

Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP

Moysés Gonzalez Tessler¹ & Luiz Antonio Pereira de Souza²

¹Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
Instituição vinculada ao Programa de Geologia e Geofísica Marinha PGGM
(Caixa Postal 66149, 05315-970 São Paulo, SP, Brasil)
e-mail: mgtsesle@usp.br.

²Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT
(Caixa Postal 7141, 01064-970, SP, Brasil)
e-mail: laps@ipt.br

-
- **Abstract:** Cananéia-Iguape coastal system is located in the Southern part of São Paulo State. A 72 km long barrier beach named Ilha Comprida separates it from the Atlantic Ocean. Based on studies of the evolution of channel margins, bottom sediment distribution and hydrodynamic pattern of the Cananéia-Iguape system, a relationship between the general pattern of water circulation (tidal currents and time variable river discharge) and the spatial distribution of bottom sediments within the system were established. Sedimentary structures, like large sand waves (1-2 m height and 20 to 30 m length), were identified in the central part of the studied area (Ponta do Frade – Mar de Cananéia) as also near the Subauma river (Mar Pequeno). These bottom structures are the result of strong tidal currents acting over sandy sediments, originated from quaternary deposits. The dividing point between the ebb tidal currents of opposite direction were inferred through the asymmetry of sand waves indicating in the middle of Mar Pequeno channel, about 10 km apart from the former inferred point.
 - **Resumo:** O sistema Cananéia-Iguape é separado do oceano pela Ilha Comprida, com aproximadamente 70 km de extensão, tendo como limites ao sul e ao norte, respectivamente, as desembocaduras de Cananéia e Icapara. Estudos sobre as modificações na configuração das margens do sistema, no padrão de distribuição sedimentar, bem como sobre o conhecimento do padrão hidrodinâmico evidenciaram a interrelação existente entre os mecanismos de circulação geral, condicionados principalmente pelas correntes geradas pelas marés e a variação temporal de descarga de água doce, e a distribuição espacial dos sedimentos de superfície dos fundos dos canais. Dentre as feições sedimentares identificadas nas superfícies de fundo destacam-se as ocorrências de marcas onduladas de grande porte (1 a 2 metros de altura e comprimentos de onda de 20 a 30 metros) concentradas no canal entre a Ponta do Frade (Mar de Cananéia) e a foz do Rio Subaúma (Mar Pequeno). Estas feições de fundo resultam da dinâmica junto aos fundos dos canais, sob forte influência das correntes de maré, sobre sedimentos predominantemente arenosos, cujas fontes atuais são os depósitos quaternários de planície costeira depositados durante os eventos transgressivos/regressivos quaternários. A análise das orientações das correntes de maré, indicadas pelas marcas onduladas assimétricas, permite concluir que o local que representa, no processo hidrodinâmico da área, o ponto de inversão do sentido das marés vazantes, anteriormente atribuído à área da Pedra do “Tombo”, apresenta-se, na verdade, deslocado cerca de 10 km no sentido SW.
 - **Descriptors:** Sediment transport, Tidal currents, Bottom morphology, Cananéia-Iguape, Side-scan sonar, Seismic profiling, São Paulo.
 - **Descritores:** Dinâmica sedimentar; Região costeira; Sistema Cananéia-Iguape, Sonar de varredura lateral, Perfilagem sísmica contínua, Morfologia do fundo, São Paulo.

Introdução

O crescimento populacional verificado nas últimas décadas, ao longo de quase todo o litoral brasileiro, tem induzido a um progressivo interesse científico e técnico sobre este ambiente, seja pela premência da ordenação de uso e ocupação do solo, como também pela necessidade do conhecimento básico imprescindível à implantação de um diversificado conjunto de obras de engenharia costeira.

No Estado de São Paulo os estudos sobre a dinâmica sedimentar em regiões costeiras só passaram a ser sistematizados a partir dos estudos desenvolvidos na região do estuário santista, na década de 60, pelo atual Centro Técnico de Hidráulica da Escola Politécnica da USP, e pelo Instituto Oceanográfico no litoral sul paulista.

Desde então grande número de pesquisadores vem se dedicando ao mapeamento sedimentar costeiro em áreas emersas e submersas rasas. Dentre eles podem-se citar Petri & Suguio (1971,1973); Suguio & Petri (1973); Fúlfaro & Ponçano (1976; 1985); Furtado (1978); Suguio & Martin (1978a,b); Tessler (1982,1988); Giannini (1987) e Mahiques (1987), que desenvolveram seus estudos nas regiões costeiras paulistas e sul fluminense.

Todos estes trabalhos se caracterizam pela adoção de métodos tradicionais de investigação, ou seja, para as áreas emersas a observação direta das seqüências sedimentares aflorantes e para as submersas a análise de amostras de superfície de fundo, de sedimentos em suspensão ou de testemunhos de sondagens rasas, além de medidas de parâmetros oceanográficos (marés, correntes, etc.).

Estudos que incorporam o emprego de métodos geofísicos (Kenyon & Belderson, 1973; Figueiredo & Kowsmann, 1976; Bouma *et al.*, 1980; Calliari & Abreu, 1984 e Rodrigues, 1996), no detalhamento de feições da topografia submarina (marcas onduladas, ondas de areia) têm obtido conclusões de grande importância sobre os processos de dinâmica do fundo marinho raso.

O litoral paulista, a sul - sudoeste do Rio Ribeira de Iguape, se apresenta como a mais bem desenvolvida planície costeira do Estado de São Paulo, com a presença de um conjunto de ilhas localizadas junto ao continente (Cardoso, Cananéia, Comprida e Iguape) separadas deste por estreitos canais que se interligam entre si e com o Oceano Atlântico através de três desembocaduras: Ararapira, Cananéia e Icapara (Fig. 1).

A evolução geomorfológica desta planície está intimamente relacionada aos eventos transgressivos/regressivos do Quaternário e aos mecanismos hidrodinâmicos atuantes junto à costa e

a circulação atmosférica da porção meridional do continente sul americano (Petri & Suguio, 1971, 1973; Suguio & Petri, 1973; Barcelos, 1975; Suguio & Martin, 1978a e Tessler, 1982, 1988).

Estudos de dinâmica sedimentar no litoral sul paulista foram desenvolvidos por Kutner (1962) e Maglioca & Kutner (1964), que descreveram as características texturais, a distribuição e o teor do conteúdo orgânico dos sedimentos do fundo dos canais que circundam a Ilha de Cananéia.

Posteriormente, Tessler (1982) desenvolveu estudos sobre a sedimentação atual ao longo de todos os canais do sistema costeiro e Souza (1995) ampliou o conhecimento sobre as feições topográficas de fundo através da utilização de métodos geofísicos (sonar de varredura lateral e perfilagem sísmica contínua).

O presente trabalho foi desenvolvido objetivando fornecer informações sobre as interrelações entre a distribuição dos sedimentos de fundo, ao longo dos canais localizados à retaguarda da linha de costa atual do litoral sul paulista (Sistema Cananéia-Iguape), e os mecanismos de circulação geral da área condicionados principalmente pela ação das correntes geradas pelas marés e a variação temporal da descarga de água doce no sistema.

Fisiografia do sistema

Uma caracterização fisiográfica de todo o Sistema, obtida através da documentação cartográfica e aerofotogramétrica disponível, evidencia a presença de uma extensa e larga planície costeira, no litoral sul paulista, recortada por estreitos e longos canais aproximadamente paralelos à atual linha de costa.

O Sistema Cananéia-Iguape é separado do oceano pela Ilha Comprida com aproximadamente 70 km de extensão tendo como limites, ao norte e ao sul, pontões do embasamento cristalino (Fig. 1).

Nas suas porções central e sul apresenta uma ilha, Ilha de Cananéia, separada do continente por um canal denominado Mar de Cubatão, ou "Mar de Dentro", e da Ilha Comprida por um outro canal, Mar de Cananéia, ou "Mar de Fora". Estes dois canais estão interligados, na porção mais ao sul do Sistema, por uma ampla área denominada Baía de Trapandé.

A Ilha de Cananéia possui extensão aproximada de 27 km com largura variando entre 1 e 5 km. Os canais que a circundam possuem larguras entre 1 e 3 km e profundidades que atingem, no máximo, 20 metros, com média ao redor de 6 metros.

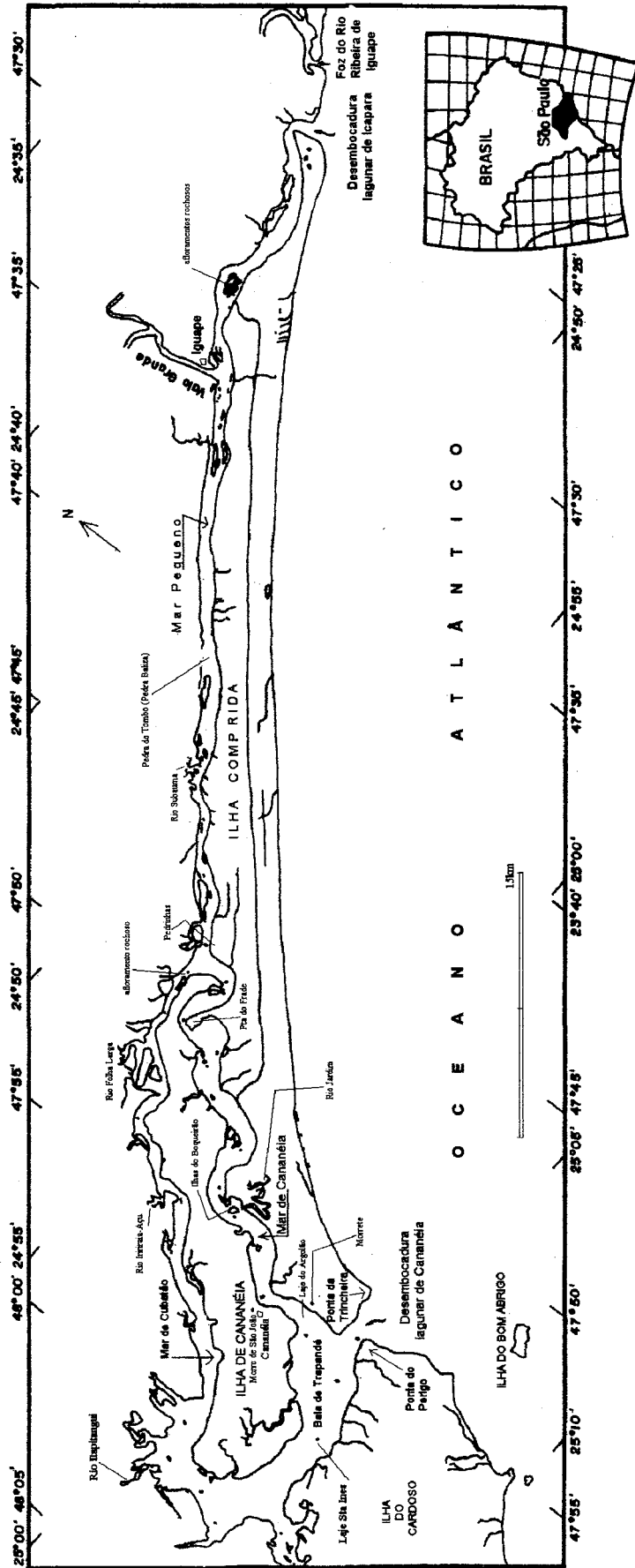


Fig. 1. Mapa de localização da área estudada.

O Mar de Cananéia é constituído por um conjunto de meandros com um canal de circulação mais profundo (> 5 metros), se estendendo desde a desembocadura de Cananéia, até a região mais a NE da Ilha de Cananéia.

As regiões mais rasas desse canal (< 5 metros) ocupam, nos meandros, posições opostas às do canal mais profundo apresentando como elemento característico conjuntos de ilhas, onde se desenvolvem manguezais, que, por vezes, se prolongam para o interior dos canais de maré que cortam as ilhas de Cananéia e Comprida.

As maiores profundidades no Mar de Cananéia são encontradas em sua porção mais estreita, Ponta do Frade, correspondendo a uma feição de crescimento arenoso, a partir da Ilha Comprida, no sentido transversal ao canal, no sentido da Ilha de Cananéia.

Próximo à cidade de Cananéia, submerso entre a Ilha de Cananéia e a Ilha Comprida, ocorre a uma profundidade de 6 metros uma formação rochosa, possível interligação entre duas intrusões alcalinas aflorantes na Ilha de Cananéia, Morro de São João com cerca de 120 metros de altura, e Morrete, na Ilha Comprida, com cerca de 40 metros de altura. Esta formação rochosa submersa foi primeiramente descrita por Suguio *et. al.* (1987) (Fig.1).

O canal do Mar de Cubatão constitui-se no desaguadouro dos rios originados no complexo serrano próximo e é a porção mais estreita de todo o sistema. A profundidade média deste canal é de cerca de 5 metros, atingindo maiores valores apenas nas proximidades da região mais a noroeste da Ilha de Cananéia, na confluência com a Baía de Trapandé onde, junto ao Rio Itapitanguí, são encontradas profundidades superiores a 10 metros.

A porção mais a nordeste do Sistema apresenta apenas um único canal de separação entre o continente e a Ilha Comprida, denominado de Mar Pequeno, com largura variando entre 1 e 3 km, com profundidades médias ao redor de 6 metros atingindo um máximo de 12 metros.

Este canal, pouco meandrante, apresenta entre sua confluência com o Mar de Cananéia até a região próxima de um afloramento alcalino denominado, localmente, de pedra do "Tombo" ou "Baliza", características similares às observadas no canal do Mar de Cananéia, ou seja, a da existência de um canal mais profundo, acompanhando os meandros e regiões rasas onde se ressaltam conjuntos de ilhas arenosas, de origem recente, em processo de colonização pelo manguezal.

No sentido da desembocadura de Icapara, localizada a nordeste a partir da região da pedra do "Tombo", essa associação de regiões rasas e conjunto

de ilhas não é tão evidente como também desaparece o canal de circulação mais profundo.

Junto à cidade de Iguape, separando-a do continente, existe um canal artificial, denominado Valo Grande, aberto entre os anos de 1828 e 1830, com cerca de 4 metros de largura e 1,5 metros de profundidade, ligando diretamente o Rio Ribeira de Iguape com o canal do Mar Pequeno, no Sistema Cananéia-Iguape. Em agosto de 1978 o canal já com cerca de 250 metros de largura e 7 metros de profundidade, foi fechado pela construção de uma barragem. O canal permaneceu alguns anos fechado sendo rompido durante a enchente de 1983, e novamente reconstruído. Atualmente o canal está aberto permitindo com que o Rio Ribeira de Iguape desagüe grandes volumes de água doce e também elevada carga de sedimentos finos em suspensão, no sistema.

Dinâmica dos canais

O Sistema apresenta ao longo de seus canais um padrão hidrodinâmico fortemente influenciado pelas correntes geradas por oscilações das micromarés ($< 1\text{m}$) e, em menor proporção pela influência das descargas de água doce que adentram no sistema.

A propagação da onda de maré em torno da Ilha de Cananéia, ocorre a partir da desembocadura situada ao sul da cidade de Cananéia (Miniuss, 1959).

Quando a onda de maré enchente penetra no sistema, ao sul da região, ocorre uma divisão do fluxo com um dos ramos se propagando pelo canal do Mar de Cubatão, enquanto o outro ramo se propaga, rumo a NE, pelo canal do Mar de Cananéia (Fig. 2a).

Ao norte da Ilha de Cananéia, na junção dos mares de Cubatão e Cananéia, recompõe-se o fluxo único, que se desloca rumo a Iguape, ao encontro do fluxo de enchente que penetrou no sistema pela desembocadura de Icapara e, que se propaga no sentido sul. Estas correntes de sentidos de propagação contrários acarretam, quando de seu encontro, o fenômeno hidrodinâmico conhecido como "tombo das águas".

O processo de vazante tem início nas saídas das desembocaduras com reflexos quase que imediatos na região do "Tombo" (Fig.2b).

Nos períodos em que o Rio Ribeira de Iguape lança suas águas no sistema costeiro, através do Valo Grande, o fenômeno do "Tombo" é revestido de maior significado na medida em que o volume de água que penetra no sistema, pela desembocadura de Icapara, é acrescido pelas águas continentais que afluem através do Valo.

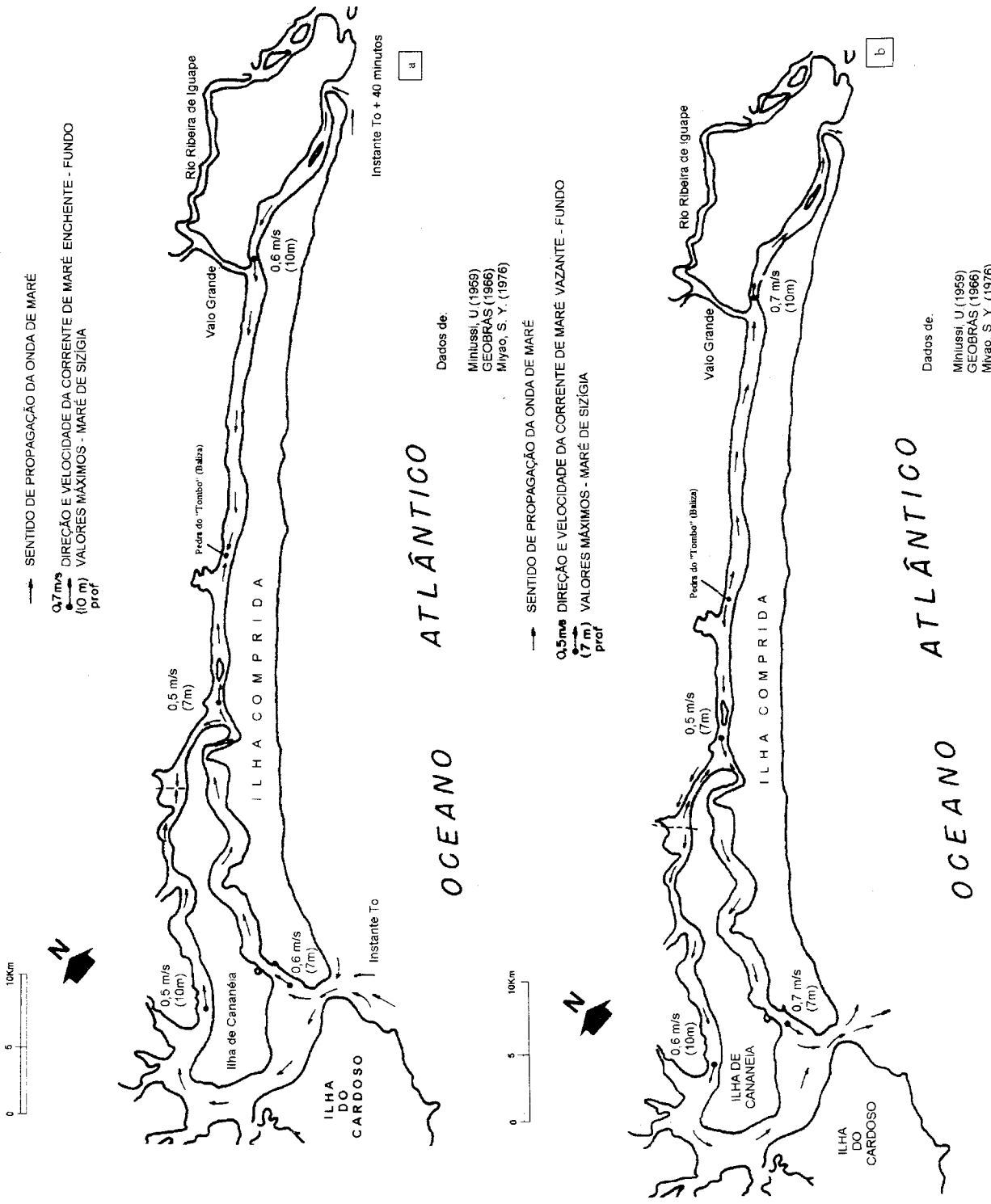


Fig. 2. Correntes de maré (Tessler, 1982): a) rumo do movimento das correntes na maré enchente; b) rumo do movimento das correntes na maré vazante.

Material e métodos

As observações acerca das modificações na configuração das margens e na profundidade dos canais foram obtidas através da análise comparativa das cartas náuticas n^{os} 1702 e 1703 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN-MM), com a carta batimétrica do Laboratoire National d'Hydraulique Chatou (França) e do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), bem como com conjuntos de fotografias aéreas, da região, obtidas em sobrevôos nos anos de 1962 e 1973. Nesta análise foi abrangido todo o sistema através da construção de perfis batimétricos e topográficos transversais aos canais.

As medições de direção e velocidade das correntes efetuadas à superfície e a 1 metro acima do fundo, durante períodos de 25 horas, ou seja, durante um ciclo completo em sizígia, foram realizadas em estações fixas, no decorrer do ano de 1980. Estas estações foram posicionadas nas proximidades da desembocadura de Cananéia, no Mar de Cubatão, bem como na confluência dos mares Pequeno, Cananéia e Cubatão nas proximidades de uma pequena vila denominada Pedrinhas e também no canal do Mar Pequeno, junto ao canal do Valo Grande, próximo à cidade de Iguape.

Este conjunto de medidas foram obtidas utilizando-se um correntômetro de hélice, da marca Braystoke, operando em velocidades entre 0,03 a 7,0 m/s, com sensor de direção de amplitude de 0° a 360° e passo de 10°.

As amostragens dos sedimentos de superfície de fundo dos canais foram realizadas em 4 cruzeiros, no decorrer do ano de 1979, imediatamente após o barramento do Valo Grande que interrompeu a ligação entre o Rio Ribeira de Iguape e os canais do Sistema Cananéia-Iguape.

Para a coleta das 254 amostras realizadas ao longo de todos os canais do Sistema foi utilizado um amostrador de fundo, do tipo Petersen, com capacidade de 20 cm³.

As características granulométricas desses sedimentos foram obtidas através dos procedimentos de peneiramento e pipetagem descritos em Suguio (1973), visando o cálculo dos parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e a caracterização através da aplicação do diagrama triangular de Shepard (1954). O teor de carbonato biodetrítico dessas amostras foi calculado por diferença, em peso, após ataque com HCl 10%.

As técnicas geofísicas empregadas na identificação das características do fundo dos canais foram: sonar de varredura lateral (Hydroscan Klein Side Scan Sonar – 100kHz); e, perfilagem sísmica contínua (Hidrosonda M2A Hunttec – boomer de 5 e 10 kHz), sendo ambos equipamentos pertencentes ao

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT. Foram executados cerca de 170 km lineares de perfis distribuídos ao longo de todos os canais do sistema.

Resultados

Padrões de correntes

Para o conjunto de estações de medição realizadas os dados de velocidade de correntes obtidos para a superfície, durante a maré enchente, mostram velocidades máximas semelhantes para todas as estações em torno de 0,7 m/s, com exceção da estação do Mar de Cubatão com valor pouco menor (0,6 m/s).

Ainda para a superfície, durante a vazante, as estações de Pedrinhas e Iguape apresentam valores máximos semelhantes (0,8 m/s), ou seja, valores próximos aos obtidos para a fase de enchente. Observações semelhantes foram verificadas na estação do Mar de Cubatão (0,7 m/s).

Na estação do Mar de Cananéia, próximo a desembocadura, a velocidade máxima medida foi de 1,2 m/s, constituindo-se no maior valor obtido em todo o sistema. Esta velocidade de corrente mais elevada deve estar provavelmente relacionada a uma área de estreitamento do canal, bem como ao grande volume de água que flui para a desembocadura sul do sistema durante os períodos de maré vazante.

Durante os períodos de maré enchente as velocidades máximas, observadas nessas estações, apresentaram valores inferiores, junto ao fundo, com relação aos observados para a superfície.

Nas estações dos mares de Cananéia e Iguape o valor máximo de corrente, medido junto ao fundo, durante o período de enchente, foi de 0,6 m/s, enquanto à superfície foram observados valores de até 0,7 m/s.

A estação que apresentou maior discrepância entre o valor máximo de superfície e de fundo foi Pedrinhas, onde em superfície obteve-se 0,8 m/s e, junto ao fundo, 0,5 m/s.

Na maré vazante as discrepâncias entre os valores de fundo e superfície foram mais acentuados. Na estação do Mar de Cananéia foram medidas correntes de até 1,2 m/s, em superfície, sendo que 0,7 m/s foram os valores máximos medidos junto ao fundo.

As estações de Iguape e do Mar de Cubatão apresentaram valores semelhantes para as medidas em superfície e fundo.

De modo geral são compatíveis os valores máximos de velocidades das correntes medidas junto ao fundo, para as estações de Cananéia e Iguape, ou seja, 0,6 m/s para a enchente e 0,7 m/s para a vazante.

Desta forma, fica evidenciada a ocorrência de correntes de direções alternadas nas enchentes e nas vazantes, dirigidas na maior parte do tempo ao longo do eixo longitudinal do canal, e com sentidos opostos de deslocamento nas camadas de superfície e fundo, nos curtos períodos de reversão entre os ciclos de enchente e vazante.

Com relação à duração de cada evento verificou-se que os períodos de vazante e de enchente foram diferentes para cada profundidade, sendo a de vazante maior na superfície, diminuindo com a profundidade e ocorrendo o inverso com a enchente que se mostrou mais longa junto ao fundo.

Caracterização textural dos sedimentos de fundo

Os sedimentos de superfície de fundo dos canais se apresentam, segundo a classificação de Shepard (1954) compostos predominantemente de sedimentos arenosos (76,3%), destacando-se as areias, que representam 56% do total de amostras analisadas.

A distribuição espacial com base na classificação do diagrama triangular de Shepard (*op.cit.*) evidencia o predomínio de sedimentos arenosos ao longo do canal do Mar de Cananéia. Essa mesma tendência é observada ao longo do Mar de Cubatão (95%), Mar Pequeno (87%) e na Baía de Trapandé (90%) (Fig. 3).

Alterações neste predomínio de fácies arenosas são identificadas apenas em pequenas áreas ao longo dos canais. Esse fato acentua-se próximo à cidade de Cananéia, no Mar de Cananéia, onde ocorre um afunilamento do canal e principalmente junto às ilhas do Boqueirão, na foz do córrego do Jardim, onde o canal principal de circulação meandra aproximando-se da Ilha Comprida e da Ilha de Cananéia, possibilitando a existência de regiões mais rasas, de circulação menos intensa.

Na Ponta do Frade, junto à margem da Ilha Comprida, fora do canal de circulação mais profundo, existe uma reentrância da margem do canal que possibilita a formação de uma zona de baixa energia com conseqüente deposição de material muito fino.

Na porção central da Baía de Trapandé, onde se encontra o canal de circulação mais profundo, é observada uma progradação de sedimentos com o predomínio de sedimentos arenosos (areia argilosa), junto à Ilha do Cardoso, migrando para sedimentos com teores mais altos de pelitos (argila siltosa e silte argiloso), junto à Ilha de Cananéia. Esse padrão é indicativo da ocorrência de uma ação hidrodinâmica mais intensa, na margem junto à Ilha do Cardoso, em contraste a fluxo de menor intensidade na região central da Baía de Trapandé. Esta área que recebe mais diretamente o fluxo dos cursos fluviais do

complexo serrano próximo (rios Taquarí, das Minas e Itapitanguí), evidencia não apenas a importância dessas drenagens no aporte de sedimentos finos ao sistema costeiro mas, principalmente, no estabelecimento de áreas características de deposição desses sedimentos em função das características hidrodinâmicas do sistema.

Na região mais a nordeste do sistema, a partir da pedra do “Tombo” em direção à cidade de Iguape, a característica geral observada nos demais segmentos dos canais se altera passando a predominar sedimentos pelíticos (argilas siltosas e siltes argilosos). Na região próxima à pedra do “Tombo” misturas equivalentes de sedimentos grossos e finos são encontradas ao lado de sedimentos arenosos configurando a existência de variações nos fluxos de energia. Esse padrão de alternância de fluxos (“tombo das águas”) permite a deposição de finos, especificamente os sedimentos finos carregados em suspensão a partir do Rio Ribeira de Iguape, através do Valo Grande.

O grau de contribuição dos processos de floculação nas áreas de deposição de sedimentos finos tão comumente observados em outros sistemas estuarinos do mundo, não pode ser avaliado para este setor da costa paulista, devido a ausência de estudos que identifiquem a ocorrência destes processos no Sistema Cananéia-Iguape.

Em direção a Iguape os sedimentos encontrados são progressivamente mais finos, com a formação de ilhas dispostas longitudinalmente ao canal. Este padrão é observado até próximo do Rio Sorocabinha quando novamente se apresentam misturas de sedimentos grossos e finos denotando, para esta porção do canal, uma condição hidrodinâmica semelhante à encontrada na região do “Tombo”.

A região da desembocadura de Icapara com sedimentação predominantemente arenosa, bem como esse mesmo predomínio na porção central do canal junto à foz do Valo Grande sugerem a predominância de um fluxo residual no sentido da desembocadura para a pedra do “Tombo”.

Feições de fundo dos canais

A superfície de fundo dos canais, observada através dos cerca de 170 km lineares de perfis geofísicos apresenta-se extremamente plana e homogênea. Perturbações na topografia da superfície de fundo são observadas em apenas alguns trechos e estão relacionadas basicamente à presença de ondas de areia e marcas onduladas, de grande porte, ou de afloramentos rochosos submersos que ocorrem em locais restritos da área estudada. Exemplos de registros sísmicos obtidos neste setor estão ilustrados nas Figuras 4 e 5.

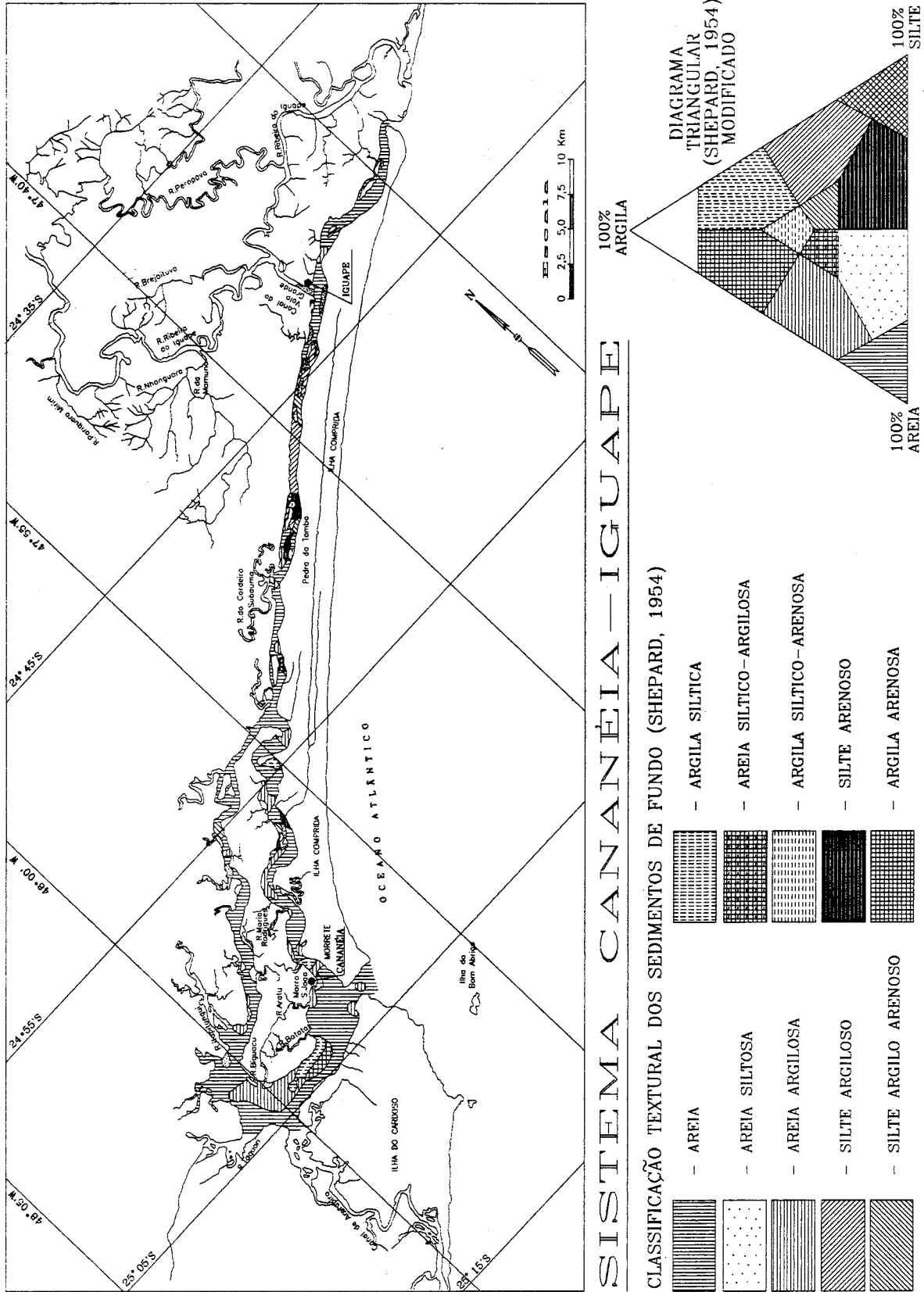


Fig. 3. Mapa de distribuição de sedimentos de fundo da área estudada (Tessler, 1982).

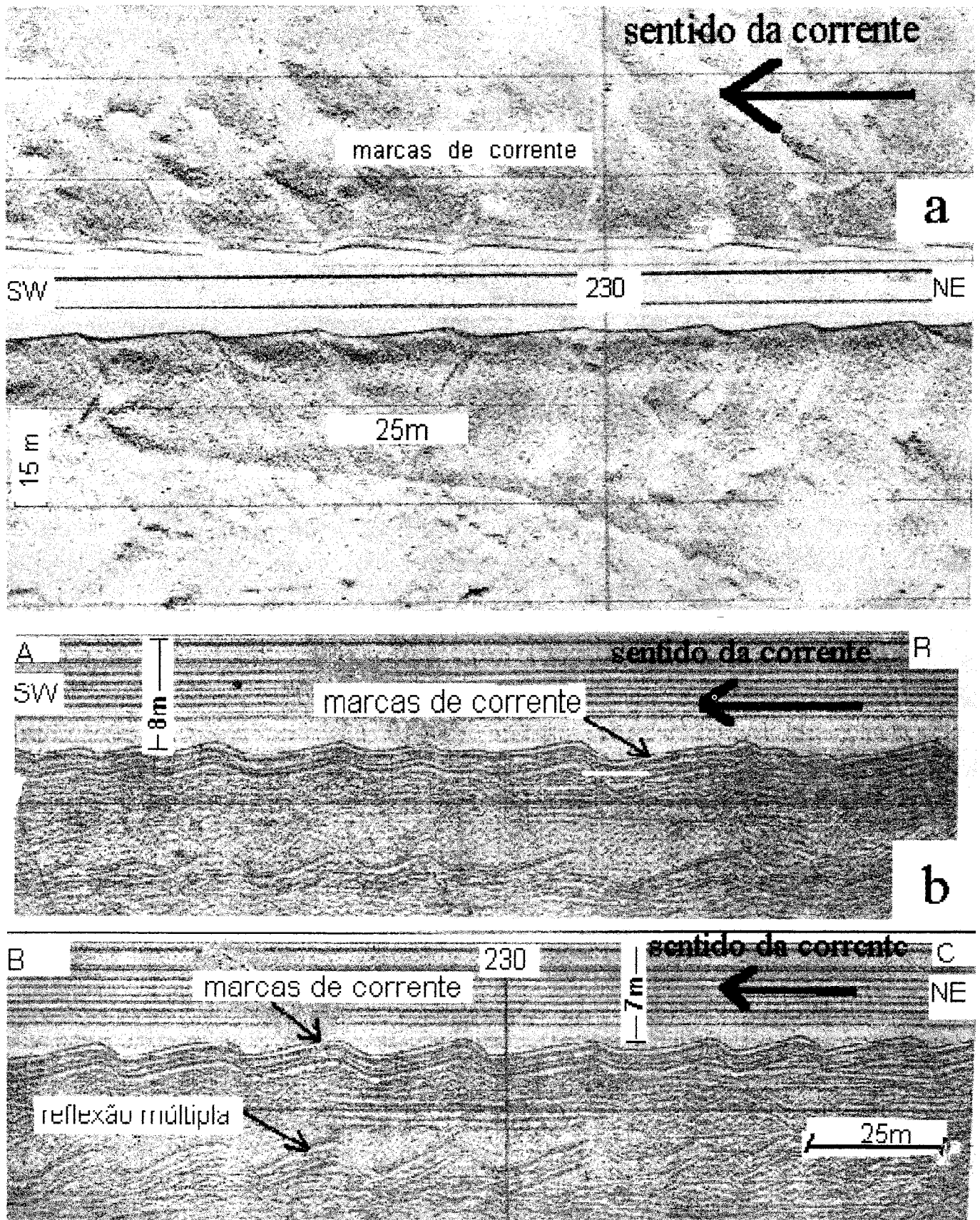


Fig. 4. Marcas de corrente na superfície de fundo do canal (Souza, 1995): a) registro do sonar de varredura lateral; b) registro do perfilador sísmico do tipo boomer.

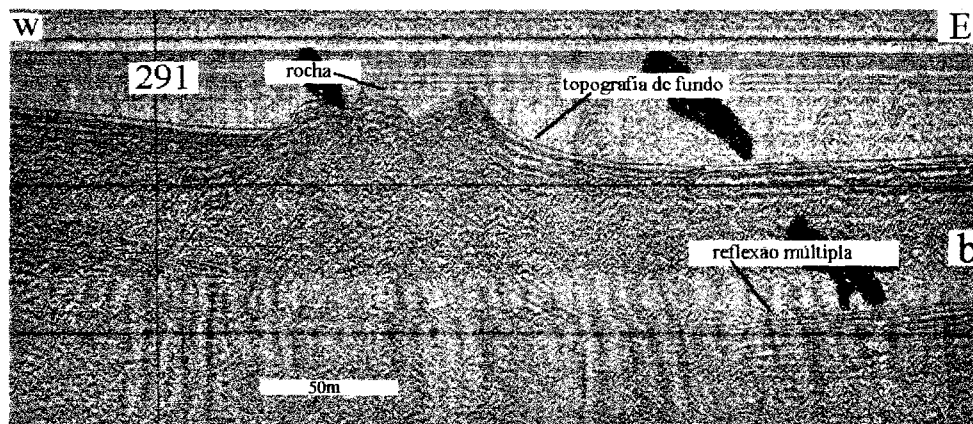
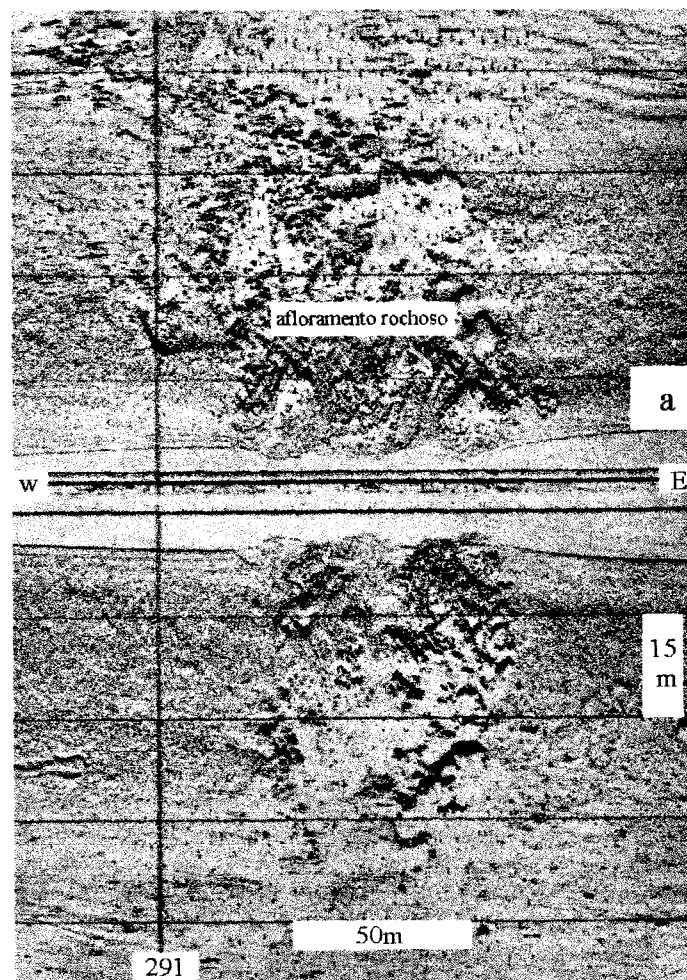


Fig. 5. Afloramento rochoso subaquático no Canal de Iguape (Souza, 1995): a) registro do sonar de varredura lateral; b) registro do perfilador sísmico do tipo boomer.

Ambas as situações alteram o perfil batimétrico em valores raramente superiores a 2 metros. Variações bruscas, de até 10 metros, na topografia da superfície de fundo dos canais investigados, foram identificadas somente em alguns trechos restritos na área da desembocadura de Cananéia, característica esta relacionada, provavelmente, com a forte ação erosiva das correntes de maré vazante que atuam neste setor.

A análise da distribuição espacial das marcas onduladas e ondas de areia indica o predomínio dessas ocorrências na área localizada entre a Ponta do Frade e um ponto no canal do Mar Pequeno localizado a cerca de 5 km a sudoeste da pedra do "Tombo" (Fig. 6). Esta observação pode ser diretamente correlacionada com a existência de processos hidrodinâmicos que predominam neste segmento dos canais.

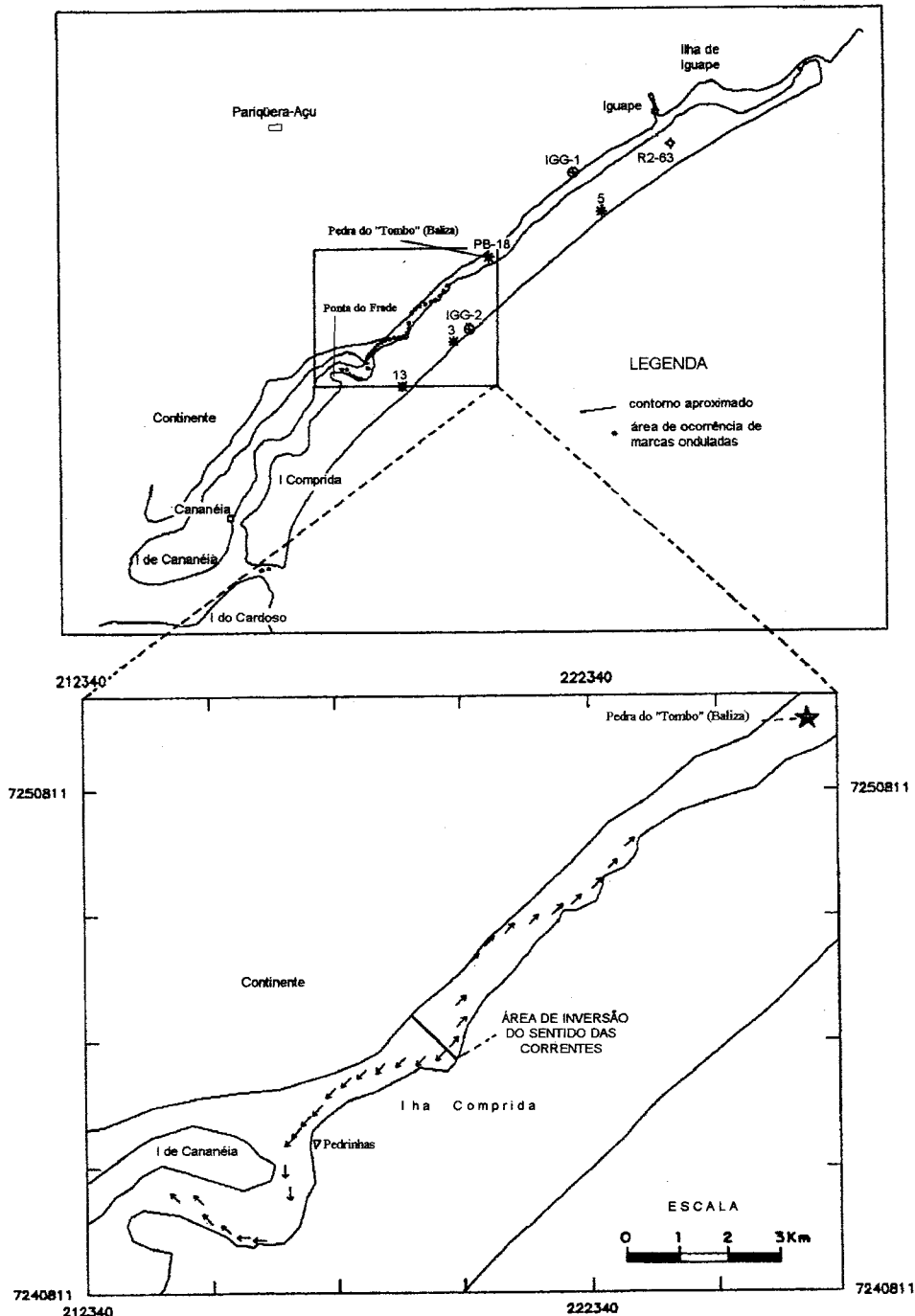


Fig. 6. Planta de localização do ponto de inversão de rumo das correntes de maré vazante (Souza, 1995).

A análise mais detalhada dos registros permite ainda verificar que as marcas onduladas podem ser interpretadas como marcas de corrente, visto que apresentam formas assimétricas. A assimetria dessas feições da topografia de fundo identificadas neste trecho dos canais, indica ainda que as correntes geradoras destas feições atuaram preferencialmente no sentido da maré vazante.

Da análise dos perfis geofísicos verificou-se também que na área localizada a 10 km a sudoeste da pedra do "Tombo", ocorre uma inversão de 180° nas orientações dessas feições indicativa, no processo hidrodinâmico da área, de uma inversão, junto ao fundo, do sentido de deslocamento das correntes de maré vazante.

Foram identificados, na superfície de fundo ao longo dos canais, três ocorrências de afloramentos rochosos, além do afloramento da laje do Argolão, descrito primeiramente por Suguio *et. al.* (1987).

Estes afloramentos se localizam na área próxima da ponte que liga a Ilha de Cananéia ao continente, e em dois pontos no trecho entre a desembocadura do Valo Grande e a desembocadura de Icapara (Fig.1).

Na porção mediana da Baía de Trapandé os perfis geofísicos obtidos, apesar de não apresentar características tão evidentes quanto as observadas nas outras áreas de afloramentos rochosos identificados, sugerem a ocorrência de um quarto afloramento parcialmente recoberto por sedimentos.

De fato, informações de moradores da região apontam para a existência de um afloramento rochoso neste setor ao qual denominam de laje Santa Inês. A presença deste afloramento rochoso na Baía de Trapandé, pode por sua vez, ter estreita relação com o condicionamento tectônico sugerido por Souza *et. al.* (1996) para a região da desembocadura de Cananéia.

A importância destas feições no condicionamento dos processos hidrodinâmicos e sedimentares no sistema Cananéia-Iguape é bastante clara, já que se constituem em verdadeiras barreiras físicas na evolução do processo de transporte de sedimentos.

Discussão

O conhecimento atual sobre os mecanismos de circulação geral das águas no sistema Cananéia-Iguape sugere que os principais fatores condicionantes da distribuição dos sedimentos de superfície de fundo e dos processos de mistura e renovação de suas águas são as correntes de maré e as descargas de água continental, provenientes do

complexo serrano próximo, e do Rio Ribeira de Iguape.

O Mar de Cananéia apresenta um canal meandrante e assimétrico, mais profundo, sempre associado às margens côncavas caracterizando o deslocamento principal das correntes no canal. A este canal principal encontram-se associados sedimentos mais grossos (areia muito fina a média), pobremente selecionados, em oposição às regiões mais rasas onde estão depositados sedimentos texturalmente mais finos (siltes e argilas), muito pobremente selecionados. Este padrão apresenta-se alterado apenas junto à foz dos canais de maré que, com sua contribuição de sedimentos finos interrompem a seqüência de deposição arenosa.

Os conjuntos de ilhas presentes nas porções rasas do Mar de Cananéia apresentam suas feições de crescimento no sentido da desembocadura de Cananéia, o que denota a predominância do processo de maré vazante para este segmento do sistema. A feição que demonstra mais claramente este fato é a Ponta do Frade, feição de crescimento com seus cordões arenosos de acresção dispostos em gancho, no sentido da desembocadura de Cananéia.

Na Ponta do Frade os sedimentos apresentam-se melhor selecionados devido ao estreitamento do canal, que propicia uma dinâmica de circulação mais intensa, acarretando um melhor selecionamento do material de fundo. Já na reentrância formada entre a Ilha Comprida e a Ponta do Frade, área abrigada da circulação mais intensa, depositam-se os sedimentos finos pobremente selecionados.

Da Ponta do Frade até a foz do rio Subaúma, no canal do Mar Pequeno, a predominância de sedimentos arenosos, melhor selecionados, atesta a existência de um mecanismo de fluxo com maior capacidade de transporte que propicia a remobilização da fração fina em suspensão, deslocando este material no sentido do Mar de Cananéia, acarretando um melhor selecionamento do sedimento arenoso.

Como o aporte de sedimentos de textura muito fina, no canal do Mar Pequeno, deriva principalmente da carga em suspensão da drenagem continental, que aí deságua e, como grande parte deste material tem sua deposição junto aos meandros no Mar de Cananéia, fica evidenciado o decréscimo da capacidade do fluxo transportador a partir da região do rio Subaúma no sentido da desembocadura de Cananéia. Esta tendência se pronuncia de forma mais clara na altura da cidade de Cananéia onde a gradação de sedimentos mal selecionados, de mais finos a mais grossos, no sentido da desembocadura de Cananéia, evidencia a ação efetiva, neste segmento do canal, da corrente de maré enchente em detrimento da corrente de vazante predominante, na

dinâmica sedimentar de fundo, do canal do Mar de Cananéia.

Kutner (1962), estudando as características granulométricas dos sedimentos de fundo do entorno da Ilha de Cananéia, detectou uma variação na composição textural destes sedimentos na porção do canal do Mar de Cubatão entre os rios Folha larga e Iririaia-açu, cuja causa seria a existência de um outro fenômeno de “tombo das águas” naquela região. A variação seria representada por uma perda de selecionamento dos sedimentos de fundo, uma diminuição do diâmetro médio das partículas e um aumento significativo nos teores de carbonato biodetrítico. Estas mesmas evidências foram detectadas neste trabalho. Porém, a resposta sedimentar ao “tombo” do Mar de Cubatão não se mostra tão efetiva quanto a detectada para o fenômeno do Mar Pequeno, o que reforça as considerações de Miniussi (1959) e Miyao (1977), de que o fenômeno do Mar de Cubatão é secundário em relação ao existente no Mar Pequeno.

A Baía de Trapandé, que apresenta uma mistura de sedimentos na porção central da área, com gradação de texturas arenosas (areia argilosa) para sedimentos com teores mais elevados de pelitos (argila siltosa e silte argiloso), caracteriza uma ação hidrodinâmica mais intensa no lado da margem da Ilha do Cardoso em detrimento das regiões central e junto a margem da Ilha de Cananéia.

Esta tendência de maior concentração de sedimentos finos e mal selecionados na porção central da baía evidencia não apenas a efetiva ação da drenagem continental no aporte de sedimentos finos em suspensão, para este segmento do Sistema, como também a existência de condições hidrodinâmicas para a deposição destes sedimentos.

Kutner (1962), conclui que os sedimentos desta área demonstram a dominância das preamares sobre as baixamares nos processos de remobilização dos sedimentos de fundo, visto que os sedimentos da porção mais próxima da foz dos rios Itapitangui e Taquari apresentam-se com valores de diâmetro médio e coeficiente de seleção menores que os sedimentos das proximidades da desembocadura de Cananéia.

Muito embora as conclusões obtidas corroborem as afirmações de Kutner (*op. cit.*), quanto à predominância das preamares, fica também evidenciado que a ocorrência de sedimentos finos na faixa mais central da baía, resultado de baixas condições de transporte, deve ser causada pela conjugação dos mecanismos de preamar e baixamar. Porém, apenas esta conjugação não explicaria satisfatoriamente a maior homogeneização de sedimentos finos na área.

A origem dessa homogeneização pode ser causada por eventos externos ao sistema que possibilitam um maior aporte de sedimentos finos, carregados pela drenagem continental ou ainda, a um desequilíbrio ocasional, não detectado pelos autores, como o represamento das águas interiores quando da ocorrência de sistemas frontais que impedem o livre fluxo das correntes de vazante pelas desembocaduras de Cananéia e Icapara.

No canal do Mar Pequeno, no segmento compreendido entre o Rio Subaúma e a foz do Valo Grande, a ocorrência de sedimentos muito finos e mal selecionados caracteriza a efetiva ação do fenômeno do “tombo” nos mecanismos deposicionais.

Durante o processo de preamar os sedimentos finos transportados em suspensão, provenientes principalmente do Rio Ribeira de Iguape, através do Valo, são transportados no sentido da região da pedra do “Tombo”, quando então, devido ao fenômeno do encontro das águas e posteriormente ao momento da estufa da maré encontra condições propícias de deposição.

No processo de maré vazante os sedimentos que ainda se encontram em suspensão são transportados no sentido de Pedrinhas, como também no sentido da desembocadura de Icapara.

Porém, devido a ação da corrente fluvial que flui através do Valo Grande funcionar como um impedimento ao fluxo de enchente e vazante, o transporte do material em suspensão se dá de forma mais intensa no sentido de Pedrinhas do que em direção à desembocadura de Icapara. Desta forma, as taxas de sedimentação, na região da Pedra do “Tombo”, em condições de Valo Grande aberto, são significativamente mais elevadas do que nos demais segmentos do Sistema acarretando um assoreamento generalizado e, como consequência, uma ampliação do conjunto de ilhas, dispostas longitudinalmente ao canal, colonizadas por manguesais.

Conclusão

Considerando-se o sistema Cananéia-Iguape como um todo, as condições de transporte de fundo são de um ambiente de baixa energia, com alta resistência ao escoamento, e transporte sedimentar muito limitado.

Essas condições de baixa energia condicionam a formação de pequenas deformações de fundo, rugosidades, características de fluxo bidirecional, com as formas de fundo apresentando suas maiores dimensões dispostas transversalmente ao fluxo médio com pequenas ondulações paralelas a esse fluxo.

Porém, as formas de fundo de maior expressão, identificadas apenas no canal do Mar Pequeno, corroboram as conclusões de Tessler (1982), que atribuiu as correntes de vazante a maior competência na remobilização dos sedimentos de fundo deste segmento do sistema.

A análise dessas marcas onduladas assimétricas observadas nos registros sonográficos permite, ainda, identificar o ponto de inversão do sentido das correntes, a partir da estofa da maré, anteriormente atribuído de forma imprecisa por Miniussi (1959) e Miyao (1977), à região entorno da Pedra do "Tombo", como deslocado cerca de 10 km a sudoeste desta área.

Referências bibliográficas

- Barcelos, J. H. 1975. Sedimentação e subambientes deposicionais da Ilha Comprida, São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 155p.
- Bouma, A. H.; Rappoport, M. L.; Orlando, R. C. & Hampton, M. A. 1980. Identification of bedforms in lower Cook Inlet, Alaska. *Sedim. Geol.*, 26(1/3):157-177.
- Calliari, L. J. & Abreu, J. G. N. 1984. Litologia da plataforma continental interna adjacente a cidade de Rio Grande (RS), através da interpretação de registros de sonar de varredura lateral e amostras superficiais. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33. Anais. Rio de Janeiro, SBG, 2: 1553-1564.
- Figueiredo Jr., A. G. & Kowsmann, R. O. 1976. Interpretação dos registros de sonar de varredura lateral obtidos na plataforma sul riograndense durante a operação Geomar VII. Rio de Janeiro, CPRM, Projeto REMAC. Relatório Interno da CPRM.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. sedim. Petrology*, 27:3-27.
- Fúlfaro, V. J. & Ponçano, W. L. 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projeto de expansão portuária. *In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA*, 1. Rio de Janeiro, ABGE, 1:67-90.
- Furtado, V. V. 1978. Contribuição ao estudo da sedimentação atual do canal de São Sebastião, Estado de São Paulo. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 2v.
- GEOBRÁS. 1966. Complexo Valo Grande, Mar Pequeno e Rio Ribeira de Iguape. Relatório da Geobrás S/A - Engenharia e Fundações para o Serviço do Vale de Ribeira, Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. 2v.
- Giannini, P. C. F. 1987. Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe Itanhaém (SP). Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 2v.
- Kenyon, N. H. & Belderson, R. H. 1973. Bedforms of the Mediterranean undercurrent observed with side-scan sonar. *Sedim. Geol.*, 9(2):77-99.
- Kutner, A. S. 1962. Granulometria dos sedimentos de fundo da região de Cananéia, SP. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 11(2):41-54.
- Magliocca, A. & Kutner, A. S. 1964. Conteúdo orgânico dos sedimentos de fundo de Cananéia, São Paulo. *Contrôes Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, série Oceanogr. fis.*, (7):1-15.
- Mahiques, M. M. de 1987. Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía da Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 2v.
- Miniussi, I. C. 1959. Propagação da onda de maré em torno da Ilha de Cananéia. *Contrôes Inst. oceanogr. Univ. S Paulo, série Oceanogr. fis.*, (2): 1-8.
- Miyao, S. Y. 1977. Contribuição ao estudo da oceanografia da região de Cananéia (lat. 25°S, long. 48° W). Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 86 p.
- Petri, S. & Suguio, K. 1971. Some aspects of the Neocenoic sedimentation in the Cananéia - Iguape lagoonal region, São Paulo, Brazil. *Estud. Sedimentol.*, 1(1):25-33

- Petri, S. & Suguio, K. 1973. Stratigraphy of the Iguape - Cananéia lagoonal region sedimentary deposits. São Paulo, Brazil. Part II : Heavy minerals studies, microorganisms inventories and stratigraphical interpretations. Bol. IG-USP, 4:71-85.
- Ponçano, W. L. 1976. Sedimentação atual na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro - um estudo para a avaliação da viabilidade geotécnica de implantação de um porto. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 2v.
- Ponçano, W. L. 1985. Sedimentação atual aplicada a portos do Brasil. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 278 p.
- Rodrigues, M. 1996. Sedimentação atual nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba e plataforma interna adjacente, Ubatuba, Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 158 p.
- Shepard, F. P. & Moore, D. G. 1954. Sedimentary environments differentiated by coarse fraction studies. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 38:1792 - 1802.
- Souza, L. A. P. de 1995. A planície costeira Cananéia - Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo: Um exemplo de utilização de métodos geofísicos no estudo de áreas costeiras. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 207 p.
- Souza, L. A. P. de; Tessler, M. G. & Galli, V. L. 1996. O Graben de Cananéia. Rev. bras. Geol., 26(3):139-150.
- Suguio, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, Edgard Blücher/EDUSP. 317 p.
- Suguio, K. & Martin, L. 1978a. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. Spec. Publ. Intern. Symp. Coastal Evolut. Quaternary, S Paulo, (1):1-55.
- Suguio, K. & Martin, L. 1978b. Mapa geológico do litoral paulista, folhas Cananéia e Iguape, escala 1:1.000.000. São Paulo, DAEE.
- Suguio, K. & Petri, S. 1973. Stratigraphy of the Iguape - Cananéia lagoonal region sedimentary deposits, São Paulo State, Brasil. Part I: Field observations and grain size analysis. Bol. IG-USP, 4:1-20.
- Suguio, K.; Tessler, M. G.; Furtado, V. V.; Esteves, C. A. & Souza, L. A. P. de 1987. Perfilagens geofísicas e sedimentação na área submersa entre Cananéia e Barra de Cananéia (SP). In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS. Anais. Cananéia, 1987. São Paulo, ACIESP, 2:234-241.
- Tessler, M. G. 1982. Sedimentação atual na região lagunar de Cananéia - Iguape, Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 2v.
- Tessler, M. G. 1988. Dinâmica sedimentar quaternária no litoral sul paulista. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 276 p.

(Manuscrito recebido 16 janeiro 1998; revisado 15 abril 1998; aceito 03 julho 1998)