

Caracterização do fluxo sedimentar na zona de surfe de praias de micro e meso marés – aplicação a praia do Cassino (RS) e praia do Futuro (CE).

**Miguel da G. Albuquerque¹; José A.S. Fontoura²; Lauro J. Calliari¹;
Christian G. Serpa²; Tatiana O. Falcão³**

1- Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Laboratório de Oceanografia Geológica. migueldaguia@gmail.com; tsclauro@furg.br

2- Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Laboratório de Engenharia Costeira. fontoura@dmc.furg.br; christianserpa@yahoo.com.br

3- Universidade Estadual do Ceará – UECE. Mestrado Acadêmico em Geografia. tatifal@gmail.com

RESUMO:

O presente estudo visa fazer um comparativo entre o comportamento dos sedimentos em suspensão na zona de surfe de praias de micro e meso marés. Foram utilizadas armadilhas de sedimentos posicionadas na primeira cava do perfil subaquoso, das praias do Cassino - RS e Futuro - CE. A partir dos resultados observou-se que na praia do Futuro, o fluxo de sedimentos é maior nas regiões de características mais dissipativas e em pontos onde as feições do fundo (bancos e cavas) eram bem definidas. Na praia do Cassino, os maiores fluxos de sedimentos ocorrem em dias de vento sul incidindo na costa. Na costa Cearense os maiores fluxos de sedimentos podem estar relacionados com processos hidrodinâmicos mais intensos, fazendo com que o pacote de sedimentos, colocado a disposição para o transporte, alcance maior magnitude.

PALAVRAS-CHAVE: transporte de sedimentos, zona de surfe, variações de maré.

ABSTRACT:

This study aims to make a comparison between the behavior of sediment suspended at the surf zone of micro and mesotidal beaches. Sediment traps positioned in first trough of profile at the beaches of Cassino-RS and Futuro-CE were used. From the results it was observed that at Futuro's beach, the flow of sediment is large at regions of features more dissipative and in points where the bottom features (bars and troughs) were well defined. At the Cassino beach, the largest flow of sediments occurs in days of wind focusing on the south coast. In the Ceará coast the largest flow of sediments may be related to the more intense hydrodynamics processes, which makes the package of sediment available for transport, to be of greater magnitude.

KEYWORDS: sediment transport, surf zone and tidal range.

1. INTRODUÇÃO:

O ambiente praiial é definido como sendo uma zona de sedimentos inconsolidados que compreende os limites, superior e inferior, de ação das ondas no perfil praiial (Davis Jr., 1985). Um dos processos mais importantes na modificação da morfologia costeira é o transporte de sedimentos longitudinal e transversal à linha de costa sendo que, a variabilidade desses processos depende do tamanho dos sedimentos e mudança das ondas (Bernabeu *et al.*, 2003).

Entende-se por fluxo sedimentar ou vazão sólida em um corpo hídrico como sendo a massa de sedimentos secos carregada na coluna d'água através de uma secção transversal de área definida e num dado intervalo de tempo. No contexto geral tem-se que o transporte litorâneo é o termo utilizado para o transporte de sedimentos não coesivos (Mangor, 2004) e depende das condições de corrente e variações no fundo. Aspectos quantitativos do transporte de sedimentos ao longo da costa, em praias, têm sido estudados por engenheiros costeiros, geólogos e oceanógrafos por cinco décadas (Wang *et al.* 1998).

Os processos que ocorrem na zona de surfe são extremamente dinâmicos, envolvendo a ação das ondas, de correntes induzidas por ondas e movimento dos sedimentos. A incidência de ondas na linha de costa gera um sistema de circulação ou correntes costeiras, que pode ser dividido em quatro partes: transporte de massa de água em direção a costa, correntes de deriva litorânea, fluxos de retorno transportando massa de água para o oceano, e o movimento ao longo da costa das cabeças das correntes de retorno (CERC, 1984).

A dinâmica costeira é a principal responsável pelos processos de erosão e/ou deposição que mantém áreas litorâneas em constante transformação (Villwock *et al.*, 2005). As ondas que chegam à praia acabam por gerar uma série de correntes capazes de movimentar e transportar grandes quantidades de sedimentos. Esse movimento de areia é denominado deriva litorânea e constitui um dos processos mais significativos ao longo da costa. A deriva litorânea é a mais importante corrente costeira, sendo um produto de duas componentes vetoriais: a deriva costeira, que atua na zona de surfe e tem sentido paralelo a praia; e a deriva praiial, que atua no estirâncio e face da praia. Ela é o principal agente de movimentação, retrabalhamento e distribuição dos sedimentos ao longo da costa (Fredsoe & Deigaard, 1995).

O transporte de sedimentos em direção a costa é importante para a evolução morfodinâmica de praias (Hoefel & Elgar, 2003), no entanto a medição da carga de sedimentos transportada na zona de surfe é física e economicamente difícil, contendo algumas incertezas. Estimativas do transporte de sedimentos, dados de ondas e correntes, ainda precisam ser melhorados para um entendimento básico do movimento dos sedimentos e para um bom desenvolvimento de técnicas para estimar o transporte dos mesmos e a evolução do perfil praiial (Kraus, 1987).

Boa parte dos estudos recentes, relacionados à ambientes costeiros foi focada sobre zonas de micro maré consequentemente, o efeito da maré sobre os processos costeiros e morfologia praiial tem recebido pequena atenção (Bernabeu *et al.*, 2002). Praias de meso maré constituem uma porção significativa das praias do mundo e sua morfologia é controlada principalmente pelo clima de ondas, maré e características dos sedimentos.

Recentemente Kraus (1985) e Kraus *et al.* (1983) tem demonstrado que a profundidade de mistura dos sedimentos pode variar transversalmente a zona de surfe (Sunamura & Kraus, 1985). Ambas as distribuições laterais e verticais do transporte de areia, aferidos ao longo da costa, são necessárias para relatar mudanças na morfologia praiial (Kraus, *op. cit.*).

3. METODOLOGIA:

Para coleta dos sedimentos na zona de arrebenção foram utilizadas armadilhas de sedimentos (trapeadores portáteis). Os trapeadores (fig. 02) são estruturas metálicas que suportam um conjunto variável de redes (dependendo da profundidade do local amostrado pode variar entre 04 e 10 redes) de mesma malha, porém com diferentes comprimentos nas quais ficam retidos os sedimentos. O ‘trap’ tem um comprimento mínimo que permite operacionalidade sem perda de eficiência. Este comprimento varia em função das velocidades de fluxo esperadas para cada profundidade de coleta (Fontoura, 2000). Como após a arrebenção os maiores fluxos são observados próximos a superfície, Kraus (1987) optou por escalonar os ‘traps’ instalando os de maior comprimento junto à superfície e diminuindo em direção ao fundo (fig. 03). Nas redes são coletados os sedimentos durante um intervalo de tempo que deve variar entre 3 e 5 minutos. Coletas acima desse intervalo de tempo podem ficar comprometidas em virtude da formação de buracos no fundo oceânico, que mobilizam o sedimento próximo aos pés do trapeador de forma que o sedimento mobilizado seja incorporado ao que já foi aprisionado pela rede. Isto faz com que o transporte de sedimentos fique mascarado, não traduzindo a realidade local. As amostragens possibilitam a determinação do fluxo F_i em cada rede. Um conjunto de equações é utilizado para estimar o cálculo do transporte de sedimentos. O fluxo que passa entre duas redes é calculado pela equação (1). O fluxo total I_j que passa através do trapeador “j” é calculado pela equação (2). O fluxo total de sedimentos no perfil subaquoso é dado pela equação (3).

$$\Delta F_i = \left(\frac{\frac{F_{i+1}}{z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{z_{i-1}}}{2} \right) \Delta z_i \quad (1)$$

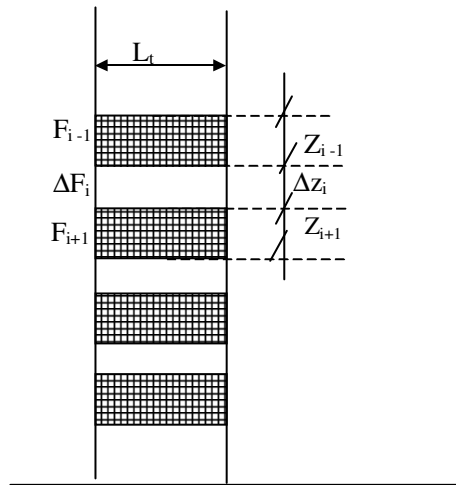


Figura 02 – Esquema do trapeador com redes e espaçamento entre duas redes consecutivas.

$$I_j = \sum_{i=1}^n F_i + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta F_i \quad (2)$$

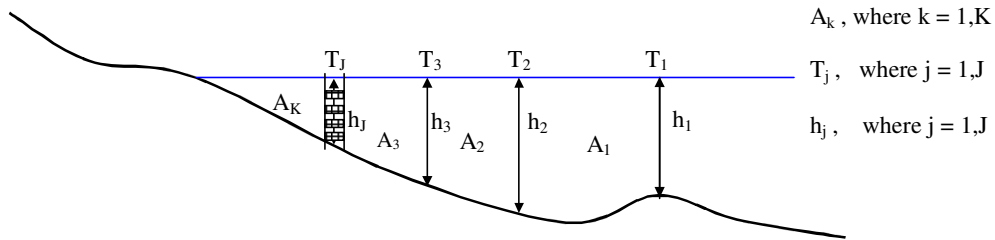


Figura 03 – Esquema de instalação dos trapeadores (T_j) com a profundidade local (h_j) e área entre dois trapeadores consecutivos (A_k).

$$Q_{\text{Total}} = \sum_{k=1}^K \left(\frac{I_j + I_{j+1}}{2} \right) A_k \quad (3)$$

Para este trabalho específico os trapeadores (fig. 04) foram posicionados dentro da primeira cava (fig. 03), na zona de surfe da praia do Cassino – RS e da praia do Futuro – CE. Para determinação do posicionamento da primeira cava foram realizados perfis topográficos, com auxílio de estação total e prisma. Os dados de vento local foram obtidos com uso de anemômetro portátil. A velocidade da corrente foi determinada a partir de derivadores (medições langregianas).

Os dados referentes ao clima de ondas foram coletados através de observações visuais, seguindo os métodos propostos por Melo (1991). Uma bússola de geólogo foi utilizada para determinar o ângulo de aproximação das ondas.

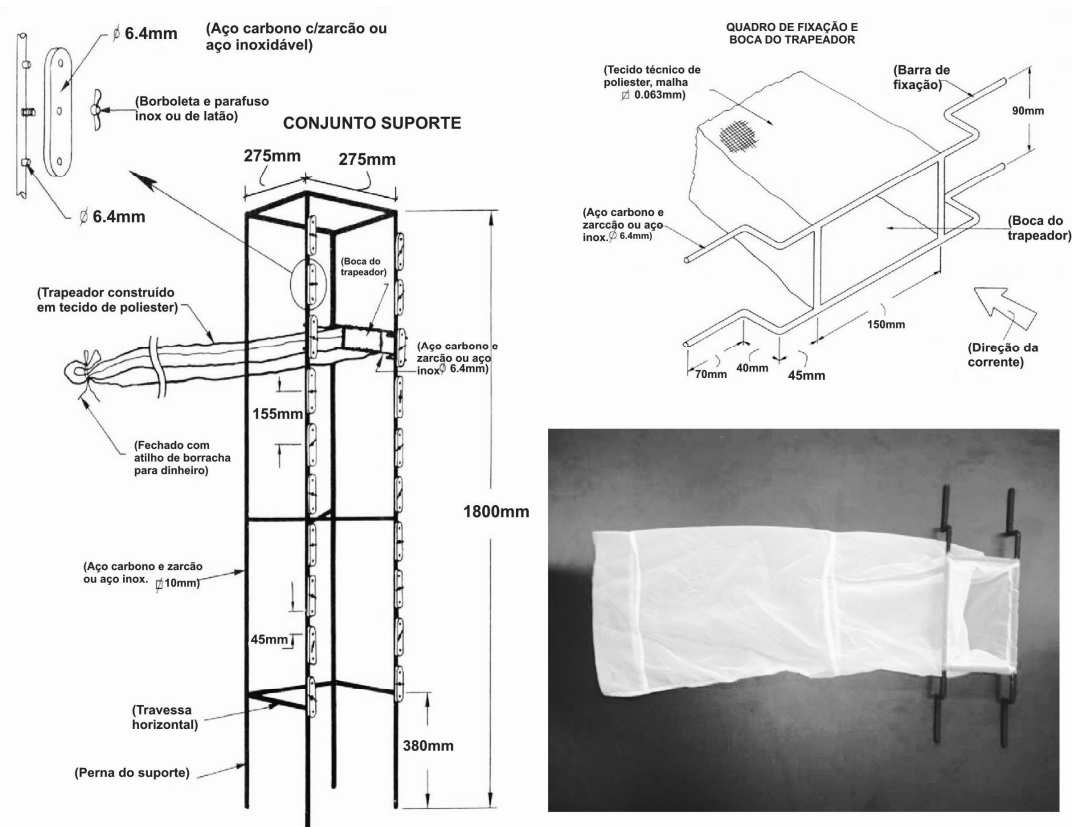


Figura 04: Detalhes construtivos das armadilhas de sedimentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Considerando-se a morfodinâmica observada para a Praia do Futuro e tendo como base a classificação proposta por Masselink & Short (1993) para ambientes de meso maré, três perfis característicos (fig. 05), de diferentes estados modais, foram encontrados. O ponto 01, localizado próximo a desembocadura do rio Cocó, foi enquadrado no estágio terraço de baixa-mar. Nesse tipo de estado, os sedimentos da zona de surfe possuem um misto de sedimentos médios (maior percentual encontrado) e grossos na zona de surfe.

O ponto 02, localizado na Barraca Saturnino, foi classificado no estado banco/corrente de baixa-mar. Esse estágio morfodinâmico apresenta uma zona de surfe caracterizada por sedimentos médios e finos (maior percentual encontrado) e a presença de fortes correntes de retorno na zona de surfe. O ponto 03, localizado na Barraca Dallas, foi classificado no estágio ultra-dissipativo. Nesse estágio, os sedimentos da zona de arrebentação são predominantemente finos. Masselink & Turner (1999) comentam que a zona de surfe de praias ultra-dissipativas são caracterizadas por uma forte circulação, do tipo *undertow*.

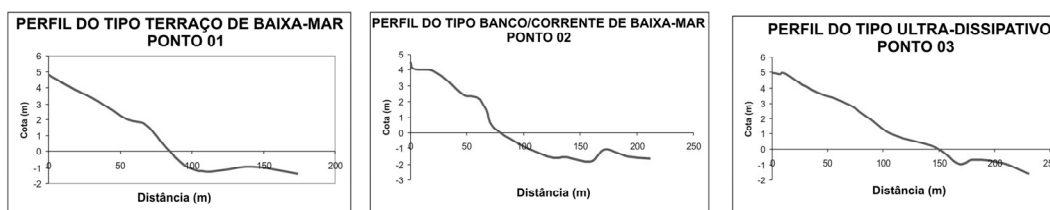


Figura 05: Caracterização do comportamento dos perfis em diferentes estágios morfodinâmicos de praias de meso-marés.

Estudos realizados por Moraes (1981), no litoral de Fortaleza, demonstram que o transporte de sedimentos é bidirecional, com transporte líquido de sedimentos em suspensão predominantemente para as praias a oeste.

A partir das análises observou-se que áreas caracterizadas por uma granulometria fina e perfil mais dissipativo, aqui representada pelo ponto 07, propiciam condições favoráveis a um maior transporte de sedimentos. Na localidade em questão, as quantidades de sedimentos totais transportadas foram de 51 kg/m²/min, na coleta do dia 17/07/2007 e 61 kg/m²/min, na coleta do dia 18/07/2007. Nas duas ocasiões a zona de surfe apresentava altura significativa das ondas de 0.9m e 0.75m, respectivamente, e arrebentação do tipo deslizante.

Em outro cenário, com valores de 1.4m para altura significativa das ondas (coleta do dia 03/07/2007), as quantidades de sedimentos transportadas apresentaram respostas diferentes. O ponto mais dissipativo apresentou as menores taxas de transporte (09 kg/m²/min). A localidade que apresentou as maiores taxas de transporte foi o ponto 05 (93 kg/m²/min) e o tipo de arrebentação predominante, no momento da coleta, era a mergulhante. No perfil 05, os sedimentos de maior diâmetro impedem que sedimentos mais finos entrem em suspensão, no entanto em condições de alta energia, os sedimentos mais grossos são carregados para a zona de espriamento permitindo dessa forma que sedimentos finos entrem em suspensão. Outro fator importante é a presença de bancos e canais bem definidos. Estas feições propiciam a formação de correntes de retorno que, nas localidades coletadas, se mostram mais fortes justamente no perfil 05. As correntes de retorno são mais fortes principalmente na transição entre a preamar e a baixa-mar.

O ponto 02 apresentou taxas mais modestas de transporte. O local apresenta um misto de sedimentos de fundo de granulometria variando entre média a grossa. Esse misto dificulta ainda mais o processo de ressuspensão dos sedimentos tendo em vista que, as ondas dissipam boa parte da sua energia no banco mais externo e chegam com pouca intensidade na zona de surfe.

De todos os trabalhos de campo (fig. 06), o ponto 05 apresentou a segunda maior taxa de transporte registrado entre os dias 17/07 e 18/07, com respectivamente 42 $\text{kg/m}^2/\text{min}$ e 58 $\text{kg/m}^2/\text{min}$. A localidade é caracterizada pela presença de fortes correntes de retorno, principalmente na transição da preamar para a baixa-mar, onde as correntes se tornam mais perceptíveis. No primeiro dia de amostragem (em 03/07/2007) este ponto apresentou as maiores taxas de transporte (93 $\text{kg/m}^2/\text{min}$), em comparação com as demais localidades monitoradas e sob condições de elevada turbulência na zona de arrebentação.

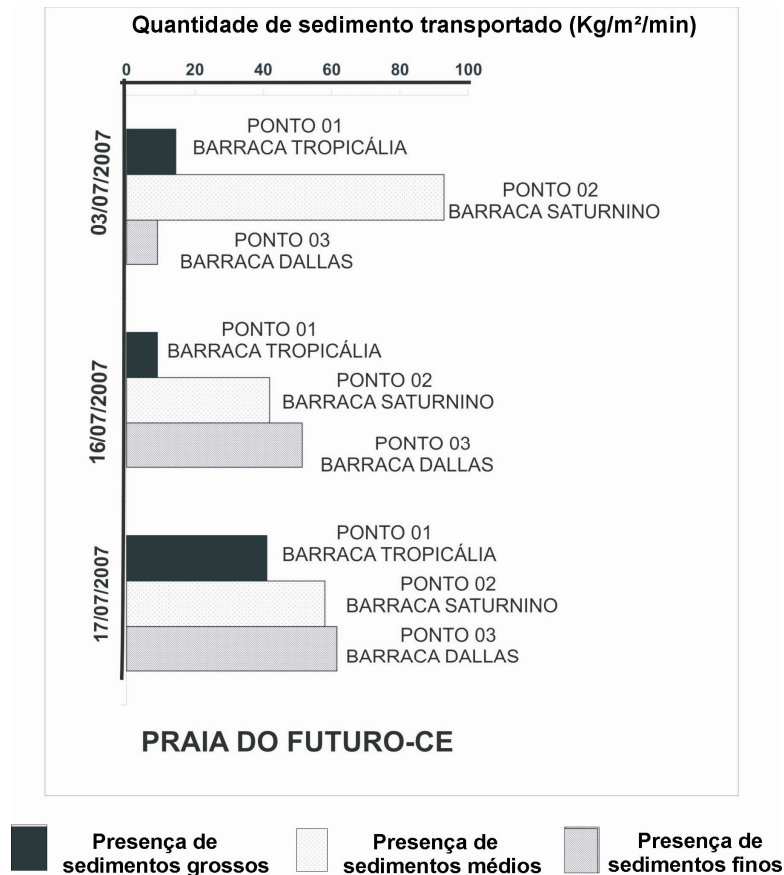


Figura 06: Caracterização do transporte de sedimentos na praia do Futuro-CE.

Na praia do Cassino, constatou-se que o fluxo de sedimentos (fig. 07) é maior quando ocorre incidência de vento sul na costa. Williams & Esteves (2006) discutem que na praia do Cassino, as ondas são o maior agente hidrodinâmico, com altura média significativa de 1,3m e períodos variando entre 7s a 9s. Estudos realizados por Almeida & Toldo (1997) discutem que durante a passagem de ciclones extra-tropicais, os valores de altura média significativa e período, respectivamente, podem exceder 3m e 12s.

As maiores taxas de transporte foram encontradas no dia 16/11/2007, com valores de 0.25 $\text{kg/m}^2/\text{min}$. Neste dia a localidade apresentava condições de vento sul

incidindo na costa. Nos dias 06/07/2007 e 18/11/2007 os ventos estavam soprando na direção sudeste e, os valores encontrados para o transporte de sedimentos na arrebentação foram inferiores aos encontrados na 2ª coleta, com valores de 0.11 kg/m³/min e 0.04 kg/m³/min, respectivamente. Nos dias 06/11 e 18/11, a altura significativa das ondas foi de 0.35m e 0.2m, respectivamente, e no dia 16/11, a altura significativa foi de 0.92m na zona de arrebentação. Independente das condições encontradas na zona de surfe, os sedimentos apresentaram-se com classificação do tipo fina a muito fina, em todas as coletas.

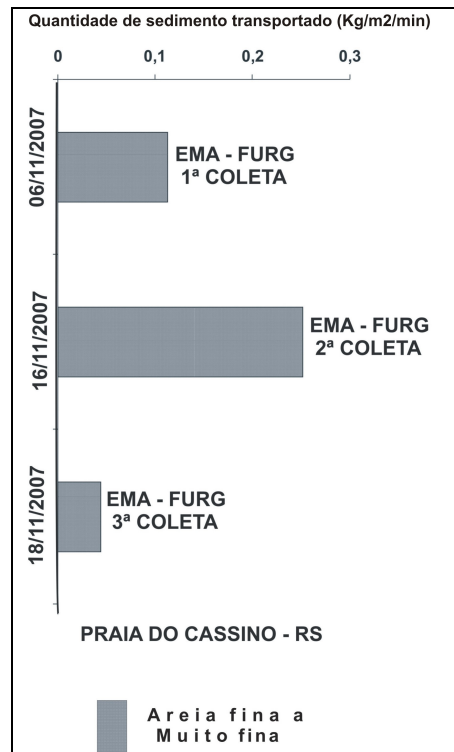


Figura 07: Caracterização do transporte de sedimentos na praia do Cassino.

Martins *et al.* (1967) comenta que, geralmente, as praias do Rio Grande do Sul são compostas de areia fina quartzosa bem selecionada com um tamanho médio de grão de 0.15mm para 0.21mm. Estudos anteriores mostram que, baseado em observações de feições geomorfológicas (Tomazelli & Villwock, 1992) o transporte líquido de sedimentos praias ao longo da costa do Rio Grande do Sul é para nordeste. Em relação à classificação morfodinâmica, e utilizando a classificação proposta por Wright e Short (1989), as praias da região sul do RS são classificadas em dissipativas e intermediárias, associadas a um ou dois bancos arenosos paralelos à costa (Calliari & Klein, 1993).

Mesmo tendo sido realizada em diferentes períodos, as condições de coleta foram muito semelhantes, com condições de tempo favoráveis para a realização das coletas. Deve-se levar em conta que, o inverno no Estado do Ceará é caracterizado somente para os meses de março a junho. O restante do ano assume características típicas da estação de verão.

O conhecimento da taxa de decantação de grãos arenosos naturais é básico para considerações sobre o transporte de sedimentos e para determinação da distribuição do tamanho do grão através da decantação do grão (Baba & Komar, 1981). A grande turbulência associada com a quebra das ondas é de grande importância na sedimentação

costeira porque considera o sedimento como sendo temporariamente colocado em suspensão e, portanto, disponível para o transporte pelas correntes.

CONCLUSÕES:

A partir dos resultados observou-se que na praia do Futuro, o fluxo de sedimentos na zona de surfe é maior nas praias que possuem características mais dissipativas e em localidades onde as feições de fundo (bancos e canais) são bem definidas. Em contrapartida, setores com características mais refletivas possuem um menor gradiente de transporte. A grande turbulência associada à quebra das ondas possibilita que grandes quantidades de sedimentos sejam colocadas em suspensão, para que possam ser transportados pelas correntes costeiras.

Levando em consideração os efeitos da oscilação da maré, ela atua de forma passiva no transporte de sedimentos e nas trocas da morfologia praias. Cada fase de maré proporciona uma morfologia diferente em ambientes de meso marés, os quais possuem respostas diferentes nos processos da zona de arrebentação. Na costa Cearense, tudo indica que um transporte de sedimentos em maior escala pode estar relacionado a processos hidrodinâmicos mais intensos fazendo com que, o pacote de sedimentos colocado a disposição para o transporte em suspensão alcance maior magnitude.

O fluxo de sedimentos na zona de surfe é maior nas regiões que se apresentaram mais dissipativas e nas praias onde as feições do fundo (bancos e cavas) eram bem definidas, independentemente do regime de maré. Na praia do Cassino, Os sedimentos transportados foram classificados em areia muito fina e bem selecionada e em relação ao tipo de sedimento transportado, condições dissipativas e a incidência de ventos de sul contribuíram para o maior transporte de sedimentos na zona de surfe. Esse maior transporte encontra-se vinculado a passagens de tempestades costeiras vindas desse quadrante. Parte significativa da energia das ondas em águas profundas que se perderiam em processos naturais de refração e difração, se as direções originais fossem muito diferentes daquelas finais na linha de quebra, acaba sendo preservada para geração de fluxos na zona de surfe

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Almeida, L.E.S.B. & Toldo Jr., E.E. 1997. Estudos ambientais em áreas costeiras e oceânicas na região sul do país – região de Osório, RS. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS (Porto Alegre), Relatório Técnico, 110 p.

Baba, J. & Komar, P.D. 1981. Measurements and analysis of settling velocities of natural quartz sand grains. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2): 631-640.

Bernabeu, A.M.; Medina, R. & Vidal, C. 2002. An equilibrium profile model for tidal environments. *Scientia Marina*, 66(4): 325-335.

Bernabeu, A.M.; Medina, R. & Vidal, C. 2003. A morphological model of the beach profile integrating wave and tidal influences. *Marine Geology*, 197: 95-116.

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.; Muehe, D.; Hoefel, F.G. & Toldo Jr., E.E. 2003. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51: 63-78.

CERC – COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER. 1984. Shore Protection Manual. V. 1, pp. 2.1-2.59.

Davies, J.L. 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*. 2ª ed. Longman, Londres, 221 p.

- Davis Jr, R. A.** 1985. Coastal Sedimentary Environments. Springer – Verlag. 716p.
- Fontoura, J. A. S.** 2004. Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos Molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil (Aplicação às praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências dos Molhes Leste e Oeste da desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos). Porto Alegre. Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 223p.
- Fredsøe, J. & Deigaard, R.** 1995. Mechanics of coastal sediment transport. World Scientific, Singapore, 369p.
- Gallagher, E. L.; Elgar, S. & Guza, R.T.** 1998. Observations of sand bar evolution on natural beach. *Journal of Geophysical Research*, 103: 3203-3215.
- Hoefel, F.G.** 1998. Morfodinâmica de praias arenosas: uma breve revisão. Ed. Univali, Itajaí, 92p.
- Hoefel, F.G. & Elgar, S.** 2003. Wave-induced sediment transport and sandbar migration. *Science*, 299: 1885-1887.
- Kraus, N.C.; Isobe, M.; Igarashi, H., Sasaki, T.O. & Horikawa, K.** 1983. *Field experiments on longshore sand transport in the surf zone*. Proceedings of the 18th Coastal Engineering Conference, American Society of Civil Engineers, 969-988.
- Kraus, N.C.** 1985. Field experiments on vertical mixing of sand in the surf zone. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(1): 3-14.
- Kraus, N.C.** 1987. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. *Journal of Coastal Research*, 3(2): 139-152.
- Mangor, K.** 2004. Shoreline management guidelines. DHI.
- Martins, L. R., Urien, C. M. & Eichler, B. B.** 1967. Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental sul brasileira e uruguaia. *21º Congresso Brasileiro de Geologia.*, Curitiba., Anais. SBG.
- Masselink, G. & Short, A.D.** 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics. A conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9: 785-800.
- Masselink, G. & Turner, I.** The effect of tides on beach morphodynamics. In Short, A.D. 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. West Sussex, UK: Wiley, 379 p.
- Morais, J.O.** 1981. Evolução sedimentológica da enseada do Mucuripe – Fortaleza, Ceará – Brasil. *Arquivo Ciências do Mar*, 21 (1/2): 19-46.
- Sunamura, T & Kraus, N.C.** 1985. Prediction of average mixing depth of sediment in the surf zone. *Marine Geology*, 62: 1-12.
- 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(1): 3-12.
- Villwock, J.A.; Lessa, G.C.; Suguio, K.; Angulo, R.J. & Dillenburg, S.R.** Geologia e geomorfologia de regiões costeiras. In: Souza, C.R.G.; Suguio, K.; Oliveira, A.M.S. & Oliveira, P.E. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, Hollos, 2005. p. 94-113.
- Wang, P.; Kraus, N.C. & Davis Jr., R.A.** 1998. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: field measurements and empirical predictions. *Journal of Coastal Research*, 14(1): 269-282.
- Williams, J.J. & Esteves, L.S.** 2006. Predicting shoreline response to changes in longshore sedimenttransport for the Rio Grande do Sul coastline. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 10(1): 1-9.
- Wright, L.D. & Short, A.D.** 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.