



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

LYGIA NASSAR SOUSA

**VARIAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTAR EM PRAIAS DA ILHA
DE ALGODOAL (LITORAL AMAZÔNICO)**

Belém

2010

LYGIA NASSAR SOUSA

**VARIAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTAR EM PRAIAS DA ILHA
DE ALGODOAL (LITORAL AMAZÔNICO)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto

Belém

2010

LYGIA NASSAR SOUSA

**VARIAÇÃO MORFOLÓGICA E SEDIMENTAR EM PRAIAS DA ILHA
DE ALGODOAL (LITORAL AMAZÔNICO)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Oceanografia da
Universidade Federal do Pará – UFPA, em
cumprimento às exigências para a obtenção do
grau de bacharel Oceanógrafo.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. Nils Edvin Asp Neto - Orientador
Doutor em Geologia Costeira
Universidade Federal do Pará

Prof. Maamar El Robrini - Membro
Doutor em Fisiografia dos Oceanos e do Litoral
Universidade Federal do Pará

Prof. Susane Rabelo Souza-Vieira - Membro
Mestre em em Pós-Grad. em Oc. Física, Química e
Geológica
Universidade Federal do Pará

DEDICATÓRIA

*Aos meu pais que são meu exemplo de vida.
E as pessoas que tornaram possível esse
momento tão especial na minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por cada dia vivido, pela sua imensa misericórdia e Seu amor incondicional por mim! E a Chiara Lubich, por fazer de mim a pessoa que sou hoje.

Ao CNPq e a FAPESPA, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

Ao Professor Dr. Nils E. Asp, que me deu a oportunidade de desenvolver esse trabalho, por todo conhecimento transmitido e por desenvolver em mim a busca pelo conhecimento.

Aos meus professores da graduação que de uma forma ou de outra tem sua contribuição nesse trabalho.

Aos meus pais, por todos os valores que me passaram até hoje, e por sempre batalharem para me oferecer bons estudos, mesmo diante das dificuldades. E posso retribuir tudo isso com o meu imenso amor por eles. E ao Lukinhas!

A minha grande Família, que sempre esteve do meu lado em todos os momentos da minha vida, tenho certeza de que posso contar com cada um.

Mas minhas “irmãs” que estão sempre ao meu lado, nas alegrias e nas dificuldades, vocês também fazem parte disso.

Ao pessoal do LAGECO, mesmo sem o contato diário, de alguma forma vocês também fazem parte. Em especial ao Cabeça, que me persegue desde o início do curso, mas que é um companheiro de trabalho maravilhoso, valeu! Ao LOF, pelas risadas, pelos aperreios, pela troca de experiência e companheirismos. Ao professor Marcelo Rollnic, pelos últimos toques, obrigada!

Ao pessoal da sala Aline, Dja, Ellen, Elô, Fran, Laíssa, Lidi, Marcio, Nara, Rutche, pessoas que me acolheram e fizeram desses quatro anos de estudos, anos maravilhosos.

Ao Alan por sempre estar do meu lado e me incentivar em buscar o melhor para mim.

EPÍGRAFE

"É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar; é melhor tentar, ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final. Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder. Prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver..."

Martin Luther King.

RESUMO

A zona costeira é uma área extremamente dinâmica, e a sua morfologia depende de fatores climatológicos, geológicos e físicos. É neste contexto em que se enquadra a Ilha de Algodual, localizada no nordeste paraense (litoral amazônico), área de estudo do presente trabalho. Com o objetivo de compreender a morfodinâmica praias local, foram avaliadas duas praias - Praia da Princesa e Praia da Caixa D'Água, incluindo perfis topográficos e análises granulométricas de diferentes períodos ao longo de um ano. As coletas foram realizadas ao longo de um ano, nos períodos-chave em relação à climatologia regional: dezembro/08 (final da estação seca), março/09 (auge da estação chuvosa – marés equinociais), maio/09 (máxima descarga fluvial), setembro/09 (auge da estação seca – fortes ventos) e dezembro/09, fechando o ciclo anual. Os resultados apontam para uma área estável, porém muito dinâmica. Em geral a tendência foi predominantemente erosiva para ambas as praias avaliadas. Entre dez/08 a mar/09 o balanço sedimentar foi negativo, sendo de aprox. -77 m³/m para o Perfil 1 (Praia da Princesa) e de -48 m³/m para o Perfil 2 (Praia da Caixa d'Água). Esta erosão foi atribuída às marés equinociais de março, bem como afloramento do lençol freático na face praias e consequente erosão por água de retorno, afetando igualmente as duas praias. Já no período de mar/09 a mai/09 o balanço sedimentar foi positivo para ambas as praias: 15 m³/m para Praia da Princesa e 40 m³/m na Praia da Caixa d'Água. Neste caso a deposição foi atribuída à redução média da altura de maré após o equinócio, bem como ao período de máxima descarga fluvial em maio, o que também afeta ambas as praias, mas especialmente a praia da Caixa d'Água, que encontra-se na porção estuarina do rio Marapanim. Entre mai/09 e set/09 o balanço foi negativo em ambas as praias, sendo, porém, substancialmente mais acentuado (-52 m³/m) na Praia da Caixa d'Água que na Praia da Princesa (-11 m³/m). Considerando-se os fortes ventos de setembro, estes implicam em erosão na Praia da Princesa e entorno, sendo que parte dos sedimentos eólicos se depositaria na Praia da Caixa d'Água, em virtude da direção NE dos ventos alísios. As marés equinociais de setembro parecem também ter contribuído para a erosão nas duas praias. Entre set/09 e dez/09 o balanço sedimentar foi positivo, mas pouco expressivo em ambas as praias (9 e 4 m³/m para as praias da Princesa e Caixa d'Água, respectivamente). A comparação entre dez/08 e dez/09 revelou importante erosão em ambas as praias (-63 e -55 m³/m para as praias da Princesa e Caixa d'Água, respectivamente). Esta variação pode ser atribuída a migração episódica de bancos e barras. As variações observadas em cada perfil caracterizam a Praia da Princesa como uma praia oceânica, do tipo dissipativa, onde as principais variações internas observadas correspondem à migração das barras e cavas. Já a Praia da Caixa d'Água pode ser

classificada como uma praia estuarina do tipo reflectiva com terraço de maré baixa. Conseqüentemente, o regime de ondas afeta mais claramente a Praia da Princesa, enquanto que a descarga fluvial afeta mais efetivamente a Praia da Caixa d'Água, como esperado. Durante a estação seca os ventos parecem resultar em erosão na Praia da Princesa e deposição na Praia da Caixa d'Água, principalmente em função da combinação de direção predominante dos ventos e orientação das praias. As análises granulométricas corroboram com os resultados e interpretação das variações morfológicas, onde as variações no tamanho médio dos grãos, assimetria e seleção da distribuição granulométrica indicam a deposição ou erosão de sedimentos eólicos ou finos, provenientes da descarga fluvial. Os resultados obtidos representam uma caracterização satisfatória dos perfis estudados, bem como dos diferentes processos atuantes em praias oceânicas e estuarinas do litoral amazônico, podendo servir de base para estudos desta natureza em quaisquer praias do litoral amazônico, onde sazonalidade no regime de chuvas/descarga fluvial e ventos/ondas, bem como o regime de macromarés resultam em uma complexa morfodinâmica praial.

Palavras-chave: Sedimentologia. Morfologia praial. Sazonalidade. Litoral amazônico.

ABSTRACT

The coastal zone is extremely dynamic and its morphology depends on climatic, geologic and physical factors. The Algodual Island, which is focused in the present study, is located at the northeast of Pará State, being part of the Amazon coastal zone. With the aim to understand the local beach morphodynamics, two different beaches (Praia da Princesa e Praia da Caixa d'Água) were evaluated using topographic profiling and sediment sampling along a year, within the main climatic/hydrodynamic periods: december/08 (end of the dry season), march/09 (high rain season and equinoctial tides), may/09 (maximum fluvial discharge), september/09 (high dry season, strong winds and equinoctial tides) and december/09, enclosing the annual cycle. The results have shown a very dynamic area, but indicating a long-term stability. The results showed a general erosional tendency for both beaches. Between dez/08 and mar/09 the sediment balance was negative, being approx. $-77 \text{ m}^3/\text{m}$ for Profile 1 (Praia da Princesa) and $-48 \text{ m}^3/\text{m}$ for Profile 2 (Praia da Caixa d'Água). This erosion was attributed to the equinoctial tides, as well as water table flow at the beach face, improving erosion by backwash, affecting both beaches. From mar/09 to may/09 the sedimentary balance was positive for the two beaches: $15 \text{ m}^3/\text{m}$ for Praia da Princesa and $40 \text{ m}^3/\text{m}$ at the Praia da Caixa d'Água. In this case the deposition was correlated to the gradual reduction in tidal range after the equinoctial tides of march and the maximum fluvial discharge period of may, which also affects both beaches, especially at the Praia da Caixa d'Água, due to its location in the Marapanim estuary. Between may/09 and sep/09 the sedimentary balance was again negative in both beaches, although the erosion was much more conspicuously at the Praia da Caixa d'Água ($-52 \text{ m}^3/\text{m}$) than in the Praia da Princesa ($-11 \text{ m}^3/\text{m}$). Considering the strong easterly winds of september, they result in erosion in the exposed Praia da Princesa region and aeolian transport toward the Praia da Caixa d'Água area. Furthermore, the equinoctial tides of september would also imply in erosion of both beaches. From sep/09 to dez/09 slight deposition was observed in both beaches (9 and $4 \text{ m}^3/\text{m}$ for Princesa and Caixa d'Água beaches, respectively). Comparing dez/08 and dez/09 one could observe strong erosion in both beaches: $-63 \text{ m}^3/\text{m}$ (Praia da Princesa) and $-55 \text{ m}^3/\text{m}$ (Praia da Caixa d'Água). This erosion seems to be the result of episodic migration of subtidal sediment banks. The observed variations in each profile place the Praia da Princesa as a dissipative oceanic beach, where the main morphological changes are the result of bar/trough migration. Furthermore, the Praia da Caixa d'Água is classified as an estuarine beach of the reflective with low tide terrace type. Therefore, waves are affecting especially the Princesa beach, whereas fluvial discharge is affecting especially the Caixa d'Água beach, as expected. During the dry season winds are resulting in erosion in Princesa beach

and deposition in Caixa d'Água beach, because of wind direction and beach orientation. The results on granulometric analyses corroborate to the interpretation of topographic changes, where grain size, asymmetry and sorting indicate erosion or deposition of aeolian sediments, as well as muddy sediments from the fluvial discharge. The results represent a good characterization of the evaluated profiles and beaches, and of the acting processes in oceanic and estuarine beaches of the Amazon littoral. Though it is helpful for further studies in any beach of the Amazon littoral, where rain/fluvial discharge seasonality, as well as macrotidal regime imply in a complex beach morphodynamics.

Key-words: Sedimentology. Beach morphology. Seasonality. Amazon coast.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	Principais subdivisões morfológicas, morfodinâmicas e hidrodinâmicas de uma praia	19
FIGURA 2	Perfil plano da praia dissipativa	20
FIGURA 3	Perfil plano de praia reflectiva	21
FIGURA 4	Localização da área de estudo e dos perfis de praia avaliados	23
FIGURA 5	Precipitação média mensal na região bragantina na estação Tracuateua	24
FIGURA 6	Local de coleta e topografia e variação do perfil praial Praia da Princesa	28
FIGURA 7	Local de coleta topografia e variação do perfil praial da Praia da Caixa D'Água	28
FIGURA 8	Fluxograma do procedimento de tratamento e análise granulométrica das mostra	29
FIGURA 9	Topografia e variação do perfil praial Praia da Princesa	34
FIGURA 10	Curva de freqüência simples (Praia da Princesa – Maré Baixa)	37
FIGURA 11	Curva de freqüência simples (Praia da Princesa – Intermaré) .	37
FIGURA 12	Curva de freqüência simples (Praia da Princesa – Maré Alta) .	38
FIGURA 13	Balanço Volumétrico na Praia da Princesa ao longo do ano ...	38
FIGURA 14	Topografia e variação do perfil praial da Praia da Caixa D'Água.....	39
FIGURA 15	Curva de freqüência simples (Praia da Caixa D'Água – Maré Baixa)	41
FIGURA 16	Curva de freqüência simples (Praia da Caixa D'Água – Intermaré)	41
FIGURA 17	Curva de freqüência simples (Praia da Caixa D'Água – Maré Alta)	42
FIGURA 18	Balanço Volumétrico na Praia da Caixa D'Água ao longo do ano	43
FIGURA 19	Regime de chuva e vento para dezembro/08	45
FIGURA 20	Regime de chuva e vento para março/09	46

FIGURA 21	Regime de chuva e vento para maio/09	46
FIGURA 22	Regime de chuva e vento para setembro/09	47
FIGURA 23	Regime de chuva e vento para dezembro/09	47

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Situação de maré durante cada medição realizada	25
TABELA 2	Classificação sedimentar de acordo com as escalas granulométricas em phi e mm	30
TABELA 3	Parâmetros estatísticos granulométricos para a Praia da Princesa	31
TABELA 4	Parâmetros estatísticos granulométricos para a Praia da Caixa D'Água	36
TABELA 5	Tempo de sedimentação para cada classe granulométrica	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVOS GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	SETORIZAÇÃO E MORFODINÂMICA DE PRAIAS	19
3.2	SEDIMENTOLOGIA	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1.	ÁREA DE ESTUDO	23
4.1.1	Localização	23
4.2	CLIMA	24
4.3	CONDIÇÕES METEO-OCEANOGRÁFICAS	24
4.3.1	Maré	25
4.3.2	Corrente	26
4.3.3	Vento	26
4.3.4	Onda	26
4.4	COLETA DE DADOS.....	27
4.4.1	Coleta de sedimentos	27
4.4.2	Perfil Praial	28
4.5	PROCESSAMENTO DE DADOS E AMOSTRAS.....	28
4.5.1	Pipetagem	29
4.5.2	Peneiramento a seco	31
4.5.3	Análises dos perfis de praia	32
4.5.4	Determinação e análise dos parâmetros estatísticos granulométricos	32
5	RESULTADO E DISCUSSÃO	34
5.1	PRAIA DA PRINCESA – PERFIL 1.....	34
5.1.1	Topografia e variação do perfil praial	34
5.1.2	Sedimentologia e suas variações espaço-temporais	35
5.2	PRAIA DA CAIXA D'ÁGUA – PERFIL 2	39
5.2.1	Topografia e variação do perfil praial	39

5.2.2	Sedimentologia e suas variações espaço-temporais	40
5.3	MORFODINÂMICA COMPARADA DAS PRAIAS DA PRINCESA E CAIXA D'ÁGUA	44
5.3.1	Diferenças e similaridades encontradas	44
5.3.2	Clima e Sazonalidade	44
6	CONCLUSÃO	48
	REFERENCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O ambiente costeiro, mais do que qualquer outro sistema físico, caracteriza-se pelas freqüentes mudanças, tanto espaciais quanto temporais, resultando uma grande variedade de feições geológicas e geomorfológicas. Esse grande dinamismo da costa advém da complexa interação dos processos deposicionais e erosivos relacionados com a ação de ondas, correntes de maré e correntes litorâneas (ROSSETTI, 2008). Neste cenário está incluída a zona costeira do nordeste paraense, parte da zona costeira amazônica.

A zona costeira do nordeste paraense estende-se na direção NW-SE e inclui planícies de inundação, planícies de maré e planícies costeiras, caracterizando-se como uma costa baixa do tipo estuarina, entalhada por baías (reentrâncias) que penetram em uma superfície de interflúvios, modelada em rochas sedimentares e sedimentos terciários-quaternários (BERMEGUY et al. 1991) da Formação Barreiras e do Pós-Barreiras. A planície costeira de Algodual corresponde a um destes interflúvios, limitada em direção ao continente pelo Planalto Costeiro.

Esse litoral está inserido em uma região influenciada por um regime de macromarés, com amplitude máxima de 5,8 m (DHN, 2009). O regime de macromarés semi-diurnas na região induz a formação das correntes de marés e exerce um importante papel na circulação local, influenciando fortemente o transporte sedimentar litorâneo (SOUZA FILHO e PARADELLA, 2002; SOUZA FILHO e PARADELLA, 2003), constituindo um fator bastante importante nas variações morfológicas da linha de costa, principalmente, durante as marés equinociais de sizígia.

O estudo sobre a variação granulométrica em praias de macromarés se torna importante para compreendermos o processo de transporte e deposição dos sedimentos, como resultado de uma série de processos físicos decorrentes da ação das macromarés semidiurnas, da descarga fluvial, ação de ondas e ventos (MASSELINK e SHORT, 1993 apud BRAGA 2007). Estes processos são responsáveis por mudanças granulométricas em períodos de tempo que variam de minutos, horas, dias, meses e anos.

Os parâmetros granulométricos são sensíveis as variações morfodinâmica, a média, o grau de seleção, assimetria, curtose e teor de grosseiros evidenciam o regime sazonal.

Segundo Soares et al. (1997) vários trabalhos discutem o significado dos parâmetros estatísticos como identificadores do sentido da deriva litorânea (BITTENCOURT et al.; 1992; BITTENCOURT et al., 1990b), das variações morfodinâmicas (BITTENCOURT et al; 1987.; FARIAS et al., 1985) e das áreas de deposição/erosão (BITTENCOURT et al.; 1990a; BITTENCOURT, 1992).

As variações sazonais dos processos costeiros controlam a morfologia da praia e o comportamento sazonal dos sedimentos. A análise da distribuição dos sedimentos suportada sobre modelos digitais de terreno é de suma importância para o entendimento da dinâmica sedimentar em praias de macromaré (BRAGA, 2007). Tais variações granulométricas e morfológicas sazonais são entendidas como sendo respostas às mudanças nos processos físicos.

A realização de perfis topográficos praias sazonais e também durante diferentes condições de mar é fundamental para o reconhecimento da dinâmica de transporte sedimentar em uma determinada região costeira, podendo calcular e fazer previsões do volume de sedimentos transportados, assim como partes, ou regiões, preferenciais de erosão e/ou deposição de sedimentos, em função de diferentes condições de energia do meio marinho (SILVA, 2004)

Com relação à Ilha de Algodual, destaca-se ainda o fato da área ser o segundo maior pólo de turismo costeiro do nordeste paraense, contrastando com o fato de ter se tornado em 1990 uma Área de Proteção Ambiental (APA), com baixa ocupação humana, em torno de 1.600 habitantes. Portanto, a área possui leis com o objetivo de proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais. Este contexto torna o estudo e entendimento de processos de morfodinâmica praias na Ilha de Algodual fundamentais (PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar e explicar as variações sazonais na morfologia e sedimentologia de praias (Princesa e Caixa D'água) na Ilha de Algodóal, com diferentes orientações e expostas a diferentes condições de onda, ventos e correntes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o perfil topográfico nas praias da Princesa e da Caixa D'água durante os principais períodos climáticos/hidrodinâmicos do ano.
- Analisar as características granulométricas do sedimento ao longo do perfil nas referidas praias durante os principais períodos climáticos/hidrodinâmicos do ano.
- Calcular o balanço sedimentar anual nos dois perfis de praia avaliados.
- Correlacionar os parâmetros estudados e investigar a origem/causa das similaridades e diferenças encontradas entre as duas praias estudadas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No presente trabalho torna-se importante revisar conceitos de morfodinâmica e sedimentologia.

3.1 SETORIZAÇÃO E MORFODINÂMICA DE PRAIAS

As praias são ambientes de dinâmica alta, onde suas características morfológicas são modeladas segundo o agente modificador dominante, no caso as ondas ou maré, e os atributos dos sedimentos que a compõe, principalmente a granulometria, normalmente arenosa.

Silva (2004) dividiu os compartimentos fisiográficos nos diferentes setores que caracterizam e que tem influência direta no comportamento morfológico das praias. A parte da zona litorânea exposta durante a maré baixa e submersa durante a maré alta é denominada por face de praia. A região do pós-praia é a zona acima da linha de maré alta, que só é alcançada pelo mar durante ondas de tempestade, ou durante marés excepcionalmente altas. Após a face de praia, em direção ao mar, a região permanentemente coberta pelas águas, que compõem o prisma praiial submerso, é chamada de antepraia. A antepraia estende-se desde o limite inferior da face de praia, até profundidades entorno de 10 a 20 m, onde o fundo submarino normalmente não é mais afetado pelas ondas de tempo bom.

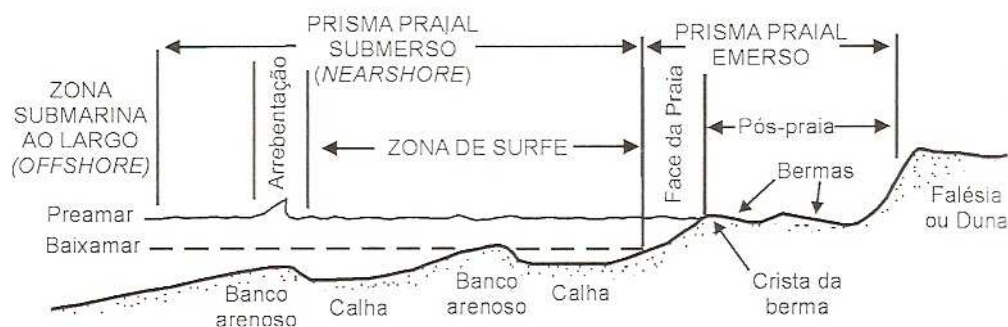


Figura 1: Principais subdivisões morfológicas, morfodinâmicas e hidrodinâmicas de uma praia
 Fonte: Modificado de Muehe, (1994).

As modificações morfológicas periódicas que se observam na maioria das praias são derivadas principalmente das alternâncias na energia das ondas. Ondas

pequenas, de tempo bom, tendem a construir as praias, enquanto que ondas de tempestade provocam erosão, transportando o material da praia para a região submersa imediatamente ao largo. Em regiões onde se observa uma alternância sazonal de ondas altas durante o inverno, e ondas pequenas e suaves durante o verão, percebe-se também uma variação sazonal nas características topográficas do perfil de suas praias (SILVA, 2004).

Wright et al. (1979a,b), Short e Wright (1981) e Wright e Short (1984), Short (2003) entre outros autores, sugeriram em trabalhos realizados na costa Australiana, a classificação das praias segundo a sua morfodinâmica. Fatores morfológicos e hidrodinâmicos foram integrados e reconhecidos em seis estágios morfodinâmicos distintos, sendo dois deles extremos (refletivo e dissipativo) e quatro intermediários. Do ponto de vista morfológico o estágio dissipativo corresponde a praias planas e rasas com grande estoque de areia na parte submersa, enquanto que o estágio refletivo é caracterizado por praias íngremes com pequeno estoque de areia.

Segundo Short (op. cit.) as praias dissipativas são comparadas morfológicamente à perfis de tempestade com variação sazonal. Caracterizado por possuir areia fina, pelo espalhamento das ondas de arrebentação, sistema de barras e calhas paralelos a costa, baixo gradiente da praia e extensa zona de surf. No sul da Austrália as ondas tem média de 2-3 m e períodos de 12-14 s, com alta energia *swell* na área costeira exposta a altas ondas, ocorrendo também na costa ondas *sea* ocasionalmente altas, mas de períodos curtos (Figura 2).

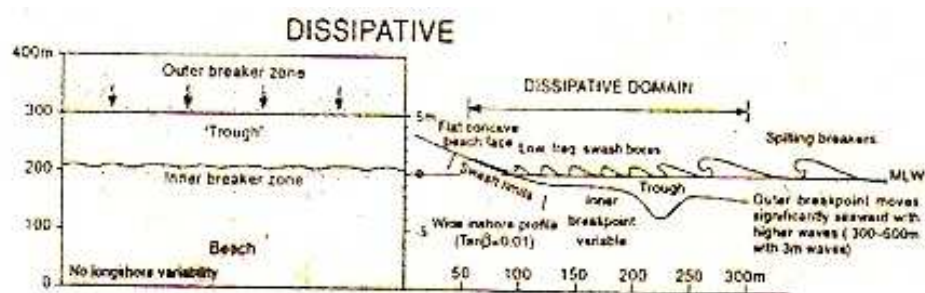


Figura 2: Perfil plano da praia dissipativa
Fonte: Short (2003).

O estágio refletivo é caracterizado por perfis com face de praia bastante íngreme ($> 3^\circ$), com areias de média a grossas e com ondas de baixa energia, levando a baixa altura de onda quebrando comumente na face de praia, causando uma maior velocidade de espraiamento (zona de espraiamento estreita). No entanto,

somente praias com ondas permanentemente baixas se mantêm no modelo reflectivo, enquanto algumas praias intermediárias de baixa energia serão reflectiva durante os momentos de ondas baixas, estas são suficientemente reduzidas por refração e atenuação, a *swell* é inferior a 0,5 m. As ondas e sedimentos favorecem a caracterização do sistema de praias reflectivas. Apresenta comumente cúspides de maré (SHORT, 2003) (Figura 3).

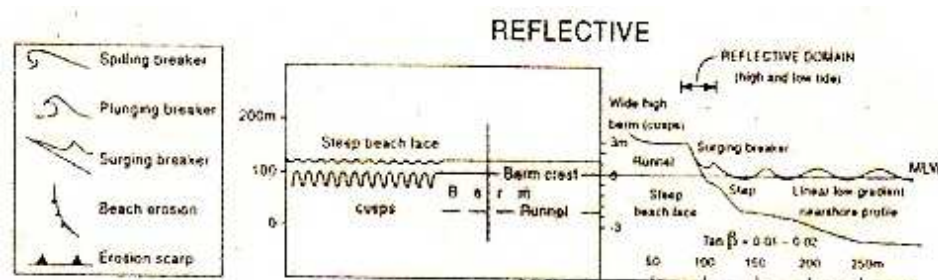


Figura 3: Perfil plano de praia reflectiva
Fonte: Short (2003).

Os quatro estágios intermediários apresentam maior complexidade morfológica e hidrodinâmica e caracterizam-se por praias com grande mobilidade. Elas ocorrem onde as ondas são de moderadas a alta e o sedimento de fino a médio. Um das conseqüências desta faixa de elevada energia é o duplo sistema de barras recebendo ondas altas, mas com areia média (SILVA, 2004).

Short (op. cit.) tem procurado incluir e entender a influência das marés e suas variações na classificação de estágios morfodinâmicos praias. Porém, estes estudos têm levado mesmo à reavaliação do que é um ambiente praias de fato e seus limites com as chamadas planícies de maré.

3.2 SEDIMENTOLOGIA

Pye (1994) afirma que os sedimentos que compõem uma praia e suas características estão intimamente ligadas à morfologia e dinâmica. O rolamento, transporte e deposição das partículas de sedimento pelo fluido são controladas parcialmente pelas propriedades físicas e químicas das próprias partículas e parcialmente pelo fluido em questão. O rolamento do grão sobre a superfície é controlado não somente pelas características individuais dos grãos, mas também pelas propriedades do pacote sedimentar. Propriedades que incluem a distribuição

do tamanho dos grãos, grau de seleção, orientação do grão, empacotamento, porosidade e o grau de coesão e cimentação.

O transporte das partículas sedimentares são frequentemente classificadas de acordo com o tamanho, forma e densidade, e nas mudanças das características das partículas. Durante o transporte prolongado de grãos minerais a baixa dureza ou susceptibilidade à fratura pode reduzir significativamente o tamanho, ou destruir completamente, enquanto que os grãos relativamente duros, de um mineral resistente como o quartzo monocristalino, são modificados muito menos intensamente e se tornam concentrados no sedimento residual. As análises do tamanho, forma e composição, fornece pistas importantes da proveniência, do histórico do transporte e as condições deposicionais do sedimento (PYE, 1994).

A textura do sedimento se refere ao tamanho, forma e arranjo das partículas componentes. As texturas sedimentares fornecem com freqüência, indícios sobre a natureza do meio de depósito, por exemplo, usualmente, o tamanho e angularidade dos detritos formados por correntes aumentam exponencialmente, com o aumento da velocidade da corrente. Sedimentos de granulação grossa e angular e mal selecionada, geralmente indicam rápida deposição por águas movimentadas. Sedimentos finamente granulados, bem selecionados e laminados sugerem por outro lado, deposição em águas tranqüilas, onde os grãos individuais se assentam lentamente do material em suspensão (LAPORTE, 1969).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

O estudo foi realizado na Ilha de Algodoal que localiza-se no nordeste do Estado do Pará, pertencendo ao Município de Maracanã, distando cerca de 200 km de Belém, sendo delimitada ao norte pelo Oceano Atlântico, a leste pela baía de Maracanã, a oeste pela baía de Marapanim, e ao sul pelo furo de Mocoóca que separa a ilha do continente. É uma Área de Proteção Ambiental (APA), situada nas coordenadas $47^{\circ} 32' 05''$ e $47^{\circ} 34' 12''$ W; $0^{\circ} 34' 4 5''$ e $0^{\circ} 37' 30''$ S (MASCARENHAS, 2006).

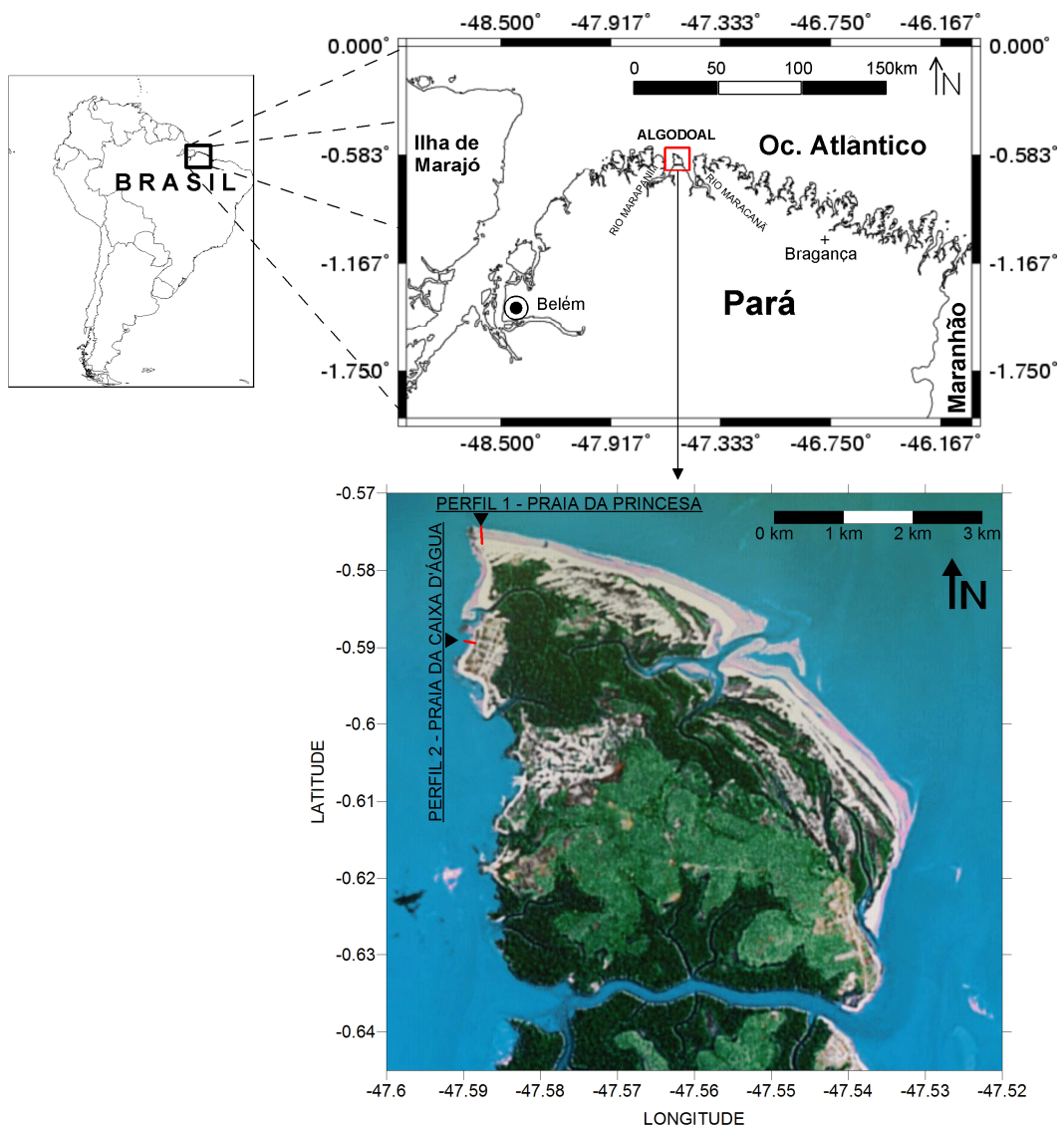


Figura 4: Localização da área de estudo e dos perfis de praia avaliados.

4.2 CLIMA

O clima da região foi classificado segundo Martorano *et al.* (1993) como do tipo Am2 (segundo adaptação da classificação de Köppen), caracterizado por ser equatorial quente e úmido, megatérmico com estação seca de junho a novembro e um período chuvoso bem acentuado com fortes chuvas nos demais períodos do ano (dezembro a maio), principalmente no mês de março onde apresenta o maior pico chuvoso (Figura 5).

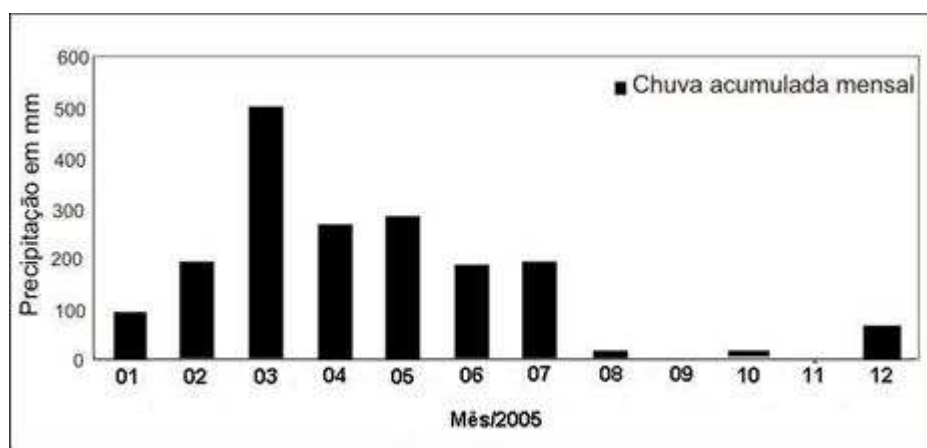


Figura 5: Precipitação média mensal na região bragantina na estação Tracuateua (82145)
Fonte: INMET (2005) apud Braga (2007).

A precipitação total entre os meses de novembro/08 e setembro/09 foi de 1.777 mm. No primeiro semestre do ano ocorreram os maiores índices pluviométricos, com destaque para o mês de março/09 que registrou 412,8 mm de chuva. Por outro lado, no segundo semestre foi registrada pouca chuva, e o mês de setembro/09 se destacou pela ausência de chuvas (SILVA, 2009).

Segundo Braga (2007), a variação média anual de temperatura da região é amena, entre 21,1^o e 30,0^o, com média de 25,5^oC, e a umidade relativa do ar oscila entre 80 e 91%.

4.3 CONDIÇÕES METEO-OCEANOGRÁFICAS

São responsáveis pelos processos de erosão e sedimentação, os parâmetros hidrodinâmicos e oceanográficos, aliados ao clima, influenciam fortemente no modelamento da paisagem costeira.

A posição geográfica do nordeste do Pará (0° - 1°) de latitude norte, aliadas a seus embaixamentos costeiros e à grande extensão da Plataforma Continental do Pará/Maranhão, proporciona o desenvolvimento de um ambiente de alta energia (SOUZA FILHO, 1995).

4.3.1 Maré

Esta região está dominada por macromarés de flutuações semidiurnas com amplitudes variando de 4 a 6 m. A incidência de ondas na linha de costa gera correntes costeiras, e o seu ângulo de incidência nas praias é que determinará o tipo de circulação costeira (SANTOS, 1996).

As marés, exercem um papel importante no transporte de sedimentos no litoral e sua influência se faz sentir a 8 a 10 milhas do continente (DIRETORIA DE HIDROGRAFIA NACIONAL - DHN, 1986 apud SANTOS 1996).

Durante as coletas, as maiores alturas de maré foram registradas nos meses de março/09 e setembro/09 (marés equinociais de sizígia), com valores maiores que 5,8 m (DHN, 2009). Uma vez que as maiores mudanças são esperadas para os períodos de maré de sizígia, procurou-se realizar as coletas do presente trabalho durante estes períodos, o que nem sempre foi possível. A Tabela 1 descreve a situação de maré durante cada coleta.

Tabela 1: Situação de maré durante cada medição realizada.

Ciclo de Maré	
Data	Maré
13/12/08	Sizígia
11/03/09	Sizígia
22/05/09	Quadratura
22/09/09	Sizígia - quadratura
13/12/09	Sizígia - quadratura

4.3.2 Correntes

Segundo Silva (2009), medições de corrente ao largo da Praia da Princesa apresentam caráter bidirecional nas diferentes épocas do ano, demonstrando o predomínio das correntes de maré, em relação às correntes de deriva por ondas e ventos. No entanto nota-se que as velocidades de corrente são consideravelmente maiores durante as fases de enchente, preferencialmente no sentido E-NE, quando atingem valores da ordem de 2 m/s. Na fase de vazante a direção predominante das correntes na Praia da Princesa é O-SO, mas com valores cerca de 50% inferiores àqueles da enchente.

4.3.3 Ventos

Os ventos exercem um papel não só no transporte de sedimento, mas também na formação de ondas, que ao atingirem a costa, retrabalham e misturam os sedimentos previamente depositados.

No litoral paraense durante o período chuvoso, atuam os ventos alísios de nordeste precedidos geralmente de calmaria e quase sempre acompanhado de rajadas violentas e chuvas intensas. No período seco, os ventos são muito mais intensos, causando maiores influências na geração das ondas, que se tornam muito mais energéticas (SILVA, 2001). No mês de maio/09 (chuvoso) a velocidade média mensal era de 1,4 m/s e em setembro/09 (seco) de 4,36 m/s (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET – Estação Meteorológica do Município de Salinópolis-PA). Com maiores rajadas de vento no mês de setembro/09 registrando 9,33 m/s.

4.3.4 Ondas

Segundo Santos (1996) em seu trabalho foram feitas observações de campo, juntamente com análise de fotografias aéreas e imagens de radar, que permitiram identificar a influência mais pronunciada desse parâmetro na porção oceânica (Praia da Princesa) em virtude da direção dos ventos alísios vindos de ENE. Enquanto que a parte oeste da Ilha (Praia da Caixa D'Água) é mais protegida, recebendo pouco influencia de onda.

Segundo Silva (2009) os maiores valores de altura (Hs) e períodos de onda foram observados nos períodos de preamar, alcançando valores superiores a 1,2m e 10s, Hs e T respectivamente, durante a estação chuvosa. Durante a baixa mar foram registrados os menores valores de altura de Hs (0,4m) e T (5s). No mês de setembro/09 registrou-se os menores valores de altura Hs e T, < 1m e < 8s, respectivamente, durante os períodos de enchente e preamar.

4.4 COLETA DE DADOS

As coletas foram realizadas ao longo de um ano, nos períodos-chave em relação à climatologia regional: dezembro/08 (final da estação seca), março/09 (auge da estação chuvosa – marés equinociais), maio/09 (máxima descarga fluvial), setembro/09 (auge da estação seca – fortes ventos) e dezembro/09 (coleta somente da topografia das praias), fechando o ciclo anual. Como mencionado anteriormente, as datas de coleta foram prioritariamente realizadas durante ciclos de maré de sizígia.

4.4.1 Coleta de sedimentos

As amostras sedimentares foram coletadas superficialmente em cada zona da praia de acordo com as Figura 6 e 7, onde as setas mostram o exato local de coleta mediante o uso de um Garmin GPS 60 para o posicionamento dos locais. Foi utilizado um tubo PVC de 10 cm de altura e 8 cm de diâmetro para a coleta, realizados simultaneamente aos levantamentos topográficos, assim cada amostra pode ser considerada como o resultado de todos os processos sedimentares diários ou semanais, e que os efeitos dos processos que atuam em escala de horas e minutos imediatamente antes da amostragem, como deflação, tem uma influência subordinada na granulometria dos grãos (PEDREROS et al., 1996). As amostras foram coletadas em condições de maré baixa, a partir do campo de dunas até a linha de maré baixa. Após a coleta das amostras de sedimentos, estes foram acondicionados em sacos plásticos e etiquetados.

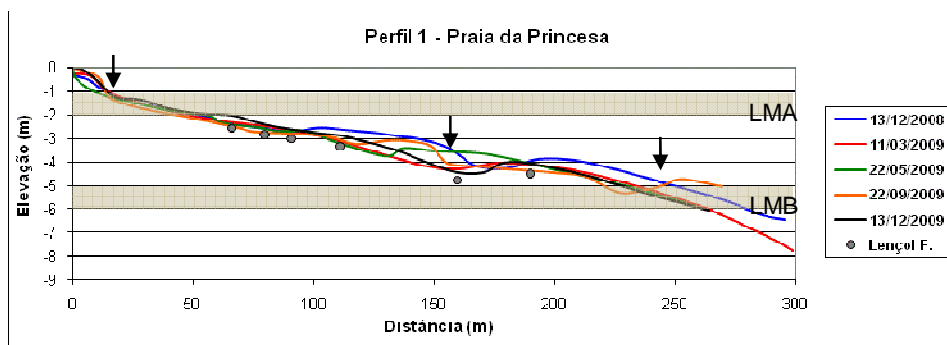


Figura 6: Local de coleta e topografia e variação do perfil praial Praia da Princesa.

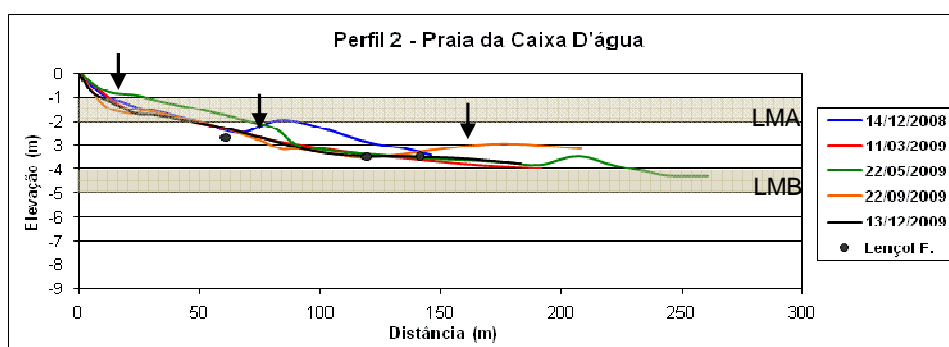


Figura 7: Local de coleta topografia e variação do perfil praial da Praia da Caixa D'Água.

4.4.2 Perfil praial

Foram estabelecidos dois transectos topográficos perpendiculares à linha de praia (Figura 4), estendendo-se desde as dunas frontais até aproximadamente um metro e meio de profundidade da antepraia em condição de maré baixa de sizígia.

A escolha dos perfis medidos foi feita com a hipótese de um possível transporte sedimentar vinda da Praia da Caixa D'Água para a Praia da Princesa.

Os perfis topográficos foram elaborados com nível automático Nikon AX 1S, mira e tripé segundo a metodologia proposta por Birkemeier (1981).

4.5 PROCESSAMENTO DE DADOS E AMOSTRAS

Em laboratório, as amostras de sedimentos foram submetidas ao tratamento que correspondem ao preparo das amostras e subsequente análise granulométrica. Os sedimentos foram secos em estufa a temperatura de aproximadamente 70° C, para assim, evitar a aglutinação de grãos ou alteração de peso devido à umidade.

Posteriormente, os mesmos foram quarteados em uma parte significativa de amostra. Após o quarteamento, foi realizada a análise granulométrica.

As análises sedimentares (granulometria) foram realizadas através da infraestrutura já existente na instituição seguindo os métodos convencionais de pipetagem e peneiragem para análise granulométrica. O fluxograma na Figura 8 resume o procedimento e análise das amostras de sedimento.

4.5.1 Pipetagem

Segundo Suguio (1973) a técnica da pipetagem é utilizada para separar frações granulométricas muito finas como silte e argila. A qual relaciona a velocidade de decantação de partículas esféricas de pequeno tamanho em suspensão em um fluido, com o diâmetro da mesma, conforme a lei de Stokes.

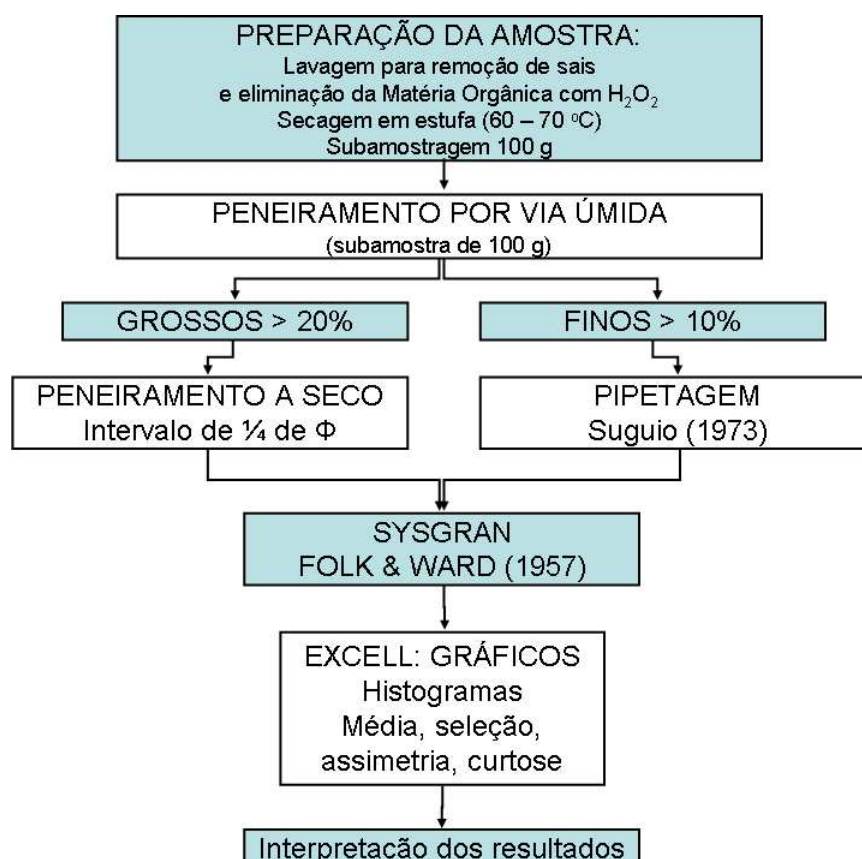


Figura 8: Fluxograma do procedimento de tratamento e análise granulométrica das amostras.

De acordo com a Lei de Stokes, o tempo de decantação varia conforme o diâmetro das partículas, onde as partículas mais grossas ou de diâmetro maior decantam mais rapidamente do que as partículas finas cujo diâmetro é menor. Sendo assim para a pipetagem utilizou-se a metodologia proposta por Suguio (1973), onde estes tempos de sedimentação e as respectivas tomadas pela pipeta estão a seguir distribuídos juntamente com as profundidades das tomadas (Tabela 2). Os tempos foram considerados para uma temperatura de 24° C no ambiente, a qual foi considerada constante durante todo o processo de pipetagem.

Foi usado um agitador manual para homogeneizar o material fino por cerca de 2 min, até que as partículas estivessem uniformemente distribuídas na suspensão aquosa. A partir do momento em que se cessou a agitação, iniciou-se a contagem do tempo, deixando em repouso o material durante 20 segundos, conforme metodologia descrita por Suguio (op. cit.), e fez-se a 1ª coleta de subamostra (10 ml) com uma pipeta graduada numa profundidade de 20 cm a partir da superfície líquida contida na proveta, esta continha as frações granulométricas correspondentes à lama (silte + argila), definidas como menores que 0,063 mm, o material foi colocado em um becker previamente pesado para poder ser levado para estufa.

Tabela 2: Tempo de sedimentação para cada classe granulométrica segundo Suguio (1973).

PIPETAGEM	Diâm. dos Grãos		Prof. Da Pipeta	Temperatura e Cronometria			
	Phi	mm		16°C	20°C	24°C	28°C
	4	0,0625	20	20s	20s	20s	20s
	5	0,031	10	2m09s	1m57s	1m46s	1m37s
	6	0,0156	10	8m29s	7m40s	6m58s	6m22s
	7	0,0078	10	34m	31m	28m	25m
	8	0,0039	10	2h15m	2h03m	1h51m	1h42m
	9	0,0020	5	4h18m	3h53m	3h32m	3h14m
	10	0,00098	7	25h05m	22h41m	20h37m	18h50m

Novamente a amostra foi submetida à homogeneização. Após o momento em que se cessou a agitação, iniciou-se uma nova contagem de tempo, material

permaneceu em repouso por 1h51min (SUGUIO, 1973). Após esse tempo foi feita a 2ª coleta de subamostra (10 ml) com a pipeta graduada em 10 cm de profundidade e novamente colocada num becker. Cada subamostra permaneceu por cerca de 24 h na estufa. Como o peso dos becker era conhecido, após a secagem o material foi pesado e o peso do sedimento foi obtido da seguinte forma:

$$\text{Peso do sedimento} = \text{Peso do becker com sedimento} - \text{Peso do Becker}$$

Sendo assim foi possível calcular os percentuais de silte e argila em cada amostra que continha lama, a seguir os valores foram interpretados estatisticamente juntamente com os percentuais de areia.

4.5.2 Peneiramento a seco

Em laboratório, as amostras foram peneiradas em agitador mecânico de peneiras, segundo o procedimento proposto por Lindholm (1987), sendo cada amostra peneirada durante 10 minutos em coluna de peneiras ajustadas em intervalos de $\frac{1}{4}$ de phi, sendo o valor de -2 phi a maior abertura na malha e 4 phi a menor, segundo a escala Wentworth (1922). A notação phi (Φ), é o logaritmo negativo na base dois do diâmetro das partículas em milímetros (Tabela 3), proposto por Krumbein (1934).

Tabela 3: Classificação sedimentar de acordo com as escalas granulométricas em phi (Krumbein, 1934) e mm (Wentworth, 1922).

PHI (Krumbein, 1934)	mm (Wentworth, 1922)	Classe
< -2	> 4	Cascalho
-2 – -1	2 – 4	Grânulo
-1 – 0	1 – 2	Areia M. Grossa
0 – 1	0,500 – 1	Areia Grossa
1 – 2	0,250 – 0,500	Areia Média
2 – 3	0,125 – 0,250	Areia Fina
3 – 4	0,063 – 0,125	Areia M. Fina
4 – 9	0,002 – 0,063	Silte
> 9	< 0,002	Argila

4.5.3 Análise dos perfis de praia

Os nivelamentos topográficos foram utilizados para determinar a morfologia da praia e calcular o balanço do volume sedimentar. O processamento dos dados de perfil de praia foi realizado através dos programas Surfer® 8.0 (Golden Software) e Excel® 2003 (Microsoft).

4.5.4 Determinação e análise dos parâmetros estatísticos granulométricos

Os dados relativos aos pesos percentuais das classes granulométricas foram inicialmente armazenados em planilha Excel e posteriormente processados no software SysGran® 2.4, desenvolvido por Camargo (1999). Foram definidos segundo a classificação de Folk e Ward (1957). Os principais parâmetros estatísticos calculados e utilizados para comparação foram média, desvio padrão (grau de seleção) e assimetria, suas formulas seguem abaixo:

Média (Mz): A média indica a tendência central do tamanho médio dos grãos de um dado sedimento que fornece dados sobre a energia cinética média do agente de deposição (FOLK E WARD, op. cit.).

É a média aritmética dos percentis 16, 50 e 84:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

Desvio Padrão (So): O desvio padrão (σ) descreve a dispersão em relação à média. O desvio padrão está intimamente associado ao selecionamento da amostra que nos dá informação a respeito das condições de transporte e deposição (FOLK E WARD, op. cit). Assim o termo selecionamento refere-se à seleção, durante o transporte das partículas de acordo com seus tamanhos, gravidades específicas e forma. Depósitos que contém pequenas variações de tamanho de partículas são referidos como bem selecionados.

$$S_o = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2}$$

Assimetria (SK₀): A assimetria de uma distribuição granulométrica traduz a posição da mediana em relação à média aritmética (FOLK E WARD, op. cit).

É a tendência da curva deslocar-se para os extremos dos finos (assimetria positiva) ou dos grosseiros (assimetria negativa), formando as caudas da distribuição.

$$SK_0 = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2(\phi 50)}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2(\phi 50)}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

No programa Excel® 2003 (Microsoft) foram plotados os dados dos parâmetros granulométricos gerando histogramas, em que pode facilmente visualizar e interpretar as diferenças e similaridades entre amostras, perfis e épocas do ano.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, ficou evidente nos resultados o efeito das marés, assim como do forte efeito sazonal no regime de chuvas e ventos, na fisiografia e sedimentologia das praias avaliadas, tornando a interpretação dos resultados bastante complexa, uma vez que as variações observadas não são simplesmente o reflexo da variação sazonal do regime de ondas.

Em virtude da dificuldade de dividir os compartimentos fisiográficos em setores de forma convencional, considerando-se uma praia fortemente influenciada por marés, optou-se aqui por chamar eventualmente de porção de maré alta, porção de intermaré e porção de maré baixa os setores de praia classicamente denominados pós-praia, face praial e zona de surfe.

5.1 PRAIA DA PRINCESA – PERFIL 1

5.1.1 Topografia e variação do perfil praial

O perfil praial da Praia da Princesa apresentou maior extensão com aproximadamente 300 m (Figura 9). A baixa declividade da praia, em associação a uma areia fina a muito fina bem selecionada, além de um sistema de barras e calhas, apontam para uma praia essencialmente controlada por ondas, sendo secundariamente influenciada por marés.

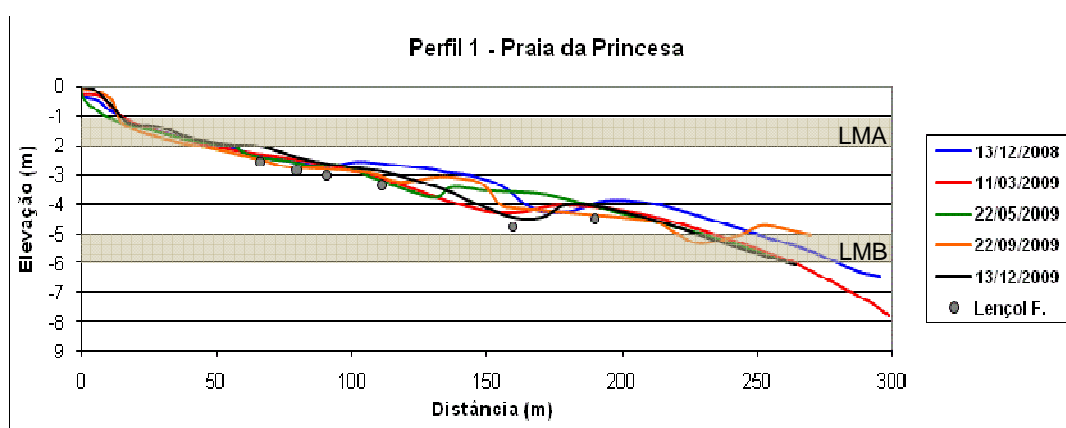


Figura 9: Topografia e variação do perfil praial Praia da Princesa.

Podemos classificar a Praia da Princesa (Perfil 1) segundo a classificação de Short (2003) como uma praia dissipativa (Figura 9), apresentando alta energia, areia fina, espalhamento das ondas de arrebentação, baixo gradiente, conjunto de barras e calhas.

No geral observou-se apenas pequenas variações topográficas na porção do pós-praia (setor de maré alta). Esta pequena variação estaria associada à presença de placas de material laterítico consolidado que impedem maiores eventos de erosão. No mês de maio, observou-se a presença de uma lâmina de sedimento arenoso depositada no pós-praia, possivelmente ocasionada por uma maior disponibilidade de sedimentos no período de máxima descarga fluvial (Meade et al., 1985) e/ou por transporte eólico, devido à ação de ventos alísios de NE.

Observa-se ainda que as maiores variações topográficas ocorreram no setor de intermarés, onde encontram-se as barras e calhas. As grandes variações seriam o resultado típico da migração das barras, à medida que a energia/altura de ondas e marés variam temporalmente.

No setor de maré baixa se observa na Praia da Princesa um comportamento distinto no período chuvoso (perfis de março e maio) e do período seco (perfis de setembro e dezembro). No período seco se observa uma maior deposição neste setor, enquanto que no período chuvoso o mesmo se encontra mais erodido. Uma possível explicação para isso seja o afloramento do lençol freático neste setor durante o período de chuvas, favorecendo a erosão por água de retorno (backwash) o que não aconteceria no período seco.

5.1.2 Sedimentologia e suas variações espaço-temporais

Através das análises granulométricas, foi feito o cálculo para os parâmetros estatísticos granulométricos, obtendo-se valores de média, seleção e assimetria para a Praia da Princesa (Tabela 4).

Segundo Suguio (1973), os resultados obtidos nas análises granulométricas servem para comparação entre as amostras, para desenvolvimento ou teste de comportamento dos sedimentos durante o transporte e deposição, interpretação das condições de gênese e/ou mapeamento das variações das características

sedimentológicas. O tamanho do grão depende da natureza do material envolvido, do tempo e distância do transporte.

Tabela 4: Parâmetros estatísticos granulométricos para a Praia da Princesa.

Praia da Princesa (Perfil 1)				
14/12/08		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	2,891	0,2368	-0,04954
	Intermaré	2,798	0,2833	-0,1979
	Maré baixa	2,81	0,355	-0,2722
11/03/09		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	2,881	0,2287	-0,02982
	Intermaré	2,841	0,3124	-0,1908
	Maré baixa	2,694	0,4465	-0,3571
22/05/09		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	2,949	0,2023	0,01824
	Intermaré	2,834	0,3212	-0,224
	Maré baixa	2,987	0,3568	-0,2281
22/09/09		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	2,803	0,2692	-0,1337
	Intermaré	2,758	0,3088	-0,2025
	Maré baixa	2,798	0,3307	-0,2073

No setor de maré baixa observa-se o efeito das marés equinociais de sizígia em março, com fortes correntes gerando erosão e aumento relativo de sedimento médio, enquanto que em maio tem-se o deslocamento (enriquecimento) para os finos, por conta da descarga fluvial maior, o que explica a assimetria tornar-se menos negativa de março para maio (Figura 10).

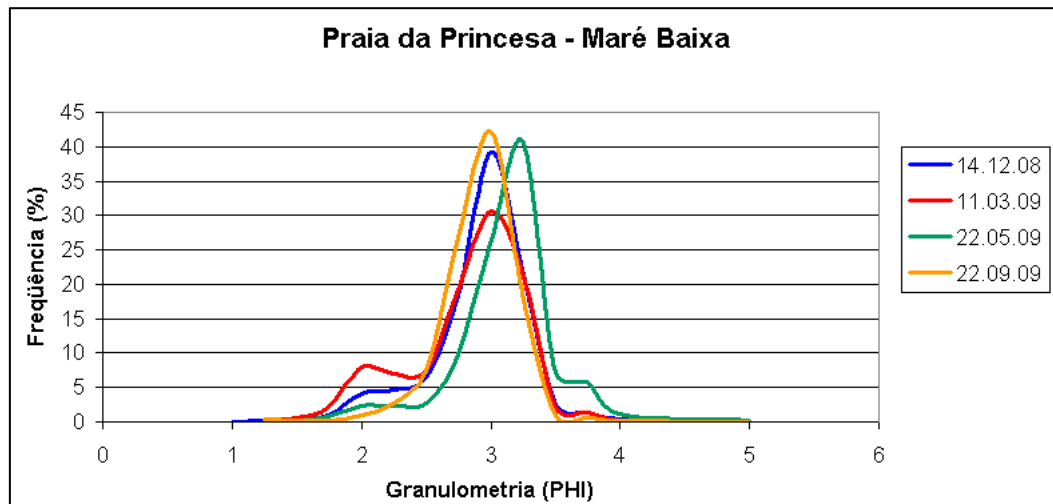


Figura 10: Curva de frequência simples (Praia da Princesa – Maré)

No setor intermaré as variações foram pequenas (Figura 11). Isto deve estar associado ao controle por ondas, já que este setor é a zona de surfe durante a maré alta, independente da época do ano ou se é maré de sizígia ou quadratura, equinocial ou não. As ondas mantêm o sedimento homogêneo ao longo do ano, inclusive impedindo a sedimentação de finos durante o período de maior descarga fluvial.

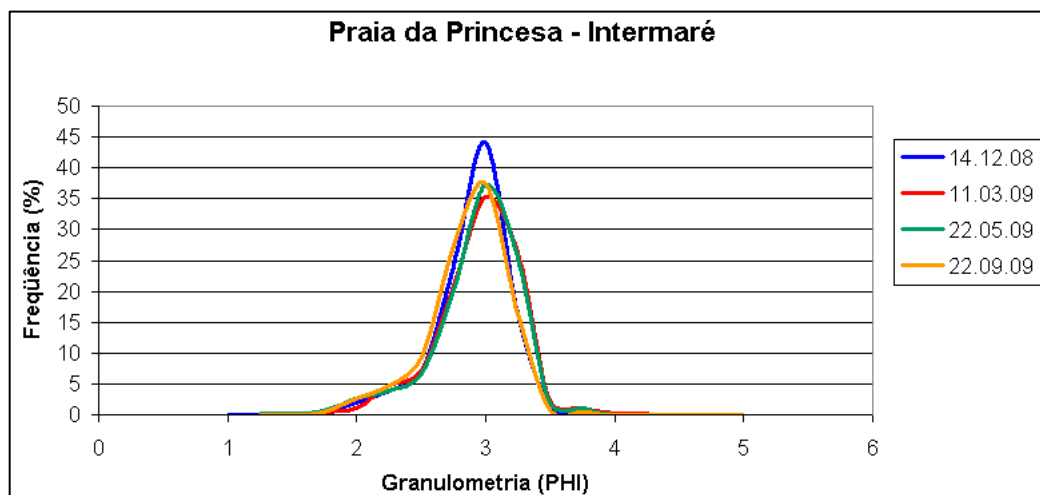


Figura 11: Curva de frequência simples (Praia da Princesa – Intermaré).

O mesmo se aplica ao setor da maré alta. Porém se nota o sedimento levemente mais grosso durante setembro (assimetria muito negativa), atribuído ao efeito de linha de deixa da praia, ou ainda a uma maior erosão dos sedimentos da Formação Barreiras aflorante naquele local, durante os níveis mais altos de marés equinociais em setembro (Figura 12).

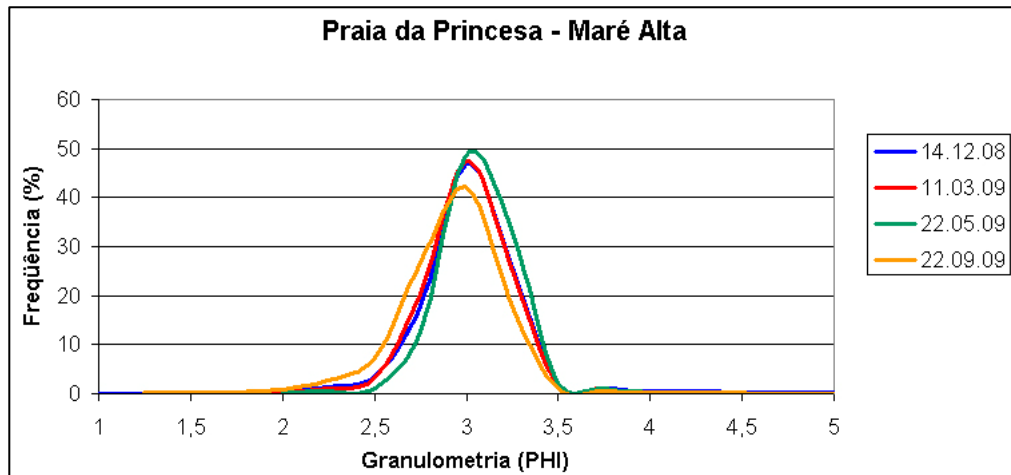


Figura 12: Curva de frequência simples (Praia da Princesa – Maré Alta).

O balanço sedimentar na Praia da Princesa nos meses dezembro08/março09 foi negativo (-76,83 m³/m); em março09/maio09 positivo (15,46 m³/m); em maio09/setembro09 foi de -10,64 m³/m; em setembro09/dezembro09 8,83 m³/m; comparando os meses de dezembro08/dezembro09 -63,18 m³/m. A maior erosão ocorreu em dezembro, com uma pequena variação entre os meses de março e setembro (Figura 13).

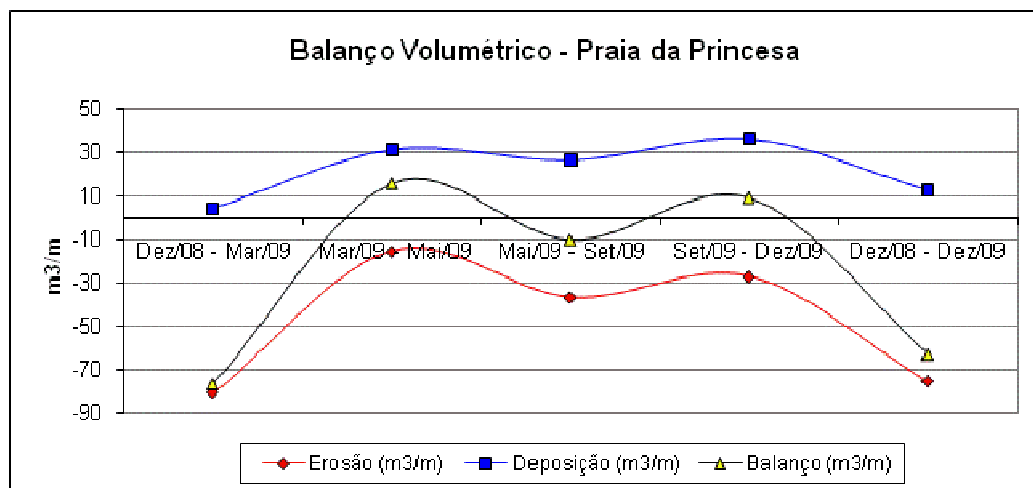


Figura 13: Balanço Volumétrico na Praia da Princesa ao longo do ano.

As marés equinociais em março e setembro determinam os períodos de maior erosão. E a máxima descarga fluvial de maio colabora para a maior deposição (março-maio). Observa-se que a magnitude das mudanças é a mesma ao longo do ano, porém às vezes é mais positiva, e às vezes mais negativa. A grande erosão encontrada quando comparamos dezembro/08 e dezembro/09, pode ser explicada

devido à migração episódica de bancos arenosos na zona de maré baixa e na intermaré, talvez como parte do delta de vazante do furo velho, localizada a oeste da Praia da Princesa. Os valores positivos não mudam a tendência do balanço sedimentar ser negativo, assim se pode afirmar que trata-se de uma praia mais erosiva.

5.2 PRAIA DA CAIXA D'ÁGUA – PERFIL 2

5.2.1 Topografia e variação do perfil praial

O perfil da praia da Caixa D'Água apresenta-se um pouco mais curto que o da Praia da Princesa, estendendo-se em média por 250 m (Figura 14).

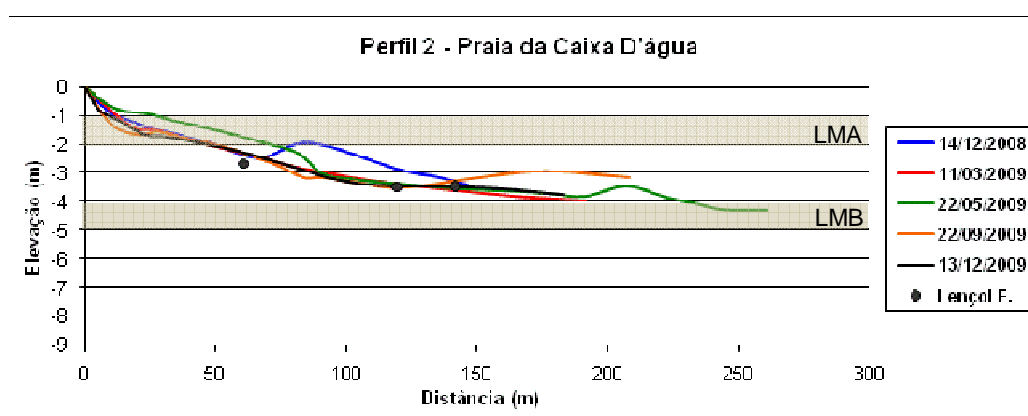


Figura 14: Topografia e variação do perfil praial da Praia da Caixa D'Água.

Diferentemente do trabalho realizado por Barbosa (2007), que classificou a praia da caixa D'Água como do tipo dissipativa, este perfil apresentou características que foram interpretadas como mais reflectivas, com terraço de maré baixa (Figura 14), de acordo com Short (2003), possuindo uma quebra no declive na face íngreme da praia e um terraço plano onde o lençol freático aflora, ocorrendo devido ao intervalo de maré alta que leva a uma exposição do interior da zona litorânea, e quando varrido pelo processo de espraiamento, torna-se um terraço de maré baixa. Na maré baixa, as ondas atravessam o terraço plano, enquanto que na maré alta atravessam a região íngreme na praia de maré alta refletiva, levando a uma variação temporal de maré induzida pela morfodinâmica da praia.

Nota-se também no setor de intermaré (terraço de maré baixa) uma forte variação topográfica, que não pôde ser claramente explicada pelos resultados encontrados e suas interpretações. Supõe-se que estas variações sejam o reflexo da migração episódica de bancos arenosos ou lamosos em combinação com variações de maré.

5.2.2 Sedimentologia e suas variações espaço-temporais

Também foram feitos os cálculos para os parâmetros estatísticos granulométricos para a Praia da Caixa D'Água (Tabela 5). Porém neste caso algumas amostras não puderam ser coletadas devido ao nível da água no momento de coleta.

Tabela 5: Parâmetros estatísticos granulométricos para a Praia da Caixa D'Água.
Praia da Caixa D'Água (Perfil 2)

Praia da Caixa D'Água (Perfil 2)				
14/12/08		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	1,77	0,5362	0,01075
	Intermaré	1,464	1,639	-0,3336
	Maré baixa			
11/03/09		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	0,9778	1,189	-0,4619
	Intermaré	2,722	0,7175	-0,5814
	Maré baixa			
22/05/09		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	1,077	1,113	-0,2667
	Intermaré	3,558	0,3146	-0,1683
	Maré baixa	3,074	0,2876	0,4542
22/09/09		Média	Seleção	Assimetria
	Maré alta	2,736	0,4933	-0,3108
	Intermaré	3,318	0,4838	-0,4925
	Maré baixa	3,105	0,253	0,1415

No setor da maré baixa, tem-se só duas amostras, porém observou-se o efeito do período de máxima descarga fluvial de sedimentos (MEADE et al., 1985) para a região, que ocorre em maio, justificando a assimetria positiva do sedimento (Figura 15). Esta descarga é principalmente de sedimentos finos, por isso o

deslocamento das curvas entre maio e setembro, quando os rios praticamente já não transportam grande quantidade de sedimentos.

No setor intermaré ocorreu uma grande variação na granulometria ao longo do ano (Figura 16), mais pode estar associada à maré e suas variações ao longo do ano (marés equinociais de setembro e março) ou o ciclo de sizígia/quadratura, uma vez que infelizmente as medições foram realizadas em condições diferentes de maré (Tabela 1).

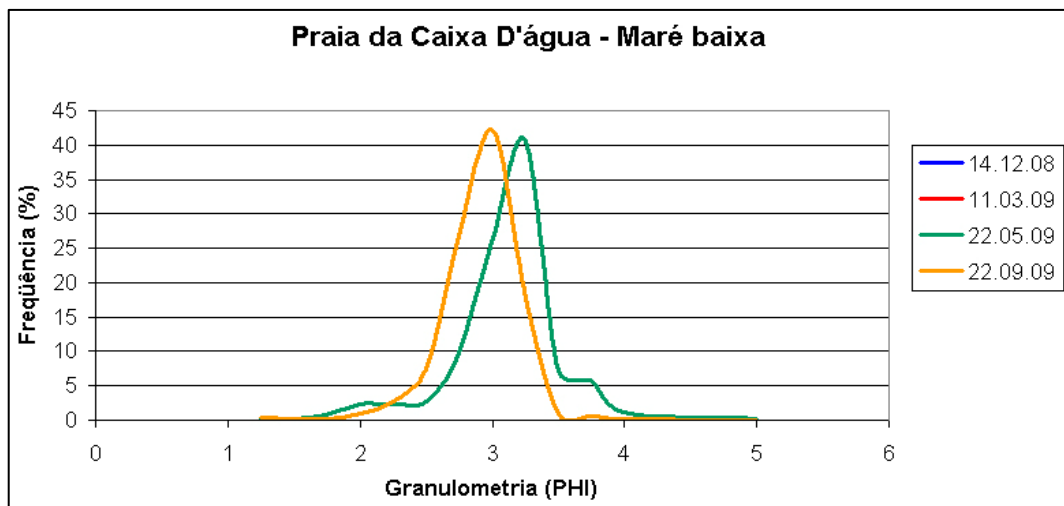


Figura 15: Curva de frequência simples (Praia da Caixa D'Água – Maré baixa).

A exemplo do que se observa em relação à topografia, estas fortes variações sedimentares no setor de intermaré podem estar associadas à migração episódica de bancos arenosos e/ou lamosos ao longo do ano.

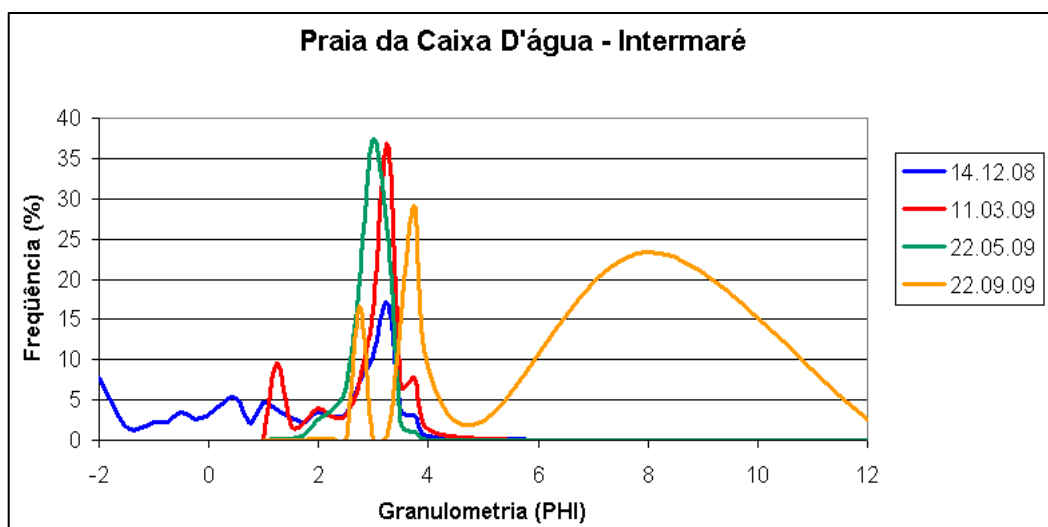


Figura 16: Curva de frequência simples (Praia da Caixa D'Água – Intermaré).

No setor de maré alta, se observa nitidamente um forte aumento de areia fina a muito fina, especialmente em setembro/09, que é um mês de fortes ventos, bem seco e de acordo com a direção principal dos ventos (NE) este transporta areia da ilha para o setor do Perfil 2. Em dezembro/08 também se observa um pouco deste comportamento. Porém ocorrem também grânulos e areia grossa, que são reflexos da morfodinâmica da praia, que foi classificada como reflectiva com terraço de maré baixa, em que as ondas ao atingirem a linha de maré alta, não possuem competência para trabalhar os grãos. A assimetria apresenta-se como muito negativa em março e negativa em maio (Figura 17).

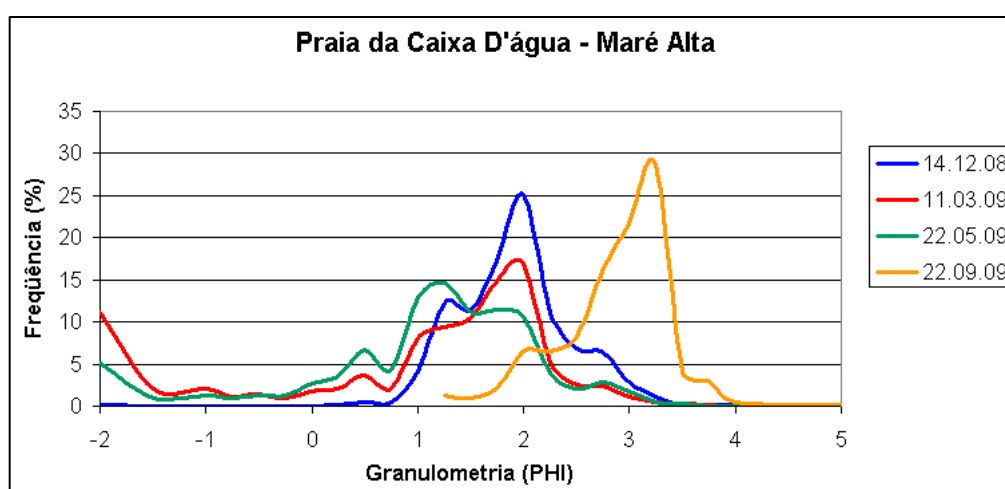


Figura 17: Curva de frequência simples (Praia da Caixa D'Água – Maré Alta).

Os dados de volume para a Praia da Caixa d'Água apresentam-se com características também erosivas, porém em proporções menores das registradas na Praia da Princesa, com uma variação sazonal marcante de erosão, entre dezembro08/março09 (balanço sedimentar negativo, $-47,65 \text{ m}^3/\text{m}$); entre março09/maio09 positivo ($39,96 \text{ m}^3/\text{m}$); maio09/setembro09 com o valor de $-51,61 \text{ m}^3/\text{m}$; setembro09/dezembro09 valor positivo de $4,03 \text{ m}^3/\text{m}$; comparando os meses de dezembro08/dezembro09 houve um balanço negativo de $-55,26 \text{ m}^3/\text{m}$ (Figura 18).

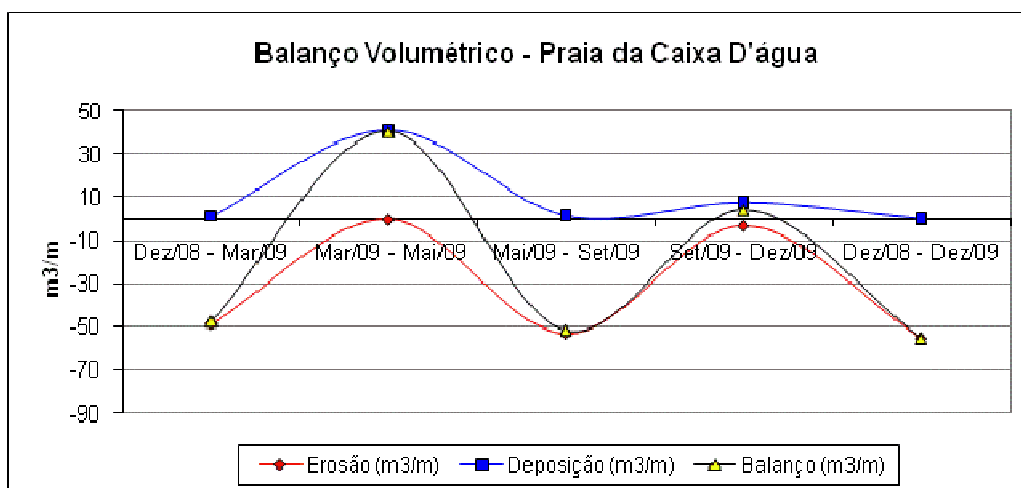


Figura 18: Balanço Volumétrico na Praia da Caixa D'Água ao longo do ano.

A variação de volume observada é bastante interessante, onde nota-se que as marés equinociais de sizígia resultam em períodos de forte erosão, assim como o período de máxima descarga resulta em forte deposição (do mês de março para o mês de maio).

A compartimentação morfológica está ligada a topografia e a granulometria, em função das variações das marés de sizígia e quadratura e da migração diária das diferentes zonas hidrodinâmicas da praia durante um ciclo de maré, os diferentes compartimentos morfológicos são desenvolvidos na praia em decorrência da ação das ondas e dos processos de espraiamento (*"swash"* e *"backwash"*). Tais processos são responsáveis pelo desenvolvimento das rupturas de declive nas linhas de maré alta e baixa de sizígia, e nas linhas de maré alta e baixa de quadratura (BRAGA, 2007).

Já durante o período seco (setembro – dezembro) as variações são mínimas, podendo estar associado ao fato da Praia da Caixa D'Água ser abrigada do ataque frontal das ondas/ventos de NE, com isso, os ventos e ondas fortes de setembro, outubro, novembro e dezembro não resultam necessariamente em grandes variações morfológicas nesta praia.

Em ambas as praias o mês de dezembro de 2009 apresentou uma situação bem mais erodida do que o observado em dezembro de 2008. Esta situação talvez reflita simplesmente variações interanuais ainda não claramente compreendidas, embora a migração episódica de bancos arenosos ou lamosos pudesse explicar tal variação.

5.3 MORFODINÂMICA COMPARADA DAS PRAIAS DA PRINCESA E CAIXA D'ÁGUA

5.3.1 Diferenças e similaridades encontradas

No presente trabalho a Praia da Princesa foi classificada como um sistema dissipativo e a Praia da Caixa d'Água como reflectiva com terraço de maré baixa, suas características morfológicas estão relacionadas com o agente modificador predominante que atua em cada praia, que são os fatores meteo-oceanográficos, assim como a granulometria que a compõe.

Na Praia da Princesa, encontra-se um ambiente de alta energia, sendo as ondas o principal agente que atua nesta praia, resultado dos ventos alísios de NE que atuam com maior intensidade do que na Praia da Caixa D'Água, devido a sua localização (Figura 4). Segundo Silva (2009) as ondas atingem valores superiores a 1,2 m, porém a maré é de grande relevância, classificando o sistema como modificado por maré. A areia fina a muito fina está relacionada à alta energia de onda, além da disponibilidade deste material na plataforma interna da região. Este sedimento arenoso fino muito bem selecionado implica em um gradiente da praia mais suave. O sistema de barras e calhas é o resultado das várias linhas de arrebentação, típicos de praias dissipativas.

Já a Praia da Caixa D'Água é um sistema de baixa energia, com pequenas ondas e baixa intensidade do vento, devido à posição geográfica da praia, que está a leste da Ilha (Figura 4) protegida dos ventos de NE e do ataque frontal das ondas, com isso é um ambiente de deposição de sedimento fino vindo da descarga fluvial do Rio Marapanim, podendo ser considerado uma praia estuarina, em contra partida na linha de maré alta o sedimento apresenta-se mais grosseiro, característico de praias reflectivas, sem trabalhamento por ondas. A única fonte de sedimento eólico na Praia da Caixa D'Água vem transportado da Praia da Princesa onde ocorre a retirada de sedimento das dunas pelos ventos NE atravessando e depositando na Vila de Algodal e na Praia da Caixa D'Água.

5.3.2 Clima e Sazonalidade

Entender os efeitos do clima e sazonalidade são fundamentais para conhecer os processos morfodinâmicos costeiros. As figuras 19 a 23 apresentam os principais dados meteorológicos da região (estação de Salinópolis) nos 10 dias que antecederam cada medição.

As fortes chuvas (maior pluviometria) e ventos fracos de março e maio (respectivamente na Figura 20 e 11) são de fundamental importância para explicar a intensa descarga fluvial vinda do Rio Marapanim e a baixa energia de ondas para a deposição de sedimento na Praia da Caixa D'Água.

Já para a Praia da Princesa, as variações sazonais no regime de ventos e ondas explicam essencialmente a variação sazonal da morfologia da praia, incluindo o deslocamento de barras e calhas ao longo do perfil durante o ano. Os fortes ventos de setembro a dezembro e pluviosidade praticamente nula (Figuras 19, 22 e 23), explicam a deposição eólica que ocorre neste período em ambos os perfis, embora na Praia da Caixa D'água não ocorra variação significativa na altura de ondas.

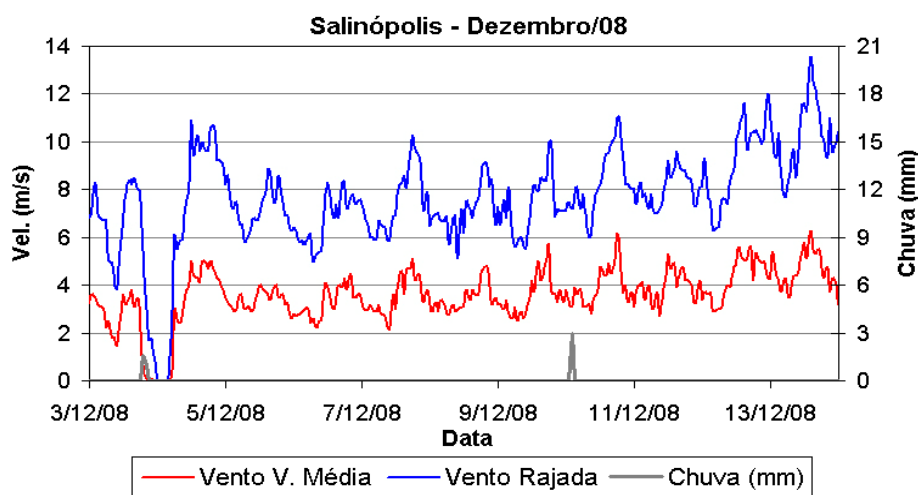


Figura 19: Regime de chuva e vento para dezembro/08

Fonte: INMET (2009).

O regime de chuvas e ventos nos meses de dezembro/08 e dezembro/09 (Figura 19 e 23), não apresentaram uma diferença significativa, o que dificulta identificar qual fator provocou a formação de um banco arenoso em dezembro/08,

mas provavelmente ocorreu a deposição pela ação da maré, de maneira episódica, não havendo repetição com uma frequência clara.

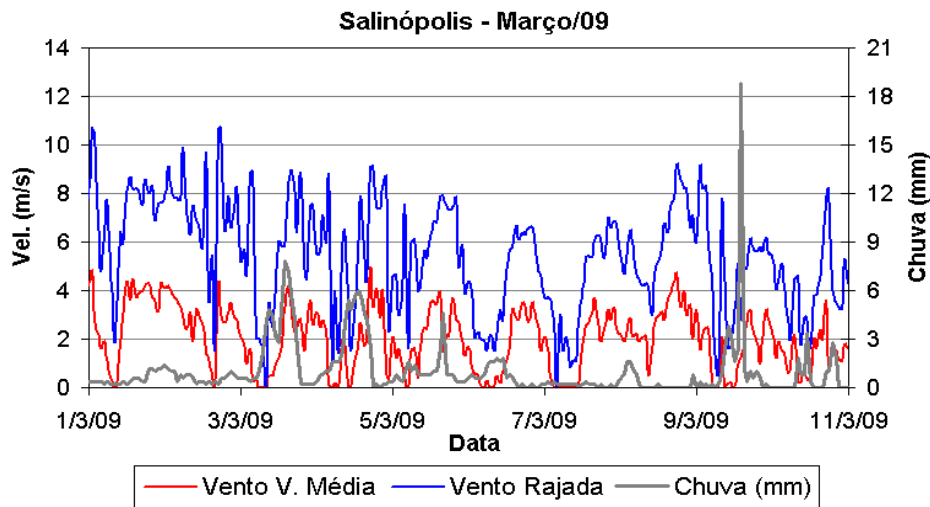


Figura 20: Regime de chuva e vento para março/09

Fonte : INMET (2009).

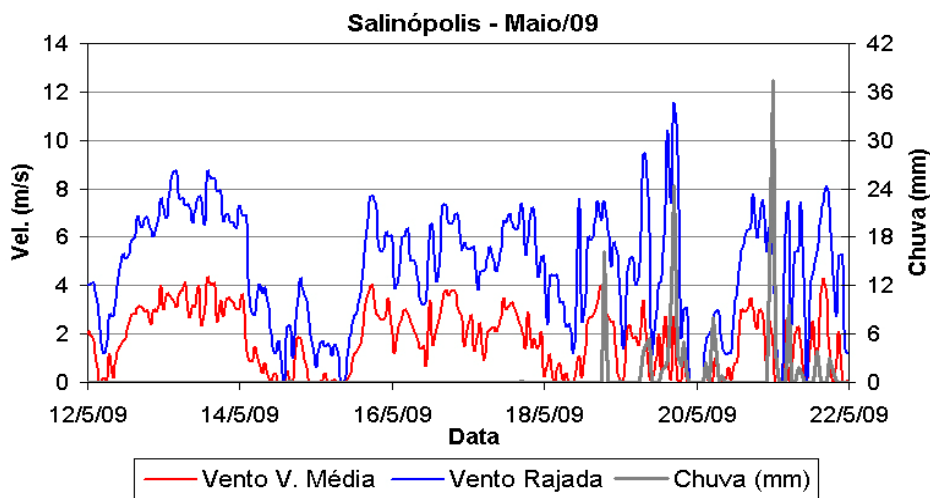


Figura 21: Regime de chuva e vento para maio/09

Fonte: INMET (2009).

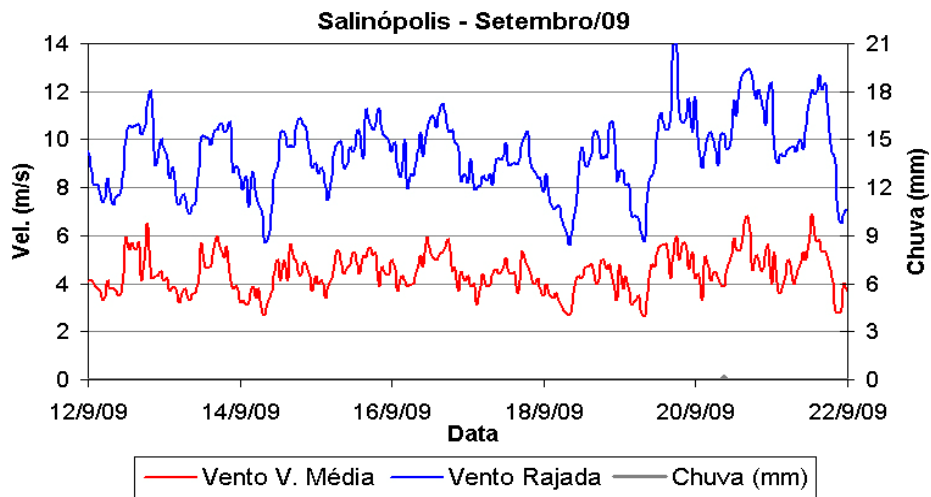


Figura 22: Regime de chuva e vento para setembro/09

Fonte: INMET (2009).

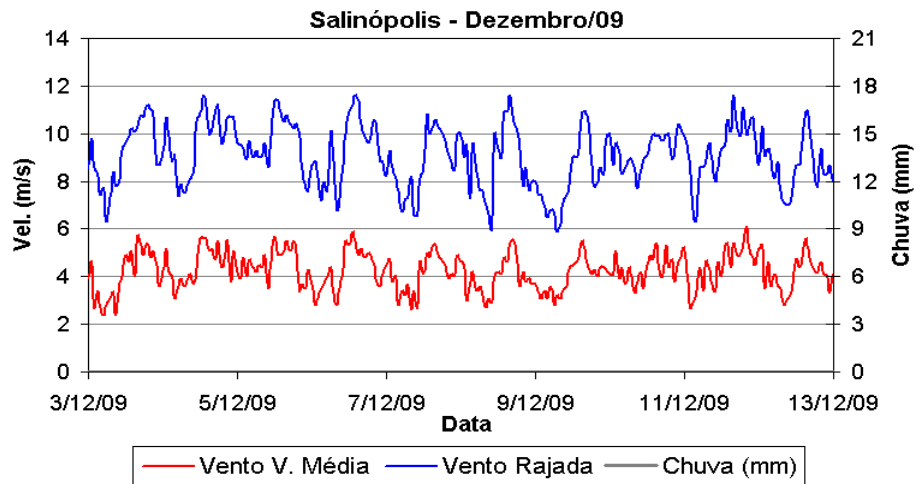


Figura 23: Regime de chuva e vento para dezembro/09

Fonte: INMET (2009).

6 CONCLUSÕES

- A incidência de ventos e ondas, assim como o regime de marés, nos sistemas praias da Ilha de Algodual definem o padrão morfológico destas.
- A Praia da Princesa foi classificada segundo sua morfologia e dinâmica, como uma praia de sistema dissipativo, e a praia da Caixa D'Água um sistema reflectivo com terraço de maré baixa.
- A Praia da Caixa d'Água tem grande influência sedimentar fluvial, vinda do Rio Marapanim, que se deposita podendo ser classificada como uma praia estuarina.
- As análises dos parâmetros estatísticos e dos histogramas granulométricos caracterizam a Praia da Caixa D'Água como um sistema deposicional de sedimento fino no período seco, mesmo que nesse período ocorram fortes ventos, essa praia é abrigada da ação direta dos ventos e ondas.
- O mês de dezembro/09 apresentou-se bastante diferenciado do perfil de dezembro/2008, com características erosivas em ambas as praias. Causas desta variação não puderam ser explicadas claramente pelos resultados.
- Através das análises do balanço sedimentar, notou-se que a Praia da Princesa possui características mais erosionais, porém com uma lenta recuperação durante o ano.
- A Praia da Caixa D'água apresentou um comportamento sazonal bem marcado, onde o início do período de chuvas implica em erosão praial, enquanto que ao final do período de chuvas ocorre deposição. No período seco (setembro a dezembro), praticamente não ocorreram modificações de volume.
- Os resultados demonstraram claramente a diferença do grau de exposição das duas praias, onde a Praia da Princesa é controlada principalmente por ondas e suas variações, podendo ser definida como uma praia oceânica, influenciada pela maré, enquanto que a Praia da Caixa D'água é fortemente influenciada pela descarga fluvial, sendo uma praia estuarina.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, V.M.; et al. Dinâmica morfológica de duas praias Amazônicas (Ilha de Algodão - Maiandeuá, Maracanã - PA). In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR - COLACMAR, 12., 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: AOCEANO, 2007. 1 CD-ROM.

BERMEGUY, R. L., COSTA, J. B. S.. Considerações sobre o sistema de drenagem da Amazônia e sua relação com o arcabouço tectono-estrutural. **Boletim Paraense Emílio Goeldi**. Série Ciências da Terra, n. 3, p.75-97. 1991.

BITTENCOURT, A. C. P.. A questão da predominância ou não de valores negativos de assimetria das distribuições granulométricas para os depósitos de face da praia: uma polêmica revisada. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 1, p. 107-111.1992.

BITTENCOURT, A. C. P.; BOAS G. S. V.; 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.

BITTENCOURT, A. C. P; DOMINGUES J. M. L.; MOITA O. Variações texturais indizadas pelo vento nos sedimentos da face da praia (praia de Atalaia – Piauí). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 101-107.1990a.

BITTENCOURT, A. C. P.; FARIAS F.F.; VILAS BOAS G. S. Influência da deriva litorânea no desenvolvimento do esporão de Caixa-Pregos (Baía de Todos os Santos/BA). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 197-200. 1990b.

BITTENCOURT, A. C. P.; FARIAS F.F.; ZANINI Jr. A. Reflexos das variações morfodinâmicas praias nas características texturais dos sedimentos da praia de Armação, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 276-282. 1987.

BIRKEMEIER, W.A. Fast accurate two-person Beach Survey. Mississippi, Coastal Engineering Research Center - CERC. U.U Army, Corps of Engineers. **Coastal Engineering Technical Aid**, n 91, p. 11-19. 1981.

BRAGA, F. P. S. **Morfologia e sedimentologia da Praia de Macromaré de Ajuruteua, Pará**: um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. 2007. 118f. Tese (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade federal do Pará, Belém, 2007;

CAMARGO, M. G. **Software para análise granulométrica SysGran**, versão 2.4, Curitiba, UFPR. Disponível em: <www.cem.ufpr.br/sysgran> Acesso em: 15 de julho de 2009; 1999;

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA NACIONAL - DHN. **Tábuas de maré para o fundeadouro de Salinópolis (Estado do Pará)**. 2009. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas>. Acessado em : 22 de agosto de 2009;

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN). **Hidrografia do Amazonas e seus afluentes**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1936. v.1, 360p.

FARIAS, F. F. et al. Variações temporais e espaciais na dinâmica de sedimentação da praia de Armação, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, p. 48-54.1985.

FOLK, R. L. e WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n.1. p. 3-26. 1957.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET **Parâmetros meteorológicos do Estado do Pará**: Estação Tracuateua. Disponível em: <http://reia.inmet.gov.br/climatologia/ger_mapa11.php>. Acesso em: 04 nov. 2009;

KRUMBEIN, W. C. Size frequency distribution of sediments. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 4, p. 65-77. 1934.

LAPORTE, L. F. (Ed.). **Ambientes antigos de sedimentação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1969. 145p.

LINDHOLM, R.C. **A Practical approach to sedimentology**. Londres, UK: Allen & Unwin, 1987. 276 p,

MARTORANO, L.G. et al. **Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thorntwhite, Mather)**. Belém: SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 1993. 53p.

MASCARENHAS, A. L. S. **Análise geoambiental da Ilha de Algodual-Maiandeuá/PA**. 2006. 133f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-Ceará, 2006.

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

MEADE, R. H. et al. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. **Science**, v. 228, p. 488-490. 1985.

PEDREROS, R. ; HOWA, H. ; MICHEL, D. Application of grain-size-trend analysis for the determination of sediment transport pathway in intertidal areas. **Marine Geology**, v.135, p. 35-49. 1996.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARACANÃ, In: ISTO é Amazônia. Disponível em: <http://www.istoamazonia.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=110> Acesso em: 17 de dezembro de 2009.

PYE, K. Properties of sediment particles. In: PYE, K. (Ed.) **Sediment transport and Depositional Processes**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1994. p. 1-24.

ROSSETTI, D. F. Ambientes costeiros. In: _____; FLORENZANO, T. G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANTOS, V. F. dos. **Estratigrafia Holocênica morfodinâmica atual da Planície Costeira da Ilha de Algodual e Marudá**. 1996. 139f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade federal do Pará, Belém, 1996.

SHORT, A. D. Australia Beach Systems – The Morphodynamics of Wave Through Tide-Dominated Beach-Dune Systems. **Journal of Coastal Research**, SI 35 p.07-20. 2003.

SHORT, A. D.; WRIGHT, L.D. Beach systems of the Sydney region. **Australian Geographer**. V. 15: p. 8-16. 1981.

SILVA, C. A. **Morfologia e análise de sucessão deposicional do Vale Inciso Quaternário de Marapanim, Norte do Brasil**. 2009. 157f. Dissertação (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade federal do Pará, Belém, 2009.

SILVA, C. G; et al. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa. In: ANTONIO NETO, J.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. B. (Orgs.). **Introdução à Geologia Marinha**.. Editora Interciência, Rio de Janeiro, RJ, p. 175-218, 2004.

SILVA, M.G.L. **Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da Praia do Pescador. Bragança (norte do Brasil)**. 2001. 113f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

SILVA, N. I. S. da. **Condições ambientais de uma praia arenosa de macromaré no litoral amazônico brasileiro (Praia da Princesa-PA)**. 2009, 34f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas). Universidade Federal do Pará, Instituto de Estudos Costeiros, Bragança, 2009.

SOARES, C.R.; BORZONE, C.A., SOUZA, J.R.B. Variação morfológica e sedimentológica ao longo de um ciclo anual numa praia arenosa no sul do Brasil. **Oecologia Brasiliensis**, v.3. p.245-258. 1997.

SOUZA FILHO, P. W. M.; PARADELLA, W. R. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and Radarsat-1 data. **Wetlands Ecology and Management**. v. 10. p. 123-132. 2002.

SOUZA FILHO, P. W. M.; PARADELLA, W. R. Use of synthetic aperture radar for recognition of Coastal Geomorphological features, land-use assessment and shoreline changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.75, p.341-356. 2003;

SOUZA FILHO, P. W. M. **A Planície Costeira Bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia costeira durante o Holoceno**. 1995. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, da Universidade de São Paulo, 1973.

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

WRIGHT, L. D. et al. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems, Southeastern Australian. **Australian Geographer**, v. 32, n. 105-140. 1979.

WRIGHT L. D.; SHORT, S. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118. 1984.