Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

**Variações morfodinâmicas das praias do “Saco do Laranjal”,
costa noroeste do estuário da Laguna dos Patos, RS**

Andrea Fischer, Lauro Julio Calliari

Pesquisas em Geociências, 38 (3): 283-296, seg./dez., 2011.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/35168>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2011.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Variações morfodinâmicas das praias do “Saco do Laranjal”, costa noroeste do estuário da Laguna dos Patos, RS

Andrea FISCHER¹ & Lauro Julio CALLIARI²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio-Grandense, Campus Pelotas. Praça 20 de Setembro, 455, Centro, Pelotas, RS, Brasil, CEP 96015-360. E-mail: andrea@pelotas.ifsul.edu.br.

² Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Laboratório de Oceanografia Geológica. Av. Itália, Km 8, s/no, Rio Grande, RS, Brasil, CEP 96201-900. E-mail: lcalliari@log.furg.br.

Recebido em 08/2009. Aceito para publicação em 07/2011.

Versão online publicada em 05/11/2012 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - A análise das características morfológicas do “Saco do Laranjal”, localizado na costa noroeste da região estuarina da Laguna dos Patos, permite avaliar alterações recentes e atuais. A baía está dividida em quatro praias: Laranjal, Barro Duro, Totó e Colônia de Pescadores Z3. A análise das variações na linha de costa foi feita através de fotografias aéreas obtidas nos anos de 1980 e 1995. Os levantamentos topográfico e granulométrico das porções subaéreas e subaquosas foram efetuados em intervalos mensais. As características hidrodinâmicas relativas a altura e período de onda foram obtidas através de modelagem e de observações visuais. Através da análise da variação da linha de costa entre 1980 e 1995, foi possível observar que a praia do Barro Duro sofre taxas erosivas de 1,04 m/ano. A Colônia Z3 possui pontos com taxas erosivas e a praia do Totó apresenta pontos estáveis e outros com erosão. Contrariamente, a praia do Laranjal mostra acreção e estabilidade. Os estudos permitem inferir que as principais causas de erosão nas praias lagunares são as ondas de curto período geradas na própria laguna por ventos locais, o transporte litorâneo associado e o aumento do nível lagunar durante períodos de enchente associados com ventos do quadrante Sul. Os parâmetros morfométricos obtidos através dos perfis praias indicam alto índice de mobilidade para a praia do Barro Duro decrescendo para as praias do Totó e Colônia Z3 e mínimo para a praia do Laranjal. Conforme a caracterização morfológica, sedimentológica e hidrodinâmica dos locais analisados, são propostas ações para mitigar a erosão. Estas ações combinam obra de engordamento de praia juntamente com a construção de estruturas costeiras leves.

Palavras-chave: variações da linha de costa, erosão costeira, praias estuarinas.

Abstract- MORPHODYNAMIC CHANGES OF THE “SACO DO LARANJAL” BEACHES ON THE NORTHWESTERN COAST OF THE PATOS LAGOON ESTUARY, RS. Analysis of the morphological characteristics of the “Saco do Laranjal”, an embayment located at the northwest portion of the Patos Lagoon estuary allowed to evaluate recent and actual changes. The embayment is subdivided in four beaches: Laranjal, Barro Duro, Totó and Colônia de Pescadores Z3. Coastline changes analysis was based on aerial photographs obtained in 1980 and 1995. Beach profiles surveys and grain size analysis both at the subaerial and subaqueous portions of the beach were performed at monthly intervals. Hydrodynamic characteristics related to wave height and period were obtained through modeling and visual observations. Shoreline changes demonstrate that between 1980 and 1995, erosion rates for Barro Duro beach reached 1.04 m/year. Colônia Z3 beach displays some erosion spots and Totó beach presents both erosive and accretion stretches. In contrast, Laranjal beach displays accretion and stability. The studies allowed inferring that the main erosion causes can be attributed to short period waves generated by local winds, the associated littoral drift and the frequent increase of the water level on the margin during periods of floods associated with winds from the southern quadrant. The evaluation of the morphometric parameters obtained from beach profiles showed high, medium and low mobility index respectively for Barro Duro, Totó and Colonia Z3 beaches and Laranjal beach. Based on the morphological evolution, the sedimentology and hydrodynamics characteristics, actions of erosion mitigations which combines beach nourishment and light coastal structures is proposed.

Keywords: shoreline changes, coastal erosion, estuarine beaches

1. Introdução

As praias estuarinas são um dos ambientes

do estuário. Assim como em outros ambientes costeiros, estas praias interessam para o desenvolvimento de atividades comerciais, imobiliárias,

de lazer, turísticas, ecológicas, esportivas e outras. Independente do tamanho, da origem e da aparência, elas têm valor ecológico, social e econômico.

O estudo foi realizado na margem noroeste da região estuarina da Laguna dos Patos entre a Barra do Canal São Gonçalo e a Colônia de Pescadores Z3, entre os paralelos 31°47' e 31°41' de latitude sul, e entre os meridianos 52°16' e 52°05' de longitude oeste,

no município de Pelotas, Rio Grande do Sul. Esta região, que se estende da Barra do Canal São Gonçalo até a Ponta da Feitoria, é denominada “Saco do Laranjal” que, por sua vez, está dividida em quatro praias: Laranjal (Balneários Santo Antônio e Valverde), Barro Duro (Balneário dos Prazeres), Totó e a Colônia de Pescadores Z3 (Fig. 1).

Há pelo menos 20 anos, moradores do balne-

Figura 1. Localização da área de estudo e dos perfis topográficos praias levantados.

ário da praia do Barro Duro têm percebido a ocorrência de processos erosivos na orla, com a diminuição da largura de praia e a degradação da mata nativa próxima à linha de praia. Assim como as praias oceânicas, as praias estuarinas também são passíveis de modificações morfológicas e de sofrer processos erosivos. Segundo Nordstron (1992), os agentes principais da erosão nestas praias são as ondas geradas dentro do próprio estuário por ventos locais, as marés, o aumento do nível da água e as correntes induzidas por ondas.

O objetivo deste trabalho é avaliar alterações recentes associadas aos processos morfológicos e morfodinâmicos praias e apontar soluções, tais como obras de engenharia costeira, para minimizar os problemas de erosão praial que vêm ocorrendo em alguns dos locais analisados. Para isto, foi realizado o estudo das mudanças da linha de costa através de fotografias aéreas dos anos de 1980 e 1995 e, entre os meses de maio/2003 a agosto/2004, foram feitos levantamentos topográficos, levantamento batimétrico e granulométrico das porções subaéreas e subaquosas e, ainda, uma análise de altura e período de ondas locais. A caracterização da variação morfológica e os processos associados fornecem subsídios importantes para planos de geren-

ciamento costeiro que objetivem minimizar os problemas erosivos. A margem oeste da Laguna dos Patos possui um grande potencial turístico, sua orla esta sujeita a uma intensa ocupação futura e, ainda, possui áreas de preservação ambiental.

2. Materiais e métodos

2.1. Variação da linha de costa

O estudo da variação da linha de costa foi feito através da confecção de mosaicos aerofotogramétricos utilizando-se fotografias na escala de 1:8.000 correspondentes aos anos de 1980 e 1995.

Os mosaicos foram feitos através da utilização do *software AutoCad®*, onde as aerofotografias foram sobrepostas sobre uma planta previamente georeferenciada que serviu de base cartográfica. Para verificação do georeferenciamento da planta utilizada, foram adquiridos 46 pontos de controle, com o auxílio de um receptor GPS, modelo GARMIM III PLUS, com precisão horizontal de 10 metros e adotando como padrão o sistema de coordenadas planas UTM, com datum horizontal de referência o sistema SAD 69. Os pontos de controle foram localizados em cons-

Figura 2. Mosaico da praia do Barro Duro com indicação do local para obra de engordamento e das feições digitalizadas.

construções civis identificadas e não modificadas nos dois levantamentos aéreos, pois feições naturais são sujeitas à dinâmica ambiental, causando um maior erro de posicionamento.

As feições digitalizadas e utilizadas para a comparação das variações ocorridas foram a linha da vegetação e a linha da água. Embora a linha da água não seja uma feição estável sofrendo variações de curto período, ela foi utilizada em locais onde não era possível a visualização de vegetação, considerando que o nível da laguna não estava em período de cheia nos anos analisados. Com o auxílio do *software AutoCad®* foi feita a sobreposição dos mosaicos dos anos de 1980 e 1995, com as feições devidamente digitalizadas. Sobre os mosaicos foram geradas linhas representativas da orientação da linha de costa e foram traçados perfis digitais perpendiculares a esta linha em intervalos regulares de 100 m, totalizando 124 perfis. Estes perfis foram chamados P1, P2 e assim por diante até o P124. Através dos perfis e das feições digitalizadas e sobrepostas, foram calculadas as distâncias entre feições. Com estas distâncias, calculou-se a média aritmética e dividiu-se esta pelo número de anos entre os

levantamentos, obtendo-se a taxa de erosão ou de acreção dos locais analisados. Na figura 2 é possível a visualização dos perfis digitais P54 até P62 e as feições digitalizadas e sobrepostas dos anos de 1980 e 1995.

O erro introduzido nesse tipo de estudo poderá ter duas origens: metodológica ou dependente da dinâmica natural das feições. A determinação do erro foi feita através da medição em campo de uma distância entre dois pontos conhecidos e que aparecem nos dois aerolevantamentos. Essa distância foi chamada de L. A mesma distância foi aferida sobre os aerolevantamentos já processados, e os valores chamados de L1 e L2. A diferença de valores representa os erros de posicionamento. A maior dessas diferenças foi considerada a faixa de incerteza. Então, valores abaixo da faixa de incerteza foram desconsiderados para o cálculo das taxas de erosão ou acreção, sendo considerados valores de estabilidade. Os valores dentro da faixa de incerteza também foram considerados estáveis e os valores acima desta faixa foram utilizados para a interpretação da dinâmica de cada feição praial (Tab. 1).

Tabela 1. Cálculo das faixas de incerteza/erro nos mosaicos

Mosaico	L (m)	L ₁ (m) Ano 1995	L ₂ (m) Ano 1980	Faixa de incerteza (m)
Mosaico 1	75,20	78,63	76,22	3,43
Mosaico 2	109,80	107,20	109,48	2,60
Mosaico 3	75,30	74,96	72,68	2,62

2.2. Perfis topográficos praiais

Foram estabelecidos cinco locais de monitoramento através do levantamento de perfis topográficos praiais (Fig. 1), a partir de 10 campanhas, no período entre maio/2003 e agosto/2004. O levantamento topográfico foi realizado com uma Estação Total, Marca Nikon Modelo DTM - 330. Os dados gerados na Estação Total foram inseridos no *software Geoffice®* e, interpolados no *software MatLab®*. Após, estes dados foram organizados em arquivos no utilitário Excel® onde gráficos do envelope dos perfis foram desenvolvidos. A largura do pós-praia foi medida no local, em cada dia de levantamento, e foram efetuados os cálculos dos

parâmetros morfométricos (Tab. 2): média (Yb), desvio padrão (σYb) e o coeficiente de variação (CV). O CV foi calculado a partir da seguinte expressão:

$$CV = \frac{\sigma Yb}{Yb}$$

Onde CV é o coeficiente de variação em porcentagem, Yb é a largura média do pós-praia e σYb é o desvio padrão da largura média do pós-praia.

O cálculo da variação do volume do pacote sedimentar foi feito através de rotina no *software MatLab®*. Através dos envelopes dos perfis foram calculadas as máximas variações verticais da superfície praial.

2.3. Levantamento dos perfis batimétricos

A localização e a orientação dos cinco perfis batimétricos levantados foram as mesmas utilizadas nos levantamentos dos perfis praias. Para a obtenção dos dados batimétricos foi utilizada uma embarcação munida de uma Eco-sonda Hydrotrac, operando na frequência de 200 kHz, com uma reso-

lução de 0,01 m e acurácia de 0,01 m. Para cada registro foram obtidas, simultaneamente, as coordenadas geográficas do local com um receptor GPS modelo Garmim III Plus, com precisão horizontal de 10 m. Os registros impressos foram interpolados, obtendo-se assim as profundidades e as respectivas distâncias ao longo do perfil.

Tabela 2. Parâmetros morfométricos praias

Parâmetros	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5
N	9	10	10	10	9
Meses	15	15	15	15	15
Mz (phi)	-0,49	0,13	-0,068	-0,199	0,1602
Declividade Porção Subaérea	2° 15' 35"	1° 24' 8"	3° 53' 13"	3° 34' 19"	2° 55' 38"
Declividade Face da Praia	4° 35' 55"	6° 52' 47"	6° 15' 45"	5° 50' 50"	7° 16' 7"
Yb (m)	46,02	64,90	19,3	21,8	15,6
σYb (m)	1,9	2,7	4,8	1,9	1,6
CV (%)	4	4	25	8,5	10
Vv (m ³ /m) Porção Subaérea	0,82	1,15	0,37	0,35	0,22
σVv (m ³ /m) Porção Subaérea	0,67	0,75	0,36	0,29	0,13
Vv (m ³ /m) Porção Subaquosa	4,72	1,98	1,36	0,50	2,83
σVv (m ³ /m) Porção Subaquosa	2,55	2,51	1,51	0,32	1,51

N – Número de levantamentos; Mz – Tamanho Médio do Sedimento no pós-praia; Yb – Largura média do pós-praia; σYb – índice de mobilidade do pós-praia (desvio padrão da largura média do pós-praia); CV – índice de mobilidade do pós-praia (coeficiente de variação da largura média do pós-praia); Vv – variação média do volume; σVv – desvio padrão da variação de volume.

2.4. Análise dos dados granulométricos

Foram coletadas 123 amostras de sedimentos do pós-praia e da face da praia dos cinco perfis praias durante as dez campanhas de medições topográficas efetuadas. Ao longo dos perfis batimétricos foram coletadas 56 amostras com um busca fundo do tipo *Mud Snapper*.

A análise granulométrica foi feita mediante o processo de peneiramento mecânico para partículas maiores que 0,0625 mm ($<4\Phi$) de diâmetro, com intervalos de $\frac{1}{4}$, de acordo com a escala de Wentworth de 1922 (Suguio, 1973). Já para o sedimento fino composto por partículas menores do que 0,0625 mm ($>4\Phi$) utilizou-se o método de pipetagem. Os dados foram caracterizados de acordo com os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957), analisando-se a média, a classificação por tamanho, a porcentagem de cada classe granulométrica e histogramas para verificação da

classe modal de cada uma das amostras.

Após a análise das amostras no *software SysGran®*, os dados foram salvos em planilhas no *software Excel®* e organizados com a indicação da porcentagem de cada classe granulométrica.

2.5. Análise da agitação gerada por vento

O modelo matemático utilizado para verificar a agitação gerada pelo vento baseou-se no Programa SMB89 desenvolvido no Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC (1989), em Portugal, na linguagem Fortran (Formula Translation).

A caracterização de altura e período significativos de onda foi feita mediante a entrada de dados no Programa SMB89 e através de medições em campo de altura e período significativos de onda no mês de março de 2004, durante três dias. A medição em campo permitiu que fossem feitas

comparações dos dados observados com os dados obtidos através do Programa SMB89.

Em levantamento de campo, os dados de altura de onda foram obtidos utilizando-se uma régua graduada onde se lê a diferença entre a altura da crista e da cava da onda. O número total de leituras é dividido em três grupos, sendo que um destes grupos é o terço com os valores máximos medidos. Com o terço dos valores máximos é feita a média aritmética para a obtenção da altura significativa (H_s). Já o período significativo de onda é obtido com o auxílio de uma régua graduada onde se contam 11 ondas consecutivas, verificando-se o tempo de incidência destas ondas com um cronômetro. O tempo registrado é dividido por 10, obtendo-se o período. Com o número total calculado de períodos, divide-se o terço com os valores máximos, se faz a média aritmética deste terço, obtendo-se o período significativo (T_s). Estas medições foram feitas em uma profundidade de 0,5 m.

Durante o período de fevereiro/2003 a agosto/2004, foram obtidas fotografias para verificar a direção das incidências de chegada de onda. Não foi realizado um estudo estatístico dos ventos. A análise para caracterização de ondas foi feita somente nos dias de observação e nos dias com ventos intensos.

Os dados de velocidade e direção dos ventos foram obtidos na Estação Agroclimatológica UFPel/EMBRAPA de Pelotas. Os dados de velocidade dos ventos foram ajustados segundo a metodologia proposta pelo U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984), onde foram feitos os ajustes para a altura e a duração média, e calculado o fator de tensão do vento

através da seguinte equação:

$$U_A = 0,71V^{1,23}$$

onde U_A é o fator de tensão do vento (em m/s) e V é a velocidade do vento (em m/s).

Os dados de entrada necessários para caracterizar ondas no Programa SMB89 foram: (1) pista de vento "*fetch*" (metros) ou, então, o programa calcula o "*fetch efetivo*" se forem fornecidas as medidas dos raios projetados a cada 6°; (2) duração do vento (segundos); (3) profundidade (foi utilizada uma profundidade de 0,5 m); (4) direção do vento e; (5) fator de tensão do vento (m/s), calculado a partir do tratamento dos dados de velocidade do vento.

3. Resultados

3.1. Variação da linha de costa

Pela comparação entre feições digitalizadas nos mosaicos na praia do Laranjal entre 1980 e 1995, a taxa de acreção foi de 0,21 m/ano. Na localidade entre as praias do Laranjal e do Barro Duro foi obtida uma taxa de acreção de 0,74 m/ano.

A análise ao longo da praia do Barro Duro indica que a mesma foi submetida a taxas de erosão que atingiram em média 0,55 m/ano. Em alguns pontos esta taxa é mais acentuada, chegando a um valor de 1,04 m/ano, dado bastante representativo da tendência erosiva do local (Fig. 2). Estes pontos situam-se na área de maior utilização recreativa e turística da praia, podendo-se verificar os efeitos da erosão no local, com a diminuição da faixa de praia e a degradação da mata nativa (Fig. 3).

Figura 3. Praia do Barro Duro: (A) estreita largura de praia; (B) degradação da mata nativa.

Os perfis na área entre as praias do Totó e do Barro Duro mostram valores erosivos bem menores do que os perfis mais ao sul deste setor, com uma taxa erosiva de 0,36 m/ano.

Na praia do Totó e na Colônia Z3 foram verificados pontos com erosão, acreção e estabilidade em locais distintos. Foi observado que as taxas de erosão e de acreção possuem valores muito próximos, ou seja, a taxa de erosão ficou em 0,43 m/ano e, o de acreção em 0,47 m/ano, podendo indicar uma movimentação de sedimentos ao longo da costa. É importante salientar que na Colônia Z3 a linha de costa está bastante modificada por ações antrópicas, causando interferência nas taxas calculadas.

3.2. Perfis topográficos e parâmetros morfométricos/praias

O Perfil 1, localizado ao sul da praia do Laranjal (Fig. 1), apresentou um pós-praia com largura média de 46,02 m, considerado largo quando comparado a outras praias estuarinas, que geralmente possuem estreitas faixas de pós-praia. A maior largura observada (49,07 m) ocorreu no mês de abril/2004, enquanto a menor (42,95 m) ocorreu no mês de junho/2003. O coeficiente de variação calculado para o pós-praia ($CV = 4$) indica uma baixa mobilidade, característica de praias estáveis. A máxima variação vertical do pacote de perfis foi de 0,34 m, na porção sub-aquosa, devido à

existência de vários bancos paralelos a praia, compostos por areia com granulometria fina e muito fina. A variação do volume na porção subaquosa foi a maior de todos os perfis, com um valor de $4,72 \text{ m}^3/\text{m}$. O envelope dos perfis levantados pode ser visualizado na figura 5.

O Perfil 2 está localizado ao norte da praia do Laranjal (Fig. 1), com largura média do pós-praia de aproximadamente 65 m. Assim como ocorreu no Perfil 1, a maior largura observada (67,89 m) ocorreu no mês de abril/2004 enquanto a menor (60,98 m) ocorreu no mês de junho/2003. É um pós-praia de baixa mobilidade ($CV = 4$). A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 0,48 m, na face da praia (Fig. 5).

O Perfil 3 situa-se na praia do Barro Duro (Fig. 1). A largura média do pós-praia foi de 17,92 m. Assim como ocorreu nos Perfis 1 e 2, a maior largura (28,26 m) ocorreu em abril/2004 enquanto a menor (13,09 m) foi em junho/2003. Este é o perfil que apresentou um pós-praia com a maior mobilidade ($CV = 25$), portanto mostra características de uma praia sujeita a grande mobilidade. A máxima variação vertical do volume do pacote de sedimentos foi de 0,87 m, na face da praia (Fig. 5), ocorrendo a formação de escarpas detectadas em alguns meses dos levantamentos (Fig. 4). A porção subaquosa é bastante estável, sem ocorrência de formação de bancos paralelos à praia, contrariando o que ocorre nos Perfis 1 e 2.

Figura 4. Formação de escarpas e cúspides na praia do Barro Duro: (A) novembro/03; (B) janeiro/04.

O Perfil 4, na praia do Totó (Fig. 1), apresentou uma largura média do pós-praia de 21,44 m. A maior largura (24,32 m) ocorreu em março/2004 enquanto a menor (18,05 m) ocorreu em junho/2003. Apresentando um ($CV = 8,5$), mostrou-se uma praia com menor mobilidade do que a praia do Barro Duro e maior do que a praia do Laranjal. A máxima variação vertical do envelope de perfis foi de 0,33 m, na face da praia (Fig. 5).

O Perfil 5, situado ao norte da Colônia Z3

(Fig. 1), caracterizou-se pelo pós-praia com a menor largura média (15,41 m). A maior largura (17,98 m) foi em abril/2004, enquanto a menor (12,45 m) também foi verificada em junho/2003. Apresentando um ($CV = 10$), mostra-se com um pós-praia com mobilidade intermediária. A máxima variação vertical do pacote de sedimentos foi de 0,35 m, na face da praia, mostrando-se um perfil estável na porção subaquosa, com variações verticais muito pequenas (Figs. 5 e 6).

Figura 5. Envelopes dos perfis topográficos praias (1 a 3).

Figura 6. Envelopes dos perfis topográficos praias (4 a 5).

3.3. Previsão da agitação gerada por vento

Para a previsão da agitação gerada por ventos, o ideal é que se tenham estações com anemógrafos próximos aos locais de predição de ondas para obtenção dos dados locais de vento.

Neste trabalho, devido à ausência de estações anemográficas mais próximas, a obtenção de dados de vento foi feita na Estação Agroclimatológica UFPel/EMBRAPA de Pelotas, que se encontra a uma distância de aproximadamente 30 km dos locais de estudo. Segundo o U.S. Army Coastal Engineering Research Center (1984), é possível o estudo de previsões de onda com dados de ventos obtidos

a partir de estações anemográficas instaladas até 100 km de distância, validando os dados utilizados neste trabalho.

Os dados obtidos no período de fevereiro de 2003 a agosto de 2004 mostraram que as velocidades médias dos ventos situaram-se entre 0 e 4 m/s e as máximas entre 4 e 7,8 m/s, com uma duração entre 1 e 3 horas, nas direções previstas para geração de ondas na margem oeste. Com isto, foram obtidos valores de altura significativa de onda (H_s) entre 0,10 e 0,35 m, e de período significativo (T_s) entre 1,2 a 2,9 s.

A tabela 3 mostra uma comparação entre os dados obtidos em campo e os dados previstos pelo Programa SMB89, considerando-se uma profundidade de 0,5 m.

Tabela 3. Comparação de dados obtidos pelo Programa SMB89 com os dados obtidos no levantamento de campo.

Data	Local	Velocidade do Vento (m/s)	Direção do Vento	Duração (horas)	Hs (SMB ^{2 3}) (m)	Ts (SMB ^{2 3}) (s)	Hs (campo) (m)	Ts (campo) (s)
18/03/04	Laranjal	3,6	NE	2	0,1	0,9	0,11	2,7
28/03/04	Laranjal	5,5	E	2	0,15	2,0	0,21	2,96
31/03/04	Z3				0,16	2,0	0,30	2,4
31/03/04	Laranjal	7,2	NE	3	0,2	2,2	0,26	2,81

Observações visuais mostraram incidência oblíqua de ondas, principalmente com ventos soprando nas direções NE e SE em todas as praias analisadas.

A figura 6 mostra incidência oblíqua de ondas, com ventos nas direções NE e SE.

Figura 7. Incidência oblíqua de ondas: (A) Praia do Laranjal com ventos na direção NE; (B) Colônia Z3 com ventos na direção SE.

3.4. Análise granulométrica

Pela análise das amostras coletadas no Perfil 1, as areias do pós-praia e da face da praia apresentam tamanho médio de -0,49 phi (1,4 mm), equivalente a areia muito grossa, e seleção moderada. Houve bastante variação dos valores das médias relacionados aos valores das modas, indicando um sedimento polimodal. Conforme a tabela 4, a porcentagem granulométrica indica uma praia composta em grande parte (67%) pela

presença de grânulo e de areia muito grossa. A análise feita na porção subaquosa ao longo do Perfil Batimétrico 1 mostrou que a porcentagem de areia fina e muito fina foi a maior em praticamente todas as amostras. As amostras localizadas entre a linha da praia e a cerca de 400 m em direção ao interior da laguna tiveram um grau de seleção variando de bom a muito bom. As amostras mais afastadas mostraram-se pobremente a muito pobremente selecionadas.

Tabela 4. Porcentagem granulométrica do pós-praia e da face da praia dos perfis praias.

Perfis Praiais	Porcentual						
	Seixo	Grânulo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina e muito fina	Silte e argila
1	7	36	32	13	8	4	0
2	3	14	29	30	22	2	0
3	6	16	29	31	14	4	0
4	7	27	32	12	12	10	0
5	6	18	23	18	26	9	0

No Perfil 2, foram analisadas 24 amostras do ambiente subaéreo da praia. A areia ficou classificada como areia grossa, com média de 0,13 phi ($\approx 0,93$ mm), e moderadamente selecionada. Nesta praia existe maior porcentagem de areia grossa e muito grossa (59%), a porcentagem de areia fina e muito fina é muito pequena (2%) (Tab. 4). Na porção subaquosa, foram coletadas 8 amostras ao longo do Perfil Batimétrico 2, onde foi verificada uma porcentagem bastante expressiva de areia fina e muito fina em todas as análises.

O Perfil 3, correspondente à praia do Barro Duro, onde se verifica a erosão praial, é caracterizado texturalmente na porção subaérea como areia muito grossa, com tamanho médio do grão de -0,068 phi (1,01 mm), e com grau de seleção moderado. Também apresenta características de bimodalidade, mostrando classes modais com valores diferentes do tamanho médio do grão. Pela porcentagem granulométrica (Tab. 4), esta porção da praia é composta por areias muito grossas e grossas em sua maior parte (60%). Ao longo do Perfil Batimétrico 3, foram coletadas 16 amostras. As amostras apresentaram grande porcentagem de areia fina e muito fina e algumas mostraram valores de até 12% de silte e argila, mostrando que a porção subaquosa do Perfil 3 tem características granulométricas diferentes das existentes na porção subaérea.

O Perfil 4 apresentou no pós-praia e face da praia areia muito grossa, pobremente selecionada, com tamanho médio de -0,199 phi ($\approx 1,15$ mm) através da análise de 23 amostras. Na porcentagem granulométrica ficou evidenciada a presença em maior quantidade de areia muito grossa (32%), seguida pela presença de grânulo (27%), sem a ocorrência de finos (Tab. 4).

Ao longo do levantamento batimétrico do Perfil 4, na Praia do Totó, foram obtidas 9 amostras. Neste perfil foram encontradas as amostras com características semelhantes a amostras da porção subaérea do Perfil 3, ao contrário dos Perfis Batimétricos 1, 2 e 3. A amostra denominada "A18"

(Tab. 5) localizada a 519 m da face da praia do Totó mostra 23% de grânulo, 33% de areia muito grossa e 16% de areia grossa, sem a presença de silte e argila. A amostra denominada "A15" (Tab. 5), localizada a 887 m da face da praia do Totó, também apresenta características semelhantes às amostras coletadas na praia do Barro Duro, sem a presença de finos, com 32% de grânulo, 27% de areia muito grossa e 12% de areia grossa. Estes valores percentuais indicam um sedimento com características semelhantes às da amostra da porção subaérea do Perfil 3 (Tab. 4). Com exceção de amostra coletada a uma distância de 75 m da face da praia, que mostrou uma grande quantidade de finos (42%), todas as demais amostras do Perfil Batimétrico 4 mostraram sedimentos com características semelhantes às das amostras da porção subaérea da praia do Barro Duro com pequenas quantidades de finos, variando de 0 a 7% nas amostras.

Foram coletadas 23 amostras do pós-praia e da face da praia no Perfil 5 na Colônia de Pescadores Z3. A análise destas amostras mostrou um sedimento pobremente selecionado, com tamanho médio de 0,1602 phi ($\approx 0,09$ mm), caracterizando areia grossa. Foi verificada a presença mais acentuada de areia média (27%) do que nas outras praias analisadas, mas também fica evidenciada a presença de grânulo, areia grossa e muito grossa (Tab. 4). Já as 13 amostras coletadas ao longo do Perfil Batimétrico 5 indicaram que o grau de seleção é de pobre a muito pobre, principalmente devido à diferença entre os valores da média e da moda. As amostras coletadas a distâncias de 1195 e 1252 m da face da praia possuem características semelhantes às das amostras da porção subaérea da praia do Barro Duro, mostrando um sedimento sem a presença de finos e com bons percentuais de areia grossa e muito grossa, porém mostram valores entre 26 e 27% de areia fina e muito fina. As demais amostras ao longo da porção subaquosa indicam uma quantidade significativa de areia fina e muito fina, com porcentagens pequenas de silte e argila.

Tabela 5. Porcentagem granulométrica das amostras A15 e A18 com características semelhantes às das amostras da porção subaérea do Perfil Praial 3 (Praia do Barro Duro).

Amostras	Porcentual						Silte e argila
	Seixo	Grânulo	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina e muito fina	
A 15	8	32	27	12	8	13	0
A 18	9	23	33	16	7	12	0

4. Discussão

Jackson *et al.* (2002) propuseram que o termo baixa energia fosse utilizado em locais onde: (1) a altura significativa de onda em condições normais, sem eventos de tempestade, seja menor que 0,25 m; (2) a altura significativa da onda durante ventos fortes que sopram em direção à costa seja menor que 0,50 m; (3) a face da praia seja estreita, menor que 20 m, em ambientes de micro maré e (4) as feições morfodinâmicas sejam herdadas de ambientes de alta energia.

Hegge *et al.* (1996) considera ambientes de baixa energia quando a média anual da altura significativa de onda é menor que 1,0 m e alta energia quando excede 2,0 m.

Davies (1964, *apud* Hegge *et al.*, 1996), classificou os ambientes costeiros em relação à altura das marés sendo: micromaré (< 2,0 m); mesomaré (2,0 a 4,0 m) e macromaré (> 4,0 m). Sendo que muitos outros autores têm apontado ambientes de micromaré quando a amplitude de maré é inferior a 1,0 m.

As características das praias estuarinas estudadas mostram que estas podem ser classificadas como de baixa energia em ambiente de micromaré na classificação de sistemas costeiros.

A mobilidade e as mudanças morfodinâmicas ocorridas em praias estuarinas de baixa energia e em ambiente de micromaré geralmente ocorrem na porção subaquosa próxima à porção subaérea e de maneira mais acentuada na face praial. A mobilidade das praias estudadas foi verificada pela análise dos parâmetros morfométricos (Tab. 2), propostos por Short & Hesp (1982). A estabilidade que se verifica na face de praia nos Perfis 1 e 2 também foi verificada no estudo da variação da linha de costa feito através dos mosaicos, onde alguns locais mostraram acresção não acentuada e outros mostraram-se estáveis. A praia do Barro Duro (Perfil 3) mostra um coeficiente de variação (CV=25) maior do que em algumas praias oceânicas que vêm sofrendo forte processo erosivo, tal como a Praia do Hermenegildo (localizada no município de Chuí), onde Calliari & Klein (1993) calcularam um CV=15. Relacionando esta alta mobilidade com a variação da linha de costa, entre os anos de 1980 e 1995, fica evidenciada a ocorrência de episódios de erosão que o local vem sofrendo ao longo dos anos. A alta mobilidade pode estar relacionada também com a forma rítmica desta praia devido à formação de cúspides praias ao longo da linha da costa (Fig. 4). Sonu (1973, *apud* Makaske & Augustinus, 1998) mostrou que a migração da topografia rítmica

poderá causar consideráveis variações na largura da face praial.

Conforme a classificação proposta por Hegge *et al.* (1996) e Makaske & Augustinus (1998) para perfis de praia em ambientes de baixa energia, todos os cinco perfis praias levantados podem ser classificados como íngremes, já que a altura de onda não ultrapassa 0,25 m em condições normais, sem ventos fortes e ocorrência de tempestades, e também pela presença de areia grossa e muito grossa, que imprimem às mesmas uma alta declividade.

Em relação ao Perfil 3, a estabilidade da porção subaquosa deve-se à presença de uma camada bastante compacta de sedimentos (granulometria fina). A formação desta camada é devida a afloramentos da Formação Graxaim, que ocorre em alguns locais da Laguna dos Patos (Calliari *et al.*, 1980). Desta forma, a energia das ondas no local não é suficiente para a remoção destes sedimentos, fazendo com que o transporte transversal *cross-shore* seja mínimo ou inexistente. É verificada uma fina camada de areia sobre a zona compactada, que pode ser o resultado dos sedimentos que estão em movimento ao longo da costa. Com a predominância de transporte ao longo da praia *longshore* suprindo e retirando sedimentos, resultando num balanço líquido negativo que impede a formação de um estoque sedimentar na porção subaquosa. Jackson & Nordstron (1992) evidenciam que no domínio de transporte longitudinal ocorre a retração, sem a troca de sedimentos entre a porção inferior e superior da face da praia. Esta análise foi obtida pelos autores através de levantamento em 21 praias arenosas em ambiente de mesomaré, na costa dos Estados Unidos, onde foram identificados dois tipos de perfis, conforme o domínio do transporte de sedimentos (transversal ou longitudinal).

O envelope dos perfis na praia do Barro Duro (Fig. 5) é o que mostra as maiores variações na face da praia (0,87 m) ao longo do período de estudo. Tal fato é evidenciado pela formação de cúspides praias (Fig. 4) e também pelo predomínio de transporte longitudinal devido à constante incidência oblíqua das ondas.

As ondas dentro da laguna têm um curto período, por isso são menos afetadas pelo efeito da refração, incidindo obliquamente. A incidência oblíqua aumenta o potencial de correntes longitudinais à costa e, desta forma, aumenta o transporte de sedimentos ao longo da praia (Carter, 1980; Jackson *et al.*, 2002). Uma das hipóteses consideradas é a existência de deriva litorânea de sedimentos para o Sul, principalmente pela

ocorrência frequente de incidência oblíqua de ondas geradas por ventos NE, explicando a acreção em alguns locais das praias do Laranjal. Outra hipótese é a ocorrência de um transporte bidirecional ao longo da costa, onde além dos ventos NE ocorrem ventos de SE, que também causam incidência oblíqua de ondas e, por sua vez, estariam fazendo com que migrassem sedimentos para a direção Norte, causando o crescimento de feições ao norte, tal como a Ponta da Feitoria.

Na visualização dos gráficos dos envelopes dos perfis praias de todas as praias analisadas (Fig. 5), verifica-se que na profundidade de aproximadamente 1,0 m, não ocorre movimentação significativa de sedimento. Apesar de não terem sido utilizadas ferramentas estatísticas no estudo de dados de onda para o cálculo, é verificado que a profundidade de fechamento dos perfis topográficos levantados pode estar situada próxima a este valor.

A profundidade de fechamento ou limite litorâneo é o parâmetro que melhor define uma avaliação rápida e relativamente segura da possibilidade de movimentação dos fundos arenosos sob a ação das ondas. Segundo Almeida et al. (1999), esta profundidade identifica a fronteira da zona de transporte arenoso longitudinal e transversal ativo, ou seja, é a profundidade para a qual já não ocorrem alterações significativas da cota do fundo. É um parâmetro importante a ser considerado quando existem problemas de engenharia nas áreas costeiras.

A partir da verificação que importantes pontos turísticos e de preservação ambiental da orla sofrem processo de erosão, foram estudadas possíveis obras de engenharia costeira para mitigação dos problemas visualizados.

Segundo Nordstron (1992), existem algumas medidas para a estabilização de praias, tais como: estabelecimento de uma faixa de recuo que forneça proteção para as construções locais contra a erosão e as cheias; construção de estruturas rígidas de engenharia costeira que possam dissipar a energia de ondas ou então reter os sedimentos; e aumentar as feições naturais usando vegetação ou engordamento artificial de praia.

De uma maneira geral, as medidas que podem ser tomadas para conter a erosão da linha de costa são classificadas como intervenções de estabilização pesada, de estabilização leve e de relocação e desapropriação.

A estabilização leve envolve a tomada de atitudes para a estabilização da linha de costa que não envolvam obras complexas de engenharia.

Enquadra-se neste grupo o enchimento artificial de uma praia, também chamado de engordamento. Embora questionado por vários autores, este método é menos radical do que os empregados na estabilização pesada. A engorda artificial tem como principal vantagem o aumento da área útil da praia.

O engordamento poderia ser uma alternativa viável para recuperar e manter a forma natural da praia do Barro Duro, já que na porção subaquosa do Perfil Batimétrico 4 (praia do Totó) foi verificada a existência de possíveis fontes de areia. As amostras "A18" e "A15" (Tab. 5) localizadas, respectivamente, a 519 m e 887 m da face da praia do Totó, poderiam ser indicadas como fontes de sedimento para o preenchimento, pois apresentam características semelhantes às das amostras coletadas na porção subaérea da praia do Barro Duro.

No perfil batimétrico 5, duas amostras coletadas a distâncias de 1195 e 1252 m da face da praia da Colônia Z3, possuem características aceitáveis para obra de engordamento de praia no Barro Duro, mostrando um sedimento sem a presença de finos e com bons percentuais de areia grossa e muito grossa, porém mostram valores entre 26 e 27% de areia fina e muito fina. As demais amostras ao longo da porção subaquosa indicam uma quantidade significativa de areia fina e muito fina, com porcentagens pequenas de silte e argila, podendo ser indicadas como futuras fontes de sedimentos para engordamento de praia. Maiores estudos a respeito destas fontes de sedimentos seriam necessários para verificar se a fonte supriria o volume necessário para o preenchimento da praia.

Para diminuir a perda do material, bem como reduzir o processo de manutenção do engordamento, seria adequado fazer o engordamento juntamente com a construção de estruturas de madeira perpendiculares à costa (espigões). Na Baía de Chesapeake, nos Estados Unidos, foram construídos espigões de madeira *wood groins* em conjunto com o engordamento para resolver problemas de erosão praial. Para uma boa performance deste tipo de obra é importante que ocorra um bom suprimento de sedimentos migrando ao longo da costa (Hardaway & Byrne, 1999).

O local mais indicado para a obra, e que possui as maiores taxas erosivas, está situado em frente à mata nativa, principalmente por ser o local de uso intensivo da praia do Barro Duro pela população, como mostra o mosaico da figura 2. Deste modo, a obra protegeria as árvores e também incrementaria o uso da praia pelos banhistas.

5. Conclusões

A análise da variação da linha de costa da área de estudo, feita através da construção dos mosaicos, mostrou a ocorrência de processos erosivos na praia do Barro Duro. A taxa média de erosão nesta praia foi 0,55 m por ano e, em alguns pontos, a taxa de erosão foi de 1,04 m por ano. As demais praias analisadas apresentam estabilidade ou taxas de erosão ou de acreção não acentuadas,

Os cinco perfis praias levantados no período de maio de 2003 a agosto de 2004 podem ser classificados como perfis íngremes, conforme a classificação proposta por Hegge *et al.* (1996) e Makaske & Augustinos (1998), devido às características topográficas e sedimentológicas da face praial e também pela altura de quebra de onda em condições normais, sem a ocorrência de tempestades.

O perfil praial 3, localizado na praia do Barro Duro, possui uma porção subaquosa muito estável, contrastando com a porção subaérea que apresentou os maiores valores de variações morfodinâmicas. A alta mobilidade da face praial e do pós-praia deve-se ao fato da existência de transporte paralelo à costa, que retira sedimentos destas partes do perfil, principalmente quando o nível das águas da Laguna se eleva, modificando os locais de atuação de ondas. O transporte paralelo ocorre pela presença de correntes longitudinais que são formadas na praia devido à incidência oblíqua de ondas na costa. Outro fator que influencia nas variações da porção subaérea é a presença de cúspides praias, deixando a praia com uma topografia rítmica bastante evidenciada, modificando constantemente a largura do pós-praia.

O processo erosivo evidenciado através dos dados levantados está interferindo nas atividades recreacionais e também no paisagismo da praia do Barro Duro, por isso recomenda-se a obra de engordamento. O engordamento poderia ser uma alternativa viável para recuperar e manter a forma natural da praia, já que na porção subaquosa do Perfil Batimétrico 4 foi verificada a existência de duas possíveis fontes de areia, a uma profundidade de aproximadamente 2 m e distante aproximadamente 4500 m do local a ser engordado. Para diminuir a perda do material, bem como reduzir o processo de manutenção do engordamento, seria adequado fazer o engordamento juntamente com a construção de estruturas de madeira perpendiculares à costa (espigões).

Referências

- Almeida, L.E.S.B., Rosauero, N.L., Toldo Jr., E.E. & Gruber N.L.S. 1999. Avaliação da Profundidade de Fechamento para o Litoral Norte do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13. ABRH. Anais..., Belo Horizonte, SBG, v.1, p.23-28.
- Calliari, L. J. & Klein, A. H. F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas em Geociências*, 20:48-56.
- Calliari, L.J., Gomes, M.E.V., Griep, G.H. & Möller Jr., O.O. 1980. Características Sedimentológicas e Fatores Ambientais da Região Estuarial da Lagoa dos Patos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, Anais..., Balneário de Camboriú, Santa Catarina, v.2, p.862-875.
- Carter, R.W.G. 1980. Longshore variations in nearshore wave processes at Magilligan Point, Northern Ireland. *Earth Surface Processes*, 5:81-89.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 23:3-26.
- Hardaway, C.S. & Byrne R. J. 1999. Shoreline Management in Chesapeake Bay. *Special Report in Applied Marine Science and Ocean Engineering*, nº 356, Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary Gloucester Point, Virginia, EUA.
- Hegge, B., Eliot, I. & Hsu J. 1996. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Austrália. *Journal of Coastal Research*, 12(3):748-760.
- Jackson, N.L. & Nordstrom K.F. 1992. Site Specific Controls on Wind and Wave Processes and Beach Mobility on Estuarine Beaches in New Jersey, U.S.A. *Journal of Coastal Research*, 8:88-98.
- Jackson, N.L., Nordstrom K.F., Eliot, I. & Masselink, G. 2002. "Low Energy" sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, 48:147-162.
- LNEC. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1989. *Programa SMB89*. Portugal.
- Makaske, B. & Augustinus, P.G.E.F. 1998. Morphologic Changes of a Micro-tidal, Low Wave Energy Beach Face during a Spring-Neap Tide Cycle, Rhône-Delta, France. *Journal of Coastal Research*, 14(2):632-645.
- Nordstrom, K.F. 1992. *Estuarine Beaches: an introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords*. New York, Elsevier Science Publishers Ltd, 225p.
- Short, A.D. & Hesp P.A. 1982. Wave, Beach and Dune Interactions in Southeastern Austrália. *Marine Geology*, 48:259-284.
- Suguio, K. 1973. *Introdução a Sedimentologia*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 317p.
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center. 1984. *Shore Protection Manual*, Volume I, Waterways Experiment Station, Vicksburg, 1984.
- Wentworth, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30:377-39.