

Análise morfotextural e aplicação de modelos de transporte de sedimentos na zona submersa adjacente a uma praia artificial em processo erosivo

Morphotextural analysis and application of sediment transportation models in submerged area adjacent to an artificial beach in erosive process

Tatiana Pinheiro Dadalto^{a,c}, Jacqueline Albino^{b,c}

^a dadalto.tp@gmail.com, ^b jacqueline.albino@terra.com.br

^c Departamento de Oceanografia e Ecologia, UFES

RESUMO

Este trabalho consistiu na aplicação de modelos de tendência granulométrica e na caracterização morfotextural da porção submersa adjacente à Praia da Curva da Jurema, Vitória, ES. Foram levantados dados batimétricos e granulométricos e aplicados os modelos *GSTA* (*Grain-Size Trend Analysis*), de Gao (1996), e *GSTAST* (*Grain-Size Trend Analysis with Significant Test*), de Chang *et al.* (2001), que vetorizam o transporte de sedimentos. Os modelos foram considerados válidos para esta área de estudo, uma vez que os vetores resultantes estão de acordo com o padrão de transporte mostrado pela caracterização morfotextural, que indica o transporte de sedimentos da praia rumo à área de maiores profundidades. A aplicação do *GSTA* mostrou-se mais satisfatória, uma vez que há a representação vetorial de todas as estações amostrais sem se distanciar do padrão morfotextural encontrado. Este trabalho representa uma grande contribuição ao estudo da análise de tendências granulométricas, pois mostra que a aplicação de modelos pode ser satisfatória em ambientes de grande dinamismo e em costas artificiais.

Palavras-chave: Caracterização morfotextural; Transporte de sedimento; Análise de Tendência Granulométrica; Erosão costeira; Costa artificial.

ABSTRACT

This paper has consisted in the application of models of grain-size trend and morphotextural characterization of the submerged area adjacent to *Curva da Jurema* Beach, Vitória, ES. Bathymetric and grain-size data were researched and the *GSTA* (*Grain-Size Trend Analysis*), of Gao (1996), and *GSTAST* (*Grain-Size Trend Analysis with Significant Test*), of Chang *et al.* (2001) models were applied, which vector the sediment transportation. The models were considered valid to this study area, once the resultant vectors are in accordance with the transportation pattern shown by the morphotextural characterizations which indicate the transportation of sediments from the beach towards the deeper areas. The application of *GSTA* seemed to be more satisfactory, once there is vector representation of all the sample stations without being off from the observed morphotextural pattern. This paper represents an important contribution to the study of the grain-size trend analysis; for it demonstrates that the application of models can be satisfactory in environments of great dynamism and also in artificial coasts.

Keywords: Morphotextural characterization; Sediment transport; Grain-Size Trend Analysis; Coastal erosion. Artificial coast.

1. Introdução

A área de estudo do presente trabalho compreende a zona submersa adjacente à Praia da

Curva da Jurema, porção aterrada do município de Vitória, Espírito Santo, com a construção de praia artificial, onde atualmente evidencia-se um acelerado processo de erosão praial. A aplicação

dos modelos de tendência granulométrica *GSTA*, de Gao (1996), e *GSTAST*, de Chang *et al.* (2001), e o levantamento morfossedimentar da área permitiram a discussão da aplicabilidade de tais modelos para costas em instabilidade e artificiais.

O mapeamento da faciologia dos sedimentos e do padrão de transporte a partir da aplicação de modelos de tendência granulométrica tem sido realizado para promover o maior entendimento do padrão sedimentológico (Coimbra *et al.* 1980, Grunnet & Ruessink 2005). Estes estudos fazem uso de descrições visuais como método rápido de descrição – como a utilização de tenças pela Marinha do Brasil – e/ou dos parâmetros estatísticos granulométricos – média, desvio-padrão e assimetria –, geralmente para inferir a direção do transporte de sedimento, a partir da comparação entre amostras (McLaren 1981, McLaren & Bowles 1985, Gao 1996, Chang *et al.* 2001). Destaca-se a formulação e aplicação de modelos numéricos e conceituais, traçadores fluorescentes do sedimento e levantamentos topográficos, como meios de validar os estudos e métodos e/ou confrontar resultados.

Os parâmetros granulométricos apresentam-se diferentes nos diversos ambientes sedimentares, como desertos, rios e praias. Variações espaciais também existem dentro de um mesmo meio, em resposta aos processos de transporte de sedimento. Essas variações são conhecidas como tendências granulométricas. Russel (1939 *apud* Gao 1996) identificou três dos mecanismos responsáveis pela

formação de tendências granulométricas: abrasão das partículas sedimentares, seleção hidráulica ou transporte diferencial, e mistura de materiais de diferentes fontes. Assim, as investigações acerca da relação entre tendências granulométricas e transporte sedimentar abriram a possibilidade da utilização destas na inferência do padrão de transporte de sedimento (Gao 1996).

Gao (1996) propôs um novo método a partir da vetorização do transporte de sedimentos de Gao & Collins (1992), que assim como McLaren & Bowles (1985) se baseia na comparação de parâmetros estatísticos granulométricos (média, desvio-padrão e assimetria). Esse novo método é de aplicação prática, pois é disponibilizado através do programa Fortram *GSTA* (*Grain-Size Trend Analysis*). Chang *et al.* (2001) sugeriram uma modificação do *GSTA* de Gao (1996) e formularam o *GSTAST* (*Grain-Size Trend Analysis with Significant Test*), que inclui testes de significância aos vetores do transporte.

2. Área de Estudo

A área de estudo do presente trabalho é a zona submersa adjacente à praia da Curva da Jurema, entre as coordenadas 365268 e 368841W e 7753737 e 7755233S (figura 1), e tem sua origem relacionada aos sucessivos aterros que o município de Vitória sofreu, especialmente desde os anos de 1920.

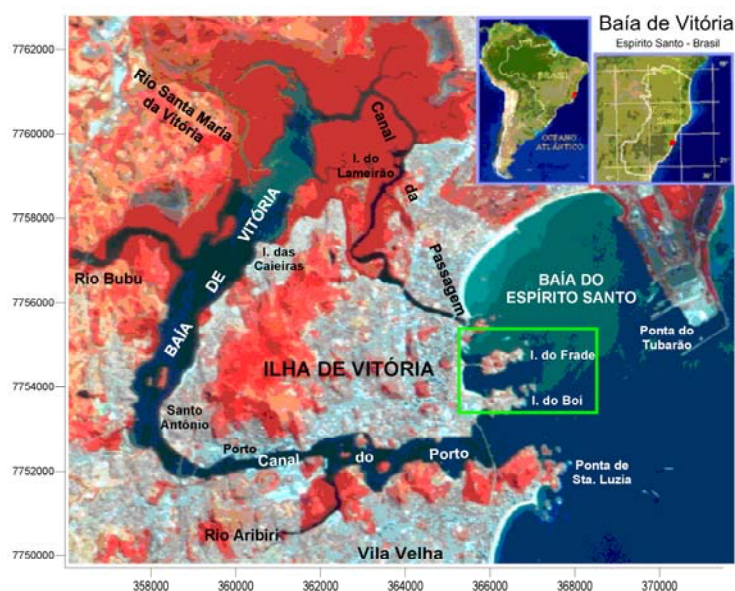


Figura 1: Localização geográfica da Baía do Espírito Santo e Baía de Vitória. No polígono verde, destaca-se a área de estudo. Fonte: Fornecido por Paulo Veronez Junior

Os ventos de maior frequência e maior intensidade são respectivamente os provenientes dos quadrantes NE-ENE e SE (Emcapa 1981), enquanto as ondas predominantes são de NE-E e SE-E (Albino *et al.* 2001). A presença de ilhas e o recorte da linha de costa atuam sobre as transformações das ondas. Segundo Albino *et al.* (2001), a dissipação e difração das ondas em torno das ilhas do Frade e Boi e da Ponta de Tubarão fazem com que as ondas alcancem a praia com alturas entre 0,2m e 0,6m e com 90° em relação à linha de costa.

Segundo Bastos *et al.* (2008), as correntes litorâneas na enseada da Curva da Jurema têm valores muito baixos, não ultrapassando 0,15m/s, e a ação das ondas é o fator determinante no processo de ressuspensão do sedimento para depois ocorrer o transporte das partículas mais finas pelas correntes.

A orientação da linha de costa da área de estudo para leste sugere que a ocorrência da maré meteorológica associada aos ventos de leste tenha importância significativa no padrão sedimentológico. O aumento do nível relativo e temporário do mar local faz com que a ação marinha seja uma variável importante no processo erosivo, associada a ondas e correntes de maré.

Piccoli (2008) modelando o clima de ondas da Curva da Jurema, mostra que a praia, por ser cortada no centro pela ilha do Frade, apresenta duas entradas para o oceano, por onde as ondas se propagam em direção à praia e sofrem vários processos que influenciam no estado hidrodinâmico do embaiamento, como a refração, difração, espraiamento, interação onda-onda, além das correntes geradas devido à ação dessas ondas. A simulação mostrou que as ondas impactam quase que diretamente nas ilhas do Boi e do Frade e entram frontalmente à região da Curva da Jurema. Mesmo entrando com as cristas quase que paralelamente à praia da Curva da Jurema, a energia das ondas é fortemente dissipada pelos efeitos que a onda sofre ao passar pelos contornos de costa. Ao entrar no embaiamento, a onda é refratada para as laterais nos costões rochosos das ilhas do Boi e do Frade, e pela refração as cristas tendem a se alinhar com a linha de costa na entrada do embaiamento. Isso gradativamente ocasiona diminuição na altura da onda, que continua sua propagação em direção à praia, onde são refletidas e refratadas para a praia da Curva da Jurema com um forte decaimento em sua altura. A altura média calculada dentro do embaiamento, próximo à praia, foi de 10 cm (Piccoli 2008).

3. Materiais e Métodos

O programa *GSTA* se baseia no método de Gao & Collins (1992) para determinar a tendência granulométrica do ambiente estudado. O método propõe a vetorização da direção de transporte residual a partir da constatação de diferenças predefinidas entre amostras. O Programa *GSTAST* desenvolvido por Chang *et al.* (2001) combina o algoritmo proposto por Gao (1996) e um teste de significância do comprimento dos vetores da tendência de transporte em cada estação de amostragem. Este programa apaga alguns vetores do transporte de sedimento do produto calculado através do programa de *GSTA*, e fornece uma tendência mais significativa para o transporte de sedimento na área de estudo. Um intervalo de confiança de 95% é uma prática comum em muitos estudos usando teste de significância; isso representa uma probabilidade de 1 em 20, de que um vetor residual identificado será uma ocorrência da possibilidade.

Gao (1996) define os procedimentos analíticos para determinar as tendências da seguinte forma:

(1) Os parâmetros granulométricos de cada estação de amostragem são comparados com os das estações vizinhas. Se o Tipo 1 ou o Tipo 2 de tendências é identificado entre a estação central e algumas das estações vizinhas, um pequeno vetor de tendência é definido para a estação central. Este vetor tem uma unidade de comprimento e aponta das estações com alto grau de seleção para as de baixo grau de seleção.

A fim de identificar estações vizinhas, uma distância característica (D_{cr}) (que representa a escala espacial do estudo) é especificada. Se a distância entre duas quaisquer estações é menor que D_{cr} , elas são consideradas estações vizinhas e seus parâmetros granulométricos são comparados. (2) Para cada uma das estações de amostragens com mais de um vetor de tendência identificado no procedimento (1), foi efetuada a soma destes vetores para a produção de um único vetor. Esta transformação é expressa matematicamente na equação 1:

$$R(x, y) = \sum_1^n r(x, y)_i \quad (1)$$

onde n é o número dos vetores identificados na estação; $r(x, y)$ é um vetor de tendência; e $R(x, y)$ é a soma dos vetores da tendência.

(3) Um método de filtragem é aplicado para remover qualquer ruído restante (qualquer vetor de tendência não coerente, em termos de direção, com a trajetória-padrão do transporte é

considerado um ruído). Além disso, as estações vizinhas são identificadas com base na distância característica (D_{cr}), como descrito anteriormente. Para cada estação, a filtragem é equivalente à transformação matemática da equação 2:

$$R_{rv}(x, y) = \frac{1}{K+1} \left[R(x, y) + \sum_1^k R_j \right] \quad (2)$$

onde R_j é a soma dos vetores obtidos com base na equação (1) e k é o número total de estações vizinhas. Os vetores $R_{rv}(x, y)$ são definidos como vetores residuais e dão forma a um padrão geral que representa o trajeto-padrão do transporte sedimentar.

Para determinar quais vetores serão apagados e quais serão validados, o programa realoca aleatoriamente os parâmetros granulométricos das estações originais (série de dados original) nas diferentes estações, a fim de gerar muitas séries de dados empíricas, antes de calcular uma série de vetores da tendência do transporte em cada série de dados. O comprimento do vetor (L) nas estações de amostragem, calculado usando a série de dados original, é testado estatisticamente por um valor crítico (valor de $L_{crítico}$, por exemplo, L_{95} , intervalo de confiança de 95%) da distribuição de frequência dos comprimentos do vetor, calculados usando todas as séries de dados. Se L é maior que o valor de $L_{crítico}$, o vetor da tendência é aceito e mantido na estação de amostragem como o vetor preferencial do transporte; se não, o vetor da tendência é rejeitado. As tendências identificadas representam os caminhos líquidos do transporte de sedimento com um nível elevado de confiança (Chang *et al.* 2001).

Os parâmetros granulométricos de qualquer estação de amostragem e de suas estações vizinhas dentro da distância característica (D_{cr}) são comparados, porém as estações distantes não são incluídas, para impedir a possibilidade de identificar vetores da tendência das estações irrelevantes.

A base do método de análise da tendência de Chang *et al.* (2001) é de que, se a tendência do Tipo 1 ou Tipo 2 (segunda amostra é mais fina, melhor selecionada e mais negativamente assimétrica, ou mais grossa, melhor selecionada e mais positivamente assimétrica) é identificada (as mesmas do *GSTA*), um vetor adimensional da tendência é definido. Este vetor resultante tem uma unidade de comprimento e aponta as estações com um alto valor de grau de seleção para aquelas com valores menores. Os vetores identificados da tendência em cada estação de amostragem são

somados então para produzir um único vetor resultante. Este vetor resultante representa a tendência do transporte de sedimento na estação. Até aqui o método não se distingue do anterior. Finalmente, uma operação de filtragem é aplicada para reduzir todo o ruído restante do cálculo dos vetores resultantes.

Os parâmetros granulométricos nas estações de amostragem originais (série de dados original) são realocados aleatoriamente a outras estações para produzir muitas séries de dados empíricas (o máximo é 10.000 vezes para este programa), a fim de testar se os vetores residuais são os sentidos preferenciais do transporte de sedimento. Estas séries de dados empíricas são usadas então para voltar a calcular os vetores de transporte das estações empíricas. A experiência é repetida muitas vezes a fim de obter uma série de vetores residuais para cada estação e para cada série de dados. Esta série de vetores é suficiente para estabelecer uma distribuição de frequência para os comprimentos do vetor (série de dados original e séries de dados novas) em cada estação. Se os vetores residuais calculados da série de dados original são certamente as direções (sentidos) preferenciais do transporte de sedimento, eles devem ser estatisticamente diferenciados das distribuições de frequência de comprimentos do vetor. Isto porque os comprimentos do vetor calculados das séries de dados empíricas representam o ruído aleatório na procura dos sentidos preferenciais. Assim, um valor crítico L_x (por exemplo, L_{95} com um intervalo de confiança de uma distribuição normal de 95%) é definido (Chang *et al.* 2001).

A significância do comprimento do vetor residual original (L) é considerada com base nas seguintes observações:

1. $L > L_x$, e a tendência é significativa. A tendência identificada deve representar o caminho líquido do transporte de sedimento com um elevado nível de confiança (por exemplo, $x = 95$ representa um intervalo de confiança de uma distribuição normal de 95%).

2. $L < L_x$, e a tendência não é significativa. Isto indica que o vetor líquido do transporte de sedimento não pode ser identificado na estação de amostragem.

Ambos os modelos têm sua metodologia executada por programas computacionais – *GSTA* (o modelo de Gao 1996) e *GSTAST* (o modelo de Chang *et al.* 2001).

No presente trabalho, o programa *GSTAST* foi aplicado com diferentes valores para o número de estações empíricas – 10, 100, 500, 1.000, 5.000, 10.000, que é o máximo possível, e 173, que

representa o dobro das estações de amostragem +1 – e graus de confiança de 90, 95 e 97,5%. Os valores de estações empíricas apresentados são 173 e 500. Visto que não se encontrou na literatura sobre o modelo *GSTAST* o critério de escolha do valor de estações empíricas, os valores 173 e 500 foram escolhidos por representar bem a maioria dos resultados com os outros valores para este parâmetro.

Para realizar o levantamento textural e obter os dados necessários à utilização dos modelos (média, grau de seleção e assimetria), 85 amostras de sedimento foram coletadas em um embarque no dia 12 de dezembro de 2007, com utilização de draga tipo *Pettersen* e GPS para a localização da embarcação em relação aos pontos. A figura 2 mostra a localização dos pontos amostrais. As amostras foram submetidas ao peneiramento a seco, via úmida, determinação de teor de carbonatos e matéria orgânica, de acordo com metodologia de [Folk \(1968\)](#).

O levantamento batimétrico foi executado utilizando-se um ecobatímetro digital modelo *Echotrac-Hidrotrac*, fabricação *Odom Hydrographyc Systems Inc*.

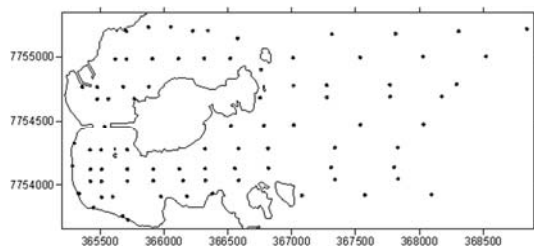


Figura 2: Malha amostral da área de estudo.

4. Resultados e Discussões

Batimetria e granulometria dos sedimentos superficiais

O mapa batimétrico da figura 3 revela a ocorrência de profundidades até 13m e permite diferenciar o embaçamento do Iate Clube (norte da Ilha do Frade) e o embaçamento da Praia da Curva da Jurema (sul da Ilha do Frade). O primeiro é caracterizado por uma região relativamente mais rasa (cerca de 2m), enquanto no embaçamento da Curva da Jurema percebe-se uma pequena área rasa seguida de um gradiente topográfico grande (1:10) levando a uma região de grande profundidade na porção centro-norte da Curva da Jurema (com máximo de aproximadamente 10,5m), semelhante à região mais externa (a leste) da área mapeada. Esta área profunda nas adjacências da porção centro-norte da Praia da Curva da Jurema tem grande importância para o

entendimento do padrão sedimentológico da área, especialmente em relação ao transporte, uma vez que funciona como espaço para a acomodação de sedimentos.

A partir do leste da Ilha do Frade as isolinhas seguem um padrão com regular diminuição da profundidade rumo ao mar.

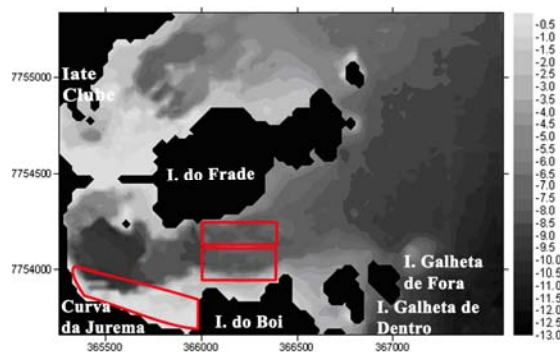


Figura 3: Mapa batimétrico da zona submersa adjacente à Praia da Curva da Jurema. Os polígonos destacam a presença de barras arenosas.

A ocorrência desta região profunda tão próxima à linha de costa é explicada pelo fato de que o aterro que construiu a região reposicionou a linha de costa abruptamente em uma região que naturalmente era mais profunda, já que estava longe da linha de costa original.

Nas figuras 4 e 5 tem-se as características granulométricas dos sedimentos, como a distribuição de lama e a classificação do diâmetro médio (*Mz*).

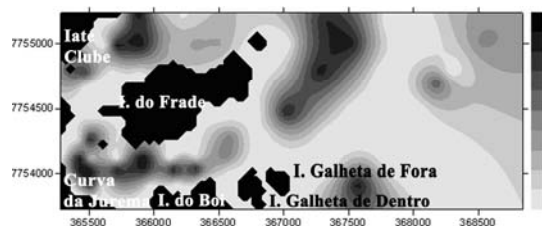


Figura 4: Distribuição de teor de lama dos sedimentos de fundo da enseada da Curva da Jurema. Escalas em percentual.

As altas concentrações de lama, com percentuais de até 98%, ocorrem a noroeste e a leste-nordeste da Ilha do Frade, a leste da Ilha Galheta de Fora e nas adjacências da Praia da Curva da Jurema. Há predomínio de sedimentos com menos de 30% de lama e areias médias a finas na área de estudo, especialmente na região mais exposta.

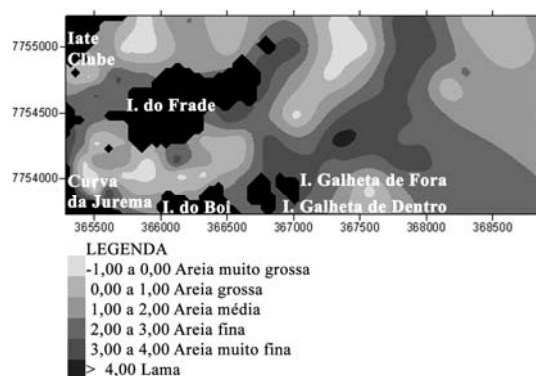


Figura 5: Distribuição da média das distribuições granulométricas dos sedimentos de fundo da enseada da Curva da Jurema. Escalas em fi.

Na figura 6 pode-se perceber um melhor grau de seleção no embaiamento da Curva da Jurema em detrimento do embaiamento do Iate Clube, indicando a ocorrência de processos de retrabalhamento e deposição, conforme interpretado por [Masselink & Hughes \(2003\)](#) para as seleções de distribuições costeiras.

No embaiamento da Curva da Jurema, na área correspondente às maiores profundidades, o grau de seleção é pobre a moderado; nas áreas mais rasas – adjacentes à praia e entre as Ilhas do Boi e do Frade –, o grau de seleção é de moderado a bom. O pobre grau de seleção rumo às maiores profundidades sugere o padrão de transporte e deposição nesta direção.



Figura 6: Distribuição do grau de seleção das distribuições granulométricas dos sedimentos de fundo da enseada da Curva da Jurema. Escalas em fi.

Do ponto de vista geomorfológico, a cobertura sedimentar de fundo da zona submersa adjacente à Praia da Curva da Jurema mostrou uma distribuição heterogênea, em concordância com os diferentes ambientes deposicionais e processos hidrodinâmicos que controlam a sedimentação na área. O grau de exposição e a profundidade das

diferentes regiões promovem o desenvolvimento desses diferentes ambientes deposicionais.

Deve-se observar ainda que na porção sul da Praia, adjacente ao desenvolvimento das escarpas, há maior extensão da área rasa. Isso ocorre porque, em decorrência do processo erosivo atuante, a transferência do sedimento erodido para a zona submersa adjacente suaviza a declividade.

As barras arenosas na antepraia (*shoreface*) adjacente à Praia da Curva da Jurema, com areias grossas a médias, e no canal que liga a enseada da Curva da Jurema às regiões mais *offshore*, entre as Ilhas do Frade e do Boi, com areias finas a muito finas (destaque na figura 3), indicam a atuação das correntes de maré. Segundo [Masselink & Hughes \(2003\)](#), em ambientes costeiros dominados por maré há barras arenosas lineares, formando múltiplos canais para a entrada da maré.

Padrão de transporte de sedimentos

O mapa dos vetores resultantes da aplicação do programa *GSTA* é apresentado na figura 7, que mostra vetores a norte e sul da Ilha do Frade voltados para oeste, sendo que, no embaiamento a norte, eles sofrem uma deflexão para sul. Esse padrão é associado ao clima de ondas da região, que segundo [Piccoli \(2008\)](#) se propaga rumo a oeste sofrendo refração ao entrar nos embaiamentos, sendo que passam a se propagar para sul, tal como os vetores se apresentaram. É importante salientar que, conforme sugerem os dados de [Bastos et al. \(2008\)](#), as ondas atuam remobilizando o sedimento, e as correntes é que o transportam. Assim, associadas à atuação das ondas, as correntes de maré são um importante fator hidrodinâmico na determinação do padrão de transporte da zona submersa adjacente à Curva da Jurema.

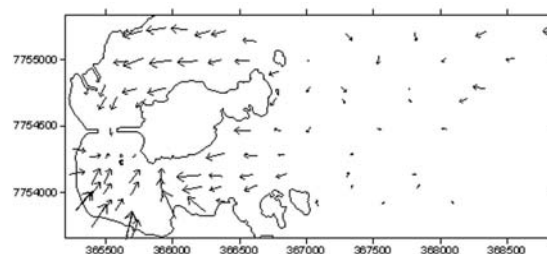


Figura 7: Vetores de padrão de transporte de sedimentos resultantes da aplicação do *GSTA*.

Já nas adjacências da Praia da Curva da Jurema, os vetores não são definidos prioritariamente pelo padrão de ondas. Nessa região, o padrão de

vetores mostra a saída de sedimento da praia rumo às regiões mais fundas adjacentes. Deve-se observar que os vetores da porção sul da Praia são maiores, representando um transporte mais significativo. Isto se deve ao fato de nesta porção da praia o processo erosivo ser mais atuante e facilmente visualizado pelo esculpimento de escarpas erosivas.

Há na região de 366000 W e 7754000 S uma convergência de vetores, que representa um padrão associado à dissipação da energia das ondas pelos promontórios rochosos somado à refração, com a convergência para as maiores isóbatas.

Os vetores a partir de 367000 W rumo ao mar apresentam um padrão de circulação diferente do das enseadas, com menor intensidade, associado à grande profundidade e padrão convergente para o centro, provavelmente decorrente da difração das ondas no embaiamento.

De forma geral, a variação do número de estações empíricas com um mesmo grau de confiança resultou em vetores relativamente parecidos, sendo que a diferença maior do padrão de vetores resultantes ocorre quando se modifica o grau de confiança, de forma que o número de vetores validados diminui conforme aumenta o grau de confiança.

Tabela 1: Resultado da aplicação do *GSTAST*, com número de vetores válidos para cada grau de confiança e estações empíricas considerados.

Grau de Confiança	90%		95%		97,5%	
Estações empíricas	173	500	173	500	173	500
Vetores validados	25	23	12	14	9	10

Para o grau de confiança de 90%, com 173 estações empíricas, o número de vetores validados foi de 25, enquanto que com 500 estações empíricas, 23 vetores foram validados (tabela 1). Os resultados apresentam uma quantidade de vetores muito menor que aquela apresentada pelo resultado da aplicação do *GSTA*, sendo que principalmente os vetores da região mais profunda foram excluídos. Para o grau de confiança de 95%, com 173 estações empíricas, o número de vetores validados foi de 12, enquanto que com 500 estações empíricas, 14 vetores foram validados.

Observa-se que os mapas resultantes da aplicação do *GSTAST* com 500 e 173 estações empíricas são extremamente semelhantes, mostrando que em ambos os casos houve uma boa aplicabilidade do modelo.

O grau de confiança, ao contrário dos valores para o número de estações empíricas, tem um

valor recomendado pela literatura (CHANG *et al.*, 2001), que é de 95%. Dessa forma, o mapa apresentado abaixo (figura 8) é o que apresenta 95% de grau de confiança.

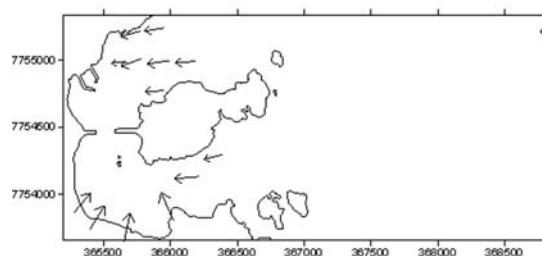


Figura 8: Padrão de transporte resultante da aplicação do *GSTAST*, considerando grau de confiança de 95% e 500 estações empíricas – que representa o mesmo resultado para 1.000 e 5.000 estações empíricas (14 vetores validados).

Quanto maior o grau de confiança, menor a chance de erro, e então menos vetores validados deverão ocorrer. Isto de fato aconteceu no resultado da aplicação do *GSTAST* para grau de confiança de 97,5%, que para 173 estações empíricas apresentou o número de vetores validados igual a 9, e para 500 estações empíricas 10 vetores foram validados.

Todos os mapas resultantes da aplicação do *GSTAST* mostraram vetores voltados para oeste, seguindo o padrão de entrada de ondas mostrado por Piccoli (2008), e a saída do sedimento da antepraia adjacente à Curva da Jurema em direção à região mais funda adjacente (antepraia e plataforma interna).

Em outras palavras, o *GSTAST* considera o padrão de transporte das enseadas mais significativo do que aquele das regiões mais profundas – representado no mapa anterior (*GSTA*) por vetores pequenos e voltados para o centro – uma vez que, mesmo com o teste de significância, os vetores das enseadas foram considerados no padrão de transporte, em detrimento dos da região mais exposta, que foram excluídos.

Após a análise dos resultados obtidos com a aplicação dos programas de geração de vetores de tendências de transporte de sedimento *GSTA* (Gao 1996), *GSTAST* (Chang *et al.* 2001) e *TRANSVEC* (Leroux *et al.* 2002), na costa paranaense, Veiga (2005) observou que os vetores gerados pelo programa *GSTA* coincidem com os declives batimétricos da área, estando de acordo com o esperado na parte sul e central da área, mas não parecem bons nos setores NE e NO da área. Além disso, o fato de este programa gerar vetores para todas as estações parece ser um problema, uma

vez que ao adicionar aos dados mais uma linha de estações a sul da área, a linha que antes era a borda da área apresenta os vetores diferentemente. Para este estudo em particular, entre os modelos aplicados, o segundo é o que melhor satisfaz as tendências esperadas. A iniciativa de *Chang et al. (2001)* de inserir um teste de significância para os vetores, bem como a geração de vetores adicionais empíricos que são utilizados no processo de filtragem, parece funcionar a contento neste caso em particular (*Veiga 2005*).

5. Conclusões

A cobertura granulométrica da enseada da Curva da Jurema indicou dois fatores determinantes na ocorrência dos padrões observados: o grau de exposição às ondas incidentes e a batimetria.

A área abrigada e mais profunda da zona submersa adjacente à Praia da Curva da Jurema é submetida ao transporte e deposição dos sedimentos finos, provenientes da praia emersa e das escarpas erosivas.

As barras arenosas desenvolvidas entre as ilhas do Frade e do Boi evidenciam a atuação da maré na região como um importante fator atuante na retirada do sedimento da praia, uma vez que formam canais lineares à direção de entrada do fluxo de maré. A distribuição de lama nas adjacências da Praia da Curva da Jurema em formas alongadas e transversais à praia, rumo a leste, constitui a indicação do transporte pelas correntes de maré.

É importante salientar que a ocorrência de eventos de empilhamento de água na costa provocados por marés meteorológicas e/ou ventos, especialmente de leste, para onde o arco praiial é voltado, promove o maior alcance das ondas e correntes sobre a praia, atuando como um importante fator na erosão praiial.

O padrão de transporte observado na área adjacente à Curva da Jurema apresenta a contribuição dos sedimentos erodidos para a antepraia, processo este facilitado pelo pequeno tamanho dos grãos (sedimento lamoso), que dá aos agentes hidrodinâmicos competência para transportá-los. Se o material disponível na praia (material do aterro/engordamentos de tempos atrás) fosse mais grosso, ou não haveria erosão ou o sedimento ficaria próximo à praia devido à baixa energia do meio.

Apesar das diferentes quantidades de vetores validados com a aplicação dos modelos *GSTA* e do *GSTAST*, o padrão de transporte não foi alterado de um para outro, validando-se ambos os

modelos. Contudo, destaca-se o *GSTA* como o mais adequado no presente estudo, por apresentar o padrão de transporte de toda a região, uma vez que mostra vetores para todas as estações amostrais de acordo com o resultado da análise morfotextural.

Agradecimentos

Ao Dr. Fernando Alvim Veiga (UFPR), pela disponibilização dos programas utilizados neste trabalho; ao Msc. Alexandre Pasolini (CEPEMAR Meio Ambiente), pela obtenção dos dados de batimetria; e ao Fundo de Apoio à Ciência e Tecnologia do Município de Vitória (FACITEC), pelo apoio financeiro ao Projeto “Erosão, morfodinâmica praiial e transporte de sedimentos da Curva da Jurema, Vitória - ES”.

Referências Bibliográficas

- Albino J., Oliveira R.M.S., Maia L.P., Nascimento K.A. 2001. Processos atuais de sedimentação marinha e praiial do litoral de Vitória, ES. Relatório (FACITEC).
- Bastos A.C., Quaresma V.S., Lima B.C.R. 2008. Identificação e análise dos processos de ressuspensão e dispersão de sedimentos nos ecossistemas costeiros de Vitória-ES. Relatório (FACITEC).
- Chang Y.H., Scrimshaw M.D., Lester J.N. 2001. A revised Grain-Size Trend Analysis program to define net sediment transport pathways. *Computers and Geosciences*, 27: 109-114.
- Coimbra A.M., Furtado V.V., Tessler M.G., Yamamoto M.F., Todeschini E. 1980. Dispersão dos Sedimentos de Superfície de Fundo na Plataforma Continental Interna do Estado de São Paulo – Santos à Ilha Grande. *In: Congresso Brasileiro de Geologia*, 31, Balneário Camboriú, SBG, Anais... 1:557-567.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. Instrução Técnica A-06A. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/download/ita06.pdf>. Acessado em 22 de janeiro de 2008.
- Emcapa – Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária. 1981. Representação gráfica da frequência, direção e velocidade do vento em Vitória, Conceição da Barra e Regência, no Estado do Espírito Santo. Relatório. 23p.
- Folk R.L. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, Hemphill.
- Gao S. 1996. A Fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways. *Computers and Geosciences*, 22:449-452.
- Gao S., Collins M. 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of transport vectors. *Sedimentary Geology*, 81:47-60.
- Grunnet N.M., Ruessink B.G. 2005. Morphodynamic response of nearshore bars to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 52:119-137.
- Leroux J.P., O'Brien R.D., Rios F., Cisternas M. 2002. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. *Computers and Geosciences*, 28:717-721.
- Masselink G., Hughes M. 2003. *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Hodder Arnold, Londres.
- McLaren P. 1981. An interpretation of trends in grain-size measurements. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51:611-624.

- McLaren P., Bowles D. 1985. The Effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55:457-470.
- Piccoli F.P. 2008. Estudo numérico de ondas monocromáticas em duas praias e sobre um recife artificial multifuncional na Baía do Espírito Santo, Vitória, ES. Dissertação de mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo. 150 p.
- Veiga F.A. 2005. Processos Morfodinâmicos e Sedimentológicos na Plataforma Continental Rasa Paranaense. Tese de doutorado. Pós-graduação em Geologia Ambiental do Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 193 p.

Recebido 08 de Maio 2009

Aceito 17 de Julho 2009