

# CIRCULAÇÃO RECENTE DE SEDIMENTOS COSTEIROS NAS PRAIAS DE SANTOS DURANTE EVENTOS DE TEMPESTADES: DADOS PARA A GESTÃO DE IMPACTOS FÍSICOS COSTEIROS

Christiano MAGINI <sup>1</sup>; Joseph HARARI <sup>2</sup>; Denis Moledo de Souza ABESSA <sup>3</sup>

(1) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do PICI Blc 12/13. CEP 50455-760. Fortaleza, CE. Endereço eletrônico: magini2005@hotmail.com.

(2) Departamento de Oceanografia Física, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. Praça do Oceanográfico, 191 – Cidade Universitária. CEP 05508-120. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: joharari@usp.br.

(3) Universidade Estadual Paulista, Campus São Vicente. Praça Infante Dom Henrique, s/n – Parque Bitaru. CEP 11330-900. São Vicente, SP. Endereço eletrônico: dmabessa@csv.unesp.br.

Introdução  
Objetivos  
Localização e Fisiografia  
Material e Métodos  
Resultados  
Discussão e Conclusões  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – As praias de Santos encontram-se na Baía de Santos situada no estado de São Paulo, porção central do litoral paulista, dentro da região Sudeste do Brasil. Estas praias são constantemente afetadas pela entrada de frentes frias, com ventos e correntes de direção Sul. Tais frentes são responsáveis pelo aporte, circulação e retirada dos sedimentos (areia) nas praias de Santos. Para quantificar esta sedimentação foram analisados os canais de Santos, os quais funcionam como caixas coletoras de sedimentos durante eventos de tempestade. Os canais são preenchidos por areia, tendo sido avaliado o volume presente entre os canais 1 a 6, através do comprimento, largura e altura de areia que sedimentou nos mesmos, no evento de 22 a 27 de abril de 2005. Os canais 2, 3 e 1 foram os que apresentaram os maiores volumes de sedimentos, confirmando que a porção Central da Baía de Santos (Praia de Itararé) sofre uma maior sedimentação ou re-sedimentação. Isto deve-se a interação entre o aporte das ondas e correntes que entram na baía na direção Sul e das correntes provenientes do Canal do Porto de Santos. Esta área central fica sujeita a invasões da água salgada sobre calçadas, ruas e edifícios, sendo uma área de risco geológico.

**Palavras-chave:** Sedimentação, areia, Baía de Santos, circulação, impacto físico.

**ABSTRACT** – *C. Magini, J. Harari, D.M. de S. Abessa - Recent circulation of costal sediments in beaches of santos during storm events: data for managing the coastal physical environments.* The beaches of Santos are situated in Santos Bay, central portion of paulista coast, in São Paulo state. These beaches are frequently affected by cold fronts with winds and currents from the South. These fronts are responsible for the removal and transport of sediments (sand) in Santos beaches. In order to quantify this sedimentation the channels of Santos were analysed, due to their function as box collectors of sediments during storm events. The channels are filled by sands, which volume in channels 1 to 6 was estimated, by using the length, width and height of sand sedimented in the channels, in the event of 22 - 27 april 2005. The channels 2, 3 and 1 presented the larger volumes of sands, confirming that the central and SW portion of the beaches of Santos present higher levels of sedimentation or re-sedimentation. That is due to the transport by ocean waves and currents and currents from the Channel of the Port of Santos. This central portion suffer invasion of marine water over street and buildings, characterized of geological risk area.

**Keywords:** Sedimentation, sand, Santos Bay, circulation, physical impact.

## INTRODUÇÃO

O histórico do uso e ocupação da costa brasileira mostra um crescimento sem planejamento adequado, obedecendo principalmente aspectos econômicos e soluções imediatistas. Esta desorganização reflete-se no crescimento de moradias sub-normais (favelas), além da utilização de áreas de risco, como penhascos, beira mar e áreas de mangue. Na Baixada Santista, porção central da costa do estado de São Paulo inúmeros autores abordaram atividades que acarretaram efeitos sobre o meio ambiente (Abessa et al., 2001)

(Bonetti, 2000) (Lamparelli et al., 2001) (Tommasi, 1980). Em Santos, principal cidade da região o crescimento urbano levou à invasão da zona costeira que também sofre com os efeitos de tempestades, os quais chegam a provocar aporte de areia e invasão da água do mar nas avenidas e edifícios à beira mar. Neste trabalho, procurou-se quantificar os efeitos desta ocupação, amostrando o evento ocorrido de 22 a 27 de abril de 2005, através da estimativa do aporte de sedimentos nos canais das praias de Santos. Este aporte

de sedimentos aumenta a superfície de espreadimento, corroborando assim para as grandes marés invadirem a zona edificada da orla. Associar o passado recente com

a ocupação atual e prever suas alterações e soluções futuras é o desafio da nossa sociedade, parte integrante desta pesquisa para um melhor gerenciamento costeiro.

## OBJETIVOS

A quantificação do transporte de sedimentos em zonas costeiras é dificultada devido ao processo de arrebentação, que prejudica a instalação de equipamentos, embora haja a possibilidade do fundeio de perfiladores acústicos de correntes (ADCP's) e utilização de imagens aéreas ou de satélites. O município de Santos no estado de São Paulo possui uma particularidade, que são os canais estuarinos, edificados perpendicularmente à praia, a distâncias de aproximadamente 1 km um do outro. Embora construídos com objetivos de interligar o estuário com a praia, os mesmos servem de caixas de amostragem

de sedimentos, sendo soterrados durante eventos de tempestades. No presente estudo foi realizada uma estimativa dos volumes de sedimentos retidos em cada canal, após um episódio de tempestade, numa tentativa de definir os locais de maior sedimentação (zona de engorda da praia), separação de células de transporte, influência da corrente de fluxo de canal e a evolução morfológica das praias de Santos. Dessa forma visamos, no presente trabalho, avaliar o transporte dos sedimentos nas praias de Santos, gerando subsídios ao seu gerenciamento ambiental, especialmente durante eventos meteorológicos extremos.

## LOCALIZAÇÃO E FISIOGRAFIA

A baía de Santos localiza-se na porção central do litoral de São Paulo, região sudeste do Brasil, possui abertura voltada para SE-S (Figura 1) e uma barra com aproximadamente 12 km de extensão, sendo sua área total de 30 km<sup>2</sup> (DHN, 2003). Nesta baía encontra-se a área em estudo, as praias de Santos, que estendem-se por 5,5 km. São praias com declividade sub-horizontais (inclinação < 10°) entrecortadas por canais estuarinos de porte decimétrico. Esta porção do litoral foi formada por processos de deposição de bancos arenosos, processo este que perdura desde o Quaternário. O tómbolo que se forma nesta área mostra claramente que existe uma área de deposição, segundo as definições de McLachlan (1980). Todas as praias são dissipativas e possuem seu limite mais profundo (*off-shore*) na ponta do emissário e a sul da Ilha de Urubuqueçaba, este formando o quebra-mar (*off-shore*).

As praias que compõem o foco do presente estudo são limitadas pelo canal do porto de Santos e pela Ilha de Urubuqueçaba (atualmente pelo pier do emissário

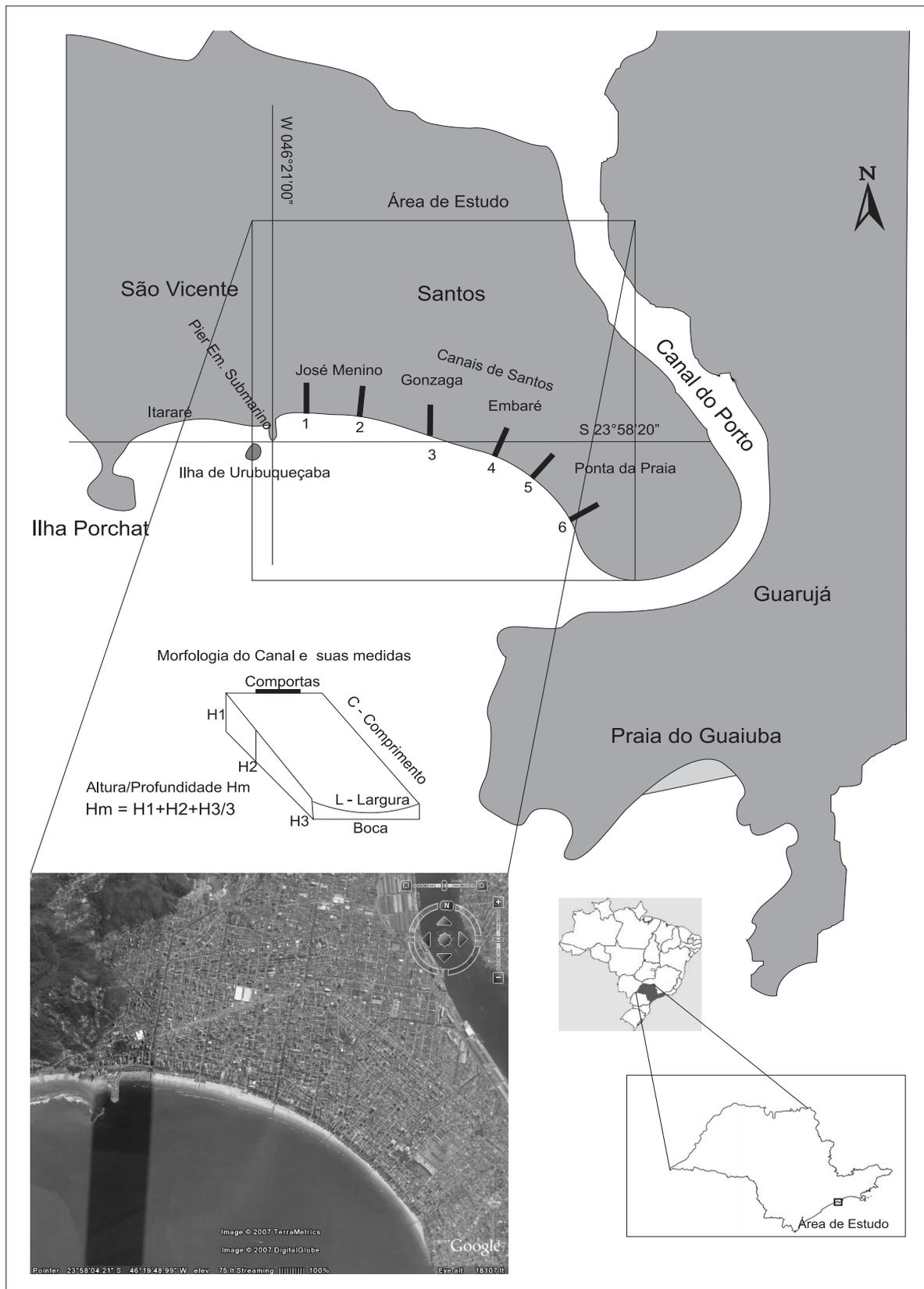
submarino), sendo subdividida de leste para oeste em: Ponta da Praia, Embaré, Gonzaga e José Menino. Esta área regionalmente encontra-se estável, com suave diminuição do nível do mar (Suguio et al., 1985).

Quanto às edificações, destacam-se, no início do Século XX a construção dos seis canais que permitem a circulação da maré e do sistema de drenagem da cidade. Esses canais possuem comportas que evitam a entrada de ondas de tempestade, mas quando abertas permitem o escoamento de água pluvial, evitando enchentes. Na década de 60 ocorreu outra alteração na fisiografia, a construção do tómbolo da Ilha Porchat, e na década de 70 foi construído o pier do emissário submarino, tendo esta última obra uma forte influência sobre a distribuição de sedimentos costeiros nas praias supracitadas. A localização dos canais segue a numeração de oeste para leste, de 1 a 6 (Figura 2). Neste estudo foi quantificado o evento que ocorreu entre os dias 22 a 27 de abril de 2005, segundo dados do Climatempo, NOAA e DHN.

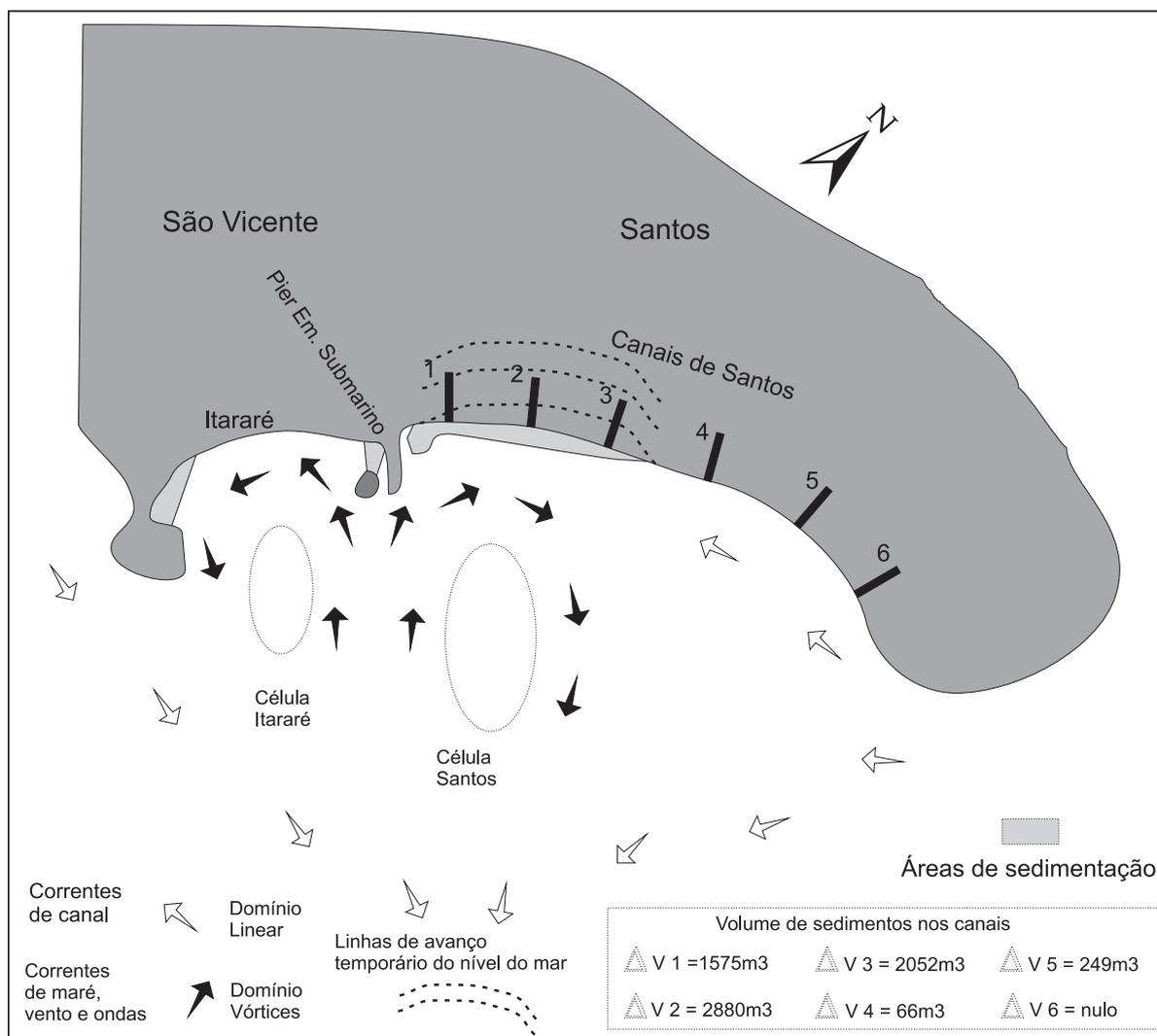
## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para a quantificação dos volumes de areia em cada um dos seis canais (1 ao 6) foi a medição "in loco" do volume de cada canal, coletando os parâmetros de comprimento C, largura L e profundidade H média preenchida em cada canal, conforme esquema da Figura 2. A partir destes dados de campo foram estimados os volumes prováveis de

areia sedimentada em cada canal. Foram utilizados os seguintes equipamentos: veículo, câmara digital, Carta Náutica de Santos, trena 50 m e computador. Foram também analisados padrões de modelagem numérica hidrodinâmica realizados na baía de Santos por Harari et al. (2002) (ver Figura 3) e Imagens de Satélite (Landsat) bem como dados bibliográficos e dados



**FIGURA 1.** Mapa de localização dos canais de Santos (pontos de amostragem).



**FIGURA 2.** Áreas de sedimentação, correntes entre as praias de Santos e volume de sedimentos depositado em cada canal. Em pontilhado, área que sofre invasão do mar durante as marés altas de tempestades.

climáticos (Tabela 1). Estes parâmetros analisados em conjunto permitiram definir as forças que interagiram durante o evento e seu resultado geológico após a tempestade.

**TABELA 1.** Dados de altura das ondas e do tipo de vento no evento entre 22 e 28 de Abril de 2005.

Dia do mês	Altura e direção das ondas	Tipo de vento
22	1 m Sul	Sem vento
23	1 m Sul	Sem vento
24	0,5 m SE	Sem vento
26	1,5 – 2,0 m Sul	Vento Sul forte
27	1,5 m Sul	Vento Sul fraco
28	1,0 m Sul	Sem vento

Fonte: Boia NOAA 43° 75' W (Longitude) e 25° 00' Sul (Latitude)

## RESULTADOS

Os volumes de sedimentos estimados para os canais 1 a 6 nas praias de Santos são apresentados na Tabela 2. Os valores obtidos expressam o volume de areia em cada canal, lembrando que os tamanhos dos canais não são iguais.

- Canal 1 - Encontra-se próximo ao pier do emissário; apresentou sedimentos inclinados na boca, com a formação de um banco e uma depressão em direção à comporta. Os valores de  $C = 100$  m,  $L = 10,5$  m e  $H = 1,5$  m registram um volume  $\Delta V = 1575$  m<sup>3</sup>.

**TABELA 2.** Dados de Comprimento C, Largura, L e Altura/Profundidade H dos sedimentos depositados nos canais de Santos.

Dados (em metros)	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6
Comprimento	100	160	114	22	83	78
Largura	10,5	6	6	6	6	6
Altura/Profundidade H	1,5	3	3	0,5	0,5	0
Volume m <sup>3</sup>	1575	2880	2052	66	249	Nulo
Forma de sedimentação	Cunha ondulada	Cunha plana	Cunha plana	Ponta do canal	Cunha suave	Nula

- Canal 2 - Este canal foi o que sofreu maior soterramento e seu preenchimento foi total, nivelando o canal com ao plano da praia e permitindo uma circulação lateral das águas. Os valores de C = 160 m, L = 6 m e H = 3 m registram um volume  $\Delta V = 2880 \text{ m}^3$  (Foto 1, Prancha 1).
- Canal 3 - Assim como o Canal 2, teve seu preenchimento total, com circulação lateral de águas. Os valores de C = 114 m, L = 6 m e H = 3 m registram um volume  $\Delta V = 2052 \text{ m}^3$  (Foto 2, Prancha 1).
- Canal 4 - Apresentou um suave preenchimento e forte declínio de volume em relação aos canais 2 e 3. Os valores de C = 22 m, L = 6 m e H = 0,5 m registram um volume  $\Delta V = 66 \text{ m}^3$  (Foto 3, Prancha 1).
- Canal 5 - Apresentou um preenchimento intermediário, com um volume maior que o do canal 3 e menor que os dos canais 1 e 2. Os valores de C = 83 m, L = 6 m e H = 0,5 m registram um volume de  $\Delta V = 249 \text{ m}^3$ .
- Canal 6 - Mais próximo da entrada do Canal do Porto de Santos, Ponta da Praia, a sedimentação foi nula. Os valores de C = 0 m, L = 6 m e H = 0 m correspondem a uma condição normal, sem assoreamento. (Foto 4, Prancha 1). Este local, sim, passou por um processo erosivo devido à ação de ondas, que destruíram calçadas e ruas.



**PRANCHA 1.** Foto 1 - Preenchimento completo do canal 2. Foto 2 - Preenchimento completo do canal 3. Foto 3 - Preenchimento parcial do canal 4. Foto 4 - Preenchimento nulo ou normal do canal 6.

A área de maior sedimentação ocorreu entre os canais 2 e 3, sendo esta porção a mais propensa à engorda ou acreção de areia na praia. A atual fisiografia da baía de Santos com o píer, em somatório com os acidentes naturais (Ilha de Urubuqueçaba), contribuem para dividir duas áreas que sofrem o mesmo processo de sedimentação as praias de Santos e a praia de Itararé

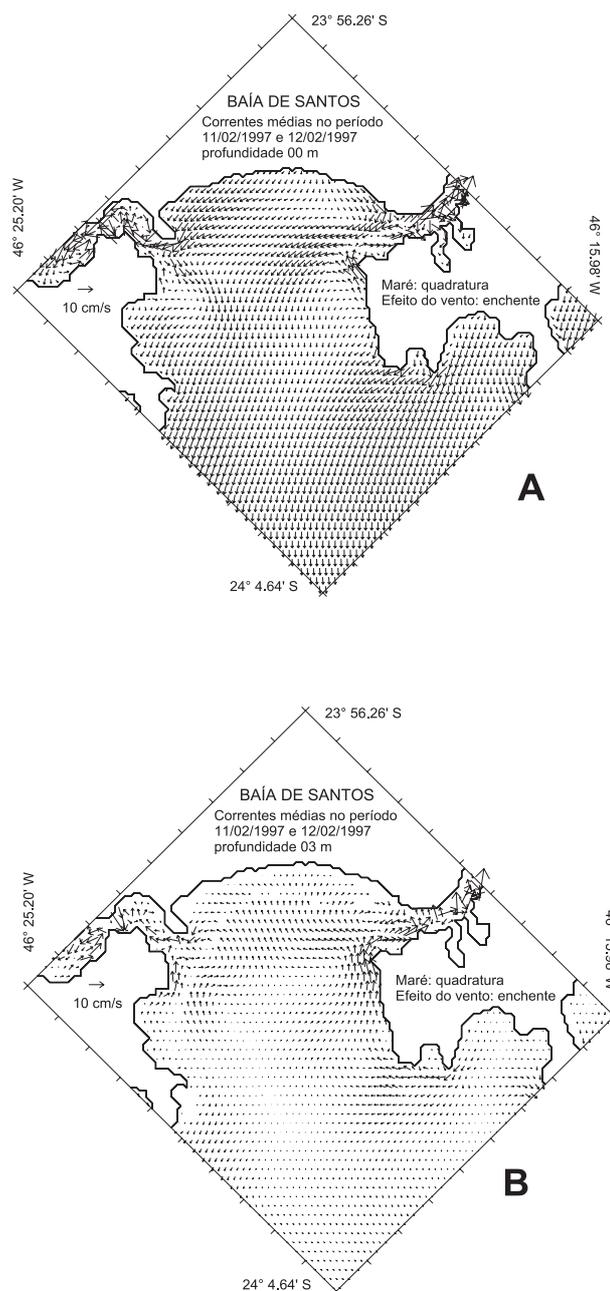
esta no município de São Vicente. Alguns dados litológicos corroboram para esta sub-divisão, como à composição dos sedimentos na baía. Os sedimentos na margem leste são mais argilosos, enquanto que na parte sul, bordejando as praias, ocorre sedimentação de areia (Fúlfaro & Ponçano, 1976; SONDOTÉCNICA Engenharia de Solos S.A, 1977; CETESB,1985).

## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As frentes mais eficientes para a deposição/remobilização de areias são aquelas que entram com ventos e ondas do quadrante Sudeste-Sul, podendo ser acrescidas de ondas de maré na mesma direção. As correntes estudadas por Harari & Camargo (1997, 1998) e Harari et al., (2002) mostram claramente a circulação de fundo e superfície na baía de Santos, nas mais diversas situações e forçantes (de maré e vento) delimitando duas células (vórtices). Pesquisa recentes (Farinaccio & Tessler, 2005), utilizando sensoriamento remoto em sequência histórica de 40 anos, mostram áreas de engorda de praia na mesma área desta pesquisa. Os modelos demonstram o transporte residual de oeste para leste (Figura 3).

Interpretar esta geomorfologia recente requer pensar em componentes de células de circulação que criam áreas nulas devido à refração das correntes, em parte dividindo a baía em duas células e criando uma área de pouca energia, entre os canais 2 e 3. Estas células foram bem mapeadas e modeladas por Harari et al., (2002), estando presente em seis dos doze casos estudados alguns deles apresentados na Figura 3. Evidentemente, além das correntes, as ondas também possuem importante contribuição no arrasto e levantamento das areias de fundo, disponibilizando-as em superfície. Nas simulações hidrodinâmicas, foram estudados eventos com duração de 2 a 4 dias, o que disponibilizaria areia também para leste. Em estudos recentemente realizados por Rocha (2003) utilizando parâmetros granulométricos, mediu-se o transporte residual de sedimentos na baía de Santos. Foi verificada uma tendência de transporte partindo do Canal do Porto em direção ao mar aberto e em direção à porção oeste da baía. Quando se compara o transporte residual de sedimentos na baía de Santos descrito por Rocha (2003), com o modelo de circulação de água para a mesma região, observa-se que existe uma significativa correlação entre eles, principalmente no que se refere ao transporte na direção E-W .

No presente estudo, baseado nas medições dos volumes de areia depositados no período de 22 a 27 de abril de 2005, os canais 2, 3 e 1 foram os locais onde a praia de Santos apresentou seus maiores pontos de



**FIGURA 3.** Correntes residuais médias na superfície e a 3 m de profundidade, em períodos de maré de sizígia sem vento (A, B), apresentando células de convecção na porção interna NE da baía de Santos.

sedimentação ou acreção, com aumento da área de espraiamento devido ao preenchimento das áreas dos canais e conseqüente invasão da orla edificada (ruas, avenidas) pelo mar. Como esta feição é muitas vezes acompanhada de outras feições geomorfológicas costeiras (Neto et al., 2004) (Guza & Bowen, 1977), como bancos de areias na zona de arrebentação, é provável que, se não houvesse trabalhos de manutenção nos canais, com retirada de areia, se desenvolveriam bancos na zona de inframaré defronte os canais 2, 3 e 1. A zona de maior sedimentação corresponde ao local mais propenso a sofrer invasão pelo mar, pois aplaina a superfície da praia, permitindo uma maior extensão da lâmina d'água nas horas de maré alta, formando

deltas de maré, como descrito por Muehe (1994). Regionalmente, a porção descrita seria a parte mais ativa de sedimentação do sistema de barreiras arenosas (Hoyt, 1967), da qual a praia de Santos fez e faz parte. A utilização da análise morfológica de praias (Nicolodi & Toldo, 2004) mostra-se uma ferramenta importante no gerenciamento costeiro. Outro aspecto ligado ao gerenciamento costeiro é referente aos custos de manutenção dos canais. Em volumes totais, o somatório de todos os canais aproxima-se de  $DV = 6.819 \text{ m}^3$ . Um caminhão de porte razoável carrega 12 a 15  $\text{m}^3$ , portanto o volume estimado para limpeza de todos os canais fica em torno de 500 caçambas para um evento de tempestade deste porte.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABESSA, D.M.S.; SOUSA, E.C.P.M. DE; RACHID, B.R.F.; MASTROTI, R.R. Sediment toxicity in Santos estuary, SP, Brazil: Preliminary results. **Ecotoxicology and Environmental Restoration**, v. 4, n. 1, p. 6-9, 2001.
2. BONETTI, J. Remote sensing and GIS potentialities in the study of estuaries, lagoons and bays. In: MANGROVE 2000 - INTERNATIONAL SYMPOSIUM: SUSTAINABLE USE OF ESTUARIES AND MANGROVE. **Challenges and Prospects**, 2000, Recife. Recife: UFPE, 2000, p. 1-7.
3. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Baixada Santista - Memorial Descritivo. Carta do Meio Ambiente e de sua dinâmica**. Relatório Técnico CETESB, São Paulo, 33 p., 1985.
4. DHN – DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Carta Náutica do Porto de Santos**. Marinha do Brasil, Divisão de Hidrografia e Navegação, Edição 2003.
5. FARINACCIO, A. & TESSLER, M.G. Variações recentes da linha de costa na Baía de Santos, uma análise com base em foto-interpretção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS AMBIENTAIS E DA SAÚDE, 2005, Santos. **Resumo Expandido...** Santos, 2005.
6. FÚLFARO, V.J. & PONÇANO, W.L. Sedimentação atual do Estuário e Baía de Santos. Um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA E ENGENHARIA, 1, 1976, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976, p. 67-90.
7. GUZA, R.T. & BOWEN, A.J. Resonant interaction from waves breaking on a beach. In: PROCEEDINGS OF THE 15th INTERNATIONAL CONFERENCE OF COASTAL ENGINEERING, ASCE, 1977, Nova York. **Abstract...** Nova York, 1977.
8. HARARI, J. & CAMARGO, R. Simulações da circulação de maré na região costeira de Santos (SP) com modelo numérico hidrodinâmico. **Pesquisa Naval**, n. 10, p. 173-188, 1997.
9. HARARI, J. & CAMARGO, R. Modelagem Numérica na Região Costeira de Santos: Circulação de Maré. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 2, p. 135-156, 1998.
10. HARARI, J.; CAMARGO, R.; MIRANDA, L.B. Modelagem numérica hidrodinâmica tridimensional da região costeira e estuarina de São Vicente e Santos (SP) - Pesquisa Naval. **Revista Marítima Brasileira**, Suplemento Especial, n. 15, p. 79-97, 2002.
11. LAMPARELLI, C.C.; MOURA, D.O. DE; CAIRES, M.M. DE. **Relatório de balneabilidade das praias paulistas**, 2001.
12. NETO, J.A.B.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. **Introdução a Geologia Marinha**, Editora Interciência, p. 279, 2004.
13. NICOLODI, J.L. & TOLDO JUNIOR, E.E. Análise Morfodinâmica de Praias: uma fonte de subsídios para Gestores de Ambientes Costeiros. O Caso da Paria de Fora, Parque Estadual de Iapuã, RS. **Revista de Gerenciamento Costeiro**, UFRGS, p. 9-11, 2004.
14. HOYT, J.H. Barrier Island formation. **Bulletin of Geological Society American**, v. 78, p. 1125-1135, 1967.
15. McLACHLAN, A. The definition of sandy beaches in relation to exposure: a simple rating system. South Africa, **Journal Science**, n. 76, p. 137-138, 1980.
16. MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A.J.T. & Cunha, S.B. (Orgs), **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Bertand Brasil, Capítulo 6, p. 253-308, 1994.
17. ROCHA, A.C. **Aplicação de métodos diretos e indiretos na análise de sedimentos na Baía de Santos – SP**. São Paulo, 70 p. 2003. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
18. SONDOTÉCNICA ENGENHARIA DE SOLOS S.A. **Comportamento hidráulico e sedimentológico do estuário santista**. Relatório Final. Portobrás/INPH. São Paulo, 2 v., 180 p., 1977.
19. SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; DOMINGUEZ, J.L.M.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira Geociências**, n. 15, 273-286, 1985.
20. TOMMASI, L.R. Efeitos patológicos dos poluentes nos organismos aquáticos. **Boletim da Fundação Brasileira de Conservação da Natureza**, v. 15, p. 142-148, 1980.
21. <http://polar.ncep.noaa.gov>. **Pesquisa**: dados de ventos, ondas e marés para o mês de abril.
22. [www.climatempo.com.br](http://www.climatempo.com.br). **Pesquisa**: dados de ventos, ondas e marés para o mês de abril.
23. [www.mar.dhn](http://www.mar.dhn). **Pesquisa**: dados de ventos, ondas e marés para o mês de abril.

*Manuscrito Recebido em: 12 de fevereiro de 2007  
Revisado e Aceito em: 3 de janeiro de 2008*