

# Modelagem Numérica da Dinâmica da Plataforma Continental de São Paulo em Relação a Forçante de Vento Remota

Rafaela Farias do Nascimento

Projeto apresentado ao Programa de  
Pós Graduação em Oceanografia  
Física em nível de mestrado,  
sob orientação do Professor Doutor  
Belmiro Mendes de Castro Filho

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo  
São Paulo  
2014

# Modelagem Numérica da Dinâmica da Plataforma Continental de São Paulo em Relação a Forçante de Vento Remota

Rafaela Farias do Nascimento

Projeto apresentado ao Programa de  
Pós Graduação em Oceanografia  
Física em nível de mestrado,  
sob orientação do Professor Doutor  
Belmiro Mendes de Castro Filho

Ciência do orientador: \_\_\_\_\_

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo  
São Paulo  
2014

# 1. Introdução

Inserida na Plataforma Continental Sudeste (Figura 1), que está localizada entre o Cabo de Santa Marta e Cabo Frio, a Plataforma Continental de São Paulo (PCSP) tem profundidades em torno de 200 metros, em sua região mais externa. Com largura entre 150 e 200 km possui um declive suave, da ordem de 1/1000, sendo um pouco mais estreita ao largo da Ilha de São Sebastião. Caracterizada por seu intenso tráfego de navios de carga, pois abriga portos e terminais de óleo, a região costeira da PCSP é intensamente utilizada por turistas com fins recreativos. Além disso, a exploração de seus recursos naturais e das adjacências tende a incrementar ainda mais as atividades humanas em suas águas.

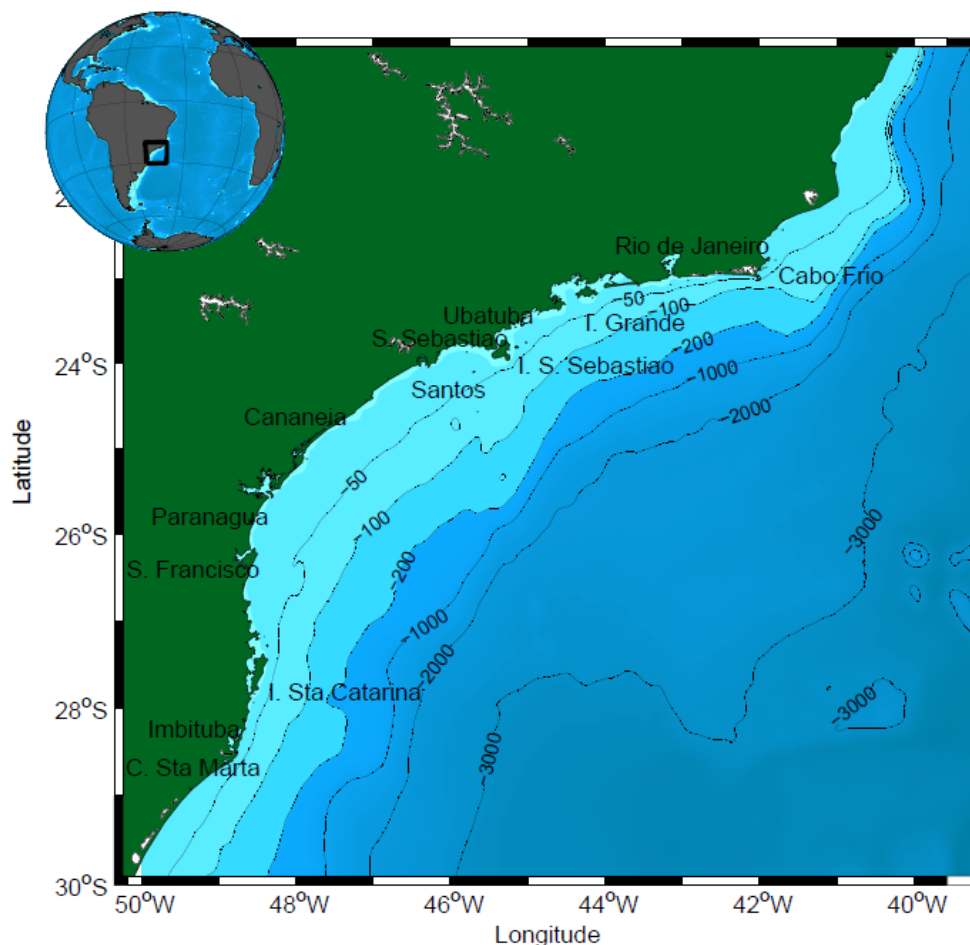


Figura 01 – Plataforma Continental Sudeste, onde insere-se a Plataforma Continental de São Paulo, PCSP. Figura extraída de Mazzini [2009].

Em termos dinâmicos, as componentes diurnas (O1 e K1) e semi-diurnas (M2

e S2) dominam o movimento de marés (Mesquita e Harari [2003]) e, na escala subinercial, o cisalhamento do vento associado ao Centro de Alta Pressão do Atlântico Sul e a passagem de sistemas meteorológicos frontais, conhecidos como frentes frias, são os principais responsáveis pela geração de movimentos na região (e.g. Emilsson [1962]; Kvinge [1967]; Castro [1990]; Dottori e Castro [2009]).

Concentrando a atenção nos movimentos subinerciais, estudos de Castro [1996] e, mais recentemente, Dottori e Castro [2009], mostraram que para tal faixa do espectro a dinâmica é essencialmente barotrópica na região, e estimaram a contribuição do modo barotrópico na variabilidade dos movimentos subinerciais na região em mais de 90%, de maneira geral. Além dos movimentos horizontais gerados pelo vento local, também são observadas variações no nível do mar geradas por forçantes remotas associadas à Ondas de Plataforma Continental (Castro e Lee [1995]).

No estudo de Dottori e Castro [2009] também fica claro que os ventos locais são responsáveis por boa parte dos movimentos subinerciais na região, uma vez que os autores mostraram a existência de uma correlação alta entre o vento local e as correntes paralelas à costa, sugerindo fortemente uma relação de causalidade entre os ventos e correntes locais. Ainda assim, resta compreender as causas de uma fração considerável, pelo menos 50% da variabilidade das correntes subinerciais onde as forçantes remotas poderiam desempenhar um papel significativo, conforme demonstrado por Castro e Lee [1995], para oscilações da superfície do mar.

Por ser uma região costeira localizada à oeste do Oceano Atlântico, a dinâmica de suas águas pode ser influenciada, também, pelo sinal remoto proveniente do sul através da propagação de ondas de Kelvin costeiras além das já mencionadas ondas de plataforma continental. Além disso, ondas de Rossby que possuam comprimento de onda e frequência adequados também poderiam propagar o sinal proveniente do oceano aberto, eventualmente penetrando na PCSP e induzindo movimentos em suas águas.

Considerando-se a importância da PCSP face ao incremento da exploração e utilização de suas águas é importante avançar na compreensão da dinâmica subinercial no que se refere às forçantes remotas, muito pouco

compreendidas no atual momento.

## 2. Objetivos

A hipótese de trabalho deste projeto é que ventos sinóticos, situados ao sul da PCSP, são capazes de excitar ondas subinerciais que se propagam em direção ao equador e são confinadas na plataforma continental. Assim, o principal objetivo desta proposta é estudar como os processos remotos subinerciais, principalmente os processos gerados ao sul de São Paulo, são capazes de influir na dinâmica das águas da PCSP.

Para isso, serão utilizados recursos de modelagem numérica onde, de maneira mais específica, este projeto tem os seguintes objetivos específicos:

- Estudar a influência dos ventos associados às frentes frias ao sul da PCSP na geração de movimentos na região e como este sinal é propagado em direção ao norte.
- Verificar a correlação entre as correntes subinerciais e as variações do nível do mar na costa.
- Verificar quais as situações capazes de provocar uma maior elevação do nível do mar junto à costa.

Cabe ressaltar que este projeto pretende colaborar com estudos para a região à respeito dos processos remotos capazes de interferir na dinâmica da PCSP e a real importância desses processos, uma vez que estudos pretéritos pouco avançaram a respeito desse tema.

## 3. Base de Dados

Este projeto utilizará dados de batimetria, ventos, temperatura e salinidade provenientes de várias bases de dados distintas.

### 3.1. Vento

Os dados de satélite de vento *QuikSCAT* serão utilizados neste projeto. A

base de dados a ser utilizada tem uma resolução temporal de 12 horas e espacial de 0.25o. Estas séries temporais tiveram início no segundo semestre de 1999. Uma descrição detalhada sobre esta base de dados pode ser obtida no endereço eletrônico <http://podaac.jpl.nasa.gov>.

### 3.2. Salinidade e Temperatura

Para os experimentos numéricos de verão (ver próxima seção), será utilizada a climatologia de temperatura e salinidade obtida por Rezende [2003], mais adequada aos propósitos deste estudo. Os experimentos numéricos de inverno utilizarão as climatologias do World Ocean Atlas - 2005 (Locarnini et al. [2006]; Antonov et al. [2006]), combinadas com as climatologias estabelecidas por Castro e Miranda [1998] e Amor [2004].

### 3.3. Batimetria

Serão utilizadas cartas náuticas digitalizadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para implementar a batimetria nos experimentos numéricos. Embora seja comum a utilização da base de dados *ETOPO* em áreas oceânicas, existem feições geomorfológicas costeiras nesta base de dados não condizentes com a PCSE (Rezende [2003]), justificando uma outra abordagem para a batimetria.

## 4. Métodos

A análise através da modelagem numérica pretende simular situações específicas e não observadas na natureza capazes de elucidar as diferenças entre as forçantes locais e remotas. O foco da modelagem numérica será na geração e propagação de ondas de plataforma continental, uma vez que já foram observadas no estudo de Castro e Lee [1995] e as dimensões envolvidas não propiciam o surgimento de ondas de Kelvin costeiras.

O modelo a ser utilizado nesta abordagem é o *SeCom*, que será executado em uma grade curvelínea estendendo-se desde o sul do estado de Santa Catarina até Cabo Frio, no Rio de Janeiro, incluindo a plataforma continental, isto é, com profundidades até 200 metros, o Talude e parte do oceano aberto.

A única forçante do modelo será o cisalhamento do vento, o qual incluirá tanto os efeitos do Centro de Alta Pressão do Atlântico Sul, com ventos, em geral, na direção NE-SO, quanto os ventos intermitentes das frentes frias, com direção contrária aos anteriormente mencionados.

A configuração do modelo numérico seguirá, a princípio, padrões similares aos utilizados por Martínez e Allen [2004] como, por exemplo, um espaçamento da ordem de 3 km, tempo de integração de 3 segundos para o modo externo e 120 segundos para o modo interno e em torno de 50 níveis verticais.

Ao longo da quebra da plataforma, isto é, o limite externo da grade curvilínea, será estipulado a velocidade perpendicular nula e valores climatológicos para temperatura e salinidade, permitindo, mesmo não havendo trocas entre o oceano aberto e a plataforma continental.

Na superfície serão desconsiderados os fluxos de água doce e calor e, portanto, variações das propriedades hidrográficas serão possíveis, apenas, através de advecção e mistura.

Junto à costa será estipulado, da mesma maneira que no limite mais profundo, velocidade perpendicular nula. Desta maneira, cria-se um corredor por onde as águas da PCSP deverão circular, apesar do limite exterior do domínio funcionar como uma fonte/sorvedouro de sal e calor.

Embora esta configuração seja bastante restritiva, ela não compromete o surgimento de ondas de plataforma continental, principal foco deste estudo. Assim, mesmo que algumas características dinâmicas não possam ser reproduzidas, os principais fenômenos a serem estudados deverão ser observados no modelo.

Os outros dois limites do domínio terão condições de contorno determinadas pela climatologia para salinidade e temperatura. Para a velocidade será utilizada a condição radiativa de Orlanski, de maneira similar as simulações de Martínez e Allen [2004].

As condições iniciais serão dadas por valores médios das propriedades e, num primeiro momento, será executado por um período relativamente longo

usando-se como forçante de vento valores sazonais médios para toda a grade, dependendo do período a ser analisado. Esta inicialização do modelo servirá para gerar uma dinâmica estável e será usada como referência para as simulações com frentes frias.

Apesar de o sinal subinercial na PCSP manter características barotrópicas tanto para o verão quanto para o inverno (Dottori e Castro [2009]), serão executados experimentos para ambos os períodos, uma vez que não há garantias da barotropicidade do sistema fora da PCSP.

A execução desta parte do projeto será realizada em 2 etapas distintas que são a implementação do modelo e a simulação de experimentos sensitivos, descritas logo abaixo.

#### 4.1 Etapa 1: Implementação do modelo

- Implementação técnica do modelo numérico, incluindo batimetria, topografia da costa e grade do modelo.
- Determinação da climatologia dos ventos na região utilizando dados de satélite.
- Implementação das propriedades médias hidrográficas para inicialização do modelo utilizando-se a base de dados de Rezende [2003].
- Simulação de controle utilizando-se valores médios e invariáveis no tempo para gerar uma dinâmica estável e que servirá de referência para os experimentos sensitivos.
- Ajuste do modelo, caso necessário, para a geração de ondas de plataforma continental.

#### 4.2 Etapa 2: Experimentos sensitivos de verão e inverno

- Simulação com uma frente fria estacionária situada na PCSP.
- Simulação com uma frente fria estacionária ao sul da PCSP.
- Simulação com uma frente fria deslocando-se ao longo da costa.
- Simulação com uma frente fria deslocando-se ao longo da costa, mas bloqueada ao sul da PCSP.



- Simulação com uma oscilação ao largo da PCSP, em diferentes posições, para se verificar a influência do oceano aberto na PCSP.

O modelo teórico de frente fria sugerido por Coelho [2007] será utilizado nas simulações da 2ª etapa. Neste modelo, Coelho analisou o comportamento de 12 frentes frias entre os anos de 1998 e 2005, a partir de cartas sinóticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), determinando velocidade de propagação das frentes e velocidade e direção dos ventos.

Com estas simulações, pretende-se separar os movimentos gerados por forçantes locais dos movimentos gerados por forçantes remotas, através da comparação entre as várias simulações sensitivas, criando um quadro mais amplo na compreensão da dinâmica subinercial da PCSP.

## 5. Cronograma

Este projeto será executado em um período de 2 anos. O cronograma de trabalho segue abaixo.

### 5.1. Embasamento teórico e prático

- Março à Dezembro de 2014: Embasamento teórico e prático durante o curso das disciplinas (IOC-5815-2 e IOC-5811-1) Dinâmica de Fluidos Geofísicos I e II, (IOC-5802-2) Aplicações de Altimetria de Satélite em Oceanografia Física, (IOC-5920-1) Laboratório de Dinâmica do Fluido Geofísico e (IOC-5809-1) Hidrodinâmica da Plataforma Continental.

### 5.2. Modelagem Numérica

- Setembro e Outubro de 2014: Fase inicial da implementação do modelo numérico, incluindo toda a configuração básica para inicialização.
- Outubro a Dezembro de 2014: Determinação de toda climatologia e campos médios para inicialização do modelo.
- Janeiro e Fevereiro de 2015: Simulação de controle que será usada como referência.
- Fevereiro à Junho de 2015: Simulações dos experimentos sensitivos.

- Julho à Dezembro de 2015: Análise dos resultados das simulações.
- Janeiro à Março de 2016: Redação da dissertação de mestrado e de artigos científicos referentes aos resultados da modelagem numérica.

## 6. Referências

- Amor, C.C. Intrusões da água Central do Atlântico Sul sobre a plataforma continental situada entre a Ilha de São Sebastião (SP) e o Cabo de São Tomé (RJ). PhD thesis, Instituto Oceanográfico da USP, 2004.
- Antonov, J. I., R. A. Locarnini, T. P. Boyer, A. V. Mishonov, and H. E. Garcia. World Ocean Atlas 2005, Volume 2: Salinity . NOAA Atlas NESDIS 62, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2006.
- Castro, B. M. Wind driven currents in the channel of São Sebastião: winter, 1979. Boletim do Instituto Oceanográfico , 38(2):111\_132, 1990.
- Castro, B.M. Correntes e massas de água da Plataforma Continental Norte de São Paulo. Tese de livre docência, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1996.
- Castro, B.M. and T. N. Lee. Wind-forced sea level variability on the South-east Brazilian Shelf. J. Geophys. Res., 100(C8):16,045\_16,056, 1995.
- Castro, B.M. and L.B. Miranda. Hydrographic properties in the São Sebastião Channel: Daily variations observed in March, 1980. Revista Brasileira de Oceanografia , 46(2):111\_123, 1998.
- Coelho, A.L. Resposta da Plataforma Continental Sudeste a ventos sazonais e sinóticos de verão: estudos numéricos. PhD thesis, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2007.
- Dottori, M. and B.M. Castro. The response of the Sao Paulo Continental Shelf, Brazil, to synoptic winds. Ocean Dynamics, 59(4):603\_614, 2009.
- Emilsson, I. As correntes marítimas no Canal de São Sebastião. Ciência e Cultura, 14(4):269\_270, 1962.

- Kvinge, T. On the special current and water level variations in the Channel of São Sebastião. *Boletim do Instituto Oceanográfico* , 16(1):23\_28, 1967.
- Locarnini, R.A., A. V. Mishonov, J. I. Antonov, T. P. Boyer, and H. E. Garcia. World Ocean Atlas 2005, Volume 1: Temperature . NOAA Atlas NESDIS 61, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2006.
- Martínez, J.A. and J.S. Allen. A modeling study of coastal-trapped wave propagation in the Gulf of California. part 1: Response to remote forcing. *jpo*, 34:1313\_1331, 2004. doi: 10.1175/1520-0485(2004)034.
- Mazzini, P. L. F. Correntes subinerciais na plataforma continental interna entre Peruíbe e São Sebastião: observações. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, São Paulo, 112pp., 2009
- Mesquita, A.R. and J. Harari. On the harmonic constants of tides and tidal currents of the South-Eastern Brazilian Shelf. *Continental Shelf Research* , 23:1227\_1237, 2003. doi: 10.1016/S0278-4343(03)00107-9.
- Rezende, J.H.M. Intrusões da Água Central do Atlântico Sul na Plataforma Continental Sudeste Durante o Verão . PhD thesis, Instituto Oceanográfico da USP, 2003.