



V SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, 07 a 09 de Novembro de 2012

RESPOSTAS MORFOLÓGICAS AO BALANÇO DE SEDIMENTOS NO LITORAL MÉDIO DO RIO GRANDE DO SUL

Elírio E. Toldo Jr¹, Lucas Motta¹, Luiz Emílio S.B. Almeida¹, José C. Nunes¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
CP 15001, Porto Alegre RS 91509-900, Brazil.

toldo@ufrgs.br

lukas.motta@yahoo.com.br

lesda@terra.com.br

jose.nunes@ufrgs.br

RESUMO

O balanço de sedimentos no litoral médio do Rio Grande do Sul, numa extensão aproximada de 275 km, foi conduzido com a identificação de áreas fontes e sumidouros de sedimentos arenosos em 4 células praias. As células foram classificadas como área fonte por apresentarem retração da linha de praia, e aquelas como sumidouros pelo crescimento da praia. Também foram classificados os parâmetros controladores da remoção e adição de sedimentos através do modo de transporte pela deriva litorânea, jato costeiro, ressacas, sangradouros e o transporte eólico. A principal resposta morfológica é a formação de um extenso campo de dunas costeiras e o alargamento da antepraia, em escala regional, nos últimos milhares de anos.

Palavras-chave: *erosão costeira, deriva litorânea, balanço de sedimentos, antepraia, dunas costeiras*

1. INTRODUÇÃO

Os deslocamentos espaciais e temporais do sistema praias constituem-se numa importante medida para compreensão da origem e evolução das feições deposicionais costeiras. As medidas dos deslocamentos da linha de praia podem ser utilizadas como parâmetros regionais e históricos para o cálculo do estoque de sedimentos contidos no interior do sistema praias.

Em escala de curto prazo (anos ou décadas), sem influência das variações relativas do nível do mar, o estoque de sedimentos contidos em uma praia pode ser definido como o volume de sedimentos dentro da praia e aquele que se move através da praia, e num dado trecho da praia corresponde ao resultado do balanço entre a adição e a remoção dos sedimentos (Rosati, 2005). O balanço de sedimentos flutua em um determinado intervalo de tempo, principalmente sob influência de tempestades. Enquanto que o estoque de sedimentos pode ser avaliado qualitativamente, a quantidade e a taxa de suprimento para um intervalo de tempo é muito difícil de ser calculada, principalmente pelas incertezas existentes no cálculo da deriva litorânea.

Neste trabalho são apresentadas as respostas morfológicas ao balanço de sedimentos no litoral médio do Rio Grande do Sul, representados pela formação de um extenso campo de dunas costeiras e o alargamento da antepraia, em escala regional, nos últimos milhares de anos.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Rio Grande do Sul possui uma extensa costa de 615 km, que se desenvolve sobre uma barreira holocênica de areia muito fina com uma uniforme orientação NE-SW e uma leve sinuosidade, e não recebe uma contribuição de areias modernas continentais. A carga total de tração transportada pelos rios é retida nas lagoas e outros ambientes costeiros, como por exemplo, a Lagoa dos Patos, Fig. 1.

Os sedimentos do sistema praia - campos de dunas, pós-praia, zona de surf, e antepraia - consiste principalmente de bem selecionados areias finas (tamanho médio de 0,2 mm) (Siegle, 1996; Nicolodi et al., 2002). Uma condição de ondulações gerada no Oceano Atlântico Sul e vagas geradas pelo forte vento de NE durante o verão e primavera atuam sobre o litoral do estado. A agitação marinha é caracterizada por ondas de médio a alto grau de energia, com a 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. A maré meteorológica pode alcançar 1,20 m e a profundidade de fechamento foi estimada em 7,5 m (Almeida et al., 1997, 1999).

A área de estudo compreende o litoral médio do estado, limitado ao sul pela desembocadura da Lagoa dos Patos, município de Rio Grande, e ao norte pela praia de Dunas Altas, município de Quintão, numa extensão aproximada de 275 km.

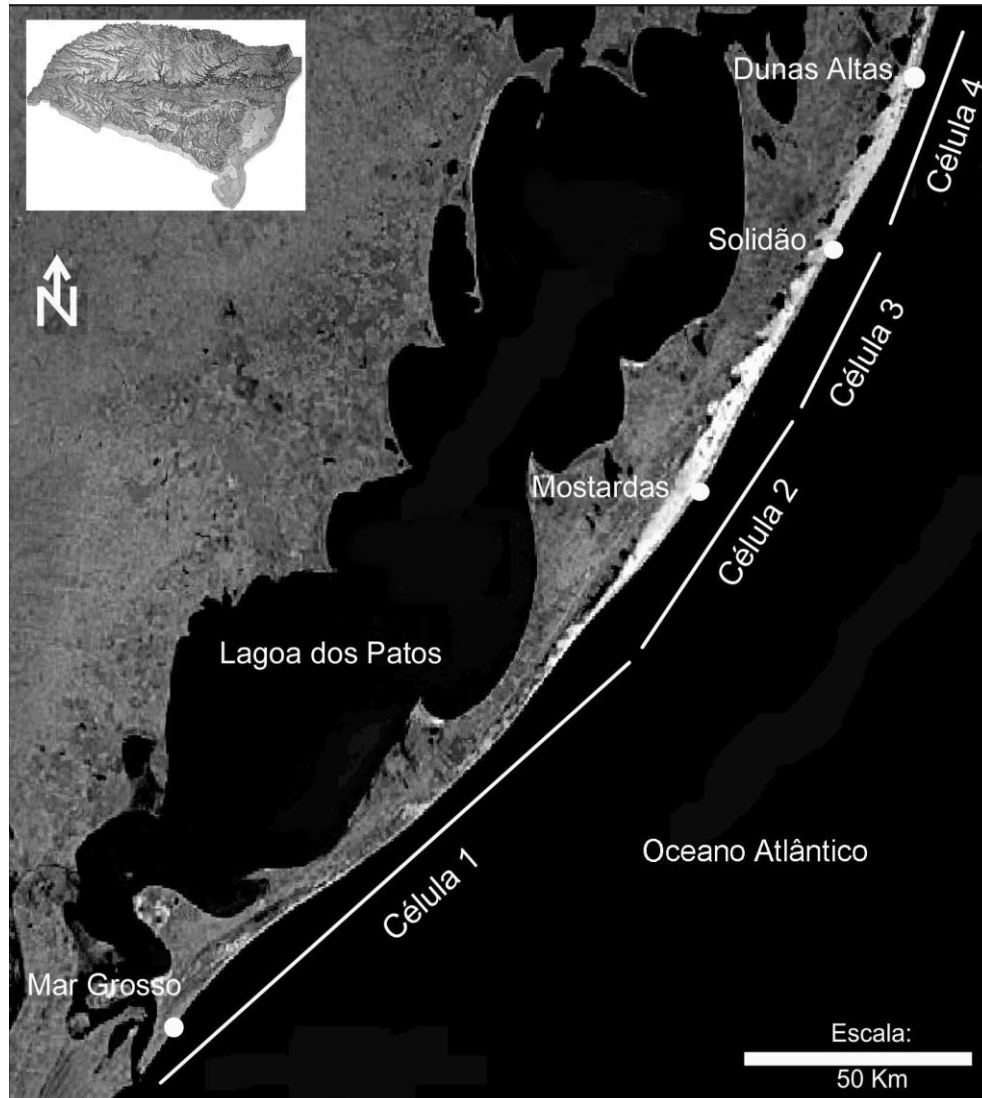


Figura 1. Distribuição das 4 células ao longo do litoral médio do Rio Grande do Sul, entre a desembocadura da Lagoa dos Patos e a praia de Dunas Altas.

3. MÉTODOS

A área de estudo foi delimitada em duas grandes regiões. Primeiro, o sistema praial que corresponde ao ambiente litorâneo constituído pela antepraia, zona de surfe e pós-praia, nos termos proposto por Short (1999). Segundo, o campo de dunas costeiras e a plataforma interna, que se desenvolvem de modo ao adjacente ao sistema praial, respectivamente. A área submarina entre a plataforma interna e a antepraia foi delimitada pela profundidade de 10 m. A isóbata de 7,5 m, equivalente a profundidade de fechamento, foi utilizada para marcar o limite entre a antepraia superior e inferior. A região subaérea entre a pós-praia e o campo de dunas costeiras foi delimitada pela posição da linha de praia em condições de preamar, aproximadamente sobre o pé da duna frontal.

A variação no estoque de sedimentos dos ambientes costeiros ao longo do litoral médio foi avaliada qualitativamente através das medidas dos seguintes geoindicadores; (1) topográfico (elevação do terreno acima do nível do mar), (2) batimétrico (extensão e declividade da antepraia), a partir das cartas DHN B2000 e B2100, (3) mapeamento das zonas de erosão e deposição litorânea através da mobilidade da praia, tendo a linha de água como referencial, (4) largura e declividade da pós-praia. A posição da linha de praia determinada em 1997 foi comparada com aquela da coleção de cartas do exército, escala 1:50.000, e fotografias aéreas de 1981 (Toldo et al., 1999; Toldo et al., 2003a, Lopes et al., 2008). Estimativas do transporte litorâneo foram utilizadas para interpretar o balanço dos sedimentos dentro do sistema praial, de acordo com os resultados obtidos por Lima et al., (2001).

O litoral médio foi dividido em células praias, numa adaptação ao modelo de Rosati e Kraus (2001). Os limites costeiros e oceânicos da célula correspondem às posições geográficas do pé da duna frontal e da profundidade de fechamento, respectivamente. Os limites a barlar e sotamar foram estabelecidos em cada trecho costeiro classificado como área de erosão (fonte de sedimentos), e de deposição de sedimentos (sumidouro de sedimentos), a partir do mapeamento das zonas de erosão e deposição litorânea e do cálculo das taxas históricas de migração da linha de praia.

Também foram classificados os parâmetros controladores da remoção e adição de sedimentos através do modo de transporte pela deriva litorânea, jato costeiro, ressacas, sangradouros e o transporte eólico (Toldo et al., 2011), Tab. 1.

Tabela 1. Classificação dos mecanismos de transporte de sedimentos, controladores do balanço de sedimentos, tanto em termos de adição ou de remoção.

Adição (ganho)	Remoção (perda)
Deriva litorânea (<i>into</i>)	Deriva litorânea (<i>out</i>)
Transporte eólico (<i>into</i>)	Transporte eólico (<i>inland</i>)
Sangradouro (<i>into</i>)	Ressaca (<i>offshore</i>)
	Ressaca (<i>inland</i>)
	Jato costeiro (<i>offshore</i>)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo da área de estudo, entre a desembocadura da Lagoa dos Patos e a praia de Dunas Altas, foram mapeadas as zonas litorâneas de erosão e deposição, para análise do balanço de sedimentos dentro do sistema praial.

O emprego de geoindicadores possibilitou a classificação de cada trecho do sistema praial – antepraia, zona de surfe e pós-praia. Aqueles que apresentaram recuo da linha de praia foram mapeados como área de erosão e classificadas como área fonte de sedimentos. E aqueles trechos que apresentaram avanço da linha de praia foram classificados como área de deposição de sedimentos ou de sumidouro de sedimentos, Tab. 2. Os resultados do mapeamento das mudanças da linha de praia mostraram que ao longo do litoral médio, numa extensão de 275 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 (Toldo et al., 2011).

Tabela 2. Extensão e classificação das células praias ao longo do litoral médio e norte.

Célula	Extensão	Classificação
1-Mar Grosso - Mostardas S	140 km (220 – 360 km)	Fonte
2-Mostardas S - Mostardas N	50 km (360 – 410 km)	Sumidouro
3-Mostardas N – Solidão	35 km (410 – 445 km)	Fonte
4-Solidão – Dunas Altas	50 km (445 – 495 km)	Sumidouro

A deriva litorânea constitui-se no mecanismo que causa adição nas células 2 e 4, classificadas como sumidouro. O transporte eólico causa adição em todas as células ao transportar areia da planície para o sistema praial, a semelhança dos sangradouros, mas principalmente remove os sedimentos do sistema praial para construção dos

extensos campos de dunas costeiras, através da ação do predominante vento de NE, particularmente com mais intensidade nos locais de inflexão da linha de praia junto às células 2 e 4, Fig. 1. 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; Calliari et al., 2005).

As ressacas e o jato costeiro removem grandes volumes de sedimentos para o ambiente litorâneo externo ao sistema praiial, ou seja, para o campo de dunas costeiras e antepraia inferior das células 2 e 4, onde constituem grandes reservatórios de sedimentos com pequeno retorno do volume de sedimentos ao sistema praiial a partir destes ambientes. O jato costeiro em algumas instâncias pode transportar por difusão os sedimentos em suspensão da zona de rebentação para a antepraia (Toldo et al., 2003b, Toldo et al., 2006a, Nicolodi et al., 2003).

A deposição ou o sumidouro desses sedimentos produz significativa modificação espacial, com alargamento do sistema praiial em unidades de quilômetros, verificados tanto no aumento da praia submarina – antepraia superior e inferior, bem como da praia subaérea – pós-praia e campo de dunas costeiras, principalmente nas células 2 e 3, ou praias de Mostardas e Dunas Altas (Fig. 1).

Os trechos com erosão do sistema praiial também apresentaram significativa mudança espacial no curto prazo, entretanto as duas células com este comportamento possuem diferentes taxas de mobilidade da linha de praia, mais significativas ao longo da célula 1.

Segundo Lopes et al. (2008), em medidas dos deslocamentos da linha de praia ao longo de 3,17 km no trecho onde se localiza o Farol da Conceição no litoral médio, foram observados um recuo de 87 m da linha num prazo de 16 anos, ou seja, uma taxa de erosão de 5,4 m/ano. O mapeamento da mobilidade da linha de praia foi realizado a partir do mosaico de fotos aéreas de 1981, escala 1:20.000, e comparado com a linha de praia obtida a partir de levantamento com DGPS em 1997 (Toldo et al., 1999).

Para estimar o volume total de sedimentos erodidos das células 1 e 3 foi utilizado a expressão do U.S. Army Corps of Engineers (2002):

$$V = W(B + Dc) \quad (1)$$

onde V corresponde ao volume por unidade de comprimento da linha de praia, W a largura do perfil praiial erodido, B é a altura da berma, Dc é a profundidade de fechamento.

Na Tabela 2 constam os dados de extensão das células 1 e 3, nas quais foram mapeadas grandes áreas de erosão, num total de 175 km. A maior taxa de erosão medida no litoral médio ocorre no trecho onde está localizado o Farol da Conceição da ordem de 5,4 m/ano (Lopes et al., 2008), e o valor das médias máximas estimado nas células 1 e 3 foi de 4 m/ano (Toldo et al., 2006b).

Schossler et al., (2012), em estudos da variação na linha de praia adjacente a Lagoa do Peixe, no Litoral Médio, analisaram a tendência de migração entre 1987 e 2009, através de imagens Landsat, definiram que a praia a sul da desembocadura lagunar numa extensão aproximada de 24 km encontra-se em processo de erosão a uma taxa média de 1,6 m/ano. O método qualitativo de interpretação da linha praia, por pontos extremos, vetorizados e utilizando como feição indicadora o limite entre praia seca e úmida apresentou tendências similares quando comparados métodos distintos, quanto às feições indicadoras da linha de praia e técnicas distintas de aquisição dos dados, nesta área de estudo e.g. Toldo e Almeida (1999 e 2003a).

A Equação (1) é de difícil aplicação por causa da extensão da área investigada, e também pela ausência de valores médios da taxa de erosão. Entretanto, esta equação indica expressivos volumes de sedimentos erodidos nas duas células (1 e 3), nos últimos milhares de anos. Com base no conceito de balanço de sedimentos, este volume foi transportado para a formação dos extensos depósitos eólicos e também para a formação dos largos bancos encontrados na antepraia de Mostardas e Dunas Altas. O volume destes últimos depósitos não é conhecido, mas segundo Motta (2011), o volume de areia total do campo de dunas costeiras é de $4.199 \times 10^6 \text{ m}^3$. Com base no resíduo do balanço sedimentar calculado por este autor a partir deriva litorânea em 12 sub-células do litoral médio, e no volume de areia contido no campo de dunas costeiras foi possível estimar a taxa anual de sedimentos remobilizados, através do vento, para este estoque. Além disso, foi possível concluir que o tempo mínimo de formação deste estoque é de aproximadamente 5ka.

3. CONCLUSÕES

O litoral médio foi dividido em 4 células praias, duas submetidas a processo de erosão e classificadas como fontes de sedimentos, as células 1 e 3, e duas com padrões opostos classificadas como sumidouros de sedimentos. Também foram classificados os parâmetros controladores da remoção e adição de sedimentos através do modo de transporte pela deriva litorânea, jato costeiro, ressacas, sangradouros e o transporte eólico.

As medidas regionais e históricas de retração e avanços da linha de praia observadas no litoral médio do estado do Rio Grande do Sul contem importantes informações sobre a tendência evolutiva dos depósitos sedimentares costeiros. A principal resposta morfológica observada no litoral médio foi a formação de extensos depósitos eólicos

adjacentes a praia oceânica, e também a formação de largos bancos sobre a antepraia, a partir de expressivas taxas de erosão da linha de praia, nos últimos milhares de anos.

4. AGRADECIMENTOS

Este projeto de pesquisa foi desenvolvido com suporte financeiro do CNPq, Projeto OEA-CECO/IG/UFRGS, Projeto Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro MMA.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.E.S.B., Rosauero, N.M.L. e Toldo Jr., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 12. Vitória, ES. Anais, ABRH, Vol. 1: pp. 560-566.
- Almeida, L.E.S.B. Rosauero, N.L. Toldo Jr., E.E. e Gruber, N.L.S. 1999. Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral norte do Rio Grande do Sul. Em: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 13. Belo Horizonte, MG. Anais. ABRH, CD, 8 p.
- Calliari, L.R., Pereira, P.S., Oliveira, A.O. e Figueiredo, S.A., 2005. Variabilidade das dunas frontais no litoral norte e médio do Rio Grande do Sul, Brasil. Gravel, Vol. 3: pp. 48-56.
- Lima, S.F., Almeida, L.E.S.B. e Toldo Jr., E.E. 2001. Estimate of longshore sediments transport from waves data to the Rio Grande do Sul coast. Pesquisas, Vol. 28(2): pp. 99-107.
- Lopes, C.G, Zanatta, A., Toldo Jr., E.E. e Nunes, J.C. 2008. Mobilidade de curto prazo da linha de praia do Litoral Norte e Médio do RS. 44º Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, PR. PAP1693.
- Motta, L.C. 2011. Balanço de Sedimentos Arenosos no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. Curso (Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
- Nicolodi, J.L., Siegle, E., Rechden Fo, R. e Corrêa, I.C.S. 2002. Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. Em: 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. e Almeida, L.E.S.B. 2003. Correntes Costeiras Induzidas por Eventos de Tempestades no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Anais, ABEQUA, CD, 3p.
- Rosati, J.D e Kraus, N.C. 2001. Sediment budget analysis system (SBAS). ERDC/CHL CHETN-XIV-3, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Rosati, J.D. 2005. Concepts in Sediment Budgets. Journal of Coastal Research. Vol. 21(2): pp. 307-322.
- Schossler, V., Toldo Jr., E.E. e Dani, N. 2012. Morfodinâmica da Embocadura da Lagoa do Peixe e da Linha de Praia Adjacente. Em publicação.
- Short, A.D. 1999. Hand Book of Beach and Shoreface Morphodynamics. Wiley. 379p.
- 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., Almeida, L.E.S.B., Barros, C. e Martins, L.R. 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil. Em: 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. e Almeida, L.E.S.B. 2003a. A linha d' água como indicadora da posição da linha de praia. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Recife, PE. Anais, ABEQUA, CD, 3p.
- Toldo Jr., E.E., Almeida, L.E.S.B., Esteves, L. S. e Nicolodi, J. L. 2003b. Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. In: Proceedings of The 5th International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Process, Clearwater Beach, Florida, ASCE, CD, 8p.
- Toldo Jr., E.E., Nicolodi, J.L., Almeida, L.E.S.B., Corrêa, I.C.S. e Esteves, L.S. 2006a. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. Journal of Coastal Research, Proceedings of the 8th International Coastal Symposium. SI39. pp. 390-394.
- Toldo Jr., E. E., Almeida, L.E.S.B., Nicolodi, J. L. e Martins, L.R.S. 2006b. Erosão e Acresção da Zona Costeira In: Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. ed. Brasília, DF. Ministério do Meio Ambiente, Vol. 1: pp. 468-476.
- Toldo Jr., E.E., Almeida, L.E.S.B., Nunes, J.C., Nicolodi, J.L., Motta, L.M. e Cunha, R.B. 2011. Sistema de Compartilhamento de Sedimentos Arenosos no Litoral Médio do Rio Grande do Sul. In: Problemática de los Ambientes Costeros Sur de Brasil, Uruguay y Argentina ed. Buenos Aires: Editorial Croquis S.R.L, pp. 31-40.
- Tomazelli, L.J., Dillenburg, S.R. e 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.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2002. Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.