

A EROÇÃO NA COSTA LESTE DA ILHA DO MEL, BAÍA DE PARANAGUÁ, ESTADO DO PARANÁ: MODELO BASEADO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FORMAS DEPOSICIONAIS E PROPRIEDADES SEDIMENTOLÓGICAS

PAULO CÉSAR FONSECA GIANNINI¹, RODOLFO JOSÉ ANGULO², MARIA CRISTINA DE SOUZA³, JAQUELINE SILVEIRA KOGUT⁴ & MARLON DOS SANTOS DELAI⁵

Abstract *THE EROSION IN THE EASTERN COAST OF MEL ISLAND, PARANAGUÁ BAY, PARANÁ STATE, SOUTHERN BRAZIL: MODEL BASED ON THE SPATIAL DISTRIBUTION OF DEPOSITIONAL FEATURES AND SEDIMENTOLOGICAL PROPERTIES* Mel Island, a Holocene beach-ridge plain, underwent intense morphologic changes in the past 50 years, including the gradual erosion of its central isthmus, from more than 150 m to less than 5m presently. The eastern side of the island is sub-parallel to a same abutting beach-ridge, which is undergoing a process of intense erosion. It is hypothesized that this beach-ridge works as a sedimentologically uniform source to the present beach. Therefore, any significative variation in the heavy minerals suite alongshore may indicate a net sediment transport direction. The results from grain size and heavy mineral studies suggest a pattern of longshore drift cell circulation, with two convergence zones, separated by a divergence zone. This pattern is consistent with field observations: the first convergence zone, in the mid-north beach, coincides with the location of a recently developed sandy cusp; the divergence zone is located close to the erosional isthmus; and the second convergence zone, in the south, coincides with the site of a prograding sand spit. Therefore, the isthmus erosion could be explained by the lack of sand supply to this area due to the divergent character of the longshore drift. Similarly, the sand cusp and the sand spit could be related to the sedimentary stock due to the convergent character of the longshore drift.

Keywords: Mel Island, longshore drift, coastal erosion, grain size, heavy minerals.

Resumo A ilha do Mel, constituída por planície de cordões litorâneos holocênicos, tem experimentado mudanças morfológicas intensas nos últimos 50 anos, com destaque para o estreitamento gradual de seu istmo central, de mais de 150 m para menos de 5 m. O lado oriental da ilha é sub-paralelo a um mesmo cordão litorâneo, submetido a processo de erosão acentuada. Pode-se admitir, portanto, que este cordão atue como área fonte sedimentologicamente uniforme da praia atual. Adotada esta premissa, qualquer variação significativa na granulometria e na assembléia de minerais pesados ao longo da praia pode ser atribuída ao efeito resultante do transporte sedimentar. Os resultados de análise granulométrica e de minerais pesados encontrados ao longo da praia do Farol, no lado leste da ilha, com base em amostragens realizadas em duas datas (1994 e 2001) permitem sugerir um padrão celular de deriva litorânea, com duas zonas de convergência e uma zona de divergência. Este padrão é coerente com observações de campo e geomorfologia: a zona de convergência do meio-norte da praia coincide com a localização de uma cúspide arenosa desenvolvida recentemente, a zona de divergência incide justamente sobre a área erosiva, no istmo central, e a zona convergente sul ocorre sobre um esporão arenoso também desenvolvido recentemente. Desse modo, a erosão acelerada no istmo pode ser explicada pela inanição sedimentar devida ao caráter divergente da deriva litorânea nesse local, enquanto a morfologia em cúspide e o crescimento do esporão podem ser relacionados ao aporte de areia devido ao caráter convergente da deriva litorânea.

Palavras-chave: Ilha do Mel, deriva litorânea, erosão costeira, granulometria, minerais pesados.

INTRODUÇÃO A ilha do Mel, com superfície aproximada de 27 km² (Figueiredo, 1954), localiza-se na desembocadura da baía de Paranaguá, Estado do Paraná, à latitude de 25°30'S e à longitude de 48°20'W (Fig. 1). É constituída principalmente por terrenos de rochas granitóides do embasamento cristalino proterozóico, que sustentam os morros, e por terraços arenosos costeiros pertencentes à porção externa da barreira regressiva holocênica (Lessa *et al.* 2000). A gênese desta barreira estaria relacionada à desaceleração da ascensão pós-glacial do NRM, cujo máximo, de 3,5±1,0 m (Angulo *et al.* 2002), teria ocorrido entre 5100 e 5400 anos antes do presente (AP) (Angulo & Souza 1999).

O terraço que formava o istmo central da ilha na localidade de Nova Brasília, com cerca de 150 m de largura nos anos 1950, foi completamente erodido durante a década de 90. Simultaneamente à erosão do istmo, observou-se o surgimento e crescimento de um esporão arenoso, que em maio de 2002 tinha mais de 800 m de extensão, ancorado na ponta do Farol das Conchas. Estas modificações na morfologia da costa leste da ilha do Mel são as manifestações mais evidentes de amplo conjunto de processos erosivo-deposicionais atuantes em todo o perímetro da ilha (Paranhos *et al.* 1994, Angulo *et al.* 1995).

A questão preliminar colocada neste artigo é: de que modo a

1 - Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, CEP 05508-080, São Paulo - SP, Brasil; e-mails: pcgianni@usp.br

2 - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Centro Politécnico, Caixa Postal 19001, CEP 81531-990, Curitiba - PR, Brasil; bolsista Produtividade em Pesquisa CNPq; e-mail: angulo@geologia.ufpr.br

3,4 - Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná; 3bolsista Doutorado CNPq; e-mail: cristina@geologia.ufpr.br

5 - Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná; bolsista PIBIC-CNPq

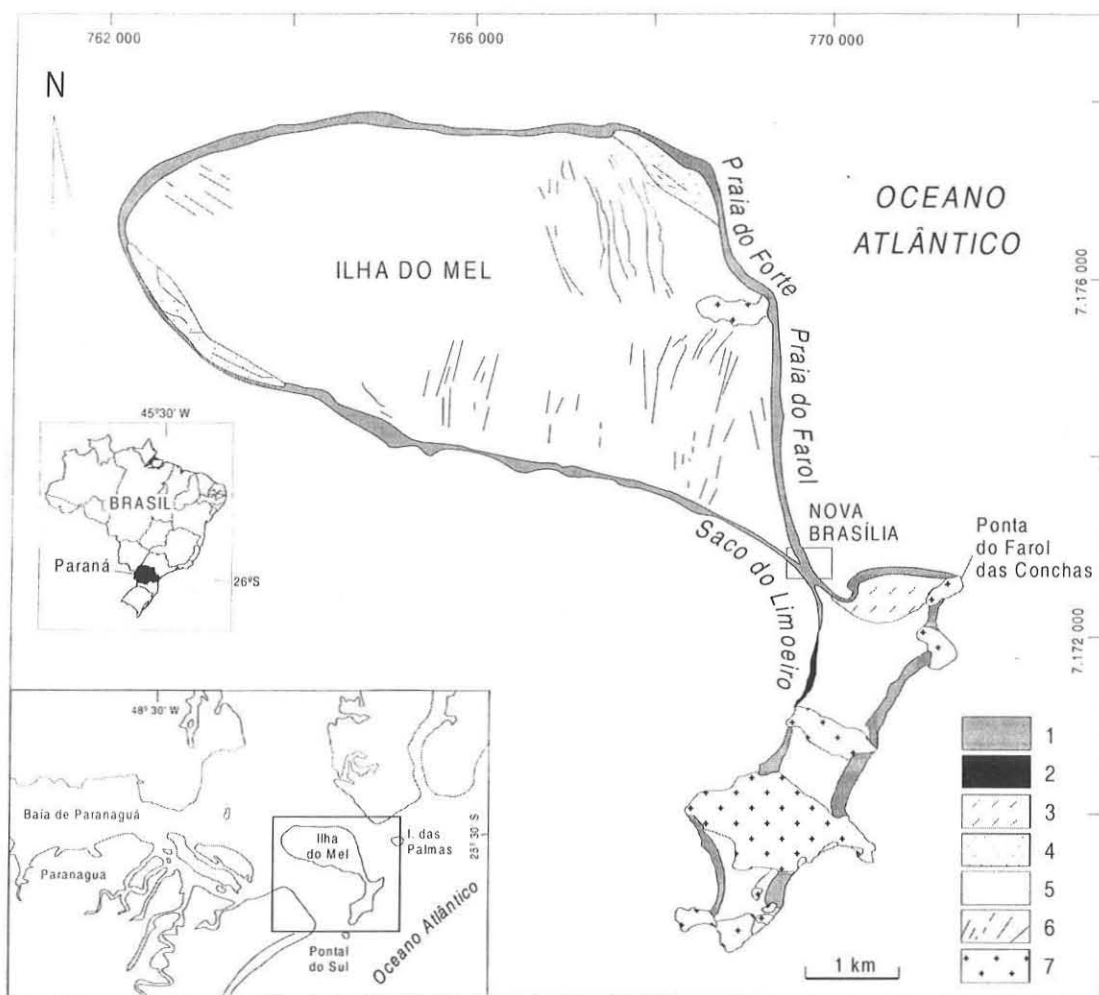


Figura 1 - Localização e esboço geológico da ilha do Mel, com indicação de duas gerações de cordões litorâneos. (1) praia; (2) manguezal; (3) esporão com dunas frontais formado a partir da década de 1990; (4) planície costeira holocênica formada sob NRM semelhante ao atual; (5) planície costeira holocênica formada sob NRM superior ao atual (6) alinhamento de cordões litorâneos; (7) morros de granitóides do embasamento cristalino proterozóico.

dinâmica costeira recente na ilha do Mel se reflete na distribuição espacial dos atributos texturais e mineralógicos de seus sedimentos de praia? De modo geral, a abordagem deste tipo de questão pressupõe que se conheça a influência da área fonte sobre a distribuição espacial dos sedimentos praias. Nas praias da ilha do Mel, em sua maioria caracterizadas pela existência de falésias esculpidas sobre os sedimentos regressivos, a fonte sedimentar imediata não pode ser considerada simplesmente como pontual ou homogênea, pois os cordões litorâneos, intermitentemente erodidos, podem atuar como fonte sedimentar adicional.

A interpretação da variação das características granulométricas e mineralógicas ao longo das praias da ilha do Mel requer, portanto, o conhecimento prévio do comportamento destas características através do sistema de cordões litorâneos. Este comportamento caracteriza-se por variação espacial oeste-leste correlacionável à variação de idade através das sucessões de cordões (Angulo *et al.* 1994, 1996). Assim, o estudo da deriva litorânea recente baseado na variação de características texturais e mineralógicas das areias pode ser dificultado nas praias da ilha do Mel em que a linha de

costa trunque cordões de diferentes idades. Nestes casos, as variações sedimentológicas ao longo das praias pode ser devida tanto a correntes de deriva longitudinal como às diferenças herdadas de cordões litorâneos distintos. A praia do Forte e a praia do Farol, na face leste da ilha, não se encaixam nesta condição, por estarem orientadas em direção sub-paralela a um mesmo cordão. Assim, pode-se admitir que as falésias ao longo destas praias apresentam atributos sedimentológicos homogêneos e constituem fonte imediata pouco variável. Adotada esta premissa, o objetivo deste trabalho é abordar a variação de propriedades granulométricas e mineralógicas ao longo da praia do Farol como uma consequência da atuação de correntes litorâneas, e assim explicar os processos pelos quais se dá a mudança de morfologia costeira no leste da ilha do Mel.

ÁREA DE ESTUDO Por situar-se entre duas desembocaduras estuarinas e por possuir constituição predominantemente arenosa, a ilha do Mel é fortemente suscetível a processos erosivo-deposicionais relacionados tanto a ondas como a marés. Apre-

senta assim predisposição à morfodinâmica complexa e instável. Sua curiosa morfologia atual “em oito”, com duas porções de perímetro elipsoidal unidas pelo istmo central, foi provavelmente moldada através da ação, em escala secular, de processos erosivos induzidos por correntes de maré, a sudoeste (Angulo 1992, Araújo 2001), e por ondas, a leste.

Na porção norte da ilha do Mel, Angulo (1992) identificou duas gerações de cordões (Fig. 1). A geração mais antiga, dominante, caracteriza-se por um feixe de alinhamentos sub-paralelos com orientação entre NW e N. Estes alinhamentos estão transversalmente truncados, nas faces norte e sul da porção setentrional da ilha, pela linha de costa atual. Os cordões mais novos são de pequena extensão e apresentam orientação semelhante à da presente linha de costa. De acordo com Angulo (1992), a diferença de orientação entre as duas gerações de cordões litorâneos evidencia duas fases dinamicamente distintas no processo de crescimento regressivo da ilha do Mel. Segundo mesmo autor, a diminuição gradual de altura, de W para E, permite interpretar que o feixe de cordões mais antigos tenha-se formado no decorrer da descida do NRM, quando este se encontrava entre $1,55 \pm 0,50$ m e $0,75 \pm 0,50$ m acima do nível atual. A formação dos cordões mais novos seria correlacionável ao período de NRM semelhante ao atual, ocorrido durante as últimas centenas de anos.

Em várias porções do perímetro da ilha, o truncamento dos cordões mais antigos pela costa atual ocorre na forma de falésias, com 2 a 3 m de altura, onde as estruturas sedimentares se expõem. A análise destas estruturas permite reconhecer duas fácies arenáceas. A primeira, visível apenas em parte das falésias, sempre em sua porção inferior, consiste de séries tabulares submétricas de estratificações cruzadas planares ou de séries acanaladas de estratificações tangenciais na base, com ângulo de mergulho alto ($> 10^\circ$) e *Ophiomorpha* atribuída ao crustáceo *Callichirus major*. A segunda, de posição superior na escarpa, é caracterizada pelo predomínio de laminações plano-paralelas, em séries cruzadas cuneiformes de baixo ângulo (menor que 5°). Nesta fácies, observava-se ainda a presença subordinada de laminações cruzadas, geradas tanto por migração como por cavalgamento de microondulações assimétricas, estruturas decimétricas de corte e preenchimento e tubos de *Callichirus*. A primeira fácies pode ser atribuída a fluxos trativos, em zona de face litorânea superior (*upper shoreface*) ou em deltas de maré enchente (*flood tidal delta*), enquanto a segunda corresponderia a correntes pulsáteis em regime de fluxo superior, portanto formada em face praiial (*beach face*) (Angulo 1992, Giannini et al. 1995, Angulo et al. 1996).

MÉTODOS Ao longo da praia do Farol, realizaram-se duas amostragens na zona de espraçamento: em 3 de maio de 1994 (amostragem A) e em 16 de maio de 2001 (amostragem B). Na primeira, foram coletadas 14 amostras (Fig. 2A), com espaçamento de 250 m, para os pontos de coleta ao longo do esporão arenoso (pontos A12 a A14), e de 500 m, na parte restante da praia (pontos A1 a A12). Na segunda, foram coletadas 22 amostras (Fig. 2B), com espaçamento de 150 m, para os oito pontos de amostragem ao longo do esporão (pontos B14 a B22), e de 250 m no restante da praia (pontos B1 a B13).

O ponto A11 localiza-se em área que possuía caráter erosivo até 1990, tornando-se depois protegida pelo crescimento do esporão da ponta do Farol das Conchas. Na amostragem de 2001, este ponto já se encontrava distanciado da praia mais de 200 m ao interior, devido à progradação localizada.

Os pontos A5 a A10 correspondem ao trecho da praia que na

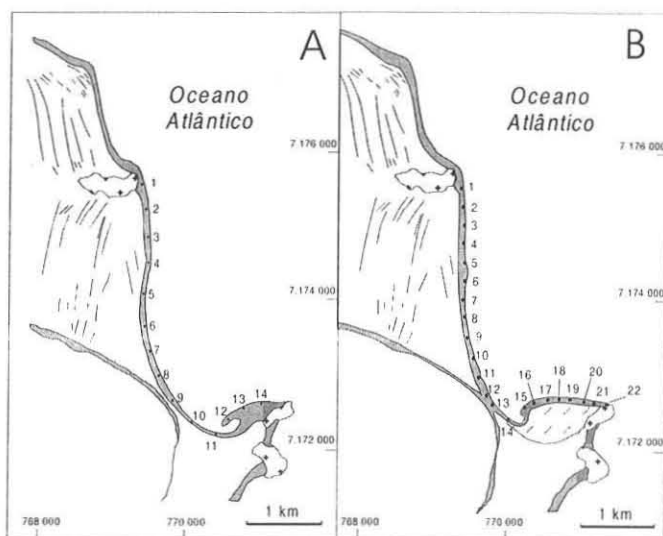


Figura 2 - Localização dos pontos de amostragem de sedimentos da praia do Farol, na ilha do Mel. “A” corresponde à amostragem de 1994 e “B” à de 2001.

época da primeira coleta se encontrava em processo erosivo. Os pontos A1 a A4 situam-se em área onde não se observaram no período estudado evidências de erosão em andamento. Neste trecho, cordões litorâneos muito baixos, pertencentes à segunda geração, ocorrem entre a praia e o terraço de cordões mais antigos. Durante a segunda amostragem, verificou-se que o regime erosivo ampliara-se para norte, imperando em todo trecho entre os pontos B1 e B13.

As amostras foram submetidas a análises granulométricas por peneiramento em intervalos de $0,5 \phi$ (phi) da escala de Wentworth (1922) - Krumbein (1938). Quatro parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose) foram calculados pela técnica analítica dos momentos de Pearson. A faixa areia muito fina ($3-4 \phi$) foi a escolhida para a separação densimétrica em bromofórmio (CHBr_3 , densidade $2,85 \text{ g/cm}^3$) por ser a classe de $1,0 \phi$ imediatamente mais fina que a classe modal da distribuição granulométrica e por tender, assim, a concentrar a moda da distribuição de grãos pesados (Giannini 1993). A quantificação de minerais pesados, dentre os grãos transparentes não micáceos, foi feita até um total de pelo menos 200 grãos. Calculou-se o índice ZTR, somatório de minerais ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo) dentre componentes pesados transparentes não micáceos, de acordo com a definição original de Hubert (1962). De modo análogo, foram calculados índices somatórios de minerais considerados metaestáveis (estauroilita, epídoto, cianita, sillimanita, granada e barita) e instáveis (hornblenda, hiperstênio e andaluzita).

Para avaliar a variação espacial das características granulométricas e mineralógicas dos sedimentos, foram utilizados simultaneamente dois tipos de métodos, gráfico e analítico. O método gráfico consistiu na construção de diagramas de dispersão binária em função da distância ao longo da praia. O método analítico envolveu a análise de correlação linear, incluindo construção de retas de regressão em trechos selecionados. O uso combinado destes métodos é justificado pela regra de Reichmann (1961, apud Huggett 1985) segundo a qual uma reta de regressão jamais deve ser aceita ou interpretada sem o exame criterioso do diagrama de dispersão de pontos correspondente, a recíproca também sen-

do válida.

Os valores de coeficiente de correlação linear (r) e as retas de regressão foram obtidos com o *Software* Lotus-123, versão 97. O critério estatístico utilizado para avaliar os resultados de r foi o nível de significância ou erro $1(\alpha)$, correspondente à probabilidade de rejeitar uma hipótese nula (H_0) verdadeira. Como H_0 , no caso, afirma a inexistência de correlação significativa ($r=0$), α pode ser entendido como a probabilidade de aceitar-se inexistência de correlação. Os valores máximos de α foram estimados por interpolação comparando o quociente t do teste de regressão unicaudal ($t = r[(n-2)^{1/2}/(1-r^2)^{1/2}]$) com a distribuição t de Student.

Nos casos de nível de significância superior a 0,005, os valores de α encontram-se indicados entre parêntesis, à direita do coeficiente de correlação. Para efeito de discussão de resultados, foram consideradas neste artigo as correlações lineares com nível de significância menor ou igual a 0,4.

RESULTADOS Morfologia costeira ISTMO DE NOVA BRASÍLIA Durante a segunda metade do século XX, registraram-se na ilha do Mel variações de mais de uma centena de metros na posição da linha de costa. No istmo de Nova Brasília, região mais estreita e das mais ocupadas da ilha, o registro histórico sobre estas variações é privilegiado. Há menção à ocorrência de processos erosivos nesta área já na década de 1950, quando a largura do istmo encontrava-se em torno de 150 m. Em 1980, não somente a erosão havia cessado como ocorrera deposição de areia, representando o alargamento do istmo em algumas dezenas de metros. No final da década de 80, o processo erosivo foi retomado, com intensificação a partir de 1992. Ele levou ao estrangulamento progressivo do istmo até a largura de menos de 5 m e à destruição das construções próximas à linha de costa (Paranhos Filho *et al.* 1994). Em março de 1995 já existia trecho de 36 m de extensão sem qualquer remanescente dos terraços de cordões (Fig. 3, 4 e 5). Em maio de 2001, a extensão deste trecho era de aproximadamente 260 m. Desde 1995, existe comunicação direta entre as águas da enseada sudoeste da ilha (praia de Dentro ou do Saco do Limoeiro) e as da praia do Farol, pelo menos durante as preamares. A maior energia da praia do Farol faz com que as ondas de leste sobrepujem as correntes de maré confinadas da baía. O lançamento rumo SW de sedimentos oriundos da praia do Farol, por sobrelavagem do istmo, alimenta o desenvolvimento gradual de um leque de sobrelavagem progradante no Saco do Limoeiro (Fig. 6). Este leque cresce também no sentido lateral, na medida que o trecho de destruição completa das falésias expande-se gradualmente ao longo da costa, principalmente para norte.

ESPORÃO ARENOSO DA PONTA DO FAROL A intensificação do processo erosivo no istmo de Nova Brasília durante a década de 1990 foi simultânea à formação de esporão arenoso ancorado na ponta do Farol, na extremidade sul da praia (Fig. 7), com duas componentes de crescimento: longitudinal, para WSW, e transversal (regressiva), para NNW. Na direção longitudinal, a terminação do esporão, com um pequeno embaçamento à retaguarda, avança gradualmente em direção à parte sul do istmo, à velocidade de crescimento média estimada de cerca de 100 m/ano (conforme comparação entre Fig. 2A e 2B). Como consequência, a porção da praia imediatamente a oeste da ponta do Farol, que no final da década de 1980 experimentara uma fase de erosão acelerada, tornou-se, em menos de dez anos, inicialmente área de remanso, e logo em seguida, de progradação. Paralelamente, a zona de erosão mais evidente no istmo de Nova Brasília, que no início da década



Figura 3 - Vista aérea oblíqua da ilha do Mel, a partir da face sul, obtida em 12 de julho de 1994. O Saco do Limoeiro, na costa sudoeste da ilha, é dominado por correntes de maré, responsáveis pela formação das megaondulações visíveis no lado esquerdo da foto. À direita (leste), vê-se a costa dominada por ondas que caracteriza a praia do Farol. O istmo de Nova Brasília, no centro, possuía na época cerca de 10 m de largura mínima.



Figura 4 - Vista aérea oblíqua do istmo de Nova Brasília, a partir de sua face norte-nordeste (praia do Farol), em 12 de julho de 1994. Notar falésias vivas sobre o terraço de cordões litorâneos e casas, então ameaçadas pela erosão. Ambas seriam destruídas pela dinâmica costeira nos oito meses seguintes.

de 1990 encontrava-se na sua parte sul (arredores dos pontos A10 e A11), atinge porções da ilha cada vez mais a norte, encontrando-se, em 1995, nos arredores do ponto A8, e, em 2001, ao longo de todo o setor entre B1 e B10.

No decorrer da década de 1990, o crescimento transversal do esporão foi de cerca de 200 m. O processo progradacional é evidenciado pelo rápido aparecimento de dunas frontais incipientes, sucessivamente transformadas em dunas frontais estabelecidas através da substituição da vegetação rasteira, estoloniforme, pela arbustiva. Nas dunas frontais embrionárias de formato dômico e altura decimétrica, bastante frequentes, a vegetação estoloniforme desenvolve-se em padrão radial, com concentração crescente das bordas para o núcleo.

QUEBRA DE CURVATURA NA PARTE NORTE DA PRAIA DO

FAROL Na parte norte da praia do Farol, verificou-se em abril de 1992 que existia uma quebra na curvatura da linha de costa (ponto A4 na Fig. 2). Com base no exame comparativo de imagens de satélite recentes, esta quebra tem-se mantido aproximadamente na mesma posição. Ela é caracterizada por uma projeção em cuspide, para leste, tanto da praia quanto da falésia sobre cordões holocênicos (Fig. 8), que no final da década anterior estivera sob recuo erosivo.

Parâmetros sedimentológicos GRANULOMETRIA O exame dos gráficos de variação litorânea longitudinal de resultados granulométricos permite reconhecer duas zonas principais de inversão de tendência, em cada data estudada.

Na amostragem de 1994 (Fig. 9A, C e E), estas zonas posicionam-se no meio-norte da praia (ponto A6 ou A7) e no meio do istmo (pontos A9 ou A10). Com base nessa observação, Giannini *et al.* (1995) dividiram a praia da costa leste da ilha do Mel entre os morros do Forte e do Farol das Conchas, quanto a seus padrões de variação de granulometria, em três segmentos. O segmento norte, da ponta do Forte (ponto A1) ao meio-norte da praia

(pontos A6 ou A7), caracteriza-se por tendências rumo sul para afinamento, queda de desvio padrão e aumento da assimetria. O segmento central, do meio-norte da praia (pontos A6 ou A7) ao meio do istmo (pontos A9 ou A10), apresenta engrossamento, acompanhado por elevação brusca de desvio padrão e curtose e



Figura 7 - Vista rumo oeste do esporão de areia, a partir do morro do Farol das Conchas, em 29 de março de 1995. Notar a colonização do esporão por dunas frontais estabelecidas (vegetação de maior porte, mais escura na foto), na parte leste e no interior; e por dunas frontais incipientes, na parte oeste e exterior. Notar ainda a formação de um corpo lagunar na terminação ocidental do esporão.



Figura 5 - Restos da destruição da vegetação de restinga e de casas, no istmo de Nova Brasília, cerca de um mês após a ruptura inicial da falésia por ondas de maré de sizígia. Fotografia obtida durante a baixa-mar, em 29 de março de 1995.



Figura 6 - Vista transversal do leque de sobrelavagem formado após a ruptura da falésia do istmo de Nova Brasília, em estágio inicial de progradação rumo ao Saco do Limoeiro. Fotografia obtida durante a baixa-mar, em 29 de março de 1995.

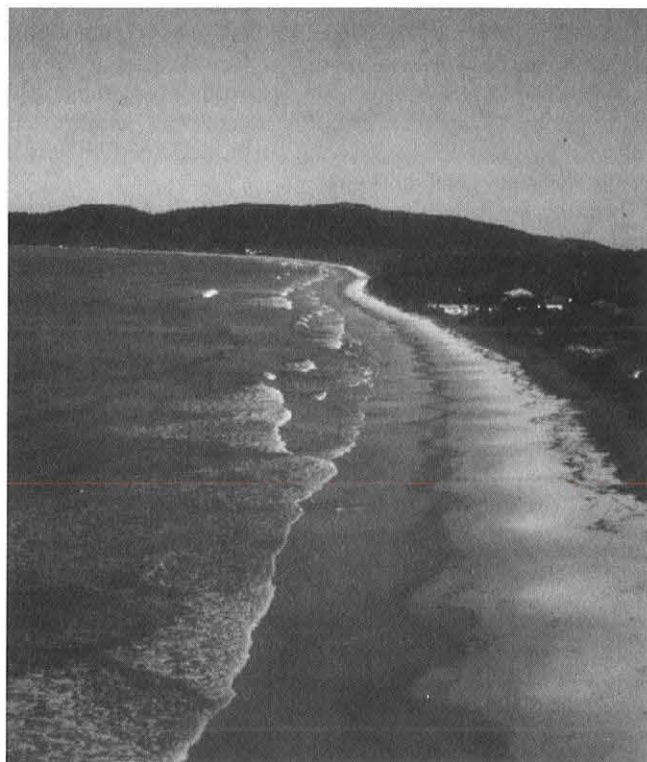


Figura 8 - Vista rumo sul da quebra na curvatura da linha costeira, então recém-surgida, na parte norte da praia do Farol, em 30 de abril de 1992.

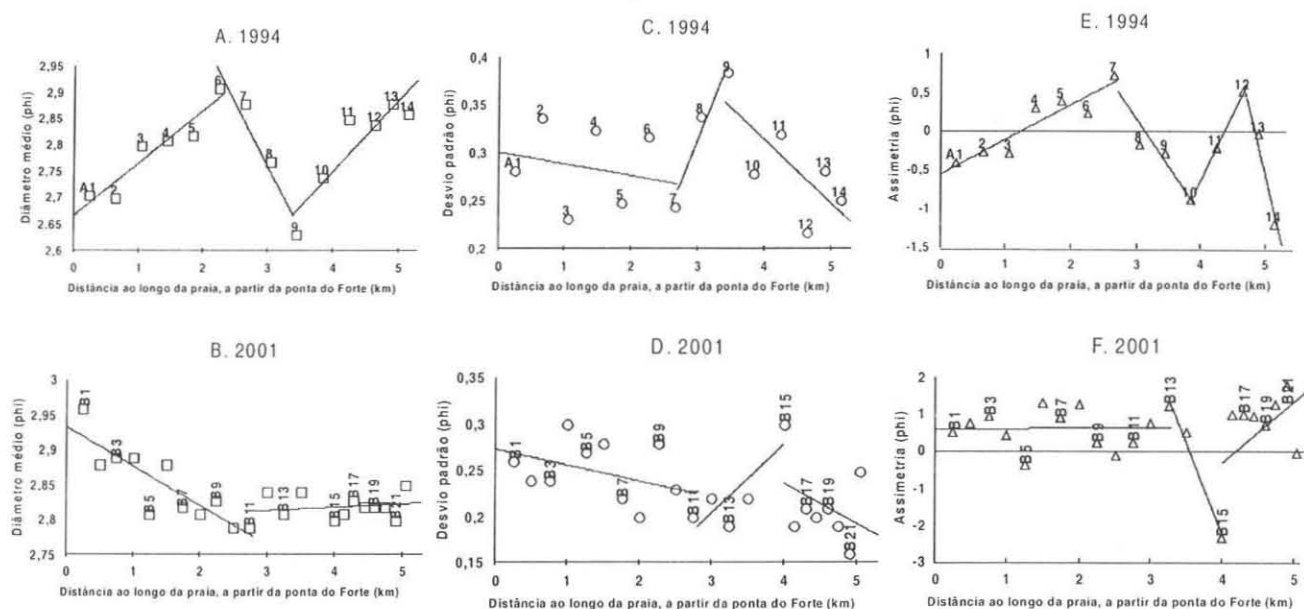


Figura 9 - Variação de parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica ao longo da praia entre as pontas do Forte (ponto A1 e B1) e do Farol das Conchas (ponto A14 e B22). Coeficientes de correlação r com a distância (de NNW para SSE): A. +0,94 entre A1 e A6, -0,97 entre A6 e A9 e +0,90 entre A9 e A14; B. -0,86 entre B1 e B11 e +0,20 ($\alpha = 0,4$) entre B11 e B22. C. -0,77 entre A1 e A7, +0,98 ($\alpha = 0,025$) entre A7 e A9 e -0,74 entre A9 e A14; D. -0,42 ($\alpha = 0,05$) entre B1 e B11, +0,82 entre B11 e B15 e 0,37 ($\alpha > 0,4$) entre B17 e B19. E. +0,92 entre A1 e A7, -0,96 entre A7 e A10, -1,00 entre A10 e A12 e -0,98 ($\alpha = 0,025$) entre A12 e A14. F. +0,32 ($\alpha = 0,2$) entre B1 e B13, -0,99 ($\alpha = 0,01$) entre B13 e B15 e +0,47 ($\alpha = 0,1$) entre B15 e B22.

por redução de assimetria. O segmento sul, entre o meio do istmo (ponto A9 ou A10) e a ponta do Farol das Conchas (ponto A14), caracteriza-se por tendências rumo leste para afinamento e queda de desvio padrão. Com respeito à assimetria no segmento sul, observa-se que o comportamento do parâmetro nas amostras A12 a A14, coletadas ao longo do pontal em processo de formação, é oposto ao padrão geral do segmento.

Nos três segmentos, os padrões de engrossamento relacionam-se a aumento nas concentrações de areia média e areia fina, em detrimento do teor de areia muito fina (Fig. 10 e 11). Padrões de variação das frações granulométricas extremas, areia grossa e silte grosso, apesar de bastante irregulares, denotam tendência para maiores concentrações no segmento sul (Giannini *et al.* 1995).

Na amostragem de 2001 (Fig. 9B, D e F), as principais zonas de alteração de tendência situam-se no meio do istmo (pontos B11 a B13) e na terminação do esporão arenoso da ponta do Farol das Conchas (ponto B15). As tendências de variação estatisticamente significativas do desvio padrão ao longo dos setores norte e central são as mesmas verificadas na amostragem de 1994. O mesmo ocorre com a assimetria no segmento central. Já o padrão de variação do diâmetro médio permite caracterizar a existência de apenas dois segmentos, com subdivisão no meio do istmo (ponto B11). O segmento norte apresenta tendência invertida em relação à observada no mesmo trecho de praia em 1994. O segmento sul caracteriza-se por ligeiro afinamento rumo sul do diâmetro médio, porém com elevado erro I de correlação ($\alpha = 0,4$).

MINERALOGIA Nos gráficos de variação de resultados mineralógicos, é possível reconhecer pelo menos três zonas de inversão de tendência. A principal delas, comum a ambas as datas e perceptível em todos os parâmetros mineralógicos ilustrados,

situa-se no meio norte da praia, entre os pontos A4 e A6 ou B5 e B9. A segunda zona mais evidente de inversão de tendência encontra-se no meio do istmo. Nos resultados de 1994, ela apresenta-se apenas nos gráficos de minerais opacos (Fig. 12A), no ponto A12. Torna-se mais clara nos resultados de 2001, onde se encontra no ponto B13, nos gráficos de opacos (Fig. 12B), hornblenda e hiperstênio (Fig. 14B) e nos índices de ultraestáveis, metaestáveis e instáveis (Fig. 15B). A terceira inversão de tendência é nítida nos gráficos de minerais transparentes da amostragem de 2001 (Fig. 13B a 15B), na altura dos pontos B17 e B18, portanto no meio do esporão de areia da ponta do Farol das Conchas.

Com base nestes resultados, a praia pode ser subdividida em pelo menos três segmentos. No segmento norte, verifica-se, de norte para sul, em ambas as datas, aumento no teor em massa de minerais pesados (Giannini *et al.* 1995), nas concentrações de minerais pesados opacos (Fig. 12), zircão (Fig. 13) e no índice ZTR (Fig. 15), acompanhado de diminuição nas concentrações de turmalina (Fig. 13), hornblenda (Fig. 14) e nos índices de minerais instáveis e metaestáveis (Fig. 15). Estas tendências invertem-se ao longo do segmento central, entre o meio-norte da praia e o istmo, e reaparecem no segmento sul, pelo menos até o meio do esporão, a partir de onde os dados de 2001 permitem sugerir nova inversão.

DISCUSSÃO Resultados sedimentológicos SEGMENTAÇÃO DA PRAIA: COMPARAÇÃO ENTRE DATAS E PARÂMETROS A maioria dos gráficos apresentados permite reconhecer a existência de dois pontos de inversão de tendência. A localização destes pontos, para um mesmo parâmetro, é aproximadamente a mesma nas duas datas estudadas. Entretanto, quando se compara a localização dos pontos de inversão de parâmetros granulométricos

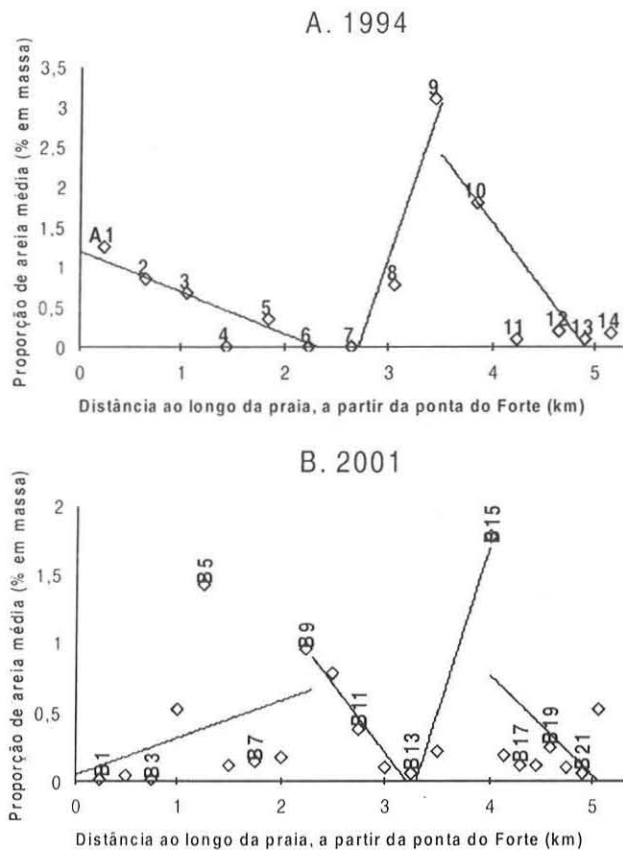


Figura 10 - Variação da proporção em massa da faixa granulométrica areia média (1 a 2 ϕ), ao longo da praia entre as pontas do Forte (A1) e do Farol das Conchas (A14). Coeficientes de correlação r com a distância (de NNW para SSE): A. -0,90 entre A1 e A6, +0,96 entre A6 e A9 e -0,88 entre A9 e A14; B. +0,37 entre B1 e B9 ($\alpha = 0,2$), -0,98 entre B9 e B13, +0,97 entre B13 e B15 e -0,46 entre B15 e B22 ($\alpha = 0,1$).

com os de parâmetros mineralógicos, pode-se detectar ligeiras discrepâncias, especialmente nos dados de 2001. Outra diferença entre os resultados mineralógicos e os granulométricos, para a campanha de 2001, é o aparecimento de uma terceira zona de inversão de tendência, entre os pontos B17 e B18, exclusivamente nos gráficos de minerais pesados. Nos dados de 1994, em contrapartida, a existência destas inversões pode ser determinada com mais facilidade nos gráficos granulométricos que nos mineralógicos. Partindo-se da premissa de que as inversões nos parâmetros texturais e mineralógicos representem de fato respostas a alterações no comportamento e/ou orientação das correntes litorâneas, as diferenças de nitidez das inversões entre os dois tipos de propriedades estudadas podem ser atribuídas às diferentes sensibilidades destas propriedades ao transporte sedimentar. De acordo com esta interpretação, a granulometria seria mais sensível ao transporte que a mineralogia, para espaçamentos de amostragem entre 250 e 400 m, enquanto a mineralogia seria mais sensível para espaçamentos entre 150 e 250 m.

Considerando granulometria e mineralogia como dados complementares, a distribuição geográfica dos pontos de inflexão, em qualquer uma das datas, permite subdividir a praia em quatro seg-

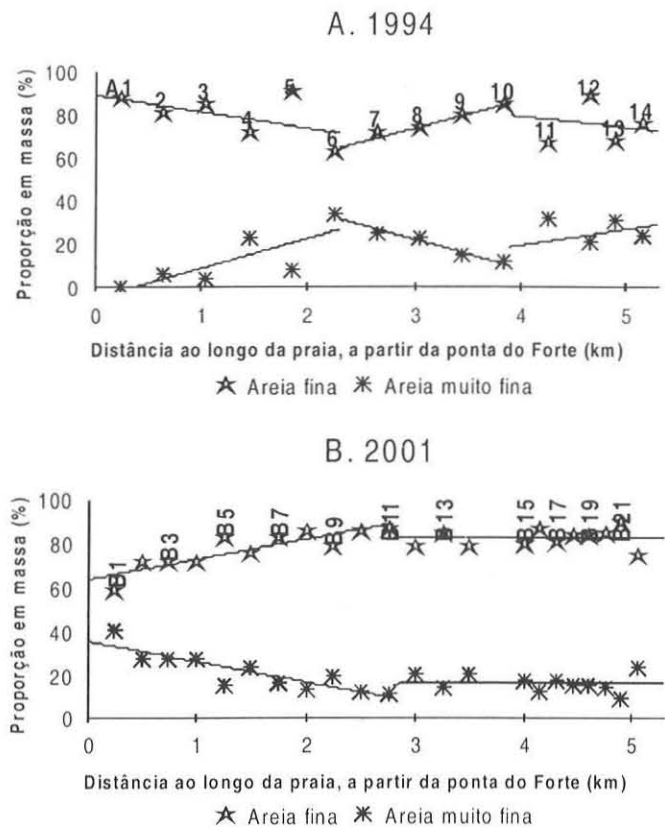


Figura 11 - Variação da proporção em massa das faixas granulométricas areia fina (2 a 3 ϕ) e areia muito fina (3 a 4 ϕ), ao longo da praia entre as pontas do Forte (A1) e do Farol das Conchas (A14). Coeficientes de correlação r com a distância (de NNW para SSE): A. Para areia fina: -0,54 entre A1 e A6 ($\alpha = 0,1$), +0,98 entre A6 e A10 e -0,25 entre A10 e A14 ($\alpha > 0,4$); para areia muito fina: +0,79 entre A1 e A6, -0,96 entre A6 e A10 e +0,48 ($\alpha = 0,3$) entre A10 e A14. B. Para areia fina: +0,86 entre B1 e B11 e -0,39 ($\alpha = 0,1$) entre B11 e B22; para areia muito fina: -0,86 entre B1 e B11 e +0,20 entre B11 e B22 ($\alpha = 0,4$).

mentos com tendências de variação longitudinal alternadamente opostas (Fig. 16). O segmento 4, cuja existência já fora suspeita por Giannini *et al.* (1995) com base apenas na amostragem de 1994, ganhou evidências mais consistentes nos resultados mineralógicos da coleta de 2001.

TENDÊNCIAS DE VARIAÇÃO O aumento de seleção, relacionado a afinamento da granulometria, é um dos indicadores clássicos de rumo de transporte sedimentar (Evans 1939, Russel 1939). McLaren (1981) observou que a assimetria pode tornar-se mais negativa, no caso de toda distribuição granulométrica inicialmente fornecida continuar sendo transportada e depositada, ou positiva, se parte da distribuição ficar retida a montante de modo seletivo. Nos dados de 1994 para a praia do Farol, os segmentos 1, de norte para sul, 2, de sul para norte, e 3-4, de oeste para leste, encaixam-se no primeiro caso. No entanto, de acordo com McLaren & Bowles (1985), só existem dois padrões de variação de parâmetros granulométricos que indicam o rumo do transporte de modo inequívoco: o padrão "mais fino, melhor selecionado e mais

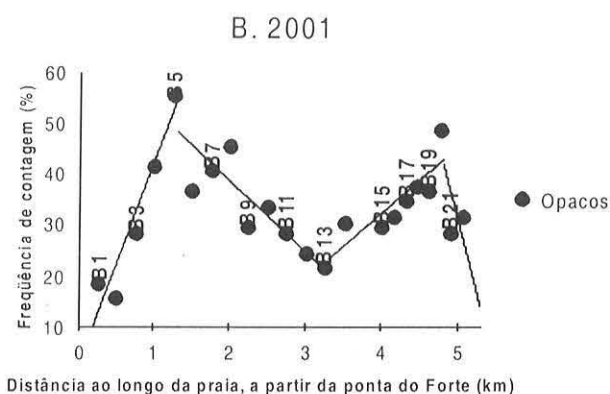
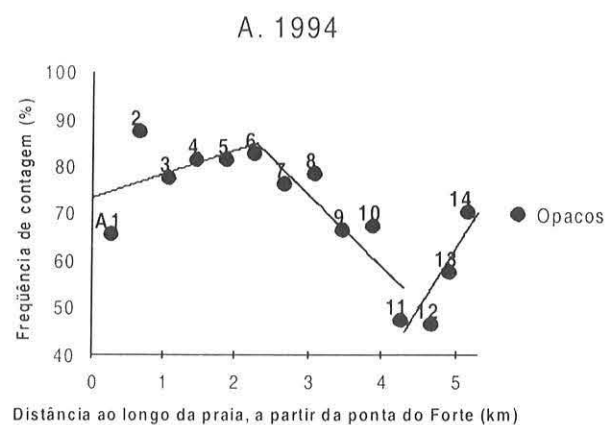


Figura 12 - Variação na frequência de contagem de minerais opacos na fração pesada da classe areia muito fina, ao longo da praia entre as pontas do Forte (A1 e B1) e do Farol das Conchas (A14 e B22). Coeficientes de correlação r com a distância (de NNW para SSE): A. +0,51 ($\alpha=0,2$) entre A1 e A6, -0,91 entre A6 e A11 e +0,87 ($\alpha=0,025$) entre A11 e A14. B. +0,95 entre B1 e B5, -0,88 entre B5 e B13, +0,88 entre B13 e B20 e -0,79 ($\alpha=0,2$) entre B20 e B22.

negativo” e o “mais grosso, melhor selecionado e mais positivo”. O primeiro destes padrões não foi encontrado em nenhum dos três segmentos da praia estudada, mas o segundo observa-se, de norte para sul, nos resultados de 2001 do segmento 1.

McLaren & Bowles (1985) defendem que a tendência descrita em trabalhos clássicos para aumento de seleção no rumo do transporte, geralmente com afinamento da granulometria, embora não obrigatória, possa continuar sendo admitida como regra geral. Deste modo, os resultados granulométricos aqui obtidos dariam indícios de um transporte litorâneo segmentado, com rumo predominante sul, no trecho entre a ponta do Forte e o meio-norte da praia, norte, entre o meio-norte e o istmo, e leste, entre o istmo e a ponta do Farol das Conchas (Fig. 16). De acordo com esta interpretação, a região entre os setores 1 e 2 configura-se como zona de convergência de correntes e de recepção sedimentar, portanto com vocação deposicional, e a região entre os segmentos 2 e 3 como zona de divergência de correntes e de fornecimento sedimentar, com tendência erosiva.

O padrão de variação de minerais pesados detectado no setor 1, sentido sul, no setor 2, sentido norte, no setor 3, sentido leste, e

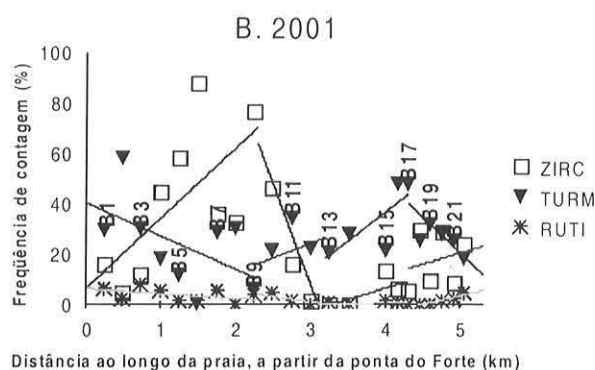
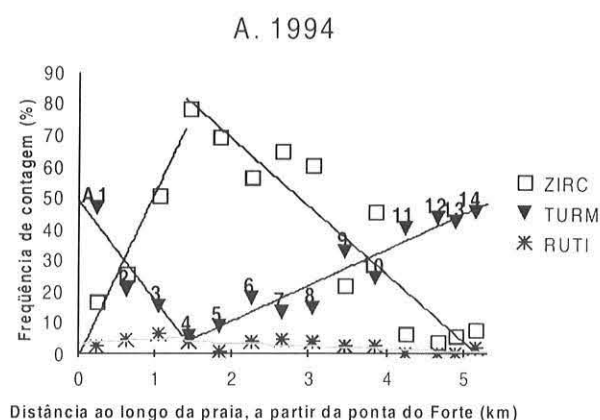


Figura 13 - Variação das frequências percentuais de contagem de minerais pesados ultraestáveis, dentre grãos pesados transparentes não micáceos da classe areia muito fina, ao longo da praia entre as pontas do Forte (A1 e B1) e do Farol das Conchas (A14 e B22). Coeficientes de correlação com a distância (de NNW para SSE): A. Para zircão, +0,98 entre A1 e A4 e -0,93 entre A4 e A14; para turmalina, -0,94 entre A1 e A4 e +0,95 entre A4 e A14; para rutilo, +0,38 ($\alpha=0,4$) entre A1 e A4 e -0,61 entre A4 e A14. B. Para zircão: +0,66 entre B1 e B9, -0,95 entre B9 e B13, +0,69 ($\alpha=0,05$) entre B13 e B17 e +0,22 ($\alpha>0,4$) entre B17 e B22; para turmalina: -0,52 ($\alpha=0,025$) entre B1 e B9, +0,46 ($\alpha=0,3$) entre B9 e B13, +0,76 ($\alpha=0,025$), entre B13 e B17 e -0,81 entre B17 e B22; para rutilo: -0,49 ($\alpha=0,05$) entre B1 e B9, -0,84 entre B9 e B13, +0,26 ($\alpha>0,4$) entre B13 e B17 e +0,93 entre B17 e B22.

no setor 4, sentido oeste (este apenas para dados de 2001), é análogo ao encontrado em praias intermediárias a dissipativas da costa sul-sudeste brasileira ao longo do rumo de deriva litorânea longitudinal predominante (Giannini 1987, 1993). Pode ser atribuído a um dentre dois fatores diferentes ou a uma ação combinada destes fatores: (1) eliminação gradual dos minerais química e fisicamente mais suscetíveis, com enriquecimento gradual da assembléia em componentes ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo); (2) aumento, dentro da fração granulométrica areia muito fina, na quantidade relativa de componentes de elevada densidade e equivalente hidráulico, devido à redução da granulometria, dentro da faixa, no rumo da deriva longitudinal. Deve-se destacar que a queda na frequência de turmalina e o aumento do teor de pesados e de opacos no rumo da deriva são melhor explicados pela segunda

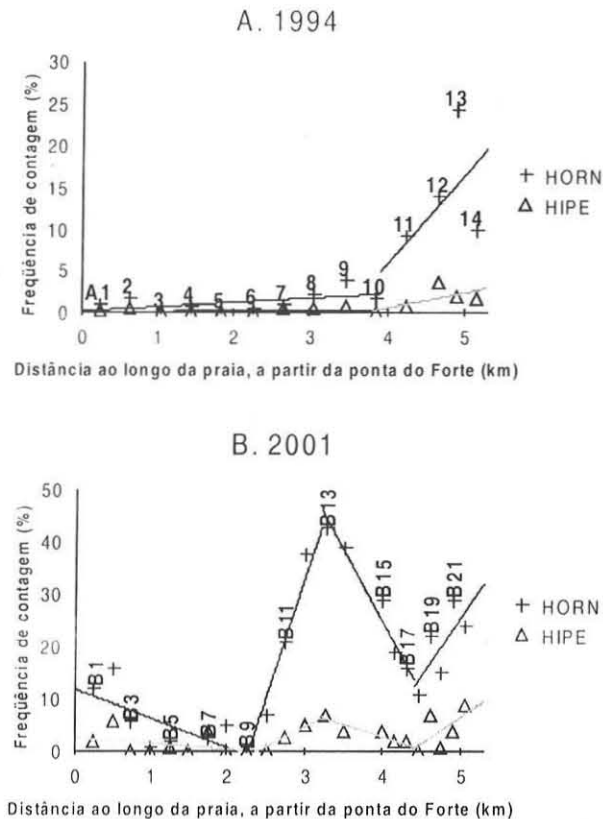


Figura 14 - Variação das frequências percentuais de contagem de minerais pesados instáveis, dentre grãos pesados transparentes não micáceos da classe areia muito fina, ao longo da praia entre as pontas do Forte (A1 e B1) e do Farol das Conchas (A14 e B22). Coeficientes de correlação r entre distância e frequência (de NNW para SSE): A. Para hornblenda: $+0,52$ ($\alpha=0,01$) entre A1 e A10 e $+0,66$ ($\alpha=0,1$) entre A10 e A14; para hiperstênio: $+0,18$ ($\alpha=0,4$) entre A1 e A10 e $0,64$ ($\alpha=0,1$) entre A10 e A14. B. Para hornblenda: $-0,70$ entre B1 e B9, $+0,98$ entre B9 e B13, $-0,93$ entre B13 e B18 e $+0,62$ ($\alpha=0,1$) entre B18 e B22; para hiperstênio: $-0,37$ ($\alpha=0,2$) entre B1 e B9, $+0,97$ entre B9 e B13, $-0,93$ entre B13 e B18 e $+0,62$ ($\alpha=0,1$) entre B18 e B22.

hipótese, e que estudos de Morton & Smale (1990) em sedimentos fluviais indicam que o transporte prolongado exerceria pouco efeito nas proporções de diferentes minerais pesados. Cabe destacar também que a segunda hipótese assume como premissa implícita a ocorrência preferencial dos minerais mais densos nas granulações mais finas. Entretanto, não foram detectadas, nos sedimentos da praia do Farol, correlações lineares elevadas entre o diâmetro médio, ou as proporções de frações granulométricas, e as concentrações dos componentes mineralógicos de densidade mais alta.

Os resultados mineralógicos descritos permitem interpretar transporte predominante para sul, no segmento 1, para norte no setor 2, para leste no segmento 3 e para oeste no segmento 4 (Fig. 16). Confirmam-se assim as zonas de convergência e de divergência de correntes de deriva longitudinal indicadas pelos resultados granulométricos, entre os segmentos 1 e 2 e entre os segmentos 2 e 3, respectivamente. Evidencia-se, além disso, uma segunda zona de convergência, entre os segmentos 3 e 4. A orientação para

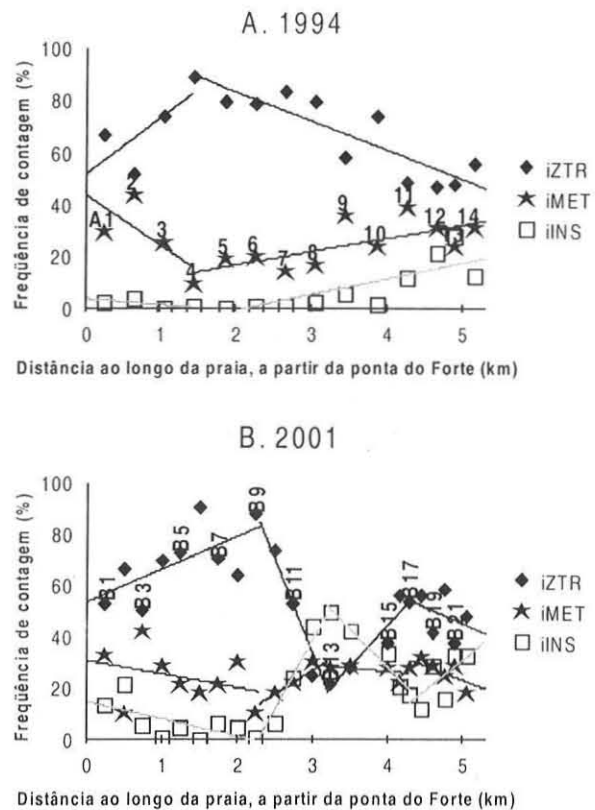


Figura 15 - Variação dos índices somatórios de minerais pesados ultraestáveis (iZTR), metaestáveis (iMET) e instáveis (iINS), baseados nas frequências de contagem dentre grãos pesados transparentes não micáceos da classe areia muito fina, ao longo da praia entre as pontas do Forte (A1) e do Farol das Conchas (A14). Coeficientes de correlação com a distância (de NNW para SSE): A. Para ZTR, $+0,74$ ($\alpha=0,1$) entre A1 e A4 e $-0,88$ entre A4 e A14; para instáveis, $-0,74$ ($\alpha=0,1$) entre A1 e A4 e $+0,81$ entre A4 e A14; para metaestáveis, $-0,72$ ($\alpha=0,1$) entre A1 e A4 e $+0,71$ entre A4 e A14. B. Para ZTR, $+0,65$ entre B1 e B9, $-0,98$ entre B9 e B13, $+0,95$ entre B13 e B17 e $-0,43$ ($\alpha=0,3$) entre B17 e B22; para instáveis, $-0,35$ ($\alpha=0,2$) entre B1 e B9, $+0,98$ entre B9 e B13, $-0,97$ entre B13 e B17 e $+0,72$ ($\alpha=0,01$) entre B17 e B22; para metaestáveis, $-0,66$ entre B1 e B9, $+0,92$ entre B9 e B13, $+0,44$ ($\alpha=0,3$) entre B13 e B17 e $-0,69$ ($\alpha=0,05$) entre B17 e B22.

oeste no segmento 4 já era esperada com base na evidência geomorfológica de muro oeste de crescimento do esporão arenoso da ponta do Farol das Conchas.

Integração de resultados sedimentológicos com distribuição de feições geomorfológicas

As áreas de mudanças acentuadas nas tendências de variação de parâmetros sedimentológicos coincidem com as três feições geomorfológicas marcantes da praia do Farol. A zona entre os segmentos 1 e 2, interpretada como de convergência de células de deriva litorânea, localiza-se aproximadamente na quebra de curvatura da parte meio-norte da praia; a zona de divergência entre os setores 2 e 3 situa-se no istmo de Nova Brasília; e a zona de convergência entre os segmentos 3 e 4 ocorre no esporão arenoso progradante da ponta do Farol das

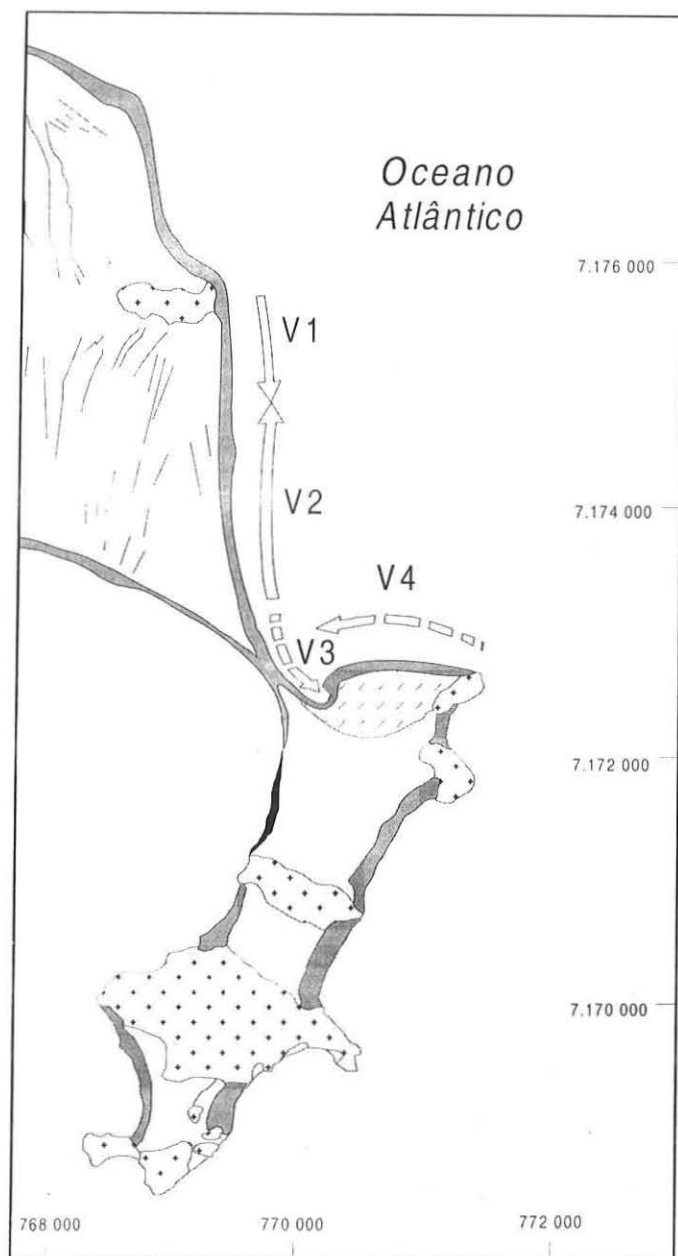


Figura 16 - Modelo de padrão segmentado de deriva litorânea longitudinal ao longo da praia do Farol, com indicação dos vetores de transporte residual (v1, v2, v3 e v4). A diferenciação entre os vetores convergentes 3 e 4 é melhor evidenciada pelos resultados de mineralogia da amostragem de 2001. Modificado de Giannini et al. (1995).

Conchas (Fig. 16). Esta coincidência permite supor que a erosão do istmo esteja relacionada com o caráter fornecedor de sedimentos da zona divergente, enquanto a saliência da linha de costa no meio-norte e o esporão estariam ligados ao caráter receptor.

Situação geológica semelhante à observada no istmo da ilha do Mel, sedimentos costeiros mais antigos aflorando e sendo erodidos preferencialmente em pontos de divergência de células de deriva litorânea, tem sido relatada em outras regiões (Stapor & May 1983, Gandolfi & Paganelli 1984, Giannini 1993).

Analogamente, a coincidência entre áreas de morfologia em cuspide, em costas em falésia morta, com zonas de encontro de correntes de deriva já fora relatada por Stapor & May (1983) na Flórida. Não se conhece ao certo o processo pelo qual ocorre inversão da deriva regional no vetor norte (segmento 1), causa primária da formação desta cuspide, mas pelo menos duas hipóteses podem ser admitidas. A primeira delas é a de difração das frentes de ondas vindas de ESE pelas ilhas das Palmas, dando início assim à formação de um tombolo. O fato de estas ilhas estarem situadas a quase 4 km de distância da linha de costa atual não invalida esta hipótese, pois a configuração dos cordões litorâneos antigos da ilha do Mel (Fig. 1) evidencia que o atual morro do Forte exerceu, de modo análogo, efeito de tombolo, por distâncias até maiores do que esta. A segunda hipótese está relacionada às variações na posição do delta de maré vazante da desembocadura norte da baía de Paranaguá. Esta hipótese é menos provável, pois mudanças no delta de maré podem explicar facilmente mudanças de aporte no sistema como um todo, inclusive a entrada de sedimentos no esporão da ponta do Farol das Conchas, mas não a feição particular da cuspide.

A contemporaneidade entre a aceleração da erosão no istmo, o aparecimento da saliência no norte da praia e o crescimento do esporão na ponta do Farol das Conchas é um indício muito forte de inter-relação dos três processos erosivo-deposicionais dentro de um mesmo sistema de dinâmica costeira. Desse modo, não é possível tratar separadamente a origem dos três fenômenos e das feições resultantes.

Causas do processo erosivo Considerando que as variáveis de cada fenômeno geológico são numerosas e interagem entre si de modo não linear, não se pode entender a palavra *causa* no sentido de *por que o processo geológico ocorre*, mas apenas em termos de fatores desencadeadores e, portanto, de *como o processo ocorre* (Anderton 1985). Nesse sentido, foi possível, em vários locais da costa paranaense, identificar a *causa* dos problemas de erosão costeira: construção parcial de estrada sobre a praia, em Caiobá (Angulo 1993a); ocupação urbana inadequada, em Matinhos (Angulo 1993a); ou mudanças naturais na posição de barras submersas, na Prainha, em Pontal do Sul (Angulo 1993b), na ilha das Peças (Angulo 1993b) e na barra do Ararapira. Na ilha do Mel, analogamente, há possibilidade de mudanças decenais no equilíbrio erosivo-deposicional terem fatores desencadeadores tanto de origem natural como induzidos pelo homem (Angulo et al. 1994, Giannini et al. 1995).

Em escala maior, a intensa dinâmica costeira da parte externa do complexo estuarino de Paranaguá pode ser considerada a grande variável determinante da distribuição das zonas de erosão e deposição na ilha do Mel. Pequenas variações na morfologia nos sistemas de deltas de maré associados às desembocaduras do complexo estuarino podem desencadear erosão ou sedimentação nas praias adjacentes, pois provocam mudanças no padrão de refração e difração e conseqüentemente das correntes induzidas por ondas. Assim, a erosão na ilha do Mel poderia estar ligada a mudanças, naturais ou desencadeadas pelo homem, na posição, tamanho e/ou forma das feições arenosas submersas existentes nas desembocaduras do complexo estuarino. Nesse contexto, as possíveis mudanças artificiais incluem o despejo do material regularmente dragado do canal da Galheta, utilizado como via de acesso dos navios ao Porto de Paranaguá, e o efeito de armadilha de sedimentos imposto pelo próprio canal (Lamour 2000).

A erosão do istmo representa um fenômeno de falta de sedi-

mentos, ligado ao mesmo fator desencadeador dos estoques sedimentares criados na saliência da parte norte da praia e no esporão da extremidade sul. A julgar pela variação espacial de parâmetros sedimentológicos, o esporão formou-se com sedimentos vindos de sul e não da área erodida a norte. A erosão no istmo e arredores estaria assim relacionada à mudança de padrão de refração de ondas induzida pelo aparecimento e crescimento do esporão. O estoque sedimentar acumulado no esporão pode ser estimado em pouco mais de 1 milhão de m³, mesma ordem de grandeza do volume de areia retirado na última década do istmo de Nova Brasília. Considerando-se que a areia dragada do canal da Galheta - milhares de m³ por ano - é tradicionalmente despejada em áreas próximas da ilha, em profundidades aquém do nível de base das ondas, o descarte de areias na vizinhança sul da ilha do Mel, por poucos anos, poderia ser suficiente para aumentar o aporte à porção sul da ilha, e assim criar estoques de areia, do porte do esporão da ponta do Farol das Conchas, capazes de modificar o padrão de deriva litorânea a sotamar.

CONCLUSÕES A interpretação combinada de observações de campo, fotografias aéreas verticais e oblíquas e resultados de análises granulométricas e mineralógicas obtidos para a praia entre a ponta do Forte e a ponta do Farol das Conchas permite sugerir a existência de um padrão celular de deriva litorânea, constituído por pelo menos quatro vetores (Fig. 16). Partindo-se da área-fonte provável, localizada a sudeste da praia, o primeiro vetor (segmento 4) é responsável pelo desenvolvimento atual de um esporão arenoso rumo oeste. O vetor do segmento 3, em sentido contrário, está relacionado possivelmente à difração sofrida pelo primeiro, por efeito de sombra hidrodinâmica exercida pela ponta do Farol das Conchas e pelo esporão em crescimento. O vetor do segmen-

to 2, dirigido para norte, relaciona-se à retomada da deriva litorânea regional a sotamar da zona de sombra de difração. O vetor da extremidade norte da praia (segmento 1), orientado de norte para sul, pode estar relacionado à difração das frentes de onda exercida pela ilha das Palmas ou à refração pelo delta de maré vazante da desembocadura norte da baía de Paranaguá.

A zona de convergência entre os vetores de deriva litorânea dos segmentos 1 e 2, deduzida com base em evidências granulométricas e mineralógicas, coincide com a região da praia em que se observa, nos últimos dez anos, a formação de cuspide arenosa. A zona de divergência entre os vetores de difração dos segmentos 2 e 3, deduzida analogamente, coincide com a região do istmo, que experimentou, nos últimos 50 anos, estreitamento da ordem de 150 m (Paranhos *et al.* 1994). Conclui-se, assim, que o processo de erosão acelerada neste istmo esteja relacionado sobretudo a mudanças na dinâmica regional de correntes litorâneas. Guiados por esta dinâmica, os sedimentos recém-colocados em circulação costeira pela erosão tendem a redistribuir-se em novas acumulações sedimentares, tais como o esporão arenoso da ponta do Farol das Conchas, em processo atual de crescimento para oeste. Mantida a tendência de crescimento deste esporão, e, portanto, de expansão para norte de sua zona de sombra hidrodinâmica, é provável que o ponto de divergência de células de deriva litorânea, foco de erosão acelerada, continue migrando gradualmente no mesmo rumo.

Agradecimentos Ao CNPq (Proc. 460134/00-0), pelo apoio financeiro, à FAPESP (Proc. 97/10669-0, 98/7959-0), pelos equipamentos e instalações de análises sedimentológicas e microscópicas, e a Marco Chamadoira e Thelma Samara (IG-USP), pela confecção dos desenhos. Aos relatores da RBG pelas sugestões.

Referências

- Anderton R. 1985. Clastic facies models and facies analysis. In: Brenchley P.J. & Williams B.P.J. (eds) *Recent developments and applied aspects*. The Geol. Soc. - Blackwell Scientific Publ., Oxford. pp.: 31-47.
- Angulo R. J. 1992. *Geologia da planície costeira do Estado do Paraná*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 334 p.
- Angulo R.J. 1993a. A ocupação urbana do litoral paranaense e as variações da linha de costa. *Bol. Paran. Geoc.*, **41**:73-81.
- Angulo R.J. 1993b. Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. *Bol. Paran. Geoc.*, **41**:52-72.
- Angulo R.J., Giannini P.C.F., Kogut J.S., Prazeres Filho H.J., Souza M.C. 1994. Variation of sedimentological parameters with deposition age across a succession of beach-ridges in the Holocene of Mel Island, Paraná, Brazil. In: IAS, International Sedimentological Congress, 14, *Abstracts*, p. D1-D3
- Angulo R.J., Giannini P.C.F., Kogut J.S., Prazeres Filho H.J., Souza M.C. 1996. Variação das características sedimentológicas através de uma sucessão de cordões holocênicos, como função da idade deposicional, na ilha do Mel (PR). *Bol. Paran. Geoc.*, **44**: 77-86.
- Angulo R.J., Giannini P.C.F., Paranhos, A. 1995. A divisão da Ilha do Mel: perguntas e respostas. *Gazeta do Povo*. Curitiba, 11 de abril de 1995. Caderno de Classificados, p.1.
- Angulo R.J., Pessenda L.C.R., Souza M.C. 2002. O significado das datações ao ¹⁴C na reconstrução de paleoníveis marinhos e na evolução das barreiras quaternárias do litoral paranaense. *Rev. Bras. Geoc.*, **32**(1): 95-106.
- Angulo R.J. & Souza M.C. 1999. Relative variation curves in sea-level during the last 7000 years in Brazil: a review. In: Fletcher, C.H. & Matthews, J.V. (eds). 1999. The non-steady state of the inner shelf and shoreline: coastal change on the time scale of decades to millennia in the late Quaternary. *Abstracts with Programs*, Inaugural Meeting of IGCP Project #437 "Coastal environmental change during sea level highstands", Honolulu, Hawaii, USA, p. 31-34.
- Araújo A. D. 2001. *Dinâmica sedimentar e evolução paleogeográfica do Saco do Limoeiro na Ilha do Mel, e sua relação com o canal de acesso ao Porto de Paranaguá*. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 75 p.
- Evans O.F. 1939. Sorting and transportation of material in swash and backwash. *J. Sediment. Petrol.*, **9**(1):28-31.
- Figueiredo J.C. 1954. *Contribuição à geografia da ilha do Mel (litoral do Estado do Paraná)*. Tese de Cátedra de Geografia do Brasil. Faculdade de Filosofia da Universidade Federal do Paraná, 61p.
- Gandolfi G. & Paganelli L. 1984. Petrografia delle sabbie del litorale terrenico fra i Monti dell'Uccelina e Monte di Procida. *Miner. Petrogr. Acta*, **28**: 173-191
- Giannini P.C.F. 1987. *Sedimentação quaternária na planície costeira de*

- Peruíbe-Itanhaém (SP). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2v., 234p., 3 mapas.
- Giannini P.C.F. 1993. *Sistemas deposicionais no Quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba*, SC. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2v, 340p., 2 mapas.
- Giannini P.C.F., Angulo R.J., Souza M.C., Kogut J.S. 1995. Evidências de um padrão celular de correntes de deriva litorânea na costa leste da ilha do Mel (PR). In: Abequa, Congr. Assoc. Brasil. de Estudos do Quaternário, 5, *Anais*, p. 120-127.
- Hubert J.F. 1962. A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones. *J. Sediment. Petrol.*, **32**(3): 440-450.
- Hugget R.J. 1985. *Earth surface systems*. Springer-Verlag, New York, 270 pp.
- Krumbein W.C. 1938. Size frequency distribution of sediments and the normal phi curve. *J. Sediment. Petrol.*, **8**(1): 84-90.
- Lamour M.R. 2000. *Dinâmica sedimentar do Canal da Galheta, via de acesso ao Porto de Paranaguá*. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 100 p.
- Lessa G.C., Angulo R.J., Giannini P.C.F., Araújo A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in South Brazil. *Marine Geology*, **165**(2000): 87-108.
- McLaren P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *J. Sediment. Petrol.*, **51**(2): 611-624.
- McLaren P. & Bowles D. 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *J. Sediment. Petrol.*, **55**(4): 457-470.
- Morton A.C. & Smale D. 1990. The effects of transport and weathering on heavy minerals from the Cascade River, New Zealand. *Sediment. Geol.*, **68**(1/2): 117-123.
- Paranhos Filho A.C., Soares C.R., Angulo R.J. 1994. Nota sobre a erosão da ilha do Mel (PR). *Bol. Paran. Geoc.*, **41**: 153-159.
- Russel R.D. 1939. Effects of transportation on sedimentary particles. In: Trask, P.D. ed. *Recent marine sediments. A symposium*. Thomas Murly & Co., London, pp.: 32-47.
- Stapor F.W. & May J.P. 1983. The cellular nature of littoral drift along the northeast Florida coast. *Marine Geol.*, **51**(3):217-237.
- Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class term for clastic sediments. *Jour.Geol.*, **30**:377-392.

Manuscrito A-1413

Recebido em 21 de fevereiro de 2003

Revisão dos autores em 15 de março de 2004

Revisão aceita em 30 de março de 2004