

# *Pesquisas em Geociências*

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

---

## **O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul**

*Elírio Toldo Jr., Luiz Almeida, Luciano Absalonsen, Nelson Gruber*

*Pesquisas em Geociências*, 33 (2): 35-42, maio/ago., 2007.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19511>

---

Publicado por

## **Instituto de Geociências**

---



## **Portal de Periódicos UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

---

### **Informações Adicionais**

**Email:** [pesquisas@ufrgs.br](mailto: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 - maio/ago., 2007.

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

## O Controle da Deriva Litorânea no Desenvolvimento do Campo de Dunas e da Antepraia no Litoral Médio do Rio Grande do Sul

ELÍRIO E. TOLDO JR<sup>1</sup>; LUIZ E. S. B. ALMEIDA<sup>2</sup>; JOÃO L. NICOLODI<sup>3</sup>;  
LUCIANO ABSALONSEN<sup>3</sup> & NELSON L. S. GRUBER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Porto Alegre, RS, e-mail: toldo@ufrgs.br

<sup>2</sup>Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
Caixa Postal 15029 CEP 91501-970, Porto Alegre - RS

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
Caixa Postal 15001, CEP 91509.900, Porto Alegre, RS

(Recebido em 03/06. Aceito para publicação em 05/07)

**Abstract** - Zones of erosion and accretion were delimited by comparing a DGPS shoreline mapping in 1997 and the beach line reproduced from the army chart collection of 1975. The results show extensive shore retreat along of Rio Grande do Sul central coast, while accretion was observed in Mostardas and Dunas Altas beach. Mathematical estimative of the regional longshore transport potential along the Rio Grande do Sul coast, a 630-km long holocenic fine sand barrier, resulted in a large net northward annual sand volume. Additionally, the estimated potential of sediment transport based on the CERC formula predicts a substantial variation of the energy flux into the surf zone, due to little changes in shoreline alignments and in the potential alongshore sediment transport. The reduction in the sediment flux due to changes in the shoreline alignment produce a jam in the longshore transport, meaning that part of the sediment arriving from the upstream stretch may be deposited or diverted offshore by coastal jet. Based on that, it is possible that changes in the net longshore sand transport are responsible for the increase in the shoreface width from less than 1 km to more than 3 km in Mostardas beach and Dunas Altas beach. Interesting to note that wider dune fields are associated to those beaches where shoreface is also wider. In this way, the volume of longshore sand transport and the sediment jam provide by changes on shoreline alignment in Mostardas and Dunas Altas beaches are important for both coastal dune fields and shoreface width.

**Keywords** - Rio Grande do Sul central coast, coastal jet, shoreface, coastal dunes.

### INTRODUÇÃO

Em praias arenosas os processos de deposição e erosão são controlados por um equilíbrio dinâmico que envolve três componentes principais: quantidade e tipo de sedimento disponível, energia física ao longo da costa e mudanças do nível do mar (Davis 1997). Os depósitos de areia são abundantes no litoral e plataforma continental interna do Rio Grande do Sul e as fortes correntes litorâneas exibem um comportamento episódico, tendo como importante forçante as ondulações provenientes do quadrante sul, principalmente aquelas relacionadas a passagem de frentes frias nos períodos de inverno. Ondas com ângulo de incidência de 10° e altura de 1,79 m geram correntes que atingem velocidades da ordem de 0,9 m/s (Toldo *et al.* 1993).

Este trabalho é uma contribuição a essa discussão, tendo como referência os dois trechos progradantes do litoral médio do estado do Rio Grande

do Sul, litoral que apresenta o mais extensivo processo de erosão no estado (Alvarez *et al.* 1981; Tomazelli *et al.* 1996; Calliari *et al.* 1996; Toldo *et al.* 1999; Tozzi 1999; Barletta 2000; Esteves *et al.* 2002; Dillenburg 2004) e, onde a erosão e deposição de curto período são controladas pelo fluxo de energia das ondas paralelo à praia (Lima *et al.* 2001; Toldo *et al.* 2003; Toldo *et al.* 2004) e pelos focos de energia variável gerados pelo processo de refração de ondas (Calliari *et al.* 1998). Os resultados aqui apresentados incluem um modelo geral dos valores de retração, progradação e do potencial estimado do transporte de sedimentos com base na fórmula do CERC (Lima *et al.* 2001). Também, descreve-se o evento ocorrido no dia 20 de maio de 2000, quando imagens de satélite revelam a presença de um jato costeiro sobre a antepraia (Toldo *et al.* 2003; Nicolodi *et al.* 2003). Essa circulação é caracterizada por um forte jato que em algumas instâncias pode transportar por difusão os sedimentos em suspensão

da zona de rebentação para a antepraia.

O objetivo do trabalho é investigar as causas da progradação do sistema praial – campo de dunas e antepraia, nas praias de Mostardas e Dunas Altas, localizados no litoral médio do estado. Nesse trabalho os termos “aumento do campo de dunas costeiras” e “aumento da largura da antepraia” referem-se às mudanças volumétricas da praia subaérea e submarina, respectivamente.

## ÁREA DE ESTUDO

O estado do Rio Grande do Sul tem uma extensa costa com orientação uniforme NE-SW e uma pequena sinuosidade (Fig. 1), que consistem de depósitos Quaternários inconsolidados sem contribuições de areias modernas, pois toda carga de tração transportada pelos rios é retida principalmente nas lagoas, como por exemplo a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim, que se estendem por uma área de 13.750 km<sup>2</sup>, aproximadamente um terço da Planície Costeira do estado (Martins *et al.* 1973; Tomazelli e Villwock 1992; Toldo *et al.* 2000). A Plataforma Continental tem largura de 150 a 200 km, com profundidades máximas variando entre 100 e 140 m e suave declividade de 0,5 a 1,5m/km (Martins e Corrêa 1996). A antepraia é extensa e rasa com limite externo entre as profundidades de 10 e 15 m, e constituída por depósitos arenosos.

Os sedimentos do sistema praial são areias finas bem selecionadas ( $Mz = 0.2$  mm), (Martins

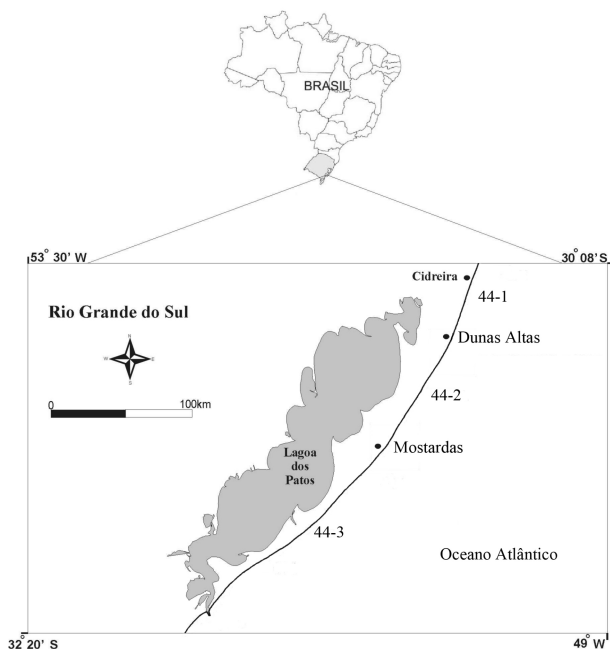


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo ao longo do litoral médio do estado do Rio Grande do Sul.

1967; Martins e Corrêa 1996; Siegle 1996; Nicolodi *et al.* 2002; Gruber 2002), exceto ao longo de 60 km no Litoral Sul onde ocorrem sedimentos bimodais devido à presença de cascalho biodetrítico (Calliari e Klein 1993). Incidem sobre a costa, ondulações geradas no Oceano Atlântico Sul e vagas geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera, provenientes de NE. Exceto pela passagem das frentes frias de S e SE, a agitação marítima é caracterizada por ondas de média a elevada energia, com altura significativa de 1,5 m e período entre 7 e 9 s. A maré astronômica é semi-diurna, com amplitude média de 0,25 m, sendo que a maré meteorológica pode alcançar 1,20 m (Almeida *et al.* 1997). A profundidade de fechamento é estimada em 7,5 m, calculada com base em dois conjuntos de dados de ondas coletados nos anos de 1963 e 1996 no Litoral Norte do estado (Almeida *et al.* 1999). Conseqüentemente, o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa são primariamente dominados pela ação da onda.

A distribuição das direções da corrente litorânea ao longo de toda a costa é muito regular, tanto para SW, quanto para NE, num padrão claramente bidirecional. Segundo Nicolodi *et al.* (2000), entre 1996 e 1997 ocorreu um predomínio da corrente para SW com valores médios de 62,8 e 54,8 %, respectivamente, enquanto que entre 1998 e 1999 observou-se inversão, com a corrente para NE apresentando valores de 54 e 51,2 %. Também, pode-se afirmar que a bidirecionalidade tem componente sazonal, governada pelas variações dos parâmetros climáticos. Nos meses de Outubro a Março é marcante o predomínio de correntes para SW, e em Maio e Agosto esse domínio é para NE.

## MAPEAMENTO DAS ZONAS DE EROSAO E DEPOSIÇÃO

O mapeamento das mudanças da linha de praia é realizado ao longo de toda a costa com base em coleções de fotografias aéreas e levantamentos anuais com DGPS desde 1997. O plano para o levantamento da linha de praia com DGPS consiste em medir a posição do perfil longitudinal da linha da água (Fig.2), tomado-o como perfil representativo da posição da linha de praia. Em 1997 o trabalho de campo foi desenvolvido com um par GPS modelo GARMIN 100 Personal Surveyors, com precisão de 10 e 3 m para os equipamentos que operavam no modo de navegação e no modo estático, respectivamente.

No trabalho de campo foi instalado um equipamento DGPS em um veículo que se desloca a uma velocidade de 50 km/h junto a linha da água, a uma velocidade de 50 km/h. Enquanto que outro equipamento GPS, no modo estático, foi posicionado em locais previamente estabelecidos na costa e separados 100 km um do outro, de modo a cobrir a área e incrementar a precisão dos dados. A taxa de aquisição para ambos os equipamentos foi de 5 s, a qual permitiu a geração de arquivos que, pós processados, estabeleceram uma linha do litoral com precisão de 3 m (Toldo *et al.* 1999; Toldo e Almeida 2003).

A linha da água adotada nos levantamentos de campo (Fig.2), corresponde à linha de espraiamento da onda ou linha de *swash*. Para as praias oceânicas do Rio Grande do Sul a linha está situada a aproximadamente 16 m do nível médio do mar, tendo em consideração as características de altura ( $H_o = 1,5$  m) e o comprimento da onda em águas profundas ( $L_o = 80$  m), bem como a declividade média da



Figura 2 - Levantamento da linha de praia com sistema de posicionamento global – GPS, fixado em um veículo que se desloca ao longo da linha de água associada ao espraiamento da onda.

face praial (1/30). A figura 1 mostra que essa feição é facilmente identificada ao longo da praia monitorada. Entre todos os indicadores possíveis de serem empregados na área de estudo, a linha da água é o mais prático, principalmente, por causa de sua continuidade e também porque se constitui num indicador que possibilita a repetição das medidas. Segundo Morton e Speed, (1998, apud: Pajak e Leatherman, 2002), a principal desvantagem é que a linha não é um indicador morfológico. É um indicador que não mantém o mesmo plano horizontal ao longo do tempo. Os principais erros decorrentes desse modo de levantamento da linha de praia estão associados à amplitude das marés astronômica e meteorológica, ao *run up* e as variações da declividade da face praial.

A linha de praia determinada em 1997, foi comparada com a linha de praia obtida da coleção de

cartas do exército, escala 1:50.000, as quais são uma restituição de um levantamento aerofotográfico realizado em 1975. A análise temporal entre estes dados foi desenvolvida através de técnica de geoprocessamento usando software IDRISI (Clark University). Para a análise temporal desses 22 anos (1975-1997), não foram consideradas as variações menores que 20 m, por não se dispor de dados para controle das variações da altura da onda, maré e declividade da face praial durante os levantamentos. Os resultados mostraram que ao longo do litoral médio, aproximadamente entre a desembocadura da Lagoa dos Patos e a praia de Cidreira, numa extensão de 277 km, foi registrado um amplo processo erosivo, a exceção de dois trechos de praia onde foram mapeadas áreas estáveis e em progradação; as praias de Mostardas e Dunas Altas, numa extensão de 35 e 31 km, respectivamente (Fig. 3).

Novos perfis longitudinais foram realizados no ano de 2005, em 36,3 km da praia de Mostardas entre o farol de Mostardas e a praia de São Simão. Absalonsen e Toldo (2005), comparam os levantamentos de 1997 e 2005, realizados com DGPS, e identificam 25 km de costa progradante ou estável.

## ESTIMATIVA DO TRANSPORTE LITORÂNEO

O trabalho realizado por Lima *et al.* (2001), teve por objetivo estimar quantitativamente o potencial de transporte longitudinal de sedimentos para a costa gaúcha, através da aplicação do método do fluxo de energia das ondas incidentes. O cálculo foi realizado ao longo de cada trecho de reta que represente a orientação predominante da linha de praia. A divisão dos 630 km de costa em oito trechos foi feita com base na linha de praia estabelecida em 1997 por DGPS, e o alinhamento utilizado foi o azimute da reta traçada.

A partir de um conjunto de dados sedimentológicos e morfológicos de perfis praias existentes, para estimar o coeficiente de proporcionalidade entre a energia das ondas e o transporte de sedimentos, e de um conjunto de dados de ondas obtidos em mar aberto, registrados por navios comerciais e organizados por Hogben e Lumb (1967), aplicou-se o Método do Fluxo de Energia (U.S. Army, 1984), para estimar o potencial de transporte litorâneo causado pelas ondas.

A estimativa matemática tem por base a fórmula do CERC, onde o cálculo do fluxo de energia, paralelo à praia, e a correspondente deriva litorânea

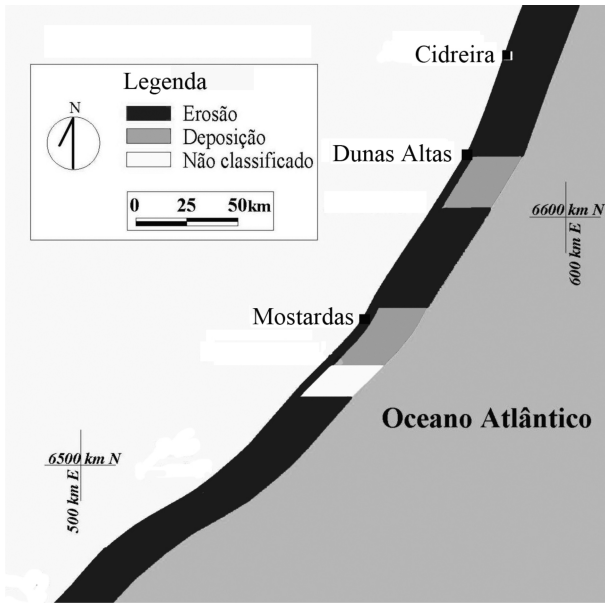


Figura 3 - Áreas de erosão e deposição mapeadas ao longo do litoral médio entre 1975 e 1997 (modificado de Toldo *et al.* 1999).

nea, é obtido da relação empírica entre a componente do fluxo de energia da onda que entra na zona de rebentação e o peso submerso da areia em movimento (U.S. ARMY 1984). Ambos têm unidades de força por unidade de tempo, assim:  $\Pi = K \cdot P_l \cdot s$ , onde  $\Pi$  é a taxa de transporte,  $K$  é um coeficiente de adimensional, e  $P_l$  o fluxo de energia paralelo à praia. Este modelo prediz uma variação significativa do fluxo de energia na zona de rebentação devido às pequenas mudanças nos alinhamentos costeiros, e, por conseguinte no potencial de transporte.

Em águas rasas as ondas incidentes apresentaram a seguinte distribuição direcional: 30% e 9% provenientes do quadrante de NE e S, respectivamente. As ondas de NE são de menor altura, geradas por ventos locais, e são responsáveis por menos que 2% do transporte bruto de sedimento, enquanto que as correntes litorâneas geradas pelas ondulações incidentes do quadrante S exibem comportamentos episódicos de elevada energia e são responsáveis por mais que 30% do transporte de sedimento. Segundo Lima *et al.* (2001), a frequência dessas ondas, e seu potencial de transporte, leva a conclusão que são eventos raros e de elevado potencial erosivo. Em outras palavras, o grupo de ventos locais predominantes, NE, NNE e ENE geram vagas com pequena capacidade de transporte, e mesmo com frequências consideráveis não respondem por grandes modificações na linha de praia. Por outro lado, as ondas geradas por ventos dos quadrantes SSW, SW e WSW estão associadas a fenômenos de tempestades, e são registradas com maior frequência nos meses de Inverno.

Este estudo enfoca principalmente o potencial de transporte longitudinal de sedimentos em três trechos do litoral médio do estado, numerados de sul para norte como 44-3, 44-2, 44-1 (Lima *et al.*, 2001), que se estendem a aproximadamente partir da desembocadura da Lagoa Patos até a praia de Cidreira (Fig. 1). O trecho 44-3, mais ao sul, tem comprimento de 105,6 km e transporte calculado de aproximadamente 2,9 milhões de  $m^3/ano$ . O trecho adjacente 44-2 estende-se por 96,5 km, no qual o transporte longitudinal calculado foi de 2,3 milhões de  $m^3/ano$ , diminuindo para 1,5 milhões de  $m^3/ano$  no trecho 44-1, com 74,9 km.

Segundo Tomazelli e Villwock (1992), uma deriva litorânea com direção resultante para NE é evidente em muitos dos depósitos costeiros presentes ao longo do litoral do Rio Grande do Sul, em particular nas desembocaduras dos sistemas lagunares. Os resultados da estimativa, obtidos do cálculo do potencial de transporte de litorâneo (Lima *et al.* 2001), estão em acordo com as observações geomorfológicas descritas ao longo do litoral.

Existe também o registro da deriva litorânea, com resultante para NE, na composição das areias do pós-praia, ao longo de todo litoral médio. Barros *et al.* (2005), em estudos da concentração dos minerais pesados em amostras coletadas a cada 20 km nessas praias, identificou altas concentrações à barlamar de cada um dos trechos 44-3, 44-2 e 44-1. Neles, as concentrações desses minerais decrescem de sul para norte.

## RESULTADOS

### Variabilidade da Antepraia

A topografia da antepraia ao longo do litoral médio consiste de uma larga área com superfície de fundo plana e declividade suave, da ordem de 1:100. Essa uniformidade morfológica é modificada nas proximidades das praias de Mostardas e Dunas Altas, onde a largura da antepraia passa dos seus valores médios de 1 km para mais de 3 km. Essas duas praias estão localizadas próximas da interseção dos trechos 44-3 e 44-2, e 44-2 e 44-1 (Fig. 1), onde ocorre inflexão da linha de costa, ou seja, mudança do alinhamento da praia entre  $10^\circ$  e  $12^\circ$ . A isóbata de 10 m foi utilizada como limite externo da antepraia. Esse limite foi definido com base no cálculo da profundidade de fechamento de 7,5 m (Almeida *et al.*, 1999), e nos dados batimétricos disponíveis da carta do Ministério da Marinha de 1963.

O mapeamento das zonas de erosão e deposi-

ção, tanto em praias específicas, como ao longo do litoral médio, mostra extensivo processo de retração da linha de praia (Alvarez *et al.* 1981, Tomazelli *et al.* 1996, Calliari *et al.* 1996, Toldo *et al.* 1999, Tozzi 1999, Barleta 2000, Esteves *et al.* 2002, Dillenburg 2004). As elevadas taxas de erosão nesses trechos podem em parte estar relacionadas ao fato do litoral médio estar mais expostos ao ataque das ondas provenientes do quadrante S, o que resulta num incremento no fluxo de energia paralelo à praia. Também, esse fluxo de energia e o relacionado transporte de sedimentos paralelo à praia, decresce de sul para o norte com valores de 2,9 milhão m<sup>3</sup>/ano, 2,3 milhão m<sup>3</sup>/ano e 1,5 milhão m<sup>3</sup>/ano nos trechos 44-3, 44-2 e 44-1 (Fig. 1), respectivamente (Lima *et al.* 2001). Dette (2001), em estudos dos processos morfológicos e sedimentológicos ao longo de 40 km de praia no mar Báltico, identificou um acúmulo de sedimentos em locais de inflexão da linha praia. A redução do fluxo de transporte, devido a mudanças no alinhamento da costa, implica num engarrafamento da deriva litorânea. Isto significa que parte dos sedimentos provenientes de barlar mar será depositada nestes locais de inflexão, e parte poderá ser redirecionada para a antepraia.

O processo descrito por Dette (2001) aplica-se ao balanço dos sedimentos entre os trechos 44-3, 44-2 e 44-1. Desse modo, parte do volume de sedimentos que foi erodido ao longo do trecho 44-3 não é transferido para o trecho adjacente, à sotamar, e se deposita no sistema praial. Aproximadamente, 0,6 e 0,8 milhões de m<sup>3</sup>/ano ficam retidos nas inflexões da linha de praia, respectivamente nas praias de Mostardas e Dunas Altas. Essas deposições geram modificações espaciais com amplas mudanças volumétricas tanto do campo de dunas costeiras, quanto da antepraia.

Além desses elementos morfológicos e sedimentológicos foram identificados processos hidrodinâmicos específicos associados com as mudanças no alinhamento da costa, como descrito a seguir. Análises de imagem de satélite nessa área revelam a presença de um padrão de circulação de curto período sobre a antepraia, e sugerem que em algumas instâncias esta corrente pode conduzir para a antepraia, por difusão, parte dos sedimentos que se encontram em suspensão dentro da zona de rebentação. Um jato costeiro episódico pode estar associado a esse processo de difusão (Toldo *et al.* 2003, Nicolodi *et al.*, 2003), e sua ocorrência e evolução está associada à passagem de frentes frias, principalmente durante o inverno. Segundo Tozzi (1999), a pista de vento formada no posicionamento da zona Polar Atlântica e o

gradiente da Alta Tropical direcionam os ventos de sul, gerados nos sistemas frontais, sobre o litoral da Argentina, Uruguai e Rio Grande do Sul (Fig. 4).

Nesse trabalho enfocamos o evento de 20 de maio de 2000, conforme ilustração na figura 5. As características desse padrão de circulação intensificado por ventos fortes de sul e sudeste, sobre a antepraia, consistem de dois segmentos, o jato direcionado para nordeste e nessa extremidade uma larga pluma de dispersão com giro no sentido horário (Fig. 5).

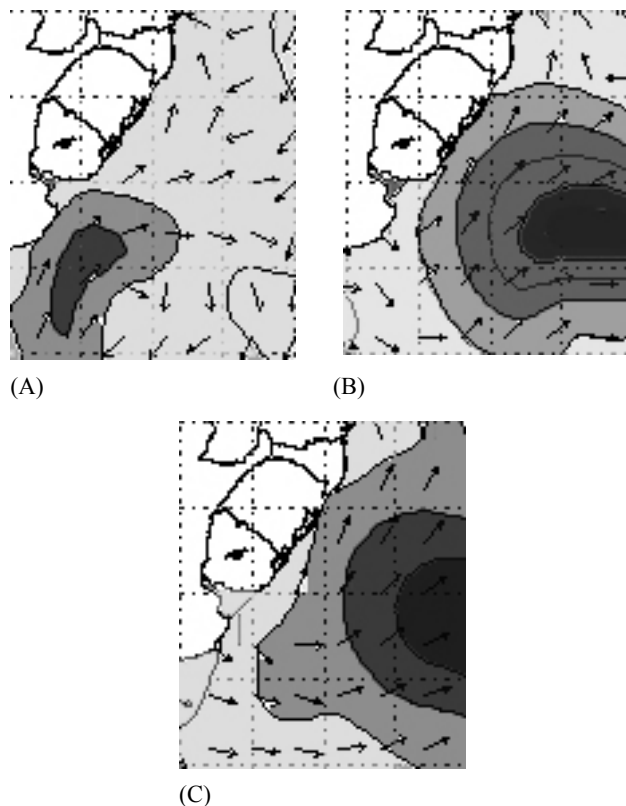


Figura 4 - Trajetória e evolução de uma tempestade sobre o litoral do estado do Rio Grande do Sul ocorrida entre 16 e 18 de novembro de 2001. Imagens geradas pelo modelo Wave Watch III - INPE, às 06h (A), 36h (B) e 48h (C), com previsão de alturas de ondas de até 7 m no centro da tempestade – tonalidade cinza escura.

Uma fração da carga de suspensão proveniente da zona de surf é incorporada pela antepraia todos os anos, em condições de desenvolver um banco de areia em extensões como aquele observado pela projeção da isóbata de 10 m em direção ao mar aberto, nas adjacências das praias de Mostardas e Dunas Altas (Fig. 5). Esses largos bancos de areia têm sido descritos como *shoal-retreat massifs* por Swift e Sears (1974, In: Dyer e Huntley 1999).

Também, o processo físico que controla a formação e evolução do jato costeiro não foi explorado completamente, mas boa correlação é encontrada



entre a área de crescimento sobre a antepraia, por mais de 2 km para mar aberto, e a extensão do jato costeiro sobre essa área, como observado na imagem de satélite (Fig. 5).

Outras duas correlações, também, reforçam a mecânica desse processo de progradação. Barros *et*

*al.*(2005), observaram as mais baixas concentrações de minerais pesados nas adjacências das inflexões da linha de praia, locais onde ocorre a redução do fluxo de energia das ondas, deposição de sedimentos e progradação da zona costeira. Absalonsen e Toldo (2005), verificam a progradação desses locais com

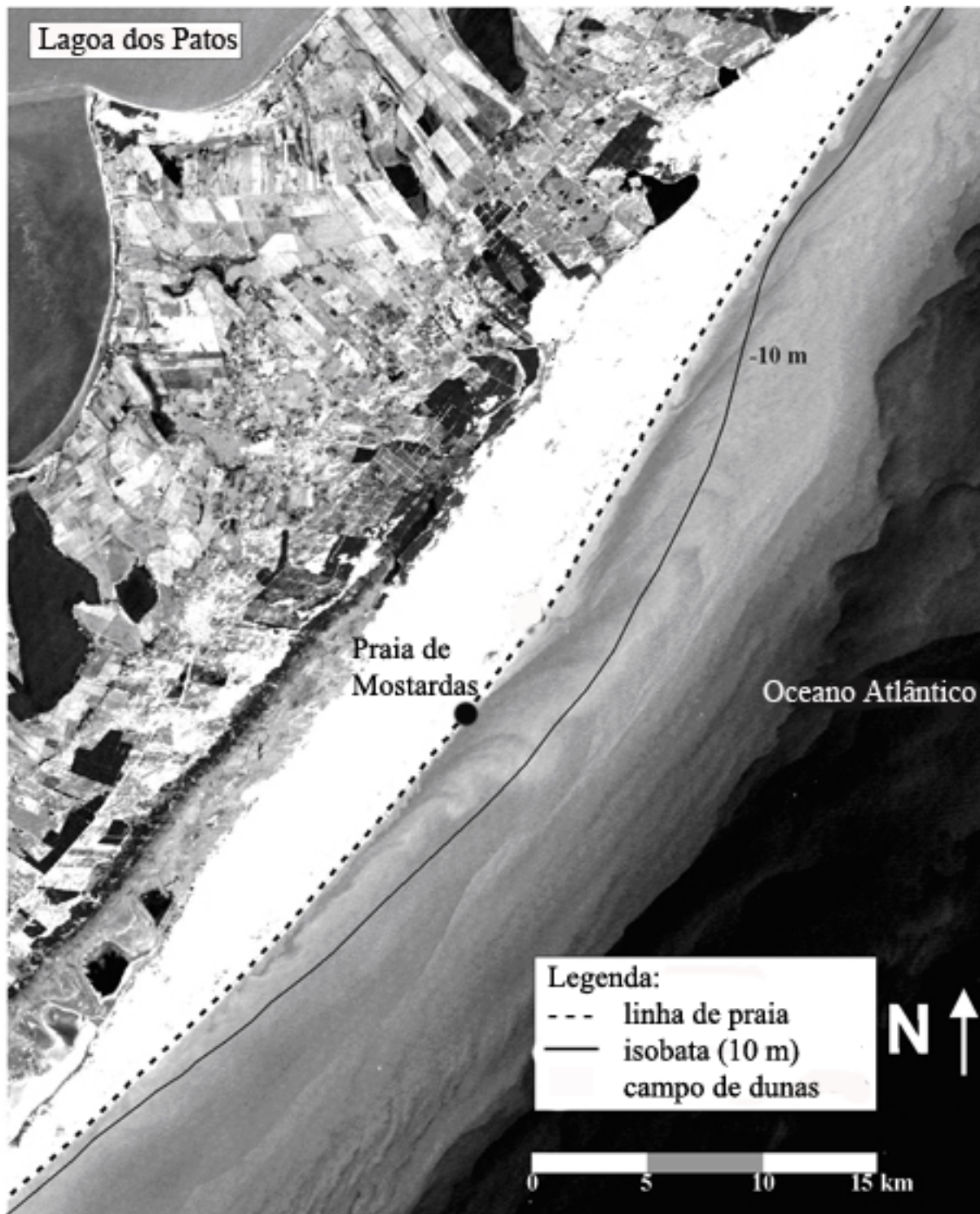


Figura 5 - A imagem do satélite Landsat mostra a inflexão da linha de praia em 11° nas adjacências da praia de Mostardas, o alargamento do campo de dunas e da antepraia. Também, se observa um jato costeiro na forma de uma pluma direcionada para NE, posicionada entre a linha de praia e a isóbata de 10 m (Modificado de Toldo et al., 2003).

novos levantamentos de posição da linha de praia.

### Variabilidade do Campo de Dunas Costeira

Em artigo publicado em 2000 Tomazelli *et al.*, descrevem os depósitos de praia oceânicos associados ao sistema laguna-barreira IV, a barreira mais recente da planície costeira do Rio Grande do Sul, formada durante o Holoceno. Esse sistema, mais a laguna-barreira III, separa a Lagoa Patos do Oceano. Segundo esse autor, sobre o sistema laguna-barreira IV desenvolve-se extenso campo de dunas costeiras, formadas principalmente por dunas barcanóides.

As mudanças na largura da antepraia e do campo de dunas costeiras ocorrem do mesmo modo ao longo do litoral médio: a região com maior largura da antepraia também está associada com a região onde ocorre a maior largura do campo de dunas. Em ambos, a largura é pronunciada como indicam as suas medidas (Fig. 5). A largura média do campo de dunas muda de menos de 1 km para mais de 6 km ao longo das parias de Mostardas e Dunas Altas, respectivamente (Toldo *et al.*, 2004).

Devido ao grande volume de sedimentos transportados pela deriva litorânea com direção resultante para NE, e o engarrafamento de parte desse volume junto às inflexões da linha de costa em Mostardas e Dunas Altas, a acumulação dessa areia torna-se uma importante fonte de sedimentos para o desenvolvimento da antepraia, bem como o campo de dunas costeiras.

Em resposta aos fortes e freqüentes ventos de NE, o transporte eólico é muito ativo, o que faz as dunas de areia migrar para o interior da planície costeira na direção SW (Tomazelli *et al.* 2000), desenvolvendo extensos campos de dunas principalmente em Mostardas e Dunas Altas (Fig. 5).

### CONCLUSÕES

Neste artigo é proposto um modelo de sedimentação costeira aplicado a progradação do campo de dunas e da antepraia, na região de Mostardas e Dunas Altas, uma exceção ao comportamento erosivo, mapeado ao longo do litoral médio do estado.

O mecanismo básico desse processo consiste nas variações do fluxo de energia dentro da zona de rebentação, devido a pequenas mudanças no alinhamento da costa. Ao longo do litoral médio, numa extensão de 270 km, ocorrem duas inflexões da linha de praia, para oeste, na região de Mostardas e Dunas Altas. Embora pequenas, entre 10° e 12°, as inflexões são suficientes para reduzirem o potencial de

transporte líquido de sedimentos, de sul para norte, em 20% e 35%, respectivamente nessas praias.

Ocorre literalmente um engarrafamento na deriva litorânea nos locais de inflexão, que resulta em um acúmulo de grandes volumes de areias. As areias são derivadas dos processos erosivos a barlar de Mostardas, ao longo do trecho 44-3, e Dunas Altas, ao longo do trecho 44-2, e se constituem na fonte de sedimentos para o desenvolvimento do campo de dunas costeiras e da antepraia, nesses dois locais.

A deposição desses sedimentos produz significativa modificação espacial, com alargamento do sistema praias em unidades de quilômetros, verificados tanto no aumento da praia submarina – antepraia, como da praia subaérea – campo de dunas costeiras, nas praias de Mostardas e Dunas Altas.

Também, é proposto um mecanismo de transferência de sedimentos da zona de surfe para a antepraia. Os sedimentos depositados na antepraia são supridos primariamente a partir dos processos de ressuspensão e remobilização para fora da zona de surfe, na direção de propagação do jato costeiro.

Embora, o processo físico que controla a formação e evolução do jato costeiro não tenha sido explorado completamente e nenhum dado de campo esteja disponível até o momento como prova irrefutável da ocorrência dos jatos costeiros, imagens de satélite revelam a presença desse padrão de circulação, sobre a antepraia.

O meio turbulento, gerado pela passagem das frentes frias, produz as condições de ressuspensão pela própria natureza da zona de quebra da onda. A difusão ocorre posteriormente, associada ao mecanismo do jato costeiro ou das correntes costeiras.

Por outro lado, a ação dos ventos de NE sobre os depósitos arenosos do pós-praia constitui-se em importante mecanismo para o desenvolvimento das dunas costeiras e na sua migração para o interior da planície, nas adjacências das praias de Mostardas e Dunas Altas.

**Agradecimentos** - Este trabalho é resultado de projeto de pesquisa com suporte financeiro do CNPq, e do convênio OEA-CECO/IG/UFRGS. Somos muito agradecidos ao apoio técnico recebido de Laurindo Guasselli, Cesar D. C. Gonçalves, Luiz G. Raupp, José C. Nunes e, também, agradecidos pelas sugestões dos dois consultores *ad hoc*.

### REFERÊNCIAS

Almeida, L.E.S.B.; Rosauro, N.M.L. & Toldo Jr., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS 12, 1997,



- Vitória, **Anais...**, ABRH, v.1: 560-566.
- Almeida, L.E.S.B.; Rosauo, 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. Belo Horizonte, MG. **Anais...** ABRH, ICD-ROM.
- Alvarez, J.A.; Gré, J.C.R. & Toldo Jr., E.E. 1981. Estudos da Praia a Nordeste do Molhe de Rio Grande, **Pesquisas**, **14**:131-147.
- Absalonsen, L. & Toldo Jr., E.E. 2005. Variação da linha de costa para a praia de Mostradas. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO 10. 2005, Guarapari, **Anais...**, ABEQUA, ICD-ROM.
- Barletta, R.C. 2000. **Efeitos da Iteração oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil**. 160 p. Dissertação de Mestrado. Oceanografia. Fundação Universidade Federal do Rio Grande.
- Barros, C.E.; Toldo Jr., E.E. & Rizzardo, R. 2005. Concentração de Minerais Pesados das Praias do Litoral Norte e Médio do Rio Grande do Sul: Relações entre Deriva Litorânea e Processos Erosivos. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO 10. 2005, Guarapari, **Anais...**, ABEQUA, 1 CD-ROM.
- Calliari, L.J. & Klein, A.H.F. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. **Pesquisas**, **20** (1):48-56.
- Calliari, L.J.; Tozzi, H.A.M. & Klein, A.H.F. 1996. Erosão associada a marés meteorológicas na costa sul-riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 34. 1996, Salvador, BA. **Anais...**, SBG. V 4: 682-684.
- Calliari, L.J.; Speranski N.S. & Boukareva, I.I. 1998. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. **Journal of Coastal Research**. **SI 37**:19-23.
- Davis, Jr., R.A. 1997. Regional Coastal Morphodynamics Along the United States Gulf of Mexico. **Journal of Coastal Research**, **13**(3):595-604.
- Dette, H.H. 2001. **Influence of shoreline alignment on offshore sediment transport**. In: PROCEEDINGS OF COASTAL DYNAMICS'91, Lund, Sweden, ASCE, p.938-947.
- Dillenburg, S.R.; Esteves, L.S. & Tomazelli, L.J. 2004. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **76** (3):611-623.
- Dyer, K.R. & Huntley, D.A. 1999. The origin, classification and modeling of sand banks and ridges. **Continental Shelf Research**, **19**:1285-1330.
- Esteves, L.S.; Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R. & Tomazelli, L.J. 2002. Long and short-term coastal erosion in southern Brazil. **Journal of Coastal Research**. In: 7TH INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM, Northern Ireland, **Proceedings...**, SI 36:273-282.
- Gruber, N.L.S. 2002. **A antepraia na região de Tramandaí**, RS. 221 p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Lima, S.F.; Almeida, L.E.S.B. & Toldo Jr., E.E. 2001. Estimate of longshore sediments transport from waves data to the Rio Grande do Sul coast. **Pesquisas**, **28**(2): 99-107.
- Martins, L.R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial IG, UFRGS**, **13**. 100 p.
- Martins, L.R.; Urien, C.M. & Martins, I.R. 1973. Sedimentos modernos e reliquias da plataforma continental sul americana oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27. 1973. Aracaju, **Anais...** SBG., v.1: 212-213.
- Martins, L.R. & Corrêa, I.C. 1996. Morphology and Sedimentology of Southwest Atlantic Coastal Zone and Continental Shelf from Cabo Frio (Brazil) to Peninsula Valdes (Argentina). Porto Alegre, RS., Brasil. IOC—UNESCO / MCT / CPRM Publication, 20 maps and glossary, 74p.
- Nicolodi, J.L.; Toldo Jr., E.E. & Gruber, N.L.S. 2000. Análise da Direcionalidade das Correntes Litorâneas no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 13. 2000. Itajaí, SC. **Anais...** AOCEANO, v 1:461-463
- Nicolodi, J.L.; Siegle, E.; Rechen Fo., R. & Corrêa, I.C.S. 2002. Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. In: Martins, L.R., Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R. (eds). **Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais**. Porto Alegre. RS, Brasil. Editora CECO-IG-UFRGS, 3p.
- Nicolodi, J. L.; Toldo Jr. E. E. & Almeida, L. E. S. B. 2003. Correntes Costeiras Induzidas por Eventos de Tempestades no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO,19, Recife, **Anais...** ABEQUA, 1 CD-ROM.
- Pajak, M.J. & Leatherman, S. 2002. The high water line as shoreline indicator. **Journal of Coastal Research**. **18** (2):329-337.
- Siegle, E. 1996. **Distribuição sedimentar ao longo do Litoral Sul Rio Grandense (Trecho Farol da Conceição – Arroio Chuí) e fatores condicionantes**. 91p. Trabalho de Graduação. Oceanografia. Fundação Universidade Rio Grande.
- Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R.; Cunha, L.O.B.P.; Almeida, L.E.S.B.; Tabajara, J.L. & Martins, R.R. 1993. Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas**, **19** (1):27-32.
- Toldo Jr, E.E.; Almeida, L.E.S.; Barros, C. & Martins, L.R. 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil. In: Martins, L.R. and Santana, C.I. (eds.) **Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin**. Porto Alegre, RS., Brazil: Editora CECO-IG-UFRGS, pp. 62-68.
- Toldo, Jr., E.E.; Dillenburg, S.R.; Corrêa, I.C.S. & Almeida, L.E.S.B. 2000. Holocene Sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, **16**(3):816-822.
- Toldo Jr., E.E.; Almeida, L.E.S.B.; Esteves, L. S. & Nicolodi, J. L. 2003. Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. In: 5TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL ENGINEERING AND SCIENCE OF COASTAL SEDIMENT PROCESS, Clearwater Beach, Florida, **Proceedings...**, ASCE, CD, 8p.
- Toldo, Jr. E.E. & Almeida, L.E.S.B. 2003. A linha d' água como indicadora da posição da linha de praia. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 19 Recife, **Anais...**, ABEQUA, 1 CD-ROM.
- Toldo Jr., E.E.; Nicolodi, J. L.; Almeida, L.E.S.B.; Corrêa, I.C.S. & Esteves, L.S. 2004. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. **Journal of Coastal Research**, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, (in press).
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 1992. Considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, **19**:3-12.
- Tomazelli, L.J.; Villwock, J.A.; Dillenburg, S.R.; Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1996. Erosão Costeira no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34. 1996. Salvador, **Anais...**, SBG. 4:685-687.
- Tomazelli, L.J.; Dillenburg, S.R. & Villwock, J.A. 2000. Late quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, Southern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, **30** (3):474-476.
- Tozzi, H.A.M. 1999. **Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS: Campanha do outono e inverno de 1996**. 115 p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- U.S. Army Coastal Engineering Research Center / CERC, 1984. **Shore Protection Manual**. (4ed.), V.(1). Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. USA. 208 p.