

AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE SEDIMENTAR COSTEIRO NA REGIÃO D'AS ILHAS, LITORAL NORTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, ATRAVÉS DA ANÁLISE DE TENDÊNCIA GRANULOMÉTRICA DE GAO & COLLINS (1992, 1994)

Fabiola Martins Antoneli¹; Moysés Gonzalez Tessler².

¹*Pós-Graduanda em Oc. Geológica, Departamento de Oceanografia Física, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo - e-mail: fabiola@usp.br*

²*Professor Livre-Docente do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Departamento de Oceanografia Física - e-mail: mgtessle@usp.br*

RESUMO

Uma avaliação do transporte sedimentar costeiro na região d'As Ilhas, litoral norte do Estado de São Paulo, foi feita através da aplicação do método de Análise de Tendência Granulométrica de Gao & Collins (1992, 1994). Os parâmetros granulométricos utilizados na análise são o diâmetro médio, o desvio padrão e a assimetria, sendo que cada amostra é comparada com outra amostra adjacente. Através de uma técnica de filtragem semi-quantitativa, as tendências granulométricas identificadas a partir de uma malha de amostras de sedimentos superficiais são transformadas em um "padrão residual" representativo das direções de transporte sedimentar. O padrão residual de tendências granulométricas obtido para a região d'As Ilhas demonstra que há a convergência de duas direções opostas de transporte ao longo do sentido leste-oeste. Embora não existam séries temporais de dados hidrográficos para a região, observações feitas n'As Ilhas sobre a existência de uma feição do tipo tómbolo, aliadas ao conhecimento sobre a dinâmica costeira (correntes de rumo geral para NE e SW), sugerem que esta ilha funcione como um anteparo (obstáculo) à deriva litorânea das areias da Plataforma Interna, resultando nos processos de acumulação de areias entre a atual linha de costa e a porção d'As Ilhas voltada para o continente.

ABSTRACT

An assessment of the coastal sediment transport in the region called Ilhas, located on the northern coast of the São Paulo State, was made through the analysis of grain size trends proposed by Gao & Collins (1992, 1994). The grain size parameters used in this analysis are mean grain size, sorting coefficient and skewness, where each sample is compared with its neighbour. Through a semi-quantitative filtering technique, the grain size trends identified from a grid of surficial sediment samples are transformed into a "residual pattern" representing sediment transport paths. The residual pattern of grain size trends obtained for the region of Ilhas shows a convergence of two opposite transport paths along the east-west direction. Although there is no time series about hydrographic data for this area, observations made on the region of Ilhas about the existence of a feature like a sand tombolo, linked to the knowledge about the coastal dynamics (longshore currents to NE and SW), suggest that the presence of this island represent an obstacle to the longshore drift in the Inner Shelf, resulting in sand accumulation process between the present coast line and the inner portion of Ilhas.

Palavras-Chave: transporte de sedimentos, análise de tendência granulométrica, São Sebastião.

1. INTRODUÇÃO

A presença de ilhas na zona costeira é um fator importante a ser considerado quando se trata de dinâmica sedimentar, já que estas se comportam como anteparos naturais aos trens de ondas que atingem a linha de costa. Desse modo, em escala local, o padrão de distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais e as condições hidrodinâmicas podem ser diferenciados ao longo do litoral quando este se encontra protegido por uma ilha. Além disso, feições emersas arenosas como tómbolos e saliências podem se desenvolver entre uma ilha e o continente (Tessler & Mahiques, 1995; Sanderson & Eliot, 1996; Flinn, 1997), dependendo das dimensões da ilha e de sua proximidade com a linha de costa.

Em relação à distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais, mudanças espaciais nos parâmetros resultam do processo de transporte sedimentar como abrasão, seleção e mistura de materiais de fontes diversas (Russel, 1939 apud Gao & Collins, 1994). Essa observação implica que alguns padrões distintos de tendências granulométricas provavelmente estão associados à direção do transporte sedimentar. Entretanto,

ao mesmo tempo em que o diâmetro médio dos grãos têm sido considerado sucessivamente mais fino ao longo do transporte (Pettijohn et al., 1972 apud Gao & Collins, 1994), tendências de grãos mais grossos também têm sido observadas (McCave, 1978; Nordstrom, 1989 apud Gao & Collins op. cit.). Por essa razão, a alternativa de se utilizar uma combinação de parâmetros granulométricos tem sido investigada (McLaren, 1981; McLaren & Bowles, 1985 apud Gao & Collins, 1992, 1994).

A presente contribuição busca avaliar o transporte sedimentar costeiro na região d'As Ilhas, litoral norte do Estado de São Paulo, através da aplicação do método de Análise de Tendência Granulométrica de Gao & Collins (1992, 1994), na qual são comparados os parâmetros diâmetro médio, desvio padrão e assimetria entre amostras de sedimentos superficiais.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Município de São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo, compreendendo a área costeira das enseadas de Juqueí e Barra do Sahy e a região d'As Ilhas (Figura 1).

Está inserida na unidade litoestratigráfica denominada por Almeida et al. (1981) de Complexo Costeiro, no que se refere ao embasamento pré-cambriano e eopaleozóico do Estado de São Paulo, e também na Província Costeira, anteriormente definida por Almeida (1964), em relação ao que os autores denominam de coberturas cenozóicas. De acordo com a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo, a área de estudo está inserida na Província Costeira definida por Almeida (1964), a qual compreende a área do Estado drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico. Em maior parte, é uma região serrana contínua, que à beira-mar cede lugar a uma seqüência de planícies de origens distintas.

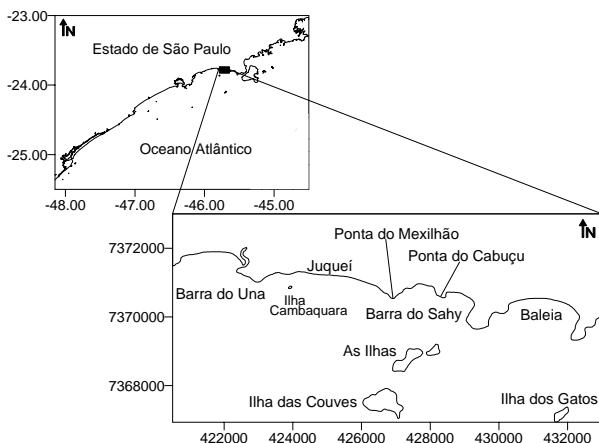


Figura 1. Localização da área de estudo.

Uma caracterização geomorfológica d'As Ilhas foi elaborada pela FUNDESPA (1991), baseada em fotografias aéreas de 1962 (escala 1:25.000), 1977 (1:10.000) e 1987 (1:2.000).

As Ilhas (23°47.3' S e 45°42.5' W) compõem um corpo único, separado apenas por uma estreita descontinuidade da cobertura vegetal num local onde há afloramento rochoso e submersão em ocasiões de maré alta. Apresentam-se como formas alongadas na direção ENE a WSW, com duas faces distintas: uma voltada para o mar aberto a SSE, a qual é toda contornada por costão rochoso alto com blocos de matacão, e outra voltada para o continente, com duas reentrâncias adjacentes a uma porção central mais proeminente, de contorno aparentemente retilíneo.

As modificações observadas nos aerolevantamentos localizam-se no setor voltado para o continente (NNW). Nas fotos de 1962, foram observadas feições sedimentares submersas, com direção de deslocamento ou crescimento para ENE. Nas fotos de 1967, foi observada uma feição arenosa com forma triangular localizada na porção central d'As Ilhas, entre as duas reentrâncias, a qual foi caracterizada como tómbolo. Nas duas reentrâncias foram observadas praias estreitas.

Foram consideradas para As Ilhas três unidades morfológicas, baseando-se na cobertura vegetal observada em fotografias aéreas:

a) vertentes convexas, as quais constituem os dois corpos principais d'As Ilhas, onde o manto de intemperismo é recoberto por vegetação exuberante;

b) costões rochosos, contornando quase todo o terreno de vertentes convexas, constituídos por blocos rochosos dissecados por fendas e matações empilhados e

c) praias, que podem ser subdivididas em duas unidades menores. Na primeira unidade têm-se praias de coloração clara, localizadas nas duas reentrâncias e na feição do tipo tómbolo, todas voltadas para o continente. Na segunda unidade tem-se uma praia com a ocorrência de seixos e calhaus de coloração mais escura, dispostos na reentrância a NNE. A figura 2 mostra a configuração batimétrica da área de estudo.

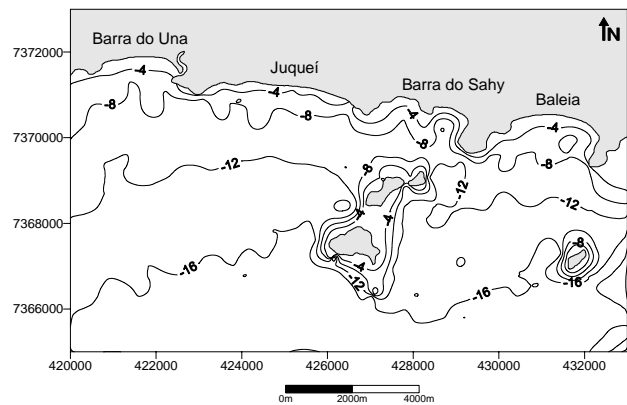


Figura 2. Configuração batimétrica da área de estudo.

Furtado & Mahiques (1990), ao estudarem a plataforma continental num trecho do litoral norte de São Paulo, observaram que há um domínio de areias finas e muito finas, sendo que, em função da história quaternária das flutuações do nível do mar e do abrigo da área à ações mais diretas de ondas sobre o fundo, estas podem ter sua origem associada à épocas de nível do mar mais baixo, caracterizando-se atualmente como sedimentos palimpsestos.

A respeito da circulação na área, as correntes geradas por ondas são mais importantes que as correntes de maré, sendo que as características hidrodinâmicas das proximidades d'As Ilhas estão intimamente relacionadas às condicionantes meteorológicas que predominam na área. Os dois sistemas meteorológicos predominantes são os associados aos ventos alísios (basicamente de NE) e às progressões das frentes frias (basicamente de SE). Em termos gerais, o primeiro impulsiona correntes predominantemente para W/NW e o segundo para E/NE, dependendo obviamente da configuração da linha de costa na área. Enquanto o primeiro é mais persistente e mais fraco, o segundo é mais esporádico e mais intenso, sendo mais efetivo durante o inverno (FUNDESPA, 1991).

3. ANÁLISE DE TENDÊNCIA GRANULOMÉTRICA SEGUNDO GAO & COLLINS (1992, 1994)

Segundo McLaren (1981), a utilização de análises de tendências de sedimentos pode ter muitas aplicações para uma rápida determinação das prováveis relações entre ambientes de deposição, processos importantes que operam em um sistema de sub-ambiente, direções de

transporte sedimentar e identificação de ambientes de deposição.

Como já foi mencionado anteriormente, ao longo do transporte, o processo de abrasão deixa as partículas sedimentares mais finas; a seleção hidráulica resulta tanto em sedimentos mais finos como mais grossos; e a mistura de materiais de fontes diversas pode destruir qualquer padrão granulométrico ordenado que tenha sido produzido por outros mecanismos de transporte (Gao & Collins, 1994).

Entretanto, somente um número muito limitado de tendências granulométricas podem existir ao longo do transporte. Por exemplo, usando-se um único parâmetro granulométrico, existem somente dois casos possíveis: o parâmetro irá crescer ou decrescer. Em geral, se N parâmetros granulométricos estiverem envolvidos para formar casos combinados, então o número total de casos possíveis de tendências granulométricas (obtidas a partir da combinação de parâmetros entre amostras A e B) será 2^N . Por exemplo, se o diâmetro médio (μ), o desvio padrão (σ) e a assimetria (S_k) forem usados, então existirão oito casos possíveis.

Para proceder à análise de tendência granulométrica, é importante determinar quais tendências utilizar. Dois tipos de tendências hipotéticas têm sido usadas por McLaren & Bowles (1985 apud Gao & Collins, 1994):

- Caso 1 $\mu_A > \mu_B, \sigma_A < \sigma_B$ e $S_{kA} < S_{kB}$
Caso 2 $\mu_A < \mu_B, \sigma_A < \sigma_B$ e $S_{kA} > S_{kB}$

Segundo Gao & Collins (1992), uma avaliação empírica desta hipótese mostra que observações de tendências granulométricas ao longo de direções de transporte conhecidas geralmente não contradizem os casos 1 e 2. Além disso, o uso destes casos num sistema de canais de maré tem resultado em padrões que parecem representar direções de transporte de sedimentos identificadas com base em algumas evidências geomorfológicas e sedimentológicas. Por essas razões, assume-se que os casos 1 e 2 satisfazem as condições estabelecidas pelos autores para a análise de tendência granulométrica.

O método em questão foi aplicado para a região d'As Ilhas, baseado nos dados obtidos pela análise granulométrica de 63 amostras de sedimentos superficiais (Figura 3). As amostras foram coletadas com um pegador de fundo do tipo van Veen, e a análise granulométrica foi executada através do método de peneiramento e pipetagem segundo Suguio (1973), sendo que as frequências de classes granulométricas foram obtidas a partir do programa Labsed, elaborado em linguagem FORTRAN, baseado nos parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957).

Porém, antes de ser feita a análise granulométrica, foram eliminados o carbonato biodetrítico e a matéria orgânica de todas as amostras de sedimento. Para isto, foram utilizadas as seguintes técnicas: através da diferença em massa antes e após a queima do carbonato biodetrítico de uma sub-amostra com solução de ácido clorídrico a 10% (Gross, 1971), e através da diferença em massa antes e após a queima da matéria orgânica da mesma sub-amostra de sedimento com solução de peróxido de hidrogênio a 10%.

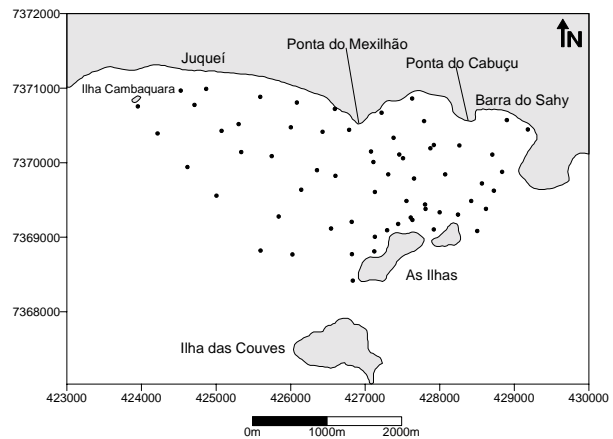


Figura 3. Localização das amostras de superfície de fundo.

A análise de tendência de transporte foi efetuada com o auxílio do software GSTA para DOS, elaborado em linguagem FORTRAN, desenvolvido pelo Prof. Dr. Shu Gao, do Department of Oceanography, Southampton Oceanographic Centre (Gao, 1996). O método foi aplicado com sucesso por Mahiques et al. (2001) em dois ambientes distintos, com gradientes de energia bastante diferenciados: uma praia refletiva (Praia da Sununga, Ubatuba) e uma planície de maré arenosa (Enseada de Caraguatatuba), ambas localizadas no litoral norte do Estado de São Paulo.

O procedimento analítico é baseado numa técnica de filtragem semi-quantitativa que transforma as tendências granulométricas em um "padrão residual" representativo das direções de transporte sedimentar, sendo que os resultados obtidos são expressos em termos de vetores adimensionais. O mapa de padrão residual de tendências granulométricas foi confeccionado através do software Surfer 7.0.

Tanto as considerações teóricas do método como o procedimento analítico podem ser encontrados com mais detalhes na bibliografia citada.

Sedimentos da superfície de fundo

Segundo a classificação de Shepard (1954), a maior parte da superfície de fundo amostrada é composta por sedimentos arenosos. Da porção central para leste predominam areias, havendo uma pequena ocorrência de grânulos na área entre As Ilhas e a Ponta do Mexilhão e a Ponta do Cabuçu. Os sedimentos mais finos concentram-se na porção oeste da malha amostral no sentido NNW-SSE, da praia de Juqueí em direção à Ilha das Couves, havendo dois centros preferenciais de deposição. Não houve a ocorrência de argilas nessa área, apenas os termos siltosos.

Os valores fornecidos pelo diâmetro médio, em escala phi (ϕ), variaram entre $0,85\phi$ (areia grossa) e $6,52\phi$ (silte fino) para toda a área de amostragem (Figura 4).

Na porção oeste da área, sentido NNW-SSE, a distribuição é dada pelos valores entre 4ϕ e 7ϕ (silte grosso a silte fino); nas porções central e leste os valores estão entre 3ϕ e 4ϕ (areia muito fina). Há uma zona na direção da praia d'As Ilhas, entre a Ponta do Mexilhão e a Ponta do Cabuçu, onde predominam os valores entre 2ϕ e

3ϕ (areia fina), sendo que no centro desta zona os valores estão entre 0 e 2ϕ (areia grossa a areia média).

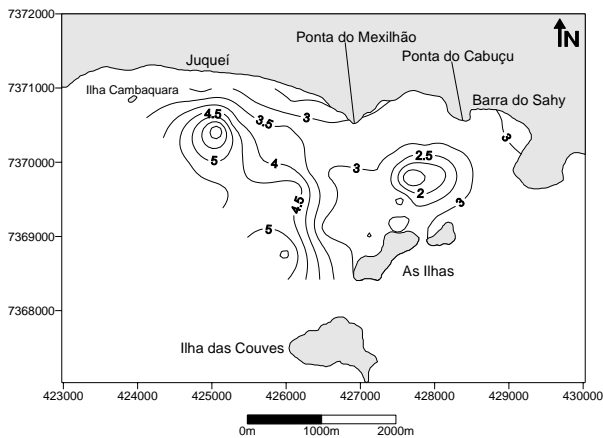


Figura 4. Distribuição dos valores do diâmetro médio (escala ϕ).

Observando-se os valores do desvio padrão (Figura 5), na porção oeste os sedimentos são qualitativamente mal selecionados quando comparados com as porções central e leste. Os sedimentos com melhor grau de seleção estão presentes em toda a porção leste da área amostrada. Há um centro de sedimentos moderadamente selecionados entre As Ilhas e a Ponta do Mexilhão e a Ponta do Cabuçu. Na porção oeste, são encontrados os sedimentos com pior grau de seleção, preferencialmente no sentido NNW-SSE.

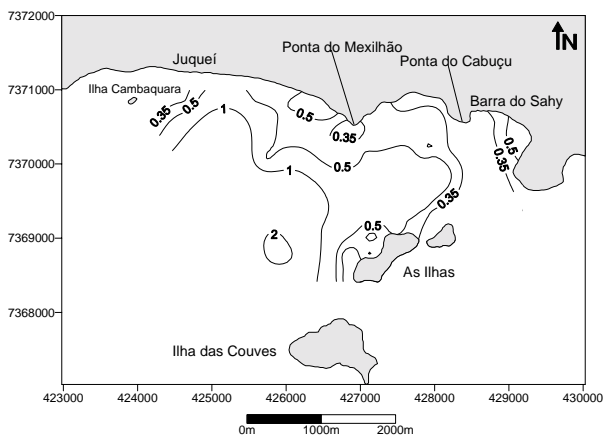


Figura 5. Distribuição dos valores do desvio padrão gráfico inclusivo.

Os valores obtidos para a assimetria (Figura 6), variaram entre - 0,75 (assimetria muito negativa) e 0,75 (assimetria muito positiva). Os valores positivos de assimetria concentram-se na porção oeste da área amostrada, havendo um pequeno centro também com valores positivos localizado a leste. Os valores negativos de assimetria concentram-se na face continental d'As Ilhas na direção NNW e no restante da porção leste da área amostrada.

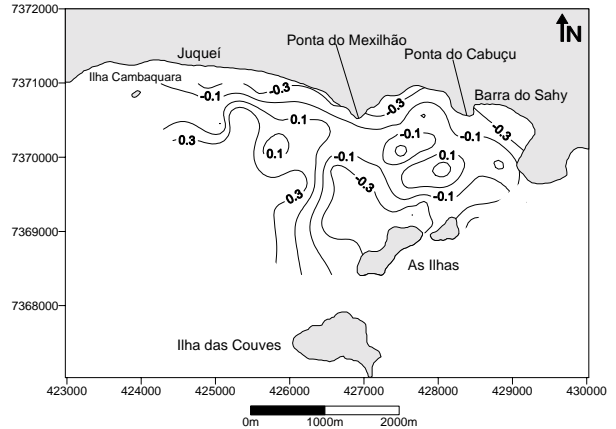


Figura 6. Distribuição dos valores da assimetria gráfica inclusiva.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

O padrão residual de tendências granulométricas obtido para a região d'As Ilhas (Figura 7) demonstra que há a convergência de duas direções preferenciais de transporte ao longo do sentido leste-oeste: uma de Juqueí em direção à face d'As Ilhas voltada para NNW e à Ponta do Mexilhão, e outra de Barra do Sahy na direção oposta.

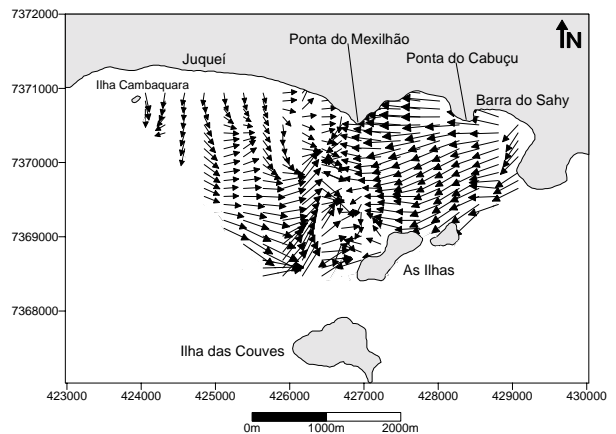


Figura 7. Padrão residual de tendências granulométricas.

Embora não existam séries temporais de dados hidrográficos para a região, observações feitas n'As Ilhas pela FUNDESPA (1991) sobre a existência de uma feição sedimentar do tipo tómbolo, aliadas ao conhecimento sobre a dinâmica costeira, na qual os trens de ondas de SW e SE, geradores de correntes de deriva litorânea que percorrem a costa no rumo geral NE, e os trens de ondas de NE, que geram correntes de deriva litorânea de rumo geral para SW, sugerem que As Ilhas funcionem como um anteparo (obstáculo) à deriva litorânea das areias da Plataforma Interna, resultando nos processos de acumulação de areias na porção marinha compreendida entre a atual linha de costa e a feição d'As Ilhas voltada para o continente.

Desse modo, a feição arenosa à retaguarda d'As Ilhas descrita pela FUNDESPA (1991) e analisada por Tessler & Mahiques (1995), representa uma contínua tendência de crescimento e eventual desenvolvimento de um

tômbolo em regime sedimentar de baixa energia, sendo que este é determinado pela atenuação dos sistemas de transporte de direções opostas na porção central da área abrigada entre As Ilhas e o continente, sistemas estes estabelecidos pela interação dos condicionantes meteorológicos e hidrodinâmicos.

Entretanto, os dados até agora obtidos indicam que essa tendência construtiva identificada ao longo dos períodos de predomínio dos ventos alísios pode ser modificada quando a área é submetida ao predomínio dos sistemas frontais polares, que alteram os padrões de ventos, ondas e correntes, podendo ocasionalmente destruir a feição arenosa, redistribuindo os sedimentos de acordo com o novo padrão estabelecido.

Atualmente, não é possível observar a existência desta feição arenosa como uma feição emersa contínua junto à praia d'As Ilhas, mas foi possível constatar, através da Análise de Tendência Granulométrica de Gao & Collins (1992, 1994) que a porção submersa entre As Ilhas e o continente reflete essa tendência de dinâmica deposicional resultante de direções opostas de transporte.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio ao projeto de pesquisa "Caracterização da dinâmica sedimentar atual na região d'As Ilhas, litoral norte do Estado de São Paulo" (processo FAPESP nº 01/07653-2).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M. de 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Bol. do Inst. Geogr. e Geol. São Paulo, 41: 169-263.
- Almeida, F. F. M. de et al. 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. v. I (nota explicativa) e v. II (mapa). São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Escala 1:500.000.
- Flinn, D. 1997. The role of wave diffraction in the formation of St. Ninian's Ayre (Tombolo) in Shetland, Scotland. *Journal of Coastal Research*, 13(1): 202-208.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: study of the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-27.
- Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas (FUNDESPA) 1991. Levantamento preliminar das condições oceanográficas n'As Ilhas (23°47.3' S 45°42.5' W). Relatório Técnico, São Paulo.
- Furtado, V. V. & Mahiques, M. M. 1990. Distribuição de sedimentos em regiões costeiras e plataforma continental de São Paulo. In: Anais... 2º Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: estrutura, função e manejo. Águas de Lindóia, São Paulo. ACIESP, 71(1): 20-29.
- Gao, S. 1996. A FORTRAN program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways. *Computers & Geosciences*, 4(22): 449-452.
- Gao, S. & Collins, M. B. 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends based upon

- definition of "transport vectors". *Sedimentary Geology*, 81(1/2): 47-60.
- Gao, S. & Collins, M. B. 1994. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research*, 10(1): 70-78.
- Gross, M. G. 1971. Carbon determination. In: Carver, R.E. (ed.) *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York, Wiley-Interscience. p. 573-596.
- Mahiques, M. M.; Martins, C. C. & Fukumoto, M. M. 2001. Avaliação do transporte sedimentar costeiro através da análise de tendência granulométrica de Gao & Collins (1992). In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8. Mariluz, Imbé, RS. Boletim de resumos. p. 89-90.
- McLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2): 611-624.
- Sanderson, P. G. & Eliot, I. 1996. Shoreline salients, cusped forelands and tombolos on the coast of western Australia. *Journal of Coastal Research*, 12(3): 761-773.
- Shepard, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24(3): 151-158.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher. 317p.
- Tessler, M. G. & Mahiques, M. M. 1995. Desenvolvimento de feição praial em zona de sombra n'As Ilhas, litoral norte do Estado de São Paulo. Anais... Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 5. Simpósio de Sedimentologia Costeira, 11. Niterói, Rio de Janeiro, UFF. p. 151-156.