

ANEXO II.6-2 - MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sul-Sudeste Brasileira

**Revisão 01
Janeiro / 2011**



A **ASA South America** é responsável pelo conteúdo do presente relatório incluindo: tecnologias, metodologias, especificações técnicas, desenhos, figuras, cópias, diagramas, fórmulas, modelos, amostras, e fluxogramas.

A utilização deste material deverá ser compatível com o escopo do projeto/trabalho contratado, fazendo-se expressa menção ao nome da **ASA South America** como autora do estudo. Da mesma forma, quando a equipe técnica da **ASA** for incorporada na equipe técnica da empresa contratante, esta deverá ser mencionada, e referenciada, como: “consultores da **ASA South America**”. Qualquer dúvida ou alteração desta conduta deverá ser discutida entre o cliente e a **ASA South America**.

ASA (Applied Science Associates South America), 2011. Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sul-Sudeste Brasileira. Relatório Técnico, Revisão 01 (janeiro de 2011). 56pp+Anexos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	I-2
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO	I-2
I.1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO	I-6
II MODELAGEM HIDRODINÂMICA	II-1
II.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA	II-1
II.1.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS	II-1
II.1.2 PROCEDIMENTOS DE AQUECIMENTO (WARM UP) DO MODELO.....	II-2
II.1.3 DADOS DE ENTRADA	II-3
II.1.3.1 MARÉS	II-3
II.1.3.2 VENTOS	II-4
II.1.3.3 ESTRUTURA TERMOHALINA	II-5
II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO.....	II-6
III AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	III-10
III.1 AVALIAÇÃO PARA A MARÉ	III-12
III.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES	III-13
IV CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM.....	IV-1
V BIBLIOGRAFIA	V-1
VI EQUIPE TÉCNICA	VI-1
ANEXO A - DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR	A-1
ANEXO B - DESCRIÇÃO DO MODELO PRINCETON OCEAN MODEL	B-1
ANEXO C - JUSTIFICATIVA PARA A ESCOLHA DO ANO 1992.....	C-1
ANEXO D - DESCRIÇÃO DO OCCAM.....	D-1

LISTA DE TABELAS

Tabela III-1 - Classificação do RMAE por ranges.....	III-14
Tabela III-2 - Classificação do RMAE por ranges para os resultados da modelagem para o Ponto PC.....	III-20

LISTA DE FIGURAS

Figura I-1 - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de verão (janeiro a março).....	I-3
Figura I-2 - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de inverno (junho a agosto).....	I-4
Figura I-3 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo).....	I-5
Figura I-4 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18 GMT (deslocamento de um sistema frontal).....	I-5
Figura I-5 - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).....	I-7
Figura I-6 - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (extraído de Godoi, 2005).....	I-8
Figura I-7 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente M_2	I-9
Figura II-1 - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré M_2 , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-4
Figura II-2 - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.....	II-5
Figura II-3 - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. A salinidade é apresentada como isohalinas e a temperatura (°C) é apresentada através dos tons de cores.....	II-6
Figura II-4 - Grade computacional do modelo hidrodinâmico para todo o domínio considerado na modelagem.	II-7
Figura II-5 - Mapa com a resolução dos elementos ao longo das linhas de grade orientadas, aproximadamente, paralelas à linha de costa. Intervalo entre as classes: 2 km. Mapa produzido pela função fill do Ferret.	II-9

Figura II-6 - Mapa com a resolução dos elementos ao longo das linhas de grade orientadas, aproximadamente, perpendiculares à linha de costa. Intervalo entre as classes: 2 km. Mapa produzido pela função fill do Ferret.	II-10
Figura III-1 - Localização dos dados utilizados na avaliação da modelagem hidrodinâmica.	III-11
Figura III-2 - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.	III-13
Figura III-3 - Série temporal das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 10 de agosto e 24 de setembro de 1992 para o Ponto PC.	III-15
Figura III-4 - Espectro de amplitudes da componente u da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 10 de agosto e 24 de setembro de 1992 para o Ponto PC.	III-16
Figura III-5 - Espectro de amplitudes da componente v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 10 de agosto e 24 de setembro de 1992 para o Ponto PC.	III-16
Figura III-6 - Série temporal das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 8 de fevereiro e 29 de março de 1992 para o Ponto PC.	III-17
Figura III-7 - Espectro de amplitudes da componente u da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 8 de fevereiro e 29 de março de 1992 para o Ponto PC.	III-18
Figura III-8 - Espectro de amplitudes da componente v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 8 de fevereiro e 29 de março de 1992 para o Ponto PC.	III-19
Figura III-9 - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto PC (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.	III-21
Figura IV-1 - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir dos resultados do POM. A linha preta indica a posição das secções transversais apresentadas na figura IV-2.	IV-2
Figura IV-2 - Secções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para janeiro de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura IV-1.	IV-3

Figura IV-3 - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir dos resultados do POM. A linha preta indica a posição das secções transversais apresentadas na figura IV-4. IV-4

Figura IV-4 - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para julho de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura IV-3. IV-5

Figura C-1 - Mapa com a localização dos dados de reanálise do NCEP/NCAR (20°S e 40°W) no nível de 925 hPa, utilizados nas estatísticas para o período de 1987 a 2007. ... 2

RESUMO

Este relatório apresenta a implementação de um campo hidrodinâmico para a região sul-sudeste do Brasil. Nesta região o padrão de circulação superficial está relacionado à Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude, e em região oceânica, há o predomínio da CB.

A base hidrodinâmica obtida foi validada para o ponto de medição de corrente disponível na região de estudo, reproduzindo, no período considerado, os principais padrões de circulação oceânica observados. Seu desenvolvimento foi conduzido através da utilização de um modelo numérico hidrodinâmico, baseado no código de domínio público do *Princeton Ocean Model* (POM). Este modelo foi adaptado e implementado para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (com enfoque na Bacia de Campos).

/ INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como finalidade apresentar a implementação de um modelo numérico hidrodinâmico para a região sul-sudeste do Brasil.

A base hidrodinâmica obtida foi validada para o ponto de medição de correntes fornecidas pela PETROBRAS, reproduzindo, no período comparado, os principais padrões de circulação oceânica da região de estudo. Seu desenvolvimento foi conduzido através da utilização de um modelo numérico hidrodinâmico, baseado no código de domínio público do *Princeton Ocean Model*¹. Este modelo foi adaptado e implementado para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (Baía de Campos).

Especificamente neste trabalho, foram adotados como forçantes principais o campo de vento proveniente de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP e NCAR². As forçantes de borda foram extraídas do CSR3³ para marés e as variáveis baroclínicas necessárias, do experimento de modelagem global OCCAM⁴.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados de campo disponíveis na região de interesse. Estas comparações, assim como as ilustrações do campo e uma discussão sobre a acurácia, representatividade e limitações dos mesmos são apresentadas neste texto.

O Capítulo I, além de discutir o propósito do estudo, apresenta uma síntese das características meteorológicas e oceanográficas da área de estudo. A modelagem hidrodinâmica é descrita no Capítulo II. O Capítulo III apresenta as condições iniciais e a avaliação da modelagem. Por fim, o Capítulo IV apresenta as considerações finais para o presente estudo.

¹ *Princeton Ocean Model*.

² *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* e *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, disponibilizados pelo Climate Diagnostics Center (CDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Obtido em <<http://www.esrl.noaa.gov/psd>>.

³ *Center for Space Research* da Universidade do Texas (www.csr.utexas.edu); as principais componentes harmônicas de marés estão disponíveis para acesso em <http://www.astro.oma.be/ICET/Ocean_tides_models/> (acesso em 28 de fevereiro de 2008).

⁴ *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling* (<http://www.noc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM/>) (disponibilização de dados em <http://www.noc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM/EMODS/> último acesso em: 28/maio/2007).

O Anexo A apresenta a descrição dos dados atmosféricos de reanálise do NCEP/NCAR; o Anexo B descreve o modelo hidrodinâmico POM; o Anexo C apresenta a justificativa para a escolha do ano de 1992 como ano de referência para as modelagens, e o Anexo D a descrição do modelo OCCAM, cujos resultados foram utilizados como forçantes e condições de contorno para o POM.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

A seguir, apresenta-se a descrição sumarizada das características meteorológicas e oceanográficas em suporte ao estudo de modelagem hidrodinâmica.

I.1.1 Características Meteorológicas da Região

A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste do Brasil é dominada pela ação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela passagem de sistemas frontais sobre a região e por circulações locais, como circulações associadas à topografia e à brisa marítima.

A circulação atmosférica da região de interesse é dominada pela ação da ASAS, pela passagem de sistemas frontais e por circulações locais. Nesta região, a variabilidade sazonal no padrão do vento é basicamente associada ao deslocamento da ASAS e o vento predominante na região é de NE. As figuras I-1 e I-2 apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 – 2001) de reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal do posicionamento da ASAS e conseqüentemente no padrão de ventos gerados por esse sistema. Vale ressaltar que estes dados provenientes do modelo NCEP/NCAR são resultados de simulações numéricas que utilizam o estado-da-arte em assimilação de dados em conjunto com a mais extensa base de dados disponível. Esta base de dados tem sido aprimorada e beneficiada pela inclusão

de observações (coleta de dados) realizadas em diversos países. Maiores detalhes sobre os dados NCEP/NCAR são apresentados no Anexo A.

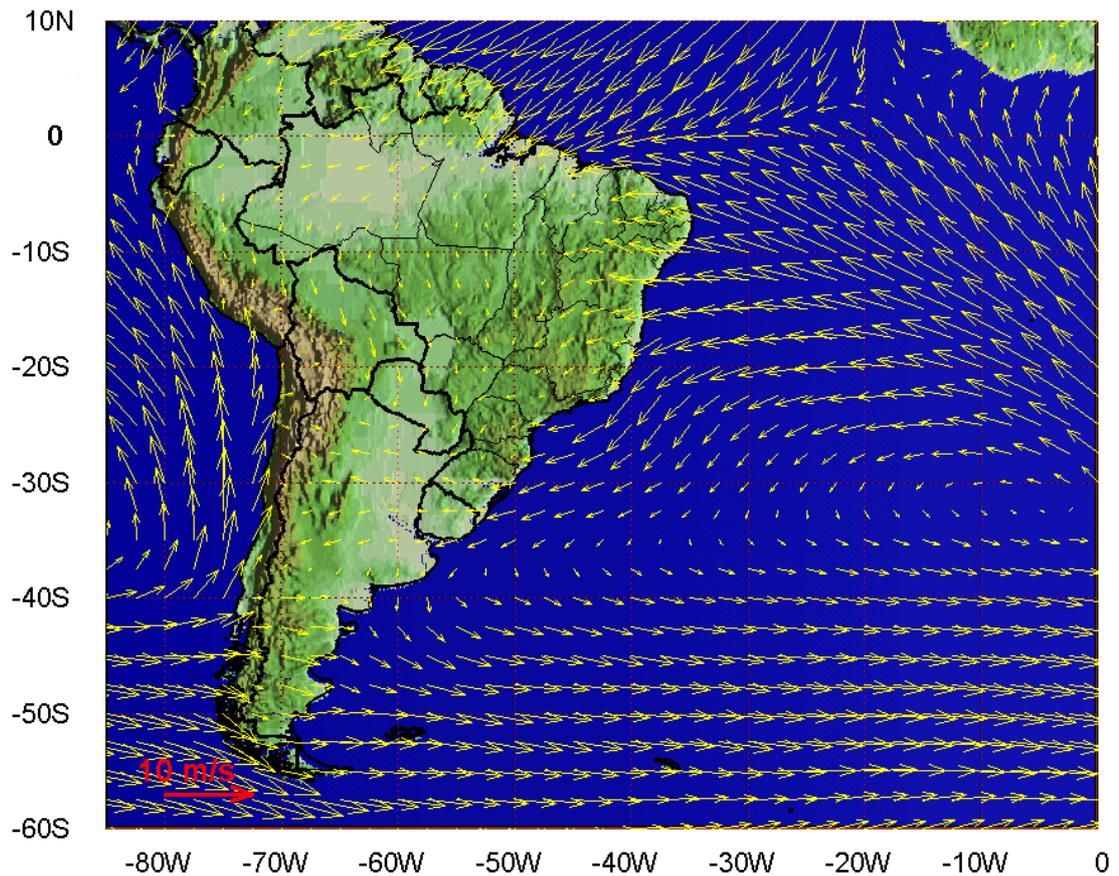


Figura I-1 - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de verão (janeiro a março).

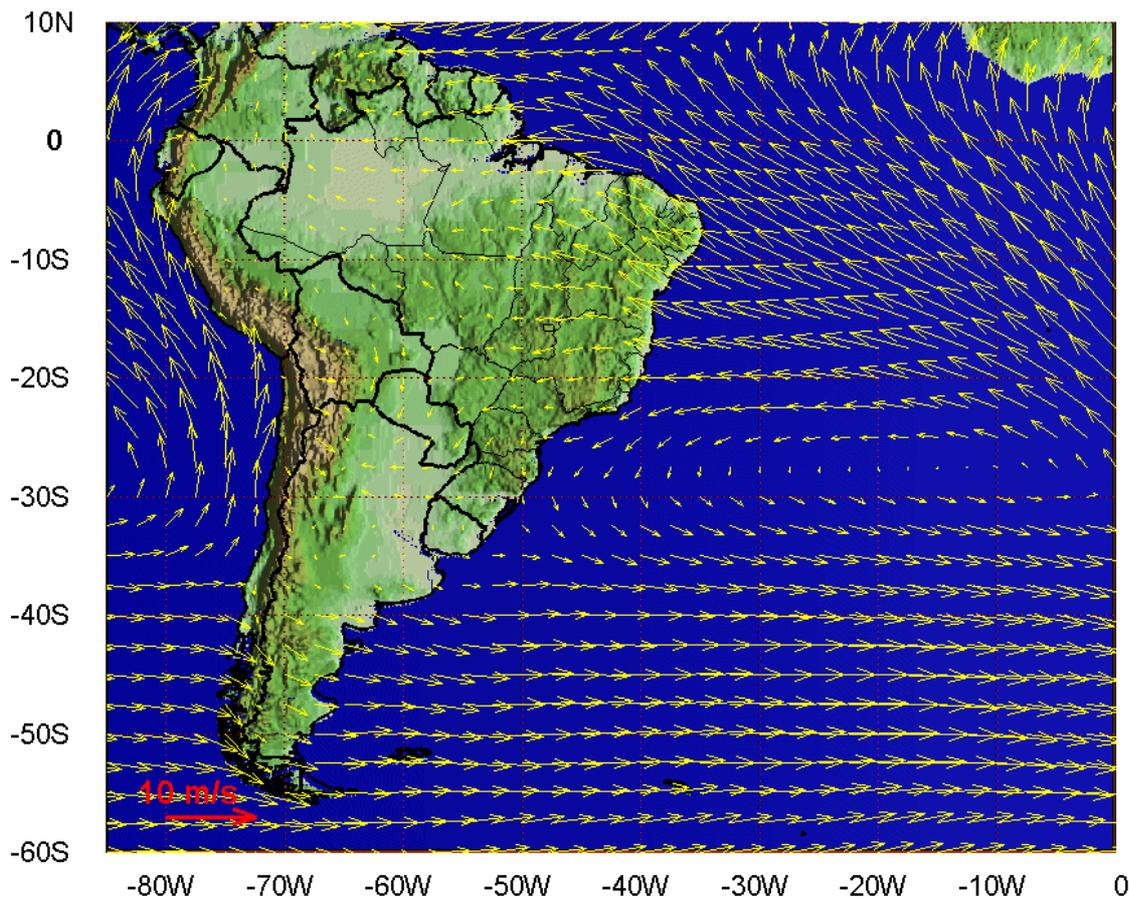


Figura I-2 - Médias de 60 anos (1948 - 2008) do vento a 10 m no período de inverno (junho a agosto).

Periodicamente a situação de bom tempo induzida pela ASAS é perturbada pelo deslocamento de sistemas atmosféricos transientes (i.e. sistemas frontais e ciclones extratropicais e subtropicais), que atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico sul, com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. As figuras I-3 e I-4 ilustram instantâneos do vento NCEP/NCAR a 10 m de altura, em situação de bom tempo e de deslocamento de um sistema frontal, respectivamente (Garreaud & Wallace, 1998; Seluchi & Marengo, 2000).

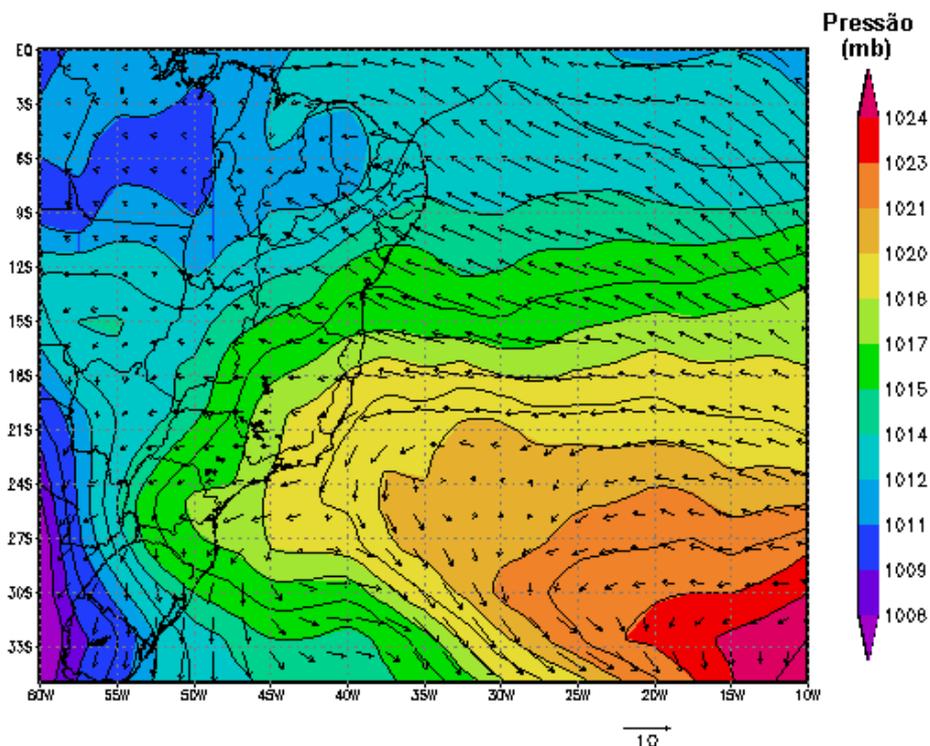


Figura I-3 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo).

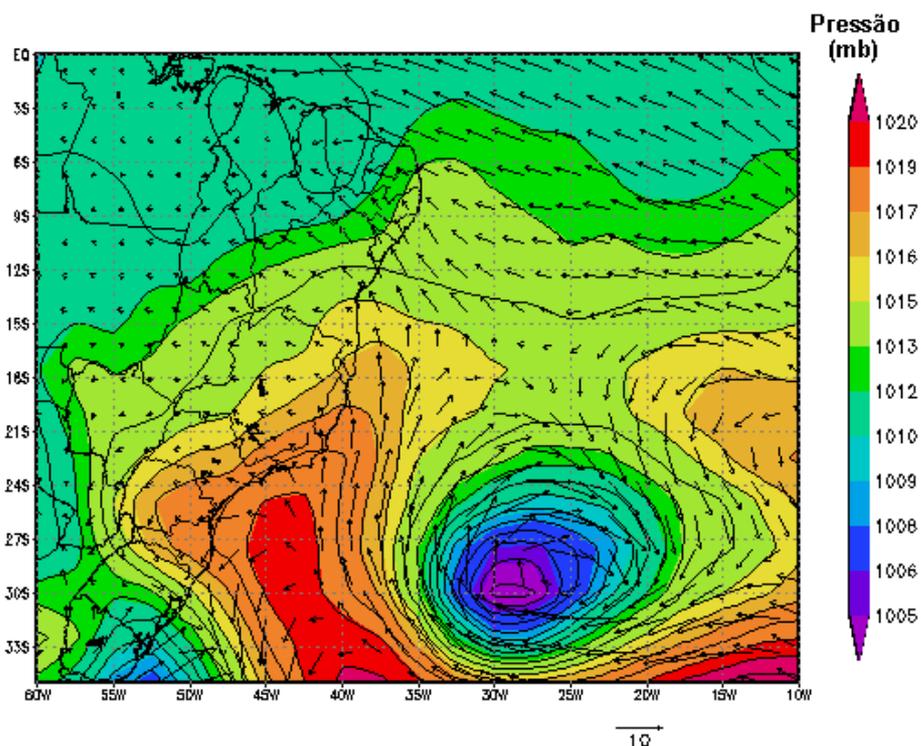


Figura I-4 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18 GMT (deslocamento de um sistema frontal).

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico Sul e as perturbações atmosféricas geradas são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala em médios e altos níveis da atmosfera. As Regiões Sul e Sudeste do Brasil são ditas frontogenéticas, ou seja, regiões onde as frentes podem se formar ou se intensificar (Satyamurty & Mattos, 1989).

1.1.2 Características Oceanográficas da Região

Na região em estudo, pode-se resumir o padrão de circulação oceânica como “Sistema Corrente do Brasil” (Godoi, 2005), sistema de correntes de contorno formado pela Corrente do Brasil, fluindo para sudoeste, e pela Corrente de Contorno Intermediária, fluindo para nordeste. A Corrente do Brasil tem espessura característica de 500 m ao largo do sudeste brasileiro e transporta Água Tropical e Água Central do Atlântico Sul. A Corrente de Contorno Intermediária ocupa porções intermediárias do talude continental, com extensão vertical de pelo menos 700 m (Böebel *et al.*, 1999 *apud* Silveira *et al.*, 2000; Stramma & England, 1999), e transporta Água Intermediária Antártica. Abaixo da Corrente de Contorno Intermediária, ocupando por vezes cerca de dois quilômetros de coluna de água e com uma estrutura vertical complexa, a Corrente de Contorno Profunda flui para o sudoeste, transportando Água Profunda do Atlântico Norte (Stramma & England, 1999).

A figura I-5 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul na superfície, onde a CB é a corrente de contorno oeste, que se origina na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) e se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM).

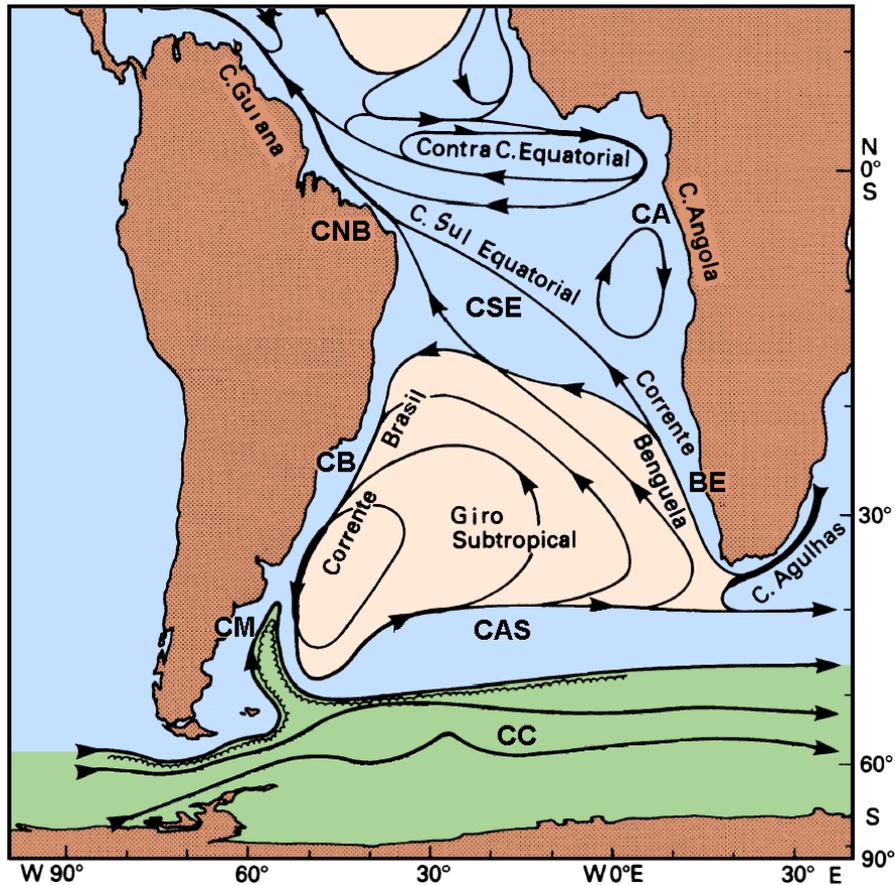


Figura I-5 - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).

A figura I-6 ilustra a estrutura vertical das correntes de contorno presentes na costa brasileira.

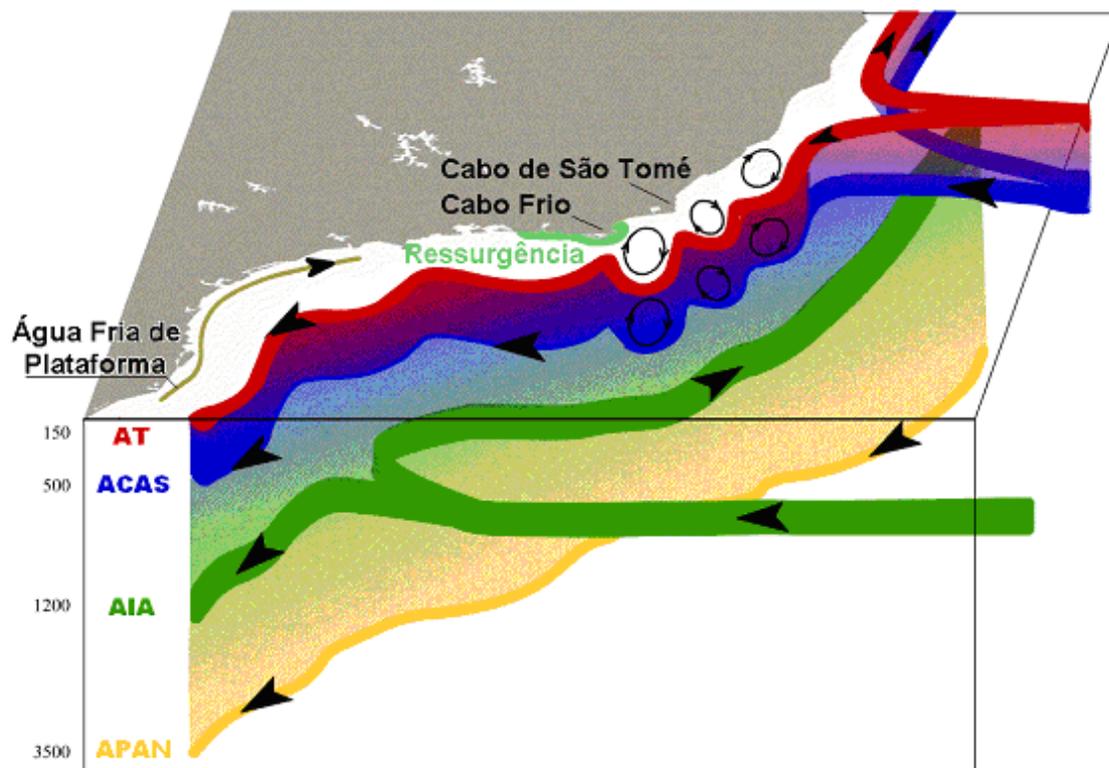


Figura I-6 - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (extraído de Godoi, 2005).

A figura I-7 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré para a costa sul-sudeste brasileira (CSR3⁵). Observa-se ser esta uma região de pequena resposta a forçante astronômica da maré; exceção feita ao platô de Abrolhos e região interna da Bacia de Santos, onde há evidente amplificação do sinal de maré.

⁵ Center for Space Research da Universidade do Texas (www.csr.utexas.edu).

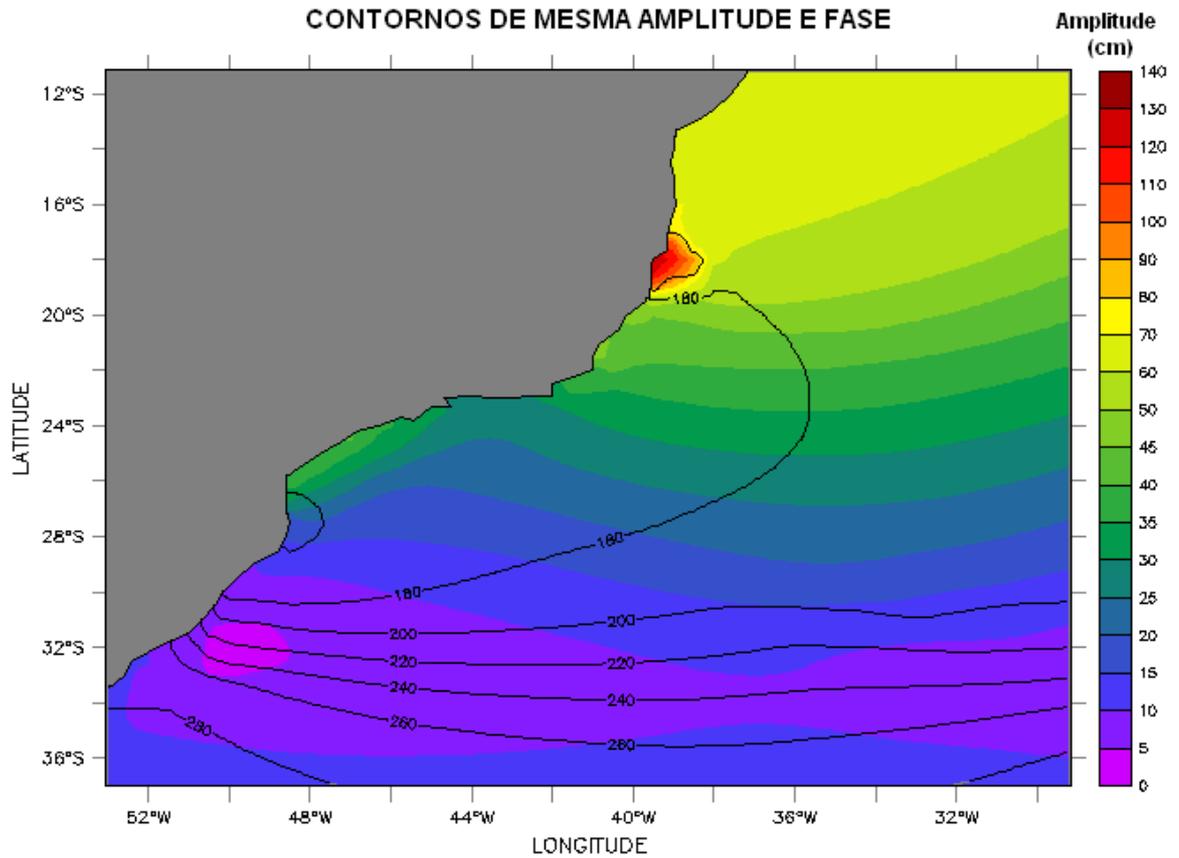


Figura I-7 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente M_2 .

// **MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

Nesta etapa do trabalho foi implementado um modelo hidrodinâmico visando simular o campo de correntes na região sul-sudeste brasileira. Foi utilizado um modelo baseado no POM (Anexo B), implementado pelo grupo de modelagem da **ASA South America**.

O modelo POM utiliza como forçantes, marés do CSR3, campos tridimensionais de ventos de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP/NCAR e campo termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM. Nas bordas abertas foram também prescritas condições climatológicas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

II.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA

II.1.1 Condições de Contorno Adotadas

Para prescrever os valores de elevação da superfície, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade, nas bordas abertas, foi utilizada uma climatologia elaborada a partir dos resultados de uma simulação de 14 anos do OCCAM para o Atlântico Sul.

O procedimento de tratamento dos dados para elaboração desta climatologia envolveu: o agrupamento de todos os instantes para cada variável em um único arquivo; a geração de 1 ano climatológico com passo de tempo de 6 horas, a conversão das variáveis com estrutura vertical para níveis sigma, e uma interpolação, para obter uma resolução espacial adequada para projeção dos dados na grade do modelo.

A simulação do modelo OCCAM⁶ (*Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling*) utilizado como parte do conjunto de dados como forçante da modelagem hidrodinâmica é denominada como “OCCAM run 101”, de 2005. Para

⁶ <http://www.noc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM/> (disponibilização de dados em <http://www.noc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM/EMODS/> último acesso em: 28/maio/2007).

contornar problemas no Pólo Norte, esta simulação do modelo foi dividida em duas partes, tendo a vista que coordenadas geográficas são usadas em toda a grade. O chamado “modelo 1” usa uma grade latitude-longitude que contempla os oceanos Pacífico, Atlântico Sul e Índico, enquanto que o “modelo 2”, tem como domínio os oceanos Atlântico Norte e Ártico, e utiliza uma rotação na latitude-longitude, deslocando o pólo da grade para os oceanos Índico e Pacífico. O “modelo 1” foi o utilizado neste estudo.

A grade horizontal do “modelo 1” é regular ($\frac{1}{4}$ de grau), com os limites na direção leste-oeste em 0° E e 360° E (1440 elementos de grade) e limites na direção norte-sul $469/6^\circ$ S e $797/12^\circ$ N (577 elementos de grade).

O modelo tem 36 níveis verticais, sendo que a espessura das camadas verticais varia de 20 m (próximo à superfície) até 255 m (na profundidade de 5.500 m).

A forçante na superfície do modelo utiliza relaxação para temperatura e salinidades climatológicas para representar a troca de calor e de água doce (interface oceano-atmosfera). Estes campos foram fornecidos pelo NCAR e são descritos em Large *et al.* (1997). O campo de ventos é climatológico e com intervalos regulares de 6h, a temperatura a 2 m e a umidade específica, são provenientes do NCEP (Kalnay *et al.*, 1996). Os dois últimos são transferidos para 10 m.

A batimetria foi bilinearmente interpolada a partir do *U.S. Digital Bathymetric Data Base 12 minute data* (DBDB5). Os passos de tempo: para velocidades baroclínicas = 900s; para velocidades barotrópicas = 18s. O período de *warm up* do modelo foi de 4 anos. Após este período, os resultados da simulação de 14 anos foram armazenados em intervalos regulares de 5 dias.

II.1.2 Procedimentos de Aquecimento (Warm up) do Modelo

O procedimento de aquecimento do modelo baseia-se no acompanhamento da variação da energia cinética da simulação. Normalmente se utiliza um período de 10 a 15 dias até a estabilização deste parâmetro, após o qual se considera que o modelo está aquecido.

Nesta modelagem, observou-se que o período de estabilização do modelo ocorria no decorrer do primeiro mês de simulação. Assim, a simulação longa foi realizada por 13 meses, (iniciando em dezembro de 1991), e descartando-se o primeiro mês. A justificativa da escolha do ano de 1992 como referência para estudos de modelagem de óleo na Bacia de Santos encontra-se no Anexo C.

II.1.3 Dados de Entrada

II.1.3.1 Marés

O campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é proveniente do modelo CSR3, desenvolvido pela Universidade do Texas para que a partir da elevação de superfície medida por altímetros e marégrafos costeiros, prever o potencial gerador de marés. O resultado deste modelo fornece mapas globais de amplitude e de fase de marés para ser utilizado como forçantes em modelos oceânicos regionais. Embora utilizado apenas nos contornos abertos, este campo foi projetado em toda a grade, para permitir uma melhor visualização do campo de maré em áreas de interesse (eventual redução do domínio).

Conforme ilustrado na figura II-1, foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da M_2 , no caso, as diurnas e semidiurnas.

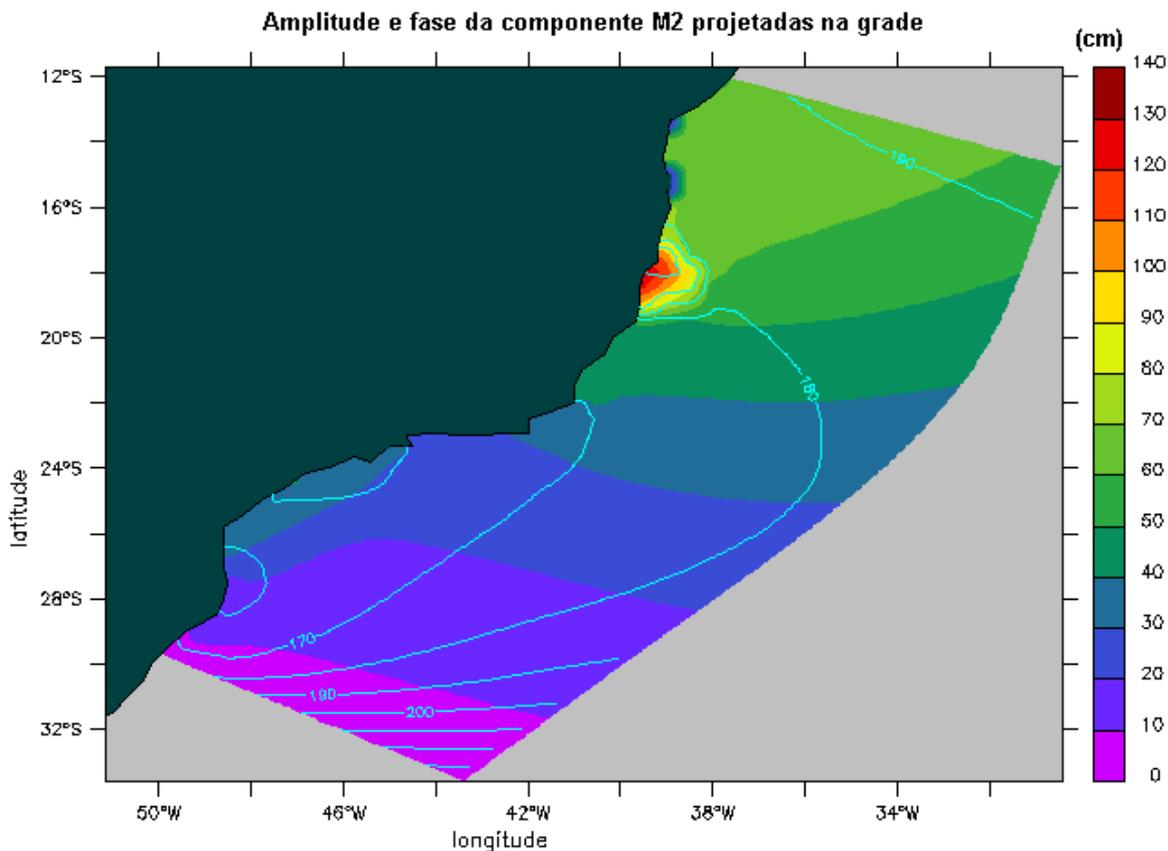


Figura II-1 - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré M_2 , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

II.1.3.2 Ventos

O campo de vento utilizado como forçante foi extraído de Reanálise dos modelos de circulação geral do NCEP/NCAR para as simulações de calibração e de longo período. Os valores foram interpolados no espaço e no tempo, e projetados na grade do modelo⁷. A figura II-2 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade.

⁷ cada uma das componentes vetoriais do vento foi linearmente interpolada no espaço e projetada (via ferret). Disponível para *download* em: <http://ferret.pmel.noaa.gov/Ferret/home> na grade numérica.

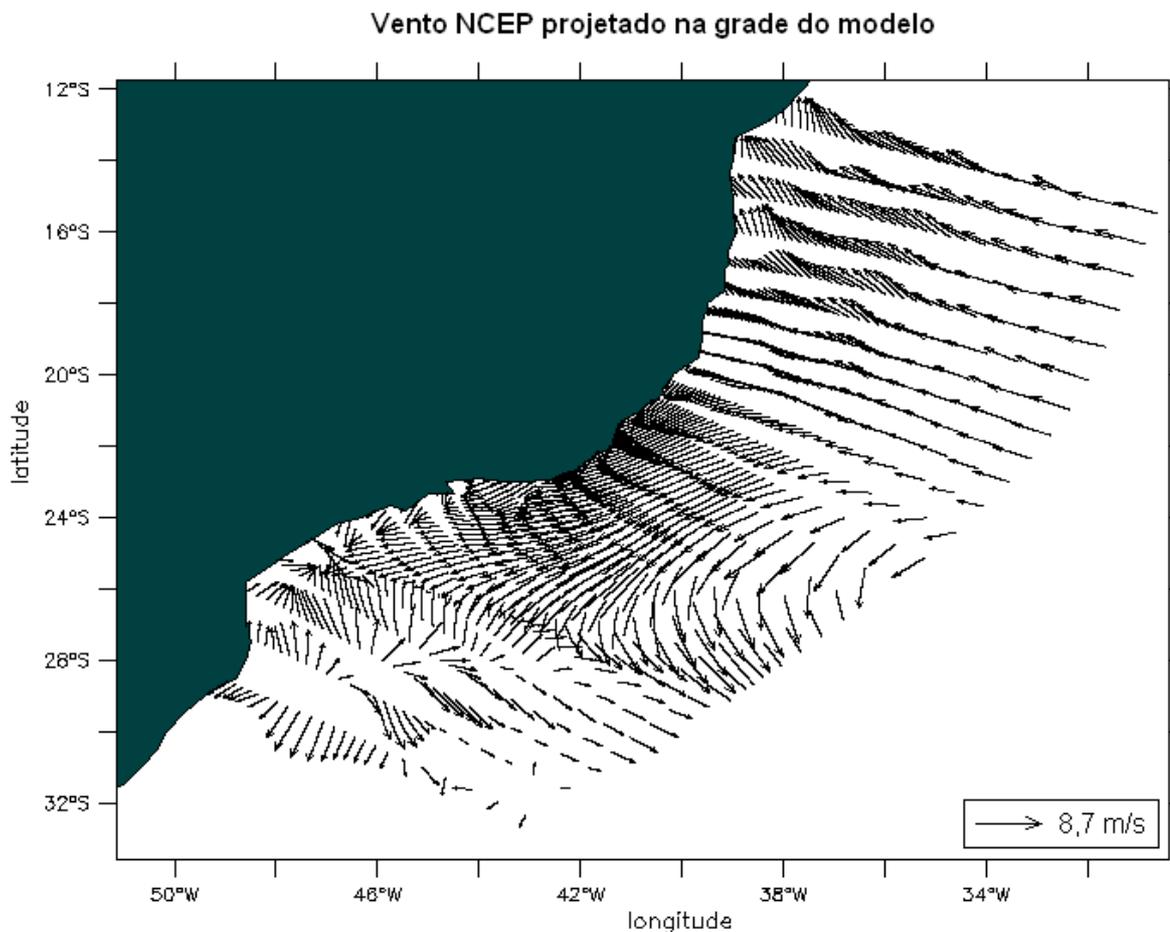


Figura II-2 - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

II.1.3.3 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM foram obtidos a partir de resultados do OCCAM. A figura II-3 ilustra os campos superficiais, projetados na grade do modelo.

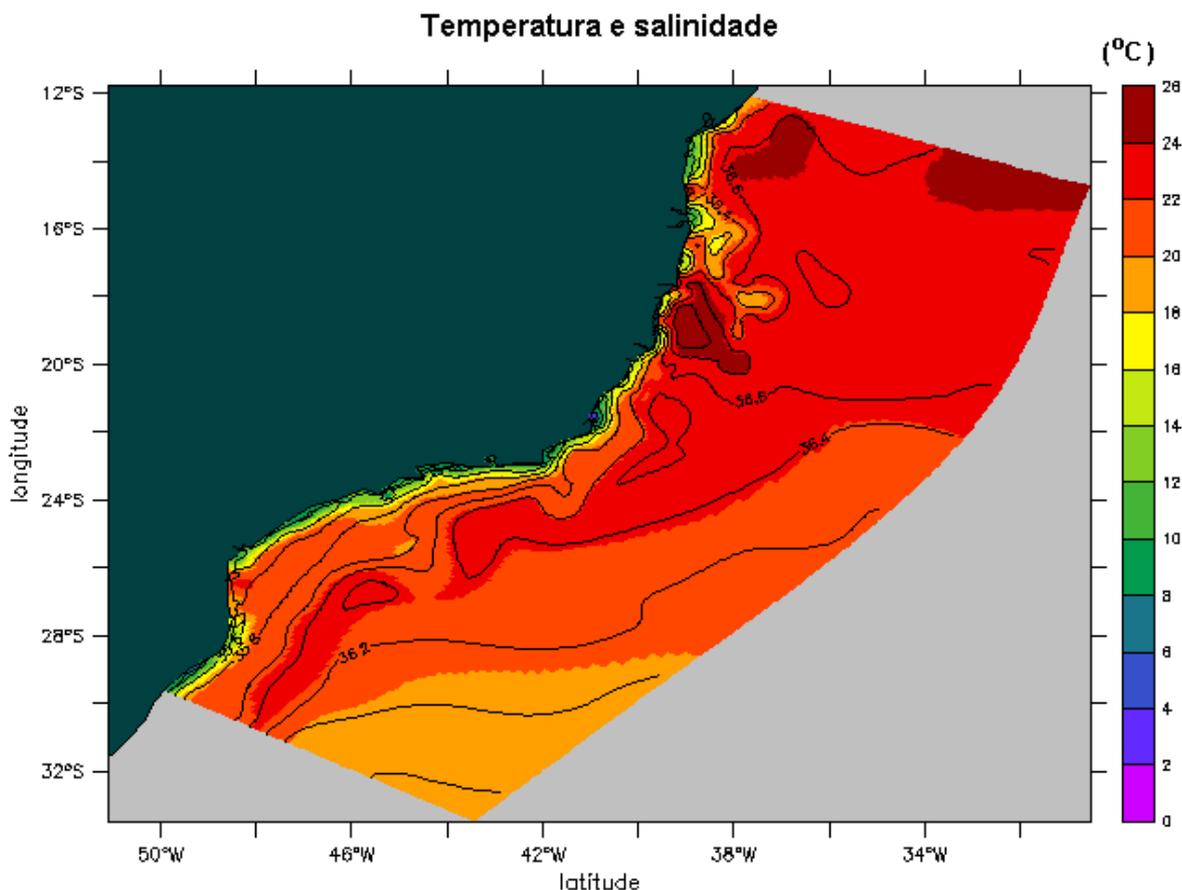


Figura II-3 - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. A salinidade é apresentada como isohalinas e a temperatura (°C) é apresentada através dos tons de cores.

II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO

A grade geral implementada representa um compromisso entre a descrição dos processos hidrodinâmicos presentes na região de interesse (escala temporal e espacial), dos recursos computacionais disponíveis no período de execução da simulação e do tempo de processamento necessário. Uma grade numérica de mesoescala com dimensões de 100x300 pontos foi implementada na costa sul-sudeste do Brasil, e está ilustrada na figura II-4. Nessa grade foram utilizadas 20 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região. Nas regiões mais adensadas a resolução está em torno de 4 km.

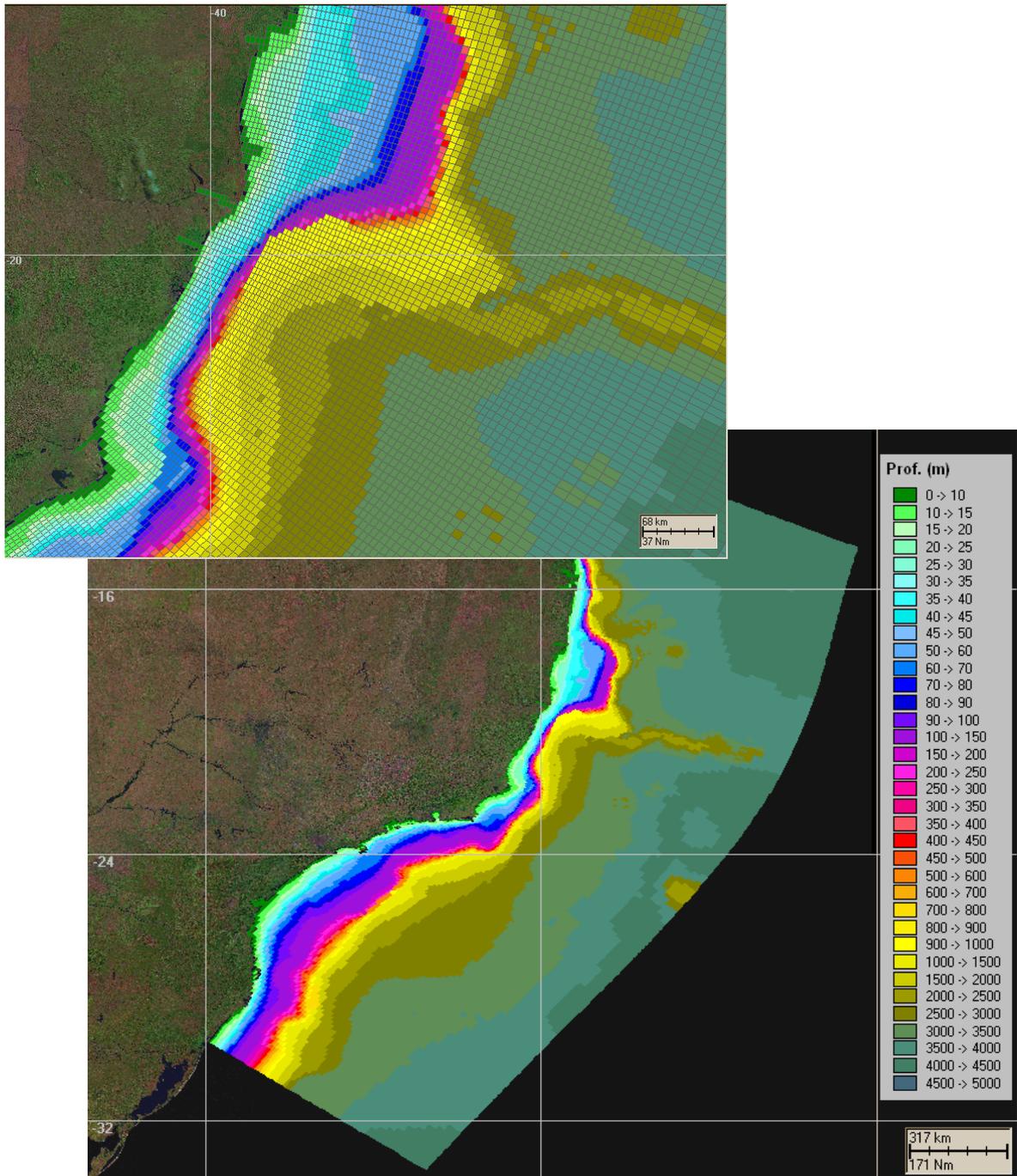


Figura II-4 - Grade computacional do modelo hidrodinâmico para todo o domínio considerado na modelagem.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN⁸, n^{os} 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e da planície abissal foi também utilizada a base de dados batimétricos extraída do ETOPO2 obtido no NGDC⁹, reamostradas para um espaçamento de 10'.

Visando o ajuste fino da batimetria com a linha de costa e com as camadas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado pelos modelos matemáticos implementados na região, foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos da **ASA South America** na área. Os resultados finais da discretização da área e da projeção da batimetria na grade numérica implementada estão ilustrados na figura II-4.

A seguir, são apresentados os extremos da resolução espacial da grade do modelo hidrodinâmico, ou seja, as menores distâncias (maiores resoluções) e as maiores distâncias (menor resolução) nas direções ao longo do eixo X (linhas aproximadamente paralelas à linha de costa) e ao longo do eixo Y (linhas aproximadamente transversais a anteriores, i.e. “radiais” a linha de costa):

$$4,2 \text{ km} \leq \text{Eixo X} \leq 50,3 \text{ km}$$

$$7,0 \text{ km} \leq \text{Eixo Y} \leq 45,8 \text{ km}$$

As figuras II-5 e II-6 apresentam mapas com os contornos da resolução espacial (em km), dos elementos de grade tanto na direção paralela quanto na direção perpendicular à costa.

⁸ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

⁹ *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*

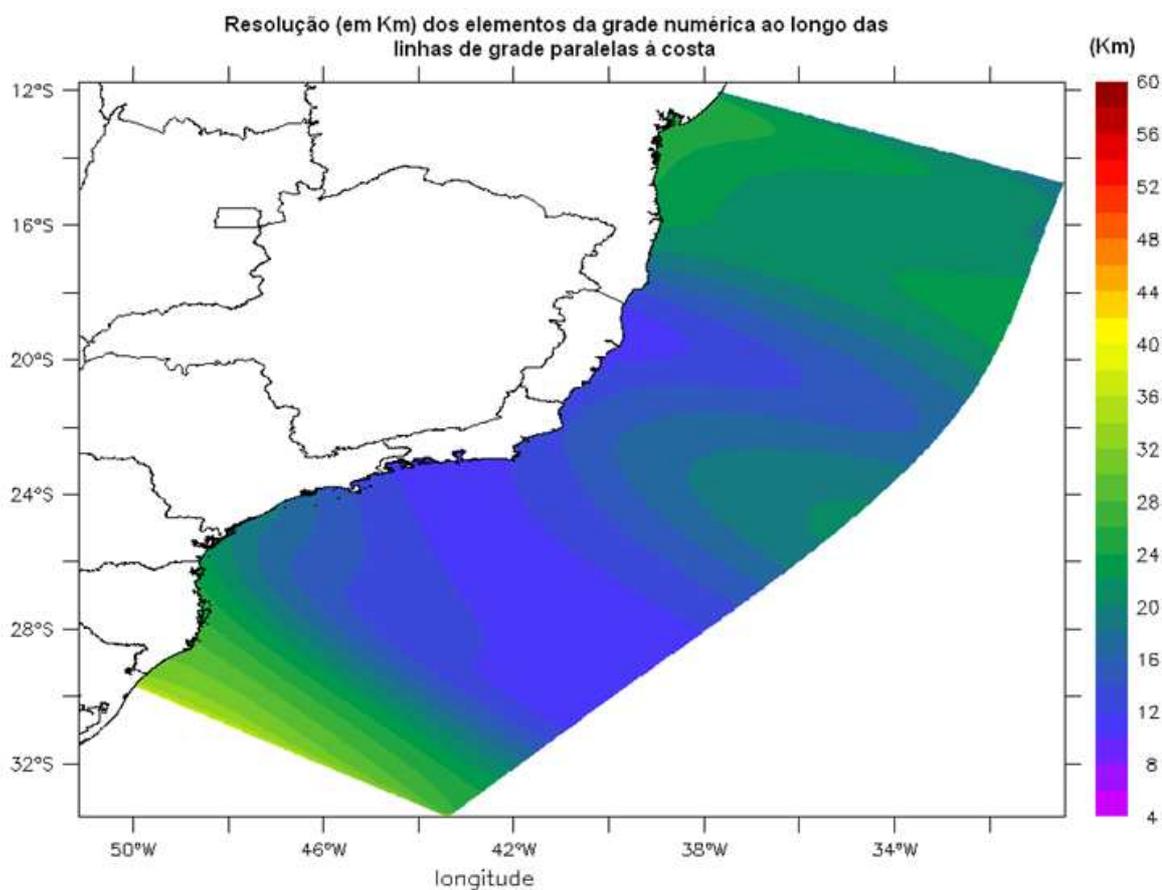


Figura II-5 - Mapa com a resolução dos elementos ao longo das linhas de grade orientadas, aproximadamente, paralelas à linha de costa. Intervalo entre as classes: 2 km. Mapa produzido pela função fill do Ferret.

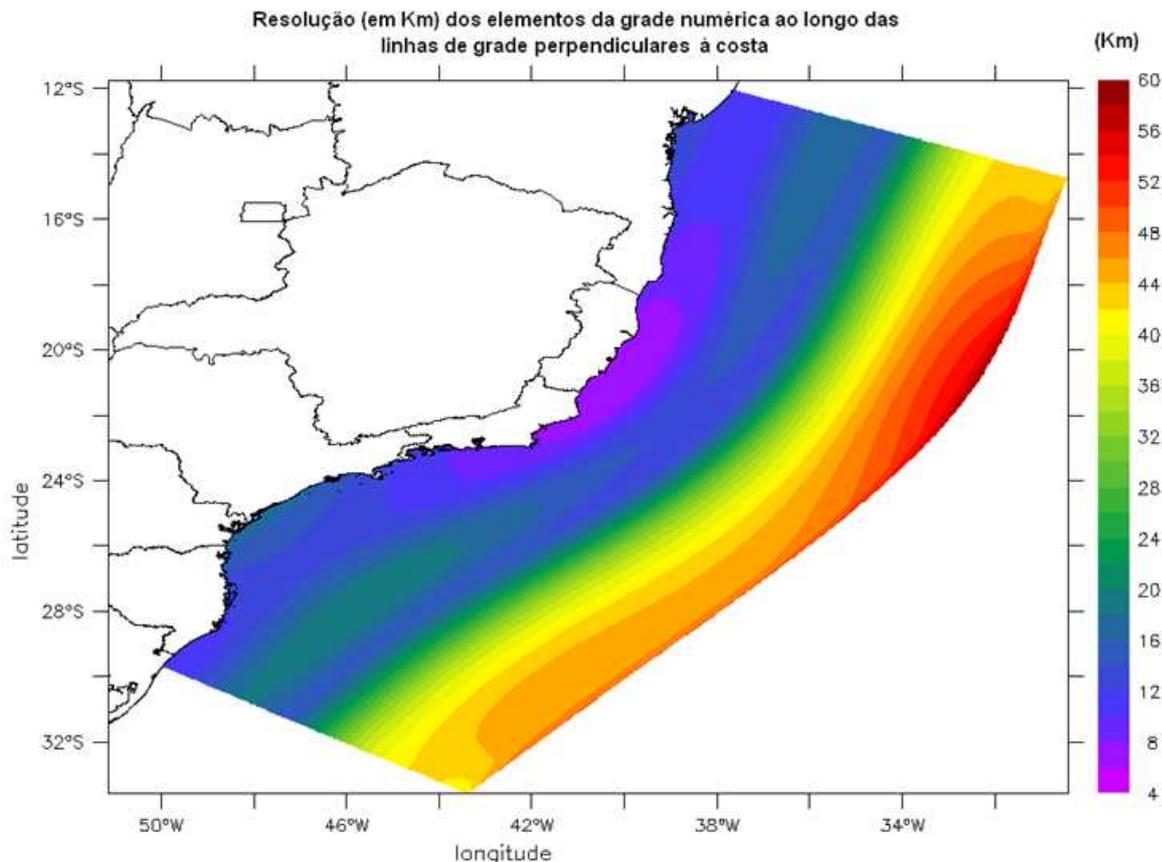


Figura II-6 - Mapa com a resolução dos elementos ao longo das linhas de grade orientadas, aproximadamente, perpendiculares à linha de costa. Intervalo entre as classes: 2 km. Mapa produzido pela função fill do Ferret.

/// AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA

A metodologia de validação fundamenta-se na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação na região em estudo. Para a região de interesse os dados analisados no Item II.5.1.2 (Oceanografia) do EIA/RIMA indicaram marés com predominância das componentes semidiurnas, e correntes fluindo em direção a SW, com algumas inversões para N, principalmente nos meses de setembro e outubro.

A figura III-1 apresenta a posição dos dados utilizados na avaliação da modelagem hidrodinâmica.

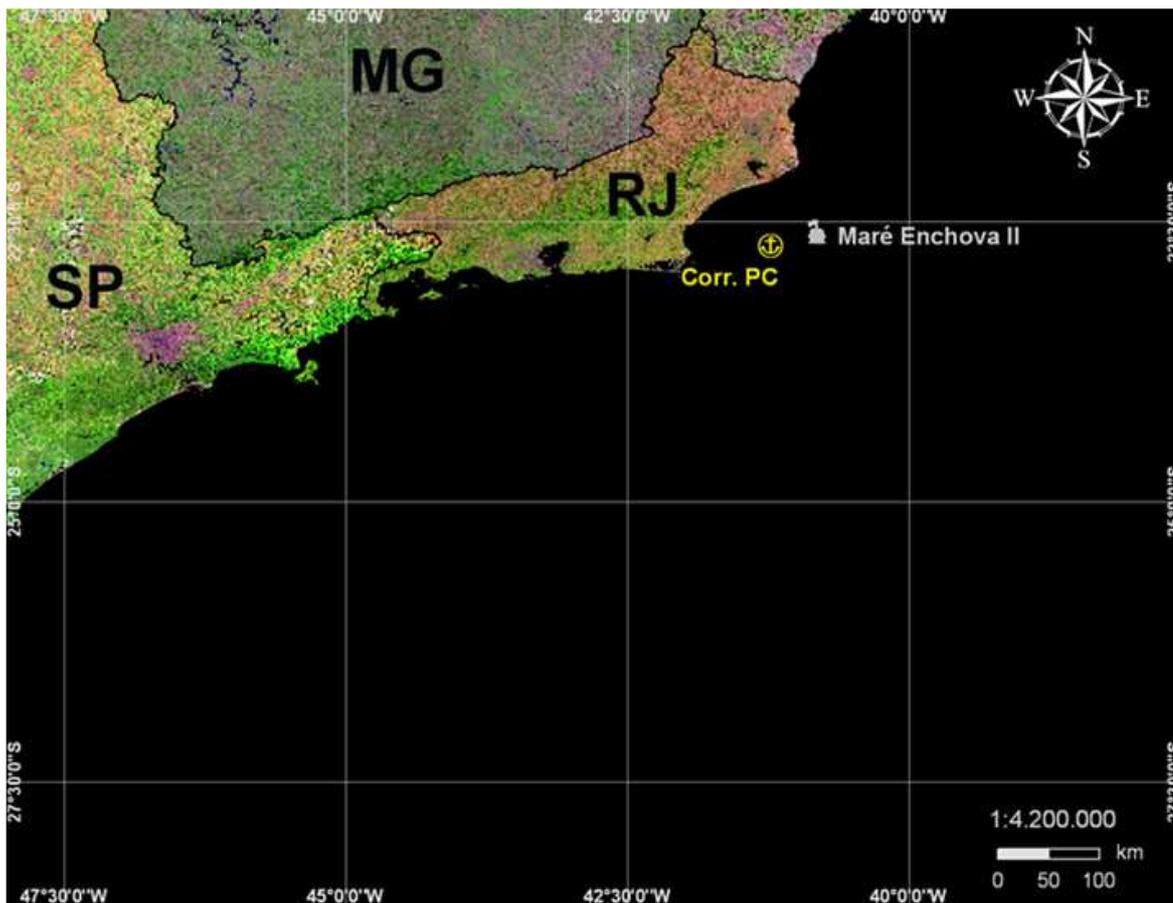


Figura III-1 - Localização dos dados utilizados na avaliação da modelagem hidrodinâmica.

Para a avaliação da maré, foi produzida uma previsão a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para o ponto Enchova II, nas coordenadas $22^{\circ}42,0'S$ e $40^{\circ}50,2'W$

Para a avaliação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico, foi utilizado um conjunto de dado: Ponto PC (PETROBRAS) - medições de superfície em região de plataforma continental da Bacia de Campos (lâmina d'água igual a 15 m e coordenadas $22,7167^{\circ}S$; $41,2667^{\circ}W$), em diversos períodos ao longo do ano de 1992.

III.1 AVALIAÇÃO PARA A MARÉ

A avaliação para a elevação de superfície do mar consistiu na comparação entre séries temporais de elevação de superfície calculadas pelo modelo e séries temporais de elevação de superfície resultantes da previsão harmônica.

A comparação entre os resultados do modelo e as séries utilizadas (previsões harmônicas) foi quantificada através de um parâmetro de comparação. Utilizamos o parâmetro de comparação proposto por Hess & Bosley (1992), definido pelo erro quadrático médio normalizado pelo range médio do dado:

$$\frac{RMS}{\bar{A}} \quad (III.1-1)$$

onde

$$\text{Erro quadrático médio} = RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

\bar{A} = range médio do dado;

P = previsão;

O = observação.

A partir das coordenadas geográficas dos dados de maré, foi extraída a série temporal de elevação de superfície do modelo nesta posição (formato NetCDF). A série temporal de elevação de superfície foi, então, comparada com a respectiva previsão de elevação de superfície.

A figura III-2 mostra uma comparação entre o resultado do processamento da variável elevação calculada pelo modelo (vermelho) com a série temporal da previsão (azul). Para ambas às séries foi selecionado um período de 30 dias, compreendido entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992. Observa-se nesta figura, boa concordância, tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O parâmetro de comparação proposto por Hess & Bosley (op. cit.) para este período foi de 7,8%.

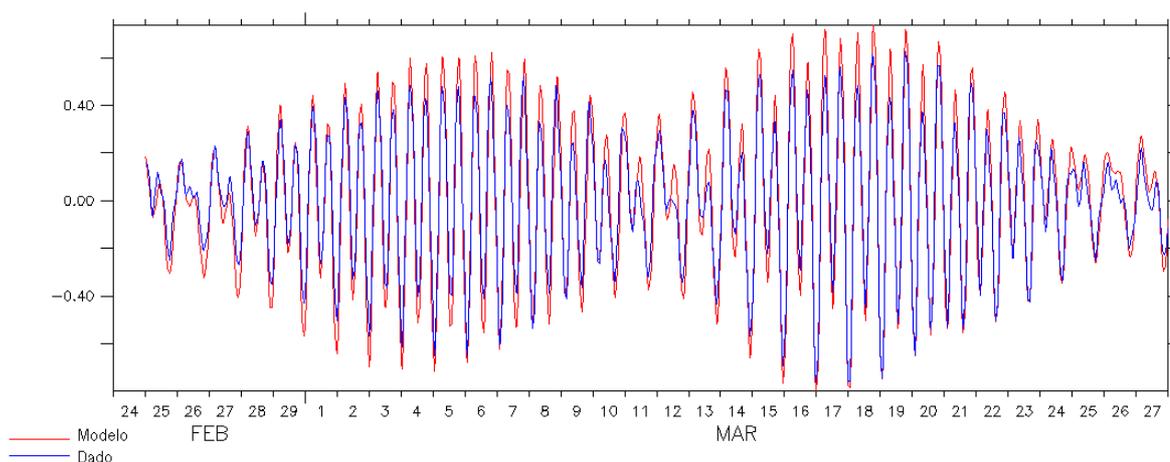


Figura III-2 - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.

III.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES

A seguir, são apresentadas as comparações entre os resultados do modelo e os dados de corrente para o Ponto PC.

São apresentadas as séries temporais das componentes u (E-W) e v (N-S), para os resultados do modelo em vermelho e para as medições em azul. As comparações são relativas a dois períodos: verão e inverno, do ano de 1992. Estes períodos foram escolhidos por apresentarem as principais características da variabilidade sazonal presentes na área.

A comparação entre os resultados da modelagem e os dados foi quantificada através do “Erro Estatístico Relativo” (*Relative Error Statistic*) O erro estatístico relativo entre o previsto pelo modelo e as observações é definido como (EPA, 2000):

$$E_{rel} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{dado}_i - \text{modelo}_i|}{\sum_{i=1}^n \text{dado}_i} \quad (\text{III.2-1})$$

Como erro estatístico relativo é a razão entre o erro absoluto médio (o numerador da expressão acima) e a média das observações, ele pode ser expresso como uma porcentagem. O erro estatístico relativo ideal é nulo.

Esta mesma definição é apresentada por Walstra *et al.* (2001), a qual é denominada pelos autores como: *Relative Mean Absolute Error* (RMAE). Ainda segundo Walstra *et al.* (op. cit.) este parâmetro estatístico, o RMAE, é útil para comparação do vetor velocidade levando em consideração a intensidade e a direção. Os autores apresentam, também, uma tabela na qual classificam (qualificam) os valores dos erros, reproduzimos esta qualificação na tabela III-1.

Tabela III-1 - Classificação do RMAE por ranges.

ERRO PERCENTUAL (RMAE) (%)	QUALIFICAÇÃO
RMAE < 20	Excelente
20 < RMAE < 40	Bom
40 < RMAE < 70	Razoável
70 < RMAE < 100	Ruim
RMAE > 100	Péssimo

São apresentadas as séries temporais das componentes u (E-W) e v (N-S), para os resultados do modelo em vermelho e para as medições em azul. As comparações são relativas a dois períodos: verão e inverno, do ano de 1992. Estes períodos foram escolhidos por apresentarem as principais características da variabilidade sazonal presentes na área.

A figura III-3 apresenta as comparações entre os resultados do modelo hidrodinâmico e correntes medidas no Ponto PC, no período de inverno.

Como pode se observar, as inversões da corrente são representadas pelo modelo numérico embora em alguns casos não estejam sincronizadas com o que se observa nos dados medidos. Por exemplo, entre os dias 12 e 15 de agosto verifica-se uma inversão de corrente, provavelmente associada à passagem de frente fria em que há uma forte concordância entre o modelo e o dado medido, o mesmo ocorre entre os dias 19 e 21 de agosto. Entretanto, entre os dias 03 e 05 de setembro ocorreu uma inversão não capturada pelo modelo. Tais diferenças podem estar associadas ao forçante atmosférico utilizado. O RMAE calculado a

partir das componentes u e v , para as intensidades dos vetores velocidade do modelo e do dado, foi de 69%. Portanto de acordo com a qualificação de Walstra *et al.* (2001), a modelagem pode ser qualificada como razoável.

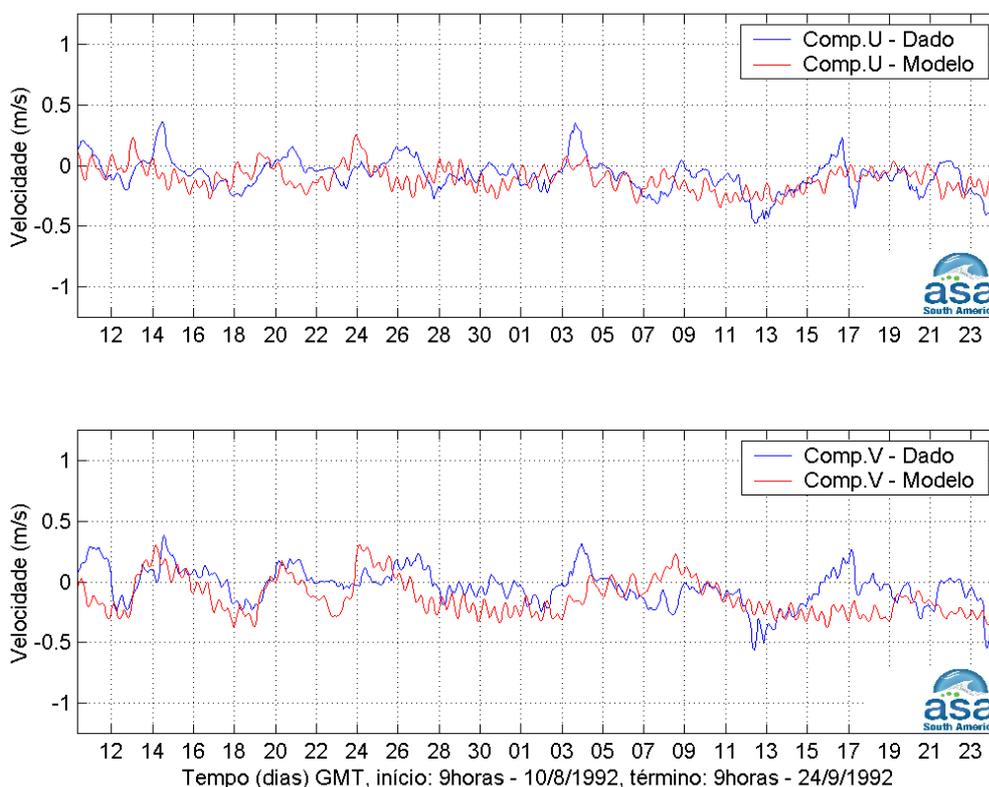


Figura III-3 - Série temporal das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 10 de agosto e 24 de setembro de 1992 para o Ponto PC.

As figuras III-4 e III-5, a seguir, apresentam uma comparação entre os espectros de amplitudes calculados para as componentes u e v dos dados e do modelo.

A análise dos espectros mostra que para as frequências inferiores a 0,2 cpd, o comportamento dos espectros (modelo) para ambas as componentes se aproxima muito do comportamento dos dados. É nesta faixa de frequência que se encontra a maior parte da energia associada à passagem de frentes frias, é aí que se concentra a maior quantidade de energia do espectro. No que diz respeito às frequências diurna e semi-diurna observa-se que o resultado da modelagem apresenta mais energia do que o observado nos dados.

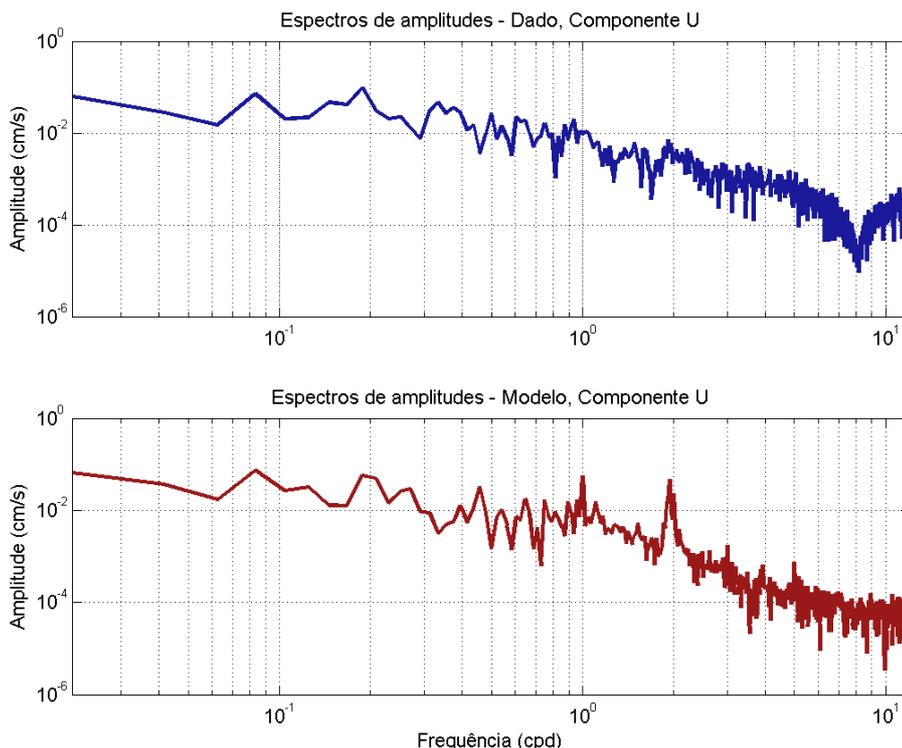


Figura III-4 - Espectro de amplitudes da componente *u* da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 10 de agosto e 24 de setembro de 1992 para o Ponto PC.

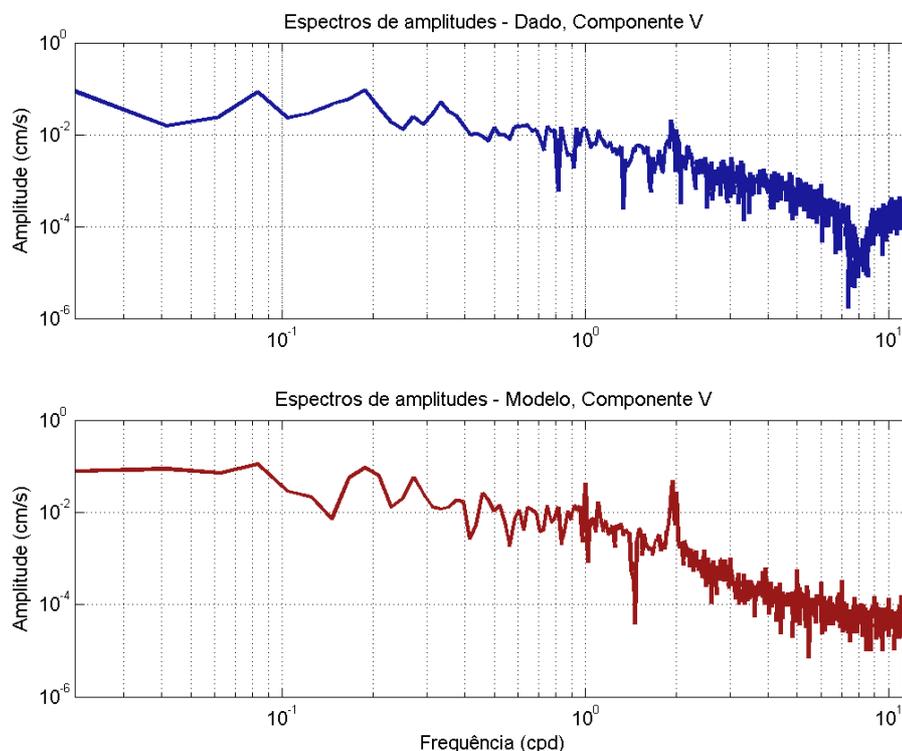


Figura III-5 - Espectro de amplitudes da componente *v* da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 10 de agosto e 24 de setembro de 1992 para o Ponto PC.

A figura III-6 apresenta as comparações entre os resultados do modelo hidrodinâmico e correntes medidas no Ponto PC, no período de verão. As mesmas observações feitas para o período de inverno aplicam-se ao período de verão, com a diferença de que no verão a passagem de frentes frias são menos freqüentes.

O RMAE calculado foi de 59%. Portanto de acordo com a qualificação de Walstra *et al.* (2001), a modelagem pode ser qualificada como razoável, também para este período.

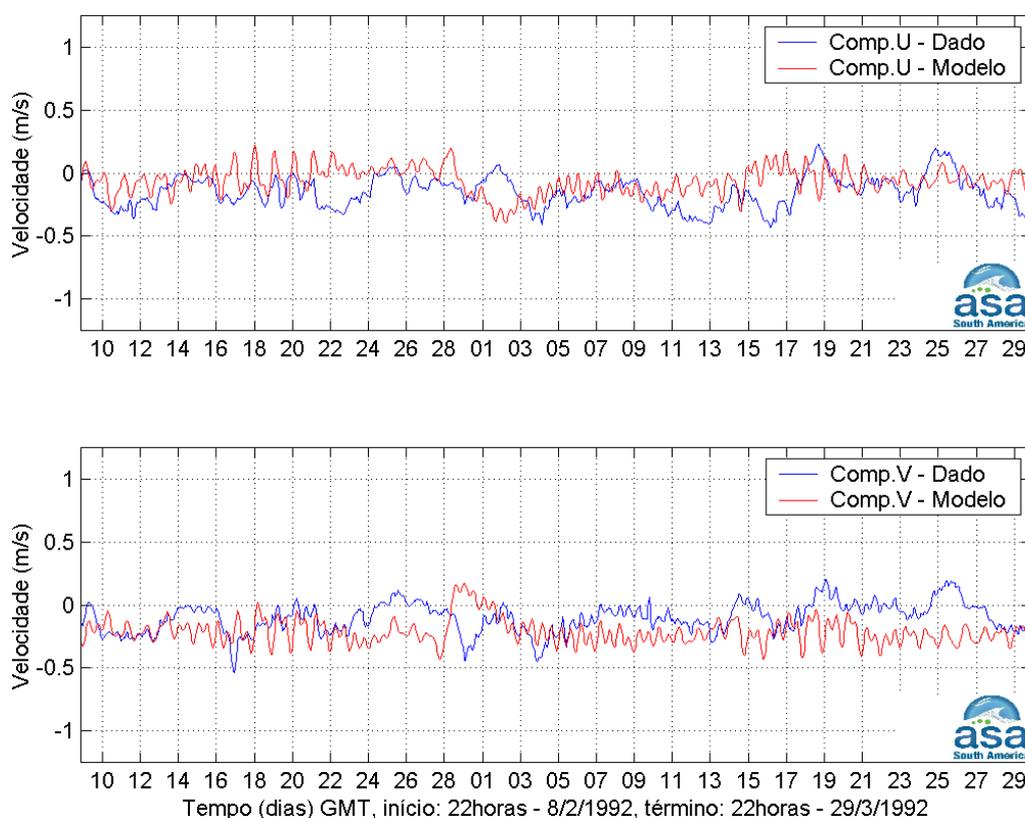


Figura III-6 - Série temporal das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 8 de fevereiro e 29 de março de 1992 para o Ponto PC.

As figuras III-7 e III-8, a seguir, apresentam uma comparação entre os espectros de amplitudes calculados para as componentes u e v dos dados e do modelo. A análise dos espectros mostra que para as componentes u e v , o resultado da modelagem apresenta energias nas frequências diurna e semidiurna maiores do que as observadas nos dados. Contudo, para as frequências

inferiores a 0,2 cpd, o comportamento dos espectros (modelo) para ambas as componentes se aproximam muito do comportamento dos dados. Lembrando que nesta faixa de frequência está concentrada a maior quantidade de energia do espectro e que as energias associadas a passagens de frente são satisfatoriamente reproduzidas pela modelagem.

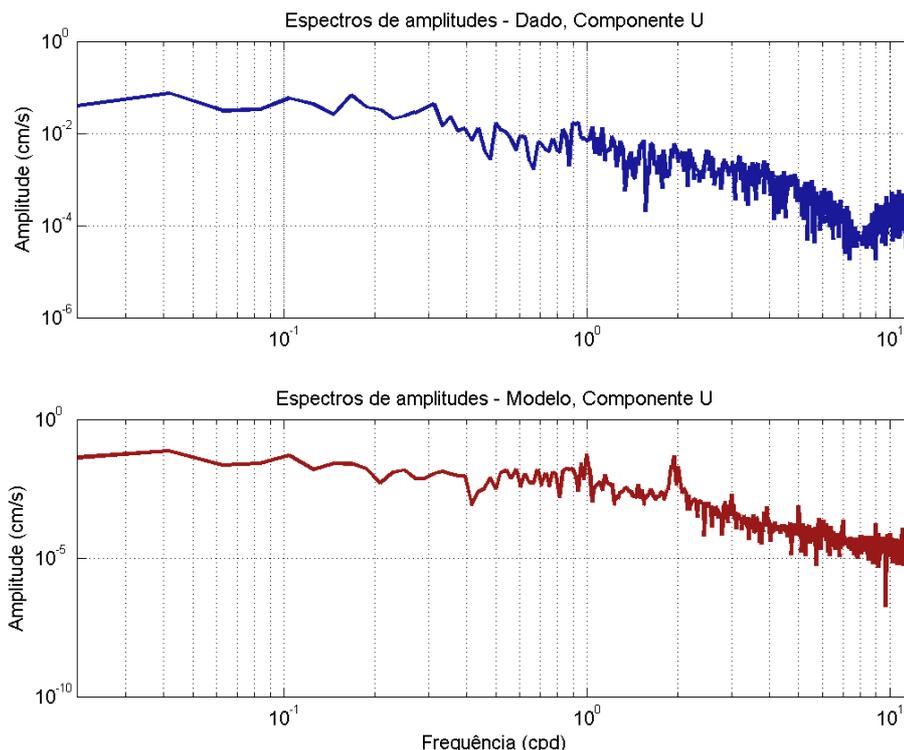


Figura III-7 - Espectro de amplitudes da componente *u* da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 8 de fevereiro e 29 de março de 1992 para o Ponto PC.

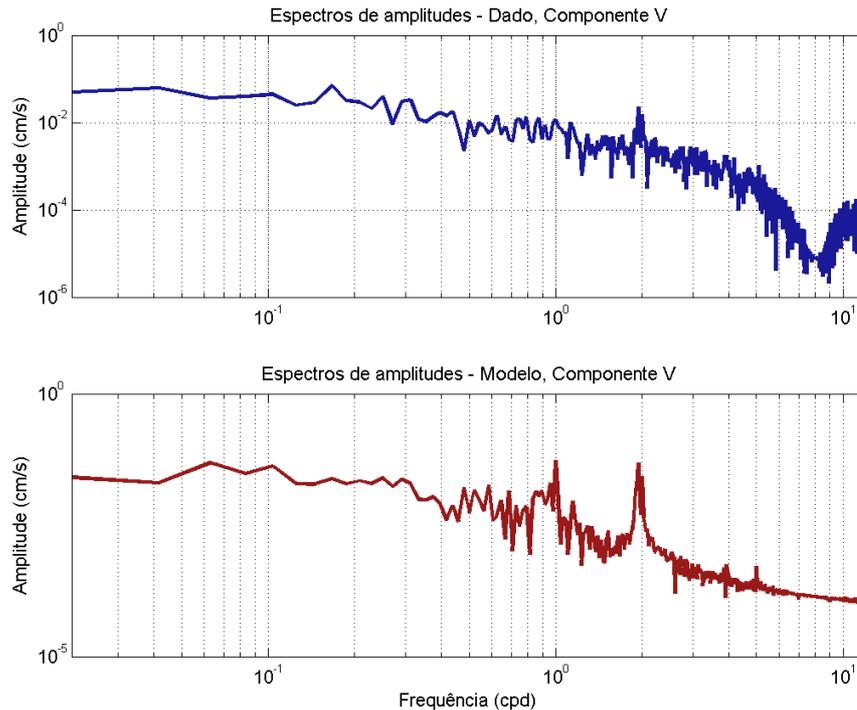


Figura III-8 - Espectro de amplitudes da componente *v* da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 8 de fevereiro e 29 de março de 1992 para o Ponto PC.

Nas comparações realizadas utilizando o parâmetro RMAE para quantificá-las, os valores obtidos foram, em geral, altos. Contudo, deve-se ter em mente que uma comparação série contra série para uma modelagem hidrodinâmica numa região e numa escala como a do presente estudo, não é suficiente, uma vez que nestas condições os efeitos não lineares são muito intensos e de difícil reprodutibilidade pela modelagem numérica.

Nestas situações é importante avaliar como se comportam os padrões médios e extremos obtidos com a modelagem e se o modelo tem capacidade de reproduzir o comportamento dos fenômenos mais frequentes e mais energéticos observados nos dados. Para tal apresentamos, também, uma comparação entre os valores máximos, médios e os desvios padrão entre dados e resultados do modelo (tabela III-2).

Supondo que o critério de qualificação proposto por Walstra *et al.* (2001) seja válido para a estimativa do erro percentual, em geral, teremos que: a maioria das características da corrente simulada pelo modelo apresentou-se boa ou excelente. Somente no caso da intensidade da componente *v* para a simulação de verão, a modelagem apresentou-se ruim.

Tabela III-2 - Classificação do RMAE por ranges para os resultados da modelagem para o Ponto PC.

CARACTERÍSTICAS ANALISADAS	SIMULAÇÃO		QUALIFICAÇÃO	
	verão	inverno	verão	inverno
Média da velocidade (m/s) do dado	0,22	0,18	-	-
Média da velocidade (m/s) do modelo	0,25	0,23	-	-
Erro percentual na média da velocidade	0,18	0,28	Excelente	Bom
Velocidade máxima (m/s) do dado	0,60	0,73	-	-
Velocidade máxima (m/s) do modelo	0,44	0,43	-	-
Erro percentual na velocidade máxima	0,27	0,42	Bom	Razoável
Média da componente U (m/s) do dado	0,16	0,12	-	-
Média da componente U (m/s) do modelo	0,10	0,12	-	-
Erro percentual na média da componente U	0,41	0,00	Razoável	Excelente
Média da componente V (m/s) do dado	0,12	0,12	-	-
Média da componente V (m/s) do modelo	0,22	0,17	-	-
Erro percentual na média da componente V	0,76	0,44	Ruim	Razoável
Desvio padrão da componente U do dado	0,10	0,10	-	-
Desvio padrão da componente U do modelo	0,08	0,08	-	-
Erro percentual no desvio padrão da comp. U	0,20	0,21	Bom	Bom
Desvio padrão da componente V do dado	0,10	0,10	-	-
Desvio padrão da componente V do modelo	0,09	0,09	-	-
Erro percentual no desvio padrão da comp. V	0,10	0,10	Excelente	Excelente
Direção (graus) mais frequente do dado	227,00	221,00	-	-
Direção (graus) mais frequente do modelo	194,00	209,00	-	-
Erro percentual na direção	0,15	0,05	Excelente	Excelente

Deve-se considerar, entretanto, que os parâmetros utilizados e apresentados para quantificar a comparação entre as observações e os resultados da modelagem são de natureza estatística e, portanto, somente expressam o quanto duas séries temporais (ou números) se assemelham.

A seguir, é apresentada na figura III-9, a comparação entre (a) histogramas direcionais para dados medidos e (b) resultados do modelo. A análise dos histogramas complementa a validação, permitindo verificar a habilidade do modelo em reproduzir o padrão de circulação observado, indicando boa concordância entre as direções e intensidades médias observadas e aquelas simuladas. Nestas figuras, a direção apresentada refere-se ao norte geográfico, a unidade de velocidade adotada é m/s e a escala de cores representa a porcentagem de observações.

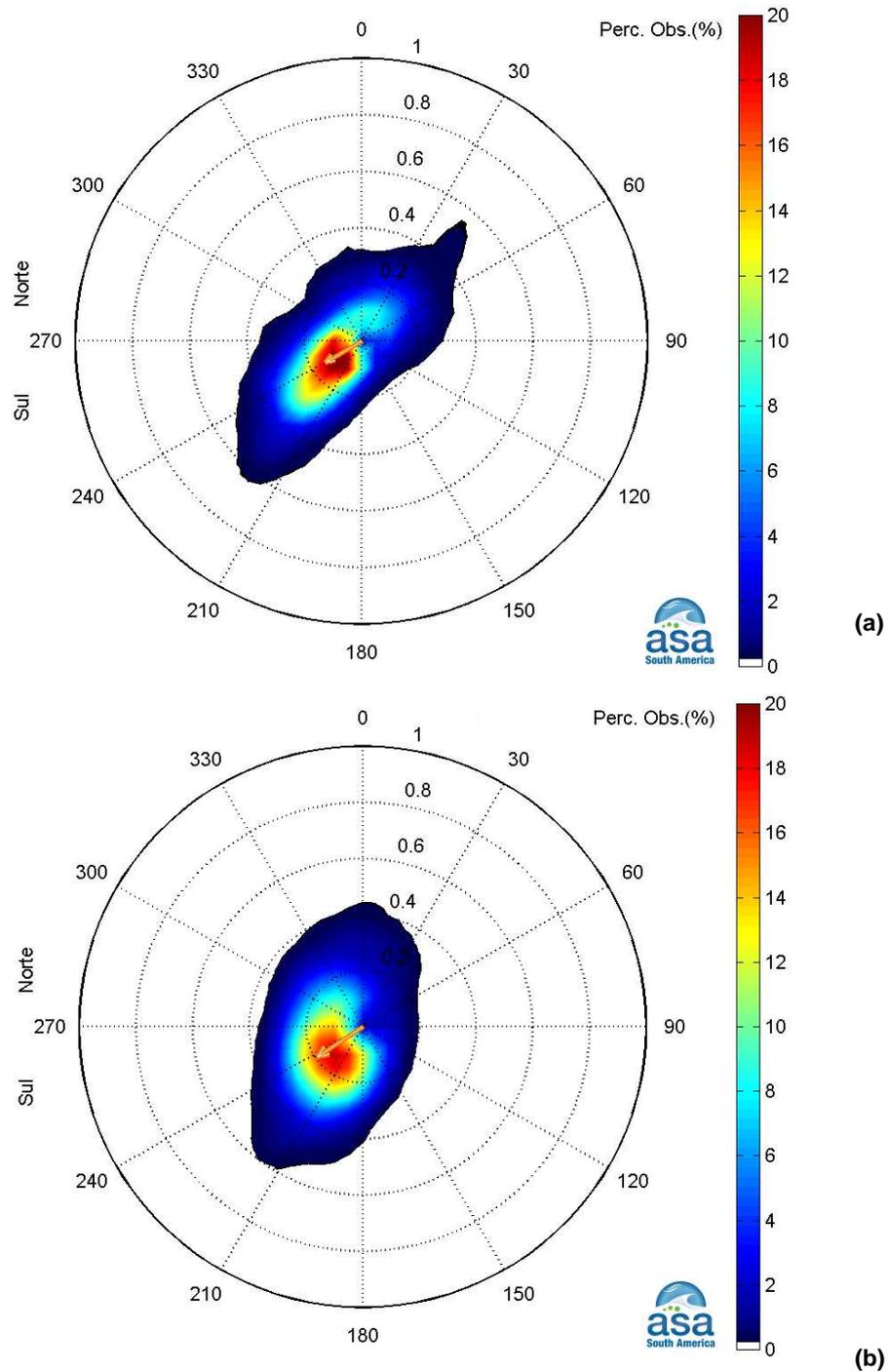


Figura III-9 - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto PC (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.

IV CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM

A base hidrodinâmica aqui apresentada foi obtida a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no POM, adaptado e implementado pela **ASA South America**. Este modelo é tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade.

Os resultados apresentados são decorrentes de um processo evolutivo de estudo, baseado em modelos numéricos com enfoque na região da Bacia de Campos.

Em relação à avaliação das marés calculadas do modelo, foi obtido parâmetros de comparação (erros quadráticos médios normalizados pelo range médio do dado) igual a 7,8%.

Para a avaliação das componentes zonal e meridional do campo de correntes na Bacia de Campos (Ponto PC), foi utilizado o critério de qualificação proposto por Walstra *et al.* (2001), segundo o qual, em geral, a maioria das características da corrente simulada pelo modelo apresentou-se boa ou excelente. O RMAE (*Relative Mean Absolute Error*) calculado a partir das componentes u e v , para as intensidades dos vetores velocidade do modelo e do dado, foi de 69% no inverno, e de 59% no verão.

Do ponto de vista qualitativo, a comparação dos resultados simulados com a bibliografia, outros resultados numéricos, informações da literatura, etc., é um procedimento válido, que corrobora com a avaliação quantitativa para a verificação da capacidade do modelo numérico em reproduzir a dinâmica oceânica da região.

As figuras IV-1 e IV-3 apresentam instantâneos dos campos de superfície no verão e inverno, respectivamente. Observa-se a Corrente do Brasil como feição dominante ao longo da costa sudeste brasileira, fluindo para sul acima do Cabo de São Tomé, e mudando a direção na região de Cabo Frio, em conformidade com o observado por Evans & Signorini (1985).

A figura IV-1 ilustra o padrão de correntes obtido em situação de bom tempo (sob influência da Alta Atlântico Sul - AAS), mais comum no verão: um fluxo bem definido para sul-sudoeste sobre a plataforma e talude continental.

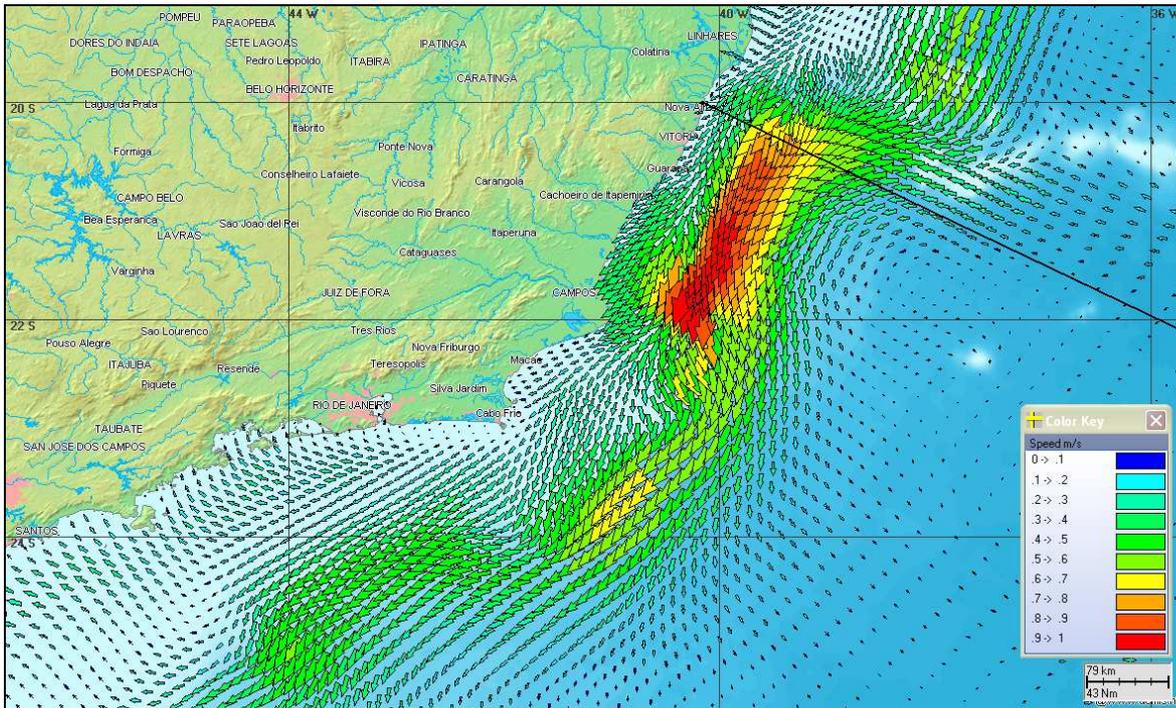


Figura IV-1 - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir dos resultados do POM. A linha preta indica a posição das seções transversais apresentadas na figura IV-2.

A figura IV-2 mostra as velocidades médias da componente u (componente zonal) e da componente v (componente meridional) para janeiro de 1992 ao longo da linha preta indicada na figura IV-1, para todas as profundidades. Observa-se que sobre a plataforma continental e talude, o fluxo é para sudoeste, com a Corrente do Brasil fluindo sobre a quebra do talude; a partir de 600 m de profundidade, o fluxo inverte, fluindo para nordeste.

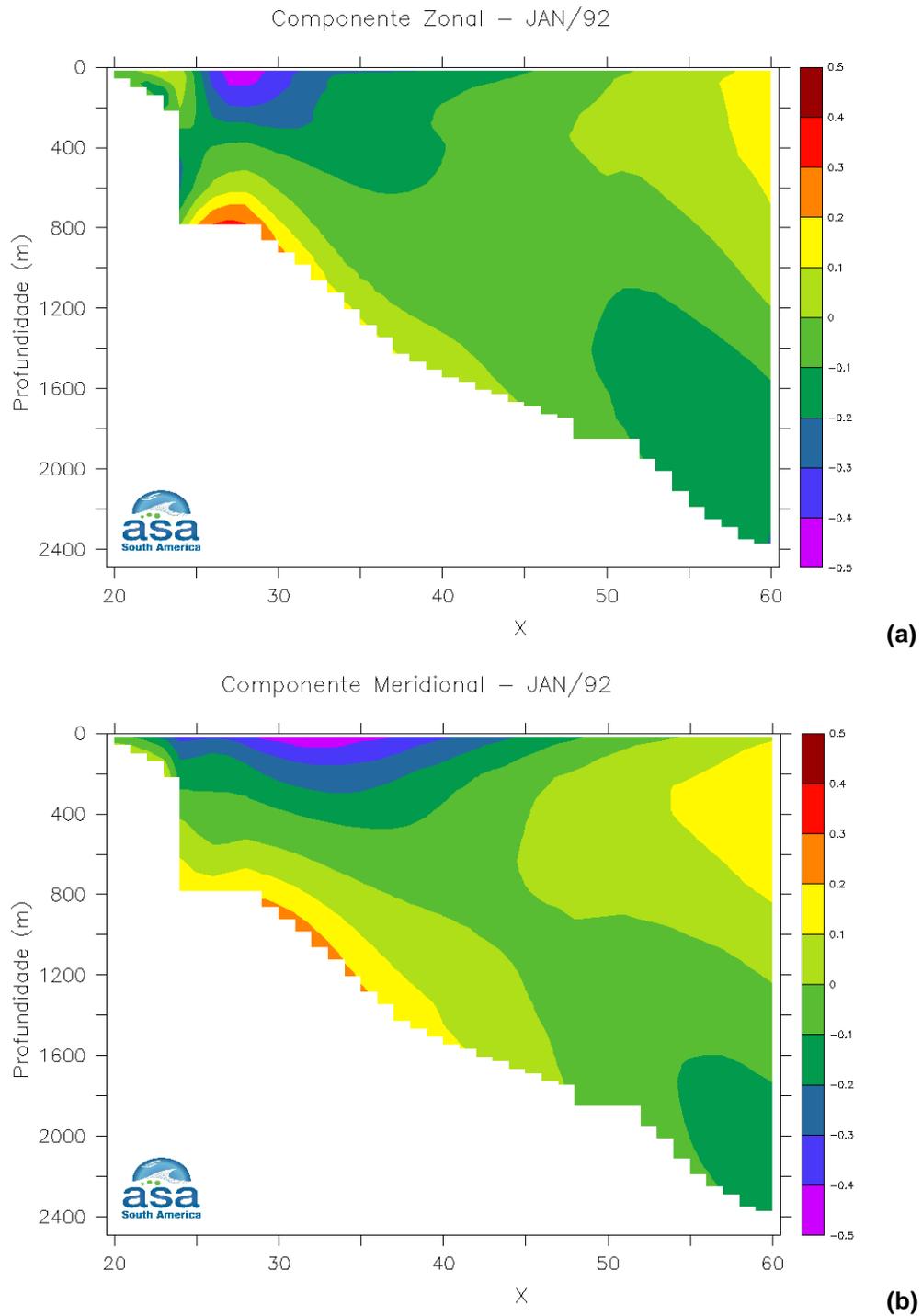


Figura IV-2 - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para janeiro de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura IV-1.

A figura IV-3 ilustra o padrão de correntes perturbado pelo deslocamento de um sistema frontal, mais frequentes no inverno; nestas ocasiões, é comum o campo de correntes inverter sobre a plataforma, apresentando direção norte-nordeste.

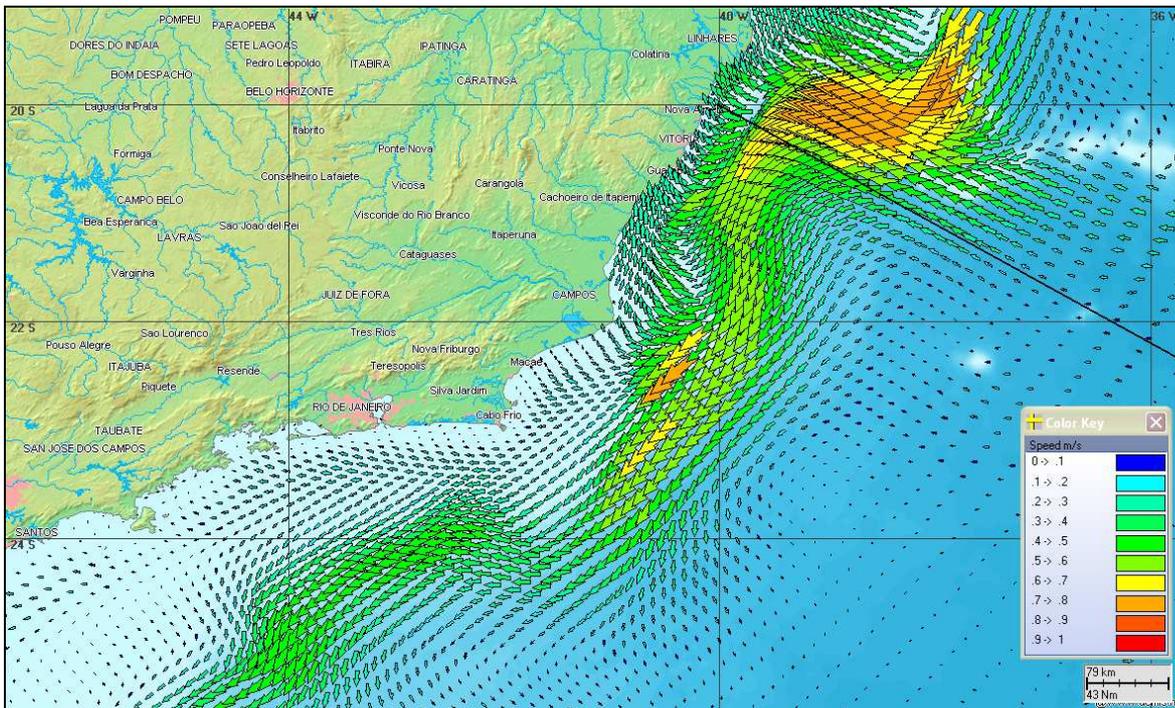
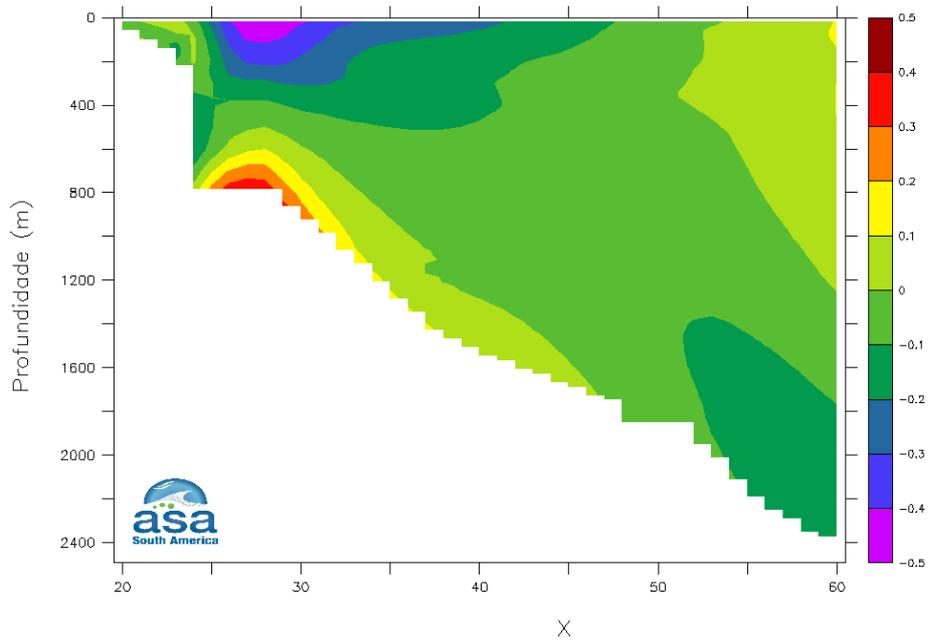


Figura IV-3 - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir dos resultados do POM. A linha preta indica a posição das seções transversais apresentadas na figura IV-4.

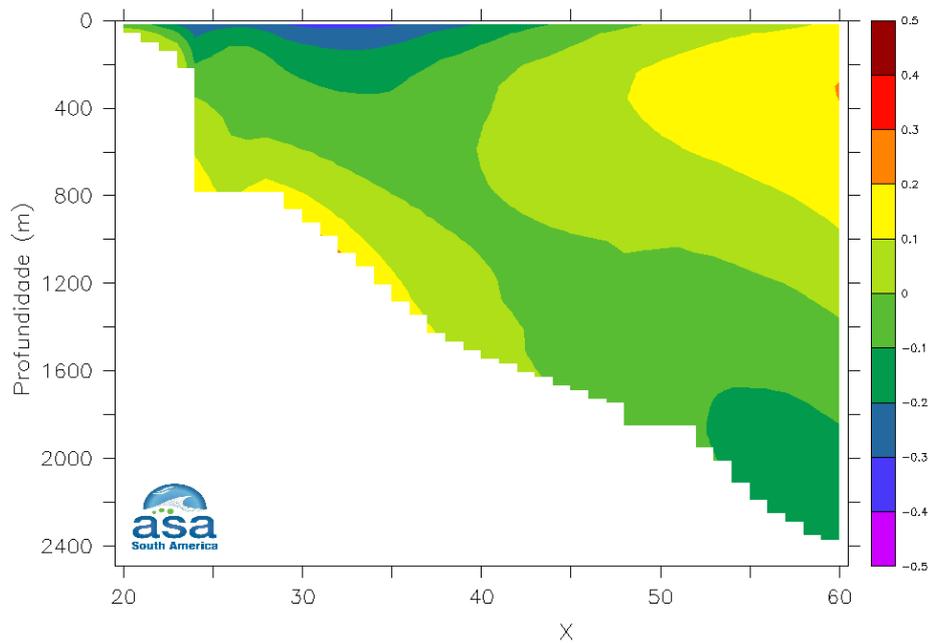
A figura IV-4 mostra as velocidades médias da componente u (componente zonal) e da componente v (componente meridional) para julho de 1992 ao longo da linha preta indicada na figura IV-3, para todas as profundidades. Observa-se uma desintensificação da corrente de superfície para sudoeste, devido às inversões de fluxo (associadas à passagem de sistemas frontais), mais comuns nesta época.

Componente Zonal – JUL/92



(a)

Componente Meridional – JUL/92



(b)

Figura IV-4 - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para julho de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na figura IV-3.

As análises estatísticas e a avaliação dos campos de correntes resultantes da modelagem numérica hidrodinâmica implementada para a região sul-sudeste do Brasil, indicaram que foi possível reproduzir de forma satisfatória as principais características da dinâmica oceânica das regiões de estudo tanto em escala espacial quanto temporal.

Embora se tenha conseguido uma boa representatividade do modelo hidrodinâmico para a região, deve-se lembrar que seus resultados são específicos para um dado período e determinados pelo atual nível de conhecimento na área de estudo. A extrapolação desses resultados no espaço e no tempo é sempre possível, sendo esta uma das vantagens da utilização de ferramentas numéricas.

V BIBLIOGRAFIA

- EPA (Environmental Protection Agency), 2000. Hydrodynamic and Water Quality Model of Christina River Basin. Region III, Philadelphia, PA. **Final Report**. December 5, 2000.
- EVANS, D.L. & S.R. SIGNORINI, 1985. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, 315, p. 48-50.
- GARREAUD, R.D. & J.M. WALLACE, 1998. Summertime incursions of midlatitude air into tropical and subtropical South America. **Monthly Weather Review**, v. 126, p. 2713-2733.
- GODOI, S.S. de, 2005. Dinâmica Quase-Geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no Embaiamento de São Paulo. Tese de doutorado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- HESS, K.W. & K.T. BOSLEY, 1992. Methodology for Validation of a Tampa Bay Circulation Model. Proceedings, 2nd International Conference on Estuarine and Coastal Modeling, Tampa, Florida, November 11-13, 1991. p. 83-94.
- KALNAY, E., M. KANAMISTU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAKI, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K. MO, C. ROPELEWSKIA, A. LEETMAA, R. REYNOLDS & R. JENNE, 1996. The NCEP/NCAR reanalysis project. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 77, 437-495.
- LARGE, W.G., G. DANABASOGLU & S.C. DONEY, 1997. Sensitivity to Surface Forcing and Boundary Layer Mixing in a Global Ocean Model: Annual-Mean Climatology. **J. Phys. Oceanogr.**, 27, 2418-2446

SELUCHI, M. & J.A. MARENGO, 2000. Tropical-Mid Latitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climate aspects and extreme events. **International Journal of Climatology**, v. 20, p. 1167-1190.

SILVEIRA, C.A. da, A.C.K. SCHMIDT, E.J.D. CAMPOS, S.S. DE GODOI & Y. IKEDA, 2000. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, 48(2): p. 171-183.

STRAMMA L. & M. ENGLAND, 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, no C9, 20863-20883.

TOMCZAK, M. & GODFREY, J.S., 1994. Regional Oceanography: An Introduction. **Pergamon**. 422pp.

WALSTRA. L.C., VAN RIJN. L.C.. BLOGG, H.. e VAN ORMONDT. M. 2001. Evaluation of a hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth 1999. Report TR121 - EC MAST Project No. MAS3- 0197-0086. HR Wallingford, UK."

VI EQUIPE TÉCNICA**Equipe da Empresa Consultora ASA South America (Applied Science Consultoria Ltda.)**

Profissional	Ana Carolina R. Lammardo
Empresa	ASA South America
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Eduardo Yassuda
Empresa	ASA South America
Registro no Conselho de Classe	060.184.738.5
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	94066
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Gabriel Clauzet
Empresa	ASA South America
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	1031373
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Maria Regina Fonseca Guimarães
Empresa	ASA South America
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434231
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Marco Antonio Corrêa
Empresa	ASA South America
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434236
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

ANEXO A - DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR

Os dados atmosféricos de reanálise do NCEP/NCAR são resultados de simulações numéricas que utilizam o estado-da-arte em assimilação de dados em conjunto com a mais extensa base de dados disponível. Esta base de dados tem sido aprimorada e beneficiada pela inclusão de observações (coleta de dados) realizadas em diversos países. Tais simulações são realizadas no NCEP usando um modelo espectral de cobertura global de 28 níveis verticais. Este modelo numérico inclui parametrizações dos maiores processos físicos, a saber, convecção, precipitação de larga escala, convecção superficial, arrasto devido a ondas de gravidade, radiação de ciclo diurno e interação com nuvens, física das camadas limites, interação da hidrologia superficial e processos horizontais e verticais de difusão. Detalhes da dinâmica e da física incorporada ao modelo são descritos em NMC Development Division (1988), Kanamitsu (1989), e Kanamitsu *et al.* (1991).

Os dados utilizados nas análises apresentadas no presente estudo foram obtidos via endereço eletrônico (<http://www.esrl.noaa.gov/psd>). É importante salientar que a **ASA South America** mantém um sistema automatizado de “download” de arquivos do NCEP/NCAR (endereço acima) e que, portanto, por ser atualizado diariamente, possibilitando apenas definir a data do último acesso (05 de janeiro de 2009).

O NCEP utiliza como sistema de referência um geóide denominado “Spherical Earth” (comunicação pessoal: ESRL/PSD Data Management <esrl.psd.data@noaa.gov>). Este possui valores diferentes para os parâmetros semieixo maior e achatamento, quando comparado com os do WGS 84:

- Spherical earth: semieixo maior = 6.371.200 m / achatamento = 0;
- WGS 84: semieixo maior = 6.378.137 m / achatamento = 1/298,257223563.

Esta aproximação da forma da Terra à uma esfera (*i.e.* com semieixos iguais) é geralmente utilizada para a simplificação das transformações de coordenadas.

A diferença entre as temperaturas do ar no litoral durante o dia e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) costeira induz pequenas células de circulação denominadas de brisas marítimas. No caso da reanálise do NCEP/NCAR (resolução espacial de 2,5° x 2,5°), ressalta-se que essas células

costeiras não são representadas, como consequência da resolução espacial do modelo.

A.1 BIBLIOGRAFIA

KANAMITSU, M., 1989. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. *Weather and Forecasting*, 4, 335-342.

KANAMITSU, M., J.C. ALPERT, K.A. CAMPANA, P.M. CAPLAN, D.G. DEAVEN, M. IREDELL, B. KATZ, H.-L. PAN, J. SELA & G.H. WHITE, 1991. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. *Weather and Forecasting*, 6, 425-435.

NMC Development Division, 1988: Documentation of the research version of the NMC Medium-Range Forecasting Model. NMC Development Division, Camp Springs, MD, 504 pp.

ANEXO B - DESCRIÇÃO DO MODELO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987). O código fonte desse modelo é de domínio público e disponível *on-line*¹⁰.

A formulação deste modelo possui estrutura tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas escritas na forma de fluxo, sob as aproximações de Boussinesq e hidrostáticas. Este modelo permite também a utilização de grades curvilíneas, de coordenadas σ na vertical e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de 2ª ordem.

No sistema de coordenadas σ , a coordenada z é escalonada de acordo com a profundidade da coluna d'água local, conforme mostra a equação abaixo, onde D é a profundidade local, η a elevação da superfície e H a profundidade média local:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{D} \quad (1)$$

onde

$$D(x, y, t) = H(x, y) + \eta(x, y, t).$$

Nesta formulação também está incluído um submodelo de fechamento turbulento, para o cálculo dos coeficientes de mistura turbulenta vertical. O fechamento turbulento de 2ª ordem utiliza os resultados das equações da energia cinética turbulenta e da escala de comprimento de turbulência, no cálculo dos coeficientes cinemáticos de viscosidade e de difusão turbulenta de calor e sal na vertical (Mellor & Yamada, 1982). Esses cálculos são efetuados com base em relações empíricas, que utilizam constantes estabelecidas em experimentos de laboratório e em observações de campo. Com o fechamento turbulento de 2ª ordem, o modelo reproduz de maneira mais realística as camadas de Ekman, de superfície e de fundo.

¹⁰ <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>

Além dos aspectos específicos acima mencionados, o modelo adota soluções largamente utilizadas na literatura, como gradeamento do tipo *C* de *Arakawa* e métodos de integração diferentes na horizontal e na vertical – integração horizontal e temporal explícita e vertical implícita. Por meio desses procedimentos, elimina-se a restrição temporal na vertical, permitindo o uso de maior resolução nas camadas de Ekman de superfície e de fundo.

O modelo apresenta uma superfície livre e dois intervalos de tempo distintos, um para o modo de oscilação externo e outro para o interno. O modo externo (barotrópico) usa um intervalo de tempo menor, baseado na condição de estabilidade computacional de Courant-Friedrichs-Levy (CFL). O modo interno (baroclínico) usa um intervalo de tempo mais longo (*splitting mode*).

B.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM

O modelo hidrodinâmico aqui descrito é baseado em uma formulação tridimensional prognóstica com aproximação hidrostática. As variáveis potencialmente prognósticas são: as três componentes da velocidade (u, v e w), a temperatura (T), a salinidade (S), a energia cinética turbulenta ($q^2/2$), a escala turbulenta (l), e a elevação da superfície (η).

O conjunto de equações básicas utilizadas no código é descrito abaixo. Consideremos um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com x crescendo para Leste, y para Norte e z para cima, no qual as coordenadas horizontais (*i.e.* x, y) referem-se ao espaço computacional. A superfície livre está localizada em $z = \eta(x, y, t)$ e o fundo em $z = -H(x, y)$. Neste sistema as equações de conservação e a equação de estado são escritas como:

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (2)$$

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (5)$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_{(H)} \quad (6)$$

Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (7)$$

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (8)$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \quad (9)$$

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\frac{\partial}{\partial t} (q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z} (2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial}{\partial z} (q^2 l) \right] + l E_1 K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \quad (10)$$

sendo,

$$F_{q^2, q^2 l} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial y} \right) \quad (11)$$

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{kL} \right)^2 \quad (12)$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (13)$$

onde,

U, V, W = componentes do vetor velocidade (m/s);

f = parâmetro de Coriolis (s^{-1});

ρ_0 = densidade de referência (kg/m^3);

ρ = densidade *in situ* (kg/m^3);

P = pressão (N/m^2);

K_M = coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulenta (m^2/s);

K_H = coeficiente cinemático vertical de difusão turbulenta de calor e sal (m^2/s);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

Θ = temperatura potencial ($^{\circ}C$);

S = salinidade (PSU);

A_M = coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulenta (m^2/s);

A_H = coeficiente cinemático horizontal de difusão turbulenta de calor sal (m^2/s);

F_H, F_S = parametrização (em termos de processos de mistura horizontal) para processos de pequena escala não resolvidos diretamente pela grade do modelo.

$q^2 / 2$ = energia cinética turbulenta;

l = escala característica de comprimento para o movimento turbulento;

\tilde{W} = função proximidade-do-contorno;

k = constante de von Karman ($k=0,4$);

$F_{q^2, q^2 l}$ = termos horizontais de mistura para q^2 e $q^2 l$.

B.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Em áreas com aporte fluvial significativo para a escala do domínio, os valores de vazão, temperatura e salinidade dos rios são diretamente especificados nos contornos. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (Mellor & Yamada, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. Opcionalmente, fluxos de calor e sal (evaporação) podem ser incluídos. Na modelagem em questão estes fluxos não foram considerados. No fundo, são aplicadas as condições dinâmicas descritas em Mellor & Yamada (op. cit.). A velocidade de arrasto é calculada como uma função empírica da energia cinética turbulenta, por sua vez decorrente do fechamento turbulento de segunda ordem.

Nos contornos artificiais são aplicadas, ao modelo, as condições necessárias e suficientes para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas condições de contorno são definidas para as seguintes propriedades: elevação da superfície do mar, velocidades do modo externo (2D), velocidades do modo interno (3D), temperatura, salinidade, velocidade vertical e energia cinética turbulenta.

Nas componentes perpendiculares à fronteira são aplicadas condições radiacionais em função da elevação, do tipo $H\bar{U} \pm C_e \eta = BC^2$, onde $C_e = \sqrt{gH}$ é a velocidade de fase da onda que chega ao sistema, η é a elevação da superfície livre e B é um coeficiente empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição esta descrita por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ (condição análoga aplicada à salinidade)} \quad (14)$$

B.3 BIBLIOGRAFIA

BLUMBERG, A.F. & G.L. MELLOR, 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: N.S. Heaps (Ed.), **Coastal and Estuarine Sciences 4: Three-dimensional Coastal Ocean Models**. American Geophysical Union, pp. 1-16.

MELLOR, G.L. & T. YAMADA, 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, nº 4, 851-875.

ANEXO C - JUSTIFICATIVA PARA A ESCOLHA DO ANO 1992

Neste anexo é apresentada a justificativa para a utilização do ano de 1992 como ano de referência para as modelagens de óleo.

Para a realização de uma modelagem numérica que considere fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais) não é adequado forçar o modelo com campos climatológicos de vento. Assim, se faz necessário escolher um determinado ano para simulação. A escolha deste ano obedece a alguns critérios, os quais são listados a seguir:

1. Representatividade dos padrões dinâmicos típicos, ou extremos para a região, dependendo do propósito do estudo;
2. Disponibilidade de séries temporais simultâneas de ventos, de elevação de superfície e de correntes medidas na região de interesse, necessárias para forçar, calibrar¹¹ e avaliar o modelo hidrodinâmico.

Os dados de corrente disponíveis para a realização do presente estudo são referentes ao ano de 1992, assim, dados de vento foram obtidos na região para o mesmo ano.

As frentes frias que percorrem o litoral leste da América do Sul caracterizam-se por serem paralelas à costa (direção noroeste-sudeste) e apresentam uma trajetória de sudoeste para nordeste. Uma estatística dos sistemas frontais que atingem a Bacia de Santos foi realizada com dados de vento de reanálise do NCEP no nível de 925 hPa (nível mais adequado para esta análise¹²; Andrade, 2005; Rodrigues *et. al.*, 2004; Cavalcanti & Kousky, 2003), disponíveis com resolução temporal de 6 horas e espacial de 2,5°, para o período de 1987 a 2007, na posição de 20,00°S e 40,00°W (figura C.1-1).

¹¹ O procedimento de calibração não é apresentado no relatório, mas os dados disponíveis também podem ser utilizados com este propósito.

¹² Para análises quanto às características meteorológicas da região no que se refere à quantificação da incidência de sistemas frontais, utilizam-se ventos no nível isopicnal de 925 hPa. Os dados de ventos, para este tipo de análise, estão dispostos em uma grade cujo eixo vertical tem níveis de pressão (17 superfícies isopicnais, expressos em hPa, a saber: 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20 e 10), com resolução espacial horizontal 2,5° x 2,5° com 144x73 elementos (cobertura espacial → latitude: de 0,0E a 357,5E; longitude: de 90,0N até 90,0S).



Figura C-1 - Mapa com a localização dos dados de reanálise do NCEP/NCAR (20°S e 40°W) no nível de 925 hPa, utilizados nas estatísticas para o período de 1987 a 2007.

A metodologia utilizada neste trabalho para identificação de frentes frias está de acordo com a metodologia amplamente divulgada na comunidade científica (por exemplo: Andrade, op. cit. e Rodrigues *et. al.*, op. cit.):

- Giro do vento do quadrante norte para o quadrante sul, o que representa uma inversão do sinal do vento meridional de negativo para positivo;
- Permanência do vento sul por pelo menos um dia;
- Queda de temperatura do ar no momento do giro do vento, ou até dois dias depois, de pelo menos 0,5°C.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela C.1-1 e verifica-se que a média mensal desses sistemas atuando na região é de 2,6 sistemas nos meses de verão; 4,6 sistemas no outono; 3,9 no inverno, e 2,7 sistemas nos meses de primavera. Este resultado é coerente com os trabalhos de Oliveira (1986) e Andrade (2005).

Tabela C.1-1 - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para as quatro estações do ano obtidas a partir de dados do NCEP (20°S e 40°W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007.

1987 - 2007	Nº.DE FRENTE	FRENTE/MÊS	DURAÇÃO MÉDIA DAS FRENTE (H)	PERÍODO MÉDIO ENTRE FRENTE (DIA)
<i>JAN-FEV-MAR</i>				
Valores Médios	4,8	1,6	35,4	17,0
Desvios Padrão	2,6	0,9	20,8	20,3
<i>ABR-MAI-JUN</i>				
Valores Médios	13,9	4,6	58,6	4,2
Desvios Padrão	3,8	1,3	11,4	1,6
<i>JUL-AGO-SET</i>				
Valores Médios	11,6	3,9	56,4	6,0
Desvios Padrão	2,5	0,8	11,2	2,0
<i>OUT-NOV-DEZ</i>				
Valores Médios	8,1	2,7	39,6	9,4
Desvios Padrão	2,5	0,8	9,9	3,3

Com relação à intensidade do vento, a figura C.1-2 apresenta a média anual para o período 1987-2007, com base no mesmo conjunto de dados do NCEP utilizado na análise apresentada na tabela C.1-1. Observa-se que a média anual do vento ao longo de todo o período (1987 a 2007) indicou uma intensidade média do vento de 6,5 m/s. A média anual mais intensa para todo o período analisado ocorreu em 1992 (6,9 m/s) e a menos intensa em 1996 (6,1 m/s).

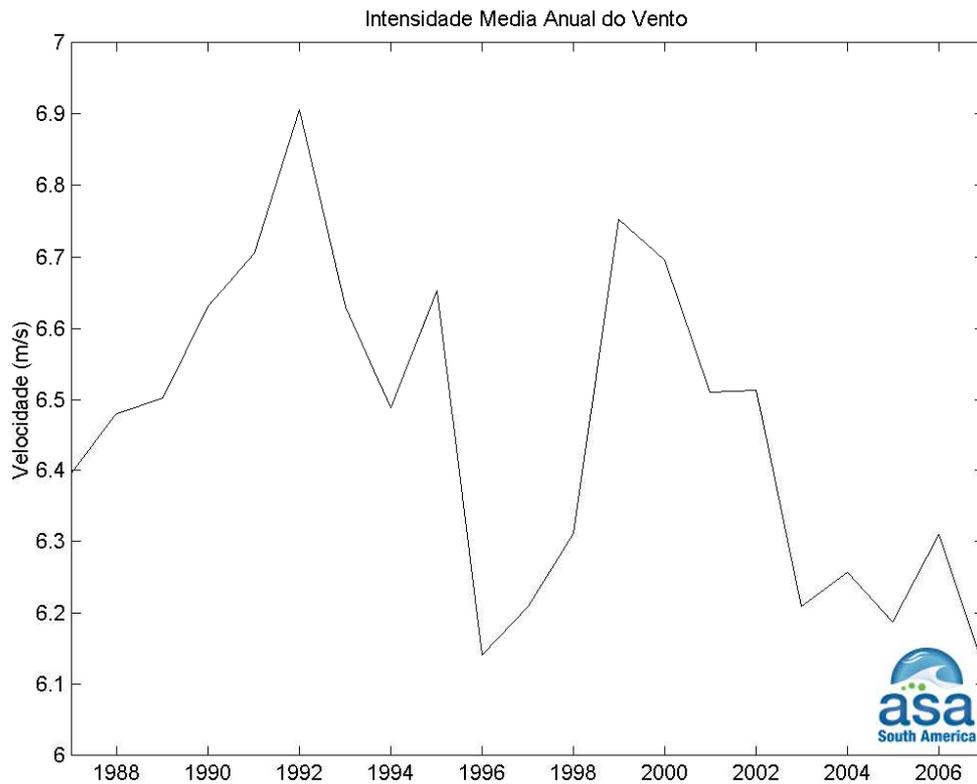


Figura C.1-2 - Intensidade média anual do vento NCEP (20°S e 40°W, em 925 hPa no período de 1987 a 2007.

A figura C.1-3 apresenta o comportamento médio mensal da intensidade do vento ao longo desse período de dados. Verifica-se que a média mensal menos intensa ocorre no outono e a mais intensa entre a primavera e o verão, quando são observadas as velocidades mensais mínimas e máximas, respectivamente. Além disso, para a maioria dos meses, o ano de 1992 apresentou velocidade mensal mais intensa que a média mensal.

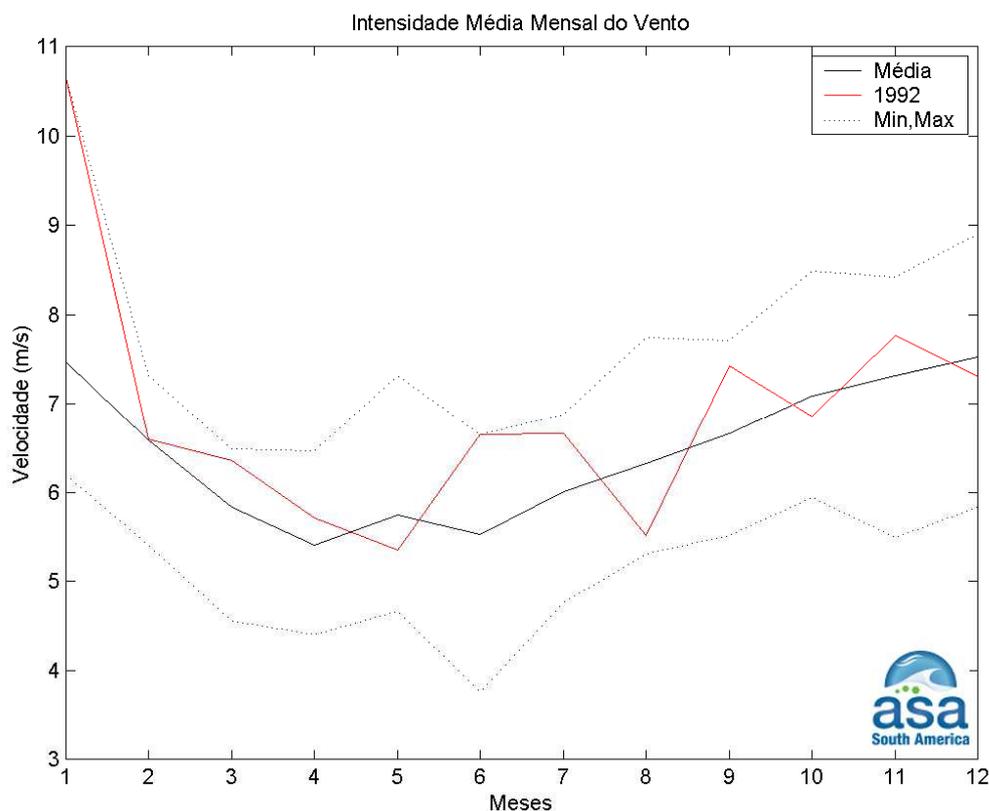
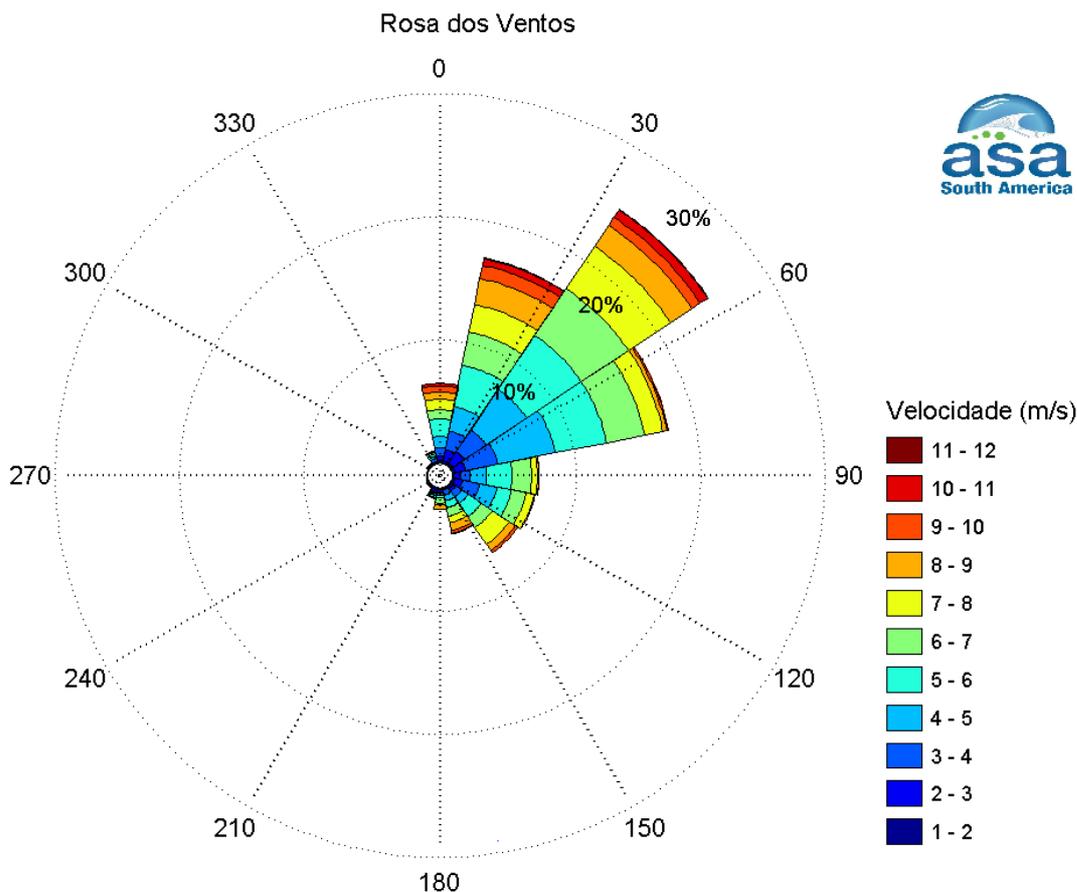


Figura C.1-3 - Intensidade média mensal do vento para de dados do NCEP (20°S e 40°W) em 925 hPa no período de 1987 a 2007.

A seguir, apresenta-se uma análise complementar para este conjunto de dados de vento do ano de 1992, como objetivo ratificar a escolha do ano para as simulações de óleo, frente ao conjunto de dados disponíveis.

A figura C.1-4, abaixo, apresenta a rosa de ventos para o ano de 1992. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de incidência, enquanto que a barra de cores (lateral) indica a intensidade do vetor de vento (em m/s).



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

Figura C.1-4 - Rosa dos ventos (NCEP) para o ano de 1992, com intervalo de amostragem de seis horas. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de incidência, enquanto que a barra de cores (lateral) indica a intensidade do vetor de vento em m/s (convenção meteorológica).

O exame deste diagrama direcional evidencia que a maioria dos ventos provém do primeiro quadrante, também havendo uma incidência relevante de ventos do segundo quadrante. Conforme evidenciado anteriormente pelo estudo climatológico (Subitem I.1.1), ventos do primeiro quadrante formam o regime padrão de ventos na região. A análise de eventos extremos também mostrou que o ano de 1992 (dentre os analisados) foi um ano atípico com relação ao número de sistemas frontais que atingiram a região. Portanto, o diagrama direcional apresentado na figura C.1-4 confirma a análise de eventos extremos.

Tendo em vista que o regime padrão de ventos (com origem no primeiro quadrante) é, em primeira análise, paralelo a costa, os ventos associados aos sistemas frontais (com origem no segundo quadrante), induzem o transporte superficial (em particular, o óleo) em direção à costa.

A tabela C.1-1 apresenta o diagrama de ocorrência conjunta dos dados apresentados graficamente na figura C.1-4. Esta estatística sintetiza o argumento exposto anteriormente para a escolha do ano de 1992 com relação às simulações de óleo. No ano de 1992, aproximadamente, 60% dos ventos na região é coerente com o regime padrão (do primeiro quadrante), e dentre os mais intensos (acima de 10 m/s) também foram observados no segundo quadrante (característicos de sistemas frontais na região).

Tabela C.1-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP para o ano de 1992 (intervalo de amostragem: quatro vezes ao dia).

Veloc.(m/s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Tot.	Perc.	Dir.Méd.
0.0- 1.0	2	4	4	3	0	1	9	1	1	2	4	3	3	1	1	4	43	0.5	117
1.0- 2.0	18	17	14	19	21	16	13	5	10	14	4	2	1	0	4	3	161	1.8	81
2.0- 3.0	30	81	100	74	76	57	23	10	14	17	4	4	2	3	2	8	505	5.8	66
3.0- 4.0	59	135	186	232	131	124	51	38	12	11	1	0	0	2	4	23	1009	11.5	67
4.0- 5.0	82	178	346	417	203	125	55	41	13	11	7	2	1	1	3	15	1500	17.1	64
5.0- 6.0	125	299	465	369	305	105	112	51	21	16	0	0	0	0	4	18	1890	21.5	62
6.0- 7.0	65	241	401	274	203	105	94	62	37	3	0	0	0	0	0	12	1497	17.1	64
7.0- 8.0	74	200	360	132	112	57	144	47	10	3	0	0	0	0	0	2	1141	13.0	63
8.0- 9.0	51	189	180	28	14	7	52	56	35	2	0	0	0	0	0	7	621	7.1	51
9.0-10.0	46	95	71	12	2	0	20	21	0	0	0	0	0	0	0	0	267	3.0	38
10.0-11.0	18	49	62	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	134	1.5	31
Total	570	1488	2189	1561	1067	597	573	336	153	79	20	11	7	7	18	92	8768		
Porc.	6.5	17.0	25.0	17.8	12.2	6.8	6.5	3.8	1.7	0.9	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	1.0			
Vel. méd.	5.9	6.2	6.0	5.1	5.2	4.8	6.0	6.2	5.7	3.8	2.5	2.1	1.8	2.8	3.4	4.6			
Vel. máx.	10.6	10.9	10.9	10.2	9.8	8.2	9.6	10.2	8.6	8.3	4.7	4.2	4.0	4.2	5.2	8.8			
Perct.(0.9)	9.0	8.0	8.0	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	5.6	4.0	4.0	3.6	3.8	5.0	6.3			

Em suma, o ano de 1992 encerra padrões típicos, assim como apresenta condições favoráveis ao transporte de óleo para a costa, tornando completo o conjunto de simulações para um possível incidente na região (vazamento de óleo).

ANEXO D - DESCRIÇÃO DO OCCAM

O projeto OCCAM, para desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos globais, é conduzido por pesquisadores do *Southampton Oceanography Centre*, em colaboração com pesquisadores das Universidades East Anglia e Edinburgh.

O OCCAM baseia-se no modelo oceânico de circulação geral de Bryan-Cox-Semtner (Bryan, 1969; Semtner, 1974; Cox, 1984). Este modelo utiliza equações primitivas (Bryan, op. cit.) e se diferencia de outros modelos oceânicos pelo uso da grade B de *Arakawa* na horizontal, e coordenadas *z* na vertical. É um modelo bastante utilizado pela comunidade oceanográfica, sendo o código MOM¹³ do GFDL¹⁴ (Pacanowski *et al.*, 1990; Pacanowski, 1995), a versão mais conhecida.

Como condições de contorno, assume-se que a velocidade é zero sobre todos os contornos sólidos, assim como os gradientes de temperatura potencial e salinidade normais aos contornos sólidos (incluindo o fundo). O OCCAM inclui uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. Para condições de contorno superficiais, são utilizadas a tensão de cisalhamento do vento e fluxos de calor e água doce, na interface ar-mar. A pressão atmosférica também pode ser especificada.

Sobre o fundo oceânico, o modelo OCCAM assume que a força de fricção (F_b) atua horizontalmente em função da corrente adjacente, e é dada por:

$$F_b = -0.001 u |u| \quad (\text{B-1})$$

Informações gerais, incluindo um relatório técnico especificando os detalhes da principal simulação do OCCAM, podem ser acessadas no endereço: <http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM>.

¹³ *Modular Ocean Model*.

¹⁴ *Global Fluid Dynamics Laboratory*.

D.1 BIBLIOGRAFIA

BRYAN, K., 1969: A numerical method for the study of the circulation of the world ocean. **J. Comput. Phys.**, 4(3), 347-376.

COX, M.D., 1984: A primitive equation 3-dimensional model of the ocean. GFDL Ocean Group Technical Report No. 1. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A. 143 pp.

PACANOWSKI, R.C., K. DIXON & A. ROSATI, 1990: The GFDL Modular Ocean Model users guide, version 1.0. GFDL Ocean Group Technical Report N^o. 2. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A., 18 pp.

PACANOWSKI, R.C., 1995: MOM 2 documentation, user's guide and reference manual. GFDL Ocean Group Technical Report N^o. 3. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A., 232 pp.

SEMTNER, A.J., 1974: A general circulation model for the World Ocean. Technical Report N^o. 9. Department of Meteorology, University of California, Los Angeles. 99 pp.