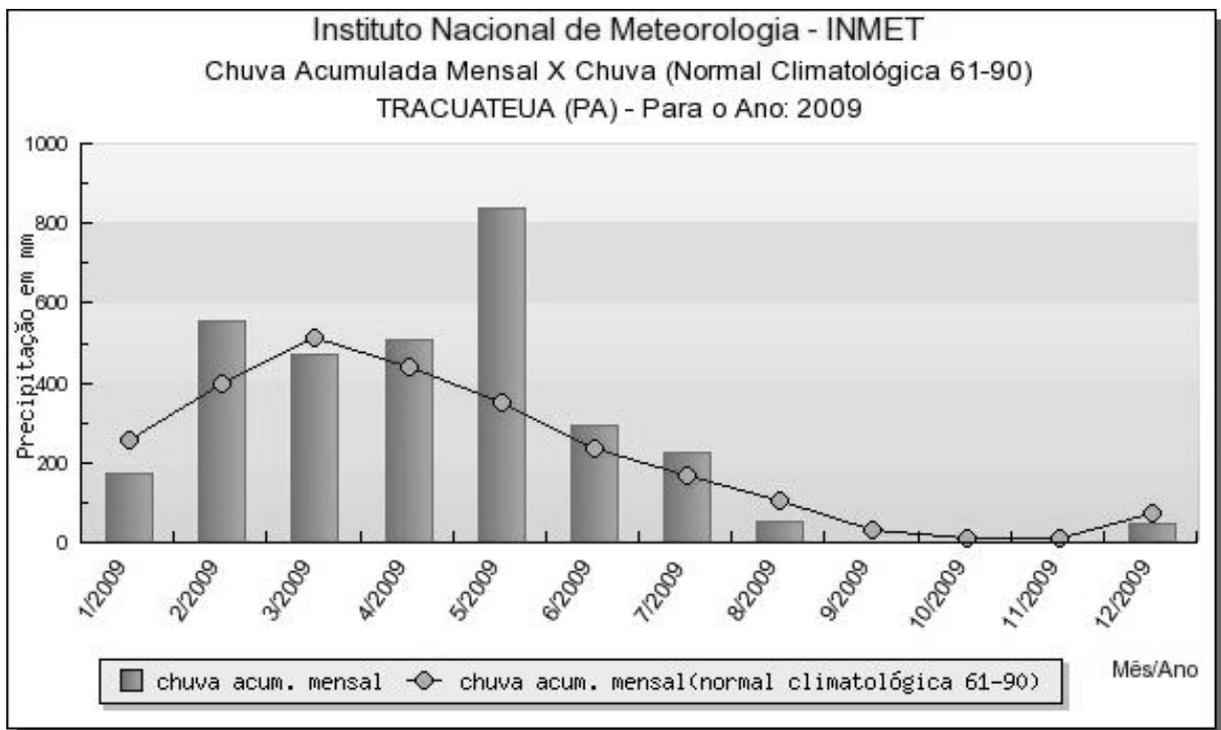
## 2.2 - ÁREA DE ESTUDO

A planície costeira bragantina possui uma área de 615,7 km<sup>2</sup>, sendo limitada a sul por falésias mortas, esculpidas no planalto costeiro, e a norte, pela zona onde predominam os processos marinhos, sendo recortada pela planície estuarina. Ainda na planície costeira é possível observar a presença de pântanos salinos, manguezais, cheniers, planície arenosa, dunas costeiras e as praias dos Pescadores e de Ajuruteua (Souza Filho e El-Robrini, 1995).

A praia de Ajuruteua é parte da planície costeira bragantina e está inserida na maior área contínua de manguezal do planeta (Kjerfve et al., 2002), apresentando uma configuração extremamente recortada, submetida a processos hidrodinâmicos e meteorológicos singulares ainda pouco conhecidos do ponto de vista científico (Barbosa et al., 2007).

Localizada a 25 km do planalto costeiro e separada do mesmo por uma ampla planície de maré, colonizada por mangue (Figura 2), Ajuruteua é uma praia de macromaré dissipativa, com aproximadamente 2,5 km de extensão, disposta na direção NW-SE, limitada por dois canais de maré, o canal da Barca a sudeste e o canal do Chavascal a noroeste e apresenta largura variável de 300 a 400 m, coberta, principalmente, por areias finas quartzosas bem selecionadas (Souza Filho et al., 2003; Alves e El-Robrini, 2006; Monteiro et al., 2009).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tipo “Am” e subtipo “Am2”, com moderada estação seca, ocorrência de precipitação média mensal inferior a 60 mm e precipitação pluviométrica média anual variando entre 2.500 mm e 3.000 mm. Esse tipo de clima ocorre basicamente, na faixa litorânea paraense, com penetração para o continente (Guimarães et al., 2001). A precipitação pluviométrica na região apresenta um comportamento sazonal (Figura 3), onde as médias pluviométricas mensais caracterizam os meses de fevereiro a maio como o período de maior precipitação e os meses de agosto a novembro, como o período de menor precipitação. Porém, segundo Moraes et al. (2005), na região bragantina ocorre um pequeno atraso no início e no final da estação chuvosa em relação ao restante do Estado do Pará, tendo início no mês de janeiro e final em agosto.



**Figura 3: Chuva acumulada mensal durante o ano de 2009.** Fonte: Inmet (2010)

Os ventos na região mostram um padrão sazonal, com predominância de ventos de NE durante o período chuvoso e ventos de E durante o período seco. Ventos fortes e constantes

são registrados durante o período seco, de 4 a 6 m/s, enquanto fortes rajadas são observadas durante o período chuvoso, chegando a até 10 m/s (Souza Filho et al., 2009; Monteiro et al., 2009).

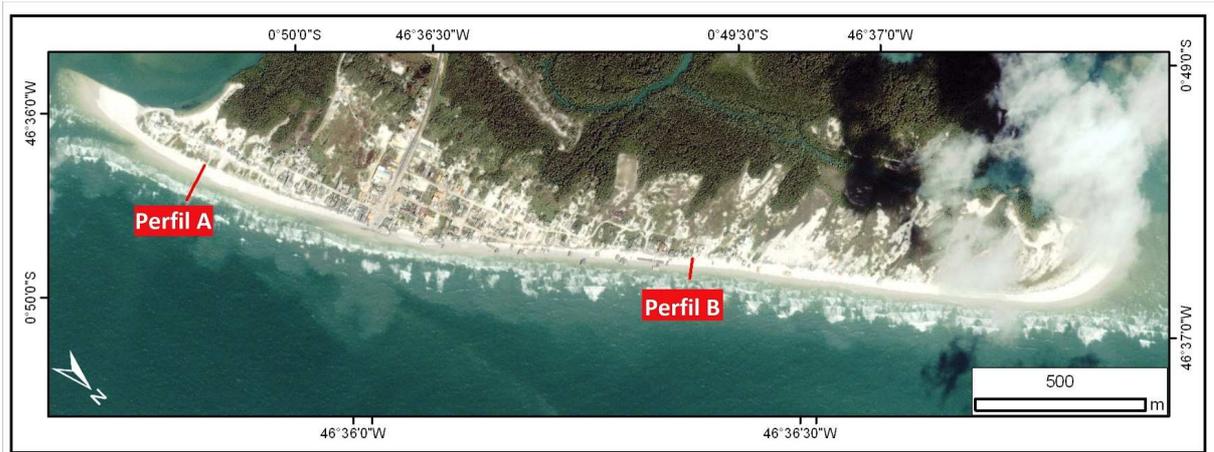
A praia de Ajuruteua apresenta maré semi-diurna, com amplitudes de 5 m a 5,5 m durante as sizíguas (Monteiro et al., 2009) e, em eventos de marés equinociais de sizígia, a amplitude de maré na região pode alcançar 6 m e correntes que podem chegar a 1,0 m/s (Souza Filho et al., 2003). A onda de maré é assimétrica, apresentando período de enchente cerca de 2 horas mais curto que de vazante, especialmente durante as marés de sizígia (Souza Filho et al., 2009; Monteiro et al., 2009). Predominam correntes de maré de direção NW/SE, durante a enchente, e SE/NW, durante a vazante, apresentando as maiores velocidades no pico da enchente e da vazante, superior a 0,6 m/s e a 0,5 m/s, respectivamente (Monteiro et al., 2009).

As maiores alturas de onda são encontradas próximo à preamar, superiores a 2 m, e as menores, próximo à baixa-mar, superiores a 0,2 m (Monteiro et al., 2009). Em geral, há duas ou mais zonas de arrebentação, devido à presença de barras na zona de intermaré (Alves e El-Robrini, 2006).

### 2.3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram realizados em duas fases, a primeira no período chuvoso (dias 08 e 09 de abril de 2009) e segunda no seco (dias 01 e 02 de novembro de 2009). O trabalho ocorreu em condições de maré baixa de sizígia e consistiu em levantamentos topográficos, coleta de sedimentos superficiais e construção de trincheiras com retirada de *peels*.

Foram realizados dois perfis topográficos perpendiculares à linha de costa, nos setores NW e SE da praia de Ajuruteua (Figura 04) que se estenderam desde a região de dunas frontais até a profundidade de aproximadamente 0,5 m. Os perfis foram levantados com a utilização de uma estação total, modelo Topcon, os quais estão referenciados a marcos pré-existent na área de estudo.



**Figura 4: Localização dos perfis topográficos nos setores SE (perfil A) e NW (perfil B) da praia.** Fonte: Imagem Ikonos, 2008.

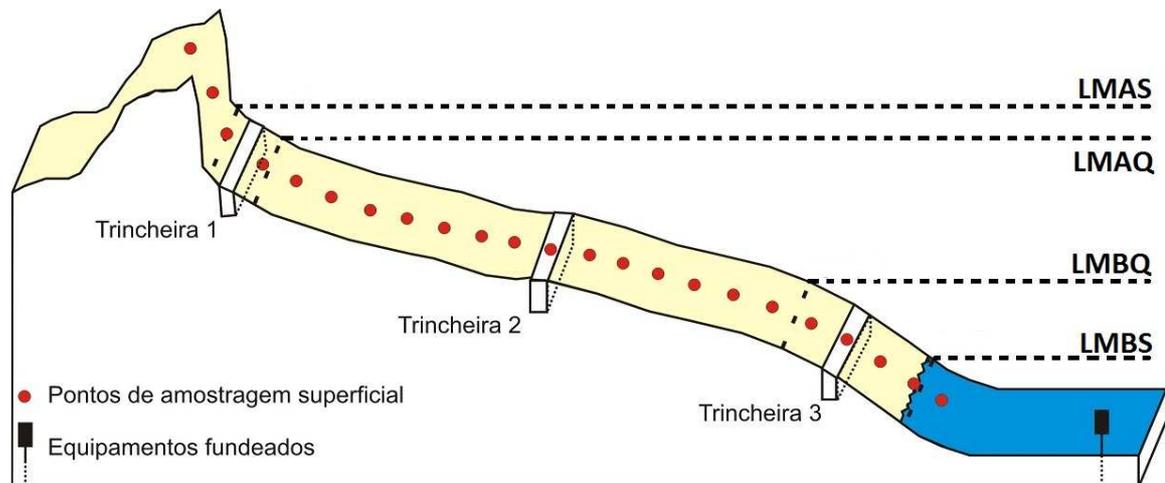
Ao longo dos perfis, amostras de sedimentos superficiais foram coletadas com espaçamento de 10 metros. O sedimento foi coletado com um pedaço de tubo de PVC de 2 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro, com o intuito de se amostrar apenas o sedimento referente à deposição semi-diurna mais recente (Pedreros, Howa e Michel, 1996). Os sedimentos foram devidamente etiquetados e armazenados para análise em laboratório. As amostras foram lavadas para a eliminação do sal e, posteriormente, foram peneiradas para análise granulométrica, conforme metodologia descrita por Suguio (1973). A análise da granulometria permitiu estudar a distribuição espacial dos parâmetros granulométricos (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose) de acordo com a proposta de Folk e Ward (1957). Parâmetros estatísticos granulométricos foram obtidos através da utilização do Programa SysGran. Os gráficos utilizados no trabalho foram confeccionados com a utilização dos programas Excel 2007, Grapher 7.0 e Surfer 8.0.

Ao longo dos perfis topográficos, na zona de intermaré, foram cavadas trincheiras para a coleta de sedimentos de subsuperfície a partir dos quais foram retirados *peels* (Burger, Klein e Sanders, 1969) para a documentação das estruturas sedimentares presentes e a análise de fácies sedimentares. As amostras foram coletadas e acomodadas em recipientes de 33 cm x 23 cm x 4 cm de dimensão, onde, utilizando-se uma mistura da resina epóxi Araldite® GY 260-Q com o endurecedor Aradur 850, foi fixada a camada superior do sedimento no *peel*. Os *peels* foram fotografados e descritos para que se pudessem identificar as estruturas sedimentares presentes em cada porção analisada da praia. As fácies sedimentares identificadas nos *peels* foram codificadas de acordo com a proposta de Miall (1985).

Dados hidrodinâmicos foram coletados referentes às características de ondas, marés e correntes através da utilização de equipamentos ancorados em um ponto fixo na parte central

da praia, posicionado 1,5 m abaixo da linha de maré baixa de sizígia. Os dados foram adquiridos durante 24 horas, em marés de sizígia nos dias 28 e 29 de março e 4 e 5 de setembro de 2009. Para a utilização dos dados de maré foi considerado nível médio da Diretoria de Hidrografia Nacional, a partir do *datum* da carta náutica da DHN, corrigido-os a partir do nível médio do Fundeadouro de Salinópolis, localizado a aproximadamente 80 km da área de estudo. Os dados de correntes foram corrigidos de acordo com a declinação magnética local, de 21°51' W (CPRM, 1998). Para medição de correntes utilizou-se um minicorrentômetro (Sensordata SD 6000) e para a medição de onda e maré foram utilizados *wave and tide data logger* (TWR 2050).

Para um melhor entendimento da disposição dos pontos de coleta das amostras de superfície, subsuperfície e de dados hidrodinâmicos, foi elaborado o diagrama esquemático abaixo (Figura 05).



**Figura 5: Esquema de distribuição dos pontos de amostragem superficial e das trincheiras, e localização dos equipamentos de análise hidrodinâmica.**

## 2.4 - RESULTADOS

### 2.4.1 - Hidrodinâmica

A maré apresentou comportamento assimétrico, com duração média de enchente de 5 horas e, de vazante, de 7 horas, e maior amplitude para o período chuvoso (mês de março), 5,20 m, em relação ao período seco (mês de setembro), 4,76 m (Figura 6).

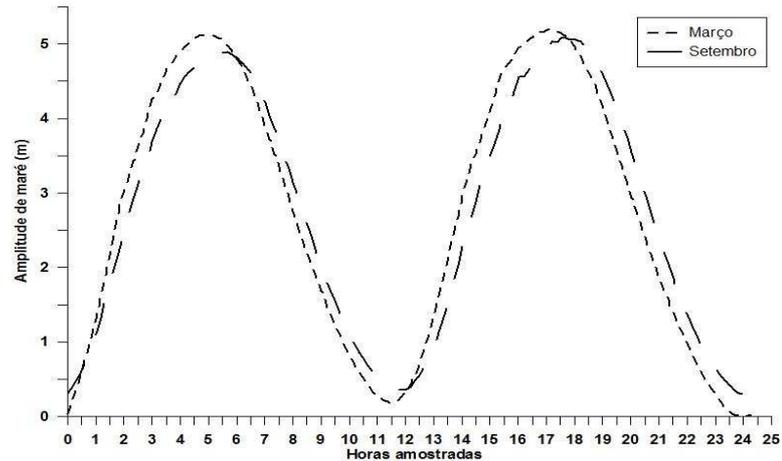


Figura 6: Amplitudes das marés de sizígia medidas em março e setembro de 2009.

O período chuvoso apresentou altura de onda máxima de 1,45 m e mínima de 0,05 m; enquanto o seco apresentou máxima de 1,35 m e mínima de 0,11 m. Observou-se que as maiores alturas de onda ocorreram durante a preamar e as menores na baixa-mar, tanto no período chuvoso quanto no seco (Figura 7a). Em março, verificou-se período de onda máximo de 8,7 s e mínimo de 2,41 s, já em setembro, a máxima registrada foi de 6,3 m e a mínima de 2,1 m. Os maiores períodos de onda foram medidos durante a vazante e os menores, na baixa-mar (Figura 7b).

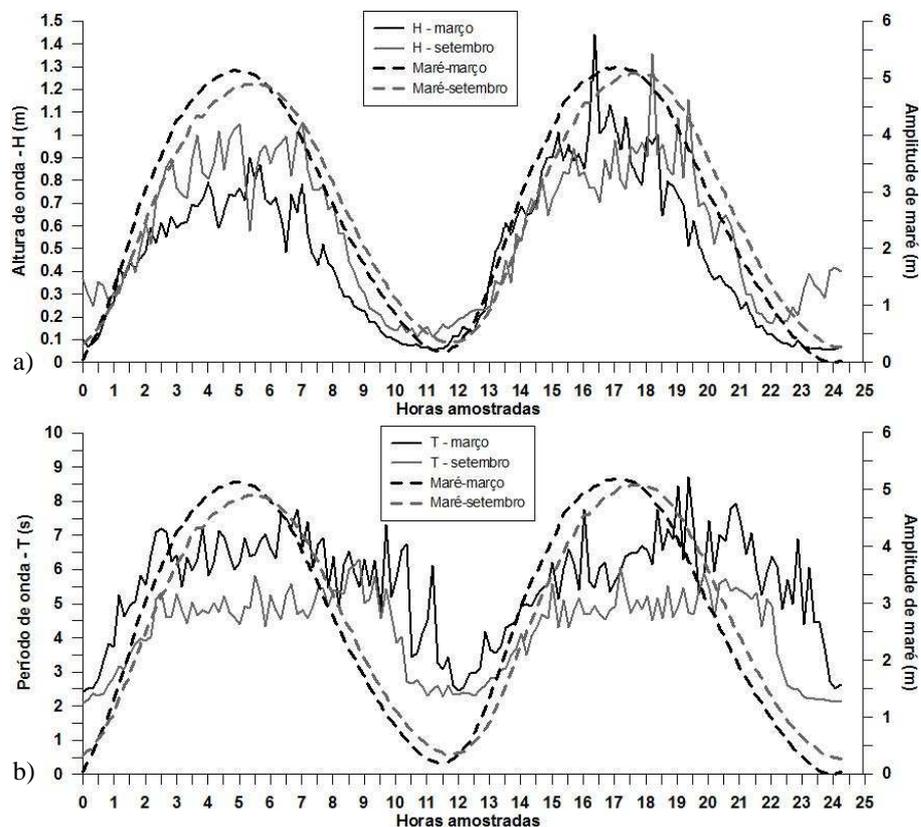
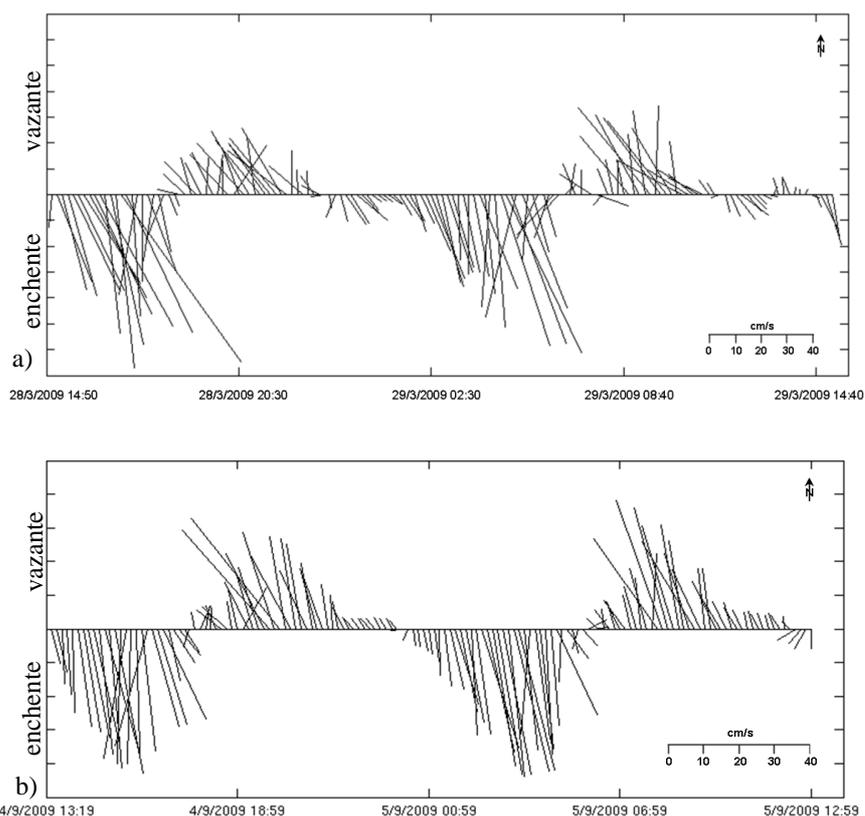


Figura 7: Altura (a) e Período de onda (b) nos meses de março e setembro de 2009.

As correntes apresentaram direções preferenciais NW e SE, paralelas à linha de costa. Assumindo que estas correspondam às correntes de enchente (SE) e de vazante (NW), as velocidades máximas obtidas no período chuvoso foram de 0,68 m/s na enchente e de 0,36 m/s na vazante, e no período seco de 0,43 m/s na enchente e 0,39 m/s na vazante (Figura 8).



**Figura 8: Velocidade e direção de correntes para os meses de março (a) e setembro (b) de 2009.**

A Tabela 1 apresenta uma síntese dos dados hidrodinâmicos utilizados neste trabalho.

**Tabela 1: Valores de hidrodinâmica obtidos durante a realização deste trabalho.**

		Período chuvoso	Período seco
Maré	Duração média da enchente	5 h	5 h
	Duração média da vazante	7 h	7 h
	Amplitude	5,20 m	4,76 m
Onda	Altura máxima	1,45 m	1,35 m
	Altura mínima	0,05 m	0,11 m
	Altura média	0,48 m	0,57 m
	Altura significativa	0,85 m	0,92 m
	Período máximo	8,7 s	6,3 s
	Período mínimo	2,41 s	2,1 s

	Período médio	5,63 s	4,22 s
Corrente	Enchente (velocidade máxima)	0,68 m/s	0,43 m/s
	Vazante (velocidade máxima)	0,36 m/s	0,39 m/s

#### 2.4.2 - Morfologia do perfil praiial

Souza Filho et al. (2003) compartimentaram a praia de Ajuruteua em dois setores (SE e NW), nos quais foram realizados dois perfis topográficos que apresentaram uma superfície côncava zona de intermaré em torno de 200 m. A Figura 9 ilustra a localização dos perfis topográficos plotados sobre uma imagem Ikonos do ano de 2008, assim como a subdivisão da zona de intermaré e a morfologia geral dos perfis.

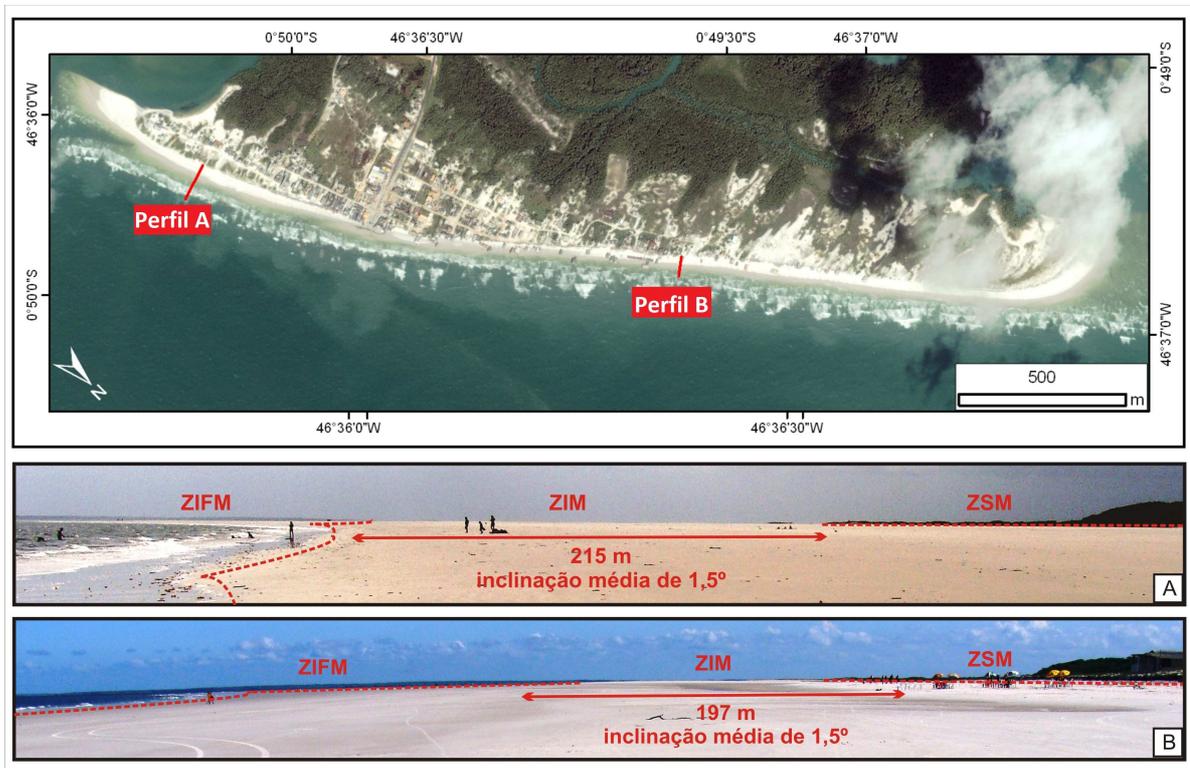
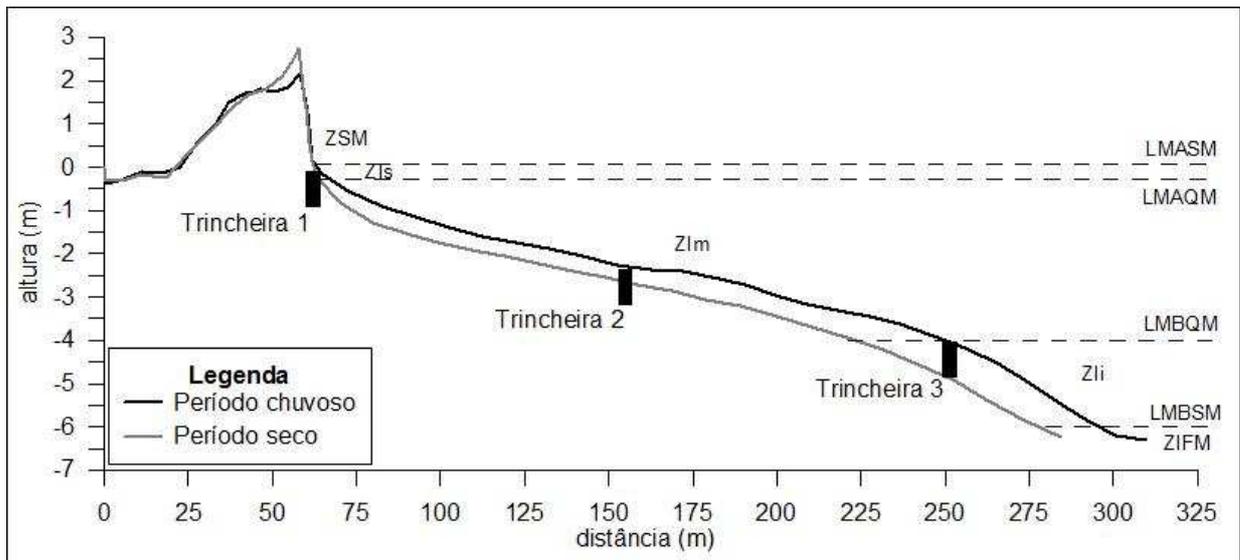


Figura 9: Localização dos perfis topográficos, subdivisão da zona de intermaré e a morfologia geral dos perfis. A) Perfil A (SE) e B) Perfil B (NW). Fonte: Imagem Ikonos, 2008.

O perfil A, no setor SE da praia (Figura 10), apresenta uma zona de supramaré formada por dunas escarpadas, com altura variando de 2 m a 2,5 m, do período chuvoso para o seco. durante este mesmo período, a zona de intermaré teve variação de 232 m para 200 m de extensão, enquanto a inclinação média se manteve estável entorno de 1,49°.

A zona de intermaré foi dividida em superior, média e inferior. A zona de intermaré superior se apresentou como uma faixa de areia de extensão e declividade variáveis, de

topografia convexa. Sua extensão variou de aproximadamente 8,8 m, no período chuvoso, para 0,8 m, no período seco, e sua declividade variou de  $4^\circ$  para  $28^\circ$  no mesmo período. A zona de intermaré média representou a maior porção da zona de intermaré, com topografia côncava e baixa declividade. Do período chuvoso para o seco, sua extensão variou de ~170 m para ~160 m e sua declividade variou de  $1,14^\circ$  para  $1,32^\circ$ . A zona de intermaré inferior apresentou-se com topografia côncava e baixa declividade. Do período chuvoso para o seco, sua extensão variou de 52,5 m para 40 m e a declividade variou de  $2,17^\circ$  para  $2,69^\circ$ . Morfologicamente, não foram observadas variações expressivas entre os períodos chuvoso e seco, porém, é notável a variação do volume de sedimento ao longo do perfil: na zona de supramaré observou-se um acréscimo da ordem de  $20 \text{ m}^3$ , já na zona de intermaré, verificou-se uma perda de aproximadamente  $1.910 \text{ m}^3$  de sedimento.



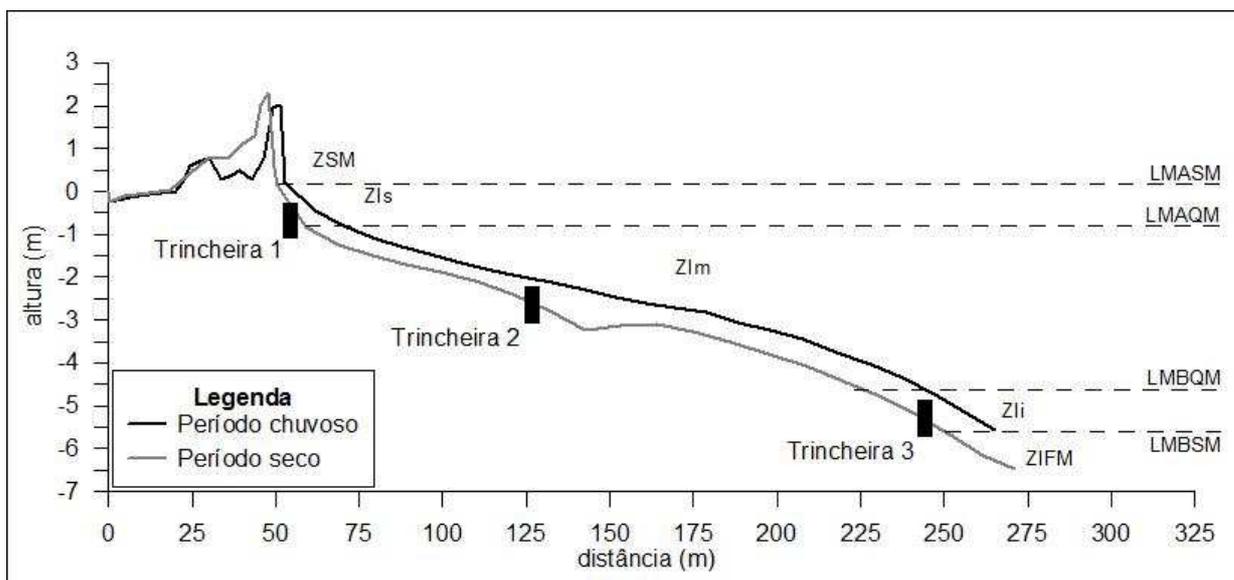
**Figura 10: Variação morfológica do perfil A, setor SE, nos períodos chuvoso e seco de 2009.**

O perfil B, setor NW da praia (Figura 11), apresentou forma côncava, com zona de supramaré formada por dunas escarpadas de aproximadamente 2 m de altura, no período seco observou-se um recuo da escarpa de praia de aproximadamente 4 m. A zona de intermaré teve variação de 194 m para 202 m de extensão, do período chuvoso para o seco, e declividade média variando de  $1,43^\circ$  para  $1,77^\circ$  no mesmo período.

A zona de intermaré superior foi praticamente inexistente no período chuvoso, representando apenas uma pequena faixa de 0,05 m e aumentando de tamanho no período seco (0,62 m). Sua declividade variou de  $\sim 30^\circ$  para  $17,5^\circ$ , do período chuvoso para o seco. A zona de intermaré média variou de extensão e declividade do período chuvoso para o seco, indo de 179 m para 161 m e de  $1,43^\circ$  para  $1,49^\circ$ . A zona de intermaré inferior quase triplicou

sua extensão, do período chuvoso para seco, variando de 15 m para 40 m. Ainda do período chuvoso para o seco, houve aumento na declividade de  $\sim 2^\circ$  para  $\sim 3^\circ$ .

Quanto à morfologia, verificou-se uma mudança expressiva entre os períodos seco e chuvoso. Observou-se, no período seco, a existência de uma calha no centro da zona de intermaré média e também a variação no volume sedimentar ao longo de todo o perfil. A zona de supramaré sofreu um acréscimo de aproximadamente  $67 \text{ m}^3$  de sedimento, já na zona de intermaré houve um decréscimo de aproximadamente  $1.159 \text{ m}^3$ .



**Figura 11: Variação morfológica do perfil B, setor NW, nos períodos chuvoso e seco de 2009.**

### 2.4.3 - Granulometria

O sedimento da praia de Ajuruteua apresentou-se, de um modo geral, como areia fina, bem selecionada, mesocúrtica e de assimetria positiva, com poucas variações entre os períodos chuvoso e seco. Do período chuvoso para o seco, o tamanho médio dos grãos variou de  $2,64 \Phi$  a  $2,61 \Phi$ , a assimetria variou de  $0,2 \Phi$  a  $0,17 \Phi$  e a curtose, de  $1,04 \Phi$  a  $1,09 \Phi$  enquanto a seleção se manteve em torno de  $0,48 \Phi$  (Figura 12).

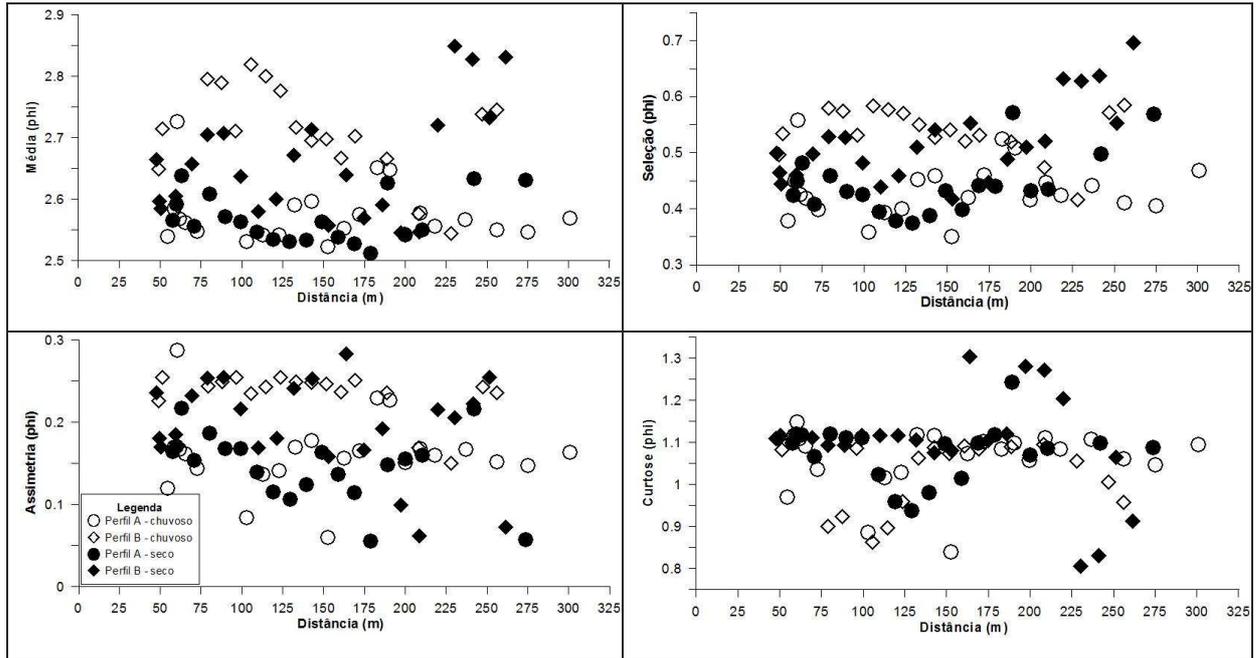


Figura 12: Variação dos parâmetros granulométricos ao longo dos perfis praias.

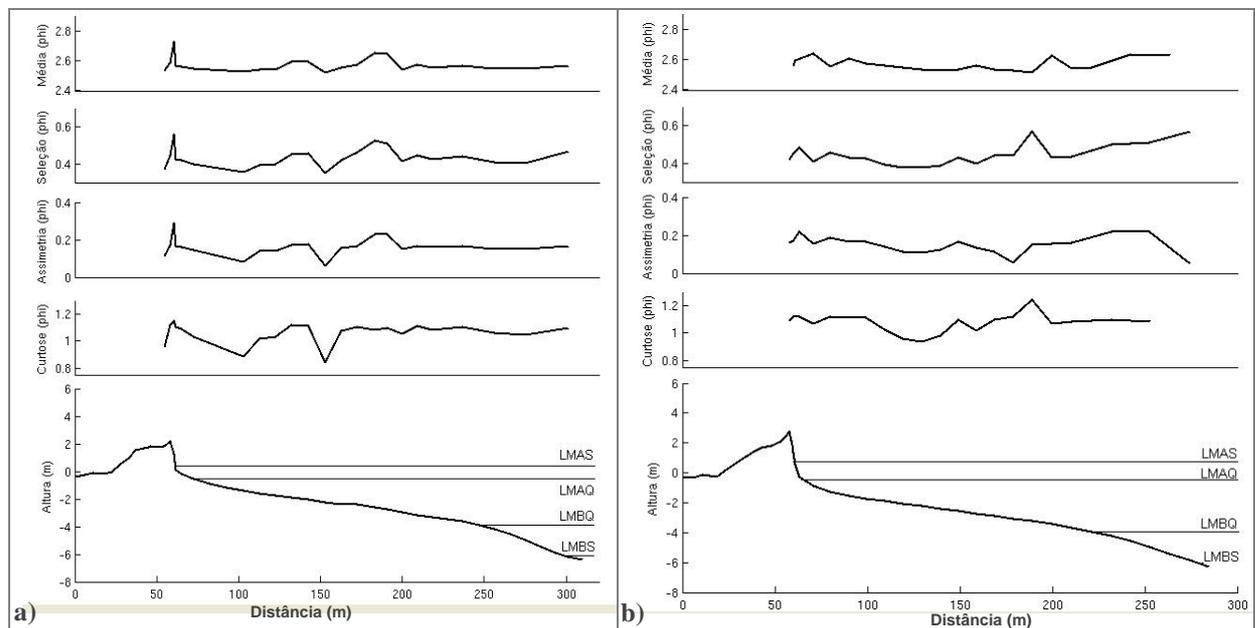
No setor SE da praia de Ajuruteua (perfil A) durante o período chuvoso (Figura 13a), a média granulométrica foi aproximadamente  $2,57 \Phi$ , com os menores tamanhos de grão observados na linha de maré alta ( $2,72 \Phi$ ) e em dois pontos da zona de intermaré média, localizados a 120 m ( $2,65 \Phi$ ) e 130 m ( $2,64 \Phi$ ) da linha de maré alta, e com os maiores tamanhos localizados a 90 m ( $2,52 \Phi$ ) e 40 m ( $2,53 \Phi$ ) da linha de maré alta e na duna ( $2,53 \Phi$ ). Durante o período seco (Figura 13b), a média granulométrica foi de aproximadamente  $2,56 \Phi$ . Os menores tamanhos de grão foram observados na linha de maré alta ( $2,63 \Phi$ ), na zona de inframaré ( $2,63 \Phi$ ) e em dois pontos da zona de intermaré média localizados a 125 ( $2,63 \Phi$ ) e 180 m ( $2,63 \Phi$ ) da linha de maré alta.

A seleção média do setor SE no período chuvoso foi de  $0,43 \Phi$  enquanto no período seco foi de  $0,44 \Phi$ . Durante o período chuvoso, as amostras coletadas na linha de maré alta ( $0,55 \Phi$ ) e a 120 ( $0,52 \Phi$ ) e 130 m ( $0,50 \Phi$ ) da linha de maré alta apresentaram pior seleção, enquanto nas amostras coletadas a 90 ( $0,35 \Phi$ ) e 40 m ( $0,35 \Phi$ ) da linha de maré alta e na duna ( $0,37 \Phi$ ), foram encontradas as melhores seleções de grão. No período seco, as melhores seleções foram encontradas nas amostras localizadas a 60 e 70 m da linha de maré alta,  $0,37 \Phi$  e  $0,38 \Phi$ , respectivamente. Já as piores seleções foram encontradas das duas amostras de zona de inframaré,  $0,57 \Phi$ .

A assimetria do setor SE foi quase toda positiva, havendo apenas dois pontos na zona de intermaré onde o sedimento se comportou de forma aproximadamente simétrica, a 90 ( $0,06 \Phi$ ) e a 40 m ( $0,08 \Phi$ ) da linha de maré alta, no período chuvoso, e a 120 m da linha de maré

alta ( $0,06 \Phi$ ) e na zona de inframaré ( $0,06 \Phi$ ) durante o período seco. Na linha de maré alta ( $0,28 \Phi$ ) e na intermaré a 120 m ( $0,22 \Phi$ ) e 130 m ( $0,22 \Phi$ ) da linha de maré alta foram encontradas as assimetrias mais positivas do setor, durante o período chuvoso, enquanto no período seco, as assimetrias mais positivas se encontraram a 180 m da linha de maré ( $0,22 \Phi$ ) e na própria linha de maré alta ( $0,22 \Phi$ ).

A curtose foi o parâmetro granulométrico que mais variou no setor SE da praia, durante o período chuvoso, apresentando amostras platicúrticas, mesocúrticas e leptocúrticas. As amostras platicúrticas estavam localizadas a 90 ( $0,84 \Phi$ ) e 40 m ( $0,84 \Phi$ ) da linha de maré alta, as amostras leptocúrticas se encontraram na linha de maré alta ( $1,15 \Phi$ ), na escarpa ( $1,12 \Phi$ ) e a 70 ( $1,12 \Phi$ ) e 80 m ( $1,12 \Phi$ ) da linha de maré alta. O restante das amostras teve curtose média de  $1,08 \Phi$ , sendo classificadas como mesocúrticas. Durante o período seco o setor SE da praia apresentou apenas amostras meso e leptocúrticas. Os menores valores de curtose foram identificados em amostras a 70 ( $0,94 \Phi$ ), 60 ( $0,96 \Phi$ ) e 80 m ( $0,98 \Phi$ ) da linha de maré alta, já as amostras leptocúrticas foram observadas na linha de maré alta, na escarpa, a 20 e 120 m da linha de maré alta, todas com  $1,12 \Phi$  e a 130 m da linha de maré alta ( $1,24 \Phi$ ).



**Figura 13: Variação dos parâmetros estatísticos granulométricos média, seleção, assimetria e curtose ao longo do perfil A, períodos chuvoso (a) e seco (b).**

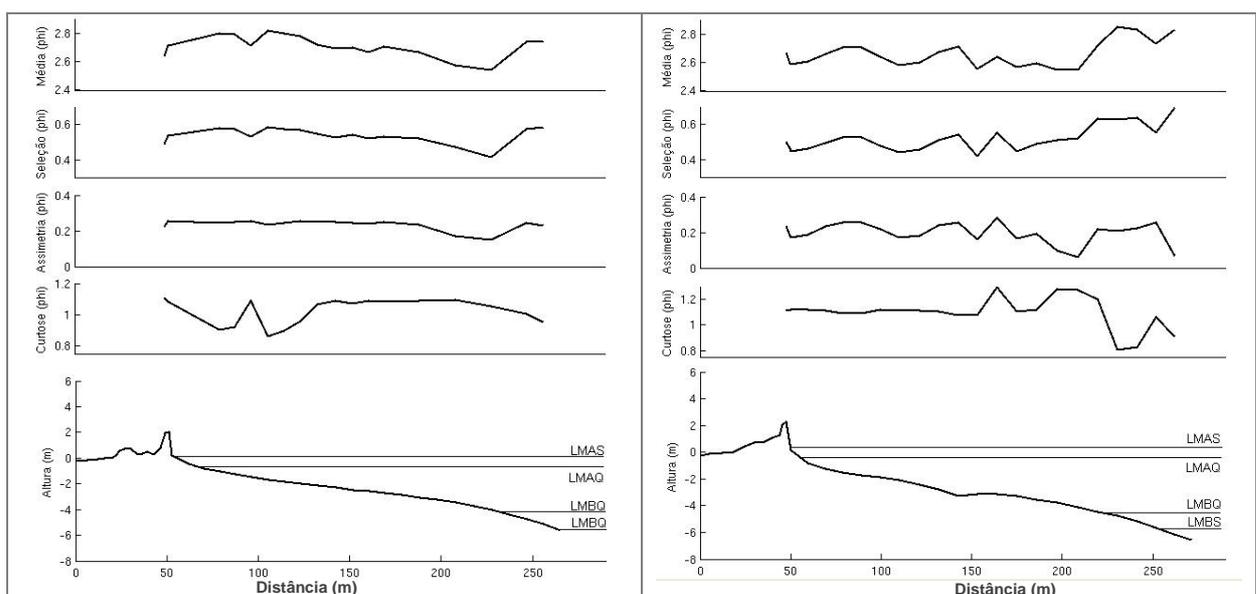
No setor NW da praia (perfil B), a média granulométrica foi aproximadamente  $2,71 \Phi$  no período chuvoso (Figura 14a), com os menores tamanhos de grão tendo sido observados a 50 m ( $2,82 \Phi$ ), 60 m ( $2,80 \Phi$ ) e 25 m ( $2,80 \Phi$ ) da linha de maré alta e a maior média granulométrica encontrada a 170 m da linha de maré alta ( $2,54 \Phi$ ). No período seco (Figura

14b), a média granulométrica foi de 2,66  $\Phi$ , com os menores tamanhos de grão observados a 180 m (2,85  $\Phi$ ) e 190 m (2,83  $\Phi$ ) da linha de maré alta e na inframaré, e as maiores médias encontradas a 150 m e 190 m da linha de maré alta (2,55  $\Phi$ )

A seleção do setor NW foi de aproximadamente 0,54  $\Phi$ , no período chuvoso, e de 0,52  $\Phi$  no período seco. Durante o período chuvoso, as amostras coletadas a 25, 50, 60 e 200 m da linha de maré alta (0,58  $\Phi$ ) apresentaram seleção moderada; enquanto a amostra localizada a 170 m (0,42  $\Phi$ ) da linha de maré alta apresentou a melhor seleção do período. No período seco, a melhor seleção (0,42  $\Phi$ ) foi observada a 100 m da linha de maré alta e a pior seleção (0,70  $\Phi$ ) a 210 m da linha de maré alta.

A assimetria do setor NW durante o período chuvoso foi totalmente positiva, com valor médio de 0,24  $\Phi$ , apenas a amostra próxima à linha de maré baixa de quadratura apresentou menor assimetria (0,15  $\Phi$ ). Durante o período seco a assimetria variou de aproximadamente simétrica a positiva. As amostras aproximadamente simétricas se encontraram na inframaré (0,72  $\Phi$ ) e a 160 m (0,06  $\Phi$ ) e 150 m (0,99  $\Phi$ ) da linha de maré alta, o restante das amostras apresentou assimetria positiva.

A curtose do período chuvoso variou entre mesocúrtica e platicúrtica, apresentando amostras platicúrticas a 50 (0,86  $\Phi$ ) e 60 m (0,89  $\Phi$ ) da linha de maré alta, e amostra mesocúrtica na duna (1,10  $\Phi$ ). Durante o período seco a curtose variou de platicúrtica a leptocúrtica, com as amostras platicúrticas localizadas a 180 (0,81  $\Phi$ ) e 190 m (0,83  $\Phi$ ) da linha de maré alta e a amostra mais leptocúrtica foi observada a 110 m da linha de maré alta.



**Figura 14: Variação dos parâmetros estatísticos granulométricos média, seleção, assimetria e curtose ao longo do perfil B, períodos chuvoso (a) e seco (b).**

A Figura 15 expressa a relação entre o tamanho médio dos grãos das subzonas da intermaré e a seleção dos mesmos, onde verificou-se a ausência de um padrão específico para cada subzona, havendo apenas um padrão geral de diminuição da seleção com a diminuição do tamanho do grão. Observou-se também que os maiores e menores valores de média, bem como de seleção, ocorreram durante o período chuvoso, enquanto o período seco apresenta uma menor variação em tais parâmetros.

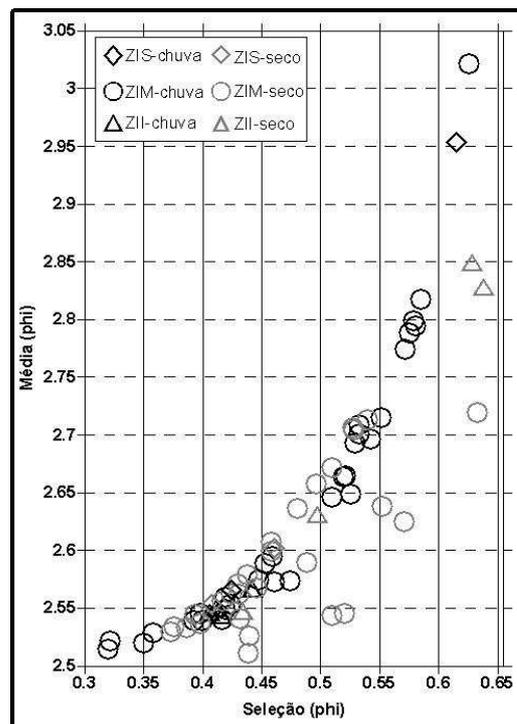


Figura 15: Relação entre tamanho médio do grão e seleção.

#### 2.4.4 - Estruturas sedimentares na zona de intermaré

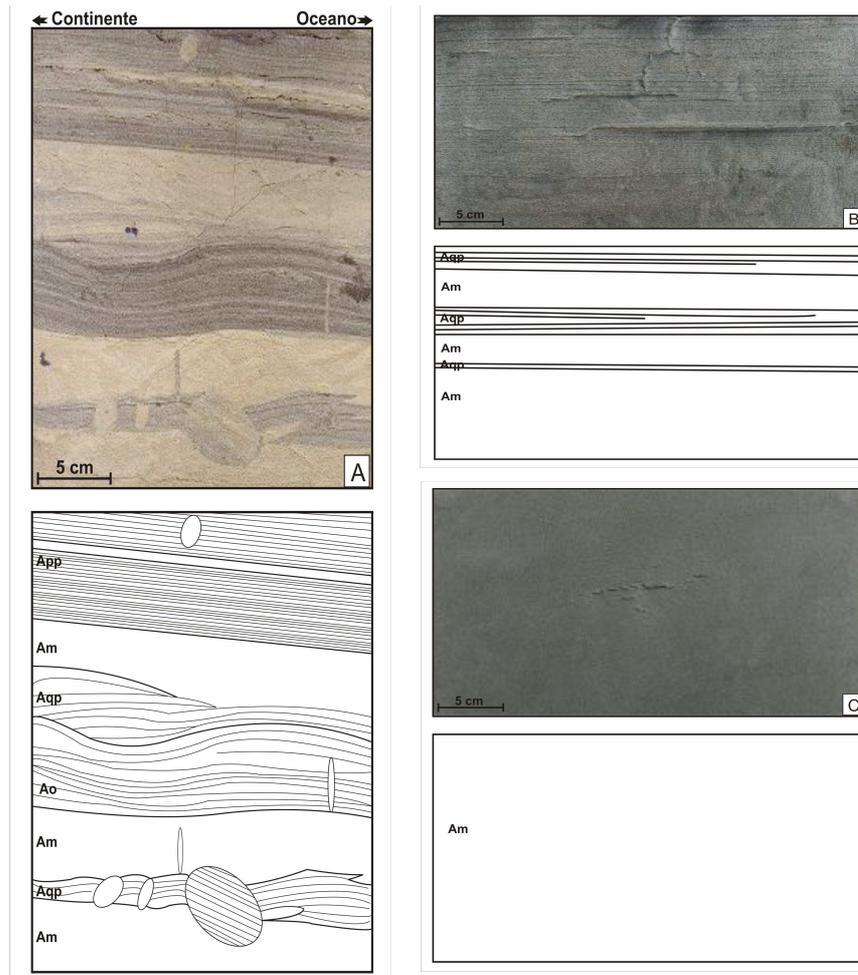
Para cada subzona da intermaré, superior, média e inferior, foram selecionados 2 (dois) *peels*, um do período chuvoso e outro do seco, onde foram individualizadas 8 (oito) fácies sedimentares descritas no quadro abaixo (Figura 16).

<b>Código de Fácies</b>	<b>Fácies</b>	<b>Litologia</b>	<b>Estruturas sedimentares</b>	<b>Processo de formação</b>
Ab	Areia fina com bolhas	Areia fina	Bolhas	Deposição de sedimento por ação eólica
Aba	Areia fina com laminação cruzada de baixo ângulo	Areia fina	Laminação cruzada de baixo ângulo	Deposição por ação de ondas de alta energia
Ac	Areia fina com laminação cruzada cavalgante	Areia fina	Laminação cruzada cavalgante	Deposição por migração de formas de leito por fluxo unidirecional de baixa energia
Af	Areia fina com estruturas fluidizadas	Areia fina	Estruturas fluidizadas	Deformação das estruturas deposicionais originais por processo de fluidização do sedimento
Am	Areia fina maciça	Areia fina	Maciça	Deposição por ação de fluxo de alta energia
Ao	Areia fina com laminação ondulada	Areia fina	Laminação ondulada simétrica	Deposição por migração de formas de leito por fluxo oscilatório de baixa energia
App	Areia fina com laminação plano-paralela	Areia fina	Laminação plano-paralela	Deposição por fluxo oscilatório em ambiente raso
Aqp	Areia fina com laminação quase-planar	Areia fina	Laminação quase-planar	Deposição por fluxo oscilatório em ambiente raso

**Figura 16: Quadro de fácies sedimentares encontradas ao longo da zona intermaré.**

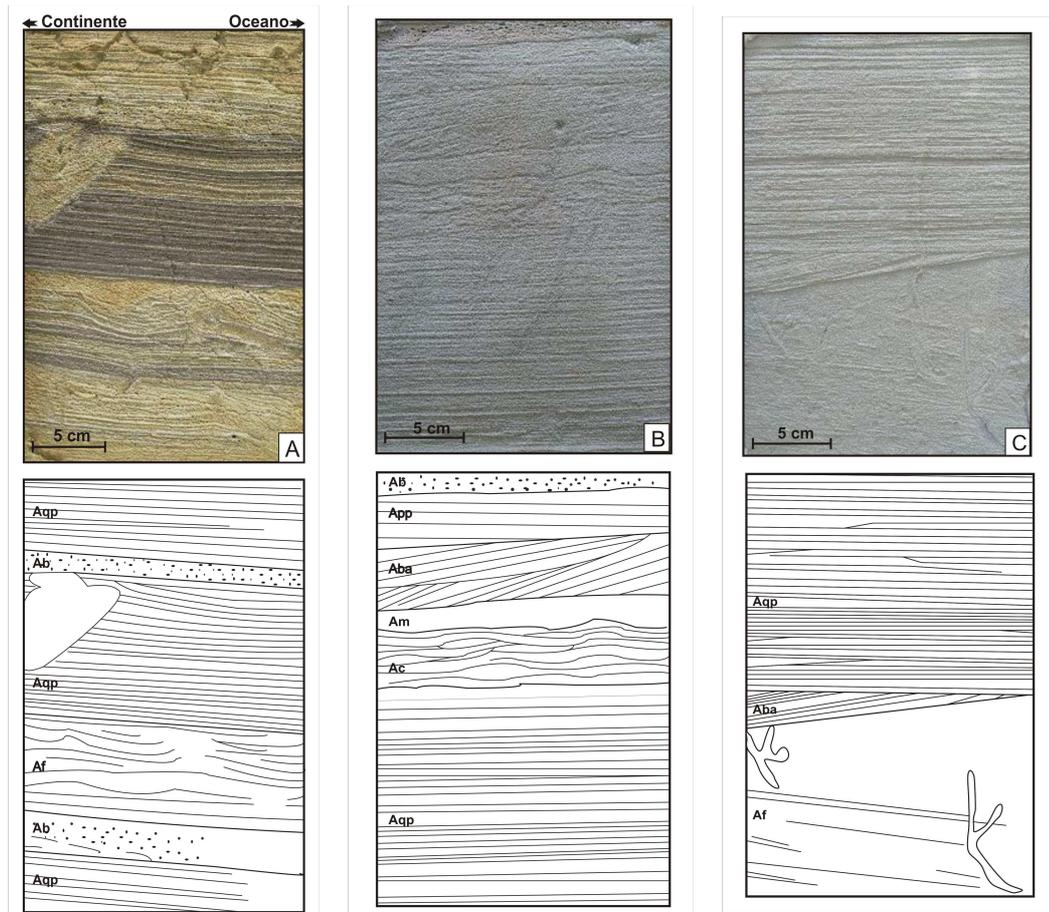
Observou-se que as fácies Aba, Am, App e Aqp ocorreram tanto na estação chuvosa quanto na seca. A fácies Ao ocorreu somente na estação chuvosa e as Ac, Af e Ab, somente na estação seca.

Na Figura 17, pode-se verificar os *peels* confeccionados a partir das subzonas da intermaré no período chuvoso e as estruturas contidas em cada um deles. Na zona de intermaré superior observaram-se as seguintes fácies: App, Am, Aqp e Ao; na zona de intermaré média: Aqp e Am; e, na zona de intermaré inferior observou-se apenas Am.



**Figura 17: Peels e estruturas sedimentares encontrados nas subzonas da intermaré no período chuvoso: A - intermaré superior, B - intermaré média e C - intermaré inferior.**

Na Figura 18 encontram-se os *peels* confeccionados a partir das subzonas da intermaré no período seco assim como as estruturas contidas em cada qual. Na zona de intermaré observaram-se as seguintes fácies: zona de intermaré superior - Aqp, Ab, Aqp e Af; zona de intermaré média - Ab, App, Aba, Am, Ac e Aqp; e, zona de intermaré inferior - Aqp, Aba, Af.



**Figura 18: Peels e estruturas sedimentares encontrados nas subzonas da intermaré no período seco: A – intermaré superior, B – intermaré média e C – intermaré inferior.**

- Fácies areia fina com bolhas (Ab): Fácies formada por areia fina com presença de pequenas cavidades. Essas cavidades, segundo Reineck e Singh (1980), são originadas pela rápida sedimentação da zona de *swash* que faz com que bolhas de ar fiquem presas no sedimento e quando ocorre a subida da maré elas escapem do sedimento.
- Fácies areia fina com laminação cruzada de baixo ângulo (Aba): Fácies composta de areia fina com laminações milimétricas cruzadas de baixo ângulo com esporádica presença de bioturbação. Segundo De Raaf et al. (1977), essa estrutura é típica de zonas de *swash*, formada por ação de alta energia de ondas.
- Fácies areia fina com laminação cruzada cavalgante (Ac): Fácies composta de areia fina com laminações cruzadas cavalgantes milimétricas. Segundo (Mendes, 1985) esse tipo de laminação desenvolve-se a partir da migração e sobreposição de pequenas marcas onduladas produzidas por corrente ou ondas.
- Fácies areia fina com estruturas fluidizadas (Af): Fácies composta areia fina com estruturas originais deformadas pela presença de água no set. Segundo Frey et al. (2009), uma deposição

rápida seguida de afogamento do sedimento podem gerar esse tipo de estruturas deformacionais.

- Fácies areia fina maciça (Am): Fácies formada por areia fina com estrutura maciça. Segundo Reineck e Singh (1980) essa estrutura pode ser formada, entre outras razões, de deposição sob ação de alto fluxo de energia.
- Fácies areia fina com laminação ondulada simétrica (Ao): Fácies formada de areia fina com milimétrica laminação ondulada simétrica e que, segundo De Raaf (1977), é originada por fluxo oscilatório de ondas.
- Fácies areia fina com laminação plano-paralela (App): Fácies formada de areia fina com milimétrica laminação plano-paralela. Segundo Reineck e Singh (1980), essa estrutura pode ser formada por deposição em ambiente raso com ação de fluxo oscilatório.
- Fácies areia fina com laminação quase-planar (Aqp): Fácies formada de areia fina com milimétrica laminação quase-planar com esporádica presença de bioturbações. Segundo Reineck e Singh (1980), essa estrutura também pode ser formada por deposição em ambiente raso com ação de fluxo oscilatório.

## 2.5 - DISCUSSÃO

Os dados de hidrodinâmica tiveram o comportamento esperado para os períodos de amostragem. Durante a estação chuvosa houve maior intensidade das correntes medidas, fato devido, provavelmente, às altas taxas pluviométricas que aumentam a descarga dos rios da região.

Apesar de a altura máxima de onda do período chuvoso (1,45 m) ter sido maior que a do seco (1,35 m), a altura média foi mais baixa, 0,48 m no chuvoso e 0,57 m no seco, e a frequência menor, fato verificado através do período de onda que foi apresentou maiores valores nesta época. Este fato pode ser explicado por Silva (2001) quando afirma que, com a chegada do período seco, os ventos aumentam de intensidade e frequência.

Os dados de marés, correntes e ondas obtidos durante essa pesquisa corroboram com Souza Filho et al. (2009) e Monteiro et al. (2009) quando afirmam que onda de maré é assimétrica, que as correntes de maré possuem direção predominante de NW e SE e que as maiores alturas de onda são encontradas próxima à preamar e as menores, à baixa-mar.

Com a integralização dos dados hidrodinâmicos e sedimentológicos, pôde-se verificar que a praia de Ajuruteua responde de maneira muito sutil às flutuações climáticas e

hidrodinâmicas sazonais, apresentando pequenas variações de granulometria e morfologia entre os períodos chuvoso e seco.

No setor SE da praia, onde foi levantado o perfil A, observou-se que, morfologicamente, não houve muitas mudanças entre os períodos chuvoso e seco, mantendo-se com uma forma similar e praticamente mesma inclinação, com variação de  $0,01^\circ$ . Porém, verificou-se uma diferença considerável no total de sedimento da zona de intermaré que teve uma perda aproximada de  $2.000 \text{ m}^3$  de sedimento, do período chuvoso para o seco, perda essa, maior do que a que ocorreu no perfil B, setor NW da praia, considerado erosivo por Souza Filho (2001). No mesmo período, ocorreu um leve aumento no volume sedimentar da zona de supramaré, devido ao incremento da ação eólica que ocorre na estação seca, quando os ventos tornam-se um importante agente modificador da morfologia praial. As fácies sedimentares do tipo Ab, encontradas somente no período seco também confirmam o incremento da ação eólica como agente modificadora do ambiente praial durante o período seco.

No setor NW da praia, perfil B, ocorreram mudanças morfológicas mais perceptíveis. Além da alteração no volume sedimentar do perfil, que sofreu aumento na zona de supramaré e diminuição na intermaré, foi verificada a existência de um sistema barra/calha no período seco. Tais alterações podem ser consequência do aumento da ação eólica, que além de se encarregar de transportar sedimento para a zona de supramaré, também são os principais responsáveis pela geração das ondas que atuam no retrabalhamento e remobilização dos sedimentos das zonas de inter e inframaré.

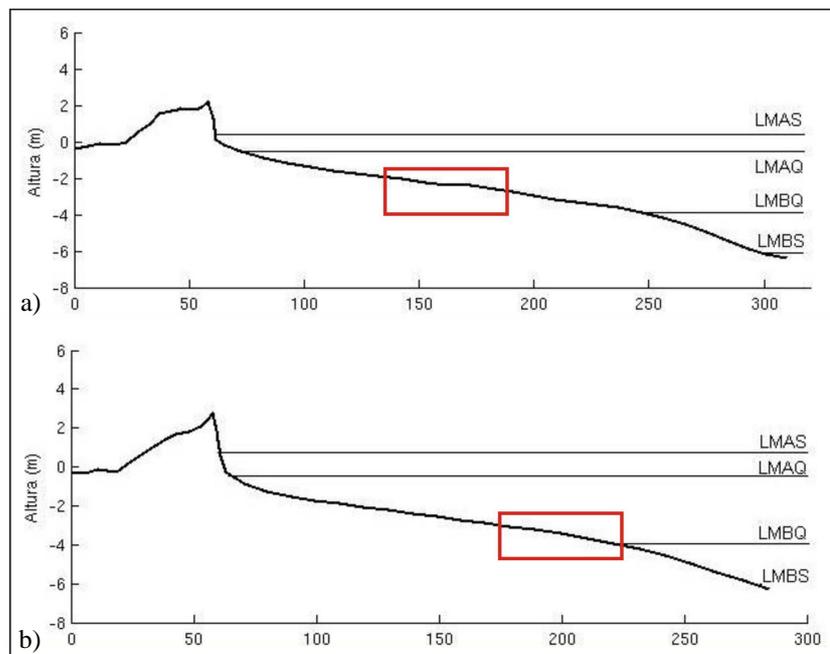
A existência do sistema barra/calha no período seco já havia sido versada por outros autores como Souza Filho e El-Robrini (1995) e Monteiro et al. (2009). Segundo estes autores, a existência desse sistema deve-se ao domínio de processos de espraiamento e surf na zona de intermaré, graças à grande amplitude de maré da região.

No que concerne às fácies sedimentares observadas através dos *peels*, verificou-se presença de estruturas geradas por ondas durante todos os períodos de amostragem e ausência de estruturas geradas por maré. Porém, a própria presença das ondas e sua turbulência na zona de intermaré durante a preamar impedem a conservação de estruturas típicas de maré durante o estofa de maré. Assim, não se deve desprezar a importância da maré enquanto agente modelador, pois, com uma amplitude de  $\sim 5 \text{ m}$ , permite que a enchente e vazante, as zonas de surf e espraiamento se desloquem ao longo do perfil praial.

As estratificações de baixo ângulo, geradas a partir da migração de marcas onduladas, caracterizam a fácies de praia e são encontradas nas praias do NE paraense, segundo Souza Filho e El-Robrini (1995). Estes mesmos autores verificaram que na zona de espraiamento,

com a subida e descida da maré, ocorre o aparecimento de camadas planas. Assim, com a presença das fácies *Aba*, *App* e *Aqp* durante todo o período de amostragem, entende-se que as ondas são um importante agente modelador da praia de Ajuruteua.

Quanto ao sedimento de superfície, observou-se que ao longo do ano, este se manteve homogêneo, apresentando pequena ou nenhuma diferença nos parâmetros estatísticos granulométricos. A pequena diferença no diâmetro médio dos grãos entre os períodos seco e chuvoso confirma os dados hidrodinâmicos que demonstram que em Ajuruteua não há variação sazonal de agente modelador. Porém, quando analisadas as variações dos parâmetros estatísticos granulométricos ao longo dos perfis entre os períodos chuvoso e seco, foi possível localizar o limite máximo da zona de arrebenção dos perfis, durante a preamar, como pode ser observado na Figura 19.



**Figura 19: Localização da zona de arrebenção do perfil A durante a preamar nos períodos chuvoso (a) e seco (b) de 2009.**

Costas sob influência de macromarés tendem a ser bastante complexas e difíceis de classificar, principalmente porque, em muitos casos, o agente modelador dominante varia sazonalmente. Porém, como demonstram os dados hidrodinâmicos e sedimentares, na praia de Ajuruteua, apesar da grande importância assumida pela amplitude da maré, a influência das ondas como modeladora morfológica é claramente observável durante o ano, fato este que pode ser comprovado através da presença de fácies com estruturas sedimentares formadas por ondas e pela pequena diferença de altura e período de ondas entre as estações chuvosa e seca.

Dessa forma, apesar de apresentar um sistema de barra/calha em sua porção NW durante o período seco, a praia de Ajuruteua pode ser classificada como uma praia de macromaré do tipo 1 de Short (1991), cuja inclinação está entre 1 e 3°, possui influência de ondas altas ( $h > 0,5$  m) e perfil côncavo (Figura 20).



Figura 20: Classificação da praia de macromaré de Ajuruteua. Fonte: Modificada de Boyd et al. (1992).

## 2.6 – CONCLUSÕES

Com a observação dos sedimentos de superfície verificou-se que ao longo do ano ocorre o seguinte padrão sedimentar na praia de Ajuruteua: areia fina, leptocúrtica, com boa seleção e assimetria positiva. A partir de então, concluiu-se que a praia de Ajuruteua não apresenta padrões sazonais de sedimentação e sim, um único padrão sedimentar ao longo do ano.

Bem como a sedimentação, a hidrodinâmica local não expressa grandes variações ao longo do ano. Amplitudes de maré, altura e períodos de ondas sofrem mínimas alterações sazonais, porém as correntes de maré apresentam diferenças expressivas de intensidade entre os períodos chuvoso e seco, devido às variações de pluviosidade da região.

Através da análise dos *peels* obtidos na zona de intermaré da praia de Ajuruteua, observou-se a presença de fácies sedimentares compostas apenas por areia fina e estruturas geradas por ondas e ausência de estruturas geradas por maré devido à turbulência gerada pelas ondas, que não permite que as estruturas de maré sejam conservadas.

As fácies sedimentares Areia fina com laminação cruzada de baixo ângulo (Aba), Areia fina maciça (Am), Areia fina com laminação plano-paralela (App) e Areia fina com laminação quase-planar (Aqp) estão presentes ao longo do ano na zona de intermaré de Ajuruteua.

Com a análise integrada dos dados hidrodinâmicos e sedimentológicos, verificou-se que a praia de Ajuruteua é um ambiente cujas morfologia e dinâmica são diretamente influenciadas por onda e por maré, configurando um ambiente de domínio misto podendo ser classificado como uma praia de macromaré do tipo 1 de Short (1991), cujas características são inclinação entre 1 e 3° e perfil côncavo.

### **3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No presente trabalho foram avaliadas sedimentação e hidrodinâmica da praia de macromaré de Ajuruteua onde observou-se a inexistência de um padrão sazonal. Ao longo do ano a praia demonstrou possuir domínio misto de ondas e marés, cujas características morfossedimentares e hidrodinâmicas sofrem pouca ou nenhuma variação sazonal.

Porém, é possível que haja um padrão de variação de domínio hidrodinâmico entre preamar e baixa-mar, contudo, para validar tal hipótese faz-se necessário um estudo na zona de inframaré, zona esta que não foi contemplada neste estudo.

A adaptação feita ao diagrama da classificação ternária de Boyd et al. (1992) torna-o mais abrangente, podendo ser empregado em estudos na zona costeira de qualquer parte do globo, o que confere relevância científica ao trabalho.

A caracterização morfossedimentar e hidrodinâmica da praia de Ajuruteua, bem como sua inserção em uma classificação de ambientes costeiros faz-se necessária e importante, devido ser esta uma das praias mais frequentadas do litoral nordeste do Pará. Assim, este estudo poderá servir como base para futuros projetos costeiros no local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M.M.S.; EL-ROBRINI, M. 2006. Morphodynamics of a macrotidal beach: Ajuruteua. Bragança North Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI39: 949-951.
- BARBOSA, V.M.; GREGÓRIO, A.M.S.; BUSMAN, D.V.; COSTA, R.A.A.M.; SOUSA FILHO, P.W.M.; PEREIRA, L.C.C. 2007. Estudo morfodinâmico durante uma maré equinocial de sizígia em uma praia de Macromaré do litoral amazônico (Praia de Ajuruteua-PA, Brasil). *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 60-61: 31-43. Editora UFPR.
- BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS BOAS, G.S.; FARIAS, F.F. Variações direcionais nos parâmetros granulométricos: um indicador apropriado para o sentido da deriva litorânea? *Revista Brasileira de Geociências*, v.22, n.1, p. 100-106. 1992.
- BOYD, R.; DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A. 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sed. Geol.*, 80, 139–150.
- BRAGA, F.P.S. 2007. Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém. 116 p.
- BRAGA, F.P.S.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ALVES, M.A.M.S.; PEREIRA, L.C.C. 2007. Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Amazônia, Norte do Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, n. 60-61, p. 11-30.
- BURGER, J.A.; KLEIN, G. V.; SANDERS, J.E. 1969. A field technique for making epoxy relief-peels in sandy sediments saturated with saltwater. *Journal of Sedimentary Research*, v. 39 (1), 338-341.
- CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1998. *Mapa de Potencial Turístico*. Governo do Estado do Pará.
- CURRAY, J.R. 1964. *Transgressions and regressions*. In: R.L. MILLER (editor), *Papers in Marine Geology, Shepard Commemorative Volume*. Macmillan, New York, N.Y., pp.175-203.
- DASHTGARD, S.E.; GINGRAS, M.K.; MacEACHERN, J.A. 2009. Tidally modulated shorefaces. *Journal of Sedimentary Research*, v.79: 793-807.
- DAVIS Jr., R. A. *Coastal Sedimentary Environments*. 2<sup>nd</sup> ed. Springer-Verlag, New York, 1985. 716 p.
- DeRAAF, J.F.M.; BOERSMA, J.R.; VanGELDER, A. 1977. Wave-generated structures and sequences from a shallow marine succession, Low Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology*, 24: 451-483.
- DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. 2009. *Tábuas de Marés*. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acesso em: 15 de março de 2009.

- FOLK, R.L.; WARD, W.C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- FREY, S.E.; GINGRAS, M.K.; DASHTGARD, S.E. 2009. Experimental studies of gas-escape and water escape structures: mechanisms and morphologies. *Journal of Sedimentary Research*, 79: 808-816.
- GALLOWAY, W.E. 1975. Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In: M.L. Broussard (editor), *Deltas – Models for exploration*. Houston Geol. Soc. Houston, Texas. p. 87-98.
- GUIMARÃES, D. O. 2005. *Aspectos sócio-ambientais da praia de Ajuruteua – PA (Brasil): Subsidio para o gerenciamento costeiro integrado*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Pará, Bragança, 79p.
- GUIMARÃES, P.L.; FONTINHAS, R.L.; OLIVEIRA, L.L.; BARRETO, N.J.C. 2001. Mapa de classificação climática do Pará. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, Maringá-PR. SECTAM.
- HOEFEL, F.G. *Morfodinâmica de praias arenosas: uma revisão bibliográfica*. Santa Catarina: Universidade do Vale do Itajaí, 1998.
- INMAN, D.L.; NORDSTROM, C.E. 1971. On the tectonic and morphologic classification of coasts. *The Journal of Geology*: 79, 1-21.
- INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2010. <http://www.inmet.gov.br>, acesso em: 24 de janeiro de 2010.
- JOHNSON, D.W. 1919. *Shore process and shoreline development*. Wiley, New York, 584 pp.
- KJERFVE, B.; PERILLO, G.M.E.; GARDNER, L.R.; RINE J.M.; DIAS, G.T.M.; MOCHEL, F.R. 2002. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In: HEALY, TR; WANG, Y.; HEALY, J-A. (Eds), *Muddy coasts of the world: processes, deposits and functions*, Amsterdam: Elsevier Science, p. 479-532.
- KLEIN, A.H.F.; SILVA, G.M.; FERREIRA, O.; DIAS, J.M.A. Beach sediment distribution for a headland bay coast. *Journal of Coastal Research*, v. 42, 2005, p. 285-293.
- KOMAR, P.D. *Beach Processes and Sedimentation*. New Jersey: Prentice-Hall, 1976, 429p.
- MASSELINK, G. AUGER, N.; RUSSELL, P.; O'HARE T. 2007. Short-term morphological change and sediment dynamics in the intertidal zone of a macrotidal beach. *Sedimentology*: 54, 39-53.
- MASSELINK, G.; SHORT, A.D. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9 (3), 785-800, Fort Lauderdale, Florida.
- MENDES, J.C. 1985. *Elementos de Estratigrafia*. Ed. USP. São Paulo. 566p.

- MIALL, A.D., 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, v. 22: 261–308.
- MONTEIRO, M.C.; PEREIRA, L.C.C.; OLIVEIRA, M.O. 2009. Morphodynamic changes of a macrotidal sand beach in the Brazilian Amazon Coast (Ajuruteua – Pará). *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56: 103-107.
- MORAES, B.C.; COSTA, J.M.N.; COSTA, C.L.; COSTA.M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, vol.35(2): 207 - 214.
- MUEHE, D. O Litoral brasileiro e sua Compartimentação. In: CUNHA, S.B; GUERRA, A.J.T., (ed). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro. Ed. Bertrand Brasil S. A., 1998, p.273-349.
- PEDREROS, R.; HOWA, H.L.; MICHEL, D. 1996. Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. *Marine Geology*, v.135: 35-49.
- PEREIRA, L.C.C.; GUIMARÃES, D.O.; RIBEIRO, M.J.S.; COSTA, R.M.; SOUZA FILHO, P.W.M. 2007. Use and occupation in Bragança littoral, Brazilian Amazon. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 50: 1116-1120.
- REINECK, H.E.; SINGH, I.B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. 2º, Revised and Update Edition. Springer-Verlag. Berlim Heidelberg New York.
- SHEPARD, F.P. 1973. *Submarine geology*. Harper and Row, New York, N.Y., 3<sup>rd</sup>. ed.
- SHORT, A.D. 1991. Macro-meso tidal beach morphodynamics – an overview. *Journal of Coastal Research*, 7, 417-436.
- SHORT, A. *Beach and Shoreface Morphodynamics*. United States: John Wiley & Sons, 1999. 419p.
- SILVA, C.G.; PATCHINEELAM, S.M.; BATISTA NETO, J.A.; PONZI, V. R. A. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: BATISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro. Ed. Interciência, 2004, p.175-218.
- SILVA, M.G.L. 2001. Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da Praia do Pescador – Bragança (Norte do Brasil). Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém. 111 p.
- SOUZA, C.R.G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, L.S.; VITAL, H.V.; DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M.; ADDAD, J.E. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S., OLIVEIRA, P.E. (Editores) *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto. Ed. Holos, 2005, p. 130-152.

- SOUZA FILHO, P.W.M. 2001. Impactos naturais e antrópicos na Planície Costeira de Bragança. In: PROST, M.T.; MENDES, A.C. (Ed.), *Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental*. Belém: MPEG, p.133-144.
- SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. 1995. Um exemplo de sistema deposicional dominado por macromaré: A Planície Costeira Bragantina - NE do Pará (Brasil). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 5, 1995, Niterói, Anais... Niterói, ABEQUA, 278-284.
- SOUZA FILHO, P.W.M.; LESSA, G.C.; COHEN, M.C.L.; COSTA, F.R.; LARA, R.J. 2009. The Subsiding Macrotidal Barrier Estuarine System of the Eastern Amazon Coast, Northern Brazil. In: DILLENBURG, S.F., HESP, P.A. *Geology of Brazilian Coastal Barriers*, New York: Springer-Verlag. Series: Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 107. Approx. 220 p. ISBN: 978-3-540-25008-1.
- 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*, v.35: 580-589.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. Edgard Blücher, São Paulo. 316p.
- WRIGHT, L.D.; NIELSEN, P.; SHORT, A.D.; GREEN, M.O. Morphodynamics of a macrotidal beach. *Marine Geology*, n.50, p. 97-128, 1982.
- YANG, B.C.; DALRYMPLE, R.W.; CHUN, S.S. 2005. Sedimentation on a wave-dominated, open-coast tidal flat, south-western Korea: summer tidal flat – winter shoreface. *Sedimentology*, v.52: 235-252.