

ANÁLISE DA VARIABILIDADE DO NÍVEL DO MAR NA REGIÃO COSTEIRA CENTRO-SUL DO ESTADO DE SÃO PAULO ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA (EFEITOS DE MARÉ, VENTOS E DO CAMPO DE DENSIDADE)

Simone Seixas Picarelli & Joseph Harari

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo

simpic@usp.br & joharari@usp.br

Introdução

A região considerada neste estudo localiza-se entre as longitudes 46°24'W e 48°W e entre as latitudes 24°S e 25°12'S, estendendo-se por vários municípios do litoral do Estado de São Paulo, desde Praia Grande até Cananéia. Para o estudo foi utilizado um modelo numérico hidrodinâmico tridimensional baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987), aplicado em três grades regulares, sendo uma principal com 140 x 215 pontos e resolução de 1 Km, e duas aninhadas, com 139 x 500 e 139 x 610 pontos, ambas com resolução de 200 m. Em todas as grades foram usados 11 níveis sigma na vertical (Oey, Mellor & Hires, 1985; Galperin & Mellor, 1990; Camargo & Harari, 2003; Harari & Camargo, 2003). O modelo tem sido usado com o propósito de conhecer a região estudada em detalhes, principalmente as áreas situadas junto à costa. Nos processamentos consideram-se, isolada ou conjuntamente, os efeitos de maré, de ventos (remotos e locais), do campo de densidade e de descargas fluviais. Para os processamentos do modelo são especificadas as oscilações de maré e variações do nível médio do mar nas bordas, efeitos meteorológicos na superfície, dados de temperatura e salinidade (TS) como condições iniciais e valores de descarga fluvial para os mais expressivos rios da região (SIGRH, 2007). A figura 1 ilustra a região de estudo.

Objetivos

O modelo numérico hidrodinâmico foi utilizado tendo em vista os seguintes objetivos:

1. determinar a contribuição isolada de cada componente da circulação nos sistemas hidrodinâmicos, mas especificamente as marés, os ventos e o campo de TS;
2. determinar as variabilidades espaciais e sazonais das componentes de circulação, com ênfase nos contrastes inverno-verão;
3. avaliar a resposta do mar a efeitos meteorológicos transientes, como por exemplo a intrusão de frentes frias na plataforma sudeste brasileira.

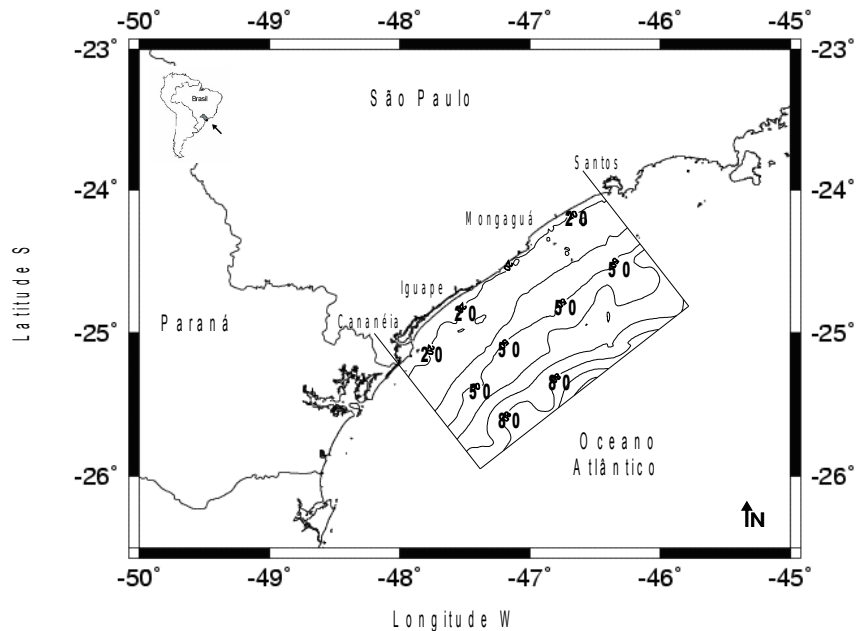


Figura 1: Região de estudo com sua batimetria (em metros).

Processamentos e Resultados

A batimetria da região foi obtida através de uma metodologia que permitiu gerar dados com pequeno espaçamento horizontal (da ordem de dezenas de metros), possibilitando ao modelo a obtenção de melhores resultados em regiões que apresentam grande variação da linha da costa. A descrição detalhada desta metodologia é dada em Picarelli (2001).

Para a especificação das oscilações de maré nos contornos das grades foi utilizado o modelo de plataforma de Harari & Camargo (1994). Dados do nível médio do mar nas bordas das grades foram estimados a partir de medições do nível do mar em estações costeiras (de Cananéia e Ubatuba), devidamente filtradas para excluir as marés, através de esquemas de médias móveis, e interpoladas no espaço. Para a especificação dos efeitos meteorológicos nas grades, os dados de ventos foram extraídos do modelo de circulação atmosférica global do *NCEP / NCAR (National Center for Environmental Prediction / National Oceanic and Atmospheric Research)* da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, disponíveis no site <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>, e interpolados para a resolução desejada (a cada hora, em cada ponto de grade). A obtenção dos campos de temperatura e salinidade foi realizada através de consulta ao banco de dados *LEVITUS94*, mantido pela *Columbia University, USA*, disponível no site <http://ingrid.ldeo.columbia.edu/SOURCES/LEVITUS94>, sendo os respectivos dados também interpolados para a resolução de grade. Valores para a descarga fluvial (m^3/s) foram fornecidos pelo banco de dados mantido pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica, da Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento do Governo do Estado de São Paulo (SIGRH, 2007).

As análises dos resultados possibilitaram a determinação da contribuição de cada uma das componentes do movimento para a circulação total, com ênfase em suas variabilidades espaciais, no contraste inverno/verão, bem como a resposta do mar à intrusão de frentes frias na plataforma.

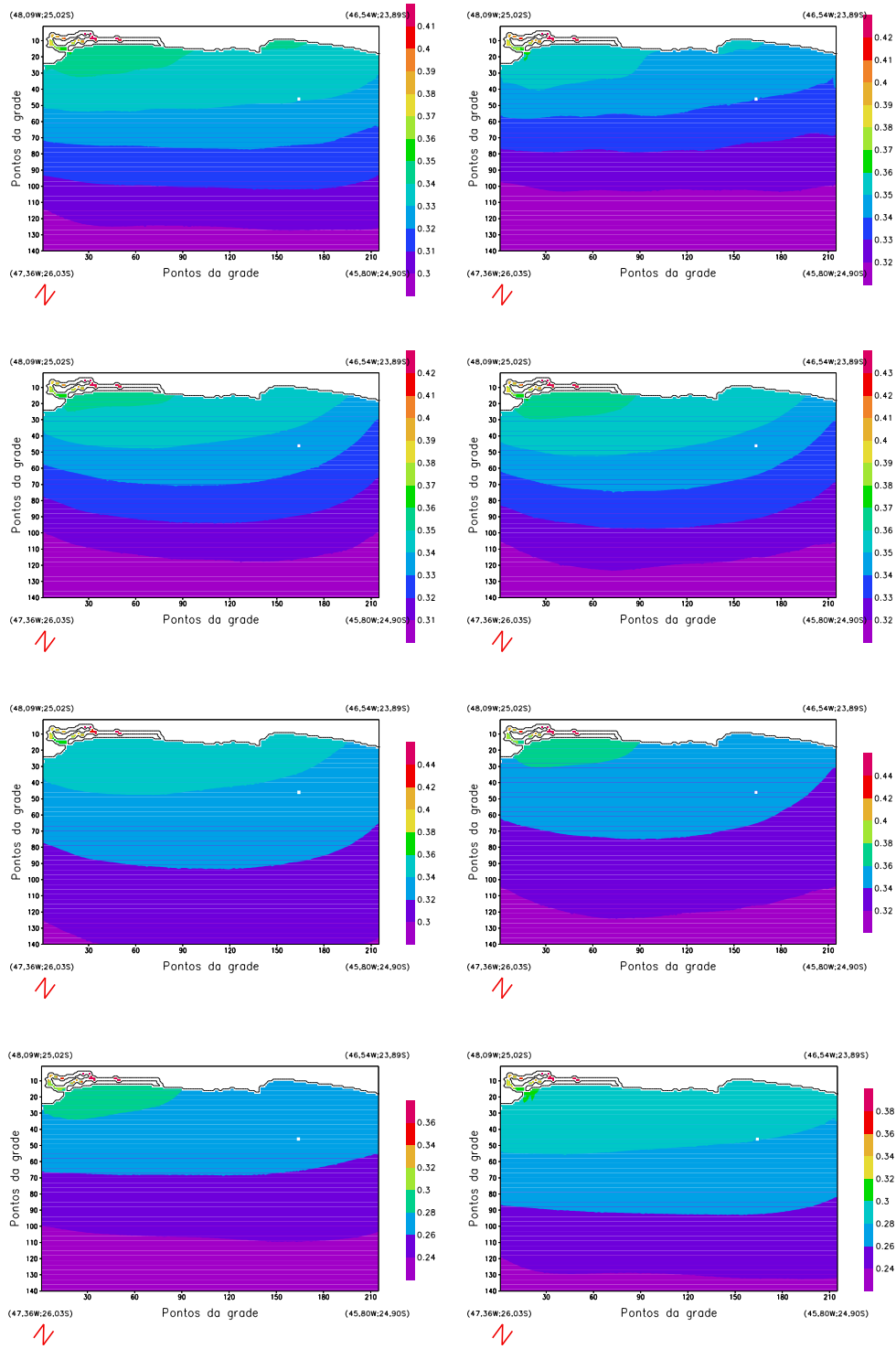


Figura 2: Variabilidade da elevação da superfície em relação à média (m), para a grade principal, em condições de inverno (esquerda) e verão (direita), considerando, de cima para baixo: (1) efeitos isolados de maré; (2) efeito conjunto de maré, nível médio do mar e ventos; (3) efeito conjunto de maré, nível médio, ventos e campo de densidade; (4) efeito conjunto de maré, nível médio, ventos, campo de densidade e descarga fluvial.

A figura 2 mostra mapas das variabilidades do nível do mar em relação à média (m) considerando efeitos de maré, ventos, TS e descarga fluvial. Esses resultados mostram que o nível do mar, de um modo geral, apresenta variabilidades médias de cerca de 24cm ao largo e 28cm junto à costa, quando considerados efeitos isolados de maré; para esta forçante, no interior do estuário de Iguape-Cananéia nota-se uma amplificação, atingindo cerca de 36cm. Quando os efeitos dos ventos são considerados, nota-se um aumento na variabilidade da elevação da superfície de cerca de 6cm em relação à maré, tanto no inverno quanto no verão. A inclusão dos efeitos da distribuição de densidade e descarga fluvial não mostrou alterações significativas na variabilidade do nível do mar. Por outro lado, efeitos meteorológicos transientes extremos podem causar variabilidades do nível do mar maiores que as de maré.

Os processamentos realizados permitem também estimar as variabilidades de correntes, de forma análoga ao nível do mar. Mapas instantâneos dos padrões de circulação de superfície, considerando o efeito isolado das marés (t), bem como a inclusão de efeitos meteorológicos remotos e locais (tw), são mostrados a seguir, nos seguintes instantes:

- 00 h GMT de 18/07/2001, considerando ventos típicos de E-NE, no inverno;
- 18 h GMT de 28/01/2002, considerando ventos típicos de E-NE, no verão;
- 02 h GMT de 12/07/2001, considerando ventos de S-SW (máximo da passagem de frente fria), no inverno;
- 12 h GMT de 16/01/2002, considerando ventos de S-SW (máximo da passagem de frente fria), no verão.

Estes resultados evidenciam como efeitos meteorológicos transientes extremos mudam significativamente os padrões de circulação da região, sendo estas mudanças mais acentuadas que as causadas pela inclusão do campo de densidade ou mesmo descargas fluviais nos processamentos do modelo.

As figuras abaixo mostram mapas instantâneos da circulação de superfície considerando o efeito isolado das marés (t), bem como o efeito conjunto de marés e ventos, tanto remotos como locais (tw). As figuras 3 (a,b) consideram a região de estudo como um todo (grade principal) e as figuras 4 (a,b) mostram os resultados para o estuário de Cananéia-Iguape, dando ênfase à Barra de Cananéia.

Os padrões de circulação apresentados indicam que há uma mudança significativa nas correntes de superfície quando efeitos meteorológicos (remotos e locais) são considerados (tw). Há uma tendência de alinhamento das correntes com a direção e sentido de propagação dos ventos, efeito notadamente marcante nos períodos de passagem de frente fria (ventos de S-SW), chegando mesmo a haver uma reversão no sentido das correntes na simulação de verão. Maiores detalhes sobre os processamentos realizados e seus resultados podem ser obtidos em Picarelli (2006).

Essas comparações demonstram a potencialidade da modelagem implementada, a qual pode ser usada para diversas situações de interesse, como por exemplo, a previsão operacional da circulação na região e a estimativa da dispersão de poluentes despejados no mar.

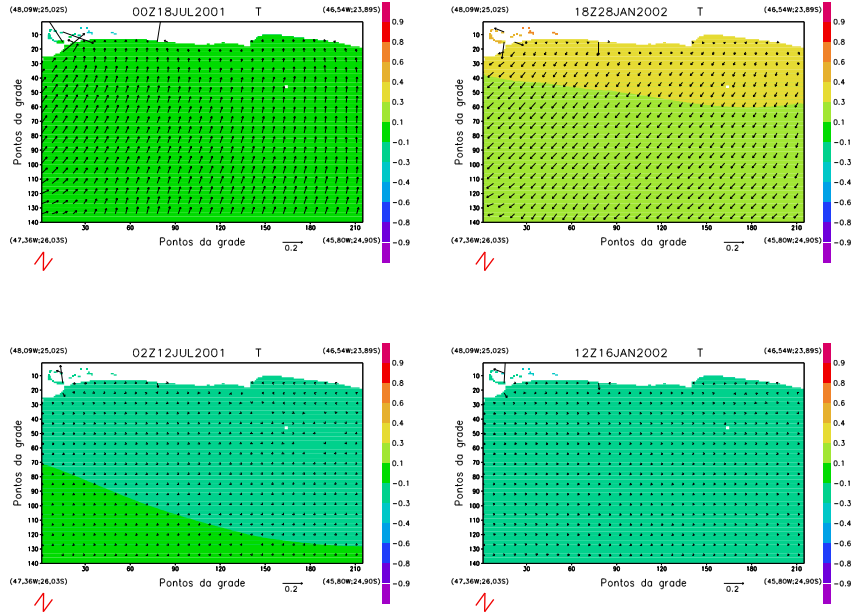


Figura 3a: Mapas instantâneos dos padrões de circulação na superfície, para a grade principal, considerando o efeito isolado das marés (t), em períodos com ventos típicos de E-NE (acima) e ventos de S-SW (abaixo), para inverno (esquerda) e verão (direita).

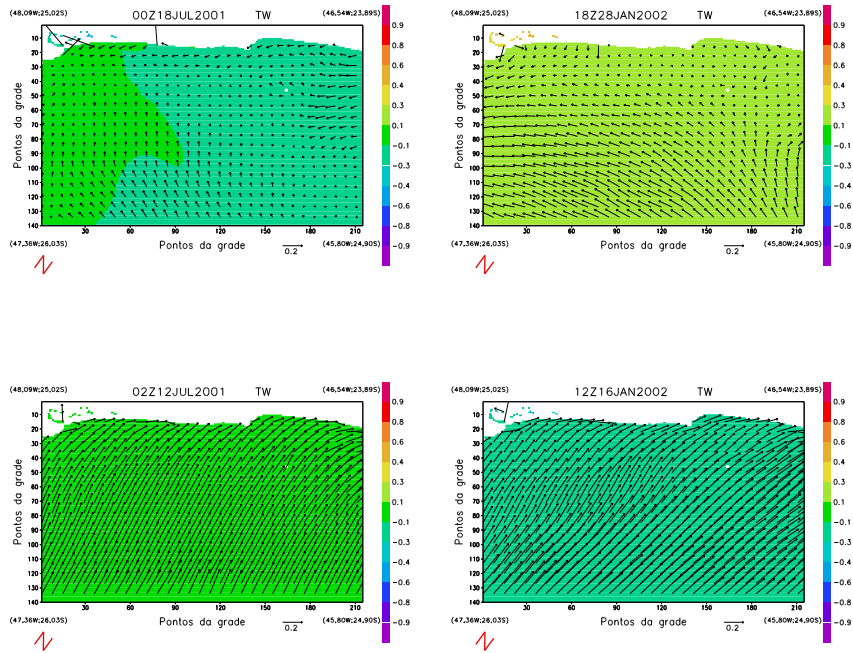


Figura 3b: Mapas instantâneos dos padrões de circulação na superfície, para a grade principal, considerando o efeito conjunto das marés e ventos (tw), considerando ventos típicos de E-NE (acima) e ventos de S-SW (abaixo), para inverno (esquerda) e verão (direita).

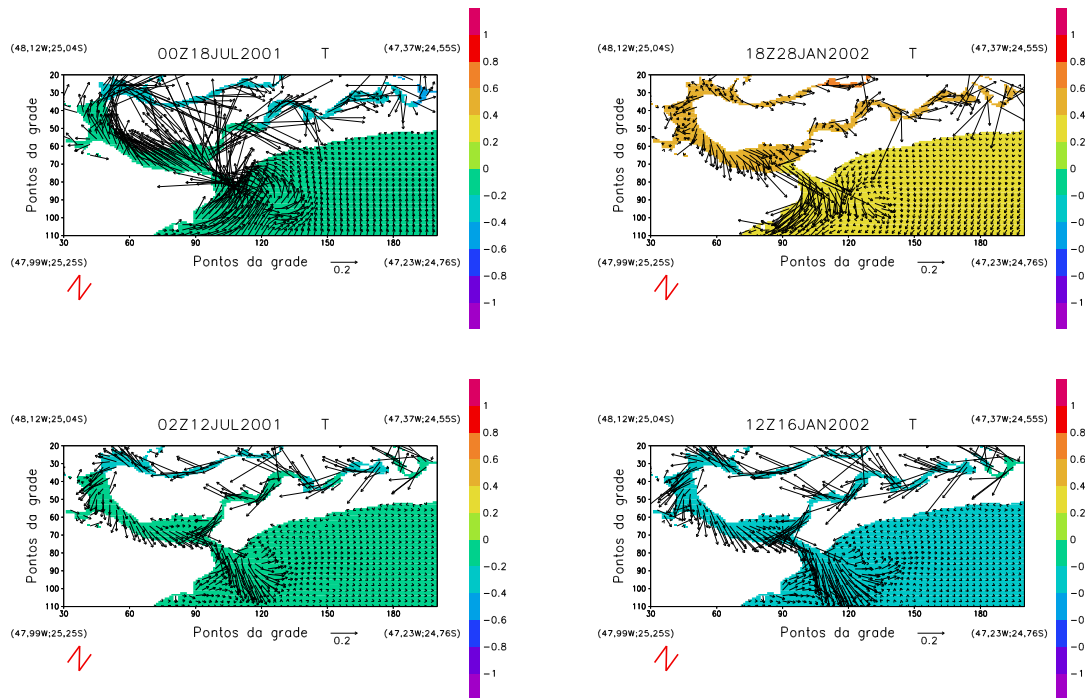


Figura 4a: Mapas instantâneos dos padrões de circulação na superfície, para o estuário de Cananéia-Iguape, com ênfase à Barra de Cananéia, considerando o efeito isolado das marés (t), em períodos com ventos típicos de E-NE (acima) e ventos de S-SW (abaixo), para inverno (esquerda) e verão (direita).

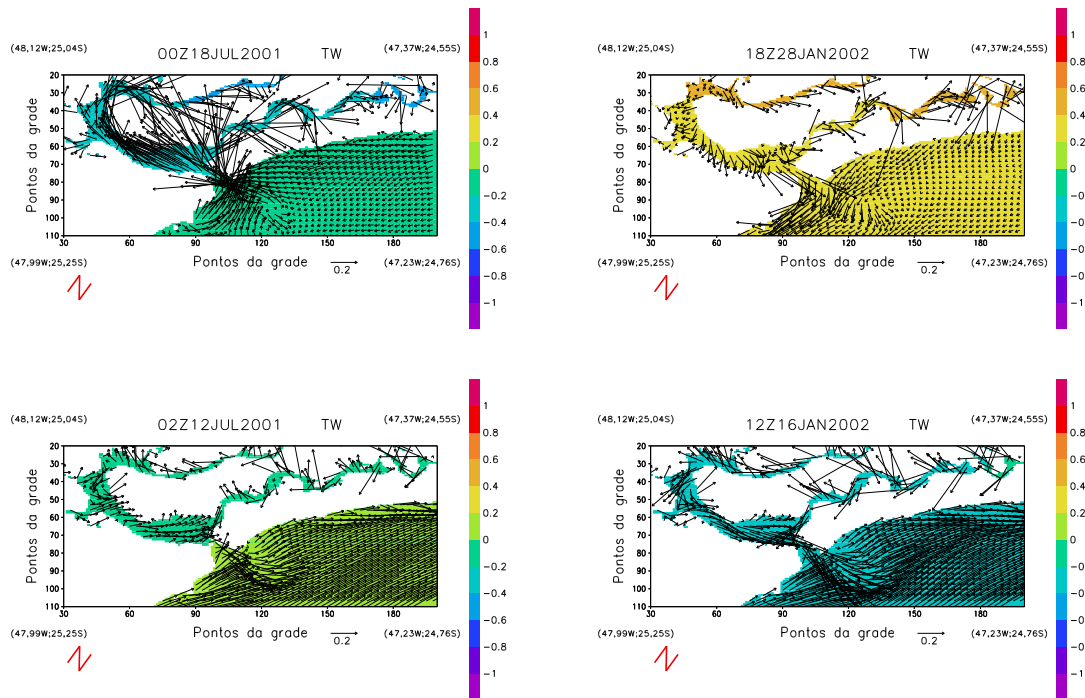


Figura 4b: Mapas instantâneos dos padrões de circulação na superfície, para o estuário de Cananéia-Iguape, com ênfase à Barra de Cananéia, considerando o efeito conjunto das marés e ventos (tw), considerando ventos típicos de E-NE (acima) e ventos de S-SW (abaixo), para inverno (esquerda) e verão (direita).

Bibliografia

Blumberg, A. F. & G. L. Mellor. 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: Heaps, N. S. ed. Three-Dimensional Coastal Ocean Models. Coastal and Estuarine Sciences, 4: 1-16.

Camargo, R. and J Harari. 2003., Modeling the Paranagua Estuarine Complex, Brazil: tidal circulation and cotidal charts. Brazilian Journal of Oceanography, 51 (1), 23 – 31.

Galperin, B. & G. L. Mellor. 1990. A time-dependent, three-dimensional model of the Delaware Bay and River System. Part I: Description of the model and tidal analysis. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 31: 231-255.

Harari, J. & R. Camargo. 1994. Simulação da propagação das nove principais componentes de maré na plataforma sudeste brasileira através de modelo numérico hidrodinâmico. Bolm Inst. oceanogr., S. Paulo, 42(1): 35-54.

Harari, J. & R. de Camargo. 2003. Numerical simulation of the tidal propagation in the coastal region of Santos (Brazil, 24°S 46°W. Cont. Shelf Res., 23(16), 1597-1613.

Oey, L. Y.; Mellor, G. L. & Hires, R. I. 1985. Tidal modelling of the Hudson- Raritan Estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, nº 20, p. 511-527.

Picarelli, S. S. 2001. Modelagem numérica da circulação de maré na região costeira centro-sul do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IOUSP, 116p.

Picarelli, S. S. 2006. Análise da hidrodinâmica da região costeira centro-sul do Estado de São Paulo através de modelagem numérica – efeitos de maré, de ventos e do campo de densidade. Tese de Doutorado, IOUSP, 127p.

SIGRH 2007. <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/flu>