

Morfodinâmica de praias dominadas por mesomares na Planície Arenosa de Almofala, NW do Ceará (Brasil)

Ponciana Freire de AGUIAR¹, Maamar EL-ROBRINI¹, George Satander Sá FREIRE² & Rodrigo Guimarães de CARVALHO³

1 Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros, Universidade Federal do Pará. Cidade Universitária Prof. José da Silveira Neto, Av. Augusto Correa, 1, CEP 66075-111, Belém, Pará, Brasil. E-mails: poncianafreire@gmail.com, robrini@ufpa.br.

2 Grupo de Estudos em Geologia Marinha e Aplicada, Universidade Federal do Ceará. Campus do PICI. Caixa Postal 6011, CEP 60451-970, Fortaleza, CE, Brasil. E-mail: freire@ufc.br.

3 Grupo de Estudos em Gestão Ambiental, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte. BR 110, km 48, Rua Prof. Antonio Campos, CEP 59610-090, RN, Brasil. E-mail: rodrigocarvalho@uern.br.

Recebido em 10/2012. Aceito para publicação em 02/2013.

Versão online publicada em 06/09/2013 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - A morfodinâmica nas praias oceânicas da planície arenosa de Almofala varia em função de parâmetros oceanográficos (ondas, marés e correntes costeiras), meteorológicos (ventos, tempestades e chuvas) e antrópicos (fazendas de camarão). Os objetivos do trabalho são analisar os processos de progradação e retrogradação da linha de costa e a morfodinâmica das praias. As praias de Almofala, da Barreira e de Torrões localizam-se na costa oeste do Ceará. A metodologia consistiu na aquisição de dados topográficos (DGPS), oceanográficos (ondas - período, direção e altura da onda, e maré) e de amostras de sedimentos praias. Estas praias apresentaram RTR com onda dominante. O parâmetro ϵ mostrou sistema barra e calha longitudinal nas praias de Almofala e de Torrões, e estágio reflectivo na praia da Barreira. O parâmetro Ω apresentou estágios predominantes de terraço de maré baixa na praia de Almofala, e dissipativo nas praias da Barreira e de Torrões, com predomínio de areia fina (44%) nas praias de Almofala e Torrões, e areia média (29%) na praia da Barreira. Estas praias são semi-expostas, com atuação de ventos (5,5 m/s) e ondas (0,56 m de altura), com erosão nas praias da Barreira (-64,5 m³) e de Torrões (-72,1 m³), e acreção (62,83 m³) na praia da Almofala, segundo dados de 2007.

Palavras-chave: morfodinâmica, praias oceânicas, mesomaré, Noroeste do Ceará.

Abstract - MORPHODYNAMIC OF BEACHES DOMINATED BY MESOTIDE IN THE ALMOFALA SANDY PLAIN, NW OF CEARÁ (BRAZIL). The morphodynamics of the oceanic beaches of the Almofala sandy plain varies due to the oceanographic parameters (waves, tides and coastal currents), meteorological (rains, winds and storms) and anthropogenic (shrimp farms). The objectives are to analyze the processes of progradation and retrogradation of the coastline and the morphodynamics of beaches. The Almofala, Barreira and Torrões beaches are located on the west coast of Ceará. The methodology consisted of the acquisition of topographical data (DGPS), oceanographic parameters (period, direction, high wave and tidal range) and sediments samples. These beaches had RTR with dominate wave. The parameter ϵ showed longitudinal bar and runnel system on the Almofala and Torrões beaches, and reflective on the Barreira beach. The parameter Ω showed intermediate terrace stage on the beach at the low tide on the Almofala beach and dissipative stage on the Barreira and Torrões beaches, with a predominance of fine grain sand (44%) and on the Almofala and Torrões beaches and medium sand (29%) on the Barreira beach. These beaches are semi-exposed, operating winds (5,5 m/s) and waves (0,56 m), with erosion in the Barreira beach (-64,5 m³) and Torrões beach (-72,1 m³), and accretion (62,83 m³) in the Almofala beach, according year of 2007.

Keywords: morphodynamics, oceanic beaches, mesotidal, Northwest of Ceará.

1 Introdução

O presente trabalho diz respeito a uma análise da morfodinâmica de praias oceânicas no litoral oeste do estado do Ceará, no intuito de se observarem os processos de progradação e retrogradação da linha de costa, tendo em vista a ocorrência de intensos processos erosivos em praias do Estado.

As praias oceânicas constituem-se em depósitos de acumulação de sedimentos de composição variada, não coesivos e inconsolidados (areias, cascalhos), entre as zonas de base da onda (*wave base*) (profundidade máxima das ondas no transporte de sedimentos) e de espraiamento (*upper swash limit*), limite da ação subaérea da onda até a linha de baixa maré (King, 1959; Short, 1999). O limite interno é o nível máximo de ação

das ondas de tempestades.

O estudo morfodinâmico das praias é muito útil para a predição dos processos atuantes e o controle geológico (Jackson *et al.*, 2005). A planície arenosa de Almofala (PAA) é caracterizada por um balanço de sedimentos negativo, segundo Muehe (2001), sendo observado um recuo natural da linha de costa, e tende a apresentar uma maior amplitude de resposta erosiva a uma elevação do nível do mar devido ao baixo gradiente de sua plataforma continental.

Em geral, os processos naturais controlados por marés, ondas e ventos (erosão e deposição de sedimentos na costa) e processos antrópicos (ocupação humana e fazendas de camarões) transformam a morfologia costeira em várias escalas temporais (Raicich, 2007; Sedrati & Anthony, 2007; Callaghan *et al.*, 2009; Yoshikawa & Nemoto, 2010) e agem no crescimento ou diminuição de áreas de manguezais, desenvolvimento de cordões e bancos arenosos, migração de desembocaduras de rios e canais de maré, variabilidade de perfis praias etc.

De acordo com Reineck & Singh (1980) praias oceânicas no mundo subdividem-se em: zonas de supramaré (*backshore*) - do limite inferior das dunas até a linha de maré alta (LMA); zonas de intermaré (*foreshore*) - da linha de maré alta até a linha de maré baixa (LMB), aonde as correntes longitudinais originam uma ou mais barras e calhas, expostas durante a maré baixa; e zonas de inframaré (*shoreface*) - da linha de maré baixa (LMB) até a zona de arrebentação, incluindo a zona de surfe, submersa, constituída por sistema barra e calha longitudinal, associado à arrebentação das ondas e às correntes longitudinais.

A PAA inclui as praias de Almofala, da Barreira e de Torrões, com morfologia de baixo gradiente topográfico (de 0,024 a 0,249°), semi-expostas, com evolução de praias-barreiras, comuns em praias de alta energia, ventos e ondas. Possuem cordões arenosos (*strandplains*) e barras de cristas de baixa amplitude (*low-amplitude ridges*) (Masselink *et al.*, 2009; Austin *et al.*, 2010).

As análises dos processos morfodinâmicos nas praias da PAA ocorreram de forma sazonal no ano de 2007, nas quadras chuvosa (março), intermediária (julho) e seca (novembro). As zonas de praia se diferenciam pelas características morfológicas e granulométricas, tempo de exposição subaérea, ou de inundação, e dinâmica. Nas zonas de *foreshore* e de *shoreface* da PAA, os sistemas de barras e calhas foram bem desenvolvidos em julho de 2007.

Nas praias de Almofala e de Torrões a zona de supramaré inicia, em muitos pontos, no contato com escarpas de praias de dunas frontais ou com eolianitos. Estes, com quebra de relevo abrupto, se estendem até 2 km na parte interna. A praia da Barreira é formada por um extenso cordão litorâneo de 3 km. De uma forma geral, as barras arenosas são geradas durante a transgressão marinha, segundo Li *et al.* (2008), depositadas

em estuários, da mesma forma que ocorrem nas praias da Barreira e de Torrões.

Na maioria das praias do mundo com baixo ângulo de declive da zona submersa e grande estoque de areia subaquático, formam-se praias dissipativas ou intermediário-dissipativas, com sistemas de barras e calhas bem desenvolvidos, que geram ondas do tipo deslizante, cujas arrebentações ocorrem a certa distância da face praial. A energia das ondas é dissipada ao longo da zona de surfe larga e plana, movimentando os sedimentos mais finos na direção da praia (Wright & Short, 1984; CERC, 1984).

2 Área de estudo

As praias de Almofala, da Barreira e de Torrões possuem uma extensão de 8 km (Fig. 1), e estão localizadas no litoral que fica a oeste de Fortaleza, no estado do Ceará, na região Nordeste do Brasil (coordenadas UTM, Zona 24S: X1: 403.000 E, 9.673.000 N, X2: 412.000 E, 9.679.000 N).

A PAA limita-se ao sul com o distrito de Carvoeiro, ao norte com o oceano Atlântico, a oeste com a praia da Barra, e a leste com a praia de Camboré. Esta área é caracterizada por altas temperaturas (>25°C), pluviosidade média de 1.172,21 mm (1977-2004) (FUNCEME, 2008), velocidade média dos ventos de 5,5 m/s, e sentido preferencial de leste. Estas condições implicam em um regime de mesomarés (1,48 m), com ondas medindo cerca de 0,56 m.

Na região, afloram os sedimentos do Mioceno/Plioceno (Formação Barreiras) e do Holoceno. A área está assentada na margem passiva do Ceará (Costa *et al.*, 1990; Beltrami *et al.*, 1994; CPRM, 2003; Silva Filho, 2004).

Na área, tem-se o seguinte arranjo geomorfológico: Planalto Costeiro ou Tabuleiro Pré-litorâneo, caracterizado por feições tabulares recortadas por interflúvios; e Planície Costeira, que engloba as planícies aluviais, estuarinas e arenosas (Souza, 1989, 1994; Sales, 2002).

O clima na região é tropical chuvoso e quente, segundo a classificação de Köppen (*apud* Ayoade, 1996), com temperaturas que excedem 25°C, médias pluviométricas entre 800 e 1.600 mm, com circulação leste (alísios) e clima úmido. Os ventos sopram com velocidade média de 5,5 m/s, e o seu sentido preferencial de E (leste) formam condições que implicam em um regime de mesomarés (média de 1,48 m), com ondas medindo cerca de 0,56 m de altura.

A sub-bacia da área formada pelo rio Aracati-Mirim, insere-se na bacia hidrográfica litorânea do estado, que deságua na praia de Torrões, com drenagem de padrão dendrítico e paralelo. O lagamar do Sargento é o maior corpo d'água da PAA e é alimentado por córregos como o do Lamarão e o do Paná, com nascentes no tabuleiro costeiro (Formação Barreiras) e nos sedimentos do Holoceno.

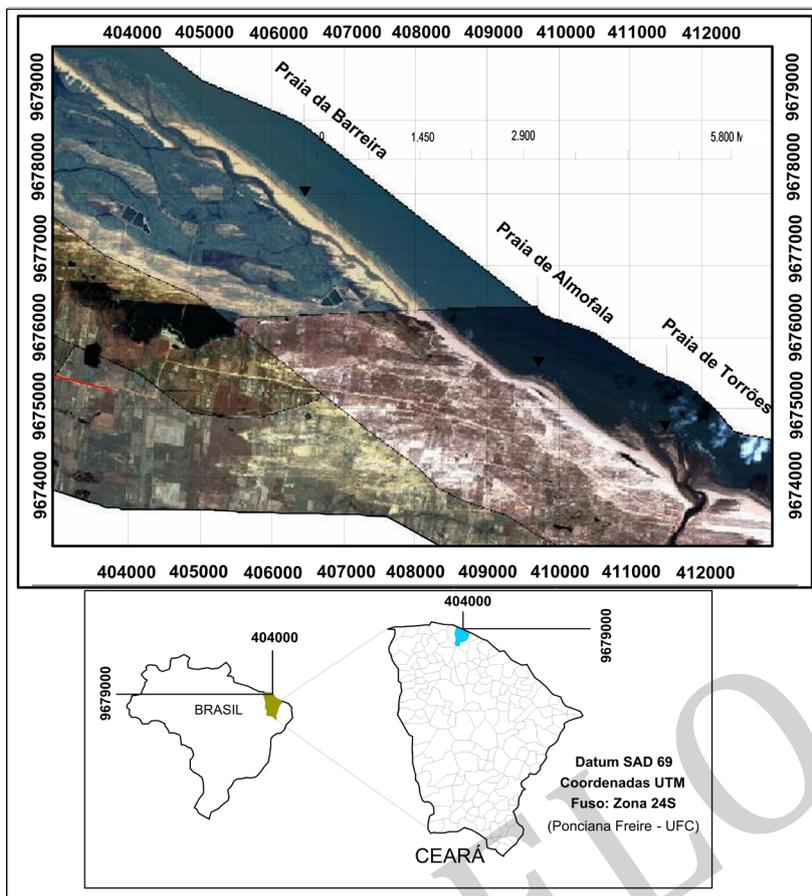


Figura 1. Mapa de localização da planície costeira de Almofala, com destaque às praias oceânicas da Barreira, Almofala e Torrões.

A vegetação de dunas recobre as planícies arenosas e eólicas; a floresta de manguezal recobre as planícies estuarinas; a mata ciliar envolve as áreas de inundação e a mata de tabuleiro recobre o planalto costeiro (Fernandes, 2000).

Os objetivos do presente trabalho incluem etapas de pesquisa realizadas na PAA como: analisar os processos de progradação e retrogradação da linha de costa na PAA; realizar levantamento topográfico e sedimentológico para análise da morfodinâmica das praias da PAA; confeccionar modelos de variabilidade morfológica e sedimentológica das praias da PAA.

3 Materiais e métodos

A metodologia constou de pesquisa bibliográfica e documental, além de levantamentos de campo e análise laboratorial.

Os dados oceanográficos de marés e de correntes do Quadrado 29 (referente ao Quadrado de *Marsden* 303) do ano de 2000 (DHN, 2006) no município de Itarema foram disponibilizados pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO).

3.1 Monitoramento de perfis praias e coleta de amostras de sedimentos

Os perfis topográficos nas praias estudadas foram realizados mediante o uso do par de DGPS (*Differential Global Positioning System*) de marca *Prymark2 Ashtech*.

Assim, realizaram-se 14 perfis transversais, com início nas dunas ou na zona de supamaré, até a linha de maré baixa (LMB), mediante o método *in situ* de perfilagem “stop” and “go”. Os dados foram de altíssima precisão < 1 m (Baptista *et al.*, 2006), com uma acurácia de < 0,5 m, com as posições do DGPS, variando de 0 a 5 cm.

Os dados de amplitude de maré (DHN, 2007) foram adquiridos no *site* da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) durante o ano de 2007. Foram coletados pontos a cada 100 m para a medição da LMB, e a cada 100 m para a LMA.

Os perfis praias foram realizados, trimestralmente, para análise das variações sazonais (quadra chuvosa - 19/03/2007, quadra intermediária - 14/07/2007, e quadra seca - 24/11/2007). Para o par de DGPS's, foram usadas as referências de três pontos: o primeiro, onde ficou um DGPS fixo, foi o do Marco da Estação 92397 de Itarema (IBGE, 2007), Datum SAD 69, coordenadas UTM (N) 9.677.308,499 e (E) 397.876,875; o segundo ponto foi o marco na praia de Almofala com coordenadas UTM (N) 9.675.912,457 e (E) 408.556,088; e o terceiro ponto de referência condiz com cada ponto coletado em cada um dos perfis.

Para a caracterização das praias da PAA os dados de altimetria foram medidos 14 pontos na área em condições de maré baixa de sizígia, com uso de DGPS, sendo realizados cinco perfis em duas praias, em diferentes distâncias: na praia de Almofala (distância de 400 m), perfis A - 1, 2, 3, 4 e 5, e na praia da Barreira (distância de 800m), perfis B - 1, 2, 3, 4 e 5; e quatro perfis

na praia de Torrões (distância de 400 m), perfis T - 1, 2, 3, 4. Foram utilizadas indicações de siglas como: chuva - c; seco - s; e intermediário - i, e as letras (A, B, C,..., Z), para melhor organização dos dados.

Primeiramente, analisaram-se os dados pela estatística descritiva, obtendo-se a média, a variância, o desvio padrão e os valores mínimo e máximo, juntamente com os dados sedimentológicos de assimetria e curtose, cuja variabilidade espacial foi analisada pela geostatística, através da construção e ajuste de semi-variogramas, krigagem para interpolação de dados e construção de mapas de isolinhas. Os pontos cotados tiveram uma variância de 2,36 m. O desvio padrão foi calculado pela raiz quadrada da variância. Deste modo, as cotas tiveram um desvio padrão de $\pm 1,54$ m.

3.2 Coleta de amostras de sedimentos praias

Coletas sistemáticas de amostras de sedimentos foram realizadas nas praias da PAA para análises granulométricas. Os pontos de coleta de sedimentos coincidem com os perfis topográficos, e foram ainda coletadas amostras sedimentológicas entre cada um perfis, adotando a distância de 200 m entre estes, nas praias de Almofala e de Torrões, e 400 m na praia da Barreira.

A distância de coleta de sedimentos em cada perfil foi de 20 m, a partir da linha de maré alta de sizígia, mediante o uso de uma tampa de tubo PVC de 5 cm, para coleta dos primeiros 3 cm, referentes à deposição semidura. Foram determinadas as classes granulométricas e os parâmetros estatísticos propostos por Folk & Ward (1957).

3.3 Medições dos parâmetros oceanográficos

Os dados sobre o período e a altura das ondas foram obtidos segundo a metodologia descrita por Muehe (1998). Para caracterizar o regime de ondas na PAA, o método envolveu a medição da altura da onda na zona de arrebentação (H_b 1/3), obtida através da diferença de altura entre a crista e a calha subsequente, utilizando a régua graduada. O período das ondas (T) foi medido a partir da passagem de 11 cristas consecutivas (1/10 do tempo total).

O ângulo de incidência das ondas foi obtido através de medições com bússola de Brunton, para a orientação de cada perfil topográfico, em campo, sempre em uma direção perpendicular à linha de costa. A caracterização da deriva litorânea foi baseada nos geoindicadores, a posição e migração de feições costeiras, além dos modelos de predição de transporte *crosshore* (*onshore/offshore*) de Trenhaile (1997).

3.4 Processamento dos perfis praias

Para a caracterização das praias da PAA, os pontos de marcação dos perfis foram processados nos aplicativos da *Golden Software* (*Grapher* 2.0, e *Surfer* 8.0) para a geração de modelos morfodinâmicos e execução do

cálculo de volume remobilizado de sedimento nos perfis praias, segundo métodos adotados por Silva Filho (2004). Os modelos digitais de elevação foram gerados através de krigagem (Landim, 2003).

3.5 Análise de sedimentos arenosos

As amostras de sedimentos praias foram lavadas com água destilada e secas em estufa a 50°C. O peneiramento a úmido foi aplicado nas amostras com mais de 25% de silte e argila, utilizando a peneira de 0,063 mm, separando a fração areia da fração silte/argila. As frações de areias e de silte/argila foram levadas à estufa para secar, depois à centrífuga para separação e, em seguida, à estufa para secagem.

As amostras arenosas, após secas, foram quarteadas e divididas em partes de 100g, peneiradas utilizando malhas de 2 mm, 1,4 mm, 1,0 mm, 0,710 mm, 0,500 mm, 0,355 mm, 0,250 mm, 0,180 mm, 0,125 mm, 0,090 mm e 0,063 mm, e classificadas de acordo com os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957).

3.6 Parâmetros morfodinâmicos

A caracterização do estado morfodinâmico das praias da PAA foi obtida segundo os modelos de Guza & Inmam (1975), Wright & Short (1984), Masselink (1993) e Masselink & Short (1993), existentes para morfodinâmica de praias arenosas oceânicas.

Primeiramente, a morfodinâmica foi avaliada pelo Parâmetro Relativo da Maré (*Relative Tide Range*) ou RTR (Masselink, 1993), expresso pela equação:

$$RTR = (TR/H_b),$$

onde TR representa as variações na amplitude da maré de sizígia e H_b a altura das ondas na zona de arrebentação. Utiliza-se o RTR na classificação de praias de meso e macromarés, que considera as variações na amplitude da maré de sizígia (TR) em relação à altura das ondas na zona de arrebentação (H_b).

Devido à variação na amplitude de maré, aplicou-se o modelo morfodinâmico de Wright & Short (1984) nestas praias.

As condições do ambiente praias para os valores de $RTR < 3$, segundo Masselink (1993), se assemelham às da classificação de Wright & Short (1984), portanto fez-se uso desta classificação morfodinâmica. Valores de $RTR < 7$ e $\Omega = 3$ (estágio intermediário banco/corrente de baixa-mar); $RTR < 15$ e $\Omega = 5$ (estágio morfodinâmico ultradissipativo); $RTR > 15$ (transição para estágio de planície de maré), não foram observados nas praias da PAA. No modelo de Masselink (1993), o estágio é função da amplitude relativa da maré (RTR) e do Parâmetro Adimensional Ômega (Ω) de Wright & Short (1984), expresso pela fórmula:

$$\Omega = (H_b/W_s.T),$$

onde H_b é a altura da onda na arrebentação, T é o período

da onda, e W_s é a velocidade de decantação do sedimento.

Foram feitos estudos das medidas de declividade da zona de intermaré e da largura média das praias da PAA. Para os valores de Ω de Wright & Short (1984) os estados morfodinâmicos são: $\Omega < 1,5$ (reflectivo); $\Omega > 5,5$ (dissipativo) e Ω entre 1,5 e 5,5 (intermediário). Os resultados foram utilizados para calcular o balanço sedimentar, as condições morfodinâmicas, a mobilidade sedimentar e a taxa de erosão e acreção.

O parâmetro de escala de surfe ε de Guza & Inman (1975) é determinado pela equação:

$$\varepsilon = (a\delta^2)/(g \operatorname{tg}^2 \beta)$$

onde a é a altura da onda incidente, δ é o radiano de frequência angular $2\pi/T$, T é o período da onda, g é a constante gravitacional e $\operatorname{tg}\beta$ é o gradiente topográfico praial. Assim, encontram-se três estágios morfodinâmicos: $\varepsilon < 2,5$ (refletivo); $2,5 < \varepsilon < 20$ (barra e calha longitudinal); e $\varepsilon > 20$ (dissipativo).

Para o cálculo de Ω necessitou-se da velocidade de queda das partículas sedimentares (s), extraída da tabela de Raudkivi (1990). A profundidade de fechamento (hc) a longo termo depende das características locais das praias, onde se utilizou a alternativa ($hc=1,57H_e$) de Birkemeier (1981).

Avaliou-se o volume e direção de transporte de areia na praia seguindo a relação entre o volume transportado (Q_s), em m^3/dia , e o fluxo de energia da onda (P_1), para o estudo estimativo do nível de energia das praias da PAA, baseando-se na equação sugerida por Komar (1983):

$$Q_s = 3,4(E C n)_b \operatorname{sen} \alpha_b \operatorname{cos} \alpha_b$$

onde E representa a energia da onda na arrebentação, calculada para a altura significativa ($E = 1/8\rho g H^2$), Cn é a velocidade de grupo das ondas, sendo $n = 1$ para águas rasas, ρ é a densidade da água, e α_b é o ângulo de incidência da arrebentação em relação à linha de praia.

A verificação das alterações métricas na linha de costa e no volume sedimentar entre os perfis foi feita no *Surfer 8.0*, para a modelagem morfodinâmica e cálculo do volume de sedimentos. Os cálculos estatísticos morfodinâmicos foram feitos no aplicativo ISRP - *Interactive Survey Reduction Program*, implementado por Birkmeier (1985), e utilizado por Oliveira *et al.* (2008).

A morfologia dos sistemas de barra e calha da PAA foi analisada por medidas e comparação dos perfis e dados oceanográficos de acordo com a classificação de Masselink *et al.* (2006, 2007, 2009).

4 Resultados

4.1 Variação morfológica e modelo das praias na planície arenosa de Almofala

Todas as praias apresentaram-se com baixos gradientes topográficos e declividades médias de relevo plano. A praia de Almofala obteve $\operatorname{tg}\beta$ variando de

0,048 a 0,215 (Tab. 1), com os maiores gradientes na quadra seca, com extensões de 80 a 215 m e acreção de $62,83 m^3$.

Tabela 1. Gradientes topográficos nas praias de Almofala (PA), da Barreira (PB) e de Torrões (PT).

Gradiente topográfico $\operatorname{tg}\beta$	Variação sazonal nos Perfis			
	Perfil	Chuvosa	Intermediária	Seca
Praia de Almofala	PA1	0,087	0,079	0,103
	PA2	0,097	0,059	0,143
	PA3	0,080	0,048	0,215
	PA4	0,125	0,142	0,146
	PA5	0,135	0,137	0,143
Praia de Barreira	PB1	0,036	0,039	0,049
	PB2	0,037	0,040	0,048
	PB3.1	0,048	0,057	0,099
	PB3.2	0,038	0,050	0,051
	PB4.1	0,033	0,041	0,045
	PB4.2	0,036	0,042	0,044
Praia de Torrões	PB5.1	0,024	0,036	0,040
	PB5.2	0,026	0,038	0,041
	PT1	0,065	0,056	0,085
	PT2	0,084	0,064	0,249
	PT3	0,093	0,087	0,128
	PT4	0,075	0,043	0,055

A praia da Barreira com $\operatorname{tg}\beta$ de 0,024 a 0,099 apresentou os maiores gradientes topográficos na quadra seca, variando de 50 à 240 m. Nesta praia, ocorreu uma erosão de $-64,5 m^3$, durante as três estações analisadas.

Na praia de Torrões, o gradiente $\operatorname{tg}\beta$ variou de 0,064 a 0,249, com maiores gradientes $\operatorname{tg}\beta$ 0,249 na quadra seca do que as praias de Almofala e da Barreira. Assim, esta praia variou em extensão de 90 a 330 m, com erosão de março a novembro de 2007 de $-72 m^3$.

Praias com regime de mesomaré, como as de *Ros-snowlough*, *Narin*, *Magheraroarty* e *Downings* (Irlanda), apresentam baixos gradientes topográficos, RTR dominado por ondas, e estágios dissipativos de acordo com o parâmetro ω , segundo Jackson *et al.* (2005). As praias da PAA apresentaram estágios dissipativos, de acordo com o parâmetro ω . Entretanto, as praias de Ajuruteua e de Bragança (norte do Brasil), com regime de macromaré possuem comportamento dissipativo, segundo Alves & El-Robrini (2004), nos parâmetros RTR e Ω , e presença de bancos arenosos paralelos à costa.

Nas praias da PAA, o parâmetro RTR de Masselink (1993) definiu onda dominante, variando de 2,370, 1,282 e 1,167 (praia de Almofala); 2,133, 1,190 e 1,556 (praia da Barreira); 2,667, 1,667 e 1,697 (praia dos Torrões) nas quadras chuvosa, intermediária e seca, respectivamente. Pôde-se aplicar nas praias da PAA a classi-

cação dos estágios de acordo com os parâmetros: ϵ de Guza & Inman (1975), e Ω de Wright & Short (1984).

Na praia de Almofala, o parâmetro ϵ resultou em estágios de barra e calha longitudinal na parte oeste, e reflectivo na parte leste, na quadra chuvosa (Fig. 2).

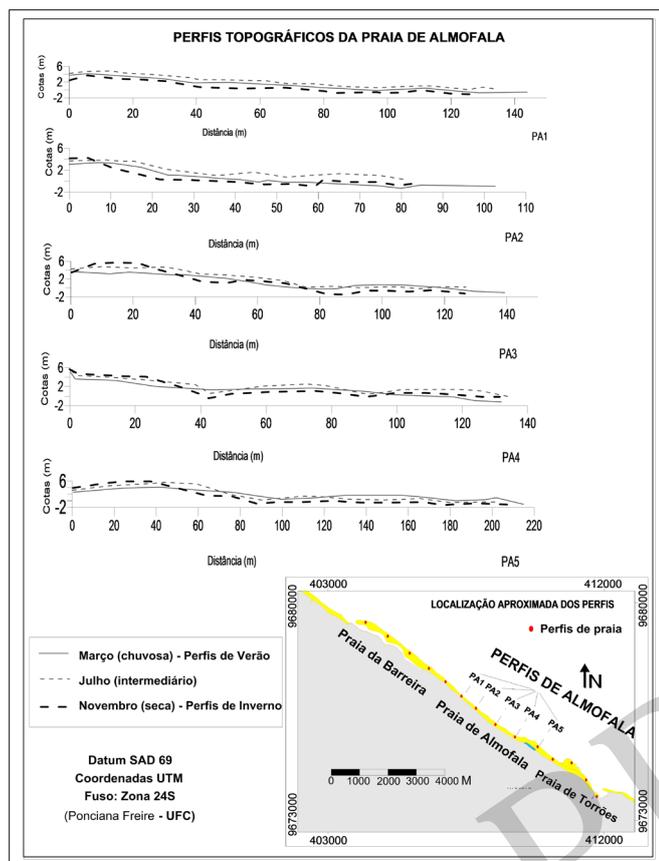


Figura 2. Perfis topográficos na praia de Almofala e variação da morfologia praial nas quadras chuvosa (março), intermediária (julho) e seca (novembro).

Na quadra intermediária, a praia comportou-se como barra e calha longitudinal.

Na praia da Barreira, em março, o parâmetro ϵ resultou em estágio reflectivo na parte sul (canal de maré) e barra e calha longitudinal no cordão litorâneo e na parte leste da praia (Fig. 3).

A praia de Torrões (ϵ) comportou-se como barra e calha longitudinal nas três quadras (Fig. 4).

Para o modelo Ω , a praia de Almofala resultou em terraço de maré baixa, ocorrendo também praia e barra em cúspide, e retorno e barras transversais. Na quadra intermediária resultou em terraço de maré baixa, com ocorrência de barra e calha longitudinal, e praia e barra em cúspide. Na quadra seca, a praia foi dissipativa, observou-se barra em cúspide e retorno e barra transversal na parte oeste.

A praia da Barreira mostrou a presença de barra em cúspide (Ω) na quadra chuvosa e estágio dissipativo. Nas quadras intermediária e seca, a praia mostrou-se dissipativa, com ocorrência de terraço de maré baixa e praia e barra em cúspide na quadra seca.

A praia de Torrões (Ω) resultou em barra e calha longitudinal na parte oeste e retorno e barras transver-

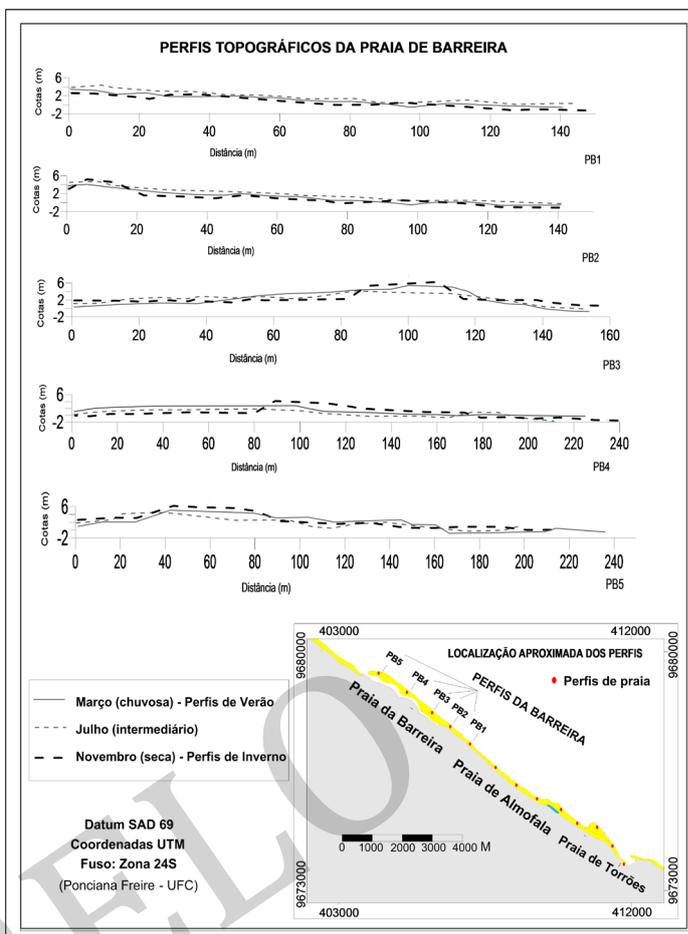


Figura 3. Perfis topográficos na praia da Barreira e a variação da morfologia praial nas quadras chuvosa (março), intermediária (julho) e seca (novembro).

sais a leste, na quadra chuvosa. Nas quadras intermediária e seca, a praia apresentou estágio dissipativo.

Os cordões arenosos (*strandplains*) da praia da Barreira são alimentados com sedimentos vindos da plataforma continental interna adjacente, derivados de ambos os transportes (*onshore* ou *longshore*; Masselink et al. 2006, 2009). No entanto, na praia da Barreira, eles preservam uma posição principal da linha de costa, marcada por fácies *seaward*.

Na praia de Torrões, o delta onde foram observadas ondas arenosas de intermaré com frágeis barras sinuosas, paralelas à linha de costa, formado por sedimentos fluviais.

As barras de cristas de baixa amplitude (*low-amplitude ridges*) ocorrem em séries de barras paralelas a costa (2-6), como nas praias de Almofala e de Torrões, que são dissecadas por canais (calhas) perpendiculares à costa e são formadas sob a influência de condições de ondas calmas ($H_s < 0,5$ m) (Masselink et al. 2006, 2009).

4.1.1 Praia de Almofala

A largura da praia de Almofala na parte oeste variou de 145 m (quadra chuvosa), 130 m (quadra intermediária) e 125 m (quadra seca). O maior volume medido foi durante a quadra seca com $245,5 \text{ m}^3$, acresção de 7 m^3 na

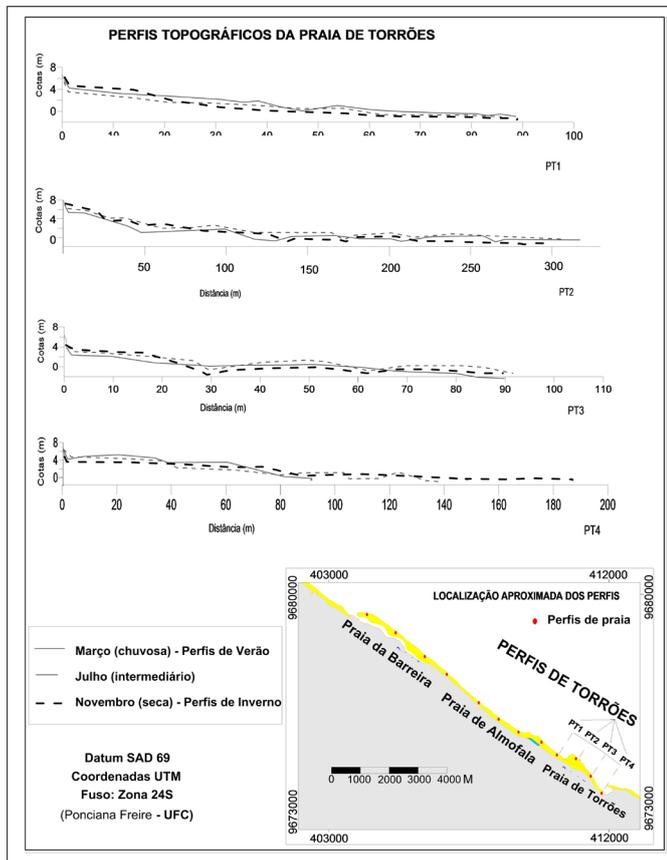


Figura 4. Perfis topográficos na praia de Torrões e a variação da morfologia praial durante as quadras chuvosa (março), intermediária (julho) e seca (novembro).

(quadra intermediária) a 103 m (quadra chuvosa). Na quadra seca, o volume de sedimentos foi de $259,89 \text{ m}^3$ de engorda (ganho), e de $-24,72 \text{ m}^3$ de erosão (perda de sedimentos) com aparição de paleomanguee formação de barras e calhas.

Na parte leste da praia de Almofala (PA3), o perfil variou de 127 m (quadras intermediária e seca) para 140 m (quadra chuvosa), com uma extensa zona de supramaré e sistema barra calha nas zonas de intermaré e inframaré, nas três quadras. O maior volume de sedimentos avaliado foi na quadra seca, com $299,13 \text{ m}^3$, e acresção de $11,79 \text{ m}^3$.

A parte leste da praia (PA4), próximo à plataforma de abrasão, variou pouco em largura (de 137 a 138 m), com aparição de barra e calha. O volume de sedimentos foi de $225,07 \text{ m}^3$ (março), acresção de $13,83 \text{ m}^3$ (julho) e erosão de $-14,3 \text{ m}^3$ (novembro).

A leste da plataforma de abrasão de Almofala (PA5), tem-se uma laguna costeira, separada do oceano Atlântico por uma ilha barreira, seguida de zona de supramaré com berma e zona de intermaré com sistema de barra e calha, com uma largura de mais de 200 m durante as três quadras.

4.1.2 Praia da Barreira

Na parte leste da praia da Barreira (PB1), a largura diminuiu relativamente de 150m (novembro) para 140 m (março e julho). Em novembro, o volume de se-

dimentos medido foi de $242,7 \text{ m}^3$, com acresção de $7,1 \text{ m}^3$ (quadra intermediária) e 1 m^3 (quadra seca). No início do cordão litorâneo (PB2), a praia variou pouco entre as quadras, medindo em torno de 140 m de largura. Em março, o volume de sedimentos foi de $256,7 \text{ m}^3$, enquanto em julho houve uma perda de sedimentos de $-7,8 \text{ m}^3$ (erosão) e acresção de 5 m^3 em novembro.

Na barra (PB3), o perfil teve um comprimento de 150 m nas três quadras, com início ao sul do canal de maré (PB3.1). O volume de sedimentos atingiu um volume de $179,5 \text{ m}^3$ na quadra chuvosa, com perda de sedimentos de $-9,5 \text{ m}^3$ (erosão) na quadra intermediária e acresção de $4,8 \text{ m}^3$ na quadra seca. Ao norte (PB3.2), o perfil alcançou um comprimento de 155 m de extensão e o volume de sedimento foi de $143,2 \text{ m}^3$ na quadra chuvosa, com acresção de $5,8 \text{ m}^3$ na quadra seca.

Na parte oeste da praia da Barreira (PB4) a barra arenosa, com 240 m de extensão, inicia no canal de maré, onde se tem uma zona de intermaré, barras e calhas. Este trecho de praia sofreu perda de sedimentos durante as quadras intermediária (-12 m^3) e seca, ao sul (-11 m^3). Entretanto, ao norte desta praia, o perfil praial alcançou um comprimento de 140 m e o volume variou de 238 m^3 (quadra chuvosa) para $-9,1 \text{ m}^3$ (quadra intermediária), sendo que, durante a quadra seca, acresceu de 10 m^3 .

Na ponta da barra (PB5), a largura máxima foi de 240 m em março. O prisma praial sofreu variações no seu volume. A sul (PB5.1), a variação foi de $137,3 \text{ m}^3$ (quadra chuvosa), a $4,8 \text{ m}^3$ (quadra seca), enquanto ao norte (PB5.2) ficou entre $238,3 \text{ m}^3$ (março) e $4,3 \text{ m}^3$ (novembro), com perda de sedimentos de $-15,1 \text{ m}^3$ em julho.

4.1.3 Praia de Torrões

A parte oeste da praia de Torrões (PT1) possui um gradiente topográfico baixo, com média de $0,09^\circ$ e a extensão teve pouca variação do comprimento, aproximando-se dos 90 m nas quadras chuvosa, intermediária e seca. O volume de sedimentos ganho foi de $189,20 \text{ m}^3$ na quadra chuvosa, enquanto o perdido foi de $-7,59 \text{ m}^3$ (erosão) na quadra intermediária e $-12,69 \text{ m}^3$ na quadra seca.

Na parte oeste da praia de Torrões foi a que apresentou a maior extensão, mais especificamente no ponto (PT2), com formação de inúmeras barras. Este perfil sofreu importantes transformações durante as três quadras: em novembro (quadra seca), a largura alcançou um comprimento de 330 m, com alto volume de sedimentos ganho ($422,52 \text{ m}^3$) na quadra chuvosa, progradação de $19,82 \text{ m}^3$ (quadra intermediária) e erosão de $-38,82 \text{ m}^3$ (quadra seca); em julho (quadra intermediária) este trecho de praia com sistema de barras e calhas bem desenvolvidas recuou um pouco (300 m).

Na parte leste da praia (PT3) o gradiente topográfico foi maior ($0,128$) na quadra seca, principalmente na transição entre as zonas de supramaré e de inframaré. O volume de sedimentos em julho (quadra intermediária)

foi maior, com 161,1 m³, e a largura maior (109 m) em relação aos outros perfis realizados. Durante a quadra seca, ocorreu uma perda de sedimentos de -13 m³ e o trecho da praia com a presença de sistema de barra e calha ficou menor durante a quadra chuvosa (90 m).

A praia na foz do rio Aracati-Mirim (PT4) teve as maiores variações de extensão entre as quadras sazonais. Esta praia teve a sua maior extensão durante a quadra seca (>180 m) e a menor durante a quadra chuvosa (93 m), com um volume ganho de 218,1 m³ e estágio de retorno e barra transversal. Na quadra intermediária, a praia acresceu de 4,8 m³, o estágio de praia foi de barra em cúspide e formação de barra e calha, com acréscimo de 23,7 m³ e estágio dissipativo na quadra seca.

As correntes longitudinais atuam diretamente na formação das barras e calhas, e juntamente com a atuação das ondas nas marés altas formam esse sistema tanto na zona de inframaré como na zona de intermaré, da praia de Torrões. A forte atuação dos ventos alísios em novembro causa a formação de sistema barras e calhas nas zonas de intermaré e de inframaré. As barras da praia de Torrões são de cristas de baixa amplitude e não estão relacionadas com a maré, mas sim com a dissipação da energia das ondas incidentes.

4.2 Variabilidade morfológica e granulométrica sazonal das praias da planície arenosa de Almofala

A linha de maré alta (LMA) foi identificada nas praias de Almofala, da Barreira e de Torrões durante as quadras climáticas e também nas marés de sizígia. Durante o estágio erosional, o LMA migrou para a parte superior destas praias, provocando a diminuição da zona de supramaré. Entretanto, durante a fase acrescional, esta zona cresceu.

As relações entre o tamanho do sedimento e a mobilidade praial: praias dissipativas, de baixa declividade, com extensas zonas de surfe tipicamente arenosas, exibem rápidas variações texturais e de transporte, como na praia do Futuro (Albuquerque et al., 2009), enquanto que, nas praias reflectivas com sedimentos mais grossos, o transporte é mais limitado.

4.2.1 Praia de Almofala

Na praia de Almofala, a LMA migrou em média 8m durante as quadras, com largura média de 6m na zona de supramaré. A acreção predominou durante a quadra intermediária, com leve aumento da zona de supramaré da LMA, acreção na parte leste e erosão desta zona na parte oeste.

A média granulométrica nesta praia, apresentou-se com uma concentração de areia fina (46%) (quadra chuvosa) e secundariamente areia média (44%), moderadamente selecionada (76%), assimetria muito positiva (38%) e curtose mesocúrtica (68%), com areia média (58%) (quadra intermediária) e areia fina (51%) (quadra seca) (Fig. 5).

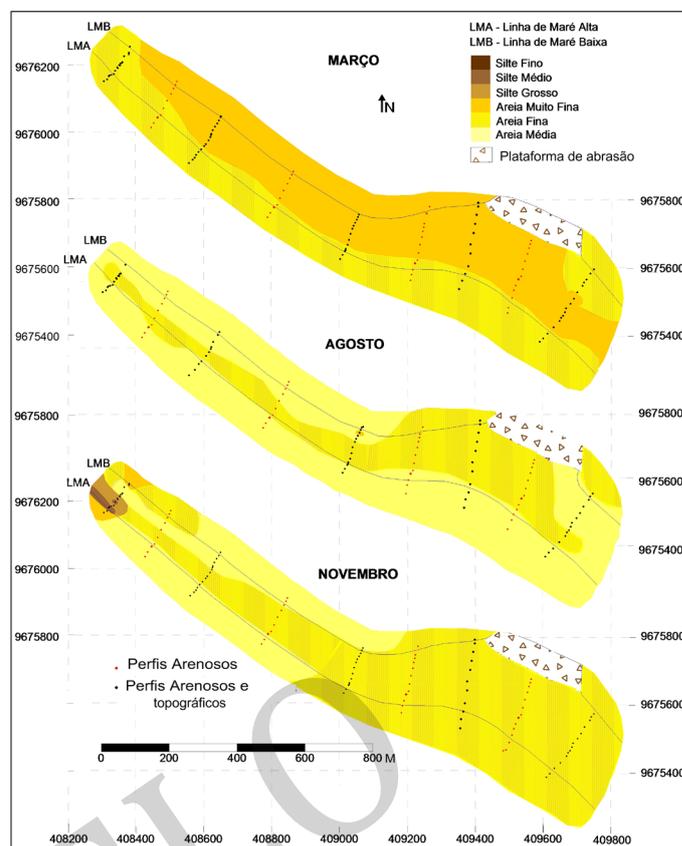


Figura 5. Distribuição horizontal de sedimentos na praia de Almofala durante as quadras chuvosa, seca e intermediária.

Entretanto, a variação granulométrica entre as zonas praias não é homogênea. Na zona de supramaré da praia houve uma concentração maior de areia fina (73%) na quadra chuvosa, areia média (67%) na quadra intermediária e areia fina (67%) na quadra seca.

Na zona de intermaré, predominaram concentrações de areia média (55%) na quadra chuvosa, areia fina (48%) e média (48%) na quadra intermediária e areia fina (51%) na quadra seca, além de silte grosso (11%) e silte médio (6%) no trecho oeste da praia. O silte neste trecho da praia provém do afloramento de paleomangue, que nessa quadra foi exposto por correntes de marés e ondas, sendo o aporte baixo de sedimentos pelos rios.

Durante a quadra chuvosa na zona de inframaré desta praia ocorreu uma concentração de areia muito fina (50%) e areia média (50%). Na quadra intermediária observou-se areia média (75%), seguida de areia e areia muito fina (25%). Entretanto, na quadra seca, a concentração de areia média foi maior (50%), seguida de areia fina e de areia muito fina (25% cada).

O grau de selecionamento dos sedimentos na praia de Almofala apresentou-se moderadamente selecionado (73%) em todas as quadras e zonas de praia.

A assimetria dos sedimentos na praia de Almofala comportou-se como positiva (33%). Este parâmetro é sensível ao ambiente, enquanto a assimetria negativa indica erosão, enquanto a assimetria apresenta-se com valores positivos quando predomina a deposição (Ponçano, 1986). A curtose dos sedimentos comportou-se como mesocúrtica (55%) em todas as quadras

em todas as zonas praiais, e está relacionada ao nível de energia das ondas ou do ambiente deposicional, sendo inversamente proporcional ao mesmo (Alves, 2001).

4.2.2 Praia da Barreira

Na praia da Barreira, a LMA apresentou uma migração média de 7 m, com uma média de 4m na zona de supramaré. A erosão predominou na parte central e leste (quadra intermediária), com recuo da zona de supramaré da LMA e leve acresção (quadra seca) na ponta da barra (oeste).

A praia da Barreira é recoberta por um prisma de areia média (29%), com altos valores de areia fina (28%) e areia muito fina (28%). Sazonalmente, na quadra chuvosa, ocorreu areia média (36%), com areia fina (24%) e silte grosso (15%), enquanto na quadra intermediária encontramos areia muito fina (33%) e areia média (32%) na quadra seca (Fig. 6).

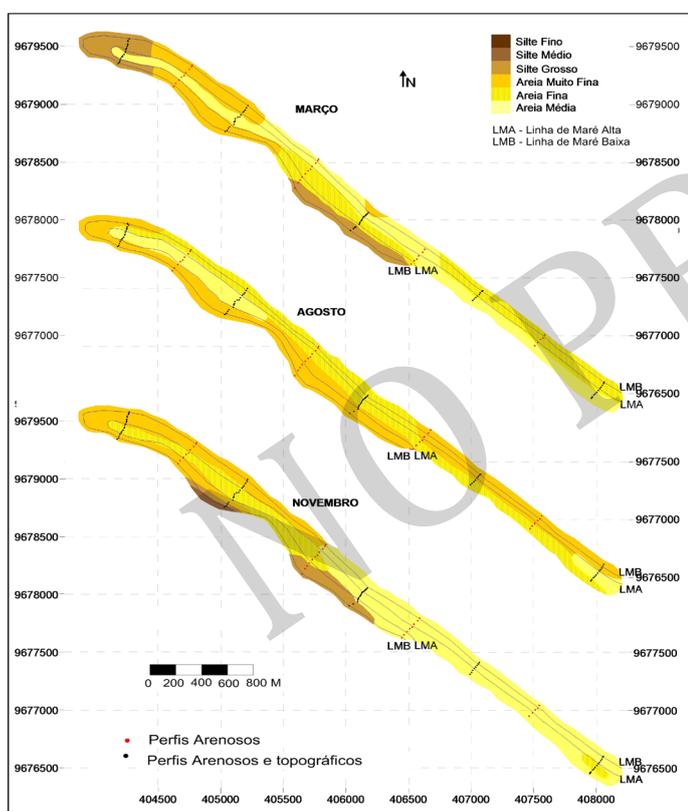


Figura 6. Distribuição horizontal de sedimentos na praia da Barreira durante as quadras chuvosa, seca e intermediária.

Na zona de supramaré da praia da Barreira ocorreu uma concentração de areia média (65%) (quadra chuvosa), areia fina (55%) (quadra intermediária), e areia fina (58%) (quadra seca). A zona de intermaré foi recoberta por areia muito fina nas três quadras: chuvosa (28%), intermediária (41%) e seca (36%) e areia muito fina na zona de inframaré: chuvosa (50%), intermediária (83%) e seca (67%).

O grau dos sedimentos na praia de Almofala apresentou-se moderadamente selecionado (73%), em to-

das as quadras, predominando em todas as zonas praiais. A assimetria dos sedimentos na praia da Barreira foi muito negativa (46%), indicando erosão, e a curtose foi muito leptocúrtica (39%), com valor médio para todas as quadras e as zonas praiais.

4.2.3 Praia de Torrões

Na praia de Torrões, a LMA migrou em torno de 25 m, com largura média de 16m nas zonas de supramaré. O recuo desta feição predominou na quadra seca, na foz do rio Aracati mirim (leste) com um considerável recuo da zona de supramaré e escarpas de praia na LMA.

A praia de Torrões é recoberta por areia fina (36%), seguida de silte grosso (28%) (quadra chuvosa), areia fina (38%) (quadra intermediária), e areia fina (37%) (quadra seca). Na zona de supramaré (Fig. 7), ocorreu areia fina (44%) (quadra chuvosa), areia fina (55%) (quadra intermediária), e areia fina (58%) (quadra seca). Na zona de intermaré, predominaram concentrações de silte grosso (48%) (quadra chuvosa), areia fina (57%) (quadra intermediária) e silte grosso (51%) (quadra seca). Na zona de inframaré dessa praia mostrou-se com mais silte grosso (50%) na quadra chuvosa, areia muito fina (75%) na quadra intermediária, e areia muito fina (50%) na quadra seca.

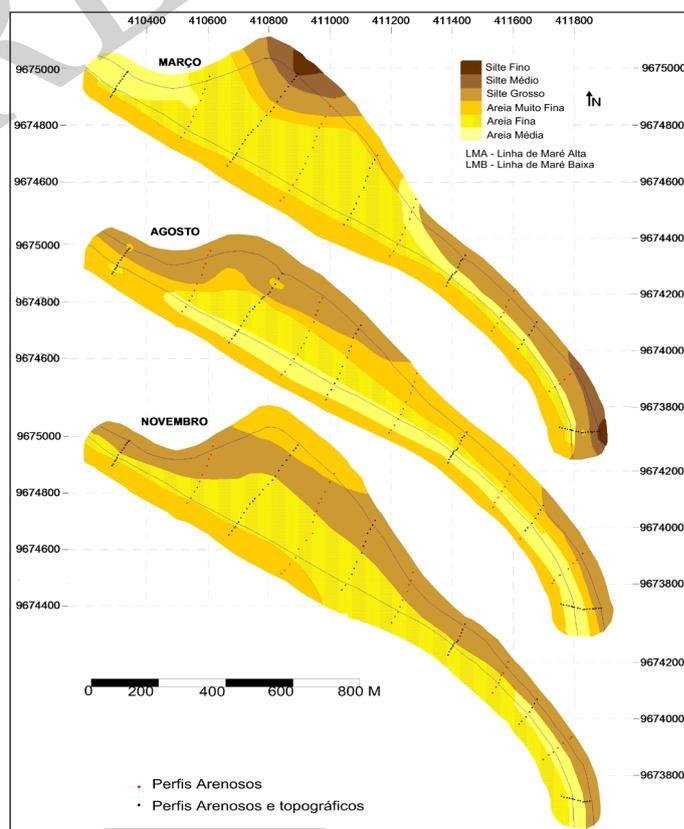


Figura 7. Distribuição horizontal de sedimentos na praia de Torrões durante as quadras chuvosa, seca e intermediária.

O grau dos sedimentos na praia de Torrões apresentou-se moderadamente selecionado (60%), valor médio para todas as quadras e todas as zonas praiais. A assimetria foi muito negativa (36%), indicando erosão,

e a curtose foi muito leptocúrtica (29%).

4.3 Variabilidade do volume sedimentar sazonal das praias na planície arenosa de Almofala

A quadra chuvosa foi a referência para a análise da variação do volume sedimentar. Os valores de variação de volume (m^3) positivos indicam acreção e os negativos com erosão.

Na praia de Almofala, predominou acreção com $62,83 m^3$ em todas as quadras (fase acrescional em julho), com índices de erosão de $-48,04 m^3$ e erosional em novembro.

Na parte leste da praia de Almofala (PA4) ocorreram os maiores volumes de sedimentos, com máximo de $304,10 m^3$ em novembro (quadra seca) resultando em acreção. Na quadra chuvosa, foi observado o maior volume ($299,80 m^3$), com perda de sedimentos de $-5,3 m^3$ (erosão) na quadra intermediária. Entre as quadras chuvosa e intermediária, ocorreu uma acreção total de $37,34 m^3$ e perda de sedimentos de $-8,98 m^3$. Entretanto, entre as quadras intermediária e seca, a perda de sedimentos alcançou o volume de $-39,06 m^3$ e a acreção ficou em $25,49 m^3$.

O trecho PB1 da praia da Barreira sofreu transformações morfossedimentares que se traduziram em perda de volume de $-64,5 m^3$ (fase erosional, quadra intermediária) e acreção de $242,7 m^3$ (quadra seca), com acreção de $7,1 m^3$ (quadra intermediária) e $1 m^3$ (quadra seca). No trecho PB2 desta praia ocorreu a maior acreção com um volume de $256,7 m^3$ (quadra chuvosa), perda de sedimentos de $-7,8 m^3$ em julho (quadra intermediária), e acreção de $5 m^3$ em novembro (quadra seca).

Ao sul da praia da Barreira (PB3.1), houve engorda deste trecho ($179,5 m^3$) durante a quadra chuvosa, perda de sedimentos de $-9,5 m^3$ (quadra intermediária) e acreção de $4,8 m^3$ (quadra seca). Entretanto, ao norte desta praia (PB3.2), o prisma praiial recebeu um volume de $143,2 m^3$ de sedimentos (quadra chuvosa) e acreção de $5,8 m^3$ (quadra seca). A parte oeste do canal da praia da Barreira (PB4.1) sofreu uma perda de sedimentos de $-12 m^3$ (quadra intermediária) e $-11 m^3$ (quadra seca). Na parte norte da praia da Barreira (PB4.2), houve um ganho de sedimentos de $238 m^3$ (quadra chuvosa) e perda de sedimentos de $-9,1 m^3$ (quadra intermediária), com acreção de $10 m^3$ (quadra seca). Na ponta da barra (PB5.1) desta praia, houve um ganho também de sedimentos, com $137,3 m^3$ (quadra chuvosa) e acreção de $4,8 m^3$ (quadra seca). Na parte norte (PB5.2) da praia da Barreira, houve ganho de sedimentos, com $238,3 m^3$ (quadra chuvosa), perda de sedimentos de $-15,1 m^3$ (quadra intermediária), e acreção de $4,3 m^3$ (quadra seca).

A praia de Torrões variou em extensão de 90 a 330 m, com predomínio de erosão de março (quadra chuvosa) a novembro (quadra seca) de $-72 m^3$ (fase de erosão), em 2007. O ganho de sedimentos na quadra chu-

vosa foi de $189,2 m^3$, com perda de sedimentos de $-7,59 m^3$ (quadra intermediária) e $-64,51 m^3$ (quadra seca).

A parte mais extensa da praia de Torrões (PT2) mostrou uma concentração alta de sedimentos ($422,52 m^3$) na quadra chuvosa, com progradação de $19,82 m^3$ (quadra intermediária) e erosão de $-38,82 m^3$ na quadra seca. A leste da praia (PT3), houve um ganho de sedimentos de $161,1 m^3$ em julho (quadra intermediária) e perda de sedimentos de $-13 m^3$ (quadra seca). Na foz do rio Aracati mirim (PT4), o volume de sedimentos ganho foi de $218,1 m^3$ (quadra chuvosa), com acreção de $4,8 m^3$ (quadra intermediária) e $23,7 m^3$ (quadra seca).

5 Discussão

Modelos morfodinâmicos de estágios praiais são muito utilizados na predição de praias oceânicas (Wright *et al.*, 1982; Wright & Short, 1984; Jackson *et al.*, 2005; Masselink *et al.*, 2006, 2009), onde praias dissipativas muitas vezes estão relacionadas ao aporte de sedimentos pelos rios, principalmente em praias de regime de macromarés. As praias semi-expostas da PAA mostram estágios dissipativos em regime de mesomarés, que estão relacionadas ao controle geológico da área.

A PAA comporta praias arenosas, sobrepostas a uma plataforma de abrasão esculpida em sedimentos da Formação Barreiras, ligada a uma inflexão. Estas praias são extensas e possuem estágios dissipativos, associados aos baixos declives na parte emersa, com estoques de areias finas, e uma plataforma continental interna de baixo declive.

Nas quadras secas, as praias de Almofala, Barreira e Torrões sofrem uma maior atuação dos ventos alísios, influenciando a formação de sistema barras e calhas, com atuação das ondas nas zonas de intermaré e inframaré em novembro (quadra intermediária). Os perfis praiais foram mais elevados nas zonas de supramarés, devido à maior intensidade dos ventos nessa quadra, que remobiliza os sedimentos da zona de intermaré para essas zonas.

As praias foram menos extensas na quadra intermediária e apresentaram uma maior extensão na quadra chuvosa, com zona de supramaré mais baixa e zona de intermaré com menor formação de sistema barra e calha. A praia de Torrões foi a mais extensa de todas as praias em 2007, variando em extensão de 90 a 330 m, com uma fase erosiva ($-38,82 m^3$) (quadra seca) e um alto volume de sedimentos ($422,52 m^3$), acreção (quadra chuvosa) e fase progradante de $19,82 m^3$ (quadra intermediária).

As praias da PAA tiveram uma migração da LMA, apresentando recuo da linha de costa na praia de Torrões, com fase de erosão predominando na quadra seca, principalmente na foz do rio Aracati-Mirim (leste), quando notou-se um recuo da zona de supramaré e formação escarpas de praia. A praia da Barreira também teve recuo da LMA na zona de supramaré (qua-

dra intermediária), enquanto a praia de Almofala teve um avanço da LMA em direção ao oceano Atlântico, na parte leste (quadra intermediária), com recuo na parte oeste.

As três praias apresentaram RTR com onda dominante. O parâmetro ϵ mostrou sistema barra e calha longitudinal nas praias de Almofala e de Torrões e estágio reflectivo na praia da Barreira. O parâmetro Ω indicou estágios predominantes de terraço de maré baixa na praia de Almofala, e dissipativo nas praias da Barreira e de Torrões, com sistema de barra e calha nas três praias. A praia de Almofala mostrou predomínio de estágio de terraço de maré baixa, comum em praias de regime de meso-maré e micro maré (CERC, 1984).

Segundo Sales (2002) os cordões litorâneos do município de Itarema, no Ceará, se formam por cimentação, resquício de vegetação ou a existência de estruturas ou formações litológicas. Na PAA, a formação do cordão litorâneo da praia da Barreira está relacionada à existência da plataforma de abrasão sotoposta e a resquícios de vegetação soterrados que afloram em quadras de estiagem.

Segundo a classificação de Masselink *et al.* (2006) os cordões arenosos (*strandplains*) estão dispostos paralelamente à linha de costa, contendo praias e dunas, encontrados ao longo de costas lineares prográdantes e não associadas a embaixamentos. *Strandplains* geralmente preservam múltiplas posições de linhas de costa e são mais marcados por fácies *seaward* (ao contrário das barras). Formam-se quando a altura da onda sobrepõe à crista da barra (H/h 0,5). Barras de cristas de baixa amplitude (*low-amplitude ridges*) ocorrem como uma série de barras paralelas à costa (2-6) que são dissecadas por canais (calhas) de drenagem perpendicular à costa.

Neste sentido, o cordão litorâneo da praia da Barreira se assemelha aos processos dos "*strandplains*" pelas suas características morfodinâmicas (paralelos à linha de costa, contendo praias e dunas). As barras da praia de Torrões são cristas arenosas de baixa amplitude, como aquelas observadas na zona de intermaré, relacionadas com a dissipação da energia das ondas incidentes.

As praias são semi-expostas, com atuação de média energia dos ventos e ondas, e com predomínio de erosão nas praias da Barreira ($-64,5 \text{ m}^3$) e de Torrões ($-72,1 \text{ m}^3$) e acreção ($62,83 \text{ m}^3$) em Almofala (2007). A praia de Almofala mostrou predomínio de acreção, com $62,83 \text{ m}^3$ em 2007, mesmo com altos índices de erosão ($-48,04 \text{ m}^3$), sendo provavelmente beneficiada pelo transporte litorâneo de sedimentos advindos de sudeste da praia de Torrões.

A granulometria dos sedimentos mostrou o predomínio de areia fina nas praias de Almofala e de Torrões e areia média na praia da Barreira. As areias predominantes foram moderadamente selecionadas em todas as praias, indicando média ação de ondas e ventos.

Foi identificada uma maior remoção das areias médias da zona de inframaré para a zona de supra-

maré, através dos ventos, na quadra intermediária, que fica mais intenso no final da quadra chuvosa até a quadra seca. A energia dos ventos e das ondas foi menor durante a quadra chuvosa e contribuiu para a deposição de areia muito fina no estirâncio e na zona de supramaré nas praias de Almofala e de Torrões.

A assimetria das areias na praia de Almofala apresentou um comportamento positivo, indicando acreção, coincidindo com os resultados da análise da posição da LMA. Por outro lado, nas praias da Barreira e de Torrões, predominou a assimetria negativa, indicando erosão, coincidindo também com as fases erosivas indicadas na posição da LMA das praias. A curtose predominante nas três praias foi mesocúrtica, com atividade média dos ventos e de ondas. A ocorrência de silte na praia da Barreira se dá na calha do canal de maré, que também recebe influência de pequenos córregos que deságuam neste, recortando os mangues e depositando os sedimentos finos ao longo da parte sul do cordão arenoso.

A praia da Caponga, no Ceará, é uma praia de estágio intermediário a reflectivo que vem sofrendo intensos processos de erosão, durante décadas, segundo Pinheiro *et al.* (2006), sendo que tais processos foram observados também nas praias da PAA. Várias medidas paliativas vem sendo desenvolvidas nas praias de Caponga, Fortaleza e Icará, como muros de contenção, espigões e monitoramento para conter a erosão, que em geral dão resultados temporários.

Na praia da Barreira, no canal de maré, foram realizadas (mas sem efeito) medidas simples de contenção da erosão, como sacos de areia e entulhos, para evitar a destruição de barracas e casas.

6 Conclusões

As três praias da PAA possuem onda dominante (RTR). A praia de Almofala exibiu terraço de maré baixa, enquanto nas praias da Barreira e de Torrões o estágio dissipativo predominou na análise do parâmetro Ω , com sistema de barra e calha.

As praias são semi-expostas, com atuação de média energia dos ventos e de ondas. As praias de Almofala e de Torrões exibiram sistema barra e calha longitudinal (ϵ), e estágio reflectivo na praia da Barreira. As praias de Torrões e da Barreira apresentaram recuo da linha de costa, com processos de erosão nas praias da Barreira ($-4,5 \text{ m}^3$) e de Torrões ($-72,1 \text{ m}^3$), tendo havido acreção ($62,83 \text{ m}^3$) na praia de Almofala. Medidas paliativas emergenciais para conter a erosão ou remoção de populações que margeiam a costa oeste de Almofala e as praias da Barreira e de Torrões devem ser realizadas para mitigar os efeitos do avanço do mar.

Agradecimentos - A todos dos Laboratórios de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) da UFC e o da UFPA, que contribuíram direta ou indiretamente para a pesquisa e ao CNPq pelo financiamento da bolsa de doutorado do primeiro autor.

Referências

- Albuquerque, M. da G., Calliari, L.J., Corrêa, I.C.S. & Pinheiro, L. de S. 2009. Morfodinâmica da praia do Futuro, Fortaleza-CE: uma síntese de dois anos de estudo. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 01(2): 49-57.
- Alves, M.A.M.S. 2001. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará*. Belém, 104p. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- Alves, M.A.M. & El-Robrini, M. 2004. Morphodynamics of a macrotidal beach: Ajuruteua, Bragança North Brazil. *Journal of Coastal Research*, 39 (SI): 949-951.
- Austin, M.J., Scott, T.M., Brown, J.W., Brown, J.A., Macmahan, J., Masselink, G. & Russell, P.E., 2010. Temporal observations of rip current circulation on a macro-tidal beach. *Continental Shelf Research*, 30: 1149-1165.
- Ayoade, J.O. 1996. *Introdução a Climatologia para os Trópicos*. Tradução Maria Juraci Zami dos Santos, revisão Suely Bastos. Coordenação Editorial de Antônio Cristofoletti. Rio de Janeiro, p. 224-264.
- Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C. & Taborde, R. 2006. Morphodynamics of exposed sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 39 (SI): 355-359.
- Beltrami, C.V., Alves, L.E.M. & Feijó, F.J. 1994. Bacia do Ceará. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1): 117-126.
- Birkemeier, W.A. 1981. *Fast accurate two-person beach survey*. Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi. 22p.
- Callaghan, D., Ranasinghe, R. & Short, A. 2009. Quantifying the storm erosion hazard for coastal planning. *Coastal Engineering*, 56: 90-93.
- CERC. Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers. Washington: CERC, D.C VI, 597p, VII, 603p.
- Costa, I.G. da C., Beltrami, C.V. & Alves, L.E.M. 1990. A evolução tectono-sedimentar e o habitat do óleo da bacia do Ceará. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 4(1): 65-74.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. 2003. *Atlas de geologia e recursos minerais do Ceará: Sistemas de Informações Geográficas - SIG*. Mapas na escala 1: 500.000. Brasil: CPRM, Fortaleza: CNPq, CD-Rom.
- DHN. Diretoria de hidrografia e Navegação. 2006. *Dados meteorológicos e oceanográficos da carta 29 (do Quadrado de Marsden 303)*. Disponível em: <http://schemas.openxmlformats.org/package/2006/content-types>. Acesso em: 05 de janeiro 2008.
- DHN. Diretoria de Hidrografia e Navegação. 2007. *Tábua das marés para o porto de Pecém e do porto do Mucuripe*. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acesso em: 05 de janeiro de 2007.
- Fernandes, A. 2000. *Fitogeografia brasileira*. Fortaleza: Multigraf. 340p.
- Folk, R.L. & Ward, C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia E Recursos Hídricos. 2008. *Meteorologia e oceanografia do estado do Ceará*. Fortaleza: FUNCEME. 2008. <http://www.funce-me.br/DEMET/index.htm>. Acessado em 31 dezembro de 2008.
- Guza, R.T. & Inman, D.L. 1975. Edge waves and beach cusps. *Journal of Geophysical Research*, 80(21): 2997-3012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2007. *Marcos Geodésicos*. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 01 Jan de 2007.
- Jackson, D.W.T.T, Cooper J.A.G. & Rio L. 2005. Geological control of beach morphodynamic state. *Marine Geology*, 216: 297-314.
- King, C.A.M. 1959. *Beaches and Coasts*. London, Edward Arnold, 403p.
- Komar, P. D. 1983. *Beach processes and erosion - an introduction*. In: KOMAR, P.D. (Ed.) *Handbook of Coastal Processes and Erosion*. Florida: CRC Press, 1: 1-20.
- Landim, P.M.B. 2003. *Análise Estatística de Dados Geológicos*. 2ª Ed. São Paulo: Ed. UNESP. 253p.
- Li, R., Deshpande, S., Niu, X., Lee, I-C. & Wu, B. 2008. Multi-dimensional geospatial data integration for coastal change analysis. *The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII (8): 1311-1316.
- Masselink, G., 1993. Simulating the effects of tides on beach morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, 15: 180-197.
- 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.
- Masselink, G., Kroon, A. & Davidson-Arnott R.G.D. 2006. Morphodynamics of intertidal bars in wave-dominated coastal settings - a review. *Geomorphology*, 73: 33-49.
- 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., Russell, P.E., Turner, I.L. & Blenkinsopp, C.E., 2009. Net sediment transport and morphological change in the swash zone of a high-energy sandy beach from swash event to tidal cycle time scales. *Marine Geology*, 267: 18-35.
- Muehe, D. 1998. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 46(2):157-169.
- Muehe, D. 2001. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1): 35-44.
- Oliveira, U.R., Barletta, R.C., Peixoto, J.R.V. & Horn Filho, N.O. 2008. Variabilidade morfológica da praia do Pântano do Sul, ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(3): 566-576.
- Pinheiro, L.S., Morais, J.O., Medeiros, C. & Pitombeira, E.S. 2006. The gabions for the protection of Caponga beach, Ceará/Brazil: hazards and management. *Journal of Coastal Research*, 39 (SI): 848-851.
- Ponçano, W.L. 1986. Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplo de sedimentos quaternários da costa brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*, 16(2): 157-170.
- Raichich, F. 2007. A Study of Early Trieste Sea Level Data (1875-1914). *Journal of Coastal Research*. West Palm Beach, Florida, 23 (4): 1067-1073.
- Raudkivi, A.J. 1990. *Loose boundary hydraulics*. 3ª ed. Ed. Pergamon - UK.
- Reineck, H-E. & Singh, I.B. 1980. *Depositional sedimentary environments*. 2. ed. New, Springer-Verlag. 543p.
- Sales, V.C.C. 2002. *Évolution géomorphologique de la zone côtière de L'état du Ceará, Nord-Est du Brésil: du long terme au court terme*. 513p. Tese de Doutorado. Paris, Université Paris-Sorbonne.
- Sedrati, M. & Anthony, E.J. 2007. Storm-generated morpho-

- logical change and longshore sand transport in the intertidal zone of a multi-barred macrotidal beach. *Marine Geology*, 244: 209-229.
- Short, A.D. 1999. *Beach and Shoreface Morphodynamics*. Chichester-New York: Wiley. 1999. p.378.
- Silva Filho, W.F. 2004. *Domínios morfoestruturais da plataforma continental do estado do Ceará*, Porto Alegre, 288p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Souza, M.J.N. de. 1989. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. Fortaleza. *Revista de Geologia* (1): 73-91.
- Souza, M.J.N. de. 1994. *Zoneamento geoambiental do estado do Ceará*. In: Ceará - Projeto Áridas: Grupo I - Recursos Naturais e Meio Ambiente. Fortaleza: Secretaria de Planejamento; Fundação Cearense de Meteorologia. 2:183-206.
- Trenhaile, A.S. 1997. *Coastal dynamics and landforms*, Oxford: Oxford University Press. 382p.
- Wright, L.D. & Short, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.
- Wright, L.D., Guza, R.T. & Short, A.D. 1982. *Dynamics of a high-energy dissipative surf zone*. *Marine Geology*, 45: 41-62.
- Yoshikawa, S. & Nemoto, K. 2010. Seasonal variations of sediment transport to a canyon and coastal erosion along the Shimizu coast, Suruga Bay, Japan. *Marine Geology*, 271: 165-176.
- Manuscrito 505
Editores: Iran S. Correa e César L. Schultz.

NO PRELO

NO PRELO