

## ESTUDO MORFODINÂMICO DURANTE UMA MARÉ EQUINOCCIAL DE SIZÍGIA NA PRAIA DE AJURUTEUA-PA (BRASIL)

Vitalina Magalhães Barbosa<sup>1\*</sup>; Lucilene de Araujo Albuquerque<sup>1\*</sup>; Aderson Manoel da Silva Gregório<sup>1\*</sup>; Débora Vieira Busman<sup>1\*</sup>; Igor Augusto Melém Carneiro<sup>1\*</sup>; Milton Gonçalves da Silva Júnior<sup>2\*</sup>; Daniela dos Santos Santana<sup>2\*</sup>; Luci Cajueiro Carneiro Pereira<sup>3\*</sup>; Rauquirio André Albuquerque Marinho da Costa<sup>4\*</sup>.

<sup>1</sup> *Estudantes de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Pará. E-mail: vitalinab@bol.com.br*

<sup>2</sup> *Estudantes de Pós-Graduação em Ecologia de Ecossistemas Costeiros e Estuarinos da Universidade Federal do Pará. E-mail: danialguinha@yahoo.com.br*

<sup>3</sup> *Ph.D. em Ciencias del Mar, Área de Oceanografía Física do Programa de Post-Grado en Ciencias del Mar. E-mail: cajueiro@ufpa.br*

<sup>4</sup> *Ph.D. em Ciencias del Mar, Área de Oceanografía Biológica do Programa de Post-Grado en Ciencias del Mar. E-mail: raucosta@ufpa.br*

\* *Laboratório de Biologia Pesqueira e Manejo de Recursos Aquáticos, Campus Universitário de Bragança, Alameda Leandro Ribeiro, s/n, Bragança, Pará, Brasil. CEP: 68600-000.*

### RESUMO

Estudos morfodinâmicos foram realizados na praia de Ajuruteua durante um período de maré equinocial de sizígia (16 a 23 de março de 2003) de modo a caracterizar parâmetros tais como: altura da onda ( $H_b$ ), período (T), ângulo de incidência ( $\alpha_b$ ), declividade do perfil (m), surf scaling parameter ( $\epsilon$ ), coeficiente de rebentação ( $\beta$ ) e variação da escarpa. As análises destes parâmetros demonstraram que a área em estudo é, em sua maioria, morfodinamicamente muito dissipativa, do tipo deslizante, com ampla zona de rebentação onde as ondas rebentam a uma considerável distância da praia.

### ABSTRACT

Morphodynamic studies were carried out in Ajuruteua beach during a equinoctial spring tide event (from 16 to 23 of March, 2003) to characterize parameters such as wave height ( $H_b$ ), wave period (T), wave incidence angle ( $\alpha_b$ ), profile declivity (m), surf scaling parameter ( $\epsilon$ ), breaking coefficient ( $\beta$ ) and beach scarp variations. The analysis of these parameters showed that the studied area is, in its majority, very dissipative, spilling type with a broad breaker zone where the waves use to break far from the coastline.

Palavras-Chave: estado morfodinâmico, macromaré, maré equinocial.

### 1. INTRODUÇÃO

As praias, mesmo representando uma estreita faixa da zona costeira, desempenham importante papel na proteção da costa contra a ação energética das ondas (Serafim et al., 2001). As praias arenosas são formadas por uma acumulação costeira de sedimentos inconsolidados de diversos tamanhos, facilmente deformável por processos oceanográficos e meteorológicos (Hoefel, 1998).

Nestes ambientes, o regime das ondas é o maior responsável pelas variações temporais da zona de rebentação, enquanto que as variações espaciais são uma consequência da interação das ondas com a topografia e com o tipo de sedimento. Por outro lado, os agentes físicos ampliam ou minimizam a exposição e a orientação da linha de costa e os processos harmônicos produzidos pela ação das marés são condicionantes dos processos erosivo-depositivos atuantes no sistema (Tozzi e Calliari, 2000).

A interação entre a energia proveniente desses agentes oceanográficos com o material formador das praias determinam as características morfodinâmicas de um sistema praias. Do lado oceânico, os processos que determinam estas características começam a operar a distâncias consideráveis, sendo mais efetivos na zona de rebentação, onde as ondas dissipam sua energia e modificam a morfologia da praia através de processos erosivos e/ou acreção (Calliari e Klein, 1993). O estado

morfodinâmico praias depende de uma série de fatores interdependentes que condicionam o “equilíbrio morfológico-dinâmico” do sistema (Weschenfelder e Zouain, 2002).

No Brasil, as praias de macromarés ocorrem apenas na região NE do Pará ( $\cong$  6 m de amplitude) e NW do Maranhão ( $\cong$  8 m) (Davies, 1964 apud Alves, 2001).

Na região do estado do Pará, a condição de macromaré é um fator bastante importante para as variações morfológicas, relativamente rápidas, das praias (Silva, 2001). Deste modo, é esperado que em ambientes de macromaré a hidrodinâmica e a mobilidade da praia sejam alteradas com a variação da maré (Wright, et al. 1982).

As principais correntes que atuam no litoral paraense são as correntes de maré, seguida das correntes litorâneas, resultantes da chegada das ondas à costa, que são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral (Alves, 2001).

A praia de Ajuruteua, localizada na faixa costeira do município de Bragança, na região NE do Estado do Pará, do ponto de vista morfológico, mostra que após um determinado evento de alta energia, na busca de um perfil de equilíbrio, este ambiente se altera, segundo uma seqüência temporal regular e previsível (Alves, 2001).

O objetivo deste trabalho foi determinar as variações morfológicas de uma praia arenosa de macromaré (região amazônica) durante um período de maré equinocial de sizígia.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A Planície Costeira Bragantina, situada na Costa Atlântica do Salgado Paraense, estende-se da Ponta do Maiaú até a Baía do Caeté (00°30'-01°S / 46°35'-46°54'W) e é caracterizada por ser uma zona de alta energia.

O acesso à área de estudo é realizado através da estrada Bragança - Ajuruteua (PA-458) ou por via marítima.

Esta praia apresenta um traçado retilíneo, orientado segundo a direção NW-SE, apresentando suas extremidades encurvadas. É caracterizada como uma extensa área plana de, aproximadamente, 2,5 km de extensão e 400 m de largura, desde a base das dunas frontais até a linha de maré baixa de sizígia, com suave inclinação ao mar, e classificada como uma “*barrier-beach ridge*”, onde ocorrem recentes eventos na evolução da Planície Costeira Bragantina (Souza Filho e El-Robrini, 1997). Nesta área se verifica a ocorrência de macromarés semidiurnas, com amplitude média de 4,8 (D.H.N., 2003). A intensidade das correntes de marés na região atinge o máximo de 4,9 nós na maré de sizígia e o mínimo de 0,4 nós na maré de quadratura (D.H.N., 1981 *apud* Souza Filho, 1995).

A praia de Ajuruteua é formada por cordões arenosos, onde localmente observam-se ocorrências de “*placers*” de minerais pesados, ao longo da linha de maré alta e na base das dunas frontais. É regularmente inundada pela maré semi-diurna, e suas ondas sempre quebram distantes da praia, com duas linhas de rebentação, dissipando sua energia, o que lhes confere características construtivas (Alves, 2001).

Esta migra juntamente com as dunas, em direção ao continente, sobre os depósitos prográdantes de manguezais de intermaré, constituindo uma praia arenosa de costa transgressiva (Souza Filho, 2001)

## 3. METODOLOGIA

O monitoramento diário das características das ondas, declividade e variação da escarpa foi realizado durante os dias 16 a 23/03/03. Os mesmos foram estrategicamente localizados em zonas de alta (P8 a P10), moderada (P4, P5, P6 e P7) e baixa (P1, P2 e P3) ação erosiva (tabela 1). O monitoramento da declividade foi realizado nos pontos P1, P7 e P10 através de nivelamentos topográficos e do método de “*stadia*”, idealizado por Birkemeir (1981). Para tal, utilizou-se um nível topográfico, uma mira graduada escalonável de 4 m e um tripé. As medidas foram realizadas do zero relativo, como nível de referência (E0), a partir do qual foram realizadas leituras sucessivas desde o campo de dunas até, aproximadamente, a profundidade de 1,0 m de da linha de maré baixa de sizígia.

As medidas da escarpa foram realizadas com o auxílio de uma trena, a partir do E0 (tabela 1).

Uma régua graduada foi utilizada para determinar a altura da onda na zona de rebentação no P10 (tabela 1). Um cronômetro foi utilizado para determinar o período e uma bússola para definir o ângulo de rebentação.

Para determinar o parâmetro “*surf scaling parameter*” foi utilizado o método de Guza e Inman (1975) e Wright e Short (1984).

$$C = a_b w^2 / (g T^2 m)$$

onde,

$a_b$  é a amplitude da onda de rebentação;  $w$  frequência angular da onda incidente ( $2\pi/T$ ;  $T$  = período);  $g$  aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )  $\mathbf{tg}$  e  $\mathbf{m}$  correspondem à tangente da declividade do perfil praiial.

sendo,

$\Rightarrow C < 1,0$  = completa condição reflectiva;

$\Rightarrow C \leq 2,0 - 2,5$  = continuidade de forte condição reflectiva, com rebentação tipo ascendente;

$\Rightarrow C > 2,5$  = condição dissipativa, com rebentação tipo mergulhante;

$\Rightarrow C > 20$  = forte condição dissipativa, com zona de rebentação mais extensa e turbulenta - rebentação tipo deslizante.

Tabela 1: Pontos de coleta e parâmetros medidos neste estudo.

PONTOS DE COLETA	PARÂMETRO MEDIDO	ZONAS
P1	Escarpa, correntes e declividade	Pouco erosiva
P2	Escarpa	Pouco erosiva
P3	Escarpa	Pouco erosiva
P4	Escarpa	Moderadamente erosiva
P5	Escarpa	Moderadamente erosiva
P6	Escarpa e correntes	Moderadamente erosiva
P7	Escarpa, correntes e declividade	Moderadamente erosiva
P8	Escarpa	Moderadamente erosiva
P9	Escarpa, corrente	Altamente erosiva
P10	Escarpa, correntes, declividade e ondas	Altamente erosiva

O coeficiente de rebentação foi calculado, através da fórmula proposta por Galvin (1968) (tabela 2).

$$\beta = H_b / g m T^2$$

onde,

$\beta$  é o coeficiente de rebentação;  $H_b$ , altura da onda na rebentação;  $g$  aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ );  $m$  tangente da declividade do perfil praiar;  $T$  = período da onda (s).

sendo,

- $\Rightarrow \beta < 0,068$  = rebentação tipo deslizante;
- $\Rightarrow \beta 0,068 - 0,09$  = rebentação tipo mergulhante;
- $\Rightarrow \beta > 0,09$  = rebentação tipo frontal - ascendente.

As correntes superficiais foram medidas em três pontos (tabela 1) durante as marés enchente e vazante, entre os dias 20 e 22/03. Estes registros foram obtidos por um correntômetro (Sensordata - SD30).

#### 4. RESULTADOS

A declividade da praia de Ajuruteua, durante os sete dias de monitoramento, apresentou valores de  $\epsilon$  superiores a 20 indicando, que o estado morfodinâmico está classificado como muito dissipativo.

Entre os perfis estudados, o P1 foi o que apresentou características mais dissipativas, com o valor máximo ( $\epsilon = 44,77$ ), registrado no dia 22/03/03.

Os perfis P7 e o P10 também apresentaram estado muito dissipativo, variando de 24,53 a 30,77 e de 26,10 a 32,21, respectivamente.

No perfil P7, a praia apresentou características mais dissipativas no dia 17/03 ( $\epsilon = 30,77$ ), enquanto que no P10 a condição dissipativa mais acentuada foi registrada no dia 18/03 ( $\epsilon = 32,21$ ).

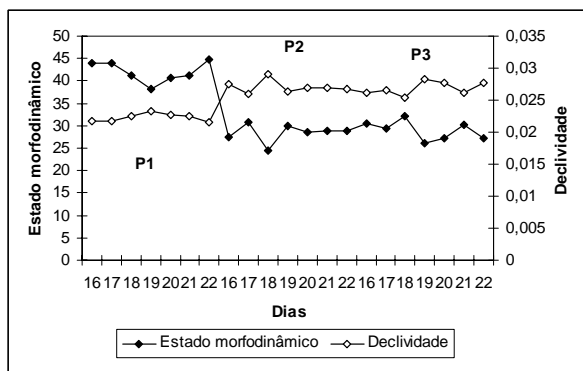


Figura 1: Relação entre a Declividade (m) e o Estado morfodinâmico ( $\epsilon$ ) da praia de Ajuruteua, no período estudado.

Em relação ao coeficiente de rebentação, a onda que predomina é do tipo deslizante, visto que seus valores foram menores que 0,068. A figura 2 demonstra que a relação  $\epsilon$  e o  $\beta$  é diretamente proporcional.

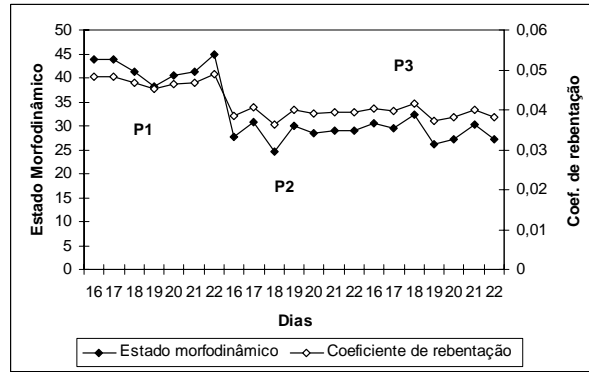


Figura 2: Relação entre Estado morfodinâmico e o Coeficiente de rebentação da praia de Ajuruteua.

Os valores de variação de escarpa (figura 3) foram maiores no P9 (5,82 m), resultado dos intensos processos erosivos observados, principalmente, durante este período do ano. Ao contrário, no P1 foram registradas as menores variações, 0,6 m (zona menos erosiva).

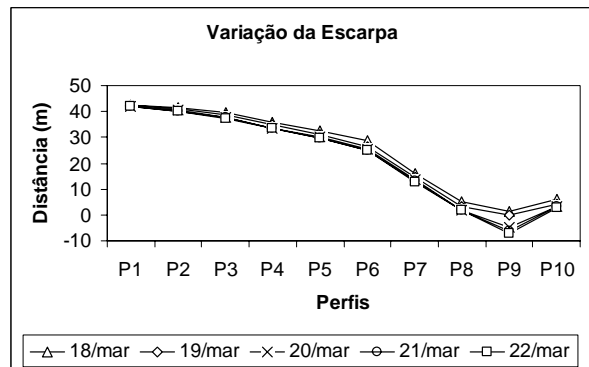


Figura 3: Variação da escarpa, na praia de Ajuruteua durante uma maré equinocial de sizígia.

As intensidades das correntes na praia de Ajuruteua alcançou valores máximos na enchente ( $8,8 \text{ m.s}^{-2}$ ) do dia 20/03/03 (P6) e na vazante ( $8,4 \text{ m.s}^{-2}$ ) do dia 21/03/03 (P10). Por outro lado, os valores mínimos obtidos na enchente foi de  $1,8 \text{ m.s}^{-2}$  no dia 21/03/03 (P 10) e na vazante ( $1 \text{ m.s}^{-2}$ ) nos dias 20/03/03 (P 7) e 22/03/03 (P1,P6, P7 e P9) (ver figura 4).

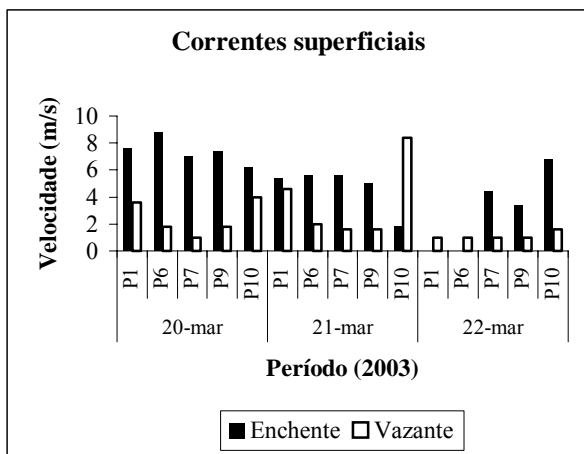


Figura 4: Velocidade das correntes superficiais (m/s) nos perfis estudados, na enchente e na vazante.

## 5. DISCUSSÃO

A escassez de registros sobre os parâmetros físicos oceanográficos, principalmente sobre o regime de ondas, é um fator limitante na caracterização plena do regime hidrodinâmico atuante na região costeira da praia de Ajuruteua. O que dificulta, ou mesmo, impossibilita uma análise quantitativa mais precisa sobre os mesmos. De acordo com os dados obtidos, a praia de Ajuruteua foi classificada como muito dissipativa e resultados similares foram encontrados por Alves (2001), quando monitorou a praia de Ajuruteua, durante um período de chuva (05 e 06/06/200).

Tomazelli e Villwoch (1992) também encontraram resultados similares e afirmam que as praias do litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul são dissipativas após um evento de tempestade, quando os sedimentos são removidos da praia estirâncio e pós-praia, e redepositados como barras na antepraia.

Em relação ao coeficiente de rebentação, as ondas são do tipo deslizante visto que todos os valores registrados foram inferiores a 0,068, fato comprovado pelo estado morfodinâmico  $\epsilon > 20$  que afirma que a condição de dissipativa tem o tipo  $\beta$  como deslizante. Nestas condições as ondas quebram a uma determinada distância da costa, com a crista definida através de uma linha de espuma, a qual se torna maior a medida que se aproxima da praia (Toldo et al. 1993).

Durante período de maré equinocial de sizígia, as mudanças morfológicas que fazem parte da dinâmica da linha de costa podem ser relacionadas a vários fatores, entretanto o recuo costeiro está relacionado, principalmente, a perda de sedimentos superficiais, decorrentes da ação das ondas (Silva, 2001).

A presença de escarpas é indicativa de processo erosivo. As zonas de maior variação estão localizadas nas regiões mais erodidas do trecho estudado.

As maiores intensidades das correntes foram registradas, principalmente, nas zonas de alta energia (de moderada a alta ação erosiva). Todavia, a falta de dados a respeito deste parâmetro tornou difícil uma melhor discussão.

## 6. CONCLUSÃO

De acordo com os parâmetros morfodinâmicos, a praia de Ajuruteua apresenta característica completamente dissipativa, de baixo gradiente topográfico, ampla zona de rebentação e ondas do tipo deslizante que dissipam a maior parte de sua energia antes de atingirem as dunas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, M. A. M. S. (2001). Morfodinâmica e Sedimentologia da Praia de Ajuruteua – NE do Pará. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. *Dissertação de Mestrado*.
- Birkemeir, W.A. (1981). Fast, Accurate Two-Person Beach Survey. Mississippi, Coastal Engineering Research Center – CERC. U.U Army, Corps of Engineers. *Coastal Engineering Technical Aid No. 91 – 11. 19 p.*
- Calliari, L. J.; Klein, A. H. da F. (1993). Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, 20 (1): 48-56p.
- D.H.N (2003). Tabua das marés para 2003. Fundeadouro de Salinópolis (Estado do Pará). Disponível em: <http://www.mar.mil.br/~dhn/tabuas>. Acessado em: 10/03/03.
- Galvin, C. J. (1968). Breaker type classification on three laboratory beaches, *Journal of Geophysical Research*, 73: 3651-3659.
- Guza, R.T.; Inman, D.L. (1975). Edge waves and beach cusps, *Journal of Geophysical Research*, 80 (21): 2997-3012.
- Hoefel, F. G. (1998). Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: Uma Revisão Bibliográfica. Itajaí: Editora da UNIVALI. 91p.
- Serafim, J. G.; Klein, A. H. da F.; Menezes, J. T. (2001). Aspectos Morfodinâmicos das praias de Santa Catarina - Resultados Preliminares. XLI Congresso Brasileiro de Geologia/Núcleo Nordeste.
- Silva, M. G. L. (2001). Avaliação multitemporal da dinâmica costeira da praia do pescador. Bragança (Norte do Brasil). Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. *Dissertação de Mestrado*.
- Souza Filho; El-Robrini (1997). A Morfologia, Processos de Sedimentação e Litofácies dos Ambientes Morfosedimentares da Planície Costeira Bragantina – Nordeste do Estado do Pará (Brasil). *Geonomos*, 4 (2): 1-16.
- Souza Filho, P. M. W. (1995). A Planície Costeira Bragantina (NE do Pará): influência das variações do nível do mar na morfoestratigrafia Costeira durante o Holoceno. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. *Dissertação de Mestrado*.
- Souza Filho, P. W. M. (2001). Análises Multitemporais Multisensores (TM Landsat e Radarsat) da Dinâmica de Ambientes costeiros dominados por macromaré na Planície Costeira Bragantina –Pará. Belém: Universidade federal do Pará. Centro de Geociências. *Dissertação de Doutorado*. CD-ROM.
- Toldo Jr, E. E.; Dillenburg, S. R.; Almeida, L. E. S. B.; Tabajara, L. L.; Martins, R. R.; Cunha, L. O. B. P. (1993). Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. *Pesquisas*, 20 (1): 27-32.
- Tomazelli, L. J.; Villwock, J. A. (1992). Considerações sobre o Ambiente Praia e a Deriva Litorânea de

- Sedimentos ao longo do litoral Norte do Rio grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 19 (1): 3-12 p.
- Tozzi, H. A. M.; Calliari, L. J. (2000). Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS. *Pesquisa em Geociências*, 27 (1): 29-42p.
- Weschenfelder, J.; Zouain, R. N. A. (2002). Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 29 (1): 3-13p.
- Wright, L. D.; Short, A. D. 1984. Morphodynamics variability of surf zones and beach: a synthesis. *Marine Geology*, 50: 97-128p.
- Wright, L. D.; Nielsen, P.; Short, A. D.; Green, M. O. 1982. Morphodynamics of a macrotidal beach. *Marine Geology*, 50: 97-128p.