

Modelagem de Transporte e Dispersão de Óleo Tipo A no Mar para o Bloco BM-C-41, Bacia de Campos

Revisão 00

Agosto/11





ASA South America
Rua Fidalga, 711
Vila Madalena – São Paulo –SP
CEP 05432-070
<http://www.asascience.com.br>



OGX Petróleo e Gás
<http://www.ogx.com.br>

Modelagem de Transporte e Dispersão de Óleo Tipo A no Mar para o Bloco BM-C-41, Bacia de Campos

Equipe Técnica **ASA South America:**

ANA CAROLINA LAMMARDO
CAMILA CANTAGALLO DEVIDS
EDUARDO YASSUDA
GABRIEL CLAUZET
MARCO ANTONIO CORRÊA
VIVIAN MARTINHO

(Nº IBAMA: 325047)
(Nº IBAMA: 2393696)
(Nº IBAMA: 94066)
(Nº IBAMA: 1031373)
(Nº IBAMA: 434236)
(Nº IBAMA: 5057041)

Revisão 00
Agosto / 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 de Transporte e Dispersão de Óleo Tipo A no Mar para o Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. Relatório Técnico, (26 de agosto de 2011). 149pp+Anexos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
II ANÁLISE DE DADOS.....	II-1
II.1 VENTOS	II-2
II.2 CORRENTES.....	II-7
II.2.1 CORRENTE PETROBRAS	II-7
II.2.2 CORRENTE WOCE	II-13
II.2.3 DERIVADORES DO PROJETO MONDO	II-19
II.3 ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR	II-22
III MODELAGEM HIDRODINÂMICA	III-1
III.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA	III-2
III.1.1 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS	III-2
III.1.2 PROCEDIMENTOS DE AQUECIMENTO (WARM UP) DO MODELO.....	III-3
III.1.3 DADOS DE ENTRADA	III-3
III.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO.....	III-6
III.3 AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	III-11
III.3.1 AVALIAÇÃO PARA A ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR.....	III-12
III.3.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES	III-14
III.3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	III-20
IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO	IV-1
IV.1 DADOS DE ENTRADA	IV-1
IV.1.1 CAMPOS DE VENTO	IV-1
IV.1.2 CAMPOS DE CORRENTES	IV-3
IV.1.3 PONTO DE RISCO E VOLUMES DE DERRAME.....	IV-4
IV.1.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS UTILIZADOS.....	IV-5
IV.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES	IV-6
IV.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS	IV-7
V RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE DERRAME DE ÓLEO.....	V-1
V.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS	V-1
V.1.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VOLUME PEQUENO	V-3

V.1.2	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VOLUME MÉDIO	V-11
V.1.3	SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VOLUME PIOR CASO	V-19
V.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS	V-27
V.2.1	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS – VOLUME PEQUENO	V-29
V.2.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS – VOLUME MÉDIO	V-32
V.2.3	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS – VOLUME PIOR CASO	V-35
V.3	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES	V-44
V.3.1	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS MAIS FREQUENTES – VOLUME PEQUENO	V-45
V.3.2	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS MAIS FREQUENTES – VOLUME MÉDIO	V-48
V.3.3	SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS MAIS FREQUENTES – VOLUME PIOR CASO	V-51
VI	CONSIDERAÇÕES FINAIS	VI-1
VII	BIBLIOGRAFIA	VII-1
	ANEXO A - JUSTIFICATIVA PARA A ESCOLHA DO ANO 1992	A-1
	ANEXO B - DESCRIÇÃO DO MODELO PRINCETON OCEAN MODEL	B-1
	ANEXO C - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS OILMAP	C-1
	ANEXO D - DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR	D-1

LISTA DE TABELAS

Tabela II-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (21,54°S e 39,24°W) para o ano de 1992, na Bacia de Campos, no período de verão.	II-6
Tabela II-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (21,54°S e 39,24°W) para o ano de 1992, na Bacia de Campos, no período de inverno.	II-6
Tabela II-3 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.....	II-7
Tabela II-4 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992 (verão). Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: PETROBRAS (ver: tabela II-3).....	II-10
Tabela II-5 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992 (inverno). Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: PETROBRAS.	II-11
Tabela II-6 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de janeiro a março de 1992 (verão). Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: WOCE.....	II-17
Tabela II-7 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992 (inverno). Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: WOCE.	II-17
Tabela II-8 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para as estações maregráficas de Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP). Fonte: FEMAR (2000).....	II-24
Tabela III-1 - Classificação do RMAE por ranges.....	III-14
Tabela IV-1 - Coordenadas (SAD 69) do ponto de risco.....	IV-5
Tabela IV-2 - Características do óleo Tipo A.....	IV-6
Tabela IV-3 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas.	IV-7
Tabela V-1 - Extensão da costa com probabilidade de toque.....	V-1
Tabela V-2 - Menor distância da mancha de probabilidades com relação à costa.....	V-2
Tabela V-3 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística.	V-2

Tabela V-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de 8 m ³ para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno.	V-10
Tabela V-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de 200 m ³ para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno.	V-18
Tabela V-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de pior caso para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno.	V-26
Tabela V-7 - Resumo dos cenários determinísticos críticos com probabilidade de toque de óleo na costa.	V-28
Tabela V-8 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão sem probabilidade de toque na costa.	V-28
Tabela V-9 - Resumo dos cenários determinísticos mais frequentes sem toque de óleo na costa.	V-45

LISTA DE FIGURAS

- Figura I-1** - Localização do ponto de risco no Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. I-1
- Figura II-1** - Mapa com a localização das estações de medição de correntes, vento e elevação da superfície do mar. II-1
- Figura II-2** - Diagrama *stick plot* dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992, na posição 21,54°S e 39,24°W..... II-3
- Figura II-3** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para janeiro a março de 1992, Bacia de Campos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica)..... II-4
- Figura II-4** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para junho a agosto de 1992, Bacia de Campos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica)..... II-5
- Figura II-5** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações..... II-8
- Figura II-6** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações..... II-9
- Figura II-7** - Diagramas *stick plot* dos vetores de corrente na profundidade de 15 m. Painel superior: verão de 1992; Painel inferior: inverno de 1992. Intervalo de amostragem 1h. Fonte dos dados: PETROBRAS (ver: tabela II-3)..... II-10
- Figura II-8** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o verão de 1992 (meses de fevereiro e março)..... II-12

- Figura II-9** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o inverno de 1992 (meses de fevereiro e março)..... II-12
- Figura II-10** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de janeiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações. II-14
- Figura II-11** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações. II-15
- Figura II-12** - Diagramas stick plot dos vetores de corrente na profundidade de 230 m. Painel superior: verão de 1992; Painel inferior: inverno de 1992. Intervalo de amostragem 1h. Fonte dos dados: WOCE. II-16
- Figura II-13** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Verão de 1992, intervalo de amostragem: 2h..... II-18
- Figura II-14** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Inverno de 1992, intervalo de amostragem: 2h..... II-19
- Figura II-15** - Trajetórias dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s). II-20
- Figura II-16** - Vetores de velocidade média dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s). II-21
- Figura II-17** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Enchova II (RJ). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1958), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR..... II-22
- Figura II-18** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Bom Abrigo (SP). Previsão harmônica realizada pelo

método de Schuremann (1958), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.....	II-23
Figura III-1 - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico. Como referência, os blocos operados pela OGX são apresentados em vermelho.	III-4
Figura III-2 - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré M_2 , projetado na grade do modelo hidrodinâmico. Como referência, os blocos operados pela OGX são apresentados em vermelho.	III-5
Figura III-3 - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. Salinidade como isohalinas e temperatura (°C) através dos tons de cores. Como referência, os blocos operados pela OGX são apresentados em vermelho.....	III-6
Figura III-4 - Grade computacional do modelo hidrodinâmico com foco na Bacia de Campos, onde se localizam os blocos operados pela OGX, e batimetria projetada.	III-7
Figura III-5 - Histograma representando a distribuição percentual da resolução espacial dos elementos da grade hidrodinâmica ao longo das linhas “paralelas” a costa. Intervalo de classe: 2 km.	III-9
Figura III-6 - Histograma representando a distribuição percentual da resolução espacial dos elementos da grade hidrodinâmica ao longo das linhas “perpendiculares” a costa (linhas, aproximadamente, radiais a costa). Intervalo de classe: 2 km.....	III-9
Figura III-7 - 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.	III-10
Figura III-8 - 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.	III-11
Figura III-9 - Regiões selecionadas para validação da corrente simulada próxima à superfície com os derivadores do Projeto MONDO. As linhas pontilhadas vermelhas indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.....	III-19
Figura III-10 - Instantâneo de correntes simuladas no verão, com foco na região sul-sudeste brasileira. A linha preta indica a posição da seção apresentada na Figura III-13.....	III-21

Figura III-11 - Instantâneo de correntes simuladas no inverno, com foco na região sul-sudeste brasileira. A linha preta indica a posição da seção apresentada na Figura III-14.....	III-22
Figura III-12 - Trajetórias dos derivadores 11 (a), 12 (b), 17 (c) e 18 (d).....	III-23
Figura III-13 - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o verão de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na Figura III-10.	III-24
Figura III-14 - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o inverno de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na Figura III-11.	III-25
Figura IV-1 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de verão).	IV-2
Figura IV-2 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de inverno).	IV-3
Figura IV-3 - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo.....	IV-4
Figura V-1 - Cenário OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.....	V-4
Figura V-2 - Cenário OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m ³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.	V-5
Figura V-3 - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.....	V-6
Figura V-4 - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.	V-7
Figura V-5 - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Probabilidade de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m ³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.....	V-8

- Figura V-6** - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Volume máximo de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-9
- Figura V-7** - Cenário OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-12
- Figura V-8** - Cenário OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação. V-13
- Figura V-9** - Cenário OSX2_TIPOA_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação. V-14
- Figura V-10** - Cenário OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação. V-15
- Figura V-11** - Cenário OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Probabilidade de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação..... V-16
- Figura V-12** - Cenário OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Volume máximo de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação. V-17
- Figura V-13** - Cenário OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação. V-20
- Figura V-14** - Cenário OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março),

com derrame de 240.115,7 m ³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.....	V-21
Figura V-15 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m ³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.V-22	
Figura V-16 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m ³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.....	V-23
Figura V-17 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Probabilidade de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m ³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.	V-24
Figura V-18 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Volume máximo de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m ³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.	V-25
Figura V-19 - DET_OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 8 m ³ ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.	V-30
Figura V-20 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_8_VER_30D.	V-30
Figura V-21 - DET_OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 8 m ³ ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.	V-31
Figura V-22 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_8_INV_30D.....	V-31
Figura V-23 - DET_OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 200 m ³ ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.	V-33
Figura V-24 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_200_VER_30D.	V-33
Figura V-25 - DET_OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 200 m ³ ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.....	V-34
Figura V-26 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_200_INV_30D.....	V-34

- Figura V-27** - DET_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. V-36
- Figura V-28** - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. V-36
- Figura V-29** - DET_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. V-37
- Figura V-30** - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. V-37
- Figura V-31** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-NW; Vento-WSW. V-38
- Figura V-32** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE. V-39
- Figura V-33** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação determinística crítica de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-E. V-40
- Figura V-34** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-NW; Vento-SW. V-41
- Figura V-35** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE. V-42
- Figura V-36** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE. V-43
- Figura V-37** - DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 8 m³ ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. V-46

- Figura V-38** - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_VER_30D.V-46
- Figura V-39** - DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 8 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos..... V-47
- Figura V-40** - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_INV_30D..V-47
- Figura V-41** - DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 200 m³, ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos..... V-49
- Figura V-42** - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_VER_30D.
..... V-49
- Figura V-43** - DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 200 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos..... V-50
- Figura V-44** - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_INV_30D.
..... V-50
- Figura V-45** - DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos..... V-52
- Figura V-46** - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D.
..... V-52
- Figura V-47** - DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos..... V-53
- Figura V-48** - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D.
..... V-53
- Figura V-49** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41 . Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE..... V-54
- Figura V-50** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SE; Vento-NE..... V-55
- Figura V-51** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação determinística mais

frequente de pior caso, verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.	V-56
Figura V-52 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41 . Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NNE.	V-57
Figura V-53 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.	V-58
Figura V-54 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa simulação determinística mais frequente de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SSW.	V-59

RESUMO

Este relatório apresenta o resultado das modelagens numéricas do transporte e dispersão de óleo no mar para o Bloco BM-C-41, localizado na Bacia de Campos, de acordo com as diretrizes definidas no Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 007/2011.

O sistema de modelos OILMAP da *Applied Science Associates (ASA), Inc.* foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de óleo. O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM). Enquanto o campo de ventos foi baseado em dados de reanálise de modelos meteorológicos.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para duas condições sazonais (verão e inverno) e um tipo de óleo (Tipo A - grau API 17,6), com o objetivo de determinar os intervalos de probabilidade da mancha atingir a área de estudo a partir de três classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA nº 398/08: pequeno, médio e pior caso (correspondente ao afundamento da unidade). O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento.

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para cada cenário probabilístico, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa ou menor distância deste em relação à costa (quando não há probabilidade de toque). Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas para as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

Dentre todas as simulações realizadas, há probabilidade de toque na costa para todos os derrames a partir do Bloco BM-C-41 no inverno. Ainda analisando estes resultados, pode-se observar que o cenário que apresentou a maior extensão de costa atingida pelo óleo (1.835,3 km) foi referente ao derrame de pior caso (afundamento de unidade). O menor tempo de toque na costa (76 horas) foi registrado para o Município de Arraial do Cabo, Estado do Rio de Janeiro.

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte à AECOM na elaboração do Estudo de Impacto Ambiental para atividades de perfuração marítima da OGX na Bacia de Campos, a **ASA South America** apresenta este estudo de modelagem numérica da trajetória e intemperismo de óleo no mar para o Bloco BM-C-41. Este estudo foi realizado com base nas diretrizes definidas no item II.6.1 do Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 007/2011.

A Figura I-1 apresenta a localização do ponto de risco e do Bloco BM-C-41, a partir do qual foram realizadas simulações de potenciais acidentes com vazamento de óleo no mar. Os vazamentos consideraram a hipótese acidental de afundamento da unidade marítima.

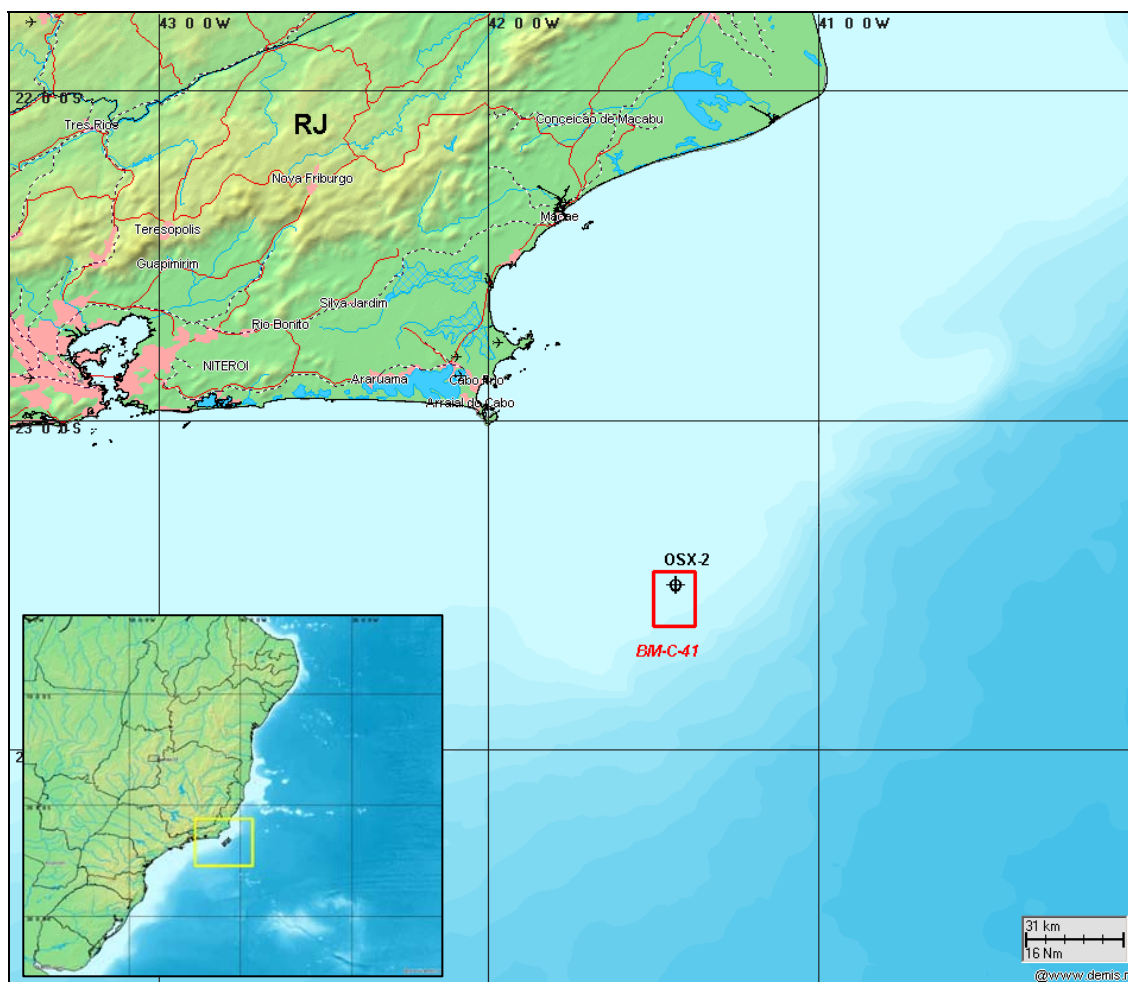


Figura I-1 - Localização do ponto de risco no Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

A modelagem foi conduzida através da utilização de um sistema de modelos conhecido como OILMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** A **ASA** possui mais de 30 anos de experiência com utilização de ferramentas computacionais para estudos de impacto ambiental causado por acidentes com petróleo.

Para estudos de modelagem como o realizado neste trabalho, são necessários: (a) um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (morfologia da linha de costa e fundo oceânico), (b) padrões de circulação local e em larga escala, (c) campos de vento variáveis no tempo e no espaço e (d) caracterização físico-química do óleo.

Para a modelagem de transporte da mancha de óleo foi considerando um campo de ventos variável no tempo e no espaço, baseado em dados de reanálise dos modelos meteorológicos do NCEP/NCAR¹.

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA South America** para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (ASA, 2010a,b).

As simulações de derrame de óleo consideraram: (a) um ponto de risco; (b) três volumes de derrame (pequeno, médio e volume de pior caso); (c) um tipo de óleo (grau API 17,6) e (d) duas condições sazonais (verão e inverno). Como critério de parada nas simulações de derrame de óleo utilizou-se o tempo de 30 dias após o final do vazamento. Dessa forma, as simulações de afundamento de unidade foram de 31 dias, enquanto as demais simulações foram conduzidas por 30 dias.

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para cada cenário probabilístico, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa ou menor distância deste em relação à costa (quando não há probabilidade de toque). Adicionalmente, foram

¹ *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>>. Data de último acesso: 05 de janeiro de 2009.

realizadas simulações determinísticas para as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

A seguir, no Capítulo II apresenta-se a análise dos dados meteorológicos e oceanográficos relevantes aos estudos de modelagem. O Capítulo III apresenta a modelagem hidrodinâmica implementada. O Capítulo IV descreve os cenários acidentais de óleo, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas são apresentados no Capítulo V. Em complementação, o Anexo A apresenta o detalhamento do campo de ventos utilizado na modelagem de óleo, além de análise para a escolha do ano de 1992 como referência para os estudos de modelagem. Nos Anexos B e C apresentam-se a descrição dos modelos POM e OILMAP, respectivamente. No Anexo D são apresentados detalhes sobre os dados de reanálise do NCEP/NCAR.

Ressalta-se que a descrição do meio físico da região é apresentada no Subitem II.5.1 do Capítulo II do Relatório de Impacto Ambiental.

II ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo são apresentadas as análises das informações (dados) pretéritas, meteorológicas e oceanográficas nas imediações da região de estudo. Esta fase teve por objetivo: (1) uma melhor compreensão da dinâmica da área, (2) identificar padrões característicos com o intuito de calibrar/validar o modelo hidrodinâmico, e (3) para aplicação direta na elaboração das simulações de derrame de óleo. A localização dos dados disponíveis para análise é apresentada na Figura II-1.

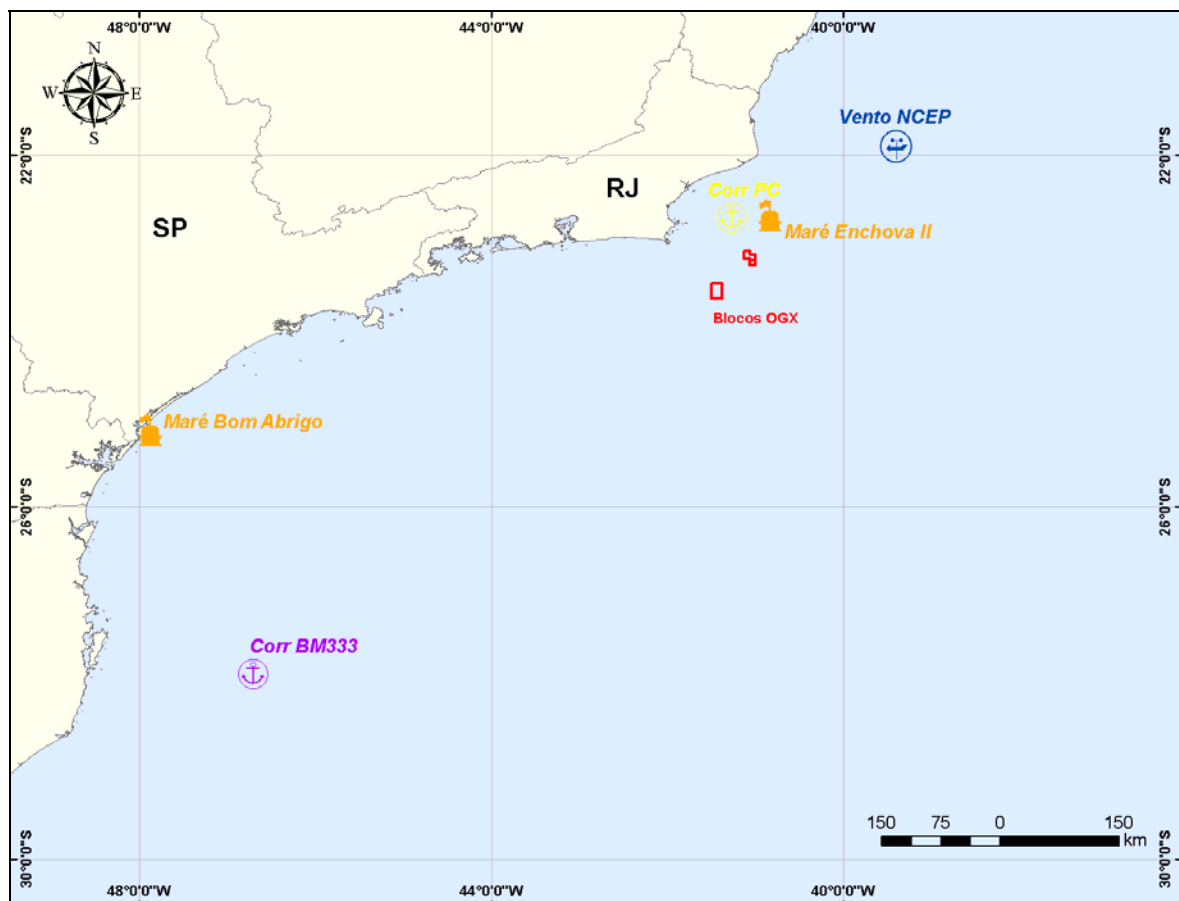


Figura II-1 - Mapa com a localização das estações de medição de correntes, vento e elevação da superfície do mar.

Neste relatório são apresentados histogramas direcionais com o objetivo de analisar o comportamento em termos de intensidade, direção e frequência de ocorrência para cada conjunto de dados, individualmente.

As escalas de intensidade e de frequência de ocorrência e a orientação dos referenciais utilizados estão informadas tanto nos textos que precedem as figuras quanto nas legendas destes diagramas.

Uma vez que, neste tipo de análise, apresentar estes diagramas utilizando a mesma escala para frequência de ocorrência pode acarretar prejuízos quanto ao conjunto de informações, induzindo encobrir (mascarar) aspectos físicos relevantes, ao fixar uma escala de probabilidades para comparar dois conjuntos de dados, não necessariamente obtém-se o máximo de informações (qualitativa e quantitativa) comparativas desses dados.

Por outro lado, se utilizarmos uma escala fixa baseada na máxima probabilidade considerando todos os dados e períodos para a região, estas importantes feições podem não ser mais evidentes. Por isso, nos histogramas direcionais optou-se por uma escala variável de probabilidade, exceto nos casos de comparações entre dados medidos e resultados de modelo num mesmo local, para os quais as escalas de cores serão mantidas, uma vez que se esperam características semelhantes em se tratando de mesmo local.

II.1 VENTOS

Os dados de vento analisados são referentes ao período de 1^o de janeiro a 31 de dezembro de 1992. Abaixo, são apresentadas análises estatísticas dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente na área Bacia de Campos. Para estas análises foi extraída uma série temporal na região referente à posição de latitude 21°54'S e longitude 39°24'W². A Figura II-2 apresenta o diagrama *stick plot* dos valores médios diários desses dados de vento.

² O foco desta análise é a variabilidades dentro de cada período identificado (sazonalidade) a 10 m da superfície (ou próximo à superfície), que utiliza uma grade gaussiana T62 (uma grade regular projetada sobre a superfície terrestre) com 192x94 elementos (cobertura espacial → latitude: de 88,542N a 88,542S; longitude: de 0E a 358,125E).

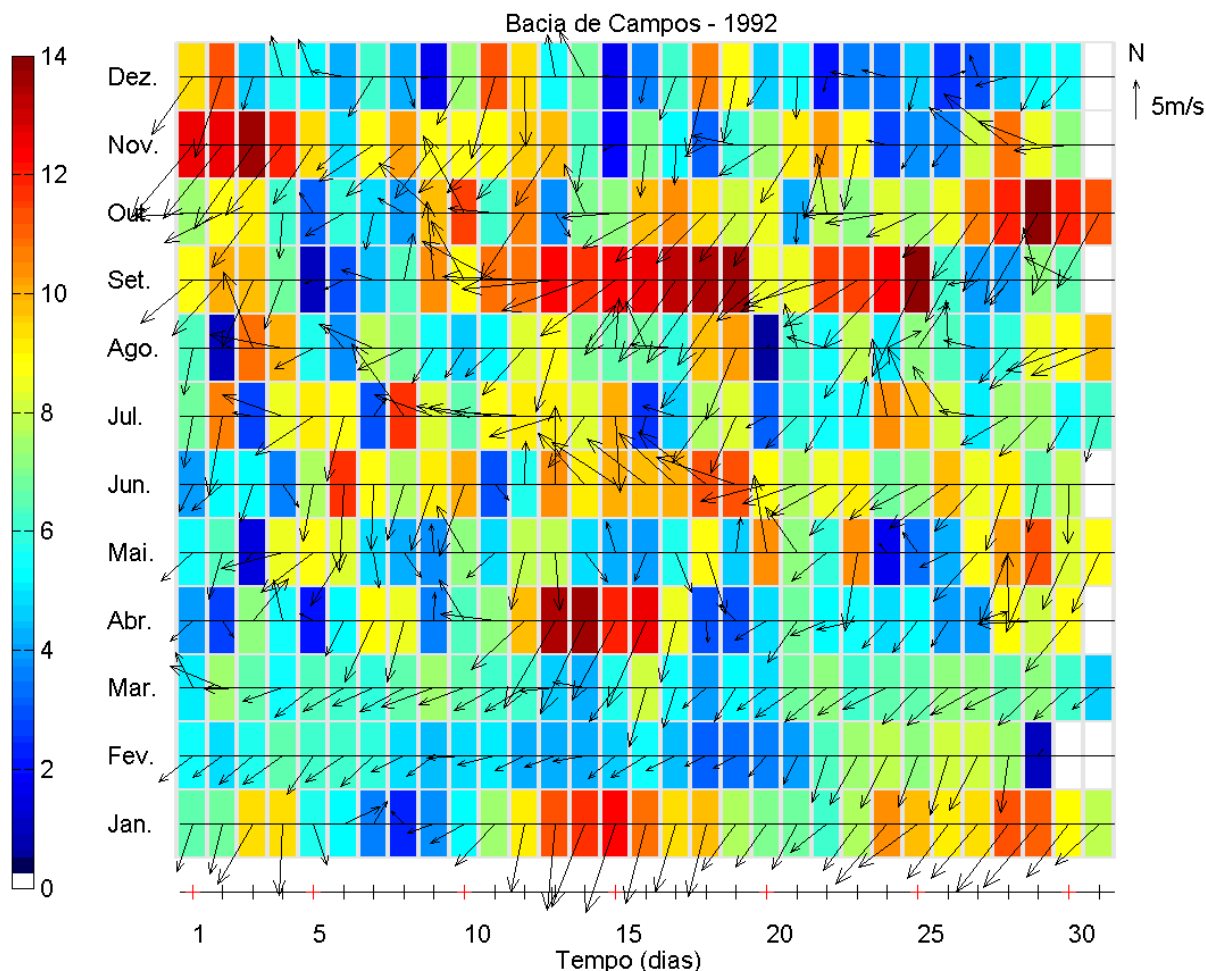
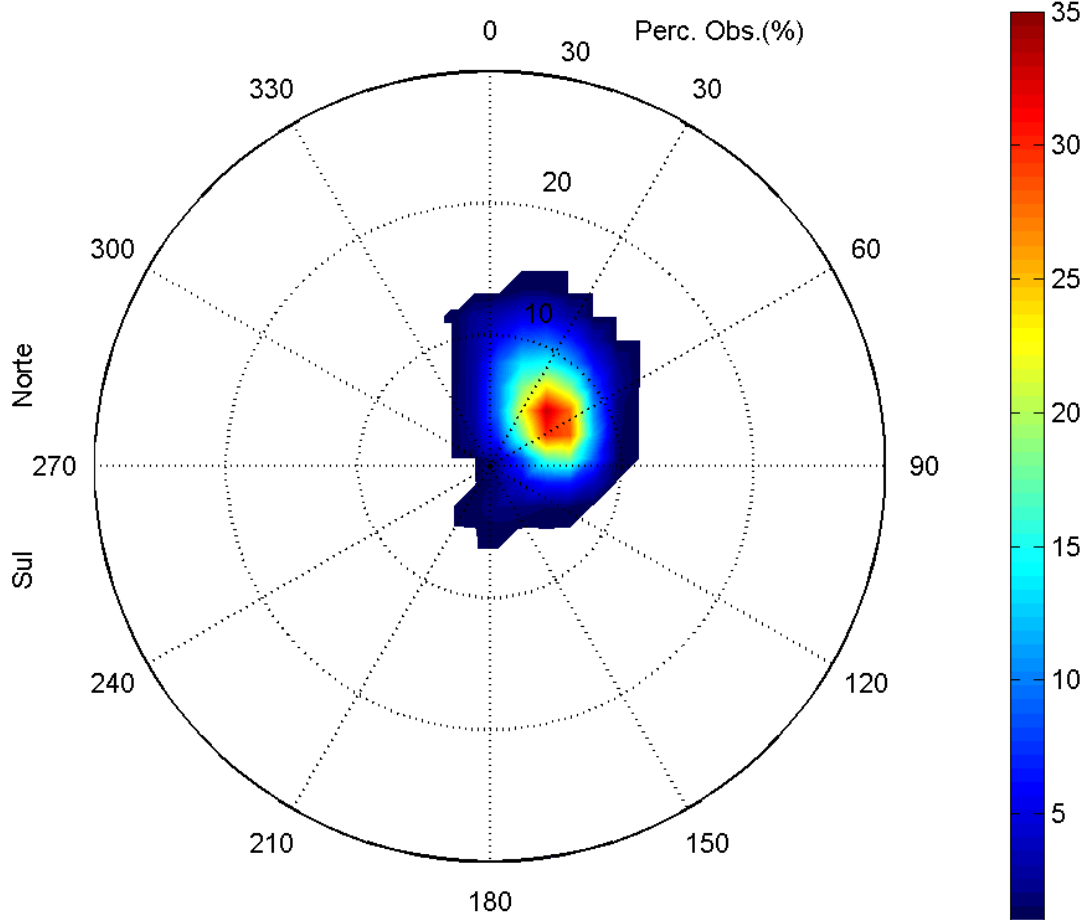


Figura II-2 - Diagrama stick plot dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992, na posição 21,54°S e 39,24°W.

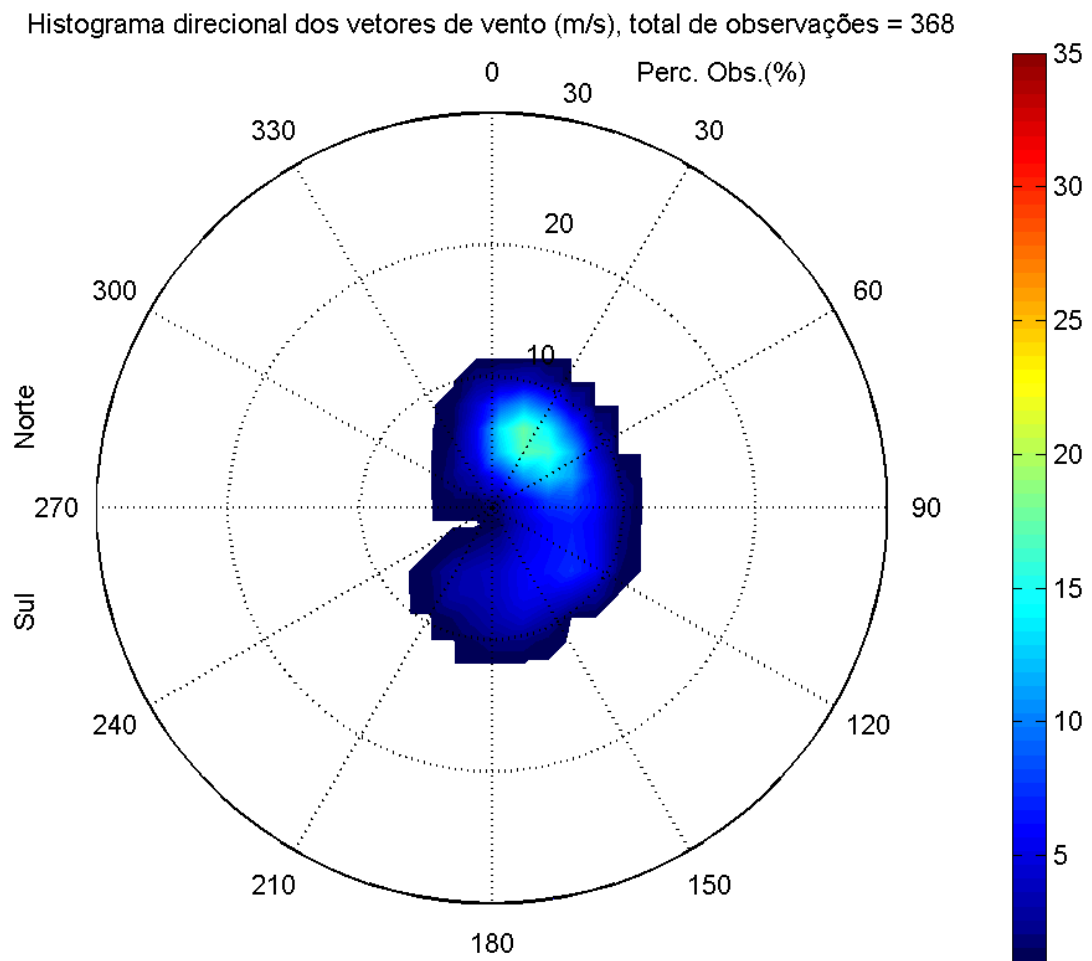
As Figuras II-3 e II-4 apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP (posição 21°54'S e 39°24'W), para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vento (em m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de incidência (Perc. Obs.). Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste; e no inverno existe um aumento de ocorrências de ventos oriundos de leste e sul.

Histograma direcional dos vetores de vento (m/s), total de observações = 360



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

Figura II-3 - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para janeiro a março de 1992, Bacia de Campos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

Figura II-4 - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para junho a agosto de 1992, Bacia de Campos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).

A Tabela II-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (32,5%) e NNE (22,1%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de N (8,2 m/s) e NNE (7,8 m/s), e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de NNE (12,8 m/s) e NE (12,3 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 11,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela II-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (21,54°S e 39,24°W) para o ano de 1992, na Baía de Campos, no período de verão.

obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico (convenção meteorológica).

Veloc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir. Méd.	
	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	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	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	3,7	74	
3,0- 4,0	9	34	38	23	23	8	2	7	6	3	0	1	0	0	3	3	160	7,4	57	
4,0- 5,0	6	28	75	68	30	8	0	4	7	2	1	5	0	1	0	5	240	11,1	58	
5,0- 6,0	3	34	130	159	34	1	0	1	0	3	4	2	4	4	0	2	381	17,6	56	
6,0- 7,0	27	63	156	139	48	0	4	0	0	1	3	2	0	0	0	1	444	20,6	51	
7,0- 8,0	22	80	111	58	20	7	14	0	0	0	5	0	0	0	0	2	319	14,8	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	6,6	28	
10,0-11,0	27	37	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	5,4	27	
11,0-12,0	12	34	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	3,0	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	
Total	158	476	698	461	186	30	29	25	15	10	15	10	6	6	4	22	2151			
Porc.	7,3	22,1	32,5	21,4	8,6	1,4	1,3	1,2	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	12,8	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				
Perct. (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-2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NNE (19,3%) e NE (16,2%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de S (6,8 m/s) e SSE (6,6 m/s), e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de SSE (10,0 m/s) e de S, NNW e NNE (9,9 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 9,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

Tabela II-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (21,54°S e 39,24°W) para o ano de 1992, na Baía de Campos, no período de inverno.

obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico (convenção meteorológica).

Veloc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Dir. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 1,0	2	1	0	1	0	0	0	3	1	3	0	2	2	0	3	1	19	0,9	254
1,0- 2,0	3	5	0	0	2	4	5	1	0	0	3	4	2	4	3	2	38	1,7	304
2,0- 3,0	6	14	13	6	0	4	12	0	0	2	3	1	2	5	2	6	76	3,4	34
3,0- 4,0	20	33	35	15	12	26	9	3	4	4	1	0	0	4	8	3	177	8,0	52
4,0- 5,0	35	49	42	34	14	19	22	11	15	2	0	2	1	3	3	13	265	12,0	54
5,0- 6,0	50	69	85	44	29	16	19	22	30	24	11	1	0	0	2	7	409	18,5	61
6,0- 7,0	35	103	99	59	32	31	23	21	17	11	13	1	0	0	0	1	446	20,2	59
7,0- 8,0	28	93	51	48	45	34	38	28	9	9	1	2	0	0	0	5	391	17,7	69
8,0- 9,0	33	36	20	14	26	40	44	17	34	10	2	0	0	0	0	6	282	12,8	96
9,0-10,0	14	19	10	0	0	4	12	11	14	0	0	0	0	0	0	1	85	3,8	77
Total	226	422	355	221	160	178	184	117	124	65	34	13	7	16	21	45	2188		
Porc.	10,3	19,3	16,2	10,1	7,3	8,1	8,4	5,3	5,7	3,0	1,6	0,6	0,3	0,7	1,0	2,1			
Vel. méd.	6,0	6,1	5,9	6,0	6,3	6,2	6,5	6,6	6,8	5,9	5,4	3,6	1,9	2,9	3,1	5,1			
Vel. máx.	9,8	9,9	9,8	8,7	8,8	9,3	9,6	10,0	9,9	9,0	8,2	8,0	4,5	4,2	5,5	9,9			
Perct. (0,9)	8,0	8,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0	8,0	6,1	7,0	3,6	4,0	4,4	8,0			

II.2 CORRENTES

As informações de correntes apresentadas, a seguir, foram obtidas junto a PETROBRAS e ao Banco de Dados do WOCE³. A localização, profundidade e período de coleta são apresentados na Tabela II-3. A disposição espacial dos pontos de coleta de dados de corrente é apresentada na Figura II-1.

Tabela II-3 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.

DADO	LATITUDE / LONGITUDE	PROFUNDIDADE (m)	PERÍODO
PETROBRAS - PC	22,7167°S / 41,2667°W (datum SIRGAS ⁴ 2000)	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

Adicionalmente foram utilizados os dados de derivadores do Projeto MONDO⁵, da empresa ENI Oil do Brasil e da PROOCEANO, apresentados no Subitem II.2.3 (utilizando o *datum* WGS84).

II.2.1 Corrente PETROBRAS

Os dados de correntes PC (PETROBRAS) foram disponibilizadas pelo PETROBRAS e foram coletados como parte do programa de monitoramento ambiental da Bacia de Campos em 1994⁶.

As Figuras II-5 e II-6 apresentam os histogramas direcionais dos vetores de corrente para os períodos de verão e inverno no Ponto PC (profundidade local de cerca de 60 m). Considerando-se o período de cobertura dos dados para este ponto, o período de verão contempla somente os meses de fevereiro e março, enquanto o período de inverno, os meses de junho a agosto.

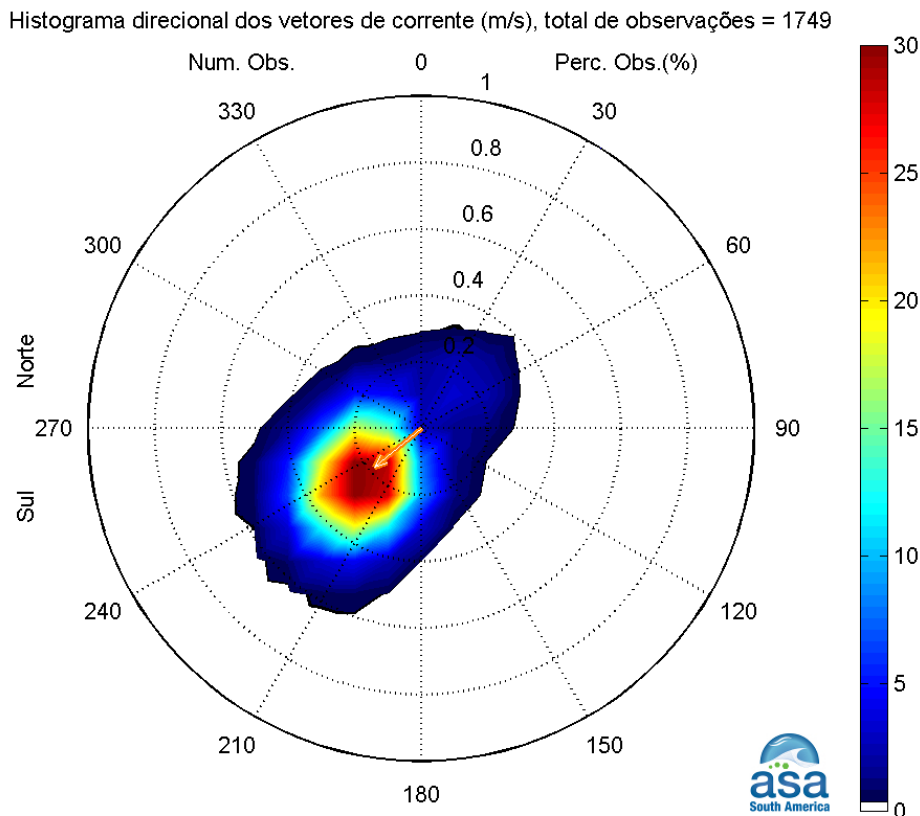
³ *World Ocean Circulation Experiment.*

⁴ Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
(<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/principal.htm>)

⁵ Monitoramento por Derivadores Oceânicos (<http://www.prooceano.com.br/mondo>).

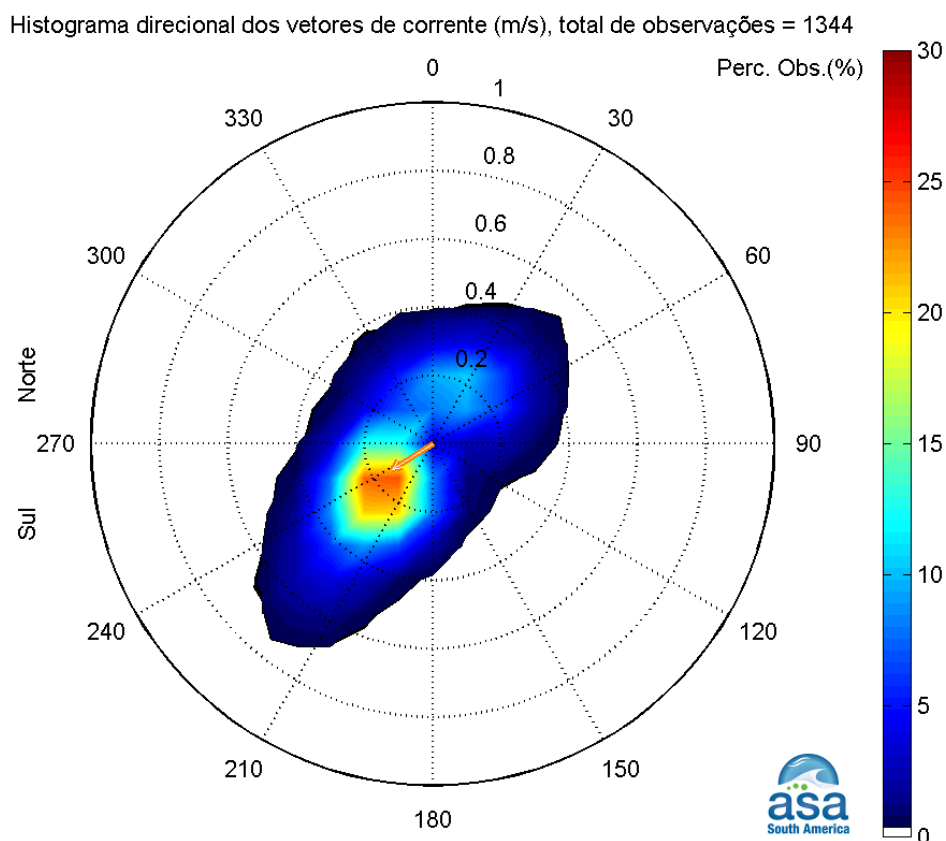
⁶ Programa de Monitoramento da Bacia de Campos, Relatório Final – São Paulo – 1994. Elaboração: FUNDESPA e GEOMAP.

Nestes histogramas direcionais, a intensidade das correntes (em m/s) é informada pelos círculos concêntricos, a direção é informada em graus (a partir do norte geográfico) e a barra lateral de cores apresenta o percentual de ocorrência em relação ao total de observações. O intervalo de amostragem dos dados utilizados é de uma hora e o vetor no centro do histograma mostra a intensidade, a direção e o sentido da velocidade média obtida a partir dos respectivos dados.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.18 m/s

Figura II-5 - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.14 m/s

Figura II-6 - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.

A observação conjunta desses dois histogramas direcionais permite notar a direção preferencial do fluxo (em torno de 240°), possivelmente associada à presença da Corrente do Brasil (CB) na região. Outro ponto a se destacar é que, se por um lado, as correntes durante o verão apresentam um fluxo médio coincidente com as correntes mais frequentes, por outro, durante o inverno, o fluxo médio é menos intenso do que as correntes mais frequentes. Isto se deve, principalmente, a incidência de sistemas frontais (frentes frias) na região. Este padrão pode-se observado também nos diagramas *stick plot* (Figura II-7).

Diagramas stick plot dos vetores de correntes (Dados: PETROBRAS)

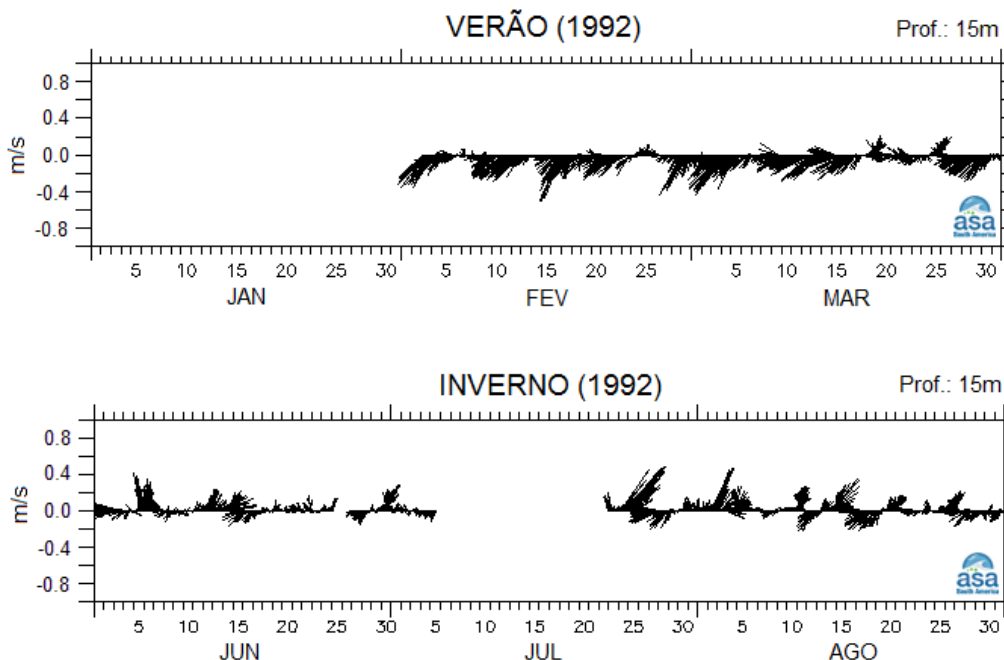


Figura II-7 - Diagramas stick plot dos vetores de corrente na profundidade de 15 m. Painel superior: verão de 1992; Painel inferior: inverno de 1992. Intervalo de amostragem 1h. Fonte dos dados: PETROBRAS (ver: tabela II-3).

Na sequência, a Tabela II-4 apresenta a ocorrência conjunta dos dados de correntes, para o verão de 1992, apresentados no painel superior da Figura II-7. A Tabela II-5 apresenta o análogo para os dados de correntes (inverno de 1992) apresentados no painel inferior da mesma figura.

Tabela II-4 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992 (verão). Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: PETROBRAS (ver: tabela II-3).

Ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção da corrente.																			
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.																			
	DIREÇÃO															Total	Porc.	Dir. méd.	
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0-10,0	12	9	2	5	9	7	9	13	33	39	78	93	53	25	22	16	425	30,8	243
10,0-20,0	6	11	16	10	3	0	0	5	10	41	85	105	46	30	6	5	379	27,4	244
20,0-30,0	0	3	7	3	0	0	0	0	2	42	168	78	12	4	0	0	319	23,1	229
30,0-40,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	143	60	5	0	0	0	227	16,4	230
40,0-50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	22	1	0	0	0	0	32	2,3	218
Total	18	23	25	18	12	7	9	18	45	150	496	337	116	59	28	21	1382		
Porc.	1,3	1,7	1,8	1,3	0,9	0,5	0,7	1,3	3,3	10,9	35,9	24,4	8,4	4,3	2,0	1,5			
Vel. méd.	6,8	13,6	17,3	14,3	6,7	4,3	3,3	7,0	7,6	19,1	23,6	18,1	11,7	10,6	6,2	6,1			
Vel. máx.	13,8	23,0	24,0	22,6	13,0	6,8	7,8	15,0	26,8	48,6	49,2	42,5	38,2	23,6	20,0	14,2			
Percts. (0,9)	10,0	20,0	20,0	20,0	10,0	0,0	0,0	10,0	10,0	30,0	30,0	30,0	20,0	10,0	10,0	10,0			

Tabela II-5 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 15 m de profundidade, na região da Baía de Campos, para o período de junho a agosto de 1992 (inverno). Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: PETROBRAS.

Ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção da corrente.																			
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.																			
	DIREÇÃO																		
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0-10,0	64	69	58	30	19	14	14	16	36	65	85	86	92	59	77	108	892	51,2	300
10,0-20,0	40	63	60	25	4	2	0	0	3	42	64	55	34	24	27	52	495	28,4	321
20,0-30,0	32	53	47	24	6	1	0	0	0	7	40	20	28	1	2	18	279	16,0	358
30,0-40,0	5	8	11	6	4	0	0	0	0	0	0	1	4	3	0	2	44	2,5	26
40,0-50,0	0	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	1,3	40
50,0-60,0	0	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0,6	37
Total	141	199	202	85	33	17	14	16	39	114	189	162	158	87	106	181	1743		
Porc.	8,1	11,4	11,6	4,9	1,9	1,0	0,8	0,9	2,2	6,5	10,8	9,3	9,1	5,0	6,1	10,4			
Vel. méd.	13,3	15,7	19,6	15,3	12,5	5,5	3,9	3,0	4,8	9,7	12,4	10,6	10,8	8,4	7,5	10,1			
Vel. máx.	38,0	51,3	59,3	36,0	38,0	21,6	9,0	7,0	15,3	22,7	29,6	30,7	36,0	38,0	22,0	42,0			
Percts.(0,9)	20,0	20,0	40,0	20,0	30,0	10,0	0,0	0,0	0,0	10,0	20,0	20,0	20,0	10,0	10,0	20,0			

As tabelas anteriores quantificam os diagramas *stick plot* e também os histogramas direcionais, ou seja, as correntes são preferencialmente para o terceiro quadrante durante o verão. Durante o inverno, o eixo preferencial de propagação das correntes é NE-SW, com frequentes inversões de sentido, as quais estão associadas aos sistemas frontais. Neste ponto é importante salientar que no Anexo A deste documento apresenta-se o estudo estatístico demonstrando que o ano de 1992 foi atípico com relação à incidência de sistemas frontais na região, consolidando as aferições realizadas pelo diagrama de ocorrência conjunta para o período de inverno.

Dentro deste contexto, as análises que seguem evidenciam tanto as influências periódicas como as não periódicas nas correntes na região do Ponto PC. Assim, as Figuras II-8 e II-9 apresentam os espectros de amplitude das correntes para os dados no Ponto PC, para o verão e inverno, respectivamente.

A observação dos espectros de amplitudes, obtidos através da análise Fourier, para os ambos os períodos (verão e inverno) mostra, na faixa de baixa frequência, um maior nível energético no inverno do que no verão. Nota-se ainda a influência de oscilação de maré, na faixa de 2 ciclos por dia (cpd), para ambos os períodos, com uma maior influência relativa na circulação durante o verão, do que durante o inverno. Vale ressaltar que o eixo das abscissas apresenta até 3 cpd (Ciclos Por Dia), pois análises realizadas demonstraram ausência de períodos inferiores a 8h.

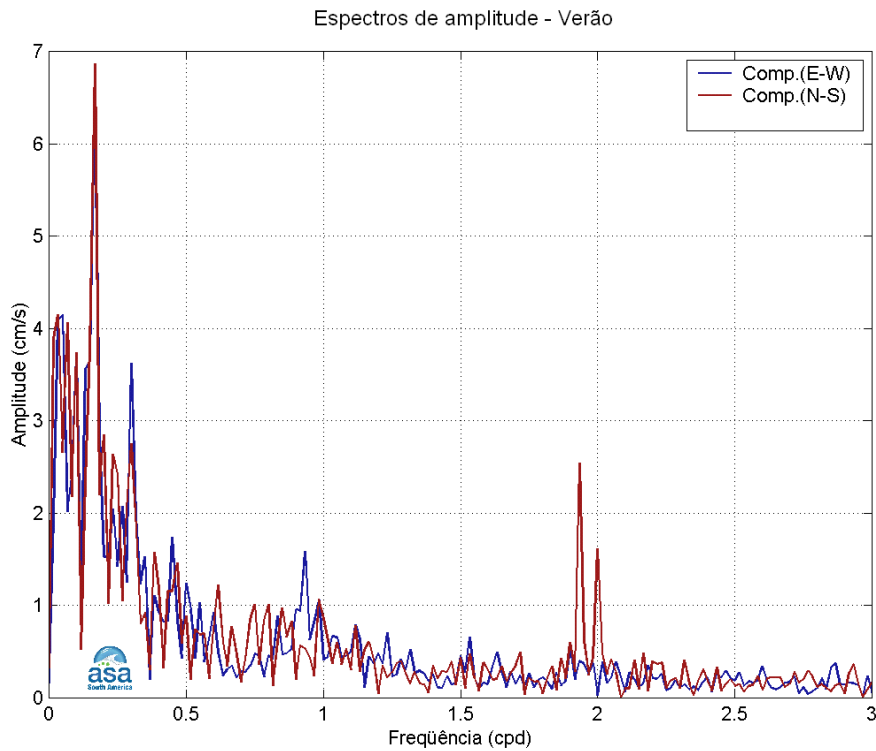


Figura II-8 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o verão de 1992 (meses de fevereiro e março).

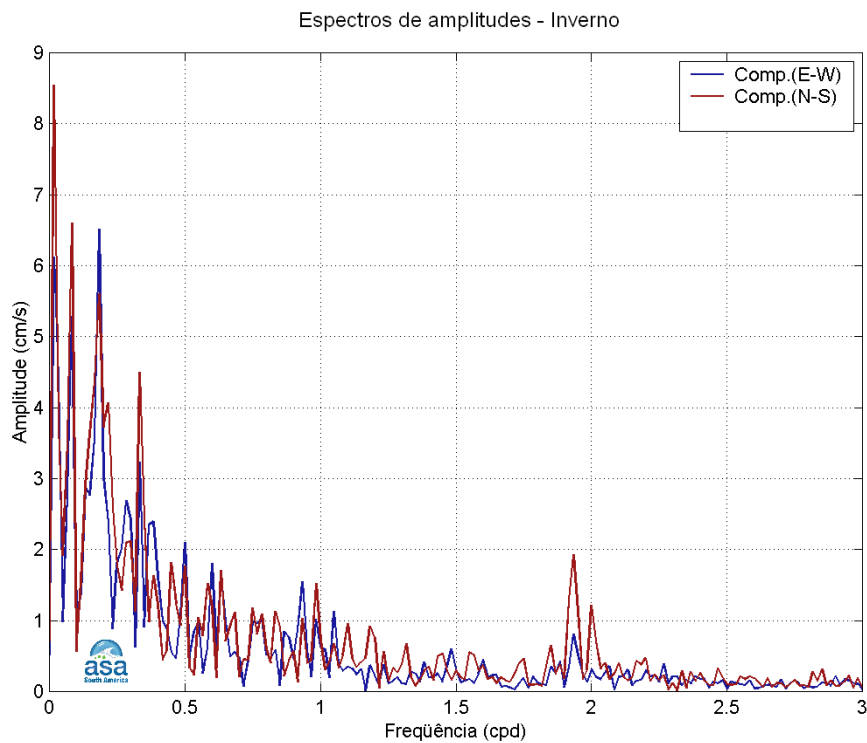


Figura II-9 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o inverno de 1992 (meses de fevereiro e março).

Enfim, a análise dos dados de corrente do Ponto PC mostra que a circulação naquela região é influenciada pela CB, com moderada ação de maré (semidiurna), sendo este padrão alterado por passagens de sistemas frontais (frentes frias), principalmente, durante o inverno.

II.2.2 Corrente WOCE

Dando sequência a análise de dados de correntes, os dados analisados a seguir foram obtidos junto ao Banco de Dados do WOCE, parte do programa WRCP⁷. Este programa foi realizado por um conjunto de mais de 30 países em um esforço sem precedentes para coleta e observação (via satélite) dos oceanos durante a década de 90 (de 1990 a 1998), assim como para observar importantes processos físicos até então pouco entendidos⁸.

A localização geográfica e período de coleta dos dados WOCE (Bacia de Santos) são apresentados na Tabela II-3. Nesta posição (região de talude, com lâmina d'água igual a 1.179 m) foram coletados dados em três profundidades: 230, 475 e 680 m. Porém, a análise que segue refere-se aos dados coletados na profundidade de 230 m.

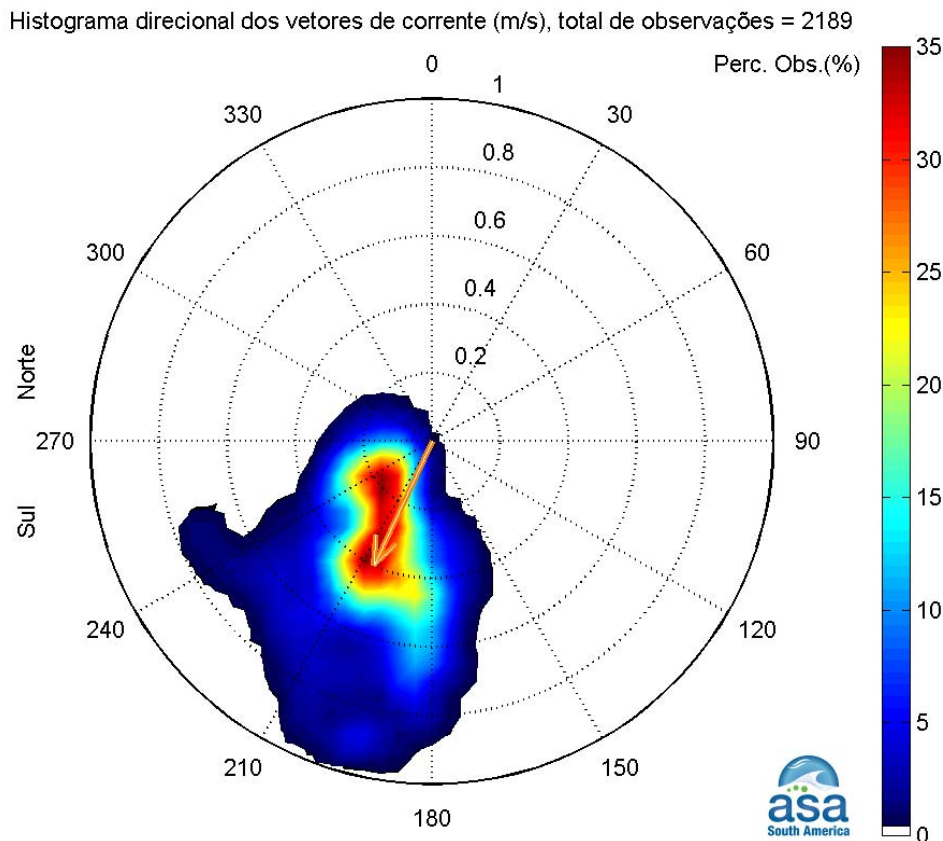
De maneira análoga às análises realizadas para os dados relativos ao Ponto PC, as análises dos dados do WOCE (ponto BM333, Figura II-1) também são separadas em dois períodos: verão e inverno (ano 1992).

A Figura II-10 apresenta o histograma direcional para o período de verão (de janeiro a março de 1992) e a Figura II-11, o análogo para o período de inverno (de junho a agosto de 1992). Neste ponto cabe lembrar que, embora em região não afastada da costa e de pouca profundidade, as análises dos dados de correntes, relativas ao Ponto PC, mostraram a presença da CB. Assim, chama-se atenção para os vetores velocidade média obtidos para o ponto BM333. Estes vetores (em cor laranja nos histogramas direcionais de correntes) apresentam valores característicos da CB na região, tanto para verão quanto para inverno.

⁷ World Climate Research Programme.

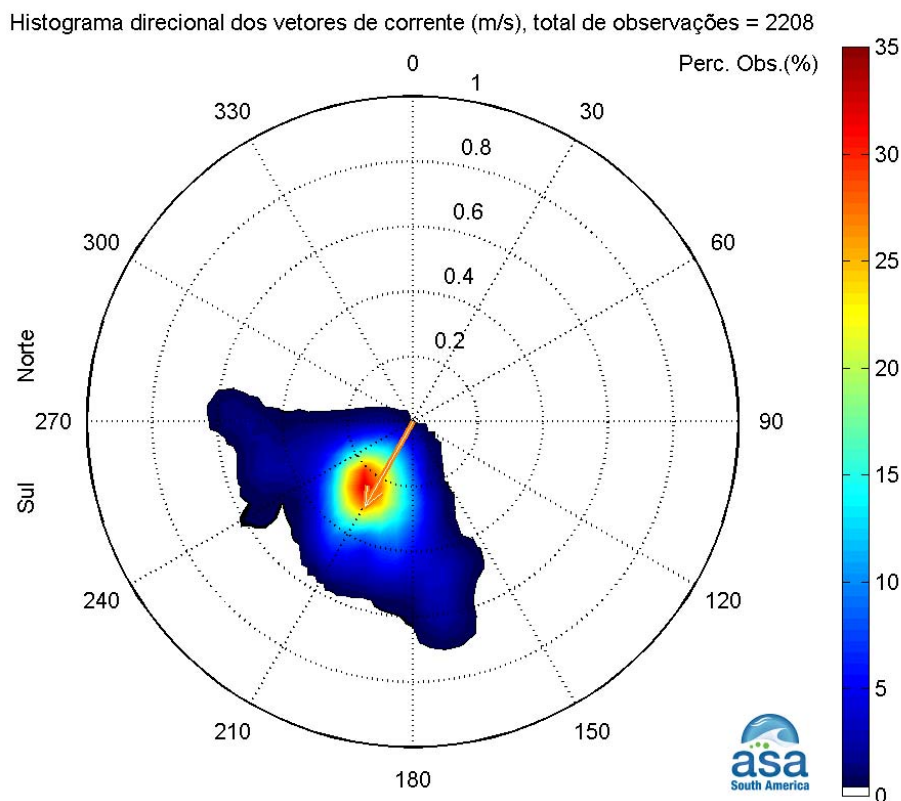
⁸ Cópias dos dados são distribuídas (DVD's) a partir WOCE Global Dataset (versão 3.0) do National Oceanographic Data Center (NODC, Estados Unidos), ou no endereço: http://www.nodc.noaa.gov/woce_v3/.

Porém, deve-se notar que, devido à incidência de sistemas frontais na região (frentes frias), o histograma direcional para o período de inverno apresenta uma dispersão maior dos vetores de correntes, assim como uma redução na intensidade do vetor velocidade média. As frentes frias têm direção de propagação oposta ao fluxo médio na região (aumentando a dispersão) e, portanto, tendem a frear tais fluxos (redução da intensidade média).



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.4 m/s

Figura II-10 - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de janeiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.3 m/s

Figura II-11 - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.

A Figura II-12 apresenta diagramas *stick plot* para os períodos de verão e inverno, para os dados do WOCE, corroborando com as análises e conclusões realizadas a partir dos histogramas direcionais.

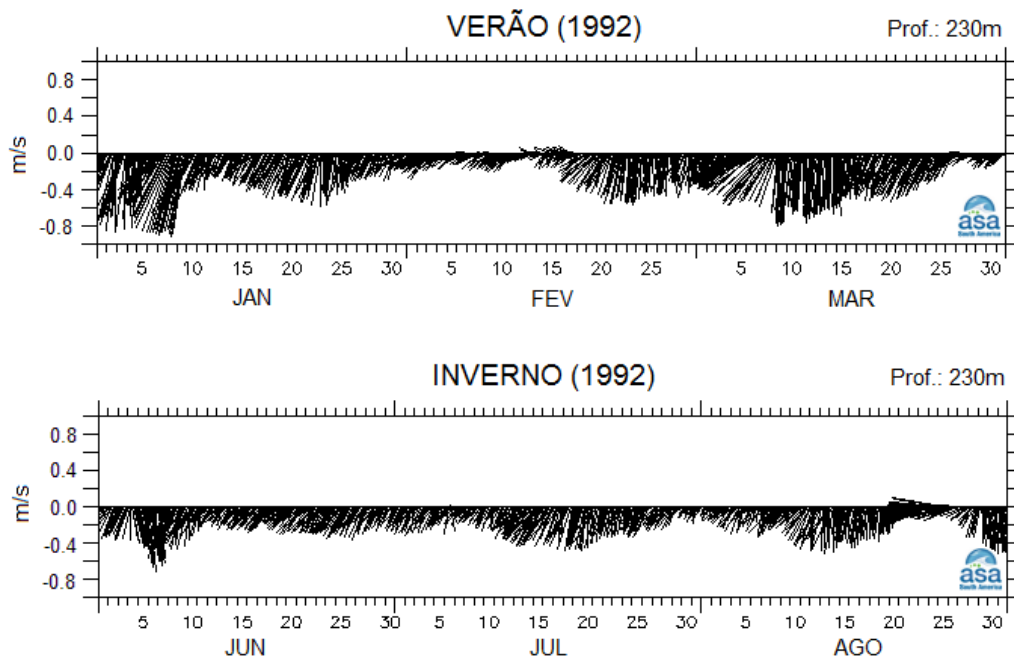
Diagramas *stick plot* dos vetores de correntes (Dados: WOCE)

Figura II-12 - Diagramas *stick plot* dos vetores de corrente na profundidade de 230 m. Painel superior: verão de 1992; Painel inferior: inverno de 1992. Intervalo de amostragem 1h. Fonte dos dados: WOCE.

As Tabelas II-6 e II-7 apresentam os diagramas de ocorrência conjunta de verão e inverno, respectivamente, dos dados do WOCE. Deve-se observar, que nas análises realizadas para este conjunto de dados, não são observadas inversões no sentido das correntes. A não inversão das correntes (principalmente no inverno) deve-se as características do sistema de correntes observado pelo programa WOCE, a saber, mais profundo (230 m e, portanto menos sujeito ao arrasto do vento) e mais intenso (observar comparativamente a intensidade das correntes da Figura II-7 com a intensidade das correntes na Figura II-12, assim como as tabelas de ocorrência conjuntas).

Tabela II-6 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de janeiro a março de 1992 (verão). Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: WOCE.

Ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção da corrente.																			
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.																			
	DIREÇÃO																		
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0-10,0	47	29	33	19	25	37	55	106	156	178	222	99	62	56	39	57	1220	28,0	212
10,0-20,0	50	23	11	8	16	9	37	96	222	295	240	114	39	27	20	41	1248	28,6	208
20,0-30,0	13	6	0	0	0	3	6	79	200	280	154	81	10	12	7	8	859	19,7	204
30,0-40,0	0	0	0	0	0	0	2	23	124	200	97	30	0	0	0	0	476	10,9	202
40,0-50,0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	129	55	3	0	0	0	0	277	6,4	201
50,0-60,0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	49	20	3	0	0	0	0	125	2,9	198
60,0-70,0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	17	23	2	0	0	0	0	83	1,9	200
70,0-80,0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	17	4	8	0	0	0	0	46	1,1	205
80,0-90,0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	19	1	0	0	0	0	0	28	0,6	196
Total	110	58	44	27	41	49	100	307	908	1184	816	340	111	95	66	106	4362		
Porc.	2,5	1,3	1,0	0,6	0,9	1,1	2,3	7,0	20,8	27,1	18,7	7,8	2,5	2,2	1,5	2,4			
Vel. méd.	11,7	10,6	6,8	5,9	8,1	6,5	9,3	15,4	27,1	26,5	20,9	17,8	9,4	8,9	9,2	10,0			
Vel. máx.	29,0	23,5	17,7	17,1	19,1	23,2	31,9	49,6	89,7	89,7	83,6	75,8	26,1	23,8	29,9	27,5			
Percts.(0,9)	20,0	17,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	20,0	50,0	40,0	40,0	30,0	10,0	20,0	19,0	10,0			

Tabela II-7 - Diagrama de ocorrência conjunta das correntes coletadas a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992 (inverno). Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade em cm/s. Fonte dos dados: WOCE.

Ocorrência conjunta de intensidade (cm/s) e direção da corrente.																			
Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção vetorial.																			
	DIREÇÃO																		
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	Porc.	Dir. méd.
0,0-10,0	58	35	25	29	31	46	81	75	159	185	172	146	120	56	86	88	1392	31,5	219
10,0-20,0	44	6	5	6	4	10	43	82	170	337	322	152	58	42	42	75	1398	31,6	219
20,0-30,0	28	1	0	0	1	0	8	51	149	291	290	88	22	8	16	30	983	22,2	213
30,0-40,0	3	0	0	0	0	0	3	19	77	131	114	27	12	3	3	14	406	9,2	209
40,0-50,0	0	0	0	0	0	0	2	21	50	54	23	21	9	0	0	0	180	4,1	202
50,0-60,0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	5	2	4	12	0	0	0	43	1,0	214
60,0-70,0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	3	0	0	0	0	16	0,4	183
Total	133	42	30	35	36	56	137	253	633	1003	923	441	233	109	147	207	4418		
Porc.	3,0	1,0	0,7	0,8	0,8	1,3	3,1	5,7	14,3	22,7	20,9	10,0	5,3	2,5	3,3	4,7			
Vel. méd.	12,1	6,1	5,9	5,9	6,0	6,3	9,9	18,7	21,2	20,3	19,3	16,4	14,3	10,6	9,5	12,8			
Vel. máx.	33,1	21,7	14,5	15,6	21,4	19,1	44,1	67,4	66,5	52,2	57,5	65,6	58,1	33,1	34,2	37,1			
Percts.(0,9)	20,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	40,0	40,0	30,0	30,0	30,0	30,0	16,0	20,0	20,0			

A Figura II-13 apresenta o espectro de amplitude das correntes para os dados do fundeio AMC12/BM333 para o período de verão, e a Figura II-14, o espectro de amplitudes das correntes para o período de inverno para o mesmo ponto de coleta. A análise de ambos os espectros de amplitudes mostra que as variações da corrente são inferiores a 15 cm/s, com uma leve influência das oscilações de maré (1 e 2 cpd), e maiores intensidades na baixa frequência.

Em suma, através das análises os dados do ponto BM333 (programa WOCE, experimento ACM12) situado na região do talude (profundidade local de cerca de 1.200 m), é possível evidenciar a presença da CB na região. Também foi possível observar sinais associados às marés diurnas e semidiurnas (1 e 2 cpd), assim como variações de baixa frequência. Embora, muito presentes na região e em especial no ano de 1992 (já descrito como atípico quanto a atividade das frentes frias), a incursão de frentes frias não foi capaz de promover a reversão do sentido de propagação das correntes na região, na profundidade analisada.

Por fim, as análises dos dados de correntes (Ponto PC e BM333) indicam que a circulação oceânica na região sul-sudeste brasileira é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, segundo uma composição de maré, de frentes frias e da CB.

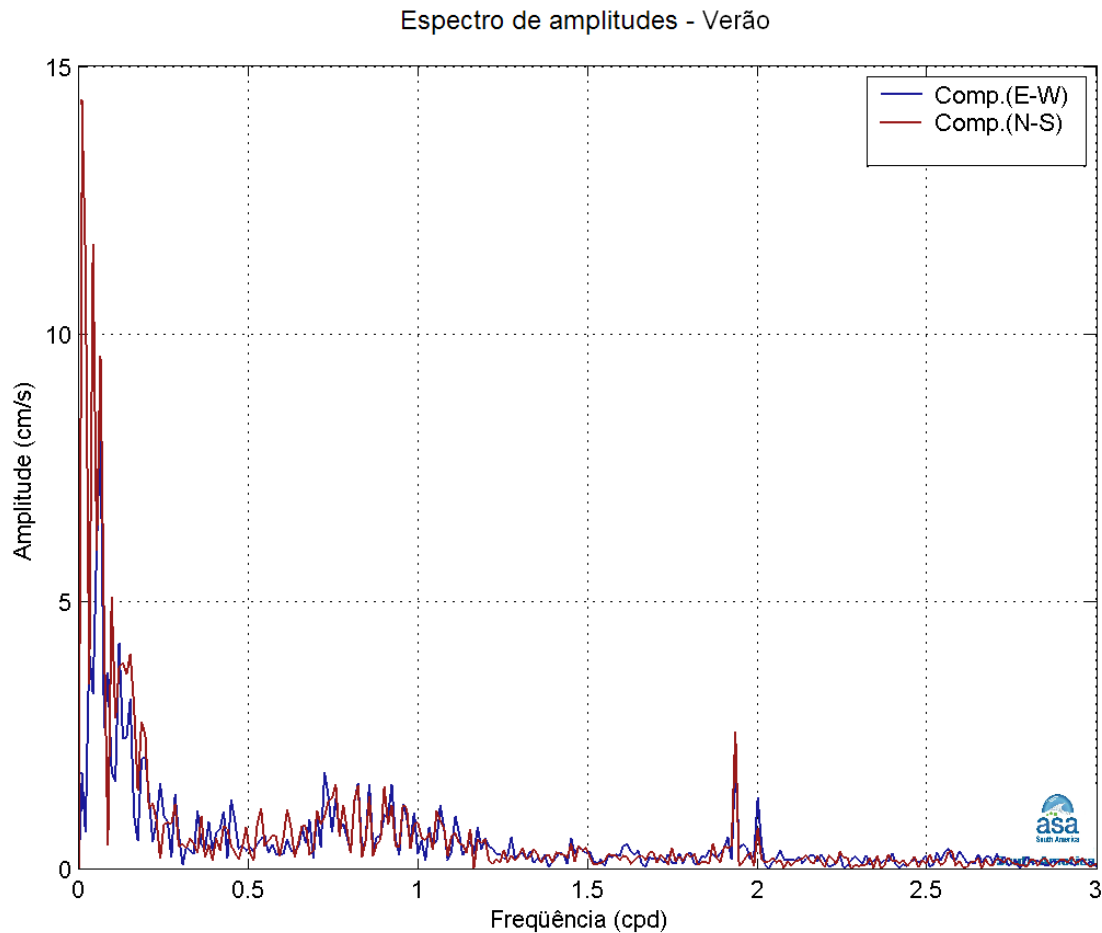


Figura II-13 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Verão de 1992, intervalo de amostragem: 2h.

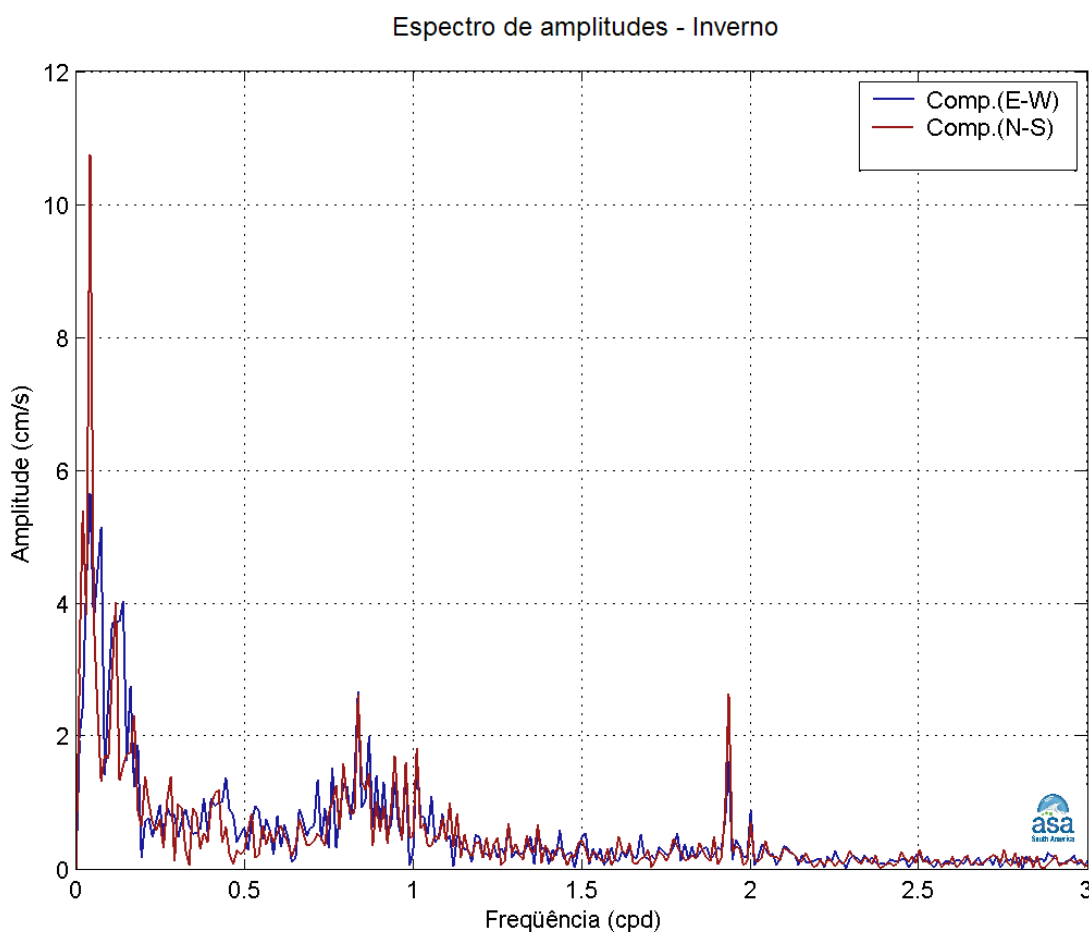


Figura II-14 - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Inverno de 1992, intervalo de amostragem: 2h.

II.2.3 Derivadores do Projeto MONDO

O projeto MONDO é uma iniciativa da empresa ENI Oil do Brasil e da PROOCEANO. Neste projeto, com o objetivo de medir as correntes médias dos primeiros 20 m da coluna d'água, um total de 40 derivadores do tipo *holey-sock* foram lançados ao longo de 2 meses na região da Bacia de Santos, entre os meses de setembro e novembro de 2007. A estratégia de lançamento consistiu no lançamento de um derivador a cada 3 dias e a cada 12 dias um grupo de 5 derivadores eram lançados. A resolução temporal dos dados é de 3 horas, que proporcionou uma resolução espacial de, aproximadamente, 10 m.

As informações sobre cada um dos derivadores utilizados na elaboração das Figuras II-15 e II-16 foram obtidas em <http://www.proceano.com.br/mondo> (aba *download*) durante o mês de agosto de 2009.

A Figura II-15 apresenta todas as trajetórias dos derivadores lançados; as cores indicam a intensidade da velocidade. Observa-se uma região de velocidades elevadas entre 26 e 27° S, e 45 e 47° W.

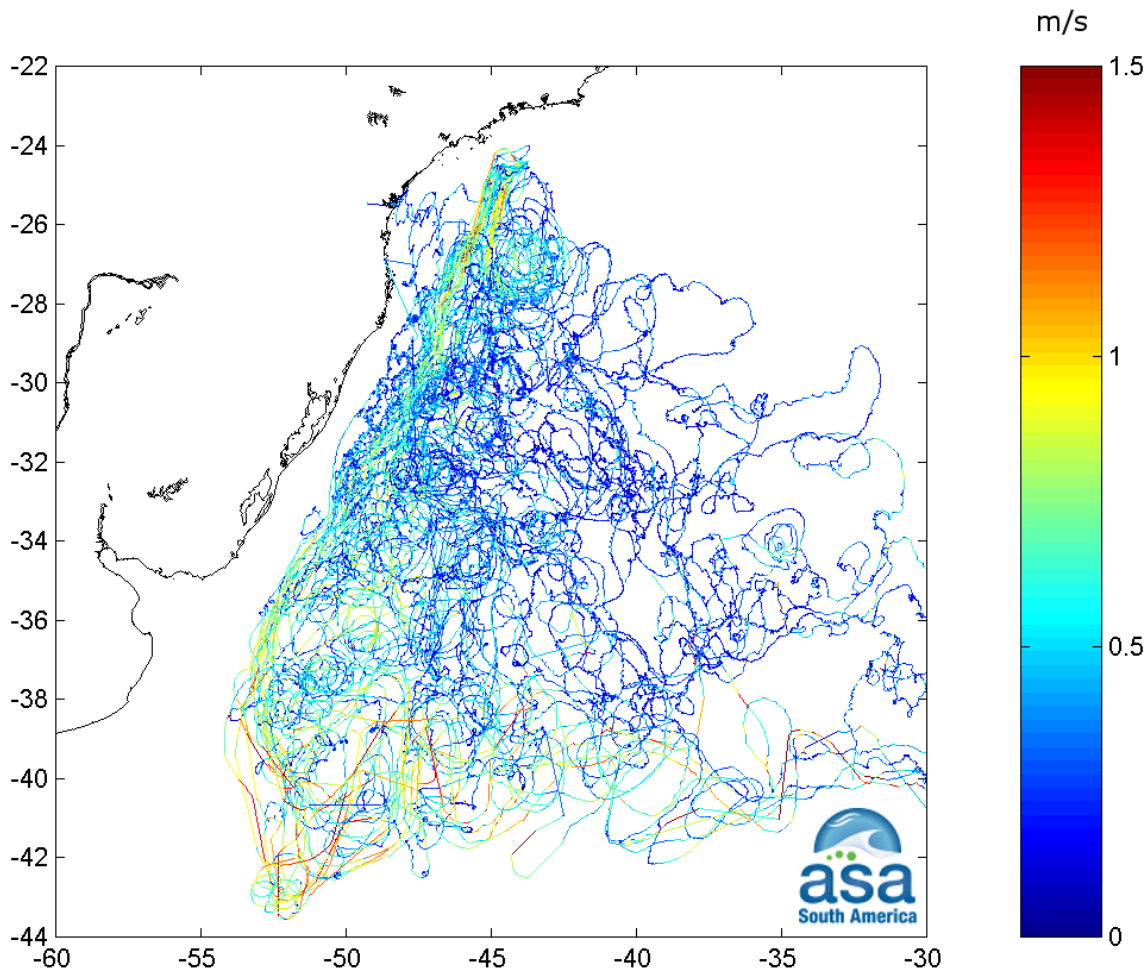


Figura II-15 - Trajetórias dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s).

Na sequência, a Figura II-16 apresenta os vetores velocidade média calculados para este conjunto de dados em uma grade regular de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$. Observa-se que a direção preferencial da corrente média é para SW, e que a maior parte dos derivadores seguiu por uma trajetória distante da costa. Os valores de velocidade diminuem de intensidade na Bacia de Pelotas, e aumentam entre 40° e 42° S, região de confluência das correntes do Brasil e Malvinas.

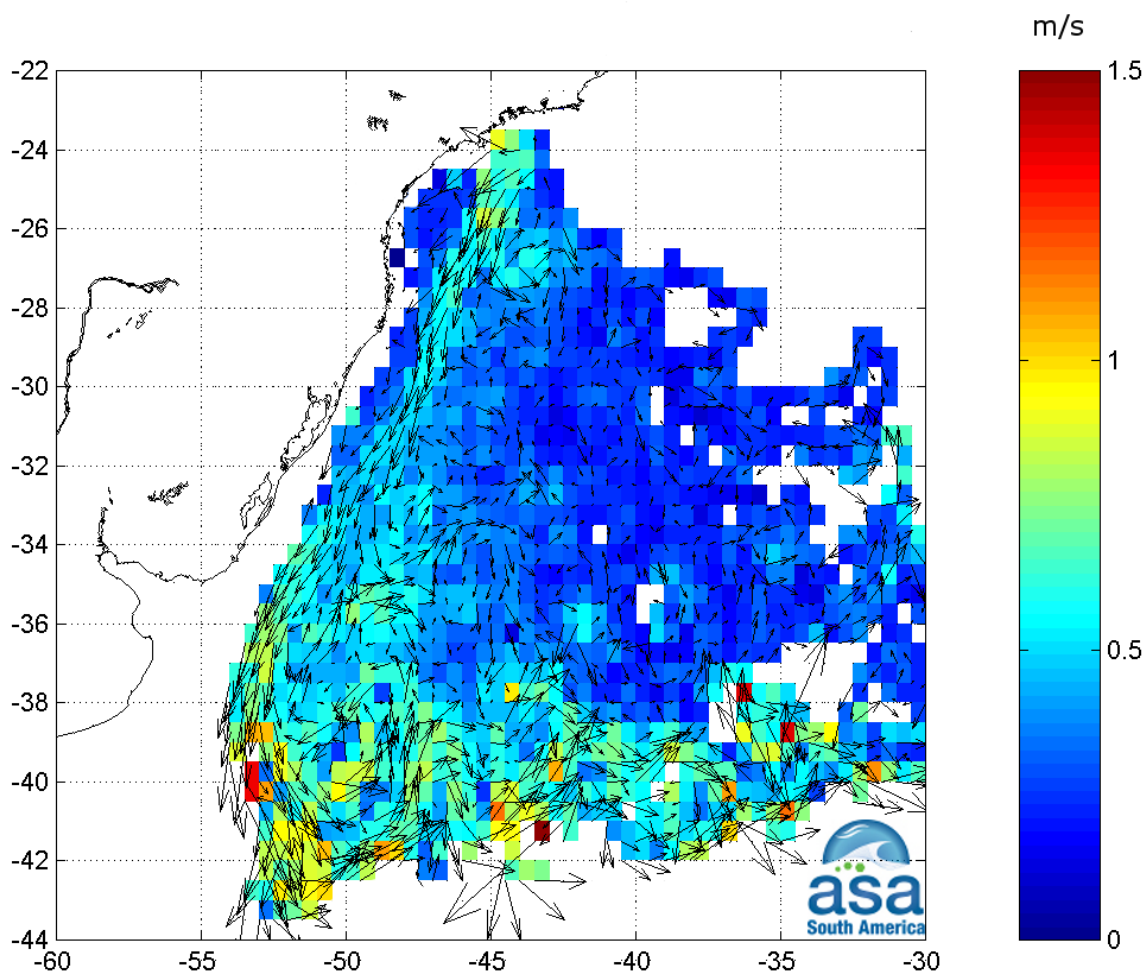


Figura II-16 - Vetores de velocidade média dos derivadores do Projeto MONDO; as cores indicam a intensidade da velocidade (m/s).

A análise realizada é coerente com outros estudos que envolveram os derivadores do projeto MONDO, como Calil *et al.* (2008) e Fragoso *et al.* (2008). Esses trabalhos analisaram o comportamento da Corrente do Brasil, com velocidades mais intensas entre a costa de SP e SC, e as perturbações e vórtices identificados ao longo dessa corrente.

II.3 ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR

Como não há dados de elevação de superfície do mar (coletados) disponíveis para análise na região de interesse para o período da simulação numérica, foram realizadas previsões harmônicas de maré para duas posições, através do Método de Schuremann (Schuremann, 1958), a partir das constantes de maré disponibilizada pela FEMAR⁹.

A escolha dessas posições obedeceu à disposição geográfica das estações maregráficas disponíveis pelas FEMAR na região, e a distribuição dessas no domínio de interesse. Dentro desses critérios, as estações maregráficas escolhidas para apresentar as respectivas previsões para elevação de superfície do mar foram Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP) (Figura II-1).

As séries temporais da previsão da elevação de superfície do mar são apresentadas nas Figuras II-17 e II-18 para as estações maregráficas de Enchova II e Bom Abrigo, respectivamente.

Previsão de elevação de superfície do mar para o ano de 1992 - Enchova II (RJ)

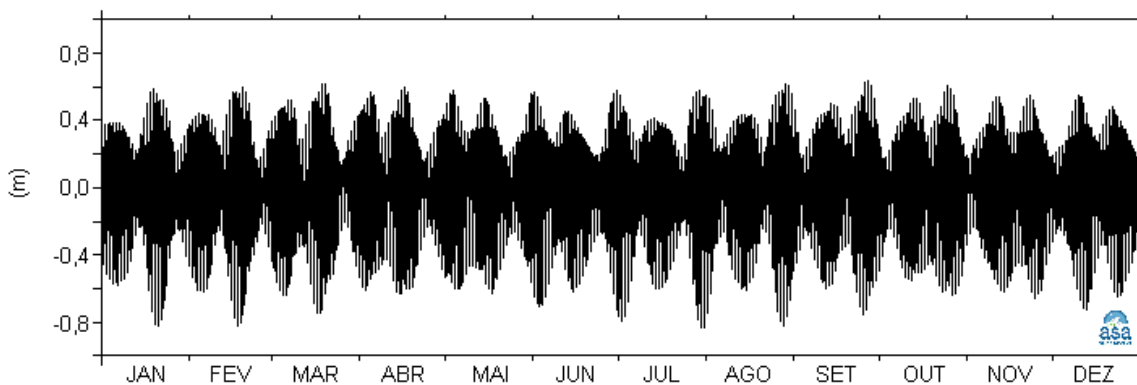


Figura II-17 - Previsão harmônica de maré para o período de 1^o de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Enchova II (RJ). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1958), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.

⁹ Fundação de Estudos do Mar.

Previsão de elevação de superfície do mar para o ano de 1992 - Bom Abrigo (SP)

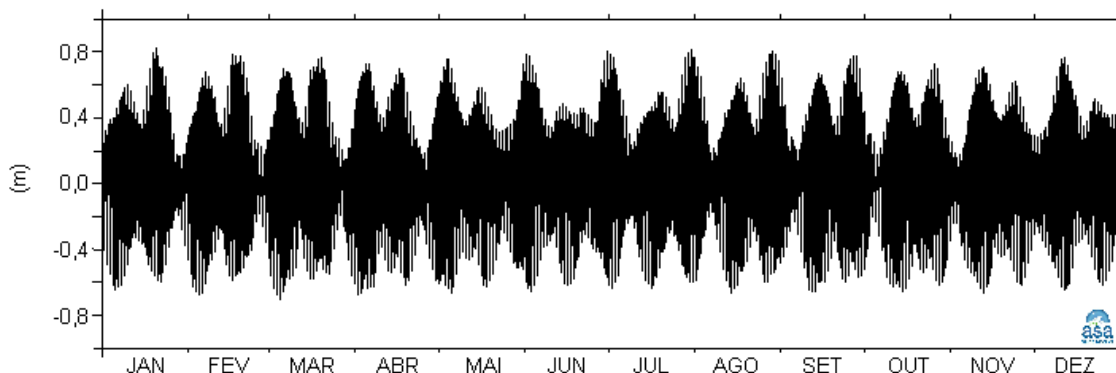


Figura II-18 - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Bom Abrigo (SP). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1958), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.

A maré astronômica na região é predominantemente semidiurna. As principais componentes para a região são M_2 e S_2 , sendo a amplitude da M_2 igual a 32,4 cm para ambas as posições e a amplitude da S_2 igual 16,2 cm para Enchova II e 18,0 cm para Bom Abrigo (Tabela II-8). Quanto às componentes diurnas, a principal componente harmônica de ambas as estações maregráficas é a O_1 , com amplitude da ordem de 10 cm.

A Tabela II-8 apresenta ainda os níveis de: Média das Preamares de Sizígia (MPS), Média das Baixa-mares de Sizígia (MBS), Média das Preamares de Quadratura (MPQ) e Média das Baixa-mares de Quadratura (MBQ).

Tabela II-8 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para as estações maregráficas de Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP). Fonte: FEMAR (2000).

COMPONENTE	ENCHOVA II		BOM ABRIGO	
	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)
Q ₁	5,4	75,0	3,4	38,0
O ₁	11,3	75,0	10,6	73,0
P ₁	2,0	139,0	1,8	131,0
K ₁	6,2	144,0	5,5	131,0
2N ₂	0,8	83,0	1,5	161,0
N ₂	6,2	83,0	11,3	108,0
NU ₂	1,2	83,0	2,2	108,0
M ₂	32,4	83,0	32,4	55,0
T ₂	1,0	88,0	1,1	71,0
S ₂	16,2	88,0	18,0	71,0
K ₂	4,4	88,0	4,9	71,0
M ₄	3,5	347,0	7,4	128,0
MS ₄	2,8	65,0	7,1	210,0
MPS (cm)	122,0		126,0	
MBS (cm)	30,0		27,0	
MPQ (cm)	111,0		112,0	
MBQ (cm)	8,0		10,0	
Nível médio (cm)	68,0		69,0	

III 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 *Princeton Ocean Model* (POM), implementado pelo grupo de modelagem da **ASA South America** que já vem sendo utilizado em outros estudos nas bacias de Campos e Santos (ASA, 2010a,b), com informações complementares enviadas nas respostas aos Pareceres Técnicos CGPEG/DILIC/IBAMA nº 133/10, 294/10, 023/11, 055/11 e 086/11.

O modelo POM, cuja formulação encontra-se descrita no Anexo B, utiliza como forçantes, marés do CSR3¹⁰, campos tridimensionais de ventos de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP/NCAR e campo termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM¹¹. Nas bordas abertas foram também prescritas condições climatológicas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados de campo disponíveis no período de implementação deste modelo (dados de corrente fornecidos pela PETROBRAS e obtidos a partir do WOCE) e com informações de derivadores do Projeto MONDO. Os resultados destas comparações, assim como ilustrações do campo e discussão sobre a acurácia, representatividade e limitações dos mesmos são apresentadas neste capítulo.

¹⁰ *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).

¹¹ Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling. Obtido em <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).

III.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA

III.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 OCCAM que foi utilizada como parte dos dados forçantes da modelagem hidrodinâmica é denominada “OCCAM run 101”, de 2005. Para contornar problemas no Polo 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 polo 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 elemento 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, temperatura a 2 m e umidade específica 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, a simulação de 14 anos foram armazenadas em intervalos regulares de 5 dias.

III.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 Campos encontra-se no Anexo B.

III.1.3 Dados de Entrada

III.1.3.1 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 modelo¹². A Figura III-1 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade.

¹² cada uma das componentes vetoriais do ventos foram linearmente interpolada no espaço e projetadas (via ferret). Disponível para *download* em: <http://ferret.pmel.noaa.gov/Ferret/home> na grade numérica.

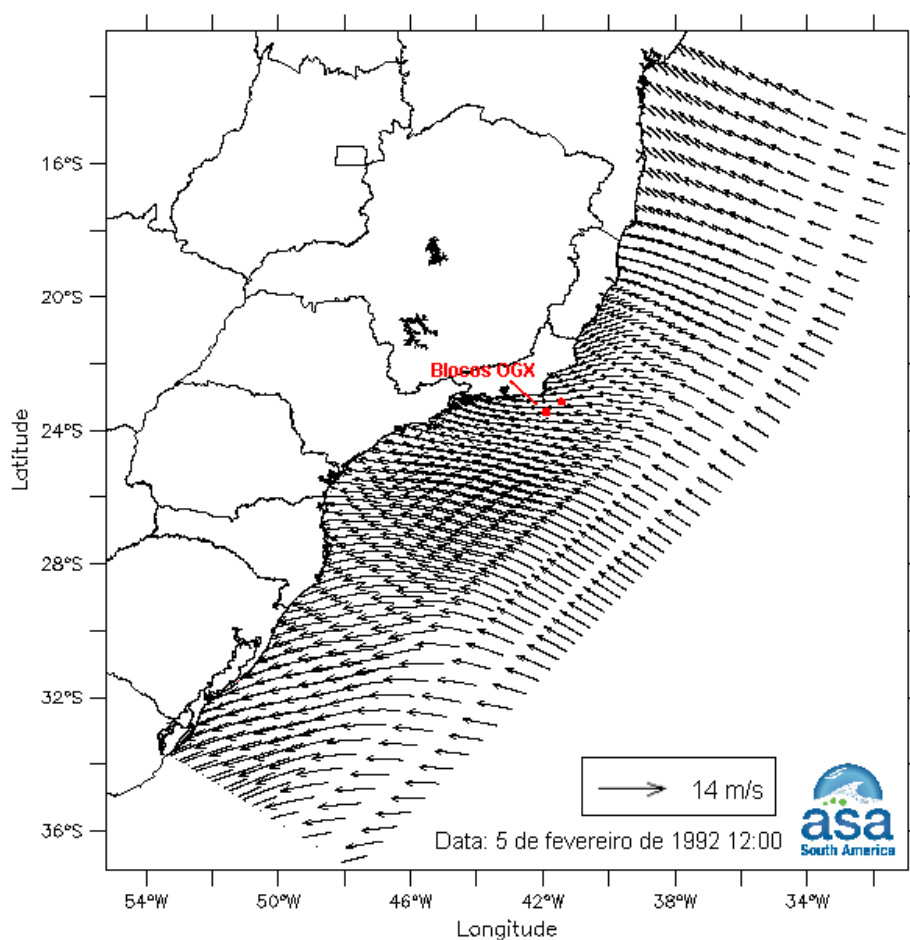


Figura III-1 - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico. Como referência, os blocos operados pela OGX são apresentados em vermelho.

III.1.3.2 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, de tal forma a permitir uma melhor visualização do campo de maré em áreas de interesse (eventual redução do domínio).

Conforme ilustrado na Figura III-2, 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.

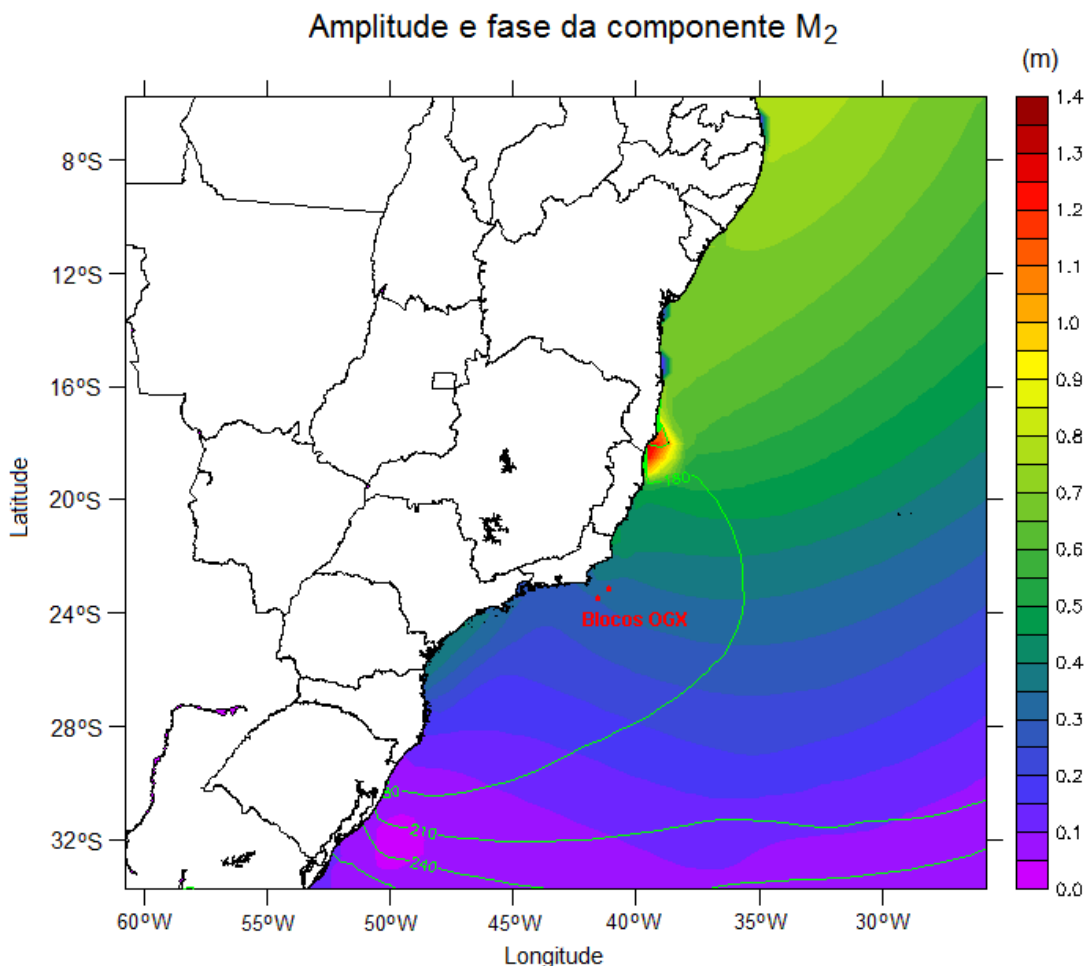


Figura III-2 - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré M_2 , projetado na grade do modelo hidrodinâmico. Como referência, os blocos operados pela OGX são apresentados em vermelho.

III.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 III-3 ilustra os campos superficiais, projetados na grade do modelo.

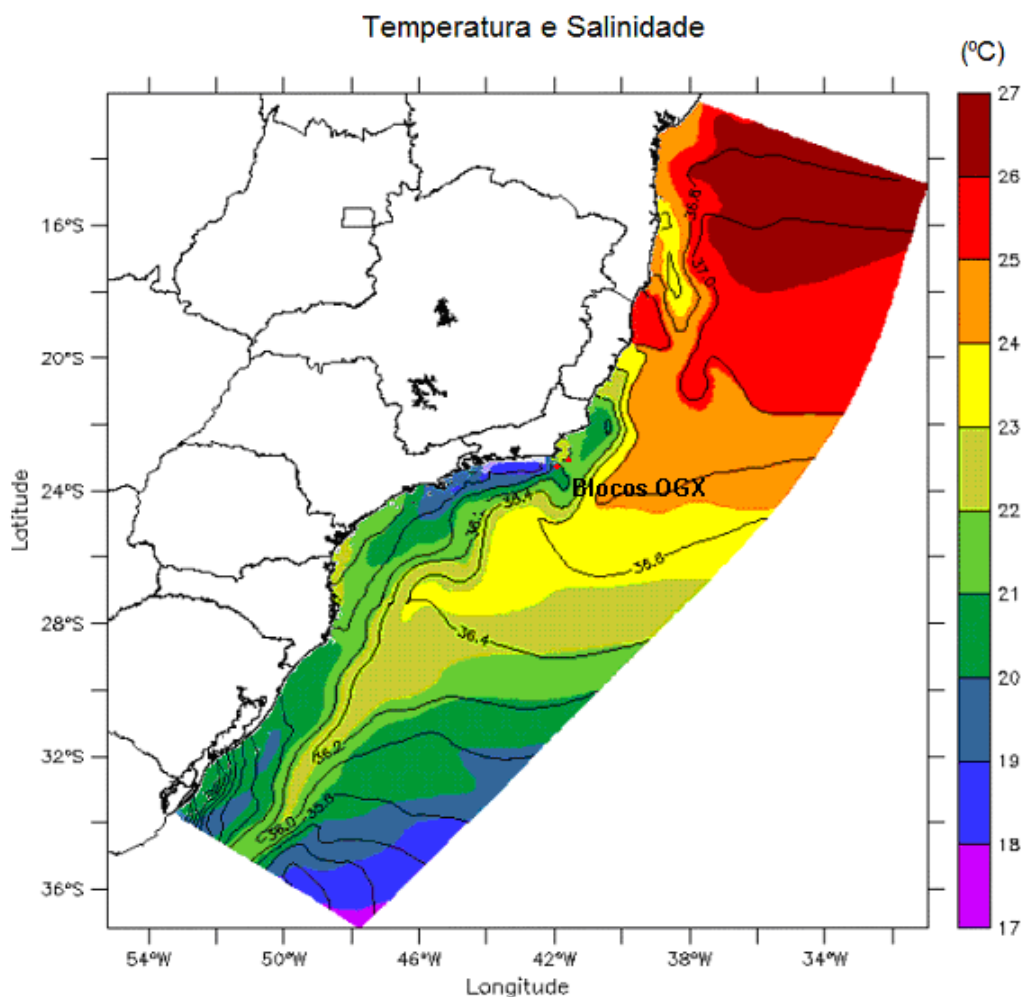


Figura III-3 - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. Salinidade como isohalinas e temperatura (°C) através dos tons de cores. Como referência, os blocos operados pela OGX são apresentados em vermelho.

III.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 meso-escala, com dimensões de 100x350 pontos foi implementada na costa sul-sudeste do Brasil, e está ilustrada na Figura III-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.

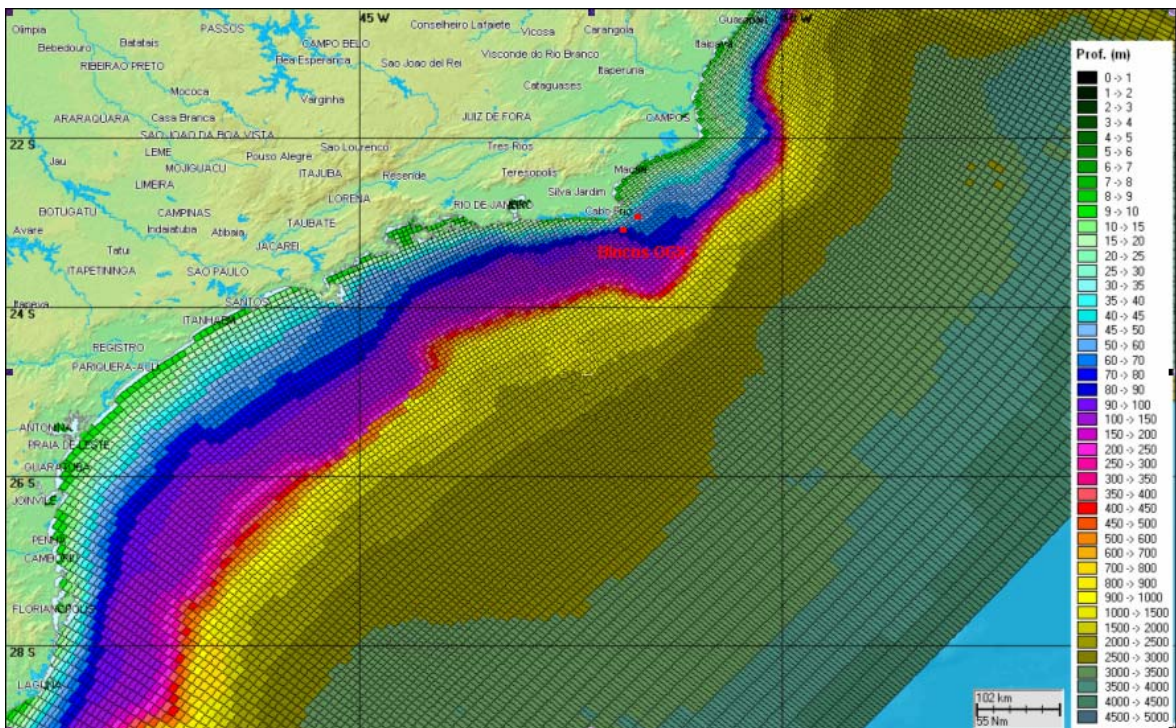
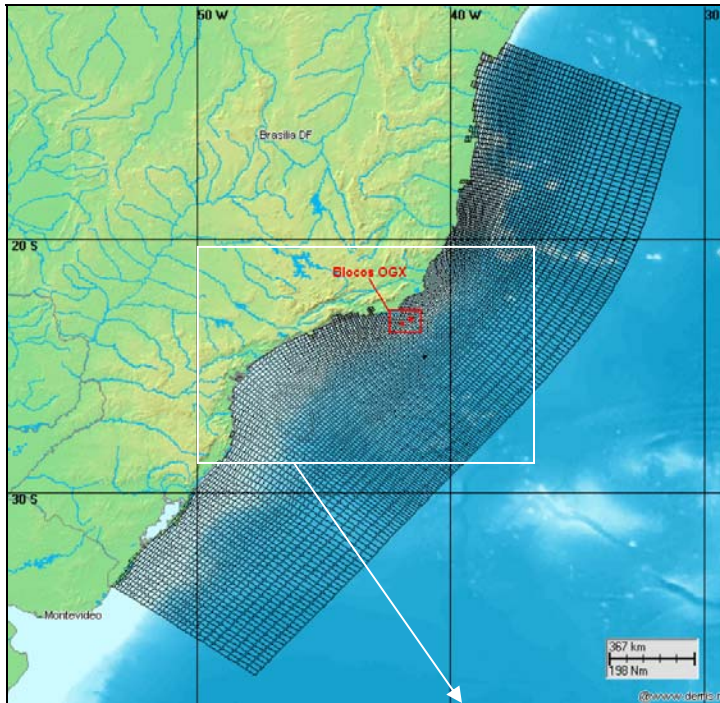


Figura III-4 - Grade computacional do modelo hidrodinâmico com foco na Bacia de Campos, onde se localizam os blocos operados pela OGX, e batimetria projetada.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN¹³, nºs 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 NGDC¹⁴, 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 III-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):

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

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

Na sequência (Figura III-5 e Figura III-6), são apresentados os histogramas representando a distribuição percentual da resolução espacial da grade numérica em dois eixos principais: ao longo da costa (numa tentativa de manter as linhas de grade paralelas a esta), denominado de eixo X e o segundo eixo principal, com linhas perpendiculares às anteriores (aproximadamente radiais a linha de costa), denominado de eixo Y.

¹³ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

¹⁴ *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*

Histograma da distribuição percentual da resolução (em km) dos elementos da grade numérica ao longo da linha paralela a costa

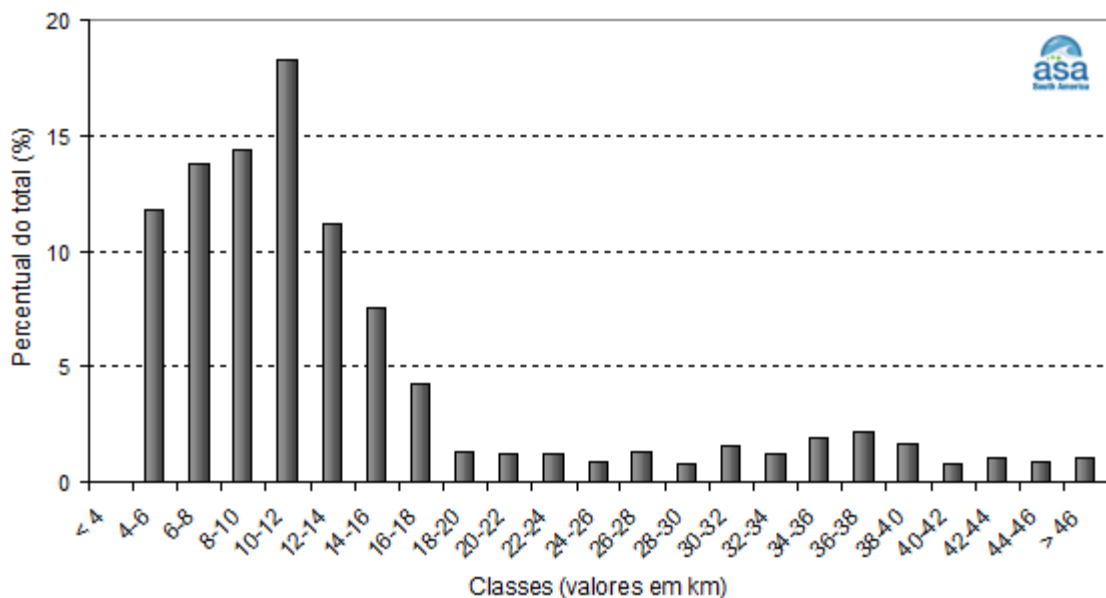


Figura III-5 - Histograma representando a distribuição percentual da resolução espacial dos elementos da grade hidrodinâmica ao longo das linhas “paralelas” a costa. Intervalo de classe: 2 km.

Histograma da distribuição percentual da resolução (em km) dos elementos da grade numérica ao longo da linha perpendicular a costa

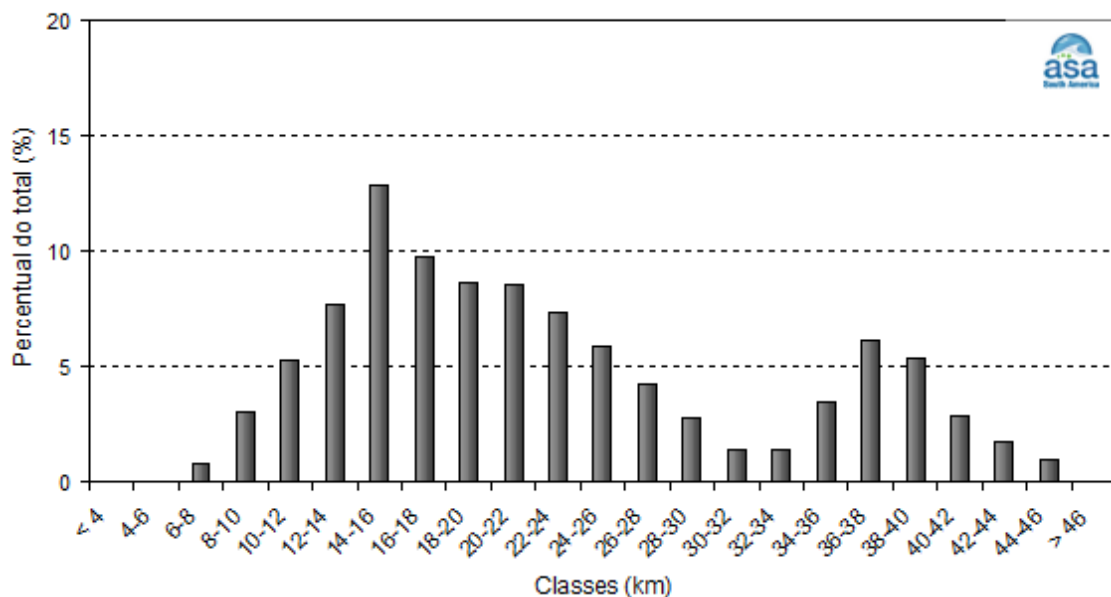


Figura III-6 - Histograma representando a distribuição percentual da resolução espacial dos elementos da grade hidrodinâmica ao longo das linhas “perpendiculares” a costa (linhas, aproximadamente, radiais a costa). Intervalo de classe: 2 km.

A ocorrência, em ambos os histogramas, de dois picos na frequência de ocorrência é uma consequência de dois fatores:

- Primeiro pico, com a maior frequência de ocorrência e de maior resolução espacial, é relativo ao adensamento da grade numérica na região de interesse e,
- Segundo pico, com menor frequência de ocorrência e de menor resolução espacial, refere-se a alteração da direção das linhas, na tentativa de mantê-las paralelas e radiais a linha de costa.

A Figura III-7 e a Figura III-8 apresentam mapas com os contornos da resolução espacial (em km), dos elementos de grade tanto na direção paralela quanto na direção perpendicular à costa.

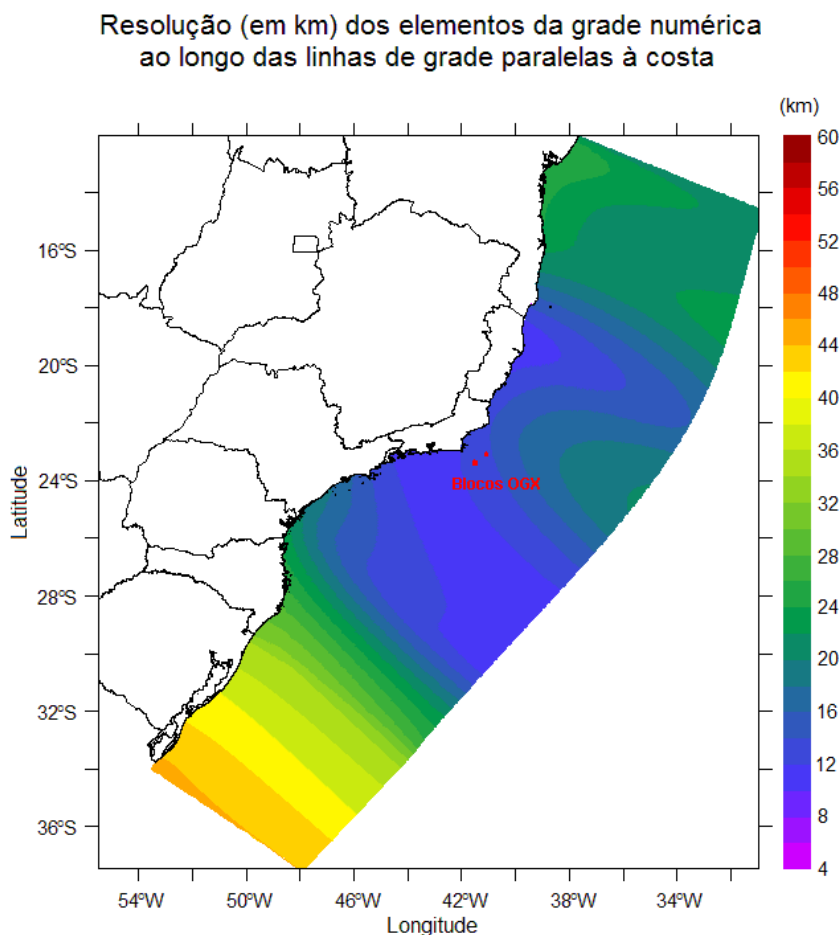


Figura III-7 - Mapa com a resolução dos elementos ao longo das linhas de grade orientadas, aproximadamente, paralelas à linha de costa. Intervalo entre as classes: 2 km. Mapa produzido pela função fill do Ferret.

Resolução (em km) dos elementos da grade numérica
 ao longo das linhas de grade perpendiculares à costa

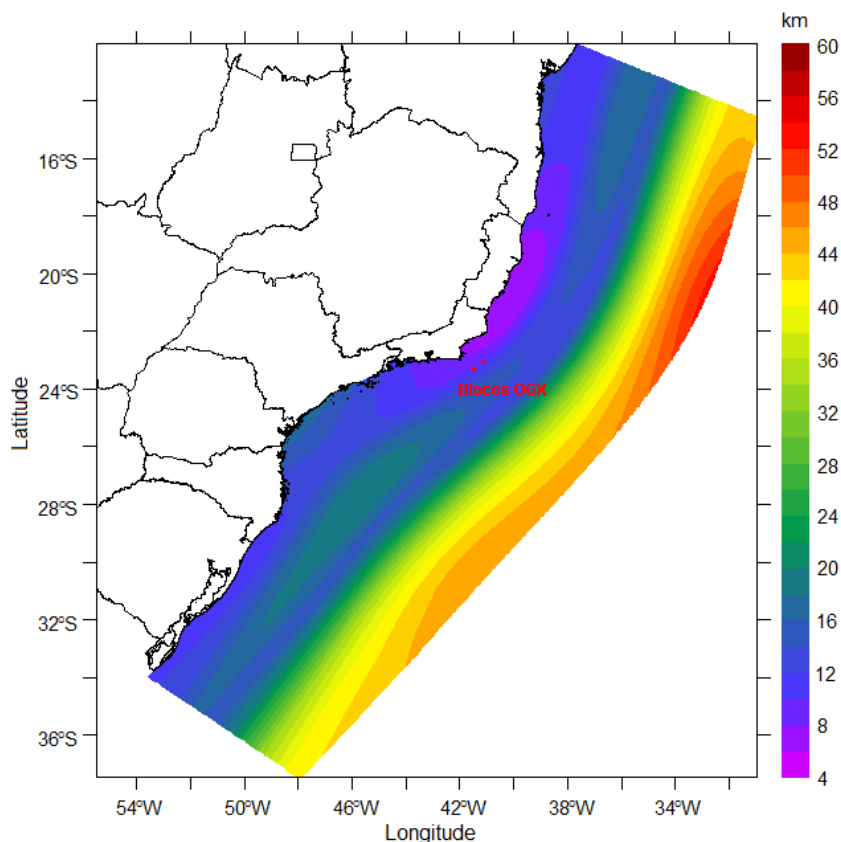


Figura III-8 - Mapa com a resolução dos elementos ao longo das linhas de grade orientadas, aproximadamente, perpendiculares à linha de costa. Intervalo entre as classes: 2 km. Mapa produzido pela função fill do Ferret.

III.3 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 esta região em particular, verifica-se que, sobre a plataforma continental, a circulação hidrodinâmica é fortemente influenciada pela maré e pelo vento, enquanto que no talude e região oceânica, a circulação é influenciada pelas variabilidades de grande escala, relacionadas à presença da CB.

Para a avaliação da elevação de superfície do mar, foram produzidas previsões a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para os pontos Enchova II e Bom Abrigo, descritas no Item II.3 do Capítulo III. As

previsões harmônicas foram realizadas através do Método de Schuremann (Schuremann, 1958).

Para a avaliação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico, foram utilizados dois conjuntos de dados pontuais, um sobre a plataforma continental (Ponto PC/PETROBRAS) e outro na região do talude (BM333/WOCE), descritos no Subitem II.2.2 do Capítulo II. Adicionalmente, foram utilizados os dados de derivadores do Projeto MONDO para avaliar a corrente superficial na região de interesse (Subitem II.2.3 do Capítulo II).

Nas comparações entre dados e resultados da modelagem foram utilizados os resultados referentes às células localizadas sobre as posições geográficas dos dados.

III.3.1 Avaliação para a Elevação da Superfície do Mar

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, pois os dados coletados para elevação de superfície do mar, os quais foram analisados e determinados seus harmônicos, não foram disponibilizados.

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:

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

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.

Outro parâmetro utilizado para quantificar a comparação foi o coeficiente de correlação linear ou coeficiente de correlação de Pearson, definido por (Spiegel & Stephens, 1999):

$$R = \frac{\text{cov}(\text{dado}, \text{modelo})}{\sigma_D \sigma_M} \quad (\text{III-2})$$

onde,

cov(dado, modelo) = covariância entre os valores do dado e os do modelo;

σ_D = desvio padrão do dado;

σ_M = desvio padrão do modelo.

Covariância entre x_1 e x_2 é definida por: $\text{cov}(x_1, x_2) = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} (x_1(t) - \bar{x}_1)(x_2(t) - \bar{x}_2)$.

Desvio padrão x é definido por: $\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} (x(t) - \bar{x})^2}$.

O coeficiente de correlação linear é uma medida da dependência linear entre os resultados da modelagem e as observações. O coeficiente de correlação linear ideal, para este caso, é igual a um.

A partir das coordenadas geográficas dos marégrafos de Enchova II e de Bom Abrigo, extraiu-se do modelo a série temporal de elevação de superfície para ambas as posições (formato NetCDF). As séries temporais de elevação de superfície foram, então, comparadas com as respectivas previsões de elevação de superfície.

A avaliação efetuada mostrou uma 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 Enchova II foi de 10%, enquanto para Bom Abrigo foi de 19%. Os coeficientes de correlação linear entre as séries foram de 98% para Enchova II e de 93% para Bom Abrigo.

Maiores detalhes sobre a avaliação para a elevação da superfície do mar foram apresentados em ASA (2010a,b).

III.3.2 Avaliação para as Correntes

As comparações entre os resultados do modelo e os dados de corrente disponíveis foram realizadas para dois períodos: verão e inverno, do ano de 1992. Estes períodos foram escolhidos por apresentarem as principais características da variabilidade sazonal presentes na área.

As comparações foram quantificadas através do “Erro Estatístico Relativo” (*Relative Error Statistic*). O erro estatístico relativo entre o valor previsto pelo modelo e as observações é definido como (EPA, 2000):

$$E_{rel} = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{dado}_i - \text{modelo}_i|}{\sum_{i=1}^n \text{dado}_i} \quad (\text{III-3})$$

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

A seguir, apresenta-se um resumo sobre os resultados da avaliação para as correntes; maiores detalhes foram apresentados em ASA (2010a,b).

III.3.2.1 Ponto PC – inverno

O RMAE calculado a partir das componentes u e v , para as intensidades dos vetores velocidade do modelo e do dado, entre 10 de agosto e 24 de setembro de 1992, foi de 69%. Considerando somente a componente u do vetor velocidade, o RMAE foi de 100%, e para a componente v , 132%.

A análise dos espectros de amplitude mostrou que, para a componente u , 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. Deve-se destacar que nesta faixa de frequência concentra-se a maior quantidade de energia do espectro e que as energias associadas a passagens de frente são satisfatoriamente reproduzidas pela modelagem.

III.3.2.2 Ponto PC – verão

O RMAE calculado a partir das componentes u e v , para as intensidades dos vetores velocidade do modelo e do dado, entre 8 de fevereiro e 29 de março de 1992, foi de 59%. Considerando somente a componente u do vetor velocidade, o RMAE foi de 87%; para a componente v , foi igual a 130%.

A análise dos espectros de amplitude mostrou 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.

III.3.2.3 Considerações - Ponto PC

Nas comparações em que se utilizou o parâmetro RMAE para quantificá-las, os valores obtidos foram, em geral, altos. Isso ocorre porque em região de plataforma continental (onde os dados PC foram obtidos) os efeitos não lineares são muito intensos e de difícil reprodutibilidade pela modelagem numérica. O modelo possui uma dinâmica capaz de reproduzir estas variabilidades, possivelmente associadas a vórtices e meandros, contudo frente às características não lineares de tais eventos, os mesmos dificilmente são reproduzidos em perfeita concordância temporal com os dados observados. Por este motivo, deve-se ter em mente que para avaliar os resultados de uma modelagem hidrodinâmica numa região e numa escala como a do presente estudo, uma comparação série contra série não é suficiente.

Nestas situações é importante avaliar se o modelo tem capacidade de reproduzir os padrões médios (associados aos fenômenos mais frequentes) e extremos (associados aos fenômenos mais energéticos) observados nos dados. Para tal, foi feita, também, uma comparação entre os valores máximos, médios e os desvios padrão entre dados e resultados do modelo. Os erros percentuais foram calculados da seguinte forma:

$$Erro = \frac{|Média_{Dado} - Média_{Modelo}|}{|Média_{Dado}|} \quad (III-4)$$

onde: o “dado” e o “modelo” são os parâmetros: intensidade média, intensidade máxima, média da comp. U, média da comp. V, desvio padrão de U, desvio padrão de V e direção mais frequente.

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 (ASA, 2010b).

Finalizando a avaliação para o Ponto PC, foram realizadas comparações entre histogramas direcionais para dados medidos e resultados do modelo, considerando todo o ano de 1992. A análise dos histogramas permitiu 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 (ASA, 2010b).

III.3.2.4 Ponto BM333 - inverno

Para o período de inverno (1^o de junho a 2 de julho de 1992), o RMAE calculado foi de 40%. Portanto, de acordo com a qualificação de Walstra *et al.* (2001), os resultados da modelagem para esta posição podem ser qualificados entre bons e razoáveis. Considerando somente a componente u , o RMAE foi igual a 57%; para a componente v , também foi igual a 57% (ASA, 2010b).

A análise dos espectros de amplitudes mostra que, para a componente u , o resultado da modelagem apresenta energias na frequência diurna um pouco maior 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 aproxima muito do comportamento dos dados. Deve-se destacar que nesta faixa de frequência concentra-se a maior quantidade de energia do espectro e que as energias associadas a passagens de frente são satisfatoriamente reproduzidas pela modelagem (ASA, op.cit.).

III.3.2.5 Ponto BM333 - verão

O RMAE calculado para o período de verão (6 e 28 de janeiro de 1992) foi de 36%. Portanto, de acordo com a qualificação de Walstra *et al.* (2001), a modelagem, para este período e esta posição, pode ser qualificada como boa. Considerando somente a componente u , o RMAE foi igual a 60%; para a componente v , foi igual a 35% (c).

A análise dos espectros de amplitudes mostrou que para esta posição e para este período os espectros calculados a partir do modelo e dos dados apresentam boa concordância em todas as faixas de frequência (ASA, op.cit.).

III.3.2.6 Considerações - Ponto BM333

Nas comparações em que se utilizou o parâmetro RMAE para quantificá-las, os valores obtidos para o Ponto BM333 foram bons ou razoáveis. Este ponto, localizado sobre a plataforma continental externa da Bacia de Santos, está sobre influência direta da Corrente do Brasil (CB). Neste local, também ocorrem as perturbações do fluxo, associadas a passagens de sistema frontais, meandros e vórtices, mas com variabilidade bem menor que a observada na região costeira (ASA, 2010b).

Para avaliar a capacidade da modelagem de reproduzir os padrões médios (associados aos fenômenos mais frequentes) e os eventos extremos (associados aos fenômenos mais energéticos), foi realizada uma comparação entre os valores máximos, médios e os desvios padrão entre dados e resultados do modelo. Supondo que o critério de qualificação proposto por Walstra *et al.* (2001) seja válido para a estimativa do erro percentual, teremos em geral a classificação boa ou excelente (ASA, *op.cit.*).

Por fim, com base em comparações realizadas entre histogramas direcionais para dados medidos e resultados do modelo, considerando todo o ano de 1992, há indicativo de boa concordância entre as direções e intensidades médias observadas e aquelas simuladas (ASA, *op.cit.*).

III.3.2.7 Derivadores do Projeto MONDO

Para avaliar o padrão de circulação superficial as correntes simuladas foram comparadas aos dados de derivadores do Projeto MONDO. Vale ressaltar que os dados de corrente obtidos a partir dos derivadores são referentes a 2007/2008, portanto, buscou-se comparar o comportamento médio dos padrões identificados.

A Figura III-9 mostra quatro regiões selecionadas para comparar as correntes simuladas com relação aos dados de derivadores do Projeto MONDO. Estas regiões foram selecionadas com objetivo principal de avaliar o fluxo ao longo do eixo principal da Corrente do Brasil, que flui ao longo da quebra da plataforma continental.

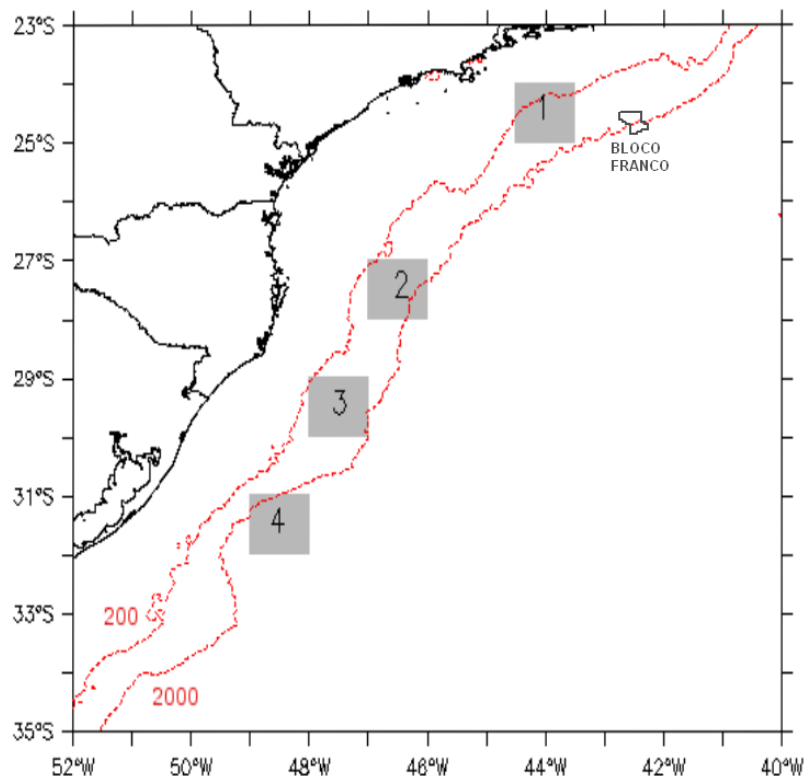


Figura III-9 - Regiões selecionadas para validação da corrente simulada próxima à superfície com os derivadores do Projeto MONDO. As linhas pontilhadas vermelhas indicam as isóbatas de 200 e 2.000 m.

Para a Região 1 verificou-se que, próximo à superfície, o eixo principal de escoamento se dá na direção W-SW para ambas as fontes de dados; o modelo hidrodinâmico capturou esse comportamento de maneira satisfatória, apresentando velocidades médias próximas às obtidas a partir dos derivadores. As diferenças observadas na distribuição das correntes podem ser justificadas por terem sido analisados anos diferentes.

Nas regiões 2, 3 e 4 o eixo principal de escoamento se dá na direção SW; as correntes simuladas apresentaram uma dispersão coerente com aquelas obtidas dos derivadores. A intensidade média das correntes foi inferior nos resultados da simulação, mas é importante ressaltar que nesta análise foram considerados anos diferentes para as correntes simuladas e observadas.

III.3.3 Considerações Finais

Dando sequência a avaliação dos resultados obtidos com a modelagem hidrodinâmica, a Figura III-10 e a Figura III-11 ilustram os resultados do modelo recortados na região sul-sudeste brasileira. São apresentados instantâneos para as distribuições espaciais de correntes de verão e de inverno, reamostrados a cada 4 pontos. Observa-se a Corrente do Brasil acompanhando a região de quebra da plataforma, fluindo em direção SW. O campo também apresenta uma intensificação em torno de 28°S, conforme descrito por Müller *et al.* (1998). No inverno, o instante selecionado ilustra uma inversão e desintensificação do campo, em resposta à passagem de um sistema frontal pela região.

Na evolução temporal dos resultados do modelo hidrodinâmico também foi possível identificar a presença de um vórtice semiestacionário próximo à superfície, como é ilustrado na Figura III-11. Esta feição, entre 25° e 29° S e a leste do fluxo principal da CB, também é observada quando analisamos dados obtidos por derivadores e literatura disponível.

Neste sentido, Assireu *et al.* (2003) identificaram, através do estudo de 15 derivadores lançados nos anos de 1993 e 1994, a presença de vórtices ciclônicos e semiestacionários na altura de Florianópolis (aproximadamente 27° S). Estes autores apontam que, embora as causas típicas para os vórtices semiestacionários sejam a interação da corrente com a topografia submarina e mudanças bruscas no contorno da costa, estas não parecem ser as únicas causas para os vórtices em questão, já que estes não foram detectados pelos derivadores no ano de 1994. Simulações numéricas realizadas em Fragoso (2004) também detectaram a presença do vórtice anticiclônico na costa de SC.

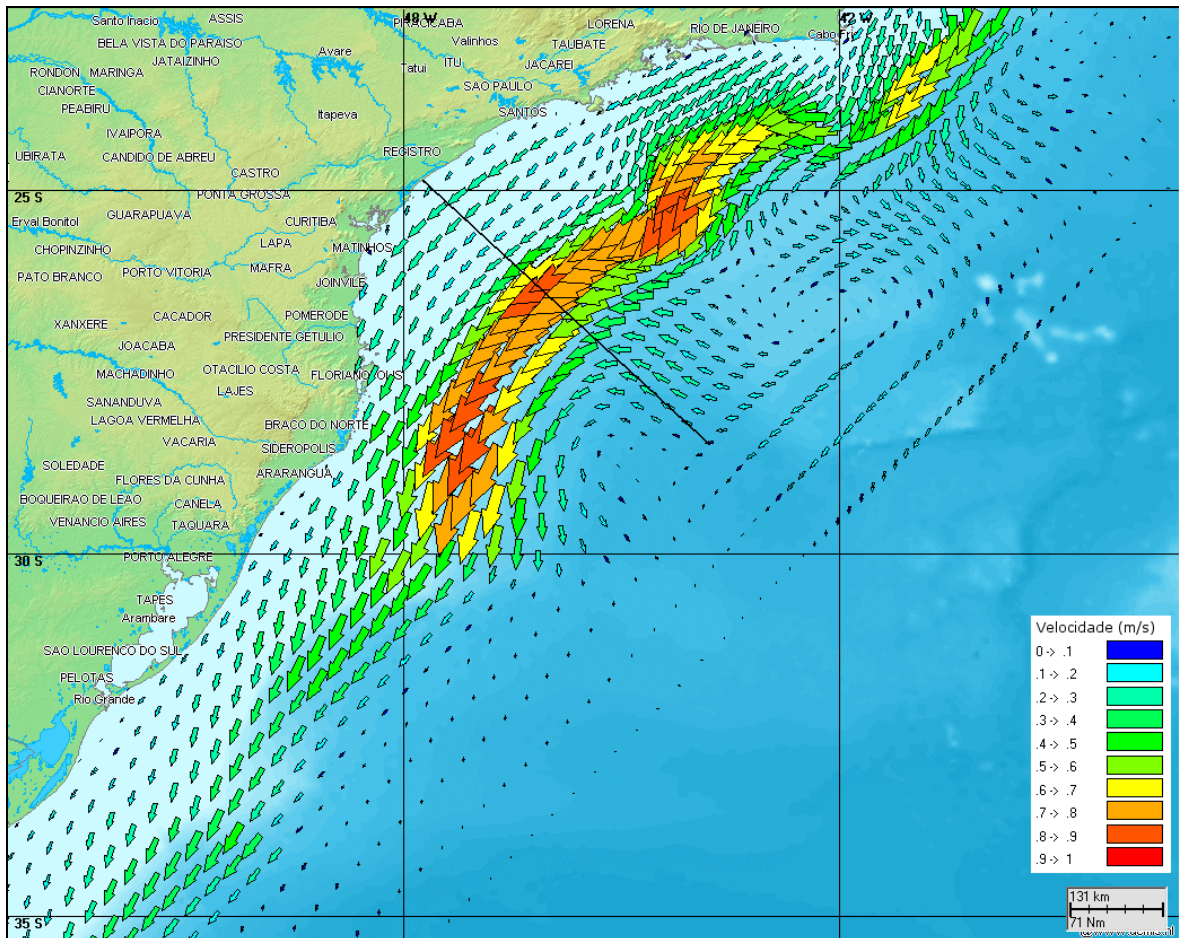


Figura III-10 - Instantâneo de correntes simuladas no verão, com foco na região sul-sudeste brasileira. A linha preta indica a posição da seção apresentada na Figura III-13.

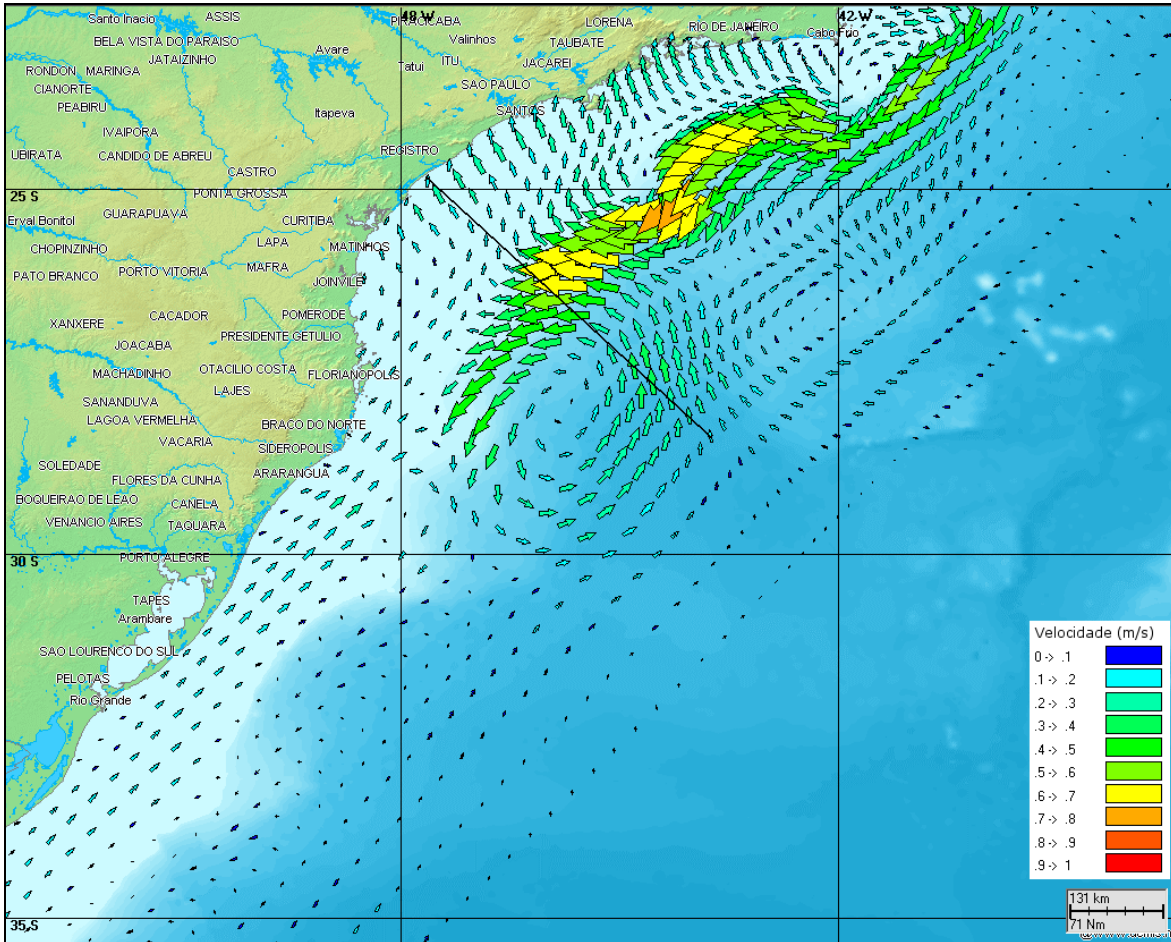


Figura III-11 - Instantâneo de correntes simuladas no inverno, com foco na região sul-sudeste brasileira. A linha preta indica a posição da seção apresentada na Figura III-14.

Com relação aos derivadores do Projeto MONDO, a Figura III-12 apresenta a trajetória dos derivadores 11, 12, 17 e 18, que evidenciam a presença do vórtice *offshore* a Florianópolis.

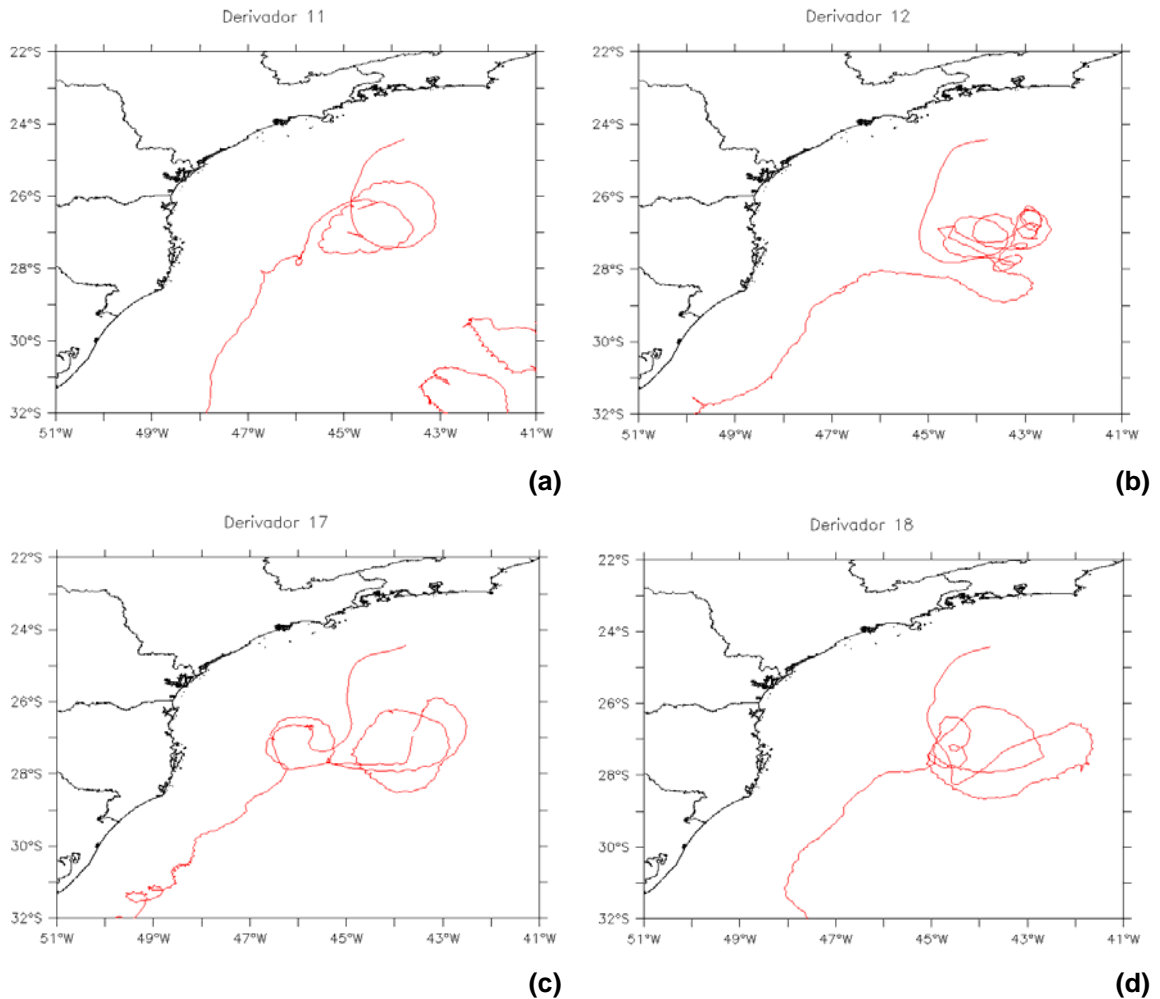
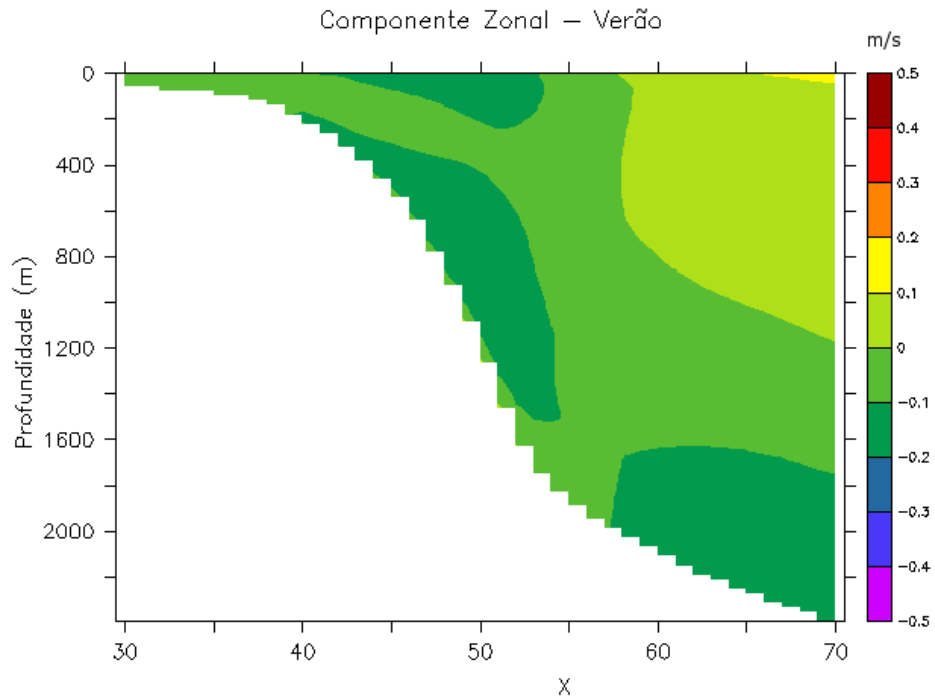
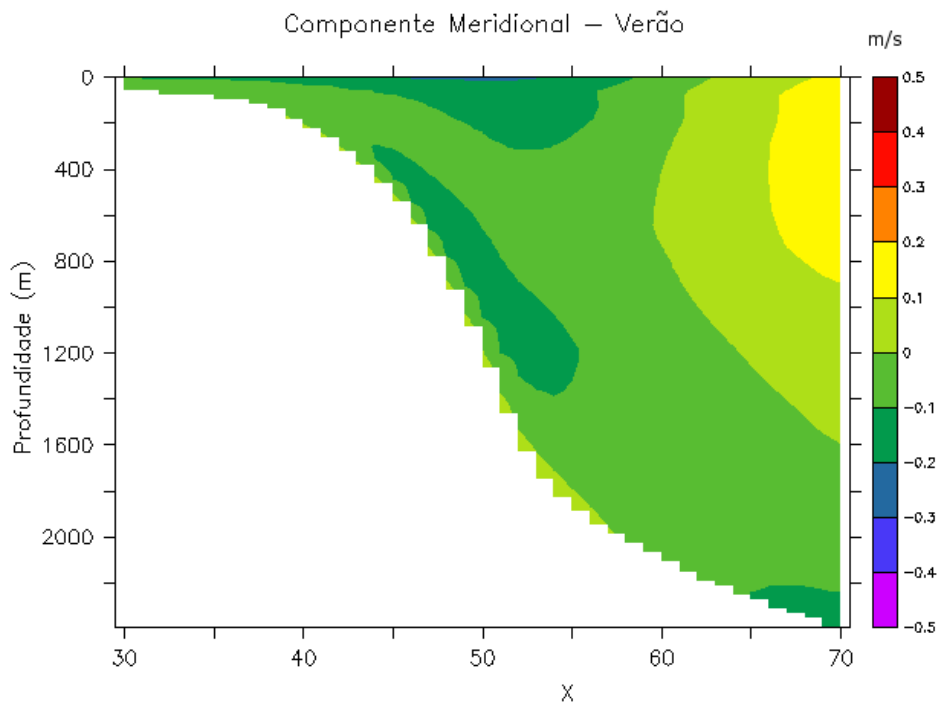


Figura III-12 - Trajetórias dos derivadores 11 (a), 12 (b), 17 (c) e 18 (d).

A Figura III-13 apresenta a velocidade média perpendicular e paralela ao longo da seção vertical indicada pela linha preta indicada na Figura III-10. Estas velocidades médias foram obtidas para o verão de 1992, como resultado da simulação numérica. A Figura III-14 apresenta o mesmo ao longo da linha preta indicada na Figura III-11, para o período de inverno.

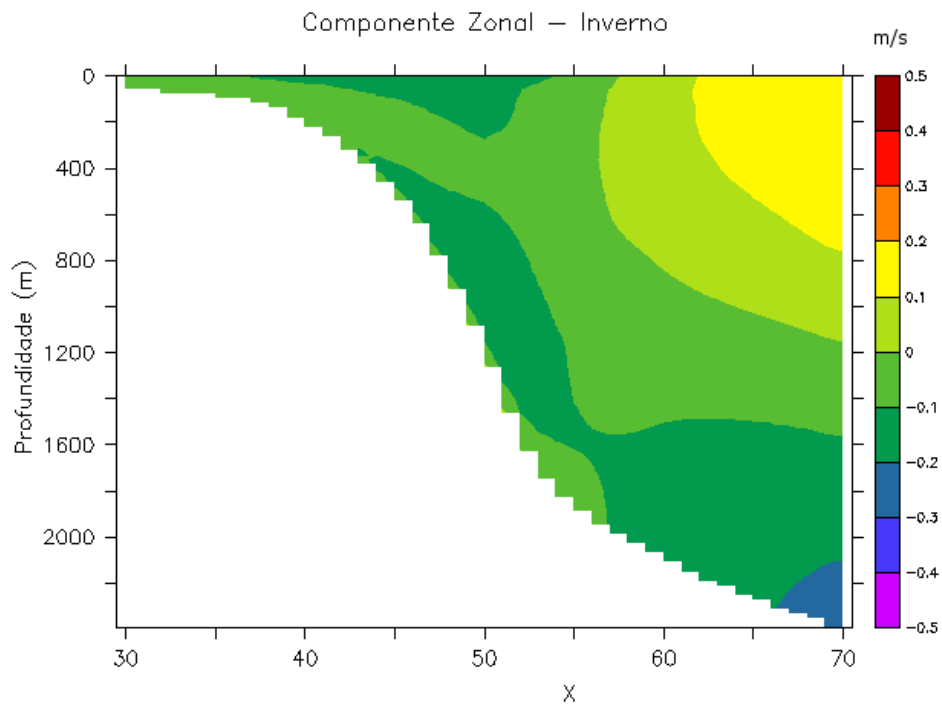


(a)

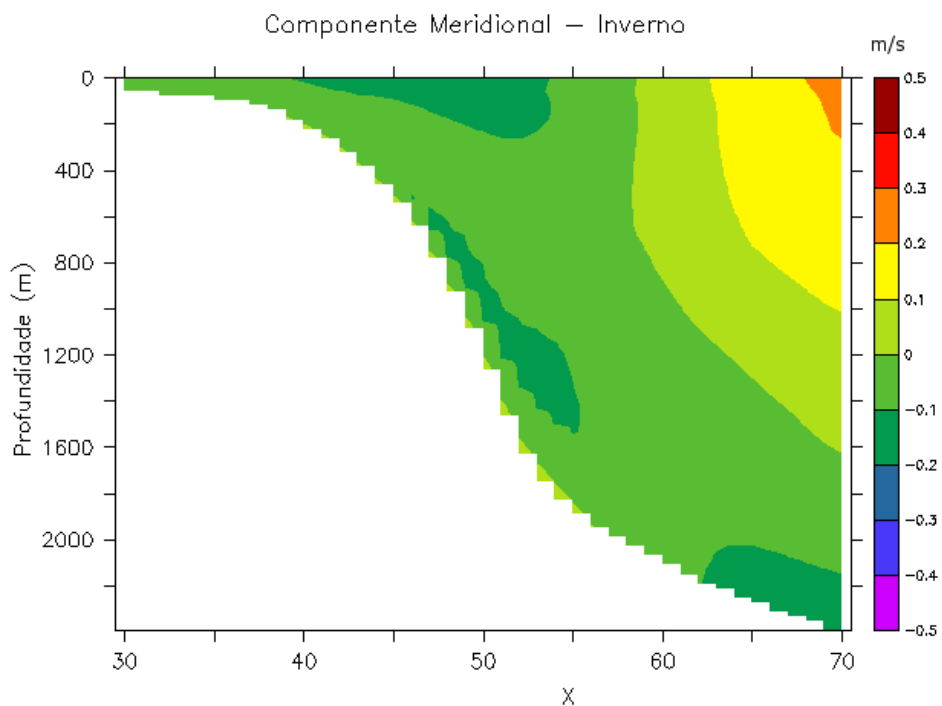


(b)

Figura III-13 - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o verão de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na Figura III-10.



(a)



(b)

Figura III-14 - Seções de velocidade (m/s) zonal (a) e meridional (b), médias para o inverno de 1992, extraídas ao longo da linha preta indicada na Figura III-11.

Na tentativa de calibrar, validar e avaliar o modelo numérico foram utilizados os conjuntos de dados disponíveis. Dentre estes, podem ser citados aqueles de coletas pontuais (por exemplo, correntes, ventos e marés) assim como lagrangeanos (derivadores).

Quanto à disponibilidade de dados coletados, não há na região uma oferta de dados simultâneos com resolução espacial que possibilite inferências diferentes daquelas feitas com base na bibliografia (Pimenta *et al.* 2005; Piola *et al.*, 2000; Lima, 1997; Campos *et al.*, 1995; Carretto *et. al.*, 1995 entre outros).

A avaliação do campo hidrodinâmico simulado foi realizada a partir de diversas comparações entre resultados do modelo e dados, a saber:

1. comparações entre as séries temporais das componentes u (E-W) e v (N-S), para avaliar a concordância temporal entre as séries;
2. comparações entre os espectros de amplitudes e as energias obtidas nas principais faixas de frequências, para avaliar a capacidade do modelo em reproduzir a variabilidade e a energia presente nos dados;
3. comparações entre histogramas direcionais do vetor velocidade e entre valores máximos, médios e os desvios padrão (para avaliar a capacidade da modelagem de reproduzir os padrões médios e os eventos extremos);
4. comparações com informações obtidas de derivadores lagrangeanos e com o conhecimento da região reportado em referências bibliográficas.

Para a maioria das comparações, observou-se que o campo hidrodinâmico simulado reproduziu de forma satisfatória os padrões médios (associados aos fenômenos mais frequentes) e os eventos extremos (associados aos fenômenos mais energéticos).

Para algumas comparações entre séries temporais, o RMAE foi ruim ou péssimo. Estas piores qualificações ocorreram somente para os dados do Ponto PC, localizado muito próximo à costa, numa região onde as variabilidades não lineares são muito frequentes. O modelo possui uma dinâmica capaz de reproduzir estas variabilidades, possivelmente associadas a vórtices e meandros,

contudo frente às características não lineares de tais eventos estes dificilmente são reproduzidos em perfeita concordância temporal com os dados observados e em uma comparação série contra série esta capacidade fica prejudicada.

Para avaliar o desempenho do modelo em relação às feições oceanográficas de grande escala, foram realizadas comparações entre comportamentos espectrais de dados e modelo para as faixas de frequências inferiores a 1cpd. Estas comparações indicaram comportamentos muito semelhantes. É nesta faixa espectral que se concentra a maior quantidade de energia do sistema, e como as análises foram realizadas para cada componente separadamente, reproduzir os padrões espectrais mais energéticos significa reproduzir a intensidade e a direção das correntes predominantemente responsáveis pelos processos de transporte. Assim podemos afirmar que o modelo realiza de forma satisfatória o seu papel de base hidrodinâmica para as simulações de deriva de óleo.

IV MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO

Na modelagem de derrame de petróleo (óleo) foi utilizado o modelo OILMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), In**. Este modelo é uma ferramenta utilizada para o acompanhamento e previsão do deslocamento e intemperismo de qualquer tipo de óleo derramado em acidentes com petróleo. A descrição completa do OILMAP encontra-se no Anexo C.

IV.1 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- ✓ localização geográfica do ponto de derrame;
- ✓ período de simulação;
- ✓ duração do derrame;
- ✓ volume derramado;
- ✓ tipo de óleo;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g., barreiras, sobrevoo, dispersantes);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos.

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

IV.1.1 Campos de Vento

Na modelagem de deriva de óleo foi utilizado um conjunto de dados de vento variável no tempo e no espaço, proveniente de reanálise do NCEP/NCAR, como descrito no Anexo A. Os dados utilizados são referentes ao período de 1^o de janeiro a 31 de dezembro de 1992.

Vale ressaltar que estes dados 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 D.

A Figura IV-1 e a Figura IV-2 ilustram exemplos de instantâneos do campo de vento resultante do tratamento acima descrito. A Figura IV-1 ilustra um instante típico de verão, já a Figura IV-2 ilustra a chegada de um sistema frontal à região, mais frequente no inverno.

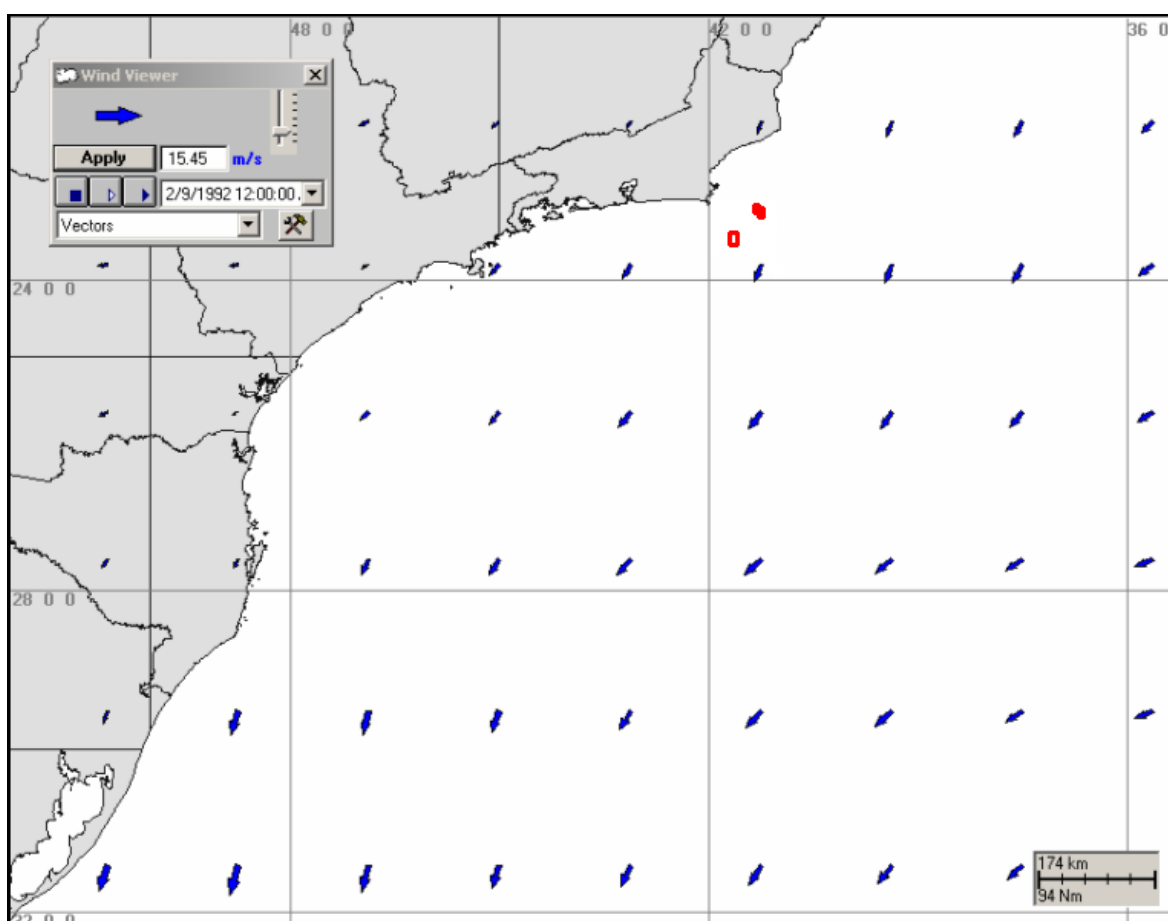


Figura IV-1 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de verão).

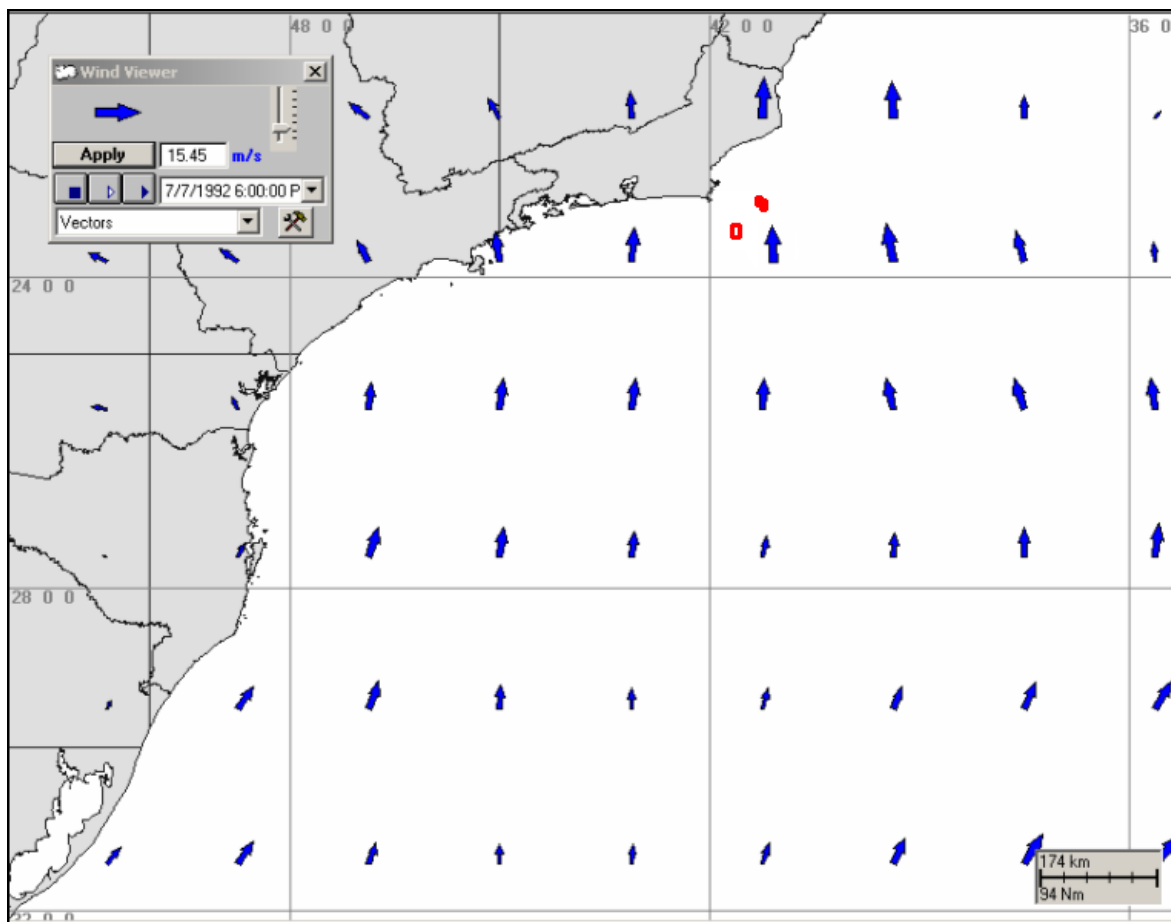


Figura IV-2 - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de inverno).

IV.1.2 Campos de Correntes

Os campos de correntes utilizados na modelagem do transporte e dispersão de óleo foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica, apresentada no Capítulo II. Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos representativos dos períodos típicos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 1992. A justificativa da escolha do ano de 1992 é apresentada no Anexo A.

Para as simulações de derrame de óleo foi definida uma grade *land-water* com dimensões de 500 X 500 pontos (resolução de 1,5 km no sentido da longitude e 1,75 km no sentido da latitude, regularmente distribuídos no espaço, Figura IV-3).

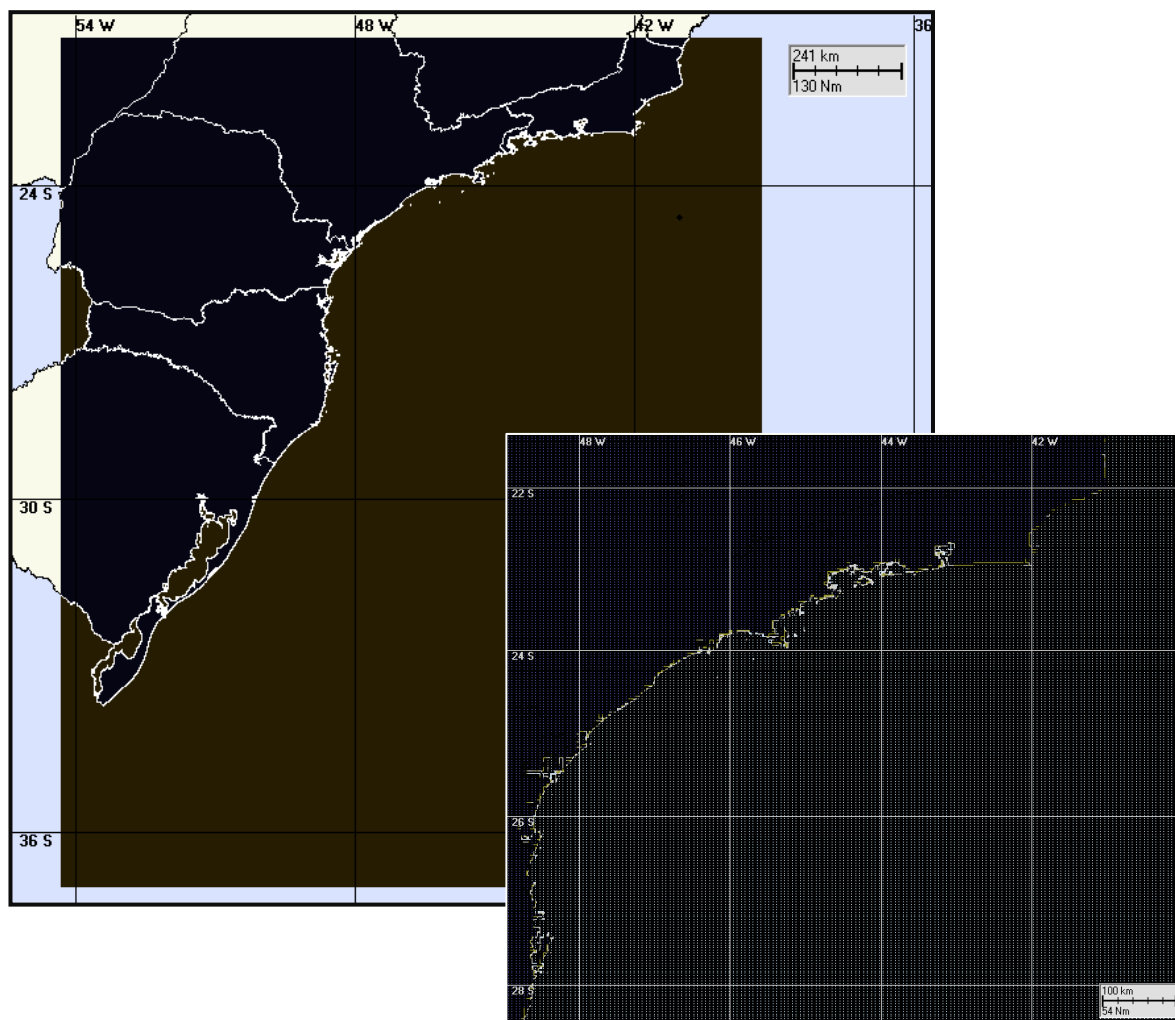


Figura IV-3 - Grade definindo os contornos de terra (*grade land-water*) para a modelagem de deriva de óleo.

IV.1.3 Ponto de Risco e Volumes de Derrame

As coordenadas do ponto de risco de vazamento de óleo a partir do Bloco BC-M-41 foram especificadas pela OGX/AECOM conforme mostra a Tabela IV-1.

Tabela IV-1 - Coordenadas (SAD 69) do ponto de risco.

PONTOS	BLOCO	LATITUDE	LONGITUDE
OSX-2 (Fuji-Illimani-Waimea)	BM-C-41	3°29'56,13"S	41°25'50,50"W

Fonte: OGX/AECOM.

Os volumes utilizados nas simulações foram definidos segundo a Resolução CONAMA nº 398/08 (Brasil, 2008):

- Pequeno: 8,0 m³;
- Médio: 200,0 m³;
- Pior caso (afundamento de unidade): 1.510.283,0 bbl (240.115,7 m³).

Os volumes de pior caso vazados correspondem ao volume do tanque de estocagem das plataformas (1.500.000,0 bbl) somados aos volumes das linhas (8.165,0 bbl) e vasos do processo (2.118,0 bbl), totalizando 1.510.283,0 (Fonte: OGX/AECOM).

Nas simulações com volume de pior caso o derrame de todo o volume foi considerado contínuo ao longo de 12 horas (o afundamento de unidade). Nas demais simulações realizadas considerou-se o vazamento de todo o volume de óleo instantaneamente, ou seja, no instante inicial da simulação.

IV.1.4 Características dos Produtos Utilizados

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo foram realizadas simulações com derrames para o óleo presente no Bloco BM-C-41 (Fuji, Illimani e Waimea). As características físico-químicas deste óleo foram fornecidas pela OGX/AECOM (Tabela IV-2).

As descobertas de Fuji, Illimani e Waimea, receberam a migração de óleo de uma mesma fonte geradora (Fm. Lagoa Feia) por caminhos distintos e em tempos geológicos um pouco diferentes, fato responsável por possíveis pequenas diferenças no grau API na área. Tendo como base nas análises composicionais dos óleos disponíveis para a área, constata-se que os perfis de distribuição das frações molares dos componentes de hidrocarbonetos não se alteraram, nem para as frações leves e nem para as mais pesadas. A compreensão dos fatores

de geração, migração e a constatação das composições justificam a utilização das análises PVT completas do óleo do poço 1-OGX-3-RJS nas simulações para os estudos de viabilidade dos projetos nas áreas adjacentes a Waimea (por exemplo Fuji e Illimani) e são igualmente aplicáveis a quaisquer outros estudos que dependam da sua caracterização (Fonte: OGX/AECOM).

Tabela IV-2 - Características do óleo Tipo A.

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	<i>Tipo A</i>
Grau API	17,6
Densidade a 15,6°C (g/cm ³)	0,949
Viscosidade dinâmica a 25°C (cP)	1.104,00
Tensão interfacial (din./cm)	28,7
Máximo conteúdo de água para formar emulsões (%)	80,0*
Espessura mínima (mm)	1,00*
Ponto de ebulição inicial (K)	458,7*
Gradiente da curva de evaporação	682,824*
Constante de evaporação A	6,2*
Constante de evaporação B	11,84*

Fonte: OGX/AECOM / * banco de dados da ASA.

IV.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES

O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento, conforme critérios definidos na Nota Técnica nº 02/2009/CGPEC/DILIC/IBAMA (IBAMA, 2009).

Nos casos de derrames com volume de pior caso por afundamento de unidade (derrame contínuo por 12 horas), a duração das simulações foi de 31 dias. Nos demais cenários (derrames instantâneos), a duração das simulações foi de 30 dias.

IV.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

As simulações probabilísticas foram realizadas através da variação aleatória do momento de início do derrame dentro do período para o qual foi elaborado o modelo hidrodinâmico (1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992), divididas em dois períodos correspondendo ao verão (janeiro a março) e ao inverno (junho a agosto). Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteorológicas e oceanográficas, foi realizada com o modelo OILMAP uma série de 500 simulações em cada cenário probabilístico. O número de simulações foi definido com base em testes probabilísticos realizados com diferentes números de simulações. Nestes testes buscou-se identificar o número de simulações ideal, considerando a estabilização da área total de ocorrência do óleo (quando não ocorrem variações significativas nos contornos de probabilidade).

A Tabela IV-3 apresenta os cenários simulados neste estudo, a partir do Bloco BM-C-41.

Tabela IV-3 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas.

CENÁRIO	BLOCO	PRODUTO (ÓLEO)	VOLUME DE DERRAME (m ³)	DURAÇÃO DO DERRAME	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO DE SIMULAÇÃO
OSX2_TIPOA_8_VER_30D	BM-C-41	TIPO A	8,0	Instantâneo	Verão	30 dias
OSX2_TIPOA_200_VER_30D	BM-C-41	TIPO A	200,0	Instantâneo	Verão	30 dias
OSX2_TIPOA_PC_VER_31D	BM-C-41	TIPO A	240.115,7	12 horas	Verão	31 dias
OSX2_TIPOA_8_INV_30D	BM-C-41	TIPO A	8,0	Instantâneo	Inverno	30 dias
OSX2_TIPOA_200_INV_30D	BM-C-41	TIPO A	200,0	Instantâneo	Inverno	30 dias
OSX2_TIPOA_PC_INV_31D	BM-C-41	TIPO A	240.115,7	12 horas	Inverno	31 dias

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para cada cenário probabilístico, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa ou menor distância deste em relação à costa (quando não há probabilidade de toque). Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas para as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

Vale ressaltar que as modelagens estocásticas devem considerar feições conhecidas para a região de interesse, e tem sido verificado que a melhor maneira de preservar todas as variabilidades temporais e espaciais existentes, é a escolha de um ano que represente estas feições de forma típica ou extrema. Sugere-se que a escolha do ano seja baseada no estudo estatístico de uma série longa de vento de reanálise para a região de interesse; este estudo deve permitir identificar a intensidade média e a ocorrência de fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais) para cada ano. O ano escolhido pode ser um ano típico ou extremo (se a modelagem tiver um caráter conservativo). No Anexo A é apresentada a justificativa da escolha do ano de 1992.

V RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DE DERRAME DE ÓLEO

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas (críticas e mais frequentes) para potenciais derrames de óleo no Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

Cabe ressaltar que em nenhuma das simulações realizadas levou-se em consideração as ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Emergência.

V.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

O modelo OILMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Item IV.3 e produzir as curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo.

A Tabela V-1 apresenta a extensão da costa com probabilidade de toque referente aos cenários probabilísticos simulados para o período de inverno. Observa-se, nos resultados, que a maior extensão de costa atingida pelo óleo foi de, aproximadamente, 1.835,3 km, com derrame de pior caso (*afundamento de unidade*). A Tabela V-2 apresenta a menor distância da costa para os cenários probabilísticos simulados para o período de verão.

Tabela V-1 - Extensão da costa com probabilidade de toque.

CENÁRIO		EXTENSÃO DE TOQUE NA COSTA (km)
BM-C-41	OSX2_TIPOA_8_INV_30D	1.223,5
	OSX2_TIPOA_200_INV_30D	1.295,9
	OSX2_TIPOA_PC_INV_31D	1.835,3

Tabela V-2 - Menor distância da mancha de probabilidades com relação à costa.

CENÁRIO		MENOR DISTANCIA COM RELAÇÃO À COSTA (km)
BM-C-41	OSX2_TIPOA_8_VER_30D	28 (Arraial do Cabo - RJ)
	OSX2_TIPOA_200_VER_30D	28 (Arraial do Cabo - RJ)
	OSX2_TIPOA_PC_VER_31D	28 (Arraial do Cabo - RJ)

Na Tabela V-3 apresentam-se o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo e o tempo médio para o óleo atingir a costa, referente aos cenários probabilísticos. O menor tempo de toque calculado (76 horas – Arraial do Cabo, RJ) refere-se aos cenários de derrame durante o período de inverno.

Tabela V-3 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística.

CENÁRIOS		TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	MUNICÍPIO DE PRIMEIRO TOQUE
BM-C-41	OSX2_TIPOA_8_INV_30D	76	488,7	38,7	Arraial do Cabo - RJ
	OSX2_TIPOA_200_INV_30D	76	492,8	38,9	Arraial do Cabo - RJ
	OSX2_TIPOA_PC_INV_31D	76	472,1	39,1	Arraial do Cabo - RJ

Cabe aqui ressaltar que, em todas as ilustrações de intervalos de probabilidade de óleo na água e costa, apresentadas a seguir, o valor correspondente ao limite superior dos intervalos da escala de cores está incluído na classe. Assim, por exemplo, no intervalo de probabilidade de 10-20% estão incluídas as probabilidades superiores a 10% e menores ou iguais a 20%.

As ilustrações dos contornos de tempo correspondem ao tempo mínimo de deslocamento de óleo na água calculado (para cada posição da grade) entre todos os cenários determinísticos que compõem o cenário probabilístico. Nestas ilustrações são apresentados os tempos de 2, 6, 12, 36 e 60 horas após o início do derrame, selecionados de acordo com o tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga

especificados na Resolução do CONAMA nº 398/08 (Brasil, 2008). Para tempos superiores a estes, foram selecionados intervalos que melhor se adequaram à visualização da evolução dos derrames na área de estudo.

As escalas de cores adotadas foram selecionadas de forma a permitir uma melhor diferenciação dos intervalos de probabilidade e tempo escolhidos.

V.1.1 Simulações Probabilísticas – Volume Pequeno

As Figuras V-1 e V-2 apresentam os resultados das simulações probabilísticas com derrames com volume pequeno (8 m^3) a partir do Bloco BM-C-41 (OSX-2), durante os meses de verão. Observa-se que não há probabilidade de toque na costa e que, em praticamente todas as simulações, as manchas deslocaram-se para sudoeste, seguindo a orientação da Corrente do Brasil. A menor distância da mancha em relação à costa é de 28 km do Município de Arraial do Cabo (RJ).

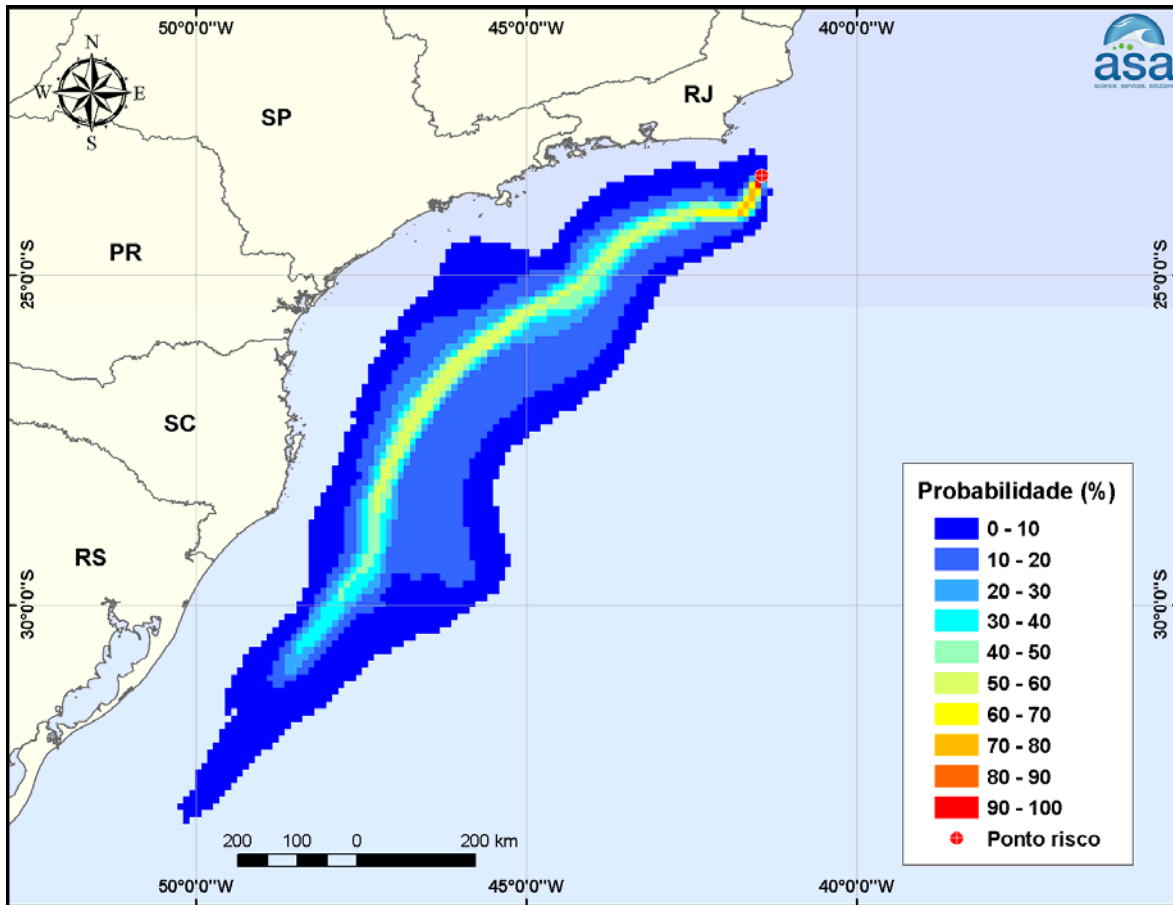


Figura V-1 - Cenário OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

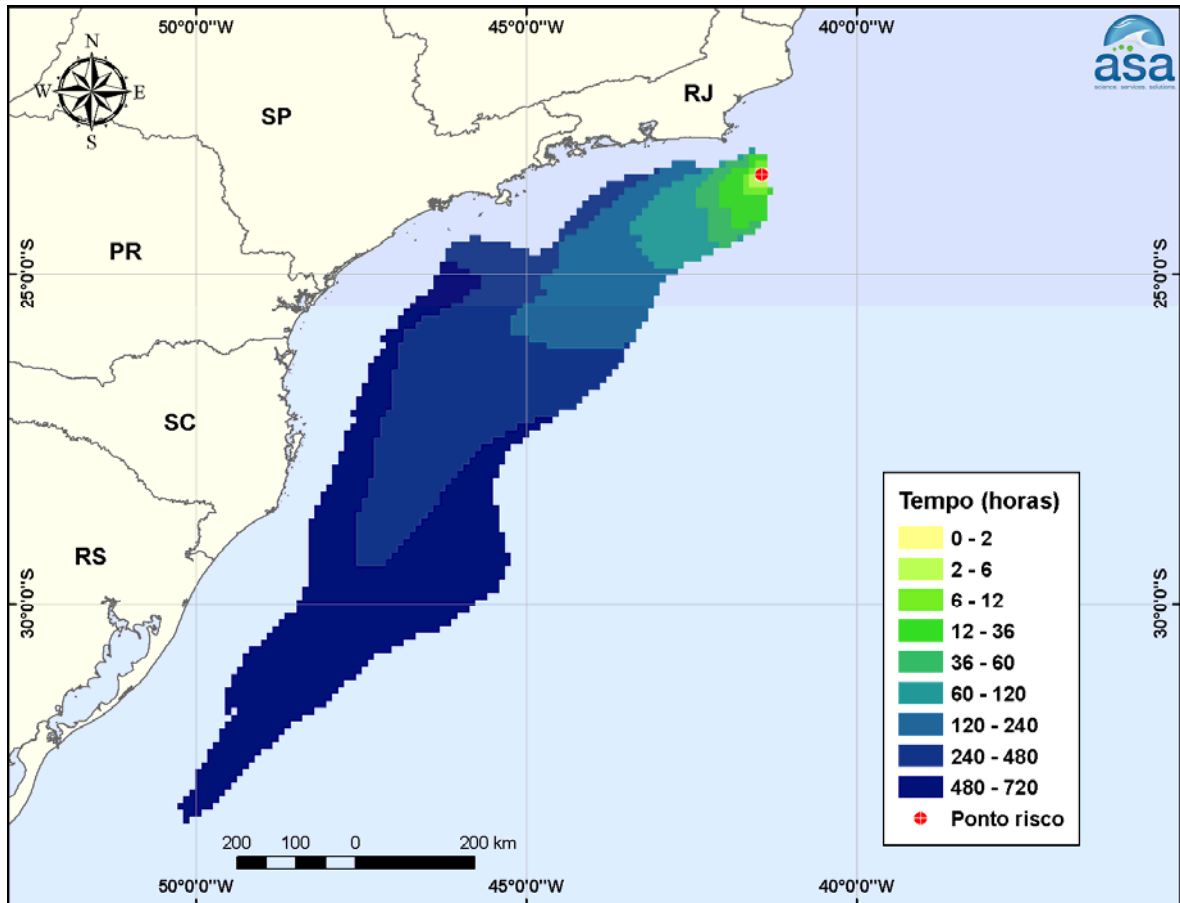


Figura V-2 - Cenário OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

Da Figura V-3 à Figura V-6 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas com derrames com volume pequeno (8 m^3) a partir do Bloco BM-C-41, durante os meses de inverno. Observa-se que há probabilidade de toque na costa.

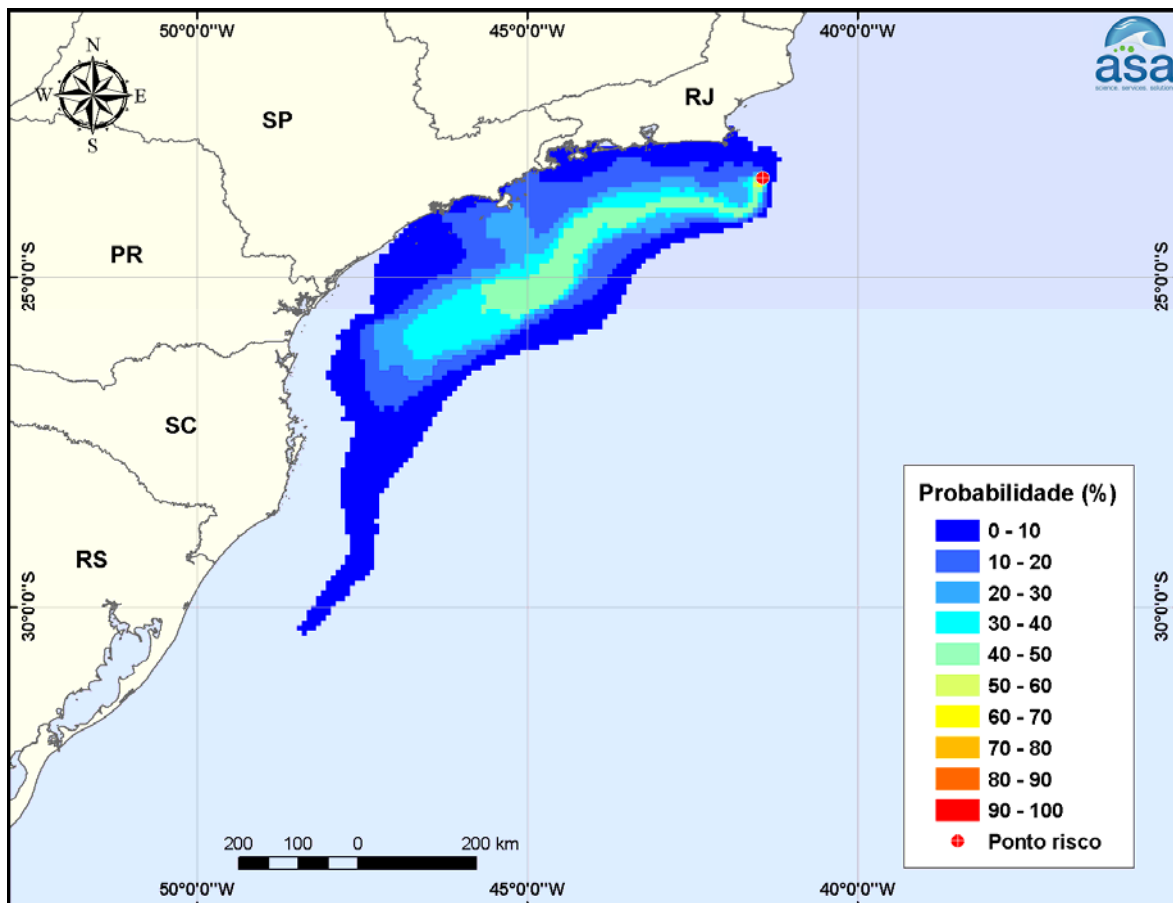


Figura V-3 - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m^3 de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

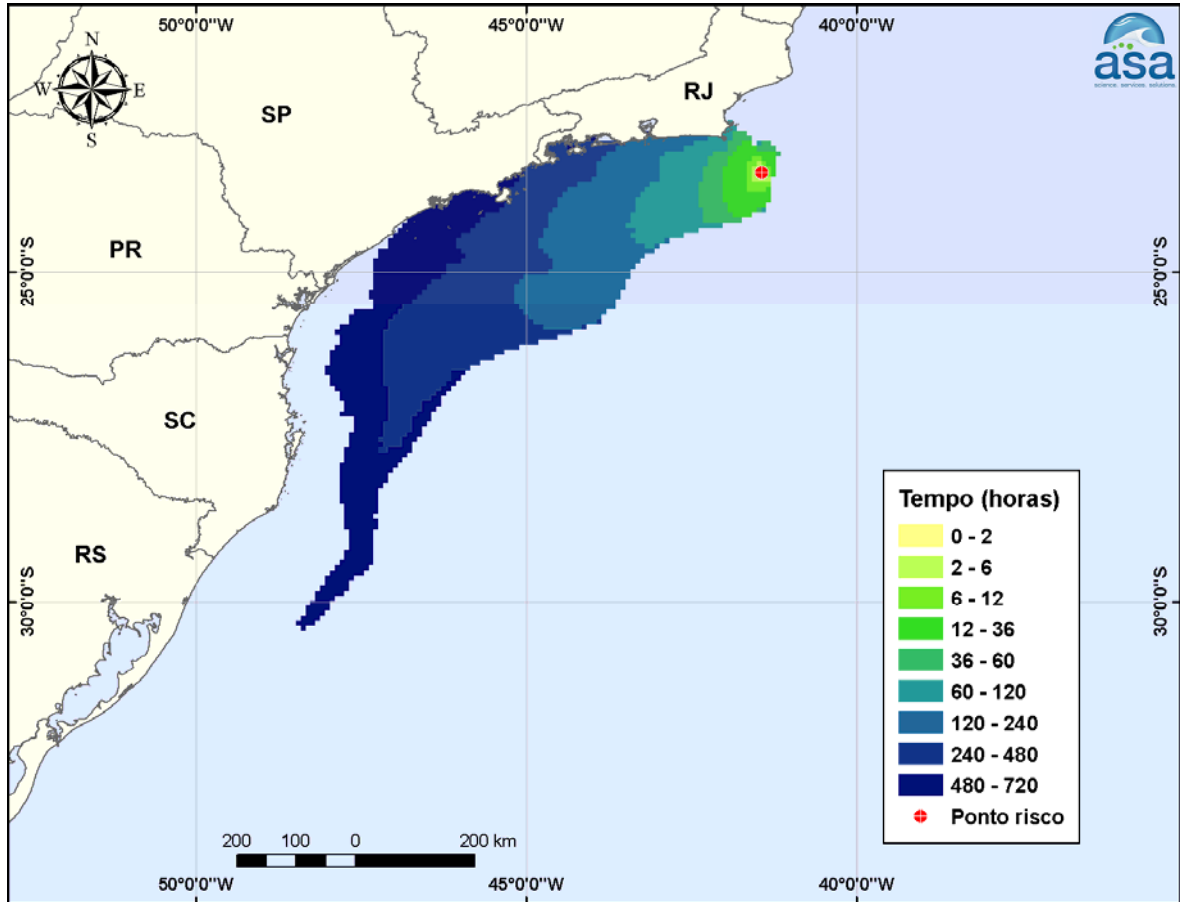


Figura V-4 - Cenário *OSX2_TIPOA_8_INV_30D*. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

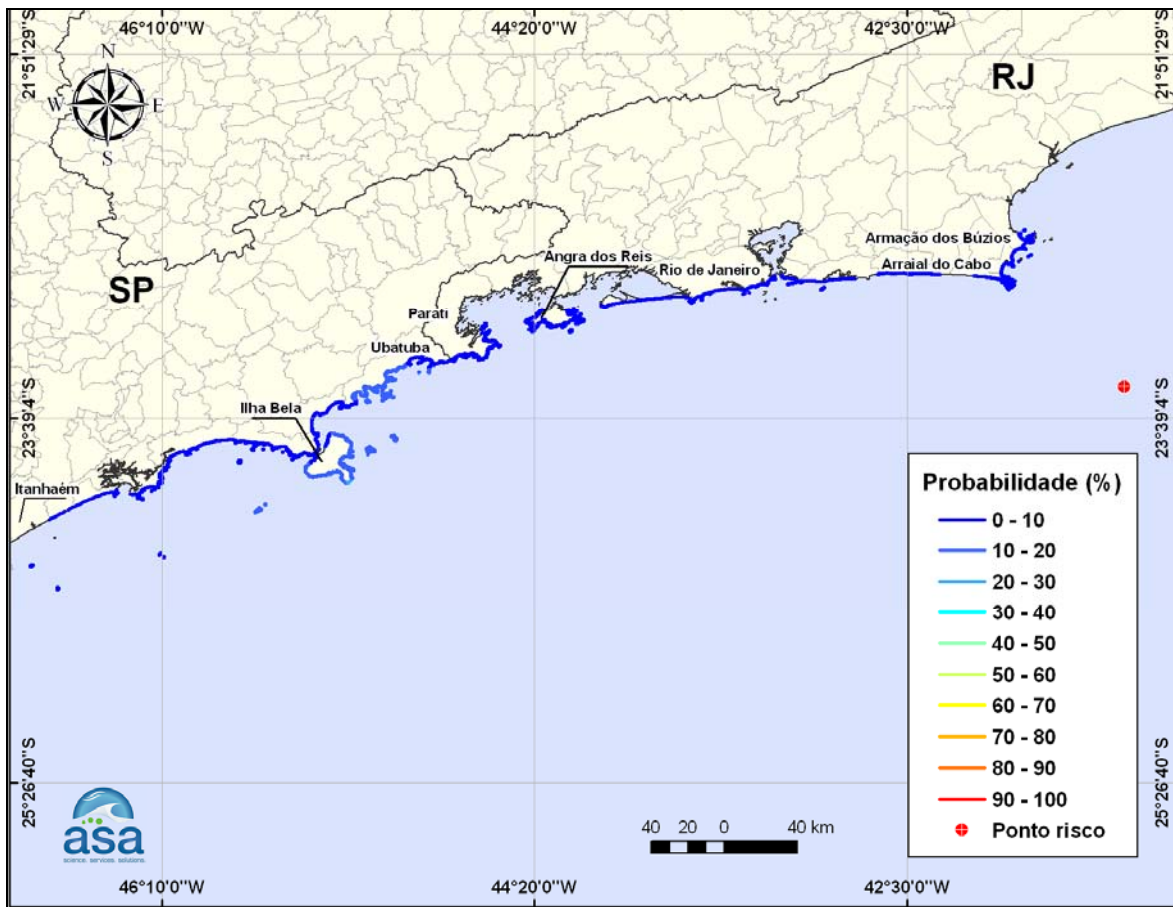


Figura V-5 - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Probabilidade de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

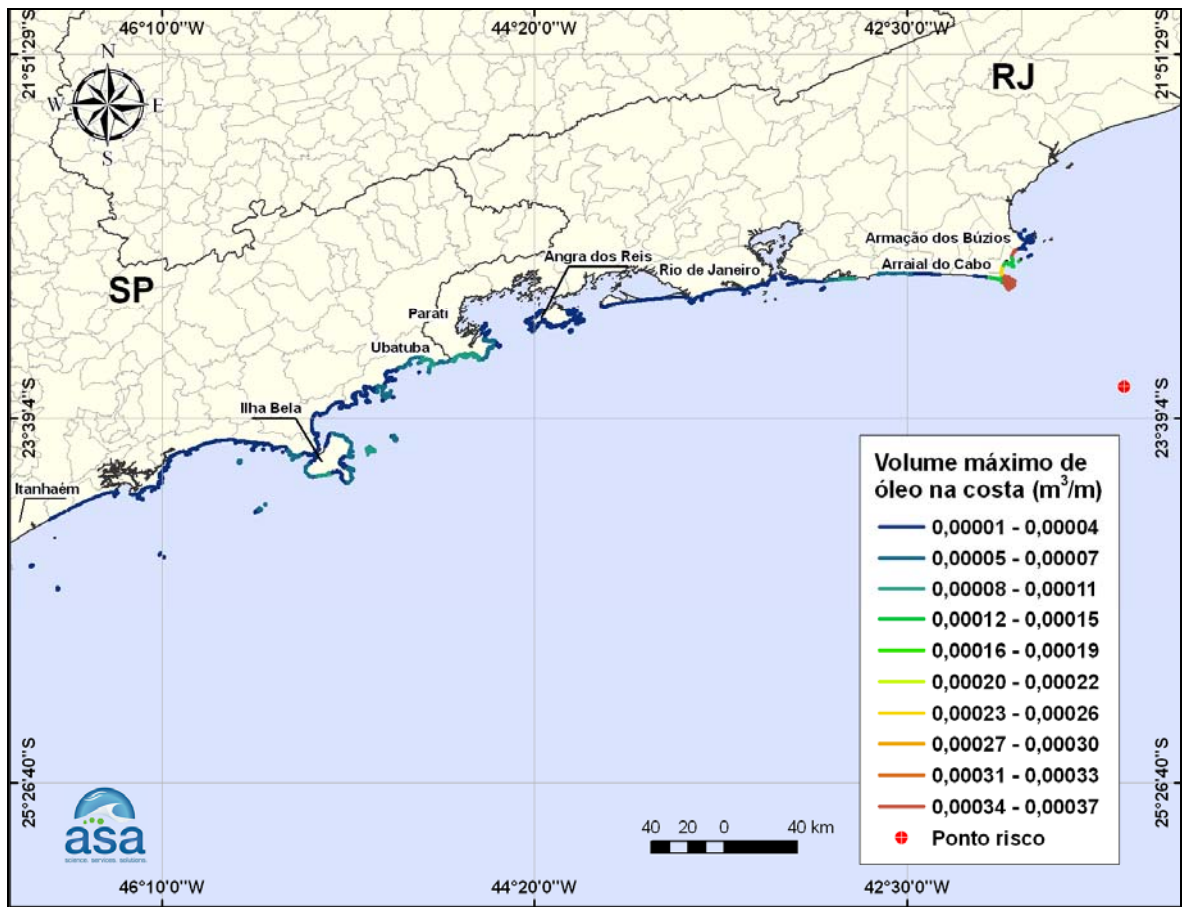


Figura V-6 - Cenário OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Volume máximo de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

A Tabela V-4 apresenta a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, resultante das simulações probabilísticas de inverno que apresentaram toque na costa.

Tabela V-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de 8 m³ para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno.

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
RJ	Cabo Frio	1	77	0,00037
	Cabo Frio - Ilha Papagaio	1	77	0,00012
	Armação dos Búzios	1	76	0,00037
	Armação dos Búzios - Ilha Pargos	1	76	0,00001
	Arraial do Cabo	3	76	0,00036
	Arraial do Cabo - Ilha dos Porcos	2	76	0,00036
	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio	2	76	0,00036
	Araruama	2	132	0,00001
	Saquarema	3	139	0,00005
	Marica	5	152	0,0001
	Maricá - Ilhas Maricá	4	166	0,00002
	Niterói	5	173	0,00001
	Niterói - Ilha da Mãe	5	177	0,00001
	Niterói - Ilha do Pai	5	177	0,00001
	Rio de Janeiro	5	182	0,00001
	Rio de Janeiro - Ilha de Guaratiba	4	241	0,00001
	Rio de Janeiro - Ilha Urupira	4	241	0,00001
	Itaguaí	3	392	0,00001
	Mangaratiba	4	400	0,00001
	Angra dos Reis - Ilha Grande	7	395	0,00003
Angra dos Reis - Ilha Jorge Grego	7	395	0,00002	
Parati	9	399	0,0001	
SP	Ubatuba	14	431	0,0001
	Ubatuba - Ilha Anchieta	15	474	0,00006
	Ubatuba - Ilha Comprida	11	449	0,0001
	Ubatuba - Ilha das Couves	11	449	0,00004
	Ubatuba - Ilha do Mar Virado	14	489	0,00003
	Caraguatatuba	10	553	0,00001
	Caraguatatuba - Ilha do Tamanduá	10	553	0,00001
	Ilhabela	21	342	0,00011
	Ilhabela - Ilha da Vitória	17	342	0,00005
	Ilhabela - Ilha dos Búzios	19	382	0,0001
	Ilhabela - Ilha Sumítica	19	382	0,0001
	São Sebastião	9	571	0,00005
	São Sebastião - Arquipélago de Alcatrazes	19	484	0,00004
	São Sebastião - Ilha do ToqueToque	8	600	0,00004
	Bertioga	7	642	0,00001
	Guarujá	9	652	0,00001
	Guarujá - Ilha da Moela	9	652	0,00001
	Santos	7	670	0,00001

(continua)

Tabela V-4 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de 8 m³ para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno (continuação).

SP	Santos - Laje de Santos	9	605	0,00001
	São Vicente	3	713	0,00001
	Praia Grande	5	687	0,00001
	Mongaguá	2	710	0,00001
	Itanhaém	2	710	0,00001
	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	4	662	0,00001
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	1	706	0,00001

V.1.2 Simulações Probabilísticas – Volume Médio

As Figuras V-7 e V-8 apresentam os resultados das simulações probabilísticas com derrames com volume médio (200 m³) a partir do Bloco BM-C-41 (OSX-2), durante os meses de verão. Observa-se que não há probabilidade de toque na costa e que, em praticamente todas as simulações, as manchas deslocaram-se para sudoeste, seguindo a orientação da Corrente do Brasil. A menor distância da mancha em relação à costa é de 28 km do Município de Arraial do Cabo (RJ).

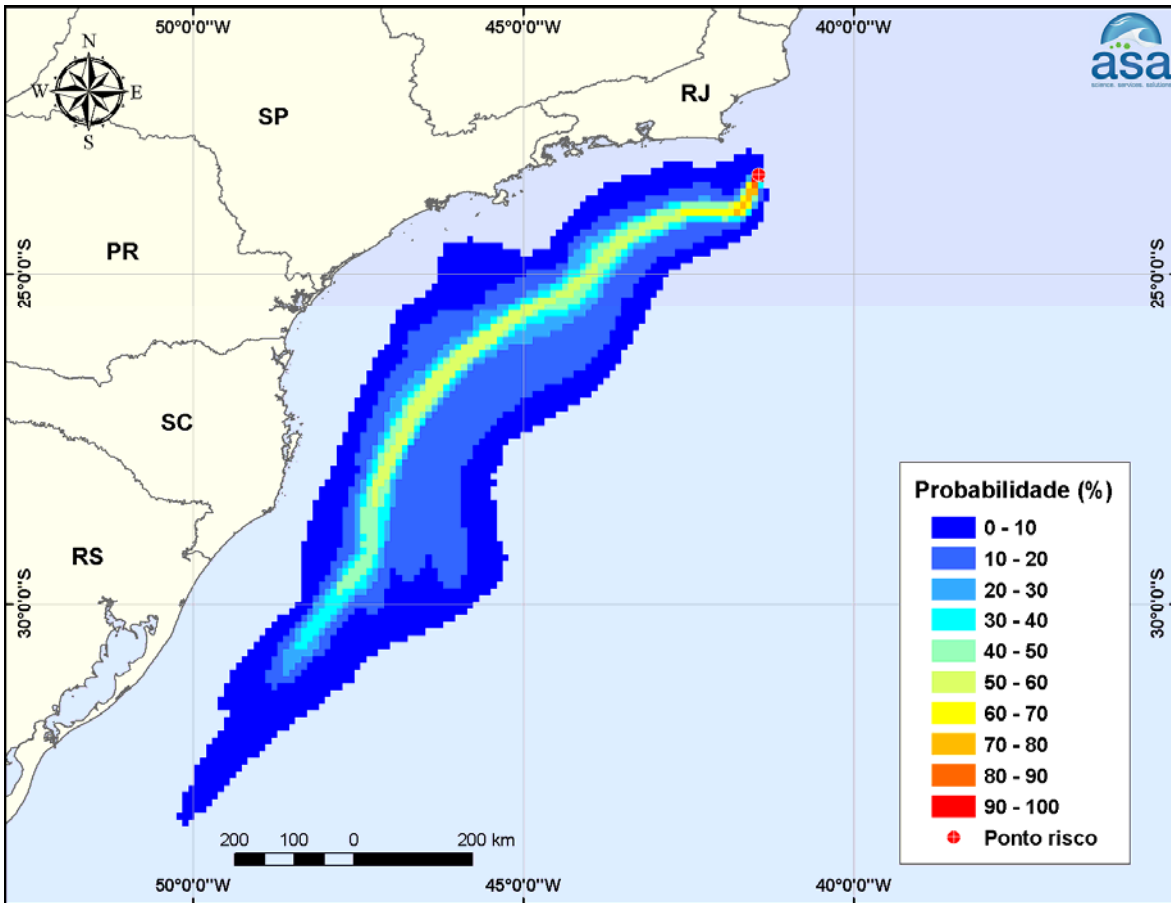


Figura V-7 - Cenário OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

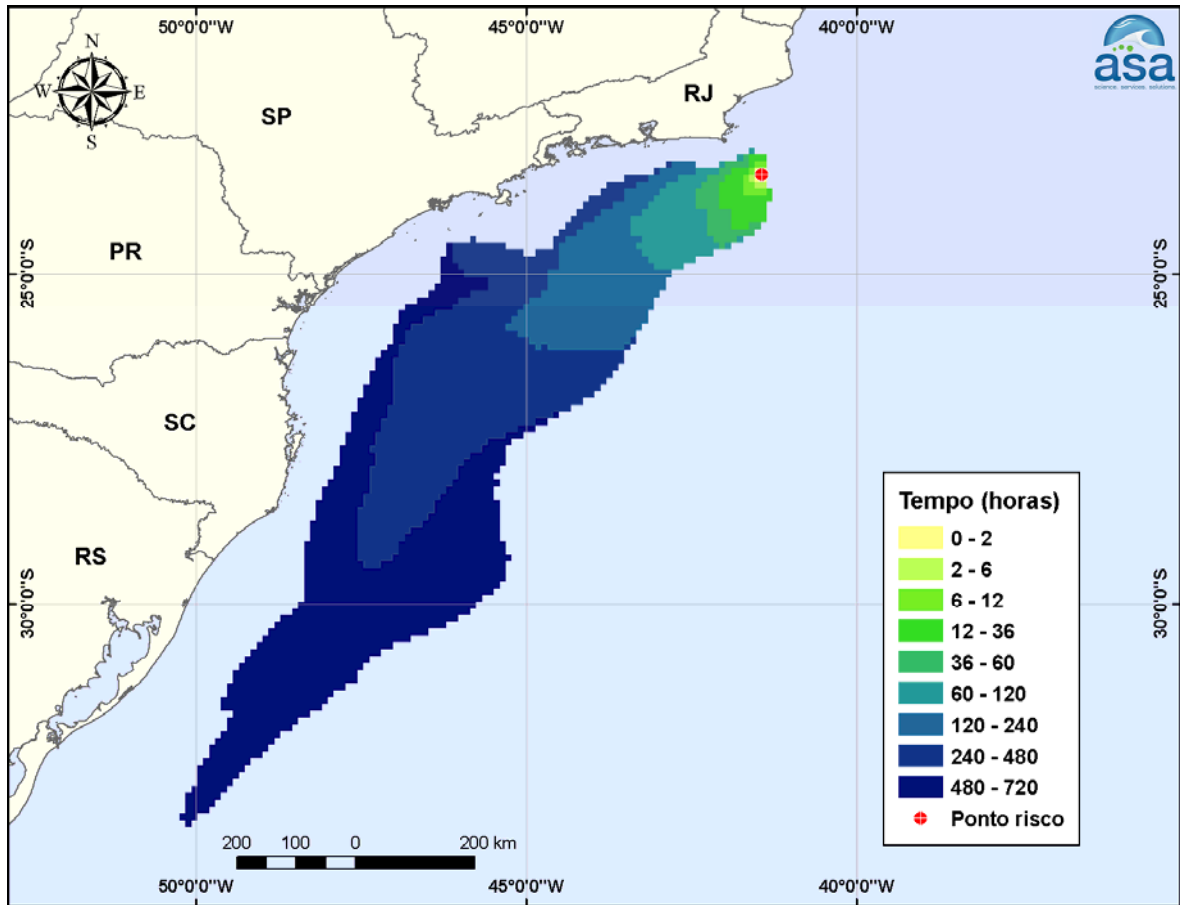


Figura V-8 - Cenário OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

Da Figura V-9 à Figura V-12 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas com derrames com volume médio (200 m³) a partir do Bloco BM-C-41, durante os meses de inverno. Observa-se que há probabilidade de toque na costa.

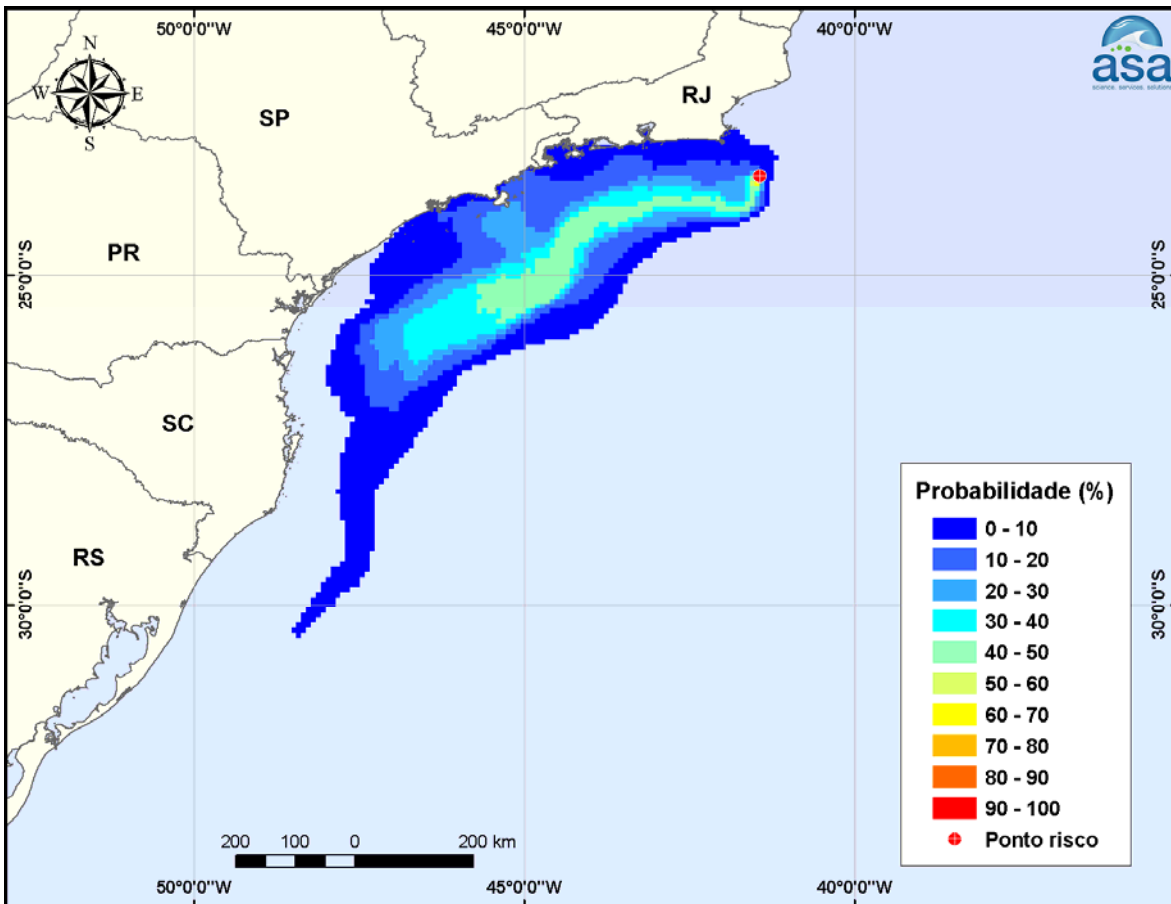


Figura V-9 - Cenário OSX2_TIPOA_200_30D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

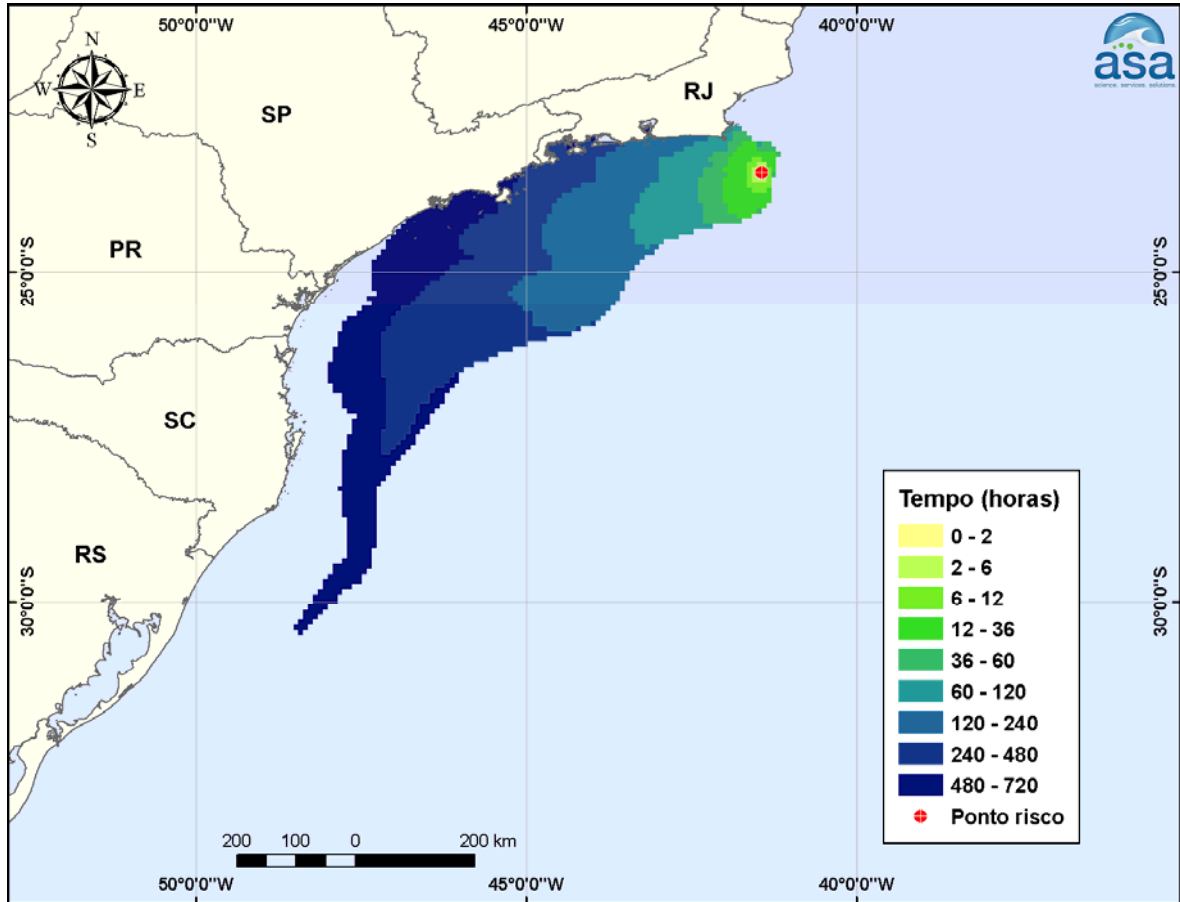


Figura V-10 - Cenário OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

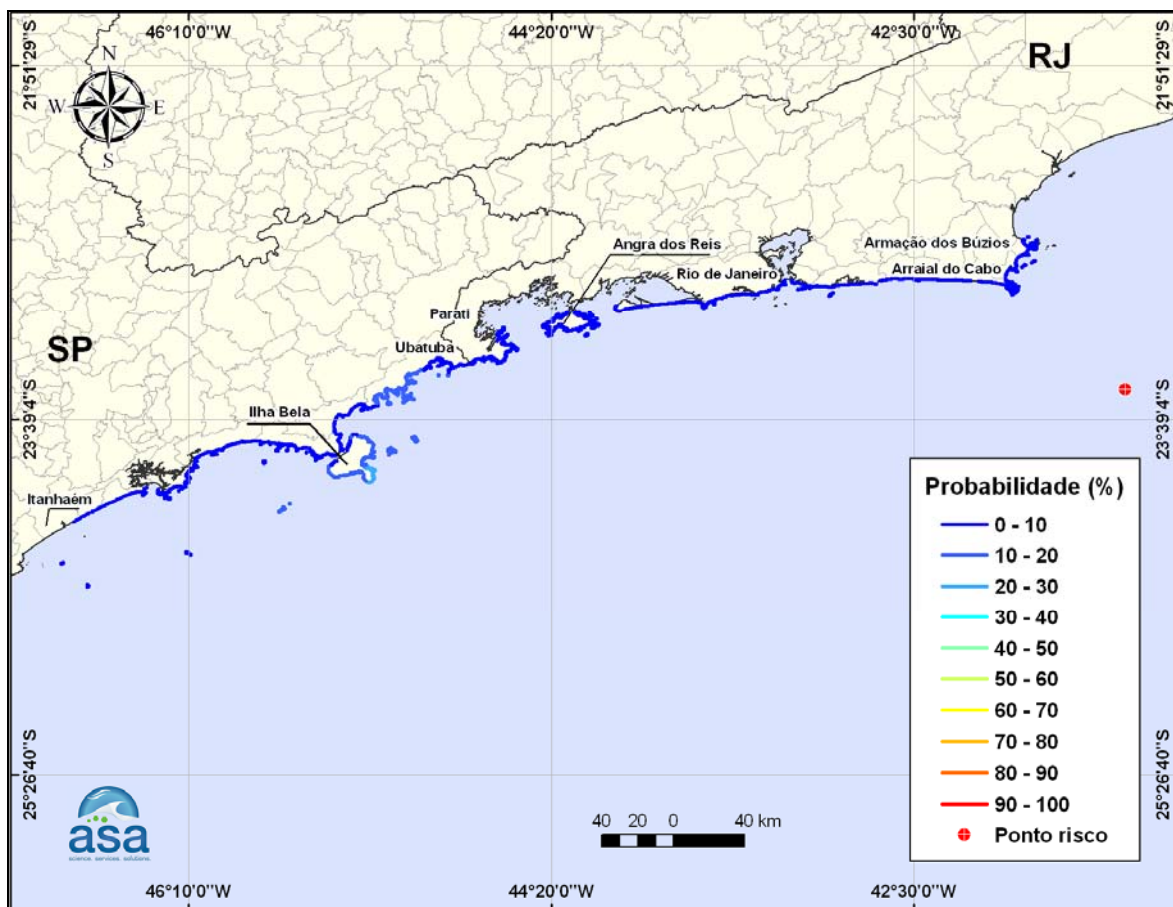


Figura V-11 - Cenário OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Probabilidade de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

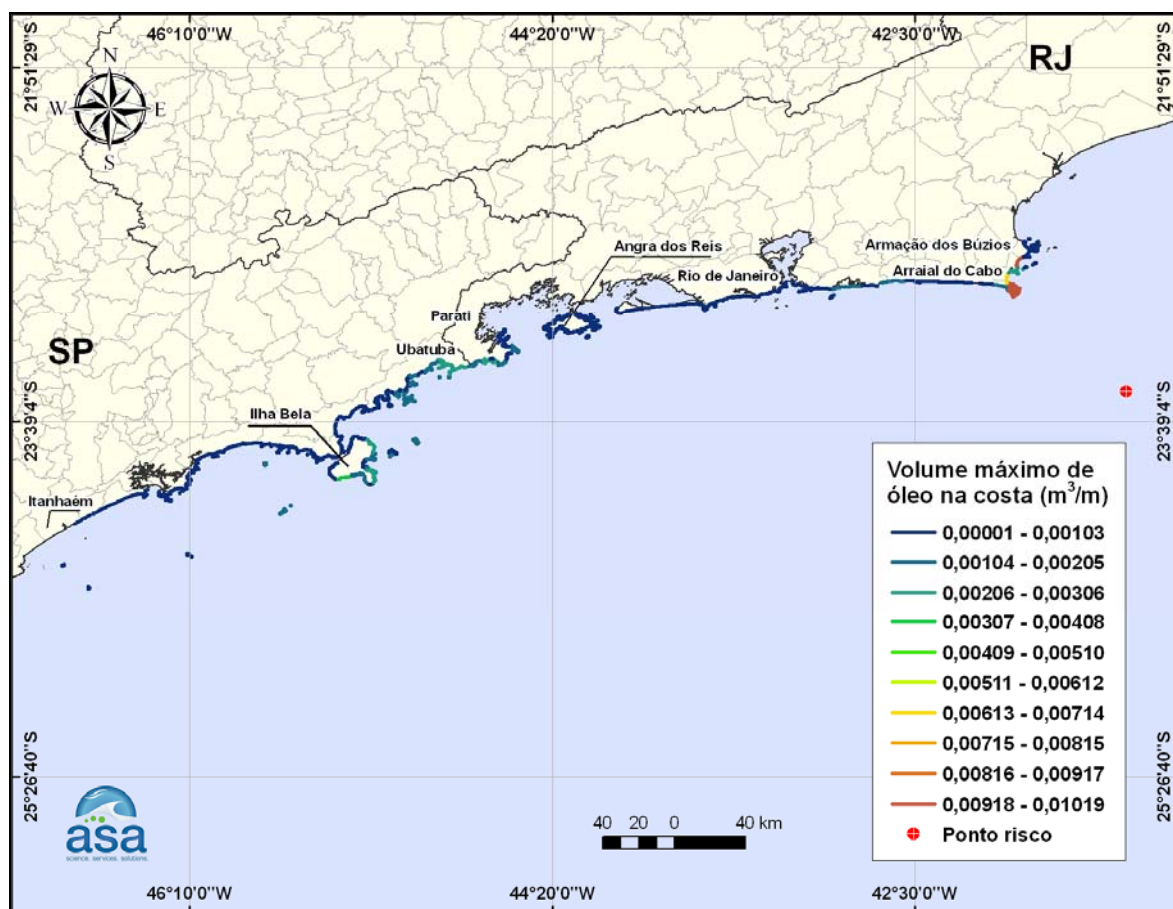


Figura V-12 - Cenário OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Volume máximo de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200 m³ de óleo Tipo A (instantâneo), após 30 dias de simulação.

A Tabela V-5 apresenta a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, resultante das simulações probabilísticas de inverno que apresentaram toque na costa.

Tabela V-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de 200 m³ para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno.

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
RJ	Cabo Frio	1	76	0,01019
	Cabo Frio - Ilha Papagaio	1	76	0,0023
	Armação dos Búzios	1	76	0,01019
	Armação dos Búzios - Ilha Pargos	1	76	0,00005
	Arraial do Cabo	3	76	0,00939
	Arraial do Cabo - Ilha dos Porcos	2	76	0,00939
	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio	2	76	0,00939
	Araruama	2	133	0,00017
	Saquarema	3	144	0,00117
	Maricá	5	146	0,00172
	Maricá - Ilhas Maricas	5	165	0,00043
	Niterói	5	170	0,00019
	Niterói - Ilha da Mãe	4	178	0,00006
	Niterói - Ilha do Pai	4	178	0,00006
	Rio de Janeiro	6	185	0,00039
	Rio de Janeiro - Ilha de Guaratiba	4	247	0,00014
	Rio de Janeiro - Ilha Urupira	4	247	0,00014
	Itaguaí	3	392	0,00046
	Mangaratiba	5	393	0,00061
	Angra dos Reis - Ilha Grande	7	390	0,00078
Angra dos Reis - Ilha Jorge Grego	7	390	0,00057	
Parati	10	407	0,0021	
SP	Ubatuba	14	432	0,00292
	Ubatuba - Ilha Anchieta	14	473	0,00151
	Ubatuba - Ilha Comprida	10	463	0,00292
	Ubatuba - Ilha das Couves	11	454	0,00123
	Ubatuba - Ilha do Mar Virado	13	502	0,00044
	Caraguatatuba	11	541	0,00048
	Caraguatatuba - Ilha do Tamanduá	9	541	0,00021
	Ilhabela	23	344	0,00319
	Ilhabela - Ilha da Vitória	17	344	0,00179
	Ilhabela - Ilha dos Búzios	20	365	0,00157
	Ilhabela - Ilha Sumítica	20	388	0,00157
	São Sebastião	9	558	0,00185
	São Sebastião - Arquipélago de Alcatrazes	18	507	0,0019
	São Sebastião - Ilha do Toque-Toque	7	599	0,001
	Bertioga	8	636	0,00012
	Guarujá	9	640	0,00022
	Guarujá - Ilha da Moela	9	640	0,00022
	Santos	8	661	0,0001

(continua)

Tabela V-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de 200 m³ para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno (continuação).

SP	Santos - Laje de Santos	9	608	0,00044
	São Vicente	5	703	0,00013
	Praia Grande	4	699	0,00013
	Mongaguá	3	708	0,00001
	Itanhaém	2	712	0,00001
	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	3	684	0,00025
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	2	702	0,00012

V.1.3 Simulações Probabilísticas – Volume Pior Caso

As Figuras V-13 e V-14 apresentam os resultados das simulações probabilísticas com derrames a partir do Bloco BM-C-41 (OSX-2), durante os meses de verão. Observa-se que não há probabilidade de toque na costa e que, em praticamente todas as simulações, as manchas deslocaram-se para sudoeste, seguindo a orientação da Corrente do Brasil. A menor distância da mancha em relação à costa é de 28 km em relação ao Município de Arraial do Cabo (RJ).

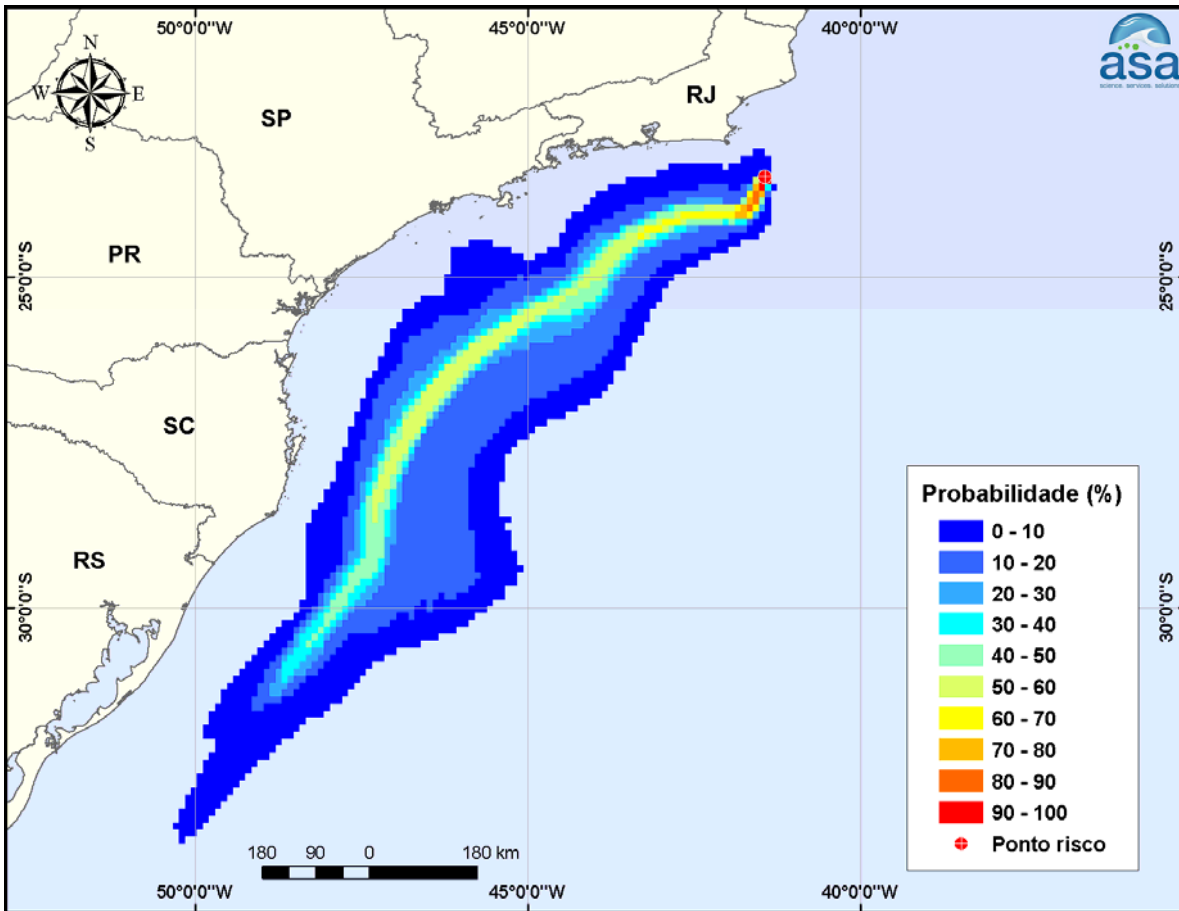


Figura V-13 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.

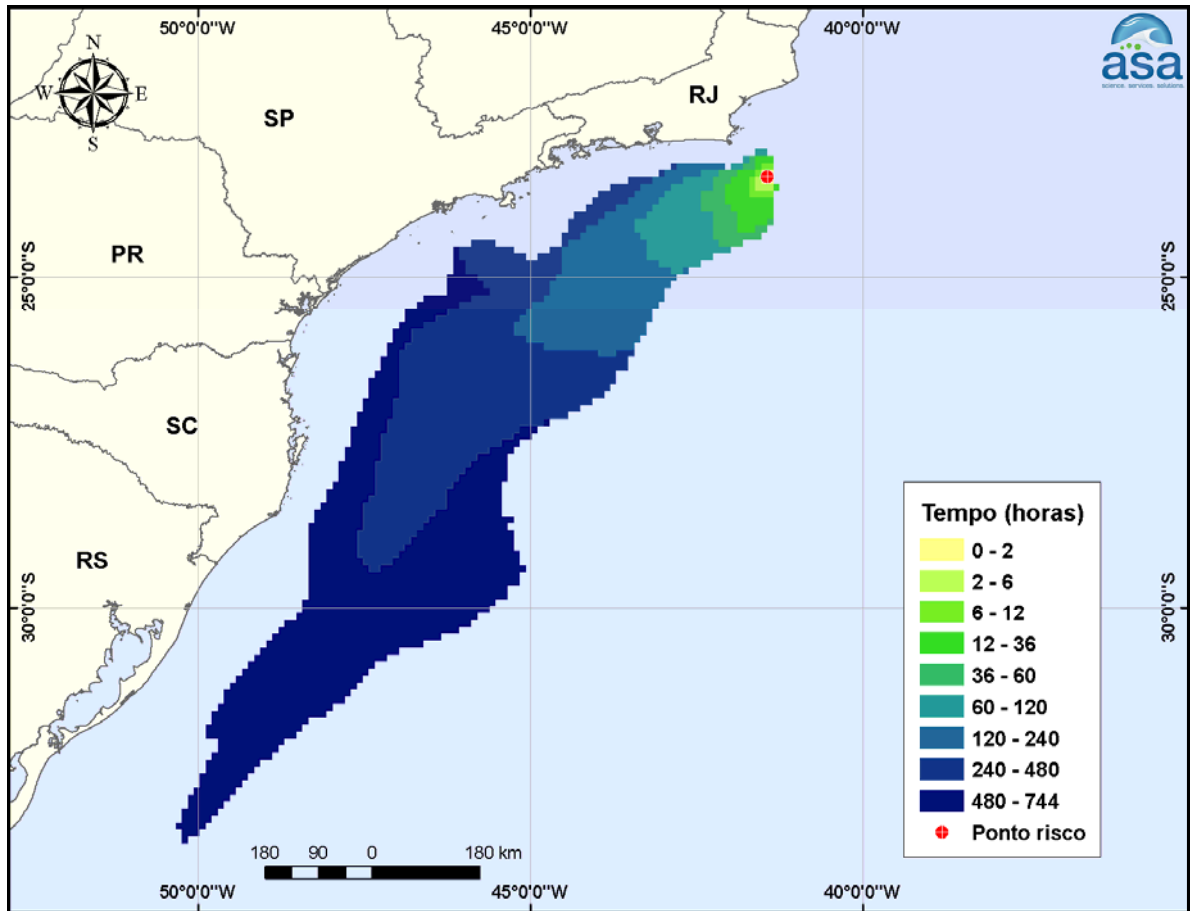


Figura V-14 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.

Na Figura V-15 à Figura V-18 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas com derrames a partir do Bloco BM-C-41 (OSX2), durante os meses de inverno. A maior probabilidade de toque na costa (24%) ocorreu no Município de Ilhabela (SP) e o maior volume de óleo por metro na costa ocorreu em Cabo Frio e Arraijal do Cabo (8,11625 m³/m), no Estado do Rio de Janeiro.

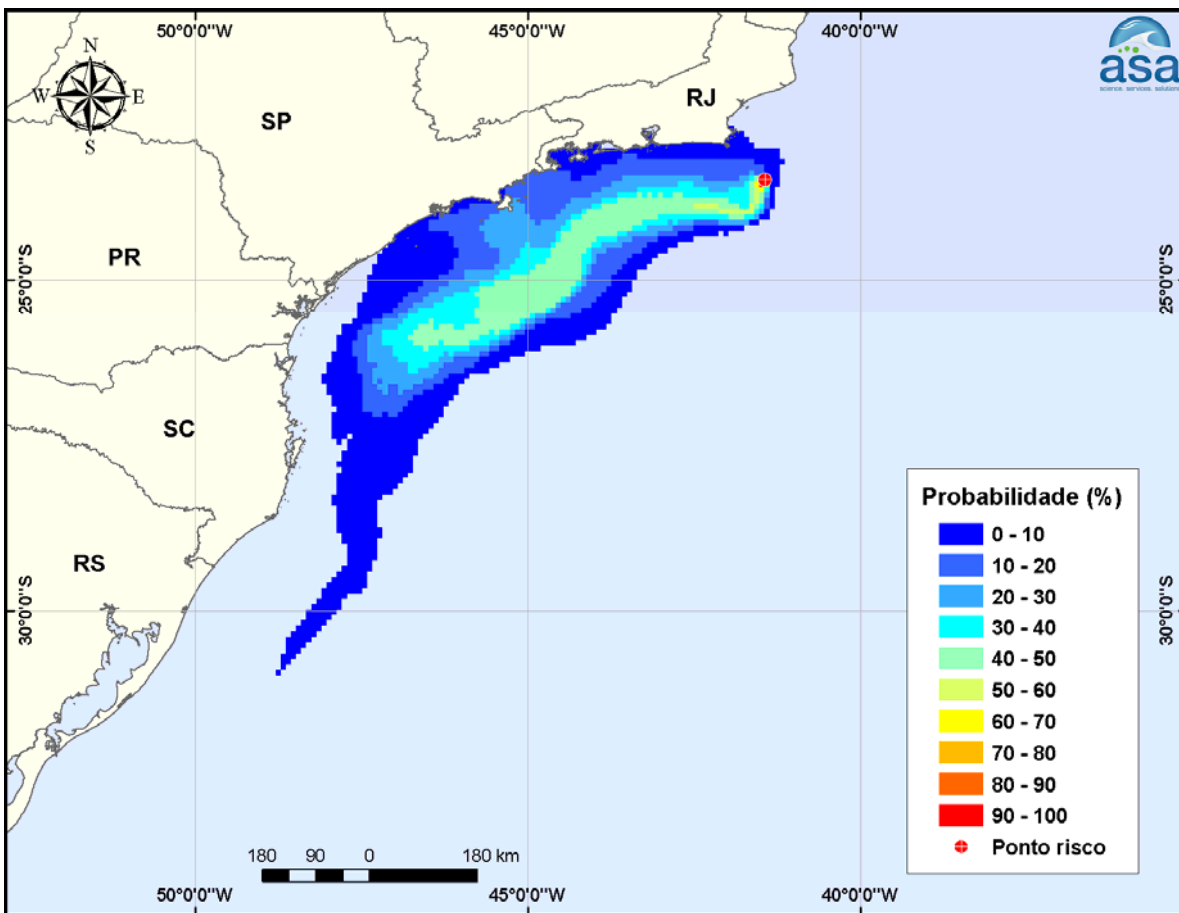


Figura V-15 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.

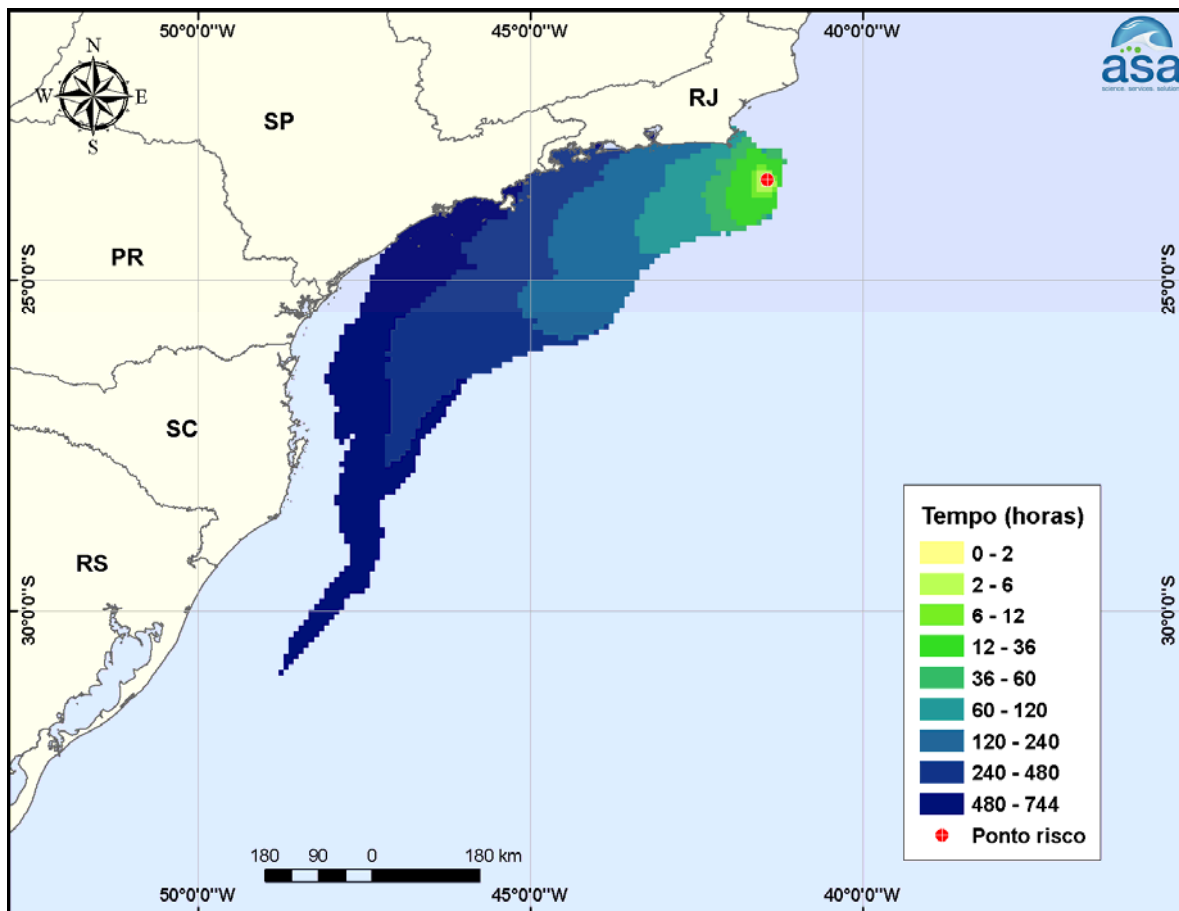


Figura V-16 - Cenário *OSX2_TIPOA_PC_INV_31D*. Contornos do tempo de deslocamento do óleo na água para um acidente a partir do FPSO *OSX-2*, Bloco *BM-C-41*, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.

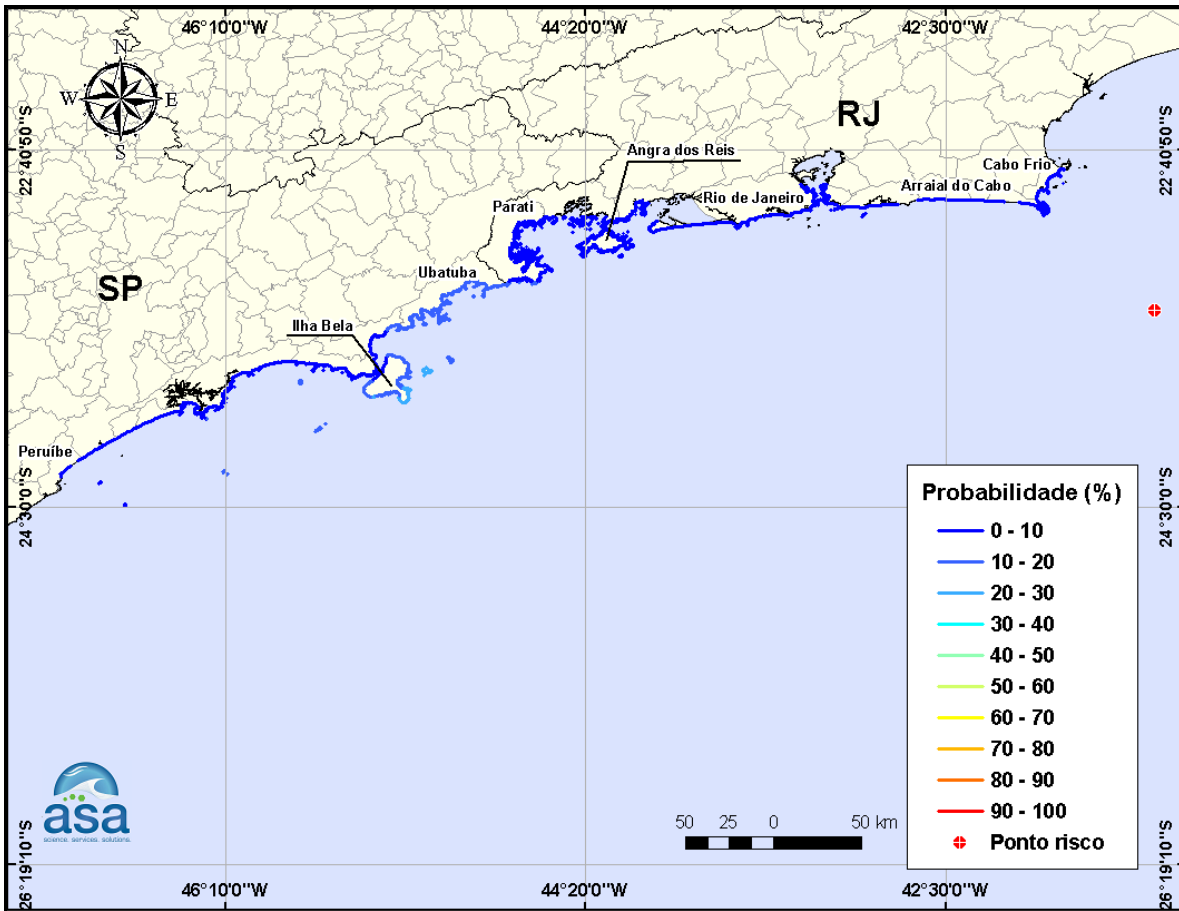


Figura V-17 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Probabilidade de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.

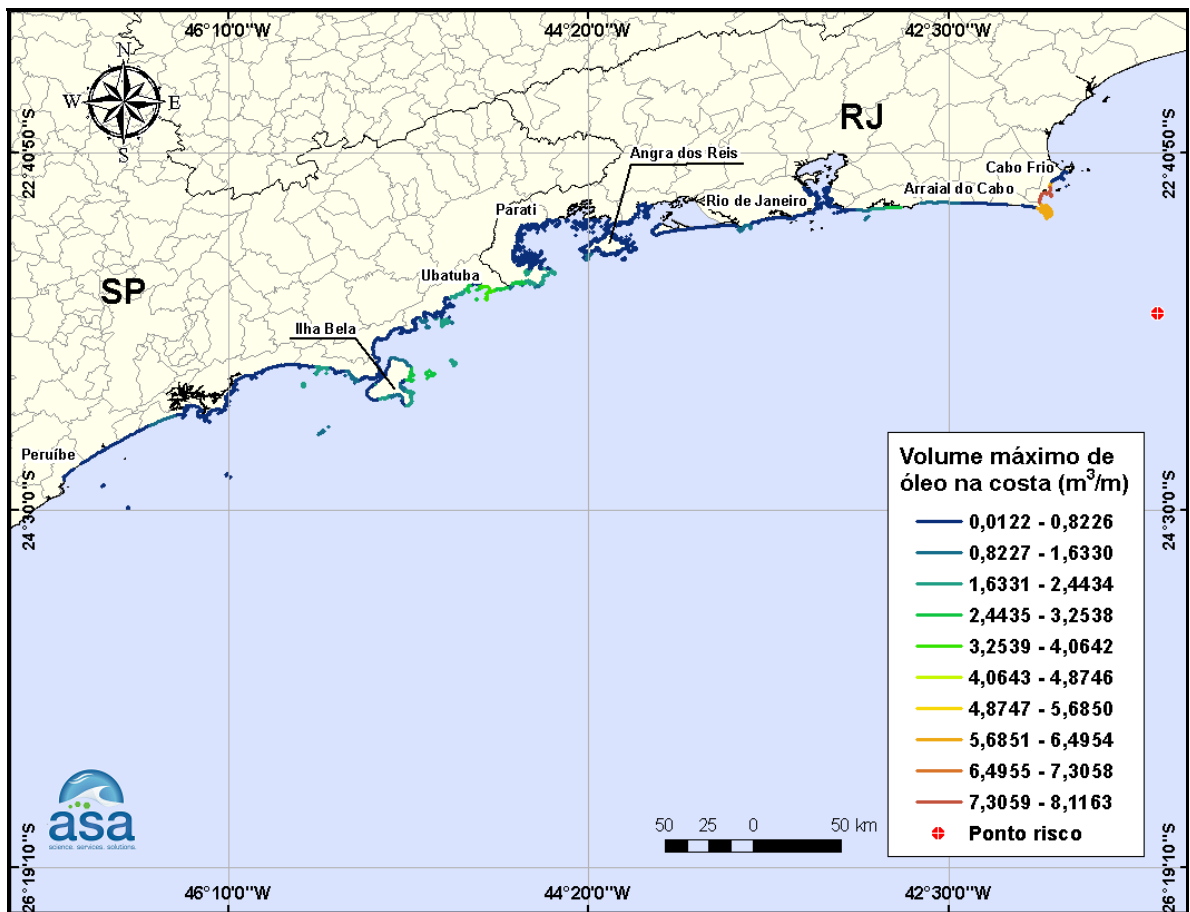


Figura V-18 - Cenário OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Volume máximo de óleo na costa para um acidente a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 240.115,7 m³ de óleo Tipo A (ao longo de 12 horas), após 31 dias de simulação.

A Tabela V-6 apresenta a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, resultante das simulações probabilísticas de inverno que apresentaram toque na costa.

Tabela V-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de pior caso para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno.

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
RJ	Cabo Frio	3	81	8,11625
	Cabo Frio - Ilha Papagaio	2	84	8,11625
	Armação dos Búzios	2	81	5,81648
	Armação dos Búzios - Ilha Pargos	1	81	0,0555
	Arraial do Cabo	3	76	8,11625
	Arraial do Cabo - Ilha dos Porcos	3	76	6,20045
	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio	3	76	6,20045
	Araruama	3	136	0,37731
	Saquarema	4	148	1,27018
	Maricá	7	154	2,73089
	Maricá - Ilhas Marica	6	166	0,90295
	Niterói	7	174	0,31671
	Niterói - Ilha da Mãe	6	178	0,12557
	Niterói - Ilha do Pai	6	178	0,12557
	Rio de Janeiro	7	182	0,95981
	Rio de Janeiro - Ilha de Guaratiba	7	255	0,95981
	Rio de Janeiro - Ilha Urupira	7	255	0,95981
	Itaguaí	5	270	0,42692
	Mangaratiba	6	399	0,42692
	Mangaratiba - Ilha de Guaíba	4	458	0,19957
	Angra dos Reis	6	433	0,57483
	Angra dos Reis - Ilha da Gipóia	4	433	0,57483
	Angra dos Reis - Ilha Grande	9	397	0,88186
Angra dos Reis - Ilha Jorge Grego	9	397	0,52045	
Parati	12	417	2,58712	
SP	Ubatuba	17	429	4,00146
	Ubatuba - Ilha Anchieta	17	475	1,9992
	Ubatuba - Ilha Comprida	13	452	4,00146
	Ubatuba - Ilha das Couves	13	452	4,00146
	Ubatuba - Ilha do Mar Virado	13	512	0,96235
	Caraguatatuba	13	531	0,60032
	Caraguatatuba - Ilha do Tamanduá	13	542	0,17434
	Ilhabela	24	352	2,87809
	Ilhabela - Ilha da Vitória	18	352	1,69662
	Ilhabela - Ilha dos Búzios	21	401	2,71362
	Ilhabela - Ilha Sumítica	21	401	2,71362
	São Sebastião	11	575	2,14093
	São Sebastião - Arquipélago de Alcatrazes	20	490	1,31307

(continua)

Tabela V-6 - Lista de municípios com probabilidade de toque para o cenário de derrame de pior caso para o Bloco BM-C-41 (OSX-2), óleo Tipo A, inverno (continuação).

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m ³ /m)
SP	São Sebastião - Ilha do Toque-Toque	14	588	0,8544
	Bertioga	6	643	0,13537
	Guarujá	10	651	0,44452
	Guarujá - Ilha da Moela	11	644	0,46899
	Santos	7	668	0,13537
	Santos - Laje de Santos	11	583	0,69553
	São Vicente	5	712	0,15984
	Praia Grande	8	684	1,1675
	Mongaguá	5	708	0,61409
	Itanhaém	4	713	0,3683
	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	5	679	0,78722
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	3	708	0,28227
	Peruíbe	1	740	0,01228

V.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno, para os derrames a partir do Bloco BM-C-41, Bacia de Campos. Em cada período, de todas as 500 simulações realizadas para cada volume de óleo, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa ou a menor distância em relação a esta (para aqueles onde não há probabilidade de toque).

A Tabela V-7 apresenta um resumo dos cenários determinísticos críticos que apresentaram toque de óleo na costa. Observa-se que o menor tempo para o óleo atingir a costa foi igual para os três volumes de óleo derramados.

Tabela V-7 - Resumo dos cenários determinísticos críticos com probabilidade de toque de óleo na costa.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	MUNICÍPIO DO PRIMEIRO TOQUE	VOLUME FINAL DE ÓLEO NA COSTA (m ³)
DET_OSX2_TIPOA_8_INV_30D	23/07/1992 - 08:00 h	76	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio - RJ	3,0
DET_OSX2_TIPOA_200_INV_30D	23/07/1992 - 08:00 h	76	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio - RJ	75,0
DET_OSX2_TIPOA_PC_INV_30D	23/07/1992 - 08:00 h	76	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio - RJ	17.330,0

A Tabela V-8 apresenta um resumo dos cenários determinísticos críticos que não apresentaram toque de óleo na costa, tendo sido, neste caso, adotado o critério da simulação que ocasionou uma trajetória do óleo mais próximo à costa.

Tabela V-8 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão sem probabilidade de toque na costa.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	MENOR DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À COSTA (km)	MUNICÍPIO MAIS PRÓXIMO
DET_OSX2_TIPOA_8_VER_30D	05/01/1992 - 06:00 h	28,0	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio - RJ
DET_OSX2_TIPOA_200_VER_30D	05/01/1992 - 06:00 h	28,0	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio - RJ
DET_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D	05/01/1992 - 06:00 h	28,0	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio - RJ

Na apresentação dos resultados determinísticos críticos foram elaborados dois tipos de figuras para cada cenário. Na primeira figura apresenta-se a espessura da mancha no instante de primeiro toque, sendo que os valores da mesma são representados pela escala de cores indicada nas legendas. Nesta mesma figura, a cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os dias de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura.

A segunda figura do cenário apresenta o gráfico com o balanço de massa da simulação (óleo na superfície, na coluna d'água, costa e evaporado), onde é possível visualizar os processos de intemperismo atuantes sobre a mancha de óleo durante a respectiva simulação.

Para as simulações determinísticas críticas com derrame de volume de pior caso são também apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes que proporcionaram a menor distância da trajetória do óleo em relação à costa, para o cenário de verão, e o primeiro toque de óleo na costa, para o cenário de inverno.

V.2.1 Simulações Determinísticas Críticas – Volume Pequeno

Da Figura V-19 à Figura V-22 são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão e inverno com volume de derrame pequeno (8 m^3) de óleo Tipo A, Bloco BM-C-41 (OSX-2). Para o período de verão, a menor distância da mancha de óleo em relação à costa foi de 28 km (Arraial do Cabo – Ilha Cabo Frio – RJ). Para o período de inverno, o menor tempo de toque na costa foi de 76 horas, ocorrendo na Ilha Cabo Frio, Município de Arraial do Cabo (RJ). Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 30% do óleo derramado evaporou.

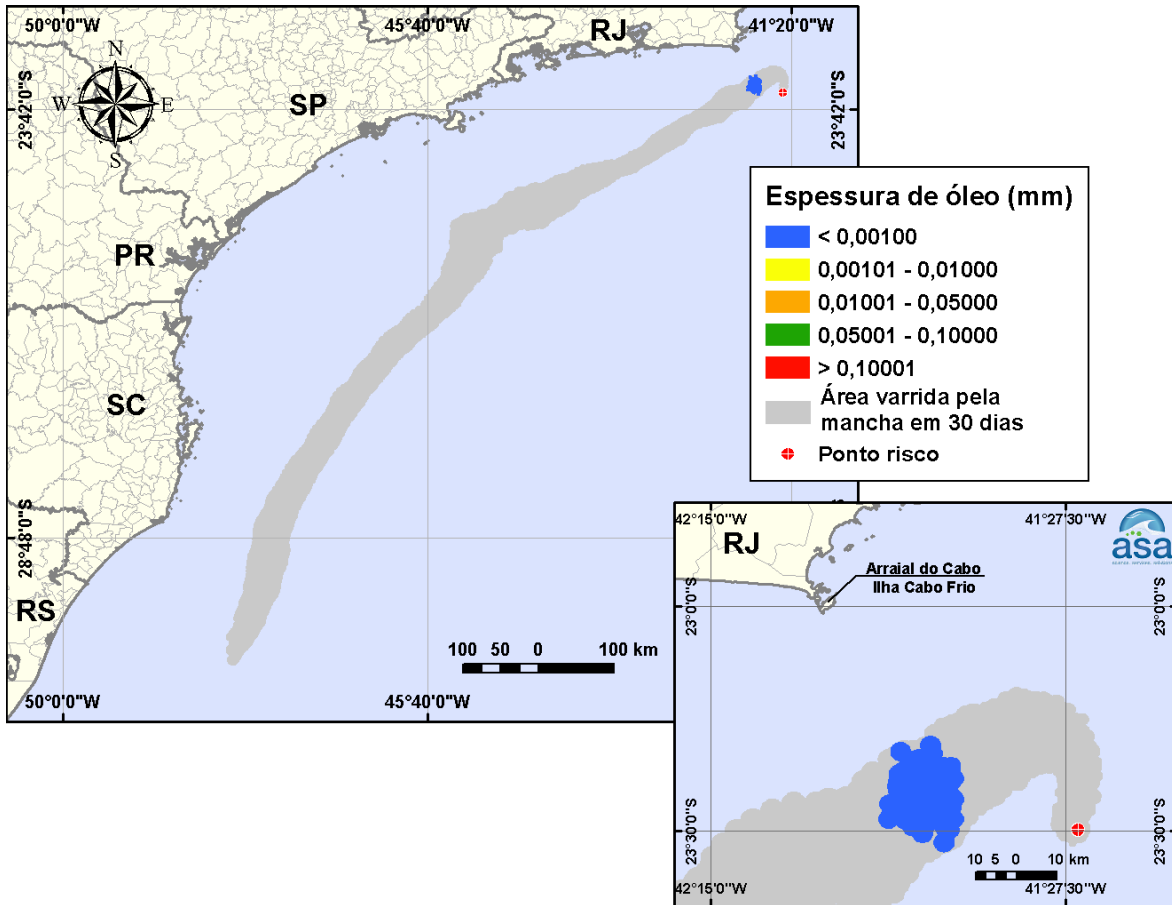


Figura V-19 - DET_OSX2_TIOA_8_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 8 m³ ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

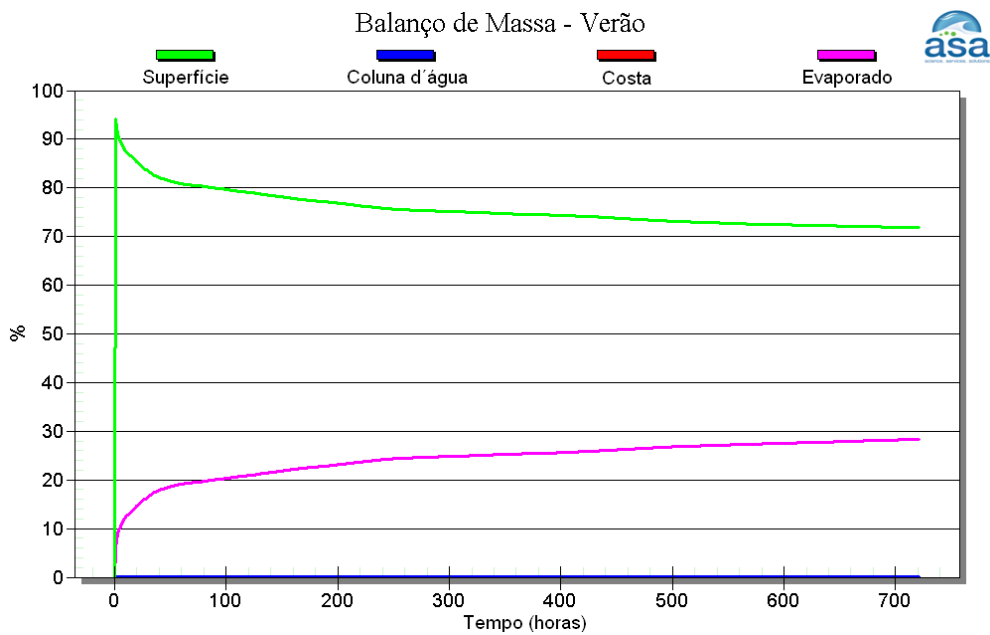


Figura V-20 - Balanco de massa do cenário DET_OSX2_TIOA_8_VER_30D.

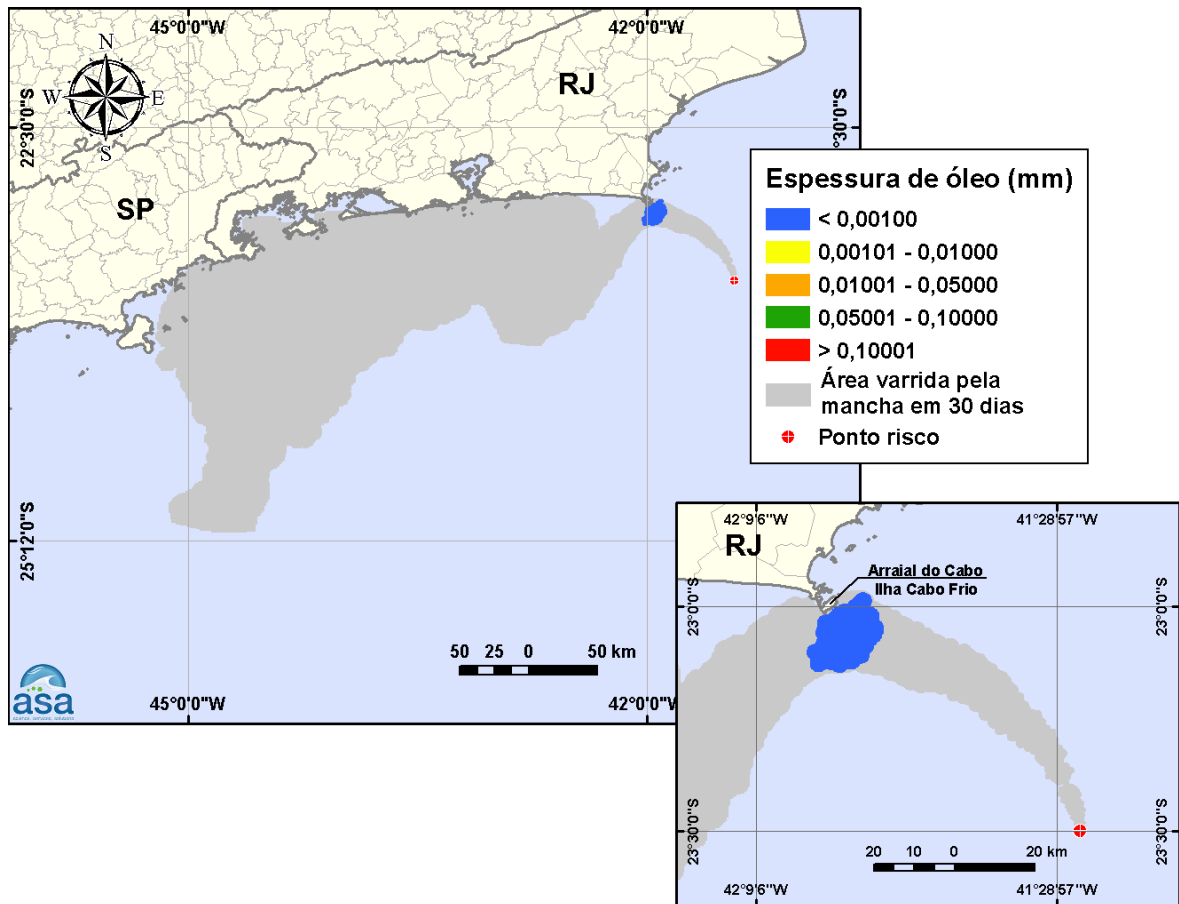


Figura V-21 - DET_OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 8 m³ ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

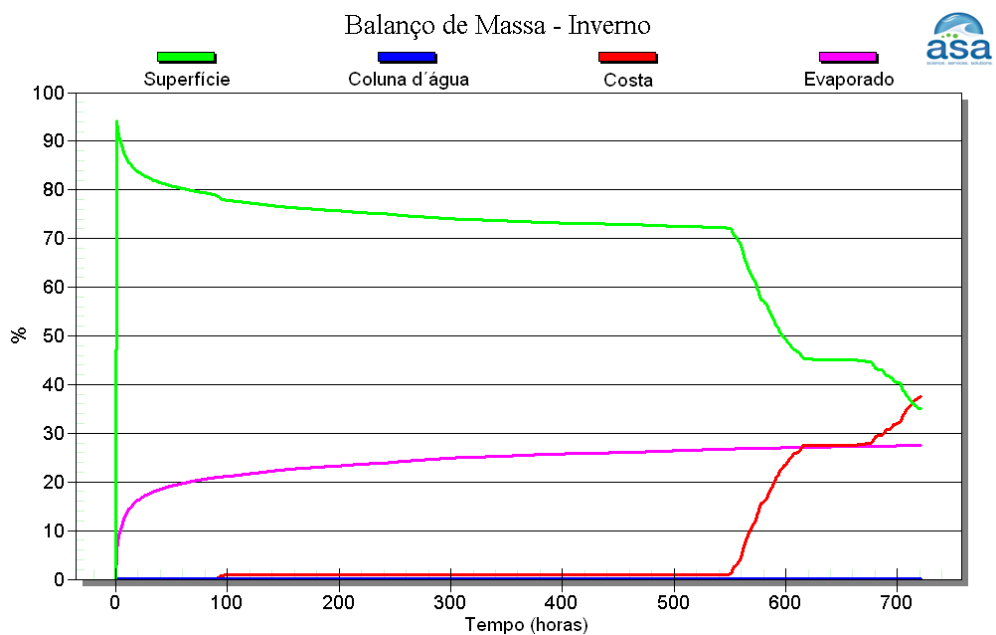


Figura V-22 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_8_INV_30D.

V.2.2 Simulações Determinísticas Críticas – Volume Médio

Da Figura V-23 à Figura V-26 são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão e inverno com volume de derrame médio (200 m³) de óleo Tipo A, Bloco BM-C-41 (OSX2). Para o período de verão, a menor distância da mancha de óleo em relação à costa foi de 28 km (Arraial do Cabo – Ilha Cabo Frio – RJ). Para o período de inverno, o menor tempo de toque na costa foi de 76 horas, ocorrendo na Ilha Cabo Frio, Município de Arraial do Cabo (RJ). Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 30% do óleo derramado evaporou.

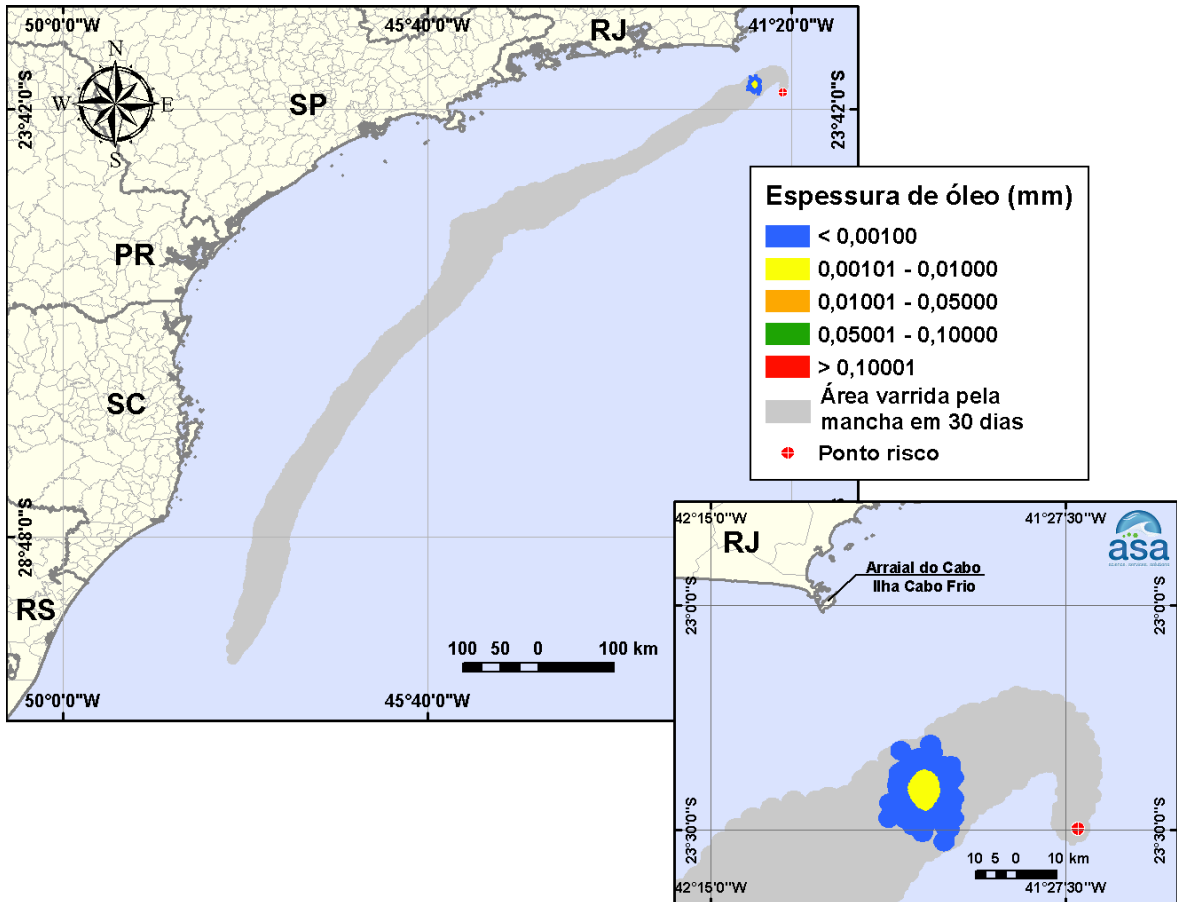


Figura V-23 - DET_OSX2_TPOA_200_VER_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 200 m³ ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

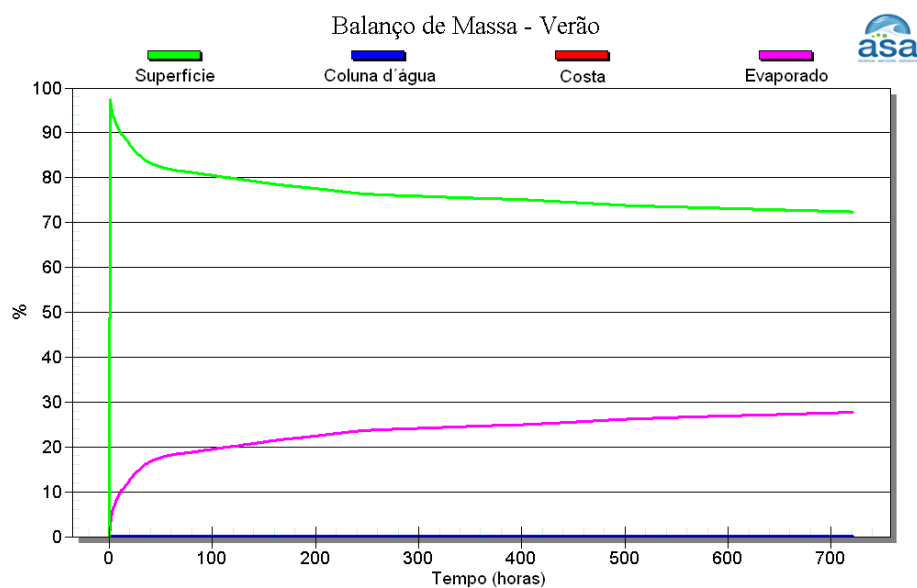


Figura V-24 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TPOA_200_VER_30D.

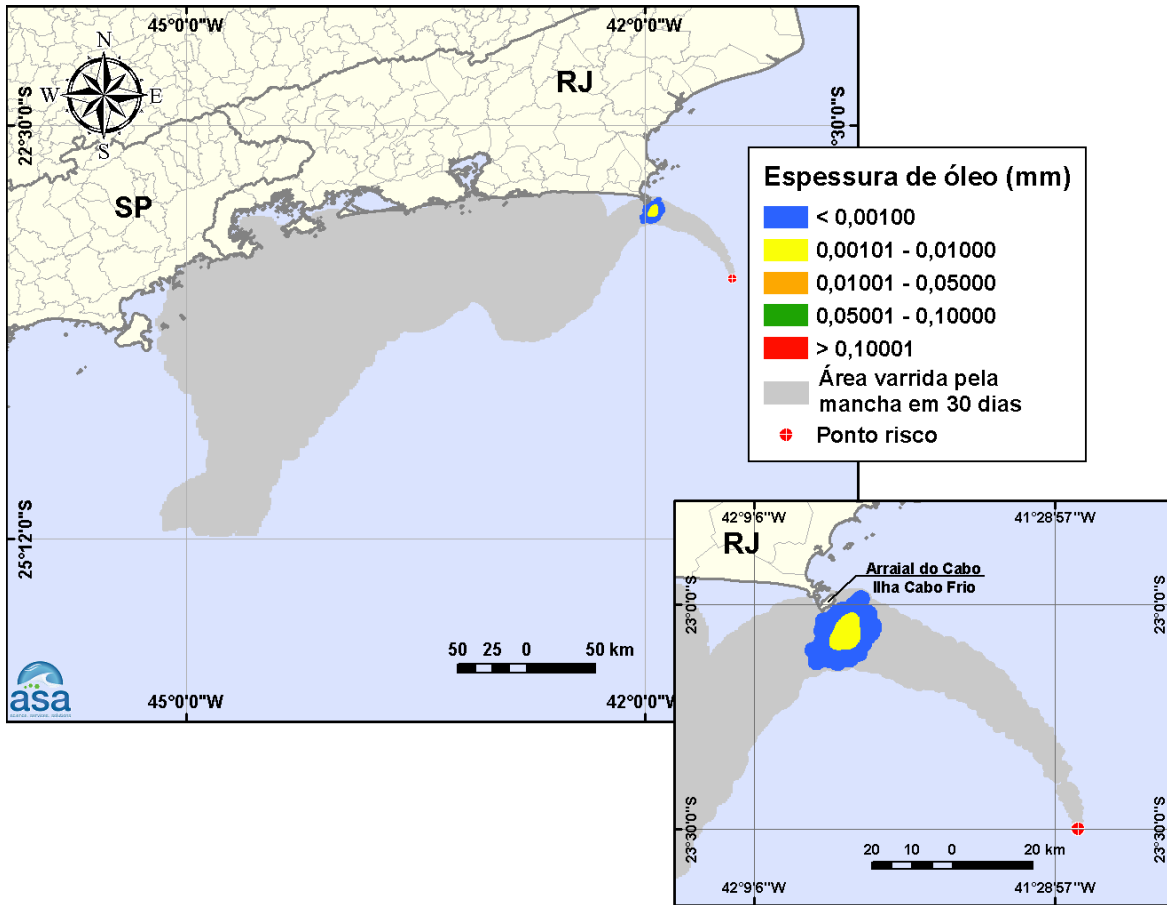


Figura V-25 - DET_OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 200 m³ ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

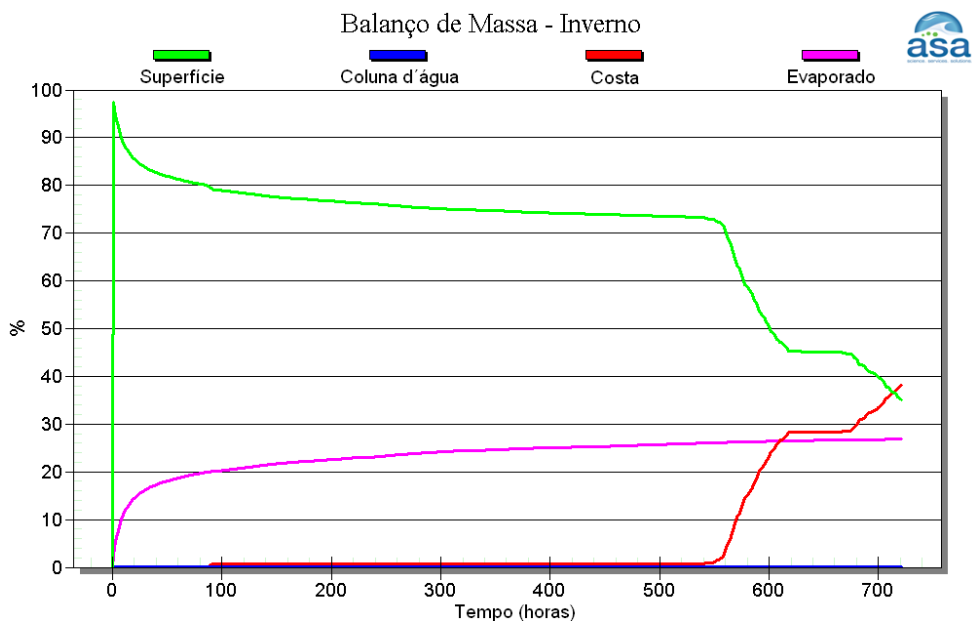


Figura V-26 - Balanco de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_200_INV_30D.

V.2.3 Simulações Determinísticas Críticas – Volume Pior Caso

Da Figura V-27 à Figura V-30 são apresentados os resultados das simulações determinísticas críticas de verão e inverno com volume de derrame de pior caso, 1.510.283,0 bbl (240.115,7 m³) de óleo Tipo A, Bloco BM-C-41 (OSX-2). Para o período de verão, a menor distância da mancha de óleo em relação à costa foi de 28 km (Arraial do Cabo – Ilha Cabo Frio). Para o período de inverno, o menor tempo de toque na costa foi de 76 horas, ocorrendo na Ilha Cabo Frio, Município de Arraial do Cabo (RJ). Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 20% do óleo derramado evaporou.

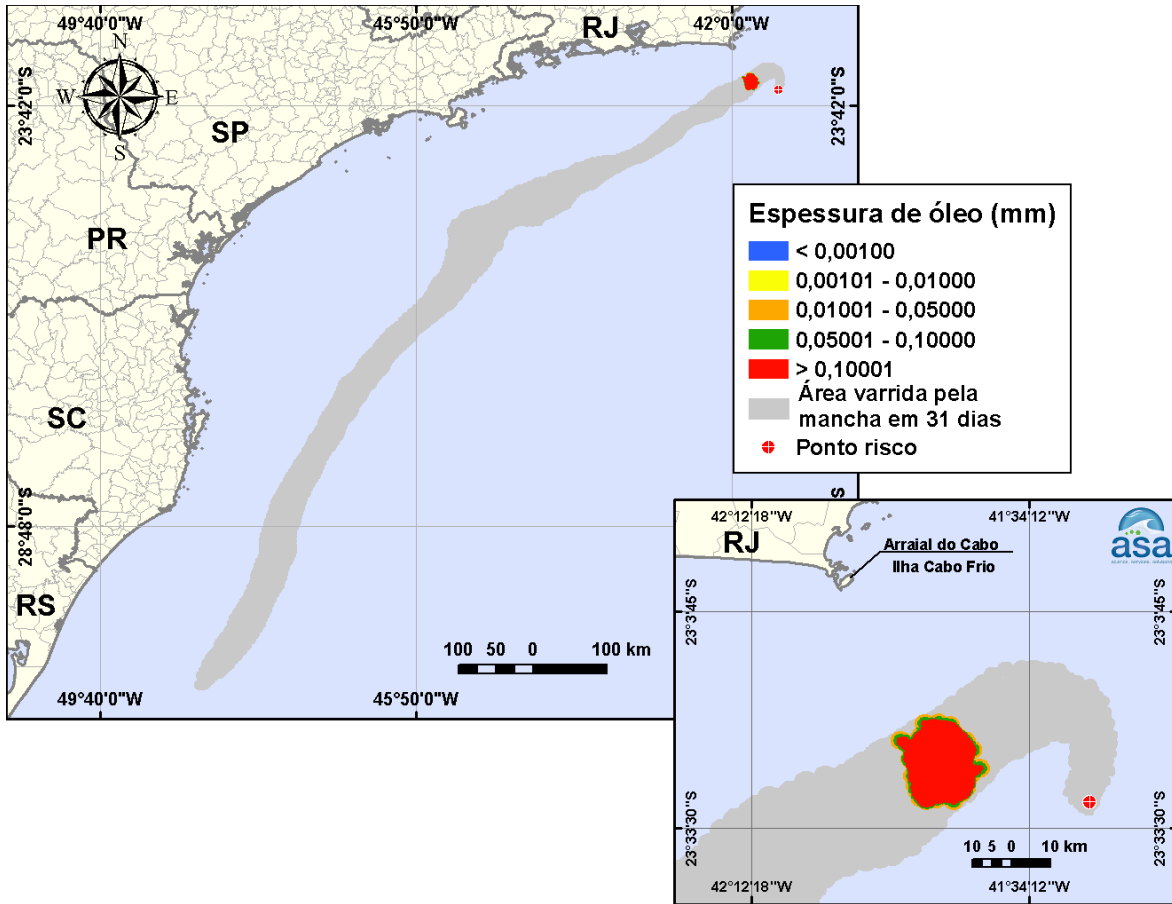


Figura V-27 - DET_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Baía de Campos.

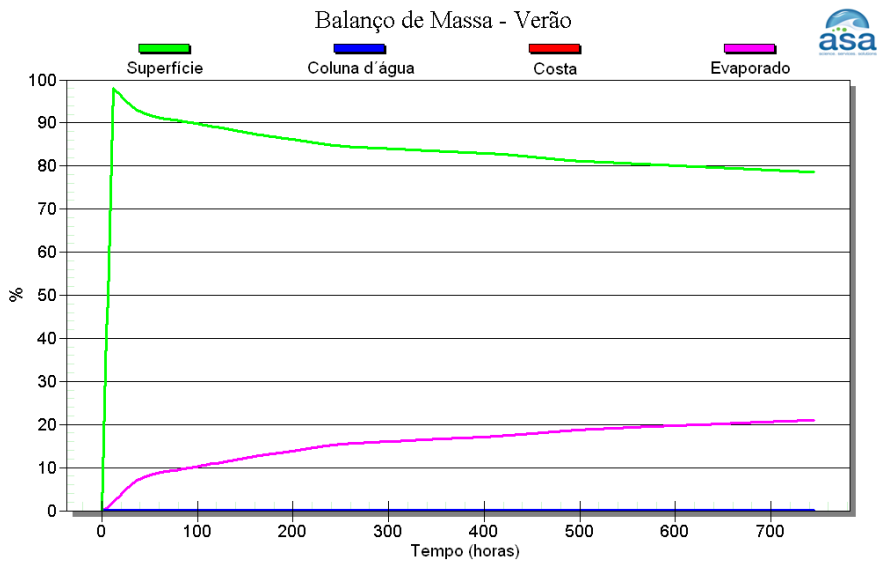


Figura V-28 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D.

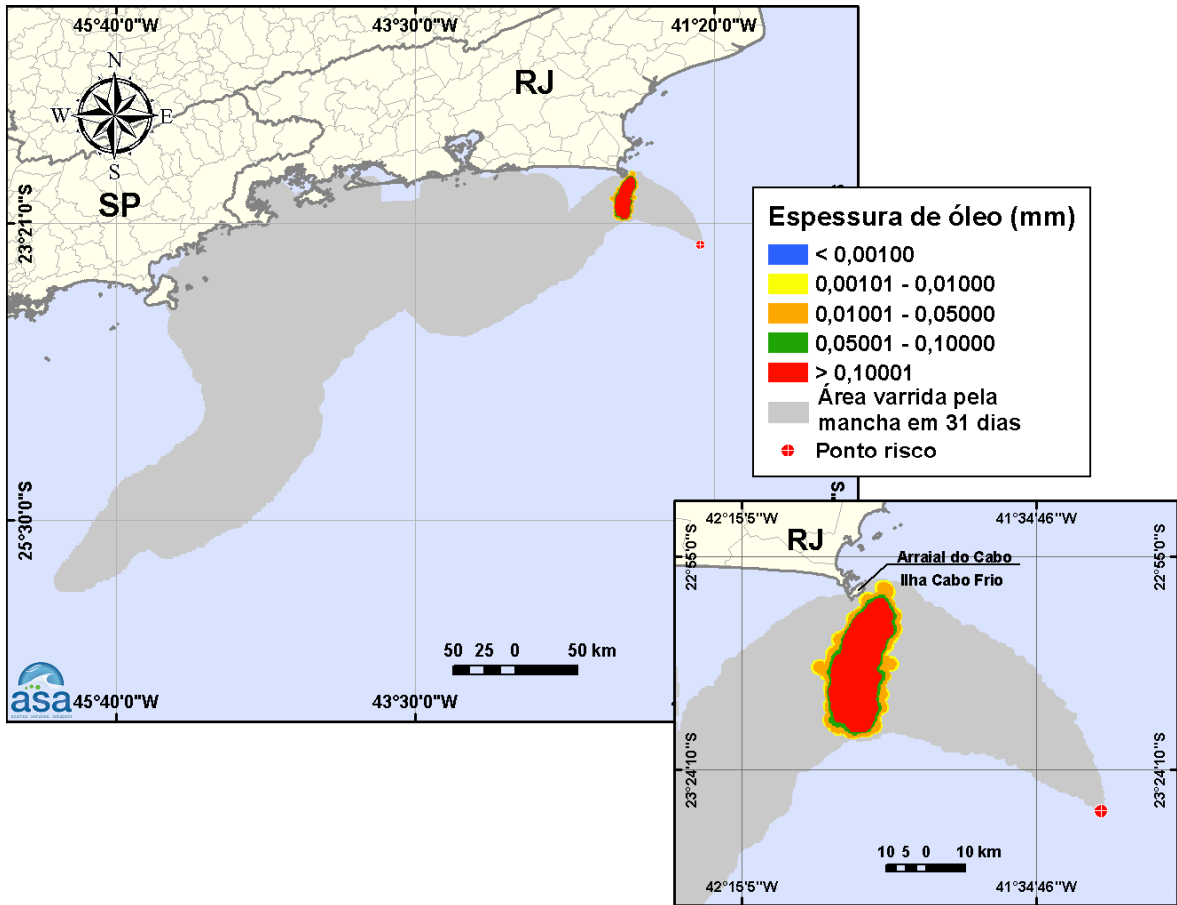


Figura V-29 - DET_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

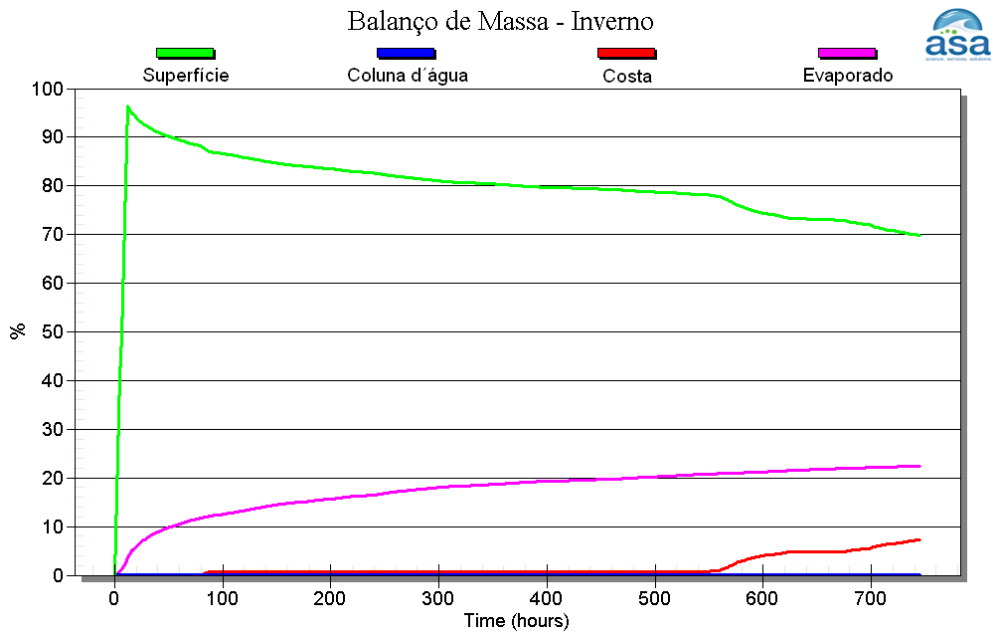


Figura V-30 - Balanço de massa do cenário DET_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D.

Para as simulações determinísticas críticas com derrame de volume de pior caso são também apresentadas ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas que proporcionaram a menor distância em relação à costa, durante o cenário de verão (Figura V-31 à Figura V-33), e o primeiro toque na costa, durante o cenário de inverno (Figura V-34 à Figura V-36) para o Bloco BM-C-41 (OSX-2).

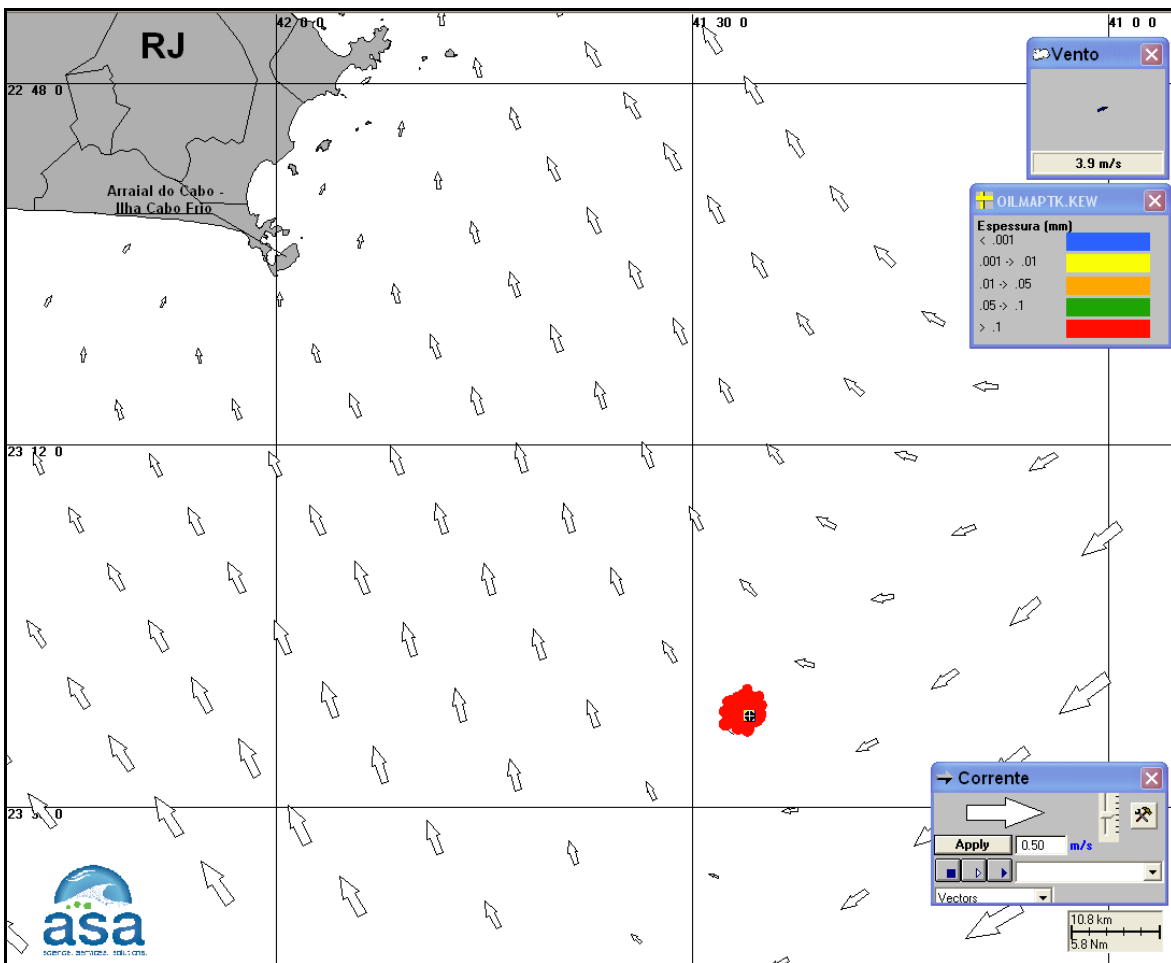


Figura V-31 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-NW; Vento-WSW.

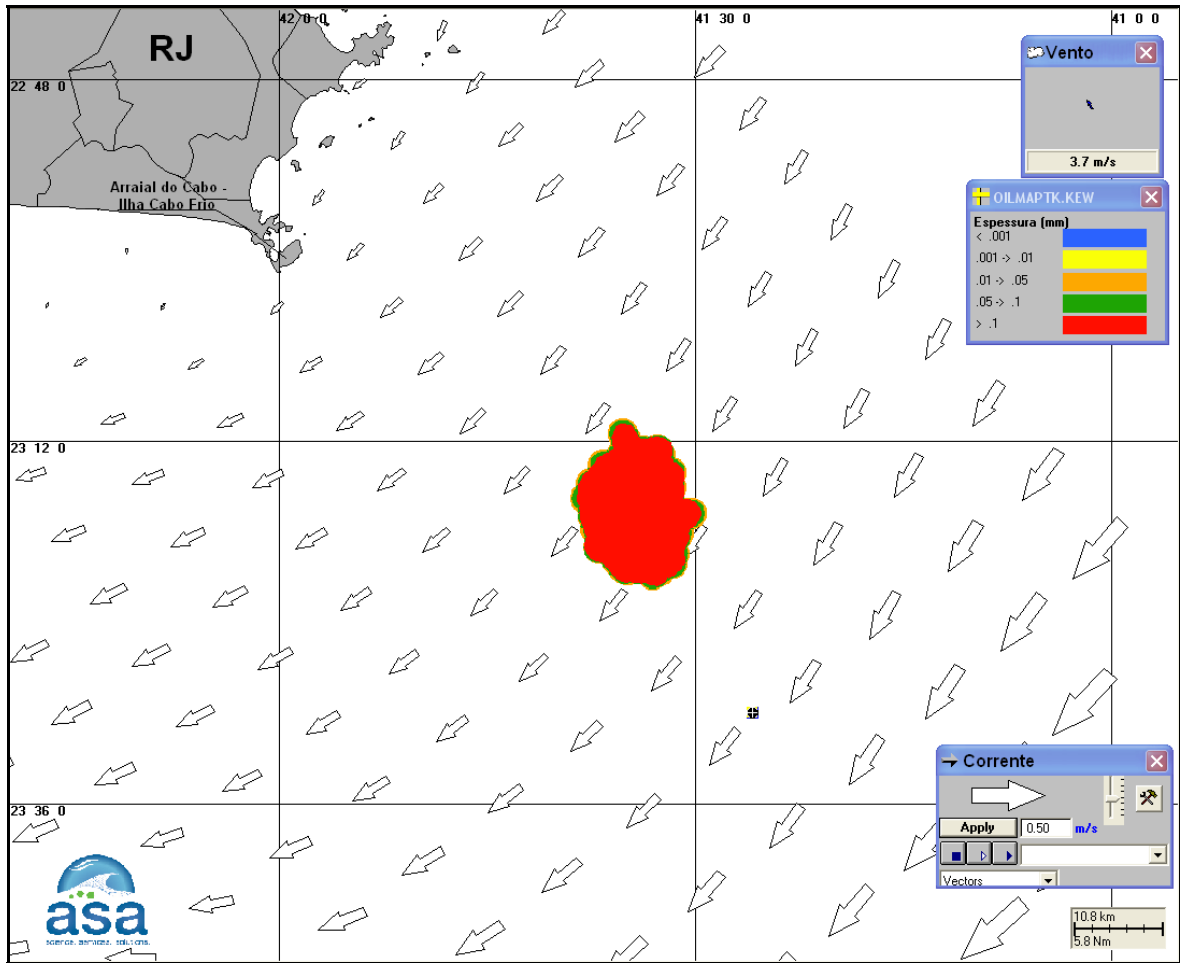


Figura V-32 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

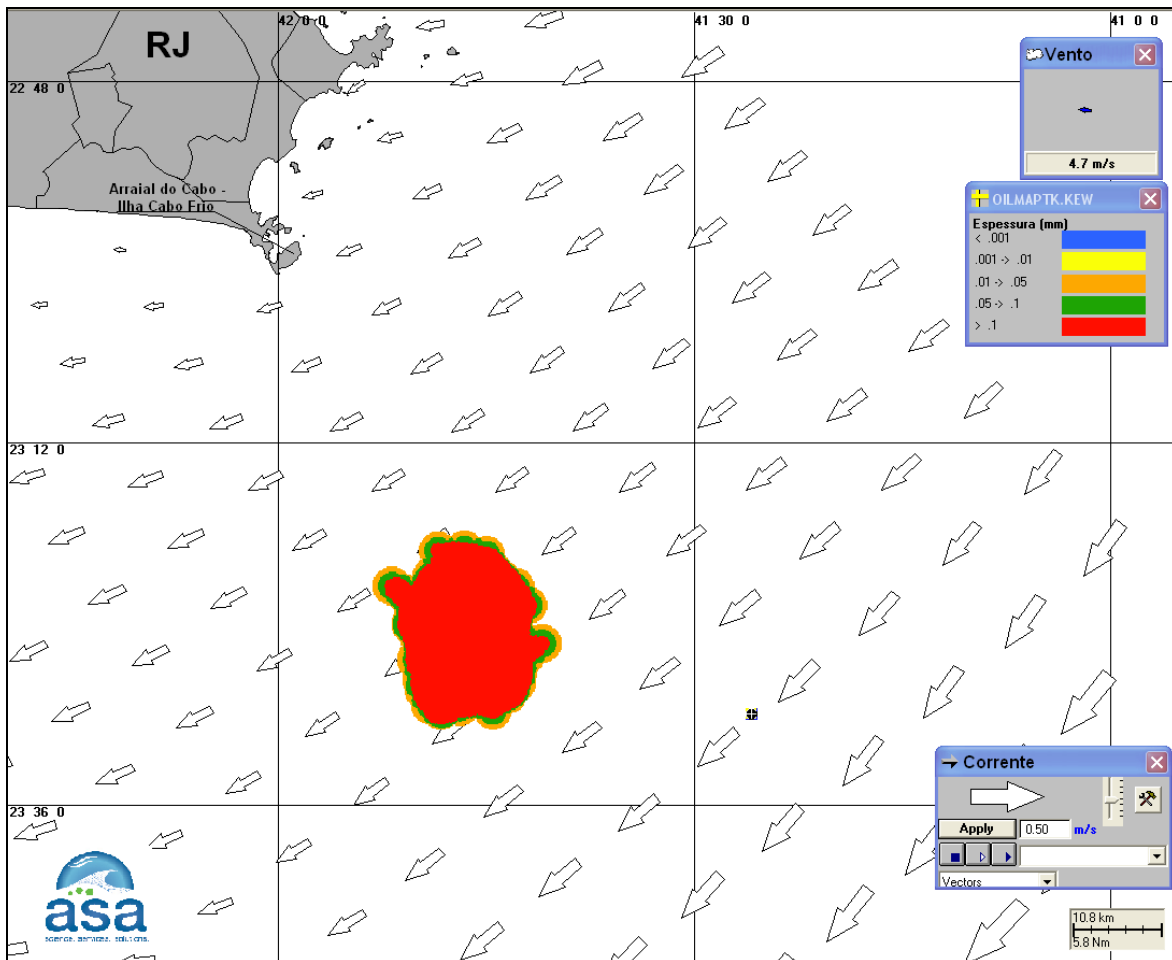


Figura V-33 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação determinística crítica de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-E.

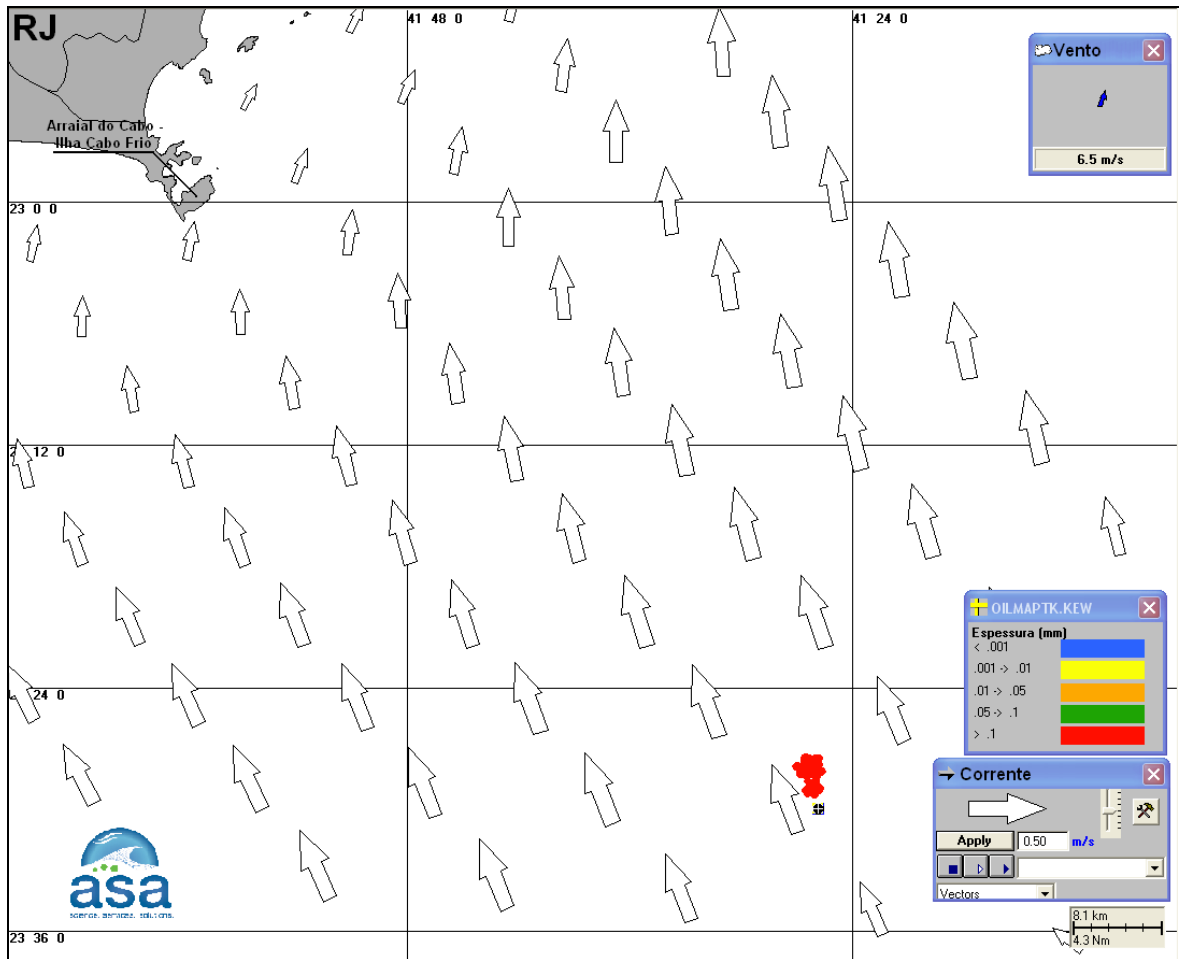


Figura V-34 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-NW; Vento-SW.

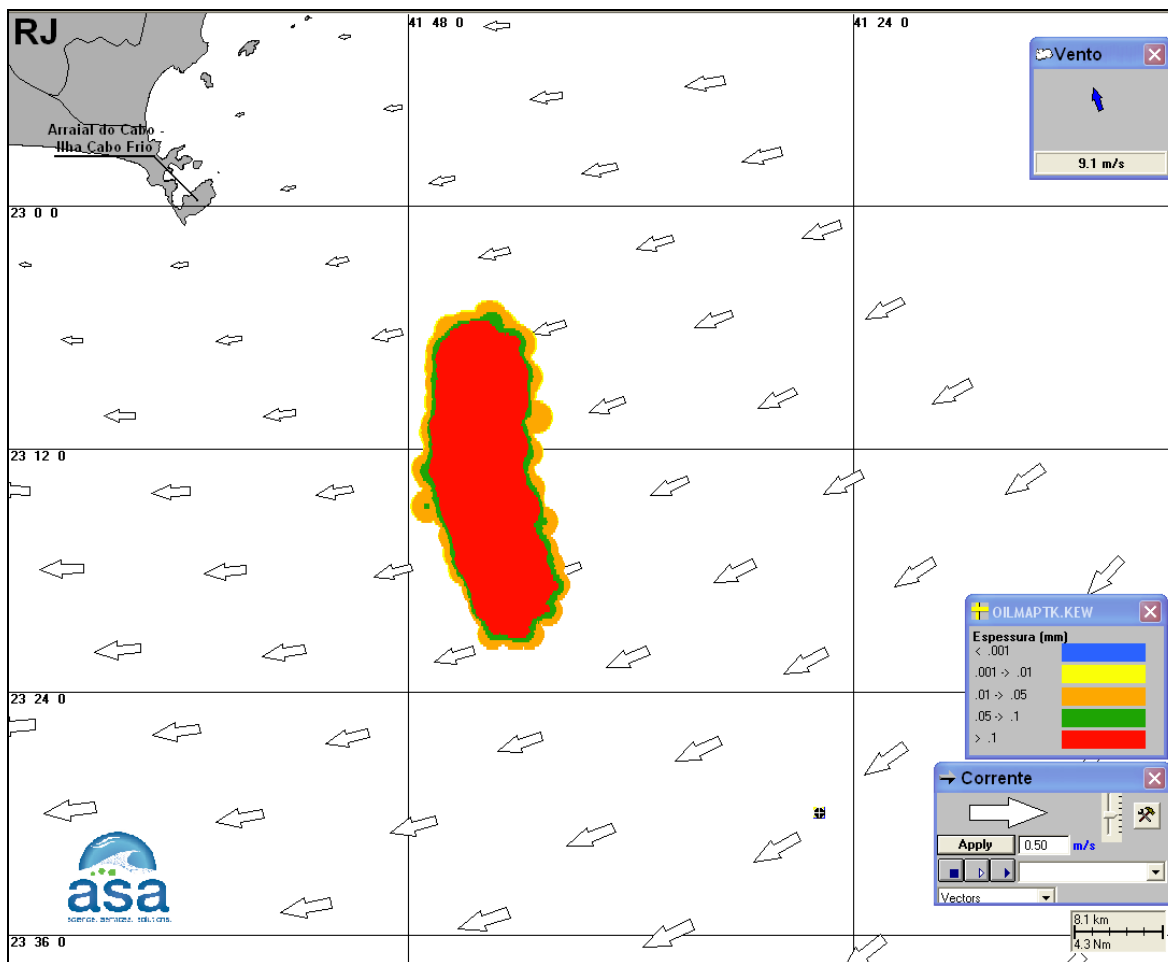


Figura V-35 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

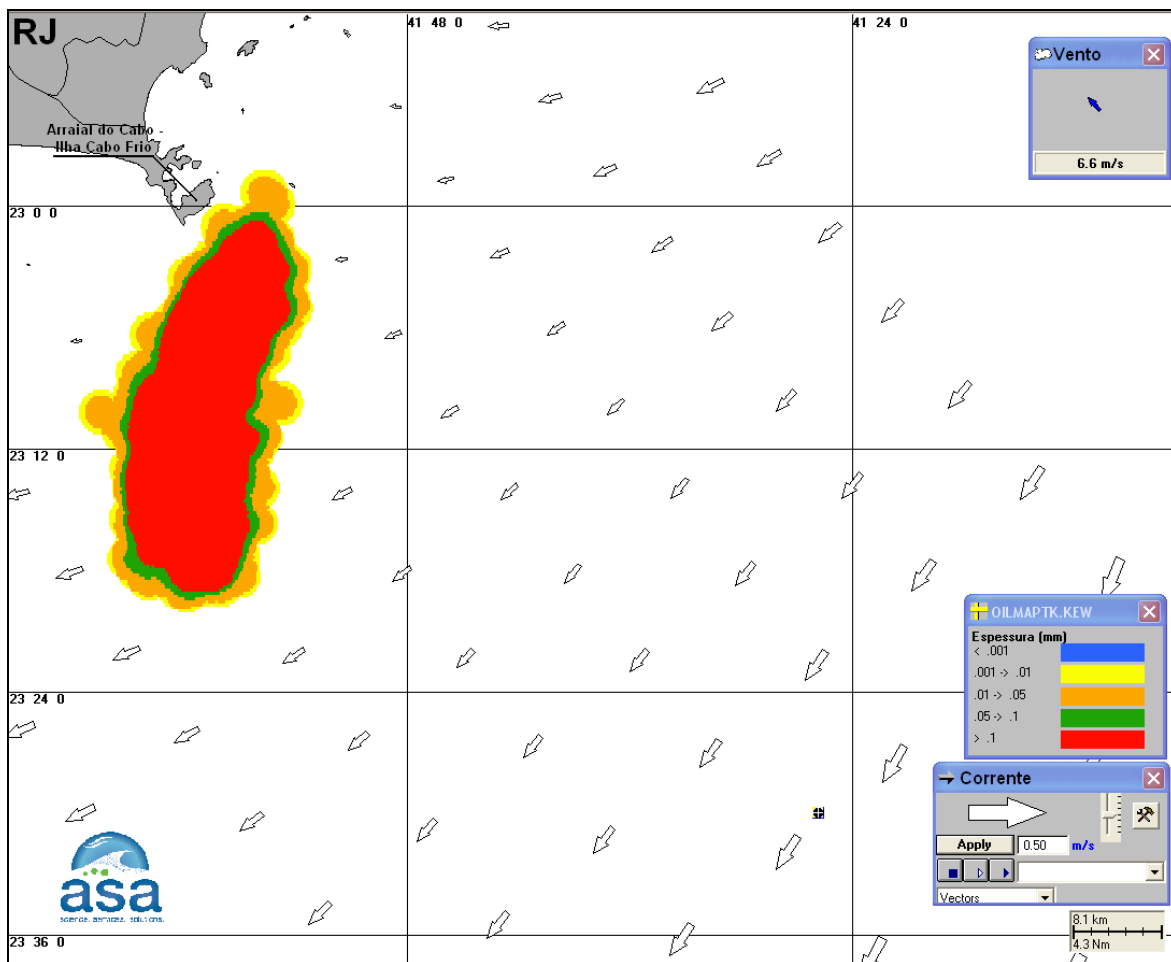


Figura V-36 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

V.3 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES

Os resultados das análises das informações de vento e correntes, utilizadas nas simulações de derrame de óleo permitiram caracterizar e identificar as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes para a região do Bloco BM-C-41, durante os períodos de verão e inverno. Observou-se que, no verão os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (32,5%) e NNE (22,1%), e no inverno são de NNE (19,3%) e NE (16,2%); no entanto, no inverno existe um aumento de ocorrências de ventos oriundos de leste e sul quando comparados ao verão. Para as correntes, observou-se que a direção preferencial do fluxo é SW, em ambos os períodos de verão e inverno.

Com o intuito de apresentar a dinâmica da dispersão do óleo sobre as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes foram simulados cenários determinísticos de derrame de óleo Tipo A, para os três volumes (pequeno, médio e pior caso), dois períodos (verão e inverno), cujo início do derrame coincide com o padrão direcional de ventos e correntes mais frequentes, conforme o apresentado anteriormente. As datas foram selecionadas dentre todas as simulações determinísticas que compõem o resultado probabilístico.

A Tabela V-9 apresenta um resumo dos cenários determinísticos mais frequentes. Dentre destes cenários, observou-se que a menor distância em relação à costa foi registrada para a simulação de inverno, para o volume de pior caso (menor que 1 m).

Na apresentação dos resultados determinísticos frequentes foram elaborados dois tipos de figuras para cada cenário. Na primeira figura apresenta-se a espessura da mancha no instante de primeiro toque ou mais próximo da costa, sendo que os valores da mesma são representados pela escala de cores indicada nas legendas. Nesta mesma figura, a cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os dias de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura.

A segunda figura do cenário apresenta o gráfico com o balanço de massa da simulação (óleo na superfície, na coluna d'água, costa e evaporado), onde é possível visualizar os processos de intemperismo atuantes sobre a mancha de óleo durante a respectiva simulação.

Para as simulações determinísticas mais frequentes com derrame de volume de pior caso são também apresentadas ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas escolhidas para estes cenários de verão e inverno.

Tabela V-9 - Resumo dos cenários determinísticos mais frequentes sem toque de óleo na costa.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO	MENOR DISTÂNCIA EM RELAÇÃO À COSTA (km)	MUNICÍPIO MAIS PRÓXIMO
DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_VER_30D	15/02/1992 - 15:00 h	78	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio
DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_INV_30D	22/06/1992 - 13:00 h	37	Iguape
DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_VER_30D	15/02/1992 - 15:00 h	78	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio
DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_INV_30D	22/06/1992 - 13:00 h	37	Iguape
DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_VER_30D	15/02/1992 - 15:00 h	78	Arraial do Cabo - Ilha Cabo Frio
DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_INV_30D	22/06/1992 - 13:00 h	Menor que 0,001	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande

V.3.1 Simulações Determinísticas Mais Frequentes – Volume Pequeno

Da Figura V-37 à Figura V-40 são apresentados os resultados das simulações determinísticas das condições mais frequentes de verão e inverno com volume de derrame pequeno (8 m^3) de óleo Tipo A, Bloco BM-C-41 (OSX2). A menor distância da mancha de óleo, para o período de verão foi de 78 km, em relação à Ilha Cabo Frio, no Município de Arraial do Cabo (RJ), e 37 km para o inverno, em relação ao Município de Iguape (SP). Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 30% do óleo derramado evaporou.

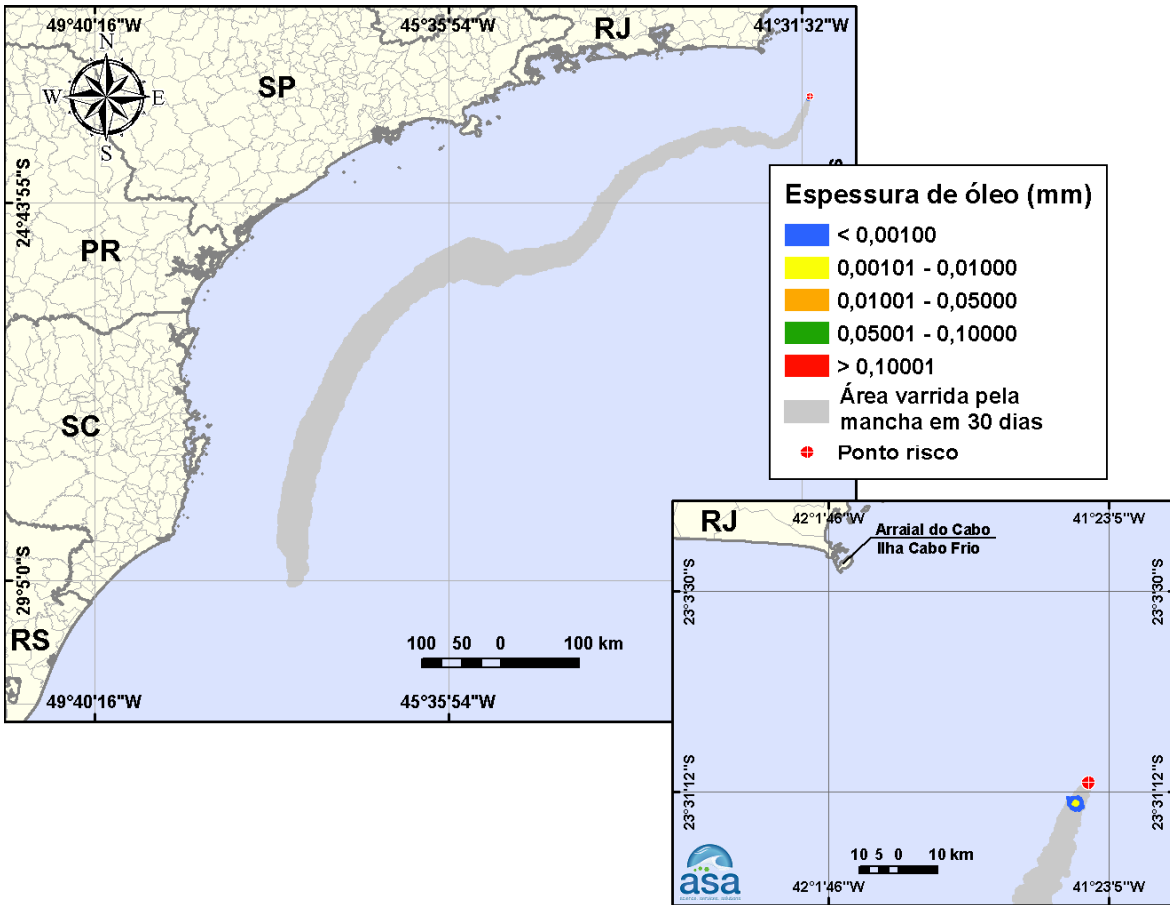


Figura V-37 - DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_VER_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 8 m³ ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

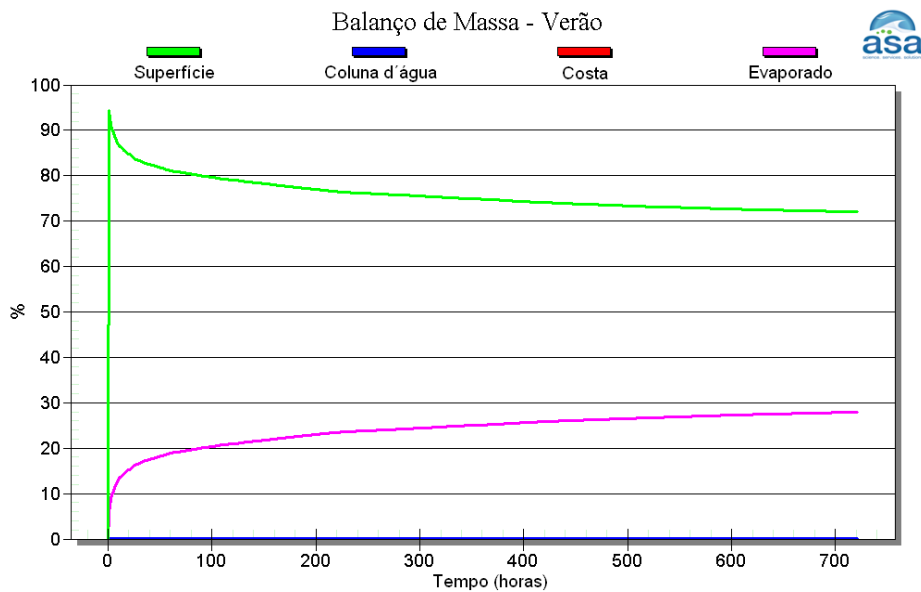


Figura V-38 - Balanco de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_VER_30D.

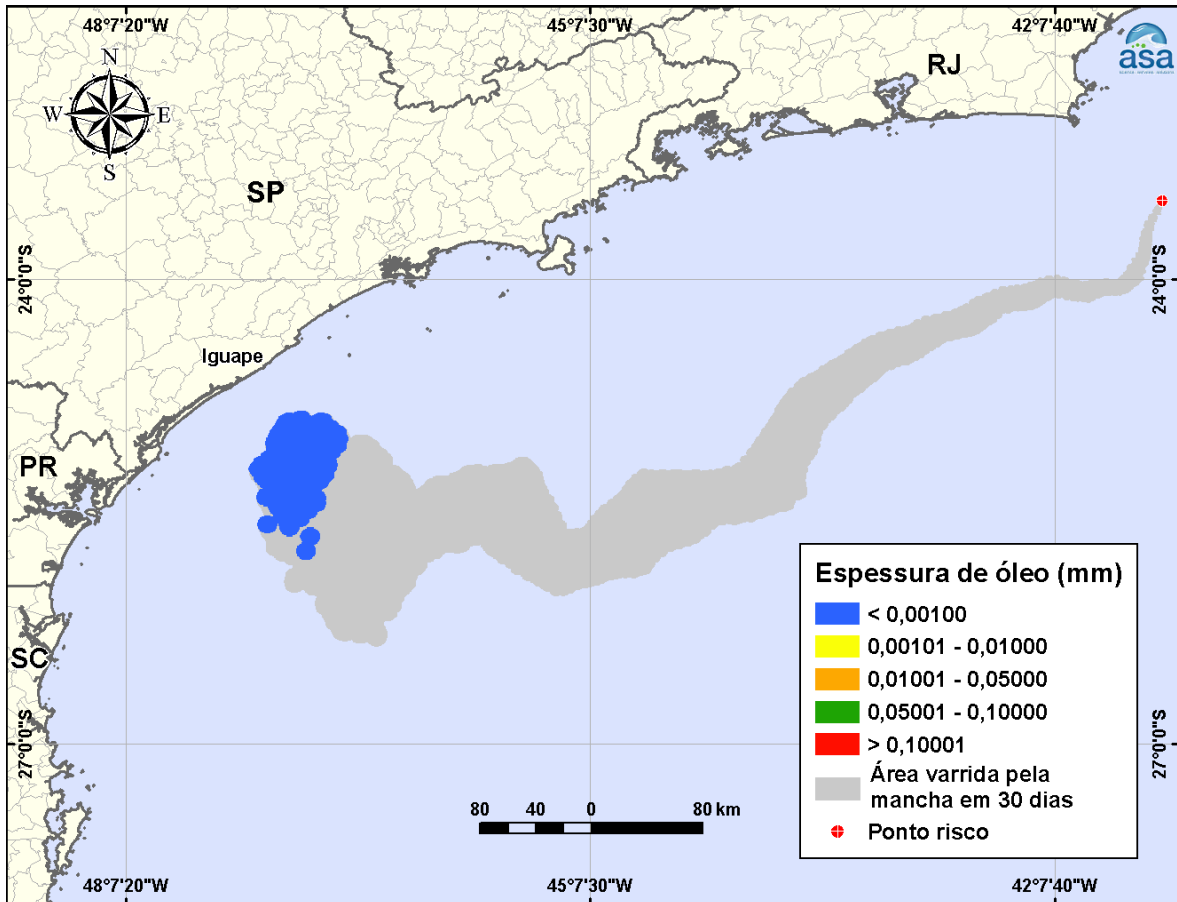


Figura V-39 - DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_INV_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 8 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

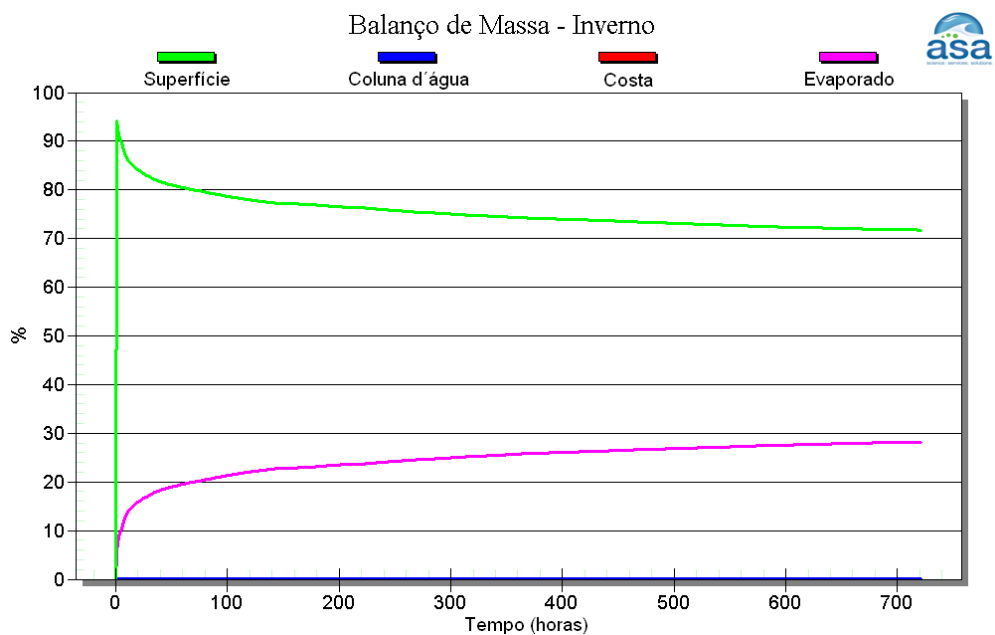


Figura V-40 - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_8_INV_30D.

V.3.2 Simulações Determinísticas Mais Frequentes – Volume Médio

Da Figura V-41 à Figura V-44 são apresentados os resultados das simulações determinísticas das condições mais frequentes de verão e inverno com volume de derrame médio (200 m³) de óleo Tipo A, Bloco BM-C-41 (OSX-2). A menor distância da mancha de óleo para o período de verão foi de 78 km, em relação à Ilha Cabo Frio, no Município de Arraial do Cabo (RJ), e 37 km para o inverno, em relação ao Município de Iguape (SP). Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 30% do óleo derramado evaporou.

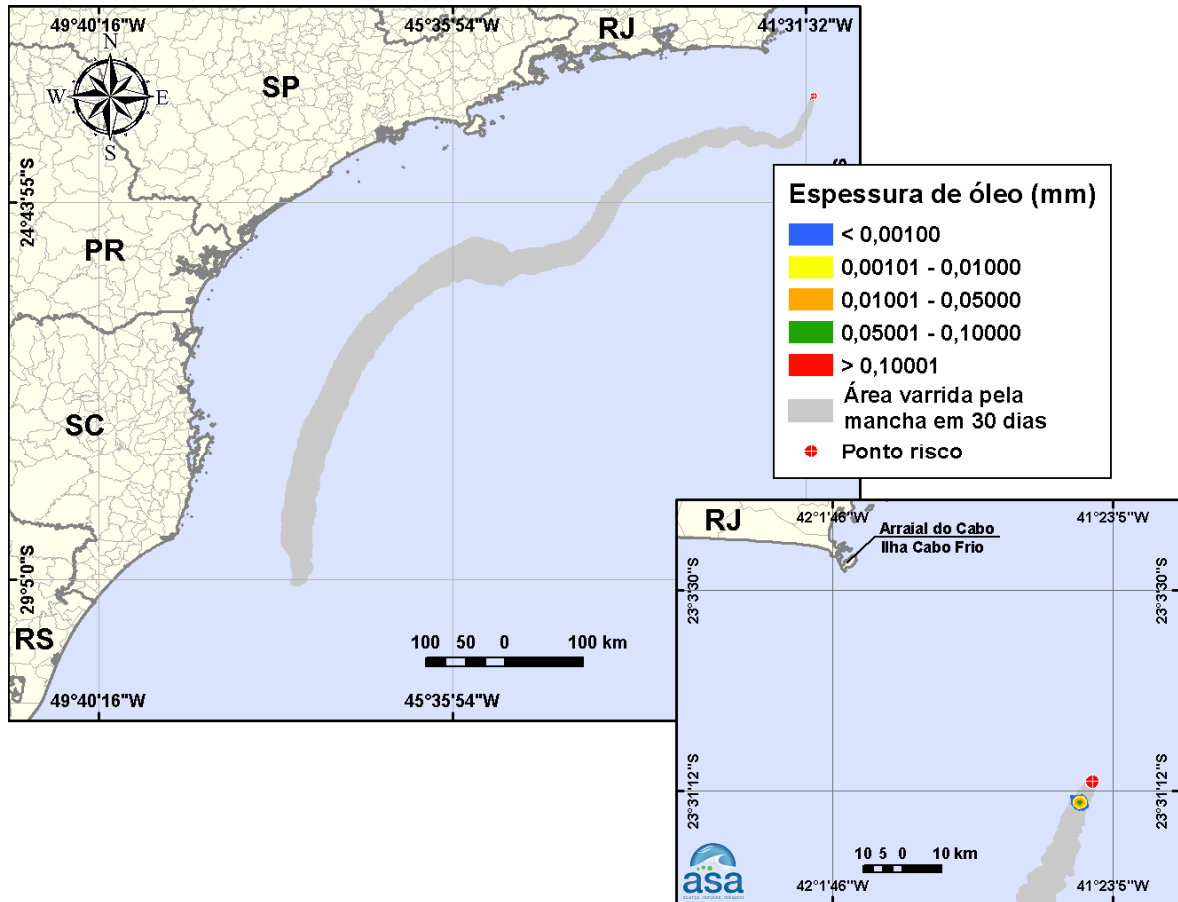


Figura V-41 - DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_VER_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 200 m³, ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

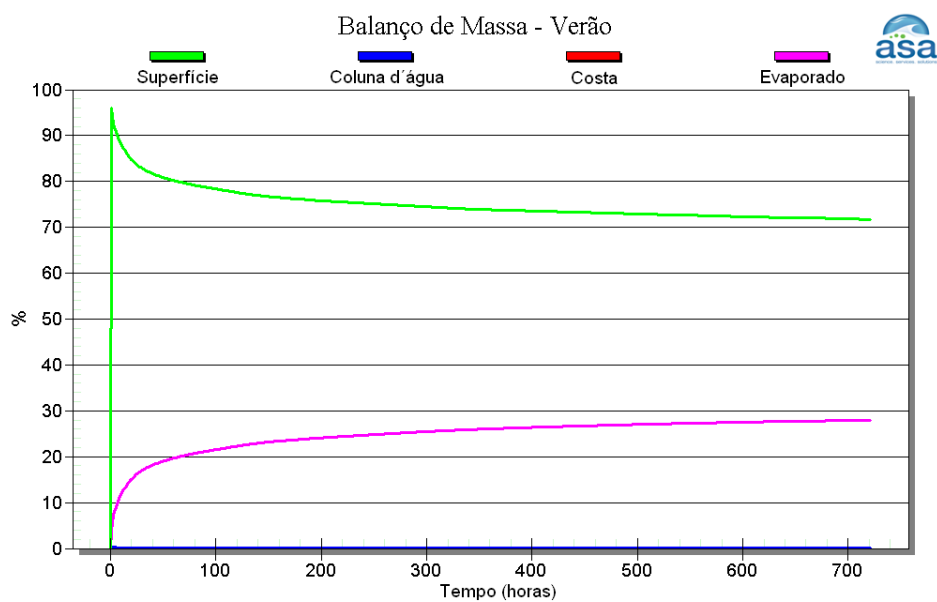


Figura V-42 - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_VER_30D.

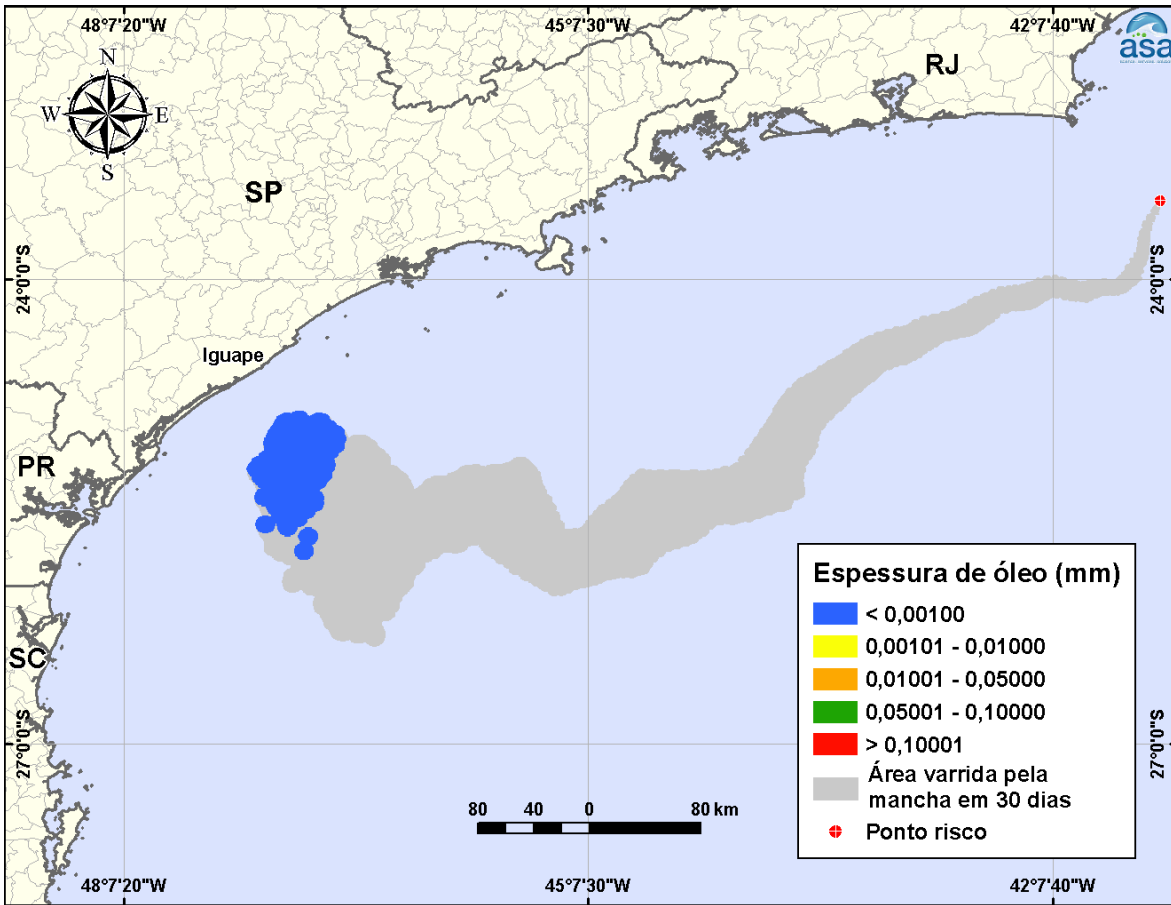


Figura V-43 - DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_INV_30D. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de óleo tipo A de 200 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

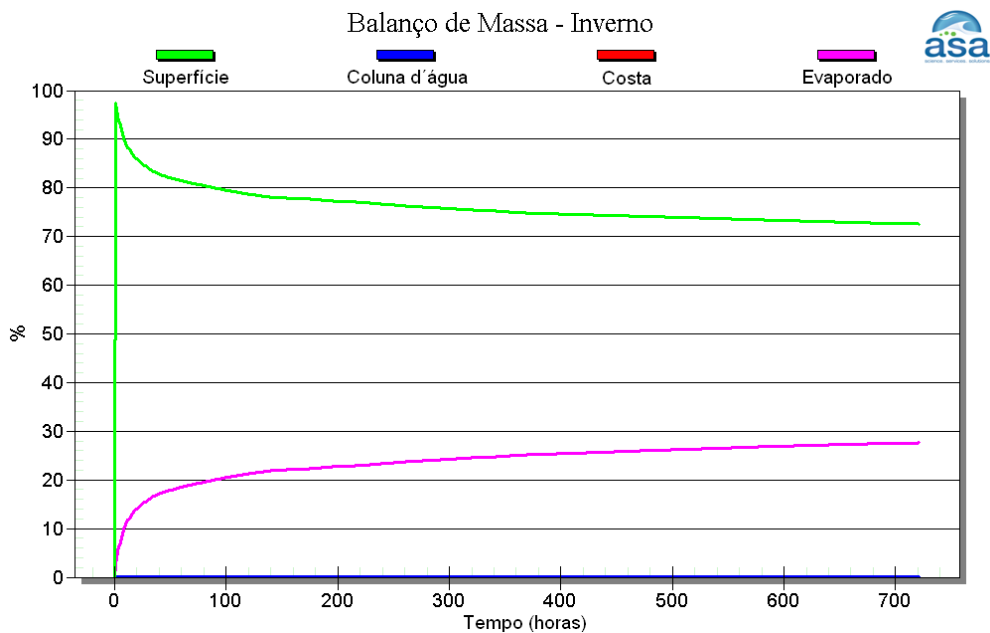


Figura V-44 - Balanço de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_200_INV_30D.

V.3.3 Simulações Determinísticas Mais Frequentes – Volume Pior Caso

Da Figura V-45 à Figura V-48 são apresentados os resultados das simulações determinísticas das condições mais frequentes de verão e inverno com volume de derrame de pior caso 1.510.283,0 bbl (240.115,7 m³) de óleo Tipo A, Bloco BM-C-41 (OSX-2). Para o período de verão, a menor distância da mancha de óleo em relação à costa foi de 78 km (Arraial do Cabo – Ilha Cabo Frio). Para o período de inverno, a menor distância da mancha de óleo em relação à costa foi de menos de 1 m em relação à Ilha Queimada Grande, Município de Itanhaém (SP). Esta distância foi registrada no último instante da simulação, após 744 horas, o que indica que há a possibilidade de toque na costa no próximo instante da simulação. Nos balanços de massa observa-se que, ao final das simulações, cerca de 20% do óleo derramado evaporou.

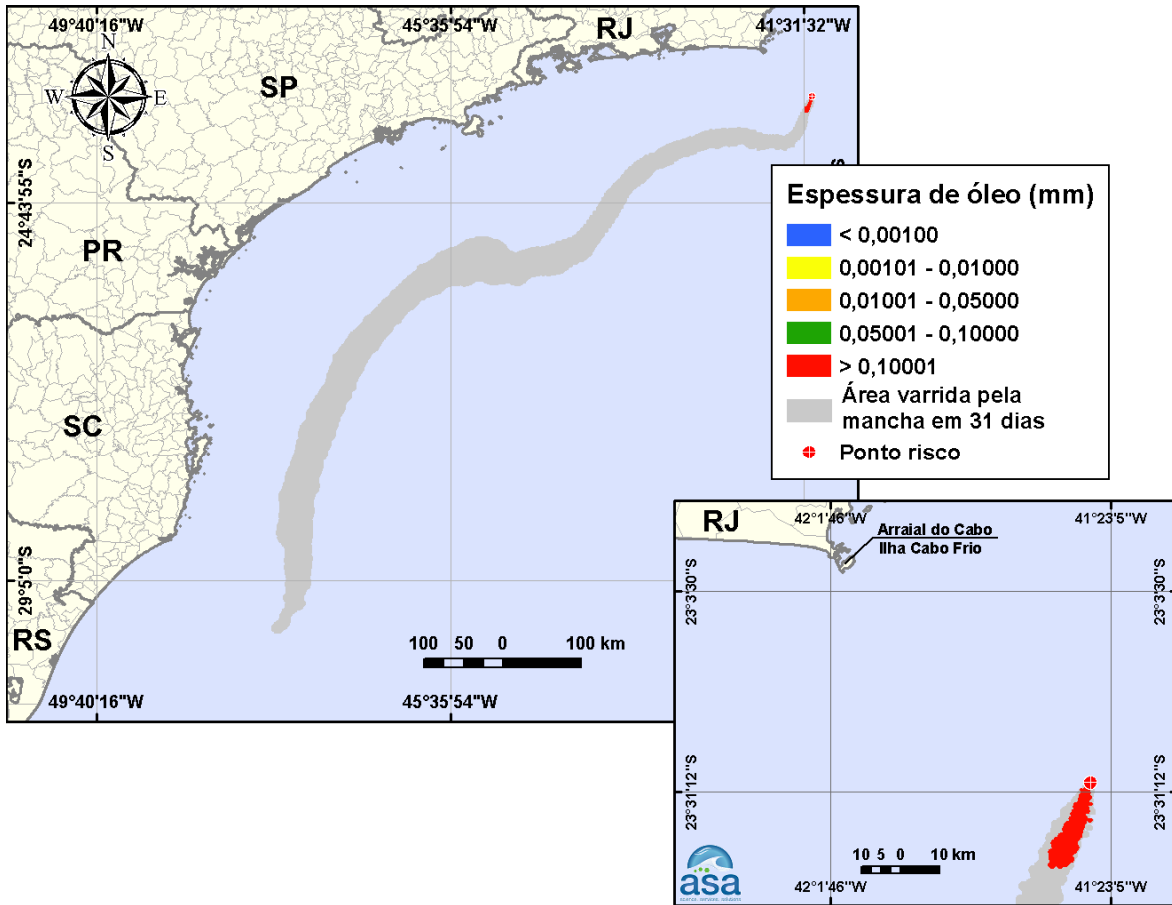


Figura V-45 - DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

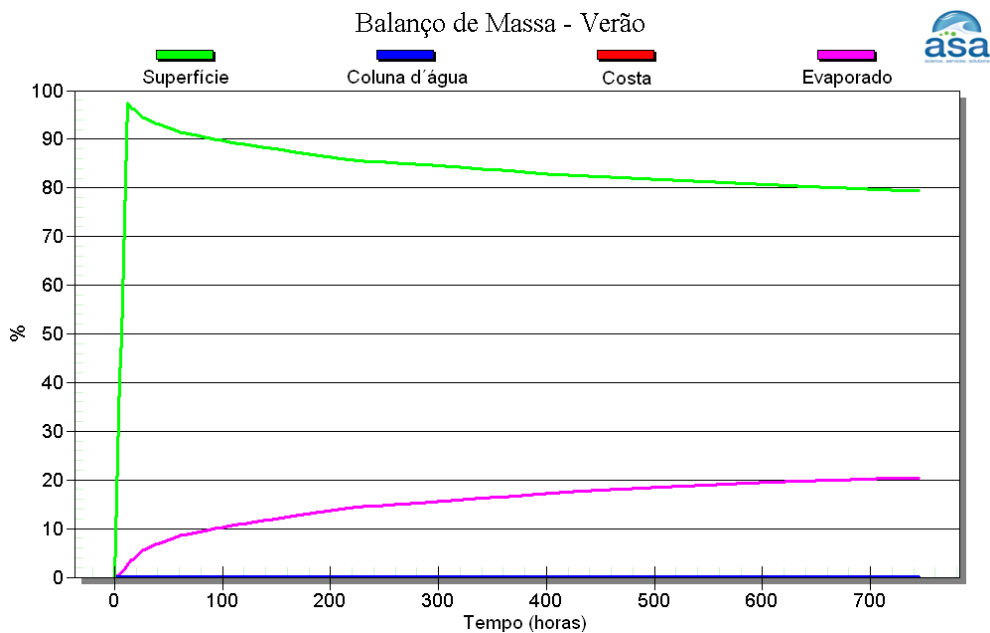


Figura V-46 - Balanco de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_VER_31D.

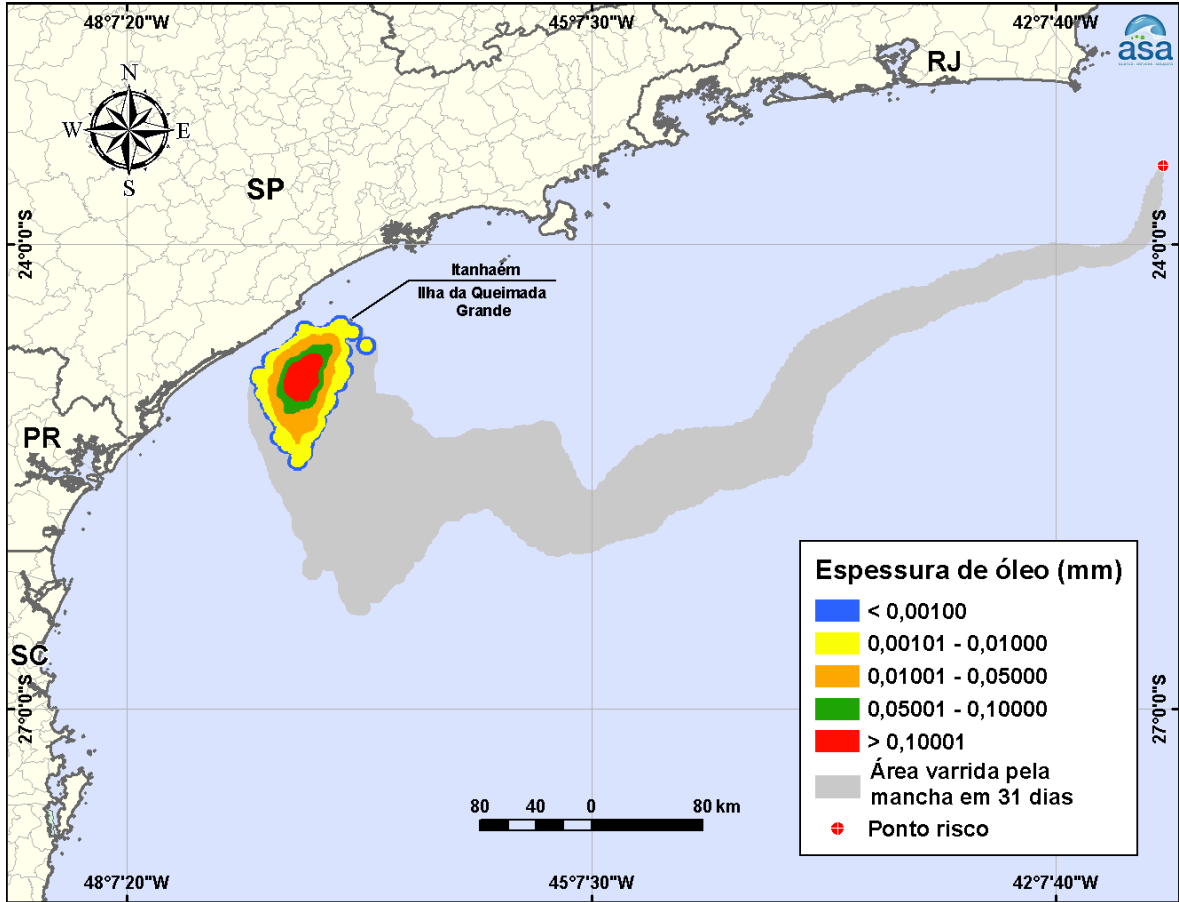


Figura V-47 - DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D. Cenário determinístico crítico para um derrame de óleo tipo A de 240.115,7 m³, ocorrido durante o inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41, Bacia de Campos.

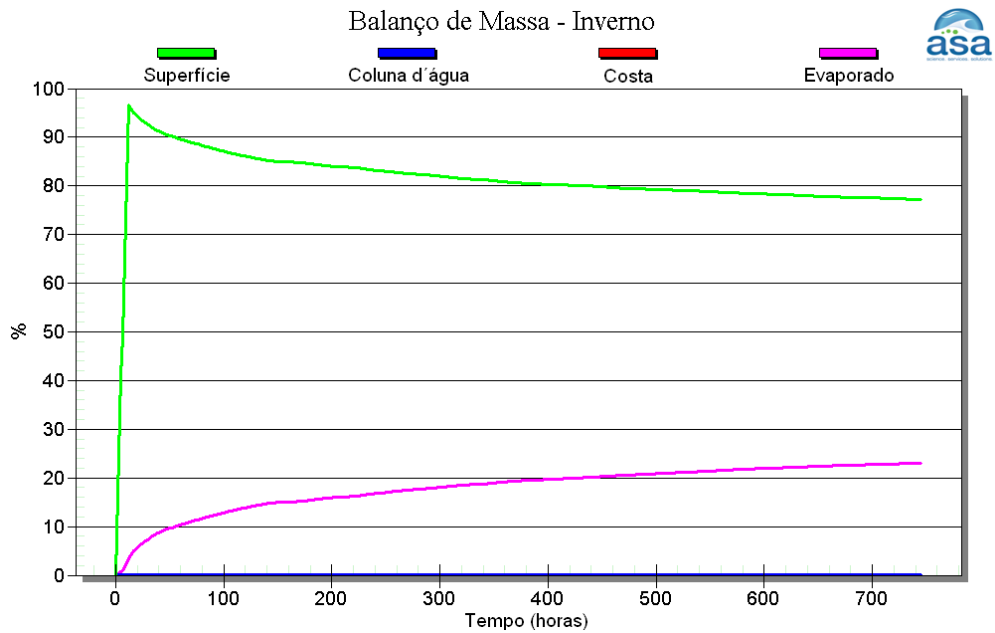


Figura V-48 - Balanco de massa do cenário DET_FRE_OSX2_TIPOA_PC_INV_31D.

Para as simulações determinísticas das condições mais frequentes com derrame de volume de pior caso são também apresentadas ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas que proporcionaram a menor distância em relação à costa, para os cenários de verão (Figura V-49 à Figura V-51) e inverno (Figura V-52 à Figura V-54), para o Bloco BM-C-41 (OSX-2).

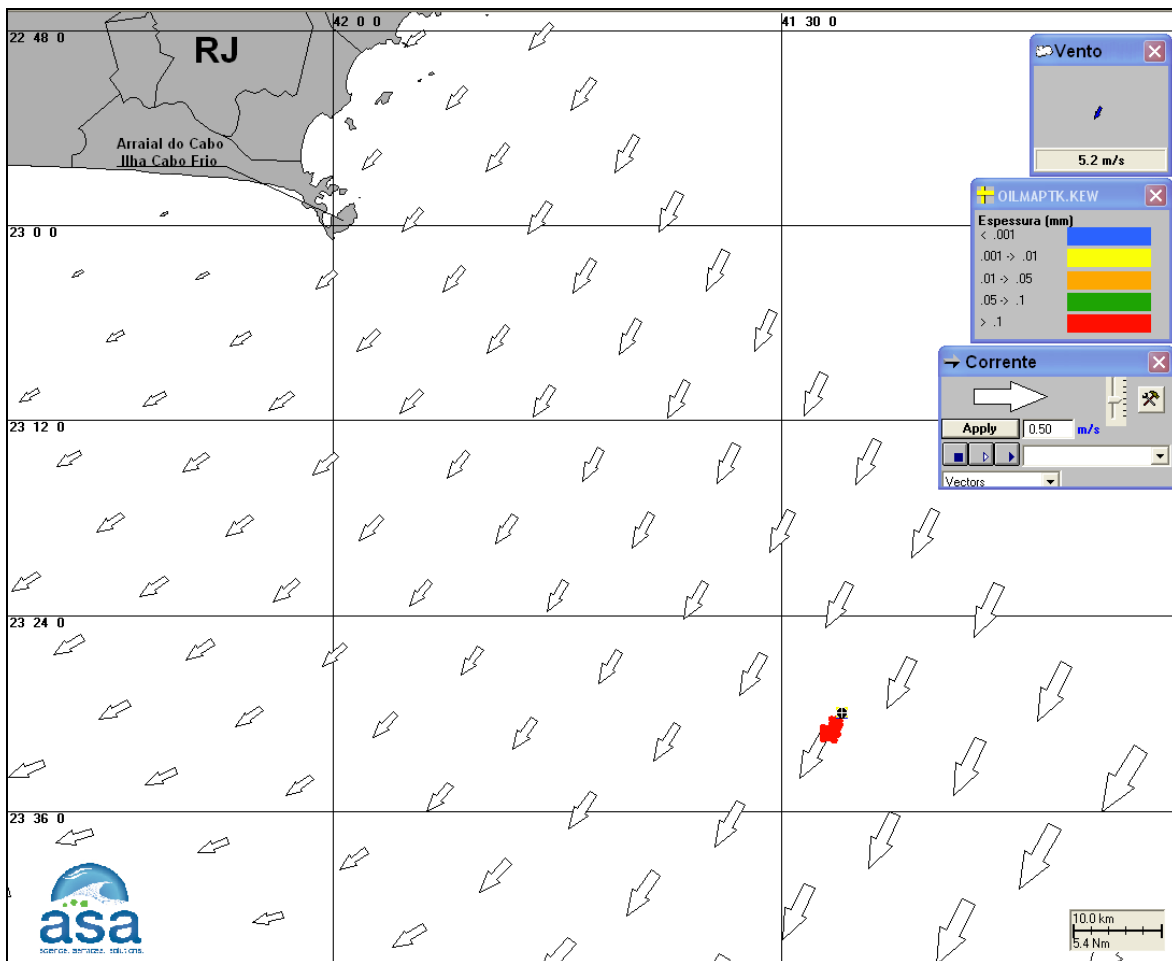


Figura V-49 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.

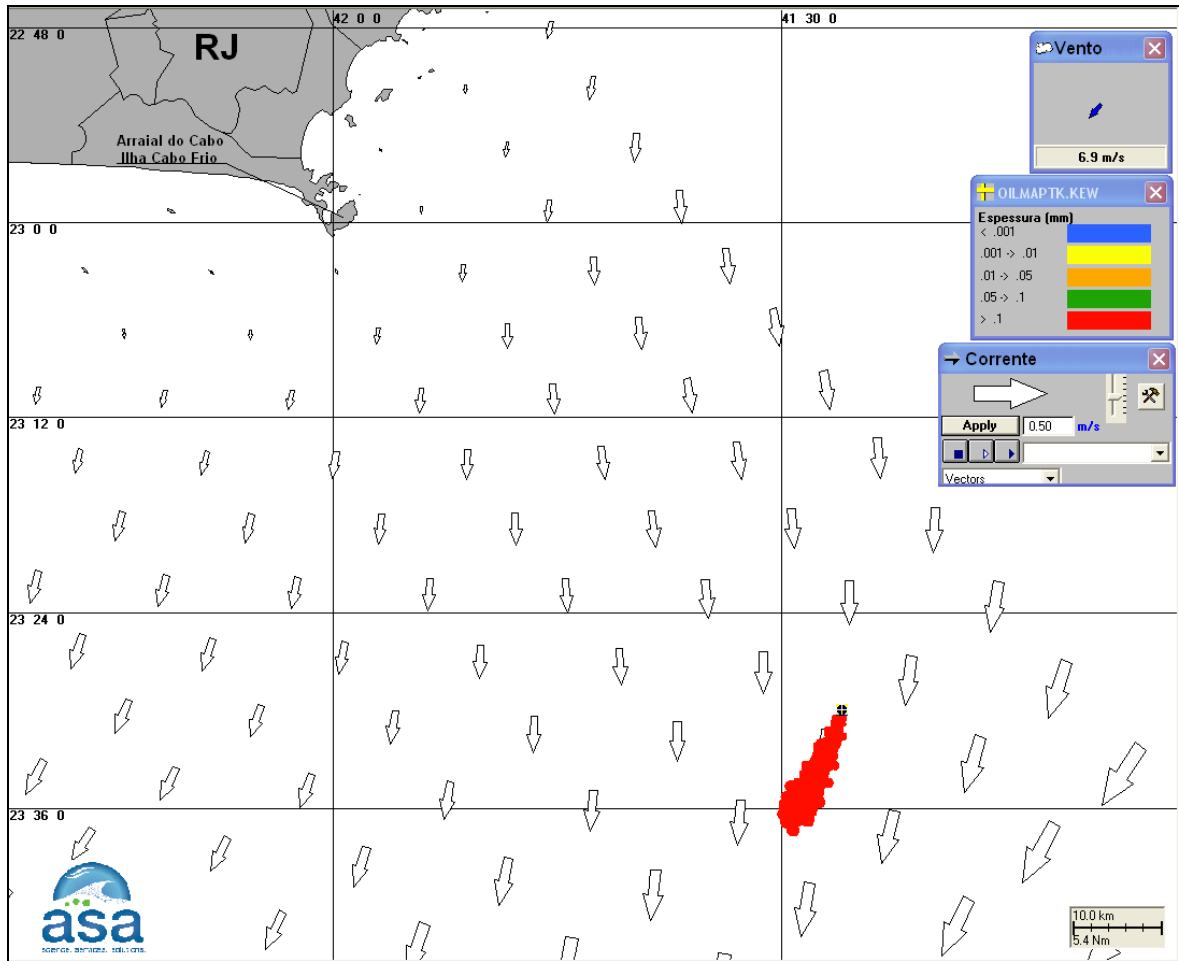


Figura V-50 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso, de verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SE; Vento-NE.

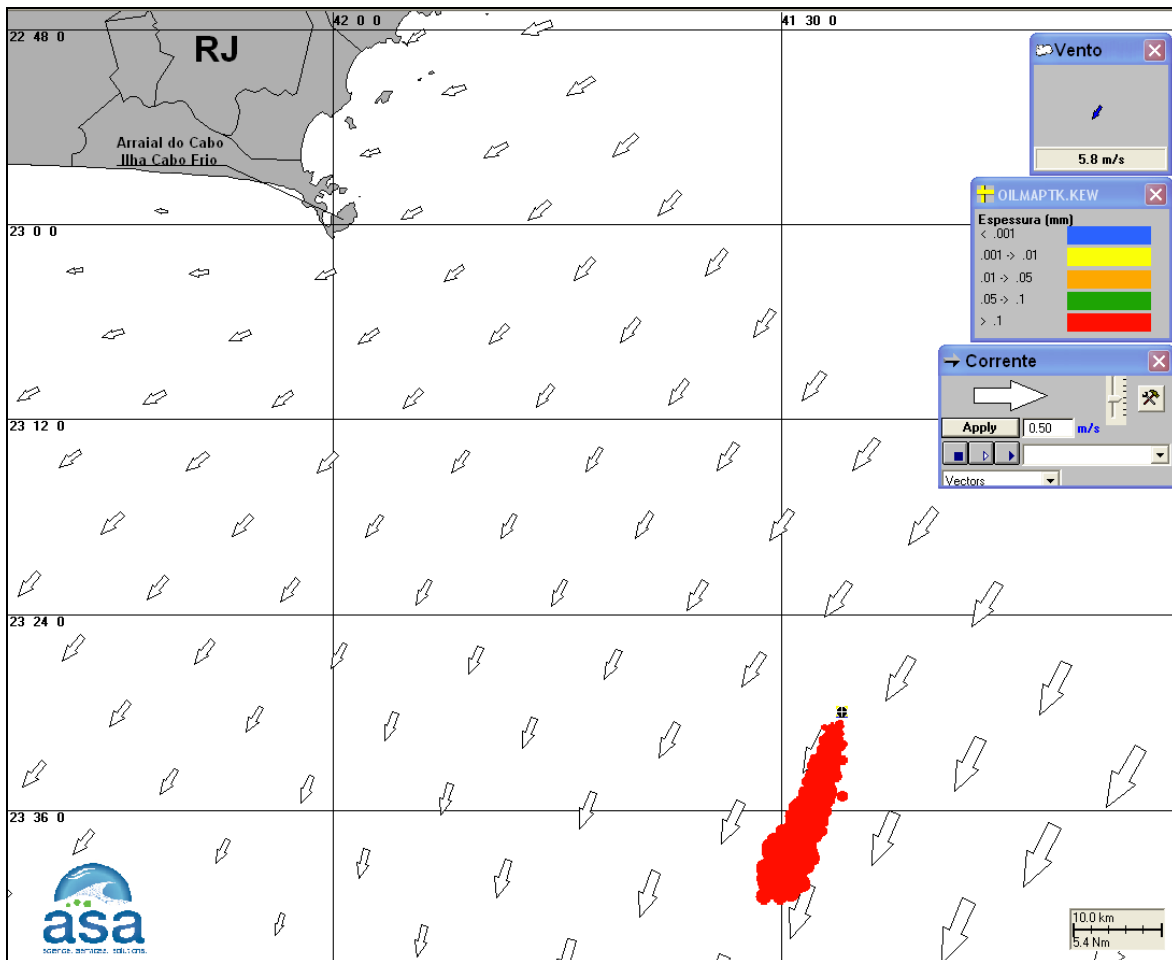


Figura V-51 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação determinística mais frequente de pior caso, verão, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.

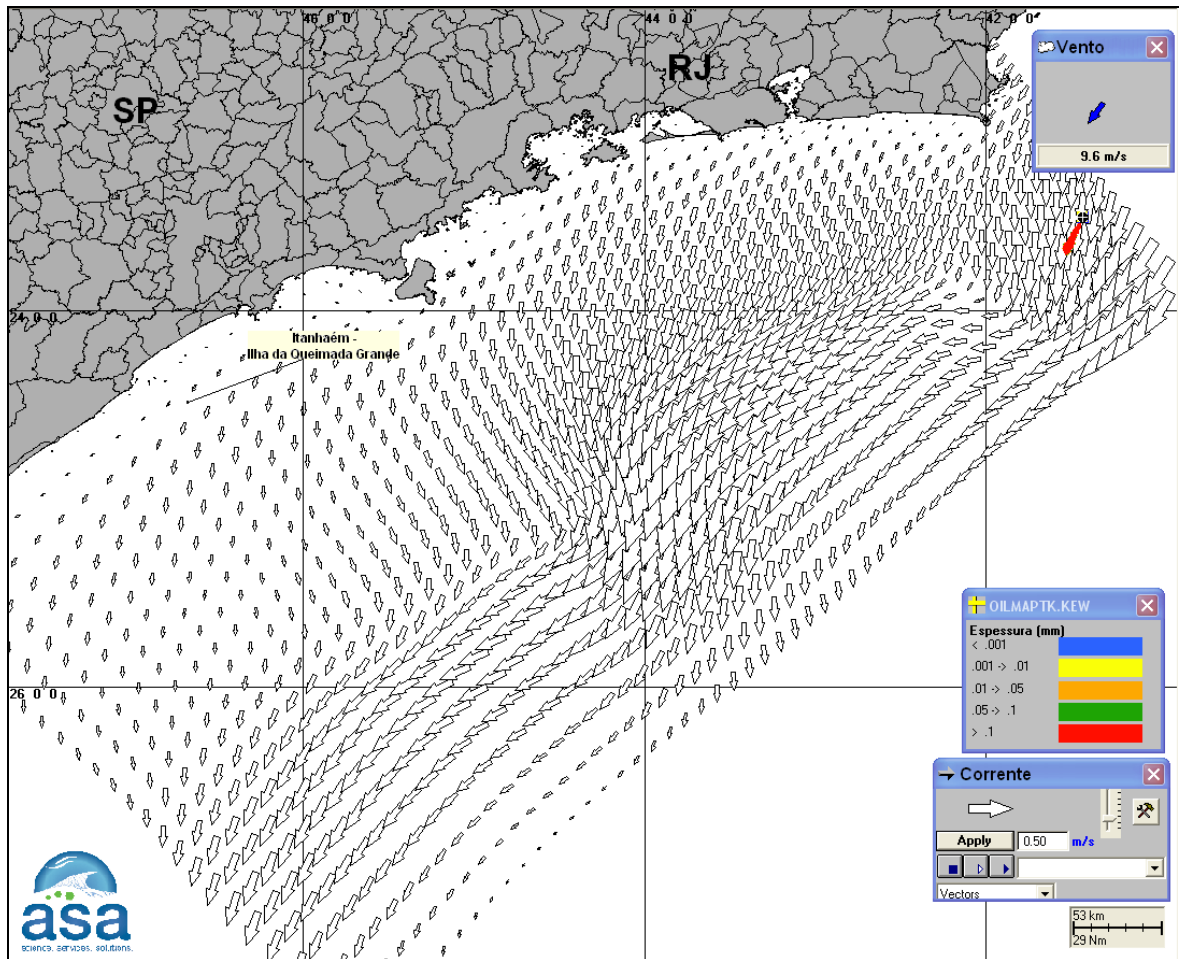


Figura V-52 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NNE.

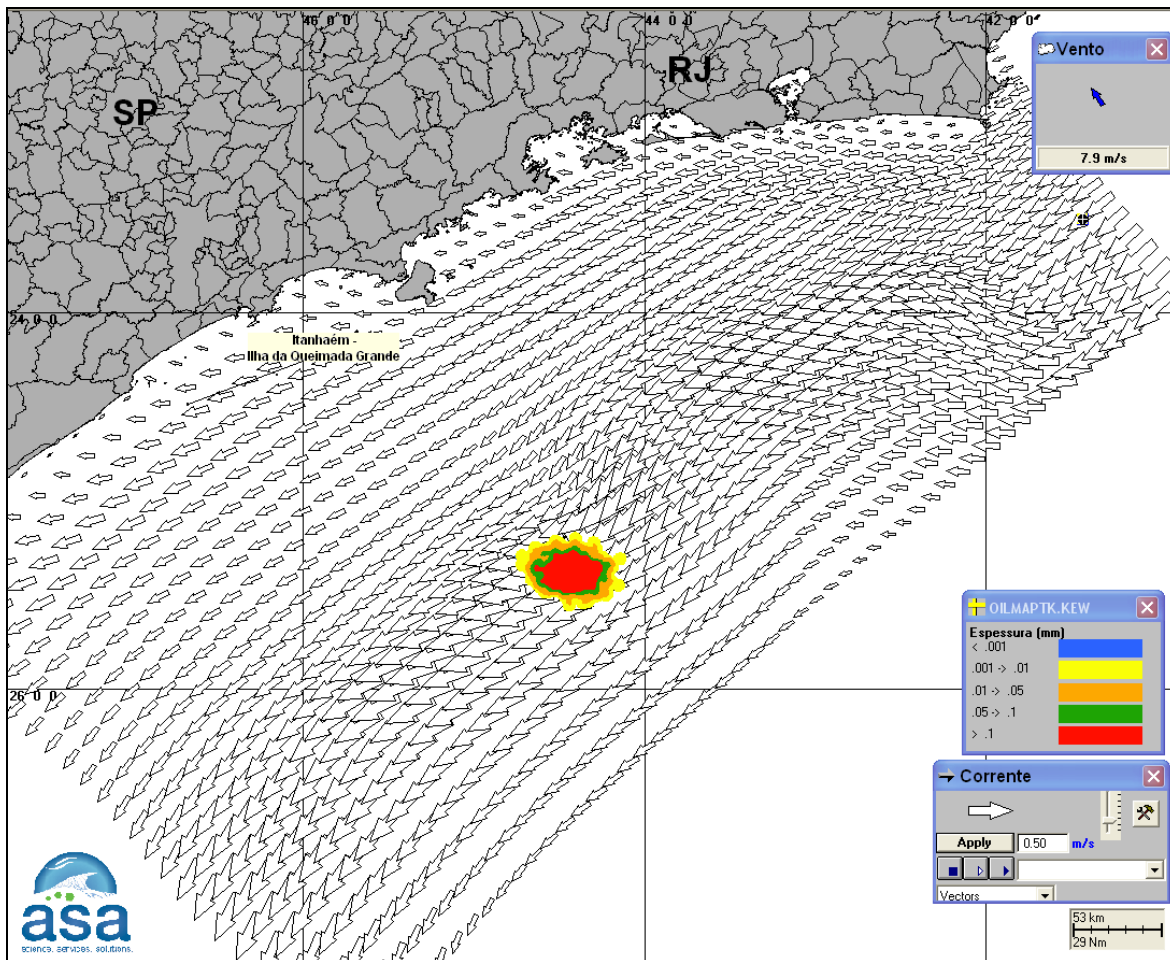


Figura V-53 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

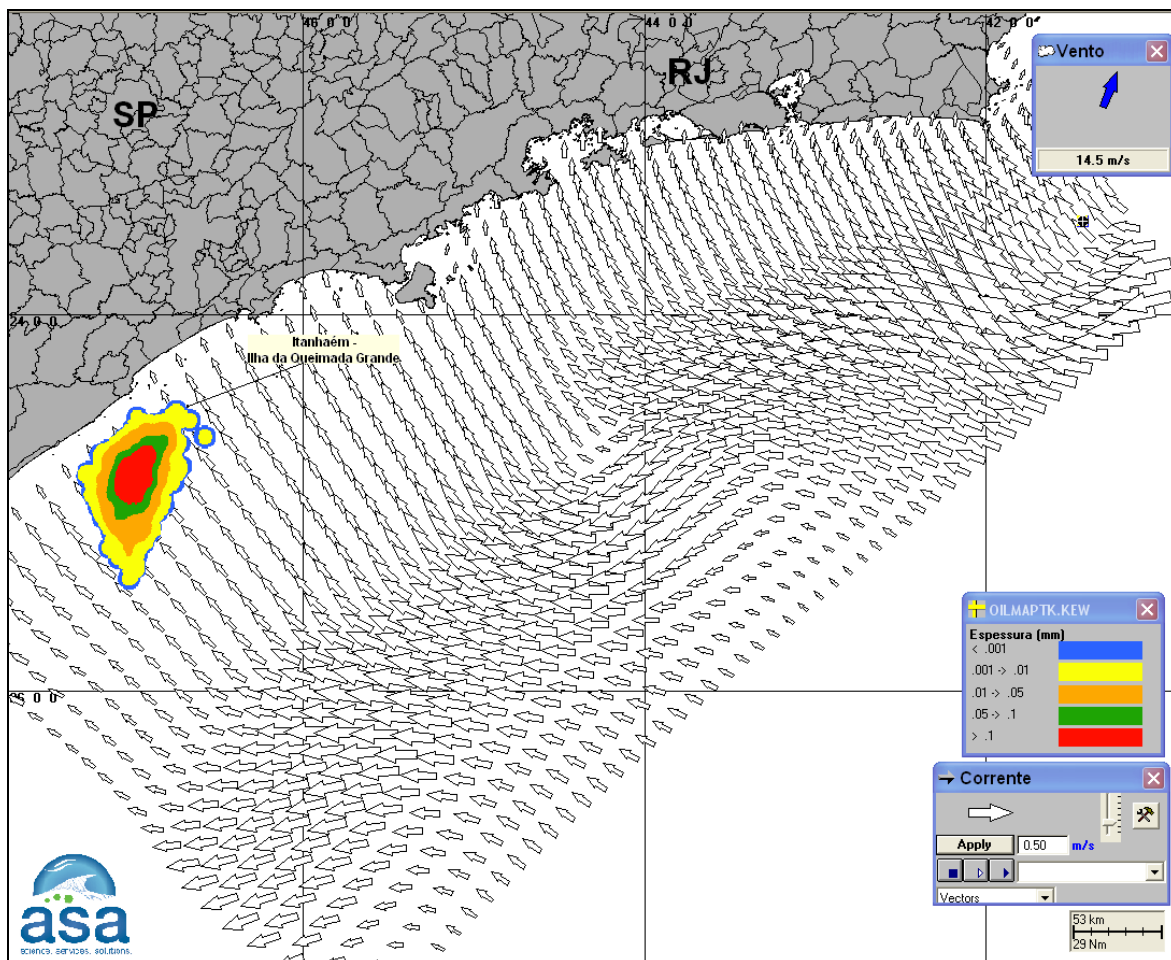


Figura V-54 - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa simulação determinística mais frequente de pior caso, de inverno, a partir do FPSO OSX-2, Bloco BM-C-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SSW.

VI CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta o resultado das modelagens numéricas do transporte e dispersão de óleo no mar para o Bloco BM-C-41, localizado na Bacia de Campos, de acordo com as diretrizes definidas no Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº 007/2011.

Foram conduzidas simulações de derrame de óleo considerando três volumes de derrame: pequeno, médio e pior caso (correspondente ao afundamento da unidade); além de duas condições sazonais (verão e inverno).

O sistema de modelos OILMAP da **Applied Science Associates (ASA), Inc.** foi utilizado para definir a área potencialmente ameaçada por derramamentos de óleo decorrentes das atividades de perfuração marítima da OGX.

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região, apresentado em ASA (2010a,b), foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA South America** para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil.

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre as trajetórias das manchas simuladas e os padrões de circulação na região. Na costa sul-sudeste brasileira, o padrão de circulação superficial predominante está relacionado à Corrente do Brasil, fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices, sendo esta a direção predominante do deslocamento das manchas de óleo de todos os cenários simulados. Apesar deste sentido predominante do deslocamento das manchas de óleo, observou-se uma diferença entre os padrões de deslocamento de verão e inverno (uma influência maior da passagem de sistemas frontais, mais frequentes no período de inverno).

Dentre as simulações realizadas, todos os cenários simulados durante o período de inverno apresentaram probabilidade de toque na costa. A maior extensão de costa com probabilidade de toque (1.835,3 km) e o menor tempo de toque (76 horas na Ilha Cabo Frio, Município de Arraial do Cabo - RJ) foram calculados para o derrame com volume de pior caso. Os municípios com probabilidade de chegada de óleo ao seu litoral são pertencentes aos Estados de

Rio de Janeiro e São Paulo, sendo que não foram calculadas probabilidades de óleo na costa superiores a 24%.

Para o período de verão, a menor distância da mancha de probabilidades com relação à costa foi de 28 km (Arraial do Cabo – RJ).

A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Em cada período, de todas as 500 simulações realizadas, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa ou a menor distância em relação a esta (para aqueles onde não há probabilidade de toque). Em complementação, foram realizadas simulações determinísticas para as condições oceanográficas e meteorológicas mais frequentes. Os gráficos de balanço de massa de todas as simulações determinísticas demonstraram que a evaporação foi o principal processo que atuou na redução da massa do óleo e que, ao final das simulações, ainda era possível encontrar óleo na superfície da água.

Finalmente, nas simulações apresentadas neste estudo, não foram consideradas quaisquer medidas de resposta ou controle para os potenciais acidentes simulados.

VII BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2010a. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área Geográfica Bacia de Santos. Relatório Técnico, Revisão 03 (15 de julho de 2010). 266pp+Anexos.

ASA (Applied Science Associates South America), 2010b. Modelagem de Vazamentos de Condensado a partir do Sistema de Produção e Escoamento do Campo de Mexilhão, Bacia de Santos. Relatório Técnico, Revisão 00 (12 de novembro de 2010). 179pp+Anexos.

ASSIREU, A.T., M.R. STEVENSON, J.L. STECH, 2003. Surface circulation and kinetic energy in the SW Atlantic obtained by drifters. *Continental Shelf Research*. v. 23 (2), p. 145-157.

BRASIL, 2008. Resolução CONAMA nº 398, de 11 de junho de 2008. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, 12 jun. 2008.

CALIL, L.M., R.N. CANDELLA & M.R. FRAGOSO, 2008. Estudo do fluxo da Corrente do Brasil a partir de derivadores oceânicos. *Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia*, Fortaleza/CE.

CAMPOS, E.J.D.; J.L. MILLER; T.J. MÜLLER & R.G. PETERSON, 1995. Physical Oceanography of the Southwest Atlantic Ocean. *Oceanography*, Vol.8 (3): 87-91.

CARRETO, J.I.; V.A. LUTZ; M.O. CARIGNAN; A.D. CUCCHI COLLEONI & S.G. DE MARCO, 1995. Hydrography and chlorophyll a in a transect from the coast to the shelf-break in the Argentinian Sea, *Cont. Shelf Res.*, 15, 315–336.

EPA (Environmental Protection Agency), 2000. Hydrodynamic and Water Quality Model of Christina River Basin. Region III, Philadelphia, PA. Final Report. December 5, 2000.

FEMAR (Fundação de Estudos do Mar), 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Rio de Janeiro. 281pp.

FRAGOSO, M.R., 2004. Um modelo numérico da circulação oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil. 173p. *Tese (Doutorado em Engenharia Civil)* – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FRAGOSO, M.R., J.A.C PELLEGRINI, A.T. ASSIREU, F.A. DOS SANTOS & L.M. MARQUES DA CRUZ, 2008. Caracterização cinemática e estatística dos vórtices na Bacia Oceânica SE/S do Brasil obtidos por derivadores rastreados por satélite durante a primavera de 2007. Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia, Fortaleza/CE.

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.

IBAMA, 2009. Nota Técnica N°02/2009/CGPEG/DILIC. Síntese dos aspectos técnicos da modelagem de transporte de óleo no mar e suas aplicações aos processos de licenciamento em E&P. Rio de Janeiro, 02 de março de 2009.

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
- 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.
- MÜLLER, T.J., Y. IKEDA, N. ZANGENBERG, E.L.V. NONATO, 1998.** Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20° S and 28° S. *J. Geophys. Res.*, vol. 103(C3): 5429-5437.
- PIMENTA, F.M.; E.J.D. CAMPOS, J.L. MÜLLER & A.R. PIOLA, 2005.** A Numerical Study of the Plata River Plume Along the Southeastern South American Continental Shelf. *Brazilian Journal of Oceanography*, 53 (3/4): 129-146.
- PIOLA, A.R., E.J.D. CAMPOS, O.O. MOLLER, M. CHARO & C. MARTINEZ, 2000.** Subtropical shelf front off eastern South America, *Journal of Geophysical Research*, 105, 6565– 6578.
- SCHUREMANN, P. 1958.** Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides. Washington, D.C., U.S. *Coast & Geodetic Surv.*, S.P. n. 98, 317p.
- SPIEGEL, M.R. & STEPHENS, L. J. 1999.** Theory and Problems of Statistics. McGraw-Hill – New York. 538 pp.
- 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."

ANEXO A - JUSTIFICATIVA PARA A ESCOLHA DO ANO 1992

Neste anexo apresenta-se a justificativa da utilização do ano de 1992 como ano de referência para as modelagens de óleo.

Adicionalmente, apresenta-se a metodologia utilizada na geração dos campos de ventos utilizados nas modelagens de óleo na Bacia de Campos.

A.1 ESCOLHA DE UM ANO DE REFERÊNCIA PARA AS MODELAGENS DE DERRAME DE ÓLEO

Para a realização de uma modelagem numérica que considere fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais), considera-se que 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, calibrar¹⁵ e avaliar o modelo hidrodinâmico. Ou seja, após identificar os anos que apresentam comportamento típico, é escolhido um ano para o qual estejam disponíveis os dados necessários para forçar, calibrar e avaliar o modelo.

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.

¹⁵ O procedimento de calibração não é apresentado no relatório, mas os dados disponíveis também podem ser utilizados com este propósito.

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 Campos foi realizada com dados de vento de reanálise do NCEP¹⁶ no nível de 925 hPa (nível mais adequado para esta análise¹⁷; 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 22,5°S e 40,0°W (Figura A-1).

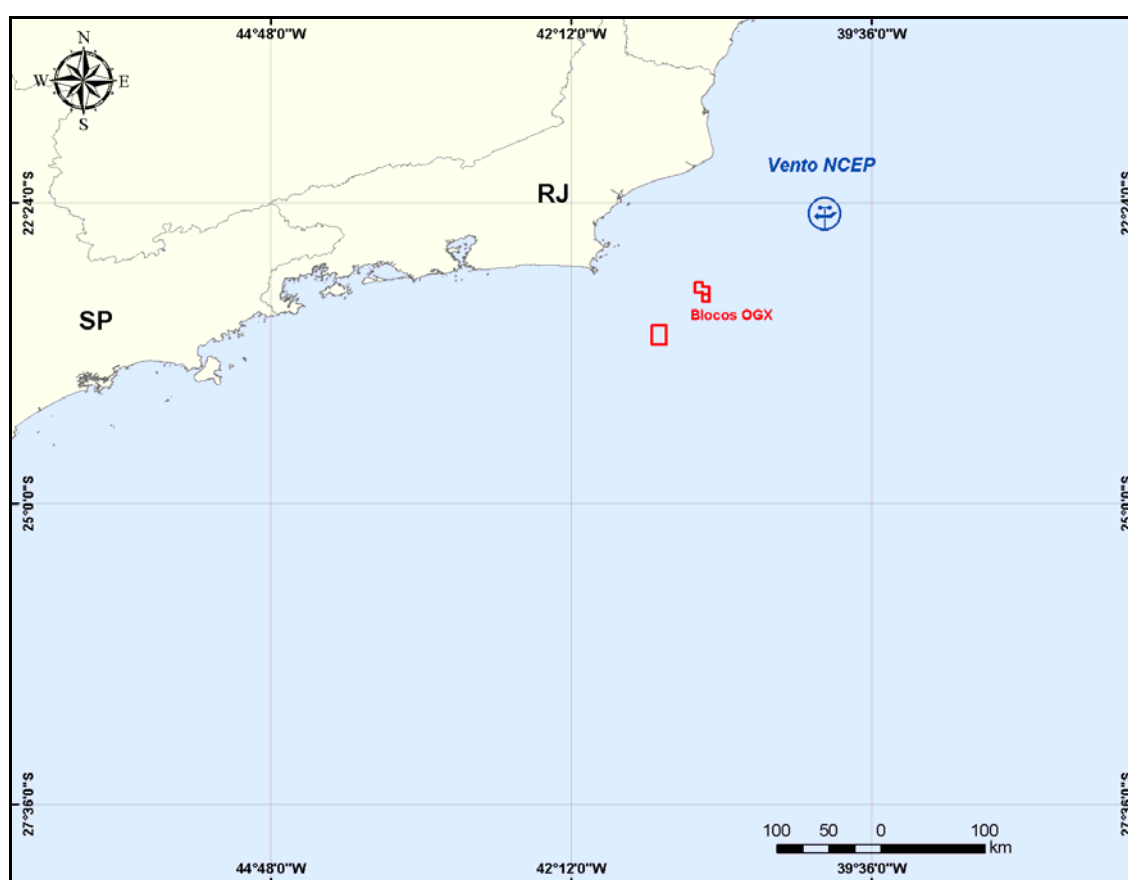


Figura A-1 - Mapa com a localização dos dados de reanálise do NCEP/NCAR (22,5°S e 40°W) no nível de 925 hPa, utilizados nas estatísticas para o período de 1987 a 2007.

¹⁶ National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

¹⁷ Para análises quanto às características meteorológicas da região no que se refere à quantificação da incidência de sistemas frontais, utilizam-se ventos no nível isopical 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 isopicais, 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).

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 A-1; verifica-se que a média mensal desses sistemas atuando na região é de 2,5 sistemas nos meses de verão; 5,4 sistemas no outono; 4,6 no inverno, e 4,4 sistemas nos meses de primavera. Este resultado é coerente com os trabalhos de Oliveira (1986) e Andrade (2005).

Tabela A-1 - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Campos para as quatro estações do ano, no período de 1987 a 2007.

1987 - 2007	Nº.DE FRENTES	FRENTES/MÊS	DURAÇÃO MÉDIA DAS FRENTES (H)	PERÍODO MÉDIO ENTRE FRENTES (DIA)
<i>JAN-FEV-MAR</i>				
Valores Médios	7,4	2,5	31,4	10,5
Desvios Padrão	3,8	1,3	10,6	6,3
<i>ABR-MAI-JUN</i>				
Valores Médios	16,2	5,4	48,9	3,7
Desvios Padrão	3,7	1,2	10,2	1,0
<i>JUL-AGO-SET</i>				
Valores Médios	13,9	4,6	48,2	5,0
Desvios Padrão	3,0	1,0	10,4	1,4
<i>OUT-NOV-DEZ</i>				
Valores Médios	13,2	4,4	33,6	5,7
Desvios Padrão	4,2	1,4	7,3	2,0

Com relação à intensidade do vento, a Figura A-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 A-1. Observa-se que o ano de 1992

apresentou comportamento acima da média; a média de todo o período (1987 a 2007) indicou uma intensidade do vento de 7,03 m/s, enquanto que a média para o ano de 1992 foi de 7,46 m/s (a mais intensa de todo o período analisado).

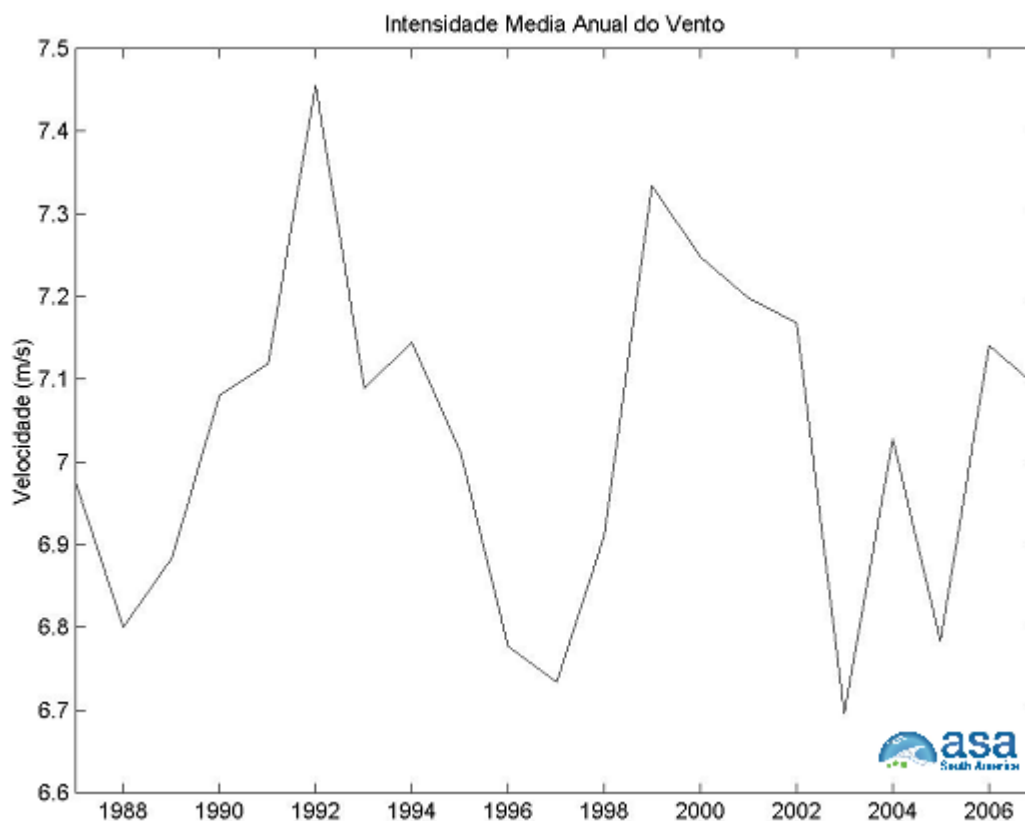


Figura A-2 - Intensidade média anual do vento para o período de 1987 a 2007.

A Figura A-3 apresenta o comportamento médio mensal da intensidade do vento ao longo desse período de dados. Verifica-se, para a maioria dos meses, uma maior intensidade para o ano de 1992, quando comparada à média mensal obtida para todo o período considerado (1987-2007).

A Tabela A-2 apresenta a ocorrência e duração de sistemas frontais para o ano de 1992. Observa-se que, em termos de número de ocorrência de sistemas frontais, o ano de 1992 foi representativo dos dois extremos (inferior no primeiro e superior no segundo semestre); com relação à intensidade do vento, este mesmo ano apresentou valores superiores ao da média observada num período de 20 anos. Estas informações mostram que o ano de 1992 pode ser um ano de

referência a ser utilizado nos trabalhos de modelagem de derrame de óleo e efluentes.

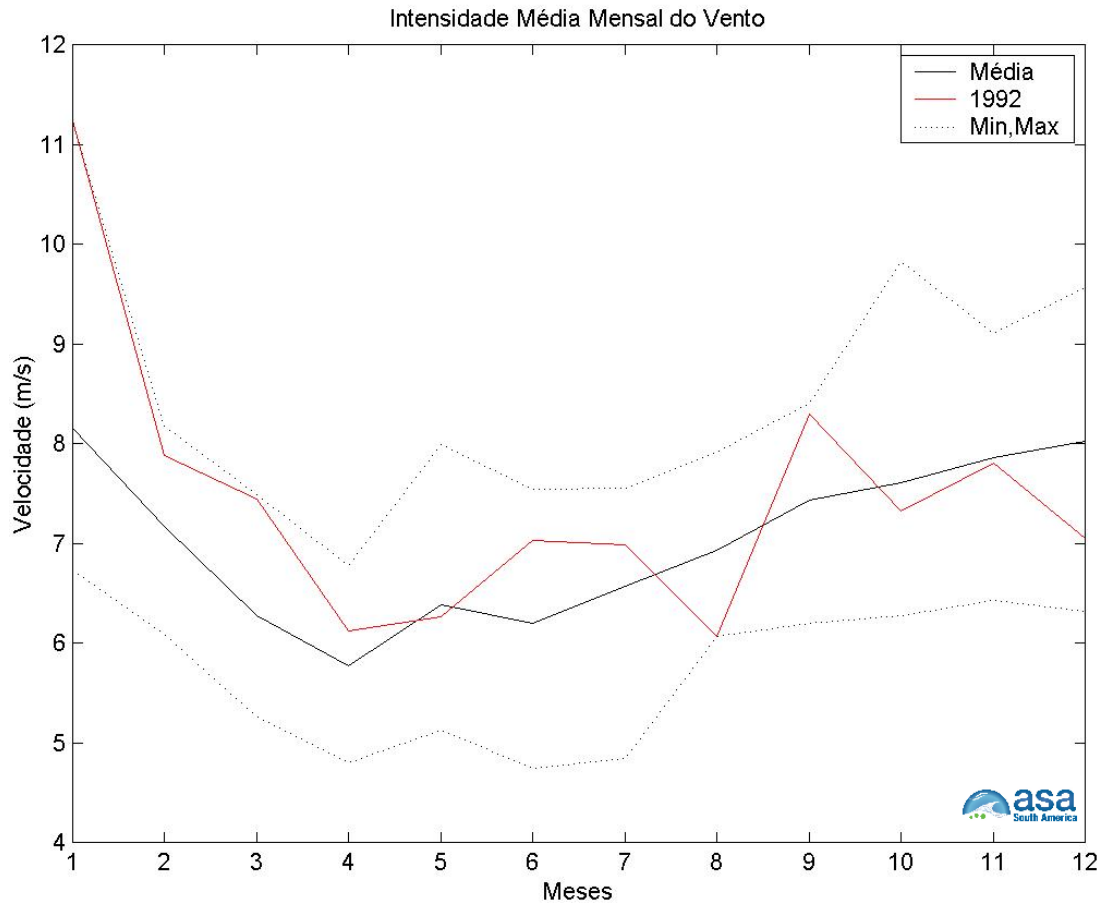


Figura A-3 - Intensidade média mensal do vento para o período de 1987 a 2007 e para o ano de 1992.

Tabela A-2 - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Campos para o ano de 1992.

MESES	Nº DE FRENTE	FRENTE/MÊS	DURAÇÃO MÉDIA DAS FRENTE (H)	PERÍODO MÉDIO ENTRE FRENTE (DIA)
jan-fev-mar	3,0	1,0	32,0	26,3
abr-maio-jun	13,0	4,3	43,4	4,8
jul-ago-set	16,0	5,3	40,5	4,2
out-nov-dez	18,0	6,0	25,0	4,4

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.

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 A-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).

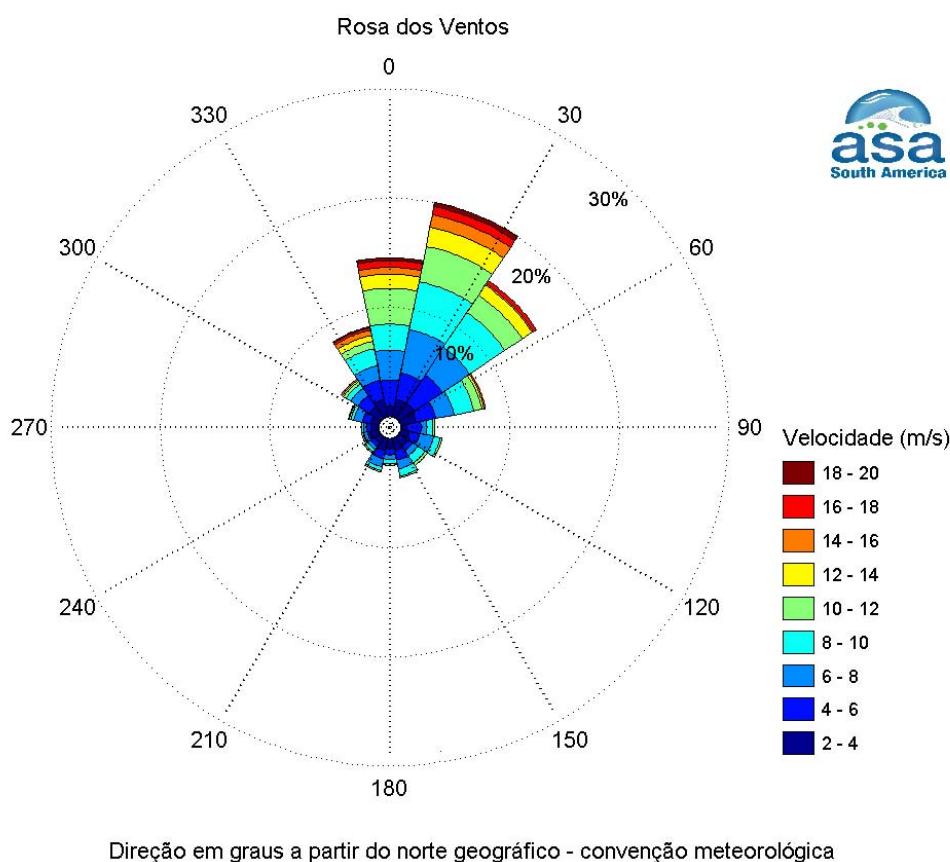


Figura A-4 - Rosa dos ventos (NCEP em 22,5°S e 40,0°W, 925 hPa) para o ano de 1992, com intervalo de amostragem de seis horas. Os círculos concêntricos indicam a porcentagem de incidência, enquanto que a barra de cores (lateral) indica a intensidade do vetor de vento em m/s (convenção meteorológica).

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. 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 A-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 A-3 apresenta o diagrama de ocorrência conjunta dos dados apresentados graficamente na Figura A-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 A-3 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (22,5° e 40,0°, 925 hPa) 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	1	2	3	1	0	0	1	3	1	2	0	1	1	0	0	2	18	1.2	90
1.0- 2.0	2	0	1	3	2	4	4	4	4	2	3	2	1	4	5	7	48	3.3	164
2.0- 3.0	3	8	7	8	5	4	4	4	3	5	1	5	6	4	4	4	75	5.1	34
3.0- 4.0	9	14	14	9	7	4	6	6	5	8	6	5	3	4	10	11	121	8.3	30
4.0- 5.0	12	15	25	15	14	9	4	7	6	5	2	1	3	5	10	14	147	10.0	40
5.0- 6.0	22	21	20	12	15	5	3	6	3	6	4	2	3	6	8	12	148	10.1	29
6.0- 7.0	22	33	22	14	6	7	6	5	0	6	2	1	3	6	5	12	150	10.2	30
7.0- 8.0	18	26	22	11	9	12	2	7	6	5	3	4	1	6	7	8	147	10.0	36
8.0- 9.0	16	39	34	14	4	5	8	9	3	3	2	1	1	2	4	12	157	10.7	38
9.0-10.0	19	27	23	13	10	4	4	1	3	2	2	0	1	2	3	11	125	8.5	34
10.0-11.0	30	26	14	4	2	2	3	2	2	2	1	2	0	2	3	3	98	6.7	20
11.0-12.0	18	22	14	7	4	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	7	76	5.2	25
12.0-13.0	9	17	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	46	3.1	17
13.0-14.0	10	9	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	29	2.0	11
14.0-15.0	6	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	24	1.6	8
15.0-16.0	3	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	15	1.0	12
16.0-17.0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10	0.7	14
17.0-18.0	6	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	18	1.2	15
18.0-19.0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0.4	9
Total	209	291	222	116	78	57	46	54	36	46	27	24	23	42	64	123	1458		
Porc.	14.3	20.0	15.2	8.0	5.3	3.9	3.2	3.7	2.5	3.2	1.9	1.6	1.6	2.9	4.4	8.4			
Vel. méd.	8.9	9.0	7.7	6.8	6.2	6.0	6.0	5.5	5.3	5.2	5.6	4.7	4.4	5.7	6.0	7.6			
Vel. máx.	17.8	19.0	17.6	15.2	11.7	11.5	11.2	10.8	10.3	10.8	11.6	10.1	9.8	12.6	15.7	18.4			
Perct. (0.9)	13.0	14.0	12.0	10.9	9.0	9.0	9.0	8.0	9.0	8.0	9.0	8.2	7.2	9.0	10.0	13.2			

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 (e.g. vazamento de óleo).

A.2 CAMPOS DE VENTO PARA AS MODELAGENS DE ÓLEO

Para as modelagens de óleo e efluentes foram utilizados campos de ventos variáveis no tempo e no espaço, baseados em dados de reanálise do NCEP, corrigidos com o uso de fatores de correção obtidos através de comparação com dados QSCAT¹⁸. Os métodos utilizados para a obtenção destes fatores de correção, bem como sua utilização nas modelagens de óleo e efluentes, são descritos a seguir.

Primeiramente foi efetuada uma análise estatística dos dados de ventos disponíveis: pertencentes à PETROBRAS, para as regiões costeira e oceânica da Bacia de Campos (1992, 2002-03, 2006-07); resultados do QSCAT (disponíveis somente para o período de jul/99 a jun/06) e do NCEP (disponíveis para todos os períodos); apresentados na Figura A-5. A síntese desta análise é apresentada nas Tabelas A-4 a A-6. Esta análise indicou concordância nas direções mais frequentes tanto para os dados medidos quanto para os resultados do NCEP e QSCAT. No entanto, em região oceânica, principalmente no período de inverno, constatou-se que as intensidades médias do NCEP foram mais baixas que as dos dados medidos. Já os resultados do QSCAT apresentaram intensidades mais compatíveis com as dos dados, validando-os nesta região.

Para realizar a correção, foram extraídos os resultados do NCEP na região compreendida entre 43° W – 39° W e 23° S – 20° N, para os anos em que se dispunham resultados do QSCAT: 2000 a 2005. Em seguida foi calculado o fator de comparação (F_c), definido como a razão entre a intensidade do QSCAT (I_q) e a intensidade do NCEP (I_n):

$$F_c = I_q/I_n \quad (A-1)$$

¹⁸ <http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/datasets/QuikSCATData.php/>. Data de acesso: janeiro de 2008.

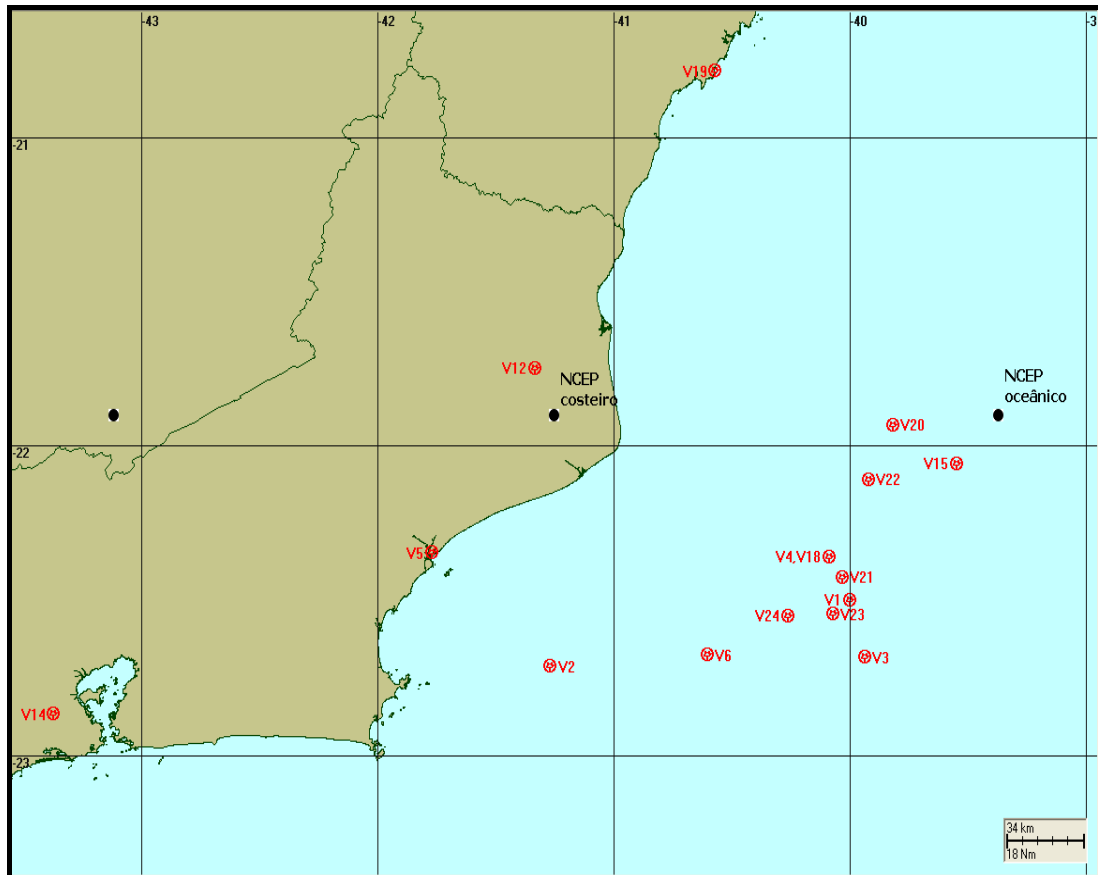


Figura A-5 - Localização dos dados de vento da PETROBRAS nas regiões costeira e oceânica da Baía de Campos (WGS84).

Tabela A-1 - Síntese da análise de ventos costeiros na Baía de Campos para o verão.

DADO DE VENTO		MAIS FREQUENTE		MÁXIMOS	
		INT. MED.	DIR.	INT.	DIR.
costeiros					
1992	V5_Macae92	5,5 m/s 5,6 m/s	ENE (36,4%) NE (30,1%)	10,1m/s	NE
	NCEP_co92	6,0 m/s 6,3 m/s	NE (34,2%) NNE (23,1%)	11,5 m/s	NNE
2002-03	V5_Macae0203	3,7 m/s 2,7 m/s	NNE (20,8%) N (12,5%)	15,4 m/s	NNE
	V12_Campos0203	6,2 m/s 6,0 m/s	ENE (14,3%) E (11,3%)	12,4 m/s	NE
	V14_Afonso0203	3,2 m/s 3,5 m/s	S (12,1%) SSW (11,6%)	9,8 m/s	WSW W
	NCEP_co03	5,1 m/s 4,7 m/s	NNE (29,2%) NE (18,9%)	9,3 m/s	NW
	QSCAT_co03	6,5 m/s 6,3 m/s	NE (26,4%) NNE (18%)	10,7 m/s	NNE
2006-07	V19_Ubu0607	7,6 m/s 5,1 m/s	NNE (35,6%) N (19,4%)	14,1 m/s	NNE
	NCEP_co06	5,2 m/s 4,7 m/s	NNE (27,5%) NE (24,2%)	9,1 m/s	NNE
	QSCAT_co06	6,2 m/s 5,7 m/s	NE (25%) ENE (22,5%)	17,1 m/s	E

Tabela A-2 - Síntese da análise de ventos oceânicos na Bacia de Campos para o verão.

DADO DE VENTO		MAIS FREQUENTE		MÁXIMOS	
		INT. MED.	DIR.	INT.	DIR.
oceânicos					
1992	V1_BCampos92	7,1 m/s 7,3 m/s	NNE (26%) NE (25,4%)	17,0 m/s	ENE NE
	V4_Marlim92	7,2 m/s 7,7 m/s	ENE (26,4%) NE (24,8%)	17,5 m/s	NE NNE
	V6_Enchova92	6,4 m/s 7,1 m/s	ENE (27,9%) NE (24,5%)	18,0 m/s	NE NNE
	NCEP_oc92	6,8 m/s 8,0 m/s	NE (33,1%) NNE (21,1%)	13,4 m/s	NNE
2002-03	V18_Marlim02	10,1 m/s 9,3 m/s	NNE (31,2%) NE (17,9%)	19,4 m/s	NE
	V15_Albacora0203	7,8 m/s 7,3 m/s	NNE (16,7%) N (9,4%)	18,0 m/s	NNE
	NCEP_oc03	6,8 m/s 6,7 m/s	NNE (32,2%) N (19,2%)	11,8 m/s	NNW
	QSCAT_oc03	7,1 m/s 8,2 m/s	NE (24,4%) NNE (20,8%)	16,6 m/s	WSW
2006-07	V20_FPSOBR06	6,3 m/s 5,3 m/s	NNE (25,9%) NE (20,4%)	13,9 m/s	N
	V23_P40_06	6,4 m/s 6,0 m/s	NE (20%) ENE (17%)	12,5 m/s	NW
	V24_P43_06	6,8 m/s 7,1 m/s	NE (20,7%) NNE (20%)	12,6 m/s	N
	V21_P18_0607	8,4 m/s 6,9 m/s	NNE (22,1%) NE (11,8%)	13,8 m/s	NNE
	NCEP_oc06	6,9 m/s 6,0 m/s	NNE (34,2%) NE (23,9%)	11,6 m/s	NNE
	QSCAT_oc06	8,0 m/s 7,1 m/s	NE (23,1%) NNE (22,2%)	17,6 m/s	WSW

Tabela A-3 - Síntese da análise de ventos costeiros na Bacia de Campos para o inverno.

DADO DE VENTO		MAIS FREQUENTE		MÁXIMOS	
		INT. MED.	DIR.	INT.	DIR.
costeiros					
1992	V5_Macae92	1,2 m/s 3,8 m/s	N (26%) NNE (14,3%)	10,3 m/s	N NE
	NCEP_co92	4,8 m/s 4,9 m/s	NE (17,9%) NNE (15,8%)	9,9 m/s	S
2002-03	V5_Macae0203	1,6 m/s 3,7 m/s	N (15,2%) NNE (14,4%)	10,3 m/s	SSW WSW
	V12_Campos0203	0,5 m/s 5,4 m/s	N (10,9%) ENE (8,7%)	12,4 m/s	W
	V14_Afonso0203	2,8 m/s 2,9 m/s	S (8,3%) SSW (6,2%)	7,2 m/s	SSW NNE
	NCEP_co03	5,0 m/s 5,4 m/s	NNE (16,6%) NE (13,9%)	9,8 m/s	S NE
	QSCAT_co03	7,7 m/s 8,3 m/s	NE (17,4%) NNE (15,5%)	15,6 m/s	SW
2006-07	V19_Ubu0607	8,8 m/s 7,1 m/s	NNE 18,5%) N (16,7%)	23,4 m/s	E
	NCEP_co06	5,4 m/s 5,4 m/s	NNE (18,5%) NE (18,5%)	11,5 m/s	SSW
	QSCAT_co06 (jun)	7,7 m/s 6,2 m/s	NE (21,7%) ENE (10,8%)	12,8 m/s	NE

Tabela A-4 - Síntese da análise de ventos oceânicos na Bacia de Campos para o inverno.

DADO DE VENTO		MAIS FREQUENTE		MÁXIMOS	
		INT. MED.	DIR.	INT.	DIR.
oceânicos					
1992	V1_BCampos92	9,2 m/s 8,7 m/s	ENE (17,8%) E (17,5%)	16 m/s	NE
	V4_Marlim92	8,4 m/s 8,8 m/s	N (11,1%) NNE (9%)	16,5 m/s	NE
	V6_Enchova92	8,9 m/s 6,6 m/s	NNE (20,7%) NE (12%)	16,2 m/s	NNE
	NCEP_oc92	6,4 m/s 6,1 m/s	NNE (17,7%) NE (16,6%)	10,6 m/s	SSE
2002-03	V18_Marlim02	9,2 m/s 8,5 m/s	NNE (19,8%) NE (14,6%)	19,1 m/s	NNE
	V15_Albacora0203	8,1 m/s 6,9 m/s	NNE (10,8%) N (8,4%)	18 m/s	N
	NCEP_oc03	6,7 m/s 6,2 m/s	NNE (19%) NE (14,4%)	12,2 m/s	SE
	QSCAT_oc03	8,9 m/s 7,4 m/s	NNE (19%) NE (11,4%)	14,2 m/s	SW
2006-07	V20_FPSOBR06	7,3 m/s 5,9 m/s	NNE (17,7%) NE (12,9%)	13,8 m/s	N
	V23_P40_06	8,6 m/s 7,3 m/s	NNE (20,2%) NE (12,4%)	14,1 m/s	SW
	V24_P43_06	8,7 m/s 7,4 m/s	NNE (21,6%) NE (12,5%)	14,4 m/s	S
	V21_P18_0607	7,3 m/s 5,9 m/s	NNE (23,3%) NE (13%)	12,1 m/s	SW
	NCEP_oc06	7,6 m/s 6,7 m/s	NNE (23,9%) NE (13,3%)	12,3 m/s 12,0 m/s	N NNE SSW
	QSCAT_oc06 (jun)	6,9 m/s 8,0 m/s	ENE (15%) NNE (12,5%)	12,6 m/s	NE

O Fc foi calculado para todos os instantes (2000 a 2005) e em todos os pontos de grade. A partir da matriz de Fc, foi realizada uma climatologia, calculando as médias mensais, para cada ponto de grade. Os valores médios mensais de Fc foram multiplicados à intensidade do vento NCEP de 1992, na Bacia de Campos.

Para avaliar os resultados, foi realizada uma comparação entre as séries temporais dos ventos NCEP original, intensificado e o vento v4 da PETROBRAS (22,36° S; 40,09° W). A comparação, apresentada na Figura A-6, indicou que os valores corrigidos do NCEP ficaram mais próximos dos valores medidos.

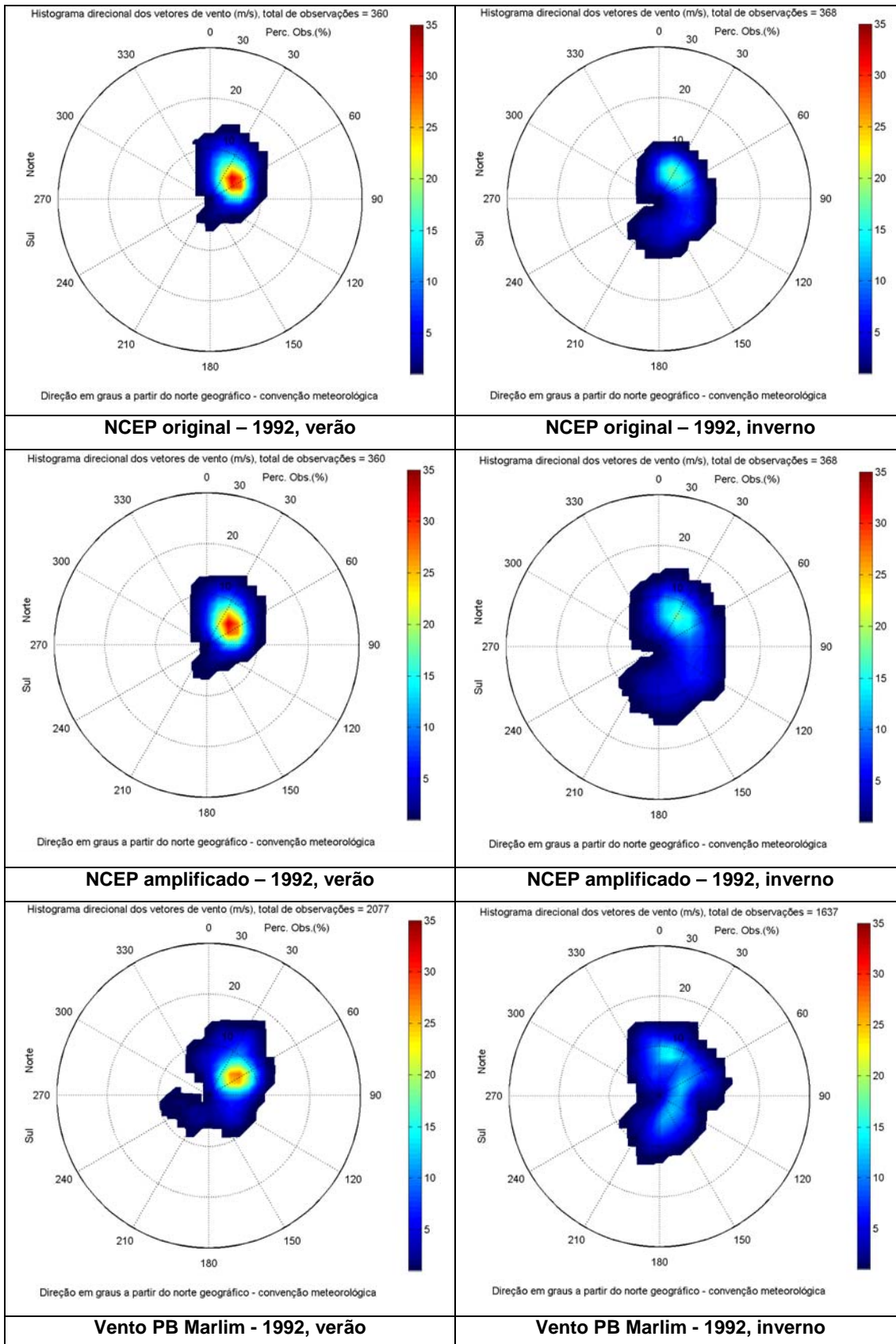


Figura A-6 - Comparação entre os ventos NCEP (21,9° S; 39,4° W) original e amplificado e o vento medido pela PB em 22,36° S; 40,09° W.

Estes dados corrigidos não foram utilizados na elaboração da base hidrodinâmica. No entanto, os ajustes realizados durante o processo de calibração do modelo hidrodinâmico possibilitaram a geração de um campo de correntes com comportamento (padrões, variabilidade, direções e principalmente intensidades) compatível à dos dados medidos.

Vale apenas ressaltar que este procedimento de “correção” do campo de ventos é realizado quando existem dados medidos disponíveis para tal.

A.3 BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, K.M., 2005. Climatologia e Comportamento dos Sistemas Frontais sobre a América do Sul. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)* – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-14056-TDI/1067). 185pp.

CAVALCANTI, I.F.A. & V.E. KOUSKY, 2003. Climatology of South American cold fronts. In: *International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 7.*, Wellington, New Zealand. Proceedings. New Zealand: American Meteorological Society. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A.S., 1986. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)* – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-4008-TDL/239). 134pp.

RODRIGUES, M.L.G., D. FRANCO & S. SUGAHARA, 2004: Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina, *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(2), p.135-151.

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*¹⁹.

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 2^a 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:

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

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 2^a 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

¹⁹ <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>

2ª 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*).

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:

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

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

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

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

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

Conservação de Temperatura Potencial:

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

Conservação de Salinidade:

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

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (\text{B-8})$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

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

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x}(q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y}(q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z}(2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial}{\partial z}(q^2 l) \right] \\ + l E_1 K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \end{aligned} \quad (\text{B-10})$$

sendo,

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

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

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

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^2l} = termos horizontais de mistura para q^2 e q^2l .

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:

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

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. A descrição desta implementação encontra-se no Capítulo III, assim como os procedimentos de aquecimento (*warm up*) do modelo.

B.3 ESTIMADORES DE ESTABILIDADE COMPUTACIONAL

Embora existam outras condições para garantir a estabilidade em modelos numéricos hidrodinâmicos, o critério de Courant-Friedrichs-Levy (CFL) estabelece que para o modo externo (verticalmente integrado), o seguinte passo de tempo como condição mais restritiva para a estabilidade computacional (POM Users Guide²⁰):

$$\Delta t_E \leq \frac{1}{C_t} \left[\frac{1}{\delta x^2} + \frac{1}{\delta y^2} \right]^{-1/2} \quad (\text{B-15})$$

sendo,

Δt_E = limite superior para o passo de tempo externo;

C_t = velocidade máxima possível (magnitude);

δ_x = máxima resolução espacial na direção x e,

δ_y = máxima resolução espacial na direção y.

²⁰ Users Guide for a Three-dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean, George L. Mellor, Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, NJ 08544-0710 (Equação 29, pág. 22) – disponível para acesso em <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom/publications.htm>.

Salienta-se que $C_t = 2.(g.H)^{1/2} + U_{\max}$; g é a aceleração da gravidade, H é a profundidade local e U_{\max} é a velocidade máxima esperada.

Para a qualidade, segurança e otimização dos recursos computacionais, inicia-se um simulação numérica com um reduzido passo de tempo, pois um dos primeiros arquivos (*log file*) a serem produzidos pelo modelo indica o passo de tempo limite para a simulação estável do modelo. De posse desta informação, avaliam-se os passos de tempo originalmente impostos ao modelo, e se necessário, reinicia-se o modelo utilizando, com um passo de tempo inferior ao sugerido.

Considerando as máximas resoluções nas duas direções horizontais da grade implementada e os passos de tempo impostos ao modelo (listados abaixo), tem-se que sob estas condições, o modelo só apresentará instabilidade numérica para velocidade C_t acima 60 m/s.

$$DT_I \text{ (passo de tempo interno)} = 180s$$

$$DT_E \text{ (passo de tempo externo)} = 60s$$

$$Isplit = (DT_I/DT_E) = 3$$

Cabe lembrar que C_t é a soma da velocidade máxima (U_{\max}) com a velocidade de fase para águas rasas ($C_p = 2(gH)^{1/2}$).

A partir das constantes utilizadas no modelo g ($=9,82 \text{ m/s}^2$) e H ($=5m$; a profundidade mínima aplicada ao modelo é utilizada), tem-se $C_p = 14,14 \text{ m/s}$.

Enfim, a partir dos valores obtidos para C_t ($=60 \text{ m/s}$) e para C_p ($=14,14m/s$), conclui-se que a velocidade máxima (U_{\max}) que o modelo pode resolver de maneira estável é da ordem de 46 m/s. Tal velocidade (46m/s) é muito superior a velocidade induzida pelo fluxo mais energético na região (Corrente do Brasil), que é inferior a 1,5 m/s (Silveira *et al.*, 2000).

B.4 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.

SILVEIRA, I.C. de A.; A.C.C.K.SCHMIDT; E.J.D. CAMPOS; S.S. de GODOY & Y. IKEDA, 2000. A corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*. 48(2): 171-183.

ANEXO C - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS OILMAP

Na modelagem da deriva de óleo foi utilizado o modelo OILMAP, desenvolvido pela **ASA**. Este modelo é uma ferramenta utilizada para o acompanhamento e previsão do deslocamento e intemperismo de qualquer tipo de óleo derramado em acidentes com petróleo.

O OILMAP é um sistema de modelos, utilizado em Planos de Contingência (Lima *et al.*, 2003, ASA 2003a,b,c), Planos de Emergência com acompanhamento em tempo real (Pereira *et al.*, 2005), Planos de Emergência Individuais (ASA, 2003d, 2004), Relatório de Controle Ambiental (ASA, 2005a) e Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) no Brasil (ASA, 2005b) e em várias regiões do mundo (Jayko & Howlett, 1992; Spaulding *et al.*, 1992a,b).

O OILMAP foi projetado em uma configuração modular de forma que diferentes tipos de modelos, bem como um conjunto de ferramentas sofisticadas de dados ambientais, podem ser acoplados dependendo do problema e da situação em estudo. Através de sua interface gráfica, o OILMAP permite ao usuário a especificação dos cenários; animação das trajetórias, correntes e vento; importar e exportar dados ambientais; a definição da grade computacional para qualquer área dentro do domínio; gerar correntes médias ou de maré; incluir ou editar as características dos óleos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em objetos georreferenciados (SIG); e determinar o impacto ambiental em recursos naturais. As funções do SIG permitem ao usuário a entrada, manipulação e exibição de objetos na tela através de pontos, linhas, e polígonos georreferenciados ao domínio definido pelo cenário. A cada objeto podem ser atribuídos dados em formato de texto, valores numéricos ou arquivos a partir de *links* externos.

O sistema OILMAP inclui os seguintes modelos: um modelo de deriva e intemperismo para óleo de superfície e subsuperfície, um modelo de resposta a derramamento de óleo, modelo probabilístico, e um modelo receptor que através do método reverso localiza a origem do derramamento a partir de informações da posição da mancha.

Para elaboração de cenários de deriva para acidentes com petróleo deve ser definido um conjunto de duas grades computacionais, sobrepostas ao mapa digital da área de estudo. Uma das grades, compreendendo apenas a região de água, define o campo de circulação, podendo neste caso ser baseada em resultados de um modelo hidrodinâmico implementado na região de estudo. A outra grade (*land-water*) define quais as células ou blocos correspondem à área de terra e quais à área de água, com a interface definida pela linha de costa. A linha de costa é representada por uma série de blocos que limita a extensão em que a mancha de óleo pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (e.g. manguezais, costões rochosos, praias).

O modelo de deriva de óleo prevê o transporte e intemperismo do óleo a partir de derrames instantâneos e contínuos. As estimativas demonstram a localização e massa do óleo na superfície *versus* o tempo. O modelo estima a variação temporal da cobertura de área, espessura da mancha e viscosidade do óleo. O modelo também estima o balanço da massa de óleo ou a quantidade de óleo sobre a superfície do mar, na coluna de água, evaporado, na costa, e fora da área de estudo *versus* o tempo. Os processos de transformações biogeoquímicas no modelo incluem dispersão, evaporação, entranhamento, dispersão natural ou por suspensão e emulsificação. O OILMAP pode também calcular as interações do óleo com a camada de sedimentos e, no balanço de massa, a sedimentação associada a este processo.

A advecção e a dispersão são os processos físicos associados ao deslocamento e espalhamento do óleo, resultantes da ação combinada do vento, das ondas, da maré e dos fluxos induzidos por gradiente de densidade. O processo de advecção é modelado usando uma formulação lagrangiana e o processo de dispersão é modelado usando uma formulação do tipo deslocamento aleatório (*random walk*). A dispersão e o espalhamento da mancha são representados no modelo pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980a, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa dos mesmos autores.

O processo de evaporação baseia-se na formulação analítica parametrizada em termos de exposição à evaporação (Mackay *et al.*, 1980b, 1982). O modelo de Exposição à Evaporação (Stiver & Mackay, 1984) é uma aproximação analítica para a previsão do volume evaporado. O modelo utiliza informações da curva de destilação para estimar os parâmetros necessários à equação analítica.

Os processos de entranhamento são modelados utilizando-se a formulação de Delvigne & Sweeney (1988) que, explicitamente, representa índices de injeção de óleo para dentro da coluna d'água por gotículas de óleo. O coeficiente de entranhamento, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em Delvigne & Hulsen (1994).

O processo de emulsificação do óleo, em função de perdas de evaporação e alterações na porcentagem de água na mistura, baseia-se em Mackay *et al.* (1980a, 1982) e depende da composição do óleo e do estado do mar. O método de emulsificação de Mackay *et al.* (1982) é implementado através dos valores dos parâmetros de entrada do coeficiente de viscosidade do *mousse* e uma taxa de emulsificação que podem ser usados para diminuir a taxa em que a emulsificação está prevista para ocorrer.

A interação do óleo com o litoral e a linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada de Reed *et al.* (1989), que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção dependendo do tipo da costa e de um índice de remoção exponencial.

Utilizando-se o OILMAP em modo probabilístico, é possível considerar a variabilidade das forçantes ambientais. As simulações de derrame são realizadas através da variação aleatória do início do mesmo dentro do período para o qual se dispõe de dados meteorológicos e oceanográficos. Tanto os ventos quanto as correntes, ou ambos, podem variar estocasticamente. As múltiplas trajetórias são, então, utilizadas para a produção de curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da grade computacional (área de estudo). As probabilidades de presença de óleo e tempo de deslocamento da mancha podem ser correlacionadas a recursos naturais armazenados no banco de dados (SIG), de forma a auxiliar na avaliação de impactos ambientais em termos da probabilidade da presença de óleo em recursos importantes.

C.1 FORMULAÇÃO DO MODELO

O sistema OILMAP inclui um modelo de trajetória e intemperismo para óleo de superfície que prevê o transporte e a degradação do óleo a partir de derrames instantâneos e contínuos.

No OILMAP, a mancha de óleo é considerada como um conjunto de partículas lagrangianas contendo, cada uma delas, massa conhecida. O vetor posição (\vec{X}_t) de uma dada partícula, num determinado instante t , é definido como:

$$\vec{X}_t = \vec{X}_{t-\Delta t} + \Delta t \vec{U}_{oil} \quad (1)$$

onde

- Δt = passo de tempo (s);
- $\vec{X}_{t-\Delta t}$ = posição em $t - \Delta t$;
- \vec{U}_{oil} = velocidade da mancha (m/s).

A velocidade advectiva da partícula, \vec{U}_{oil} (m/s), é definida por:

$$\vec{U}_{oil} = \vec{U}_w + \vec{U}_t + \vec{U}_r + \alpha \vec{U}_e + \beta \vec{U}_p \quad (2)$$

onde

- \vec{U}_w = componente da velocidade devido ao vento e às ondas (m/s);
- \vec{U}_t = componente da velocidade devido às correntes de maré (m/s);
- \vec{U}_r = componente da velocidade devido ao fluxo residual (m/s);
- \vec{U}_e = componente da velocidade devido ao fluxo de Ekman (m/s);
- \vec{U}_p = componente da velocidade devido ao *blowout* (m/s);
- α = 0 para derrame de superfície, 1 para subsuperfície;
- β = 0 para derrame sem *blowout*, 1 para *blowout*.

A componente da velocidade advectiva devida às correntes de maré, \bar{U}_t , e ao fluxo residual, \bar{U}_r , são provenientes do modelo hidrodinâmico. A velocidade de deriva devida ao vento, u_{wc} e v_{wc} (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wc} = C_1 u_w \quad (3)$$

$$v_{wc} = C_1 v_w \quad (4)$$

onde

u_w = componente Leste-Oeste da velocidade do vento (m/s);

v_w = componente Norte-Sul da velocidade do vento (m/s);

C_1 = fator de deriva (%).

O fator de deriva, C_1 , é constante (Lange & Huhnerfuss, 1978), podendo variar entre 1,0 e 4,5%, baseado em observações. Valores de 3 a 3,5% são mais frequentemente utilizados para ventos moderados em áreas de mar aberto. Valores menores são mais utilizados em zonas costeiras protegidas, como estuários e baías. O valor *default* no modelo é 3,5%. Se as correntes de superfície, fornecidas pelo modelo hidrodinâmico (ou dados observacionais), já são forçadas pelo vento, então o fator de deriva deve ser reduzido.

O ângulo de deriva é no sentido anti-horário da direção do vento (Hemisfério Sul). Assim, a velocidade de deriva devida ao vento, u_{wd} e v_{wd} (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wd} = u_{wc} \cos \theta + v_{wc} \sin \theta \quad (5)$$

$$v_{wd} = u_{wc} \sin \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (6)$$

onde

u_{wd} = componente Leste-Oeste da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

v_{wd} = componente Norte-Sul da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

θ = ângulo de deriva ($^\circ$) constante ($\theta = C_c$). O valor *default* é zero.

Utilizando a formulação *random walk* para a dispersão horizontal, é possível simular os processos dispersivos que ocorrem numa escala de movimento inferior à escala de resolução do campo de corrente fornecido pelos dados e ou modelo hidrodinâmico (Okubo, 1971; Okubo & Ozmidov, 1970). As componentes da velocidade de dispersão da mancha, u_{dd} e v_{dd} , (m/s), são definidas (Bear & Verruijt, 1987) por:

$$u_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}} \quad (7)$$

$$v_{dd} = \gamma \sqrt{\frac{6D_y}{\Delta t}} \quad (8)$$

onde

D_x = coeficiente de dispersão horizontal na direção Leste-Oeste (m²/s);

D_y = coeficiente de dispersão horizontal na direção Norte-Sul (m²/s);

Δt = passo de tempo (s);

γ = número aleatório entre (-1) e (1).

Os coeficientes de dispersão horizontal nas direções Leste-Oeste (D_x) e Norte-Sul (D_y) são, geralmente, iguais.

O processo de espalhamento da mancha é representado pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980a,b, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa. O OILMAP modela apenas a mancha espessa que contém mais de 90% da massa associada à mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (Mackay *et al.*, 1980a), \bar{A}_{tk} (m²/s), é definida por:

$$\bar{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \quad (9)$$

onde

A_{tk} = área superficial da mancha (m²);

K_1 = taxa de espalhamento constante (s⁻¹);

V_m = volume da superfície da mancha (m³);

t = tempo (s).

A análise de sensibilidade deste algoritmo demonstrou que a solução é sensível ao número de partículas utilizadas. Com o objetivo de minimizar esta dependência, Kolluru (1992) derivou uma formulação, normalizando a solução para diferentes números de partículas superficiais.

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula (m^2/s) é dada por:

$$\tilde{A}_{tk} = \frac{dA_{tk}}{dt} = K_1 A_{tk}^{1/3} \left(\frac{V_m}{A_{tk}} \right)^{4/3} \left(\frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3} \quad (10)$$

onde

A_{tk} = área superficial de uma partícula (m^2);

K_1 = taxa de espalhamento constante (s^{-1});

V_m = volume de óleo de uma partícula (m^3);

R_s = raio de uma partícula (m);

R_e = raio efetivo da superfície da mancha (m).

O raio efetivo da superfície da mancha R_e (m), (Kolluru, 1992) é dado por:

$$R_e \left[\left(\frac{1}{\pi} \right) \sum_{n=1}^N A_{tk} \right]^{1/2} \quad (11)$$

onde

A_{tk} = área superficial de uma partícula (m^2);

N = número de partículas usadas para representar a superfície da mancha.

O processo de evaporação baseia-se na formulação analítica parametrizada em termos de exposição à evaporação (Mackay et al., 1980b, 1982).

O modelo de Exposição à Evaporação (Stiver & Mackay, 1984) é uma aproximação analítica para a previsão do volume evaporado. O modelo utiliza informações da curva de destilação do óleo (curva PEV) para estimar os parâmetros necessários a esta equação analítica. A fração evaporada, F_v , é definida por:

$$F_v = \frac{\ln[1 + B(T_G/T)\theta \exp(A - BT_0/T)]}{[T / BT_G]} \quad (12)$$

onde

T_0 = ponto de ebulição inicial (K);

T_G = gradiente da curva de destilação modificada;

T = temperatura do ambiente (K);

A, B = constantes adimensionais;

θ = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação, θ , é definida por:

$$\theta = \left(\frac{K_m A_t}{V_0} \right) \quad (13)$$

onde

K_m = coeficiente de transferência de massa (m/s);

A = área da mancha (m²);

t = tempo (s);

V_0 = volume do derrame de óleo (m³).

Dados da curva de destilação (T_0 , T_G , A , B), para óleo cru, podem ser obtidos no *Environment Canada's Oil Catalog* (Whiticar et al., 1992), ou através dos seguintes procedimentos:

1. T_0 (ponto de ebulição inicial) e T_G (gradiente) são obtidos plotando-se a temperatura de ebulição (T_B) com a fração do volume destilado (F_v) para um determinado tipo de óleo, como se segue:

$$T_B = T_0 + T_G F_v \quad (4)$$

2. A (ponto de intersecção com o eixo y) e B (declividade) são obtidos plotando-se o logaritmo natural da constante da Lei de Henry, H , com a

temperatura de ebulição (T_B). A constante da Lei de Henry, H , é definida como a razão da concentração do óleo na fase de vapor com a fase líquida. É uma constante adimensional obtida através de experimentos em laboratórios e definida por:

$$H = PV / RT \quad (15)$$

onde

P = pressão do vapor do óleo (atm);

V = volume do óleo (m^3);

R = constante universal dos gases;

T = temperatura ambiente (K).

H é comumente fornecido em unidades de atm - m^3/mol , devendo ser dividido por RT para adimensionalizá-lo. A relação entre H e T_B é:

$$\ln H = A - B \left(\frac{T_B}{T} \right) \quad (16)$$

Os valores de A e B são fornecidos no banco de dados do OILMAP e variam de 1 a 20 e de 7 a 18, respectivamente.

Os processos de entranhamento são modelados utilizando-se a formulação de Delvigne & Sweeney (1988) que, explicitamente, representa índices de injeção de óleo para dentro da coluna de água por gotículas de óleo. O coeficiente de entranhamento, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em Delvigne & Hulsen (1994).

Delvigne & Sweeney (1988) desenvolveram uma relação para a taxa de entranhamento do óleo como uma função do tamanho da partícula de óleo, Q_d (kg/m^2s), expressa como:

$$Q_d = C * D_d^{0,57} S F d^{0,7} \Delta d \quad (17)$$

onde

C^* = constante empírica de entranhamento que depende do tipo de óleo e do estado do tempo;

D_d = energia dissipada da arrebentação da onda por unidade de área superficial (J/m^2);

S = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;

F = fração da superfície do mar atingida pela arrebentação das ondas;

d = diâmetro da partícula de óleo (m);

Δd = intervalo de diâmetro da partícula de óleo (m).

A constante de entranhamento, C^* , foi ajustada aos dados relatados em Delvigne & Hulsen (1994) como:

$$C^* = \exp(a \ln(\mu / \rho) + b) \quad (18)$$

onde

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm^3);

$a = -0,1023$, $b = 07,572$ para $(\mu / \rho) < 132$ cSt;

$a = -1,8927$, $b = 16,313$ para $(\mu / \rho) > 132$ cSt.

O diâmetro médio da partícula, d_{50} (μm), é definido por:

$$d_{50} = 1818(E)^{-0,5} \left(\frac{\mu}{\rho_0} \right)^{0,34} \quad (19)$$

onde

E = taxa de dissipação da energia da onda por unidade de volume (J/m^3s), com 10^3 a 10^4 para ondas em zona de arrebentação, 1 a 10 para camada superficial, 10^{-1} a 1 para estuários e 10^{-4} a 10^{-2} para oceano profundo;

μ = viscosidade do óleo (cP);

ρ = densidade do óleo (g/cm^3).

O processo de entranhamento é muito sensível aos valores mínimo (d_{\min}) e máximo (d_{\max}) do diâmetro da partícula (μm), sendo:

$$d_{\min} = 0,1d_{50} \quad (20)$$

$$d_{\max} = 2,0d_{50} \quad (21)$$

A energia dissipada da onda, D_d (J/m^2), é:

$$D_d = 3,4 \times 10^{-3} \rho_w g H^2 \quad (22)$$

onde

ρ_w = densidade da água (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

H = raiz quadrada média da altura da arrebentação da onda (m).

A fração da superfície marinha impactada pela arrebentação das ondas por unidade de tempo, F , é:

$$F = 0,032(U_w - U_t)/T_w \quad (23)$$

onde

U_w = velocidade do vento 10 m acima da superfície do mar (m/s);

U_t = valor limite do vento para a quebra da onda ($\sim 5 \text{ m}/\text{s}$);

T_w = período de onda significativo (s).

O total da massa que sofre entranhamento na coluna d'água, M_e (kg), é:

$$M_e = Adt \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} Q_d dd \quad (24)$$

onde

- A = área superficial da mancha (m^2);
 dt = passo de tempo (s);
 Q_d = taxa de entranhamento ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$).

A profundidade de intrusão, z_m (m), é:

$$z_m = 1,5H_b \quad (25)$$

onde

- H_b = altura da quebra da onda (m).

A velocidade de ascensão para cada tamanho de gotícula, W_i (m/s), é:

$$W_i = d_i^2 g (1 - \rho_0 / \rho_w) / 18\nu_w \quad (26)$$

onde

- d_i = diâmetro da gotícula (m);
 g = constante gravitacional (m/s^2);
 ρ_0 = densidade do óleo (kg/m^3);
 ρ_w = densidade da água (kg/m^3);
 ν_w = viscosidade da água (m^2/s).

Esta relação usa a Lei de Stokes e é válida para baixos valores de números de Reynolds ($R_e < 20$).

A profundidade de mistura para cada tamanho de partícula, Z_i (m), é:

$$Z_i = \max\left(\frac{D_v}{W_i}, Z_m\right) \quad (27)$$

onde

- D_v = coeficiente de dispersão vertical (m^2/s).

O coeficiente de dispersão vertical, D_v (m^2/s), é definido como:

$$D_v = 0,0015W_{10} \quad (28)$$

onde

W_{10} = velocidade do vento a 10 m de altura (m/s).

A fração da massa que volta à superfície para cada tamanho de partícula, R_i , é dada por:

$$R_i = \frac{W_i dt}{Z_i} \quad (29)$$

onde

dt = passo de tempo (s).

O processo de emulsificação do óleo, em função de perdas de evaporação e alterações na porcentagem de água na mistura, baseia-se em Mackay *et al.* (1980a, 1982) e depende da composição do óleo e do estado do mar.

O método de emulsificação de Mackay *et al.* (1982) é implementado pelo usuário através dos valores dos parâmetros de entrada do coeficiente de viscosidade do *mousse* e uma taxa de emulsificação, que podem ser usados para diminuir a taxa em que a emulsificação está prevista para ocorrer.

O aumento exponencial do algoritmo da formação do *mousse* é apresentado em Mackay *et al.* (1980a, 1982). A taxa de água que é incorporada ao óleo, \tilde{F}_{wc} (s^{-1}), é dada por:

$$\tilde{F}_{wc} = \frac{dF_{wc}}{dt} = C_1 U_w^2 \left(1 - \frac{F_{wc}}{C_2} \right) \quad (30)$$

onde

U_w = velocidade do vento (m/s);

C_1 = constante empírica (2×10^{-6} para o óleo emulsificado; 0 para outros);

C_2 = constante que controla a quantidade máxima de água (0,7 para óleo combustível pesado e óleo cru);

F_{wc} = fração máxima de água no óleo (valor de entrada para caracterização do óleo) (s^{-1}).

A viscosidade do óleo emulsificado, μ (cP), é dada por:

$$\mu = \mu_0 \exp\left(\frac{2,5F_{wc}}{1 - C_0 F_{wc}}\right) \quad (31)$$

onde

μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);

F_{wc} = fração máxima de água no óleo;

C_0 = constante de emulsificação ($\sim 0,65$).

O efeito da evaporação na viscosidade, μ (cP), é dada por:

$$\mu = \mu_0 \exp(C_4 F_v) \quad (32)$$

onde

μ_0 = viscosidade inicial do óleo (cP);

C_4 = constante (1 para óleo leve e 10 para óleo pesado);

F_v = fração evaporada da superfície da mancha.

A interação do óleo com o litoral e linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada de Reed *et al.* (1989), que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção dependendo do tipo da costa e de um índice de remoção exponencial. Estes processos foram parametrizados no OILMAP da seguinte forma:

- A grade que representa a linha de costa do OILMAP (grade *land-water*) pode conter diferentes informações sobre as capacidades de retenção de óleo para cada elemento de grade. A deposição ocorre quando uma partícula de óleo cruza a linha de costa e termina quando a capacidade de absorção da superfície especificada é atingida. As partículas de óleo que posteriormente atingem um elemento de grade costeira já saturada não permanecem na superfície da costa;
- O óleo depositado na linha de costa é exponencialmente removido com o tempo, retornando à coluna d'água numa maré enchente suficientemente alta para umedecer a superfície com o óleo, aliada a ação do vento;
- A fração de massa disponível para deposição na linha de costa, F_{sh} , é:

$$F_{sh} = \frac{A_{lg}}{A_s} \quad (33)$$

onde

A_{lg} = área de um elemento de grade;

A_s = área de uma partícula na superfície.

- A massa é depositada na grade costeira apenas se o total de massa acumulada é menor do que a capacidade de absorção de determinado elemento de grade. Esta capacidade de absorção para um determinado tipo de costa i , $M_{h,i}$ (kg), é:

$$M_{h,i} = \rho_0 t_i W_i L_{gi} \quad (34)$$

onde

i = parâmetro do tipo de costa;

ρ_0 = densidade do óleo depositado (kg/m^3);

t_i = espessura máxima do óleo que pode ser depositada na costa (varia de acordo com o tipo de costa e viscosidade do óleo);

W_i = largura do elemento de grade atingido pelo óleo;

L_{gi} = comprimento do elemento de grade atingido pelo óleo.

- A massa de óleo restante na costa em qualquer instante, M_R (kg), é

$$M_R = M_0(1 - \exp[-t/T]) \quad (35)$$

onde

M_0 = massa inicial do óleo depositado na costa (kg);

t = tempo (dias);

T = tempo de remoção dependente do tipo de costa (dias).

C.2 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- ✓ localização geográfica do ponto de derrame;
- ✓ data e horário;
- ✓ duração do derrame;
- ✓ volume derramado;
- ✓ tipo de óleo;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g., barreiras, sobrevôo, dispersantes);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos;
- ✓ opções de saída;
- ✓ parâmetros de simulação:
 - número de partículas,
 - fator de vento,
 - coeficiente de dispersão horizontal,
 - passo de tempo do modelo,
 - passo de tempo do arquivo de saída.

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

C.3 BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2003a. Cenários de Acidentes com Petróleo no Terminal de Alemoa (SP). Relatório Técnico (janeiro de 2003). 57pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2003b. Cenários de Acidentes com Petróleo no Terminal de Paranaguá (PR). Relatório Técnico (janeiro de 2003). 51pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2003c. Cenários de Acidentes com Petróleo na Refinaria de Presidente Bernardes – RPBC (SP). Relatório Técnico (dezembro de 2003). 47pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2003d. Estudos de Deriva para Acidentes com Produtos Derivados de Petróleo no Terminal de São Luís (MA). Relatório Técnico (dezembro de 2003). 196pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2004. Estudos de Deriva para Acidentes com Produtos Derivados de Petróleo na Base Vila do Conde (PA). Relatório Técnico (janeiro de 2004). 207pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2005a. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o Bloco BM-CAL-6. Relatório Técnico, Revisão 01 (outubro de 2005). 212pp.

ASA (Applied Science Associates South America), 2005b. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para o FPSO Capixaba, Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo. Relatório Técnico (abril de 2005). 107pp.

BEAR, J. & A. VERRUIJT, 1987. Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases. Kluwer Academic Publishers.

DELVIGNE G.A.L. & C.E. SWEENEY, 1988. Natural dispersion of oil. *Oil & Chemical Pollution*, 4 (1988): p. 281-310.

DELVIGNE G.A.L. & L.J.M. HULSEN, 1994. Simplified laboratory measurement of oil dispersion coefficient – Application in computations of natural oil dispersion. Proceedings of the Seventeenth Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar, June 8-10, 1994, Vancouver, BC Canada, pp.173-187.

JAYKO K. & E. HOWLETT, 1992. OILMAP an interactive oil spill model. In: *OCEANS 92*, October 22-26, 1992, Newport, RI.

KOLLURU, V.S., 1992. Influence of Number of Spilllets on Spill Model Predictions. Applied Science Associates Internal Report, 1992.

LANGE, P. & H. HÜHNERFUSS, 1978. Drift response of mono-molecular slicks to wave and wind action. *Journal of Physical Oceanography*, v. 8, p. 142-150.

LIMA J.A., A. SARTORI, E.A. YASSUDA, J.E. PEREIRA & E. ANDERSON, 2003. Development of oil spill scenarios for contingency planning along the Brazilian coast. In: International Oil Spill Conference, 2003, Vancouver, BC, Canada.

MACKAY, D., S. PATERSON. & K. TRUDEL, 1980a. A mathematical model of oil spill behavior, Department of Chemical Engineering, University of Toronto, Canada, 39pp.

MACKAY D., S. PATERSON & K. TRUDEL, 1980b. Oil spill processes and models Report EE-8, Environmental Protection Service, Canada.

MACKAY D., W. SHUI, K. HOUSSAIN, W. STIVER, D. McCURDY & S. PATERSON, 1982. Development and calibration of an oil spill behavior model, Report No. CG-D027-83, US Coast Guard Research and Development Center, Groton, CT.

- OKUBO A. & R.V. OZMIDOV, 1970.** Empirical dependence of the coefficient of horizontal turbulent diffusion on the ocean in the scale of the phenomenon in question. *Atmospheric and Ocean Physics*, 6(5): p. 534-536.
- OKUBO, A., 1971.** Oceanic diffusion diagrams. *Deep Sea Research*, v. 8, p. 789-802.
- PEREIRA J.E.; E.A. YASSUDA & E. CAMPOS, 2005.** Development of an operational metocean modelling system, with applications in South America. In: 9th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling, 2005. Charleston, SC, USA.
- REED M., E. GUNDLACH, & T. KANA, 1989.** A coastal zone oil spill model: development and sensitivity studies, *Oil and Chemical Pollution*, Vol. 5, p. 411-449.
- SPAULDING, M. L., E. HOWLETT, E. ANDERSON & K. JAYKO, 1992a.** OILMAP a global approach to spill modeling. 15th Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar, June 9-11, 1992, Edmonton, Alberta, Canada, p. 15-21.
- SPAULDING M.L., E. HOWLETT, E. ANDERSON & K. JAYKO, 1992b.** Oil spill software with a shell approach. *Sea Technology*, April 1992, p. 33-40.
- STIVER W. & D. MACKAY, 1984.** Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. *Environmental Science and Technology*, 18:834-840.
- WHITICAR S., M. BOBRA, M. FINGAS, P. JOKUTY, P. LIUZZO, S. CALLAGHAN, S. ACKERMAN & J. CAO, 1992.** A catalogue of crude oil and oil product properties 1992 (edition), Report #EE-144, Environment Canada, Ottawa, Canada.

ANEXO D - 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 grande 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.

D.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, 504pp.