

Modelagem do Descarte de Benzeno, Tolueno e Fenóis Totais na Água Produzida Descartada na Bacia de Campos

Revisão 00

Maio / 2006



ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO	I-2
II CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE DA ÁGUA PRODUZIDA	II-1
III MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO	III-1
III.1 RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO	III-1
IV MODELAGEM DA DISPERSÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NO CAMPO AFASTADO.....	IV-1
IV.1 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS	IV-1
IV.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA OS CENÁRIOS CRÍTICOS	IV-2
V CONCLUSÕES.....	V-1
VI BIBLIOGRAFIA.....	VI-1
VII EQUIPE TÉCNICA.....	VII-1
ANEXO I	AI-1

TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela II-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem da pluma do descarte de água produzida a partir da Plataforma PPG-1.	II-1
Tabela II-2 - Concentrações dos componentes simulados (condição operacional) presentes na água produzida na Plataforma P-19, Bacia de Campos.	II-2
Tabela III.1-1 - Resultados das simulações do campo próximo para a Plataforma PPG-1, Bacia de Campos.	III-2
Tabela III.1-2 - Concentrações dos compostos simulados no ponto de lançamento (condições operacionais), valores correspondentes à diluição no campo próximo, padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 e distâncias necessárias para atingir esses padrões no campo próximo, calculado para o descarte de água produzida a partir da Plataforma PPG-1.	III-3
Tabela III.1-3 - Concentrações dos compostos simulados no ponto de lançamento, valores correspondentes à diluição no campo próximo, padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 e distâncias necessárias para atingir esses padrões no campo próximo calculado para o descarte de água produzida dos cenários críticos.	III-4
Tabela IV.2-1 - Concentração no ponto de lançamento, máximas concentrações no campo afastado e padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 para as simulações críticas realizadas a partir da Plataforma PPG-1.	IV-2

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1-1 - Localização da Plataforma PPG-1, na Bacia de Campos.	I-3
Figura III.1-1 - Profundidades e distâncias em relação ao ponto de descarte da pluma de água produzida nos períodos de (a) verão e (b) inverno.	III-2
Figura IV.2-1 - Distâncias necessárias para o enquadramento dos compostos simulados nos padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1, no período de verão, com detalhe da região mais próxima ao ponto de descarte.	IV-3
Figura IV.2-2 - Distâncias necessárias para o enquadramento dos compostos simulados nos padrões de qualidade de Águas Salinas –	IV-4

Classe 1, no período de inverno, com detalhe da região mais próxima ao ponto de descarte.	
---	--

RESUMO

Este relatório apresenta os resultados das simulações numéricas do processo de diluição e dispersão da pluma proveniente do descarte de benzeno, tolueno e fenóis totais presentes na água produzida na Região de Produção Oceânica da Bacia de Campos, a partir da locação da Plataforma PPG-1, localizada no campo de Pargo, ao Norte da Bacia de Campos, litoral do Estado do Rio de Janeiro. Esta é a plataforma, da Bacia de Campos, mais próxima da costa na qual há descarte de água produzida.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi obtida a partir de um modelo numérico de meso-escala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA SOUTH AMERICA** (ASA, 2006).

No estudo do comportamento da pluma o processo foi dividido entre campo próximo e campo afastado. O campo próximo foi simulado utilizando-se o modelo CORMIX da *Cornell University*. Para simular a diluição e dispersão da pluma do efluente no campo afastado, foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** Este modelo simula a dispersão e a distribuição de produtos químicos na superfície e coluna d'água, nos sedimentos e na costa. Com os resultados das simulações é possível determinar a probabilidade de ocorrência e a concentração dos compostos químicos considerados.

Foram conduzidas simulações considerando a variação sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas, sendo selecionados para isso os períodos de verão e inverno. Para esses períodos, foram realizadas simulações com duração de 24 horas, utilizando a vazão de 30.000 m³/dia, correspondente ao maior volume de descarte esperado para uma plataforma na Bacia de Campos, a ser alcançado no ano de 2027. Neste estudo foram considerados os seguintes compostos: BTEX (representado pelo benzeno e tolueno), e fenóis totais.

Com o objetivo de simular condições críticas, foram considerados neste estudo cenários com concentrações iniciais no ponto de lançamento de 20 e 29 mg/L para cada um desses compostos. Estas concentrações são consideradas inatingíveis ou inesperadas pois, não são compatíveis com qualquer registro histórico, no Brasil ou no exterior (OGP, 2005). Além destas simulações críticas

também foram realizadas simulações com concentrações iniciais de benzeno, tolueno e fenóis totais, observadas em condições operacionais na Bacia de Campos.

Em todas as simulações foram utilizadas como concentração limite para apresentação dos resultados os valores da Resolução CONAMA nº 357/05 para os padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1. Os resultados deste trabalho mostram que, nas condições de descarte simuladas, o corpo receptor apresenta concentrações inferiores às estabelecidas para estes padrões, a distâncias máximas de 67,6 m no verão e de 96,5 m no inverno.

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental (CTCQA) do CONAMA¹ no desenvolvimento de uma Resolução sobre o descarte contínuo de água produzida em plataformas de petróleo e gás, apresenta-se neste trabalho os resultados da modelagem computacional da diluição e da dispersão de benzeno, tolueno e fenóis totais da água produzida na Bacia de Campos.

Em face do pouco tempo disponível tempo para a simulação dos diversos parâmetros que compõem a mistura "óleos e graxas", foram realizadas modelagens com os parâmetros considerados mais significativos (presentes em maior concentração) da água produzida e descartada nas plataformas da Bacia de Campos (Benzeno e Tolueno), além de Fenóis totais, por ser este o único componente dos óleos e graxas presente na tabela 6 do Artigo 34 da Resolução CONAMA 357/05, abaixo reproduzida.

Hidrocarbonetos Aromáticos voláteis (BTEX)

Tabela 6 - Dados comparativos de BTEX para água produzida (mg/L)

Plataformas	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xilenos
Mar do Norte				
Produção de Gás ⁽¹⁾	0,3 - 440	4 - 145		0,8 - 84
Produção de Óleo ⁽¹⁾	0,4 - 5	0,01 - 2		0,1 - 7
Produção de Óleo ⁽²⁾	0,8 - 4,6	1,0 - 3,5	0,3 - 0,6	0,2 - 0,7
Golfo do México ⁽³⁾	0,026 - 3,5	0,011 - 1,1		
⁽⁴⁾	0,002 - 17,7	0,06 - 19,8	0,006 - 6,0	0,15 - 5,8
Gulfas e Campos de Statfjord ⁽⁵⁾	2	1		1
Petrobras				
UN-RNCE	0,02 - 10,2	0,02 - 6,4	0,03 - 0,6	0,04 - 1,5
UN-BSOL	0,02	0,02	<0,003	0,05
UN-BC	0,5 - 2,2	0,6 - 2,3	0,08 - 0,4	0,3 - 1,3
UN-SEAL	0,7 - 3,3	0,7 - 1,9	0,1 - 0,2	0,3 - 0,8
UN-SUL	5,8 - 9,9	4,1 - 8,6	0,27 - 0,30	1,0 - 2,8

(1) E&P FORUM, 1994; (2) Roe Utvik, 1999; (3) US-MMS, 1992; (4) Offshore Operators Committee, 1997

(5) Karman et al, 1996

A avaliação foi, então, conduzida dividindo-se o processo em campo próximo e campo afastado. O campo próximo foi simulado através do modelo CORMIX² da

¹ Conselho Nacional do Meio Ambiente

² Cornell Mixing Zone Expert System.

Cornell University. O campo afastado foi simulado utilizando-se o sistema de modelos computacionais conhecido como CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.**

A caracterização dos padrões de circulação na região foi realizada a partir de resultados de um modelo desenvolvido pela equipe da **ASA SOUTH AMERICA**, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM).

A seguir, o Capítulo I apresenta os objetivos desse estudo e fornece informações sobre a área em questão. O levantamento e a análise dos dados meteorológicos e oceanográficos nas imediações da região são apresentados no Anexo I, assim como o modelo hidrodinâmico e seu processo de calibração. O Capítulo II apresenta as características do descarte da água produzida. No Capítulo III são apresentadas as simulações no campo próximo e seus resultados. O Capítulo IV apresenta o modelo CHEMMAP e os resultados das simulações no campo afastado. Por fim, o Capítulo V apresenta as conclusões obtidas neste estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

As simulações da dispersão da água produzida na Bacia de Campos foram realizadas a partir da Plataforma PPG-1 (figura I.1-1), localizada a, aproximadamente, 72 km da costa, cujas coordenadas foram fornecidas pela Petrobras como 22°15'19,978"S e 40°19'47,878"W (WGS 84). Esta por sua vez, é a unidade de produção mais próxima da costa, na Bacia de Campos, em que há descarte atual de água produzida, ou previsto para os próximos 15 anos. A caracterização ambiental da área de estudo e a análise dos dados ambientais, juntamente como o modelo hidrodinâmico implementado na região, são apresentados no Anexo I.

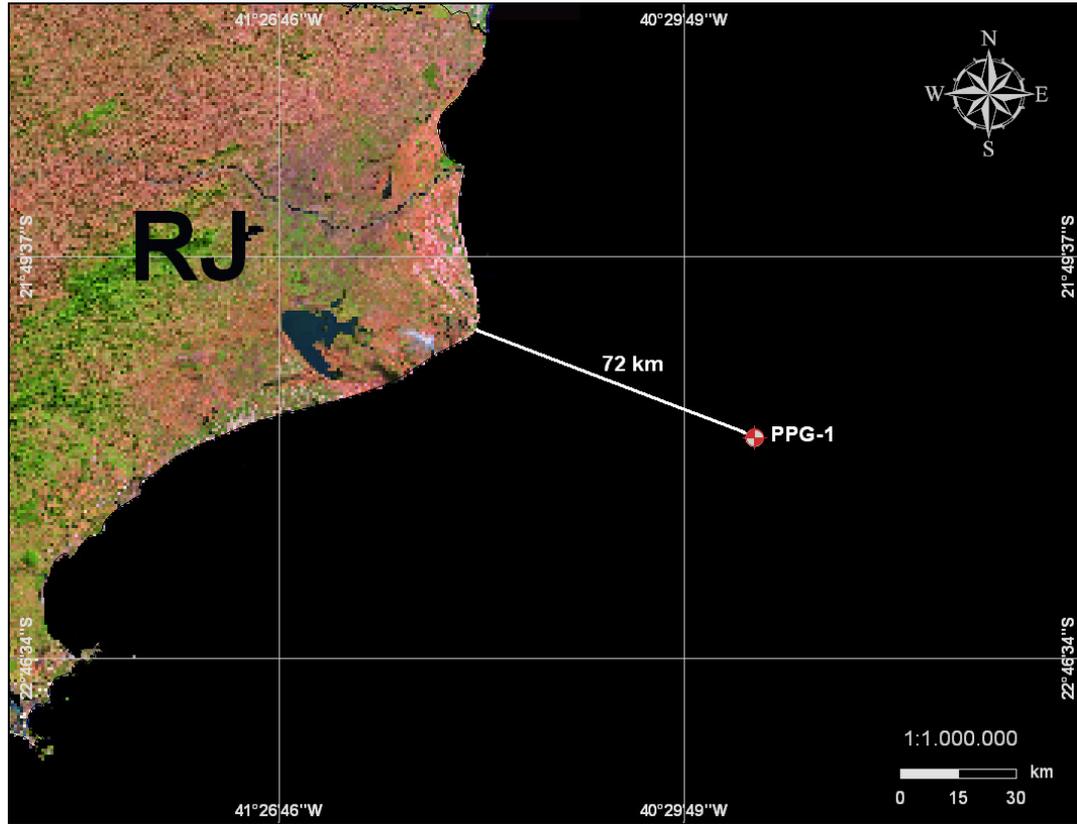


Figura I.1-1 - Localização da Plataforma PPG-1, na Bacia de Campos.

II CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE DA ÁGUA PRODUZIDA

Na tabela II-1 são apresentadas as características do descarte da água produzida a partir da Plataforma PPG-1. Considerou-se o efluente como sendo continuamente descartado, com uma vazão de 30.000 m³/dia, por uma tubulação de 40", na profundidade de 60 m, em local com lâmina d'água de 101 m. O efluente será descartado a uma temperatura de 40 °C com uma densidade final de 1.020,6 kg/m³. O volume utilizado nas simulações corresponde ao maior volume de descarte esperado para uma plataforma da Petrobras, na Bacia de Campos, a ser alcançado no ano de 2027.

Tabela II-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem da pluma do descarte de água produzida a partir da Plataforma PPG-1.

PARÂMETROS PARA MODELAGEM DA PLUMA	
Diâmetro da tubulação	40"
Orientação da tubulação	vertical
Posição do ponto de descarte	22°15'19,978"S e 40°19'47,878"W (WGS 84)
Profundidade local no ponto de descarte*	101 m
Profundidade de descarte	60 m
Vazão do efluente	30.000 m ³ /dia
Temperatura do efluente	40 °C
Densidade do efluente	1.020,6 kg/m ³

Para avaliação da diluição e dispersão da água produzida descartada a partir da Plataforma PPG-1, foram considerados apenas os parâmetros orgânicos: benzeno, tolueno e fenóis totais.

A tabela II-2 apresenta as concentrações (fornecidas pela Petrobras) de benzeno, tolueno e fenóis, da água produzida na Plataforma P-19. Estes dados foram utilizados nas simulações dos cenários de condições operacionais na bacia, pelo fato da Plataforma P-19 ser a unidade de produção da Bacia de Campos onde se observam as maiores concentrações destes compostos. Na tabela também são apresentados os valores limite utilizados como parâmetros de comparação, correspondentes aos padrões de qualidade de Águas Salinas –

Classe 1, estabelecidos na legislação, segundo o Art. 18 da resolução CONAMA nº 357/05 (Brasil, 2005).

Os valores da legislação aqui apresentados são referentes à tabela IV dos padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1. Observa-se que, no ponto de lançamento, o benzeno já se encontra com concentração inferior ao limite da legislação.

Tabela II-2 - Concentrações dos componentes simulados (condição operacional) presentes na água produzida na Plataforma P-19, Bacia de Campos.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO (µg/L)	ÁGUAS SALINAS – CLASSE 1 (µg/L)
BTEX		–
Benzeno	490	700
Tolueno	1.365	215
Fenóis totais	1.424	60

Os parâmetros que apresentam concentrações acima do limite da legislação, em condições operacionais, foram utilizados na modelagem do transporte da pluma de efluentes. Além destes cenários foram simulados, também, alguns cenários críticos especificados pela Petrobras, na mesma posição e com as mesmas características da Plataforma PPG-1, porém considerando concentrações iniciais no ponto de lançamento de 20 e 29 mg/L (20.000 e 29.000 µg/L) para o benzeno, tolueno e fenóis totais. Estas concentrações, selecionadas para as simulações de cenários críticos, são concentrações consideradas inatingíveis ou inesperadas pois, não são compatíveis com qualquer registro histórico, no Brasil ou no exterior (OGP, 2005). A utilização desses valores de concentrações visou à simulação de uma condição extrema, onde cada componente modelado (benzeno, tolueno ou fenóis totais) apresentaria a concentração no efluente, igual à soma das concentrações de todos os componentes da água produzida.

III MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO

A modelagem do transporte da pluma de efluentes compreende a modelagem do campo próximo e do campo afastado. O campo próximo corresponde à zona de diluição inicial, onde prevalecem os efeitos oriundos da velocidade inicial de ejeção e a diferença de densidade entre o efluente e o meio. Por campo afastado entende-se a região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica local no transporte e dispersão da pluma.

A zona de diluição inicial foi simulada com o modelo CORMIX, da *Cornell University*, utilizado para simular o campo próximo do lançamento de água produzida na Bacia de Campos. O CORMIX é um sistema de modelos computacionais desenvolvido para a análise, previsão e planejamento do lançamento de efluentes em diferentes corpos d'água (Jirka *et al.*, 1996).

III.1 RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO

As simulações foram divididas entre os períodos de verão e inverno, de forma a reproduzir a variabilidade sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas na região de estudo. Os valores médios de corrente, utilizados nas simulações do comportamento da pluma do efluente no campo próximo, foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico implementado na região e as informações do campo termohalino utilizadas no CORMIX foram obtidas do Atlas Eletrônico de dados do WOCE (ASA, 2006). As características do descarte e da água produzida, utilizadas nas simulações do campo próximo, encontram-se descritas no Capítulo II.

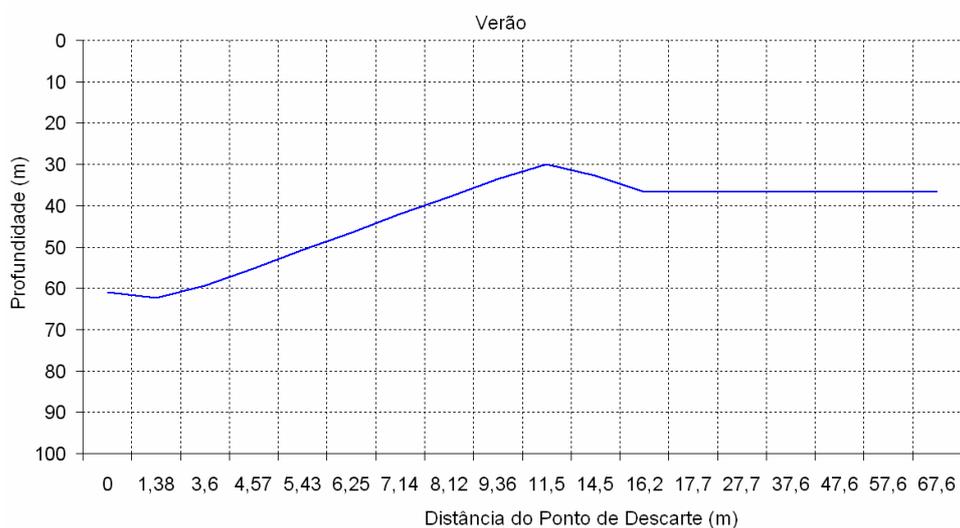
A tabela III.1-1 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para a Plataforma PPG-1. Observa-se que a diluição é maior no período de inverno (72 vezes) do que no período de verão (45 vezes).

Na figura III.1-1 observa-se as profundidades da pluma de água produzida e as distâncias em relação ao ponto de lançamento baseado nos resultados do campo próximo, calculados nos períodos de verão e inverno. Em ambos os períodos, a profundidade máxima que a pluma atinge é de, aproximadamente,

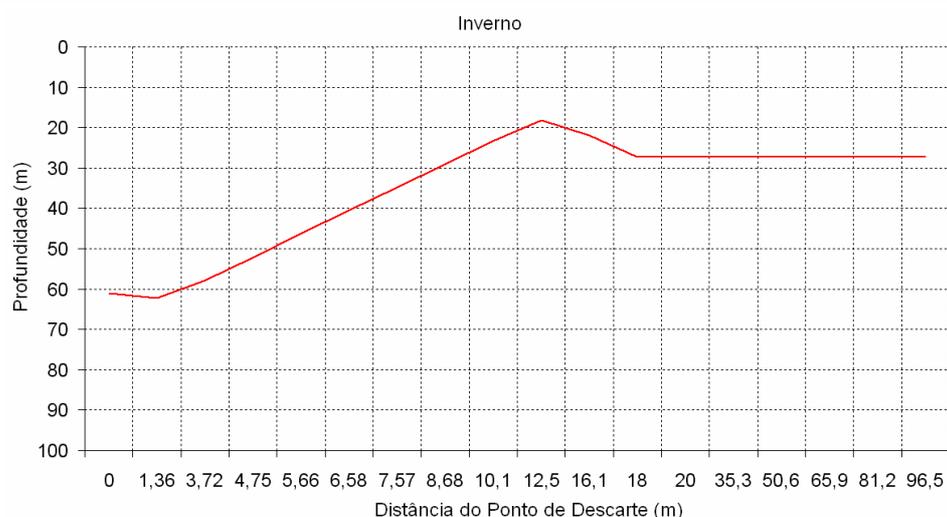
62 m. A cerca de 1,3 m do ponto de descarte, a pluma começa a emergir, alcançando profundidades mínimas de 30 m no verão, e 18 m no inverno, a uma distância média de 12 m do ponto de lançamento. Por volta de 16 m (verão) e 18 m (inverno) do ponto, a pluma se estabiliza, com profundidades terminais de 37 e 27 m, respectivamente.

Tabela III.1-1 - Resultados das simulações do campo próximo para a Plataforma PPG-1, Bacia de Campos.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	44,9	72,2
Comprimento da zona de mistura (m)	67,6	96,5
Profundidade terminal da pluma (m)	36,7	27,3



(a)



(b)

Figura III.1-1 - Profundidades e distâncias em relação ao ponto de descarte da pluma de água produzida nos períodos de (a) verão e (b) inverno.

A tabela III.1-2 apresenta as concentrações iniciais dos componentes em condições operacionais, as concentrações correspondentes à diluição no final do campo próximo, as concentrações limites dos padrões de qualidade de Águas Salinas - Classe 1 da Resolução do CONAMA 357/05 e as distâncias, em relação ao ponto de lançamento, necessárias para que o corpo receptor atinja estes limites, ainda dentro do campo próximo. Observa-se que todos os parâmetros simulados encontram-se abaixo destes limites ao final do campo próximo. Nesta tabela, não são apresentadas as distâncias para os parâmetros que já se encontram abaixo desse limite no ponto de lançamento (*i.e.* benzeno). Observa-se que o tolueno atinge esse limite a menos de 6 m do ponto de lançamento. Já para os fenóis totais é necessária uma distância maior que 11 m para o enquadramento nesse padrão de qualidade de águas.

Tabela III.1-2 - Concentrações dos compostos simulados no ponto de lançamento (condições operacionais), valores correspondentes à diluição no campo próximo, padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 e distâncias necessárias para atingir esses padrões no campo próximo, calculado para o descarte de água produzida a partir da Plataforma PPG-1.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO EM CONDIÇÕES OPERACIONAIS(µg/L)	CONCENTRAÇÃO NO FINAL DO CAMPO PRÓXIMO (µg/L)		ÁGUAS SALINAS CLASSE 1 (µg/L)	DISTÂNCIA (m) PARA ATINGIR OS PADRÕES DE ÁGUAS SALINAS CLASSE 1 (CONAMA 357/05) NO CAMPO PRÓXIMO	
		VERÃO	INVERNO		VERÃO	INVERNO
BTEX						
Benzeno	490	10,491	6,79	700	–	–
Tolueno	1.365	30,40	18,91	215	5,88	4,17
Fenóis totais	1.424	31,71	19,72	60	11,51	8,20

A tabela III.1-3 apresenta as concentrações iniciais dos componentes, as concentrações correspondentes à diluição no final do campo próximo, as concentrações limites dos padrões de qualidade de Águas Salinas - Classe 1 da Resolução do CONAMA 357/05 e as distâncias, em relação ao ponto de lançamento, necessárias para que o corpo receptor atinja estes limites, ainda dentro do campo próximo, das simulações de cenários críticos, com concentrações iniciais (no ponto de lançamento) de 20.000 e 29.000 µg/L. Observa-se que, para ambas as concentrações críticas simuladas, o benzeno é o único parâmetro que atinge esse limite ainda dentro do campo próximo, tanto no

verão quanto no inverno. Nesta tabela, não são apresentadas as distâncias para os parâmetros que não atingem esse limite no campo próximo. O benzeno é o único parâmetro que atinge esse limite dentro do campo próximo, com uma distância máxima de 16 m (para 20.000 µg/L) e 51 m (para 29.000 µg/L) do ponto de lançamento

Tabela III.1-3 - Concentrações dos compostos simulados no ponto de lançamento, valores correspondentes à diluição no campo próximo, padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 e distâncias necessárias para atingir esses padrões no campo próximo calculado para o descarte de água produzida dos cenários críticos.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO (µg/L)	CONCENTRAÇÃO NO FINAL DO CAMPO PRÓXIMO (µg/L)		ÁGUAS SALINAS CLASSE 1 (µg/L)	DISTÂNCIA (m) PARA ATINGIR OS PADRÕES DE ÁGUAS SALINAS CLASSE 1 (CONAMA 357/05) NO CAMPO PRÓXIMO	
		VERÃO	INVERNO		VERÃO	INVERNO
BTEX						
Benzeno	20.000	445,43	277,01	700	16,26	9,62
	29.000	645,88	401,66	700	51,17	16,81
Tolueno	20.000	445,43	277,01	215	–	–
	29.000	645,88	401,66	215	–	–
Fenóis totais	20.000	445,43	277,01	60	–	–
	29.000	645,88	401,66	60	–	–

IV MODELAGEM DA DISPERSÃO DA ÁGUA PRODUZIDA NO CAMPO AFASTADO

Na modelagem do campo afastado foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **ASA**, para previsão da trajetória e transformações biogeoquímicas (*trajectory and fates*) de produtos químicos, incluindo as substâncias flutuantes, as que afundam e as substâncias solúveis.

O CHEMMAP é um sistema de modelos que pode ser utilizado em Análises de Risco, Planos de Emergência e Estudos Ambientais para modelagem de dispersão de derrames acidentais de produtos químicos, do descarte de efluentes, e do descarte de água de produção associado às operações de óleo e gás (French, 2001; French et al., 2002) em qualquer região do mundo.

IV.1 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações para a determinação da dispersão e diluição da água produzida na Bacia de Campos foram realizadas utilizando-se o modelo CHEMMAP no modo probabilístico. Como neste modo é considerada a variabilidade das forçantes ambientais, as simulações de comportamento da pluma são realizadas através da variação das condições meteorológicas e oceanográficas, divididas em duas condições principais correspondendo aos períodos de verão (janeiro a março) e inverno (julho a setembro). O campo de correntes de cada período, utilizado para as simulações do comportamento da pluma, foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico e dos dados de vento utilizados (ASA, 2006).

Para incorporar essas variabilidades, cada cenário probabilístico foi composto por uma série de 30 simulações de 24 horas cada, com o modelo CHEMMAP. O comportamento da pluma de efluentes descartada na região foi estudado através de simulações realizadas com uma vazão constante de 30.000 m³/dia, ao longo dessas 24 horas.

Como padrão de comparação dos resultados, foram utilizados os padrões de qualidade estabelecidos na legislação para águas salinas - classe 1 (Resolução do CONAMA nº 357/05).

Para os cenários com valores de concentração de lançamento operacionais (referentes ao efluente da P-19) não foram realizadas simulações no campo afastado, uma vez que todos os compostos simulados se enquadram na classe 1 ainda no campo próximo. Para os cenários críticos, com concentrações iniciais no ponto de lançamento de 20.000 e 29.000 µg/L, foram realizadas simulações no campo afastado para todos os compostos exceto o benzeno, pois esse também já se enquadra na Classe 1 no campo próximo.

IV.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS PARA OS CENÁRIOS CRÍTICOS

As simulações realizadas para os cenários críticos apresentaram concentrações inferiores aos padrões de qualidade de Águas Salinas - Classe 1, *i.e.* a diluição associada ao campo afastado é suficiente para o enquadramento desses compostos. A tabela IV.2-1 apresenta a concentração no ponto de lançamento, os valores máximos de concentração obtidos nas simulações para o tolueno e os fenóis totais dos cenários críticos, bem como o limite para Águas Salinas de Classe 1.

Tabela IV.2-1 - Concentração no ponto de lançamento, máximas concentrações no campo afastado e padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 das simulações críticas realizadas na Plataforma PPG-1.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO (µg/L)	MÁXIMA CONCENTRAÇÃO (µg/L) NO LIMITE DO CAMPO PRÓXIMO		ÁGUAS SALINAS CLASSE 1 (µg/L)
		VERÃO (67,6 m DO PONTO DE LANÇAMENTO)	INVERNO (96,5 m DO PONTO DE LANÇAMENTO)	
BTEX				
Tolueno	20.000	5,82	3,78	215
	29.000	8,44	6,80	215
Fenóis totais	20.000	9,67	9,02	60
	29.000	14,34	13,08	60

As figuras IV.2-1 e IV.2-2 apresentam um resumo dos resultados obtidos para as simulações de benzeno, tolueno e fenóis totais, para os períodos de verão

(figuras IV.2-1) e inverno (figuras IV.2-12), tanto para os cenários com concentrações iniciais operacionais como críticas. Nestas figuras é possível observar a distância necessária para o enquadramento nos padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1 para cada um dos compostos simulados. Nas figuras, as distâncias correspondentes ao tolueno (concentração inicial de 1.365 µg/L), aos fenóis totais (concentração inicial de 1.424 µg/L) e ao benzeno (concentração inicial de 20.000 e 29.000 µg/L) correspondem às distâncias relativas à diluição no campo próximo. As simulações do campo afastado para o tolueno e os fenóis totais, nos cenários críticos, apresentaram seus maiores valores de concentrações no limite com o campo próximo, ilustrados nas figuras.

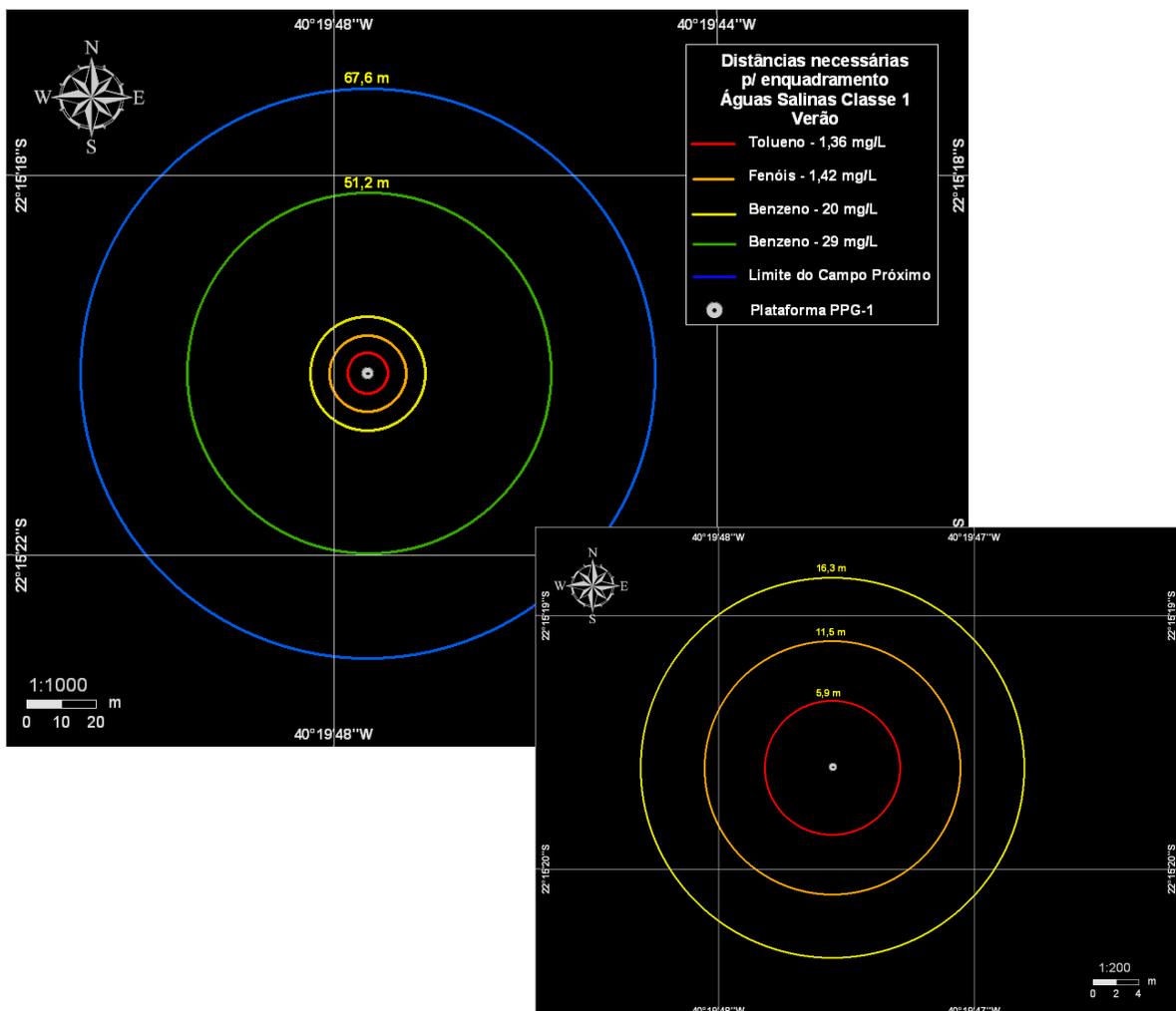


Figura IV.2-1 – Distâncias necessárias para o enquadramento dos compostos simulados nos padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1, no período de verão, com detalhe da região mais próxima ao ponto de descarte.

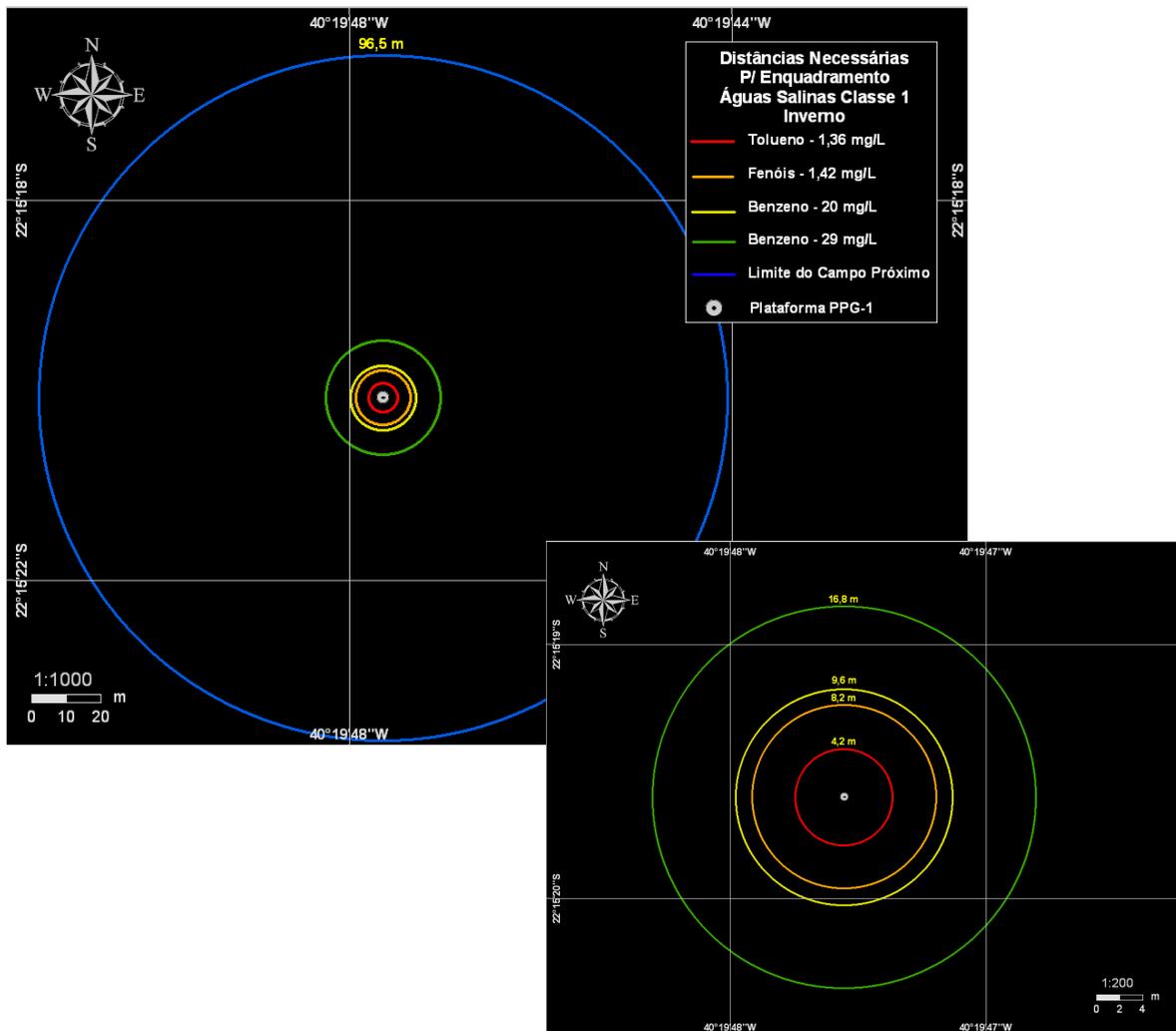


Figura IV.2-2 – Distâncias necessárias para o enquadramento dos compostos simulados nos padrões de qualidade de Águas Salinas – Classe 1, no período de inverno, com detalhe da região mais próxima ao ponto de descarte.

V CONCLUSÕES

A partir do melhor entendimento técnico-científico da dinâmica local, foi possível definir a área de influência das plumas de benzeno, tolueno e fenóis totais na água produzida descartadas a partir da plataforma PPG-1, unidade de produção mais próxima da costa, na Bacia de Campos, em que há descarte de água produzida. O volume de 30.000 m³ simulado, corresponde ao maior volume de descarte esperado para uma plataforma na Bacia de Campos, a ser alcançado no ano de 2027.

Ressalta-se que foram realizadas simulações considerando a composição de água produzida descartada em condições operacionais e extremas. Nas simulações de condições operacionais foram utilizadas as características do efluente de água produzida na Plataforma P-19, uma vez que esta é a unidade de produção da Bacia de Campos onde se observam as maiores concentrações de benzeno, tolueno e fenóis. Por sua vez, as concentrações de lançamento consideradas nos cenários críticos podem ser consideradas inatingíveis ou inesperadas, pois não são compatíveis com qualquer registro histórico, no Brasil ou no exterior. A utilização desses valores visou à simulação de uma condição extrema, onde cada componente modelado apresentaria a concentração no efluente, igual à soma das concentrações de todos os componentes da água produzida.

Como padrão para a comparação dos resultados das simulações foram adotados os padrões de qualidade de água existentes na legislação, referentes à Resolução do CONAMA nº 357/05 para o enquadramento na Classe 1 de Águas Salinas.

Os resultados das simulações para o campo próximo mostraram diluições de 45 vezes e profundidade terminal da pluma de 36,7 m (no período de verão) e 72 vezes e profundidade terminal da pluma de 27,3 m (no período de inverno). Além disso, dos parâmetros simulados que apresentaram concentrações, no ponto de lançamento, acima do padrão de qualidade de Águas Salinas - Classe 1, no efluente descartado (*i.e.* tolueno e fenóis totais), todos se enquadram nesses padrões no final do campo próximo. Para as simulações dos cenários críticos de

20.000 e 29.000 µg/L apenas o benzeno se enquadra nesse padrão ao final do campo próximo.

Os resultados das simulações dos cenários críticos para o campo afastado mostraram que, todos os compostos simulados (benzeno, tolueno e fenóis totais), apresentam concentrações inferiores às estabelecidas na Resolução do CONAMA nº 357/05 para Águas Salinas de Classe 1, a uma distância menor que 500 m, proposta como Zona de Mistura para plataformas marítimas de petróleo e gás.

VI BIBLIOGRAFIA

ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES SOUTH AMERICA). 2006. Modelagem do Descarte de Água Produzida na Bacia de Campos. Relatório Técnico (abril de 2006). 103pp.

BRASIL. 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005.

FRENCH, D., 2001. Chemical Spill Model (CHEMMAP) for Forecasts/Hindcasts and Environmental Risk Assessment. In: Proceedings of the 24th Arctic and Marine Oilspill (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 12-14, 2001, Environment Canada, pp.825-846.

FRENCH, D., N. WHITTIER, M. WARD, & C. SANTOS, 2002. Spill Hazard Evaluation for Chemicals Shipped in Bulk Using Modeling. In: **Proceedings, Sixth International Marine Environmental Seminar**, Trondheim, Norway, September 2-4, 2002.

JIRKA, G.H.; DONEKER, R.L. & HINTON, S.W. 1996. User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. **U.S. Environmental Protection Agency**. 152pp.

OGP (International Association of Oil & Gas Producers). Fates and Effects of Naturally Occurring Substances in Produced Water on the Marine Environment. Report No:364, February, 2005.

VII EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.

Profissional	Ana Carolina da Rocha
Empresa	ASA Consultoria Ltda
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)	TODAS
Assinatura	

Profissional	Andrea Gallo Xavier
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	58617
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	TODAS
Assinatura	

Profissional	Carlos Eduardo Simão
Empresa	ASA Consultoria
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434226
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	Daniel Constantino Zacharias
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	638533
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	Eduardo Yassuda
Empresa	ASA Consultoria Ltda
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)	TODAS
Assinatura	

Profissional	Erika Naomi de Souza Tominaga
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	980855
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	José Edson Pereira
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	326336
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	Maria Regina Fonseca Guimarães
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades	434231

e Instrumentos de Defesa Ambiental	
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	Marco Antônio Corrêa
Empresa	ASA Consultoria Ltda.
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)	IV
Assinatura	

Profissional	Maurício Person Lammardo
Empresa	ASA Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	272165
Responsável pelo(s) Capítulo (s)	TODAS
Assinatura	

ANEXO I

ÁREA DE ESTUDO

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.

A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região sudeste associada ao deslocamento da ASAS, é caracterizada pelo predomínio de ventos de nordeste no verão e ventos de leste-nordeste no inverno. Este padrão é ilustrado nas figuras I.1.1-1 e I.1.1-2, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtido através da média de 12 anos (1990 - 2001). Essa média foi calculada a partir dos resultados das Reanálises do modelo de circulação geral do NCEP e NCAR³. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e do padrão de ventos gerados por esse sistema.

As alterações neste padrão climatológico médio da atmosfera têm relação causal com deslocamentos de sistemas atmosféricos transientes (*i.e.* sistemas frontais e ciclones extratropicais), 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 perturbações geradas são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.

³ *National Centers for Environmental Prediction* e *National Center for Atmospheric Research*, disponibilizados pelo *Climate Diagnostics Center* (CDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

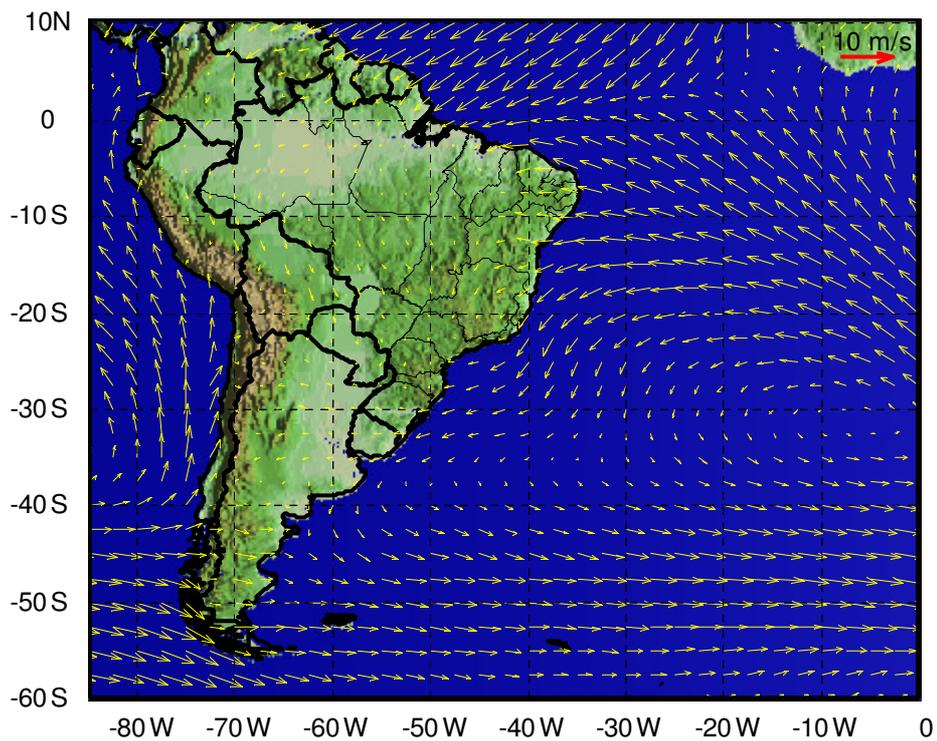


Figura I.1.1-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 metros no período de verão (Reanálises do NCEP).

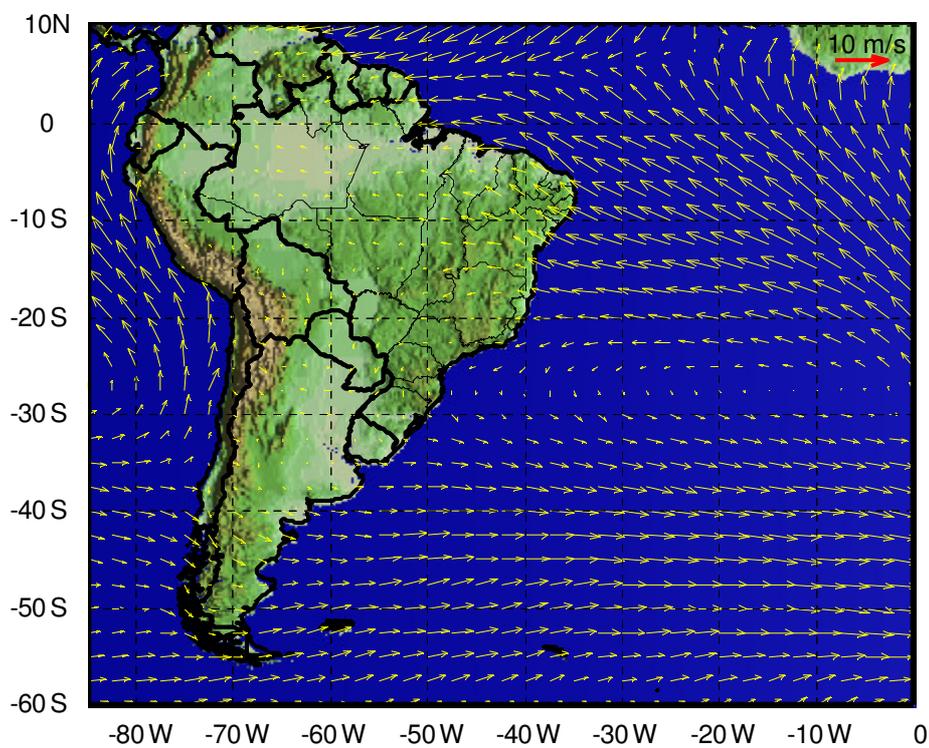


Figura I.1.1-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 metros no período de inverno (Reanálises do NCEP).

De acordo com a estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1975 a 1984 e 1987 a 1995, apresentada pelo Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise, 1996), a média mensal desses sistemas atuando sobre a costa sudeste brasileira é de quatro sistemas nos meses de verão e sete sistemas nos meses de inverno.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogenéticas, *i.e.* as frentes podem se formar ou se intensificar nessas regiões (Satyamurty & Mattos, 1989).

Em meso e micro escalas, a variabilidade meteorológica induzida pelas brisas marinhas e terrestres também é significativa, principalmente nos padrões dinâmicos da circulação observada sobre a plataforma continental.

Padrões de Circulação da Região

A figura I.1.2-1 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul, que possui uma corrente de contorno oeste para sul, a Corrente do Brasil (CB), a qual se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM). A partir deste ponto, a CB, composta com a CM, afasta-se da costa e flui para leste como a Corrente do Atlântico Sul (CAS). O giro no Atlântico é complementado pela Corrente de Benguela (BE) e Corrente Sul Equatorial (CSE), fechando o circuito com a CB para sul e a Corrente Norte do Brasil (CNB).

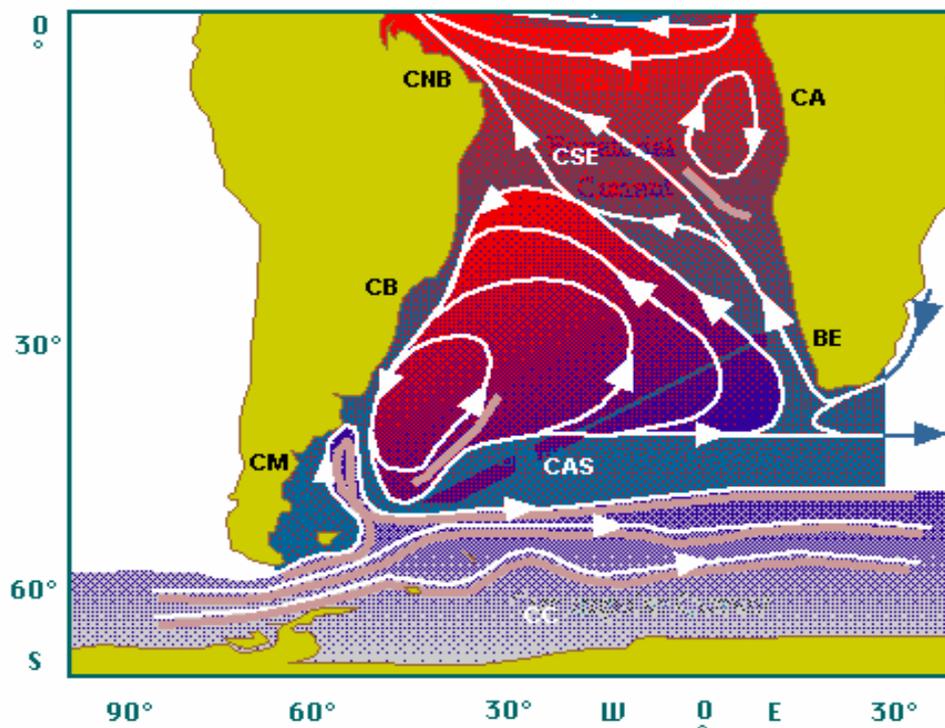


Figura I.1.2-1 - Representação da circulação no oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).

A circulação oceânica na região da Bacia de Campos é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, dependendo de fatores morfológicos e dinâmicos da área. Sobre a plataforma há amplificação natural do sinal de maré e intensificação dos padrões meteorológicos locais, *i.e.* brisa marinha e efeitos orográficos no vento. Sobreposto a estes sinais existe a presença energética da passagem de frentes. Em região de oceano profundo, a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela CB é preponderante.

As primeiras medições diretas da CB foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20°30'S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte, abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo à

formação de vórtices e meandros. Este meandramento da CB foi capturado por Signorini (1978), em sua análise de topografia dinâmica, e por Miranda & Castro (1979) em suas observações hidrográficas na região adjacente à Cabo Frio (23° S), ao longo de duas secções meridionais.

O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de $5,5 \pm 2,6$ Sv (Lima, 1997). Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (Castro & Miranda, 1998).

Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (Stramma *et al.*, 1990), enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).

A corrente que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos que provêm principalmente de nordeste nessa estação devido à influência da ASAS. Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência de águas frias (Água Central do Atlântico Sul – ACAS) em regiões costeiras. Esses eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção nordeste nas porções interna e média da plataforma (Castro & Miranda, 1998).

Vários modelos numéricos globais reproduzem o sistema de correntes em larga escala nesta região. O processo de *warm up* do modelo aqui apresentado foi baseado nos resultados de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM⁴, disponibilizados pela Universidade de Southampton. O OCCAM foi elaborado com base no MOM do GFDL⁵, incluindo uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. A grade, para o Oceano Atlântico Sul, é regular (1/4 de grau), com 36 níveis (variando de 20 m de espessura, próximo à superfície, a 255 m em 5.500 m de profundidade). Este modelo foi inicializado com médias anuais de temperatura e salinidade do LEVITUS⁶, forçado na superfície com dados de vento

⁴ *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project - Southampton Oceanography Centre.*

⁵ *Modular Ocean Model - Global Fluid Dynamics Laboratory.*

⁶ <http://ingrid.ldgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

do ECMWF⁷ (médias mensais) e relaxado para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS.

A figura I.1.2-2 ilustra uma média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. Nota-se o ramo sul da Corrente Sul Equatorial atingindo a costa do Brasil em torno de 15°S, bifurcando-se e originando a CNB, fluindo para norte, e a CB, fluindo para sul.

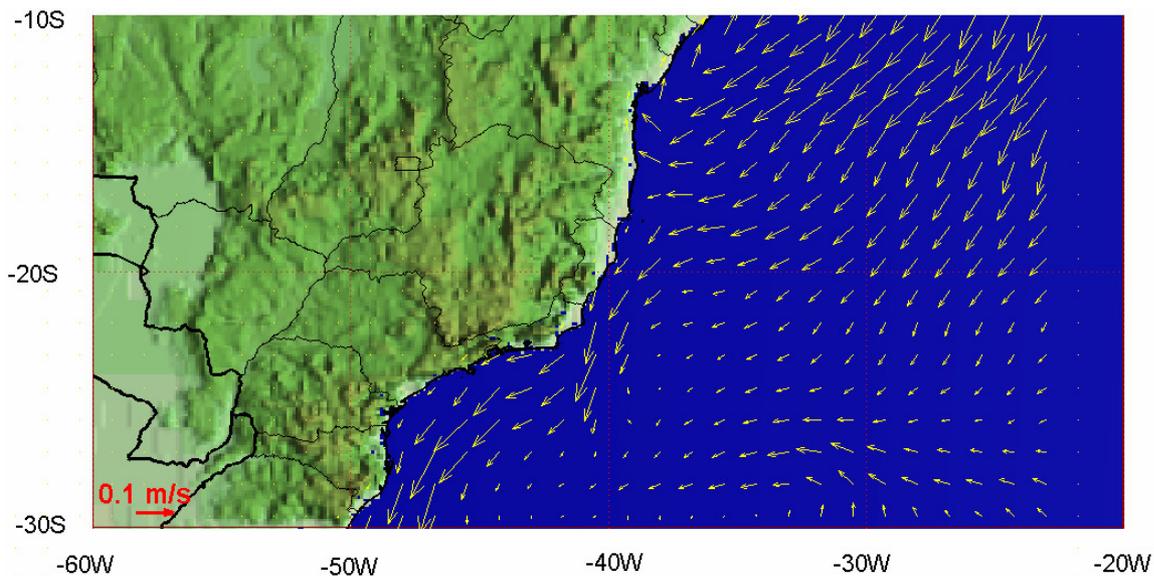


Figura I.1.2-2 - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.

ANÁLISE DE DADOS

A primeira etapa deste trabalho consistiu no levantamento de informações pretéritas meteorológicas e oceanográficas nas imediações da região de estudo. Essa fase visou disponibilizar dados para: 1) uma melhor compreensão da dinâmica da área; 2) para aplicação direta na elaboração dos cenários do descarte de água produzida; e 3) validação do modelo hidrodinâmico. Os dados, cujos pontos de coleta são apresentados na figura II-1, são descritos e analisados neste capítulo.

⁷ European Centre for Medium-range Weather Forecast.

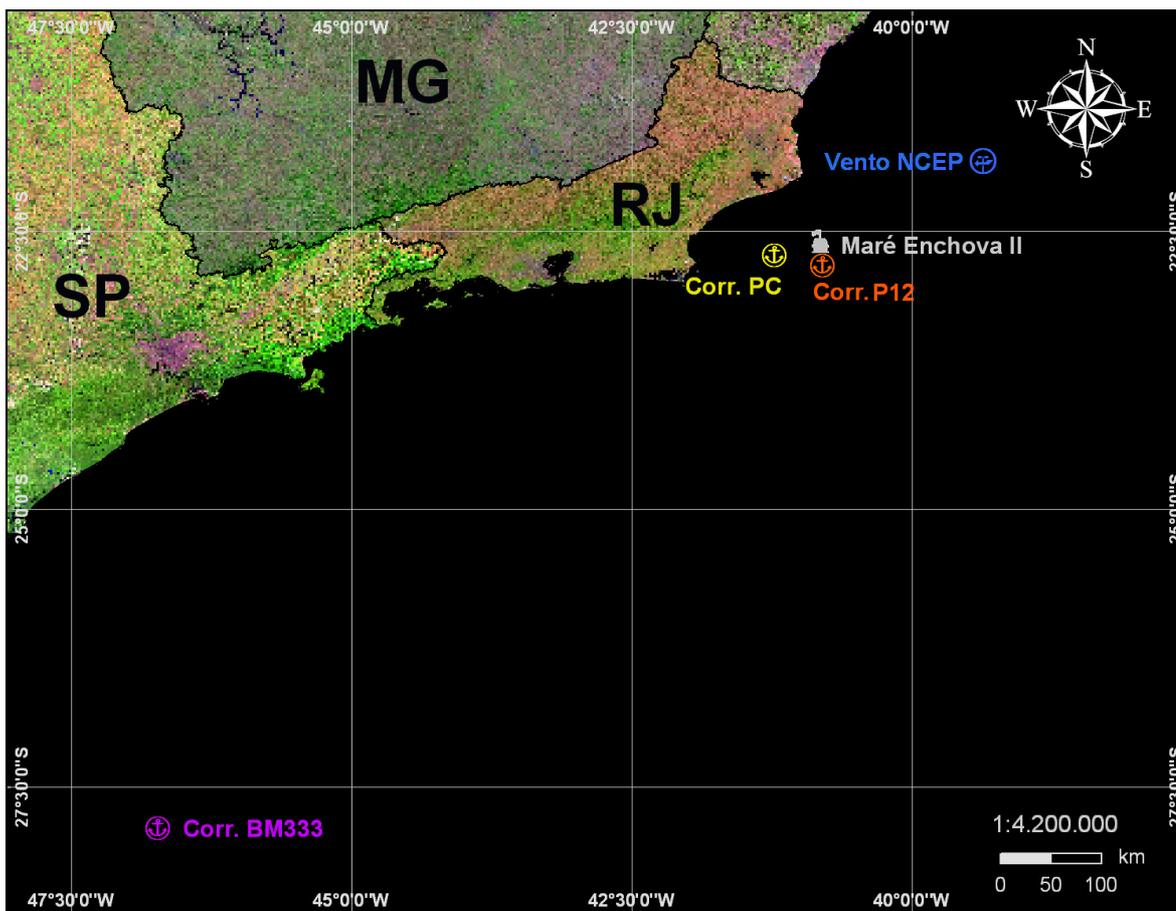


Figura II-1 - Mapa com a localização das estações de medição de correntes, vento e nível do mar.

VENTOS

Os ventos apresentados a seguir são provenientes de dados das reanálises dos modelos meteorológicos NCEP e NCAR para o ano de 1992.

A figura II.1-1 apresenta os valores médios diários do vento NCEP relativo ao quadrilátero de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ em torno das coordenadas $21,9^\circ\text{S}$ e $39,4^\circ\text{W}$ (indicado na figura II-1), para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992. Observa-se que os ventos seguiram um padrão onde os mais freqüentes e mais intensos foram provenientes do quadrante NE, principalmente durante o verão (janeiro, fevereiro e março).

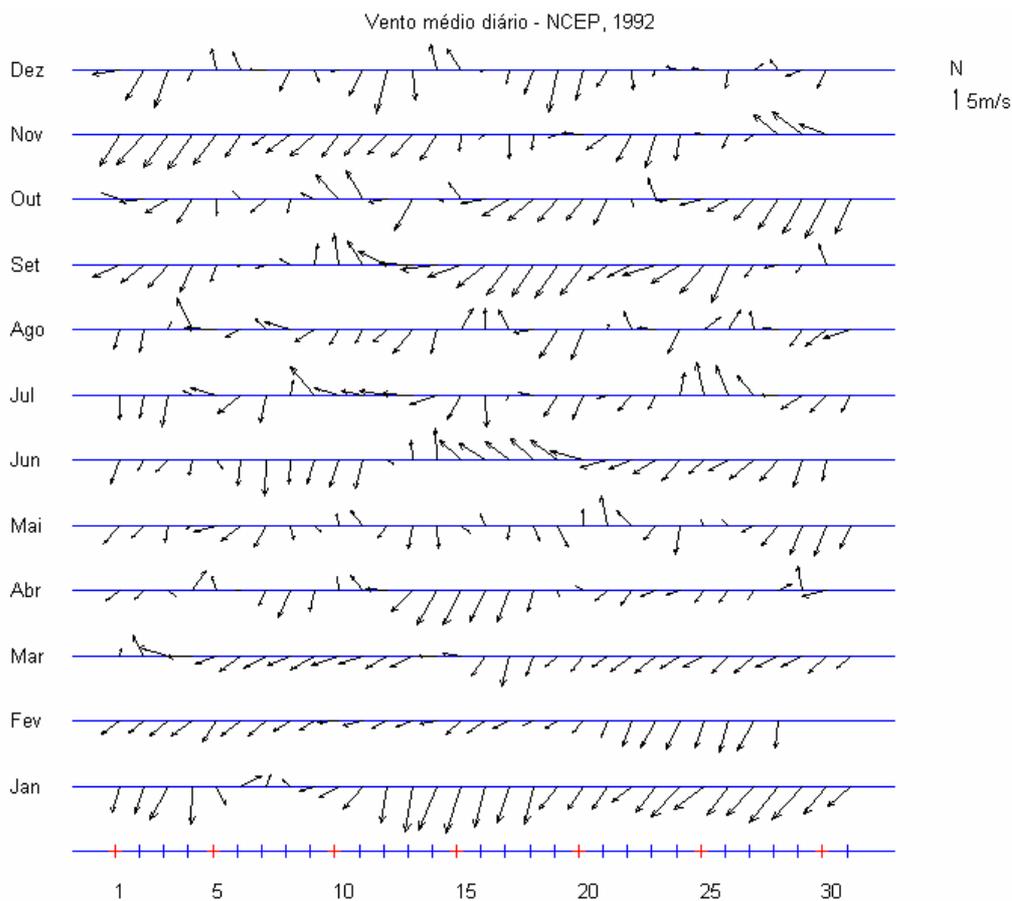


Figura II.1-1 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento (NCEP) para o período de 1^o de janeiro de 1992 a 31 de dezembro de 1992 (convenção vetorial).

A figura II.1-2 apresenta os histogramas direcionais dos dados de vento (NCEP) para dois períodos de três meses que caracterizam os principais padrões observados: a) janeiro a março, quando os ventos mais freqüentes são provenientes de nordeste, e b) julho a setembro, quando também ocorrem ventos provenientes de sul-sudeste. A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. A intensidade é apresentada em (m/s) e a escala de cores representa o número de observações (N.Obs.).

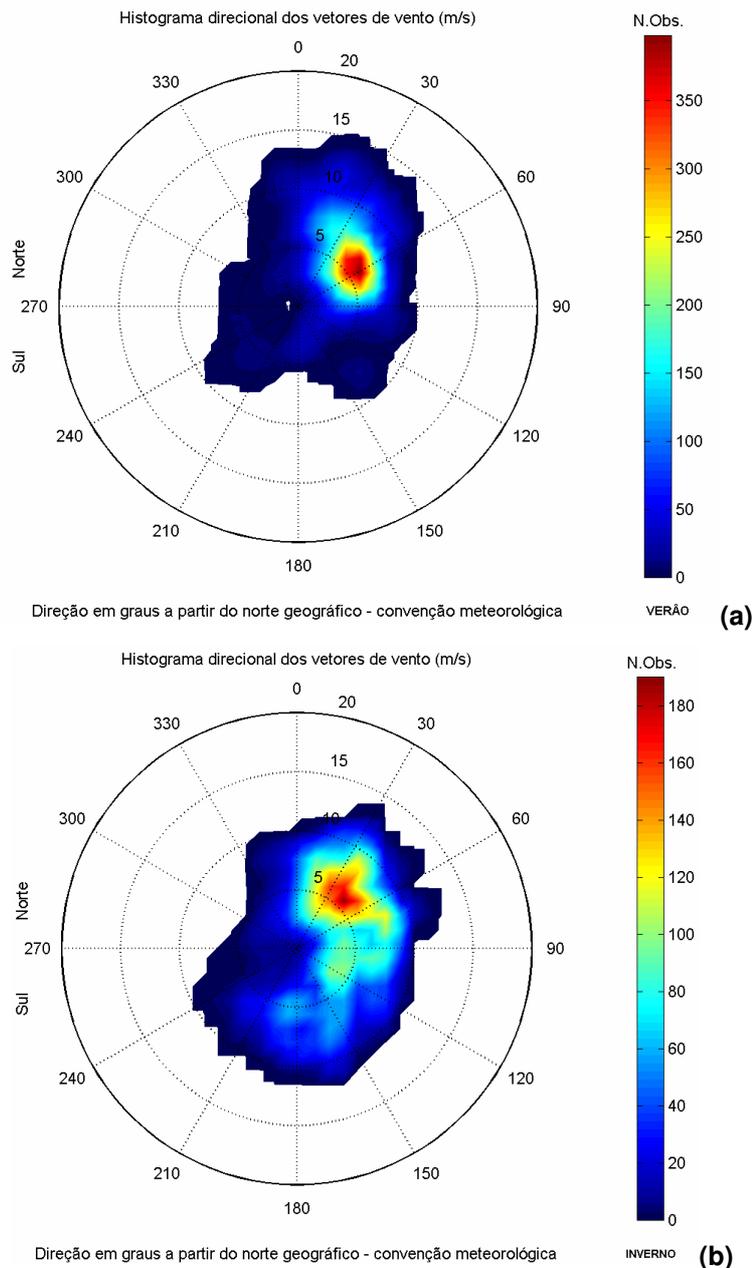


Figura II.1-2 - Histograma direcional dos vetores de vento (NCEP) para os períodos de a) janeiro a março e b) julho a setembro.

A tabela II.1-1 apresenta a frequência de ocorrência conjunta entre intensidade e direção dos ventos NCEP para o período de janeiro a março. Os ventos mais frequentes vieram de NE (32,3%); os ventos com velocidade média máxima (8,2 m/s) vieram de N e os ventos mais intensos registrados (13,4 m/s) vieram de NNE. Dos ventos amostrados, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 11,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela II.1-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (°) do vento NCEP no período de 1º de janeiro de 1992 a 31 de março de 1992, com intervalo de amostragem dt=1h (convenção meteorológica).

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do vento.															Total	Porc.	Dir. méd.		
Obs.: a direção é medida em graus e para o sentido utiliza-se a convenção meteorológica (de onde o vento vem).																			
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,1	48
1,0- 2,0	0	1	0	0	4	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0,6	131
2,0- 3,0	3	7	13	5	18	6	6	7	2	1	2	0	2	1	1	5	79	3,6	74
3,0- 4,0	9	36	38	28	23	8	2	7	6	3	0	1	0	0	3	3	167	7,6	57
4,0- 5,0	6	31	83	74	31	8	0	4	7	2	1	5	0	1	0	5	258	11,8	58
5,0- 6,0	3	34	130	160	33	1	0	1	0	3	4	2	4	4	0	2	381	17,4	56
6,0- 7,0	27	63	157	138	48	0	4	0	0	1	3	2	0	0	0	1	444	20,3	51
7,0- 8,0	22	80	110	58	20	7	14	0	0	0	5	0	0	0	0	2	318	14,6	46
8,0- 9,0	14	70	54	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	154	7,1	32
9,0-10,0	30	61	46	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	142	6,5	28
10,0-11,0	27	37	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	5,4	27
11,0-12,0	12	34	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	2,9	23
12,0-13,0	4	26	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1,6	21
13,0-14,0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0,4	21
Total	158	490	706	472	186	30	29	25	15	10	15	10	6	6	4	22	2184		
Porc.	7,2	22,4	32,3	21,6	8,5	1,4	1,3	1,1	0,7	0,5	0,7	0,5	0,3	0,3	0,2	1,0			
Vel. méd.	8,2	7,8	6,8	5,8	5,2	4,6	5,5	3,0	3,7	4,5	5,9	5,1	4,4	4,8	3,1	5,1			
Vel. máx.	12,1	13,4	12,3	9,5	8,3	7,8	8,0	5,3	4,2	6,6	7,7	6,7	5,4	5,5	3,7	9,9			
Percts. (0,9)	10,7	11,0	10,0	7,0	7,0	7,0	7,0	4,0	4,0	5,5	7,0	6,0	5,0	5,0	3,0	8,3			

A tabela II.1-2 apresenta a frequência de ocorrência conjunta entre intensidade e direção dos ventos NCEP para o período de julho a setembro. Os ventos mais frequentes vieram de NE (19,2%), assim como os com velocidade média máxima (6,9 m/s); os ventos mais intensos registrados (11,6 m/s) vieram de NNE e ENE. Dos ventos amostrados, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 10,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela II.1-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção (°) do vento NCEP no período de 1º de julho de 1992 a 30 de setembro de 1992, com intervalo de amostragem dt=1h (convenção meteorológica).

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do Vento.															Total	Porc.	Dir. méd.		
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.																			
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	1	4	0	1	0	0	0	1	1	1	0	2	0	0	1	1	13	0,6	347
1,0- 2,0	4	8	2	1	5	5	5	1	0	3	1	1	0	1	0	4	41	1,9	59
2,0- 3,0	11	12	8	6	6	14	22	8	0	2	3	1	2	4	5	6	110	5,0	75
3,0- 4,0	16	24	25	19	24	31	12	6	6	4	1	0	0	1	5	3	177	8,0	70
4,0- 5,0	11	40	40	29	25	23	34	11	17	4	1	2	1	3	1	10	252	11,4	75
5,0- 6,0	19	50	84	33	32	22	22	26	22	25	11	2	0	0	0	2	350	15,9	78
6,0- 7,0	15	68	70	36	34	21	21	29	13	16	13	0	0	0	0	0	336	15,2	72
7,0- 8,0	21	66	50	62	54	34	10	30	11	15	1	2	0	0	0	4	360	16,3	73
8,0- 9,0	27	35	74	76	34	25	17	24	22	10	2	0	0	0	0	4	350	15,9	71
9,0-10,0	1	32	44	11	0	0	11	14	14	0	0	0	0	0	0	0	127	5,8	62
10,0-11,0	0	31	22	4	0	0	0	12	2	0	0	0	0	0	0	0	71	3,2	47
11,0-12,0	0	13	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	1,0	40
Total	126	383	424	281	214	175	154	162	108	80	33	10	3	9	12	34	2208		
Porc.	5,7	17,3	19,2	12,7	9,7	7,9	7,0	7,3	4,9	3,6	1,5	0,5	0,1	0,4	0,5	1,5			
Vel. méd.	5,8	6,7	6,9	6,8	6,0	5,6	5,4	6,8	6,7	6,0	5,6	4,2	3,3	3,0	3,0	4,4			
Vel. máx.	9,1	11,6	11,3	11,6	8,7	9,0	9,6	10,6	10,1	9,0	8,2	8,0	4,5	4,2	5,0	8,9			
Percts. (0,9)	8,0	10,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	9,0	8,0	6,2	7,0	4,0	4,0	3,3	8,0			

CORRENTES

As informações de correntes apresentadas, a seguir, foram obtidas junto a Petrobras e ao Banco de Dados do WOCE⁸. A localização, profundidade e período de coleta são apresentados na tabela II.2-1.

Tabela II.2-1 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.

DADO	LATITUDE / LONGITUDE	PROFUNDIDADE (m)	PERÍODO
PETROBRAS - PC	22,7167°S / 41,2667°W	15	03/fev/92 a 31/dez/92
WOCE ACM12/BM333	27,9020°S / 46,7040°W	230	03/jan/91 a 26/nov/92
PETROBRAS – P12	22,7597°S / 40,8161°W	1	20/nov a 08/dez/04

A figura II.2-1 apresenta o diagrama *stick plot* da série temporal da corrente no Ponto PC para o período compreendido entre 10 de novembro e 25 de dezembro de 1992. Nesta região, situada ainda sobre a plataforma (profundidade local de cerca de 60 m), já se detecta a presença da CB, embora o padrão de circulação sofra considerável influência do campo de vento.

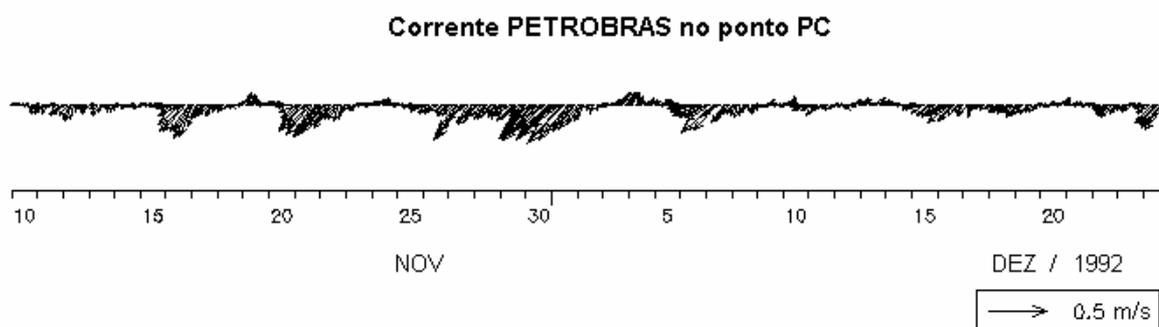


Figura II.2-1 - Diagrama stick plot dos vetores de corrente no Ponto PC medidos a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, entre 10 de novembro e 25 de dezembro de 1992, dt=1h.

A figura II.2-2 apresenta o espectro de amplitude das correntes para os dados no Ponto PC para o período compreendido entre o dia 10 de novembro e 25 de dezembro de 1992. A análise do espectro de amplitudes mostra que a

⁸ World Ocean Circulation Experiment

variação da corrente no ponto de medição apresenta uma pequena influência de oscilação de maré, sendo predominantes nas baixas frequências, associadas à passagem de perturbações atmosféricas sobre a região (*i.e.* sistemas frontais, ciclones extratropicais).

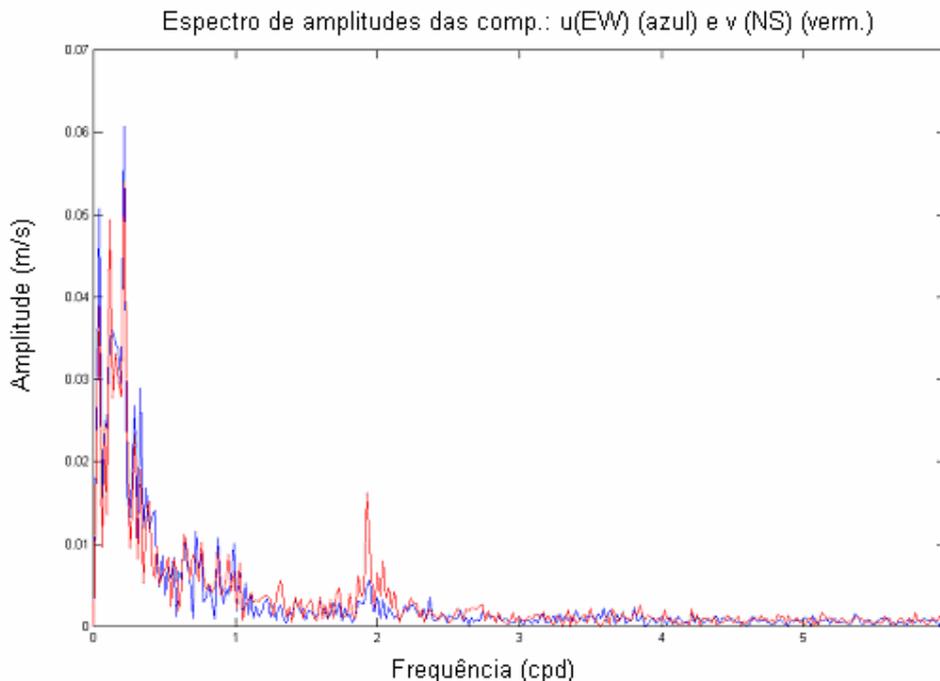


Figura II.2-2 - Espectro de amplitudes (m/s) da corrente no Ponto PC, coletada a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para os meses de novembro e dezembro de 1992.

A figura II.2-3 apresenta os dados de corrente (PC - Petrobras) plotados na forma de histograma direcional. Verifica-se predominância de correntes no quadrante SW, com variação de intensidade associada à passagem de perturbações atmosféricas sobre o local.

A figura II.2-4 apresenta o diagrama *stick plot* da série temporal da corrente no ponto P12, para o período compreendido entre 24 de novembro e 5 de dezembro de 2004. Neste ponto, ainda situado em região de plataforma, à uma profundidade local de cerca de 90 m, também se detecta a presença da CB, com influência do campo de vento.

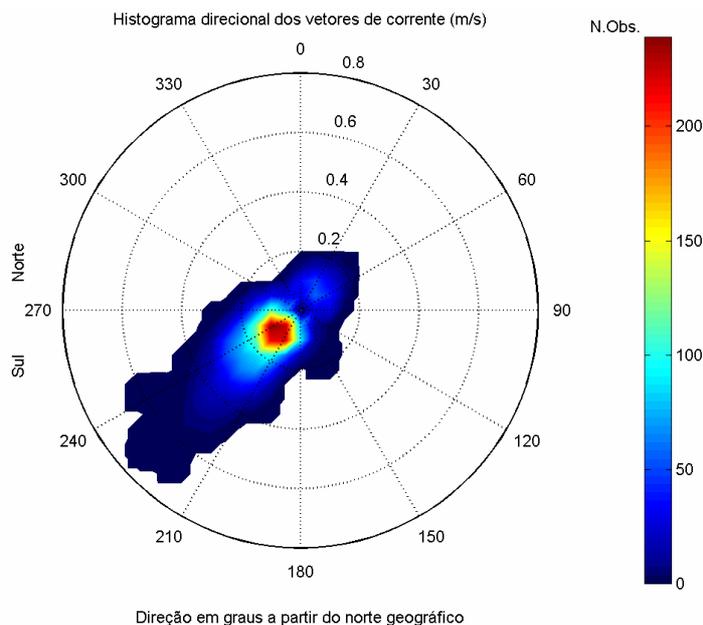


Figura II.2-3 - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto PC (Petrobras), coletada a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, em novembro e dezembro de 1992.

Corrente PETROBRAS no ponto P12

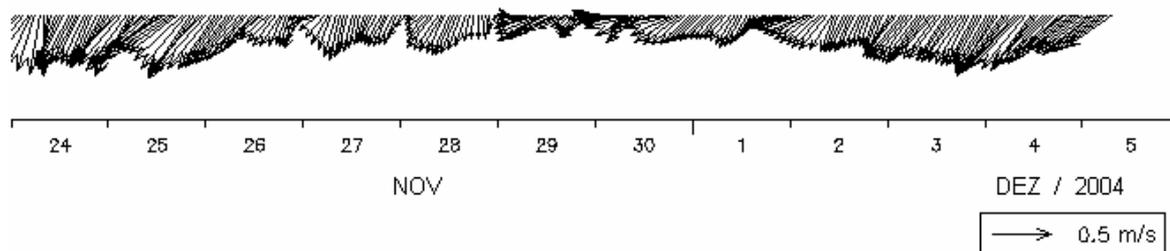


Figura II.2-4 - Diagrama stick plot dos vetores de corrente no ponto P12, medidos a 1 m de profundidade, entre 24 de novembro e 05 de dezembro de 2004.

A figura II.2-5 apresenta o diagrama *stick plot* da série temporal da corrente no fundeio BM/333 do experimento ACM12, para o período compreendido entre 10 e 26 de novembro de 1992. Neste ponto, situado na região do talude (profundidade local de cerca de 1.200 m), pode se observar o visível sinal associado à maré diurna e variações de baixa frequência, não havendo, contudo, a reversão do sentido predominante devido à presença mais acentuada da CB, a qual domina a direção da corrente.

Corrente WOCE ACM12 - BM333

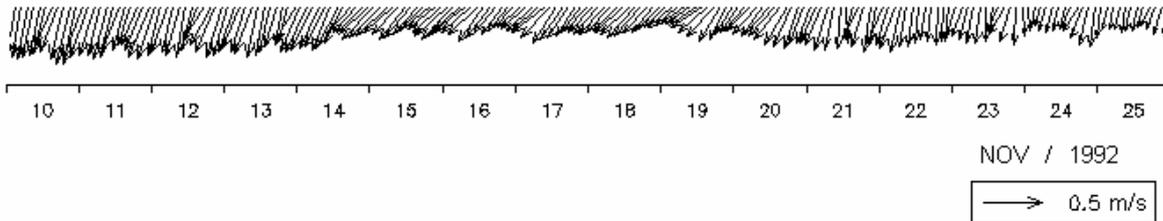


Figura II.2-5 - Diagrama stick plot dos vetores de corrente no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medidos a 230 m de profundidade, entre 10 e 26 de novembro de 1992, $dt=2h$.

A figura II.2-6 apresenta o espectro de amplitude das correntes para os dados do fundeio BM/333. A análise do espectro de amplitudes mostra que as variações da corrente são inferiores a 10 cm/s sendo que o mesmo apresenta uma leve influência de oscilação de maré, com maiores intensidades na baixa frequência.

A figura II.2-7 apresenta os dados de corrente (fundeio BM/333 - WOCE) plotados na forma de histograma direcional para o mês de novembro. Verifica-se predominância de correntes nos quadrantes SW e S.

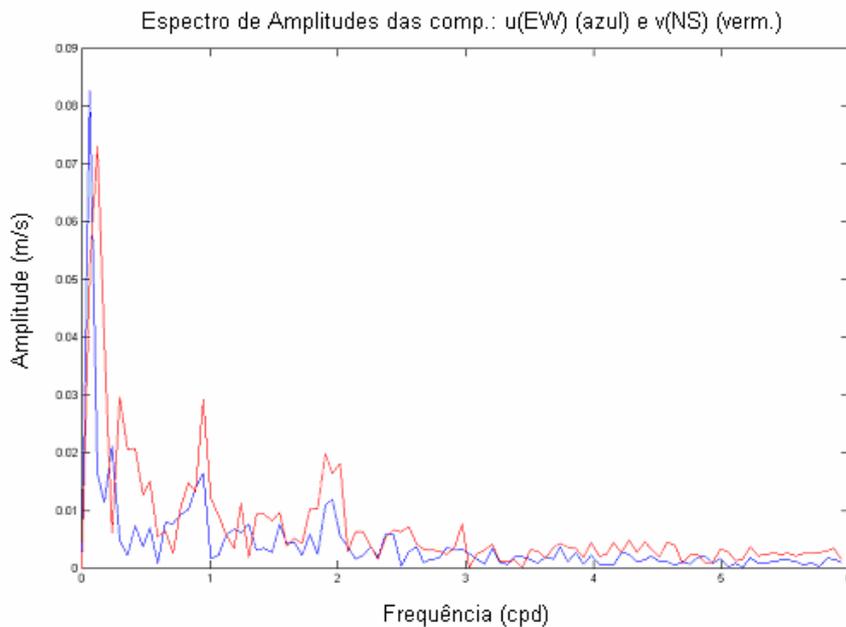


Figura II.2-6 - Espectro de amplitudes (m/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade, entre 10 e 26 de novembro de 1992, $dt=2h$.

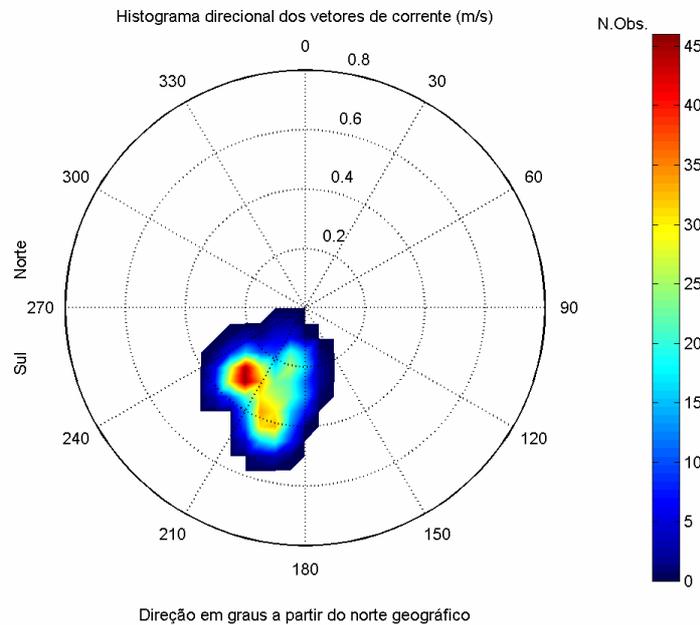


Figura II.2-7 - Histograma direcional dos vetores de corrente no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade em novembro de 1992, $dt=2h$.

MARÉS

Os dados de elevação foram obtidos através de previsões harmônicas de maré com base nas constantes da FEMAR⁹ para a estação de Enchova II (RJ), localizada nas coordenadas 22°42'S e 40°50,2'W, para o período compreendido de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, com intervalos horários. Esses dados se encontram representados na figura II.3-1. A tabela II.3-1 apresenta as constantes harmônicas obtidas para esta estação, a partir de uma série temporal medida entre 05 de julho a 15 de julho de 1970.

A maré astronômica na região é predominantemente semidiurna. As principais componentes para a região são M_2 e S_2 , com amplitudes de 32,4 cm e 16,2 cm, respectivamente. A componente O_1 tem amplitude de 11,3 cm e todas as demais componentes apresentam amplitudes inferiores a 10 cm. A tabela II.3-1 apresenta ainda os níveis de: média das preamares de sizígia (MPS), média das

⁹ Fundação de Estudos do Mar.

baixa-mares de sizígia (MBS), média das preamares de quadratura (MPQ) e média das baixa-mares de quadratura (MBQ).

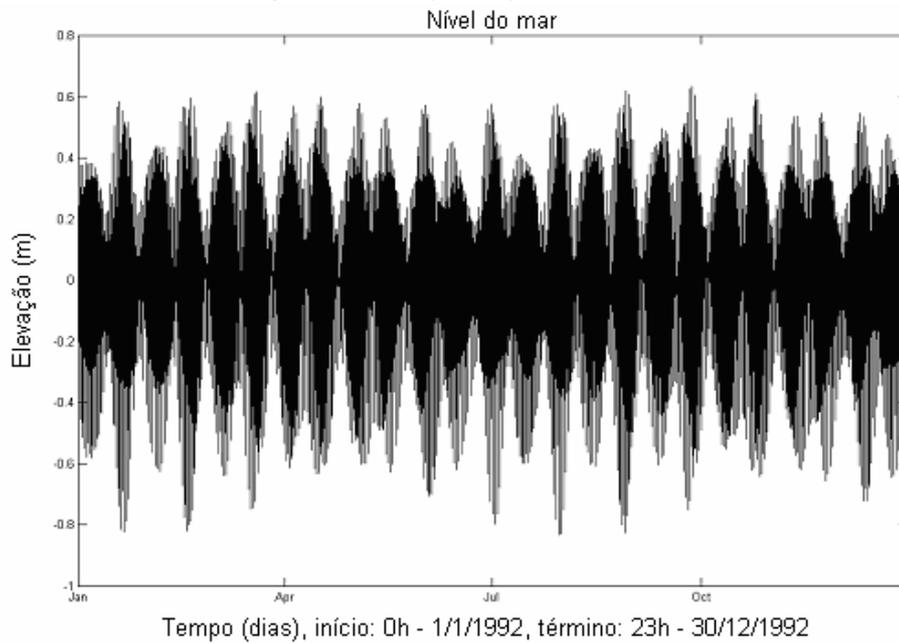


Figura II.3-1 - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 30 de dezembro de 1992, na estação Enchova II.

Tabela II.3-1 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica Enchova II (RJ). Fonte: FEMAR (2000).

COMPONENTE	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)
Q₁	5,4	75
O₁	11,3	75
P₁	2,0	139
K₁	6,2	144
2N₂	0,8	83
N₂	6,2	83
NU₂	1,2	83
M₂	32,4	83
T₂	1,0	88
S₂	16,2	88
K₂	4,4	88
M₄	3,5	347
MS₄	2,8	65
MPS		122
MBS		30
MPQ		111
MBQ		8

A figura II.3-2 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré (CSR3¹⁰) para a costa sul-sudeste brasileira. Observa-se que esta é uma região de baixíssima resposta a forçante astronômica da maré, fato esperado pela relativamente pequena largura da plataforma continental. Exceção feita ao platô de Abrolhos, onde há evidente amplificação do sinal de maré.

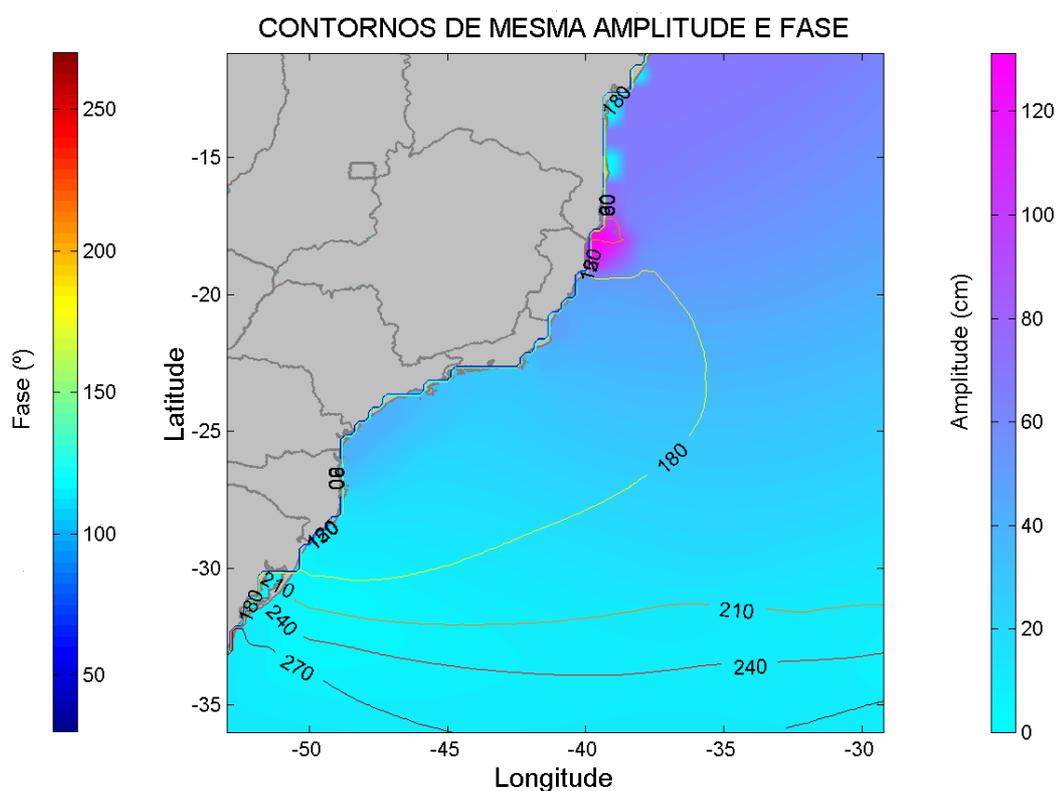


Figura II.3-2 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente M_2 .

TEMPERATURA, SALINIDADE E DENSIDADE

¹⁰ Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas.

Dados de temperatura e salinidade foram obtidos do Atlas Eletrônico de dados do WOCE. Estes dados foram analisados, filtrados e interpolados no espaço e são apresentados na tabela II.4-1, para a região da Plataforma PPG-1.

-----Quebra de página-----

Tabela II.4-1 - Perfis de temperatura, salinidade e densidade para a região da Plataforma PPG-1 (dados interpolados do WOCE).

PROFUNDIDADE (m)	TEMPERATURA (°C)		SALINIDADE		DENSIDADE (kg/m ³)	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
0	25,8	23,6	36,3	37,1	1.024,1	1.025,3
10	25,5	24,1	36,6	37,1	1.024,4	1.025,2
25	24,0	24,3	36,6	37,2	1.025,0	1.025,3
50	23,1	23,9	36,6	37,1	1.025,3	1.025,5
75	22,9	20,3	36,5	37,0	1.025,4	1.026,5
100	21,0	20,0	36,5	36,7	1.026,1	1.026,4

As figuras II.4-1 e II.4-2 apresentam uma secção vertical ao longo de 22,2°S do campo de densidade médio calculado para o período de janeiro a março e de julho a setembro, com base nestes dados.

LATITUDE : 22.2S

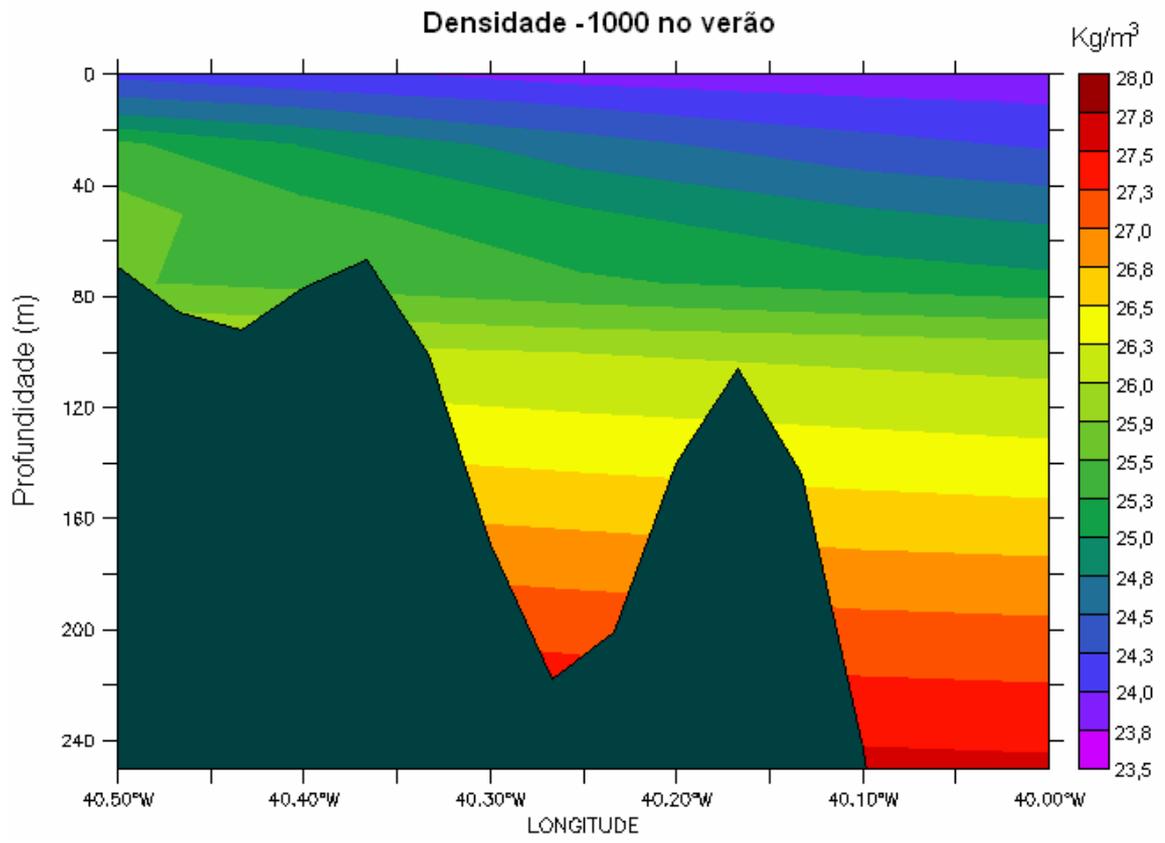


Figura II.4-1 - Secção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de $22,2^\circ\text{S}$ para o período de janeiro a março.

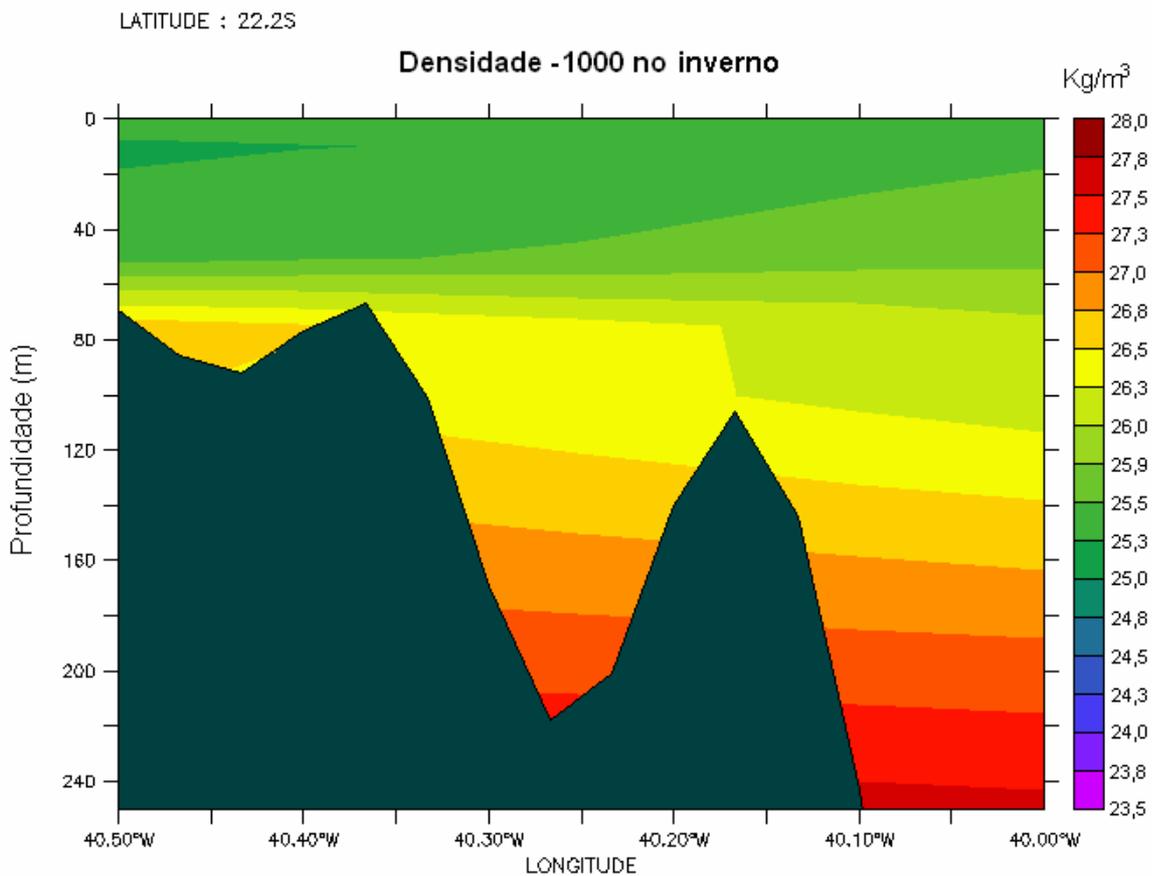


Figura II.4-2 - Secção vertical de densidade (kg/m³) ao longo de 22,2°S para o período de julho a setembro.

MODELO HIDRODINÂMICO

Nesta etapa do trabalho foi implementado um modelo hidrodinâmico visando simular o campo de correntes na região da Bacia de Campos e adjacências. Foi utilizado um modelo baseado no POM, implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**.

O modelo utiliza como forçantes, marés do CSR3, campos tridimensionais de ventos das reanálises dos modelos meteorológicos NCEP e campo termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM. Nas bordas abertas são também utilizadas condições datadas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987), e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**. O código fonte desse modelo é de domínio público e disponível *on-line*¹¹.

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:

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

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

¹¹ <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>.

ordem, o modelo reproduz de maneira mais realística as camadas de Ekman, de superfície e de fundo.

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*).

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:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{III.1.1-1})$$

-----Quebra de página-----

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-3})$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{III.1.1-4})$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + F_{(H)} \quad (\text{III.1.1-5})$$

Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_s \quad (\text{III.1.1-6})$$

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (\text{III.1.1-7})$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-8})$$

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z} (2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial}{\partial z} (q^2 l) \right] \\ + l E_1 K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-9})$$

sendo,

$$F_{q^2, q^2 l} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial y} \right) \quad (\text{III.1.1-10})$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (\text{III.1.1-11})$$

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{kL} \right)^2 \quad (\text{III.1.1-12})$$

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 ($^{\circ}\text{C}$);

S = salinidade (PSU);

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

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

$q^2 / 2$ = 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 $q^2 l$.

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. 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, condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas condições de contorno são definidas para 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 do nível do mar 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:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ (condição análoga aplicada à salinidade)} \quad (\text{III.1.2-1})$$

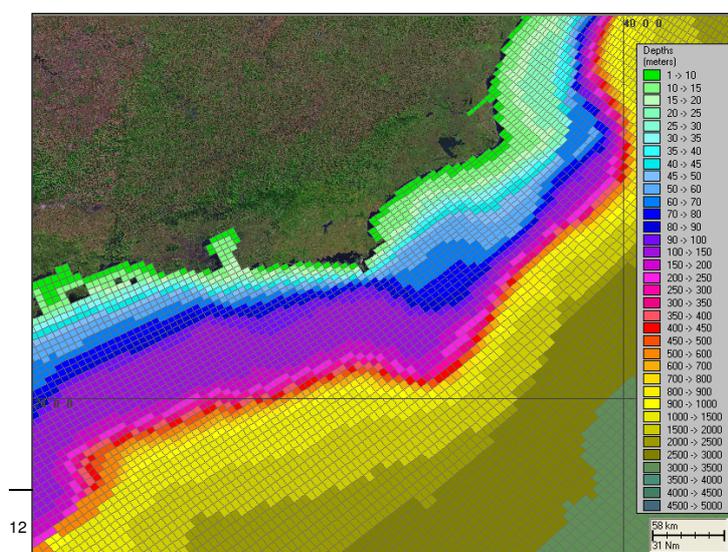
Quebra de página

DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO

A grade geral implementada representa um compromisso entre os objetivos do projeto de modelagem final e a descrição dos processos hidrodinâmicos necessariamente definidos para a região de interesse, bem como entre os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. Uma grade final de meso-escala com dimensões de 100x300 pontos foi implementada sobre toda a região com resolução média máxima de 3 km na área de foco, e está ilustrada na figura III.2-1. Nessa grade foram utilizadas 20 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região. Os resultados obtidos nas simulações são comparados com dados observacionais de elevação e correntes, medidos na zona costeira da área de interesse.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN¹², 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 planície abissal foi também utilizada a base de dados batimétricos extraída do ETOPO 2 obtido no NGDC¹³, reamostradas para um espaçamento de 10'. Visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa e as camadas de sistemas de informações geográficas (SIG) utilizadas 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 projeção da batimetria estão ilustrados na figura III.2-1.

-----Quebra de página-----



¹³ National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

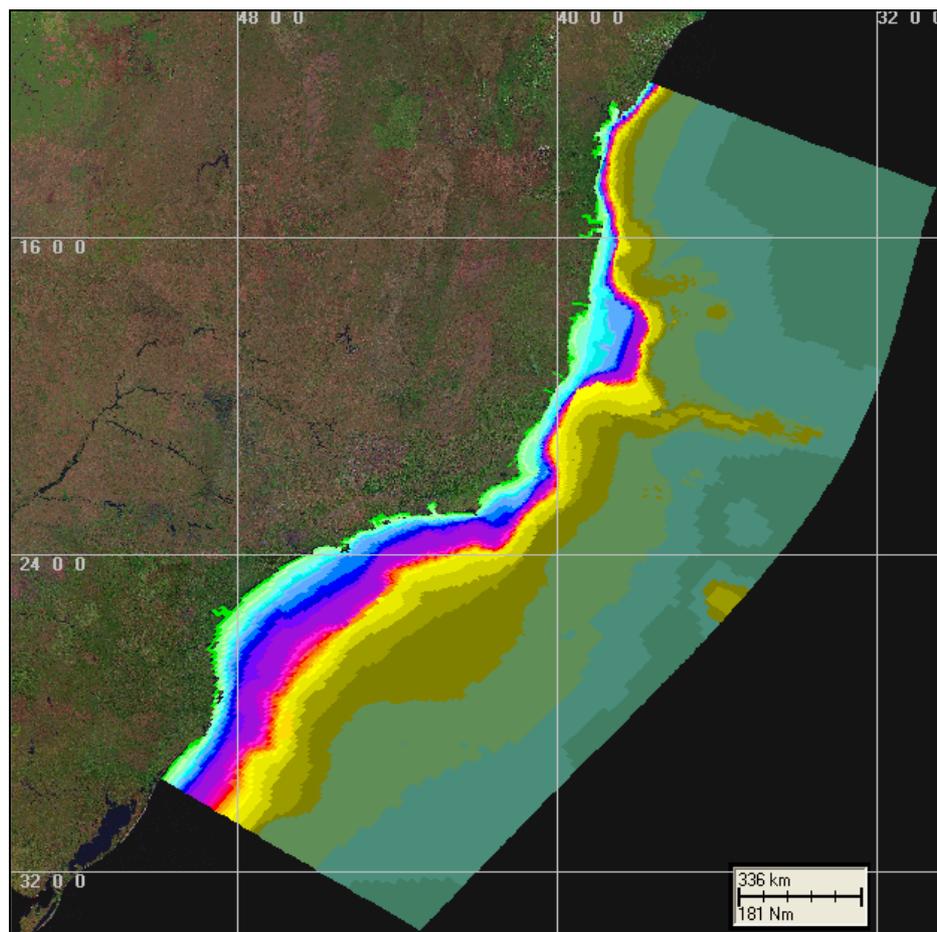


Figura III.2.1-1 - Grade computacional do modelo hidrodinâmico e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Campos.

CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDRODINÂMICO

A metodologia de validação fundamenta-se na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação na região em estudo. Nesse relatório são apresentadas comparações entre dados e resultados do modelo hidrodinâmico em pontos sobre a plataforma continental, onde predominam os sinais de maré e vento, e no talude/oceano profundo, área com maior presença de variabilidades de larga escala, relacionadas à presença da CB.

O coeficiente de ajuste, utilizado como parâmetro de avaliação para as séries temporais, foi baseado em Hess & Bosley (1992), cuja formulação é comumente utilizada na literatura científica para a comparação de duas séries com

periodicidades relativamente definidas. O coeficiente é definido pela normalização do erro quadrático médio:

$$\frac{RMS}{\bar{A}} \quad (III.3-1)$$

onde

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

\bar{A} = range médio do dado;

P = previsão;

O = observação.

Validação para a Maré

Para a validação da maré, foi produzida uma previsão a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para o ponto Enchova II, nas coordenadas 22°42,0'S e 40°50,2'W.

A figura III.3.1-1 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 coeficiente de ajuste obtido para este período foi de 7,8%.

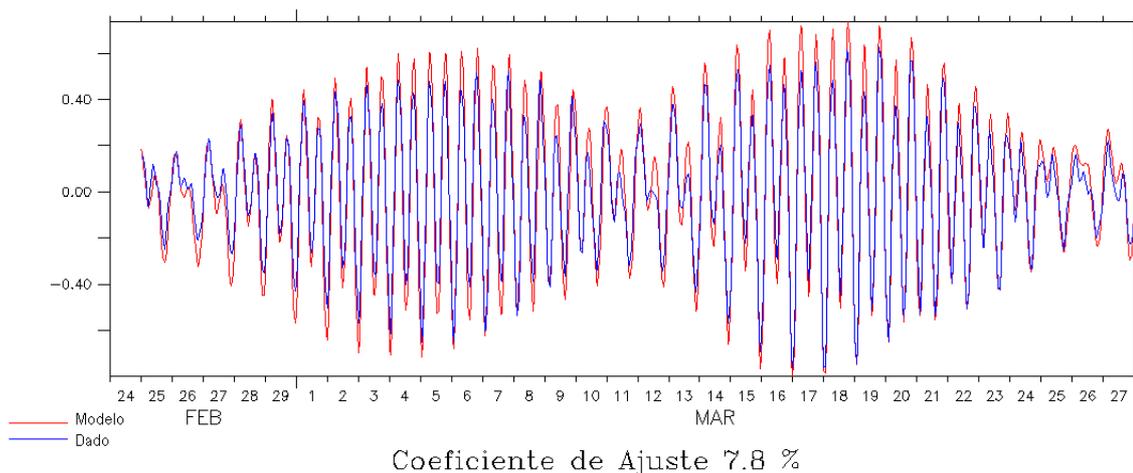


Figura III.3.1-1 - Série temporal da previsão de maré (azul) e a elevação calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 24 de fevereiro a 27 de março de 1992.

Validação para as Correntes

Para a validação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico, foram utilizados conjuntos de dados de superfície (ponto PC) e um conjunto de dados não superficiais (devido às implicações de uso destes resultados no atual projeto), no caso os dados do WOCE - BM333, indicados na figura II-1. As componentes u (E-W) e v (N-S) dos dados foram comparadas separadamente com a saída do modelo.

As figuras III.3.2-1 e III.3.2-2 apresentam para o ponto PC as comparações entre os resultados do processamento para as componentes u (E-W) e v (N-S), calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), relativas à dois períodos do ano de 1992. Estes dados foram escolhidos para caracterização aproximada das variabilidades presentes na área no verão e inverno. No período de verão, o coeficiente de ajuste obtido foi de 24% para componente u e 23% para a componente v . Já no período de inverno, o coeficiente de ajuste obtido foi de 22% para componente u e 19% para a componente v .

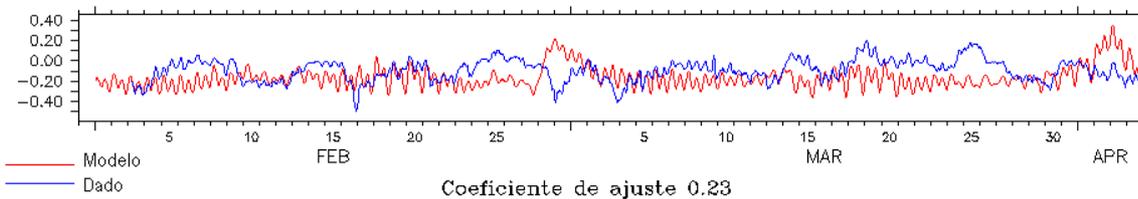
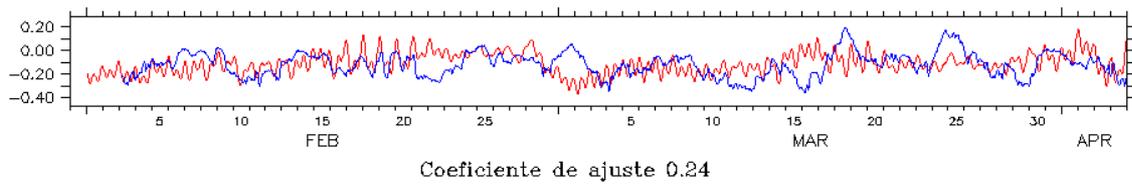


Figura III.3.2-1 - Série temporal medida das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1^o de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o ponto PC.

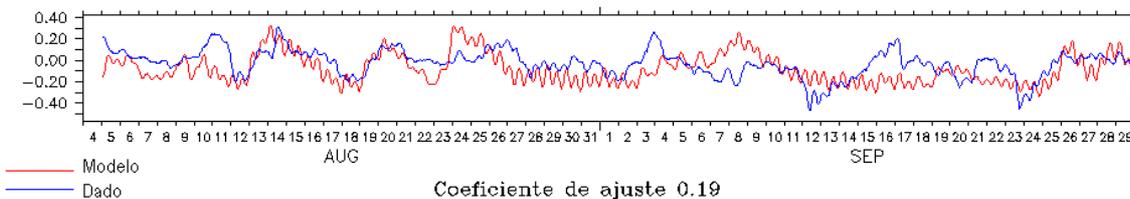
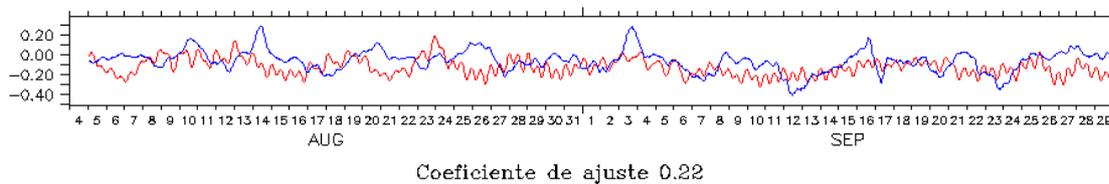


Figura III.3.2-2 - Série temporal medida das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 5 de agosto a 29 de setembro de 1992 para o ponto PC.

As figuras III.3.2-3 e III.3.2-4 apresentam para o ponto BM333 as comparações, utilizando o método do coeficiente de ajuste, entre os resultados do processamento para as componentes u (E-W) e v (N-S) calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), utilizando os períodos de 1^o a 30 de janeiro de 1992 e 1^o a 30 de junho de 1992, representativos dos períodos de verão e inverno, respectivamente. O coeficiente de ajuste obtido na comparação para o período de verão foi de 19% para componente u e de 15% para a componente v . Na comparação para o período de inverno, o coeficiente de ajuste obtido foi de 19% para componente u e de 21% para a componente v .

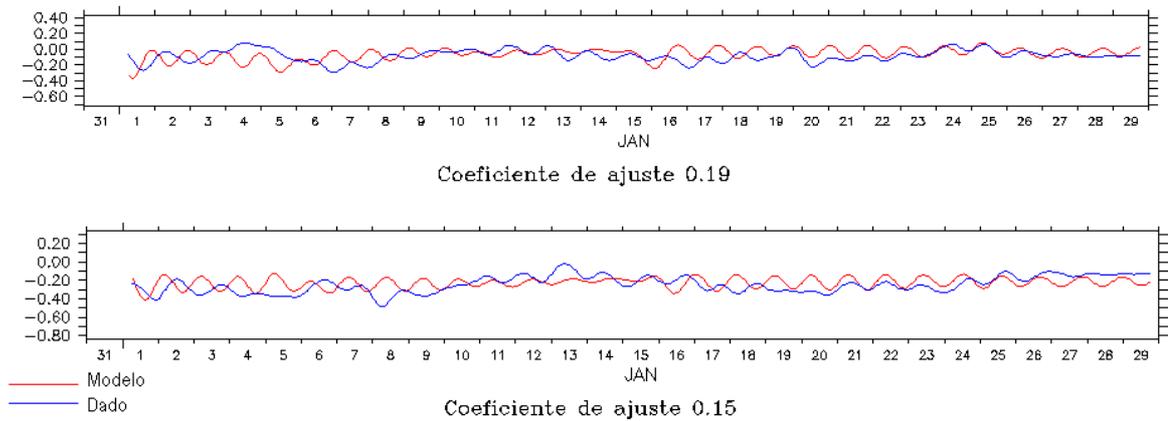


Figura III.3.2-3 - Série temporal medida das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1^o e 30 de janeiro de 1992 para o ponto BM333.

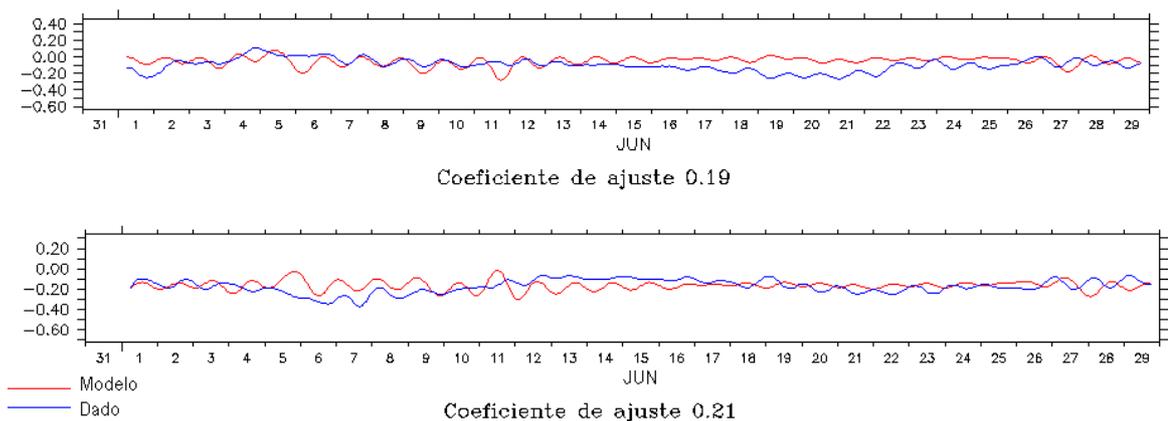


Figura III.3.2-4 - Série temporal medida das componentes u e v da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1^o a 30 de junho de 1992 para o ponto BM333.

COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE A MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Os resultados da caracterização ambiental física e numérica, aqui apresentados, são decorrentes de um processo evolutivo de estudo, baseado em modelos numéricos na região das bacias de Campos e Santos. Esse texto apresenta, portanto, o processo de calibração e validação de modelo hidrodinâmico tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade.

A validação desse modelo, simultaneamente sobre a plataforma continental, talude e oceano profundo (nas diversas profundidades amostradas), é indicação de que se atingiu altos níveis de representação teórica (matemática) do padrão de circulação na costa leste do Brasil.

Especificamente em relação à validação do modelo obteve-se, na plataforma, coeficiente de ajuste de 7,8% para a maré (Enchova II). Para as componentes zonal e meridional do campo de correntes (ponto PC), no verão obteve-se, respectivamente, coeficientes iguais a 24% e 23%. Já no período de inverno, o coeficiente de ajuste obtido foi de 22% para componente u e de 19% para a componente v . Em região de talude (ponto BM333) obteve-se, no verão, para as componentes zonal e meridional do campo de correntes, coeficientes iguais a 19% e 15%, respectivamente. No inverno os coeficientes obtidos foram de 19% para componente u e 21% para a componente v .

Os índices de ajuste obtidos no processo de calibração, fato válido para qualquer estudo envolvendo modelagem numérica no oceano, devem ser compreendidos e analisados dentro de margens de erro pouco mensuráveis. Esses limites, usuais em qualquer simulação hidrodinâmica, são dados pela complexidade da circulação numa região específica, aliada à quantidade de informação anterior existente e ao fato da comparação entre os resultados do modelo e as medições realizarem-se sempre em pontos restritos no espaço e no tempo.

Embora se tenha conseguido bom ajuste do modelo hidrodinâmico à 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. No entanto, é recomendável manter margens de segurança suficientes na análise dos resultados.

.....Quebra de página.....

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (ANEXO I)

BLUMBERG, A.F. & MELLOR, G.L. 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**, p. 1-16.
- CASTRO FILHO, B.M.C. & MIRANDA, L.B. 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 40° N and 34° S. The Sea. **John Wiley & Sons**, Inc. 11: p. 209-251.
- CLIMANÁLISE. 1996. Boletim de Monitoramento e Análise Climática. **Edição comemorativa de 10 anos**. Outubro.
- EVANS, D.L. & SIGNORINI, S.R. 1985. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, 315, p. 48-50.
- FEMAR. 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Fundação de Estudos do Mar. Rio de Janeiro. 281pp.
- HESS, K.W. & BOSLEY, K.T. 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.
- HOLTON, J.R., 1979. An Introduction to Dynamic Meteorology. **International Geophysics Series**, Vol 23, Academic Press NY.
- LIMA, J.A.M. 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22°S. Tese de doutorado. University of New South Wales, Austrália.
- MELLOR, G.L. & YAMADA, T. 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, n. 4, p. 851-875.
- MIRANDA, L.B. de & CASTRO FILHO, B.M. 1979. Condições do movimento geostrófico das águas adjacentes a Cabo Frio (RJ). **Bolm. Inst. Oceanogr.**, S. Paulo, 28(2):79-93.

OKUBO, A., 1971. Oceanic diffusion diagrams. **Deep Sea Research**, v. 8, p. 789-802.

SATYAMURTI, P. & MATTOS, L.F. 1989. Climatological lower trophospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon. Wea. Rev.**, 108:410-520.

SIGNORINI, S.S. 1978. On the Circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Res.**, 25, p. 481-490.3.

STRAMMA, L.; IKEDA Y. & PETERSEN, R.G. 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region, **Deep-Sea. Res.**, 37(12): p. 1875-1886.

TOMCZAK, M. & GODFREY, S.J. 1994. Regional Oceanography: an Introduction. **Pergamon Press**, New York, 422 p.