



Relatório Técnico [rev.00]

Modelagem Numérica

BS-4 | Bacia de Santos

/PRO_QGEP_1203

Preparado para: QGEP

Preparado por: Felipe Soares

Gabriel Carvalho

Henery Ferreira Garção

Francisco dos Santos

Bruna Cerrone

06 de novembro de 2012

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.0040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

Controle de revisão

Revisão n° 00

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão n° 01

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão n° 02

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão n° 03

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Sumário

1. Introdução	26
2. Caracterização Meteoceanográfica.....	27
2.1. Introdução	27
2.2. Meteorologia	30
2.3. Oceanografia	71
2.4. Considerações Finais	123
2.5. Bibliografia	124
3. Modelagem Hidrodinâmica	126
3.1. Equações Governantes	132
3.2. Características da Simulação	135
3.3. Avaliação do Modelo.....	138
4. Modelagem de Dispersão de Óleo	147
4.1. Introdução	147
4.2. Metodologia	150
4.3. Resultados.....	177
4.4. Conclusão	316
4.5. Bibliografia	318

Índice das imagens

Figura 1: Localização do Bloco BS-4 em azul, destacando a área da Bacia de Santos.	28
Figura 2: Localização do Bloco BS-4 sobreposta ao mapa batimétrico da região. O limite entre as bacias de Campos e de Santos está representado pela linha pontilhada.	29
Figura 3: Localização das estações meteorológicas do INMET do Rio de Janeiro/RJ e de Arraial do Cabo/RJ; da estação meteorológica do CPTEC de Cabo Frio/RJ; dos pontos de grade do NCEP utilizados para análises pontuais (ponto amarelo) e espaciais do regime de ventos; e demais parâmetros meteorológicos analisados (pontos vermelhos).	32
Figura 4 : Temperatura média na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.	34
Figura 5: Temperatura média do ar (°C) na região do Bloco BS-4, no período de verão.....	35
Figura 6: Temperatura média do ar (°C) na região do Bloco BS-4 no período de inverno.....	36
Figura 7: Temperatura máxima na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.	37
Figura 8: Temperatura mínima na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.	38
Figura 9: Série temporal de temperatura do ar na estação de Arraial do Cabo – RJ, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010. A linha central (preta) representa a média de temperatura, e as linhas vermelhas correspondem a duas vezes o desvio padrão.	39
Figura 10: Precipitação na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.....	40
Figura 11: Precipitação (Kg/m ²) na região do Bloco BS-4 no período de verão (dezembro a fevereiro).....	41
Figura 12: Precipitação (Kg/m ²) na região do Bloco BS-4 no período de inverno (junho a agosto).	42
Figura 13: Série temporal de precipitação na estação de Arraial do Cabo – RJ, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010. A linha vermelha indica o limite definido para caracterização de eventos extremos.	43
Figura 14: Evaporação na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.	44
Figura 15: Umidade relativa na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.....	45
Figura 16: Umidade relativa do ar (%) na região do Bloco BS-4, no período de verão.	46

Figura 17: Umidade relativa do ar (%) na região do Bloco BS-4, no período de inverno.	47
Figura 18: Série temporal de umidade relativa do ar na estação de Arraial do Cabo - RJ, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010.	48
Figura 19: Pressão atmosférica na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.	49
Figura 20: Pressão atmosférica (hPa) na região do Bloco BS-4, no período de verão (dezembro a fevereiro).	51
Figura 21: Pressão atmosférica (hPa) na região do Bloco BS-4, no período de inverno (junho a agosto).	52
Figura 22: Série temporal de pressão atmosférica na estação de Arraial do Cabo – RJ, para o período entre janeiro de 2008 e dezembro de 2010. A linha central (preta) representa a média de pressão, e as linhas vermelhas correspondem a duas vezes o desvio padrão. .	53
Figura 23: Insolação na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.	54
Figura 24: Histograma direcional dos ventos na região do Bloco BS-4. Dados de 1981 a 2010.	55
Figura 25: Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de janeiro a junho.	56
Figura 26: Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de julho a dezembro.	57
Figura 27: Intensidade máxima por direção do vento.	60
Figura 28: Número total de ocorrência de frentes por ano.	64
Figura 29: Sistemas frontais ao longo do ano entre os anos de 1996 e 2007.	65
Figura 30: Intensidade média (painel superior) e máxima (painel inferior) dos ventos na região próxima ao Bloco BS-4 entre os anos de 1960 e 2009.	68
Figura 31: Localização da seção vertical e do ponto de grade do WOA09 de onde foram retirados os dados de temperatura e densidade.	73
Figura 32: Perfis de temperatura e salinidade para as quatro estações do ano na região do Bloco BS-4.	74
Figura 33: Perfis de temperatura e salinidade para as quatro estações do ano na região do Bloco BS-4, para os primeiros 250 metros de coluna d'água.	75

Figura 34: Perfis de densidade potencial para as quatro estações do ano na região do Bloco BS-4 (esquerda), e os mesmos perfis para os primeiros 250 metros de coluna d'água (direita).	76
Figura 35: Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período de verão.....	77
Figura 36: Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período de inverno.....	78
Figura 37: Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período de verão.....	79
Figura 38: Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período de inverno.....	80
Figura 39: Seção horizontal de densidade em superfície, para o período de verão.	80
Figura 40: Seção horizontal de densidade em superfície, para o período de inverno.....	81
Figura 41: Seção vertical de temperatura potencial climatológica de verão. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.....	82
Figura 42: Seção vertical de temperatura potencial climatológica de inverno. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.....	83
Figura 43: Seção vertical de salinidade potencial climatológica de verão. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.....	84
Figura 44: Seção vertical de salinidade potencial climatológica de inverno. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.....	85
Figura 45: Localização das estações de coleta dos dados de temperatura e salinidade obtidos do WOD09.	86
Figura 46: Diagrama TS espalhado para a região do BS-4, elaborado com os dados do NODC. A linha em azul representa o gabarito elaborado por Silva <i>et al</i> (1982).	87
Figura 47: Seção vertical de densidade potencial climatológica de verão. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada. As linhas isopicnais representam os limites entre as massas d'água. Figura gerada a partir de dados do NODC.....	88

Figura 48: Seção vertical de densidade potencial climatológica de inverno. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada. As linhas isopícnais representam os limites entre as massas d'água. Figura gerada a partir de dados do NODC.....	89
Figura 49: Campo médio anual das correntes na região do Bloco BS-4.....	90
Figura 50: Campo médio de verão das correntes na região do Bloco BS-4.....	91
Figura 51: Campo médio de inverno das correntes na região do Bloco BS-4.....	92
Figura 52: Localização do Bloco BS-4 e da seção utilizada (linha vermelha) na análise da distribuição vertical de correntes do HYCOM.....	93
Figura 53: Média anual da componente de velocidade de corrente normal à seção vertical utilizada. O triângulo vermelho indica a posição aproximada do Bloco BS-4.....	94
Figura 54: Média de verão da componente de velocidade de corrente normal à seção vertical utilizada. O triângulo vermelho indica a posição aproximada do Bloco BS-4.....	95
Figura 55: Média de inverno da componente de velocidade de corrente normal à seção vertical utilizada. O triângulo vermelho indica a posição aproximada do Bloco BS-4.....	96
Figura 56: Ilustração esquemática da estrutura do fundeio. Fonte: adaptado de Santos (2009).	97
Figura 57: Localização do fundeio do DEPROAS utilizado em relação ao BS-4.	98
Figura 58: Rosa de correntes para os níveis de 23, 85, 155 e 195 m.	99
Figura 59: Localização do ponto para o qual foram utilizados os resultados do modelo WaveWatch III neste relatório.....	101
Figura 60: Exemplo de passagem de uma frente fria pela Bacia de Santos. Nesse evento, os ventos se SW associados foram fracos, como pode ser visto na previsão para 36 horas (a). Porém, com a evolução do sistema, ventos fortes de SE geraram ondas com altura significativa entre 3 e 3,5 m (b). Fonte: ATLASUL.....	102
Figura 61: Exemplo de atuação do vento de NE, associado ao ASAS (a), levando ao desenvolvimento de um mar local de até 2 m (b). Fonte: ATLASUL.....	103
Figura 62: Diagrama de dispersão de altura significativa (H_s) por direção média das ondas...	104
Figura 63: Diagrama de dispersão para altura e período de pico para <i>swell</i> (a) e <i>wind sea</i> (b).	105

Figura 64: Espectro polar multimodal de ondas da região da Bacia de Santos mostrando a presença de diversos sistemas. Levando-se em conta a direção do vento (SSE), há swell de várias direções (NE, T ~ 8 s; ESE, T ~ 12 s; SW, T ~ 12 e 16 s), além de wind sea de período curto (SSE, T ~ 6 s). Fonte: ATLASUL.....	107
Figura 65: Diagrama de dispersão para direção e período de pico para <i>swell</i> (acima) e <i>wind sea</i> (abaixo).....	108
Figura 66: Diagrama polar de distribuição de direção média.	109
Figura 67: Diagrama polar de distribuição de direção do swell.	110
Figura 68: Diagrama polar de distribuição de direção do wind sea.	110
Figura 69: Distribuição de alturas para altura do <i>swell</i> (a), altura significativa (b), e altura do <i>wind sea</i> (c), em classes de 1 m.	111
Figura 70: Valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais da altura significativa.....	113
Figura 71: Valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais do <i>swell</i>	114
Figura 72: Valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais do <i>wind sea</i>	115
Figura 73: Posicionamento do ponto de grade do FES-2004 utilizado e do Bloco BS-4.....	118
Figura 74: Amplitude da componente M2 para região do Bloco BS-4.	119
Figura 75: Fase da componente M2 para região do Bloco BS-4.	120
Figura 76: Elevação da superfície do mar (cm) para todo o ano de 2011.....	121
Figura 77: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: http://hycom.rsmas.miami.edu/hycom-model/overview.html	126
Figura 78: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: http://hycom.rsmas.miami.edu/hycom-model/overview.html	127
Figura 79: Trajetórias dos derivadores i12 e i13, lançados no Projeto MondoCorcovado (mondocorcovado.prooceano.com.br).	128
Figura 80: Espectro da velocidade de corrente.	129

Figura 81: Local de medição das correntes.....	130
Figura 82: Série temporal da componente zonal e meridional das correntes.....	131
Figura 83: Espectro de Energia das Componentes Zonal e Meridional de Corrente.	132
Figura 84: Exemplo da grade hidrodinâmica do HYCOM utilizada para forçar o modelo de óleo.	136
Figura 85: Campo médio das simulações do HYCOM para o período de verão.	137
Figura 86: Campo médio das simulações do HYCOM para o período de inverno.	138
Figura 87: Trajetórias dos derivadores do Projeto MONDO e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto MONDO (painel inferior à direita).	141
Figura 88: Trajetórias dos derivadores do Projeto mondoCORCOVADO e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto mondoCORCOVADO (painel inferior à direita).	142
Figura 89: Trajetórias dos derivadores do Projeto mondoOGX Campos e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto mondoOGX Campos (painel inferior à direita).	143
Figura 90: Trajetórias dos derivadores do Projeto mondoOGX Santos e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto mondoOGX Santos (painel inferior à direita).	144
Figura 91: Limite norte da isoterma de 20° C a partir de dados do produto OSTIA, do HYCOM e dos resultados de Souza e Robinson (2004). Fonte: Santos <i>et al.</i> (2011).	146
Figura 92: Localização dos pontos de vazamento, em relação ao bloco do BS-4 (área em amarelo).	147
Figura 93: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).	151

Figura 94: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).....	159
Figura 95: A grade de habitats utilizada na simulação.	166
Figura 96: A grade de batimetria utilizada na simulação.	167
Figura 97: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo do ponto de vazamento no Bloco BS-4.	170
Figura 98: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho na região do Bloco BS-4.	171
Figura 99: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro na região do Bloco BS-4.	172
Figura 100: Localização dos pontos de grade do NCEP para região de estudo.	174
Figura 101: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do Bloco BS-4, Bacia de Santos, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.	175
Figura 102: Fluxograma de apresentação dos resultados probabilístico.	178
Figura 103: Fluxograma de apresentação dos resultados determinísticos.	179
Figura 104: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	180
Figura 105: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	181
Figura 106: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	182
Figura 107: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	183
Figura 108: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	184
Figura 109: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	185
Figura 110: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	186

Figura 111: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	187
Figura 112: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	188
Figura 113: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	189
Figura 114: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para vazamento de 200 m ³ , no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	190
Figura 115: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para vazamento de 200 m ³ , no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.	191
Figura 116: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Piapara.	193
Figura 117: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Piapara.	194
Figura 118: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Piapara.	195
Figura 119: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Piapara.	196
Figura 120: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de verão. Locação Piapara.	197
Figura 121: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Locação Piapara.	198
Figura 122: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Locação Piapara.	199
Figura 123: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Locação Piapara.	200
Figura 124: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Locação Piapara.	201
Figura 125: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de inverno. Locação Piapara.	202

Figura 126: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	206
Figura 127: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	207
Figura 128: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	208
Figura 129: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	209
Figura 130: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	210
Figura 131: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	211
Figura 132: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	212
Figura 133: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para vazamento de 200 m ³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	213
Figura 134: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	214
Figura 135: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m ³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	215
Figura 136: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para vazamento de 200 m ³ , no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	216
Figura 137: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para vazamento de 200 m ³ , no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.	217
Figura 138: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Eoceno.	220
Figura 139: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Eoceno.	221
Figura 140: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Eoceno.	222

Figura 141: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Eoceno.	223
Figura 142: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de verão. Locação Eoceno.	224
Figura 143: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Locação Eoceno.....	225
Figura 144: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Locação Eoceno.....	226
Figura 145: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Locação Eoceno.....	227
Figura 146: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Locação Eoceno.....	228
Figura 147: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de inverno. Locação Eoceno.	229
Figura 148: Vento utilizado nas simulações de condições meteoceanográficas.	234
Figura 149: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	235
Figura 150: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	236
Figura 151: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	237
Figura 152: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 117 horas (tempo mínimo de toque) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	238
Figura 153: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	239
Figura 154: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	240

Figura 155: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	241
Figura 156: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	242
Figura 157: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	243
Figura 158: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	244
Figura 159: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	245
Figura 160: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica no período de verão. Volume de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	246
Figura 161: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	247
Figura 162: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	248
Figura 163: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	249
Figura 164: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 108 horas (tempo mínimo de toque) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	250
Figura 165: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	251

Figura 166: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	252
Figura 167: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	253
Figura 168: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	254
Figura 169: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	255
Figura 170: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	256
Figura 171: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.	257
Figura 172: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica no período de inverno. Volume de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	258
Figura 173: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	259
Figura 174: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	260
Figura 175: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	261
Figura 176: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	262

Figura 177: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	263
Figura 178: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	264
Figura 179: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	265
Figura 180: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	266
Figura 181: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	267
Figura 182: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	268
Figura 183: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteoceanográficas frequentes, no período de verão. Volume de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	269
Figura 184: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	270
Figura 185: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	271
Figura 186: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	272

Figura 187: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	273
Figura 188: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	274
Figura 189: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	275
Figura 190: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	276
Figura 191: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	277
Figura 192: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	278
Figura 193: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	279
Figura 194: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteoceanográficas frequentes, no período de inverno. Volume de 149.220 m ³ . Locação Piapara.....	280
Figura 195: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Locação Eoceno.....	281
Figura 196: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Locação Eoceno.....	282
Figura 197: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Locação Eoceno.....	283

Figura 198: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 147 horas (tempo mínimo de toque) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	284
Figura 199: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	285
Figura 200: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	286
Figura 201: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	287
Figura 202: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	288
Figura 203: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	289
Figura 204: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	290
Figura 205: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	291
Figura 206: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica no cenário de inverno. Volume de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	292
Figura 207: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	293
Figura 208: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localção Eoceno.	294

Figura 209: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	295
Figura 210: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	296
Figura 211: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	297
Figura 212: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	298
Figura 213: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	299
Figura 214: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	300
Figura 215: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	301
Figura 216: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	302
Figura 217: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteoceanográficas frequentes, no período de verão. Volume de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	303
Figura 218: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	304

Figura 219: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	305
Figura 220: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	306
Figura 221: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	307
Figura 222: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	308
Figura 223: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	309
Figura 224: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	310
Figura 225: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	311
Figura 226: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	312
Figura 227: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	313
Figura 228: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteoceanográficas frequentes, no período de inverno. Volume de 2.280 m ³ . Localização Eoceno.....	314

Índice das tabelas

Tabela 1: Resumo dos parâmetros analisados, fontes com abrangência temporal e frequência dos dados utilizados.	33
Tabela 2: Localização das fontes de dados utilizadas.....	33
Tabela 3: Estatística básica dos dados de temperatura do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda região analisada.	36
Tabela 4: Estatística básica dos dados de precipitação do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda região analisada.	42
Tabela 5: Estatística básica dos dados de umidade específica do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda região analisada.	47
Tabela 6: Estatística básica dos dados de pressão atmosférica do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda a região analisada.	52
Tabela 7: Ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na região do Bloco BS-4 para o período de 1981 a 2010.....	58
Tabela 8: Estatística mensal dos ventos no ponto de grade do NCEP mais próximo ao Bloco BS-4 para o período de 1981 a 2010.....	59
Tabela 9: Ocorrência de frentes frias de 1996 a 2010, para cada mês.....	62
Tabela 10: Intervalo médio de passagem de dois sistemas frontais consecutivos na região do Bloco BS-4 (dias).....	63
Tabela 11: Ocorrência conjunta de direção (°) e intensidade (m/s) dos ventos na região do Bloco BS-4 para o período de 1960 a 2009.....	66
Tabela 12: Estatística mensal dos ventos na região do BS-4, para o período de 1960 a 2009. .	67
Tabela 13: Localização das fontes de dados utilizadas.....	71
Tabela 14: Estatística básica de correntes para os quatro níveis analisados.	100
Tabela 15: Correlação entre altura significativa e direção média.	104
Tabela 16: Correlação entre altura e período (T) do <i>swell</i>	106
Tabela 17: Correlação entre altura e período (T) do wind sea.	106

Tabela 18: Correlação de direção e período para o <i>swell</i>	108
Tabela 19: Correlação de direção e período para o <i>wind sea</i>	109
Tabela 20: Distribuição das ocorrências de cada classe de altura para Hs, <i>swell</i> e <i>wind sea</i> . .	112
Tabela 21: Valores médios e máximos mensais e máximos para altura significativa, <i>swell</i> e <i>wind sea</i>	116
Tabela 22: Resumo das situações dominantes de mar na Bacia de Santos, no ponto de coordenadas 24°S; 42°W. Fonte de dados: WaveWatch III.	116
Tabela 23: Constantes harmônicas obtidas pelo modelo global de maré FES-2004 no ponto de latitude 24,125 S e longitude 42° W.	118
Tabela 24: Informações sobre os projetos de monitoramento por derivadores utilizados.	140
Tabela 25: Resumo dos cenários de vazamento simulados na locação Piapara.	148
Tabela 26: Resumo dos cenários de vazamento simulados na locação Eoceno.	149
Tabela 27: Equações de regressão para estimativa dos parâmetros Koc e Kow para diferentes componentes químicos. Fonte: Reed, 2001.	161
Tabela 28: Características dos óleos informados pela contratante.	164
Tabela 29: Características dos óleos escolhidos no banco de dado do OSCAR.	165
Tabela 30: Probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada e espessura máxima de óleo em superfície nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 200 m ³ , nos cenários de verão e inverno. Locação Piapara.	192
Tabela 31: Massa máxima, probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada e espessura máxima de óleo em superfície nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de grande volume (149.220 m ³), nos cenários de verão e inverno. Locação Piapara.	203
Tabela 32: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 200 m ³ , nos cenários de verão e inverno. Locação Eoceno.	218
Tabela 33: Massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 2.280 m ³ , nos cenários de verão e inverno. Locação Eoceno.	230

Tabela 34: Resumo dos principais resultados obtidos na modelagem da dispersão de óleo no
mar..... 315

Equipe técnica

Nome: Bruna Cerrone

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 768292

Responsável pela(s) Seção(ões): TODAS

Assinatura: _____

Nome: Felipe Lobo Mendes Soares

Registro no Conselho de Classe:

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 3811578

Responsável pela(s) Seção(ões): Caracterização Meteoceanográfica e Modelagem Hidrodinâmica

Assinatura: _____

Nome: Gabriel Vieira de Carvalho

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5416625

Responsável pela(s) Seção(ões): Caracterização Meteoceanográfica e Modelagem Hidrodinâmica

Assinatura: _____

Nome: Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 3790998

Responsável pela(s) Seção(ões): Modelagem de Dispersão de Óleo

Assinatura: _____

Nome: Francisco dos Santos

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 459094

Responsável pela(s) Seção(ões): Modelagem de Dispersão de Óleo

Assinatura: _____

1. Introdução

Esse relatório é parte integrante do Estudo Ambiental de Perfuração – EAP, para a atividade de perfuração marítima no Bloco BS-4, Bacia de Santos.

O relatório está estruturado da seguinte forma: no Capítulo 2 é apresentada a Caracterização Meteorológica da Bacia de Santos, mais precisamente nas proximidades do Bloco BS-4; no Capítulo 3 a Modelagem Hidrodinâmica; e no Capítulo 4 a Modelagem de Dispersão de Óleo.

O relatório compõe o “Capítulo II.6 – Modelagem Numérica” do Termo de Referência CGPEG/DILIC/IBAMA nº11/12.

2. Caracterização Meteoceanográfica

2.1. Introdução

A caracterização ambiental de uma determinada região representa uma importante ferramenta de planejamento do uso dos recursos naturais e de otimização de investimentos.

Assim sendo, o presente estudo aborda os aspectos meteorológicos e oceanográficos mais relevantes da região do Bloco BS-4, de forma a contemplar as solicitações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

Para tanto, foram pesquisadas informações secundárias de bases regionais e globais, assim como dados coletados *in situ*, analisados através de procedimentos estatísticos, de forma a atender às exigências do IBAMA.

O Bloco BS-4 situa-se na Bacia de Santos, próximo da divisa com a Bacia de Campos. A Bacia de Santos localiza-se na margem continental sudeste-sul do Brasil, ocupando uma área de 275.000 km², entre os paralelos 23° e 28° Sul. Limita-se ao norte com a Bacia de Campos, e ao sul com a Bacia de Pelotas. A oeste, seu limite é dado pelas serras do Mar, da Mantiqueira e pelo Maciço da Carioca Leste, enquanto que a leste, a Bacia de Santos está em continuidade estrutural e estratigráfica com o platô de São Paulo (Portilho-Ramos *et al.* 2006). A localização do Bloco BS-4 e da Bacia de Santos podem ser observadas na Figura 1.

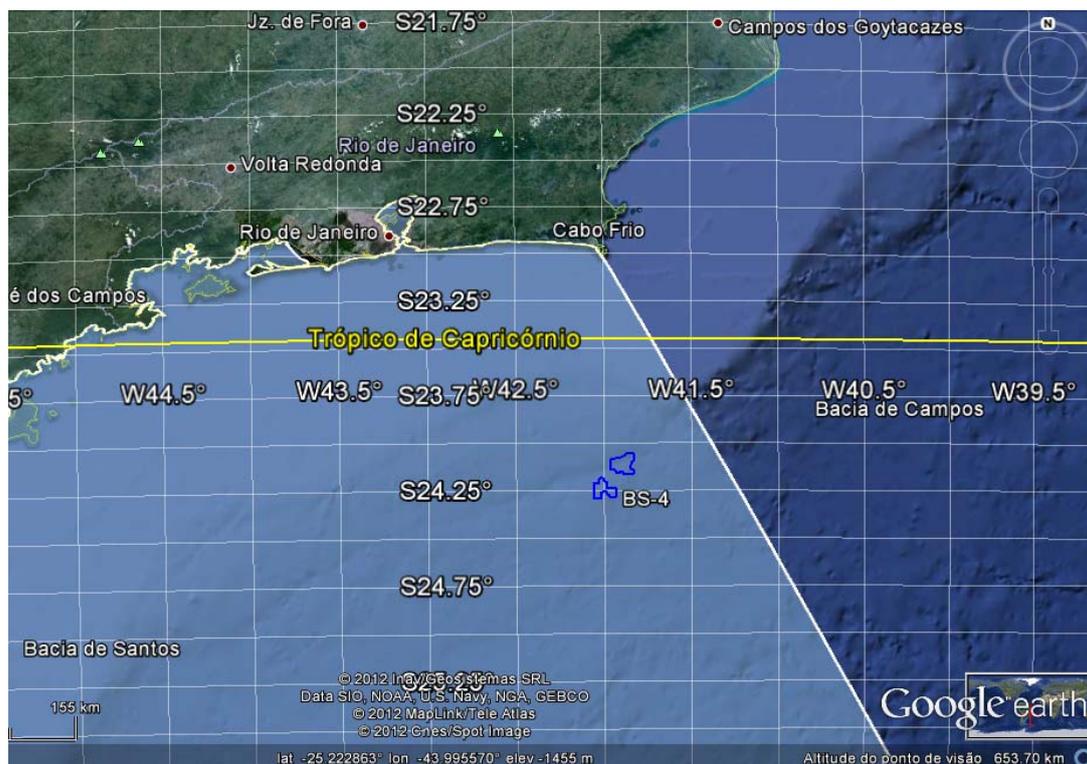


Figura 1: Localização do Bloco BS-4 em azul, destacando a área da Bacia de Santos.

O bloco em questão está situado a aproximadamente 126 Km da cidade de Arraial do Cabo, sobre talude continental, entre as isóbatas de 1000 e 2000 metros, em uma região com lamina d'água de aproximadamente 1590 metros (Figura 2).

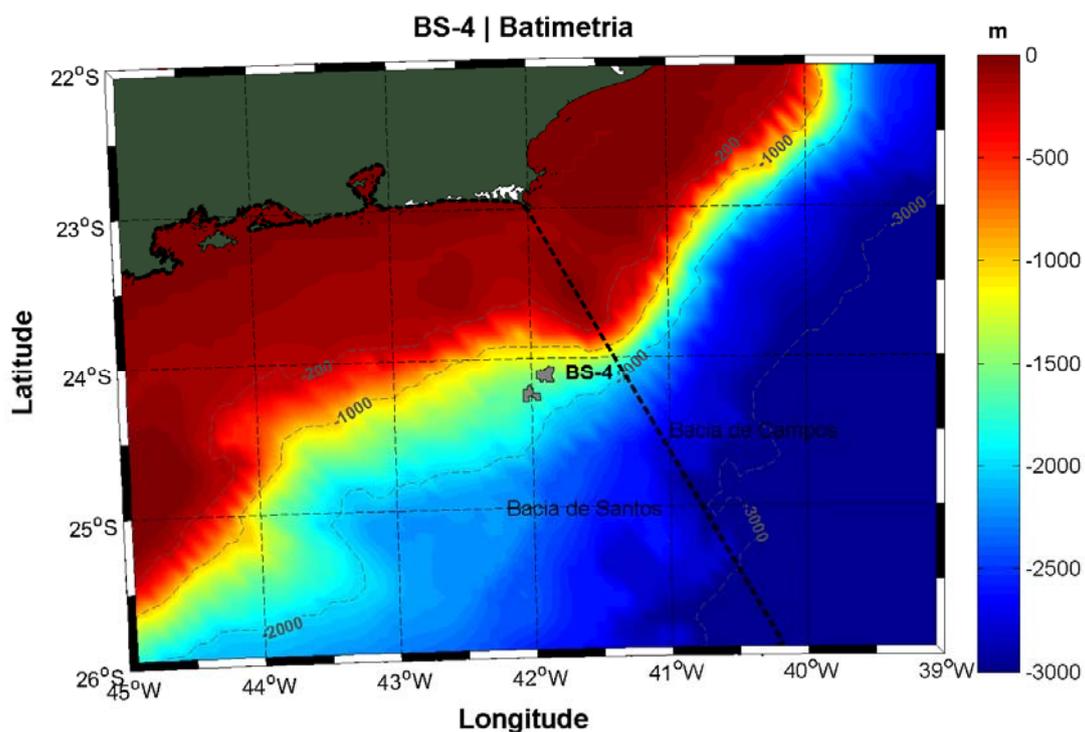


Figura 2: Localização do Bloco BS-4 sobreposta ao mapa batimétrico da região. O limite entre as bacias de Campos e de Santos está representado pela linha pontilhada.

2.2. Meteorologia

A caracterização meteorológica da região do Bloco BS-4, baseou-se na análise e interpretação dos dados das seguintes fontes:

- » Normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade, pressão atmosférica e insolação, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na estação do Rio de Janeiro-RJ;
- » Dados de temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa na estação do INMET de Arraial do Cabo (RJ);
- » Dados de ventos, temperatura do ar, precipitação, pressão atmosférica e umidade relativa das Reanálises II do NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research);
- » Dados de frequência de passagem de sistemas frontais do Boletim Climanálise do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE);
- » Dados bibliográficos existentes para a região.

As **Normais Climatológicas do INMET** fornecem médias mensais de parâmetros meteorológicos de um determinado local por períodos de 30 anos, caracterizando a distribuição dos dados dentro de uma faixa de incidência habitual. Serão apresentadas as normais climatológicas de temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica e insolação, obtidas na estação do Rio de Janeiro situada nas coordenadas 22,88° S e 43,18° W, para os períodos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, perfazendo um total de 60 anos. Esta estação foi escolhida por ser a mais próxima ao Bloco BS-4.

Para avaliação da variabilidade dos parâmetros meteorológicos em maior frequência amostral, também foram utilizados os dados de temperatura, precipitação, umidade relativa e pressão atmosférica da estação meteorológica do INMET de Arraial do Cabo – RJ, localizada em 22,98° S e 42,02° W. Estes dados foram coletados em intervalos de uma hora, entre janeiro de 2008 e março de 2010. Não estão disponíveis dados de evaporação e insolação para a estação do INMET de Arraial do Cabo, sendo suas caracterizações feitas apenas em função das normais climatológicas descritas anteriormente. Estes dados também foram utilizados na identificação de eventos extremos. Um limiar foi definido para cada variável analisada e valores fora desse limiar foram identificados como extremos. A escolha do limiar foi feita de duas maneiras diferentes, de acordo com a natureza da distribuição temporal dos parâmetros analisados. Para os parâmetros que oscilam simetricamente em torno da média (p. ex. temperatura) esse valor representa duas vezes o desvio padrão da série, acima e abaixo da média. Para parâmetros como precipitação,

que não variam simetricamente em torno de uma média, o limiar escolhido foi o valor sobre o qual se encontram apenas 0,1% das ocorrências.

Os dados da **Reanálise II do NCEP** utilizados para as análises pontuais do vento foram obtidos do ponto de grade mais próximo ao Bloco BS-4, localizado em 23,81° S e 41,25° W com resultados a cada 6 horas, de janeiro de 1981 a dezembro de 2010, totalizando 30 anos e englobando 46.752 dados.

Com relação ao **projeto R-2 (NCEP - DOE AMIP-II Reanalysis)**, trata-se de uma série global atualizada, de 1979 até o presente, que corrige os erros de processamento da Reanálise, utilizando um modelo de previsão e um sistema de assimilação de dados mais robustos. Assim, é gerada uma reanálise mais consistente e recomendada para usuários que eram afetados por alguns erros presentes anteriormente. Dentre estes erros, podemos citar as análises de transientes no Hemisfério Sul; o uso de temperaturas próximas à superfície e cobertura de neve sobre os continentes no Hemisfério Norte durante o inverno; análise da umidade dos solos; análises do balanço de neve; e sensibilidade das análises à mudanças no modelo de assimilação (KALNAY *et al.*, 1996).

Para análise de condições extremas em períodos mais longos, foram utilizados os dados da Reanálise do NCEP de janeiro de 1960 a dezembro de 2009, novamente com observações de 6 em 6 horas.

A variação espacial dos parâmetros meteorológicos (temperatura, precipitação, umidade e pressão atmosférica) na região oceânica do Bloco BS-4, foi realizada através de dados da Reanálise II do NCEP para o período compreendido entre janeiro de 1979 e dezembro de 2011, com observações a cada 6 horas.

Para avaliação da frequência de passagem de frentes frias na região, optou-se por apresentar as estatísticas mensais de passagens de sistemas frontais na cidade de Cabo Frio-RJ, para o período compreendido entre janeiro de 1996 e dezembro de 2010, publicadas pelo **Boletim Climanálise**, do CPTEC/INPE. Esta publicação consiste em boletins de monitoramento e análise climática, disponibilizados no site do CPTEC, que fazem uma análise mensal das ocorrências de sistemas frontais em estações de superfície no Brasil, separando-as em uma linha de estações costeiras. A estação de Cabo frio foi escolhida por ser a mais próxima do bloco em questão.

As localizações das estações meteorológicas do INMET (Rio de Janeiro e Arraial do Cabo), do CPTEC (Cabo Frio) e da posição dos pontos de grade do NCEP utilizados para as análises pontuais e espaciais são apresentadas na Figura 3. Como as localizações das estações

meteorológicas do INMET de Arraial do Cabo e do CPTEC de Cabo Frio são muito próximas, estas foram referenciadas a um mesmo ponto, para facilitar a visualização.

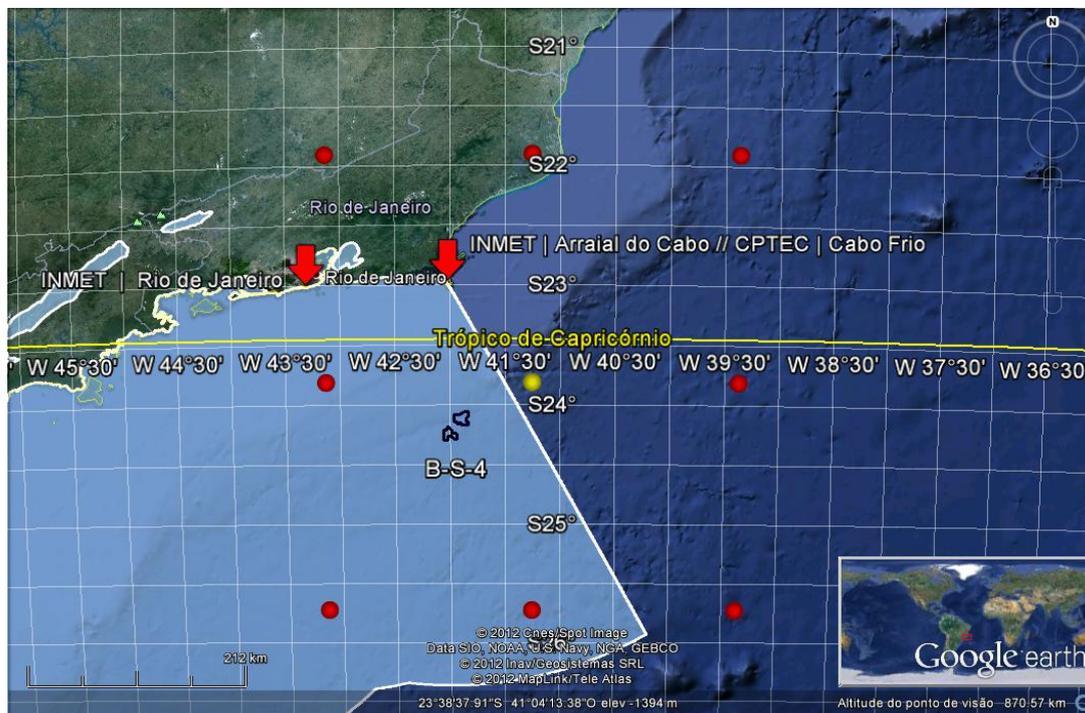


Figura 3: Localização das estações meteorológicas do INMET do Rio de Janeiro/RJ e de Arraial do Cabo/RJ; da estação meteorológica do CPTEC de Cabo Frio/RJ; dos pontos de grade do NCEP utilizados para análises pontuais (ponto amarelo) e espaciais do regime de ventos; e demais parâmetros meteorológicos analisados (pontos vermelhos).

A Tabela 1 apresenta um resumo dos dados utilizados para os diferentes parâmetros. Na Tabela 2, apresenta-se as fontes de dados utilizados no estudo e suas respectivas localizações.

Tabela 1: Resumo dos parâmetros analisados, fontes com abrangência temporal e frequência dos dados utilizados.

	TA	P	PA	U	E	I	V	SF
INMET - Rio de Janeiro	Normais climatológicas (médias mensais) nos períodos de 1931 a 1960, e 1961 a 1990;							
INMET – Arraial do Cabo	Dados horários de janeiro de 2008 a março de 2010;							
NCEP/NCAR	Observações a cada 6 horas de janeiro de 1979 a dezembro de 2011				Observações a cada 6 horas, dados de Jan/81 a Dez/10; Análise de extremos: dados a cada 6 horas no período de Jan/60 a Dez/09			
CPTEC/INPE	Boletim Climanálise - Passagem de frentes frias em Cabo Frio, entre Jan/96 e Dez/11							

Legenda: TA = Temperatura do Ar; P = Precipitação; E = Evaporação; UR = Umidade Relativa; UE = Umidade Específica; PA = Pressão Atmosférica; V = Ventos; I = Insolação; SF = Sistemas Frontais.

Tabela 2: Localização das fontes de dados utilizadas.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros
	Latitude	Longitude	
INMET - Rio de Janeiro	22,88° S	43,18° W	TA, P, E, UR, PA e I
INMET – Arraial do Cabo	22,98° S	42,02° W	TA, P, UR e PA
NCEP-NCAR (pontual)	23,81° S	41,25° W	V
NCEP-R2 (área)	22 a 28° S	39 a 45° W	TA, P, UR, PA
Climanálise/CPTEC/INPE	22,92° S	42,07° W	SF

Legenda: TA = Temperatura do Ar; P = Precipitação; E = Evaporação; UR = Umidade Relativa; UE = Umidade Específica; PA = Pressão Atmosférica; V = Ventos; I = Insolação; SF = Sistemas Frontais.

2.2.1. Temperatura

A temperatura média para a estação do Rio de Janeiro (Figura 4), para os períodos de 1931 a 1960 e 1961 a 1990, apresentou um padrão sazonal bem definido e similar para ambos os períodos. Maiores temperaturas no período de verão e menores no inverno, com amplitude de aproximadamente 5°C entre fevereiro e julho. Pode-se observar o período compreendido entre 1961 e 1990 apresenta temperaturas mais elevadas.

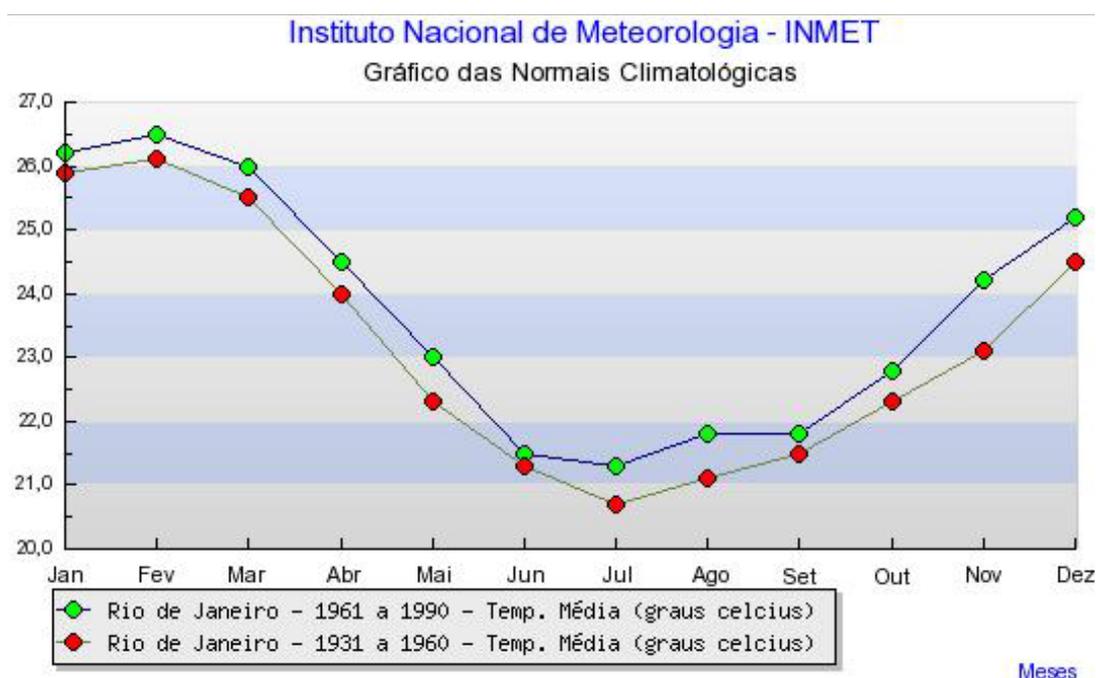


Figura 4 : Temperatura média na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da temperatura do ar na região do Bloco BS-4, são apresentadas, na Figura 5 e na Figura 6, médias sazonais dos dados de temperatura do ar a 2 metros de altitude, obtidos a partir das reanálises do NCEP.

Como poderá ser verificado nas figuras a seguir, tanto para o período de verão – janeiro a março – (Figura 5) quanto para o período de inverno – junho a agosto – (Figura 6), há um aumento da temperatura em direção ao norte e ao leste da região analisada. Durante o verão, a região do Bloco BS-4 se encontra com temperaturas médias próximas a 24,5°C, já no inverno, em aproximadamente 20,5° C. De forma complementar, na Tabela 3 é apresentada a estatística básica dos dados de temperatura do NCEP para toda área e período analisados.

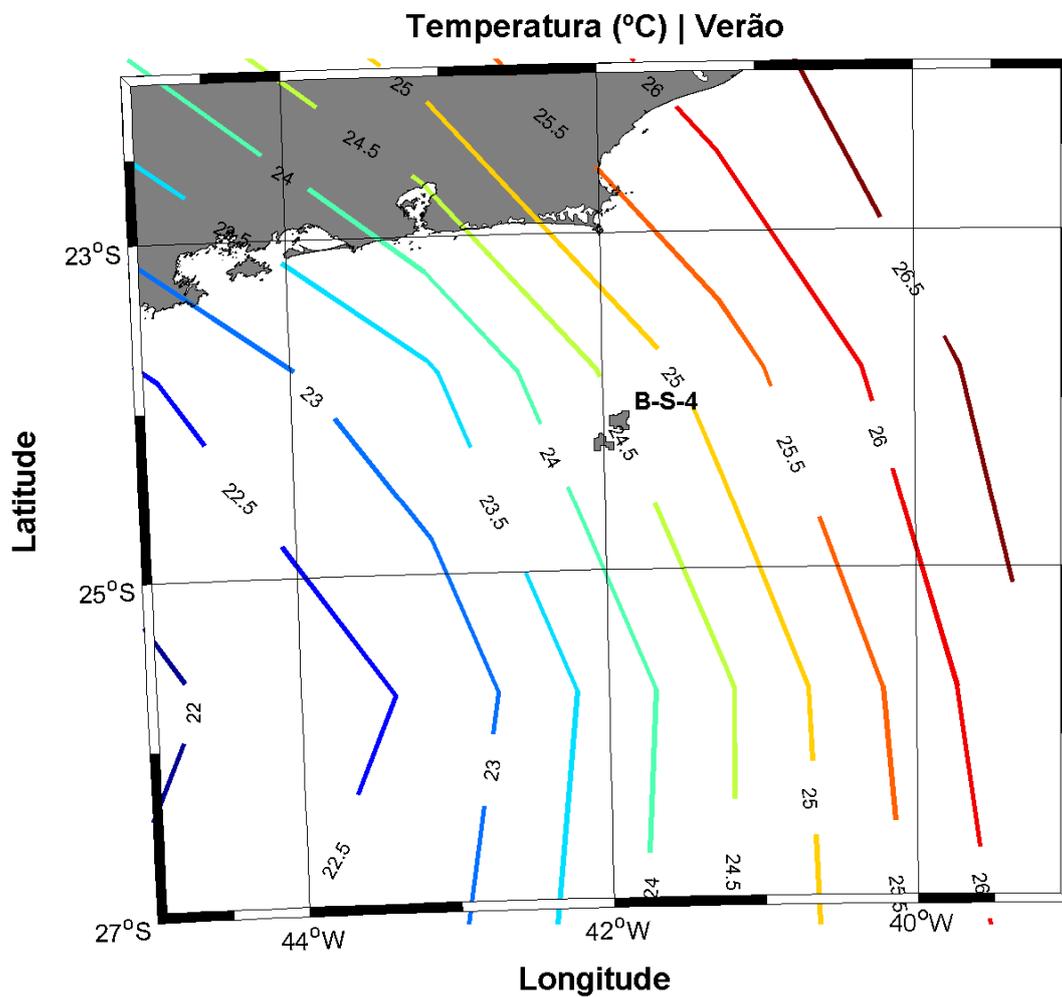


Figura 5: Temperatura média do ar (°C) na região do Bloco BS-4, no período de verão.

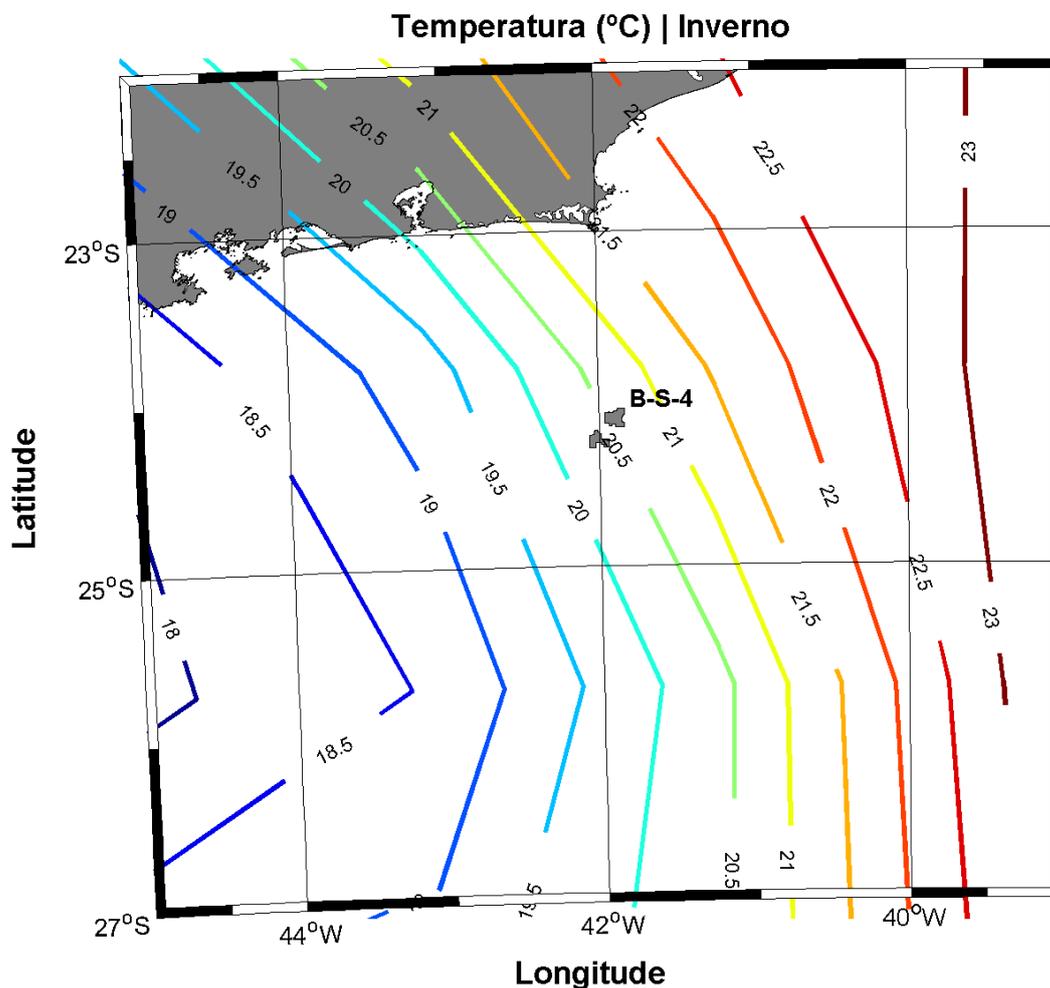


Figura 6: Temperatura média do ar (°C) na região do Bloco BS-4 no período de inverno.

Tabela 3: Estatística básica dos dados de temperatura do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda região analisada.

Estação	Média (°C)	Média Máxima (°C)	Média Mínima (°C)	Desvio Padrão (°C)
Verão	24,79	26,33	22,48	1,05
Inverno	20,99	23,20	18,08	1,36

As temperaturas médias máximas e médias mínimas na estação meteorológicas do Rio de Janeiro (Figura 7 e Figura 8) também apresentam comportamento sazonal semelhante ao de

temperatura média, com maiores e menores valores encontrados nos meses de fevereiro e julho, respectivamente e amplitude anual de aproximadamente 5° C.

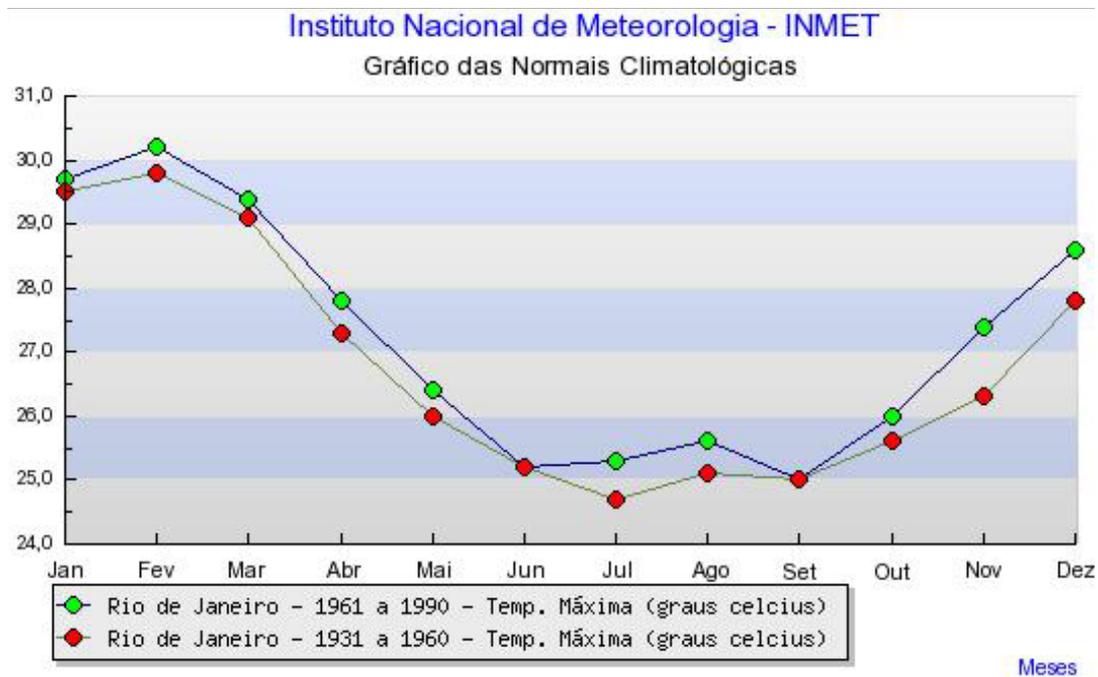


Figura 7: Temperatura máxima na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

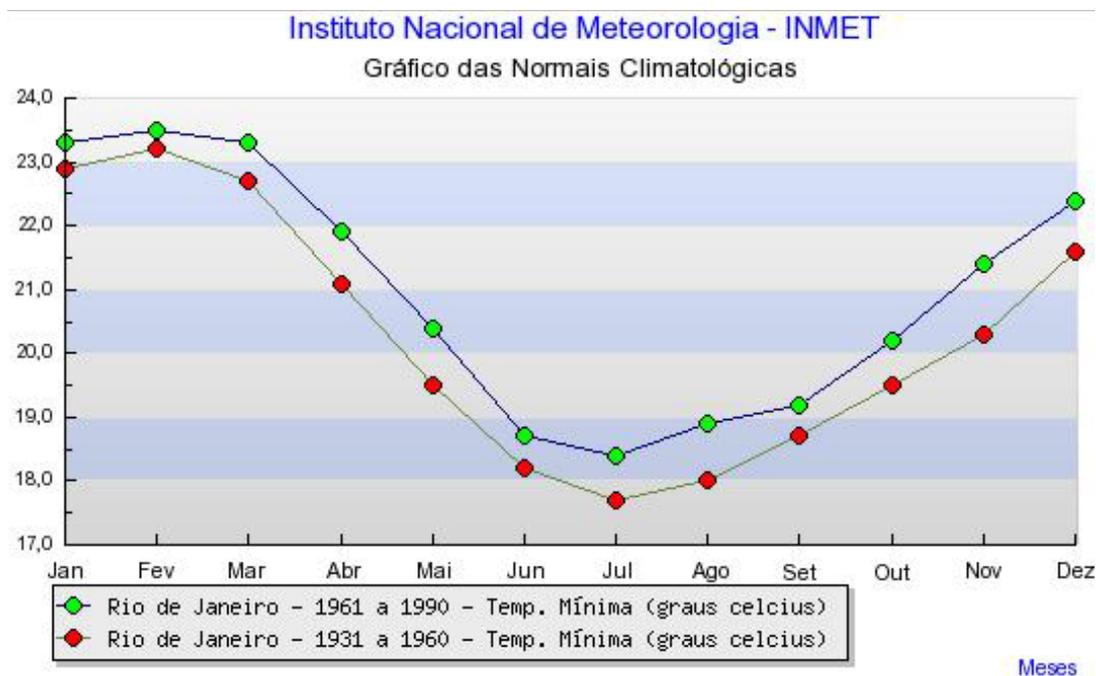


Figura 8: Temperatura mínima na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

Para análise da temperatura na região próxima ao BS-4, a seguir são apresentados os dados da estação do INMET de Arraial do Cabo, no período de janeiro de 2008 a março de 2010.

Na Figura 9 é apresentada toda a série temporal, para avaliação da variabilidade da temperatura em maior frequência amostral. Para verificação de eventos extremos, foram adotados dois limites em torno da média ($23,58^{\circ}\text{C}$), um inferior ($19,30^{\circ}\text{C}$) e outro superior ($27,86^{\circ}\text{C}$) que, em módulo, correspondem a duas vezes o desvio padrão da média ($2,14^{\circ}\text{C}$).

Como esperado, os dados apresentam tanto variações de alta frequência, da ordem de 1 dia, provocadas pelo aquecimento solar diário, como as variações de mais baixa frequência (período de 1 ano), associada aos ciclos sazonais (verão e inverno).

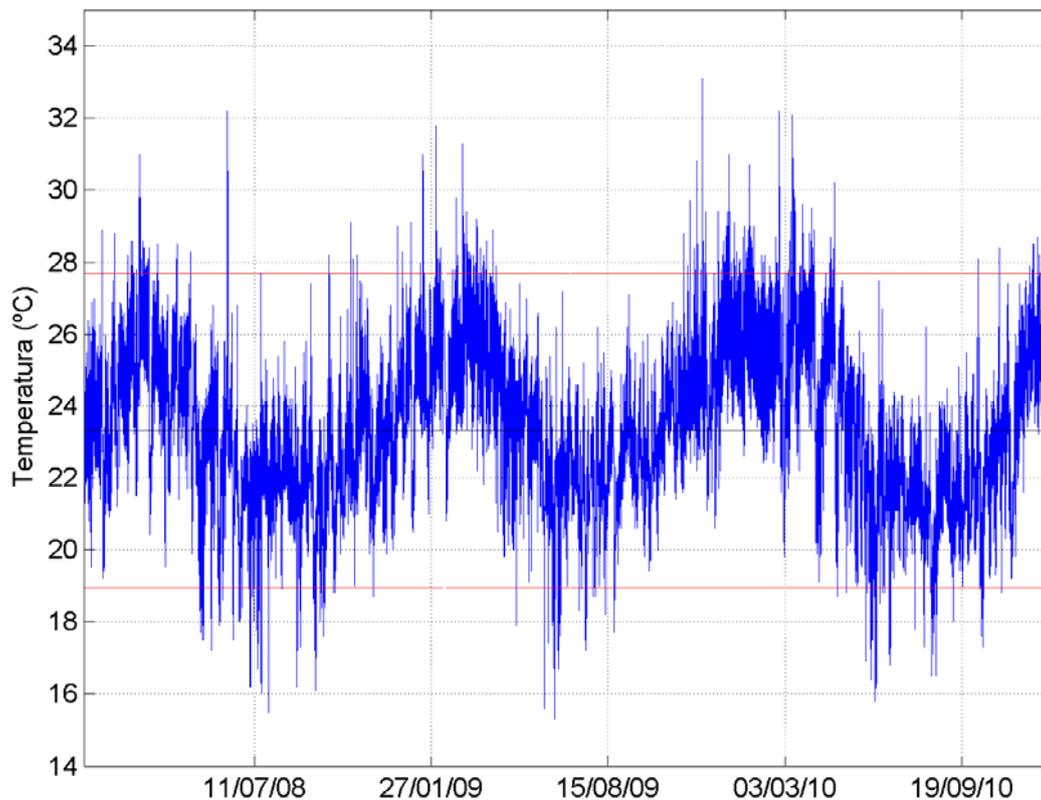


Figura 9: Série temporal de temperatura do ar na estação de Arraial do Cabo – RJ, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010. A linha central (preta) representa a média de temperatura, e as linhas vermelhas correspondem a duas vezes o desvio padrão.

Do total de 18.964 observações de temperatura, 252 excederam o limite superior, com o mês de março apresentando o maior número de eventos extremos (54 ocorrências). O limite inferior foi ultrapassado 363 vezes e, desse total, 63 ocorreram no mês de junho.

2.2.2. Precipitação

Em regiões tropicais, a precipitação reflete as características e comportamento de outros parâmetros, tais como temperatura, umidade relativa e regime de vento. Para a estação do Rio de Janeiro (Figura 10), os valores médios de precipitação apresentam uma sazonalidade bem marcada, onde são observadas maiores precipitações no verão, e menores no período de inverno. Em média, a amplitude de precipitação anual é de 100mm, com valores próximos a 150mm no verão e 50mm no inverno.

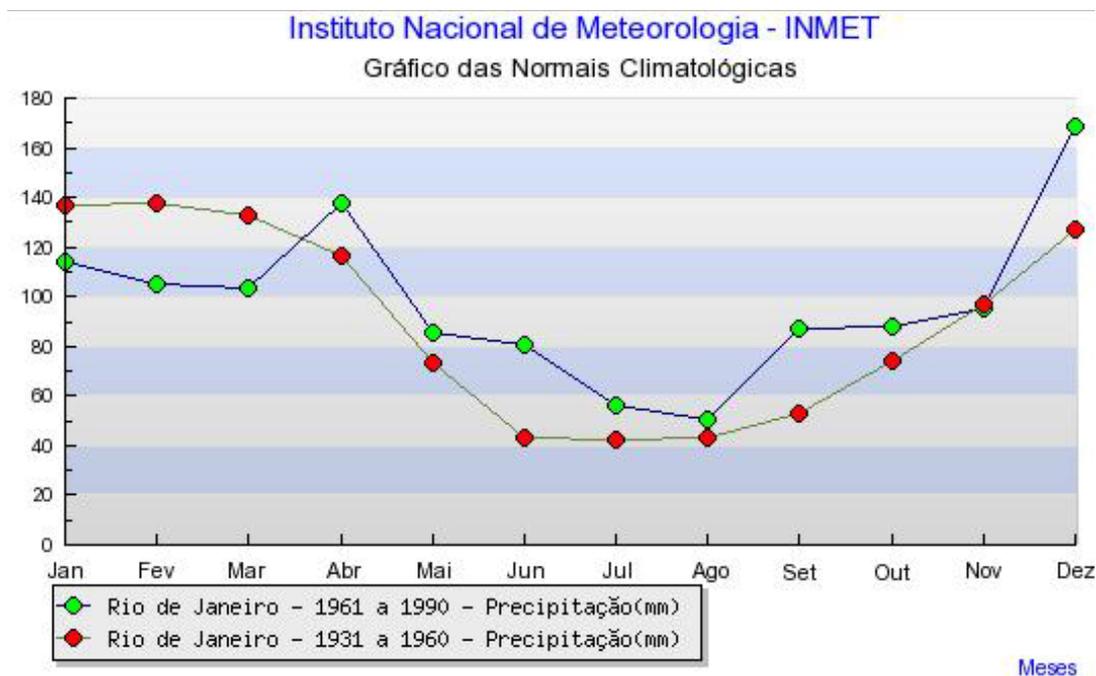


Figura 10: Precipitação na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da precipitação na região do bloco B-S-4, são apresentadas, na Figura 11 e na Figura 12, médias sazonais dos dados de precipitação obtidos a partir das reanálises do NCEP, para o período de verão e inverno, respectivamente. Nas duas situações médias, há um aumento da precipitação em direção a sudeste da região analisada. Durante o verão a taxa de precipitação é mais elevada.

A precipitação na região do Bloco BS-4 é próxima de 42 kg/m² no período de verão – janeiro a março – e cerca de 27,5 kg/m² no período de inverno – junho a agosto. De forma complementar, na Tabela 4 é apresentada a estatística básica dos dados de precipitação do NCEP para toda área dos períodos analisados.

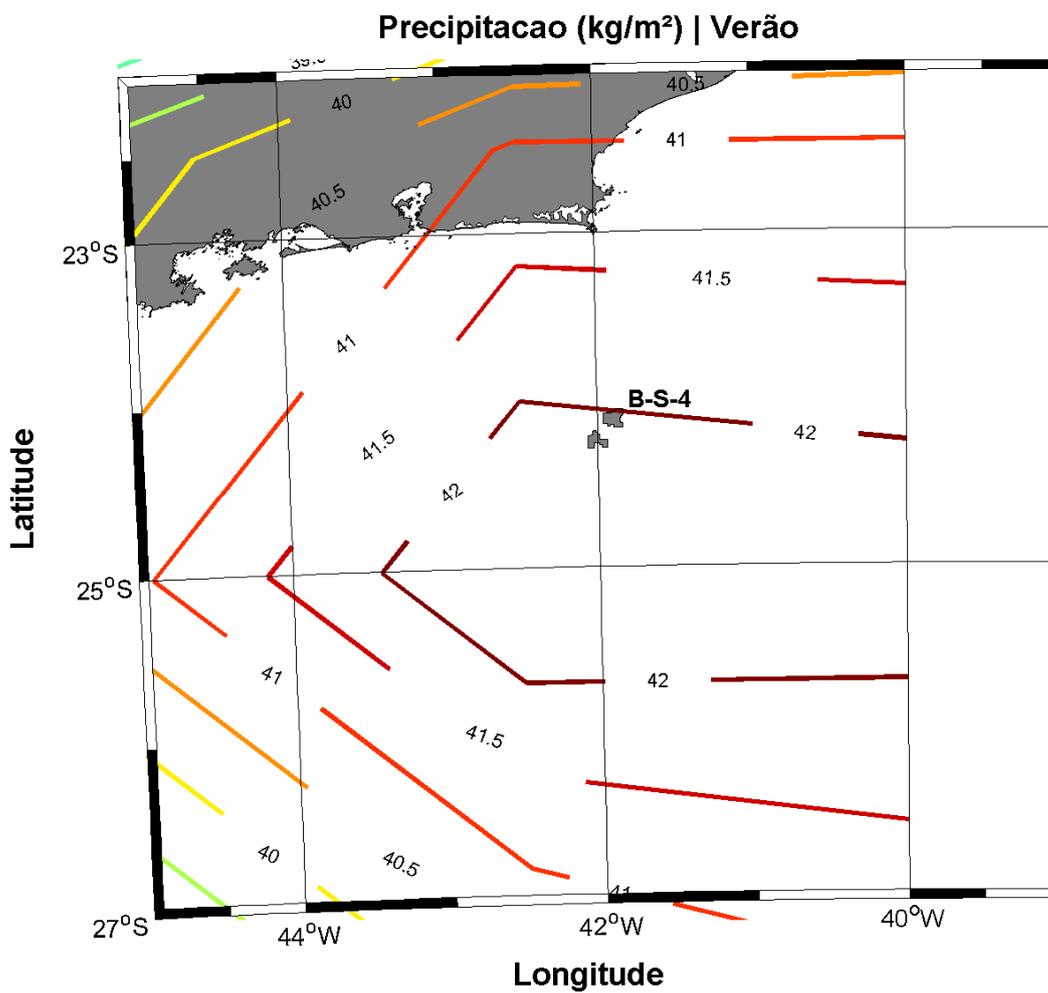


Figura 11: Precipitação (Kg/m²) na região do Bloco BS-4 no período de verão (dezembro a fevereiro).

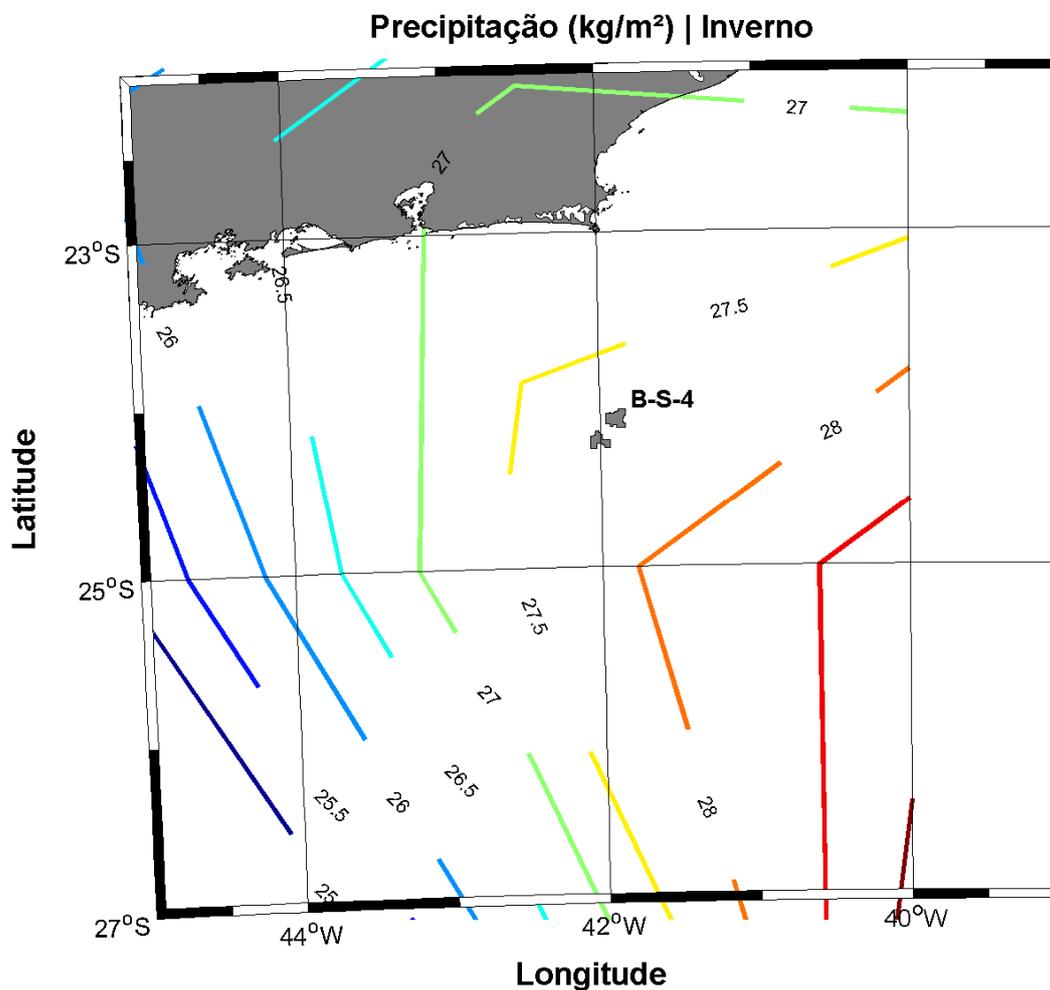


Figura 12: Precipitação (Kg/m²) na região do Bloco BS-4 no período de inverno (junho a agosto).

Tabela 4: Estatística básica dos dados de precipitação do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda região analisada.

Estação	Média (kg/m ²)	Média Máxima (kg/m ²)	Média Mínima (kg/m ²)	Desvio Padrão (kg/m ²)
Verão	39,21	41,99	35,43	1,68
Inverno	27,08	29,77	22,81	1,53

Para análise da precipitação na região próxima ao BS-4, na Figura 13 são apresentados os dados da estação do INMET de Arraijal do Cabo, no período de janeiro de 2008 a março de

2010. A linha vermelha indicada no gráfico representa o limite de precipitação de 15 mm, no qual, apenas 0,1% das ocorrências têm valor superior.

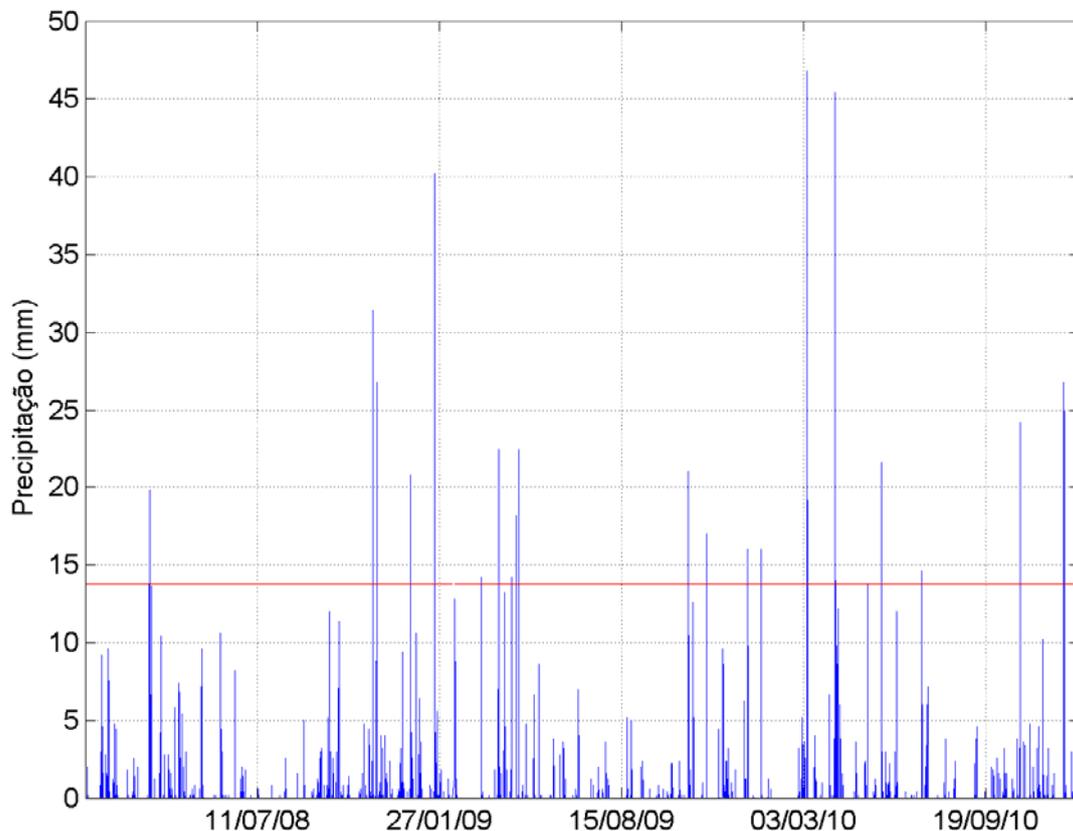


Figura 13: Série temporal de precipitação na estação de Arraial do Cabo – RJ, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010. A linha vermelha indica o limite definido para caracterização de eventos extremos.

O gráfico indica um máximo de precipitação de ~45mm ocorrendo em março de 2010. Do total de eventos extremos ocorridos, o mês de abril apresentou maior número de ocorrências, com o total de 6.

2.2.3. Evaporação

A evaporação apresenta menores valores no período de outono/inverno e maiores valores no período de primavera/verão (Figura 14). O máximo de evaporação ocorreu em janeiro (112mm) e o mínimo em junho (84mm) na série mais recente. A evaporação média na estação do Rio de Janeiro apresentou valores mais altos no período de 1961 a 1990.

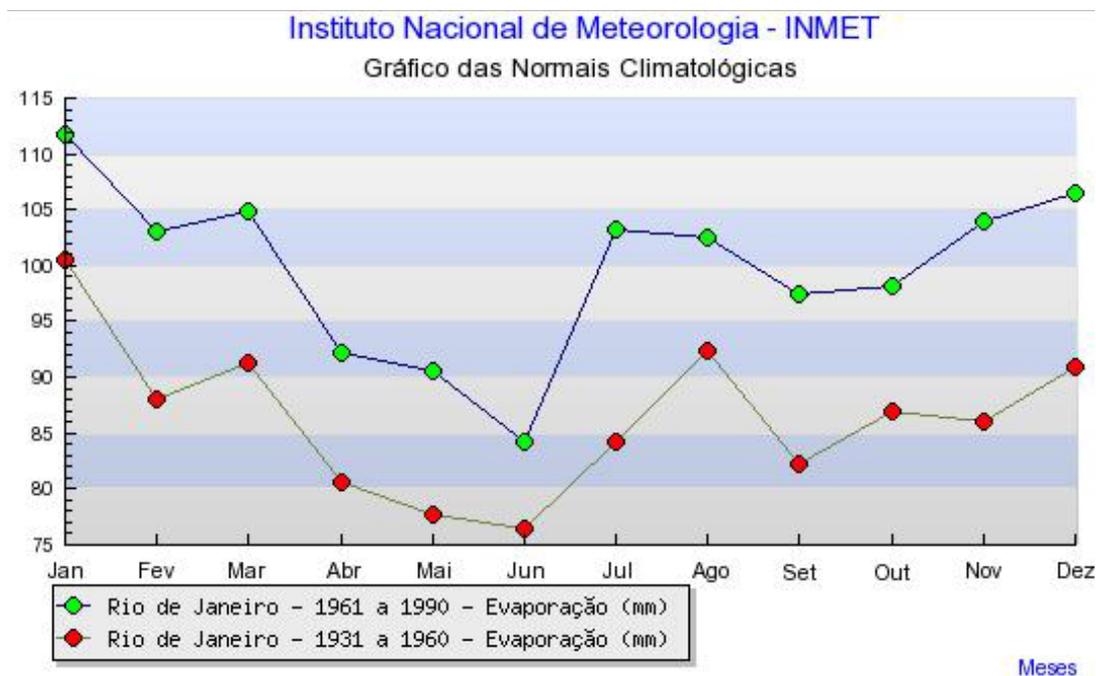


Figura 14: Evaporação na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

2.2.4. Umidade Relativa

Ao longo dos 60 anos amostrados na estação do Rio de Janeiro (Figura 15), a umidade relativa média variou de 80% a 75%. No período de 1931 a 1960, esta estação apresentou o menor valor de umidade relativa no mês de agosto (75%) e o maior em março (~79%). No período de 1961 a 1990, os valores mínimos (77%) foram registrados nos meses de julho e agosto e o maior valor (80%) ocorreu nos meses de março, abril, maio, outubro e dezembro.

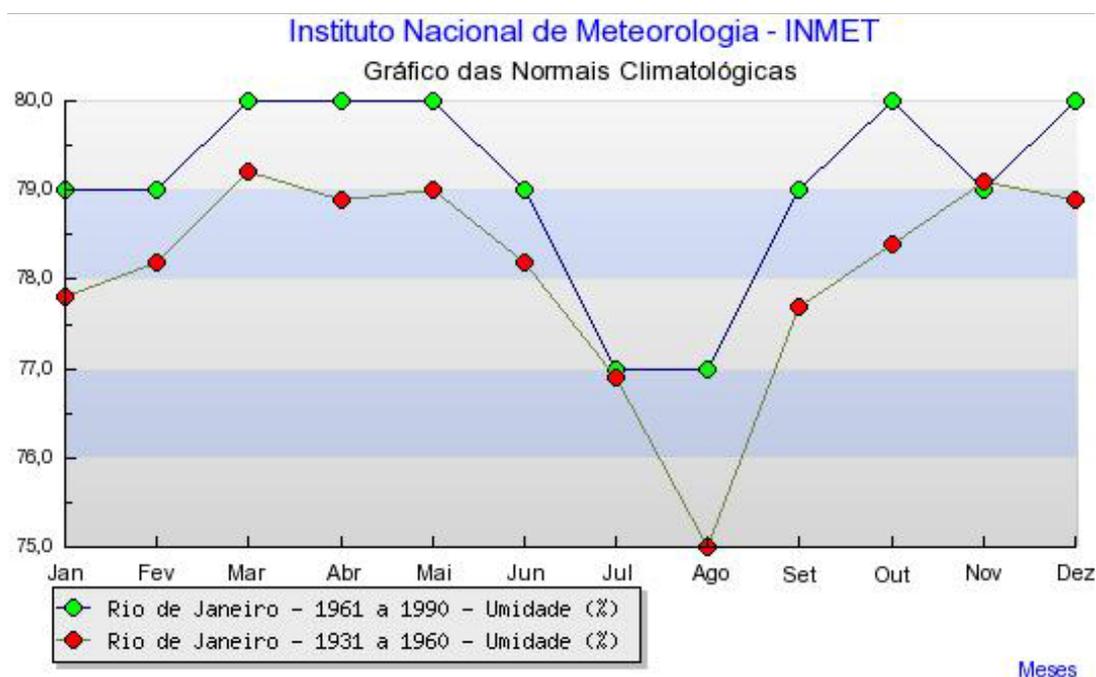


Figura 15: Umidade relativa na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da umidade do ar na região do Bloco BS-4, são apresentadas, na Figura 16 e na Figura 17, as médias sazonais dos dados de umidade relativa do ar para os períodos de verão e inverno, respectivamente, elaboradas a partir das reanálises do NCEP.

Durante o verão – *janeiro a março* – a umidade relativa aumenta em direção ao sul da região analisada. Na porção mais ao sul/sudoeste, a umidade relativa é de aproximadamente 85%. Na área do Bloco BS-4, a umidade relativa se encontra em aproximadamente 80%. No inverno – *junho a agosto* – as maiores umidades também são encontradas nas áreas mais ao sul do bloco. Na região do Bloco BS-4, a umidade relativa encontra-se entre a faixa de 78 e 78,5%. De forma complementar, na Tabela 5 é apresentada a estatística básica dos dados de umidade relativa do NCEP para toda área e período analisados.

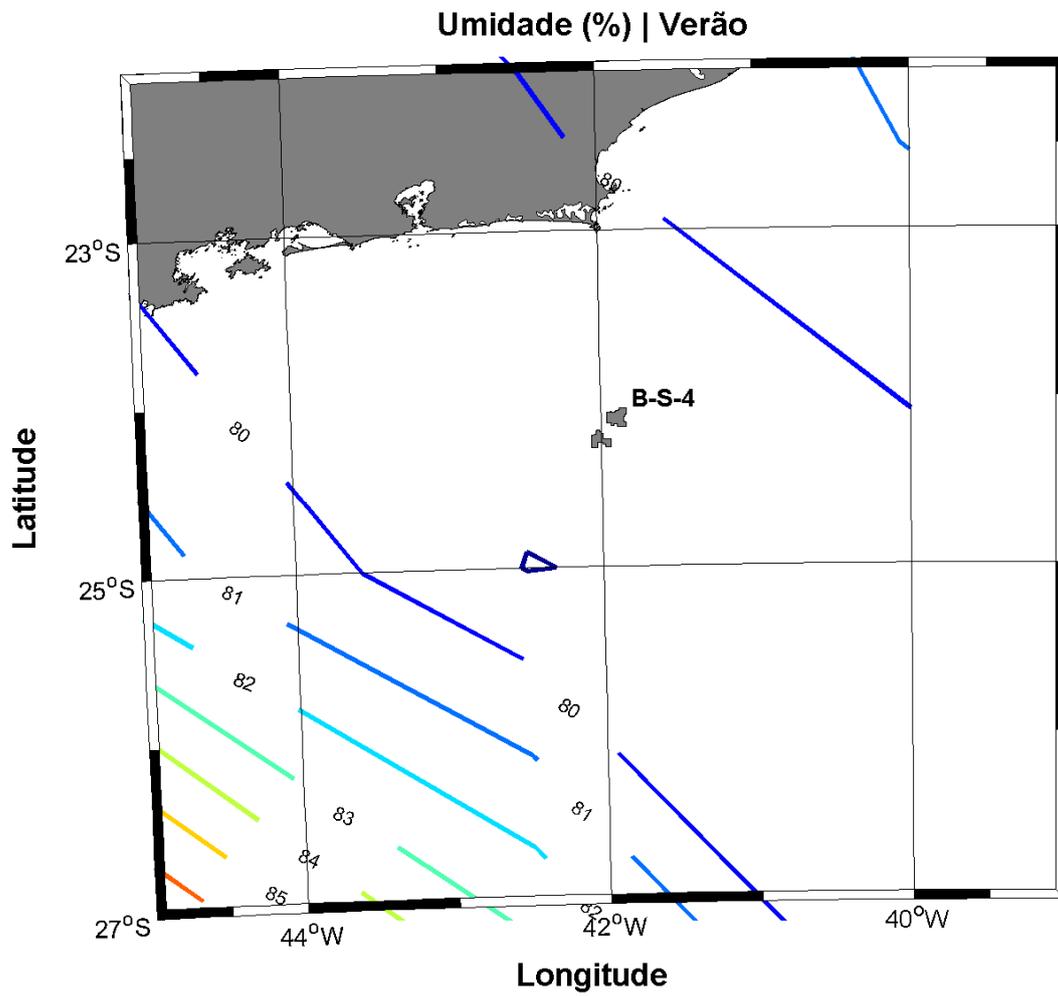


Figura 16: Umidade relativa do ar (%) na região do Bloco BS-4, no período de verão.

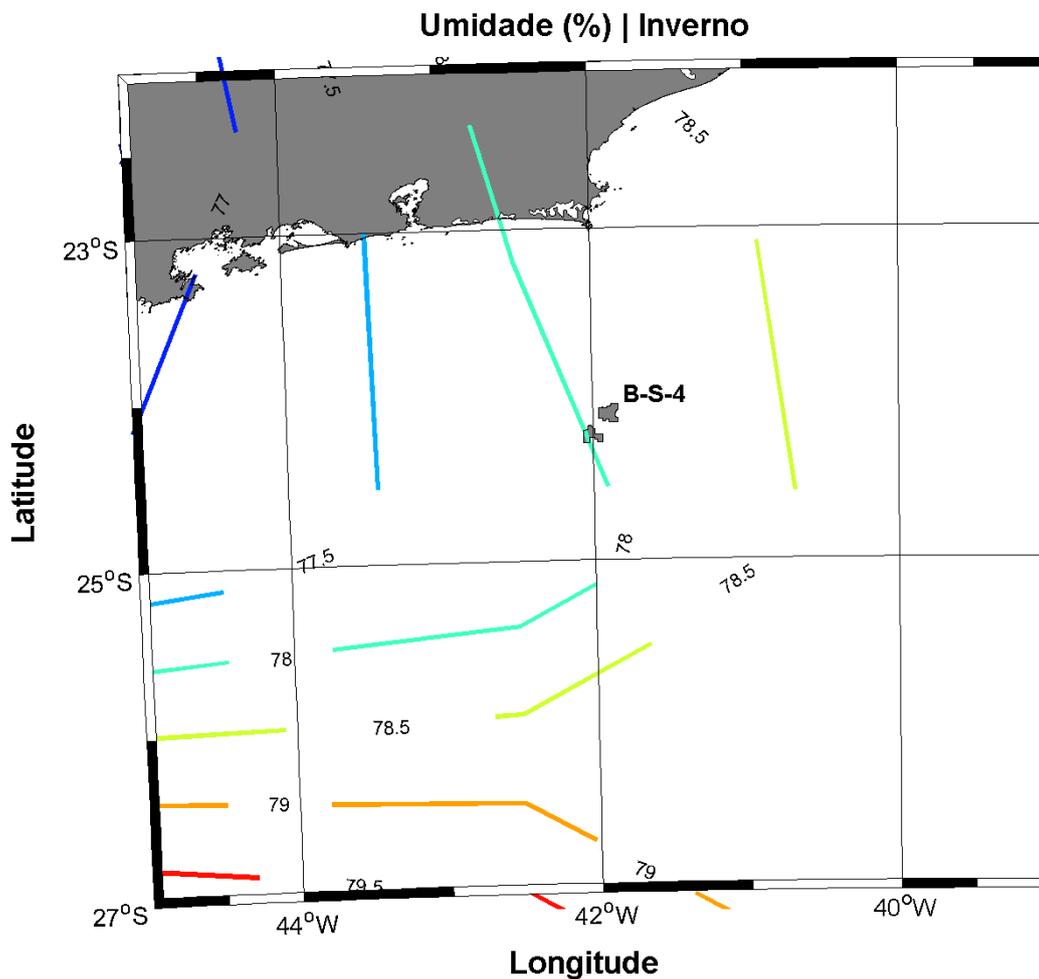


Figura 17: Umidade relativa do ar (%) na região do Bloco BS-4, no período de inverno.

Tabela 5: Estatística básica dos dados de umidade específica do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda região analisada.

Estação	Média (%)	Média Máxima (%)	Média Mínima (%)	Desvio Padrão (%)
Verão	81,69	87,69	79,50	2,67
Inverno	78,36	80,05	76,48	1,14

A seguir, são apresentados os dados da estação de Arraijal do Cabo - RJ no período de 2008 a 2010.

Na Figura 18 é apresentada toda a série temporal, para avaliação da variabilidade da umidade relativa em maior frequência amostral. No gráfico, a linha preta indica a média de umidade (83,66%), enquanto que as linhas vermelhas indicam no gráfico os limites superiores (~96%) e inferiores (~53) para avaliação de eventos extremos. Apenas 0,1% dos dados ultrapassaram os limites superiores e inferiores.

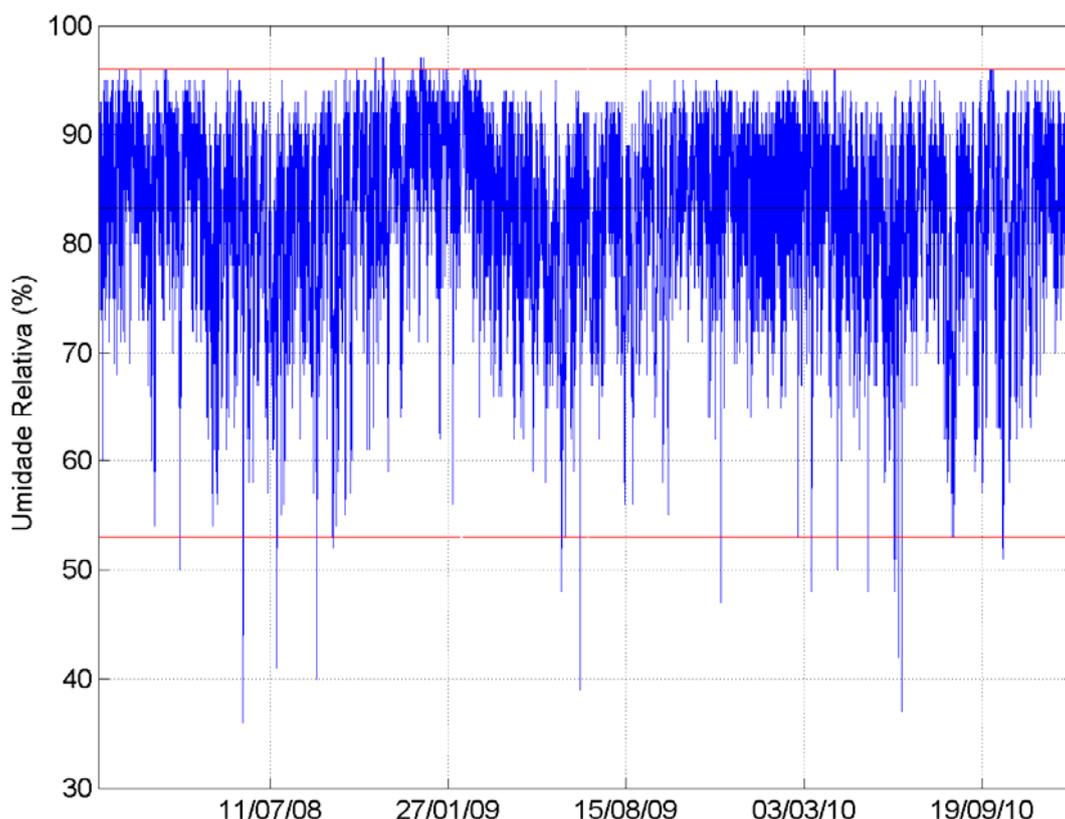


Figura 18: Série temporal de umidade relativa do ar na estação de Arraial do Cabo - RJ, para o período entre janeiro de 2008 e março de 2010.

O gráfico indica um máximo de umidade de ~97%, ocorrendo em dezembro de 2008, e um mínimo de ~37% verificado em junho de 2008. Todos os eventos máximos que ultrapassaram o limite superior ocorreram nos meses de dezembro (10 ocorrências) e novembro (9 ocorrências). Dos eventos que ultrapassaram o limite inferior, a maior parte ocorreu nos meses de julho, agosto e setembro.

2.2.5. Pressão Atmosférica

O Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) afeta o clima do Brasil oscilando em torno de sua posição média. No verão, o ASAS é encontrado predominantemente mais a sul e a oeste (30°S e 15°W), já no inverno, sua posição é deslocada a norte e a oeste (22°S e 30°W). Essa oscilação E-W ocorre devido ao diferente balanço de aquecimento dos continentes e oceanos sazonalmente. Durante o inverno as temperaturas são menores sobre os continentes e, em consequência, os centros de alta pressão migram para o mesmo. No verão, as temperaturas sobre os continentes são maiores e os centros de alta pressão localizam-se sobre os oceanos. A migração do ASAS para sul resulta na sua intensificação, fazendo com que alcance máximos climatológicos em torno de 1026 hPa nos meses de agosto (HASTENRATH, 1985). O sistema ocupa a sua posição mais ao Norte no meses de inverno, ficando mais próximo à linha do Equador.

A média da pressão atmosférica, na estação do Rio de Janeiro (Figura 19), apresenta valores máximos no período de inverno, com um pico em julho, e menores valores no verão. Esse padrão de maiores valores no período de inverno coincide com a migração característica do ASAS para noroeste, se aproximando do continente, e aos menores valores de temperatura do ar no período de inverno.

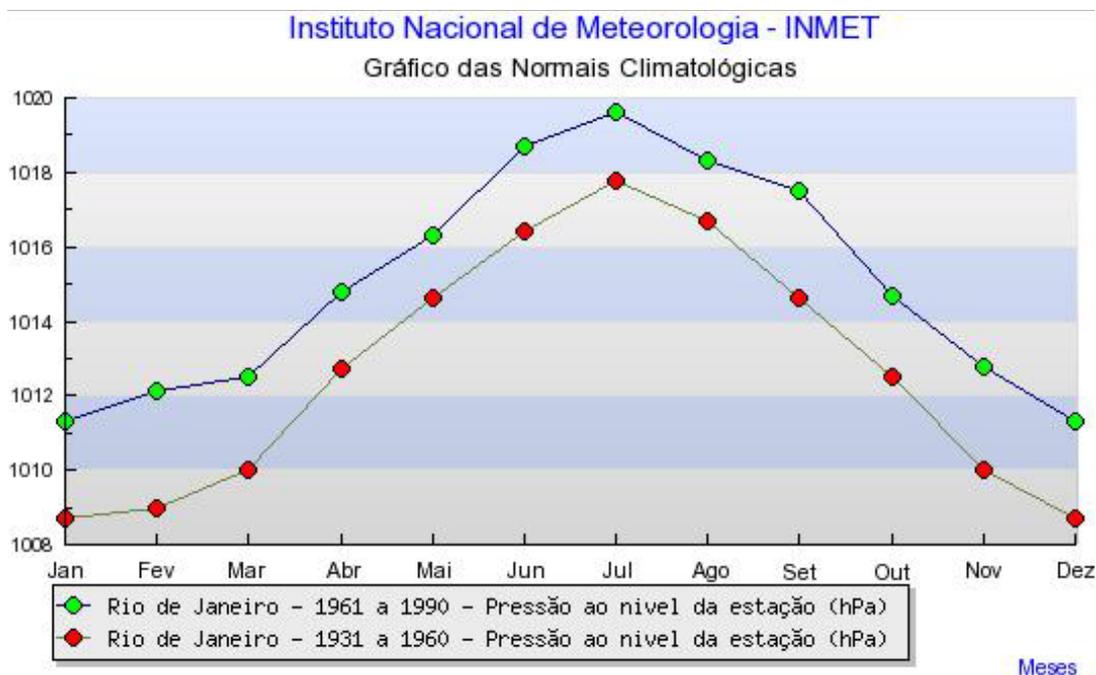


Figura 19: Pressão atmosférica na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

Para avaliação das variações espaciais e sazonais da pressão atmosférica na região do Bloco BS-4, são apresentadas, na Figura 20 e na Figura 21, médias sazonais dos dados de pressão atmosférica, obtidos a partir das reanálises do NCEP.

Como poderá ser verificado nas figuras apresentadas a seguir, tanto para o período de verão – *janeiro a março* – (Figura 20) quanto para o período de inverno – *junho a agosto* – (Figura 21), o padrão espacial apresentado pelo parâmetro é semelhante, com um gradiente positivo em direção nordeste.

Sobre o Bloco BS-4, no verão são encontrados valores de pressão atmosférica de aproximadamente 1017 hPa e no inverno são encontrados valores de aproximadamente 1023 hPa. De forma complementar, na Tabela 6 é apresentada a estatística básica dos dados de pressão atmosférica do NCEP para toda a área e o período analisados.

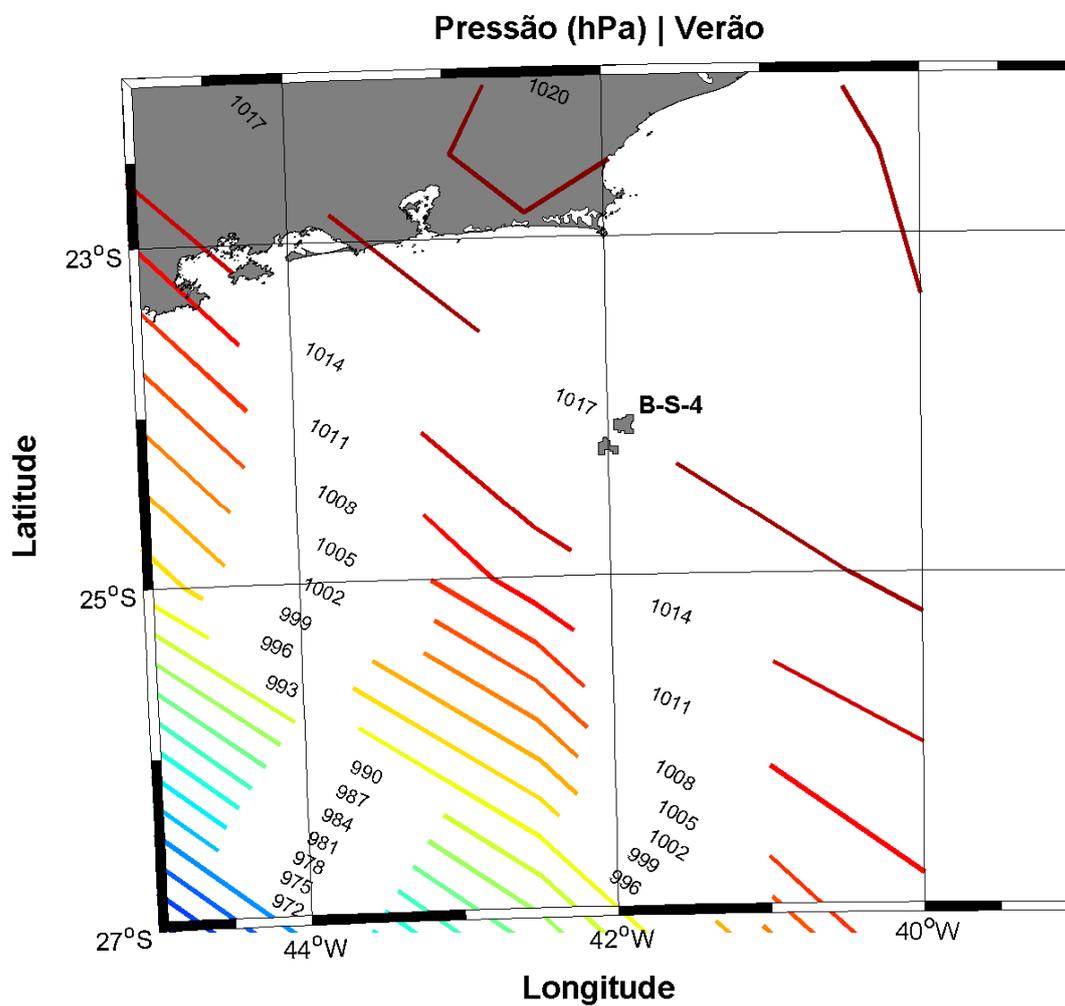


Figura 20: Pressão atmosférica (hPa) na região do Bloco BS-4, no período de verão (dezembro a fevereiro).

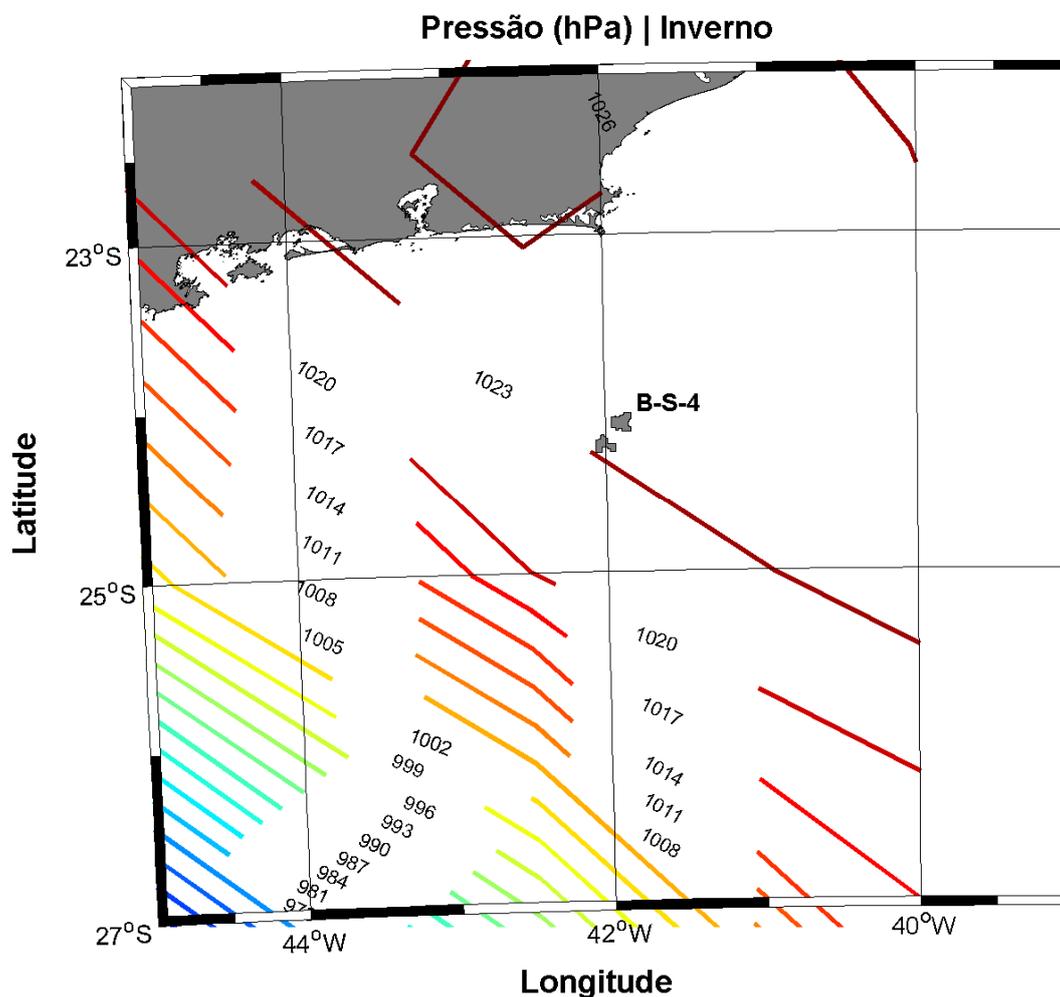


Figura 21: Pressão atmosférica (hPa) na região do Bloco BS-4, no período de inverno (junho a agosto).

Tabela 6: Estatística básica dos dados de pressão atmosférica do NCEP para todo período (1979 a 2011) e para toda a região analisada.

Estação	Média (hPa)	Média Máxima (hPa)	Média Mínima (hPa)	Desvio Padrão (hPa)
Verão	1012,52	1013,40	1011,90	0,50
Inverno	1019,66	1020,20	1019,30	0,33

Para avaliação da variabilidade da Pressão Atmosférica em maior frequência amostral, na Figura 22 é apresentada toda a série temporal deste parâmetro, na estação de Arraial do Cabo.

Para verificação de eventos extremos, foram adotados dois limites em torno da média (~1015 hPa), um inferior (1005,5 hPa) e outro superior (~1023 hPa), que em módulo correspondem a duas vezes o desvio padrão da média (~4,5 hPa).

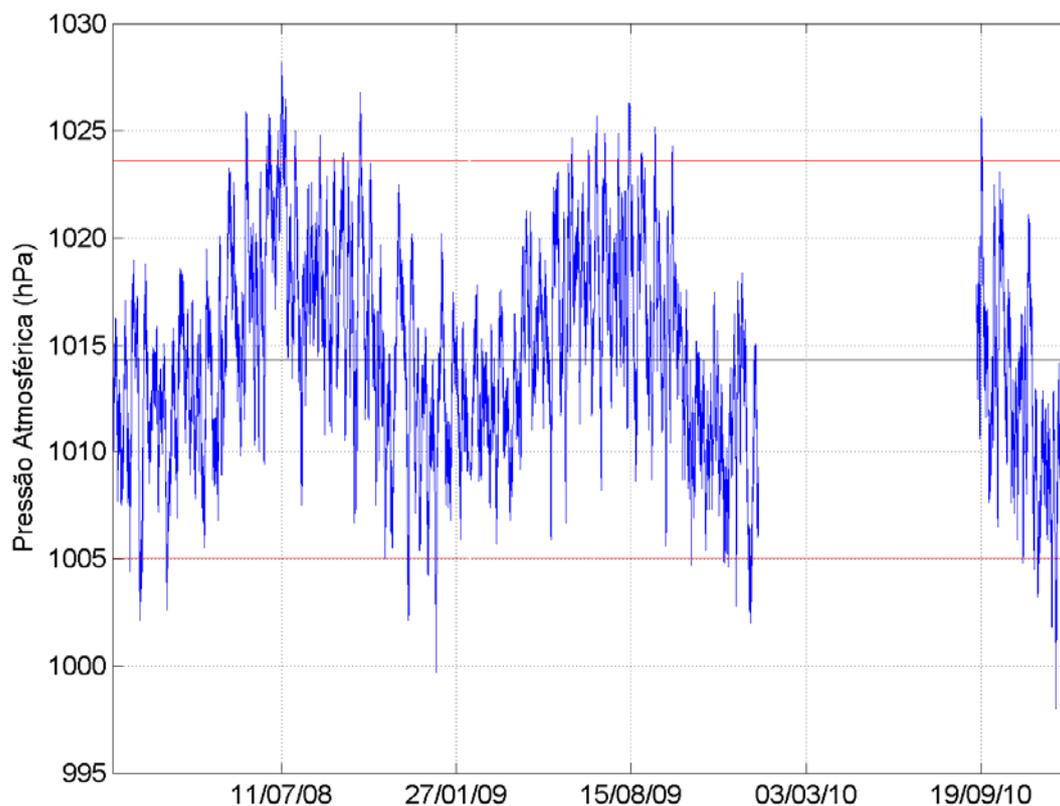


Figura 22: Série temporal de pressão atmosférica na estação de Arraial do Cabo – RJ, para o período entre janeiro de 2008 e dezembro de 2010. A linha central (preta) representa a média de pressão, e as linhas vermelhas correspondem a duas vezes o desvio padrão.

O gráfico indica um máximo de pressão de 1028hPa, ocorrendo em julho de 2008, e um mínimo de 1000 hPa verificado em janeiro de 2009. O mês de julho aparece como o mês com maior número de eventos máximos, enquanto que o mês de dezembro apresentou maior ocorrência de eventos mínimos.

2.2.6. Insolação

A média de insolação para a estação do Rio de Janeiro (Figura 23) apresenta valores máximos para o período de verão. A menor média é registrada no mês de setembro, para ambos os períodos (1931 a 1960 e 1961 a 1990).

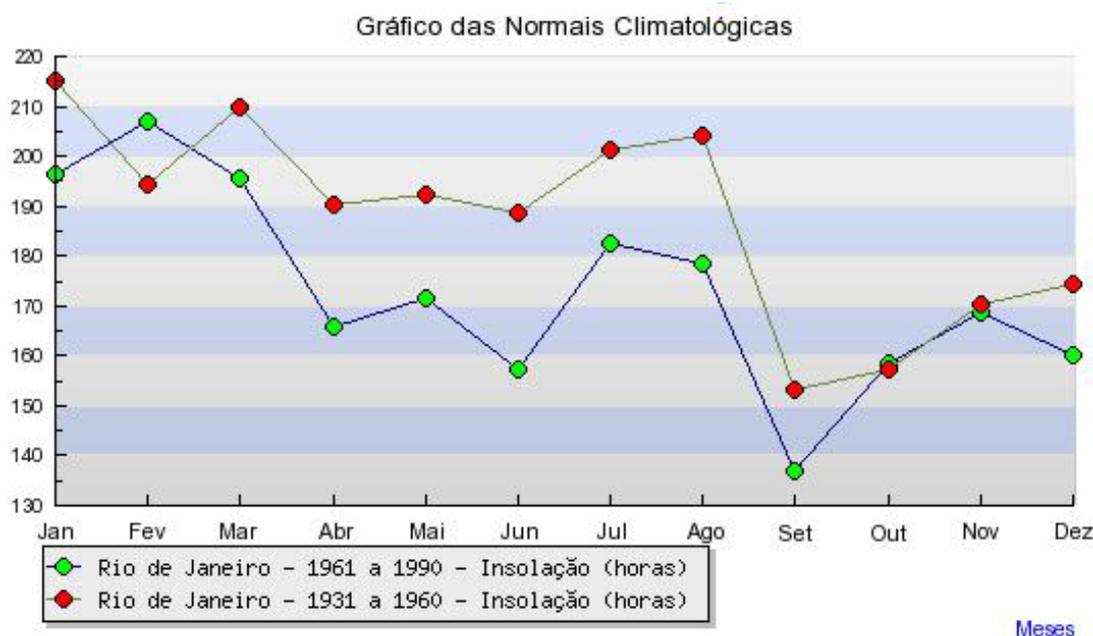


Figura 23: Insolação na estação do Rio de Janeiro. Fonte: INMET.

2.2.7. Ventos

A partir dos histogramas direcionais de ventos elaborados com os dados da reanálise do NCEP, verifica-se que na região do entorno do Bloco BS-4, em média, não há grande variação espacial no campo de vento, como demonstra a Figura 24. A situação típica na região, é marcada por ventos com direção predominante de norte e nordeste. Esse regime, entretanto é perturbado por eventos transientes associados a sistemas frontais, onde predominam os ventos de direção sul, variando de sudeste a sudoeste, nessa ordem.

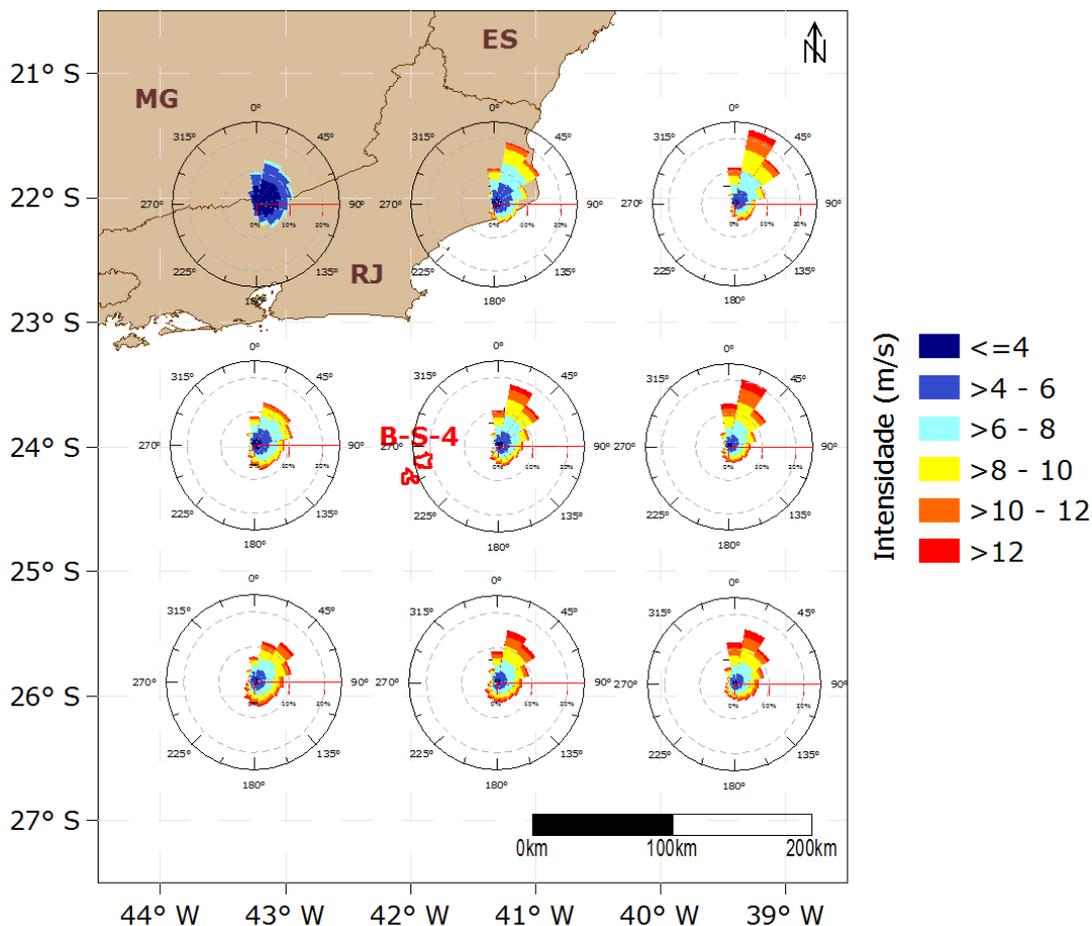


Figura 24: Histograma direcional dos ventos na região do Bloco BS-4. Dados de 1981 a 2010.

Na Figura 25 e na Figura 26, são apresentadas as rosas mensais dos ventos para o ponto de grade do NCEP mais próximo ao bloco (23,81° S; 41,25° W).

A análise dos dados de vento obtidos a partir das reanálises II do NCEP demonstra que o período compreendido entre abril e julho, nesta região, é marcado pela predominância de ventos de direção Nordeste, porém com grande incidência de ventos de direção Sul. O período que vai de agosto a março, apresenta dominância de ventos cuja direção varia de Norte a Nordeste.

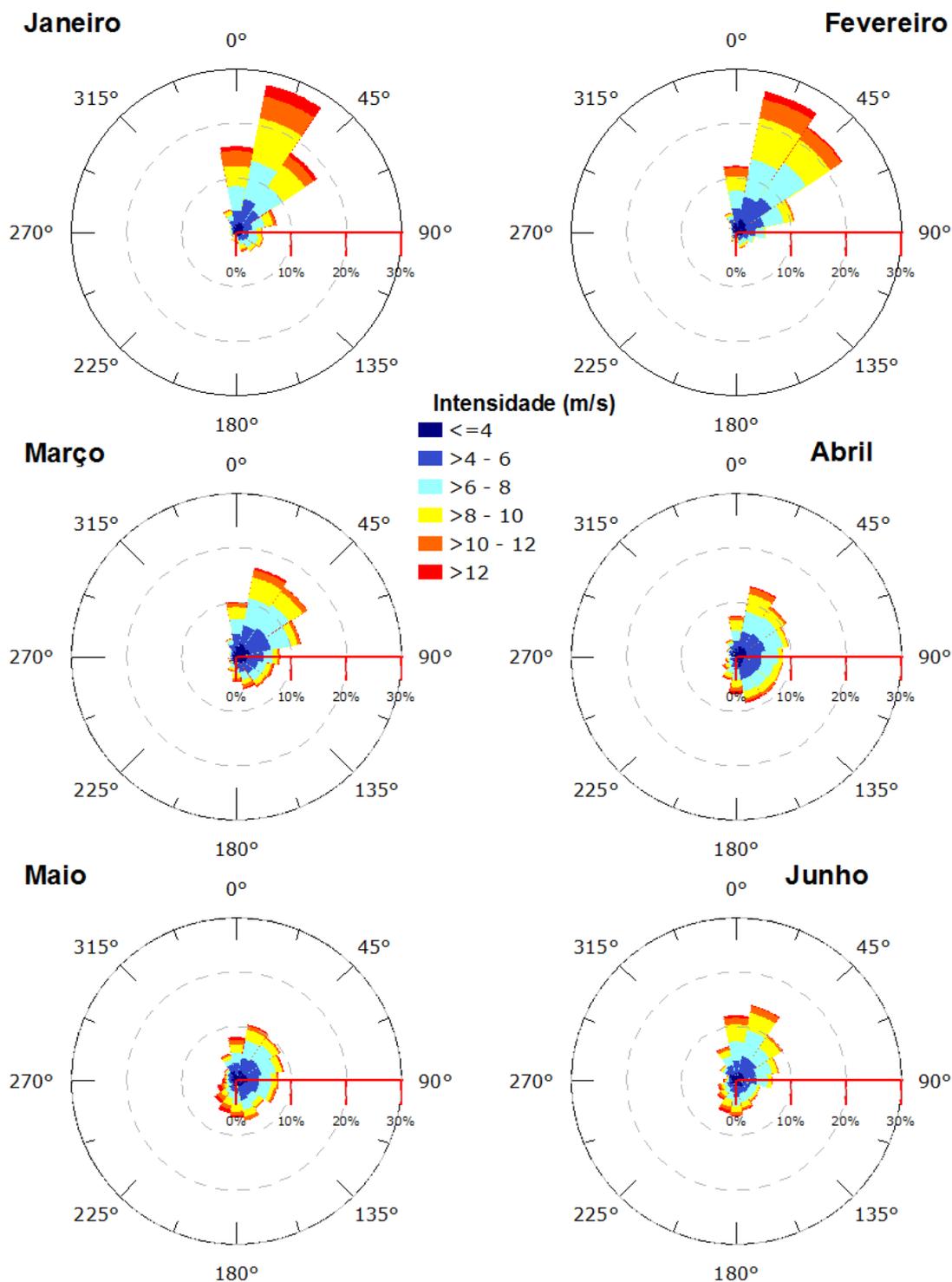


Figura 25: Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de janeiro a junho.

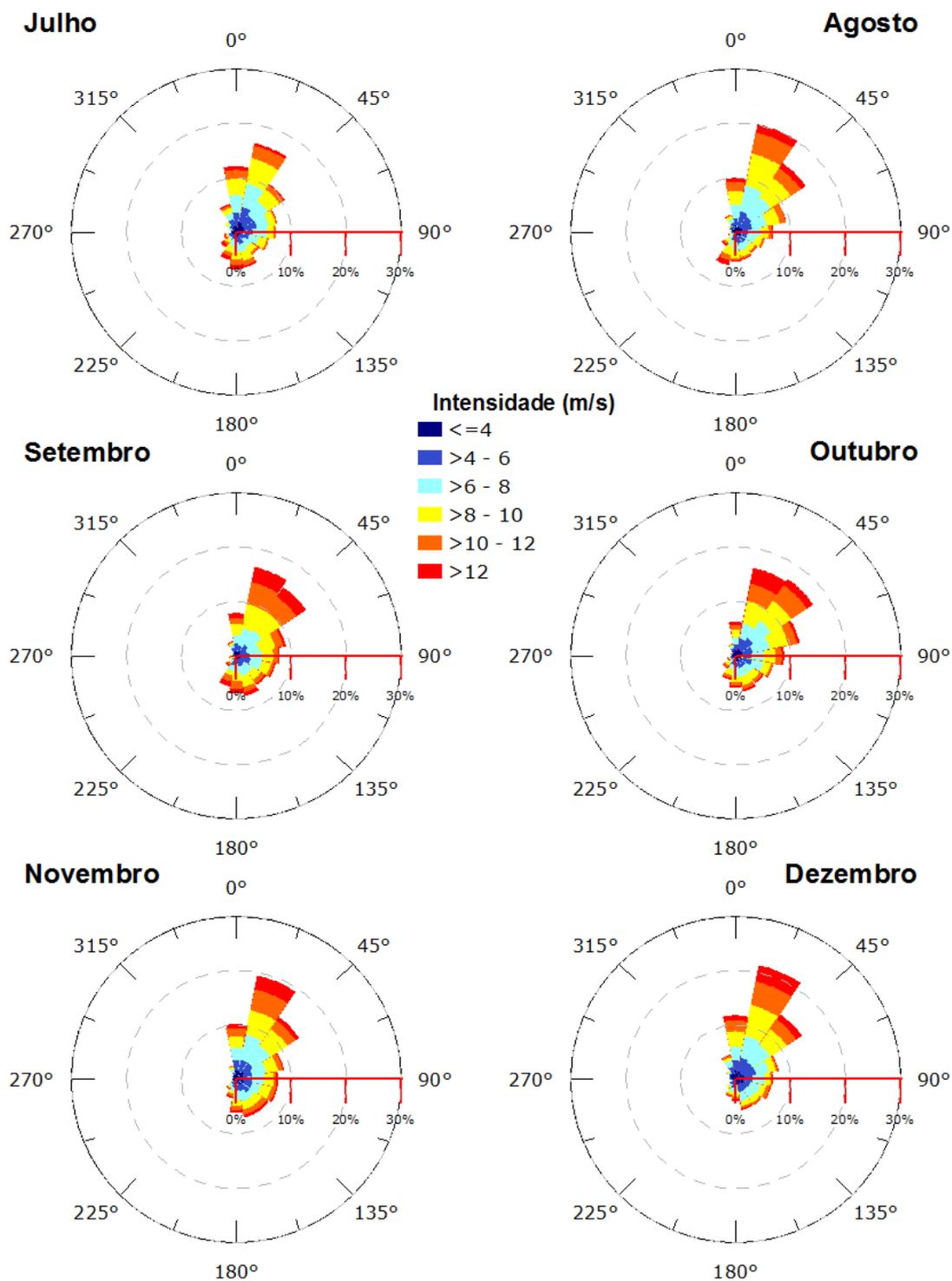


Figura 26: Rosa dos Ventos (m/s) para os meses de julho a dezembro.

Na Tabela 7, é apresentada a ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na região do Bloco BS-4 usando como base os dados do NCEP para o período de 1981 a 2010. Nesta, as direções representam as seguintes faixas de direção: N (337,5°-22,5°), NE (22,5°-67,5°), E (67,5°-112,5°), SE (112,5°-157,5°), S (157,5°-202,5°), SW (202,5°-247,5°), W (247,5°-292,5°) e NW (292,5°-337,5°).

Tabela 7: Ocorrência conjunta de intensidade e direção dos ventos na região do Bloco BS-4 para o período de 1981 a 2010.

Direção >>		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0,5	3	631	780	735	601	433	375	371	479	4405	9,42%
3	5,5	1930	2578	1971	1550	1196	592	390	613	10820	23,14%
5,5	8	2995	4638	2522	1892	1555	706	202	429	14939	31,95%
8	10,5	2770	3812	1259	1172	1214	551	98	181	11057	23,65%
10,5	13	1243	1478	288	331	540	320	46	62	4308	9,21%
>13		336	322	54	77	222	151	49	12	1223	2,62%
Total		9905	13608	6829	5623	5160	2695	1156	1776	46752	-
Freq (%)		21,19%	29,11%	14,61%	12,03%	11,04%	5,76%	2,47%	3,80%	-	-

Nos 30 anos analisados observa-se que das 46.752 informações, a maior incidência foi de ventos de NE, com 13.608 ocorrências (29,11%) e N, 9.905 ocorrências (21,19%), com 31,95% das intensidades situadas entre 5,5 e 8,0 m/s. Os eventos com intensidades acima de 13,0 m/s representaram 2,62 % do total de ocorrências.

A estatística mensal apresentada na Tabela 8 permite identificar a variabilidade apresentada pelo vento ao longo do ano.

Tabela 8: Estatística mensal dos ventos no ponto de grade do NCEP mais próximo ao Bloco BS-4 para o período de 1981 a 2010.

Meses	Direção mais frequente	Intensidade média (m/s)	Desvio Padrão da intensidade	Máxima Absoluta (m/s)	Média das Máximas (m/s)	Desvio Padrão da média das máximas
Jan	NE	7,16	2,85	17,88	13,62	1,83
Fev	NE	6,65	2,72	15,73	12,95	1,51
Mar	NE	6,12	2,68	17,25	12,97	1,67
Abr	NE	6,19	2,63	18,45	13,51	2,00
Mai	NE	6,41	2,97	19,70	14,61	2,72
Jun	NE	6,42	2,77	19,34	14,21	2,18
Jul	NE	7,06	2,89	19,89	14,85	2,09
Ago	NE	7,38	2,93	20,12	14,89	2,04
Set	NE	8,05	3,10	17,96	15,65	1,41
Out	NE	7,52	3,08	17,37	14,68	1,59
Nov	NE	7,34	3,10	16,86	14,64	1,57
Dez	NE	7,14	3,15	18,86	14,90	1,99

Observa-se que a direção mais frequente dos ventos em todos os meses do ano é de NE. Setembro aparece como o mês de maior intensidade média, 8,05 m/s, e maior média das máximas (15,65 m/s), e no mês de agosto, ocorreu a maior máxima absoluta, com ventos de 20,12 m/s.

De forma complementar a Figura 27 apresenta a climatologia mensal de intensidade máxima por direção do vento. Nota-se que os eventos extremos aparecem associados também às direções mais frequentes, NE, salvo no mês de maio, quando o extremo está associado com a direção S/SE e no mês de agosto, com direção N/NO.

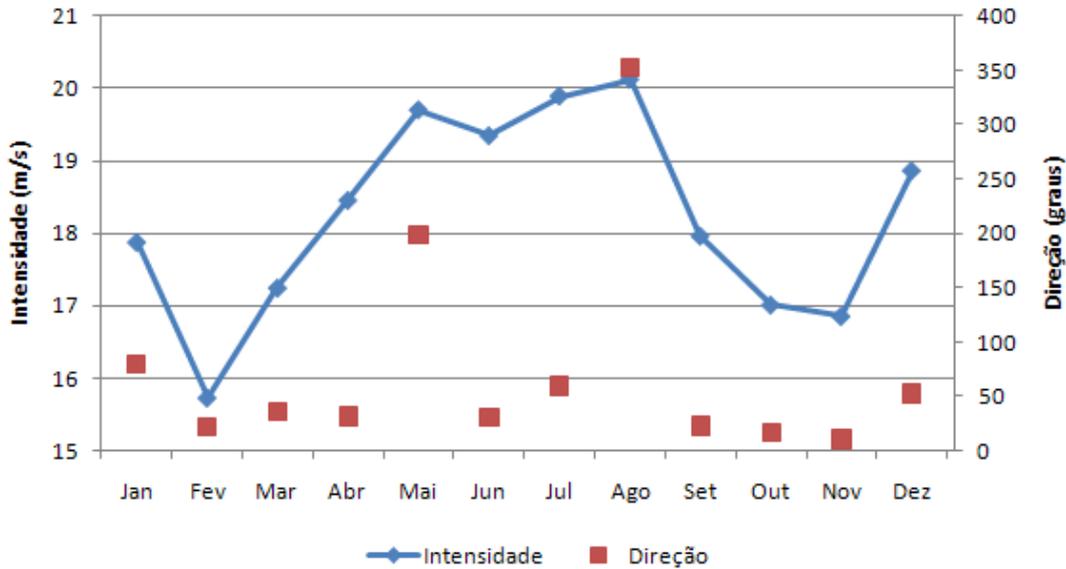


Figura 27: Intensidade máxima por direção do vento.

2.2.8. Sistemas Frontais

A penetração de frentes frias (ou sistemas frontais) é um mecanismo de grande impacto no clima do Sudeste brasileiro durante todo o ano e possui importante papel na transferência de calor, *momentum* e umidade das altas para as baixas latitudes.

No setor quente da frente, segundo Stech & Lorenzetti (1992), a velocidade média do vento é de 5 m/s, variando sua direção de predominantemente nordeste para noroeste com a aproximação da frente. Imediatamente após a passagem da frente fria, o vento tem direção sudoeste, com velocidades tipicamente em torno de 8 m/s. Aproximadamente um dia após a passagem da frente pela região, o vento novamente gira no sentido anti-horário, de sudoeste para nordeste.

Apesar de se observar sistemas frontais durante todo o ano, é no verão que eles atuam de modo a causar muita precipitação ao se associar a outros tipos de sistemas que provocam chuvas na região: os sistemas convectivos. A convecção é provocada pela associação das altas temperaturas com a umidade do ar. Estes dois fatores favorecem a formação de nuvens, causando instabilidades e chuvas isoladas em forma de pancadas, principalmente no período da tarde. No inverno os sistemas frontais estão mais relacionados com a penetração de massas de ar frio.

Durante o inverno, devido ao resfriamento do Hemisfério Sul e ao aquecimento do Hemisfério Norte, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ocupa a sua posição mais setentrional (MARTIN *et al.*, 1998). Nesse período, os sistemas frontais e os distúrbios de leste, que são aglomerados convectivos trazidos pelos ventos alísios de sudeste em direção ao continente, atuam com mais frequência sobre a Região do Sudeste brasileiro.

No verão austral, o resfriamento do Hemisfério Norte e o aquecimento do Hemisfério Sul deslocam a ZCIT para uma posição mais ao Sul, curvando-a em direção ao continente (MARTIN *et al.*, 1998). O deslocamento da ZCIT mais para sul favorece a predominância dos ventos alísios de nordeste. Nesse período, os sistemas frontais dificilmente ultrapassam o Trópico de Capricórnio.

Na Tabela 9 é apresentado o número de passagens de sistemas frontais na região do Bloco BS-4, entre os anos de 1996 e 2010. A tabela utiliza as informações do Boletim Climanálise/CPTEC/INPE para sistemas frontais que atingem a cidade de Cabo Frio, no RJ.

A Tabela 10 apresenta o intervalo médio (em dias) entre a passagem de dois sistemas frontais consecutivos na região do Bloco BS-4, para os anos de 1996 a 2010. Verifica-se que os meses de junho, setembro e outubro apresentam, em média, menores intervalos entre a passagem de dois sistemas frontais consecutivos, enquanto que os meses de janeiro a março, característicos de verão, apresentam os maiores intervalos.

Tabela 9: Ocorrência de frentes frias de 1996 a 2010, para cada mês.

Mês	Ano							
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Janeiro	1	2	4	1	3	1	1	2
Fevereiro	2	1	1	1	4	0	2	0
Março	2	2	4	2	3	1	1	2
Abril	-	4	4	3	3	2	0	3
Maio	2	5	4	6	4	2	1	3
Junho	4	4	4	4	2	2	2	2
Julho	6	3	3	3	5	2	5	2
Agosto	3	3	3	3	5	0	1	5
Setembro	5	6	5	4	2	4	4	5
Outubro	4	4	7	4	2	2	3	2
Novembro	4	7	3	5	3	3	1	5
Dezembro	3	4	2	6	4	3	3	-
Total	36	45	44	42	40	22	24	31

Mês	Ano								Média
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total	
Janeiro	1	3	1	1	1	1	0	23	1,53
Fevereiro	4	3	1	1	1	0	1	22	1,47
Março	4	1	4	0	1	0	0	27	1,80
Abril	2	4	4	3	2	0	1	35	2,50
Maio	6	2	3	3	3	2	3	49	3,27
Junho	2	2	2	4	3	3	3	43	2,87
Julho	3	3	1	6	1	3	1	47	3,13
Agosto	4	3	2	3	2	2	3	42	2,80
Setembro	3	6	2	3	2	4	2	57	3,80
Outubro	4	4	2	0	5	1	5	49	3,27
Novembro	4	4	1	4	0	0	1	45	3,00
Dezembro	3	4	1	2	2	2	0	39	2,79
Total	40	39	24	30	23	18	20		

Tabela 10: Intervalo médio de passagem de dois sistemas frontais consecutivos na região do Bloco BS-4 (dias).

Mês	Ano							
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Janeiro	31,00	15,50	7,75	31,00	10,33	31,00	31,00	15,50
Fevereiro	15,50	31,00	31,00	31,00	7,75	-	15,50	-
Março	15,50	15,50	7,75	15,50	10,33	31,00	31,00	15,50
Abril	-	7,75	7,75	10,33	10,33	15,50	-	10,33
Maió	15,50	6,20	7,75	5,17	7,75	15,50	31,00	10,33
Junho	7,75	7,75	7,75	7,75	15,50	15,50	15,50	15,50
Julho	5,17	10,33	10,33	10,33	6,20	15,50	6,20	15,50
Agosto	10,33	10,33	10,33	10,33	6,20	-	31,00	6,20
Setembro	6,20	5,17	6,20	7,75	15,50	7,75	7,75	6,20
Outubro	7,75	7,75	4,43	7,75	15,50	15,50	10,33	15,50
Novembro	7,75	4,43	10,33	6,20	10,33	10,33	31,00	6,20
Dezembro	10,33	7,75	15,50	5,17	7,75	10,33	10,33	-

Mês	Ano								Média
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
Janeiro	31,00	10,33	31,00	31,00	31,00	31,00	-	24,17	
Fevereiro	7,75	10,33	31,00	31,00	31,00	-	31,00	22,82	
Março	7,75	31,00	7,75	-	31,00	-	-	18,30	
Abril	15,50	7,75	7,75	10,33	15,50	-	31,00	12,49	
Maió	5,17	15,50	10,33	10,33	10,33	15,50	10,33	11,78	
Junho	15,50	15,50	15,50	7,75	10,33	10,33	10,33	11,88	
Julho	10,33	10,33	31,00	5,17	31,00	10,33	31,00	13,92	
Agosto	7,75	10,33	15,50	10,33	15,50	15,50	10,33	12,14	
Setembro	10,33	5,17	15,50	10,33	15,50	7,75	15,50	9,51	
Outubro	7,75	7,75	15,50	-	6,20	31,00	6,20	11,35	
Novembro	7,75	7,75	31,00	7,75	-	-	31,00	13,22	
Dezembro	10,33	7,75	31,00	15,50	15,50	15,50	-	12,52	

Observa-se na Figura 28 que existem expressivas variações interanuais na frequência da passagem de frentes por essa região. É muito complexo e arriscado definir causas para tais variações observadas, diversos processos de diferentes escalas podem influenciar na formação e propagação de sistemas frontais pela costa do Brasil.

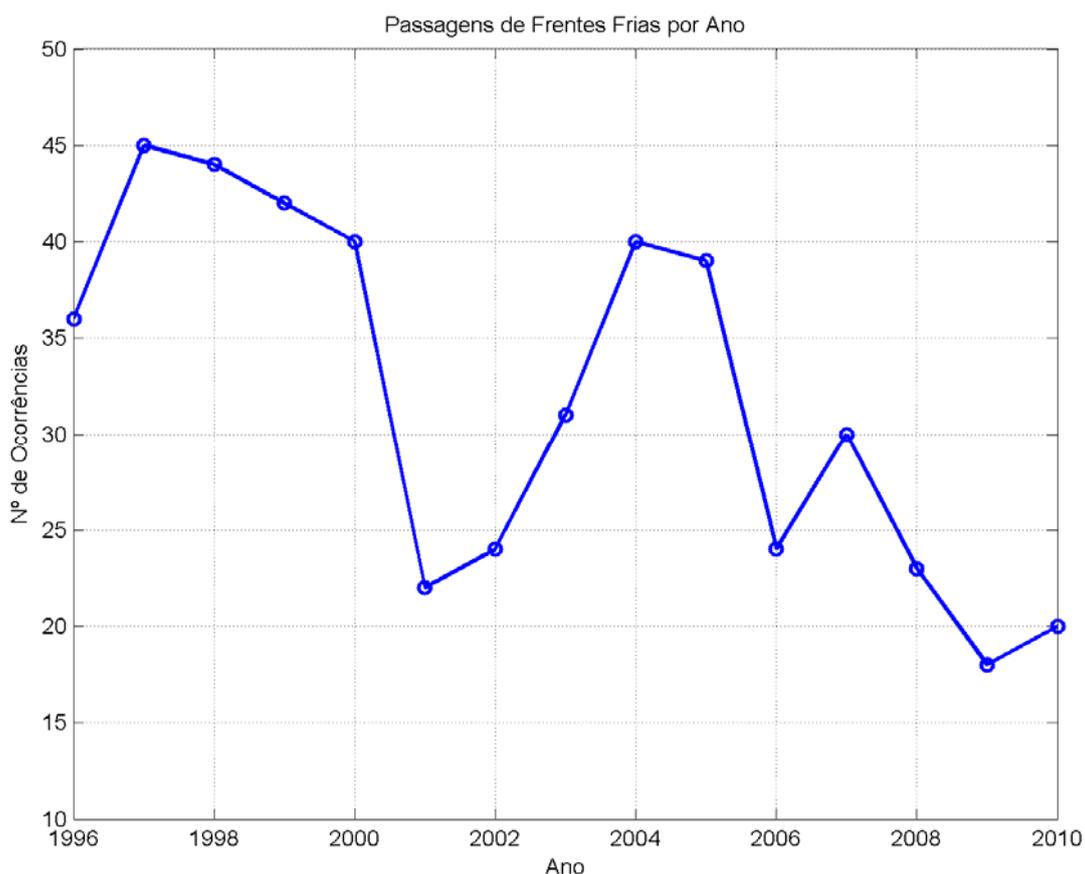


Figura 28: Número total de ocorrência de frentes por ano.

A Figura 29 apresenta a estatística mensal do número de passagens de sistemas frontais na região do bloco no período analisado (1996 a 2010). Observa-se, a partir desta, que os meses de janeiro a março, característicos de verão, apresentam menor incidência desses sistemas na região de estudo, enquanto que o mês de setembro, ao longo de todo o período analisado, apresentou a maior constância na incidência de frentes frias, totalizando o maior número de ocorrências (57).

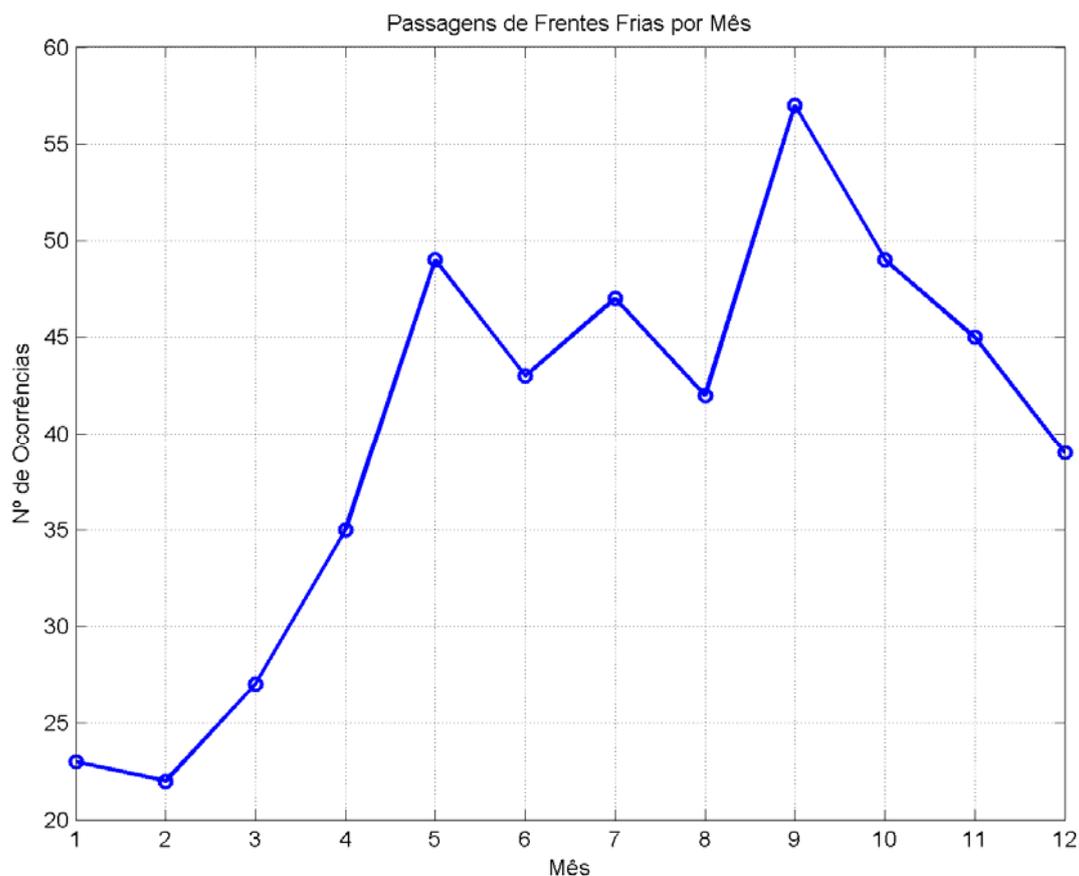


Figura 29: Sistemas frontais ao longo do ano entre os anos de 1996 e 2007.

2.2.9. Condições extremas de ventos

Através dos 50 anos (1960 - 2009) de dados da Reanálise do NCEP podemos ter uma boa estimativa da ocorrência de eventos extremos por longos períodos de tempo na região próxima ao Bloco BS-4. A partir da ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos (Tabela 11), podemos verificar que das 73.052 observações, apenas 198 indicaram ventos com intensidades superiores a 13 m/s. Destes eventos, 76,67% (138 ocorrências) correspondem a ventos do quadrante SW (direções S, SW e W), estando provavelmente associados à passagem de sistemas frontais na região.

Analisando a estatística mensal dos ventos (Tabela 12), conclui-se que o período de verão aparece como o menos propício à ocorrência de ventos intensos, com os eventos extremos mais concentrados no outono, inverno e primavera. O evento extremo observado, com

velocidades de 16,93 m/s ocorreu em 22 de maio de 1997. Setembro aparece como o mês de ventos mais intensos, com média de 7,02 m/s e média das máximas de 13,04 m/s.

Tabela 11: Ocorrência conjunta de direção (°) e intensidade (m/s) dos ventos na região do Bloco BS-4 para o período de 1960 a 2009.

Direção ->		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total	Freq (%)
Intensidade (m/s)											
0,5	3	1317	1583	1380	1172	982	795	707	886	8822	12,08
3	5,5	3813	5760	3992	2902	2407	1296	654	1037	21861	29,93
5,5	8	5188	9577	4200	2728	2619	1367	288	380	26347	36,07
8	10,5	2948	5567	1487	847	1247	1008	132	81	13317	18,23
10,5	13	566	982	129	82	238	445	59	6	2507	3,43
> 13,0		15	40	1	4	16	86	36	0	198	0,27
Total		13847	23509	11189	7735	7509	4997	1876	2390	73052	
Freq (%)		18,95	32,18	15,32	10,59	10,28	6,84	2,57	3,27		

Tabela 12: Estatística mensal dos ventos na região do BS-4, para o período de 1960 a 2009.

Meses	Direção Predominante (°)	Velocidade Média (m/s)	Desvio Padrão (m/s)	Velocidade Máxima Absoluta (m/s)	Média das Velocidades Máximas (m/s)	Desvio Padrão (m/s)
Janeiro	NE	5,97	2,33	14,1	11,02	1,06
Fevereiro	NE	5,82	2,23	12,97	10,87	0,99
Março	NE	5,28	2,23	12,73	10,75	0,95
Abril	E	5,34	2,24	14,06	11,29	1,38
Maiο	E	5,53	2,49	16,93	12,46	1,82
Junho	NE	5,68	2,4	15,22	12,37	1,49
Julho	NE	6,15	2,42	15,8	12,55	1,43
Agosto	NE	6,52	2,52	15,84	12,61	1,19
Setembro	NE	7,02	2,65	16,14	13,04	1,06
Outubro	E	6,58	2,54	15,6	12,61	1,07
Novembro	NE	6,32	2,53	13,85	12,06	1,1
Dezembro	NE	6,08	2,56	14,76	11,96	1,07

Além das variações sazonais já citadas, podem ser verificadas variações interanuais nas intensidades dos ventos na região. Na Figura 30, são apresentadas as intensidades médias e máximas anuais para o período entre 1960 e 2009.

Entre 1960 e 1973, a intensidade média dos ventos apresentou tendência ao decréscimo, e a partir deste ano, houve tendência a intensificação, com a média mais elevada (~6,6 m/s) sendo encontrada no ano de 1999.

As intensidades máximas anuais apresentam oscilações bem marcadas com períodos variando entre aproximadamente 3 e 5 anos. A intensidade máxima de aproximadamente 17 m/s foi verificada no ano de 1997.

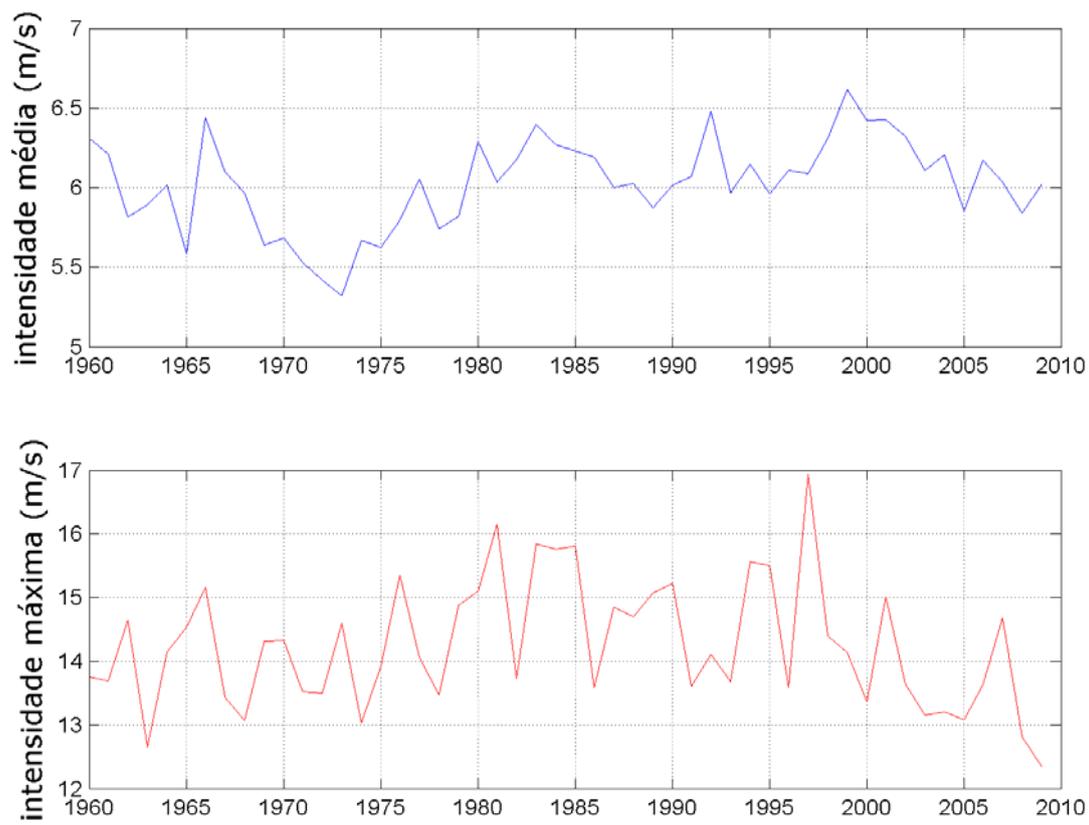


Figura 30: Intensidade média (painel superior) e máxima (painel inferior) dos ventos na região próxima ao Bloco BS-4 entre os anos de 1960 e 2009.

2.2.10. Considerações Finais

Foram apresentados dados e gráficos de maneira a caracterizar a meteorologia do entorno do Bloco BS-4. As seguintes variáveis e parâmetros foram analisados: temperatura, precipitação, evaporação, umidade relativa, pressão atmosférica, insolação, ventos, os sistemas frontais incidentes na região e as condições extremas atuantes.

Todos os parâmetros meteorológicos apresentam-se correlacionados direta ou indiretamente com a diferença na incidência de radiação solar durante as estações do ano. Ressalta-se que o fator da complexidade em sistemas naturais torna a correlação entre parâmetros uma tarefa extremamente difícil.

Como pode ser observado através das análises apresentadas, durante o verão, quando a incidência de radiação solar no hemisfério Sul é máxima, são observados máximos na temperatura do ar, evaporação, umidade relativa e precipitação. Durante o inverno, o oposto é observado.

A temperatura apresentou uma média de 22,5 a 26,3°C para o período analisado no verão e de 18 a 23,2°C no inverno. A umidade relativa apresentou valores próximos a 80% no verão, diminuindo para aproximadamente 78,3% no inverno. A diferença entre a precipitação para ambos os períodos foi acentuada, de aproximadamente 40 kg/m² no verão e de 27 kg/m² no inverno. A insolação variou entre 215 e 140 cal/m² e a evaporação variou entre 112 mm e 84 mm para os períodos de verão e inverno, respectivamente.

A pressão atmosférica se apresenta inversamente proporcional à quantidade de radiação incidente no verão e inverno. Isso se dá pois esta variável na região analisada é modulada pelo ASAS e sua variação espacial ao longo do ano. Como exposto previamente, durante o inverno quando a radiação incidente é menor, o continente é menos aquecido e conseqüentemente o centro de alta pressão migra para oeste. Durante o verão o contrário se observa e o centro do ASAS migra para leste. A pressão atmosférica é de aproximadamente 1012 e 1019 hPa no verão e no inverno, respectivamente.

O ASAS influi diretamente no padrão de ventos da região. Por estar presente durante todo o ano, é responsável pela predominância de ventos de NE (29,11%) com baixa intensidade, 5,5 a 8,0 m/s (31,95%). A passagem de sistemas frontais pela região altera esse padrão de ventos dominados pelo ASAS, contribuindo com ventos do quadrante Sul (11%) e maiores intensidades.

Os sistemas frontais foram mais incidentes nos anos de 1997 a 1999. Intensidades maiores a 13 m/s representaram 0,27% dos casos apresentados. Desse percentual, 76,67% foram

associados a chegada de ventos do quadrante SW, provavelmente associados à passagem de frentes frias. O mês de setembro é o mês com a maior incidência de frentes frias na região.

2.3. Oceanografia

A caracterização oceanográfica da região é feita a partir das seguintes fontes de dados.

- » Dados de temperatura e salinidade disponíveis no *National Oceanographic Data Center* (NODC), nas bases de dados WOA09 (*World Ocean Atlas*) e WOD09 (*World Ocean Data*).
- » Dados do modelo global de marés FES-2004 contendo a fase e a amplitude das principais constituintes de maré.
- » Dados de correntes da Análise Global do modelo hidrodinâmico HYCOM.
- » Dados de correntes do Projeto DEPROAS (Dinâmica do Ecossistema de Plataforma da Região Oeste do Atlântico Sul)
- » Dados de onda oriundos de um *hindcast* de 33 anos realizado com o modelo WaveWatch III pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dentro do plano de cooperação técnica INPE/PROOCEANO.

Utilizando também referências bibliográficas sobre a oceanografia local.

Na Tabela 13, observa-se um resumo com as fontes de dados utilizadas no estudo, e as suas respectivas localizações.

Tabela 13: Localização das fontes de dados utilizadas.

Fontes	Coordenadas		Parâmetros	Período
	latitude	longitude		
WOA09 (área)	22° S - 26° S	39° W – 45° W	T e S	1973-2009
WOA09 (ponto)	24,125° S	41,875° W	T e S	1973 - 2009
WOD09 (Área)	23,45° S – 24,45° S	41,5° W – 42,5° W	T e S	1926-1991
HYCOM (Área)	22° S - 26° S	39° W – 45° W	U e V	01/01/2007 – 31/12/2007
DEPROAS	23,75° S	41,8° W	U e V	07/2002 -11/2002 01/2003 – 05/2004
WaveWatch III	24° S	42° W	Ondas	01/01/1979 31/12/2011
FES-2004	24,125° S	42° W	Maré	-

Legenda: T = Temperatura; S = Salinidade; U = componente zonal da corrente; V = componente meridional da corrente.

2.3.1. Temperatura e Densidade potencial

Para caracterizar a variabilidade espacial e sazonal da estrutura termohalina da região, foram feitos perfis de temperatura, salinidade e densidade potencial para um ponto próximo do Bloco

BS-4 para todas as estações do ano, mapas horizontais de temperatura, salinidade e densidade em superfície, e seções verticais de temperatura e salinidade para uma seção normal à costa cruzando o bloco, para as estações de verão e inverno. Mapas verticais de densidade referentes à mesma seção são apresentados no capítulo 2.3.2.

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA09 consistem da análise objetiva dos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos, em navios de pesquisa e de oportunidade. Esta análise objetiva utiliza dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global com resolução espacial de $1/4^\circ$. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 33 profundidades padrão desde a superfície até 5.500 m de profundidade. Temporalmente, esta climatologia consiste na média realizada para o período compreendido entre os anos de 1793 e 2009. Os dados da climatologia WOA09 podem ser obtidos através da sua página na internet (http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html). Maiores informações sobre as bases climatológicas de temperatura e salinidade pode ser obtidas em Locarnini *et al.* (2009) e Antonov *et al.* (2009).

A localização da seção vertical, assim como do ponto utilizado nos perfis pode ser observada na Figura 31.

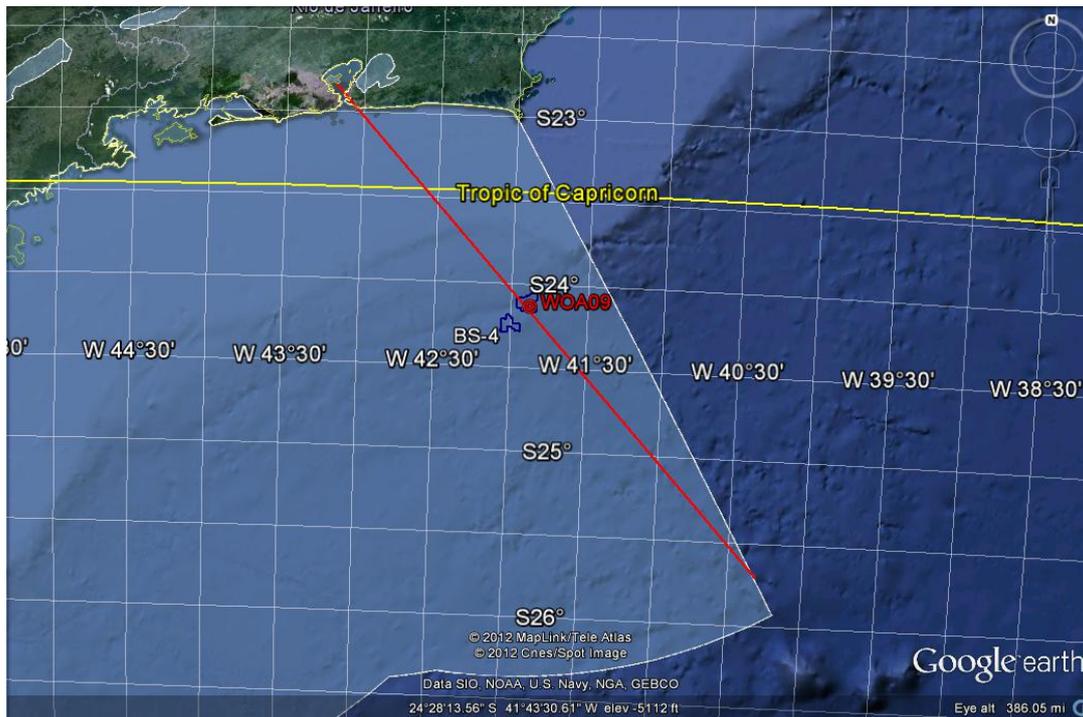


Figura 31: Localização da seção vertical e do ponto de grade do WOA09 de onde foram retirados os dados de temperatura e densidade.

Da Figura 32 a Figura 34 são apresentados os perfis de temperatura, salinidade e densidade para as quatro estações do ano.

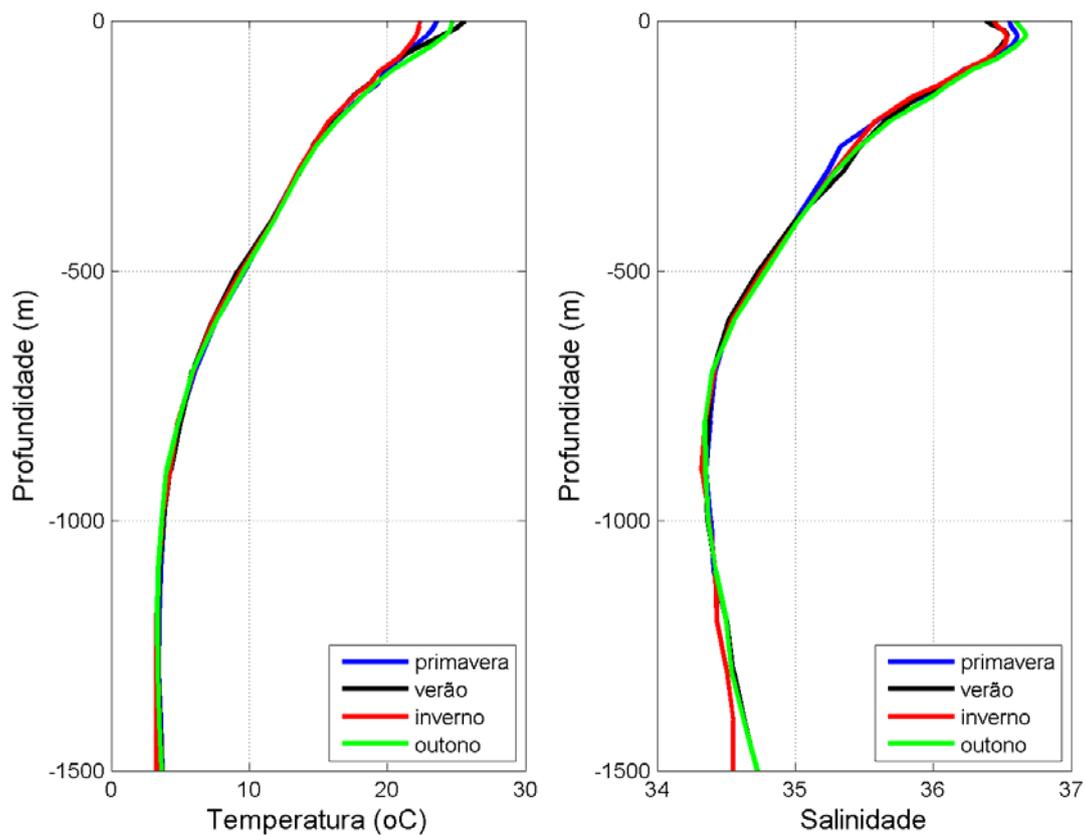


Figura 32: Perfis de temperatura e salinidade para as quatro estações do ano na região do Bloco BS-4.

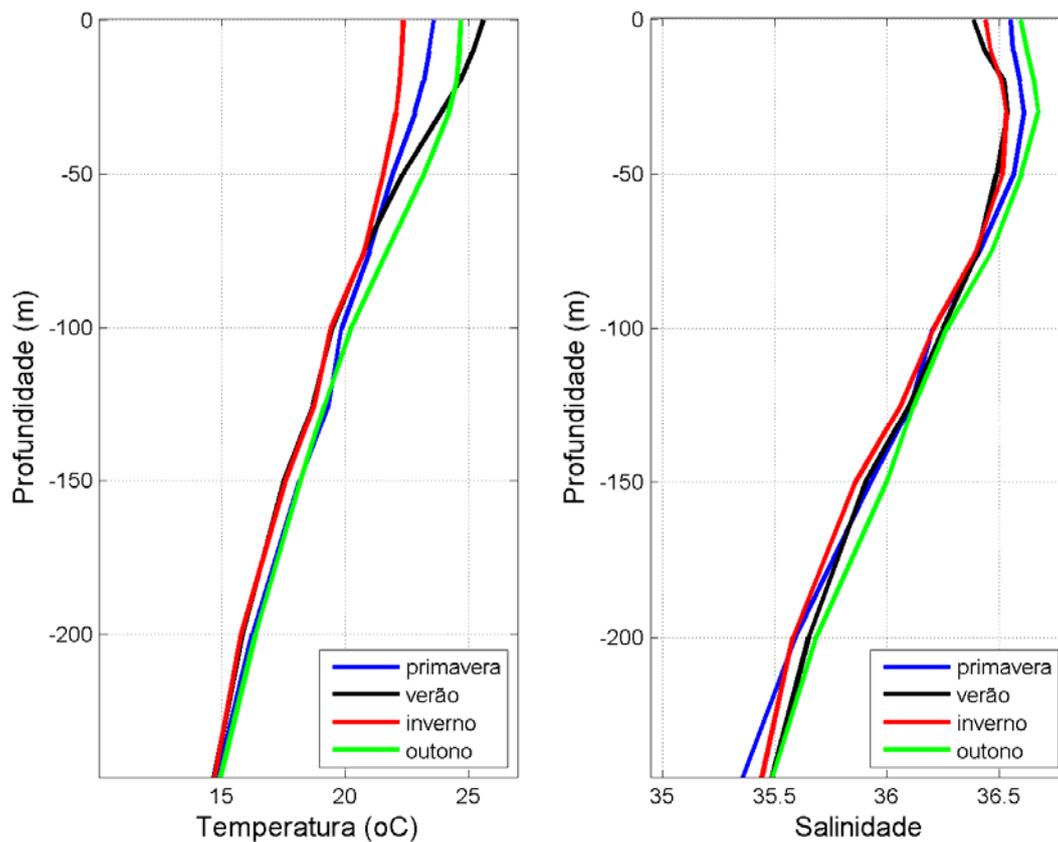


Figura 33: Perfis de temperatura e salinidade para as quatro estações do ano na região do Bloco BS-4, para os primeiros 250 metros de coluna d'água.

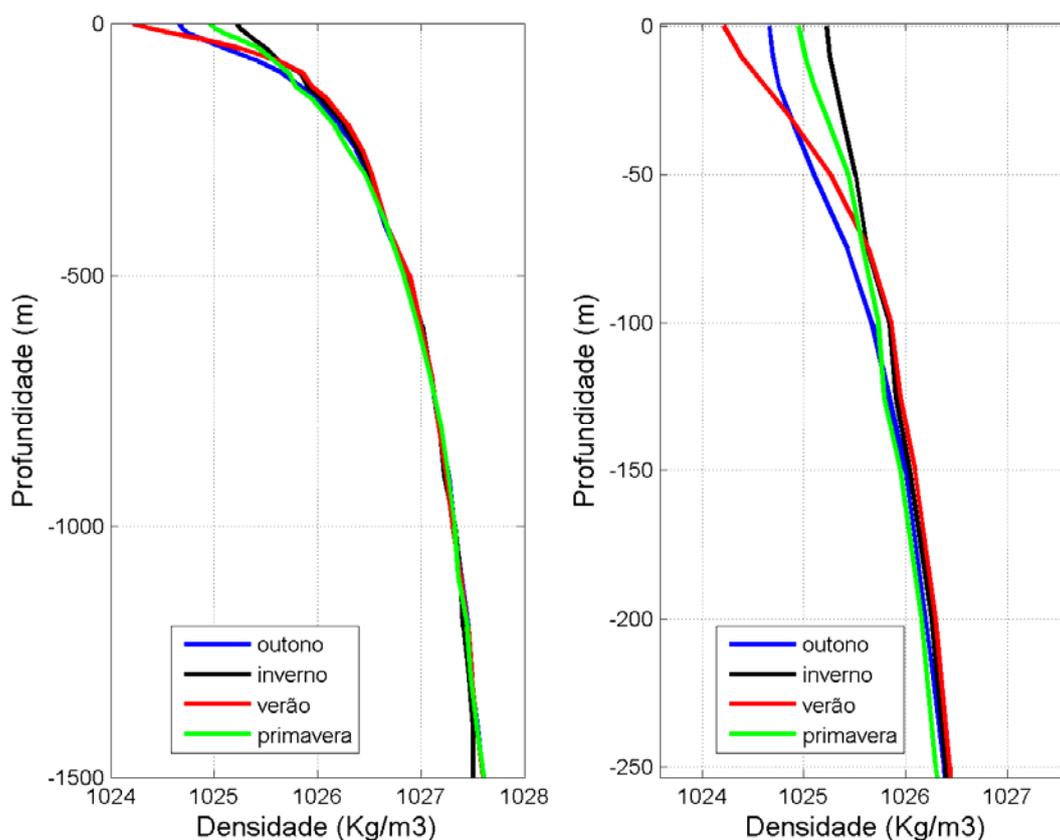


Figura 34: Perfis de densidade potencial para as quatro estações do ano na região do Bloco BS-4 (esquerda), e os mesmos perfis para os primeiros 250 metros de coluna d'água (direita).

Ao analisar os perfis apresentados acima, nota-se uma marcada sazonalidade nas variáveis analisadas, nos primeiros 100 metros da coluna d'água. Devido a diferença na intensidade da incidência de radiação solar, a temperatura nos primeiros 50 metros de coluna d'água varia de aproximadamente 25° C no verão à aproximadamente 22° C no inverno. Como esperado, nas estações de transição (outono e primavera) a temperatura encontra-se entre esses dois valores. Abaixo de 100 metros, não existem diferenças significativas entre as estações, nos perfis de temperatura, salinidade e densidade.

Para a análise da variação espacial e sazonal dessas variáveis na região do Bloco BS-4, são apresentadas as seções horizontais em superfície de temperatura, salinidade e densidade, para as estações de verão e inverno, da Figura 35 a Figura 40.

É marcante no período de verão a presença o sinal da ressurgência de Cabo Frio no mapa de temperatura superficial, apesar de não apresentar os valores de temperatura e de densidade típicos da massa d'água de ressurgência (abaixo de 18°C e acima de 1026Kg/m³).

Existe marcada sazonalidade nos campos de temperatura e consequentemente, nos de densidade. No verão, a temperatura da superfície do mar sob o Bloco BS-4 é de aproximadamente 25,5°C enquanto no inverno é de aproximadamente 22,5°C. A densidade no verão sob o bloco é de aproximadamente 1024 Kg/m³ e no inverno de aproximadamente 1025 Kg/m³. Não foram verificadas variações sazonais expressivas na salinidade.

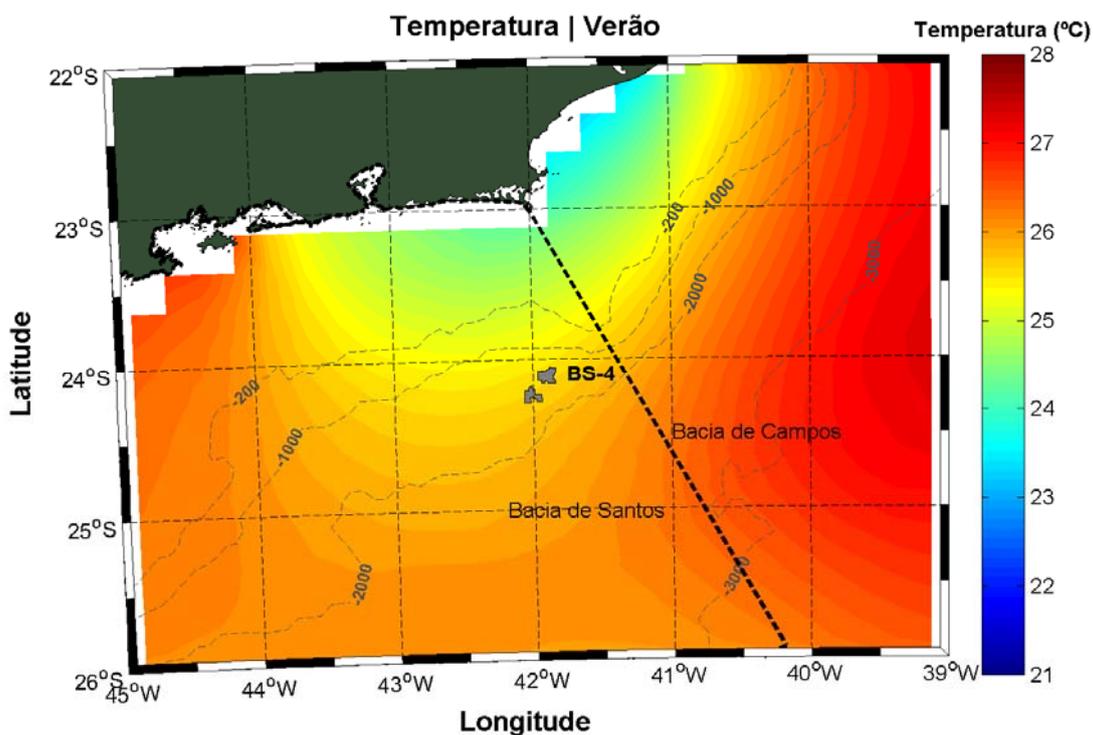


Figura 35: Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período de verão.

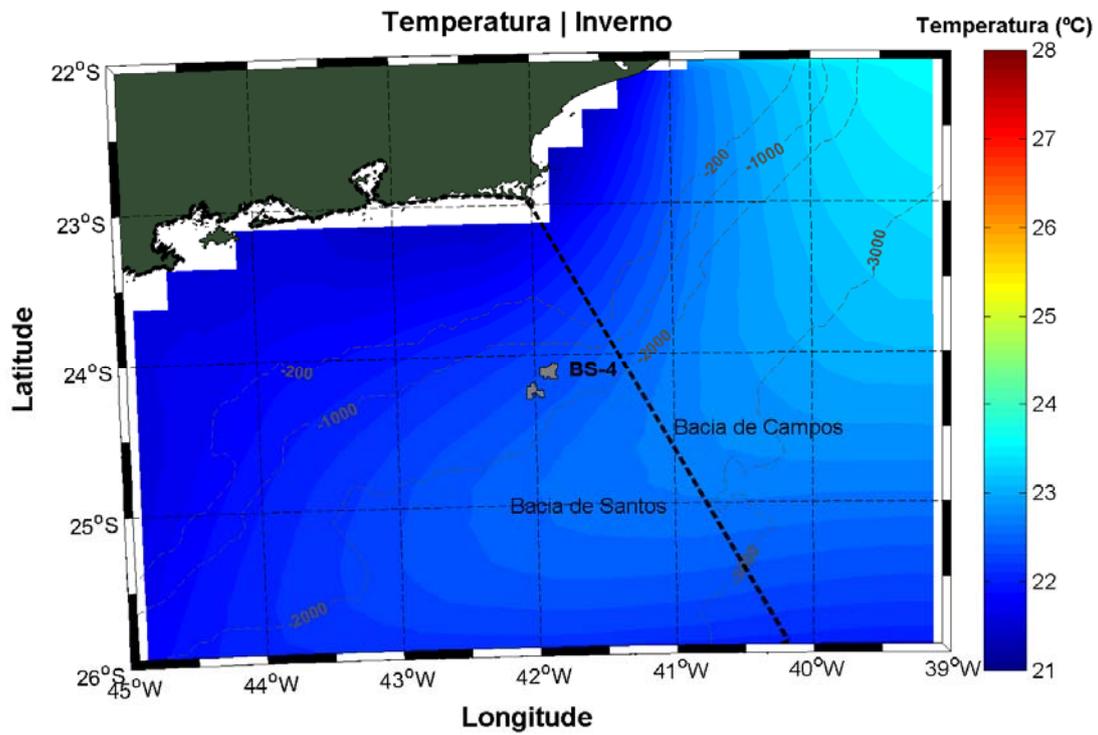


Figura 36: Seção horizontal de temperatura em superfície, para o período de inverno.

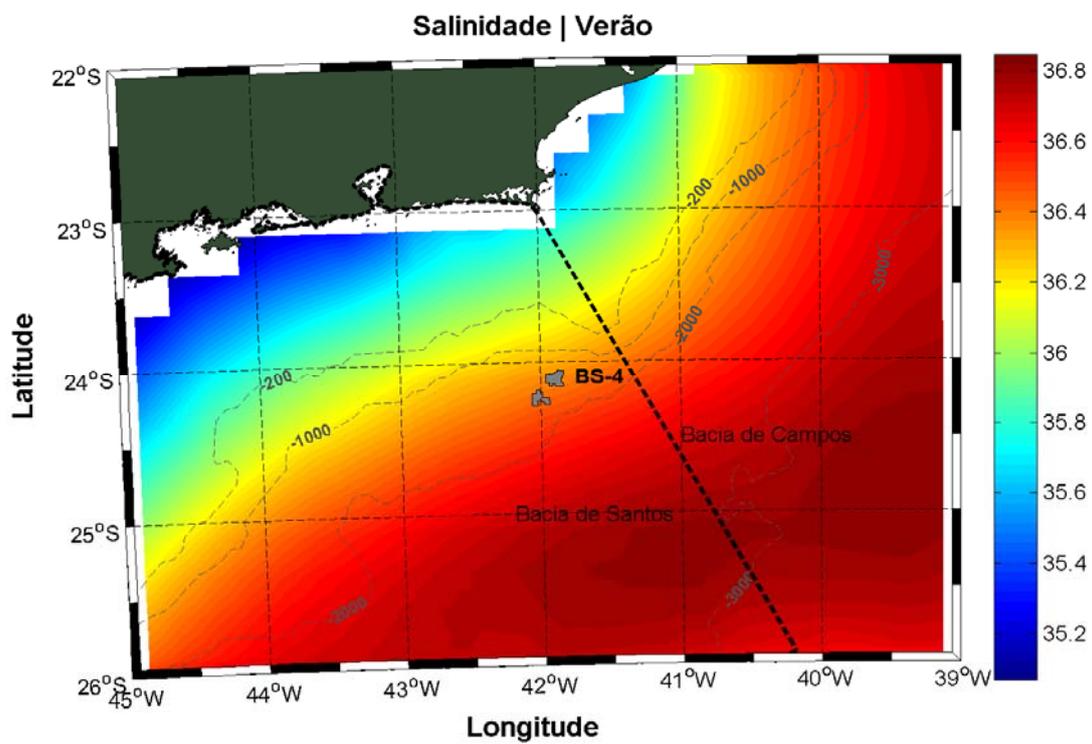


Figura 37: Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período de verão.

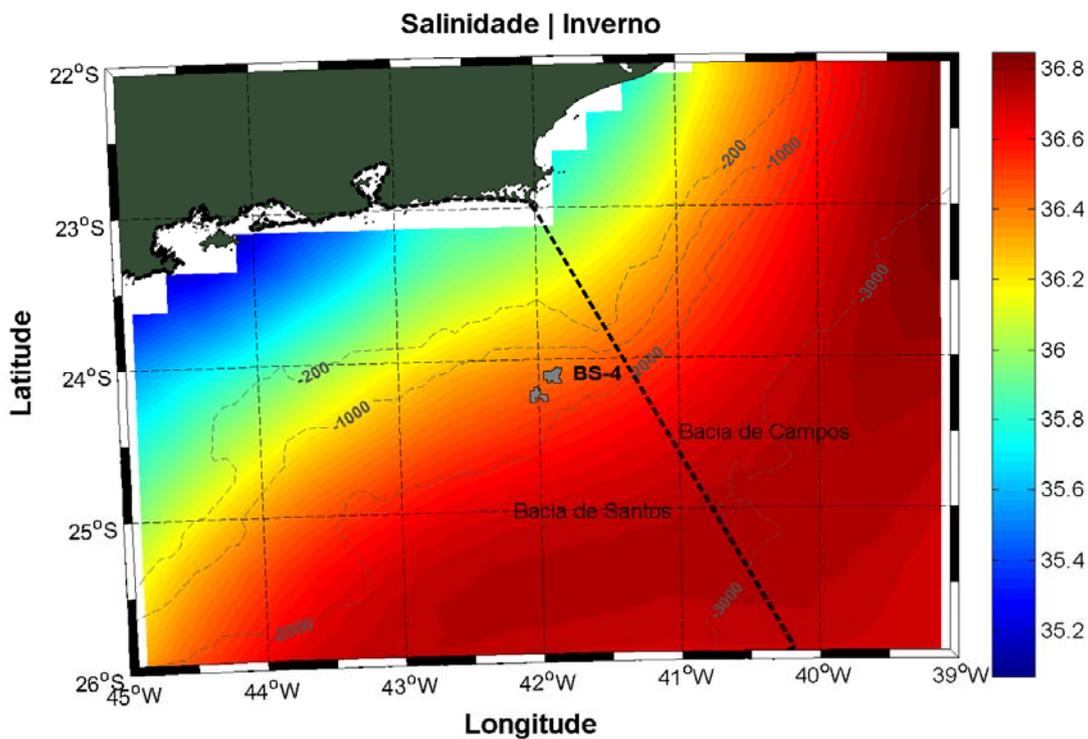


Figura 38: Seção horizontal de salinidade em superfície, para o período de inverno.

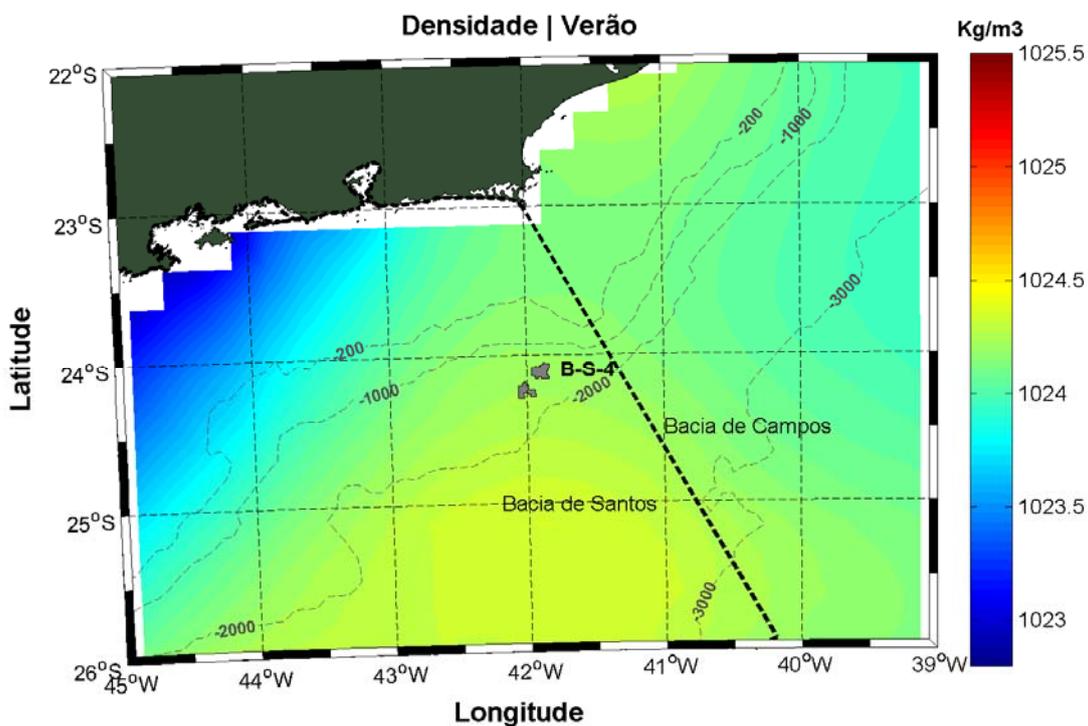


Figura 39: Seção horizontal de densidade em superfície, para o período de verão.

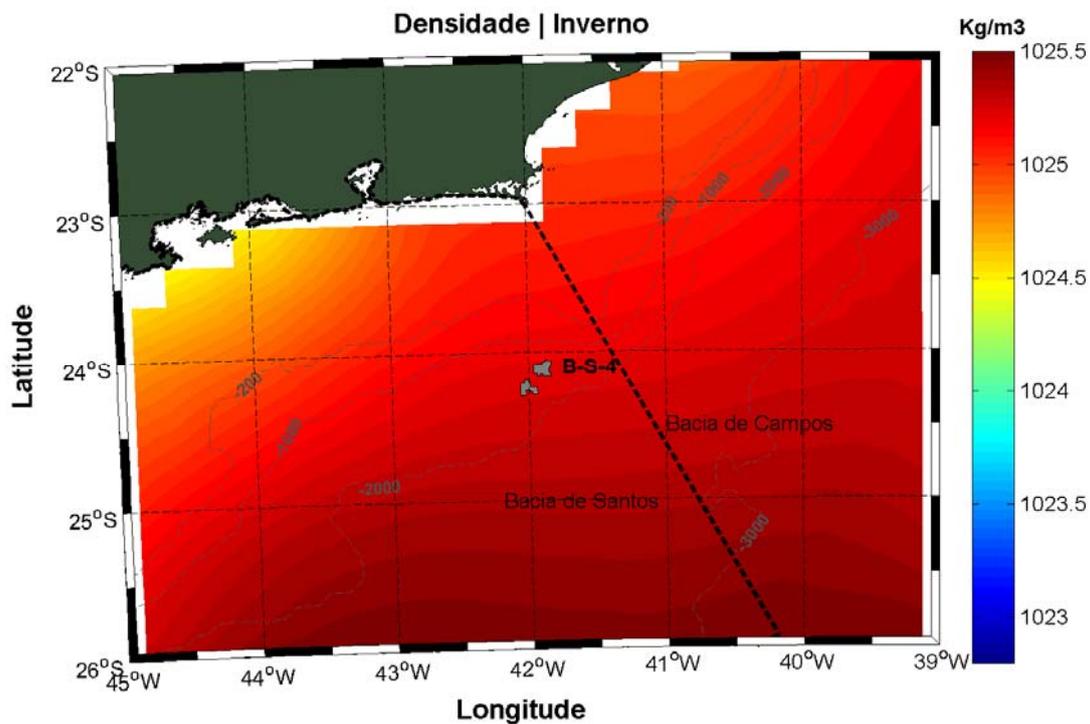


Figura 40: Seção horizontal de densidade em superfície, para o período de inverno.

A seguir, da Figura 41 a Figura 44, são apresentadas as seções verticais de temperatura e salinidade potencial para os períodos de verão e inverno.

Ao largo (em direção ao alto mar) do Bloco BS-4 encontra-se uma região de alta temperatura e salinidade. Abaixo do bloco até o substrato marinho, a temperatura varia de 25°C a 3°C e a salinidade varia de 36,5 a 34,5. Entre as profundidades de 800 e 1200 metros, nota-se um núcleo de água menos salina, indicando a presença da massa d'água AIA (Água Intermediária Antártica).

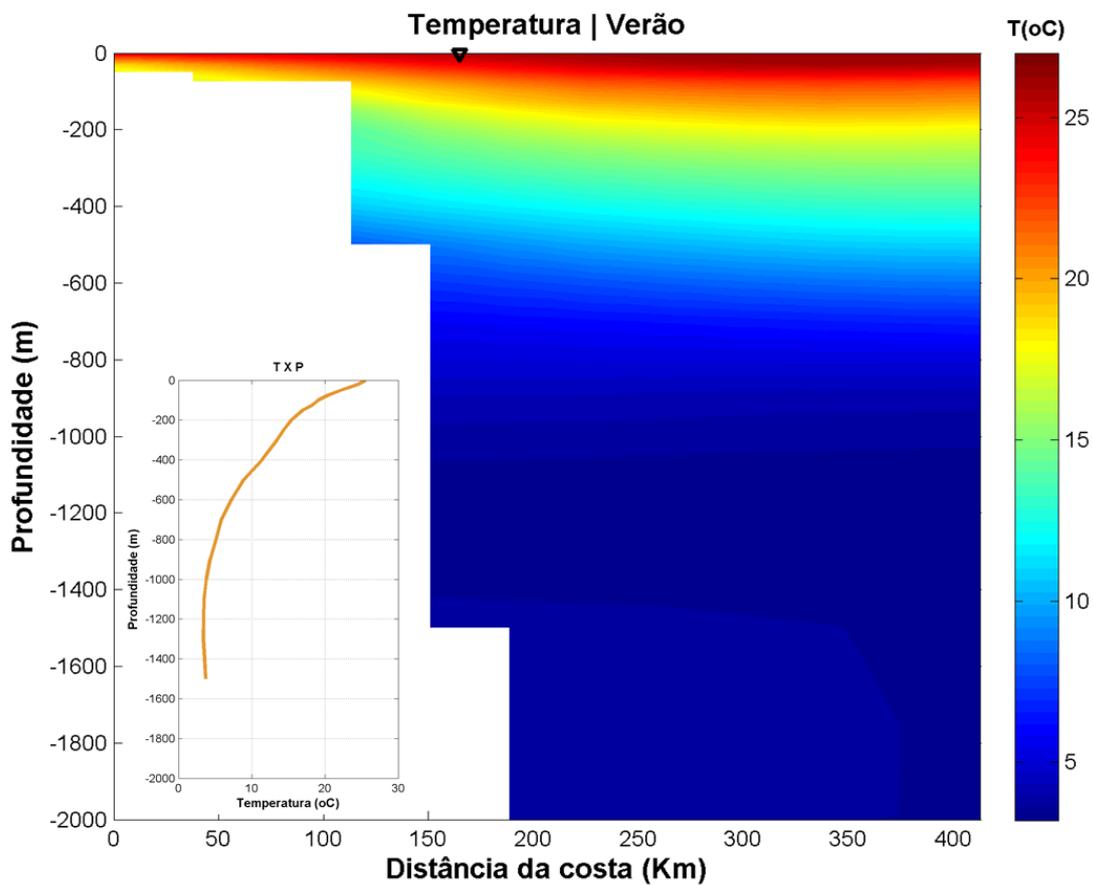


Figura 41: Seção vertical de temperatura potencial climatológica de verão. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.

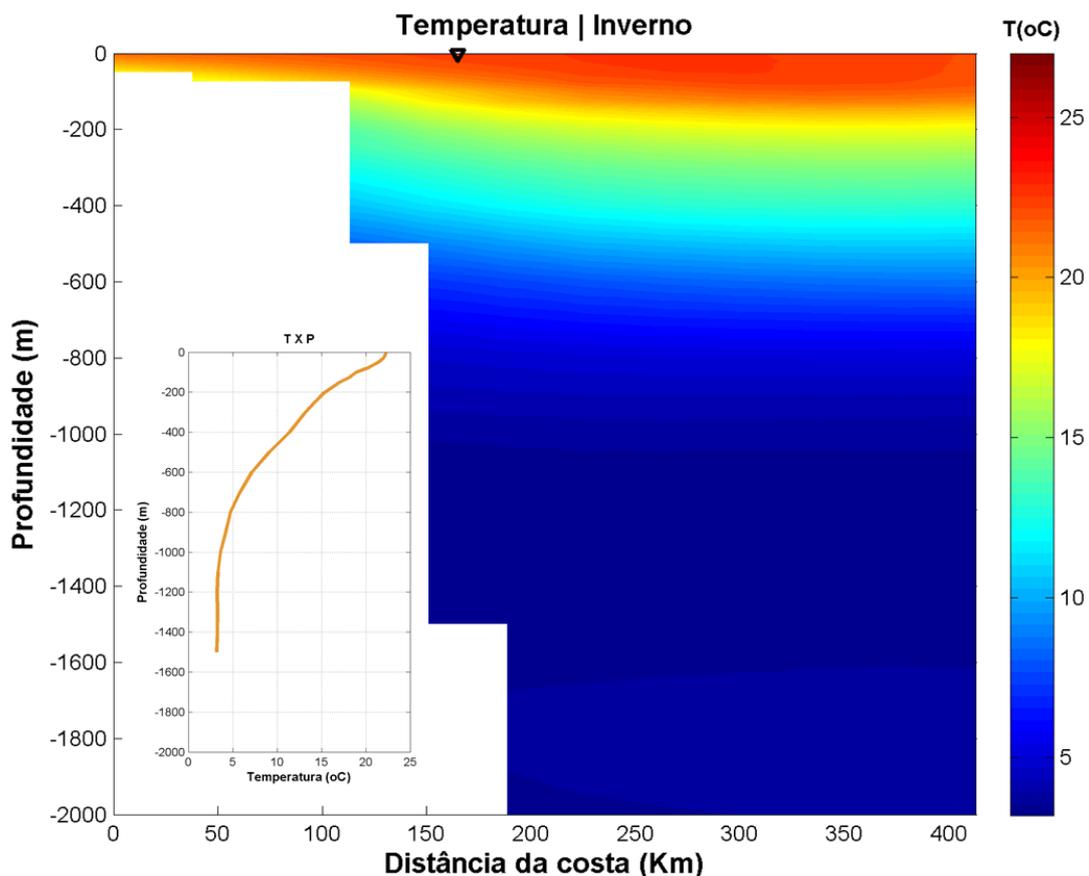


Figura 42: Seção vertical de temperatura potencial climatológica de inverno. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.

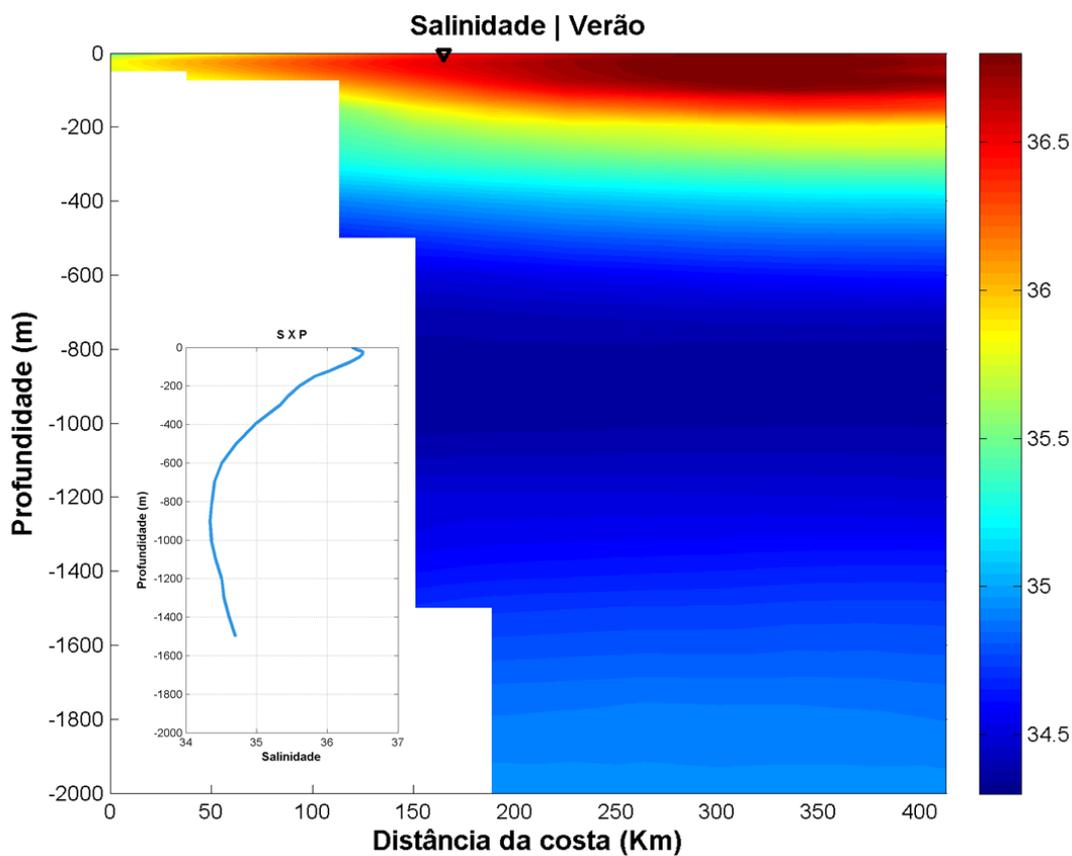


Figura 43: Seção vertical de salinidade potencial climatológica de verão. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.

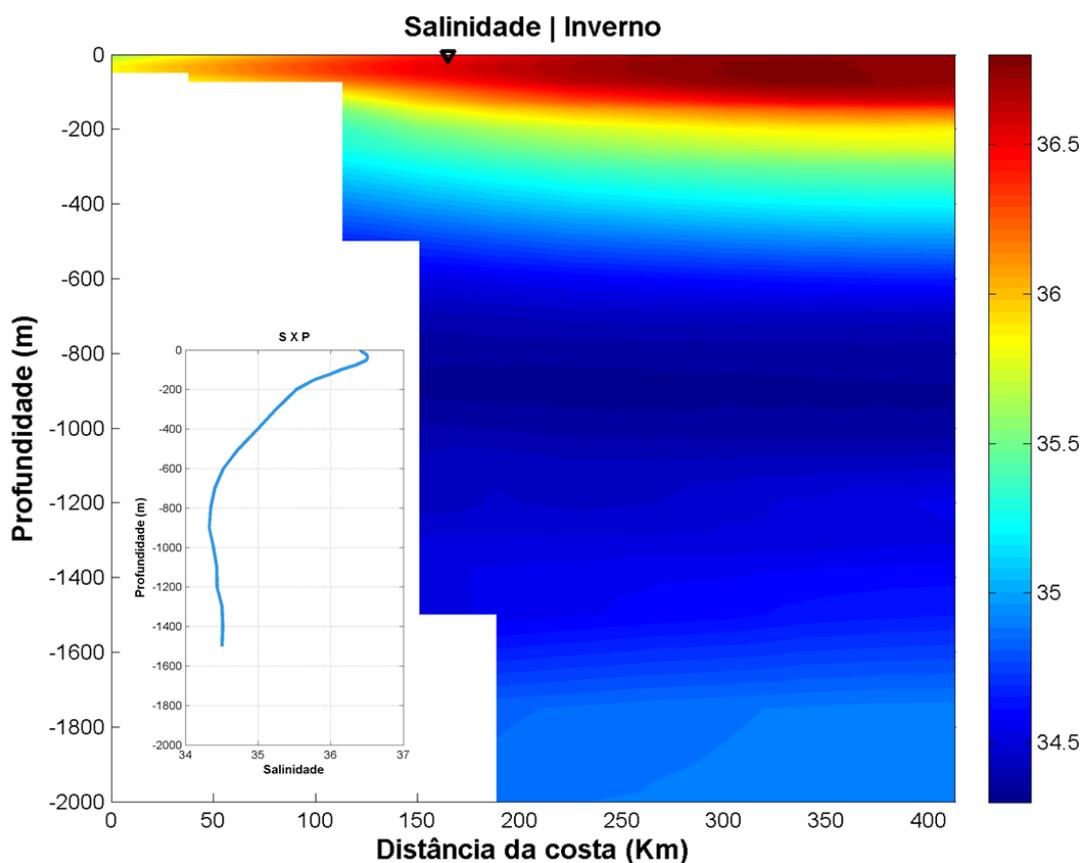


Figura 44: Seção vertical de salinidade potencial climatológica de inverno. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada.

2.3.2. Massas D'água

A avaliação das massas d'água presentes na região de interesse é feita a partir da análise de dados primários disponíveis no banco de dados WOD09 e dados secundários, disponíveis no banco de dados WOA09, ambos do NODC.

A partir dos dados primários, coletados entre os anos de 1926 e 1991 e disponíveis no banco de dados WOD09, foi realizada uma análise das massas d'água presentes na região do Bloco BS-4, a partir da confecção de um diagrama TS.

A base de dados conhecida como WOD09 (*World Ocean Database 2009*), correspondem aos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos

por todo o globo. Uma descrição completa sobre esta base de dados pode ser encontrada em Boyer *et al.* (2009).

Na Figura 45 é apresentada a localização do BS-4 e das estações de coleta dos dados apresentados. Os dados obtidos foram tratados e observações com valores inferiores ou superiores a três vezes o desvio padrão para cada profundidade foram descartadas.

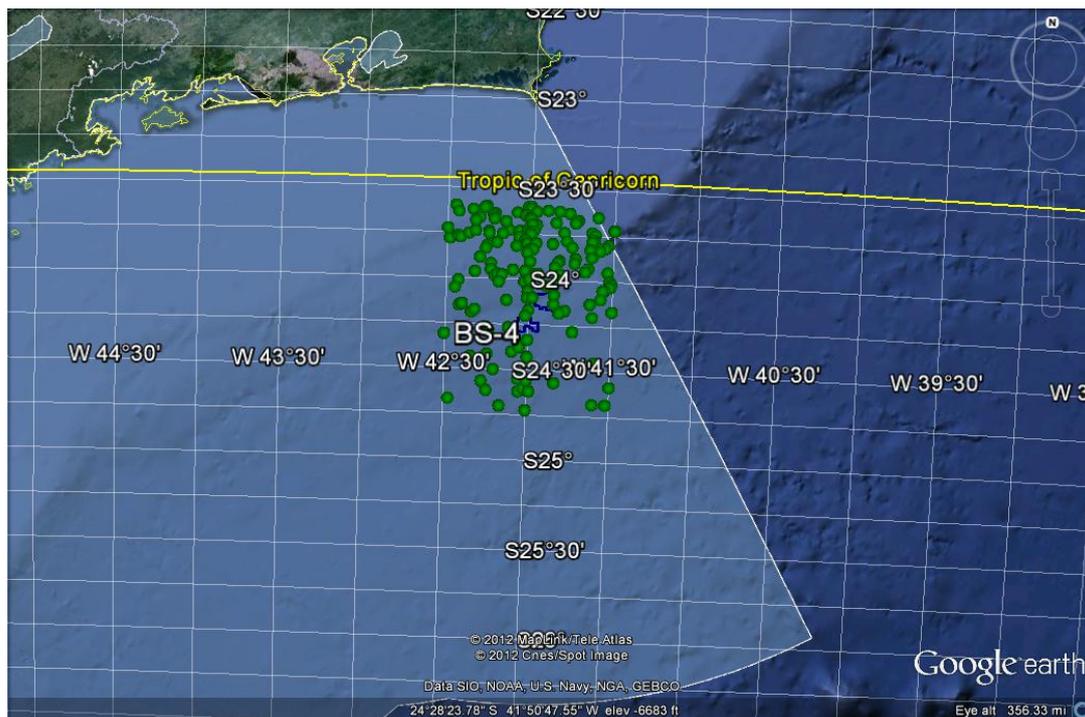


Figura 45: Localização das estações de coleta dos dados de temperatura e salinidade obtidos do WOD09.

Na Figura 46 é apresentado o diagrama TS espalhado elaborado com os dados do NODC. As cores são referentes às profundidades dos dados.

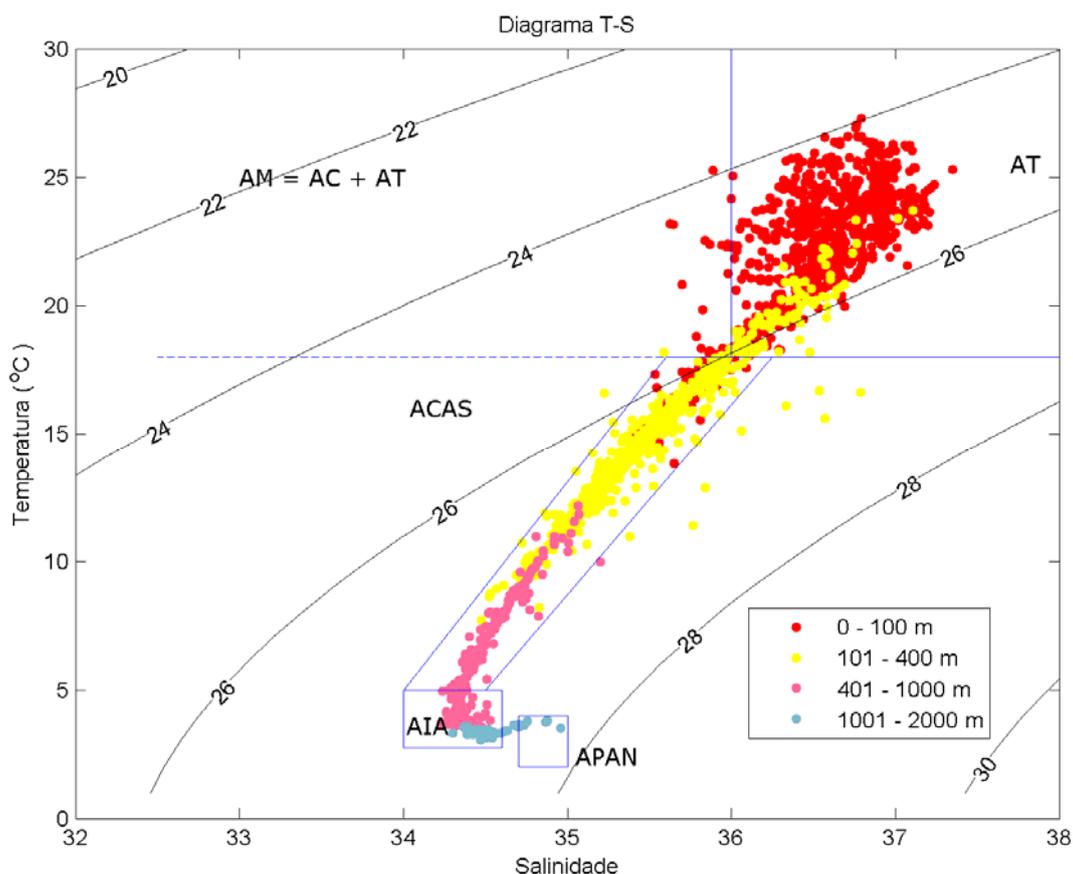


Figura 46: Diagrama TS espalhado para a região do BS-4, elaborado com os dados do NODC. A linha em azul representa o gabarito elaborado por Silva *et al* (1982).

Nota-se a presença das seguintes massas d'água: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Observa-se que a água de mistura não é observada na região. Nota-se também que em algumas observações, a ACAS é encontrada em regiões entre 0 e 100 metros, assim como a AT pode também ser encontrada em regiões entre 100 e 400 metros.

Para análise da variabilidade sazonal das massas d'água, foram elaboradas seções verticais da densidade da água do mar, para o período de verão e inverno. Essa análise foi feita com dados obtidos no WOA09, do NODC.

As seções verticais apresentadas a seguir, da Figura 47 a Figura 48 são referentes ao perfil apresentado na Figura 31. As massas d'água são inferidas a partir dos seus respectivos limites de densidade (linhas isopicnais).

Durante o Verão, a estratificação da coluna d'água nos primeiros 100 metros é mais intensa do que no inverno. A distribuição das massas d'água não apresenta diferenças significativas entre as duas estações analisadas.

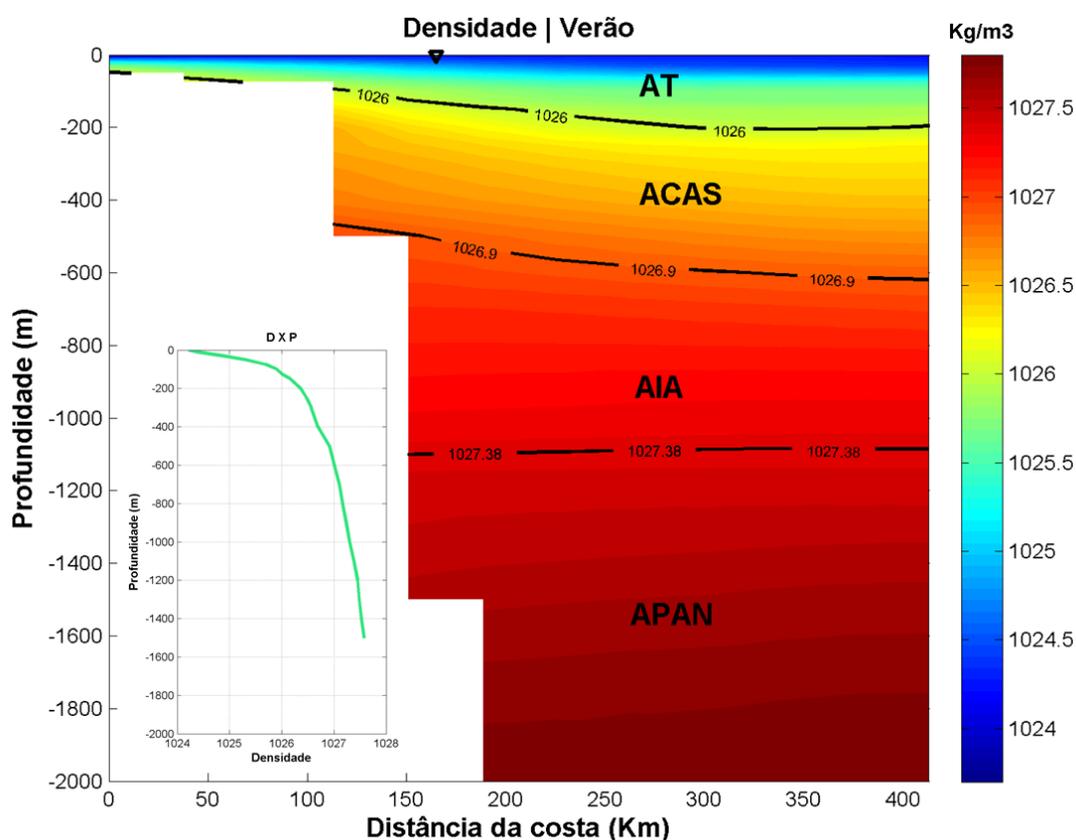


Figura 47: Seção vertical de densidade potencial climatológica de verão. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada. As linhas isopícnais representam os limites entre as massas d'água. Figura gerada a partir de dados do NODC.

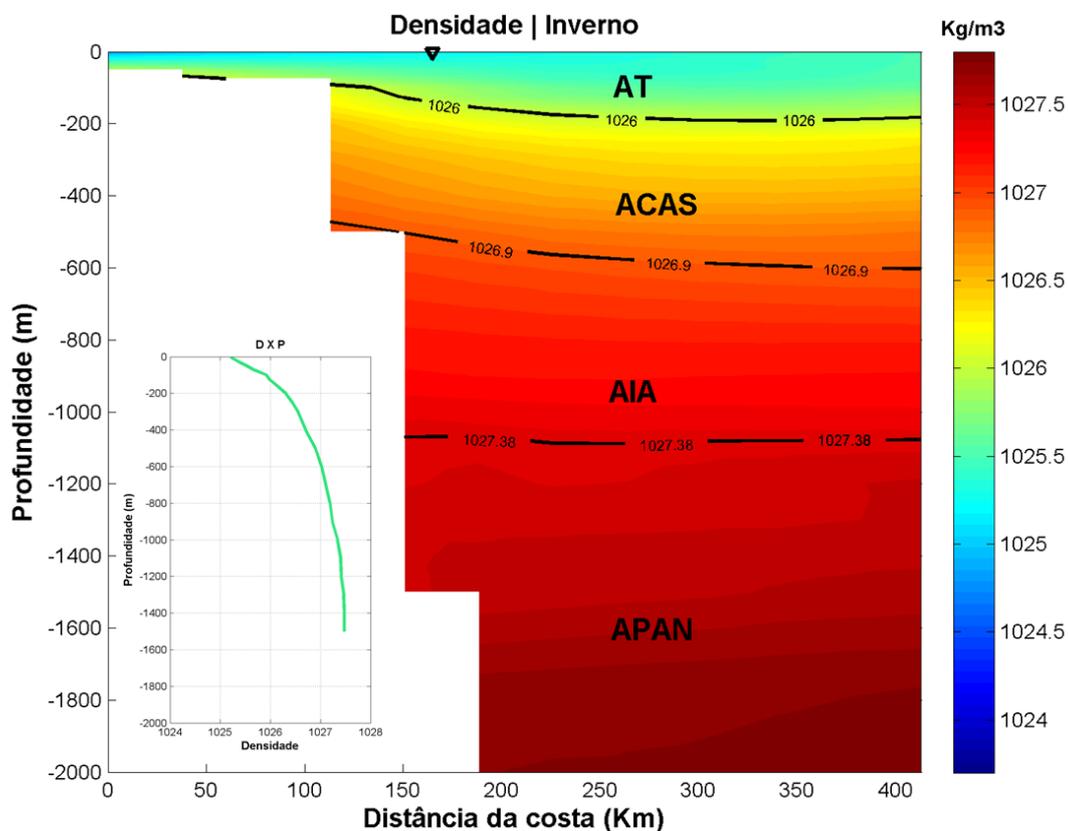


Figura 48: Seção vertical de densidade potencial climatológica de inverno. O triângulo em preto representa a posição aproximada do Bloco BS-4 e o perfil no canto inferior esquerdo é referente a esse ponto, para a variável analisada. As linhas isopicnais representam os limites entre as massas d'água. Figura gerada a partir de dados do NODC.

2.3.3. Regime de Correntes

Para exemplificar os campos médios de circulação na região do entorno do Bloco BS-4 foram utilizados os dados da Análise Global do modelo HYCOM (*Hybrid Coordinate Ocean Model*) para o período de janeiro a dezembro de 2007. O HYCOM é um modelo de circulação oceânica global, que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008), e tem como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas, isto é, utiliza o sistema de coordenadas isopicnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras). Utilizando esses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as

características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopical), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada z), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma).

Nas Figura 49, Figura 50 e Figura 51, são apresentados os campos médios elaborados a partir de todo o período analisado (média anual), para o período de verão (dezembro a fevereiro) e para o período de inverno (junho a agosto), respectivamente.

Observa-se a Corrente do Brasil (CB), caracterizada pelos valores mais altos de intensidade, fluindo na direção SW ao longo da região analisada durante todo o ano. Entretanto, é no verão que a CB se apresenta mais intensa e contínua, com velocidades médias de até 0,8 m/s na região limítrofe entre as Bacias de Santos e Campos. Durante o inverno a CB apresenta-se ligeiramente menos intensa.

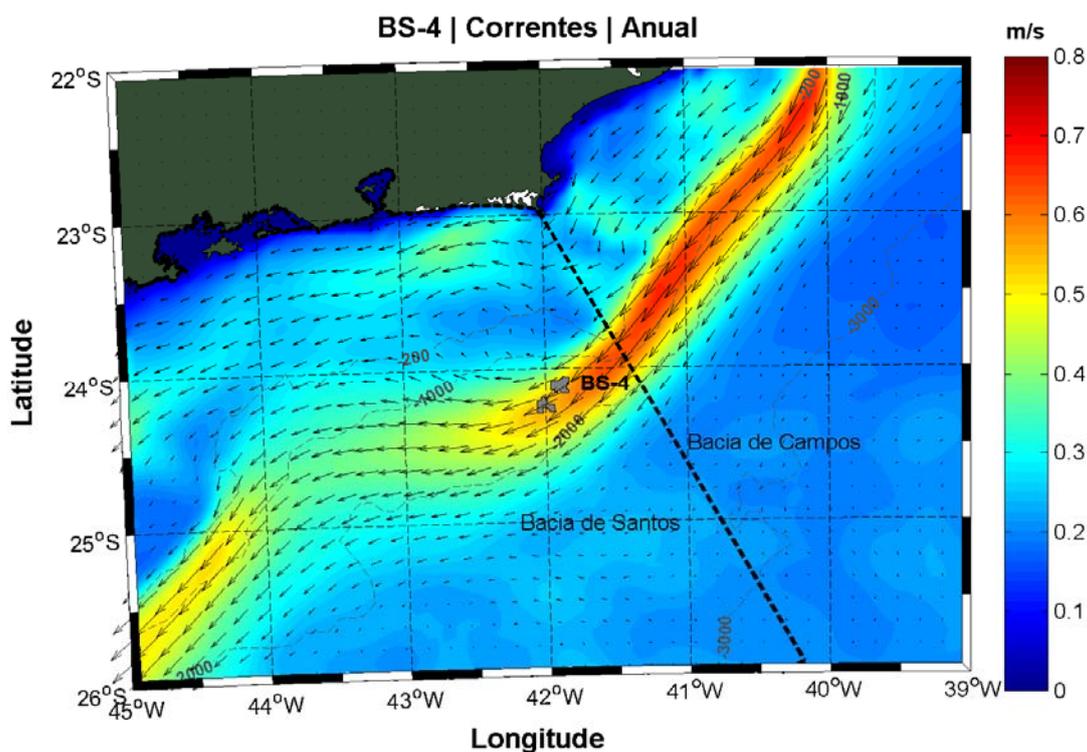


Figura 49: Campo médio anual das correntes na região do Bloco BS-4.

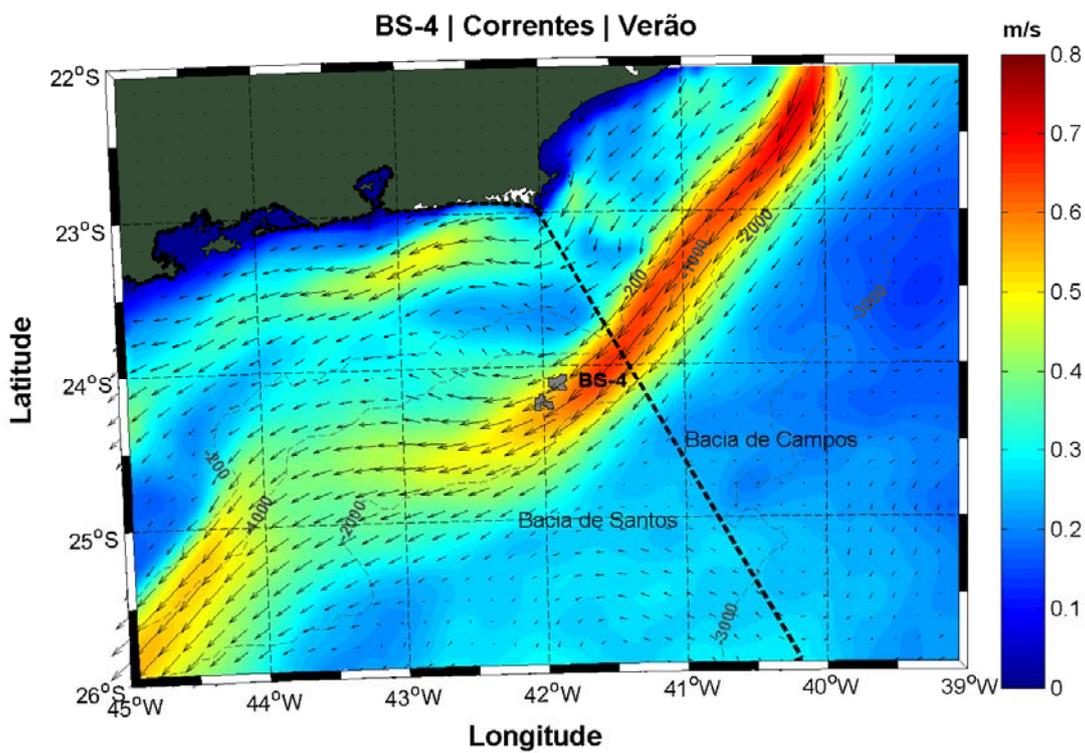


Figura 50: Campo médio de verão das correntes na região do Bloco BS-4.

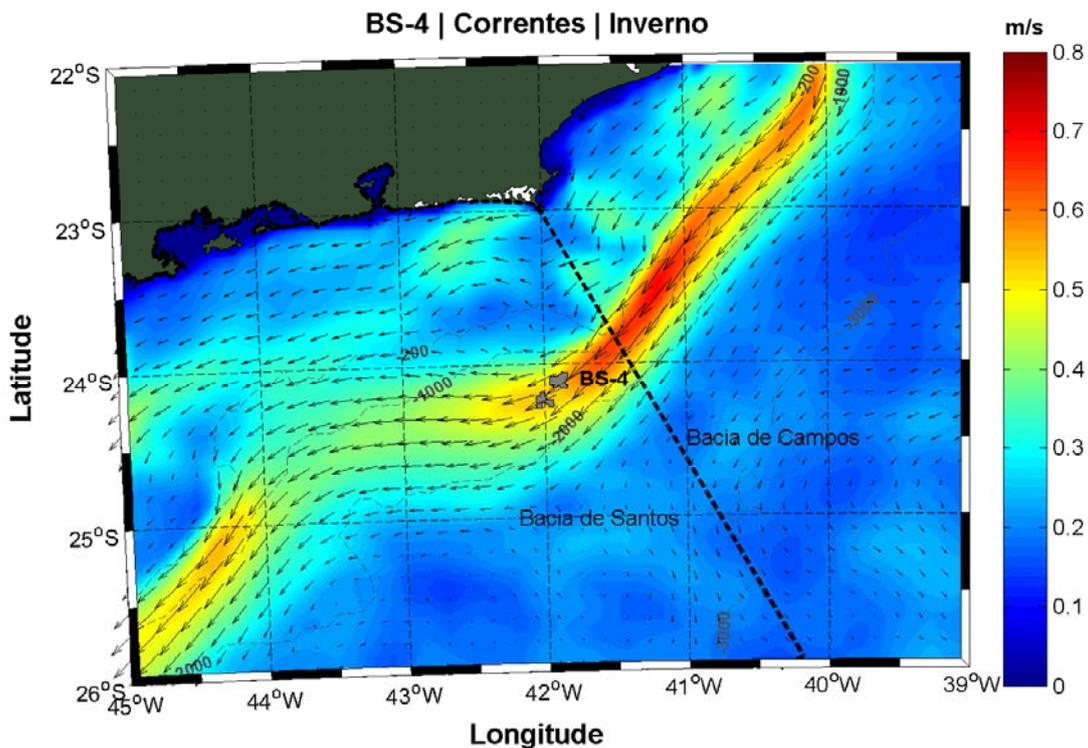


Figura 51: Campo médio de inverno das correntes na região do Bloco BS-4.

Pode se observar que o Bloco BS-4 se situa no bordo oeste do núcleo da CB a partir das figuras acima, isso ficará mais evidente a partir da observação das seções verticais de temperatura apresentadas a seguir, da Figura 53 a Figura 55. A seção vertical utilizada pode ser vista na Figura 52.

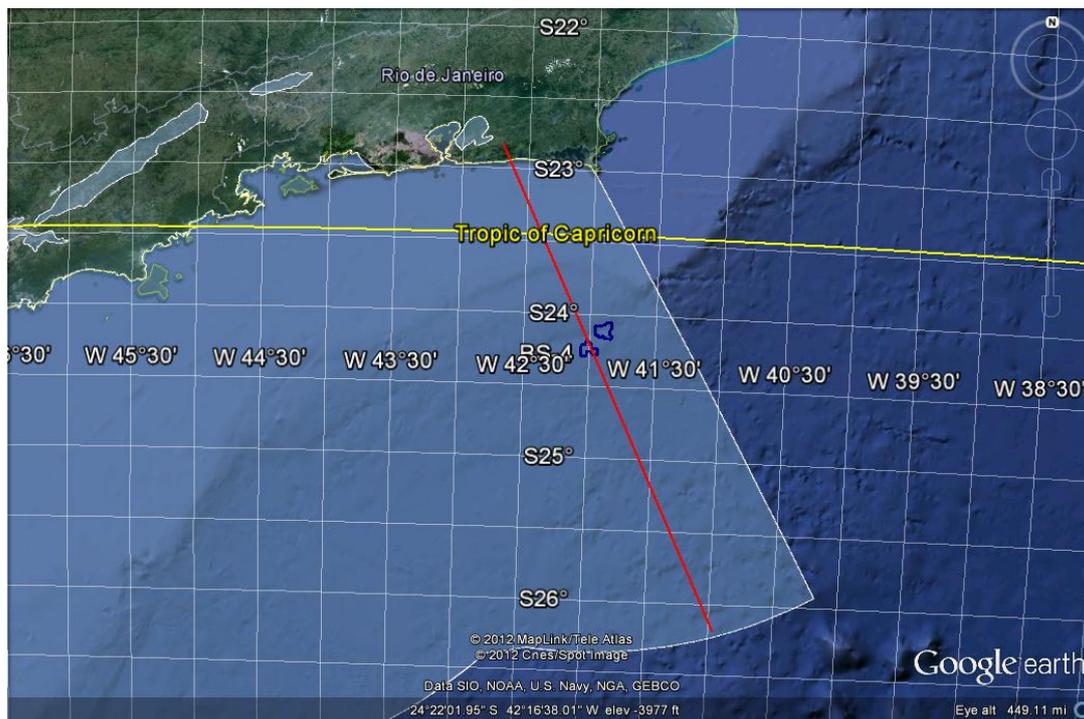


Figura 52: Localização do Bloco BS-4 e da seção utilizada (linha vermelha) na análise da distribuição vertical de correntes do HYCOM.

A CB pode ser observada até aproximadamente 500 metros de profundidade na média anual e nas duas estações do ano analisadas. A estrutura vertical não apresenta diferenças significativas ao longo do ano, no entanto no verão o núcleo da CB encontra-se ligeiramente mais intenso, e no inverno, mais profundo.

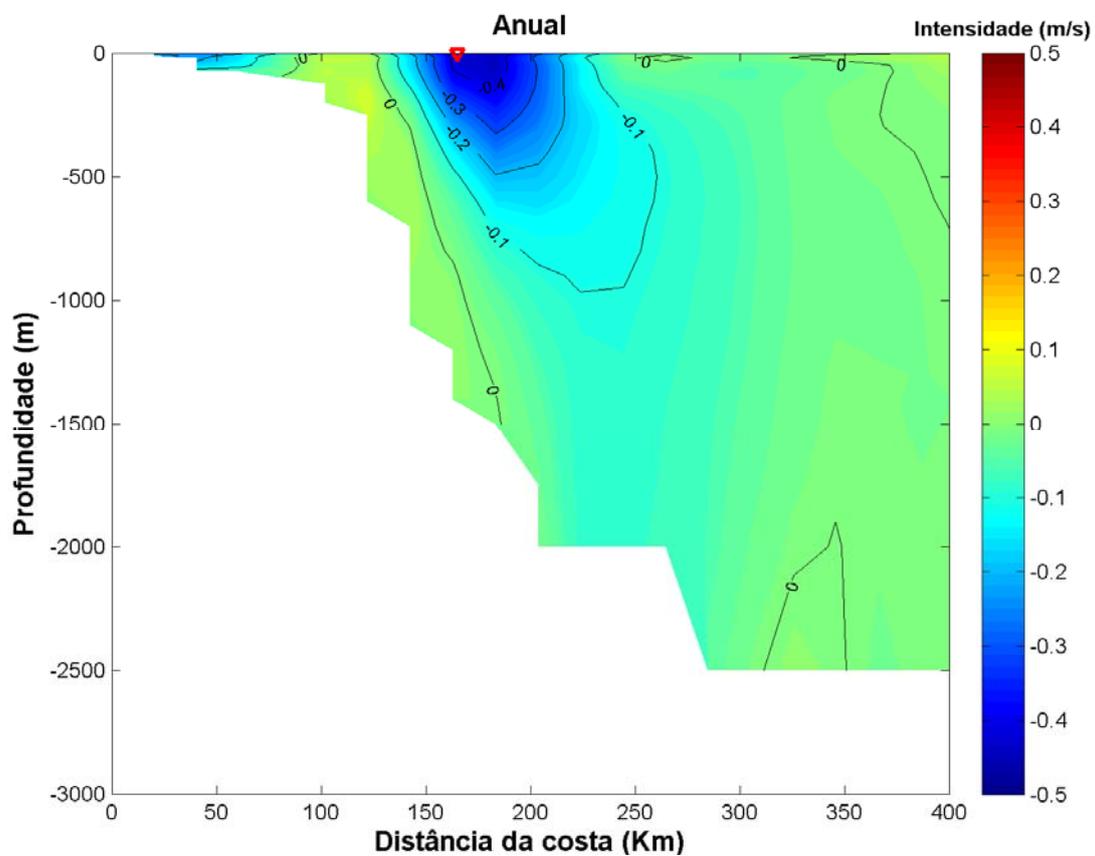


Figura 53: Média anual da componente de velocidade de corrente normal à seção vertical utilizada. O triângulo vermelho indica a posição aproximada do Bloco BS-4.

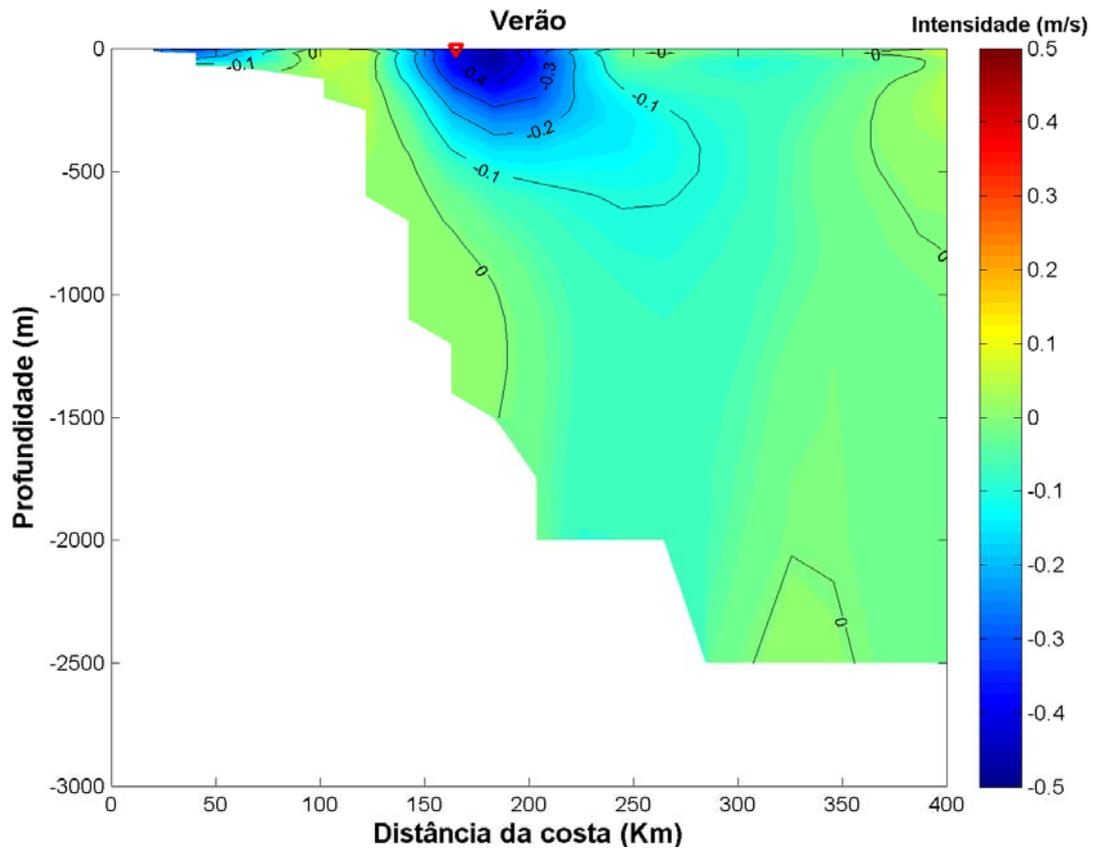


Figura 54: Média de verão da componente de velocidade de corrente normal à seção vertical utilizada. O triângulo vermelho indica a posição aproximada do Bloco BS-4.

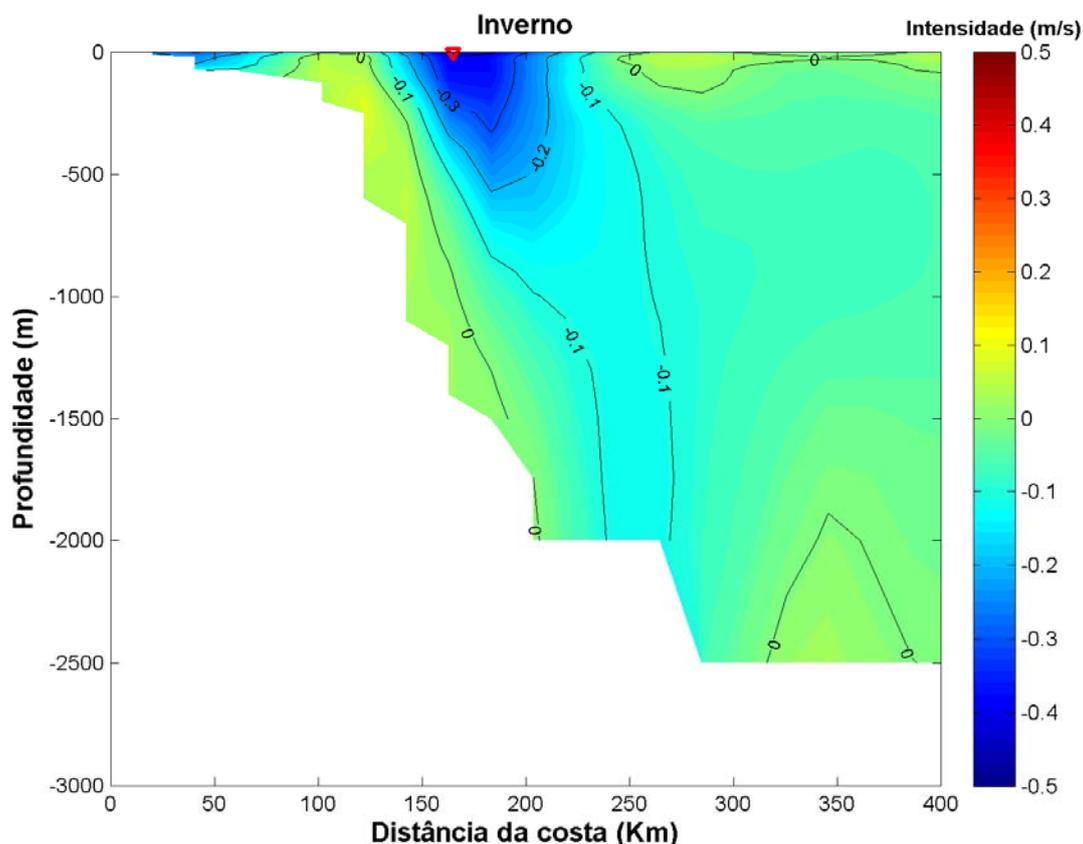


Figura 55: Média de inverno da componente de velocidade de corrente normal à seção vertical utilizada. O triângulo vermelho indica a posição aproximada do Bloco BS-4.

Outra análise do perfil de corrente na região do Bloco BS-4 foi feita a partir de dados coletados por correntômetros acústicos do projeto DEPROAS (Dinâmica do Ecossistema de Plataforma da Região Oeste do Atlântico Sul), em 4 níveis de profundidade: 23, 85, 155 e 195 m (Figura 56). O fundeio foi instalado na quebra da Plataforma Continental (profundidade nominal de 200 m) na região de Cabo Frio (23.75°S e 41.8°W), em dois períodos diferentes. O primeiro, de julho a novembro de 2002, e o segundo, de janeiro de 2003 a maio de 2004. A Figura 57 apresenta a localização do fundeio utilizado.

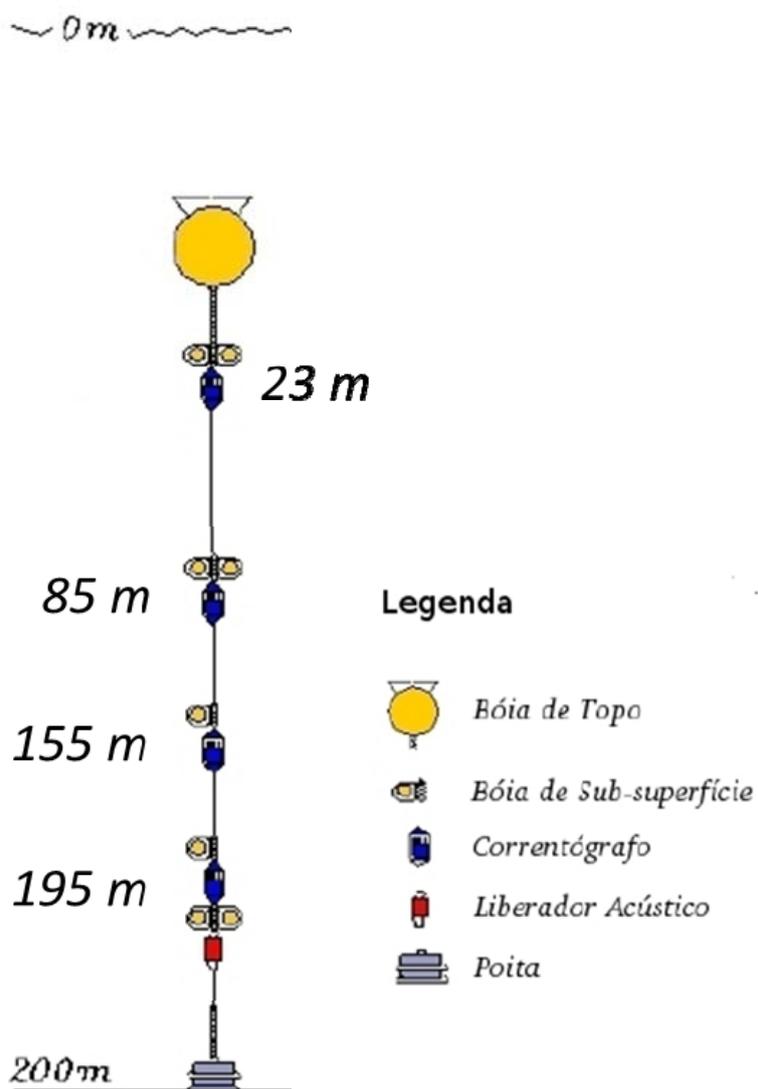


Figura 56: Ilustração esquemática da estrutura do fundeio. Fonte: adaptado de Santos (2009).

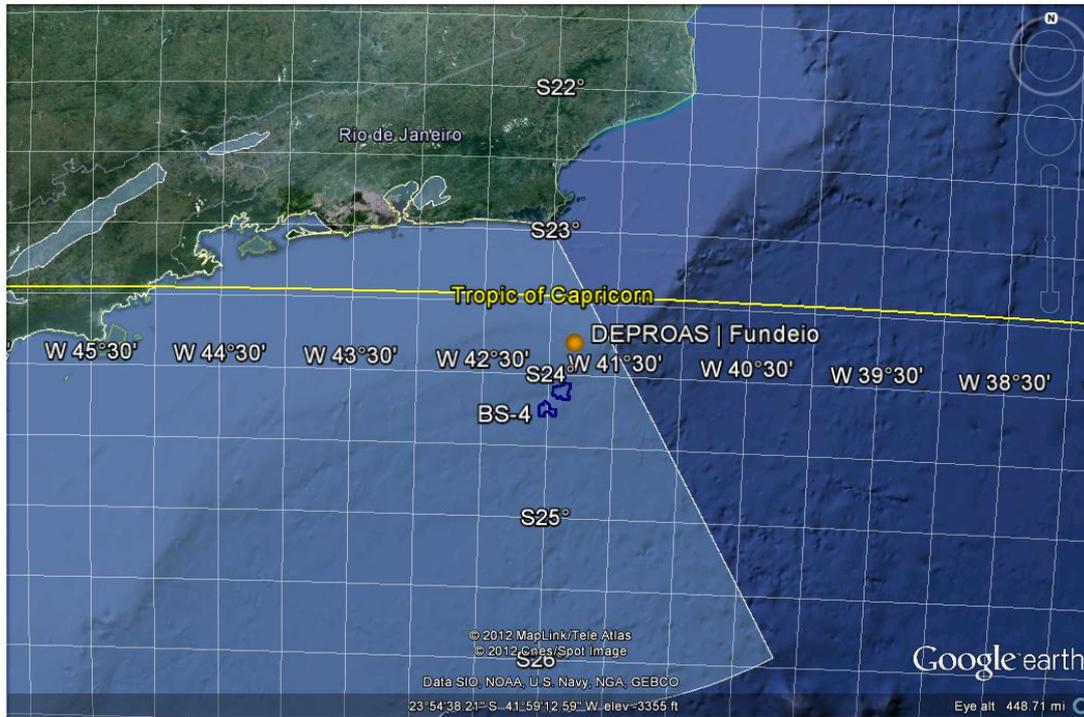


Figura 57: Localização do fundeio do DEPROAS utilizado em relação ao BS-4.

As rosas de correntes para os quatro níveis são apresentadas na Figura 58.

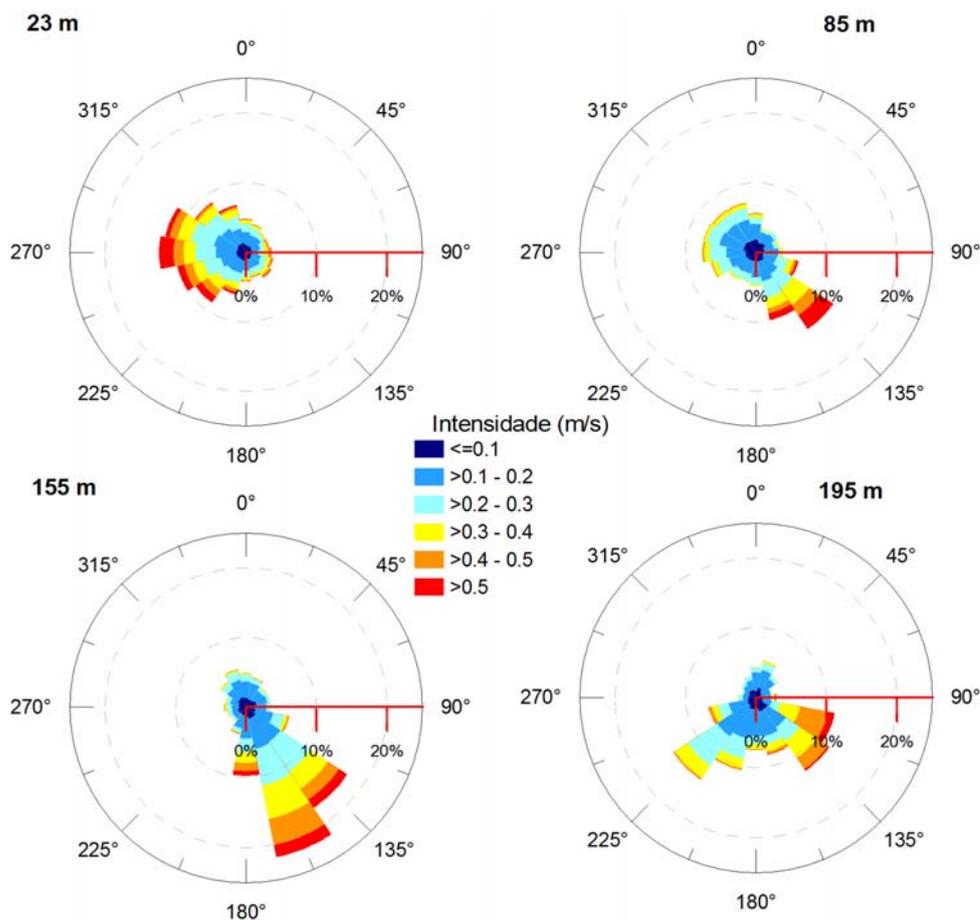


Figura 58: Rosa de correntes para os níveis de 23, 85, 155 e 195 m.

No nível de 23 m (mais próximo a superfície), a distribuição das direções e velocidades das correntes demonstra uma clara predominância das direções W e SW. As velocidades mais frequentes estão entre 20 e 40 cm/s. Esta distribuição reflete o domínio da Corrente do Brasil que flui nessa região, tendendo a seguir as isóbatas.

Para o nível de 85 m, Além das direções preferenciais W e SW, também há a ocorrência significativa de correntes rumo a SE e E. As velocidades mais recorrentes estão situadas entre 10 e 30 cm/s. Estes fluxos para E/SE podem estar associados ao movimento de água da costa em direção ao oceano, quando da ocorrência de eventos de ressurgência, porém, esta conclusão deve ser confirmada por estudos mais detalhados.

Em 155 m de profundidade, a direção SE é predominante e velocidades entre 20 e 40 cm/s são as mais comuns nesta profundidade. Correntes para E e S também são verificadas em frequências menores.

As direções E/SE e S/SW são dominantes no nível de 195 m. Correntes para N também são significativas, e intensidades entre 10 e 30 cm/s são as mais frequentes.

A Tabela 14 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as quatro profundidades. Em média, há um pequeno decréscimo das velocidades com o aumento da profundidade, entretanto, este decréscimo é mais acentuado em relação aos máximos observados, passando de 0,94 m/s em 23 m de profundidade para 0,60 m/s no nível de 195 m.

Tabela 14: Estatística básica de correntes para os quatro níveis analisados.

Profundidade (m)	Média (m/s)	Máxima (m/s)	D. Padrão (m/s)
23	0,24	0,94	14,76
85	0,20	0,77	12,64
155	0,21	0,85	13,45
195	0,20	0,60	12,05

2.3.4. Regime de Ondas

Devido à escassez de medições de ondas na costa brasileira, especialmente de campanhas de longa duração, a modelagem numérica torna-se essencial para caracterização do estado do mar ao longo do litoral e áreas *off-shore* do Brasil.

Medições diretas de ondas são escassas na costa brasileira e muitas vezes os dados existentes são privados e não disponibilizados para a comunidade científica. Soma-se a isso o fato de que as medições são normalmente de limitada duração. Portanto, a utilização de modelos de ondas é amplamente utilizada por permitir a análise de séries extensas e amplas de dados. Tais modelos utilizam séries de dados de vento e de batimetria para simular a formação e dispersão de ondas ao longo de um domínio específico.

Nesse relatório será empregada a reconstituição da agitação marítima realizada com o modelo de ondas WaveWatch III, em escala global, resolução de 1° em longitude e latitude, forçado por ventos oriundos da Reanálise da NOAA/NCEP, para o período de 01 de janeiro de 1979 a 31 de dezembro de 2011, com resultados gravados a cada 3 horas.

Informações e documentação de todas as versões do modelo de ondas WaveWatch III podem ser encontradas no seguinte endereço eletrônico: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>. Para o estudo em questão, foi utilizada a versão 2.22 e informações técnicas referentes à utilização e instalação do modelo encontram-se em Tolman (2002).

O ponto de grade utilizado tem coordenadas 24° S e 42° W, cuja localização pode ser observada na Figura 59.

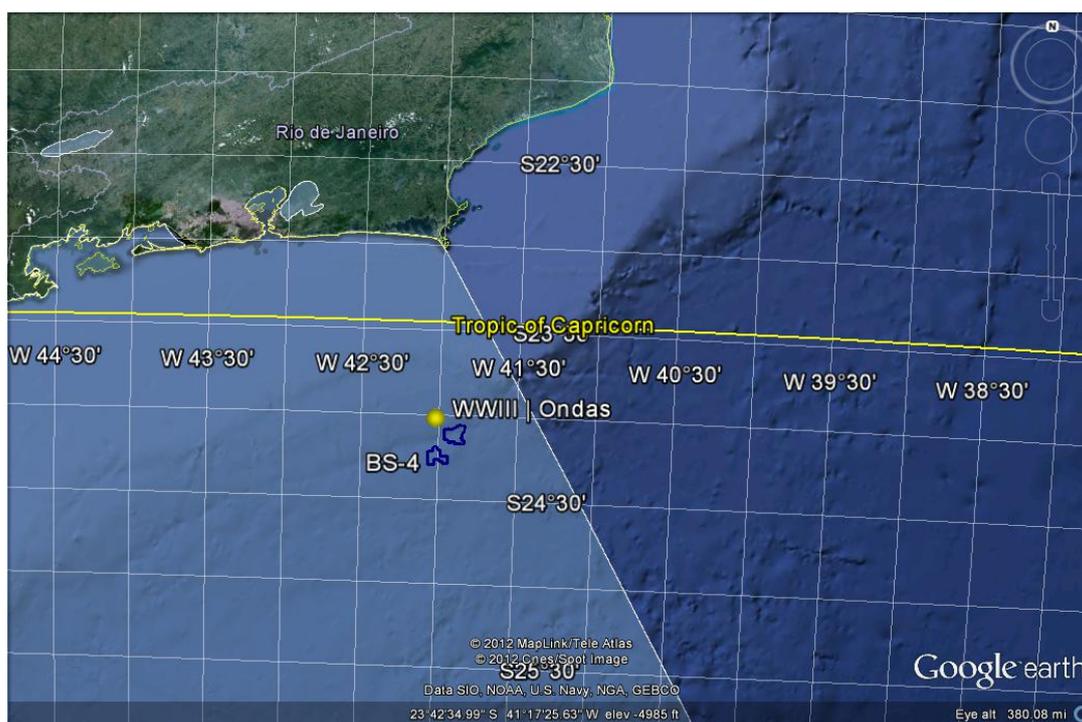
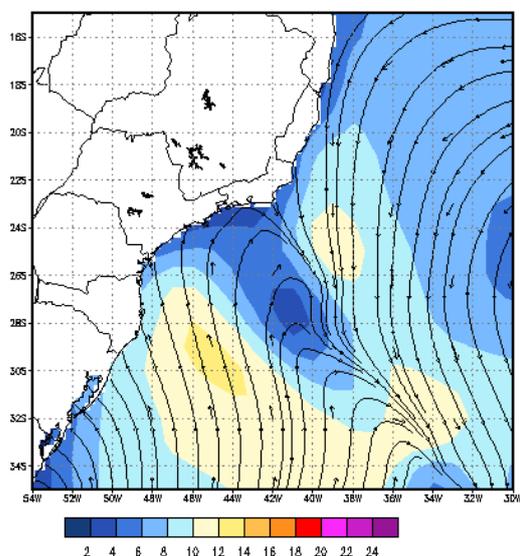


Figura 59: Localização do ponto para o qual foram utilizados os resultados do modelo WaveWatch III neste relatório.

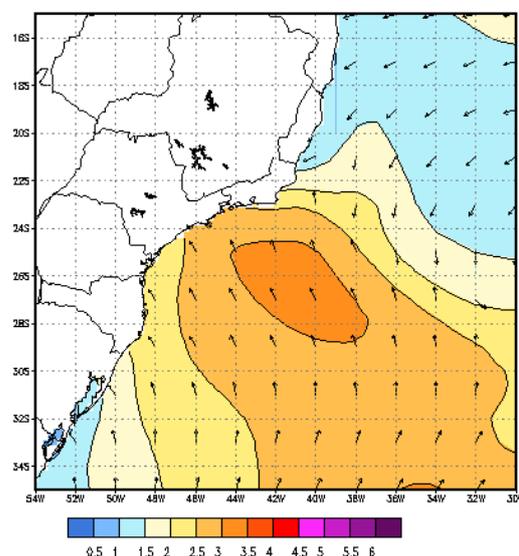
Na Figura 60(a) é possível verificar um exemplo de passagem de frente fria pela Bacia de Santos e na Figura 60(b), vê-se o campo de alturas significativas por ele gerado.

MODELO WAVE-WATCH III/ATLASUL VEL. (m/s) E DIR. DO VENTO
ANALISE:20/DEC/2004 00UTC (SEGUNDA) +36h SUL E SUDESTE
VALIDO PARA:21/DEC/2004 12UTC (TERÇA)



(a)

MODELO WAVE-WATCH III/ATLASUL ALT. (m) E DIR. DA ONDA
ANALISE:20/DEC/2004 00UTC (SEGUNDA) +66h SUL E SUDESTE
VALIDO PARA:22/DEC/2004 18UTC (QUARTA)



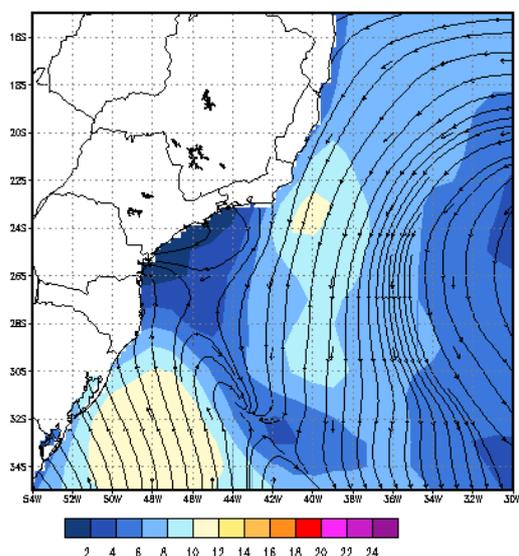
(b)

Figura 60: Exemplo de passagem de uma frente fria pela Baía de Santos. Nesse evento, os ventos se SW associados foram fracos, como pode ser visto na previsão para 36 horas (a). Porém, com a evolução do sistema, ventos fortes de SE geraram ondas com altura significativa entre 3 e 3,5 m (b).

Fonte: ATLASUL

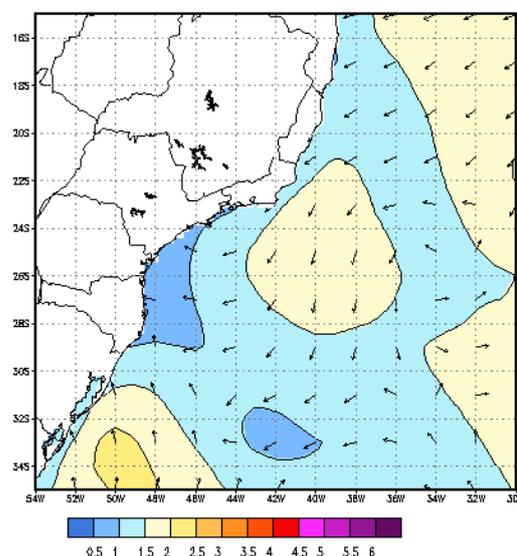
Na Figura 61(a) é possível verificar um exemplo de campo de vento gerado pelo ASAS e, na Figura 61 (b), vê-se o campo de alturas significativas por ele gerado.

MODELO WAVE-WATCH III/ATLASUL VEL. (m/s) E DIR. DO VENTO
ANALISE:20/DEC/2004 00UTC (SEGUNDA) +24h SUL E SUDESTE
VALIDO PARA:21/DEC/2004 00UTC (TERÇA)



(a)

MODELO WAVE-WATCH III/ATLASUL ALT. (m) E DIR. DA ONDA
ANALISE:20/DEC/2004 00UTC (SEGUNDA) +24h SUL E SUDESTE
VALIDO PARA:21/DEC/2004 00UTC (TERÇA)



(b)

Figura 61: Exemplo de atuação do vento de NE, associado ao ASAS (a), levando ao desenvolvimento de um mar local de até 2 m (b). Fonte: ATLASUL.

As nomenclaturas *swell* e *wind sea*, equivalentes a marulho e vaga, são amplamente utilizadas na literatura técnica, mesmo em língua portuguesa, para designar ondas fora da ou sob a influência do vento e serão empregadas neste estudo.

A variável altura significativa (H_s) é uma medida estatística também utilizada na literatura. Ela representa a média da altura da terça parte das maiores ondas de uma determinada série temporal de ondas (e.g. de um conjunto de 9 ondas, é a média da altura das três maiores ondas). Esta variável é utilizada na análise do estado de agitação marítima pois leva em conta tanto as ondas de formação local quanto de *swell*, além de ser uma medida conservadora do ponto de vista de segurança.

No diagrama de dispersão de altura significativa por direção das ondas (Figura 62), pode-se verificar que existem duas direções predominantes para as maiores ondas, ENE e SSW.

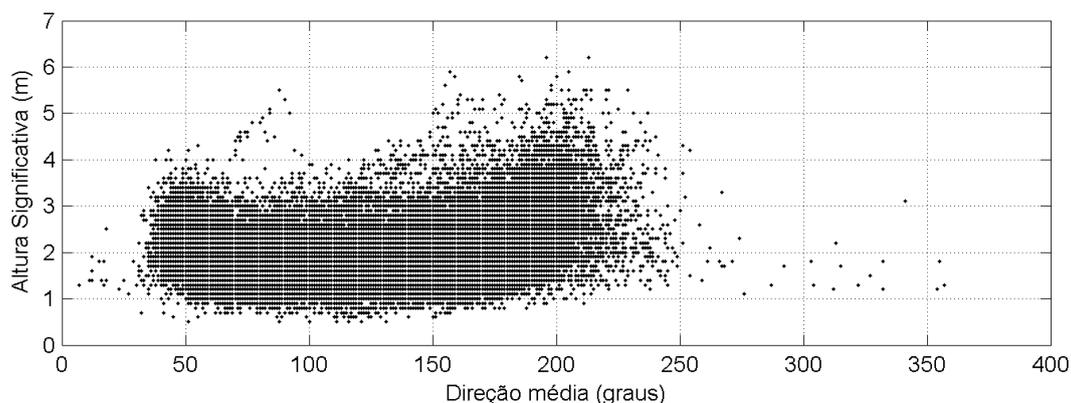


Figura 62: Diagrama de dispersão de altura significativa (H_s) por direção média das ondas.

Pela localização do ponto, praticamente não há ondas de oeste, embora ondas de formação local possam ser geradas dessa direção. A Tabela 15, detalha esses resultados. Os máximos de altura estão associados ao quadrante S. As direções mais frequentes são de Sul e Nordeste, com 27,72% e 23,43% de ocorrência, respectivamente. A condição de mar mais frequente apresenta ondas com altura significativa entre 1,5 e 2,0 metros, nas direções NE, E, SE e S.

Tabela 15: Correlação entre altura significativa e direção média.

Altura/Direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	n. ocorrências	%
0-0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5-1,0	0	46	210	188	42	1	0	0	487	1,01
1,0-1,5	8	1196	3078	2206	1001	48	3	4	7544	15,64
1,5-2,0	5	4011	4350	3945	3208	178	10	4	15711	32,58
2,0-2,5	0	4042	2455	2545	3974	396	5	1	13418	27,83
2,5-3,0	1	1525	867	1129	2779	345	3	0	6649	13,79
3,0-4,0	1	467	228	526	2004	507	3	0	3736	7,74
4,0-5,0	0	10	20	60	321	170	2	0	583	1,20
5,0-6,0	0	0	5	6	39	32	0	0	82	0,17
> 6,0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0,00
n. ocorrências	15	11297	11213	10605	13369	1678	26	9		
%	0,031	23,43	23,25	21,99	27,72	3,48	0,05	0,018		

Na Figura 63, pode ser visualizada a distribuição de período X *versus* altura para *swell* e *wind sea*. Embora as duas distribuições sejam, praticamente, normais, nota-se que aquela referente ao *swell* (a) possui ocorrências em períodos mais elevados, de até 21s, embora as maiores alturas (> 4 m) estejam concentradas entre 11 e 16 s. Para o *wind sea* (b), as maiores ondas (>

4 m) estão associadas a períodos de 8 a 12 s, típicos de tempestades na região sudeste do Brasil (CANDELLA *et al*, 2008). Os detalhes dessa distribuição podem ser vistos na Tabela 16 e na Tabela 17.

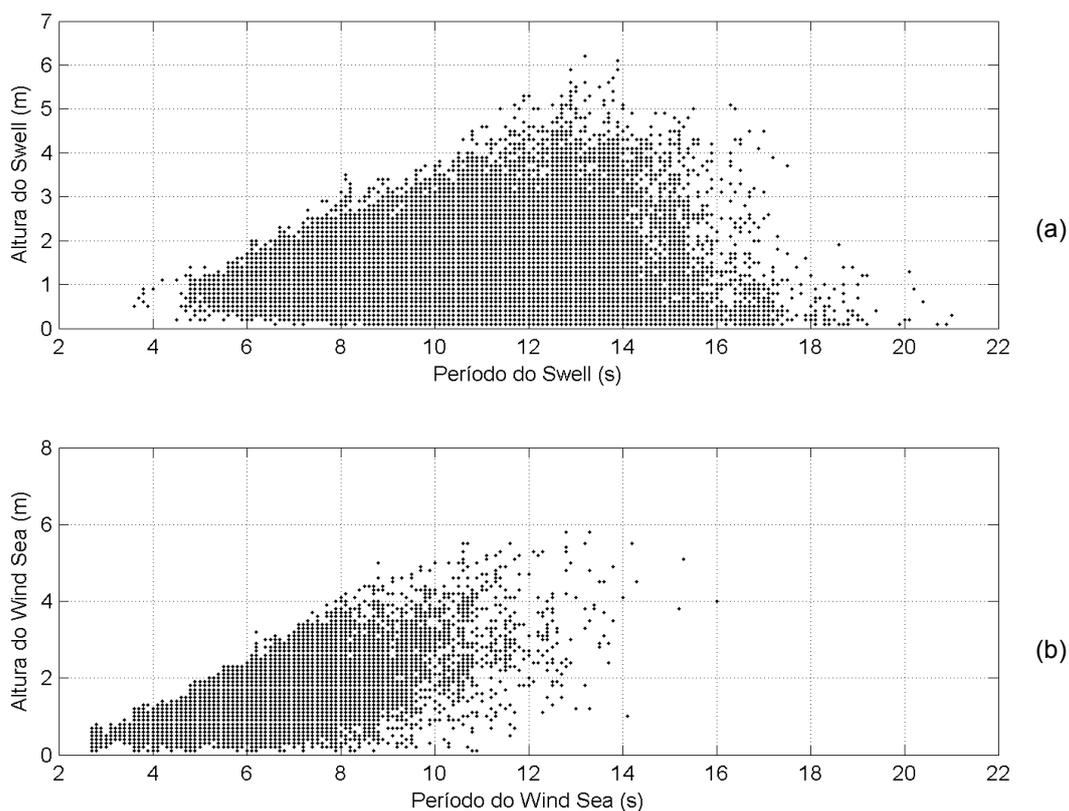


Figura 63: Diagrama de dispersão para altura e período de pico para *swell* (a) e *wind sea* (b).

De maneira geral, as ondas do tipo *wind sea* apresentaram maiores alturas, associadas a menores períodos de ondas, entre 1 e 2 m (53,2 %) e entre 4 e 8 s (80,6 %), enquanto o *swell*, entre 0,5 e 1,5 m (52,7 %) e 8 e 12 s (57,6 %).

Tabela 16: Correlação entre altura e período (T) do *swell*.

Altura/Período	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18	n. ocorrências	%
0-0,5	0	38	384	1495	1905	1255	719	199	5995	12,50
0,5-1,0	6	319	2978	3849	3213	1281	396	89	12131	25,29
1,0-1,5	0	195	3725	3973	3558	1347	318	53	13169	27,45
1,5-2,0	0	8	1682	2366	2663	1309	259	20	8307	17,32
2,0-2,5	0	0	296	1031	1644	1060	183	16	4230	8,82
2,5-3,0	0	0	21	330	894	768	172	9	2194	4,57
3,0-4,0	0	0	0	98	590	692	186	14	1580	3,29
4,0-5,0	0	0	0	0	57	179	72	7	315	0,66
5,0-6,0	0	0	0	0	7	31	3	2	43	0,09
> 6,0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0,00
n. ocorrências	6	560	9086	13142	14531	7924	2308	409		
%	0,01	1,17	18,94	27,40	30,29	16,52	4,81	0,85		

Tabela 17: Correlação entre altura e período (T) do wind sea.

Altura/Período	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18	n. ocorrências	%
0-0,5	988	218	183	43	6	0	0	0	1438	4,73
0,5-1,0	1499	2351	883	132	18	0	0	0	4883	16,05
1,0-1,5	212	5000	2500	450	30	4	1	0	8197	26,95
1,5-2,0	0	3398	3898	618	55	11	0	0	7980	26,24
2,0-2,5	0	303	4052	548	93	12	0	0	5008	16,46
2,5-3,0	0	0	1381	362	102	12	0	0	1857	6,11
3,0-4,0	0	0	359	343	143	33	1	0	879	2,89
4,0-5,0	0	0	1	55	72	14	2	1	145	0,48
5,0-6,0	0	0	0	1	18	9	2	0	30	0,10
> 6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
n. ocorrências	2699	11270	13257	2552	537	95	6	1		
%	8,87	37,05	43,58	8,39	1,77	0,31	0,02	0,00		

Deve-se levar em consideração que *swell* são ondas que não são capazes de receber energia do vento local. Portanto, podem apresentar menor contribuição no espectro, caso o vento local esteja, por exemplo, em sentido contrário à sua propagação, dando lugar a espectros multimodais, tanto em duas (frequência x energia), quanto em três dimensões (frequência x energia x direção). Na Figura 64, é apresentado um exemplo de espectro polar, retirado do *site* do projeto ATLASUL (<http://www.prooceano.com.br/previsao.php>) no qual pode-se perceber a presença de diversos sistemas de onda da direção S (principal), SW, NE e E, lembrando que,

pela convenção adotada pelo projeto, as ondas estão representadas como rumo (para onde vão).

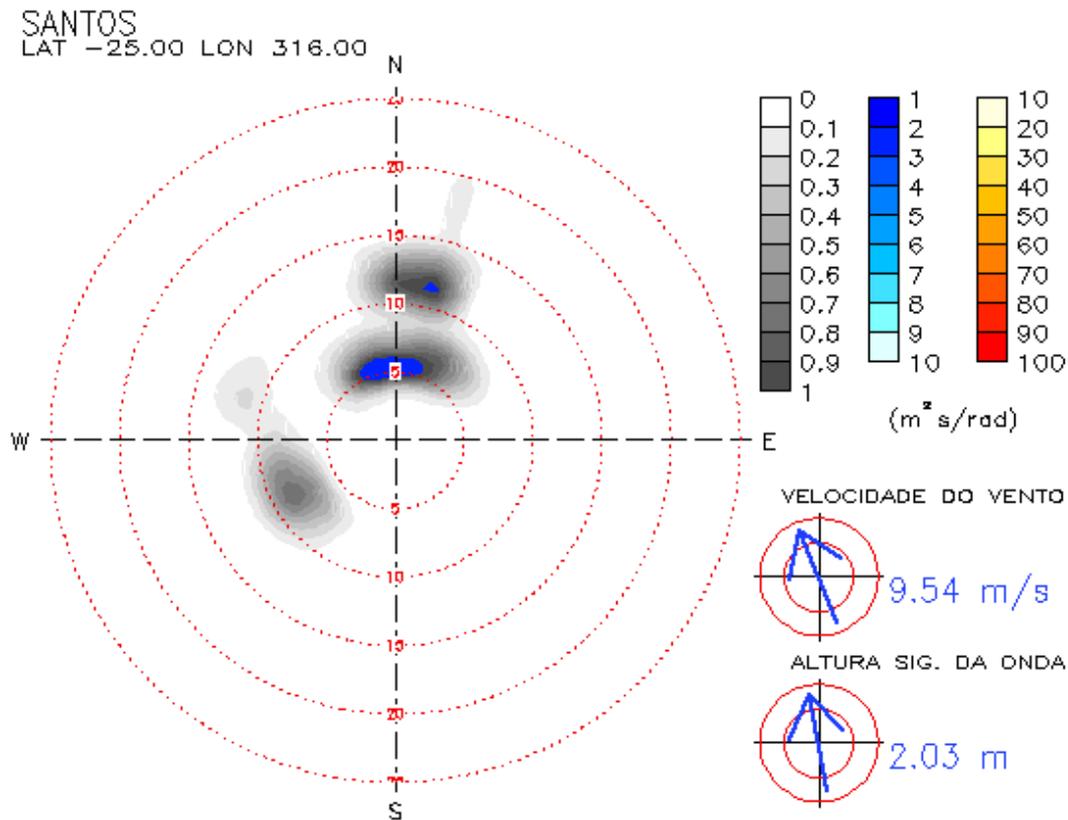


Figura 64: Espectro polar multimodal de ondas da região da Baía de Santos mostrando a presença de diversos sistemas. Levando-se em conta a direção do vento (SSE), há swell de várias direções (NE, T ~ 8 s; ESE, T ~ 12 s; SW, T ~ 12 e 16 s), além de wind sea de período curto (SSE, T ~ 6 s).

Fonte: ATLASUL.

Para o *swell* (Figura 65), os maiores períodos estão associados com as direções SW e S. Em ambos os casos, as ondas são geradas pela evolução de sistemas frontais, onde tanto o ciclone extratropical, quanto o anticiclone polar, podem formar longas pistas, gerando, assim, ondas com período elevado.

Os maiores períodos de *wind sea* (Figura 65) estão associados à direção Nordeste e Sul (aproximadamente de 10 a 13 segundos).

Os resultados detalhados dessas figuras podem ser vistos na Tabela 18 e Tabela 19.

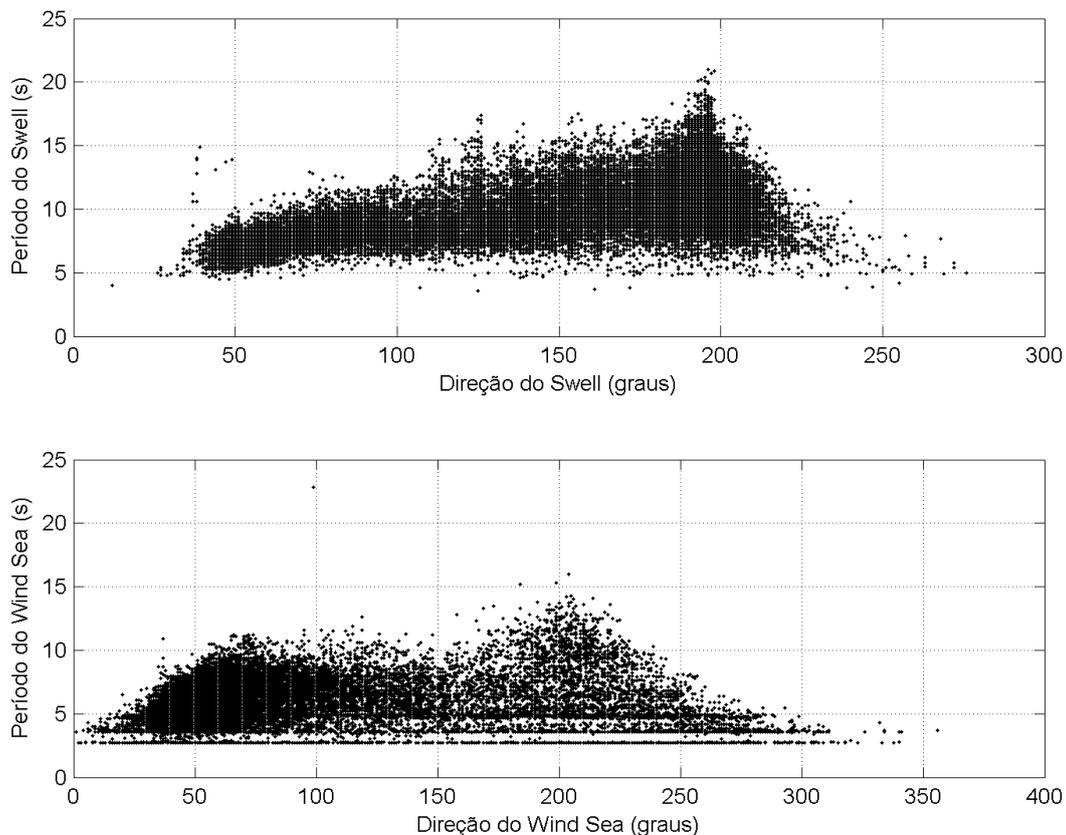


Figura 65: Diagrama de dispersão para direção e período de pico para *swell* (acima) e *wind sea* (abaixo).

Tabela 18: Correlação de direção e período para o *swell*.

Período/Direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	n. ocorrências	%
2 a 4	0	0	1	1	2	2	0	0	6	0,01
4 a 6	1	365	40	39	57	43	15	0	560	1,17
6 a 8	0	4692	2048	1178	769	393	6	0	9086	18,92
8 a 10	0	778	3147	3086	4910	1221	0	0	13142	27,36
10 a 12	0	18	547	1849	10721	1396	0	0	14531	30,26
12 a 14	0	5	35	739	6635	510	0	0	7924	16,50
14 a 16	0	2	5	158	2072	71	0	0	2308	4,81
> 16	0	0	0	14	448	9	0	0	471	0,98
n. ocorrências	1	5860	5823	7064	25614	3645	21	0		
%	0,00	12,20	12,12	14,71	53,33	7,59	0,04	0,00		

Tabela 19: Correlação de direção e período para o *wind sea*.

Período/Direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	n. ocorrências	%
2 a 4	110	862	362	238	318	348	399	62	2699	8,87
4 a 6	53	7647	1344	678	578	648	311	11	11270	37,05
6 a 8	1	8979	2530	771	503	423	50	0	13257	43,58
8 a 10	0	682	913	298	301	353	5	0	2552	8,39
10 a 12	0	21	95	41	191	189	0	0	537	1,77
12 a 14	0	0	0	1	49	45	0	0	95	0,31
14 a 16	0	0	0	0	2	4	0	0	6	0,02
> 16	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0,00
n. ocorrências	164	18191	5244	2027	1942	2011	765	73		
%	0,54	59,81	17,24	6,66	6,38	6,61	2,52	0,24		

Na rosa de ondas relativa à direção média (Figura 66), pode-se notar que este se concentra entre NE, E, SE e S. Considerando-se a natureza desse parâmetro, basicamente a média entre os diversos sistemas de onda que compõe o espectro direcional, essa distribuição confirma as tendências anteriormente mostradas. Na Figura 67, o gráfico polar de distribuição de direções do *swell* indica que a maior parte desse tipo de ondulação tem origem no Sul, embora haja contribuição das direções NE, E e SE para o *swell* local. No mesmo tipo de distribuição para o *wind sea* (Figura 68), percebe-se uma inversão na importância das direções principais, sendo NE a que possui maior ocorrência, seguida de leste.

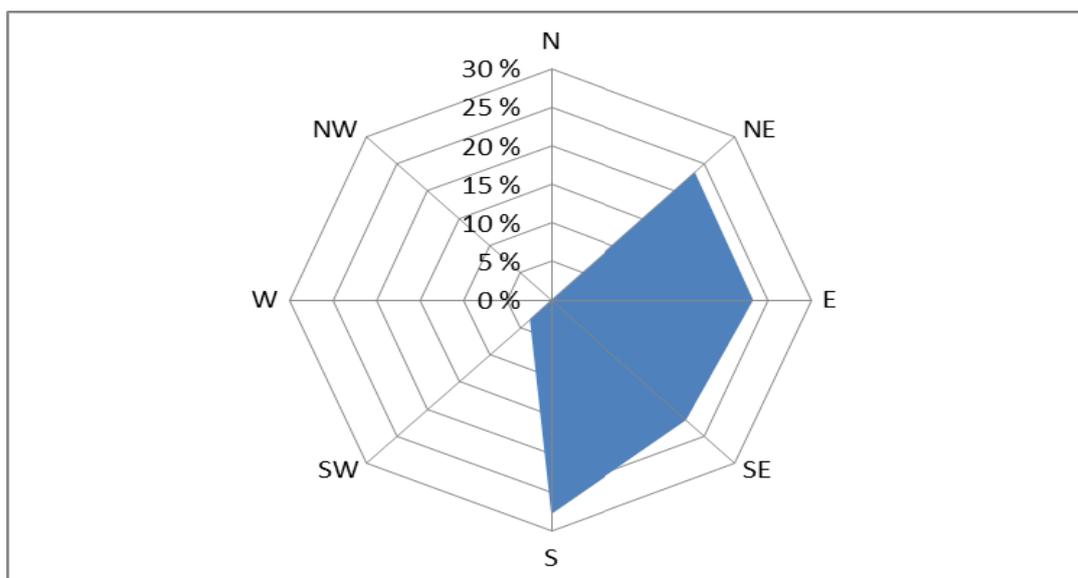


Figura 66: Diagrama polar de distribuição de direção média.

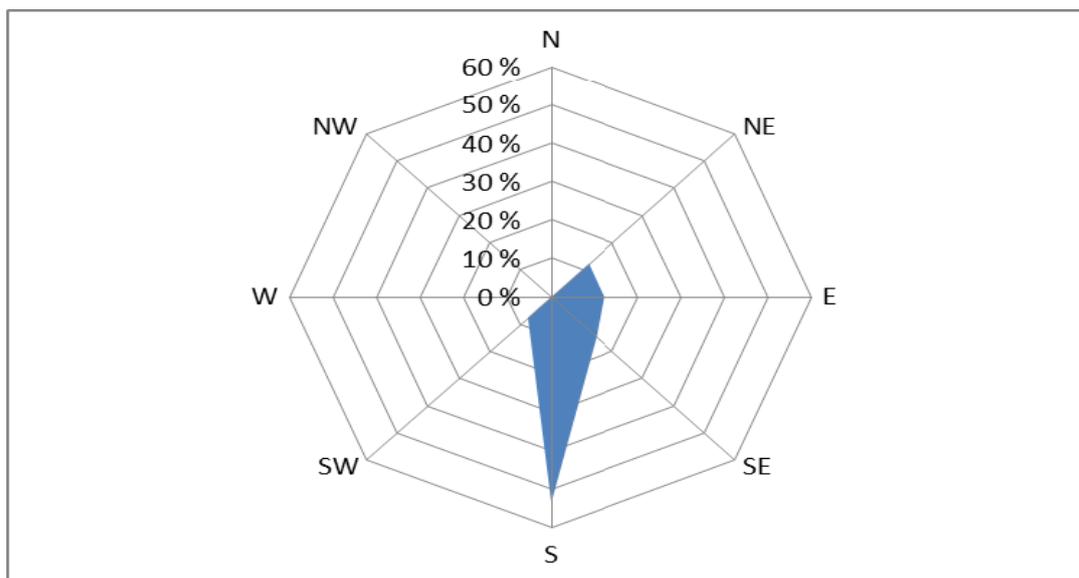


Figura 67: Diagrama polar de distribuição de direção do swell.

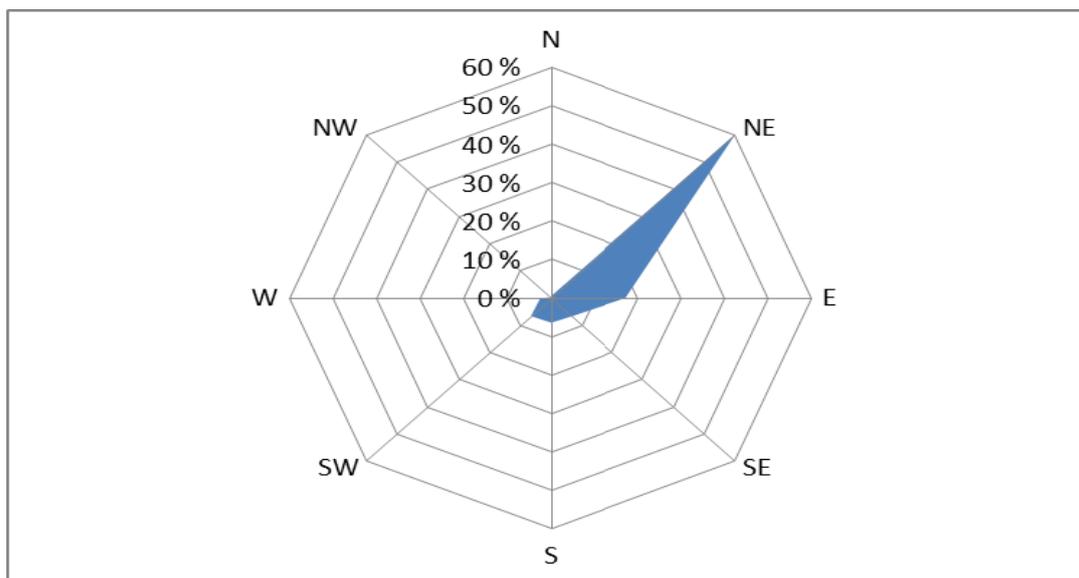


Figura 68: Diagrama polar de distribuição de direção do wind sea.

O histograma de altura significativa (Figura 69b) indica que o valor típico desse parâmetro é 1,5 m, mas alturas de até 3,5 m são observadas com frequência. Seja em medições, seja em modelagem, valores de H_s inferiores a 1,0 são bastante raros, como indicado no gráfico. Grande

parte do *swell* (Figura 69a) possui altura reduzida, entre 0,5 e 1,5 m. Já para o *wind sea* (Figura 69c), as maiores ocorrências são para as classes centradas em 1,0 e 1,5 m.

Na Tabela 20, estão assinaladas o número de ocorrências nas principais classes, para altura significativa, *swell* e *wind sea*.

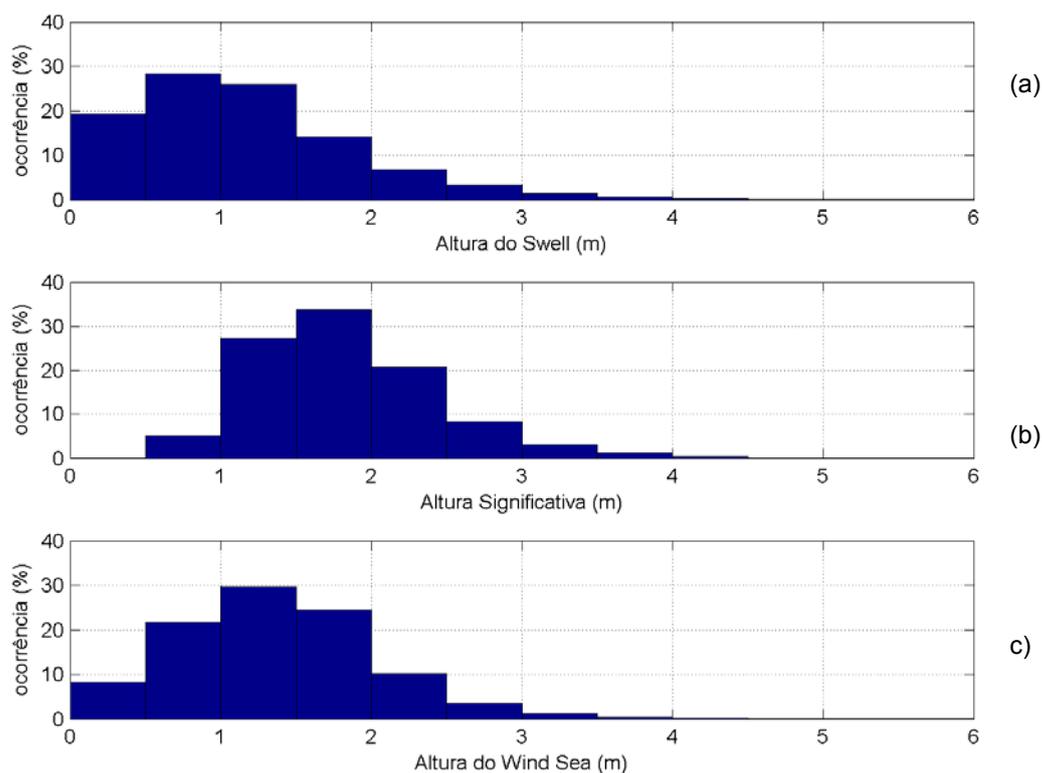


Figura 69: Distribuição de alturas para altura do *swell* (a), altura significativa (b), e altura do *wind sea* (c), em classes de 1 m.

Tabela 20: Distribuição das ocorrências de cada classe de altura para Hs, swell e wind sea.

Altura	Altura Significativa		Swell		Wind Sea	
	ocorr.	%	ocorr.	%	ocorr.	%
0 a 0,5	0	0	6039	12,57182	1439	4,730752
0,5 a 1,0	487	1,010122	12147	25,28728	4883	16,05299
1,0 a 1,5	7544	15,64756	13178	27,43359	8197	26,94786
1,5 a 2,0	15711	32,58732	8308	17,29536	7980	26,23447
2,0 a 2,5	13418	27,83125	4230	8,805896	5008	16,46394
2,5 a 3,0	6649	13,79117	2194	4,567408	1857	6,104938
3,0 a 4,0	3736	7,749108	1580	3,2892	879	2,889736
4,0 a 5,0	583	1,209243	315	0,655758	145	0,476691
5,0 a 6,0	82	0,170082	43	0,089516	30	0,098626
> 6,0	2	0,004148	2	0,004164	0	0
total	48212	100,0	48036	100,0	30418	100,0

Na Figura 70, evidencia-se o ciclo sazonal da altura significativa, sendo observados dois picos principais nas alturas máximas, um em maio e outro em setembro. No mesmo gráfico, percebe-se que as alturas médias tendem a ser maiores no período central do ano, entre o fim do outono (maio) e meados da primavera (novembro).

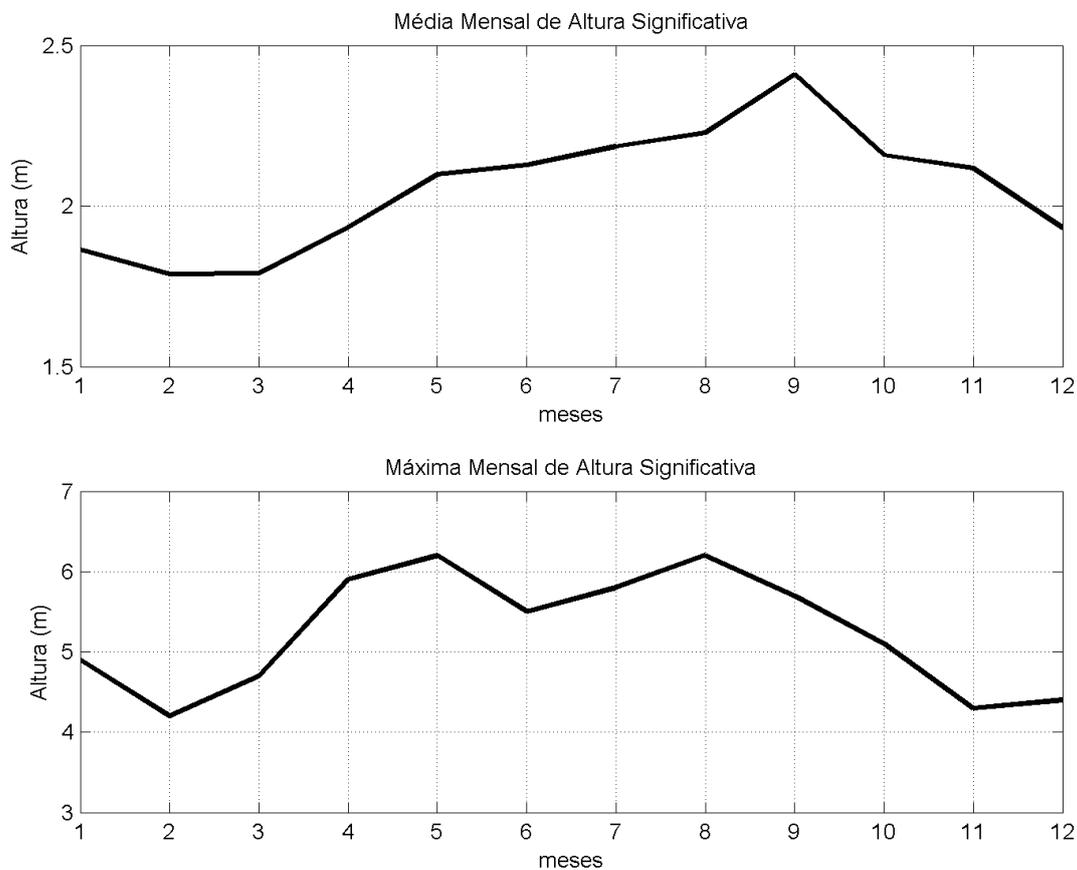


Figura 70: Valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais da altura significativa

O gráfico referente às alturas médias do *swell* (Figura 71) indica pequena variação, cerca de 0,50 m, ao longo do ano, enquanto para as alturas máximas, os maiores valores estão concentrados entre abril e outubro, com picos em maio e julho.

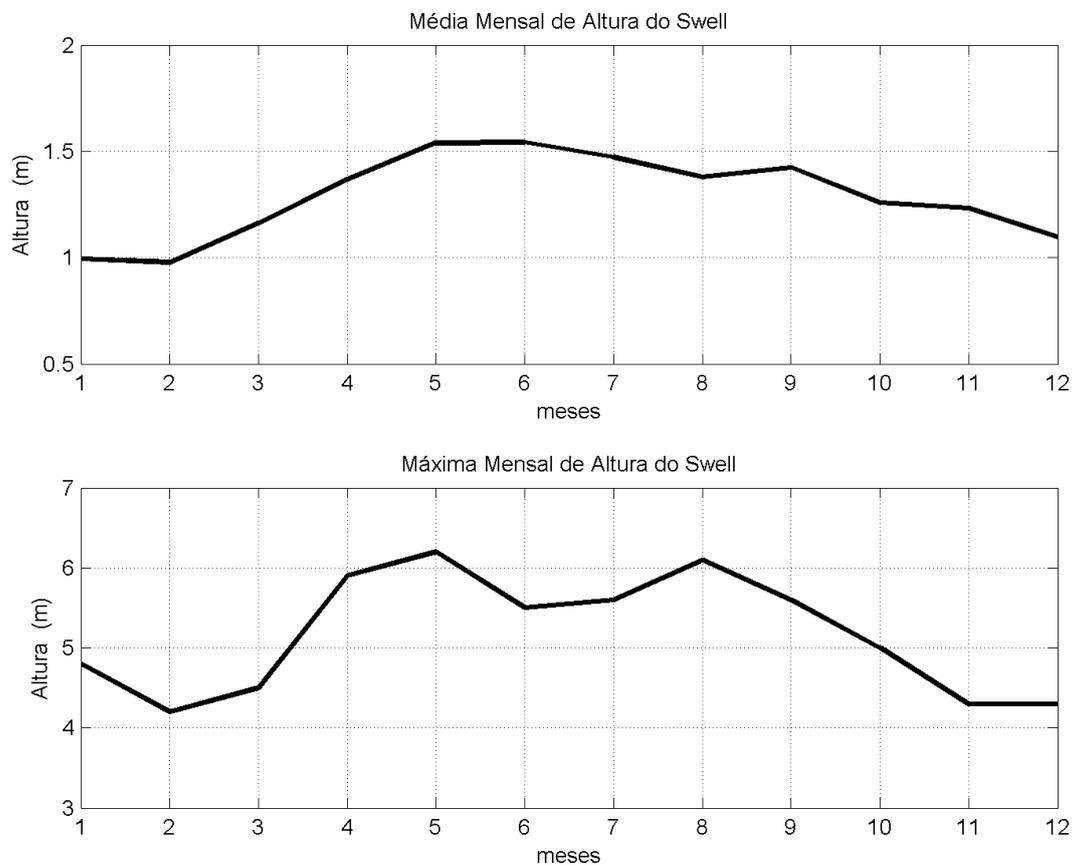


Figura 71: Valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais do swell.

O comportamento das alturas médias e máximas (Figura 72) do *windsea* é análogo ao da altura significativa, reforçando a conclusão da composição das tempestades principais.

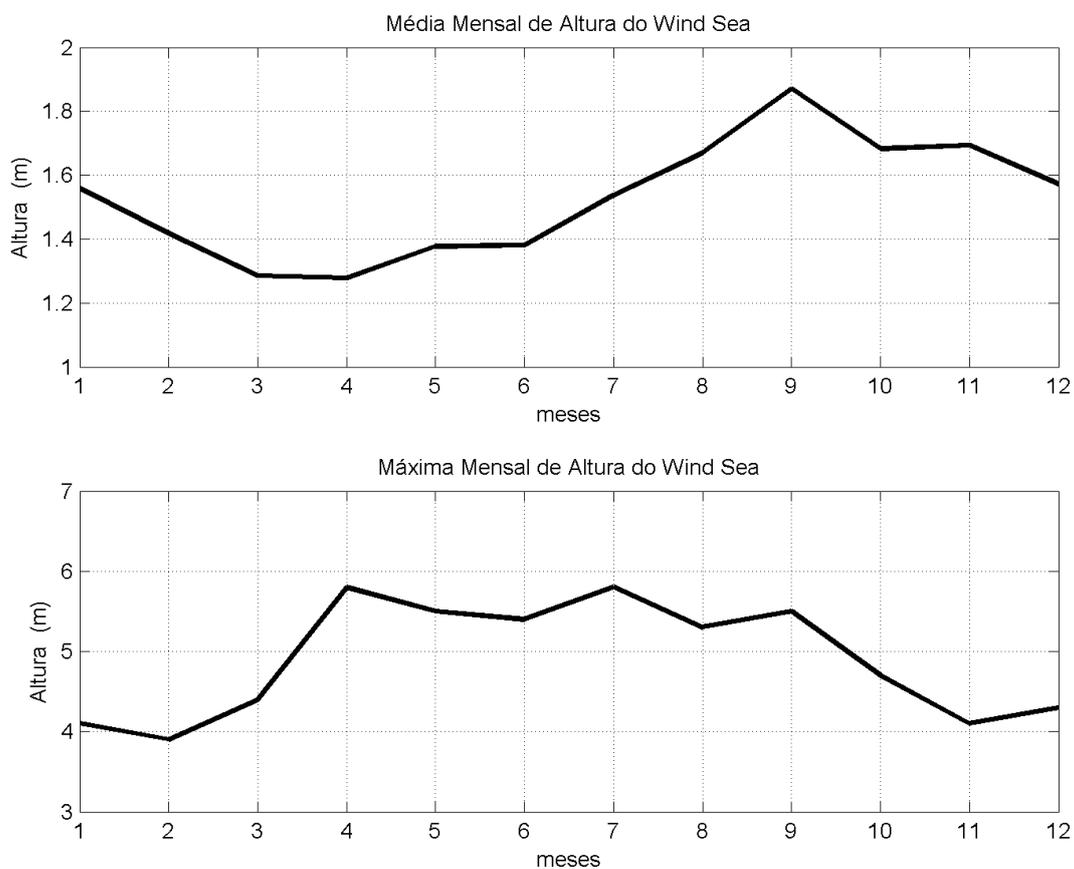


Figura 72: Valores médios (acima) e máximos (abaixo) mensais do *wind sea*.

Na Tabela 21, estão listados os valores médios e máximos de *Hs*, *swell* e *wind sea*, para todo o período simulado.

Tabela 21: Valores médios e máximos mensais e máximos para altura significativa, *swell* e *wind sea*.

mes	Hs		Swell		Wind Sea	
	média	máxima	média	máxima	média	máxima
janeiro	1,87	4,90	0,99	4,80	1,56	4,10
fevereiro	1,79	4,20	0,98	4,20	1,42	3,90
março	1,79	4,70	1,16	4,50	1,29	4,40
abril	1,93	5,90	1,37	5,90	1,28	5,80
maio	2,10	6,20	1,54	6,20	1,38	5,50
junho	2,13	5,50	1,54	5,50	1,38	5,40
julho	2,19	5,80	1,47	5,60	1,54	5,80
agosto	2,23	6,20	1,38	6,10	1,67	5,30
setembro	2,41	5,70	1,42	5,60	1,87	5,50
outubro	2,16	5,10	1,26	5,00	1,68	4,70
novembro	2,12	4,30	1,23	4,30	1,69	4,10
dezembro	1,93	4,40	1,10	4,30	1,57	4,30

Em resumo, a agitação marítima na área da Bacia de Santos analisada tem, basicamente, 3 fontes principais: o anticiclone semipermanente do Atlântico Sul (ASAS), que pode gerar ondas das direções leste e nordeste, sendo essa última a mais importante nesse ponto analisado; a passagem de sistemas frontais, que produzem, em geral, ondas de sul e sudoeste; e a evolução desses sistemas frontais, onde o deslocamento do anticiclone polar, aliado àquele do ciclone extratropical, tendem a formar ondas principalmente da direção sudeste.

A Tabela 22 sintetiza esses resultados. Como já mencionado, todos são oriundos da simulação realizada com o WaveWatch III.

Tabela 22: Resumo das situações dominantes de mar na Bacia de Santos, no ponto de coordenadas 24°S; 42°W. Fonte de dados: WaveWatch III.

Sistema Associado	Hs (m)	TP (s)	Dir (°)	Tipo
ASAS	até 4,0	3 a 11	NE-E	<i>wind sea</i>
	até 4,0	5 a 16	NE-E	<i>swell</i>
Sistemas Frontais	até 4,0	3 a 10	SW-S	<i>wind sea</i>
	até 3,0	6 a 12	SW-S	<i>swell</i>
Anticiclone + Ciclone	0,5 a 5,0	6 a 14	S-SE	<i>wind sea</i>
	0,5 a 3,5	6 a 18	S-SE	<i>swell</i>

2.3.5. Regime de Marés

Podemos classificar a maré quanto ao seu período, ou seja, pode-se determinar se a maré é diurna, semi-diurna, mista principalmente diurna ou mista principalmente semi-diurna (POND; PICKARD, 1978).

Para classificar a maré, calcula-se um fator que leva em consideração a amplitude das principais componentes diurnas e semi-diurnas. Segundo Pond & Pickard (1978), esse fator é definido por:

$$F = \left(\frac{(K_1 + O_1)}{(M_2 + S_2)} \right) \quad (1)$$

De acordo com essa classificação temos:

- » $F = 0$ a $0,25$: Maré semi-diurna, ou seja, a maré cujo período é de aproximadamente 12h. Neste caso, tem-se duas marés altas e duas marés baixas em 24 horas. A altura de uma preamar é praticamente igual a outra, o mesmo acontecendo com a baixamar.
- » $F = 0,25$ a $1,5$: Maré mista, principalmente semi-diurna, ou seja, a maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, semi-diurna, podendo ser diurna em algumas épocas do ano.
- » $F = 1,5$ a $3,0$: Maré mista, principalmente diurna, ou seja, a maré com grandes diferenças de altura entre suas preamares e baixamares. Essa maré é, na maioria das vezes, diurna, podendo ser semi-diurna em algumas épocas do ano.
- » $F > 3,0$: Maré diurna, ou seja, a maré cujo período é de 24h, aproximadamente. Nesse caso, tem-se apenas uma maré alta e uma maré baixa em 24 horas.

Para a caracterização da maré na região do BS-4, foram utilizadas as constantes harmônicas obtidas do modelo global de marés FES-2004 (de "Finite Element Solutions"). Esta é uma versão completamente revisada do modelo hidrodinâmico global de marés iniciado por Le Provost *et al.* (1994). Esta nova versão é baseada na resolução das equações barotrópicas de maré em uma nova grade global de elementos finitos (~1 milhão de nodos), que permitem a resolução independente de dados *in situ* e de sensoriamento remoto. A acurácia destas soluções têm sido otimizada pela assimilação de dados de marégrafos e de altimetria (TOPEX/POSEIDON e ERS-2). São disponibilizados dados de amplitude e fase de 15 constituintes de maré em uma grade com resolução de $1/8^\circ$. Uma descrição mais detalhada do FES-2004 pode ser obtida em Lyard *et al.* (2006).

A partir destes, foram então retirados os dados de fase e amplitude de sete componentes (M2, S2, N2, K2, K1, O1 e Q1) para o ponto localizado na latitude $24,125^\circ$ S e longitude 42° W.

A localização desse ponto na Baía de Santos pode ser observada na Figura 73 e as principais constantes harmônicas da maré local encontram-se na Tabela 23.

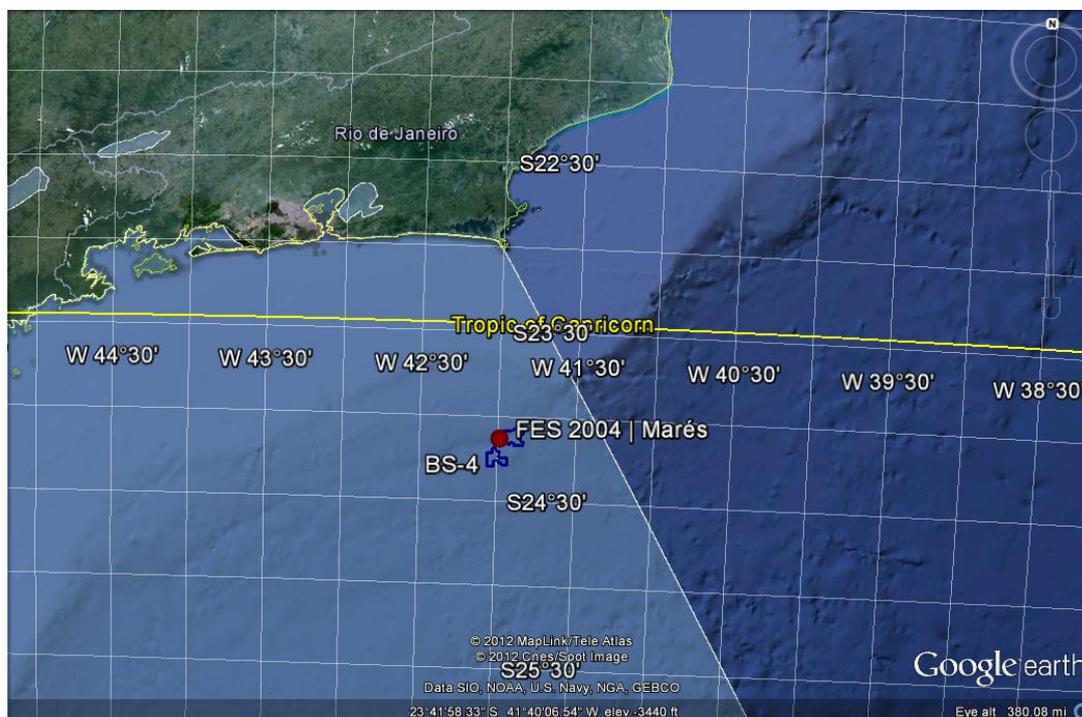


Figura 73: Posicionamento do ponto de grade do FES-2004 utilizado e do Bloco BS-4.

Tabela 23: Constantes harmônicas obtidas pelo modelo global de maré FES-2004 no ponto de latitude 24,125 S e longitude 42° W.

Componente	Nome	Amplitude (m)	Fase (em relação à Greenwich)
Q1	lunar elíptica diurna	0,0248	94,2009
O1	lunar principal diurna	0,0988	126,5738
K1	luni-solar principal diurna	0,0604	194,7838
N2	lunar elíptica semi-diurna	0,0403	196,2665
M2	lunar principal semi-diurna	0,2806	167,3870
S2	solar principal semi-diurna	0,1420	176,2959
K2	luni-solar semi-diurna	0,0401	177,9790

Exemplos dos campos de amplitude e fase da componente M2 (mais significativa na região) podem ser vistos na Figura 75 e na Figura 76. A amplitude da componente M2 na região da

Bacia de Santos apresenta um gradiente sentido nordeste da Bacia. Na região do BS-4, a componente M2 apresenta amplitude de aproximadamente 0,3 m e fase de $\sim 170^\circ$.

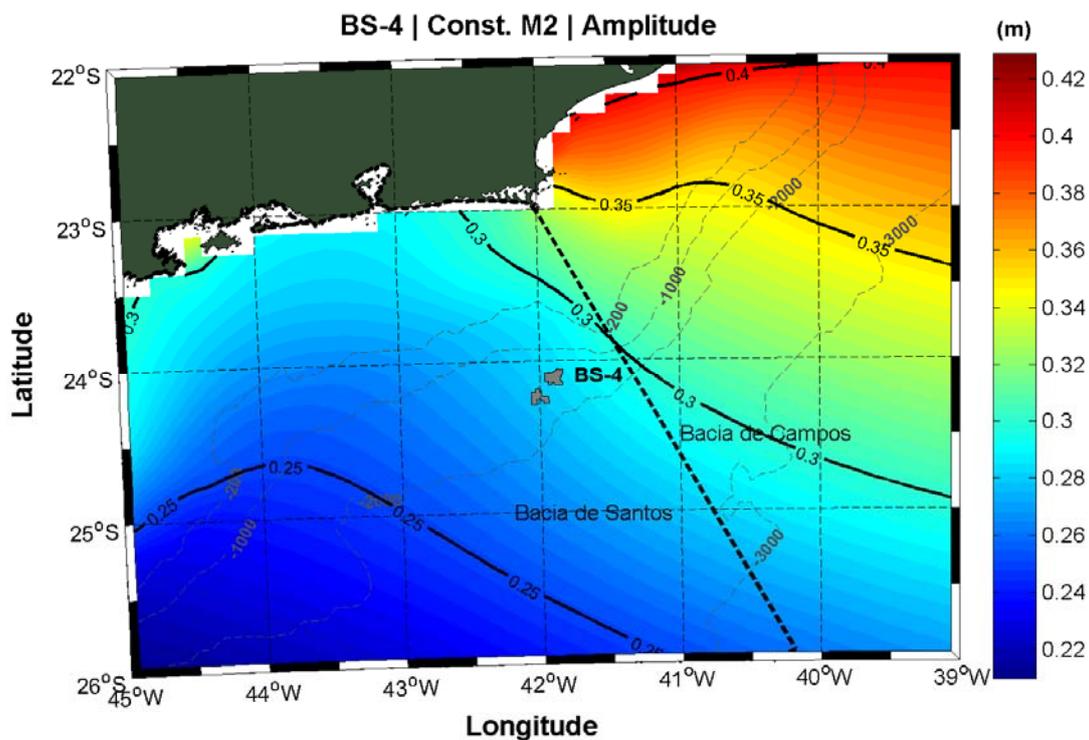


Figura 74: Amplitude da componente M2 para região do Bloco BS-4.

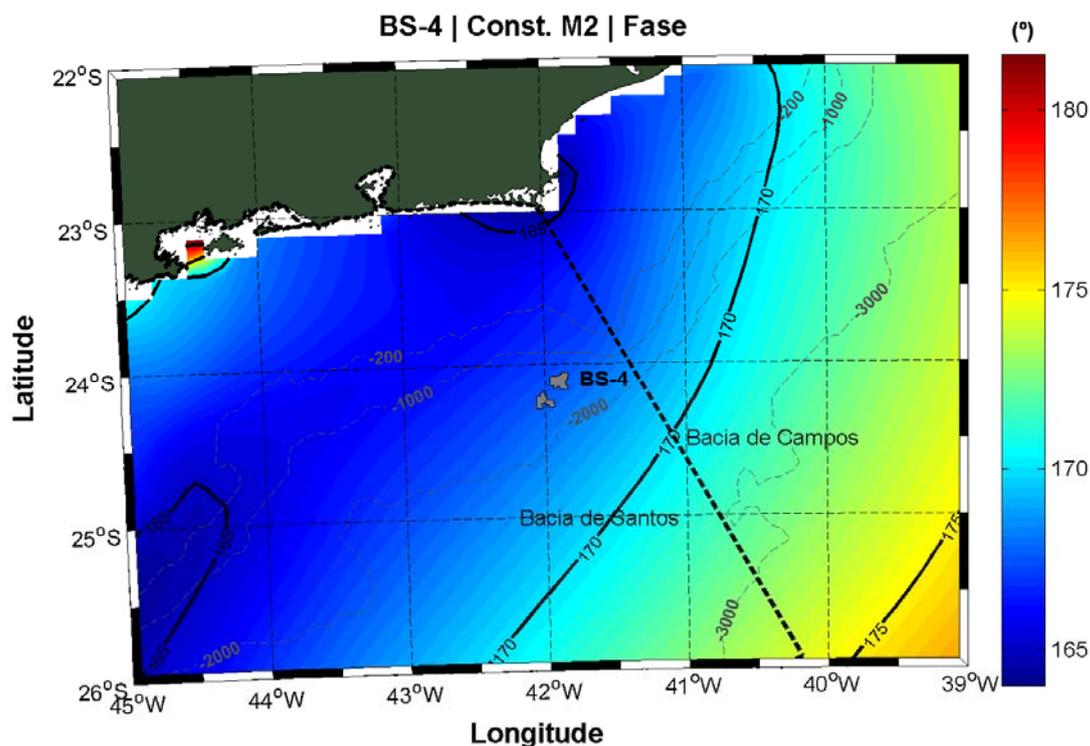


Figura 75: Fase da componente M2 para região do Bloco BS-4.

Utilizando os valores apresentados na Tabela 23, podemos concluir que na região de interesse temos:

$F = 0,3769$ – maré mista predominantemente semi-diurna.

Podemos calcular também, segundo a formulação de Pond e Pickard (1978), a média da amplitude das marés de sizígia, que nesse caso será:

$$2 (M2+S2) = 0,8451 \text{ m}$$

Podemos classificar a maré na região como sendo mista predominantemente semi-diurna e com amplitudes médias de maré de sizígia variando em torno de 0.8451 cm.

Na Figura 76 é apresentada a série de elevação para o ponto utilizado na confecção das tabelas acima, elaborado a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pelo FES-2004, para todo o ano de 2011. Foram verificadas alturas máximas de aproximadamente 0,5 m, e mínimas de -0,6 m. Através da figura, podemos concluir que as maré de quadratura na região possuem amplitudes médias da ordem de 30 cm.

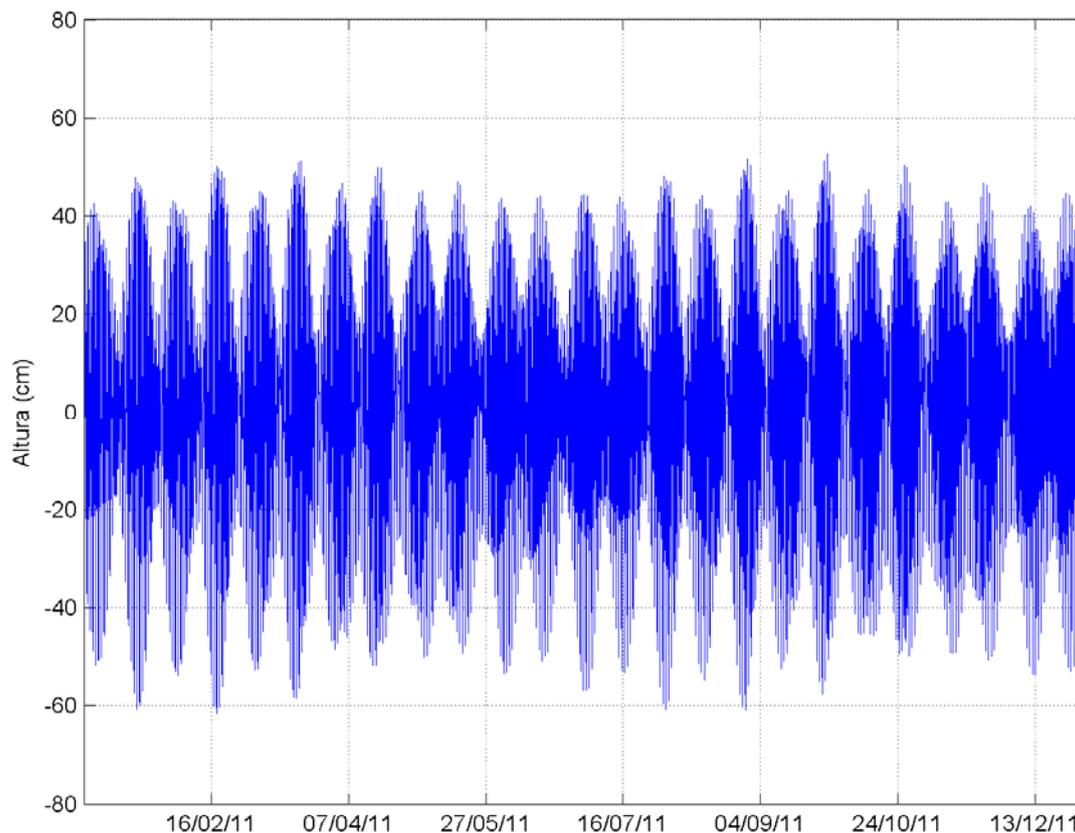


Figura 76: Elevação da superfície do mar (cm) para todo o ano de 2011.

2.3.6. Condições Extremas do Regime Hidrodinâmico

As regiões sul e sudeste do Brasil são frequentemente influenciadas pela passagem de sistemas frontais. A influência desses sistemas no oceano é expressa em alterações substanciais no regime hidrodinâmico, seja em função de efeitos locais ou de fenômenos sinóticos, tais como a chegada de grandes ondulações geradas, por exemplo, em altas latitudes.

As condições extremas de ondas observadas na região podem estar associadas a 3 sistemas sinóticos diferentes: ASAS, passagem de Sistemas Frontais ou deslocamento do anticiclone polar.

No caso de domínio do ASAS, ondas com direções de NE-E podem chegar a até 4,0 m de altura significativa, configurando um cenário crítico para operações no mar. Entretanto, as condições mais severas de mar observadas na região estão associadas à evolução de Sistemas Frontais,

onde ondulações de SW a SE podem atingir a região com 6,0 m de altura significativa. A maior passagem de sistemas frontais na região durante o período de inverno e de primavera, faz com que esses períodos sejam mais propícios a ocorrência de eventos extremos de ondas.

No regime hidrodinâmico, os valores máximos de corrente superficial observados na região próxima ao Bloco BS-4 apresentaram valores de 0,94 m/s. Como demonstrado pelos dados do HYCOM, as médias no período de verão são ligeiramente mais elevadas, com velocidades de aproximadamente 0,3 m/s na região onde o Bloco BS-4 se situa.

2.4. Considerações Finais

A análise dos dados oceanográficos da região no entorno do Bloco BS-4, mostrou a presença da ACAS, AT, AIA e APAN na região. Foram ainda encontradas variações sazonais bem marcadas nos perfis de temperatura e densidade potencial para os períodos de inverno e verão, nos primeiros 100 metros de coluna d'água.

As condições de ondas observadas na região podem estar associadas a 3 sistemas sinóticos diferentes: o ASAS, passagem de Sistemas Frontais ou deslocamento do anticiclone polar.

As direções mais frequentes são de Sul e Nordeste, com 27,72% e 23,43% de ocorrência, respectivamente. A condição de mar mais frequente apresenta ondas com altura significativa entre 1,0 e 1,5 metros, nas direções NE, E, SE e S.

No caso de domínio do ASAS, ondas com direções de NE-E podem chegar a até 4,0 m de Hs, configurando um cenário crítico para operações no mar. Entretanto, as condições mais severas de mar observadas na região estão associadas à evolução de Sistemas Frontais, onde ondulações de SW a SE podem atingir a região com 6,0 m de altura significativa.

Tanto o regime de ondas quanto o de correntes são forçados pelo regime de ventos, dependendo principalmente da atuação de sistemas meteorológicos como o ASAS e a passagem de sistemas frontais. Entretanto, deve-se ressaltar que o regime de correntes depende de outros fatores, sendo o efeito do vento observado de forma mais direta na região sobre a plataforma continental.

Os dados de correntes mostram que a o Bloco BS-4 está sob a influencia da Corrente do Brasil até aproximadamente 600 m de profundidade, com velocidade média de aproximadamente 0,4 m/s e direção preferencial de SW na camada superficial onde o bloco se encontra. Porém através da análise de dados de um correntômetro acústico fundeado próximo ao bloco, foram observadas correntes com direção E/SE em profundidades de 85, 155 e 195 metros.

A maré na região apresenta caráter misto com predominância semi-diurna, com amplitude média de marés de sizígia de 85 cm e amplitude média de marés de quadratura de 30 cm.

2.5. Bibliografia

- Antonov, J. I., D. Seidov, T. P. Boyer, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, H. E. Garcia, O. K. Baranova, M. M. Zweng, and D. R. Johnson, 2010. World Ocean Atlas 2009, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 69, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- Boyer, T. P., Antonov J. I., O. K. Baranova, H. E. Garcia, D. R. Johnson, R. A. Locarnini, A. V. Mishonov, T. D. O'Brien, D. Seidov, I. V. Smolyar, M. M. Zweng, 2009. World Ocean Database 2009. S. Levitus, Ed., NOAA Atlas NESDIS 66, U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 216 pp., DVDs.
- Candella, R. N. ; Rabinovich, A. B. ; Thomson, R. E. . The 2004 Sumatra Tsunami as Recorded on the Atlantic Coast of South America. *Advances in Geosciences*, v. 14, p. 117-128, 2008.
- Gabioux, M. Estudo numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S [Rio de Janeiro] 2008 XVII, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2008) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- Hastenrath, S., 1985: *Climate and Circulation of the Tropics*. D. Reidel Publish. Co., 455 pp.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), <http://www.inmet.gov.br/>, acessado em abril de 2012.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M. R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. MO, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, Roy Jenne, Dennis Joseph (1996). "The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project". *Bulletin of the American Meteorological Society* 77 (3): 437–471.
- Le Provost, C., M.L. Genco, F. Lyard, P. Vincent & P. Canceil, 1994. Spectroscopy of the world ocean tides from a finite element hydrodynamic model. *Journal of Geophysical Research*, 99(C12): 24.777-24.797.
- Locarnini, R. A., A. V. Mishonov, J. I. Antonov, T. P. Boyer, H. E. Garcia, O. K. Baranova, M. M. Zweng, and D. R. Johnson, 2009. World Ocean Atlas 2009, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- Lyard, F., F. Lefèvre, T. Letellier and O. Francis. Modelling the global ocean tides: a modern insight from FES2004, *Ocean Dynamics*, 56, 394-415, 2006.

Martin, L.; Dominguez, J.M.L. & Bittencourt, A.C.S.P. 1998. Climatic control of coastal erosion during a sealevel fall episode. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 1998.

NCEP (National Centers for Environmental Prediction), <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>, acessado em abril de 2012.

Pond, S. & G.L. Pickard, 1978. Introductory Dynamical Oceanography. Pergamon Press, Oxford. 329p

Portilho-Ramos R.C., Rio-Netto A.M. & Barbosa C.F. 2006. Caracterização bioestratigráfica do Neógeno superior da Bacia de Santos com base em foraminíferos planctônicos. Rev. Bras. Paleont., 9(3):349-354.

Santos, L. F. S. 2009. Variabilidade subinercial das correntes na plataforma continental ao largo de Cabo Frio (RJ): observações. 172 pg. (IOUSP, M.Sc., Oceanografia Física, 2009) Dissertação - Universidade de São Paulo.

Silva, L.C.F., C.A.F. Albuquerque, W.W. Cavalheiro, C.M.P. Hansen, 1982: Gabarito tentativo para as massas de água da costa sudeste brasileira. Separata dos Anais Hidrográficos - Tomo XLI. 30p.

Stech, J. L., and J. A. Lorenzetti (1992), The Response of The South Brazil Bight To The Passage of Wintertime Cold Fronts, J. Geophys. Res., 97(C6), 9507–9520, doi:10.1029/92JC00486.

Tolman. 2002g. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 222, 133 pp.

3. Modelagem Hidrodinâmica

O HYCOM é um modelo de circulação oceânica global, que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008). Esse modelo tem como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas, isto é, utiliza o sistema de coordenadas isopicnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras).

Utilizando esses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopicnal), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada z), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma). Desta forma, o HYCOM é basicamente um modelo em camadas isopicnais, que pode realizar uma transição suave para os sistemas de coordenadas z e sigma próximo aos contornos superiores e inferiores, ou quando a resolução vertical é inadequada (GABIOUX, 2008). Assim, o HYCOM combina as vantagens dos diferentes sistemas de coordenadas, simulando de forma otimizada as características da circulação oceânica e costeira, sendo atribuída ao usuário a determinação das zonas de transição entre os sistemas de coordenadas (CHASSIGNET *et al.*, 2003). A Figura 77 e a Figura 78 ilustram a estrutura híbrida do modelo.

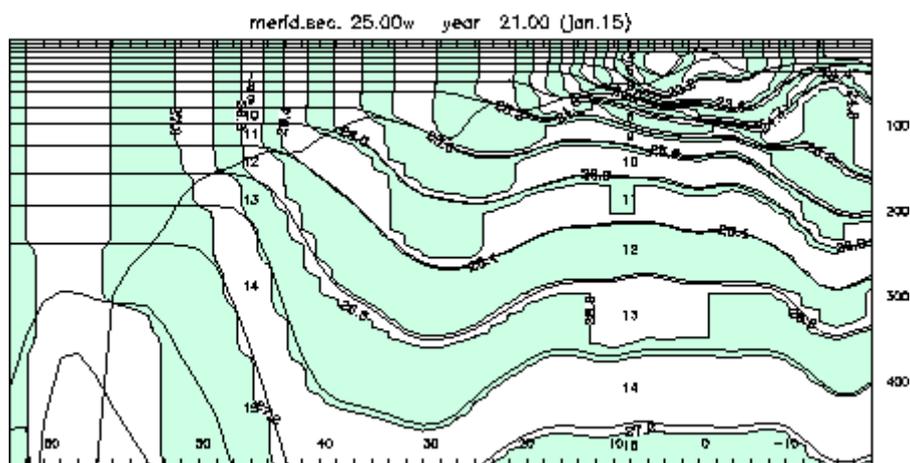


Figura 77: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: <http://hycom.rsmas.miami.edu/hycom-model/overview.html>

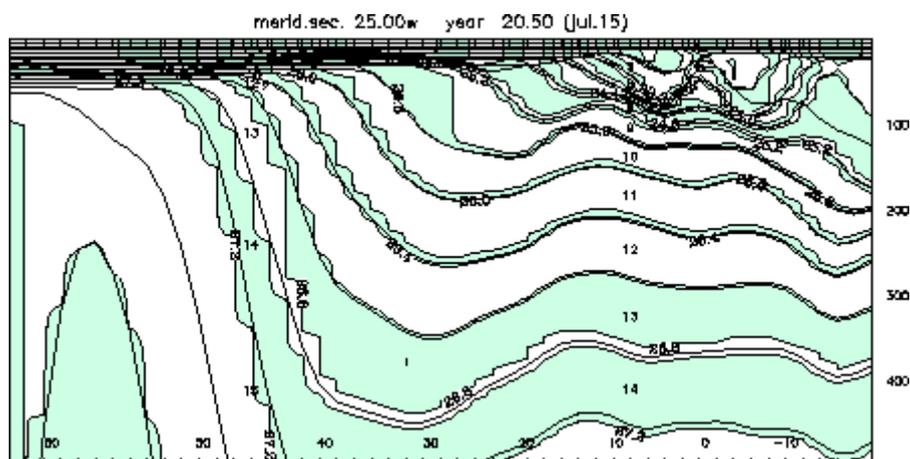


Figura 78: Seção meridional do HYCOM na longitude de 25° W, na porção leste do Atlântico Norte. Área sombreada: densidade. Linhas finas: interfaces das camadas. Linha grossa: profundidade da camada de mistura. Fonte: <http://hycom.rsmas.miami.edu/hycom-model/overview.html>

A utilização de modelos globais oceânicos, como o HYCOM, com o objetivo de simular o transporte de óleo na Bacia Oceânica Sudeste/Sul do Brasil era até pouco tempo uma opção inviável, em virtude da baixa resolução espacial e temporal desse tipo de modelo. O aumento da capacidade computacional fez com que essa limitação fosse sendo minimizada, e atualmente existem diversos modelos globais com alta resolução, que desta forma são capazes de resolver as feições de mesoescala, responsáveis pela maior parte da energia da circulação oceânica. Além disso, os modelos globais não necessitam da imposição de condições de contorno em fronteiras abertas, uma das maiores fontes de problemas em se tratando de modelagem numérica geofísica. Somado a isso, os modelos globais contam, em geral, com sistemas robustos de assimilação de dados, o que possibilita que as simulações sejam realizadas por longos períodos, sem que haja grande divergência em relação à realidade. Diante disso, optou-se por utilizar os dados do HYCOM nesta simulação.

Embora seja verificada a ausência da maré astronômica nas condições de contorno do HYCOM, as correntes de maré na região de estudo (costa sudeste/sul do Brasil) apresentam energia desprezível em relação às demais forçantes, mesmo em locais abertos muito próximos à costa, como as praias. Esse fato é demonstrado através da análise das velocidades obtidas dos derivadores 12 e 13 do Projeto MondoCorcovado (<http://mondocorcovado.proocean.com.br>), que durante cerca de dois meses e meio derivaram a menos de 10 km da costa, conforme a Figura 79. Ao realizar o espectro de energia das velocidades (utilizando apenas a parte das trajetórias onde os derivadores já se encontram sobre a plataforma - Figura 80), nota-se que a energia da banda de frequência da maré (entre 12 e 24 horas) apresenta valores insignificantes em relação à baixa frequência. O espectro foi calculado através da transformada rápida de

Fourier (FFT – *Fast Fourier Transform*), sem a utilização de filtros ou alisamentos. O pico correspondente à maré semi-diurna, por exemplo, contém apenas 3,5% da energia contida no pico de cerca de 6 dias, associado às forçantes atmosféricas. As correntes de maré serão apenas significativas no interior de baías como a Baía de Guanabara, Ilha Grande e Paranaguá, por exemplo.

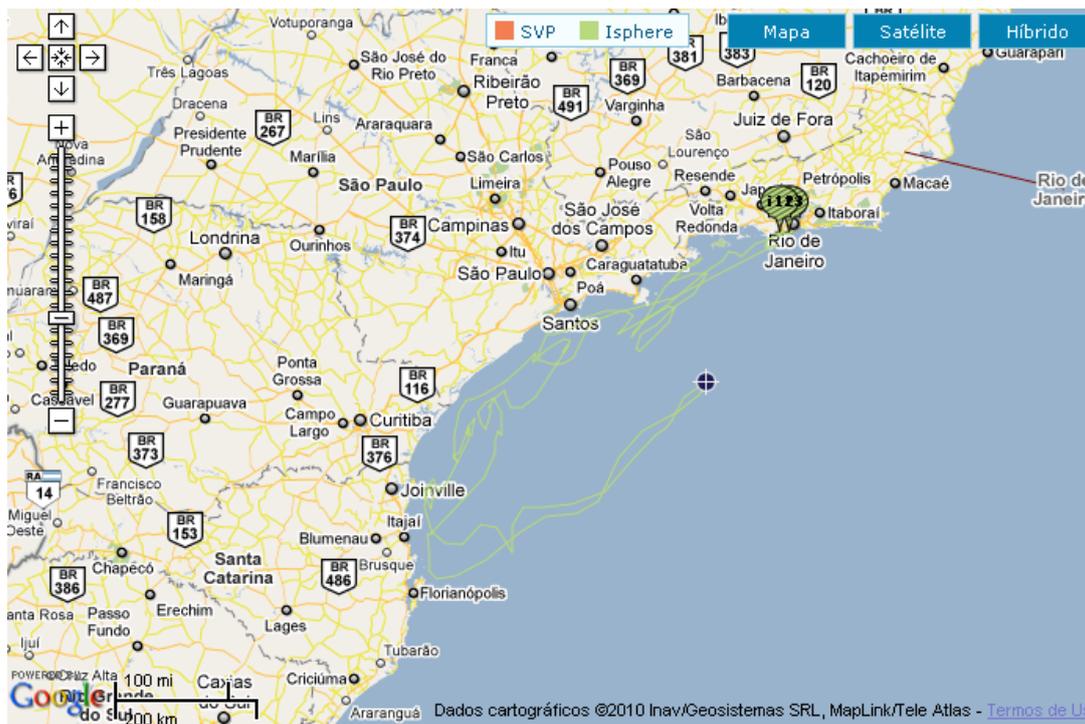


Figura 79: Trajetórias dos derivadores i12 e i13, lançados no Projeto MondoCorcovado (mondocorcovado.prooceano.com.br).

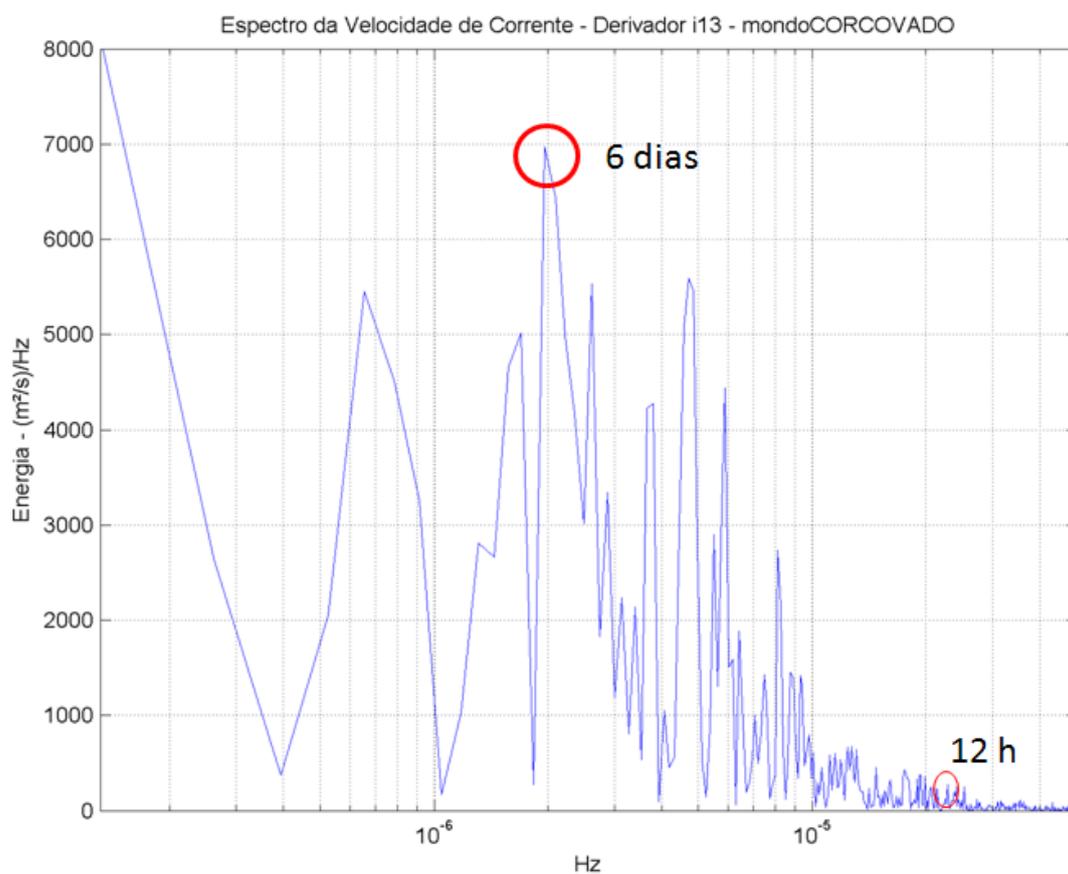


Figura 80: Espectro da velocidade de corrente.

Para avaliar os efeitos da maré, também foram utilizados dados de correntes obtidos de uma campanha de medição realizada pela empresa PROOCEANO entre 8 de setembro e 25 de novembro de 2005. As medições foram realizadas em um fundeio posicionado em $23^{\circ} 15' 03,54''$ S e $44^{\circ} 12' 10,14''$ W (Figura 81), em região com lâmina d'água de aproximadamente 50 m. Esta campanha teve como objetivo caracterizar o comportamento hidrodinâmico da região.

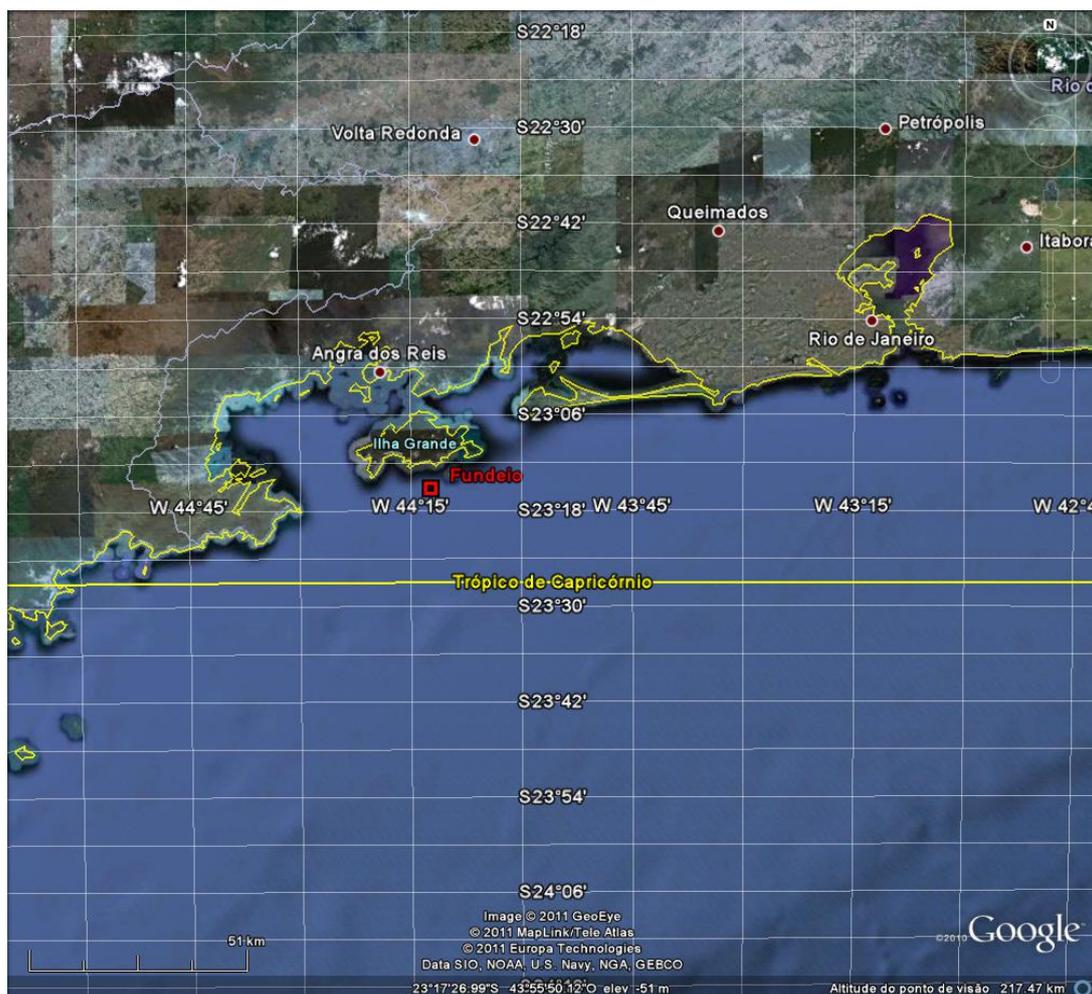


Figura 81: Local de medição das correntes.

Os dados de correntes foram obtidos nessa campanha, em duas profundidades (10 m e 40 m), com o uso de correntômetro da marca *Sensordata*, modelo SD-6000. Este equipamento registra os valores de velocidade e direção de correntes e temperatura da água, em intervalos regulares de amostragem, podendo realizar medições em até 500 m de profundidade.

O equipamento permite a medição de velocidades de corrente de até 8 m/s, com resolução de 0,005 m/s, e valores de temperatura variando entre -2° C a 32° C, com autonomia para até 6000 registros. O correntômetro foi posicionado a 10 m abaixo da superfície, realizando medições a cada 30 min. As séries temporais obtidas para as componentes zonais e meridionais das correntes podem ser observadas na Figura 82.

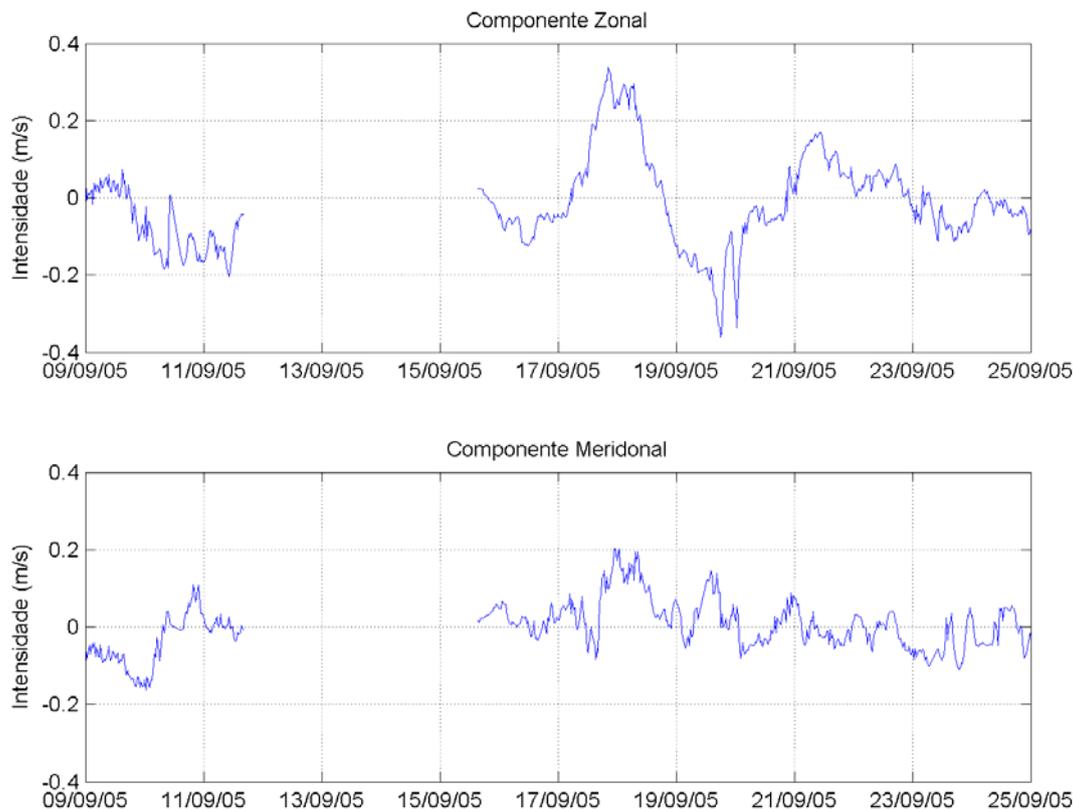


Figura 82: Série temporal da componente zonal e meridional das correntes.

Para verificar a influência da maré foi feito um espectro de energia das componentes da corrente medida no fundeio mais superficial. Neste, pretende-se observar quais são as frequências (ou períodos) responsáveis pela maior parte da energia das correntes. Embora seja recomendada a utilização de uma série temporal mais longa para avaliar as oscilações no ciclo de maré, o período que constitui a série avaliada corresponde à transição do ápice da maré de sizígia (lua nova em 17/09) até o meio da quadratura (quarto - minguante 25/09) abrangendo assim, os dois cenários possíveis de maré. Na Figura 83, observa-se que a maior parcela da energia da componente meridional da corrente (v) está associada à frequência de 0,008 ciclos por hora (ou 125 horas de período). Esse é o período correspondente ao período de oscilação presente na circulação atmosférica da região, como as passagens de sistemas frontais, ou seja, o período em que os ventos variam entre E/NE e S/SW.

Já para a componente zonal (u), a maior parte da energia encontra-se na banda de frequência correspondente aos períodos entre 20 e 30 horas e comparando-se com a energia total presente na componente v , possui uma ordem de grandeza inferior. Nessa faixa de períodos estão presentes três fenômenos principais; a oscilação inercial, o efeito de brisa e a componente

diurna da maré. Como a maré na região é a semi-diurna e não há energia significativa no período de 12 horas (~0,08 ciclos por hora) em nenhuma das duas componentes (u e v), demonstra-se que a maré não exerce papel de significativa importância nas correntes.

Pode-se inferir então que a componente v da corrente nessa região possui a maior parte da energia das correntes que é mais influenciada pelas passagens de frentes frias, enquanto os a componente u possui menor energia e sofre maior influência dos fenômenos com períodos próximos ao diurno, provavelmente associada à oscilação inercial e à brisa marinha. Portanto, baseado nesses dados e nos anteriormente apresentados (de derivadores) conclui-se que a influência da maré pode ser considerada desprezível em relação aos demais forçantes na geração das correntes no local.

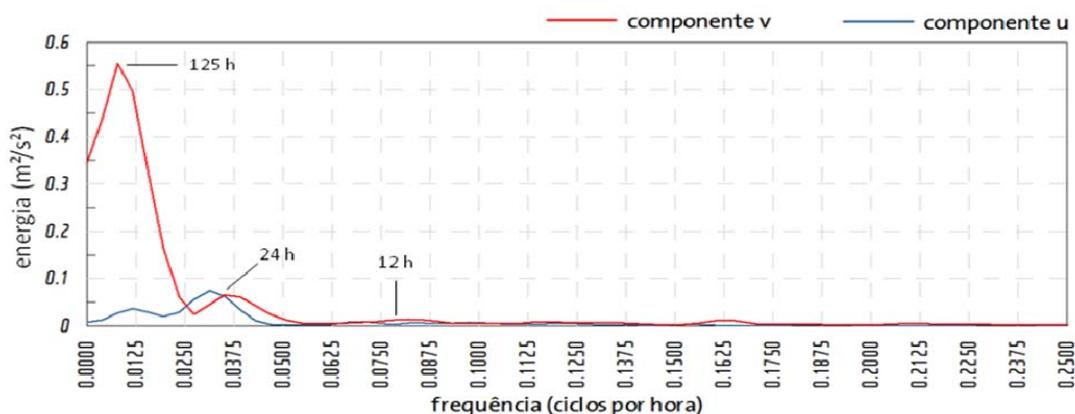


Figura 83: Espectro de Energia das Componentes Zonal e Meridional de Corrente.

3.1. Equações Governantes

O HYCOM é um modelo de equações primitivas contendo 5 equações prognósticas – duas para as componentes horizontais de velocidade, uma equação de continuidade de massa ou tendência de espessura da camada, e duas equações para o par de variáveis termodinâmicas, como temperatura e salinidade ou densidade e salinidade. As equações do modelo podem ser descritas em coordenadas (x,y,s), onde s é a coordenada vertical não especificada, na forma de (BLECK, 2002):

$$\frac{\Delta v}{\Delta t_s} + \nabla_s \frac{v^2}{2} + (\zeta + f)k \times v + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right) \frac{\partial v}{\partial p} + \nabla_s M - p \nabla_s \alpha \quad (2)$$

$$= -g \frac{\partial \tau}{\partial p} + \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right)^{-1} \nabla_s \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \nabla_s v \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right) + \nabla_s \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \left(\frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) + \nabla_s \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) + \frac{\partial}{\partial s} \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right) = \nabla_s \left(v \frac{\partial p}{\partial s} \nabla_s \theta \right) + H_\theta \quad (5)$$

Onde $v=(U, V)$ é o vetor velocidade horizontal, p é a pressão, θ representa as variáveis termodinâmicas, α é o volume específico potencial, ζ é a vorticidade relativa, M é o potencial de Montgomery, f é o parâmetro de Coriolis, k é o vetor vertical unitário, V é o coeficiente variável de viscosidade/difusividade, τ é o vetor de estresse de cisalhamento induzido pelo vento ou pelo fundo e H_θ representa o somatório dos termos fonte diabáticos, incluindo a mistura diapicnal, que atua em θ . Os subscritos indicam quais variáveis permanecem constantes durante a diferenciação parcial (BLECK, 2002).

Após integração vertical sobre uma camada coordenada, limitada pelas duas superfícies S_{sup} e S_{inf} (superfície, fundo do mar e todos os limites de camadas são superfícies S), a equação de continuidade (II-2) se torna equação prognóstica para o peso da camada por unidade de área, $\Delta p = p_{inf} - p_{sup}$ (BLECK, 2002):

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \Delta p + \nabla_s \cdot (v \Delta p) + \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)_{inf} - \left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)_{sup} = 0 \quad (6)$$

O termo $\left(\dot{s} \frac{\partial p}{\partial s} \right)$ representa o fluxo vertical de massa por uma superfície S.

A multiplicação de (1) por $(\partial p / \partial s)$ e integração no intervalo (S_{sup}, S_{inf}) , seguida pela divisão por $(\Delta p / \Delta s)$, modifica o termo de estresse de cisalhamento nesta equação para (BLECK, 2002):

$$\frac{g}{\Delta p} (\tau_{sup} - \tau_{inf}) \quad (7)$$

Enquanto o termo de mistura lateral de momentum é integrado para:

$$(\Delta p)^{-1} \nabla_s \cdot (v \Delta p \nabla_s v) \quad (8)$$

Estresses induzidos pelo vento e pelo fundo são admitidos como linearmente variáveis sobre determinado intervalo de profundidade, geralmente da ordem 10 m (BLECK, 2002).

A equação (II-4) expressa em camadas integradas é da forma de:

$$\frac{\partial}{\partial t_s} \theta \Delta p + \nabla_s \cdot (v \theta \Delta p) + \left(s \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right)_{inf} - \left(s \frac{\partial p}{\partial s} \theta \right)_{sup} = \nabla_s \cdot (v \Delta p \nabla_s \theta) + H_\theta \quad (9)$$

O sistema de equações prognósticas é complementado por equações diagnósticas, que incluem:

A equação hidrostática: $\partial M / \partial \alpha = p$;

Uma equação de estado relacionando salinidade, temperatura e pressão à α^{-1} , e

Uma equação descrevendo o fluxo vertical de massa sobre uma superfície S: $\partial p / \partial s$

Esta última equação controla o espaçamento e o movimento das interfaces de camadas, sendo a essência da modelagem com coordenadas híbridas (BLECK, 2002).

3.2. Características da Simulação

Foi utilizada uma simulação para o oceano global, com o HYCOM 2.2 como modelo dinâmico. Os cálculos foram feitos para uma grade gerada na projeção de Mercator entre 78° S e 47° N (resolução de 1/12° no equador). Para regiões acima de 47° N é usada uma grade bipolar. A grade global tem dimensões horizontais de 4500 (longitude) x 3298 (latitude) pontos de grade, resultando num espaçamento médio de ~7 km. Apresenta 32 camadas verticais e a batimetria é derivada de uma base de dados qualificados NRL DBDB2. As forçantes superficiais são obtidas do NOGAPS (*Navy Operational Global Atmospheric Prediction System*) e incluem o cisalhamento do vento, velocidade do vento, fluxo de calor e precipitação.

Essa simulação utiliza o sistema para assimilação de dados NCODA (*Navy Coupled Ocean Data Assimilation*). Este sistema usa uma modelagem de previsão como partida em um esquema multi variável de interpolação ótima, que assimila observações de altimetria por satélites (pela trajetória obtida pelo NAVOCEANO *Altimeter Data Fusion Center*), temperatura da superfície do mar (*in-situ* e por satélites), assim como perfis de temperatura e salinidade obtidos por XBTs, flutuadores Argo e outras plataformas.

Esse *hindcast* foi conduzido para o período compreendido entre novembro de 2003 até os dias atuais, e seus resultados estão disponíveis via OPeNDAP no endereço: http://hycom.coaps.fsu.edu/thredds/dodsC/glb_analysis.html. Esses arquivos contêm a saída diagnóstica nos níveis de profundidade da base Levitus para várias variáveis, incluindo: correntes, temperatura e salinidade.

Para as simulações de dispersão de óleo apresentadas foram utilizados dados das componentes zonais (u) e meridionais (v) das velocidades das correntes. Os dados foram baixados na área compreendida entre as longitudes de 34° e 62°W, e as latitudes 16° e 40°S, com um total de 121.446 pontos, simulados para os anos entre 2005 e 2010 (6 anos). Os limites da grade hidrodinâmica utilizada são apresentados na Figura 84.

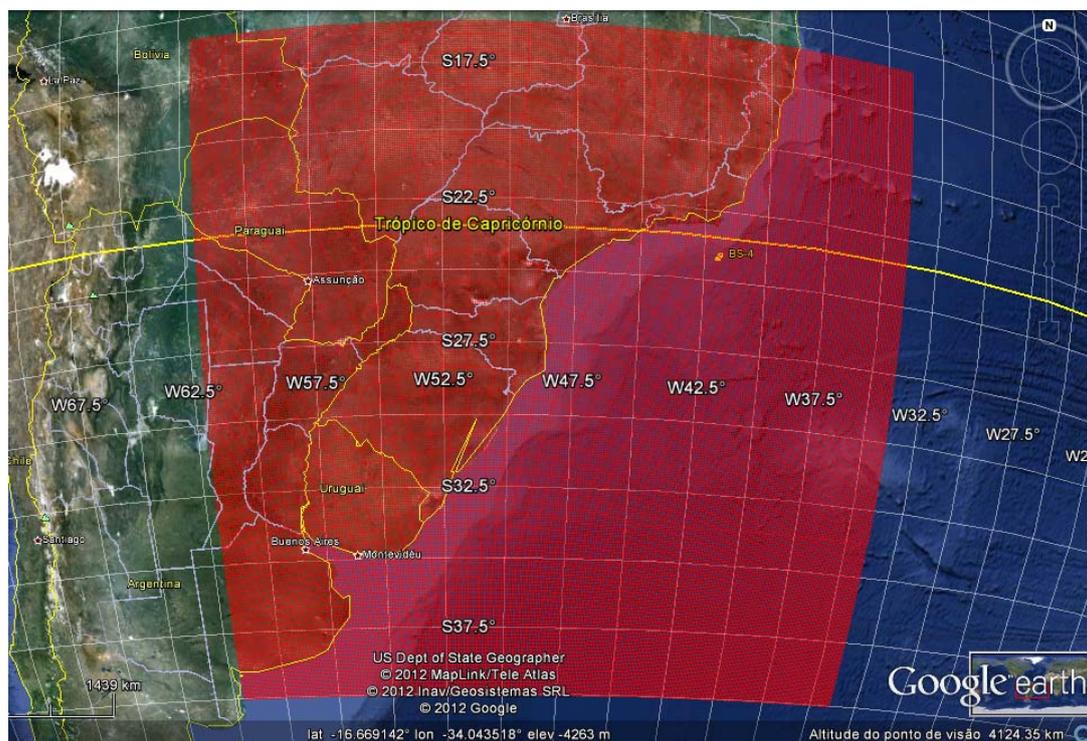


Figura 84: Exemplo da grade hidrodinâmica do HYCOM utilizada para forçar o modelo de óleo.

Os campos médios de circulação obtidos das simulações do HYCOM, para o período de verão e inverno, são apresentados na Figura 85 e na Figura 86.

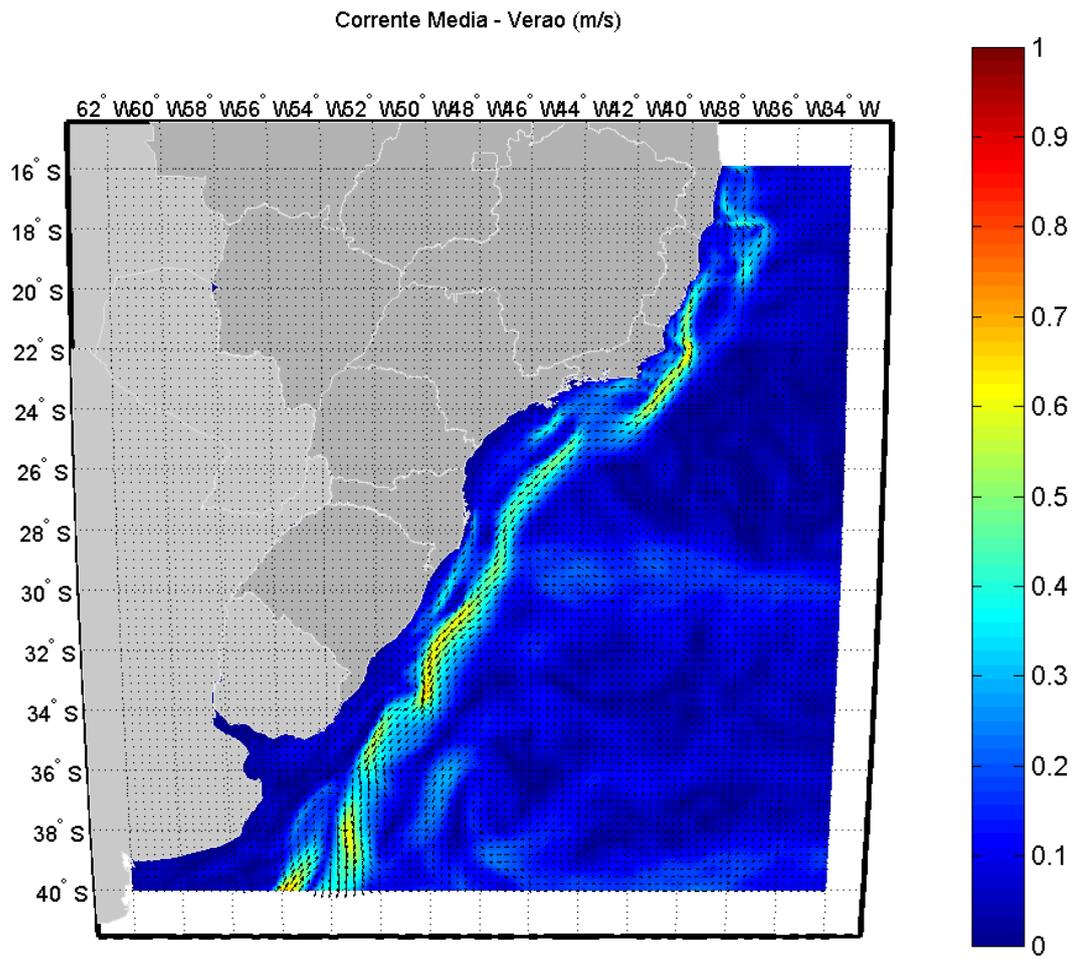


Figura 85: Campo médio das simulações do HYCOM para o período de verão.

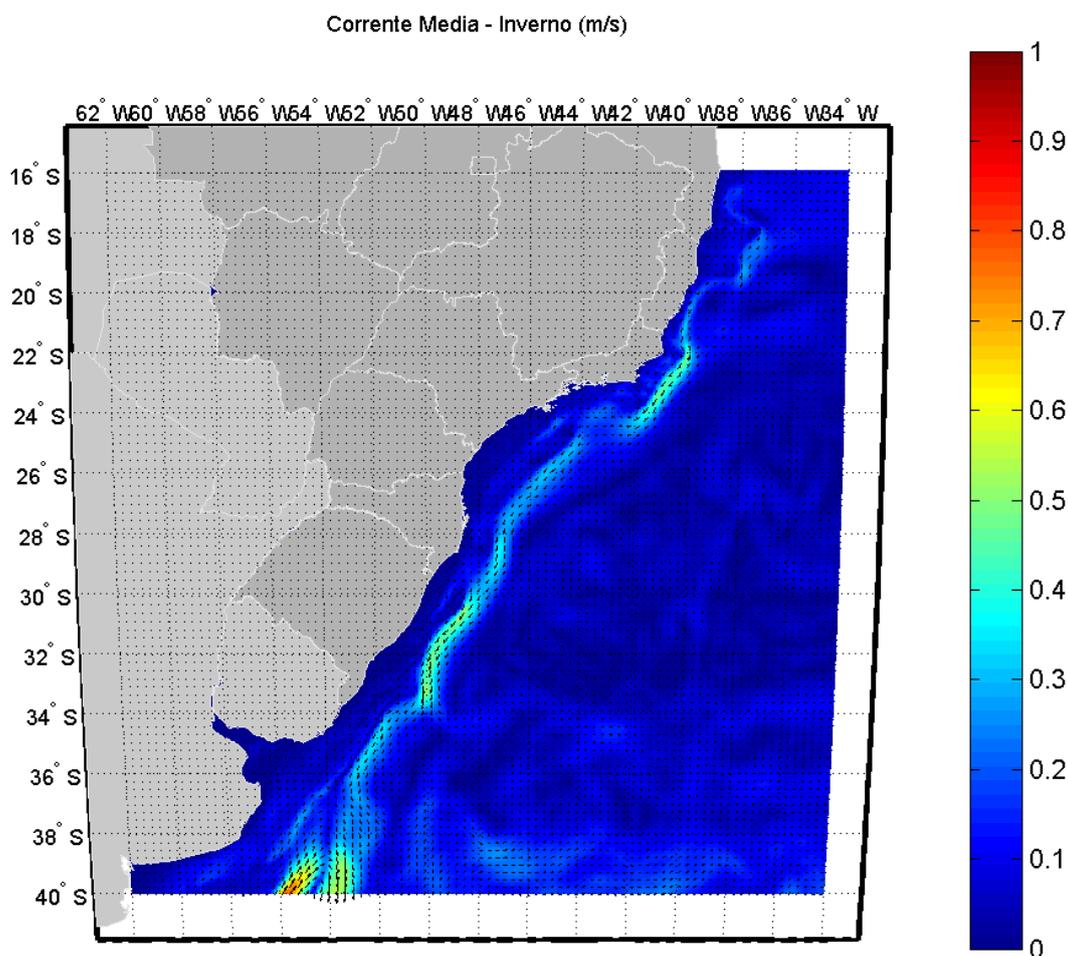


Figura 86: Campo médio das simulações do HYCOM para o período de inverno.

3.3. Avaliação do Modelo

Para que possamos saber se o comportamento do sistema de previsão é suficientemente compatível com o “sistema real” é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o “real” e o simulado.

A nomenclatura contemporânea para tal estudo é “avaliação”. Embora possa parecer um rótulo de pouca importância, os termos anteriormente utilizados para tal fim, sempre foram controversos. A primeira nomenclatura “validação” foi substituída por “comparação histórica”, a qual foi complementada com o termo “garantia de qualidade”. A dificuldade em se definir um termo reside no fato de que as palavras “validação” e “garantia” trazem em si uma expectativa

de positivo e negativo em relação aos resultados. O modelo poderia ser somente válido ou não válido, garantido ou não garantido. Nesse sentido, o termo “avaliação” torna-se mais adequado, uma vez que é neutro e pode abarcar uma gama maior de definições em termos de qualificação do modelo ou sistema (BECK, 2002).

Em essência, são duas as principais perguntas que devem ser respondidas quando se avalia um modelo ou sistema:

1. O modelo foi construído com materiais aprovados, i.e. as hipóteses constituintes são consagradas e adequadas?
2. O seu comportamento se aproxima bem do observado com respeito ao “mundo real”?

A primeira pergunta pode ser respondida com o grande número de artigos publicados em revistas internacionais utilizando o HYCOM para estudos de circulação oceânica (SHAJI *et al.*, 2005; KARA *et al.*, 2005; KELLY *et al.*, 2007; CHANG *et al.*, 2008).

Para responder a esta segunda questão a PROOCEANO simulou, utilizando os resultados de corrente do HYCOM, os lançamentos dos derivadores SVP's dos projetos mondoENI (<http://mondo.prooceano.com.br/>), mondoCORCOVADO (<http://mondocorcovado.prooceano.com.br/>) e mondoOGX (<http://mondoogx.prooceano.com.br/>). Vale lembrar que derivadores do tipo SVP são aqueles que foram desenhados para “sentir” somente o efeito das correntes superficiais, e seus dados são classificados como lagrangeanos, ou seja, atuam como uma parcela demarcada do fluido em função do tempo.

Na Tabela 24, são apresentadas informações referentes aos derivadores dos distintos projetos utilizados.

Para simular o comportamento de partículas virtuais sobre os resultados do HYCOM, foram realizadas 100 simulações com 10 partículas cada uma, para o mesmo período de lançamento de derivadores de cada projeto. As simulações foram finalizadas após 60 dias do lançamento das partículas.

Ressalta-se, entretanto, que comparações diretas entre modelos numéricos e observações lagrangeanas são difíceis de serem realizadas, já que a física dos modelos e os dados utilizados na modelagem (batimetria, forçantes externas e parametrizações sub-grade) não são idênticos à realidade. É fato que a comparação entre modelos numéricos e dados lagrangeanos deve ser realizada somente em termos estatísticos (CHU *et al.*, 2004). Desta forma, optamos por realizar uma comparação probabilística entre os dados dos projetos de monitoramento por derivadores e os numéricos, simulados com uso do HYCOM. Além disso, também foram feitas comparações

com dados de temperatura da superfície do mar (TSM) do Programa OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*).

Tabela 24: Informações sobre os projetos de monitoramento por derivadores utilizados.

Projeto	Pto. de Lançamento	Data Inicial	Data Final	Nº de derivadores
mondoENI	24,4276°S 43,7931°W	20/09/2007	13/11/2007	36
mondoCORCOVADO	24,944°S; 44,445°W	26/01/2009	16/10/2009	11
mondoOGX (Bacia de Campos)	23,033°S 41,05°W	04/03/2011	05/12/2011	20
mondoOGX (Bacia de Santos)	24°S 44°W	02/03/2011	31/12/2011	19

De forma a manter o padrão proposto para o tempo total de simulação das partículas do HYCOM, ressalta-se que os dados dos derivadores também foram limitados aos primeiros 60 dias no mar.

Da Figura 87 a Figura 90, são apresentadas as trajetórias dos derivadores sobrepostas às obtidas pela simulação numérica. São também apresentados os mapas de probabilidade de presença dessas partículas e os obtidos pelos derivadores.

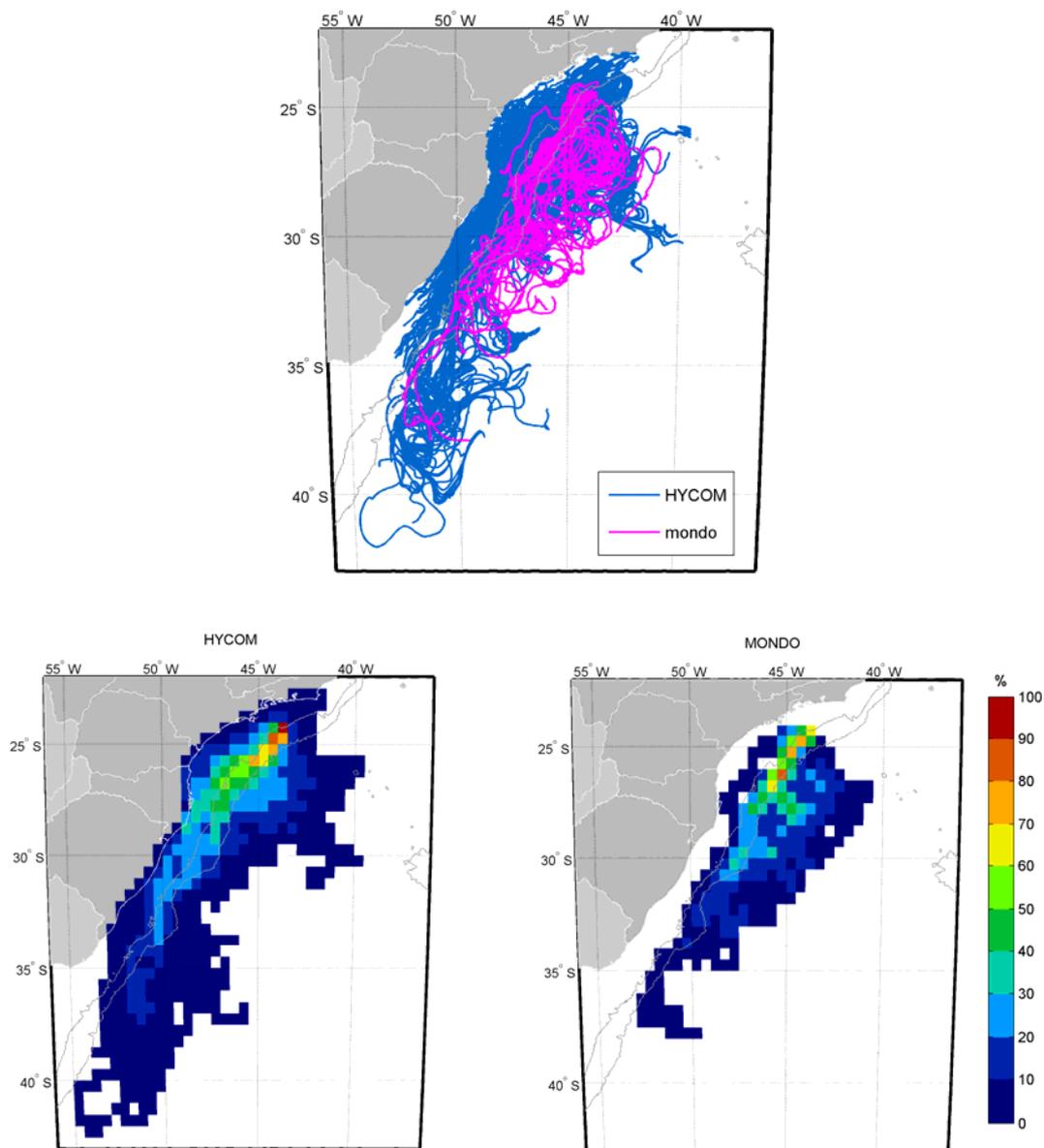


Figura 87: Trajetórias dos derivadores do Projeto MONDO e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto MONDO (painel inferior à direita).

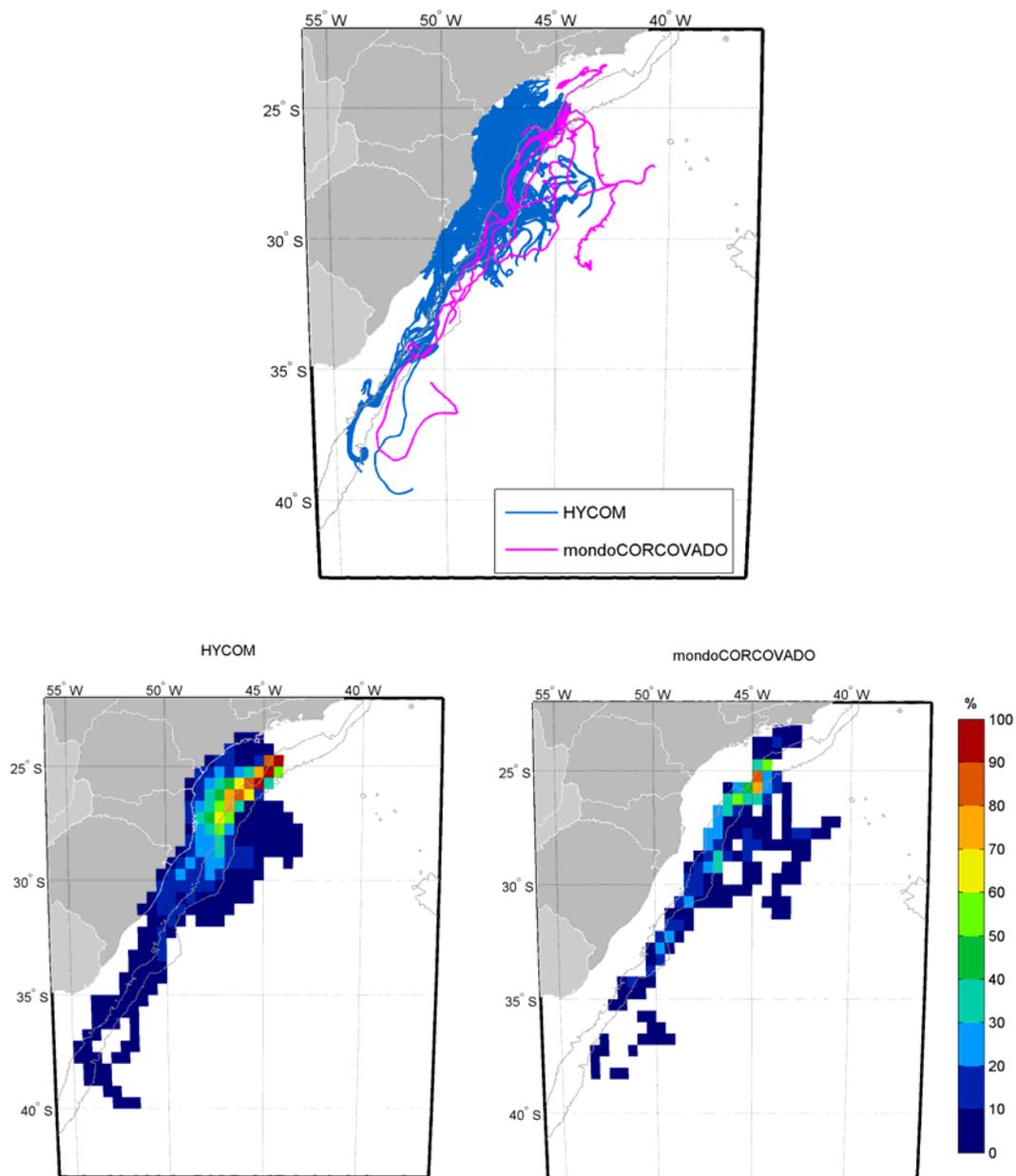


Figura 88: Trajetórias dos derivadores do Projeto mondoCORCOVADO e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto mondoCORCOVADO (painel inferior à direita).

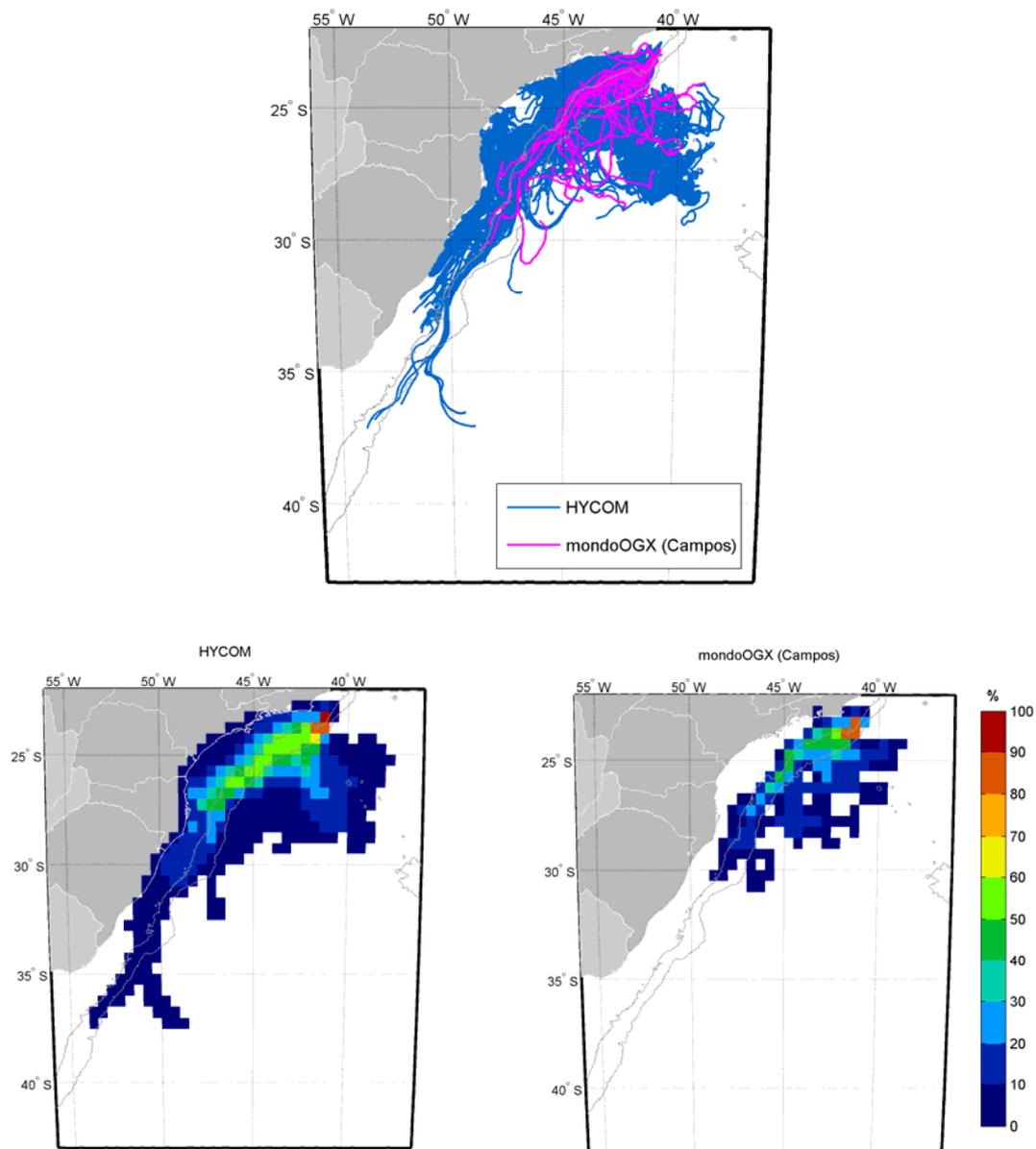


Figura 89: Trajetórias dos derivadores do Projeto mondoOGX Campos e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto mondoOGX Campos (painel inferior à direita).

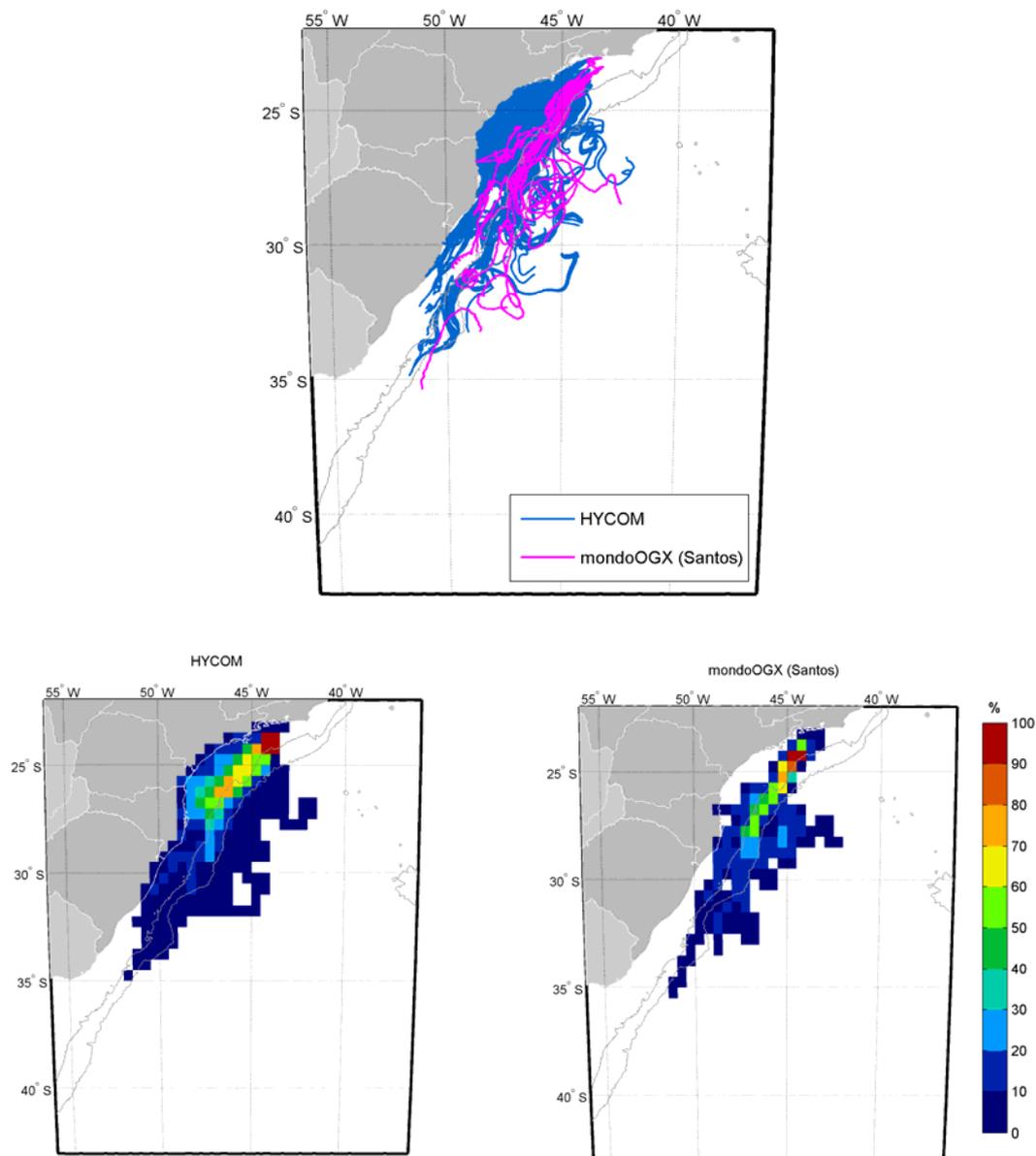


Figura 90: Trajetórias dos derivadores do Projeto mondoOGX Santos e trajetórias das partículas simuladas a partir dos resultados do HYCOM (painel superior). Mapas de probabilidade de presença das partículas simuladas (painel inferior à esquerda) e obtidos pelos derivadores do Projeto mondoOGX Santos (painel inferior à direita).

Observa-se que os conjuntos de trajetórias e os mapas de probabilidade de presença de óleo possuem padrão semelhante, em termos de extensão, tanto em latitude, quanto em longitude. As feições oceânicas como a Corrente do Brasil e os vórtices de mesoescala estão representados nos dois conjuntos de forma similar, como pode ser notado na maior densidade

de trajetórias sobre a quebra da plataforma e nos padrões circulares de várias trajetórias de ambos os conjuntos.

Nota-se também que as simulações conduzidas pelo modelo numérico apresentaram resultados próximos aos verificados com os derivadores, principalmente nas regiões com altas probabilidades. No entanto, os mapas elaborados com os resultados do HYCOM apresentam maiores probabilidades de presença em regiões mais próximas à costa.

A última comparação realizada, desta vez tem como foco a circulação costeira da plataforma SE/S do Brasil. O objetivo desta comparação é avaliar quão bem o HYCOM reproduz a Corrente Costeira do Brasil, descrita pela primeira vez em Souza & Robinson (2004). Essa corrente exerce importante influência na circulação costeira na plataforma SE/S do Brasil, principalmente durante os meses de inverno e primavera. Trata-se de um fluxo confinado entre a Plataforma interna e a costa com sentido sul/norte, que atinge toda a costa Sul do Brasil, podendo chegar até a costa do Rio de Janeiro. Souza & Robinson (2004) utilizaram como traçador do limite do fluxo da CCB, a isoterma de 20°C e determinaram sua posição na costa ao longo do tempo, através da análise de dados obtidos por derivadores.

Santos *et al.* (2011) determinou a posição da CCB (isoterma de 20°C) com dados de TSM do Programa *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis - OSTIA* (http://ghrsst-pp.metoffice.com/pages/latest_analysis/ostia.html), dados de TSM do HYCOM, e os comparou com os resultados obtidos por Souza e Robinson (2004). O produto OSTIA abrange todo o globo, possui alta resolução (~6 km) e é oferecido diariamente, sendo resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e micro-ondas, além de dados *in situ* por meio de processo de Análise Objetiva. Este produto tem oferecido dados acurados de TSM, com um erro médio quadrático menor que 0,6°C, em alta resolução e disponibilizados em tempo quase real (STARK *et al.* 2007). A Figura 91 mostra os resultados obtidos por Santos *et al.* (2011).

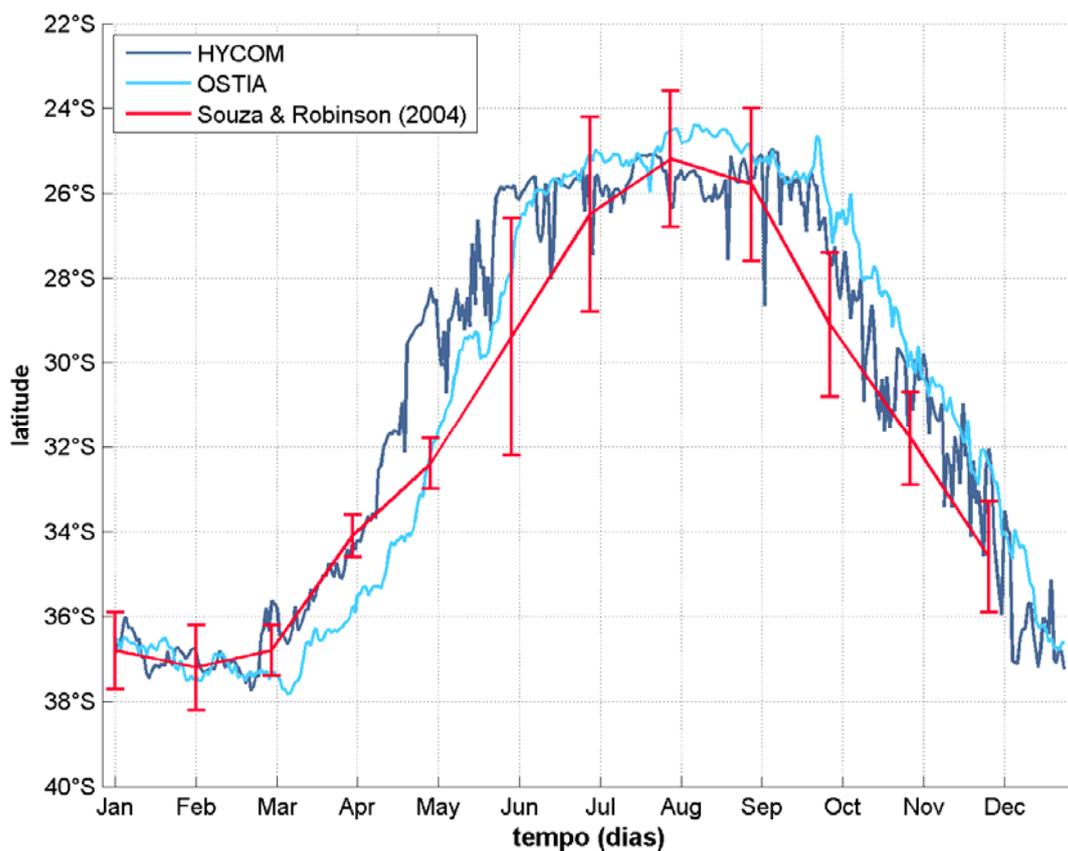


Figura 91: Limite norte da isoterma de 20° C a partir de dados do produto OSTIA, do HYCOM e dos resultados de Souza e Robinson (2004). Fonte: Santos *et al.* (2011).

Pode-se observar que o comportamento das curvas é bastante semelhante nas três bases de dados analisadas, indicando que o HYCOM é capaz de reproduzir esse fluxo de maneira satisfatória em seus resultados.

Em síntese, podemos concluir que a avaliação realizada mostra que os resultados do HYCOM reproduzem de forma satisfatória a dinâmica de maior escala (como a Corrente do Brasil), as feições de mesoescala (como vórtices e meandros) e também a circulação costeira e de plataforma.

4. Modelagem de Dispersão de Óleo

4.1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar para cenários acidentais de vazamento a partir de duas localidades, poços Piapara e Eoceno, localizadas no Bloco BS-4, Baía de Santos. A localização dos poços Piapara e Eoceno, cujas coordenadas geográficas são 24°05'39,6679"S e 41°50'39,8367"W e 24°06'38,928"S e 41°52'8,655"W, respectivamente, são apresentadas na Figura 92.



Figura 92: Localização dos pontos de vazamento, em relação ao bloco do BS-4 (área em amarelo).

Foram considerados três possíveis casos de vazamentos acidentais para cada localização. O montante de óleo relacionado a cada caso é:

- » Pequeno porte - 8 m³;
- » Médio Porte - 200 m³;
- » Pior caso (maior volume):
 - » Localização Piapara: 149.220 m³;

» Locação Eoceno: 2.280 m³.

Esses volumes simulados estão em concordância com a resolução CONAMA n° 398/2008, que dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.

O volume de pior caso é baseado na associação da capacidade de produção diária do poço, estimada em 4.974 m³/dia, para a locação Piapara, e 76 m³/dia, para a locação Eoceno, com a perda de controle do poço, 30 dias de vazamento.

Segundo informações da contratante, essas taxas de descarga de pior caso, de 4.974 m³/dia e 76 m³/dia, são baseadas em estudos de simulação computacional para o Teste de Longa Duração do Campo de Piapara e de Atlanta, respectivamente. A situação contemplada no estudo foi a ocorrência da ruptura da Árvore de Natal Molhada (primeira barreira de segurança) e, ao mesmo tempo, sem haver o fechamento do DHSV (*down hole safety valve* – segunda barreira de segurança). Devido às características de reservatório, dos fluidos produzidos e da lâmina d'água, a vazão de óleo vazado para o mar não deverá ocorrer em valor significativamente alto.

Com isso, para os poços em produção, a simulação mostra que as vazão máxima de óleo a ser derramado no mar seria cerca de 4.974 m³/dia (49.000 bpd), para o Campo de Piapara, e 76 m³/dia (480 bpd), para o Campo de Atlanta e, que durante a perfuração, a situação pode ser considerada de maneira análoga.

No estudo de dispersão de óleo, dois tipos de simulações serão conduzidos no estudo: probabilísticas e determinísticas. Na Tabela 25 e Tabela 26 são apresentados os resumos dos cenários simulados para a locação Piapara e Eoceno, respectivamente.

Tabela 25: Resumo dos cenários de vazamento simulados na locação Piapara.

Modelo	Volume Total (m³)	Vazamento	Tempo
Probabilístico			
Pequeno Porte	8	instantâneo	30 dias
Médio Porte	200	instantâneo	30 dias
Pior Caso	149.220	contínuo (30 dias)	60 dias
Determinístico			
Crítico	149.220	contínuo (30 dias)	60 dias
Meteoceanográfica frequente	149.220	contínuo (30 dias)	60 dias

Tabela 26: Resumo dos cenários de vazamento simulados na locação Eoceno.

Modelo	Volume Total (m³)	Vazamento	Tempo
Probabilístico			
Pequeno Porte	8	instantâneo	30 dias
Médio Porte	200	instantâneo	30 dias
Pior Caso	2.280	contínuo (30 dias)	60 dias
Determinístico			
Crítico	2.280	contínuo (30 dias)	60 dias
Meteoceanográfica frequente	2.280	contínuo (30 dias)	60 dias

4.2. Metodologia

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), modelo desenvolvido pela SINTEF para o cálculo da dispersão de manchas de óleo. O OSCAR é capaz de avaliar a evolução de óleo na superfície da água, ao longo de costas, na coluna d'água e no sedimento. Os principais componentes do sistema OSCAR são um modelo de intemperismo, um modelo de trajetória em três dimensões e um modelo de combate a vazamentos acidentais (REED, 2001; REED *et. al* 2004).

Na Figura 93 é apresentado um esquema ilustrativo das três principais etapas no processo da simulação: os dados de entrada (características do vazamento e condições ambientais), os processos realizados em diferentes intervalos de tempo (intemperismo atuante no óleo) e os resultados (balanço de massa do óleo, distribuição geográfica e propriedades).

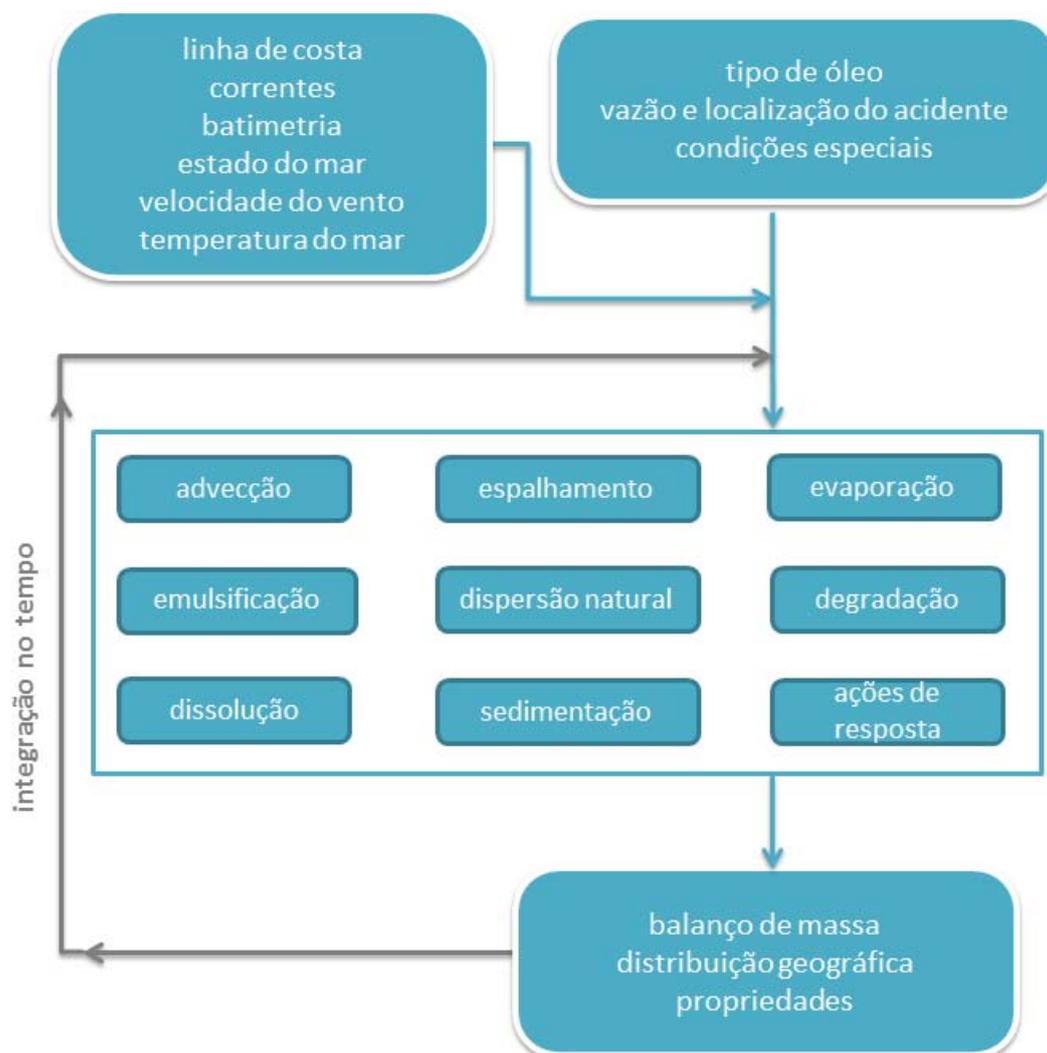


Figura 93: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).

Uma breve descrição dos processos físicos/químicos atuantes no óleo e de como eles são representados no modelo OSCAR, será apresentada a seguir, com base no relatório desenvolvido por Reed (2001).

4.2.1. Processos de Intemperismo

4.2.1.1. Advecção

A advecção é calculada a partir da soma de uma velocidade local média e de uma componente turbulenta de base aleatória. A velocidade local média é a soma das velocidades de correntes, ventos e a componente governada pela onda (Stokes) e a componente turbulenta (w') é expressa como:

$$w' = \sqrt{6K / \Delta t} \quad (10)$$

onde K é o coeficiente de dispersão turbulenta, estimado para as direções horizontais e verticais, e t o tempo.

O coeficiente de dispersão horizontal pode ser calculado a partir de dados aproximados de estudos de dispersão de traçadores (OKUBO (1971, 1974) *apud* REED, 2001; BOWDEN, 1983 *apud* REED, 2001):

$$K_x = 0,0027 t^{1,34} \quad (11)$$

para K em cm^2/s e t em segundos.

O coeficiente de difusão turbulenta acima da picnoclina relacionado às condições de onda, segundo Ichiye (1967 *apud* REED, 2001), é:

$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2Kz) \quad (12)$$

sendo H a altura de onda, T o período de onda e K o número de onda. Abaixo da profundidade da picnoclina, K_z é assumido como uma constante igual a 10^{-4} m/s^2 (KULLENBERG, 1984 *apud* REED, 2001). Na ausência da picnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

O deslocamento vertical das gotículas de óleo é calculado pela soma da velocidade turbulenta de base aleatória e uma velocidade vertical (subida ou descida). As velocidades verticais são calculadas usando a média harmônica de dois extremos, sendo o coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds (JOHANSEN, 2000):

$$w_{ascendente} = 1/(w_1^{-1} + w_2^{-1})$$

onde,

$$w_1 = d^2 g' / 18\nu, \text{ (para número de Reynolds } < 1000), \text{ e}$$

$$w_2 = \sqrt{3d / |g'|}, \text{ (para número de Reynolds } > 1000),$$

sendo $g' = g(\rho_\alpha - \rho_0) / \rho_\alpha$ onde g é a aceleração gravitacional e ν a viscosidade cinemática da água ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$).

O coeficiente de arrasto do vento na deriva superficial do óleo utilizada neste estudo foi 3% da intensidade do vento (REED *et al.*, 1994; WANG *et al.*, 2005; GUO *et al.*, 2009).

4.2.1.2. Espalhamento

O espalhamento do óleo na superfície do mar envolve diversas interações entre forças e processos, e alguns estudos (FAY, 1969, HOULT, 1972 e FANNELØP & WALDMAN, 1972) já mostraram que o espalhamento passivo do óleo ocorre devido às forças da gravidade, momento e viscosidade. Para a representação do espalhamento transversal de uma mancha de vazamento contínuo, é utilizada neste modelo uma equação unidimensional:

$$x_{LE} = C_0 \left(\frac{g \Delta \rho}{\rho_w^2} \right)^{1/4} \frac{m^{1/2}}{(\rho_w \mu_w)^{1/8}} t^{3/8} \quad (13)$$

onde x_{LE} é a largura da mancha de óleo (m), g é a aceleração da gravidade (m/s^2), $\Delta \rho$ é a diferença entre as densidades da água e do óleo (kg/m^3), ρ_w é a densidade da água (kg/m^3), μ_w é a viscosidade da água (cP), m é $1/2$ da taxa de liberação de massa dividido pela corrente superficial (kg/m) e C_0 é a constante de espalhamento.

Esta equação representa o regime de gravidade-viscosidade no processo de espalhamento e somente é utilizado para a parte espessa da mancha de óleo.

4.2.1.3. Evaporação

A taxa de evaporação é controlada pela pressão de vapor dos componentes individuais do óleo as suas frações molares em qualquer localização da mancha superficial, e calculada como. (MACKAY *et al.*, 1980; SEBASTIÃO & SOARES, 1995; REED *et al.*, 1999):

$$dm_i / dt = K_e P_i A M_i F_i / (RT) \quad (14)$$

onde m_i é a massa associada ao i -ésimo componente do vazamento; t é o tempo (s); K_e é o coeficiente de transferência de massa evaporada (m/s); T é a temperatura (K); P_i é a pressão de vapor para o i -ésimo componente (atm); A é a área da mancha de óleo (m²); M_i é o peso molecular da i -ésimo componente (g/mol); F_i é a fração molar do i -ésimo componente remanescente na mancha; e R é a constante universal do gases, $8,206 \times 10^{-5}$ atm-m³/mol-K.

O coeficiente de transferência de massa, K_e , depende do vento e é calculado por (AMOROCHO & DEVRIES, 1980 *apud* REED, 2001):

$$K_e = C_d U(t) \quad (15)$$

sendo C_d o coeficiente de atrito entre a atmosfera e o ar, e $U(t)$ a velocidade do vento (m/s). O coeficiente de arrasto C_d é calculado em função da velocidade do vento:

$$C_d = \left(\frac{U^*}{U(t)} \right)^2 \quad (16)$$

em que

$$U^* = CU(t), \text{ quando } U(t) < u_1$$

$$U^* = Cu_1 + (Du_2 - Cu_1) \frac{U(t) - u_1}{u_2 - u_1}, \text{ quando } u_1 \leq U(t) \leq u_2$$

$$U^* = DU(t), \text{ quando } U(t) > u_2$$

sendo C , D , u_1 e u_2 valores constantes (0,0323; 0,0474, 7 e 20, respectivamente).

4.2.1.4. Dispersão natural

A dispersão de óleo na superfície do mar é obtida por (DELVIGNE & SWEENEY, 1988):

$$Q_{di} = C^* D^{0,57} S F d_i^{0,7} \Delta d \quad (17)$$

onde Q_{di} é a taxa de dispersão por unidade de área das gotículas de óleo com diâmetros entre $(d_i - \Delta d)$ e $(d_i + \Delta d)$ ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$); C^* é um coeficiente de dispersão derivado empiricamente; D é a energia da onda dissipada por unidade de área (kg/s^2); S é a fração da superfície do oceano coberta por óleo; F é a fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo ($1/\text{s}$); d_i é o diâmetro médio das partículas na classe de tamanho i (m); e Δd é o intervalo do diâmetro das partículas (m).

O coeficiente empírico C^* é uma função da viscosidade do óleo:

$$C^* = 4450\nu^{-0,4} \quad (18)$$

onde ν é a viscosidade cinemática do óleo (m^2/s). A energia dissipada da quebra da onda D , é aproximadamente:

$$D = 0,0034\rho_w g H_b^2 \quad (19)$$

onde ρ_w é a densidade da água do mar (kg/m^3); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); e H_b é altura de quebra da onda (m). A fração F de superfície do oceano coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo é, aproximadamente:

$$F = 3 \cdot 10^{-6} U(t)^{3,5} \quad (20)$$

onde $U(t)$ é a velocidade do vento (m/s). O tamanho das partículas é dado por:

$$d_0 = \frac{C_0 \nu^{0,34}}{\sqrt{e}} \quad (21)$$

sendo ν é a viscosidade cinemática do óleo (m²/s); e é a taxa de dissipação de energia (geralmente 1000 J/m³s); C_0 é, aproximadamente, 500 para o menor tamanho de partícula e 3400 para o maior tamanho de partícula. As gotículas são divididas em intervalos entre os tamanhos, mínimo e máximo, encontrados.

4.2.1.5. Emulsificação

A emulsificação $W(t)$ é calculada a partir de uma regressão exponencial:

$$W(t + \Delta t) = W_m(t) - [W_m(t) - W(t)]0,5^{\frac{\Delta t}{t_{1/2}}} \quad (22)$$

onde $W_m(t)$ é o teor máximo de água (%); Δt é o passo de tempo (s); $t_{1/2}$ é o tempo de meia-vida dependente do vento para emulsificação (s).

O valor $t_{1/2}$ e a função $W_m(t)$ são derivados de dados de laboratório e, correlacionam a taxa de emulsificação e o teor máximo de água pela fração evaporada. A partir desses dados, a meia-vida de referência t_{ref} para um vento de 10 m/s de velocidade, é encontrada em:

$$t_{ref} = C t_{lab} \quad (23)$$

onde, t_{lab} é a média de valores de meia-vida encontrados em laboratório para amostras de óleo artificialmente intemperizados (s), e C é uma constante empírica. Esses dados são baseados no estudo de Cormack (1983 *apud* REED, 2001):

$$t_{1/2} = \left[\frac{1 + U_{ref}}{1 + U(t)} \right]^2 t_{ref} \quad (24)$$

onde U_{ref} , é de 10 (m/s), e $U(t)$ é a velocidade do vento (m/s). W_m como função da fração evaporada é obtida a partir de dados de laboratório, assumindo-se que a quantidade máxima de água é linearmente dependente da fração evaporada.

4.2.1.6. Dissolução

Como a evaporação, a dissolução, é dependente da fração molar de cada componente em uma mancha de óleo.

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad (25)$$

onde K_d é o coeficiente de transferência de massa por difusão (m/s); A é a área superficial da mancha de óleo (m²); F_i é a fração molar do componente i remanescente na mancha; S_i é a solubilidade do componente i (g/m³, ppm); e C_i é a concentração ambiente do componente i (g/m³).

Para uma mancha de óleo, o coeficiente de transferência de massa K_d é calculado (THIBODEAUX, 1979 *apud* REED, 2001):

$$K_d = Sh_i D_i / L \quad (26)$$

Para manchas na superfície, é feita a correlação de superfície plana para o Número de Sherwood:

$$Sh_i = 0,578 Re^{0,5} Sc_i^{0,33} \quad (27)$$

onde Re é o número de Reynolds; Sc_i é o número de Schmidt; U_{rel} é a velocidade relativa entre o óleo e a água (m/s); L é a extensão da mancha (m); ν_w é a viscosidade cinemática da água ($\sim 8,9 \times 10^{-7}$ m²/s a 25°C) e D_i a difusividade molecular do componente i (m²/s).

Para as partículas de óleo, a correlação da transferência de massa para esferas é usada para o número de Sherwood:

$$Sh = 2 + 0,347 Re^{0,62} Sc_i^{0,31i} \quad (28)$$

4.2.1.7. Degradação

O cálculo da degradação do óleo no modelo OSCAR é feita através da soma da transformação de cada componente do óleo por diferentes formas de degradação. A Figura 94 mostra o esquema de transformação dos componentes considerados no modelo OSCAR.

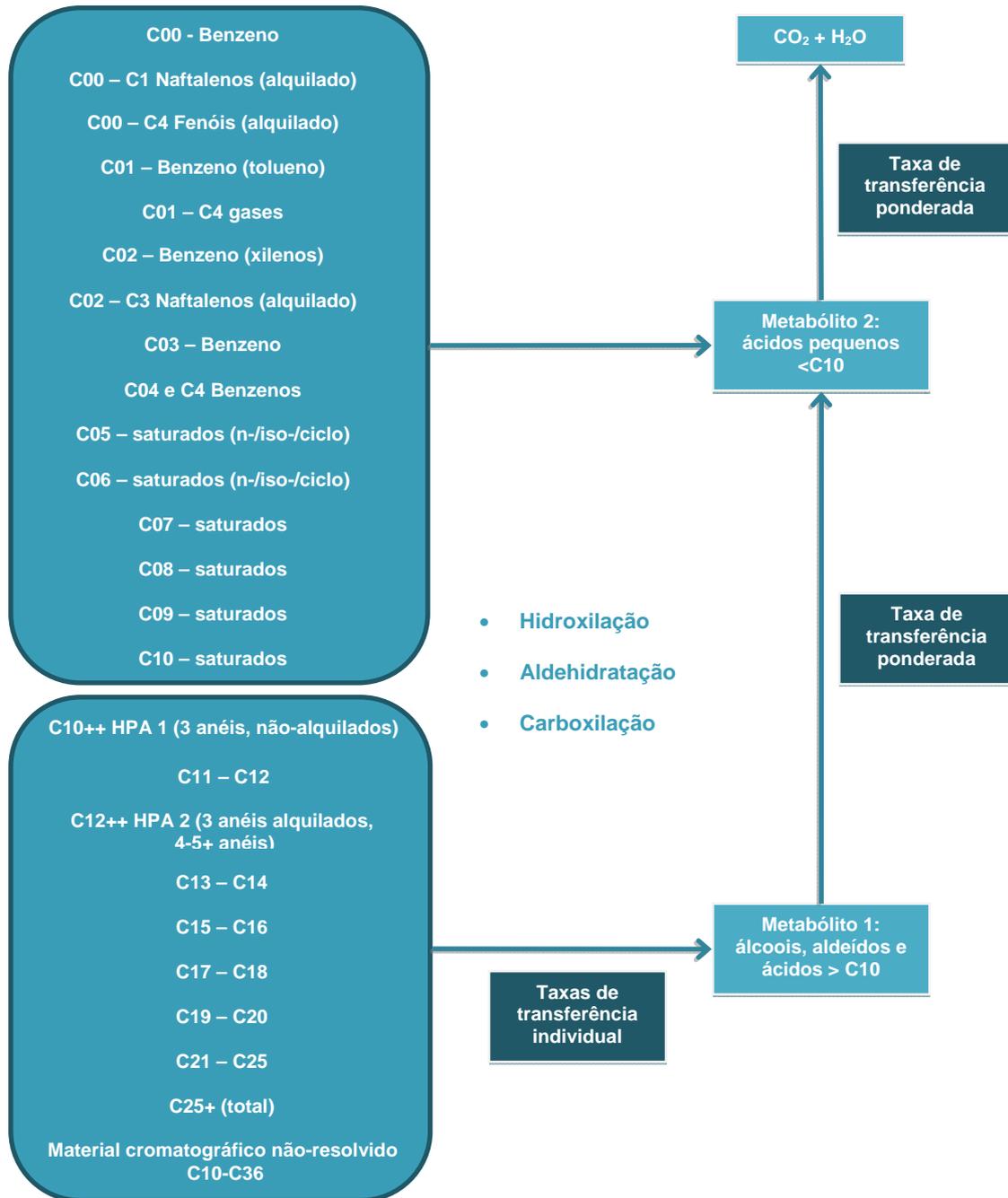


Figura 94: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).

4.2.1.8. Sedimentação

No OSCAR a separação entre a fase dissolvida e particulada/adsorvida é calculada com base na teoria de equilíbrio linear. A fração de óleo particulada, ou adsorvida em material particulado, é passível de sedimentação no fundo, misturando-se aos sedimentos, e podendo ser dissolvida novamente para a coluna d'água (REED *et al.*, 1996).

A relação entre a concentração de equilíbrio de um poluente na fase aquosa (C_w) e a concentração de equilíbrio na fase sólida (C_s) pode ser obtida a uma determinada temperatura. Existem várias teorias que descrevem as isotermas de adsorção, tais como as isotermas de Langmuir (Equação(29) e de Freundlich (Equação (30) (REED, 2001).

$$C_s = \frac{K_1 K_2 C_w}{1 + K_1 C_w} \quad (29)$$

$$C_s = K_f C_w^{1/n} \quad (30)$$

Segundo Reed (2001), em ambiente aquático, o valor da fase aquosa do poluente, C_w , é geralmente baixo, e em consequência, o termo n na equação (30) é geralmente igual a 1 e o termo $K_1 C_w$ na equação (29)(28) é muito menor do que 1. Dessa forma, as equações podem ser reduzidas a uma equação linear

$$C_s = K_p C_w C_{ss} \quad (31)$$

onde C_{ss} é a concentração de sedimentos suspensos. O coeficiente de partição de uma substância química, K_p , é dependente da temperatura, do pH e das características físicas e químicas do sólido adsorvido. Através de estudo do comportamento de compostos orgânicos, principalmente os hidrofóbicos não-iônicos, observou-se que o carbono orgânico é o fator predominante no processo de adsorção (REED, 2001). Assim, se K_p é normalizado pela fração de carbono orgânico do sólido (f_{oc})

$$K_{OC} = \frac{K_p}{f_{oc}} \quad (32)$$

então K_{oc} torna-se independente de sorventes. Somado a isso, o coeficiente de partição baseado no carbono orgânico apresenta ótima correlação tanto com K_{ow} (coeficiente de partição octanol/água) como com a solubilidade em água (S) (Equações (33) e (34), respectivamente).

$$\log K_{oc} = A \log K_{ow} + B \quad (33)$$

$$\log K_{oc} = a \log S + b \quad (34)$$

Assim, é possível determinar K_{oc} tanto do valor de K_{ow} como da solubilidade, sendo que as constantes de correlação (A , B , a e b) são normalmente dependentes da estrutura do composto. A Tabela 27 mostra algumas equações de correlação entre K_{oc} , K_{ow} e S usados no modelo.

Tabela 27: Equações de regressão para estimativa dos parâmetros K_{oc} e K_{ow} para diferentes componentes químicos. Fonte: Reed, 2001.

Equação	R ²	Classe
Parâmetro: K_{ow}		
$\log 1/S = 1,113 \log K_{ow} - 0,926$	0,935	Álcool
$\log 1/S = 1,229 \log K_{ow} - 0,720$	0,960	Cetona
$\log 1/S = 1,013 \log K_{ow} - 0,520$	0,980	Éster
$\log 1/S = 1,182 \log K_{ow} - 0,935$	0,880	Éter
$\log 1/S = 1,294 \log K_{ow} - 1,043$	0,908	Alcino
$\log 1/S = 1,294 \log K_{ow} - 0,248$	0,970	Alceno
$\log 1/S = 0,996 \log K_{ow} - 0,339$	0,951	Aromático
$\log 1/S = 1,237 \log K_{ow} - 0,248$	0,908	Alcano
Parâmetro: K_{oc}		
$\log K_{oc} = 0,937 \log K_{ow} - 0,006$	0,950	Aromático
$\log K_{oc} = 0,544 \log K_{ow} + 1,377$	0,740	Todos os outros

4.2.2. Propriedades físicas do óleo

As propriedades do óleo utilizadas pelo modelo são o ponto de fluidez (*pour point*), ponto de fulgor (*flash point*), densidade e a viscosidade do óleo. Essas propriedades variam de acordo com curvas obtidas em laboratório e a fração de óleo evaporado. A seguir são apresentadas as equações para os cálculos das propriedades do óleo (JOHANSEN, 1991 *apud* REED, 2001):

$$\text{Ponto de fluidez (}^{\circ}\text{C)} \quad P = e^{(a_p + b_p f)} - 273 \quad (35)$$

$$\text{Ponto de fulgor (}^{\circ}\text{C)} \quad F = e^{(a_p + b_p f)} - 273 \quad (36)$$

$$\text{Densidade (g/L)} \quad \rho_0 = a_p + b_p f \quad (37)$$

$$\text{Viscosidade (cP)} \quad \mu_0 = e^{(a\mu + b\mu f)} \quad (38)$$

sendo f a fração evaporada (%) e a e b fatores de regressão. A densidade da emulsão $\rho(t)$ é calculada:

$$\rho(t) = \frac{W(t)\rho_w + [100 - W(t)]\rho_0(t)}{100} \quad (39)$$

sendo $W(t)$ a porcentagem de água (%), ρ_w a densidade da água do mar, e $\rho_0(t)$ a densidade do óleo livre de água (g/L).

A equação de Mooney, de 1951, é usada para calcular a viscosidade de emulsão $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \mu_0(t) e^{\frac{aW(t)}{100 - bW(t)}} \quad (40)$$

onde a e b são constantes empíricas.

4.2.3. Concentração na coluna d'água

O modelo resolve a seguinte equação de transporte advectivo-difusivo:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} C_i = \vec{\nabla} \cdot D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ij} C_i \quad (41)$$

onde C_i é a concentração do i -ésimo constituinte químico do vazamento; t é o tempo; \vec{V} é o vetor do transporte advectivo; e D_k é o coeficiente de difusão turbulenta para $k = x, y$ e z .

O primeiro termo da equação é a taxa de variação temporal da concentração de um determinado constituinte em uma determinada localização espacial. Esta taxa de variação é calculada através da determinação dos outros termos da equação utilizando partículas lagrangeanas para representar o campo de concentração. Os termos r_j são taxas de vários processos, tais como a evaporação, emulsificação e espalhamento das manchas superficiais e volatilização dos compostos do óleo.

Os termos de degradação r_{ij} aparecem no modelo para determinar os subprodutos da degradação como transferência de massa de um componente à outro. Desta forma, as modificações nas propriedades toxicológicas são incorporadas no modelo.

4.2.4. Massa Máxima de Óleo na Costa

Para obter a massa máxima de óleo na costa, os elementos de grade são monitorados ao longo de toda a simulação. São armazenadas as informações de massa máxima de óleo que atingiram cada elemento de grade ao longo das n simulações. Ao final, têm-se um mapa dos volumes máximos por unidade de área, ou espessuras máximas, que atingiram os elementos de grade que representam a costa.

Para contabilizar os volumes máximos por município, são utilizados os maiores valores de volumes máximos de óleo presentes nos elementos de grade mais próximos a cada município costeiro.

4.2.5. Estratégias de Modelagem

Para os dois pontos de vazamento, as simulações foram realizadas considerando eventos de *blowout*, com vazamentos contínuos por 30 dias (720 horas), em 2 cenários sazonais, verão e inverno. Após os 30 dias de vazamento foram ainda simulados mais 30 dias para observação do comportamento da deriva do óleo, totalizando 60 dias (1440 horas) de simulação.

Além da simulação de *blowout*, na qual é considerado o volume de pior caso, 149.220 m³, para locação Piapara, e 2.280 m³, para locação Eoceno, foram ainda realizadas simulações para vazamentos instantâneos de pequeno e médio porte, 8 m³ e 200 m³, respectivamente. Para

todos os casos simulados a deriva do óleo foi acompanhada por 30 dias, nos vazamentos instantâneos, e 60 dias, para *blowout*.

Em todas as simulações considerou-se o critério de existência de óleo nas regiões onde este apresentou espessura maior ou igual ao limiar de 3×10^{-7} metros (limiar de detecção) (ELPN/IBAMA, 2002).

Foram utilizados dois tipos de óleo nas modelagens, de acordo com o ponto de vazamento. Segundo informações da contratante, para a locação Piapara o óleo esperado é de 30° API, enquanto para a locação Eoceno é de 14° API. As características destes óleos são apresentadas na Tabela 28 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 28: Características dos óleos informados pela contratante.

Poço	Propriedade	Valor	Unidade
Locação Piapara	API	30	-
	Densidade	0,876 (15,6 °C)	g/cm ³
	Viscosidade Dinâmica	0,6 (20 °C)	cP
Locação Eoceno	API	14	-
	Densidade	0,9718 (15,6 °C)	g/cm ³
	Viscosidade Dinâmica	33.000 (24 °C)	cP

Devido à ausência de uma caracterização mais completa dos óleos em questão, tais como seus componentes e suas respectivas frações, necessários para alimentar o modelo, foram escolhidos óleos de características próximas no banco de dados do OSCAR para utilização nas simulações (Tabela 29).

Tabela 29: Características dos óleos escolhidos no banco de dado do OSCAR.

Poço	Óleo	Parâmetro	Valor	Unidade
Locação Piapara	KUWAIT 2002	API	30,3	°
		Densidade	0,875	g/cm ³
		Viscosidade Dinâmica	23 (20°C)	cP
		Ponto de Fluidez	0	°C
		Graxa	3,93	%
		Asfalteno	2,35	%
Locação Eoceno	CALIFÓRNIA	API	13,2	°
		Densidade	0,977	g/cm ³
		Viscosidade Dinâmica	6.400 (15°C)	cP
		Ponto de Fluidez	-9	°C
		Graxa	1	%
		Asfalteno	22	%

4.2.6. Descrição das Grades

Neste estudo utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 3,5 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 40°11'S, ao norte, 17°00'S, a oeste, 58°32'W e a leste, 33°45'W. Com isso, obteve-se uma matriz com 689 por 735, totalizando 506.415 elementos. A grade com os habitats e a batimetria são apresentadas nas Figura 95 e Figura 96, respectivamente.

A definição do tipo de costa e da batimetria estão contidos no banco de dados do modelo OSCAR. Os dados de batimetria são provenientes do SeaTopo (SMITH & SANDWELL, 1997). O tipo de costa definido para todo domínio foi de praia arenosa (Figura 95 – em amarelo).

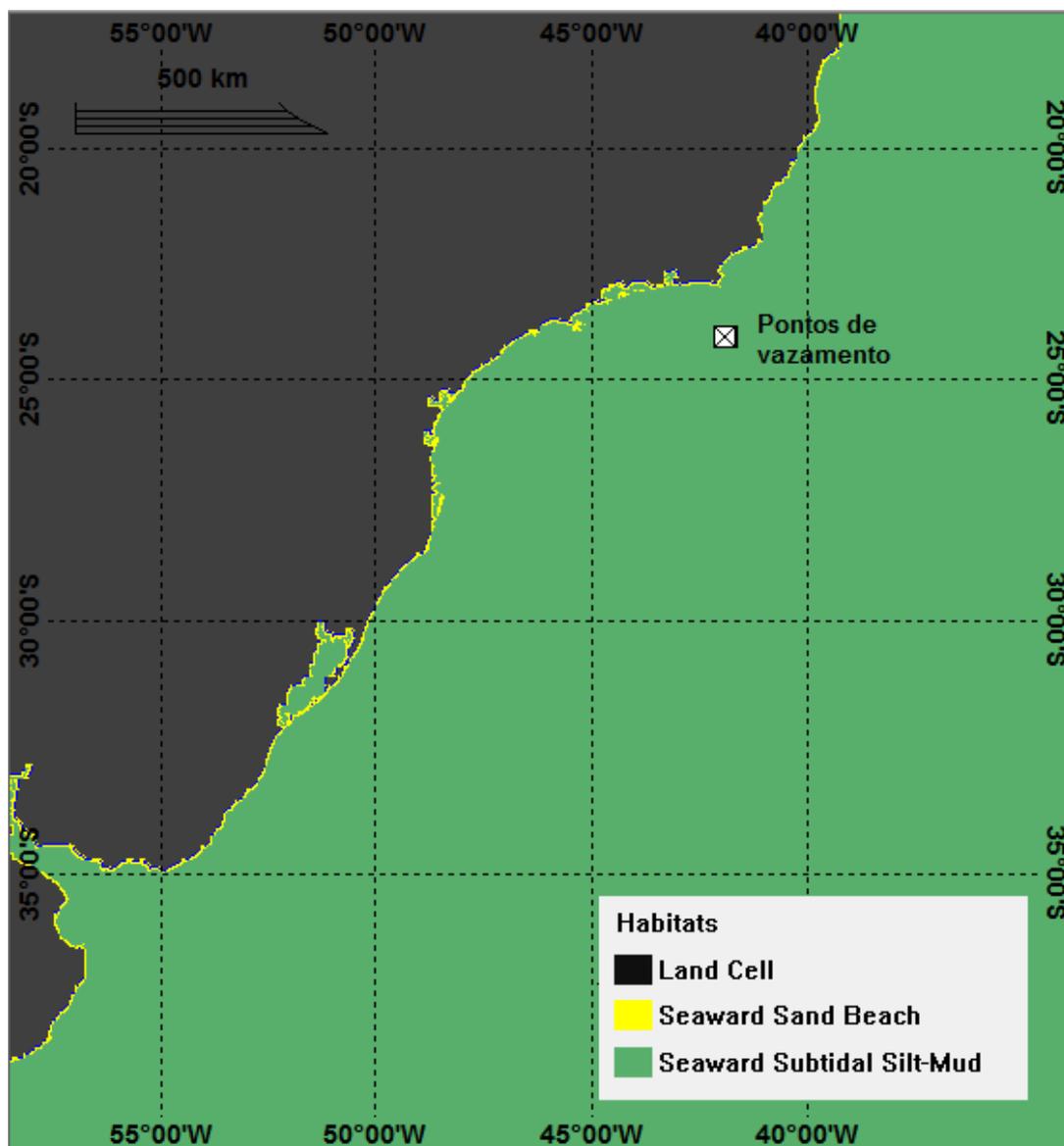


Figura 95: A grade de habitats utilizada na simulação.

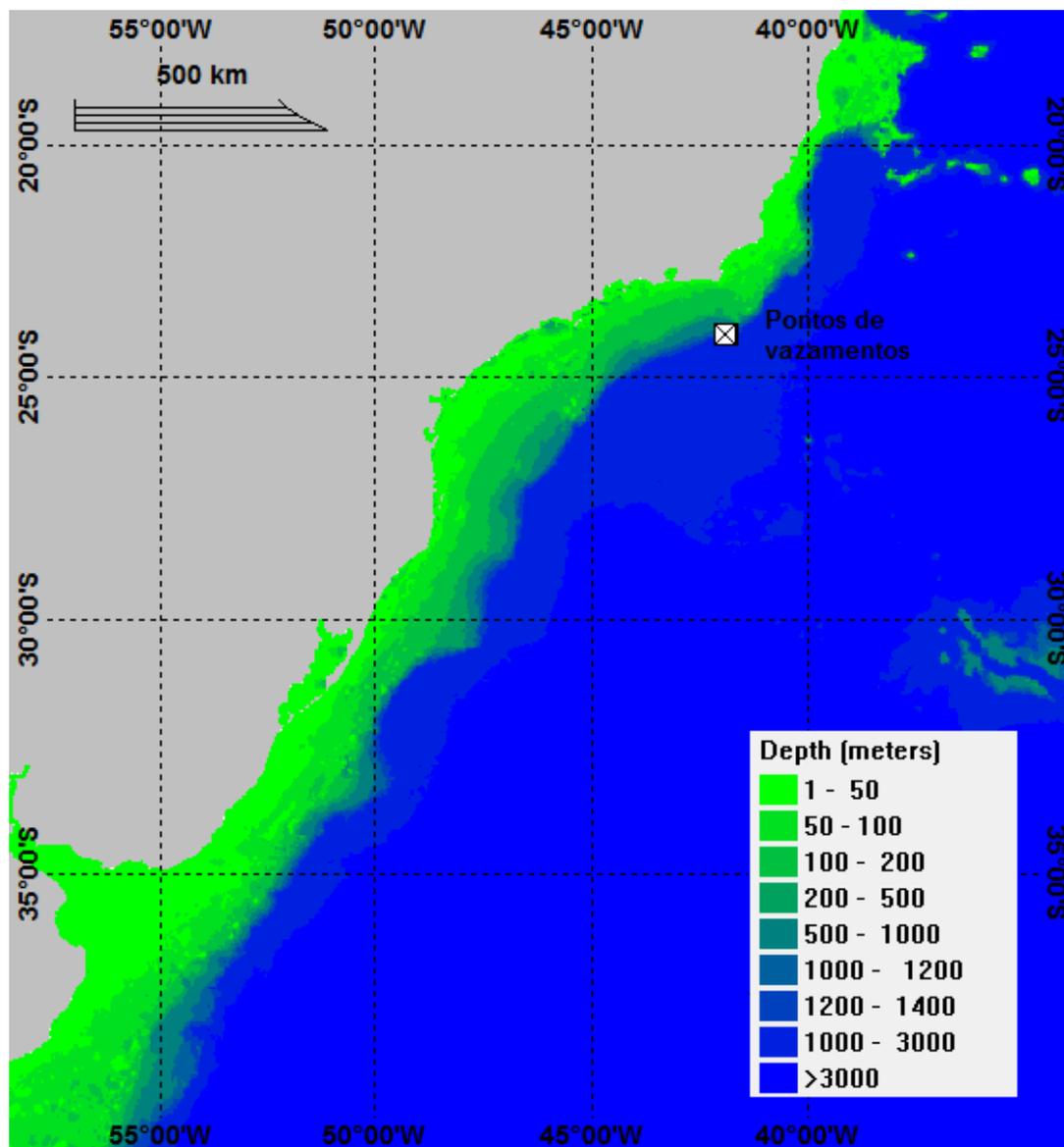


Figura 96: A grade de batimetria utilizada na simulação.

A seguir serão apresentadas as forçantes utilizadas durante a simulação probabilística.

4.2.7. Forçantes

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes das Reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (KALNAY *et al.*, 1996). A base de dados conhecida como “Reanálises do NCEP” foi originada a partir de uma cooperação entre o NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) e o NCAR (*National Center for Atmospheric Research*), com intuito de produzir inicialmente uma rede de 40 anos de dados meteorológicos globais com base nas análises dos campos atmosféricos (KALNAY *et al.*, 1996). Posteriormente, esse projeto foi ampliado para uma janela de tempo de 50 anos (KISTLER *et al.*, 2001), e atualmente, estão disponíveis mais de 60 anos (1948-atual) de dados.

A Reanálise do NCEP (R-1) usa o estado da arte em sistemas de assimilação de dados e um banco de dados mais completo possível, abrangendo informações meteorológicas primárias das mais diversas fontes associadas aos dados do modelo atmosférico global do NCEP (KISTLER *et al.*, 2001).

Estes dados são amplamente utilizados pela comunidade científica, sendo, portanto adequados para utilização em estudos dessa natureza. Os dados primários utilizados para gerar as reanálises são de diferentes origens:

- » Dados globais de radiossondas.
- » Dados da superfície do mar obtidos através do projeto COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) no período de 1983 a 1996 (14 anos), originados de diversas fontes, dentre elas, observações de navios, bóias fixas, bóias móveis e estações oceânicas próximas à superfície.
- » Dados aéreos, originados de observações por aeronaves em todo o globo, geralmente associados a projetos como GARP (Global Atmospheric Research Program) e GATE (Global Atlantic Tropical Experiment), por exemplo.
- » Dados de Satélite, que começaram a ser obtidos em 1967, através de diversos programas. Atualmente, o NCEP/NCAR utiliza dados fornecidos pelo projeto TOVS (Operational Vertical Sounder System), com variáveis em três dimensões, cuja resolução espacial média é de 2,5 graus.
- » Dados de vento em superfície, obtidos pelo sensor espacial Microwave/Imager (SSM/I) a partir de 1987, submetidos ao tratamento feito pela rede neural de Kransnopolsky *et al.* (1995) apud Kalnay *et al.* (1996).
- » Dados de cobertura de nuvens obtidos por estimativas dos dados de Satélites Meteorológicos Geoestacionários (SMG). Esses dados estão disponíveis desde 1978.

Todos os dados utilizados nas reanálises passam por um rigoroso controle de qualidade e recebem um tratamento diferenciado de acordo com a forma de obtenção. Utilizando-se técnicas de interpolação espaço-temporal, que levam em consideração não somente a estatística como também a dinâmica dos fenômenos meteorológicos (análise objetiva).

As reanálises foram criadas por um sistema complexo de programas, bibliotecas, algoritmos e dados, que envolvem diversas etapas no processamento, tais como, decodificação, controle de qualidade, análises, previsão, pós-processamento e armazenamento. Consequentemente, o processo se tornou propenso a erros humanos. Neste contexto, surgiu a Reanálise 2 (R-2), que além de minimizar os erros humanos no processamento, incorporou atualizações no modelo de previsão e diagnóstico (KANAMITSU *et al.*, 2002). Outro fator determinante para o desenvolvimento da R-2 foi o aumento significativo da quantidade e da qualidade dos dados coletados a partir do final dos anos 70. Assim, ao contrário da R-1 que está disponível de 1948 até os dias de hoje, a R-2 encontra-se disponível a partir de 1/1/1979 (CAMPOS, 2009).

O projeto R-2 (NCEP - DOE AMIP-II *Reanalysis*) refere-se a uma série global atualizada, de 1979 até 2008, que corrige os erros de processamento da R-1, utilizando um modelo de previsão e um sistema de assimilação de dados mais robustos. Assim, é gerada uma reanálise mais consistente e recomendada para usuários que eram afetados por alguns erros presentes na R-1. Dentre estes erros, podemos citar as análises de transientes no Hemisfério Sul; o uso de temperaturas próximas à superfície e cobertura de neve sobre os continentes no Hemisfério Norte durante o inverno; análise da umidade dos solos; análises do balanço de neve; e sensibilidade das análises a mudanças no modelo de assimilação (KANAMITSU *et al.*, 2002).

Deve ser ressaltado que a R-2, embora tenha passado por melhorias significativas, consiste em uma atualização da R-1, e não uma nova geração da reanálise. Os produtos da R-2 estão disponíveis para o público através do Centro de Diagnósticos Climáticos do NCAR, e através da página: <http://www.cdc.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>.

Para este estudo foram tratados 6 anos de dados (2005 a 2010) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia). A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente 1.8°, tendo sido utilizado o ponto de grade do NCEP mais próximo aos pontos de simulação de vazamento do Bloco BS-4 (Figura 97). Essa análise subsidiou a definição de dois períodos com características distintas na direção do vento, fato que influencia diretamente o transporte do óleo.

A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos mensais (Figura 98 e Figura 99), elaboradas para o período analisado (2005 a 2010).

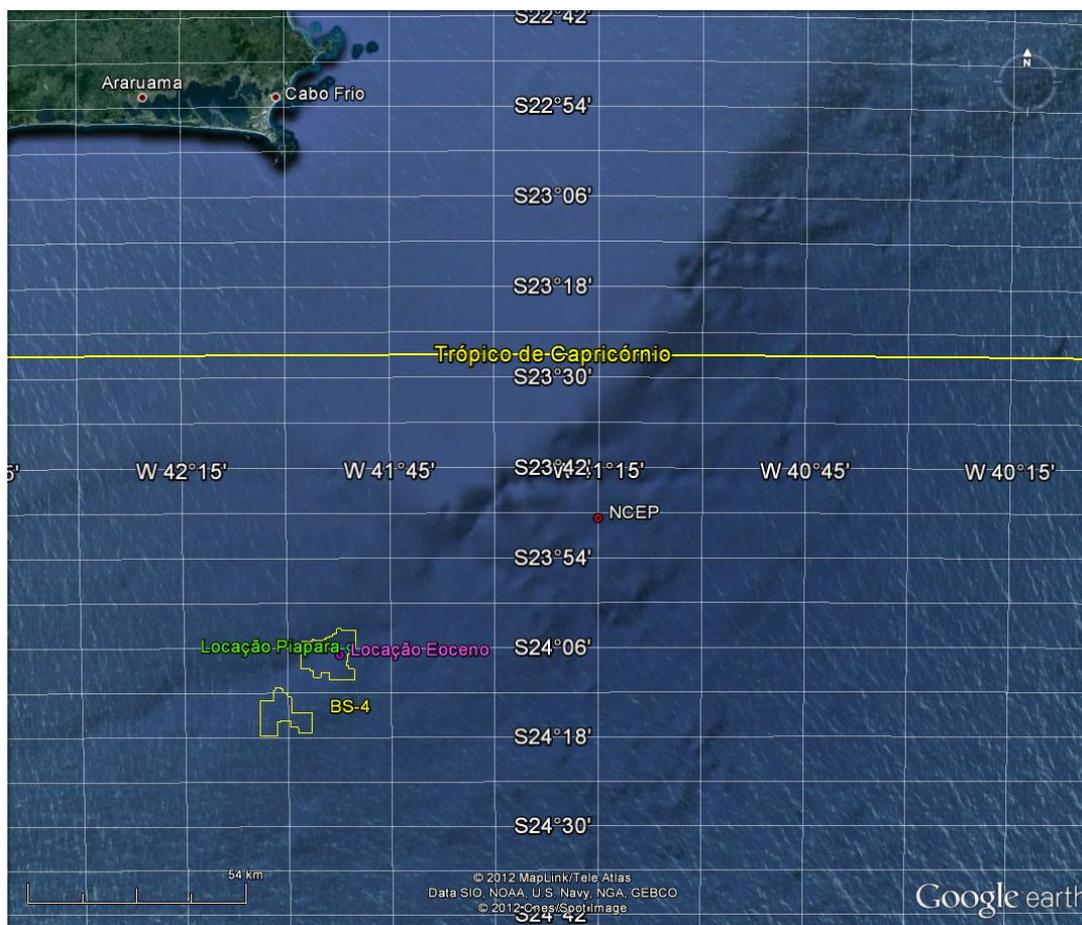


Figura 97: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo do ponto de vazamento no Bloco BS-4.

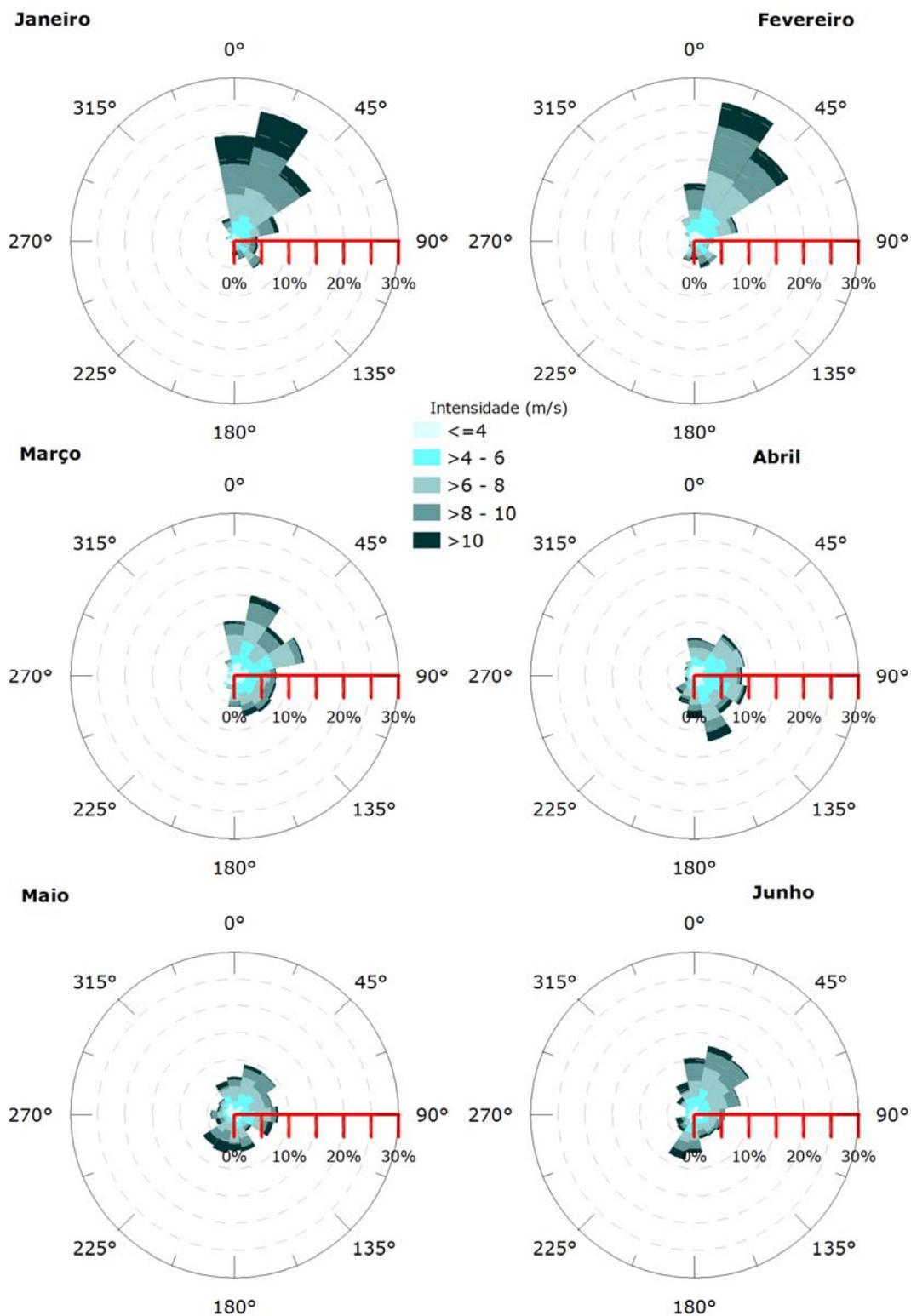


Figura 98: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho na região do Bloco BS-4.

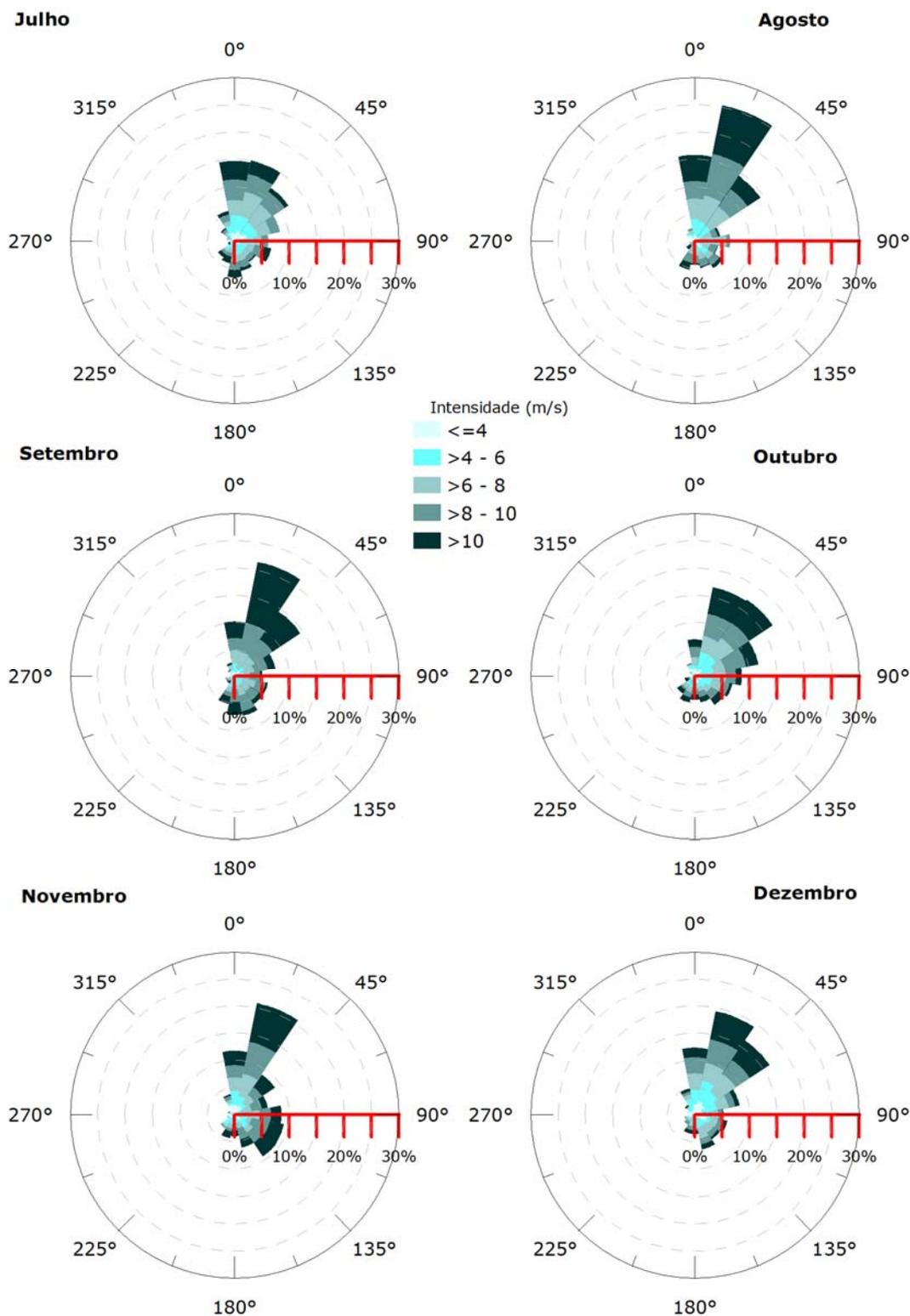


Figura 99: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro na região do Bloco BS-4.

A partir da observação da rosa dos ventos, que trazem informações sobre as frequências de ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos na região, são identificadas duas condições sazonais a serem utilizadas no estudo.

A primeira, denominada **período de verão**, compreende os meses de **setembro a fevereiro** é caracterizado pela maior frequência e incidência de ventos do primeiro quadrante, com predominância de ventos de norte a nordeste. No segundo período, entre os meses de **março e agosto**, denominado **período de inverno**, existe a predominância dos ventos do primeiro quadrante, porém, esses se apresentam menos frequentes que os observados no período de verão. Além disso, a frequência de ventos de sul e sudeste, neste segundo período, foram maiores.

Pequenas diferenças entre as direções das rosas dos ventos aqui apresentadas, e as rosas dos ventos apresentadas no *item Meteorologia*, devem-se às diferenças nos períodos analisados. Enquanto na meteorologia foram utilizados 30 anos de dados (1981 - 2010), na modelagem de óleo, foram utilizados 6 anos de dados (2005 - 2010) para forçar o modelo. Entretanto, deve-se ressaltar que as diferenças verificadas foram pequenas, e que o padrão de ventos observado entre 2005 e 2010 apresentou-se coerente com o verificado ao longo dos 30 anos analisados na meteorologia.

Como forçante na modelagem de dispersão do óleo, utiliza-se todos os pontos do NCEP disponíveis na região da grade do modelo hidrodinâmico, ao longo de todo o período analisado (Figura 100).

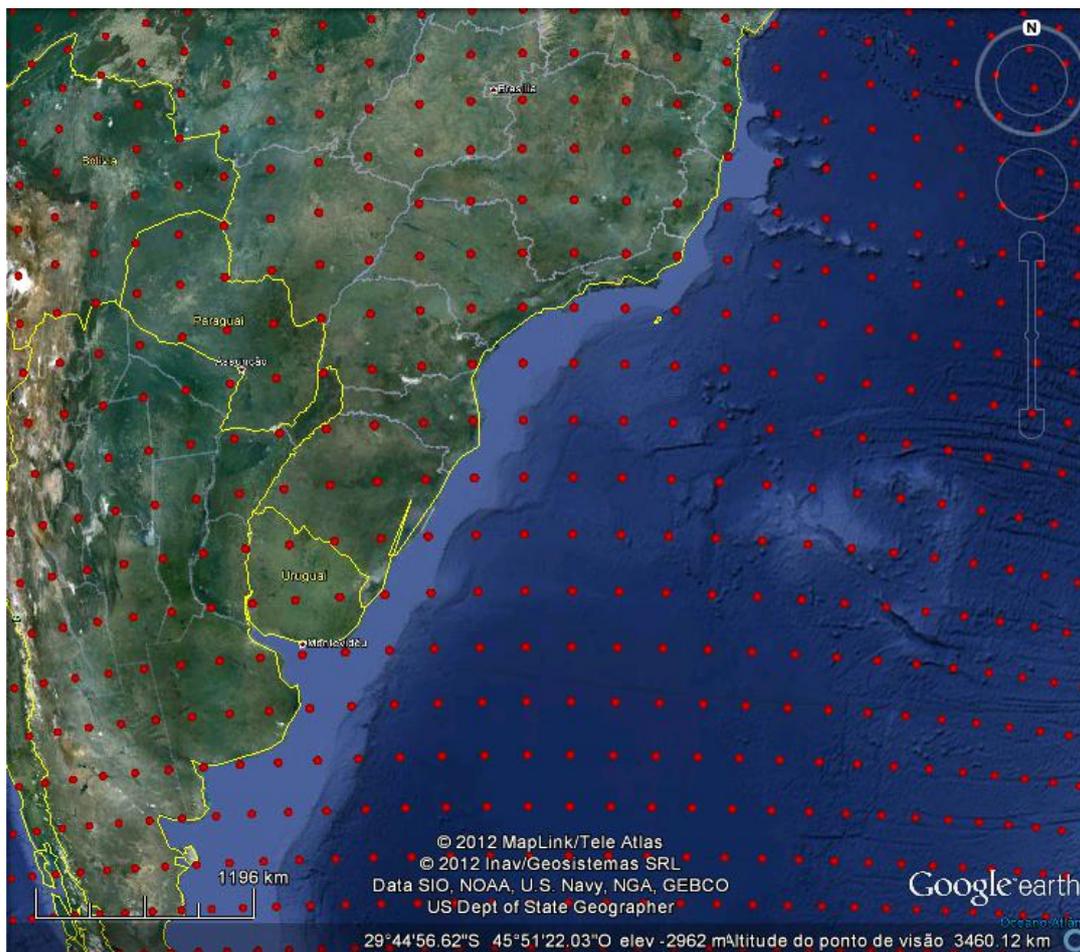


Figura 100: Localização dos pontos de grade do NCEP para região de estudo.

4.2.8. Variabilidade Ambiental

Na implementação de um modelo probabilístico de vazamento de óleo é necessária a definição de um universo amostral que represente a variabilidade ambiental da região. No modelo OSCAR, o universo amostral é criado por n repetições com condições de vento e corrente correlacionadas (*i.e.* condição de vento e de corrente são para o mesmo dia), o que cria a necessidade de se definir o número de simulações que serão conduzidas na realização da modelagem. Este número deve ser suficiente para representar de forma adequada a variabilidade ambiental presente na região, obtendo um mapa de probabilidade estatisticamente coerente.

A metodologia proposta por Elliot (2004) sugere o número adequado de simulações baseado na análise do número de zeros-ascendentes (*zero-up-crossing*) do vento, que consiste na identificação do número de vezes em que as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento trocam de sinal. De forma prática, a alteração de sentido nas componentes está ligada a mudanças no padrão sinótico do vento, como por exemplo, no período de passagem de um sistema frontal pela região.

Dessa forma, com objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse relatório, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*) do ponto do NCEP mais próximo aos pontos de vazamento no Bloco BS-4 (Figura 97). Os resultados podem ser observados na Figura 101.

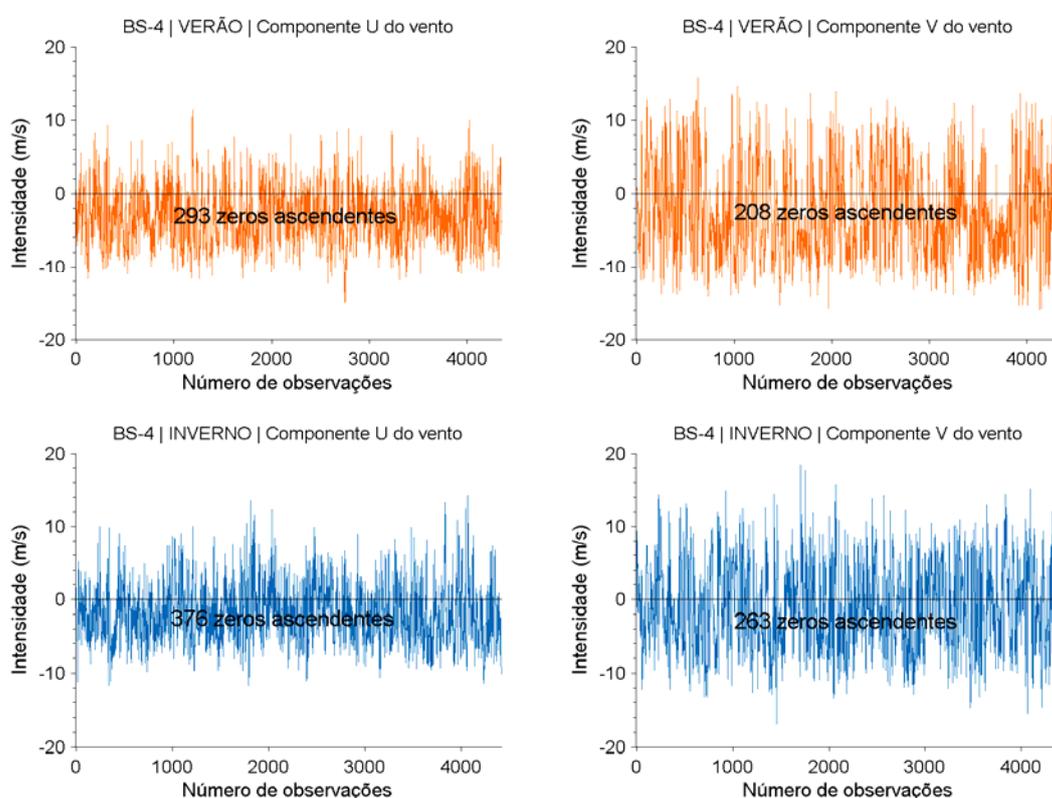


Figura 101: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do Bloco BS-4, Bacia de Santos, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que no período de verão, o número de zeros ascendentes foi de 293, para a componente zonal (u) e 208 para a meridional (v). No período de inverno, o número de zeros ascendentes para componente zonal (u) subiu para 376 e da componente meridional (v) para 263. Considerando que os dados correspondem a um período de 6 anos (aproximadamente 3

anos para cada condição ambiental: verão e inverno), e que o intervalo entre as medições é de 6 horas, podemos estimar uma escala mínima de variabilidade significativa de aproximadamente 3,74 dias no período de verão e de 2,91 dias no período de inverno.

Assim, tendo como base a metodologia proposta por Elliot (2004), para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, os números mínimos de simulações aconselháveis seriam de 293 e 376 para os períodos de verão e inverno, respectivamente. No estudo em questão foram utilizadas 400 simulações para cada condição sazonal.

4.3. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados das simulações de deriva do óleo para vazamentos de 8 m³, 200 m³ e *blowout*, nos modos probabilístico e determinístico, para as localidades Piapara e Eoceno.

Na abordagem probabilística são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes condições meteoceanográficas. Os resultados do modo probabilístico são de grande importância porque ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo vazamento quanto o tempo mínimo de chegada do poluente em cada local com probabilidade de ser atingido, além de identificar as regiões com maiores probabilidades de serem alcançadas nas diferentes condições simuladas.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 400 diferentes simulações, para cada período (verão e inverno), nos diferentes volumes de vazamento, totalizando 2.400 possíveis cenários ambientais de vazamento.

O cenário crítico, para ser simulado no modo determinístico, foi definido através da análise dos resultados sazonais de pior caso (*blowout*), sendo escolhida a situação onde o óleo atingiu a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento.

Também serão apresentadas duas trajetórias que representam a deriva do óleo nas condições meteoceanográficas mais frequentes da região, nos períodos sazonais de verão e inverno.

O intemperismo do óleo será apresentado ao final de cada simulação determinística, através de gráficos que apresentam o balanço de massa do constituinte ao longo da simulação.

A Figura 102 e a Figura 103 resumem a forma como os resultados dos modos probabilísticos e determinísticos serão apresentados, respectivamente.

Volume	Resultado	Tempo de Simulação
8 m ³	Mapa de Probabilidade em superfície	30 dias
	Mapa de Tempo Mínimo em superfície	30 dias
200 m ³	Mapa de Probabilidade em superfície	30 dias
	Mapa de Probabilidade na costa	30 dias
	Mapa de Tempo Mínimo em superfície	30 dias
	Mapa de Tempo Mínimo na costa	30 dias
Blowout (Piapara: 149.220 m ³) (Eoceno: 2.280 m ³)	Mapa de Probabilidade em superfície	60 dias
	Mapa de Probabilidade na costa	60 dias
	Mapa de Tempo Mínimo em superfície	60 dias
	Mapa de Tempo Mínimo na costa	60 dias
	Mapa de Massa Máxima na Costa	60 dias

Figura 102: Fluxograma de apresentação dos resultados probabilístico.

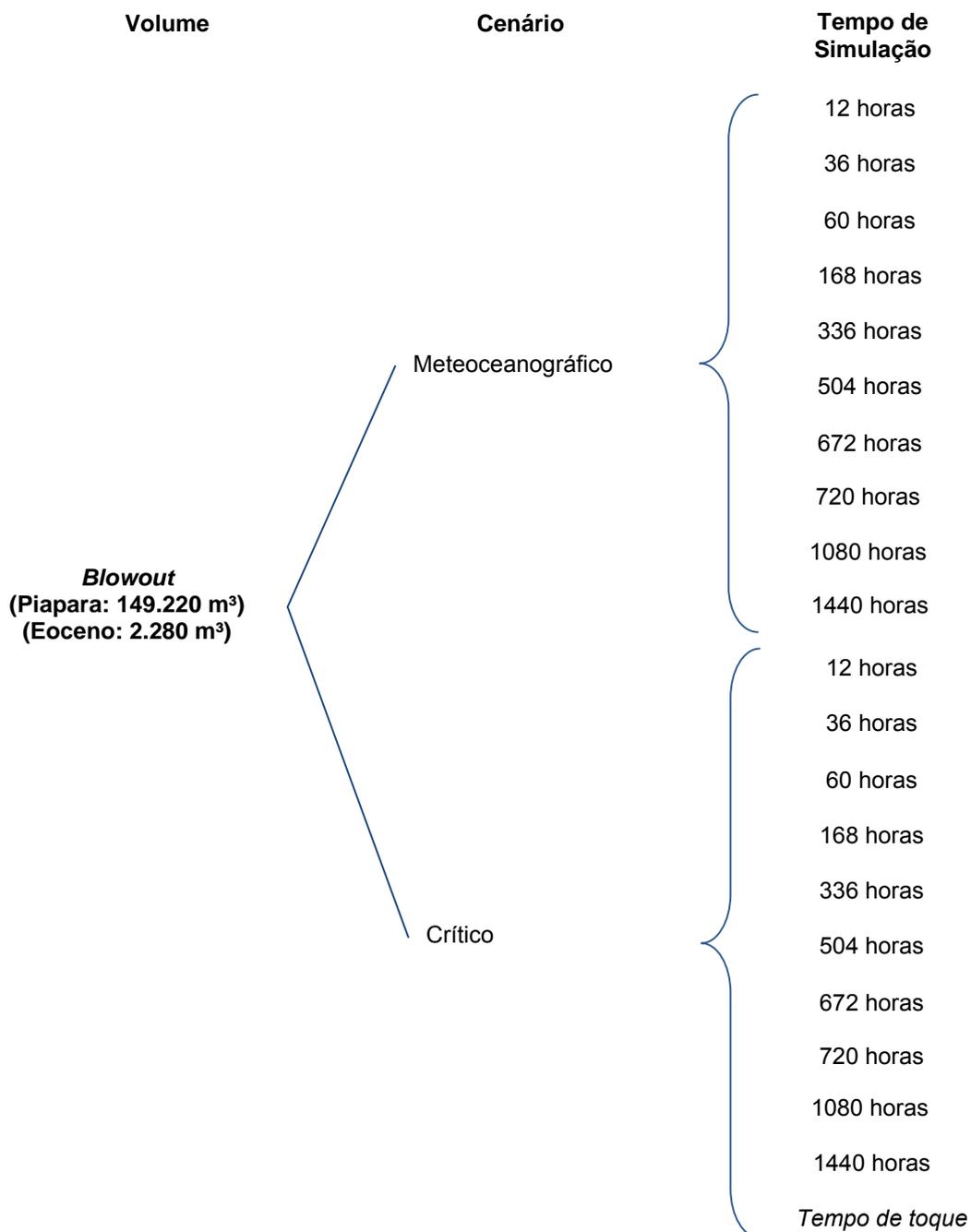


Figura 103: Fluxograma de apresentação dos resultados determinísticos.

4.3.1. Resultados Probabilísticos

4.3.1.1. Localização Piapara

4.3.1.1.1. Vazamento de 8 m³

4.3.1.1.1.1. Verão

Os mapas de probabilidade de presença de óleo e de tempo mínimo de chegada em superfície, para o vazamento de 8 m³ no período de verão, são apresentados nas Figura 104 e Figura 105, respectivamente.

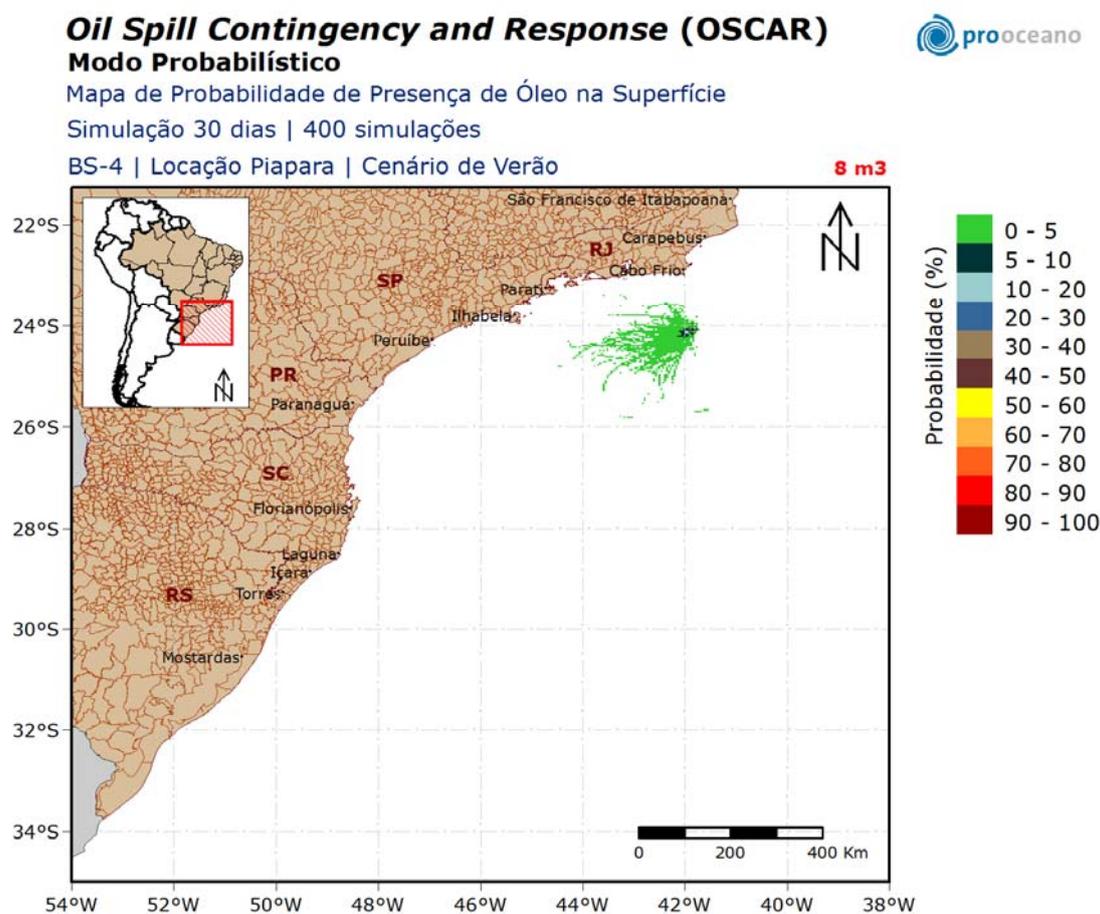


Figura 104: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

A deriva do óleo ocorreu preferencialmente para oeste-sudoeste do local de vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos do primeiro quadrante, predominantes no cenário

de verão. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se restringiu até, no máximo, 280 km do ponto de vazamento, sem que houvesse probabilidade de toque na costa.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

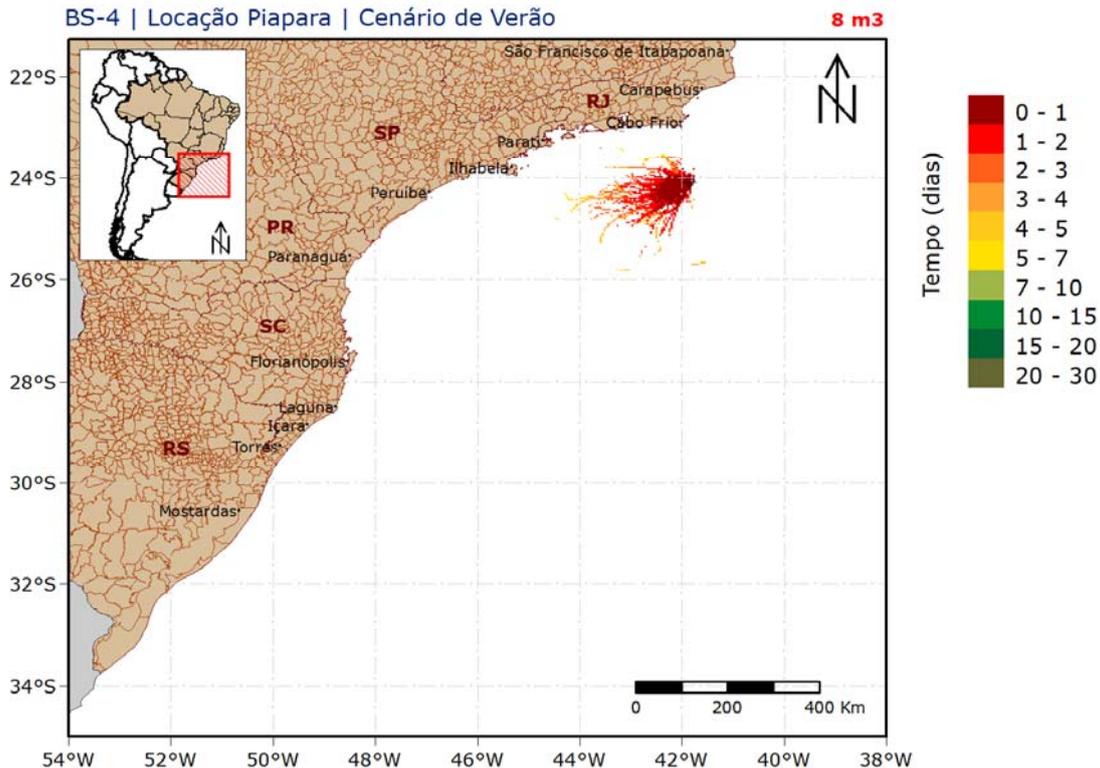


Figura 105: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

É possível observar que as áreas mais distantes com probabilidade de presença de óleo podem ser atingidas em até 7 dias.

4.3.1.1.1.2. Inverno

Os mapa de probabilidade de presença de óleo e de tempo mínimo de chegada em superfície, para o vazamento de 8 m³ no período de inverno, encontram-se na Figura 106 e na Figura 107, respectivamente.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

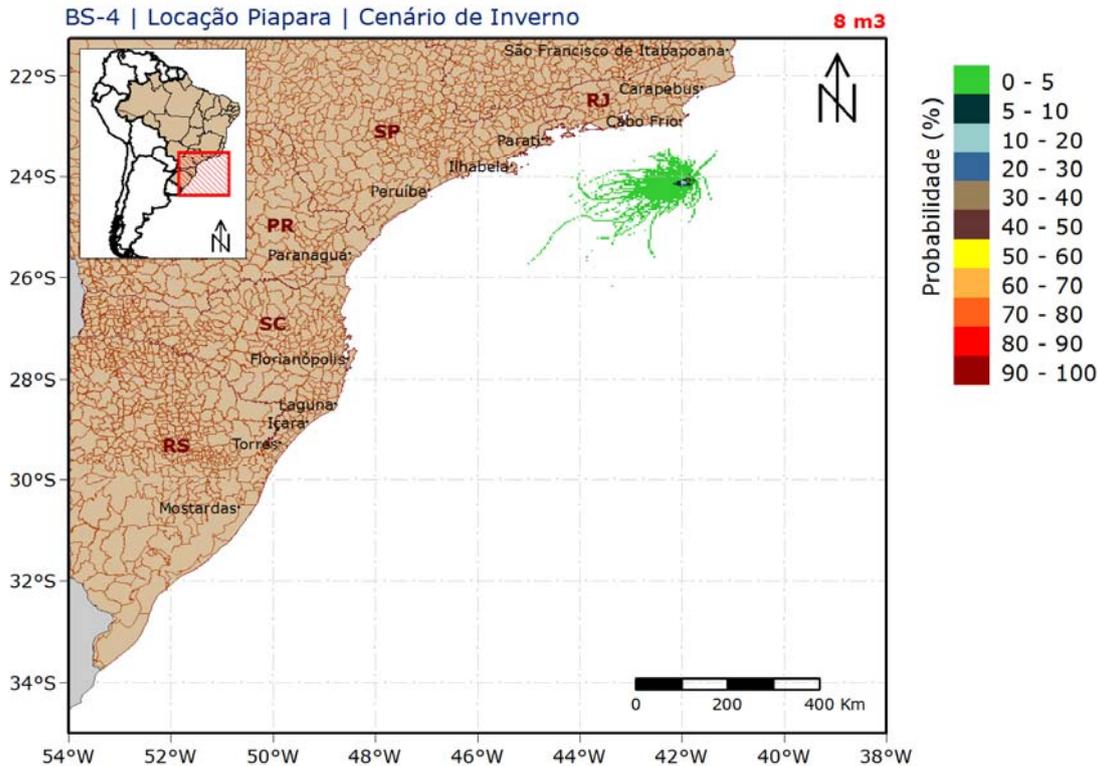


Figura 106: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

A deriva do óleo neste cenário também ocorreu preferencialmente para oeste e sudoeste do local de vazamento e, assim como no verão, não houve probabilidade de toque na costa.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

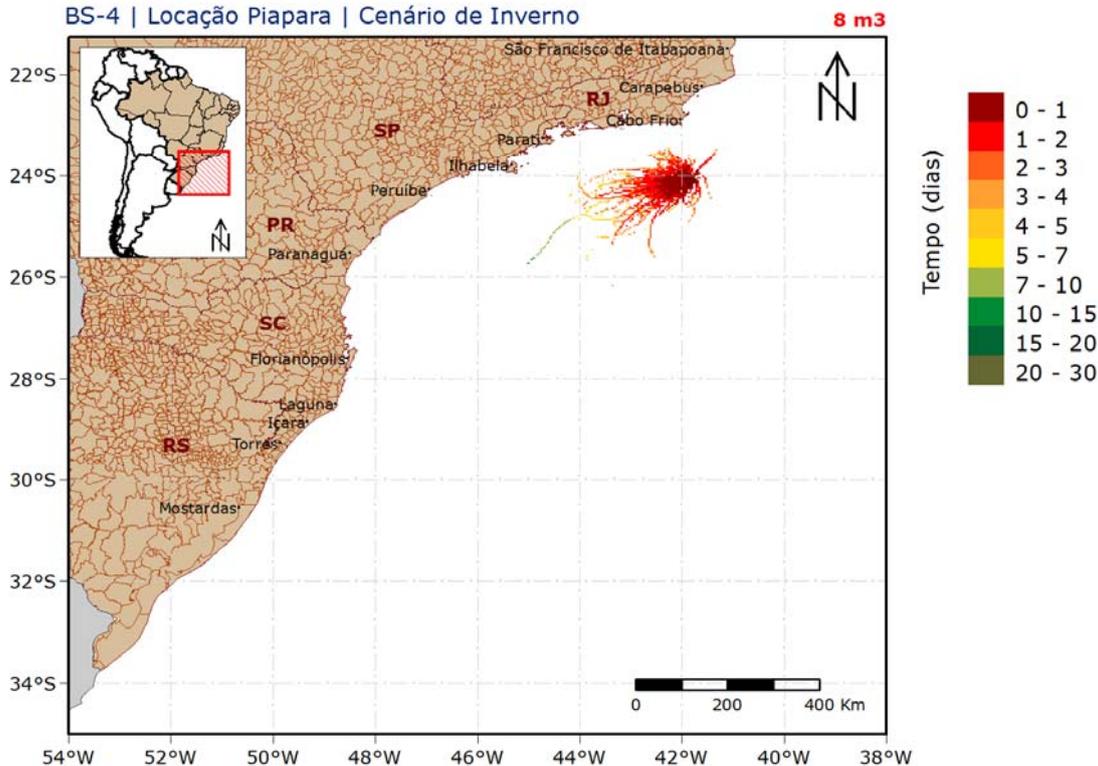


Figura 107: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

É possível observar que as áreas mais distantes com probabilidade de presença de óleo podem ser atingidas em até 15 dias.

4.3.1.1.2. Vazamento de 200 m³

4.3.1.1.2.1. Verão

A seguir, são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para o vazamento de médio porte (200 m³) no período de verão (Figura 108 e Figura 109, respectivamente). Os mapas de tempo mínimo de chegada em superfície e na costa encontram-se na Figura 110 e Figura 111, respectivamente.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

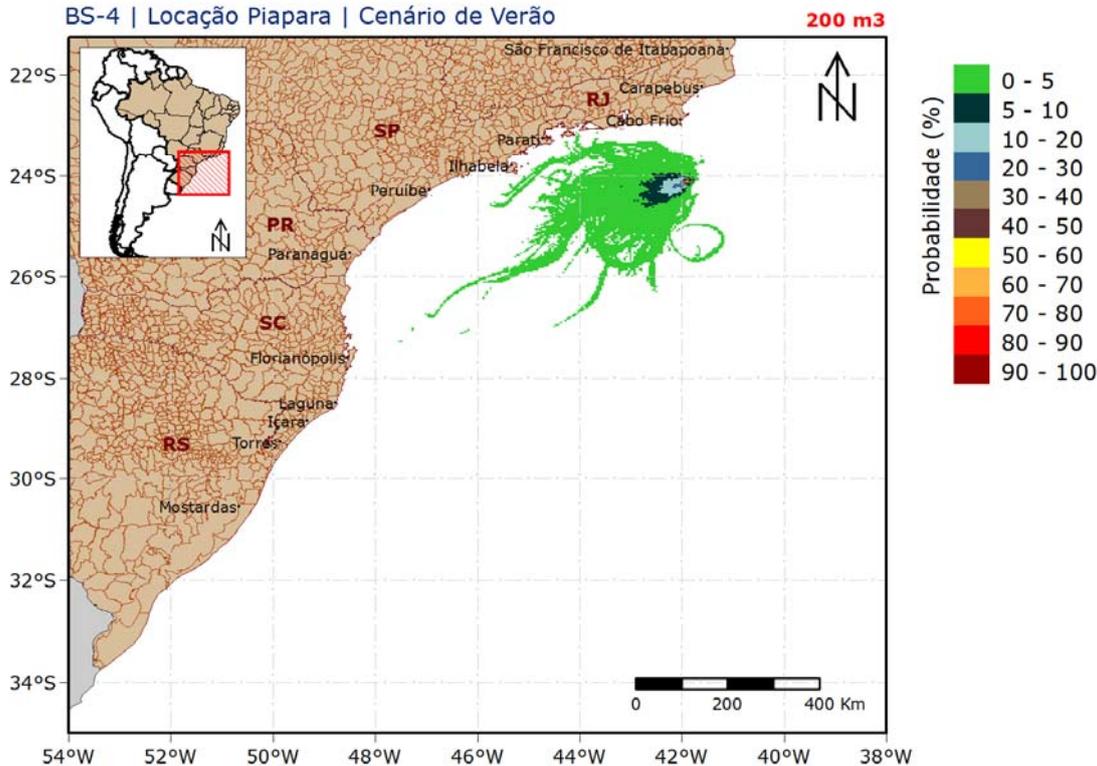


Figura 108: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Piapara | Cenário de Verão

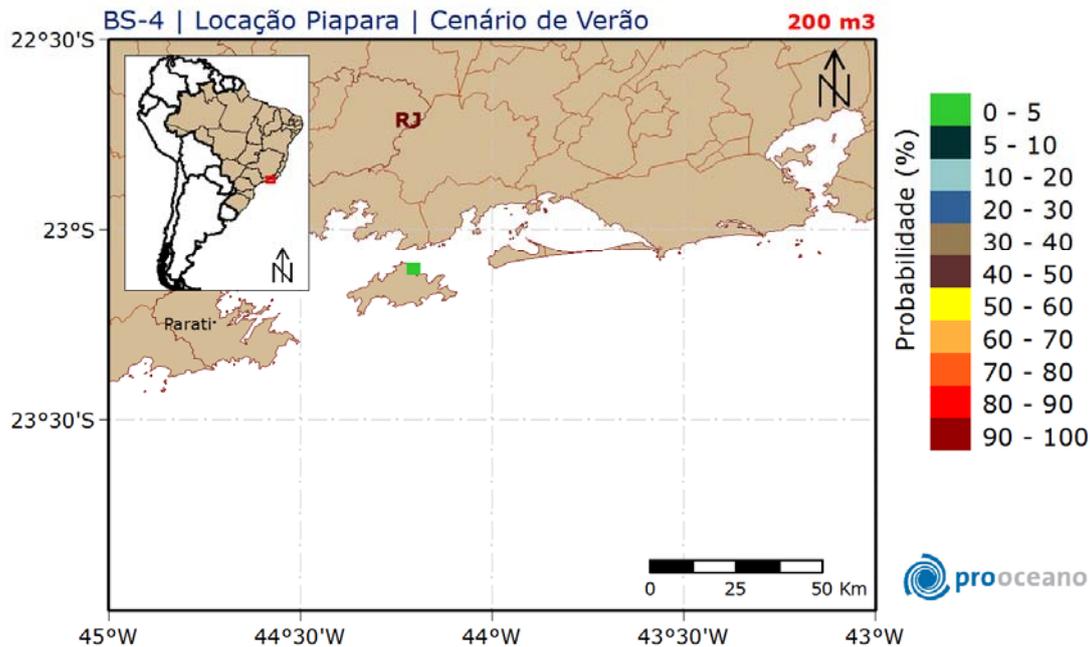


Figura 109: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.

Como ocorrido na simulação de 8 m³, neste cenário a deriva do óleo foi para sudoeste do local de vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos de primeiro quadrante. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 23° S, até a latitude de 27° S. Observa-se que a probabilidade de presença de óleo na costa (Figura 109) ocorreu em apenas um local, Ilha Grande, no município de Angra dos Reis-RJ, com probabilidade inferior a 1%.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

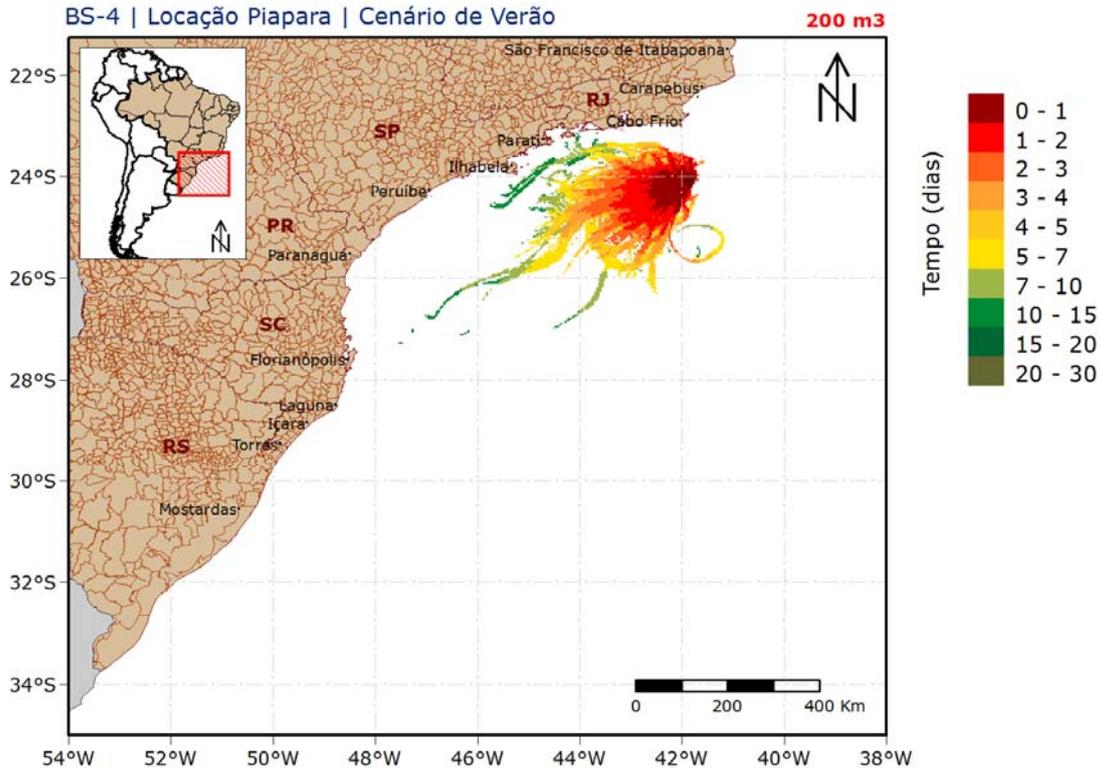


Figura 110: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Piapara | Cenário de Verão

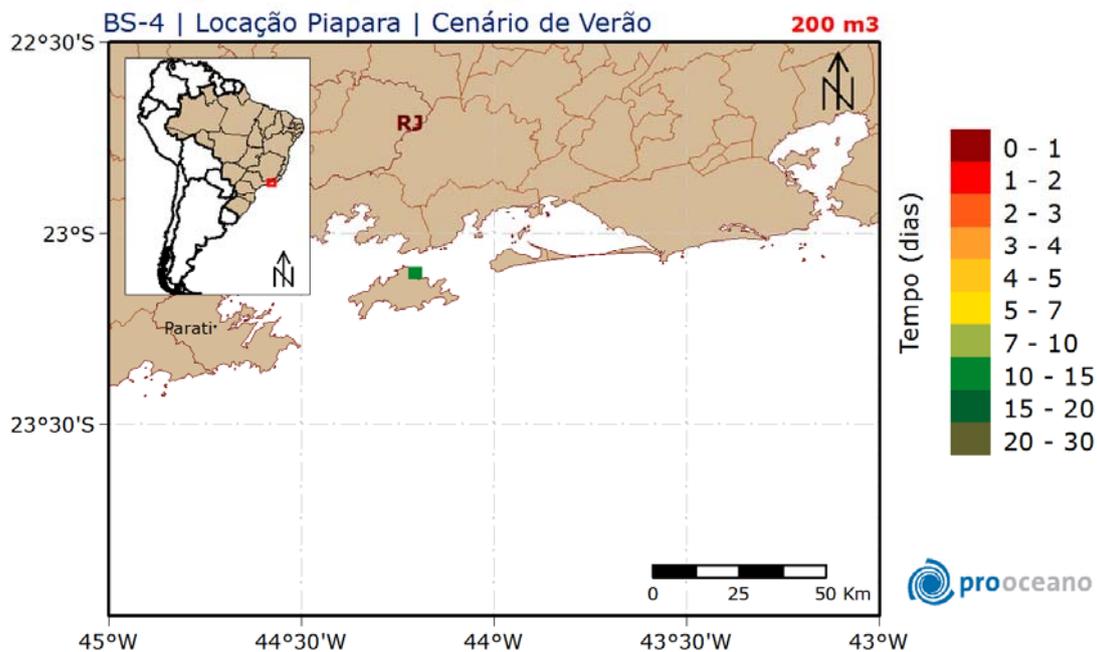


Figura 111: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.

É observado que o tempo mínimo de chegada do óleo na costa, é de 14 dias, no único local atingido, Ilha Grande, no município de Angra dos Reis, e que os locais mais distantes com probabilidade de presença de óleo em superfície são alcançados em até 20 dias.

4.3.1.1.2.2. Inverno

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para o vazamento de médio porte (200 m³), no período de inverno, são apresentados na Figura 112 e na Figura 113, respectivamente. Os mapas de tempo mínimo de chegada do óleo em superfície e na costa encontram-se na Figura 114 e Figura 115, respectivamente.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

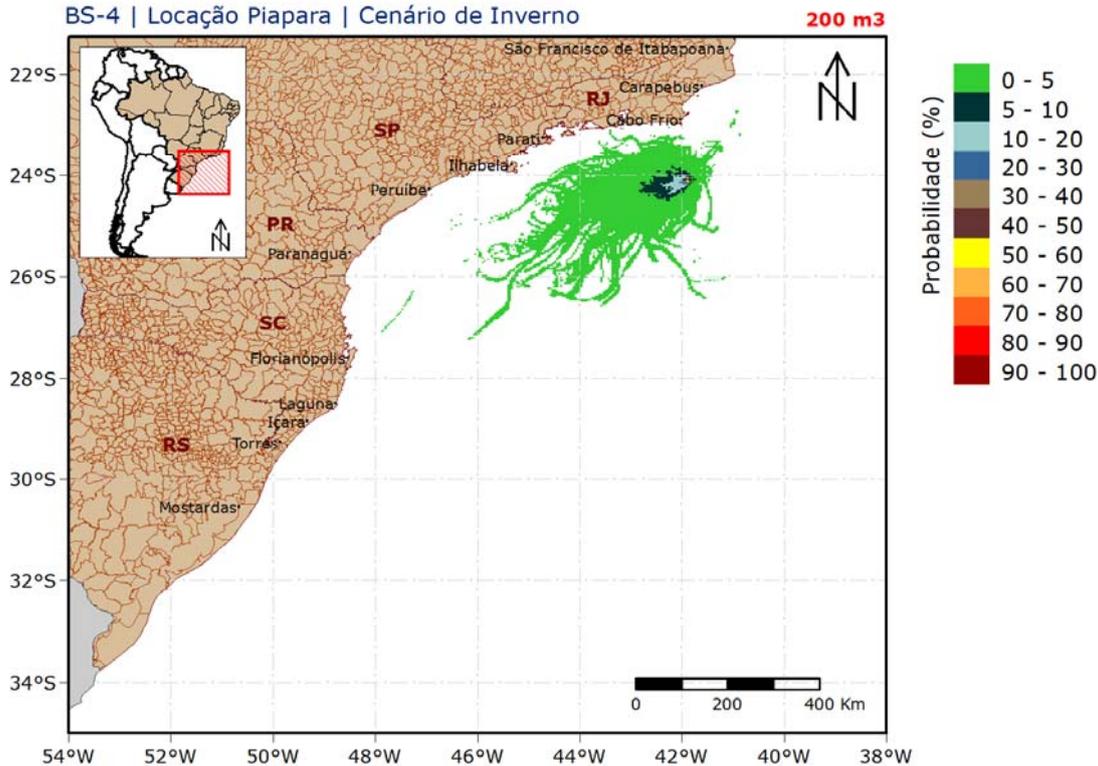


Figura 112: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Piapara | Cenário de Inverno **200 m³**

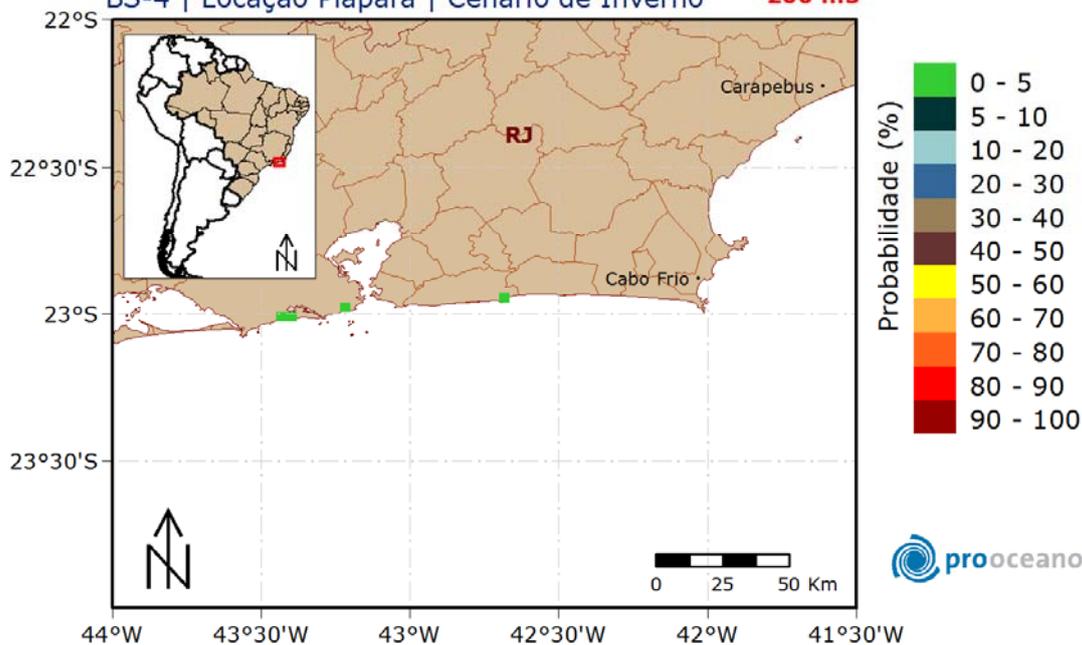


Figura 113: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.

A deriva do óleo neste cenário foi também preferencialmente para o sudoeste do local de vazamento. Entretanto, é observado que há áreas mais ao norte com probabilidade de presença de óleo em superfície devido à presença mais frequente de ventos de quadrante sul neste cenário. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 22,8° S, até a latitude de 27° S.

As classes de probabilidade de presença de óleo na costa foram de até 5%, nos municípios do Rio de Janeiro e Maricá.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

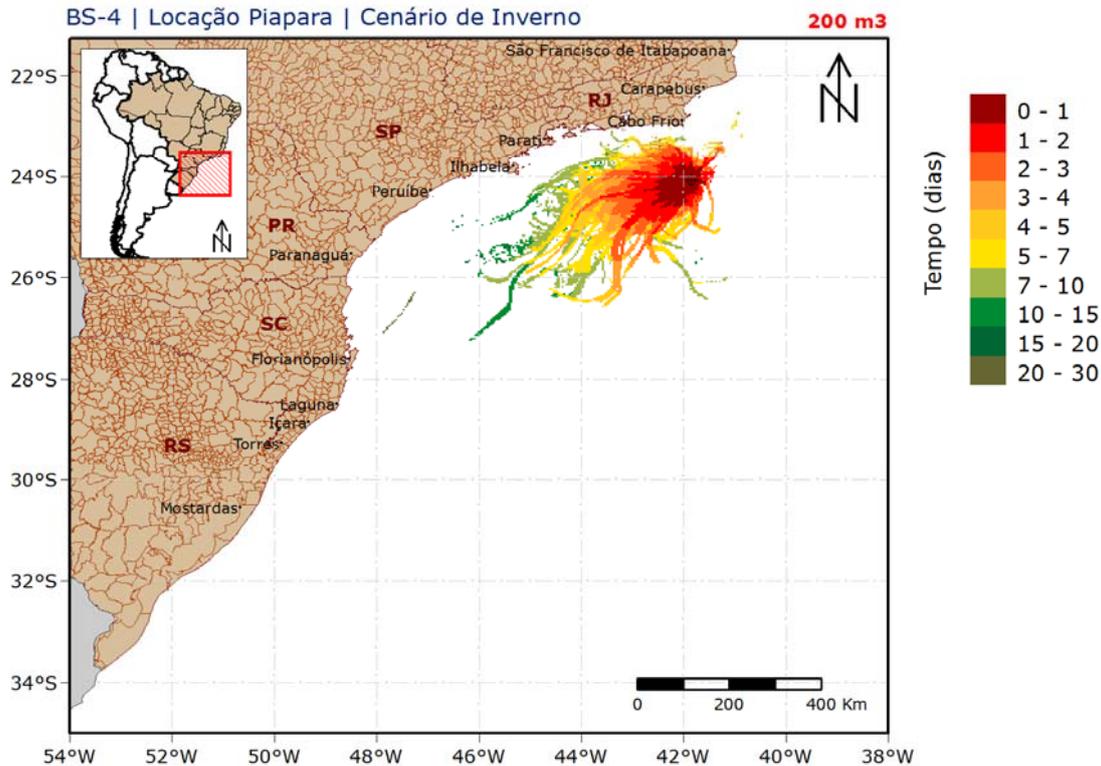


Figura 114: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para vazamento de 200 m³, no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Piapara | Cenário de Inverno **200 m³**

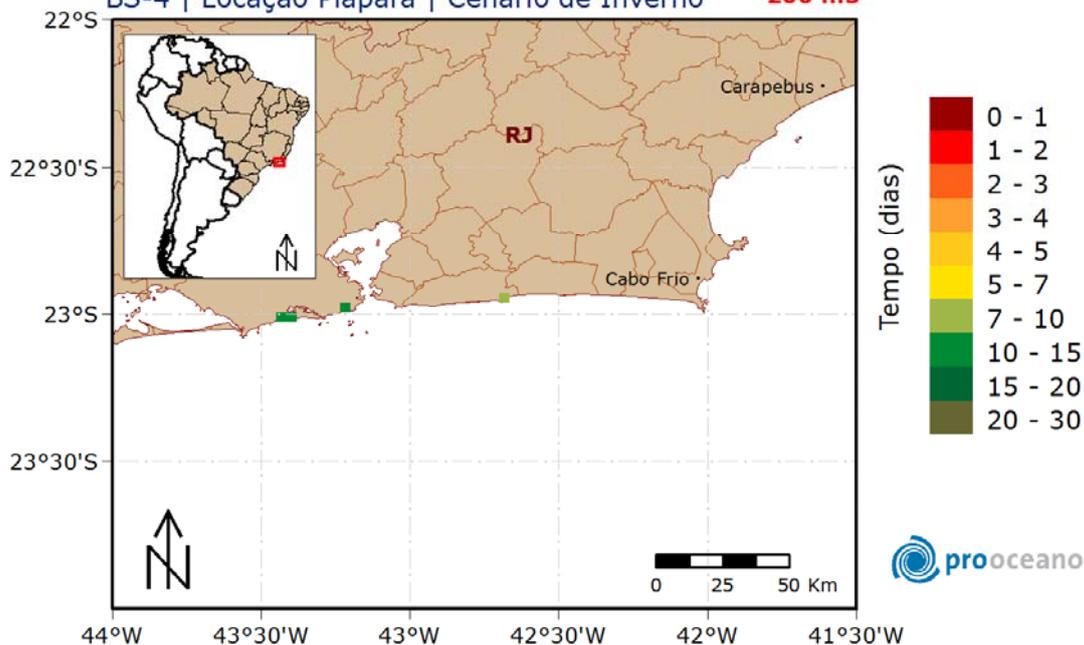


Figura 115: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para vazamento de 200 m³, no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Piapara.

A partir da observação da Figura 115, nota-se que o tempo mínimo de chegada do óleo na costa variou de 9 a 10 dias. Com o município de Maricá, sendo atingido em 9 dias e o município do Rio de Janeiro, em 10 dias.

A seguir, na Tabela 30, são apresentados os valores de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em cada município com possibilidade de ser atingido pelo óleo em um vazamento de 200 m³.

Tabela 30: Probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada e espessura máxima de óleo em superfície nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 200 m³, nos cenários de verão e inverno. Locação Piapara.

UF	MUNICÍPIOS	Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		verão	inverno	verão	inverno
RJ	Maricá	-	0,25	-	8,71
	Rio de Janeiro	-	0,25	-	10,17
	Angra dos Reis (Ilha Grande)	0,25	-	13,56	-

Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

4.3.1.1.3. Vazamento de Blowout

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas simulações probabilísticas de *blowout* (149.220 m³). Para esses cenários foi considerado um vazamento contínuo durante 30 (trinta) dias. O tempo simulado abrange os 30 dias de vazamento e mais 30 dias após o término do mesmo, totalizando 60 dias de simulação.

4.3.1.1.3.1. Verão

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para um evento de *blowout* (149.220 m³), em período de verão, 60 dias após o início do vazamento, encontram-se na Figura 116 e Figura 117, respectivamente. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 118 e Figura 119.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

149.220 m³

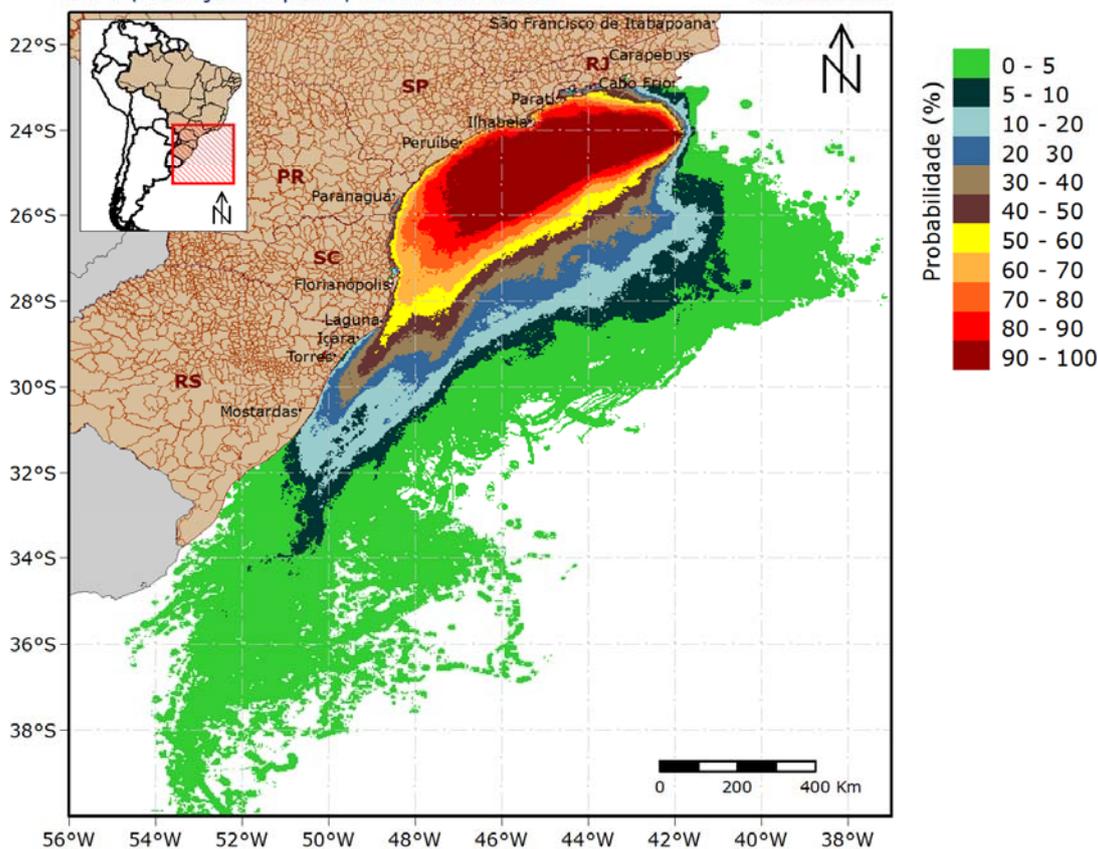


Figura 116: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

149.220 m³

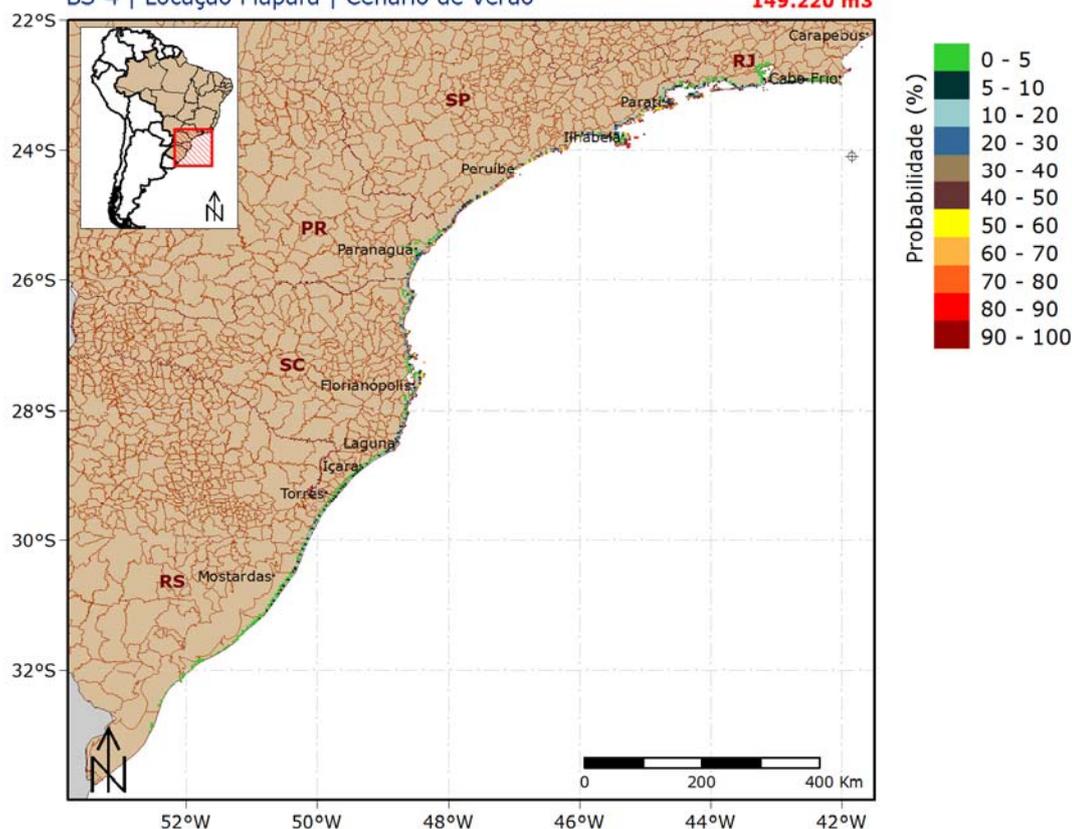


Figura 117: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Localização Piapara.

Como ocorrido nas simulações anteriores, neste período de verão a deriva do óleo foi preferencialmente para oeste-sudoeste do local de vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos do primeiro quadrante típicos deste cenário. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 22,8° S, até a latitude de 40° S. Em aproximadamente 34° S, nota-se uma tendência de deriva do óleo para leste. Este movimento para leste, provavelmente está associado a períodos nos quais a Confluência Brasil-Malvinas encontra-se presente nessa latitude.

Observa-se pela Figura 117 que a probabilidade de presença do óleo na costa, abrangeu cinco estados, do Rio de Janeiro ao Rio Grande do Sul, nas classes de 0 a 90%. Ressalta-se que o estado de São Paulo apresentou as maiores probabilidades de óleo na costa, variando de 35 a

88%. As cidades com as maiores probabilidades de toque por óleo foram Ilhabela, com 87,8% e Ubatuba com 80,37%.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Modo Probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

149.220 m³

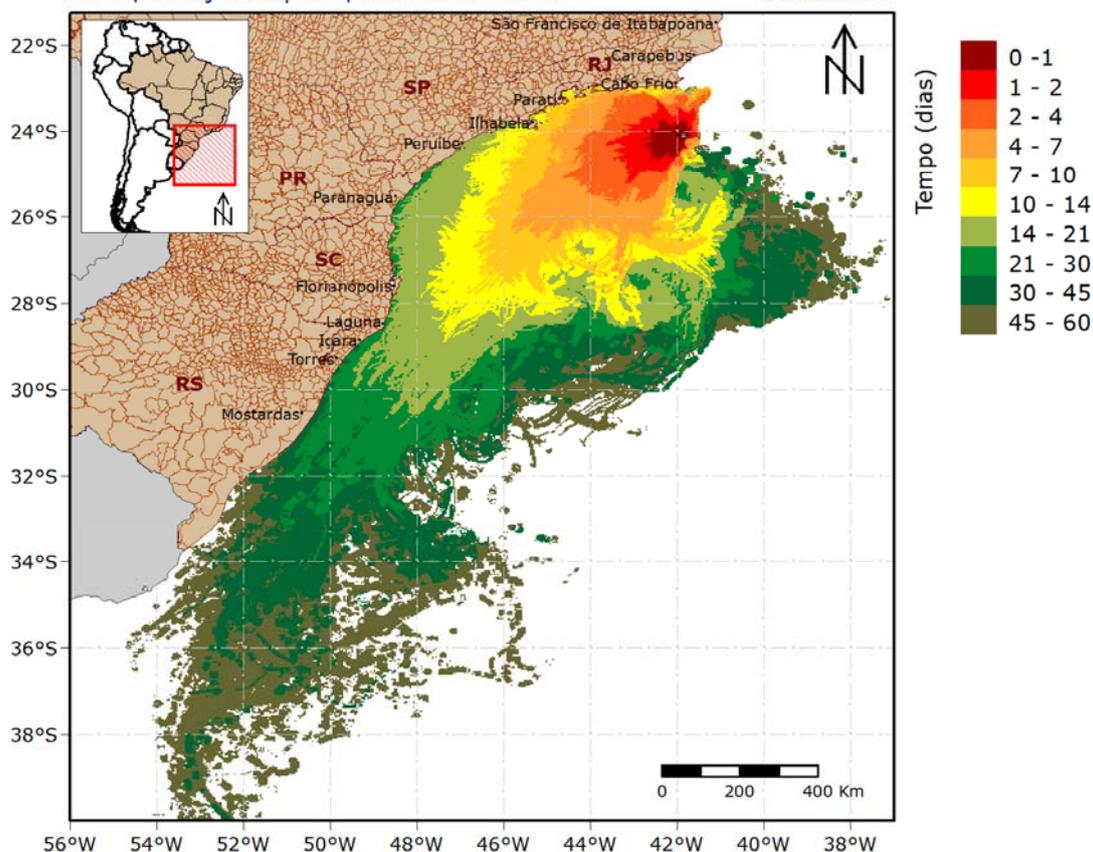


Figura 118: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 30 dias no período de verão. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

149.220 m³

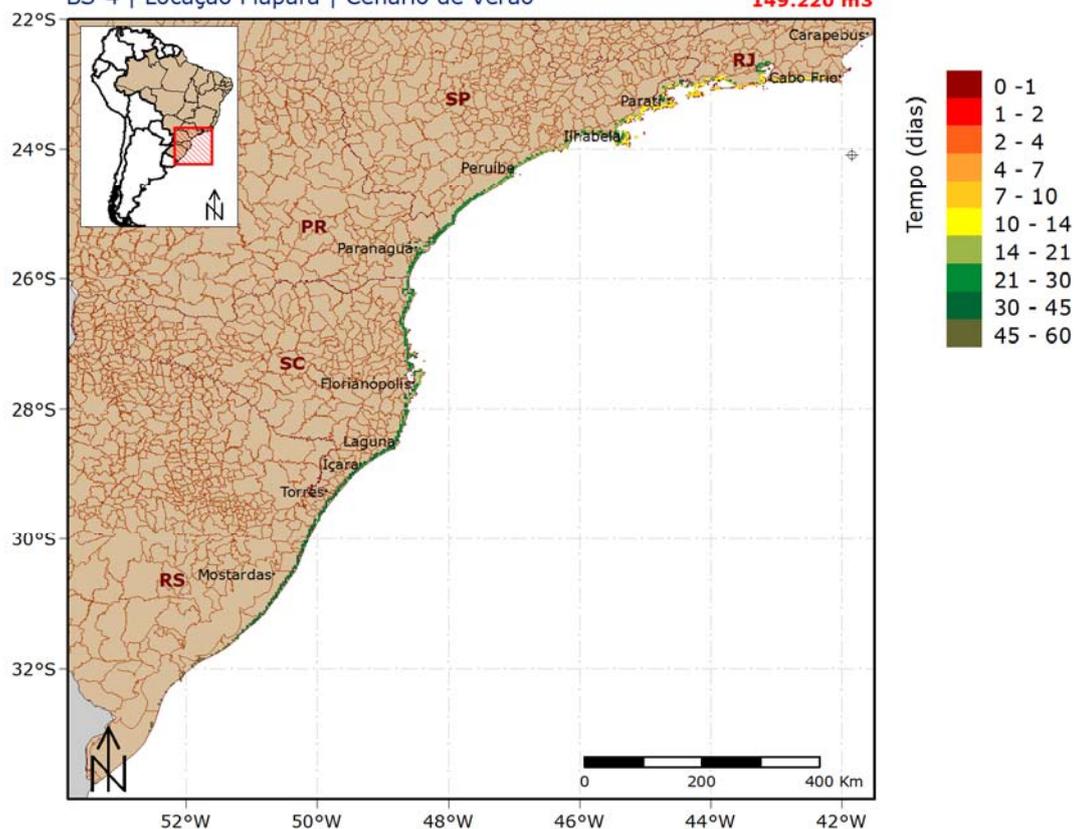


Figura 119: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 30 dias no período de verão. Localização Piapara.

O tempo mínimo de chegada de óleo à costa variou entre 4 e 57 dias, com os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo sendo atingidos mais rapidamente pelo óleo. O local com menor tempo de chegada de óleo na costa foi o município do Rio de Janeiro, em 4,88 dias (~117 horas) (Tabela 31). O estado de São Paulo pode ser atingido com um tempo mínimo de 9,81 dias (~235 horas) em Ilhabela. Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul somente foram atingidos após 17 dias (408 horas) de simulação.

A seguir, a Figura 120 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no período de verão.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Massa Máxima de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão

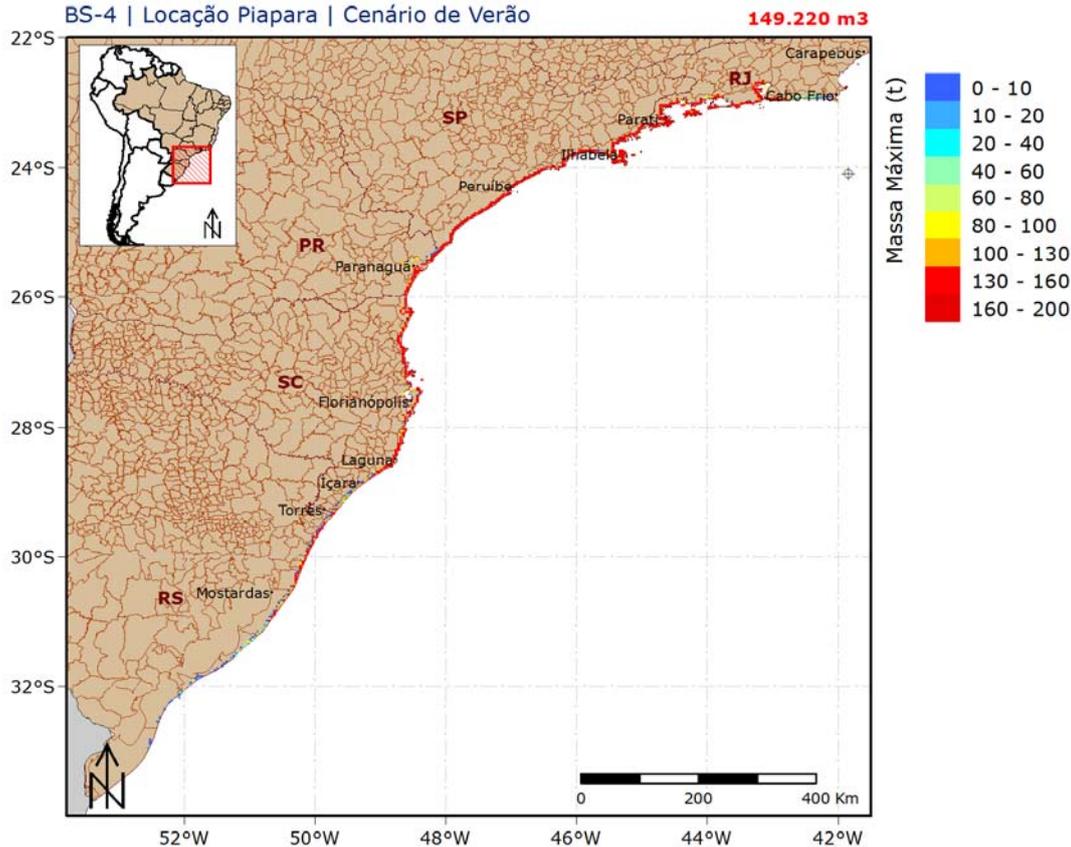


Figura 120: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de verão.
Localização Piapara.

Ao observar a Figura 120 e a Tabela 31, nota-se que a região compreendida desde a cidade de Magé-RJ até São José do Norte-RS apresenta valores de massa de óleo acumulada superiores a 100 toneladas. O local com o maior acúmulo de óleo na costa foi Paraty-RJ e Ubatuba-SP, com aproximadamente 192,4 toneladas (Tabela 31).

4.3.1.1.3.2. Inverno

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para um evento de *blowout* (149.220 m³), em período de inverno 60 dias após o início do vazamento, encontram-se

na Figura 121 e Figura 122. Os mapas de tempo mínimo de chegada em superfície e na costa encontram-se na Figura 123 e Figura 124.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

149.220 m³

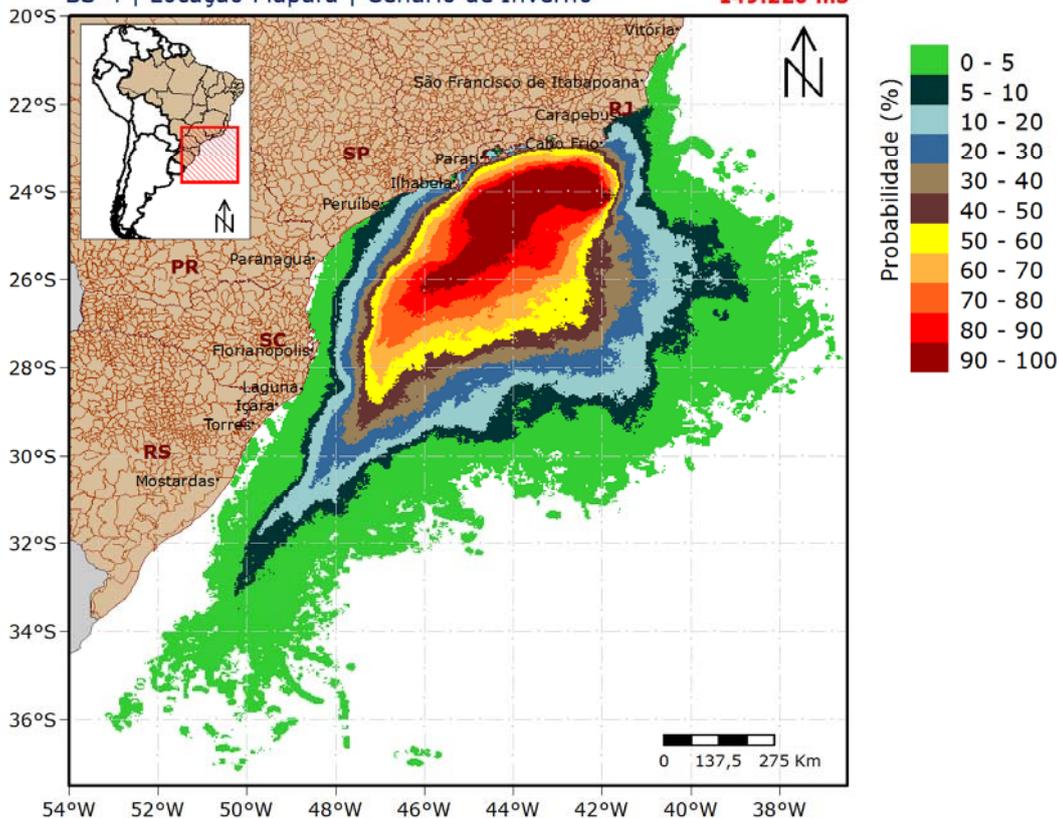


Figura 121: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa
Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações
BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

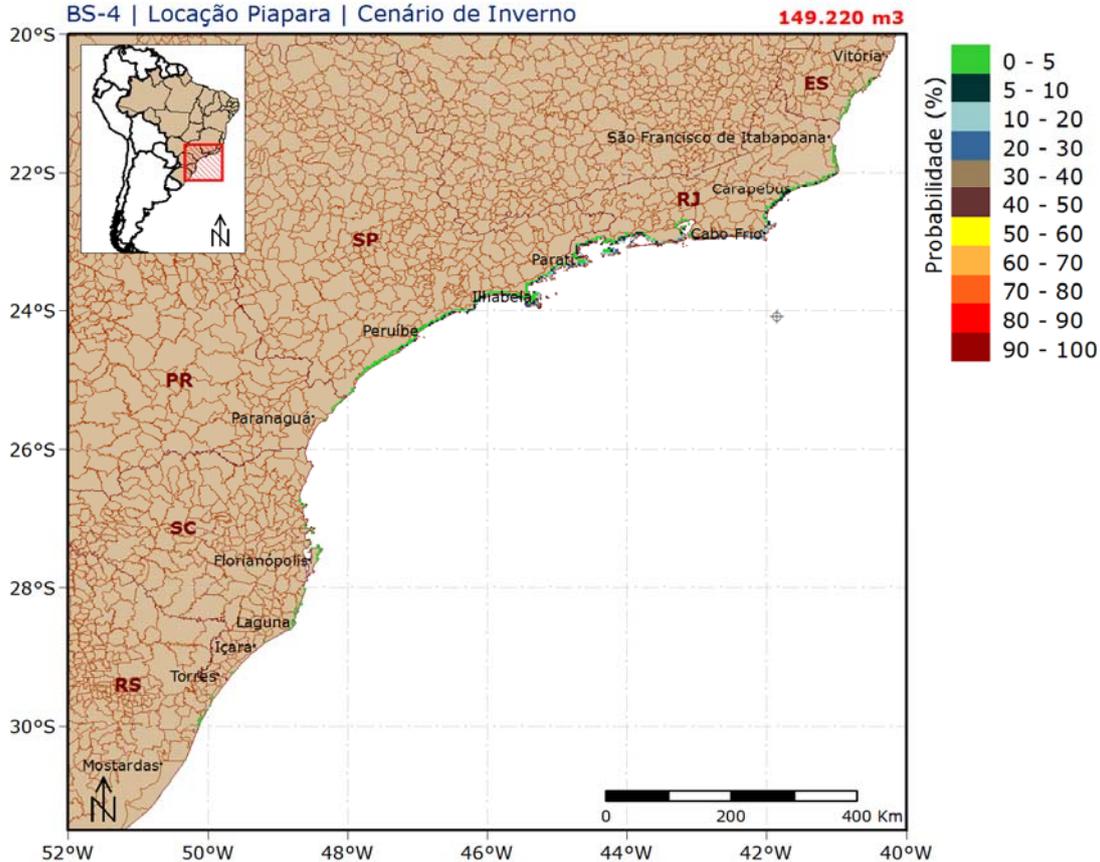


Figura 122: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Localização Piapara.

A deriva do óleo ocorreu preferencialmente para o sudoeste do local de vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos do primeiro quadrante. Contudo, como ocorrido nas simulações anteriores em período de inverno, observa-se a ocorrência de probabilidade de presença mais ao norte, devido aos ventos mais frequentes de quadrante sul neste cenário. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 20,7° S, até a latitude de 37° S.

Observa-se que a probabilidade de presença de óleo na costa abrangeu seis estados, do Rio Grande do Sul ao Espírito Santo, entre as classes de 0 a 50%. Os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo apresentaram as maiores probabilidades de presença de óleo na costa. Os locais

com as maiores probabilidades foram Rio de Janeiro-RJ e Ilhabela-SP, 49,4% e 49,1%, respectivamente.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

149.220 m³

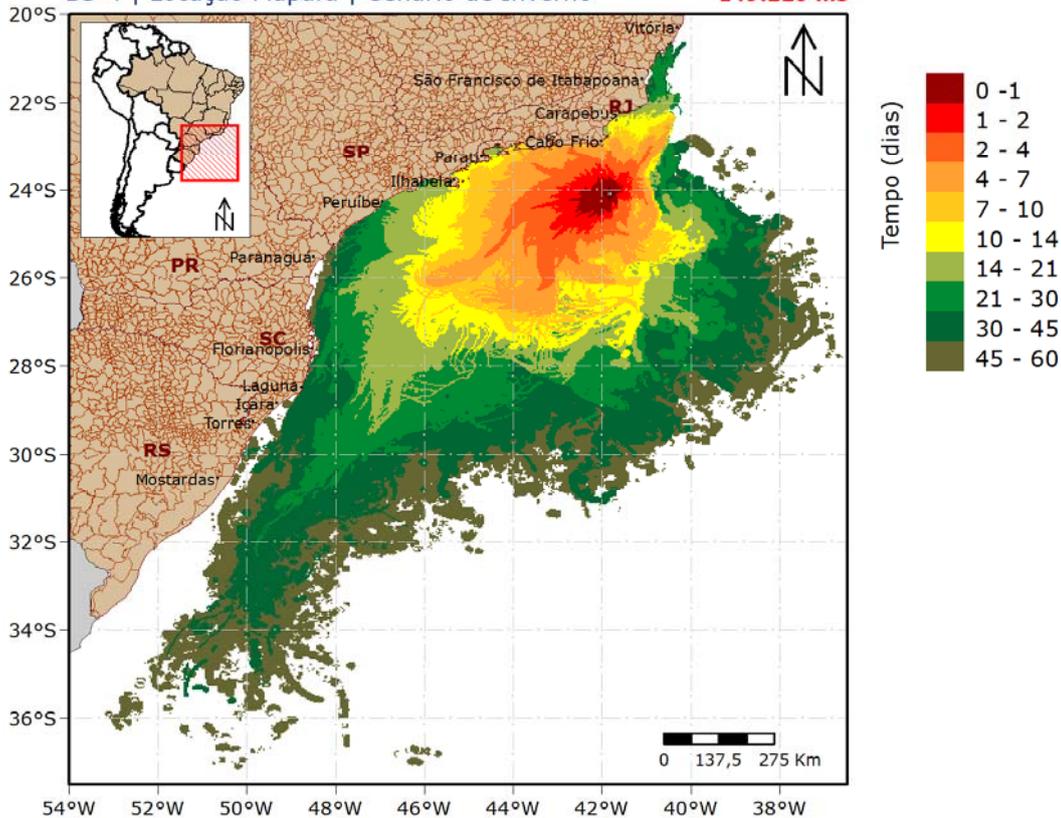


Figura 123: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

149.220 m³

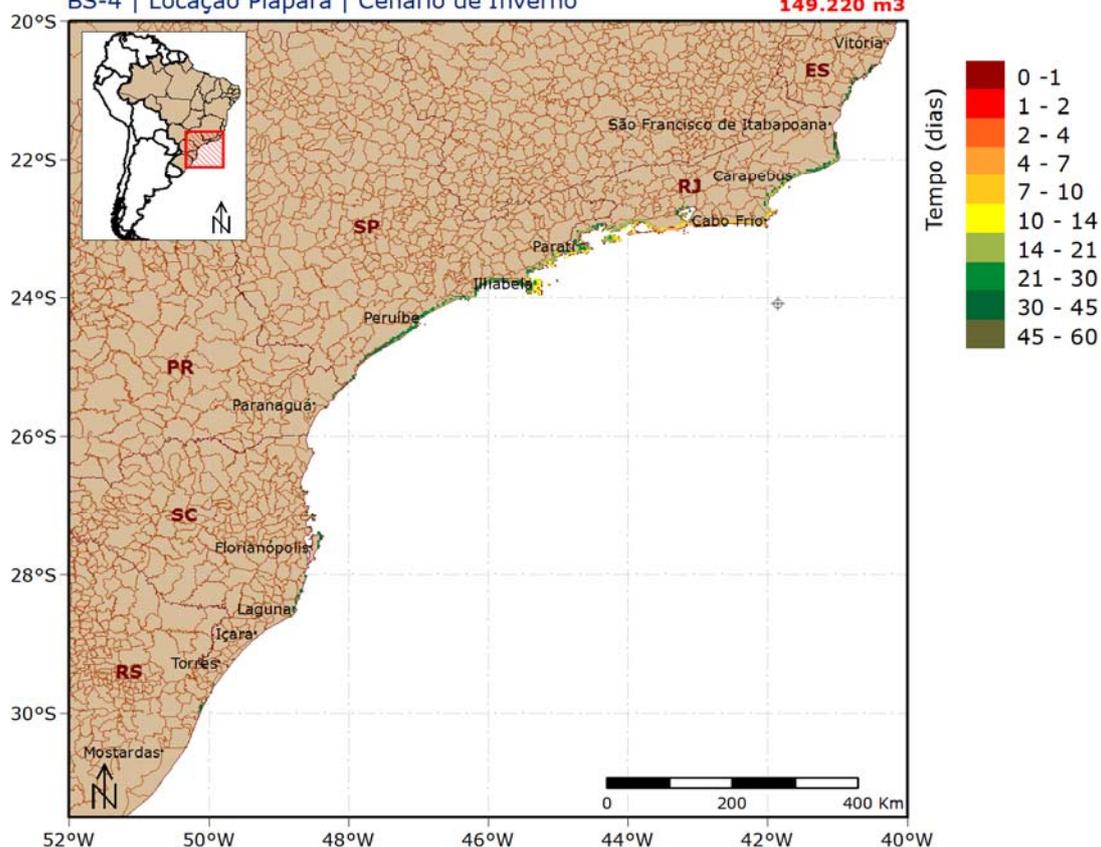


Figura 124: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Localização Piapara.

É observado que as classes de tempo mínimo de chegada do óleo à costa, variam de 4 a 60 dias, com os menores tempos sendo registrados no estado do Rio de Janeiro. O município mais rapidamente atingido pelo óleo na costa foi Maricá, em 4,48 dias (~108 horas). Ilhabela é o município no estado de São Paulo com o menor tempo mínimo de chegada de óleo, 11,35 dias (~272 horas), enquanto o estado do Espírito Santo foi atingido em 28,35 dias (~680 horas) nos municípios de Marataízes e Itapemirim. Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul foram alcançados após 32 dias (768 horas) após o início do vazamento.

A seguir, a Figura 125 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no período de inverno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Massa Máxima de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno

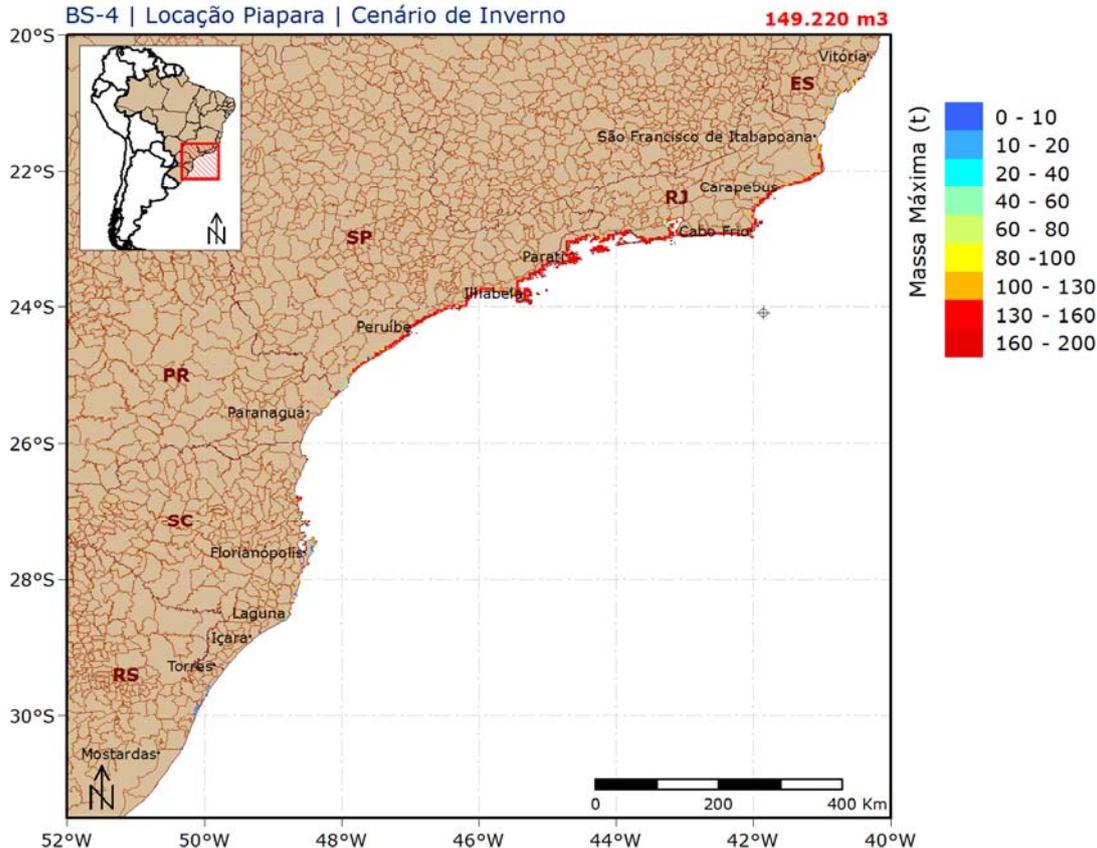


Figura 125: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de inverno.

Localização Piapara.

Neste cenário, devido aos ventos mais frequentes do quadrante sul, a região com maior massa acumulada apresenta-se deslocada para norte, em relação ao cenário de verão. Os estados do Rio de Janeiro e São Paulo concentram os valores mais altos de massa acumulada, 130 – 190 toneladas. O município com o maior acúmulo de óleo na costa foi Maricá-RJ, aproximadamente 189 toneladas.

A seguir, na Tabela 31, são apresentados os valores de massa máxima na costa, probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em cada município com possibilidade de ser atingido pelo óleo em um derrame de 149.220 m³.

Tabela 31: Massa máxima, probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada e espessura máxima de óleo em superfície nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento derrame de grande volume (149.220 m³), nos cenários de verão e inverno. Localização Piapara.

UF	MUNICÍPIOS ¹	Massa Máxima (t)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
ES	Guarapari	-	128,69	-	3,23	-	30,79
	Anchieta	-	111,59	-	1,24	-	30,63
	Piúma	-	111,59	-	0,74	-	33,29
	Itapemirim	-	111,12	-	0,74	-	28,35
	Marataízes	-	111,12	-	0,99	-	28,35
	Presidente Kennedy	-	107,21	-	0,25	-	45,69
RJ	São Francisco de Itabapoana	-	110,91	-	0,25	-	46,71
	São João da Barra	-	154,17	-	3,97	-	22,44
	Campos dos Goytacazes	-	154,17	-	5,46	-	19,25
	Quissamã	-	157,28	-	5,71	-	15,98
	Carapebus	-	151,46	-	7,20	-	16,04
	Macaé	-	173,48	-	9,93	-	12,46
	Rio das Ostras	-	170,13	-	7,94	-	12,92
	Casimiro de Abreu	-	149,44	-	6,45	-	18,81
	Cabo Frio	3,84	180,29	0,27	24,32	55,06	6,96
	Armação dos Búzios	-	177,99	-	13,65	-	6,96
	Arraial do Cabo	116,23	185,75	2,92	37,47	7,46	5,73
	Araruama	41,25	177,50	2,12	35,48	13,42	7,48
	Saquarema	64,27	177,50	5,57	40,45	11,50	7,67
	Maricá	136,78	188,98	18,57	44,91	8,75	4,48
	Niterói	133,73	178,02	18,57	41,44	9,33	6,29
	São Gonçalo	90,94	131,77	0,80	0,50	47,90	31,00
	Magé	137,89	131,26	4,51	0,99	23,46	20,06
	Duque de Caxias	151,29	131,41	4,51	0,99	23,52	22,25
	Rio de Janeiro	175,04	186,46	48,28	49,38	4,88	5,42
	Itaguaí	148,61	170,17	15,12	17,37	10,10	9,67
	Mangaratiba	147,70	178,76	21,22	17,37	9,79	12,65
	Angra dos Reis (Ilha Grande)	179,74	182,35	60,48	43,18	7,65	9,35
	Angra dos Reis	159,72	176,95	19,63	13,15	9,79	14,31
Parati	192,39	176,80	70,29	45,41	9,27	11,40	

¹ Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

Tabela 31: Massa máxima, probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada e espessura máxima de óleo em superfície nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento derrame de grande volume (149.220 m³), nos cenários de verão e inverno. Locação Piapara.

(Continuação)

UF	MUNICÍPOS ²	Massa Máxima (t)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
SP	Ubatuba	192,39	179,50	80,37	35,73	9,98	12,33
	Caraguatatuba	186,32	165,19	61,80	13,90	12,58	13,88
	Ilhabela	188,37	180,43	87,80	49,13	9,81	11,35
	São Sebastião	164,93	154,71	35,28	10,67	16,38	13,88
	Bertioga	178,37	161,52	64,46	10,17	16,10	21,46
	Guarujá	192,10	167,71	79,05	13,40	13,21	18,48
	Santos	179,34	160,07	53,85	6,45	16,10	23,56
	São Vicente	185,07	155,42	56,23	7,20	16,42	20,46
	Praia Grande	185,07	163,16	68,70	9,93	16,42	20,35
	Mongaguá	178,74	168,26	64,46	6,45	19,04	20,48
	Itanhaém	180,54	169,49	65,52	6,45	16,88	20,58
	Peruíbe	181,70	169,25	74,80	6,45	16,25	22,63
	Iguape	181,15	166,35	72,41	5,46	17,42	23,02
	Ilha Comprida	179,37	155,93	55,44	4,22	18,44	29,81
	Cananéia	179,25	136,81	59,95	2,98	21,04	29,60
PR	Guaraqueçaba	176,43	132,23	54,38	1,49	22,27	32,02
	Paranaguá	169,67	35,10	47,21	0,25	21,63	59,10
	Pontal do Paraná	162,47	-	47,21	-	21,63	-
	Matinhos	158,25	-	32,36	-	21,63	-
	Guaratuba	165,29	-	36,87	-	20,98	-
SC	Itapoá	160,68	-	32,63	-	20,98	-
	São Francisco do Sul	175,22	-	55,17	-	20,71	-
	Balneário Barra do Sul	155,57	-	39,79	-	21,35	-
	Araquari	159,66	-	36,34	-	23,06	-
	Barra Velha	159,66	51,52	37,67	0,25	22,58	59,06
	Piçarras	160,76	51,52	37,67	0,25	22,58	59,06
	Penha	168,72	131,57	51,19	0,74	19,56	55,35
	Navegantes	168,10	-	32,89	-	23,96	-
	Itajaí	162,67	-	32,89	-	24,19	-
Balneário Camboriú	168,53	-	42,97	-	23,38	-	

² Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

Tabela 31: Massa máxima, probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada e espessura máxima de óleo em superfície nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento derrame de grande volume (149.220 m³), nos cenários de verão e inverno. Locação Piapara.

(Continuação).

UF	MUNICÍPIOS ³	Massa Máxima (t)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
SC	Itapema	168,12	53,86	34,48	0,25	23,38	48,13
	Porto Belo	171,51	107,59	51,99	0,50	20,88	44,90
	Bombinhas	171,51	107,59	51,99	0,50	20,88	44,90
	Tijucas	135,75	-	4,24	-	27,35	-
	Governador Celso Ramos	153,06	53,40	14,85	0,50	23,46	49,04
	Biguaçu	97,89	-	0,53	-	44,06	-
	Florianópolis	175,24	107,66	58,36	1,24	17,19	35,90
	Palhoça	145,23	-	35,54	-	18,46	-
	Paulo Lopes	145,23	-	35,54	-	18,46	-
	Garopaba	151,63	129,21	40,85	1,24	20,73	42,60
	Imbituba	158,72	67,31	46,95	0,99	20,73	38,50
	Laguna	162,37	128,37	38,99	1,49	21,88	39,69
	Jaguaruna	162,37	3,46	37,40	0,25	24,40	59,02
	Içara	138,35	3,46	11,67	0,25	23,67	59,02
	Araranguá	135,62	-	9,02	-	25,04	-
	Balneário Arroio do Silva	135,62	-	10,61	-	25,04	-
	Balneário Gaivota	110,03	17,95	7,69	0,25	28,44	51,25
	Passo de Torres	150,41	17,95	8,75	0,25	31,10	51,25
	RS	Torres	150,41	-	8,75	-	27,42
Arroio do Sal		148,23	24,27	17,24	0,25	27,42	46,71
Terra de Areia		137,23	24,27	10,08	0,25	33,17	46,71
Capão da Canoa		146,20	24,27	19,89	0,25	26,98	46,13
Xangri-lá		152,70	8,91	16,98	0,25	31,35	55,00
Osório		152,70	15,09	16,71	0,25	31,46	43,79
Imbé		143,94	16,97	16,45	0,25	31,65	43,79
Tramandaí		144,36	19,44	15,92	0,25	28,50	47,00
Cidreira		147,19	-	16,71	-	25,00	-
Balneário Pinhal		141,80	-	15,65	-	31,27	-
Palmares do Sul		142,86	3,93	18,30	0,25	31,06	59,63
Mostardas		142,26	3,93	11,41	0,25	31,56	59,63
Tavares		109,88	-	5,04	-	33,65	-
São José do Norte		124,57	-	1,86	-	40,21	-
Lagoa dos Patos		23,00	-	0,53	-	45,10	-
Rio Grande		17,44	-	0,27	-	54,33	-
Santa Vitória do Palmar		14,39	-	0,27	-	56,13	-

³ Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

4.3.1.2. Locação Eoceno

4.3.1.2.1. Vazamento de 8 m³

4.3.1.2.1.1. Verão

Os mapas de probabilidade de presença de óleo de tempo mínimo de chegada em superfície, para o vazamento de 8 m³ no período de verão, são apresentados na Figura 126 e na Figura 127, respectivamente.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

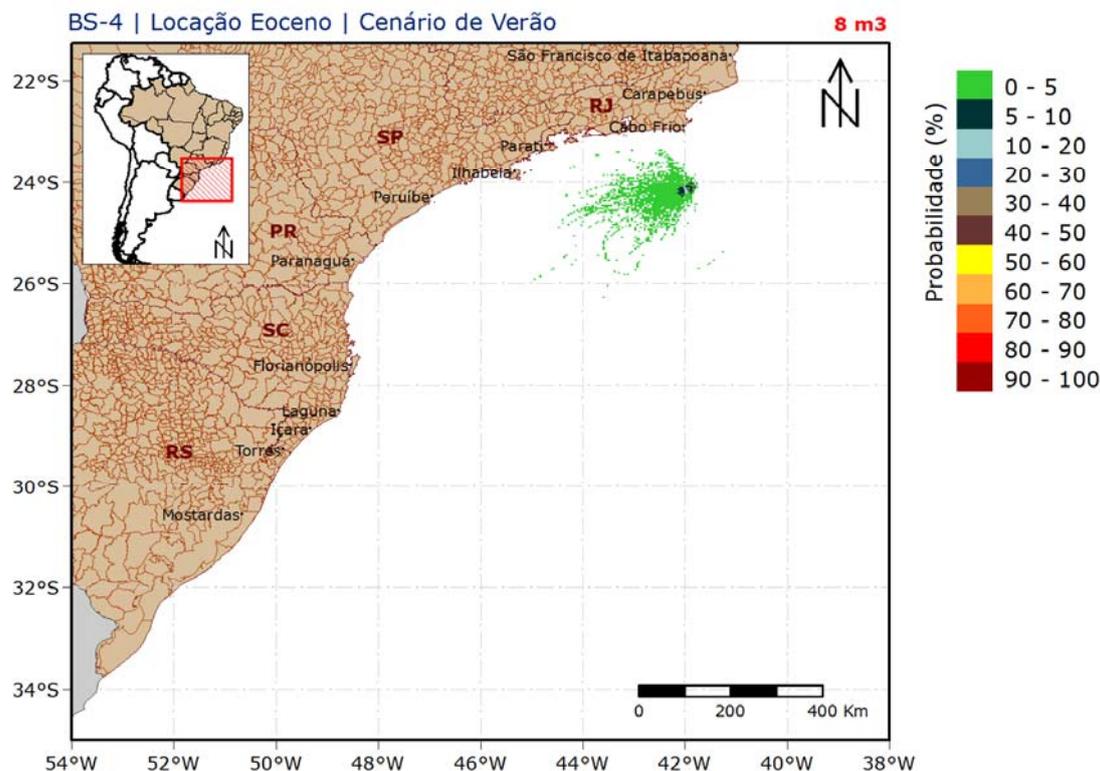


Figura 126: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.

A deriva do óleo ocorreu preferencialmente para oeste-sudoeste do local de vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos do primeiro quadrante, predominantes no período

de verão. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se restringiu até, no máximo, 370 km do ponto de vazamento, sem que houvesse probabilidade de toque na costa.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Verão

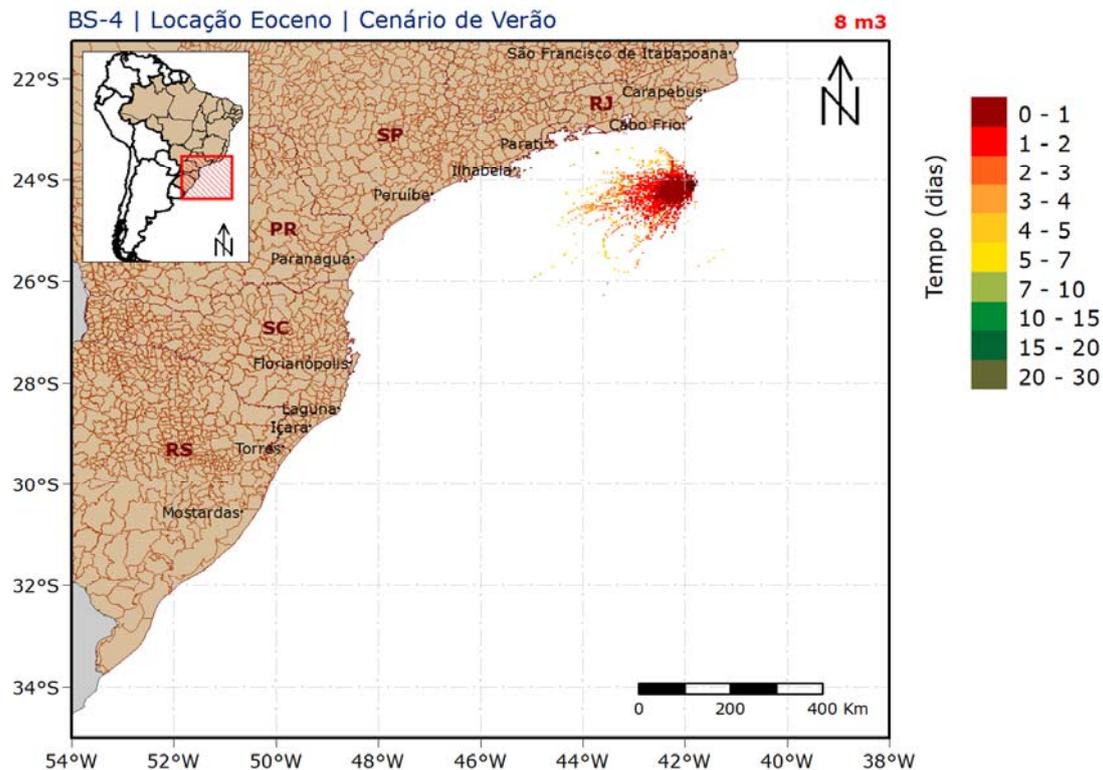


Figura 127: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

Observa-se que as regiões mais distantes com probabilidade de presença de óleo podem ser alcançadas em até 10 dias após o início do vazamento.

4.3.1.2.1.2. Inverno

Os mapas de probabilidade de presença de óleo e de tempo mínimo de chegada em superfície, para o vazamento de 8 m³ no período de inverno, encontram-se na Figura 128 e na Figura 129, respectivamente.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno

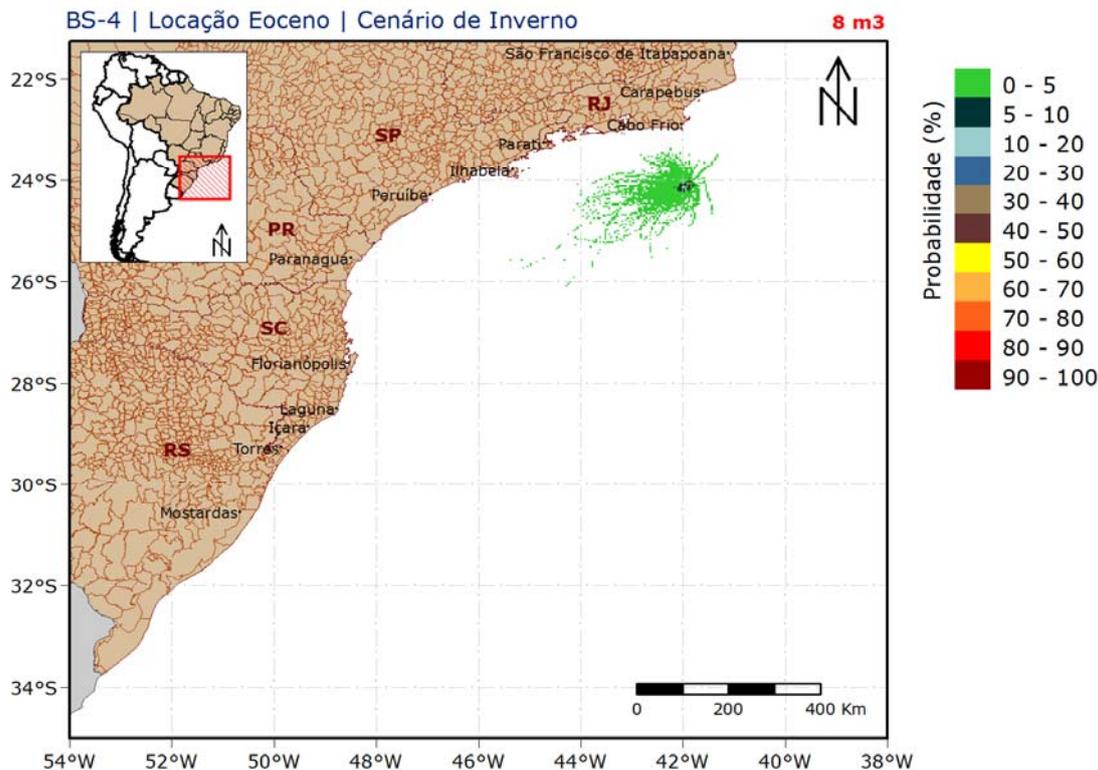


Figura 128: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

A deriva do óleo neste cenário ocorreu também preferencialmente para o sul e sudoeste do local de vazamento, se estendendo até aproximadamente 400 km do local de vazamento. Assim como no cenário anterior, não houve probabilidade de toque na costa.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno

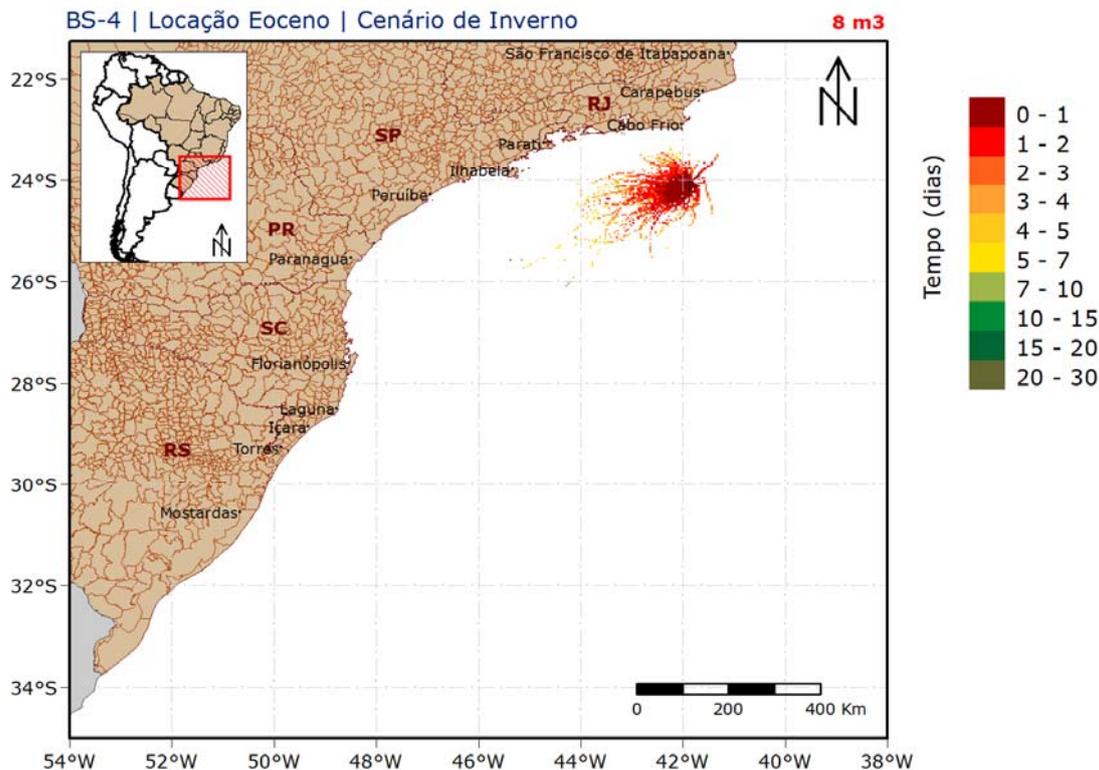


Figura 129: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

Observa-se que as regiões mais distantes com probabilidade de presença de óleo podem ser alcançadas em até 15 dias após o início do vazamento.

4.3.1.2.2. Vazamento de 200 m³

4.3.1.2.2.1. Verão

A seguir, são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para o vazamento de médio porte (200 m³) no período de verão (Figura 130 e Figura 131, respectivamente). Os mapas de tempo mínimo de chegada em superfície e na costa encontram-se na Figura 132 e Figura 133.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

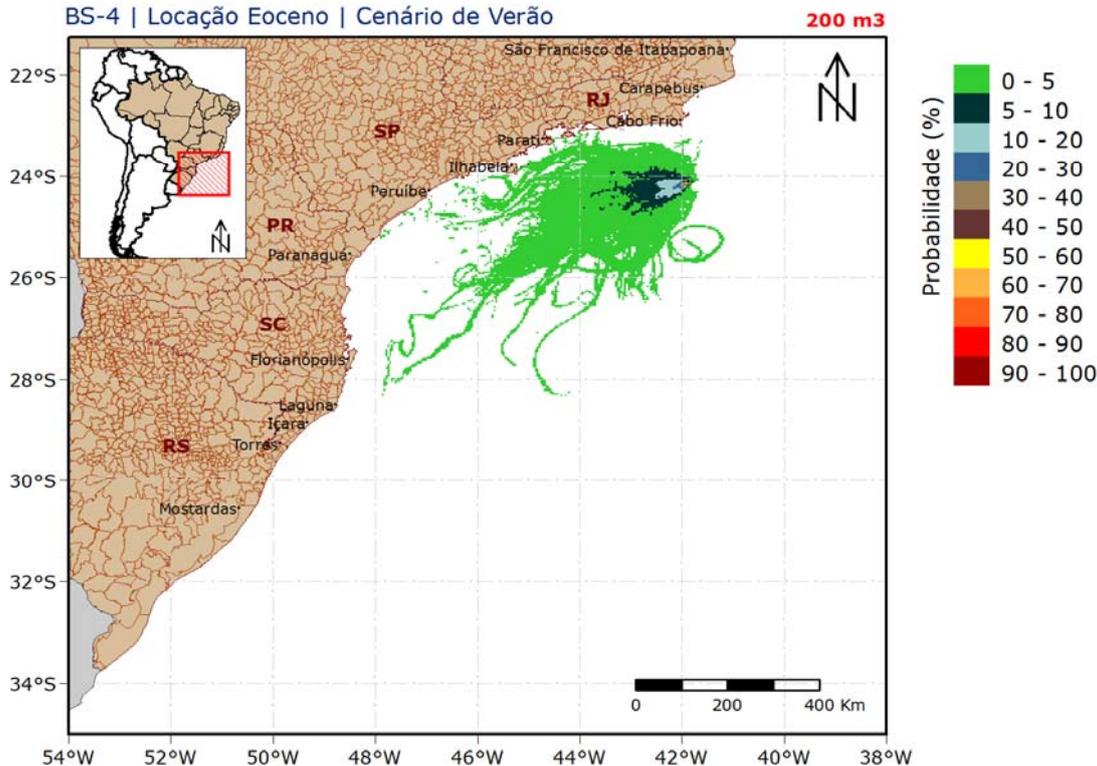


Figura 130: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

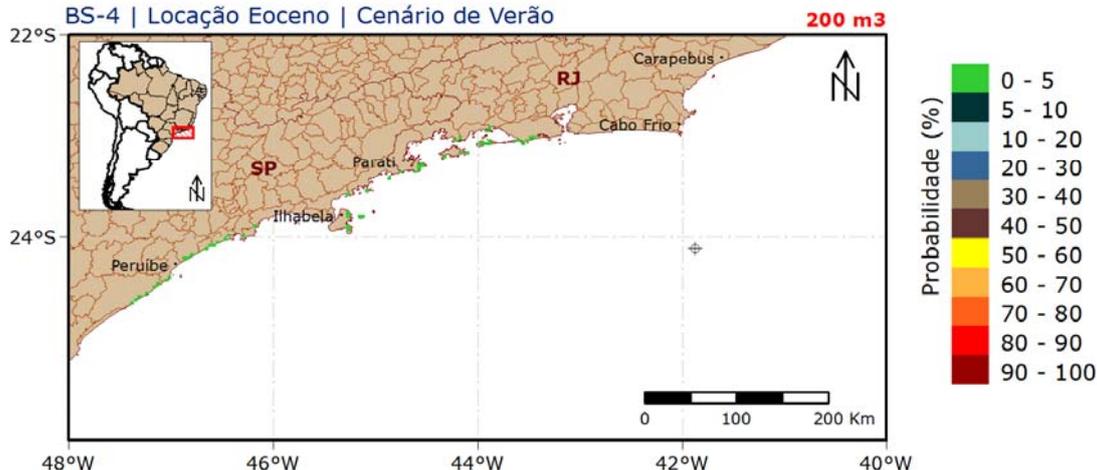


Figura 131: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.

A deriva do óleo foi para sudoeste do local de vazamento devido à influência da Corrente do Brasil e dos ventos de primeiro quadrante. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 23,1° S, até a latitude de 28,3° S. Observa-se que a probabilidade de presença de óleo na costa (Figura 131) abrangeu o estado do Rio de Janeiro e São Paulo, com valores inferiores a 2%.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Verão

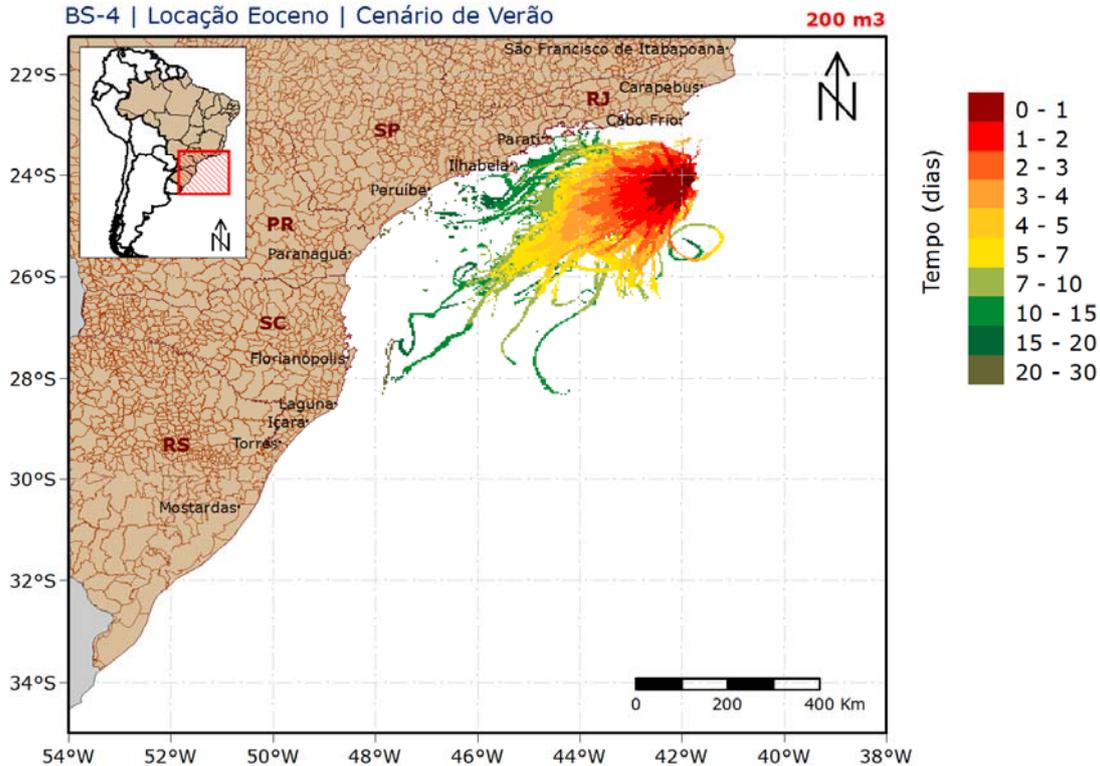


Figura 132: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

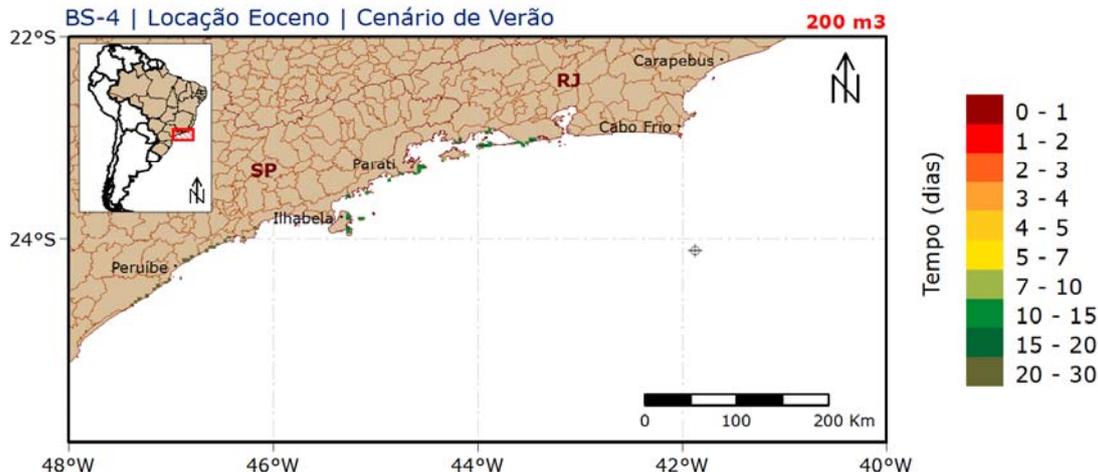


Figura 133: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para vazamento de 200 m³ no período de verão. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.

O tempo mínimo de chegada do óleo à costa variou de 7 a 30 dias. O local com menor tempo de chegada de óleo foi Ilha Grande, no município de Angra dos Reis, em 8,52 dias (~204 horas) (Tabela 32). No estado de São Paulo, o município de Ilhabela registrou o menor tempo de chegada de óleo, 10,42 dias (~250 horas).

4.3.1.2.2.2. Inverno

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para o vazamento de médio porte (200 m³), no período de inverno, são apresentados na Figura 134 e na Figura 135, respectivamente. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 136 e Figura 137.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno

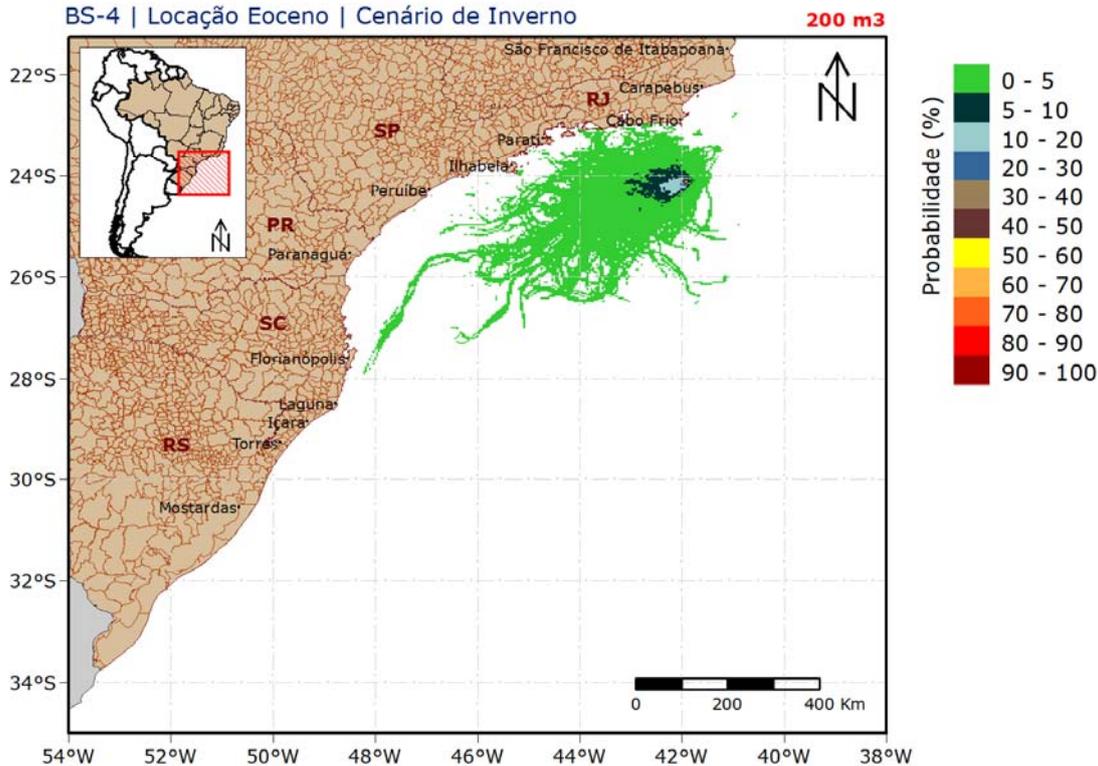


Figura 134: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para vazamento de 200 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Modo Probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno



Figura 135: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para vazamento de 200 m³ no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Locação Eoceno.

A deriva do óleo foi também preferencialmente para o sudoeste da locação Eoceno. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 22,8° S, até a latitude de 27,9° S. A probabilidade de presença de óleo na costa foi inferior a 4%, abrangendo dois estados: Rio de Janeiro e São Paulo. O município do Rio de Janeiro apresentou a maior probabilidade de toque, 3,2% (Tabela 32).

É observado na Figura 134 e na Figura 135 que ocorreu uma descontinuidade entre a área de probabilidade na superfície e os locais com probabilidade na costa. Isto ocorre porque em alguns locais e instantes o óleo em superfície apresenta uma espessura inferior ao limiar de detecção (3×10^{-7} metros), deslocando em direção a costa. Apesar de estar abaixo deste limiar, porém a massa de óleo não é perdida, e pode atingir a costa. Com a evolução das simulações, mais massa de óleo acumula na costa, ultrapassando o limiar de detecção, apresentando probabilidade de presença.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)

Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno

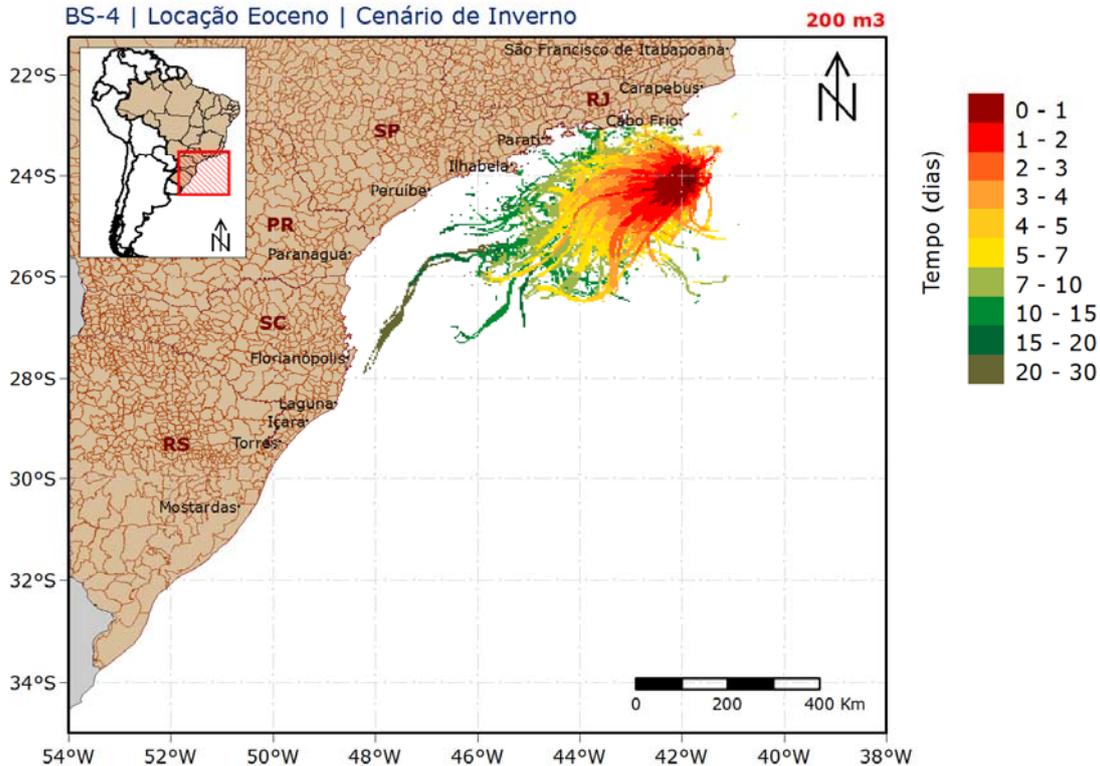


Figura 136: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para vazamento de 200 m³, no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)
Modo Probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Simulação 30 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno



Figura 137: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para vazamento de 200 m³, no período de inverno. Simulação de 720 horas (30 dias). Localização Eoceno.

A Figura 137 mostra que o tempo mínimo de chegada do óleo na costa variou de 5 a 30 dias. O local mais rapidamente atingido por óleo foi o município do Rio de Janeiro, em 5,44 dias (~131 horas).

A seguir, na Tabela 32, são apresentados os valores de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em cada município com possibilidade de ser atingido pelo óleo em um vazamento de 200 m³.

Tabela 32: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 200 m³, nos cenários de verão e inverno. Locação Eoceno.

UF	MUNICÍPIOS ⁴	Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)		
		verão	inverno	verão	inverno	
RJ	Armação dos Búzios	-	0,2	-	13,17	
	Arraial do Cabo	-	0,2	-	12,44	
	Saquarema	-	0,2	-	10,35	
	Maricá	-	1,0	-	10,29	
	Niterói	-	0,2	-	11,00	
	Rio de Janeiro	1,0	3,2	10,04	5,44	
	Itaguaí	0,3	-	11,48	-	
	Mangaratiba	0,3	0,2	11,48	15,73	
	Angra dos Reis (Ilha Grande)	1,0	1,0	8,52	11,63	
	Angra dos Reis	0,3	-	19,13	-	
	Paraty	1,3	1,0	10,08	10,94	
	SP	Ubatuba	0,5	0,7	11,94	14,50
		Caraguatatuba	0,5	-	15,85	-
Ilhabela		0,5	0,5	10,42	14,94	
Bertioga		0,3	0,2	25,92	21,25	
Guarujá		0,3	0,2	24,69	20,77	
Santos		0,3	0,2	24,69	21,29	
São Vicente		0,3	0,5	25,31	22,33	
Praia Grande		0,5	0,7	23,75	22,33	
Mongaguá		0,5	0,7	22,96	22,46	
Itanhaém		0,3	0,2	22,88	22,75	
Peruíbe		0,5	0,2	22,50	23,40	
Iguape		0,5	0,2	25,71	28,06	

⁴ Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

4.3.1.2.3. Vazamento de Blowout

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nas simulações probabilísticas de *blowout* (2.280 m³) para locação Eoceno. Para esses cenários foi considerado um vazamento contínuo durante 30 (trinta) dias. O tempo simulado abrange os 30 dias de vazamento e mais 30 dias após o término do mesmo, totalizando 60 dias de simulação.

4.3.1.2.3.1. Verão

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para um evento de *blowout* (2.280 m³), em período de verão, 60 dias após o início do vazamento, encontram-se na Figura 138 e Figura 139. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 140 e Figura 141.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Modo Probabilístico



Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Verão

2.280 m³

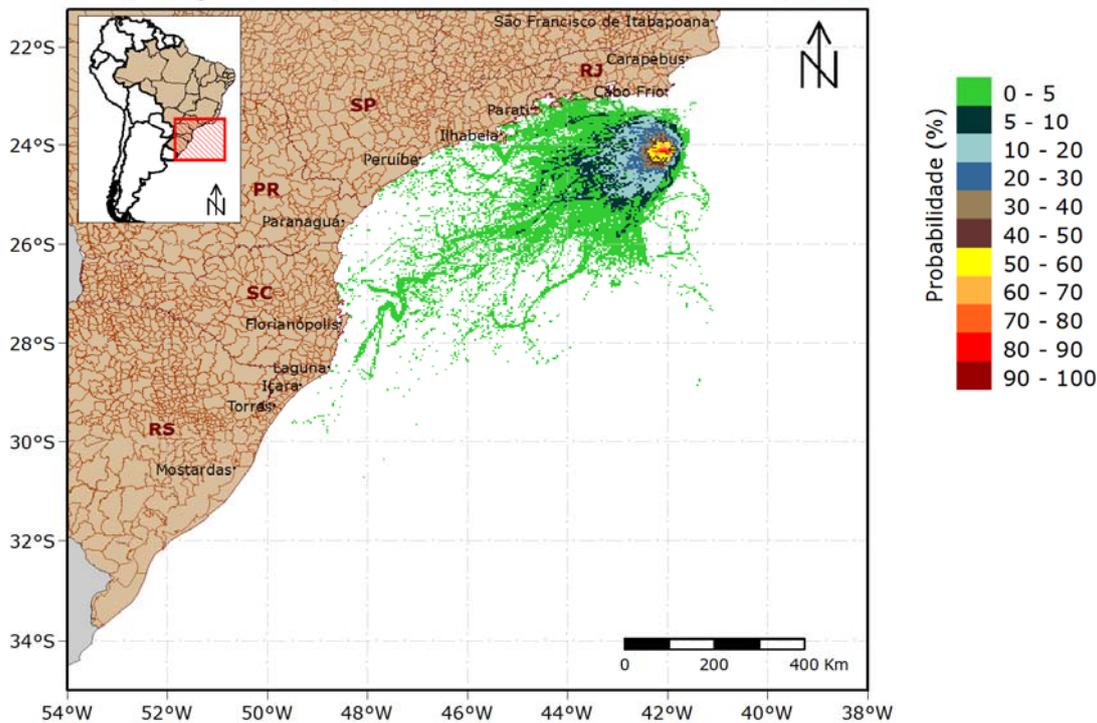


Figura 138: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

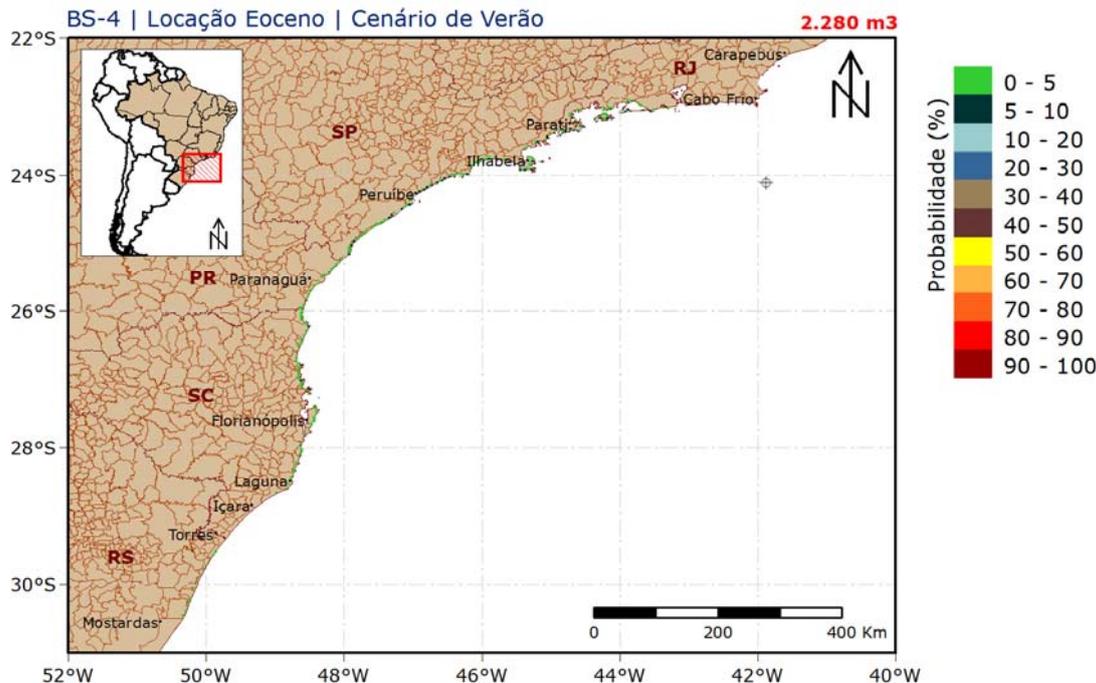


Figura 139: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Eoceno.

A deriva do óleo foi preferencialmente para oeste-sudoeste do local de vazamento, como ocorrido nas simulações anteriores. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 23° S, até a latitude de 30,7° S. Como ocorrido no vazamento de 200 m³ no período de inverno, é observado uma descontinuidade entre a área de probabilidade na superfície e os locais com probabilidade na costa devido a variação da espessura na superfície e a acumulação de óleo na costa.

A probabilidade de presença do óleo na costa abrangeu cinco estados, desde o Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul, variando entre 0 e 40%. O estado de São Paulo obteve as maiores probabilidades de óleo na costa, sendo que a cidade de Ilhabela apresentou o maior valor, 32,4%. O estado do Rio de Janeiro registrou o maior valor de probabilidade em Ilha Grande, no município de Angra dos Reis, 25,7%, enquanto em Santa Catarina o maior valor foi de 8%, na cidade de Penha. Os municípios dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul apresentaram probabilidades inferiores a 4% (Tabela 33).

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Modo Probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Verão

2.280 m³

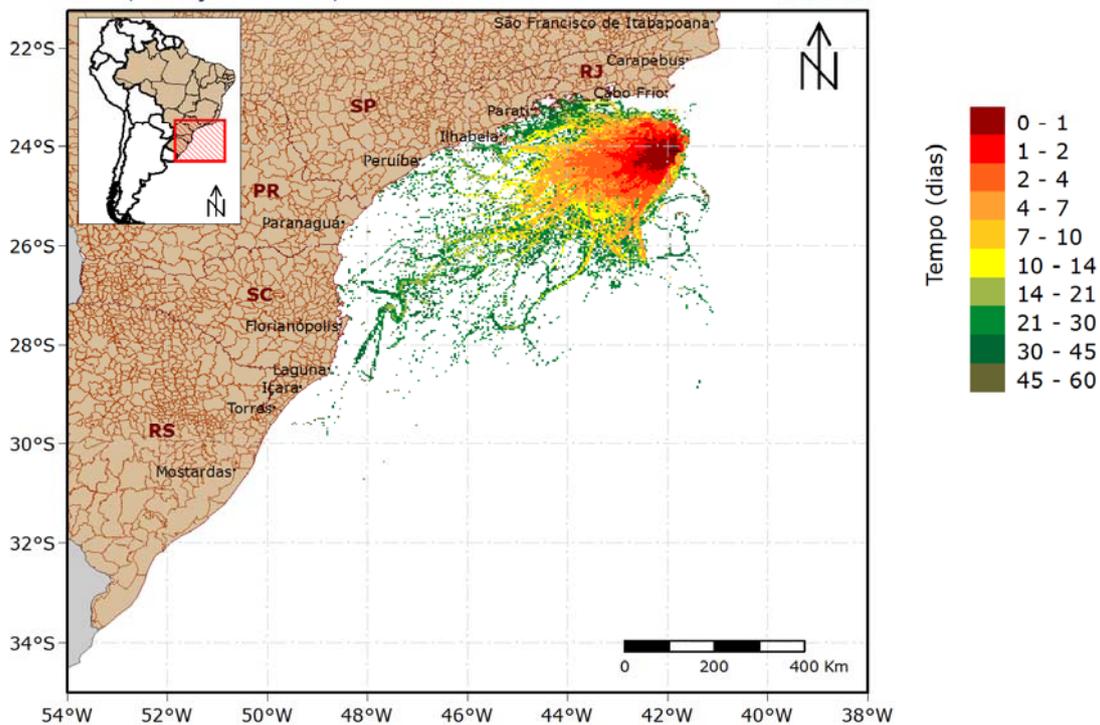


Figura 140: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 30 dias no período de verão. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

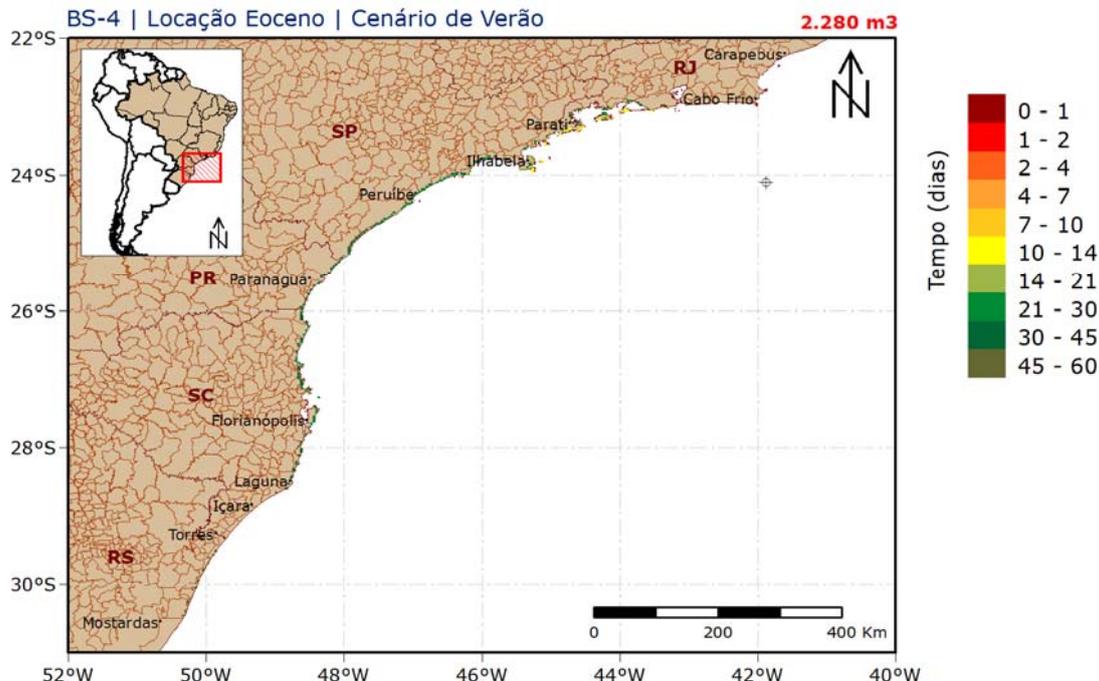


Figura 141: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 30 dias no período de verão. Locação Eoceno.

O tempo mínimo de chegada de óleo à costa variou de 4 a 60 dias, com os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo sendo atingidos mais rapidamente pelo óleo. O local com menor tempo de chegada de óleo na costa foi Ilha Grande, no município de Angra dos Reis-RJ, em 9,17 dias (~220 horas) (Tabela 33). O estado de São Paulo pode ser atingido com um tempo mínimo de 11,67 dias (~280 horas) em Ubatuba. Os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul somente foram atingidos após 20 dias (480 horas) de simulação.

A seguir, a Figura 142 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no período de verão.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Massa Máxima de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Verão

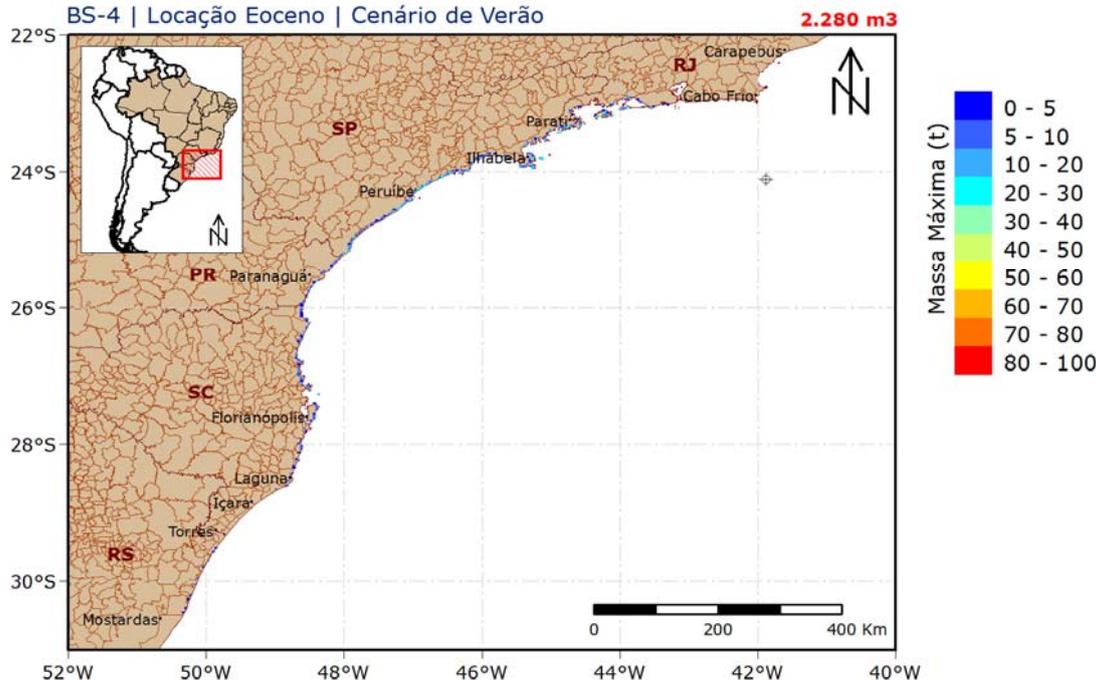


Figura 142: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de verão.
Locação Eoceno.

Ao observar a Figura 142 e a Tabela 33, ressalta-se que a região compreendida entre a cidade do Rio de Janeiro-RJ e Cananéia-SP apresenta os maiores valores de massa de óleo acumulada. Os locais com o maior acúmulo de óleo na costa foram Mangaratiba e Angra dos Reis-RJ, com 49,41 toneladas (Tabela 33).

4.3.1.2.3.2. Inverno

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na costa para um evento de *blowout* (2.280 m³), em período de inverno 60 dias após o início do vazamento, encontram-se na Figura 143 e Figura 144, respectivamente. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 145 e Figura 146.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Modo Probabilístico



Mapa de Probabilidade Presença de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno

2.280 m³

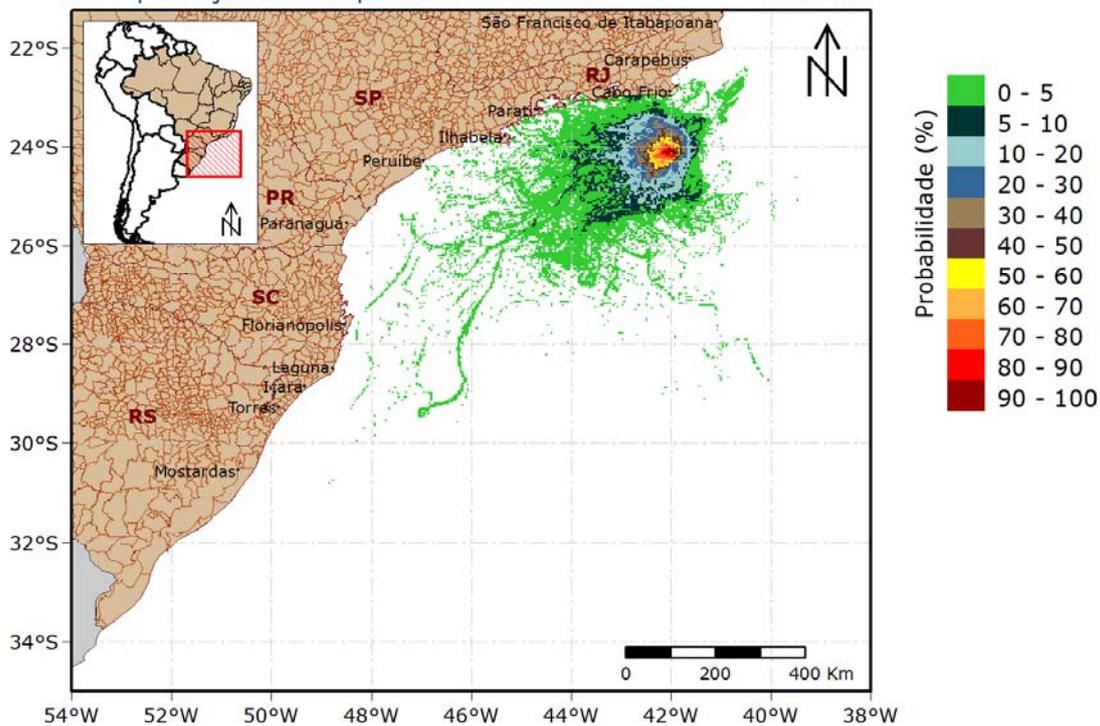


Figura 143: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno

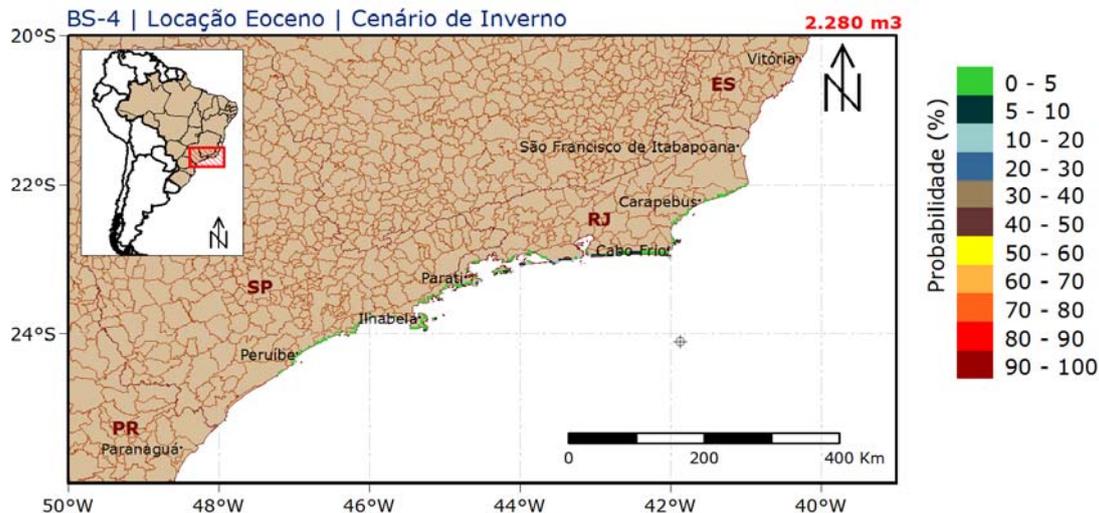


Figura 144: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias no período de inverno. Locação Eoceno.

A deriva do óleo ocorreu preferencialmente para o sudoeste do local de vazamento. Diferentemente do período de verão, observa-se a ocorrência de probabilidade de presença mais ao norte, devido aos ventos mais frequentes de quadrante sul neste cenário. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície se estendeu desde aproximadamente 22,4° S, até a latitude de 30,8° S.

Observa-se que a probabilidade de presença de óleo na costa abrangeu dois estados: Rio de Janeiro e São Paulo. O município do Rio de Janeiro-RJ foi o local com maior probabilidade de presença de óleo, 28,8% (Tabela 33).

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Modo Probabilístico



Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Superfície

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno

2.280 m³

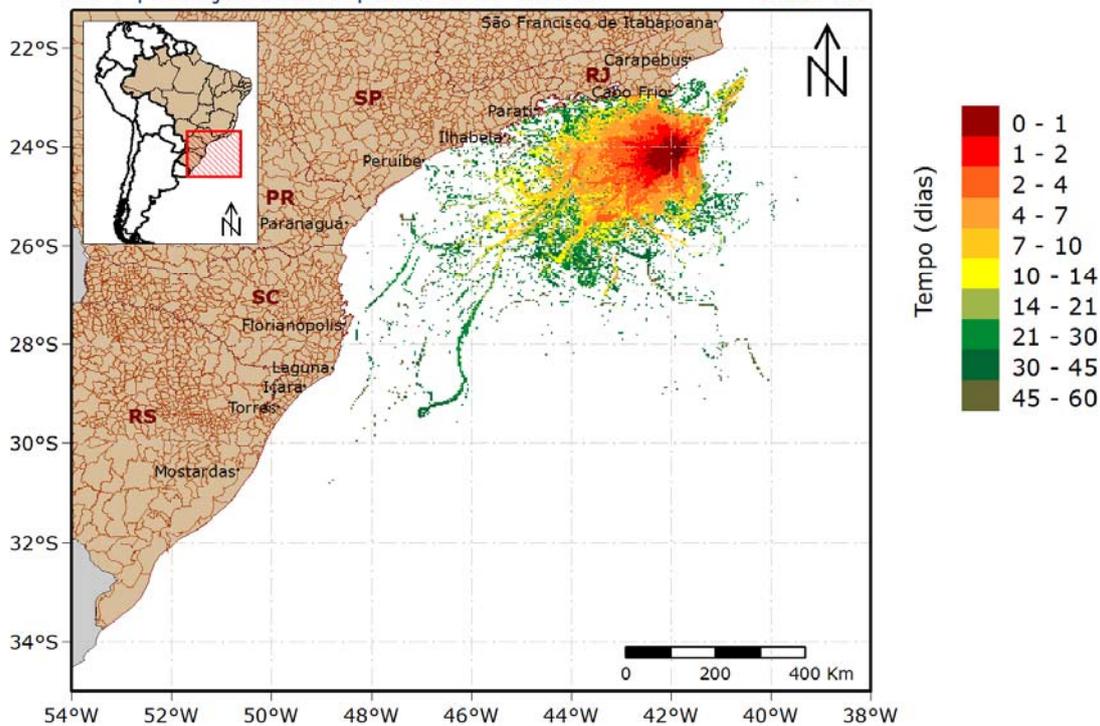


Figura 145: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno

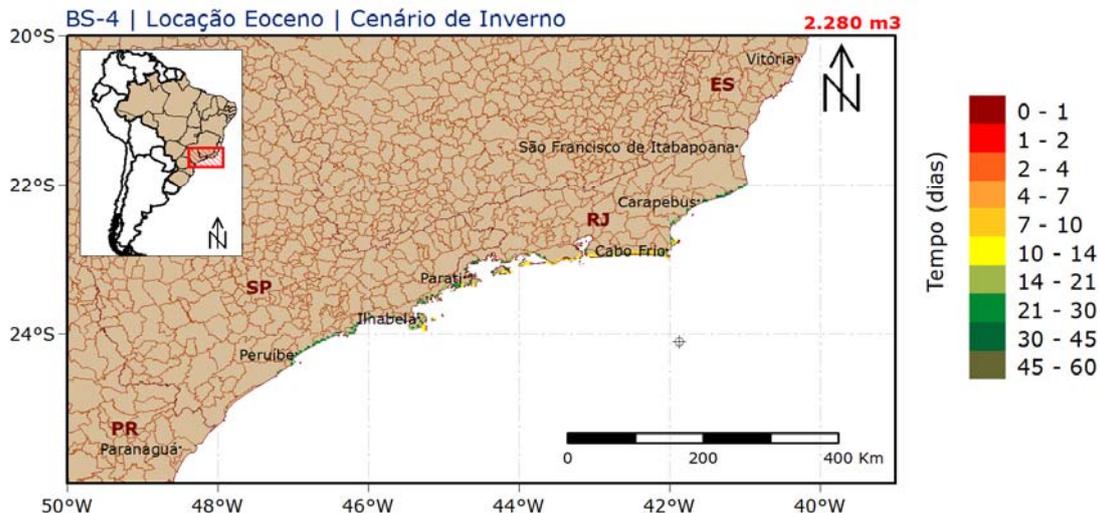


Figura 146: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, para um vazamento de 30 dias, no período de inverno. Locação Eoceno.

É observado que o tempo mínimo de chegada do óleo à costa, varia de 4 a 60 dias, com os menores tempos sendo registrados no estado do Rio de Janeiro. O município mais rapidamente atingido pelo óleo na costa foi Rio de Janeiro, em 6,13 dias (~147 horas). Ilhabela é o município no estado de São Paulo com o menor tempo mínimo de chegada de óleo, 11,96 dias (~287 horas) (Tabela 33).

A seguir, a Figura 147 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no período de inverno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Probabilístico

Mapa de Massa Máxima de Óleo na Costa

Blowout 30 dias | Simulação 60 dias | 400 simulações

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno

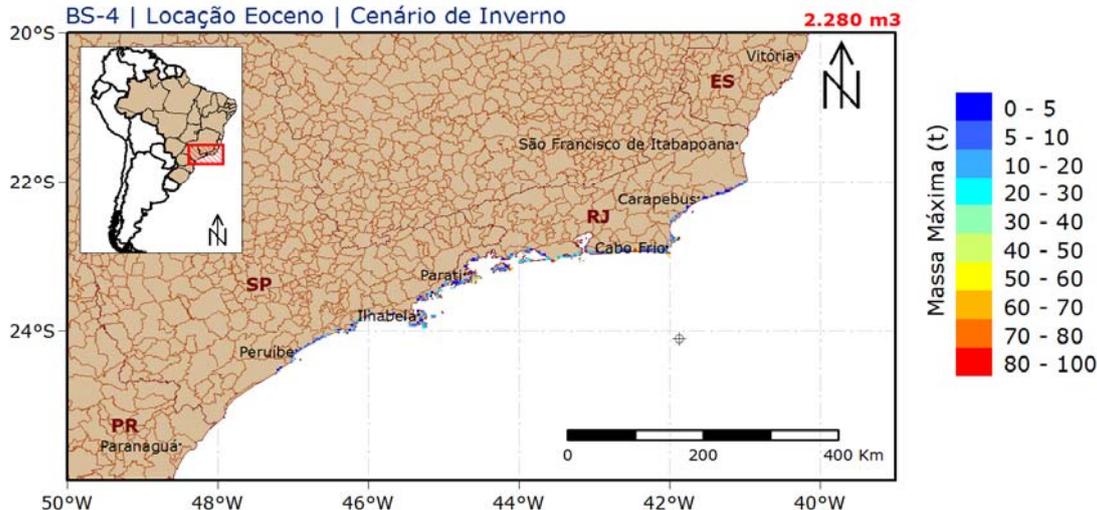


Figura 147: Massa máxima de óleo na costa após as simulações de 60 dias no cenário de inverno. Locação Eoceno.

Neste cenário, devido aos ventos mais frequentes do quadrante sul, a região com maior massa acumulada apresenta-se deslocada para norte, em relação ao cenário de verão. O estado do Rio de Janeiro concentra os valores mais altos de massa máxima observados, 50 – 100 toneladas. O município com o maior acúmulo de óleo na costa foi Saquarema-RJ, 98,55 toneladas.

A seguir, na Tabela 33, são apresentados os valores de massa máxima na costa, probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em cada município com possibilidade de ser atingido pelo óleo em um derrame de 2.280 m³.

Tabela 33: Massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 2.280 m³, nos cenários de verão e inverno. Localização Eoceno.

UF	MUNICÍPIOS ⁵	Massa Máxima (t)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
RJ	Campos dos Goytacazes	-	6,18	-	0,7	-	20,10
	Quissamã	-	6,18	-	1,0	-	18,50
	Carapebus	-	4,04	-	0,2	-	35,44
	Macaé	-	5,64	-	1,2	-	14,77
	Rio das Ostras	-	12,05	-	2,2	-	20,56
	Casimiro de Abreu	-	5,93	-	1,0	-	26,98
	Cabo Frio	-	19,00	-	7,4	-	8,92
	Armação dos Búzios	-	31,47	-	6,0	-	10,29
	Arraial do Cabo	-	56,20	-	13,4	-	7,85
	Araruama	-	9,41	-	4,0	-	16,44
	Saquarema	-	98,55	-	8,9	-	8,48
	Maricá	4,25	67,33	0,3	17,1	32,31	11,90
	Niterói	4,25	13,34	0,3	14,1	32,31	10,92
	Rio de Janeiro	39,31	85,07	17,2	28,8	9,60	6,13
	Itaguaí	10,43	19,19	1,1	4,5	25,10	15,71
	Mangaratiba	49,41	24,18	3,4	5,0	14,35	16,21
	Angra dos Reis (Ilha Grande)	43,66	61,97	25,7	15,4	9,17	10,06
	Angra dos Reis	49,41	7,31	1,3	0,2	41,27	26,94
	Paraty	38,05	48,72	21,8	12,4	10,92	11,50
	SP	Ubatuba	20,42	25,01	31,3	8,9	11,67
Caraguatatuba		13,51	7,88	10,9	1,7	17,54	21,08
Ilhabela		22,34	23,58	32,4	9,7	12,08	11,96
São Sebastião		6,35	6,82	0,5	0,5	28,88	29,69
Bertioga		10,82	24,97	4,5	1,7	19,15	21,60
Guarujá		13,40	29,87	13,3	3,0	17,50	21,25
Santos		6,63	9,08	1,1	1,7	29,33	21,63
São Vicente		21,42	30,60	5,3	1,5	25,60	22,54
Praia Grande		21,42	30,60	8,5	2,0	21,88	22,54
Mongaguá		11,72	9,42	6,1	1,0	21,90	24,88
Itanhaém		23,11	9,24	9,0	0,7	22,02	23,71
Peruíbe		23,11	14,72	11,9	1,5	22,33	25,29
Iguape		29,35	4,55	16,4	0,2	17,33	46,98
Ilha Comprida		22,14	-	9,8	-	25,40	-
Cananéia		22,14	-	6,6	-	28,88	-

⁵ Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

Tabela 33: Massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um evento de derrame de 2.280 m³, nos cenários de verão e inverno. Locação Eoceno. (continuação).

UF	MUNICÍPIOS ⁶	Massa Máxima (t)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
PR	Guaraqueçaba	9,66	-	2,4	-	32,25	-
	Paranaguá	8,42	-	3,7	-	35,96	-
	Pontal do Paraná	9,66	-	3,7	-	35,96	-
	Matinhos	9,66	-	1,3	-	34,04	-
	Guaratuba	6,66	-	1,9	-	28,00	-
SC	Itapoá	8,86	-	4,8	-	28,54	-
	São Francisco do Sul	11,52	-	6,4	-	21,85	-
	Balneário Barra do Sul	8,34	-	2,1	-	24,25	-
	Araquari	8,91	-	1,6	-	23,60	-
	Barra Velha	8,91	-	2,4	-	21,90	-
	Piçarras	6,92	-	2,4	-	21,90	-
	Penha	9,48	-	8,0	-	23,71	-
	Navegantes	11,19	-	0,8	-	33,46	-
	Itajaí	11,19	-	1,3	-	28,65	-
	Balneário Camboriú	13,76	-	7,4	-	28,65	-
	Itapema	12,22	-	2,7	-	24,90	-
	Porto Belo	10,35	-	5,3	-	23,19	-
	Bombinhas	12,47	-	5,3	-	20,71	-
	Florianópolis	8,47	-	3,7	-	23,31	-
	Palhoça	5,55	-	1,6	-	21,33	-
	Paulo Lopes	5,55	-	1,6	-	21,33	-
	Garopaba	6,93	-	1,6	-	21,33	-
	Imbituba	17,60	-	4,0	-	24,56	-
	Laguna	8,89	-	1,3	-	35,19	-
	Jaguaruna	8,85	-	0,5	-	36,06	-
RS	Arroio do Sal	4,65	-	0,3	-	50,19	-
	Capão da Canoa	5,63	-	0,8	-	46,50	-
	Xangri-lá	4,55	-	0,5	-	44,81	-
	Osório	5,68	-	0,8	-	49,44	-
	Imbé	5,68	-	0,8	-	49,44	-
	Tramandaí	6,64	-	1,6	-	35,27	-
	Cidreira	3,86	-	0,3	-	47,00	-
	Balneário Pinhal	4,67	-	0,3	-	53,02	-

⁶ Os municípios são apresentados na orientação norte-sul.

Palmares do Sul	4,67	-	0,3	-	49,69	-
-----------------	------	---	-----	---	-------	---

4.3.2. Resultados Determinísticos

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas, foi identificado o cenário crítico para ocorrência de um vazamento de 149.220 m³, para a locação Piapara, e de 2.280 m³, para a locação Eoceno, no Bloco BS-4, Bacia de Santos.

Para a locação Piapara, o tempo de chegada de óleo na costa no cenário de verão foi de 4,88 dias, enquanto no inverno foi de 4,48 dias (Tabela 31). Para a locação Eoceno, o tempo mínimo no verão foi de 6,19 dias e no inverno de 6,13 dias. Dessa forma, serão apresentadas as trajetórias críticas ocorridas para ambos os períodos, verão e inverno, em ambas locações, Piapara e Eoceno.

Também são apresentadas duas trajetórias que representaram a deriva do óleo em condições meteoceanográficas mais frequentes da região, nos períodos sazonais de verão e inverno, para cada ponto de vazamento.

Para os casos de condições meteoceanográficas mais frequentes, foi identificado um domínio de correntes com direção S-SW no regime hidrodinâmico da região nas duas condições sazonais, isto se deve à presença da Corrente do Brasil. O regime de ventos, em ambos os períodos, é caracterizado pela maior frequência de ventos do primeiro quadrante. Entretanto, no período de inverno, existe a maior ocorrência de ventos de sul.

Com o intuito de representar da melhor forma as duas condições sazonais citadas anteriormente, foi conduzida uma investigação no vento, de forma a se obter o período de 60 dias que tivesse os ventos característicos de cada condição ambiental (Figura 148). Este período é determinado após a varredura da série de dados, em janelas de 60 dias. Assim, extrai-se o período de 60 dias consecutivos, com maior percentual de ventos característicos de cada condição sazonal.

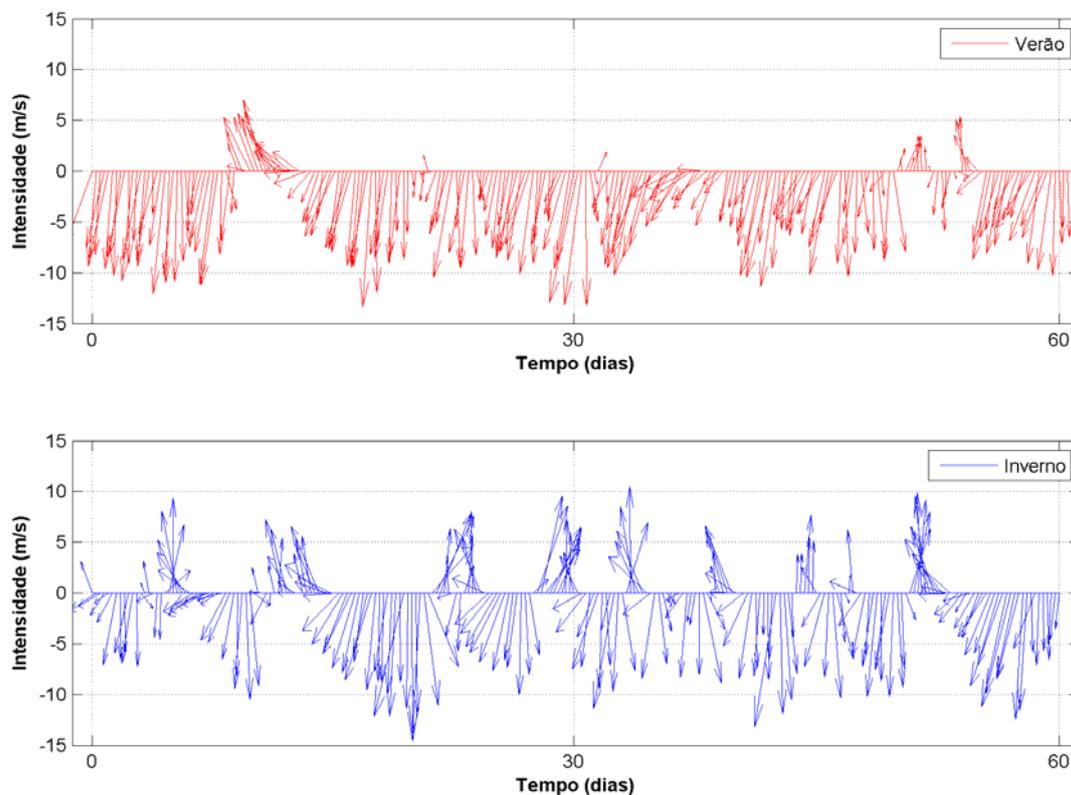


Figura 148: Vento utilizado nas simulações de condições meteoceanográficas.

4.3.2.1. *Localção Piapara*

4.3.2.1.1. *Condição Crítica*

Nos itens a seguir serão apresentadas as trajetórias críticas nos períodos de verão e inverno para um vazamento de *blowout* (149.220 m³) contínuo por 30 dias, simulados por 60 dias, na locação Piapara.

4.3.2.1.1.1. *Verão*

A deriva do óleo em condição crítica de verão será apresentada da Figura 149 à Figura 159.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

12h

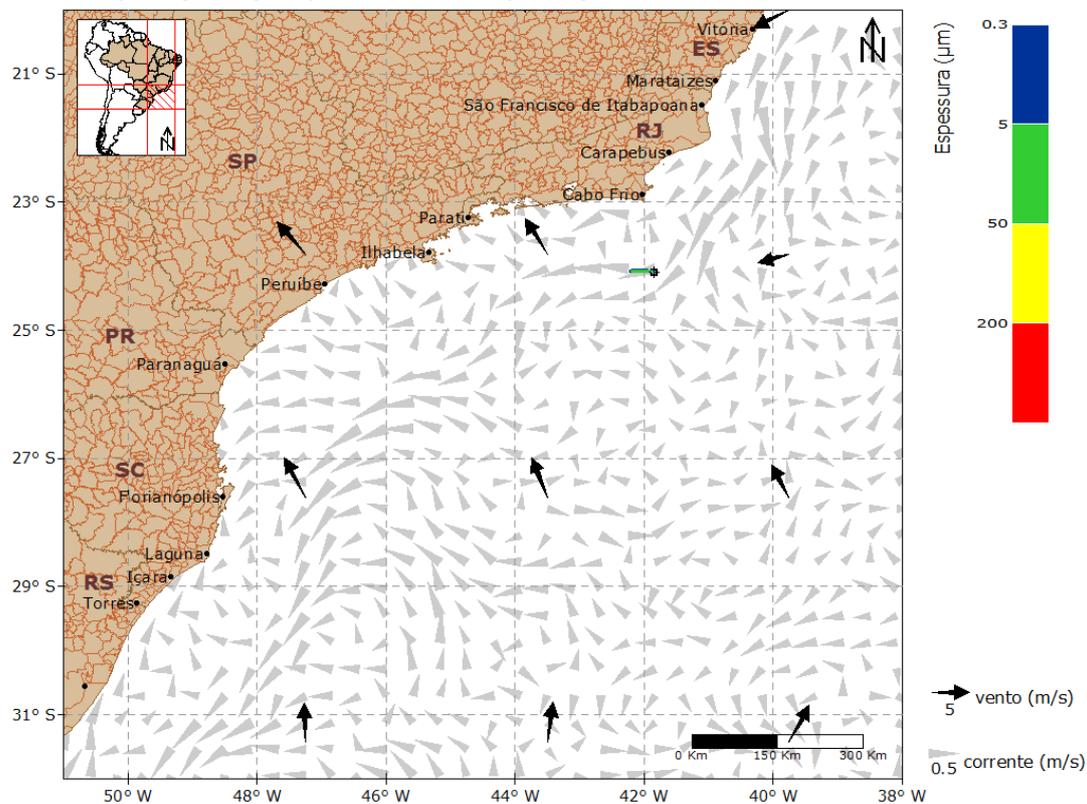


Figura 149: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

36h

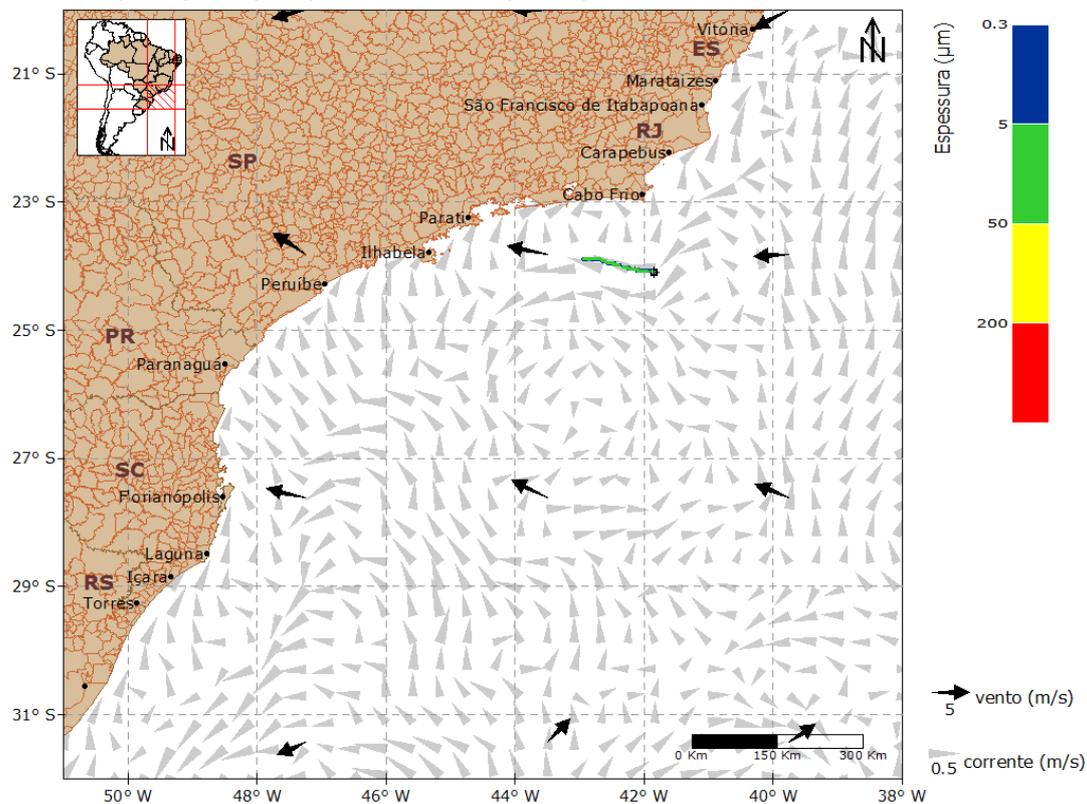


Figura 150: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

60h

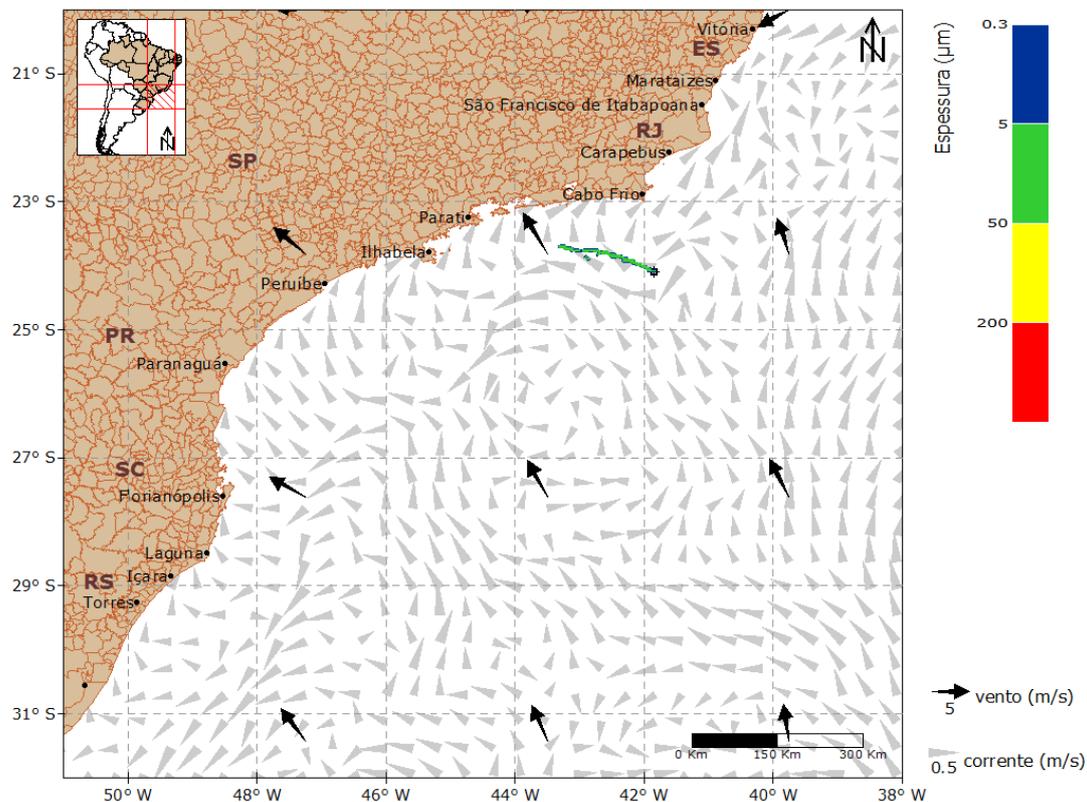


Figura 151: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

117h

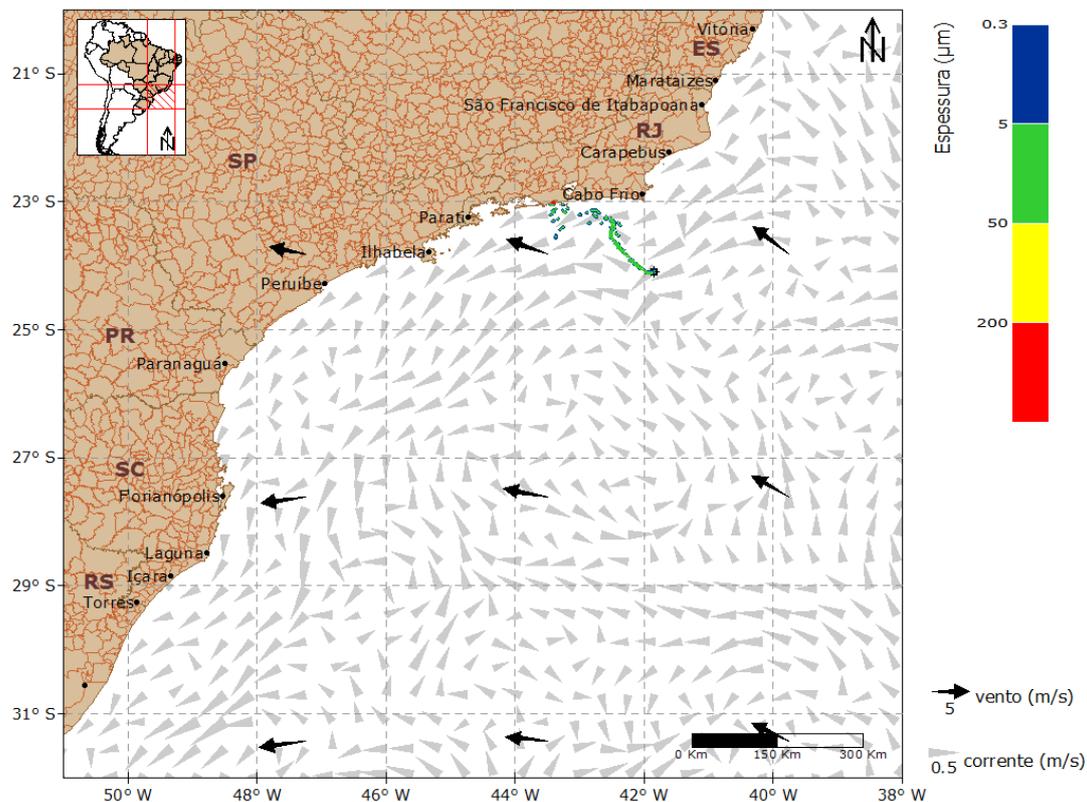


Figura 152: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 117 horas (tempo mínimo de toque) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

168h

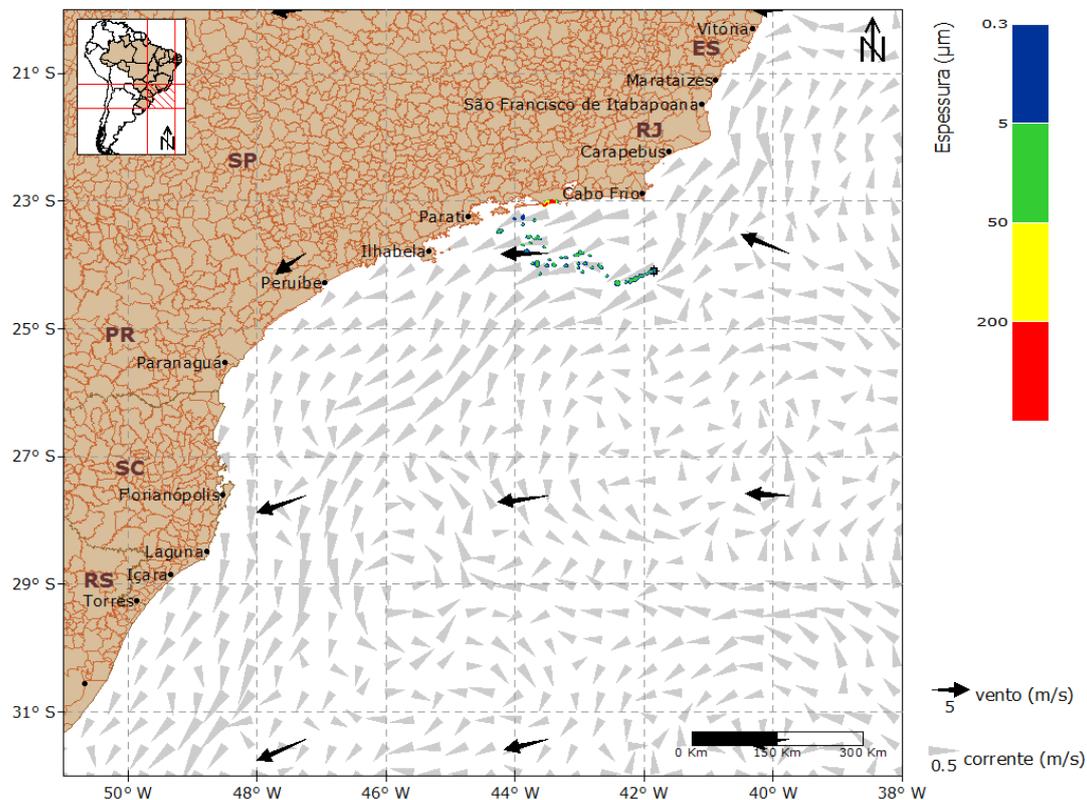


Figura 153: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

336h

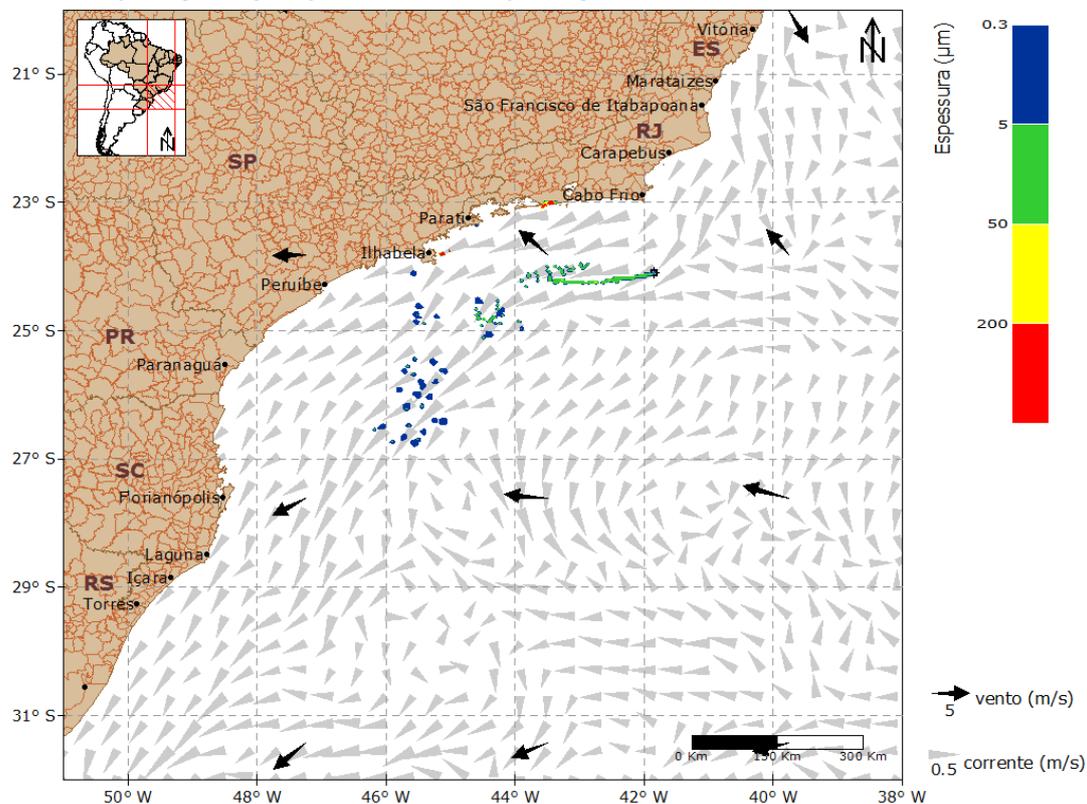


Figura 154: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

504h

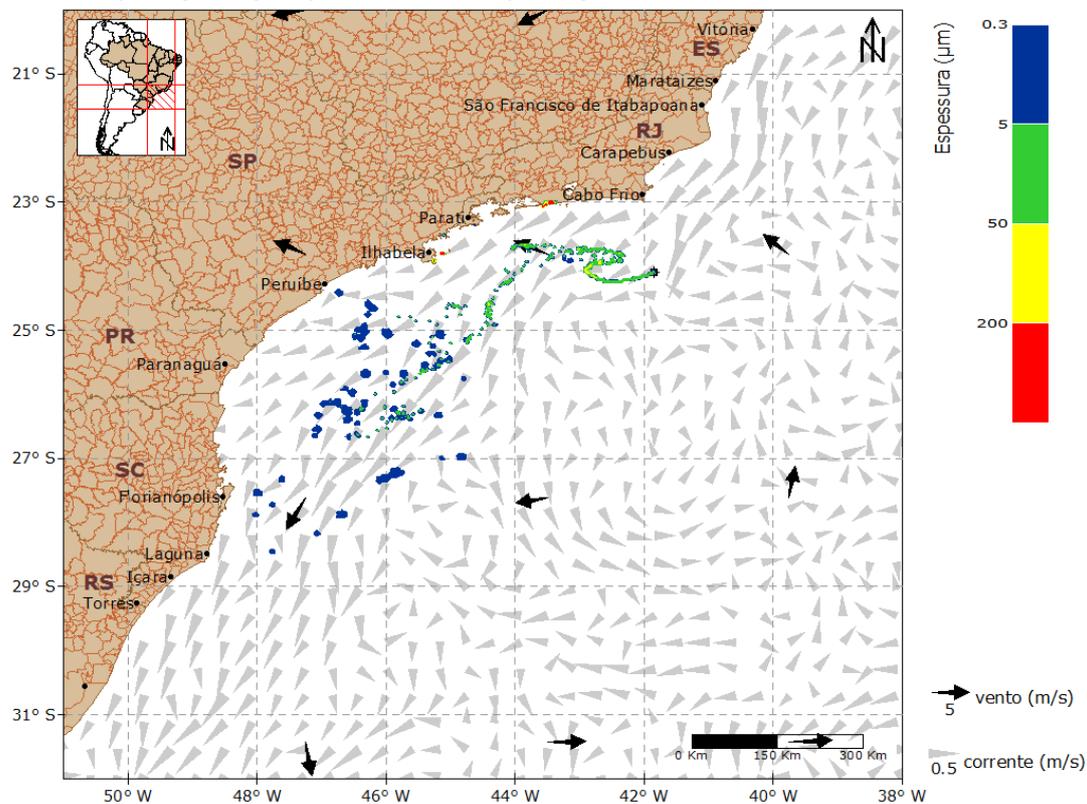


Figura 155: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

672h

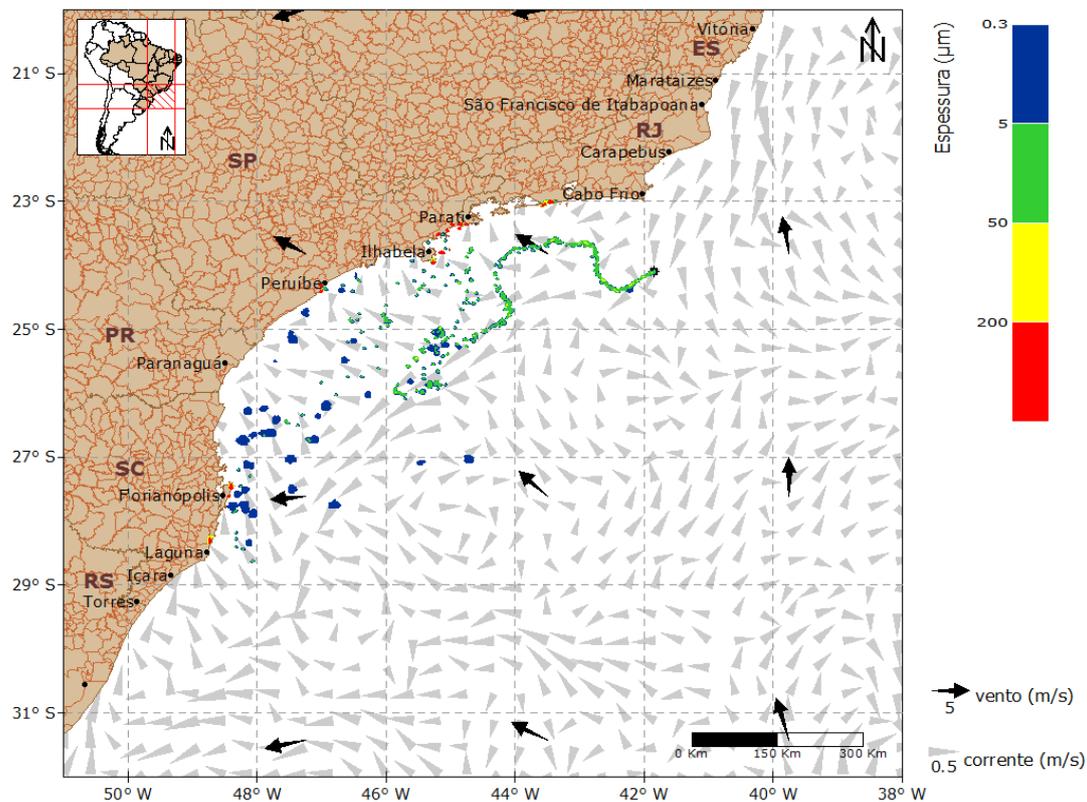


Figura 156: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

720h

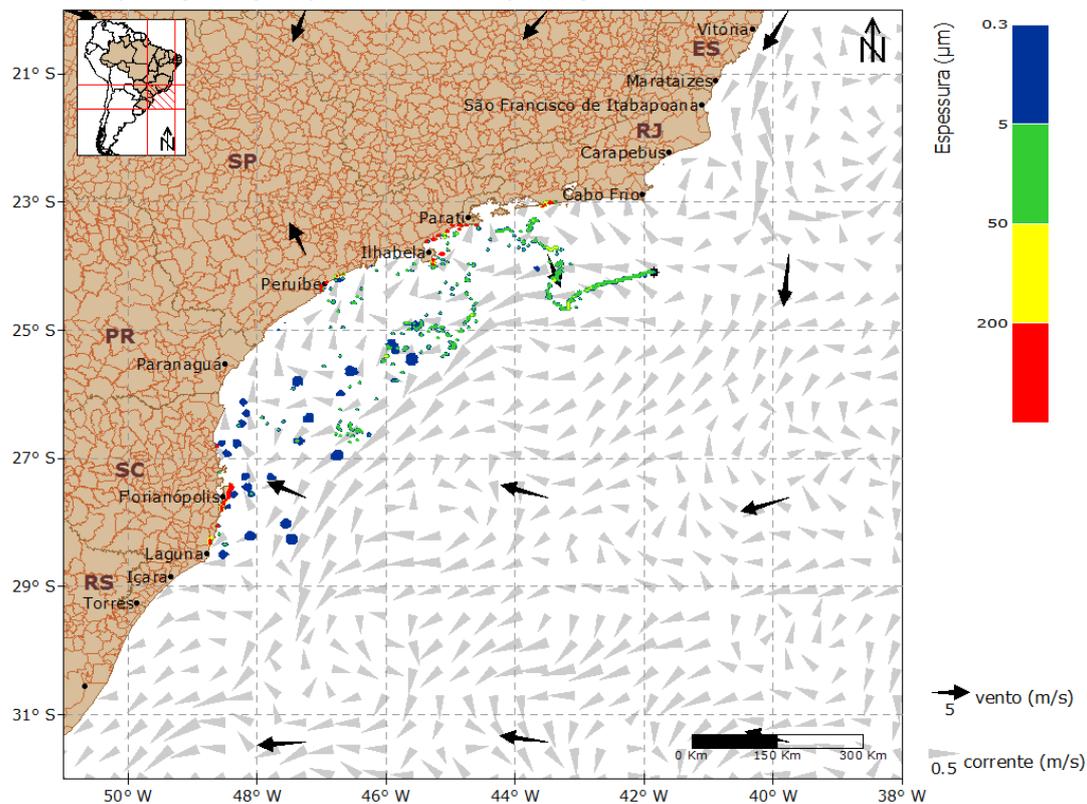


Figura 157: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

1080h

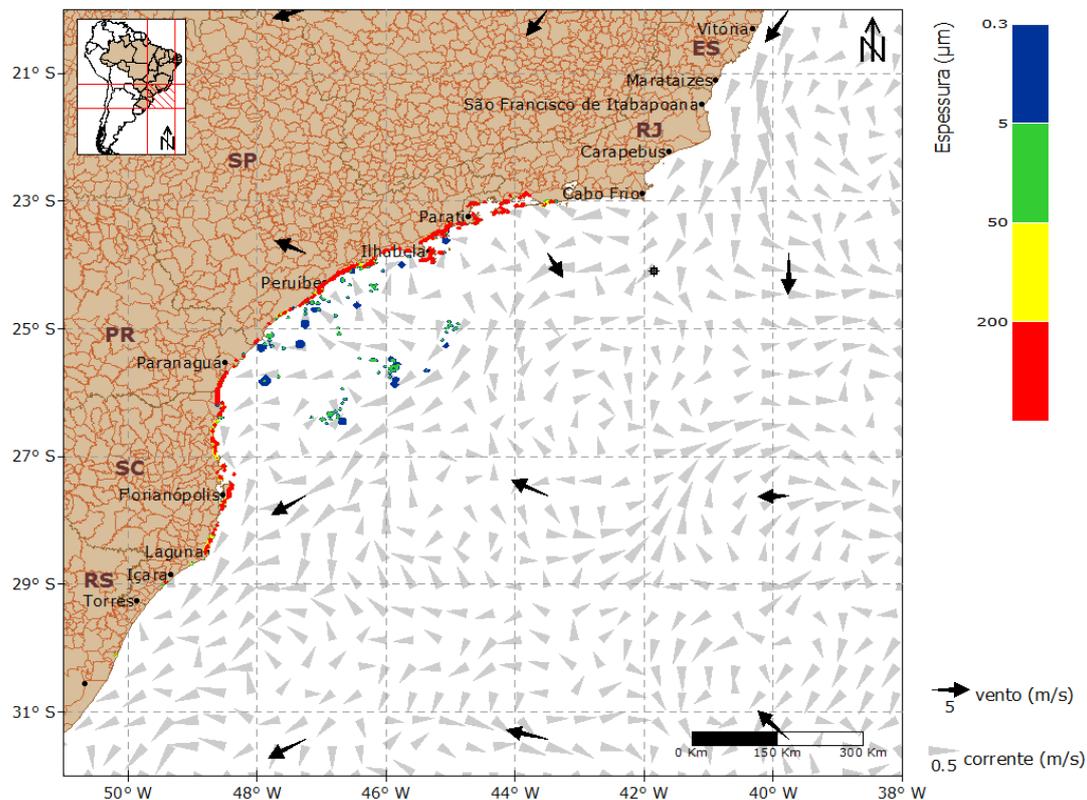


Figura 158: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Verão | Condição Crítica

1440h

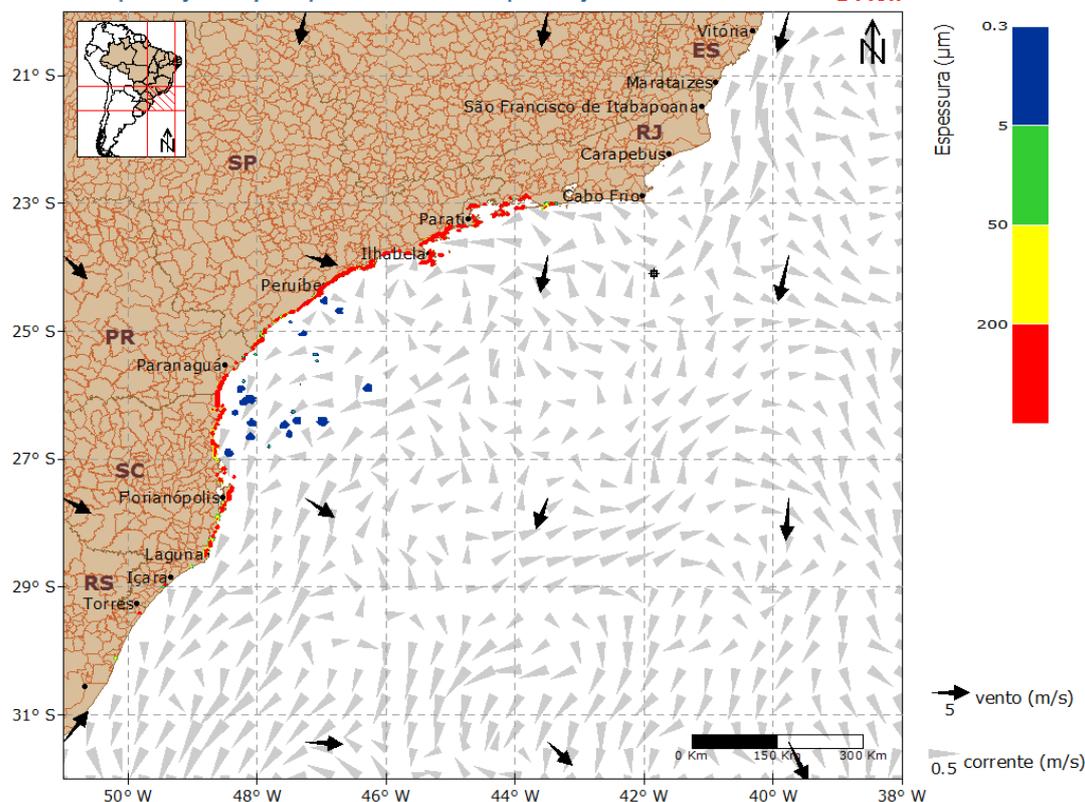


Figura 159: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de verão, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

A deriva do óleo ocorreu inicialmente rumo a oeste da localização Piapara até 60 horas após o início do vazamento. Devido à influência dos ventos de componente meridional sul, em 117 horas ocorreu o toque do óleo no município do Rio de Janeiro-RJ. A partir deste momento, o óleo sofreu maior influência da Corrente do Brasil e derivou a sudoeste do ponto, com os ventos de componente zonal leste deslocando o óleo em direção à costa. Com a evolução da simulação, os ventos permaneceram deslocando a maior parte do óleo para costa, ocorrendo acúmulo desde o estado do Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul.

No gráfico (Figura 160), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

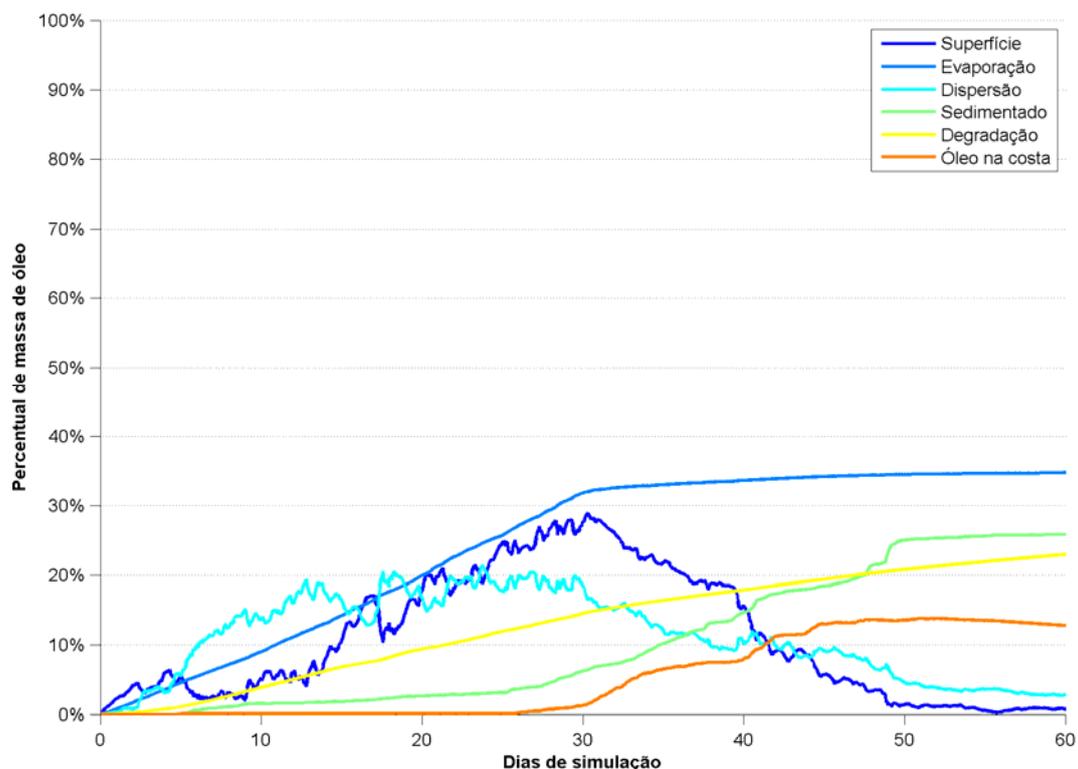


Figura 160: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica no período de verão. Volume de 149.220 m³. Locação Piapara.

Observa-se que a evaporação foi o processo mais atuante na retirada de massa da superfície da água, responsável por aproximadamente 35% da massa, seguido pela sedimentação, 26%. A degradação do óleo também representou um importante processo, consumindo 23% do óleo. Ao final da simulação, não havia quantidade significativa de óleo em superfície e somente 2,8% na coluna d'água e, 12,8% do óleo se encontrava acumulado na costa.

4.3.2.1.1.2. Inverno

A deriva do óleo em condição crítica no período de inverno será apresentada da Figura 161 à Figura 171.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

12h

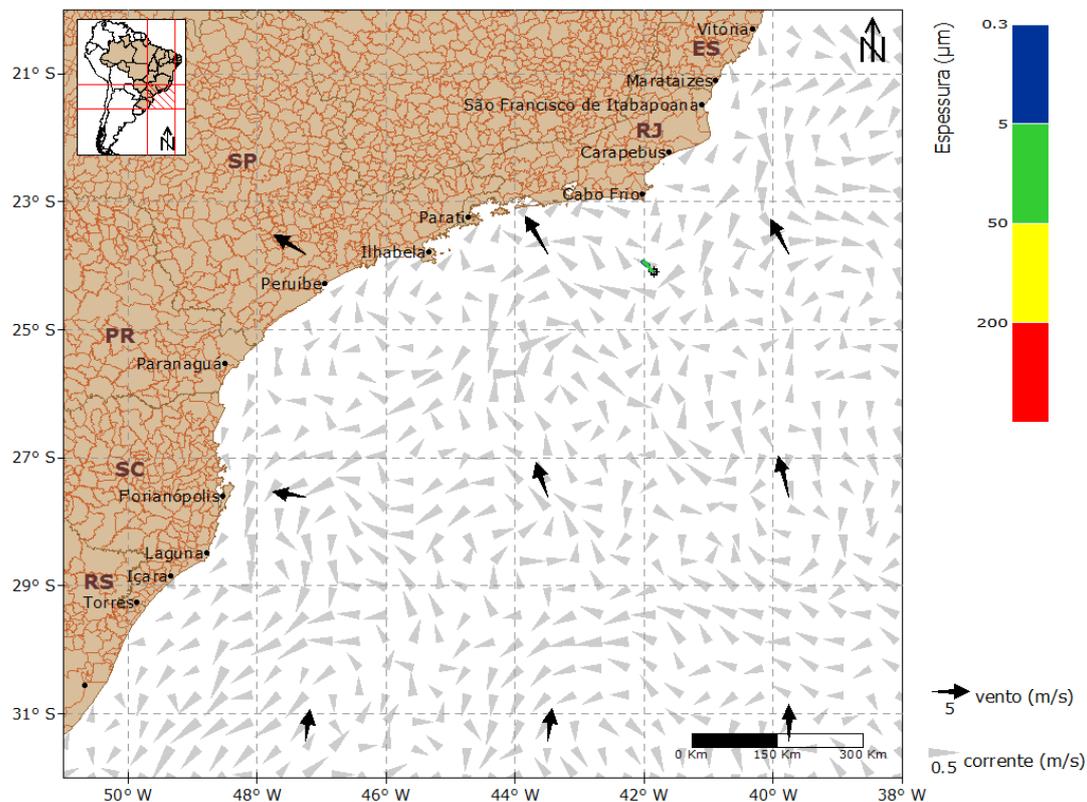


Figura 161: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

36h

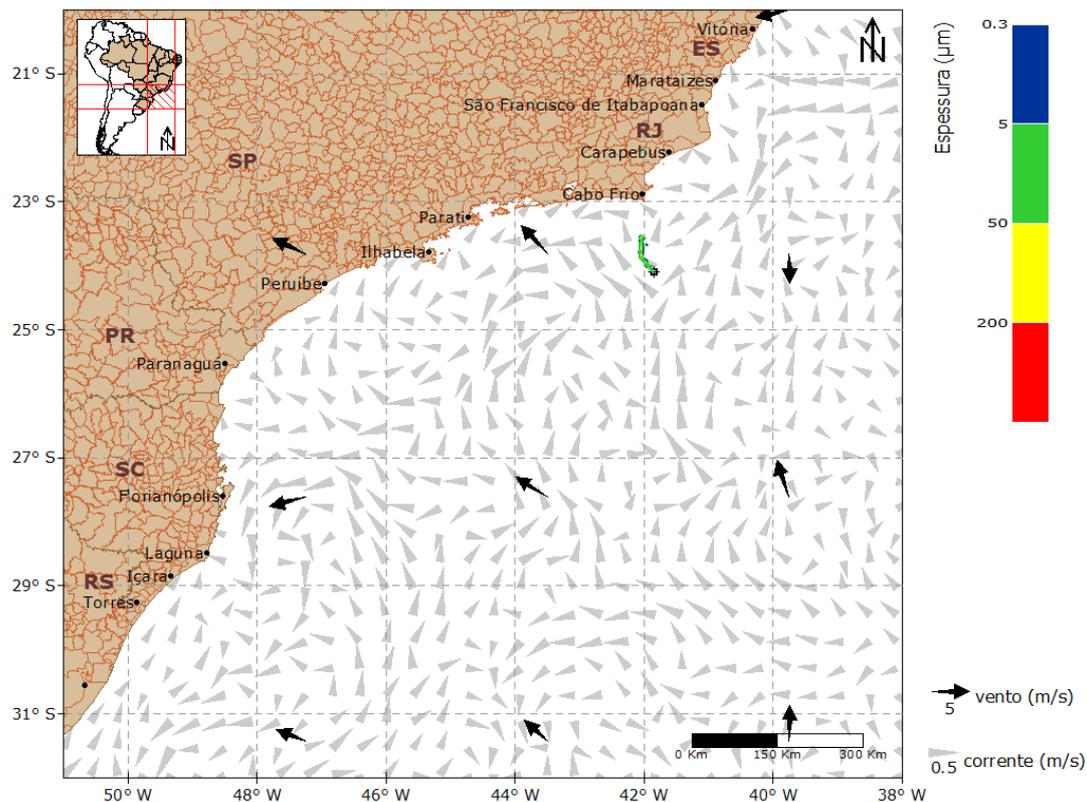


Figura 162: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

60h

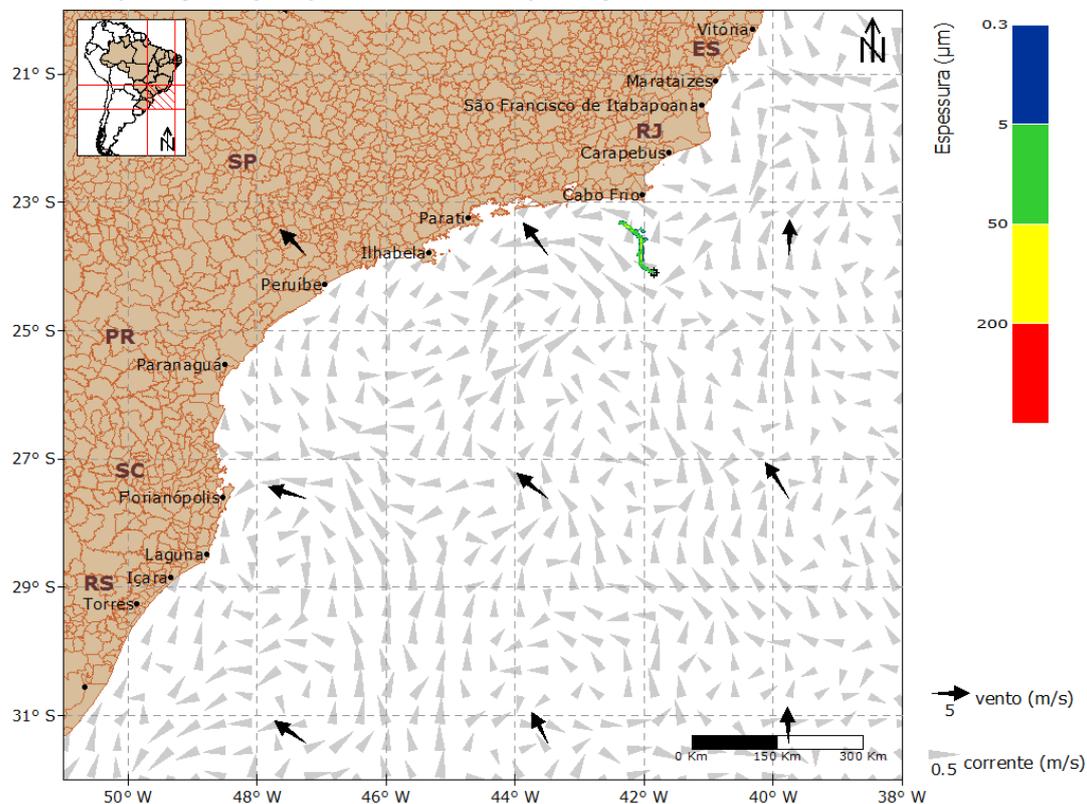


Figura 163: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

108h

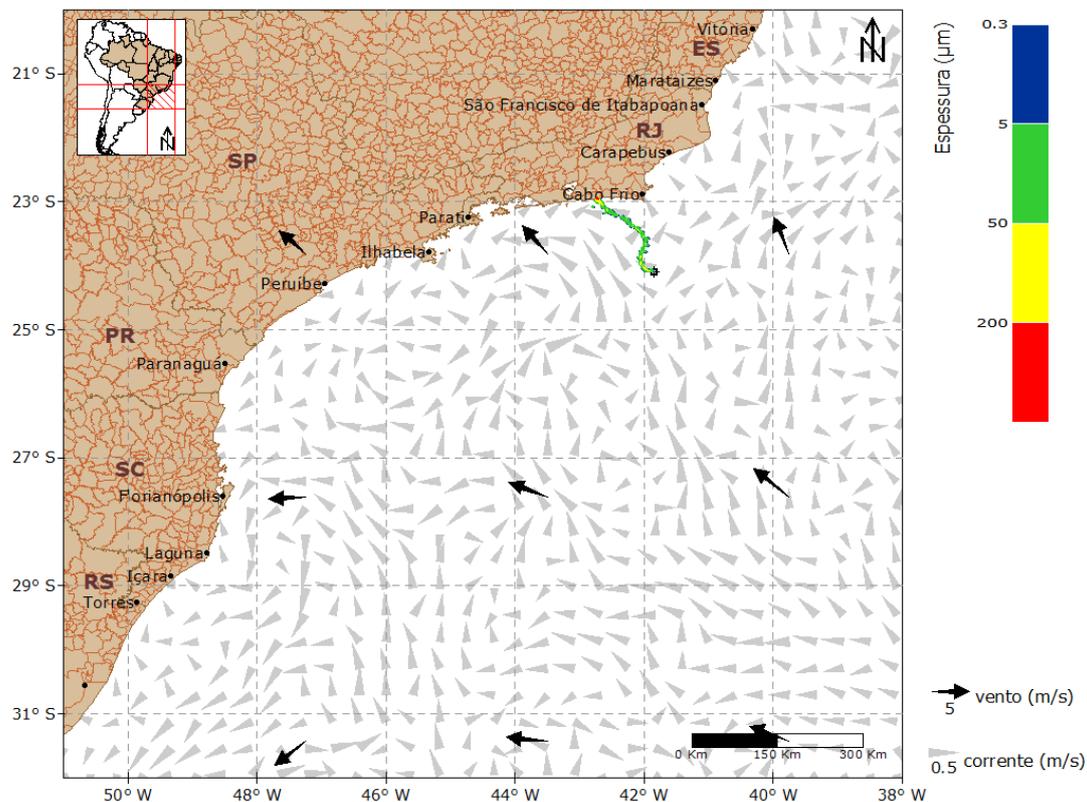


Figura 164: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 108 horas (tempo mínimo de toque) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

168h

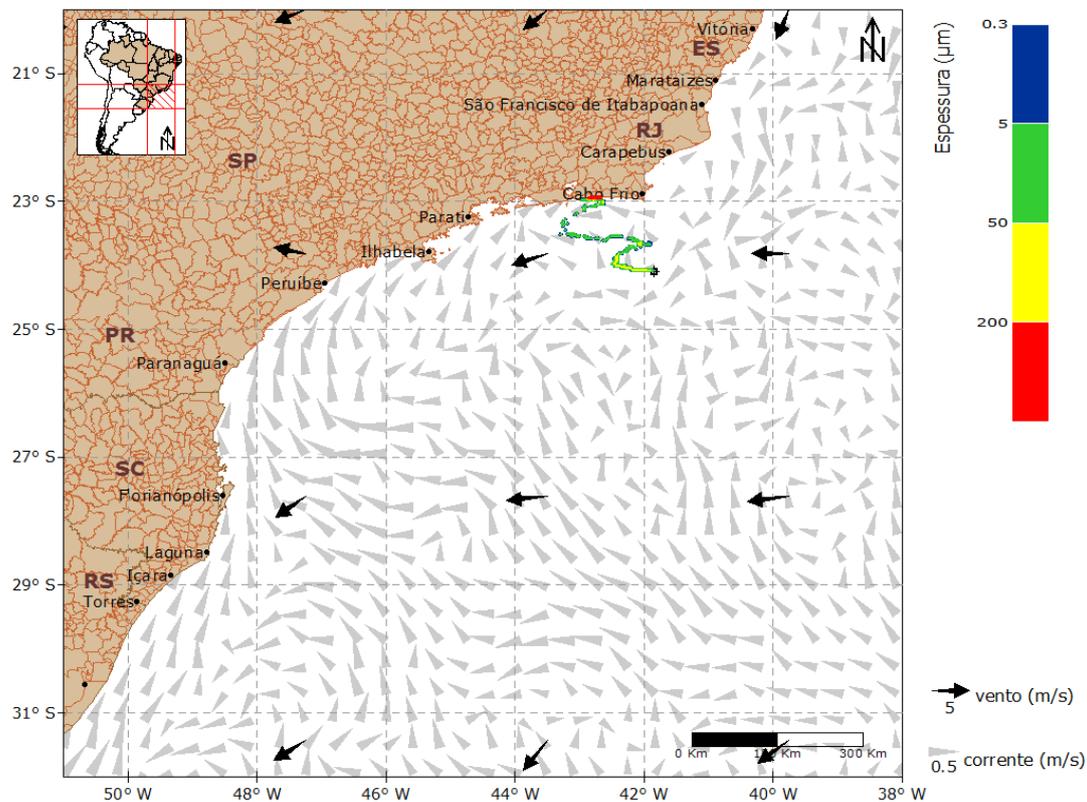


Figura 165: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

336h

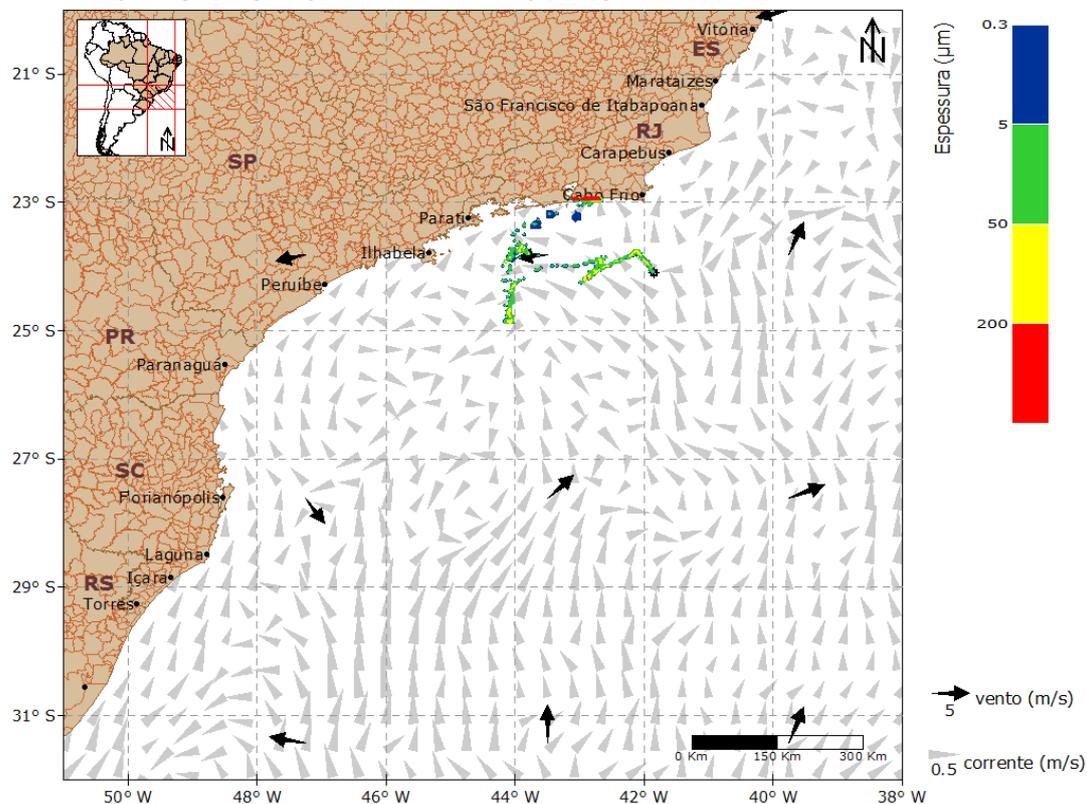


Figura 166: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

504h

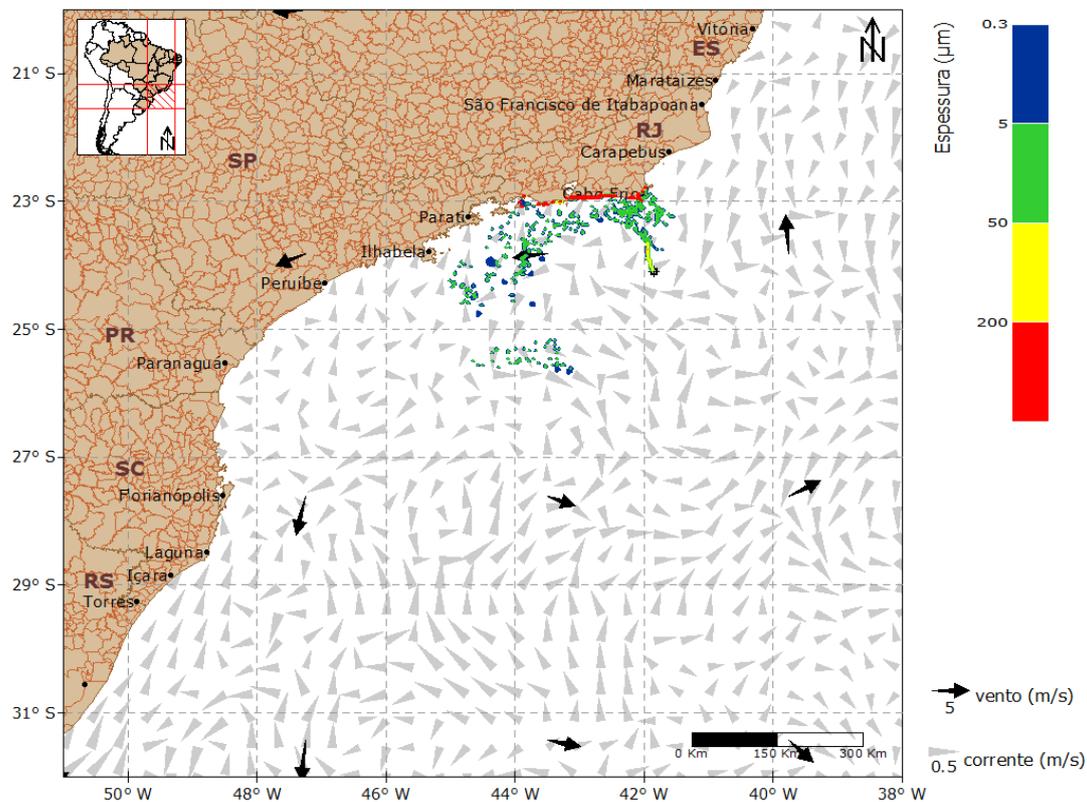


Figura 167: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

672h

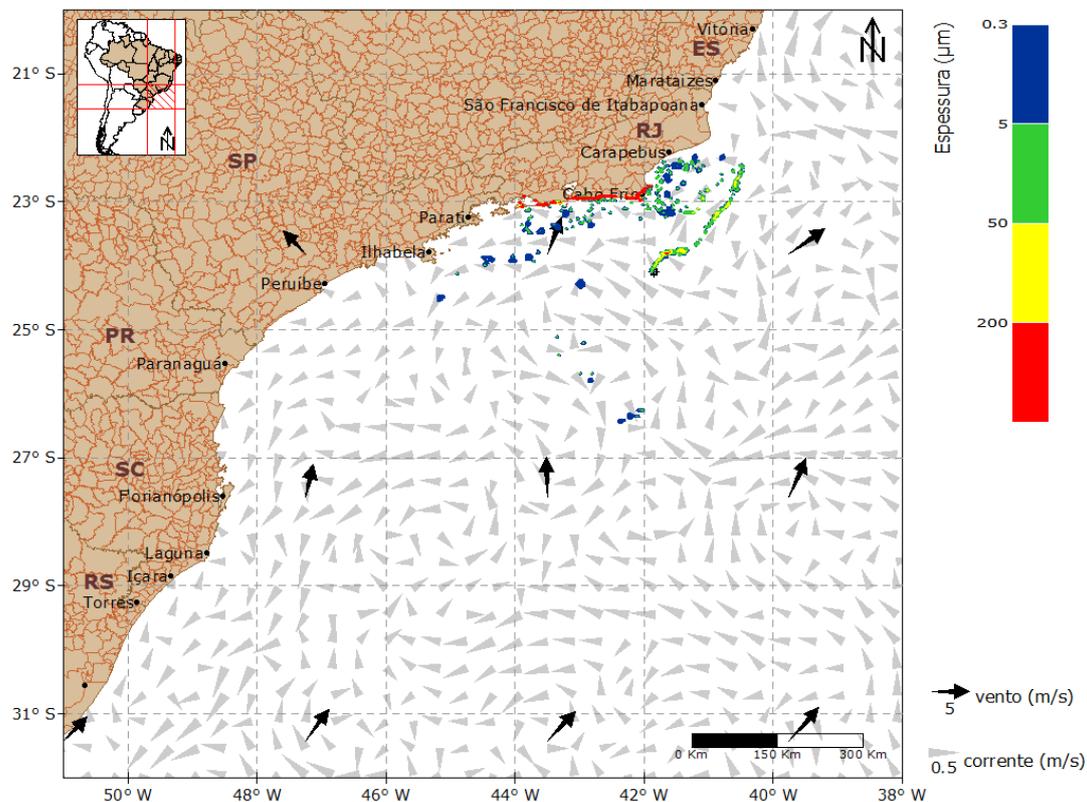


Figura 168: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

720h

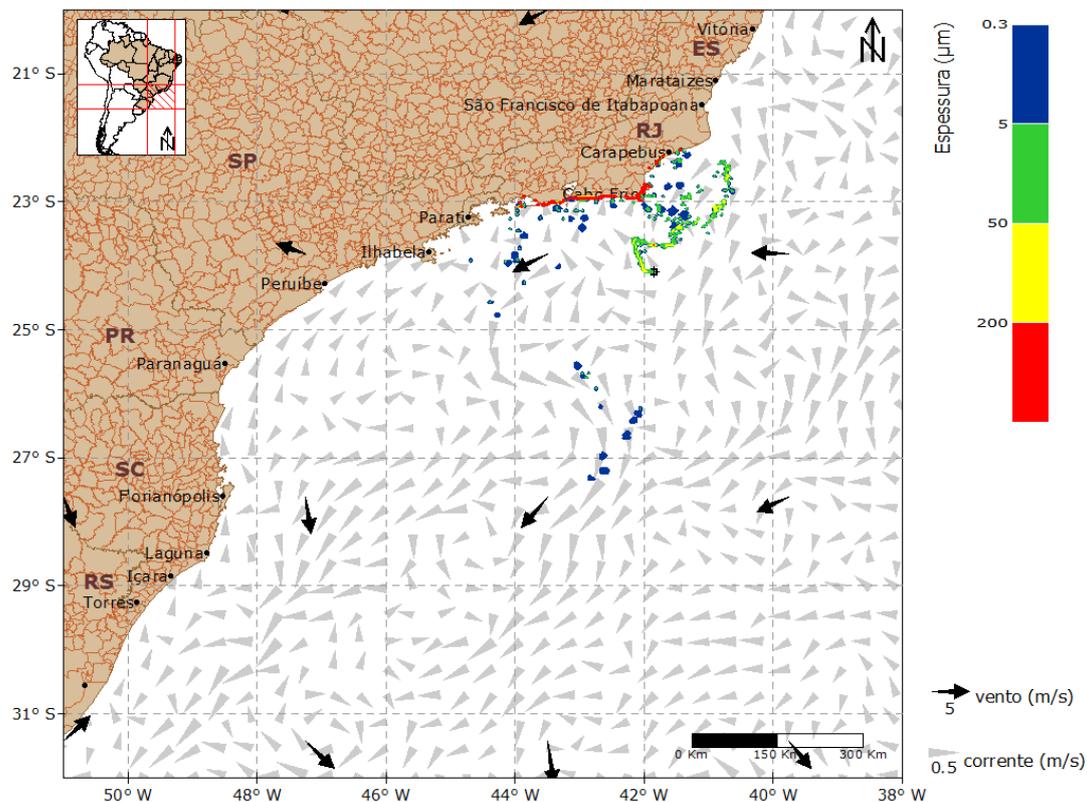


Figura 169: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

1080h

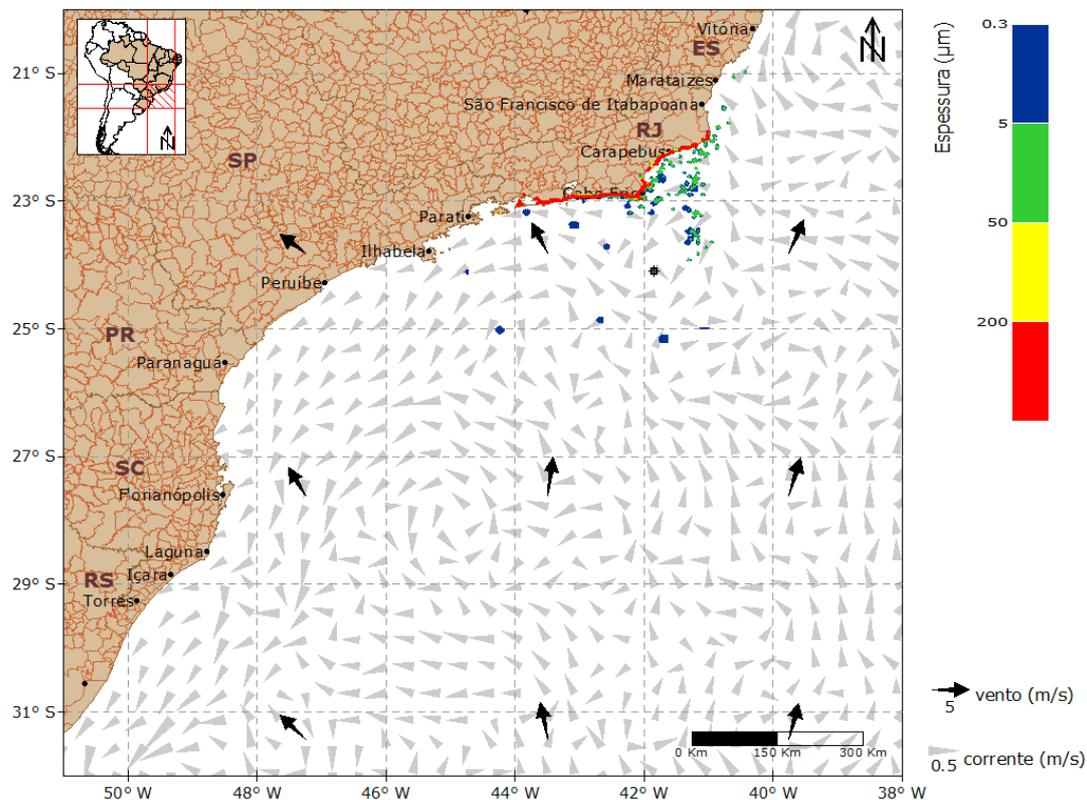


Figura 170: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Cenário de Inverno | Condição Crítica

1440h

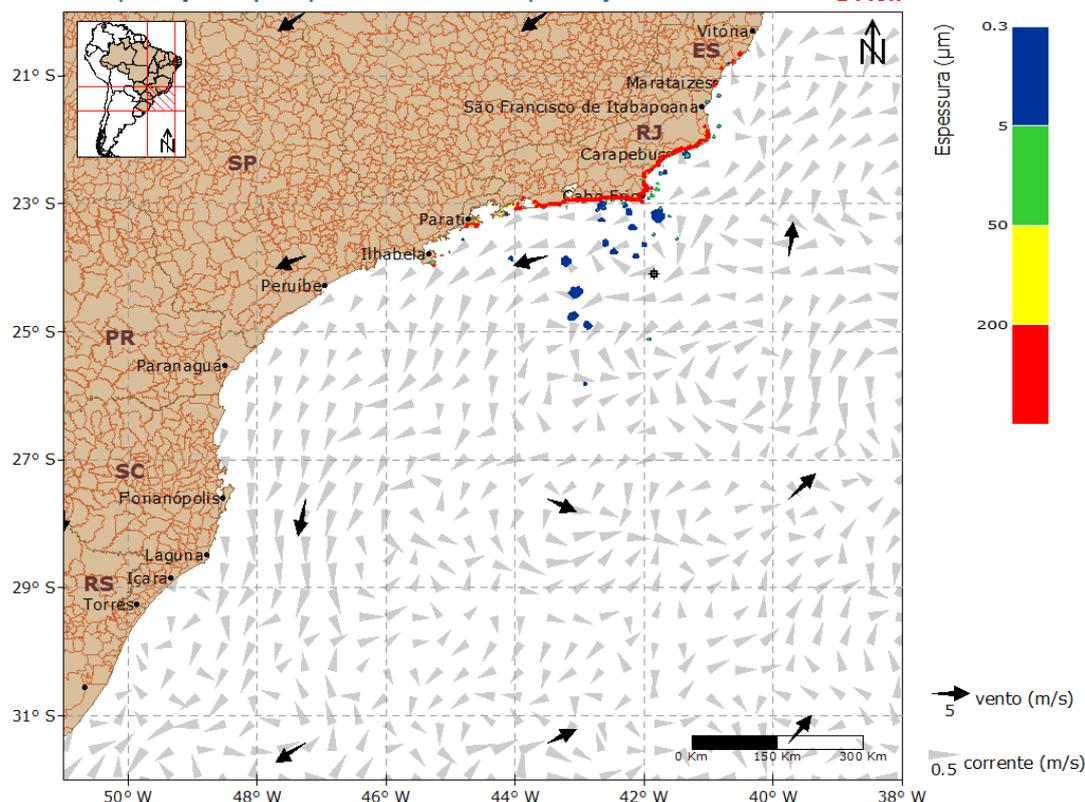


Figura 171: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

A deriva do óleo ocorreu inicialmente rumo a norte-noroeste do ponto de vazamento, sob a influência dos ventos de sudeste e das correntes. Devido à proximidade da costa em relação ao ponto de vazamento, em 108 horas ocorreu o toque do óleo no município de Maricá-RJ. A partir deste momento, a deriva do óleo variou entre noroeste e nordeste, abrangendo grande parte da costa do estado do Rio de Janeiro. Ao final da simulação, 1440 horas, havia óleo acumulado desde o município de Guarapari-ES até a cidade de Ilhabela-SP.

No gráfico (Figura 172), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

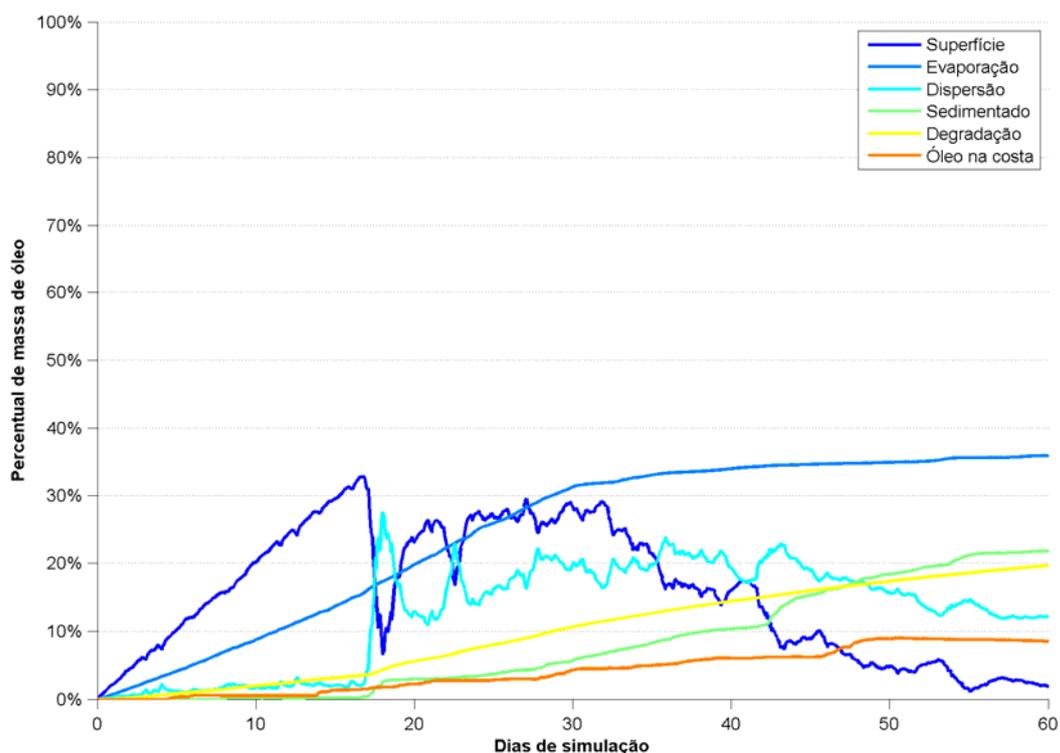


Figura 172: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica no período de inverno. Volume de 149.220 m³. Locação Piapara.

Observa-se que a evaporação foi o processo mais atuante na retirada de massa da superfície da água, responsável por aproximadamente 36% da massa, seguido pela sedimentação, aproximadamente 22%. A degradação do óleo consumiu 20% do óleo e 12% do óleo se encontrava na coluna d'água. Ao final da simulação, quantidade de óleo em superfície não foi superior a 2% e o óleo acumulado na costa representou cerca de 8% da massa total.

4.3.2.1.2. Condições Meteoceanográficas Frequentes

Nos itens a seguir serão apresentadas duas trajetórias em condições meteoceanográficas frequentes para a locação Piapara, sendo uma no período de verão e outra no inverno, para um vazamento de *blowout* (149.220 m³) contínuo por 30 dias, em uma simulação de 60 dias.

4.3.2.1.2.1. Verão

A deriva do óleo em condições meteoceanográficas frequentes de verão será apresentada da Figura 173 à Figura 182.

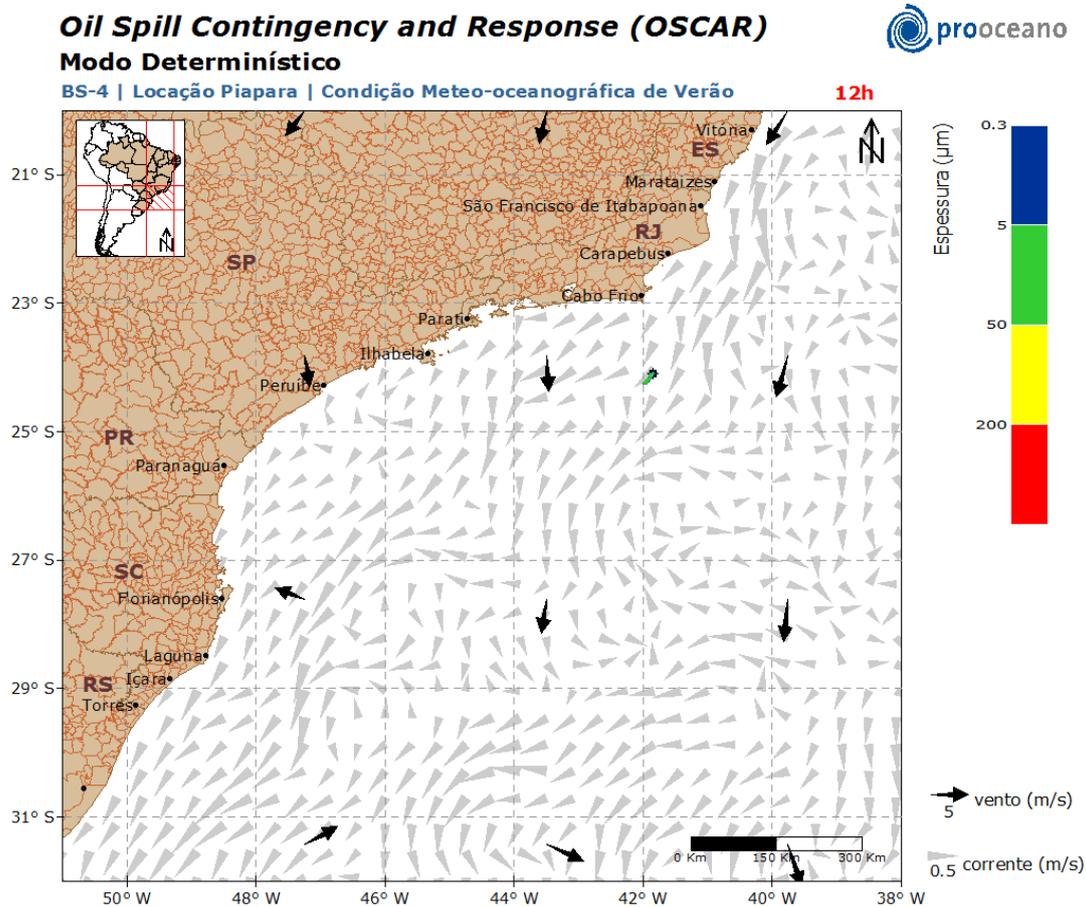


Figura 173: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

36h

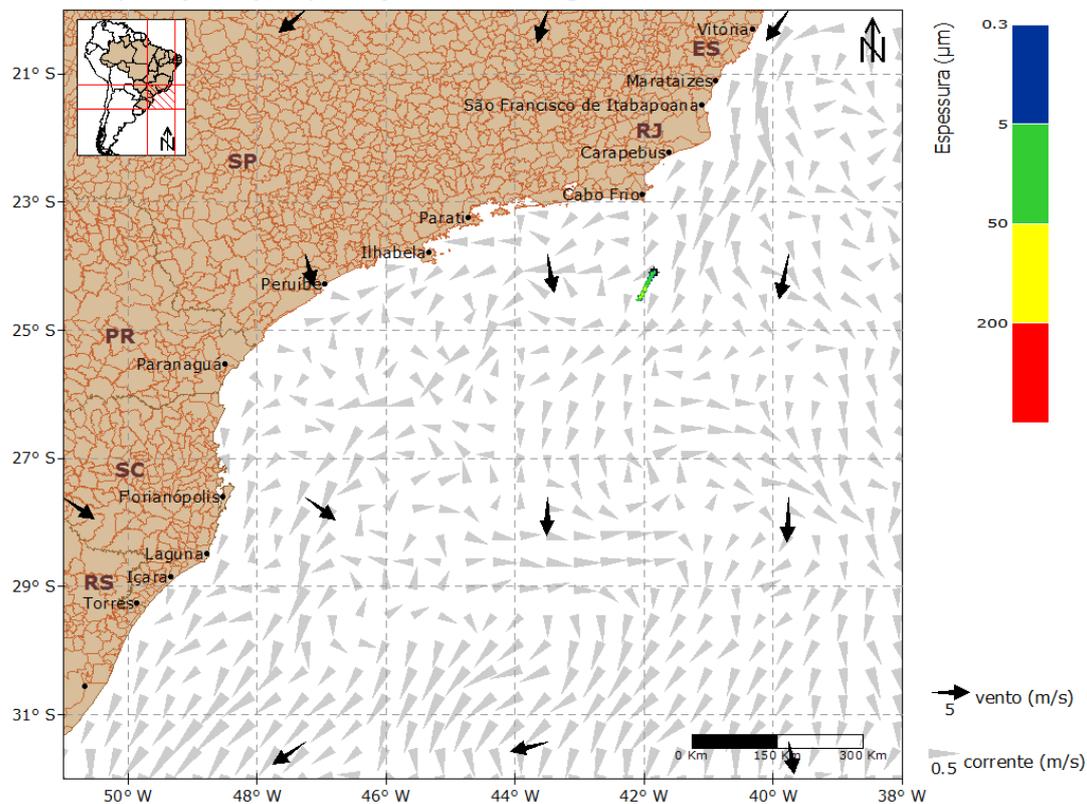


Figura 174: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

60h

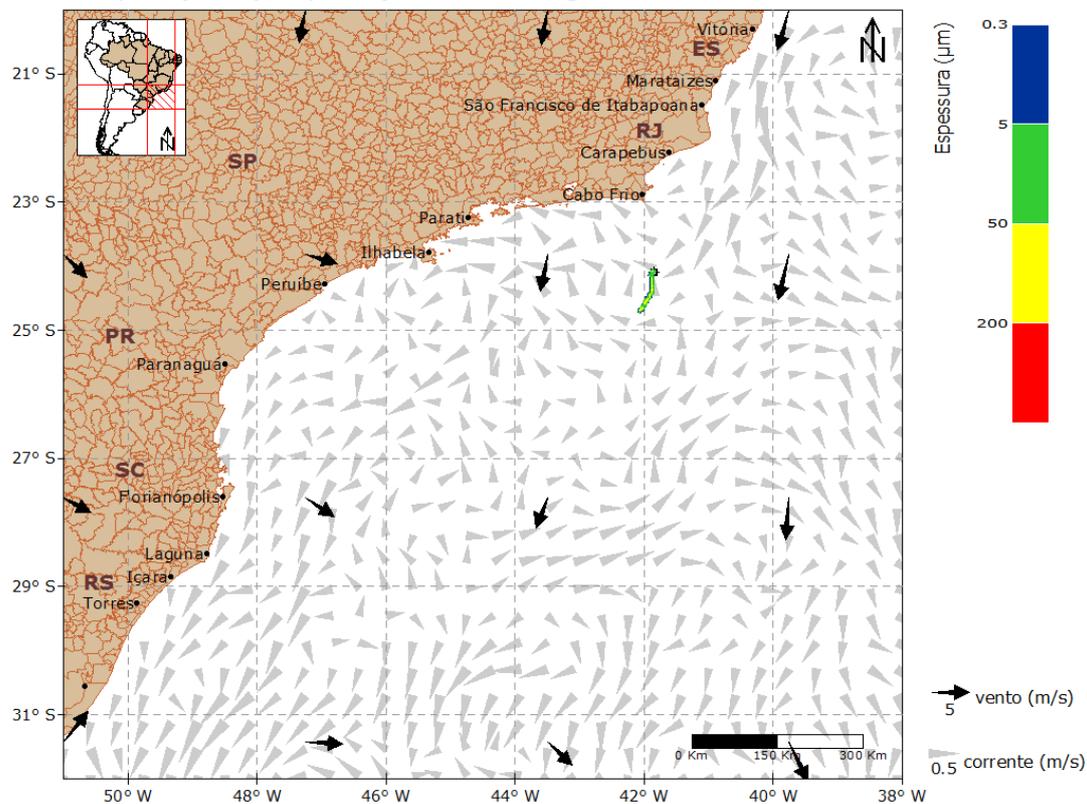


Figura 175: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

168h

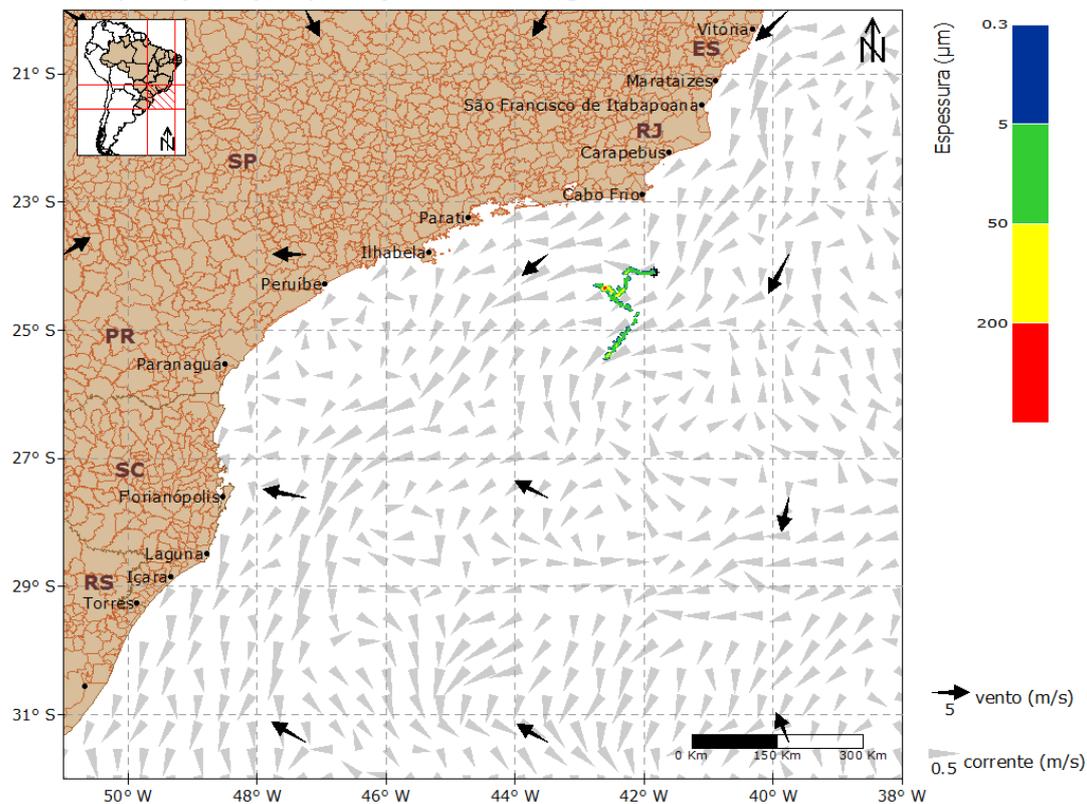


Figura 176: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

336h

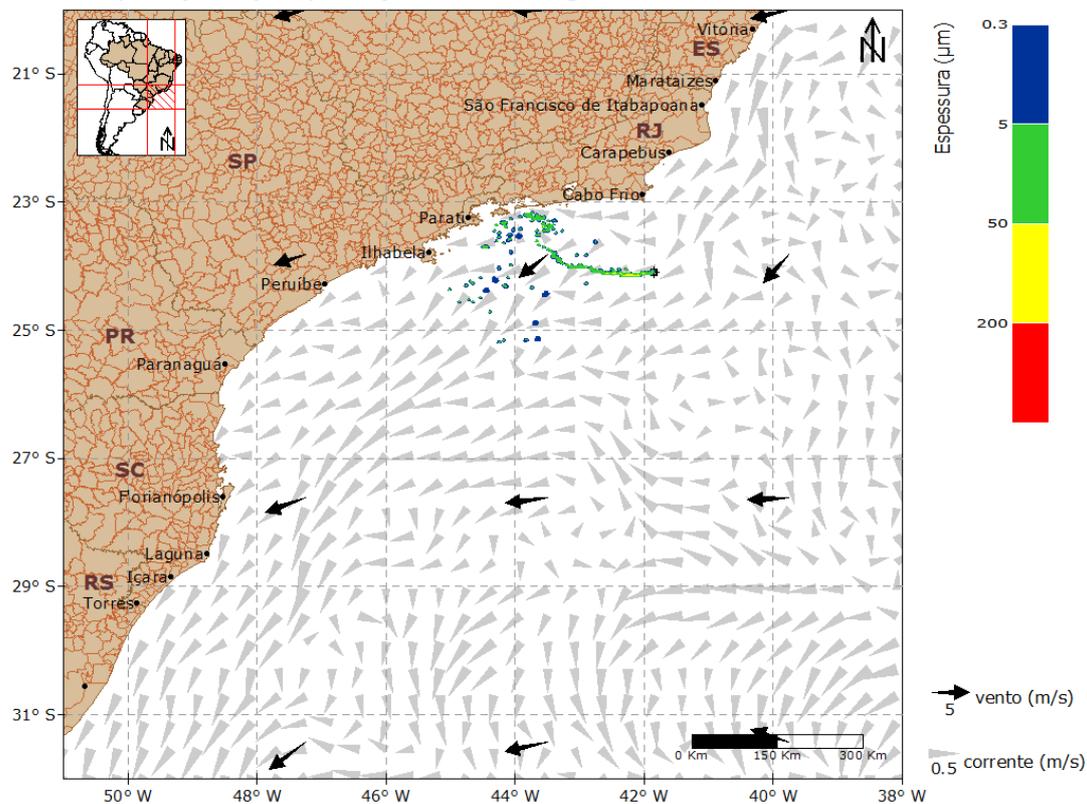


Figura 177: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

504h

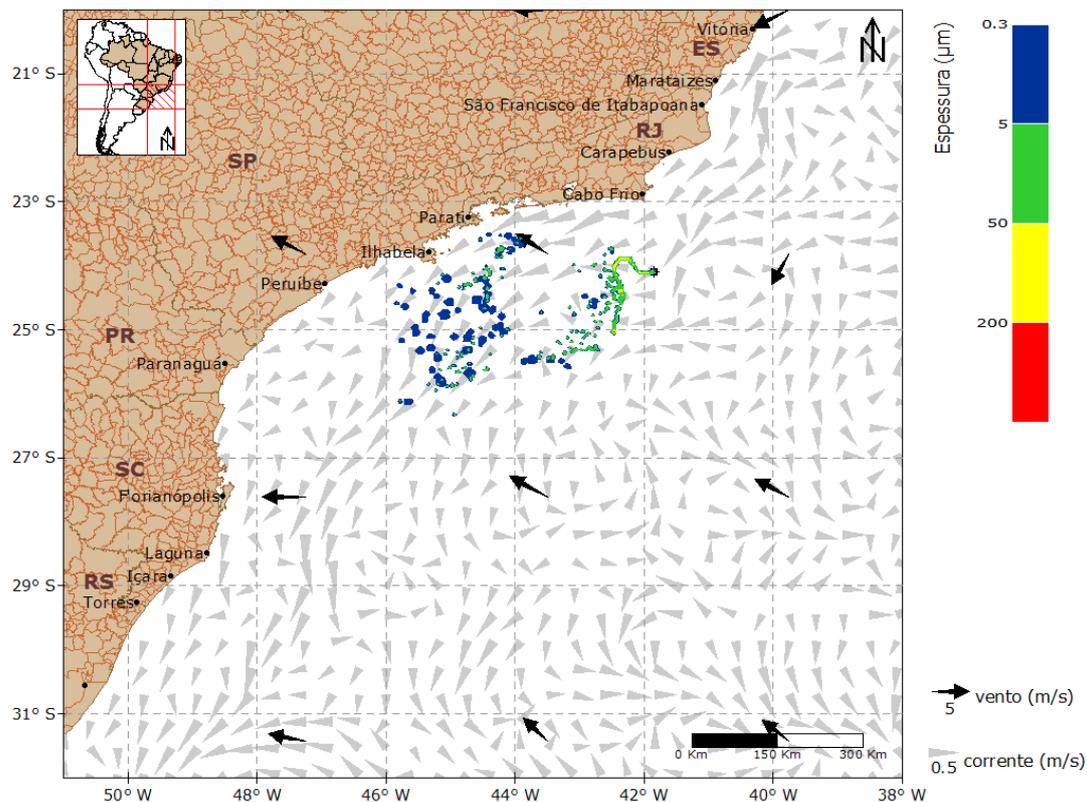


Figura 178: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

672h

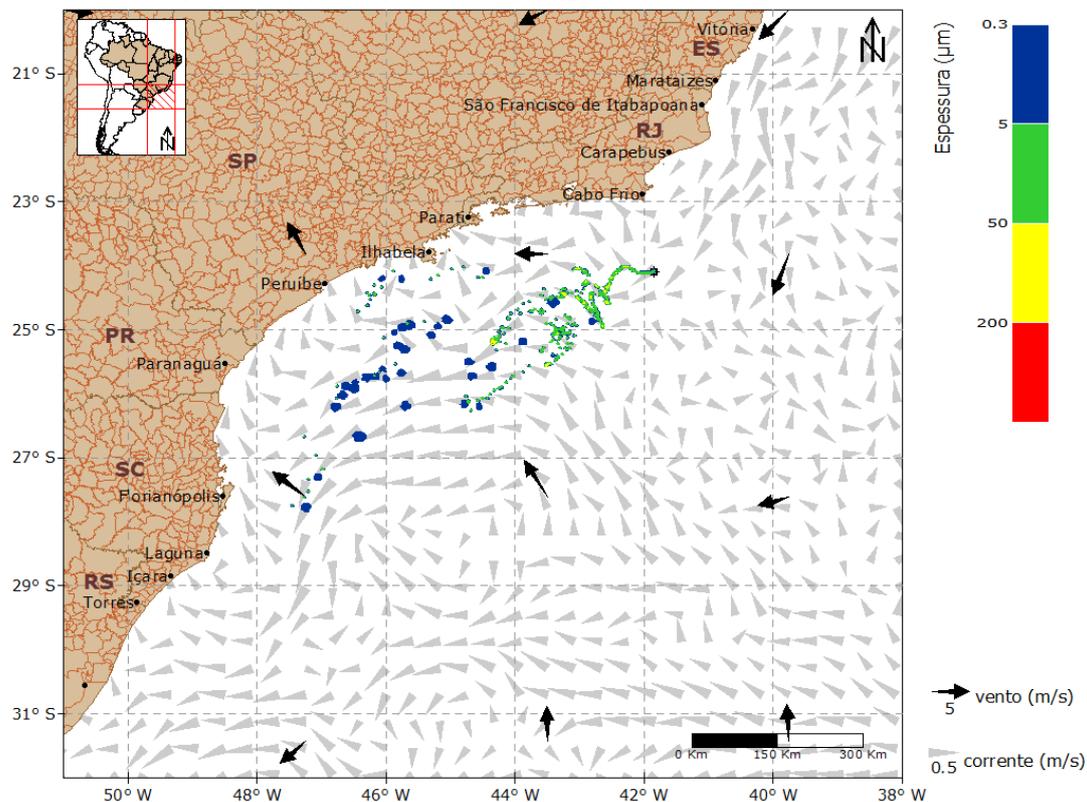


Figura 179: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Metro-oceanográfica de Verão

720h

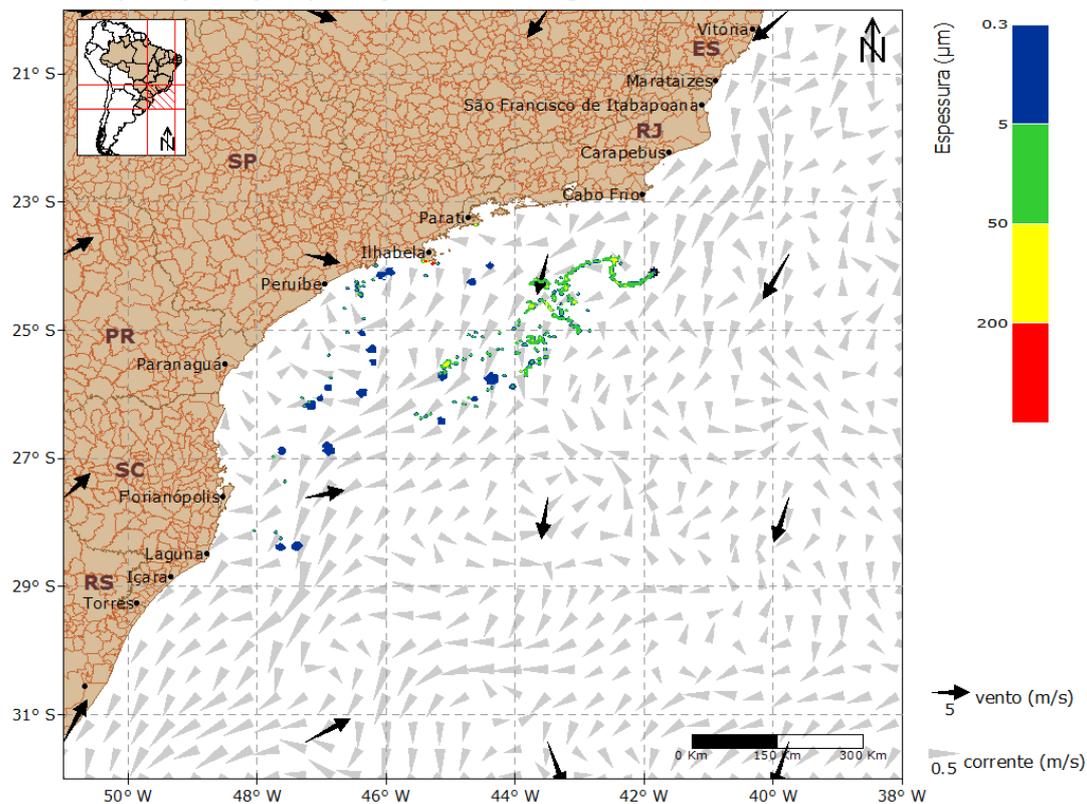


Figura 180: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Metro-oceanográfica de Verão

1080h

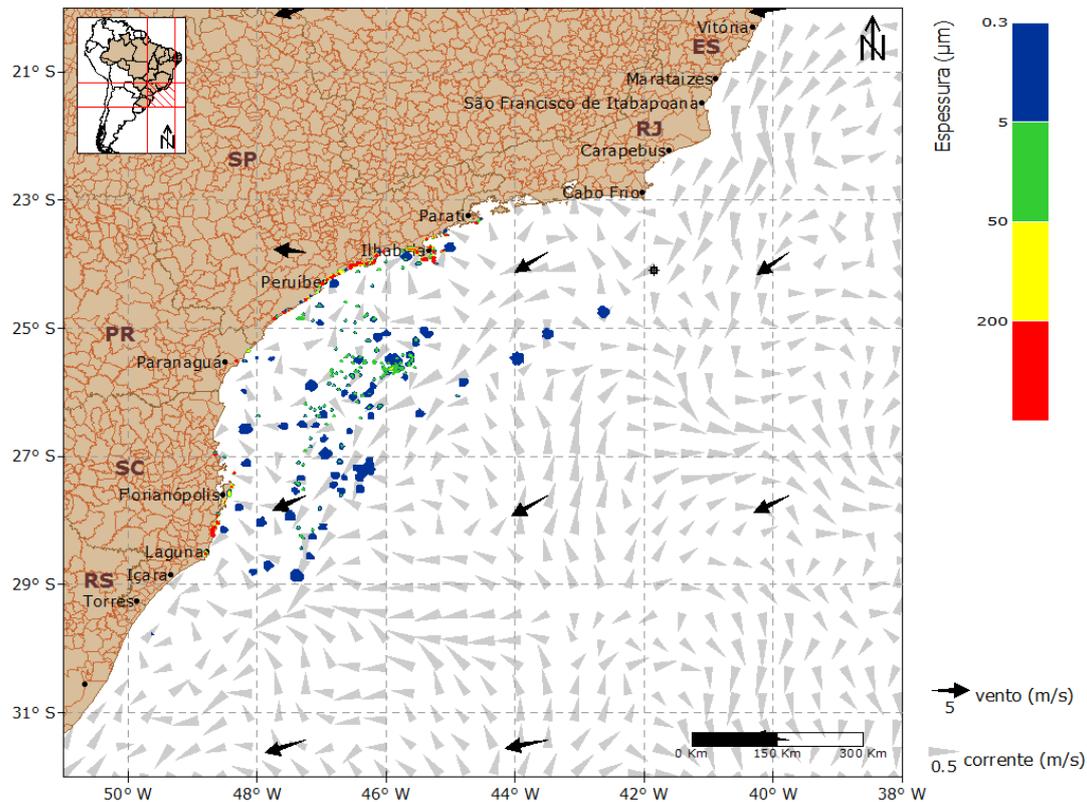


Figura 181: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

1440h

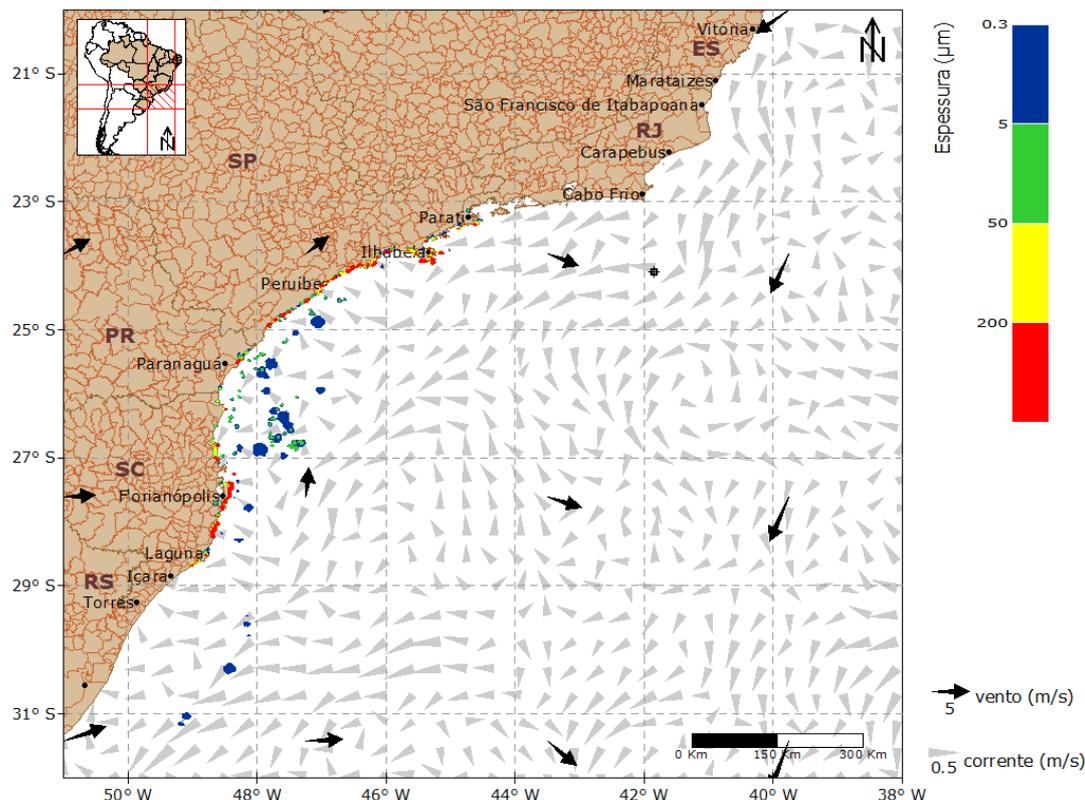


Figura 182: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Inicialmente até 168 horas, o óleo derivou a sudoeste da localização Piapara sob a influência conjunta da Corrente do Brasil e dos ventos de primeiro quadrante. Em 336 horas, observa-se que o óleo aproximou da costa com a variação da corrente sobre a plataforma. Com a evolução da simulação, o óleo permaneceu derivando para sudoeste, sendo observada a presença de óleo na costa em 720 horas (30 dias) de simulação. Ao final, em 1440 horas, era possível observar óleo acumulado desde o estado do Rio de Janeiro até Santa Catarina.

No gráfico (Figura 183), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

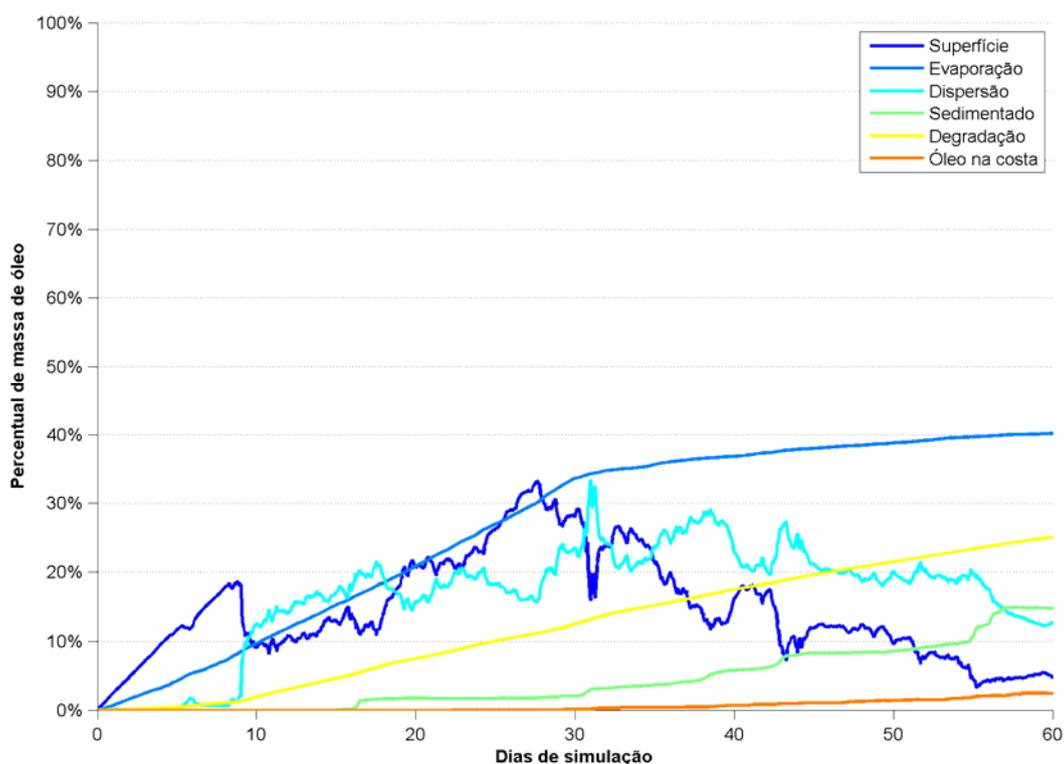


Figura 183: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteoceanográficas frequentes, no período de verão. Volume de 149.220 m³. Localização Piapara.

A retirada de massa de óleo por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação removendo, aproximadamente, 40% da massa, enquanto a degradação representou aproximadamente 25% da perda de massa. A dispersão, isto é, o óleo que vai para a coluna d'água, retirou da superfície da água 12,7% ao final da simulação, enquanto o óleo sedimentado foi de 15%. A massa de óleo acumulado na costa foi de 2,4% e houve 4,8% de óleo na superfície da água ao final da simulação.

4.3.2.1.2.2. Inverno

A deriva do óleo em condições meteoceanográficas frequentes de inverno será apresentada da Figura 184 à Figura 193.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

12h

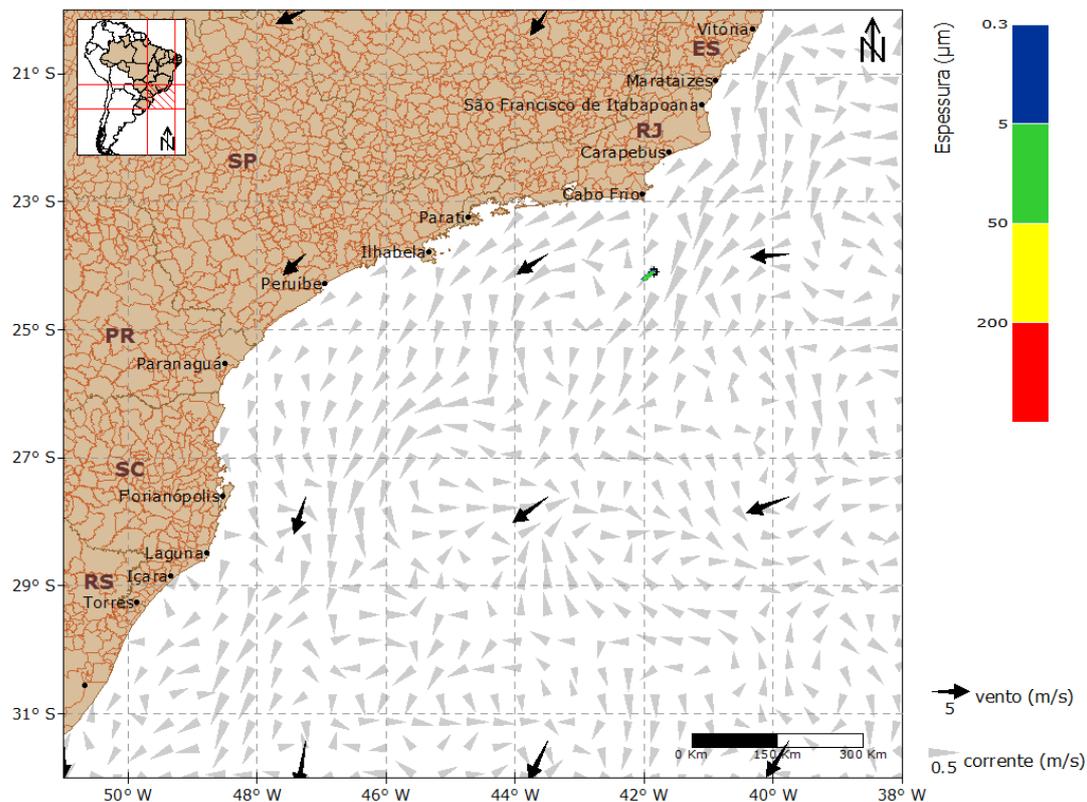


Figura 184: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

36h

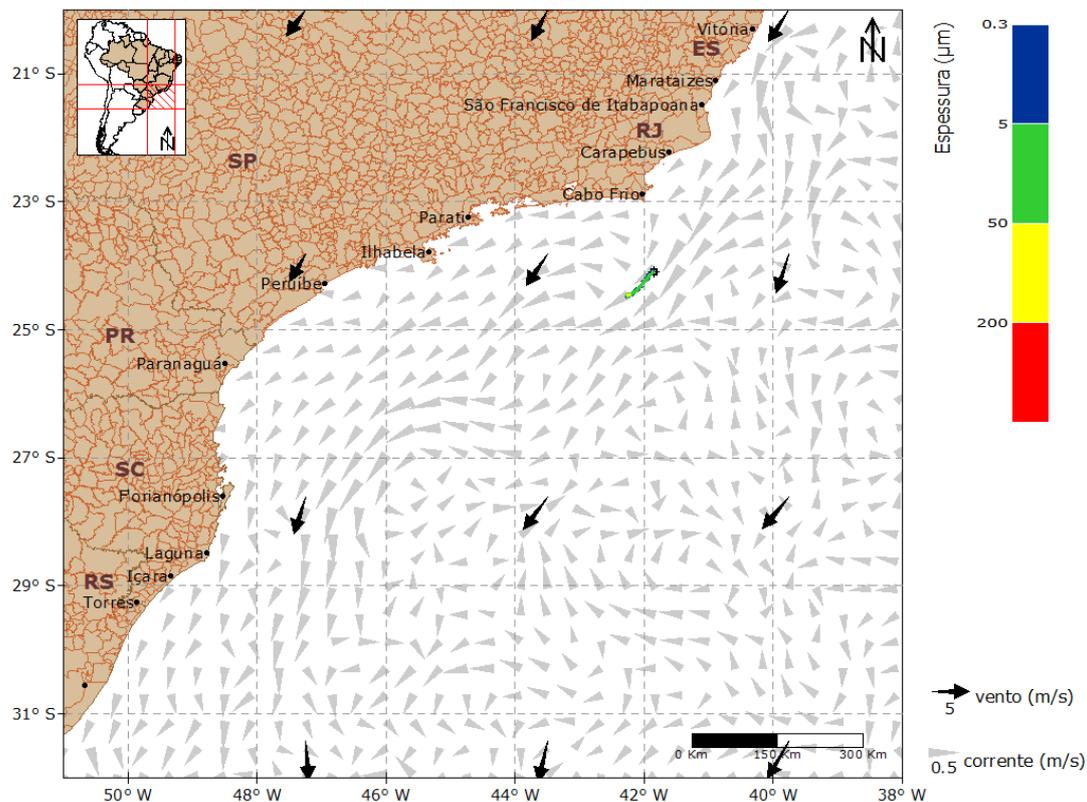


Figura 185: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

60h

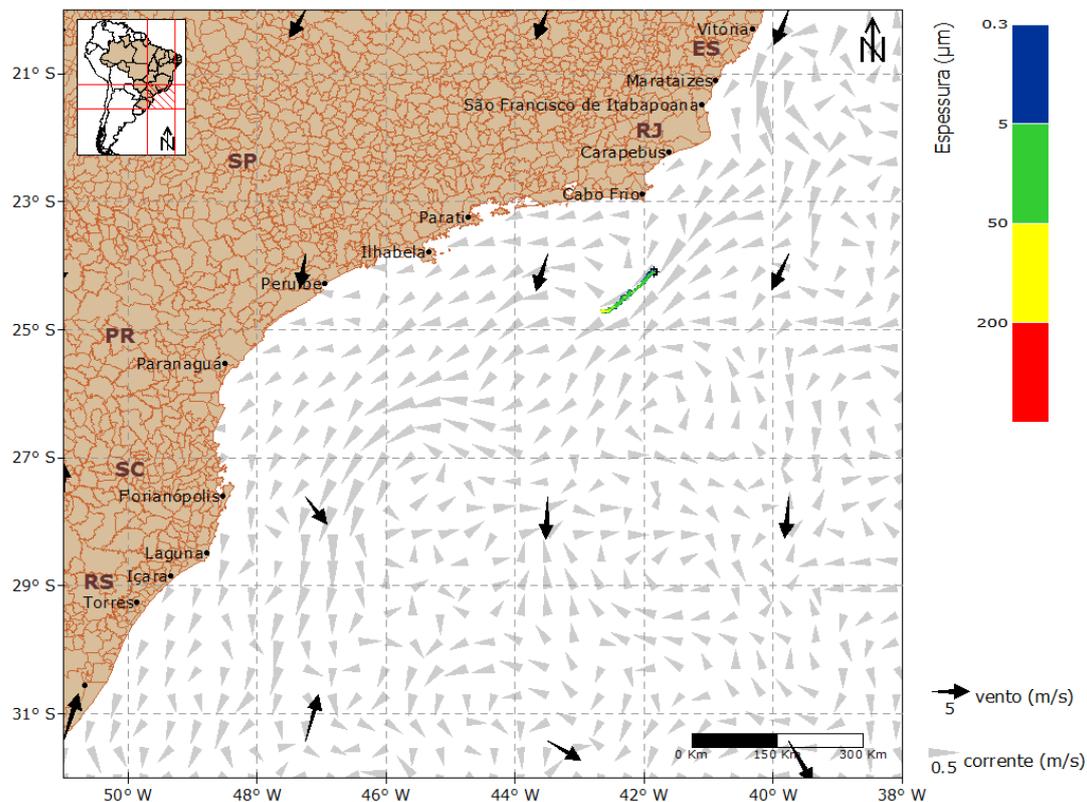


Figura 186: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

168h

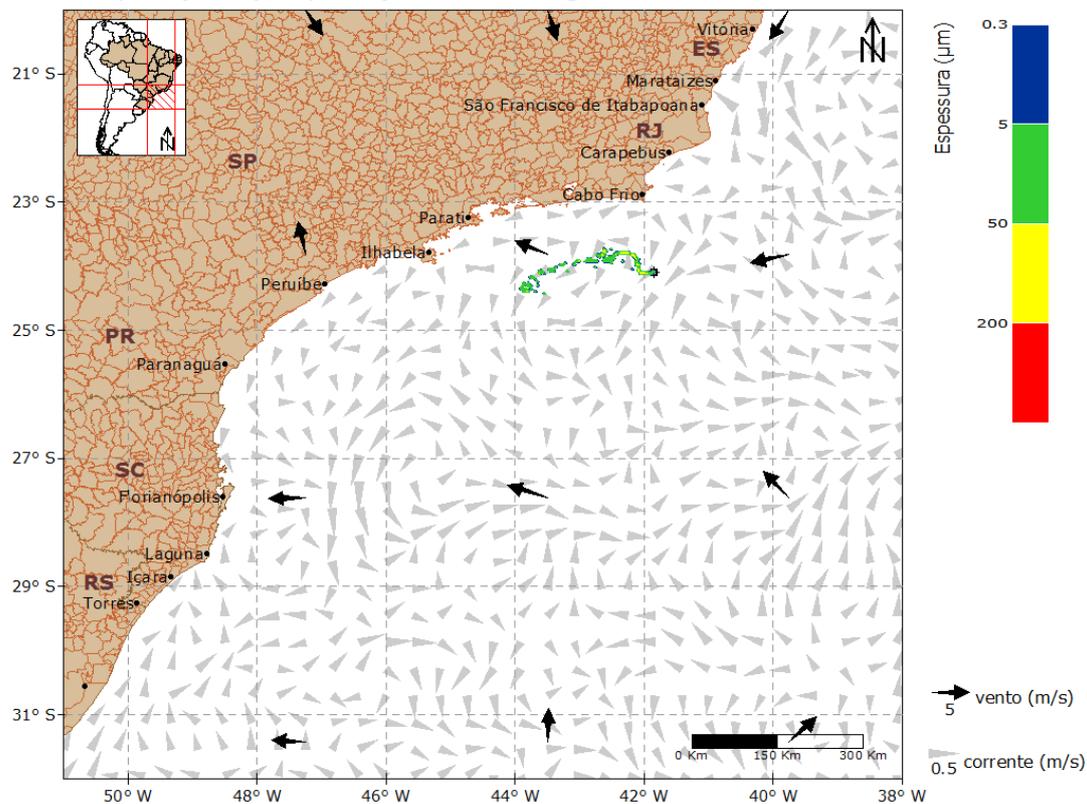


Figura 187: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

336h

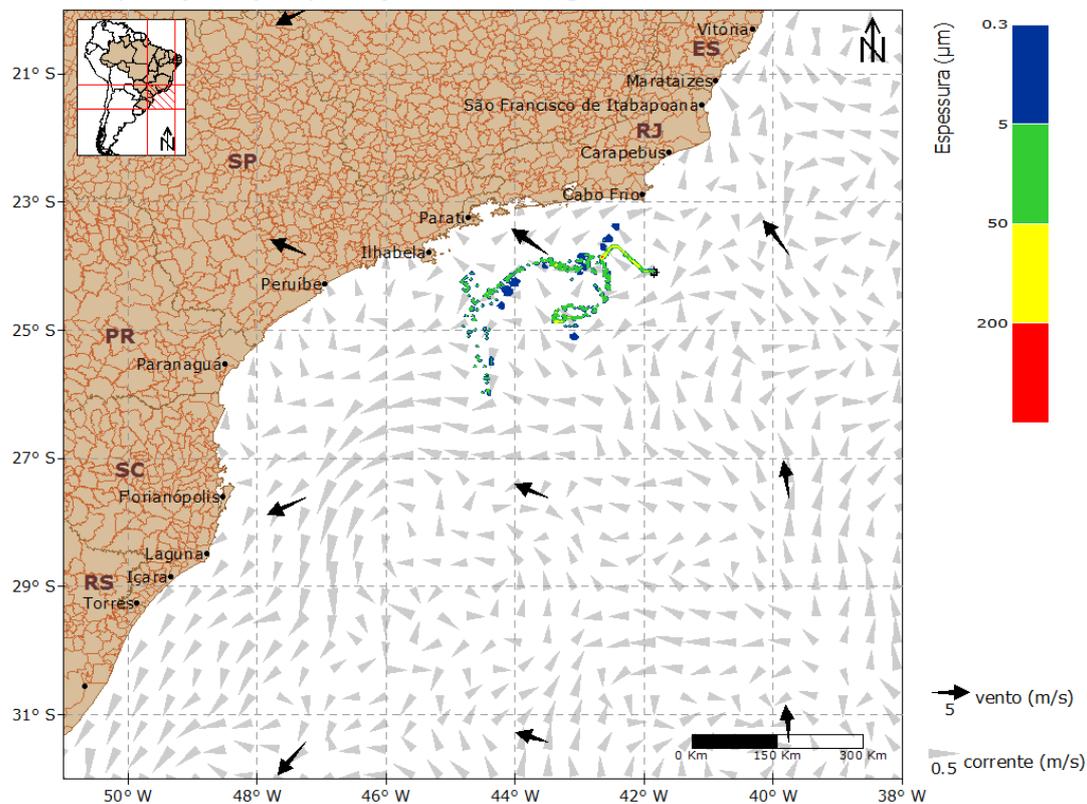


Figura 188: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

504h

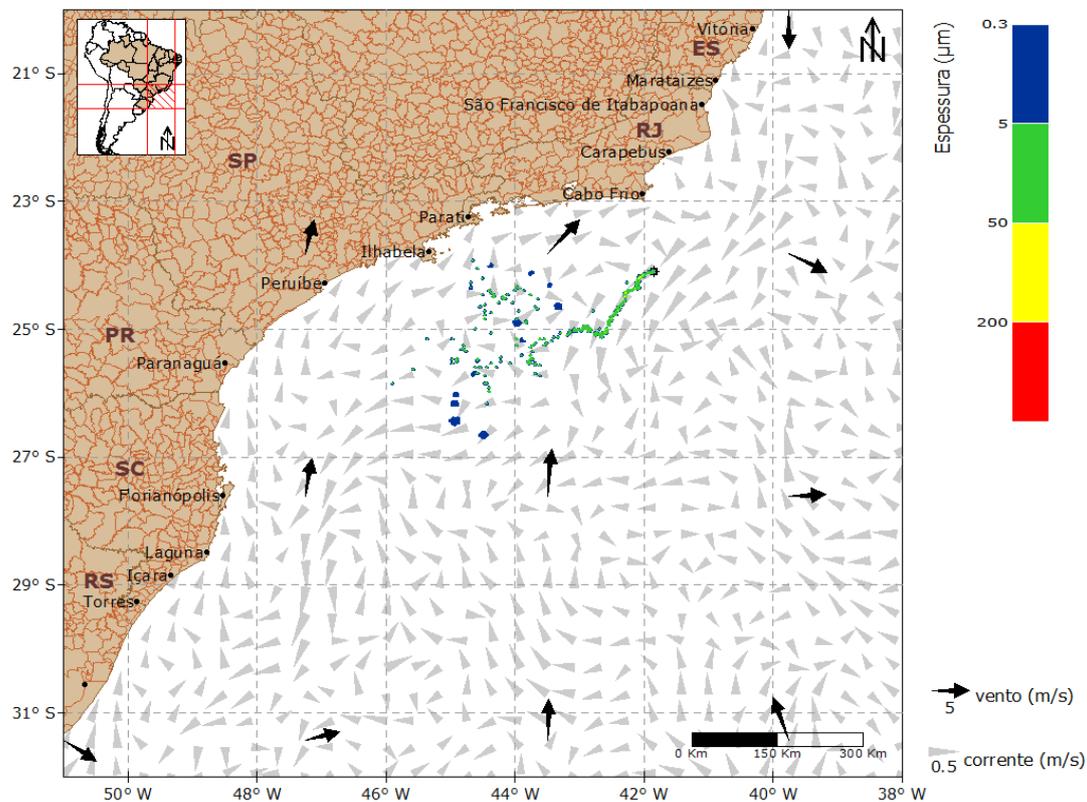


Figura 189: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

672h

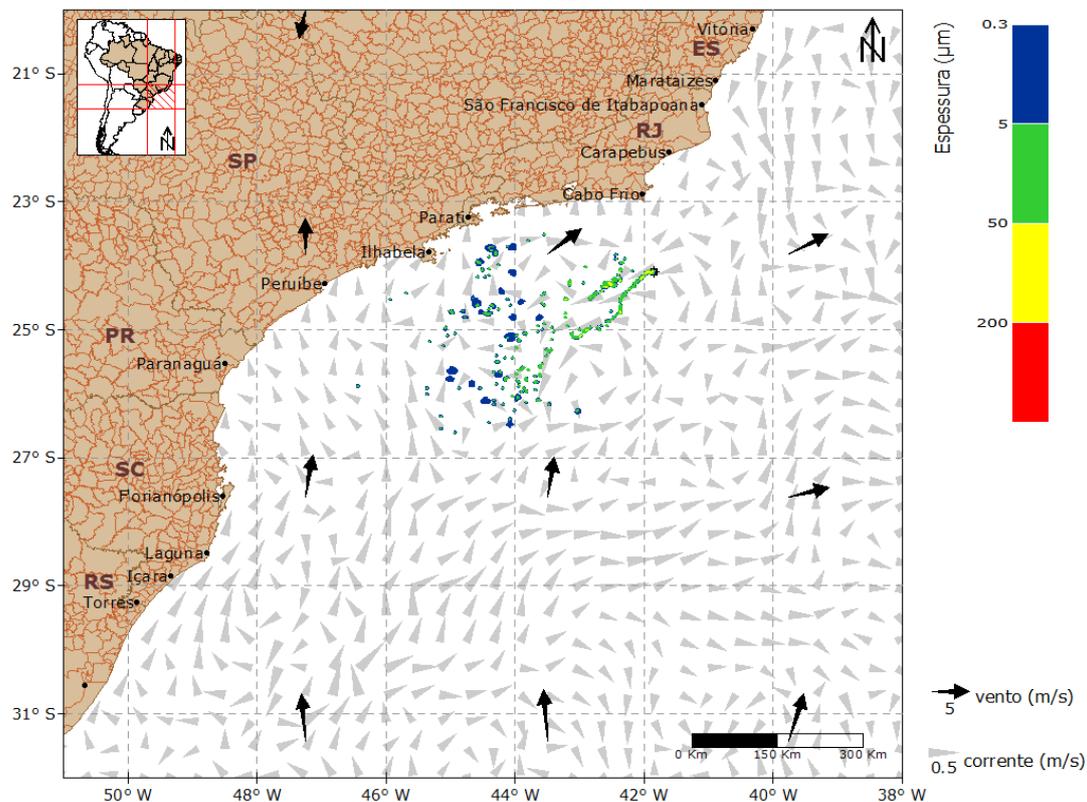


Figura 190: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³. Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

720h

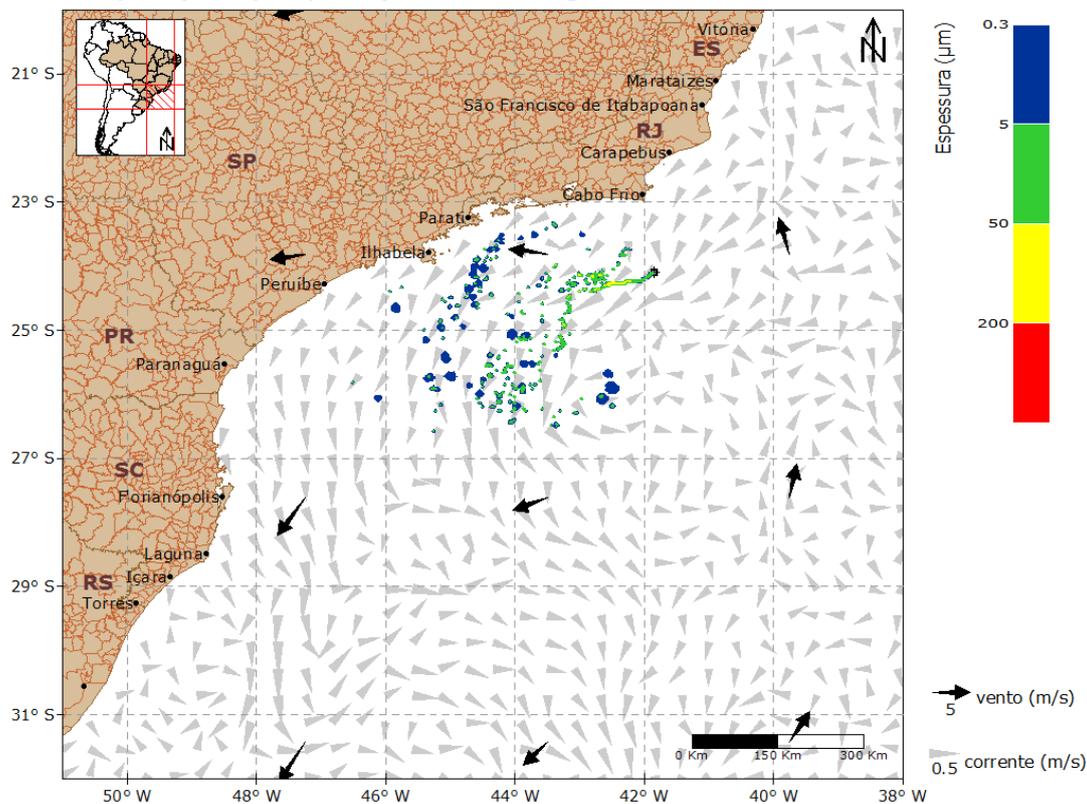


Figura 191: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

1080h

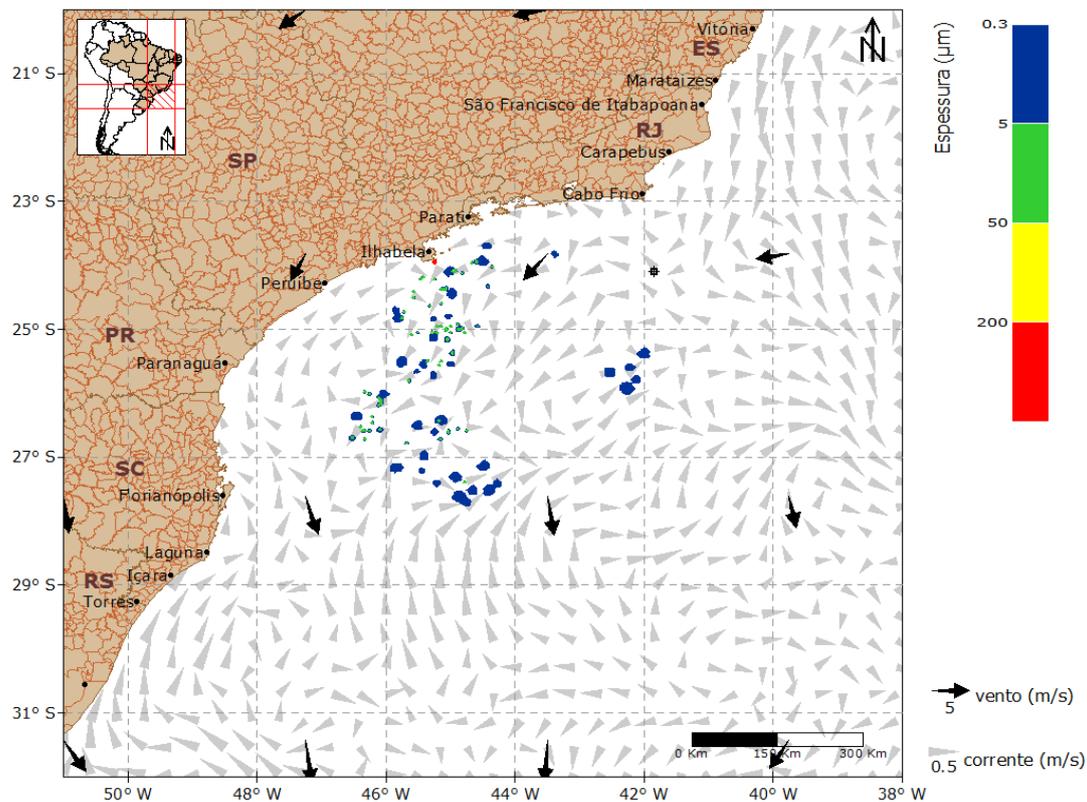


Figura 192: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Piapara | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

1440h

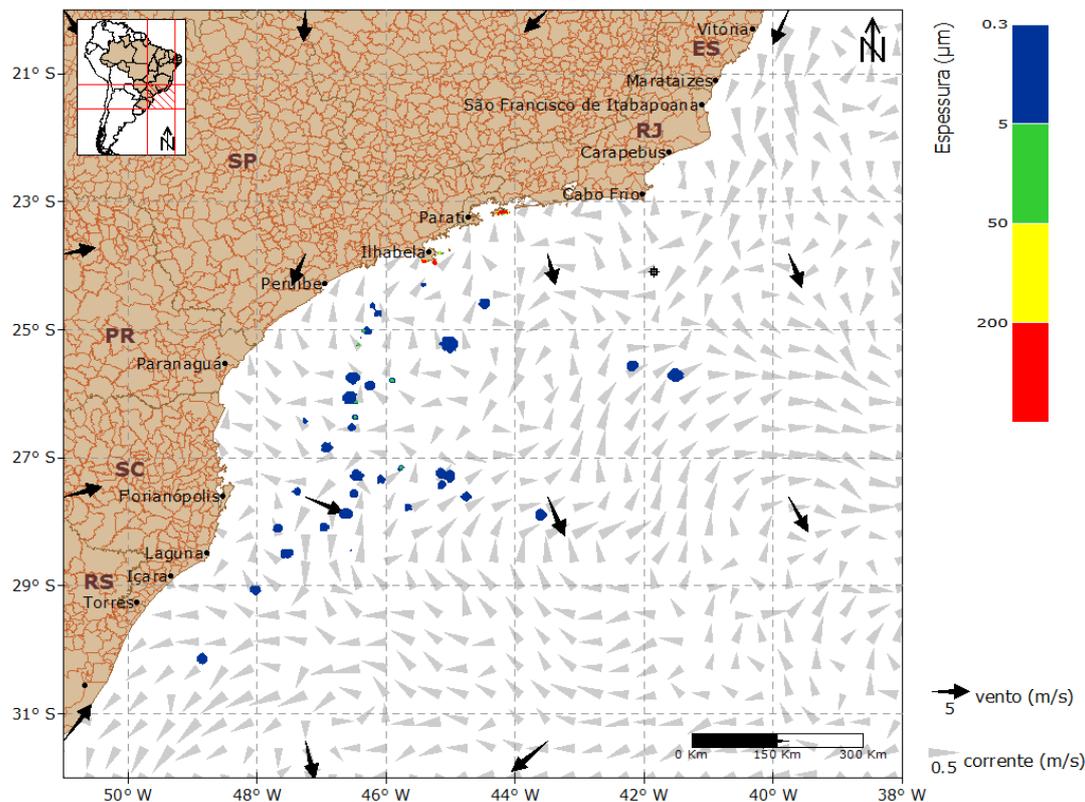


Figura 193: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 149.220 m³.

Localização Piapara.

Como no verão, inicialmente o óleo derivou a sudoeste do ponto de vazamento e, posteriormente, aproximou da costa sob a influência de ventos de componente meridional sul presentes nesse período. Com a evolução da simulação, o óleo permaneceu derivando para sudoeste principalmente sob a influência da Corrente do Brasil, sendo observada a presença de óleo na costa em 1080 horas (45 dias) de simulação. Ao final, em 1440 horas, era possível observar óleo acumulado em Ilha Grande, em Angra dos Reis-RJ e Ilhabela-SP.

No gráfico (Figura 194), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

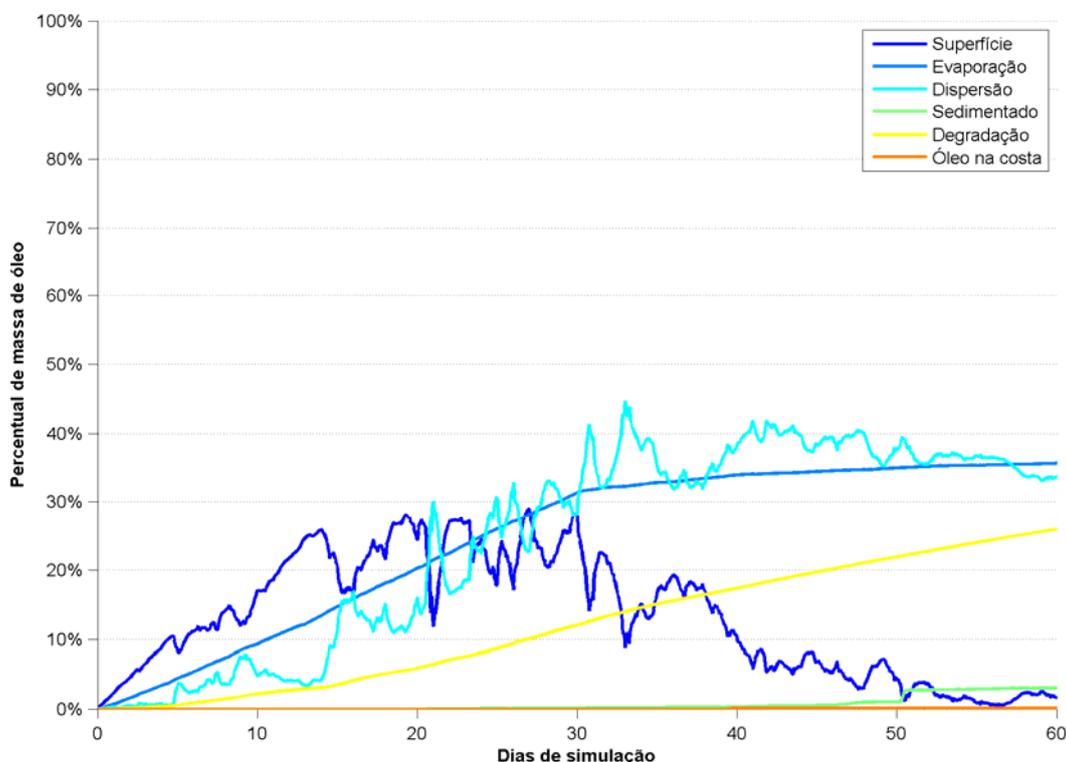


Figura 194: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteorológicas frequentes, no período de inverno. Volume de 149.220 m³. Localização Piapara.

Observa-se que a evaporação foi o processo mais atuante na retirada de massa da superfície da água, responsável por 35,7% da massa, seguido pela degradação, 26%. O óleo sedimentado representou 3% da retirada de óleo da superfície. Ao final da simulação, não havia quantidade significativa de óleo na costa e somente 1,8% na estava na superfície da água. O restante, isto é, 33,5% do total de óleo se encontrava na coluna d'água.

4.3.2.2. Localização Eoceno

4.3.2.2.1. Condição Crítica

4.3.2.2.1.1. Inverno

A deriva do óleo em condição crítica no período de inverno será apresentada da Figura 195 à Figura 205.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

12h

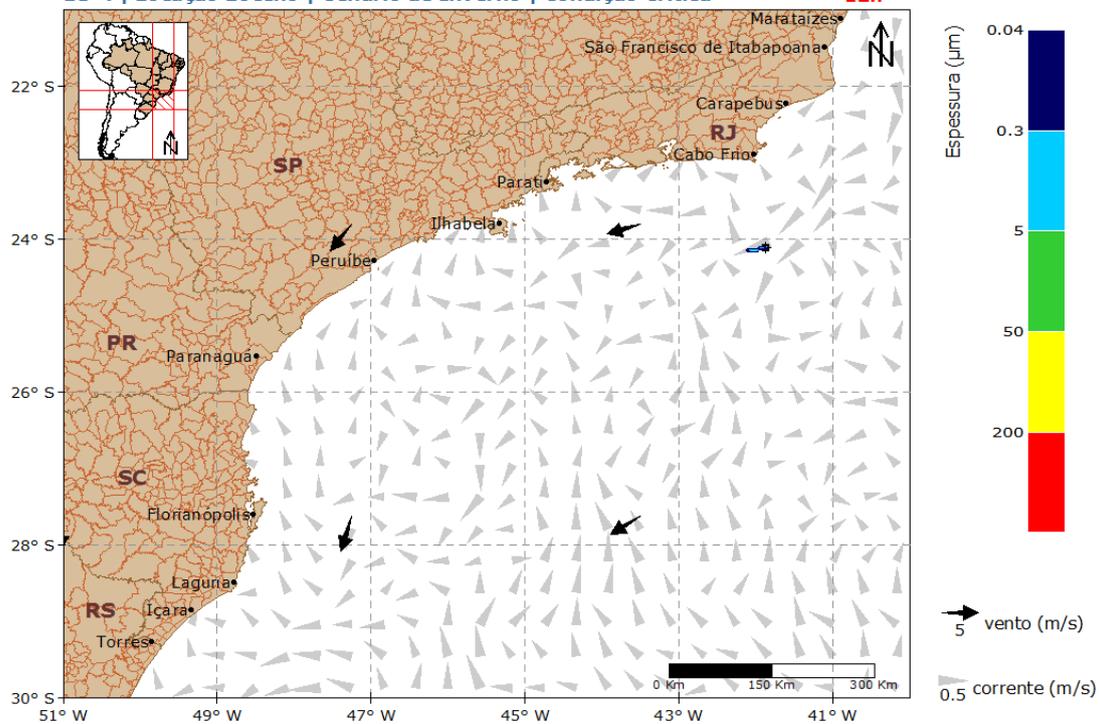


Figura 195: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

36h

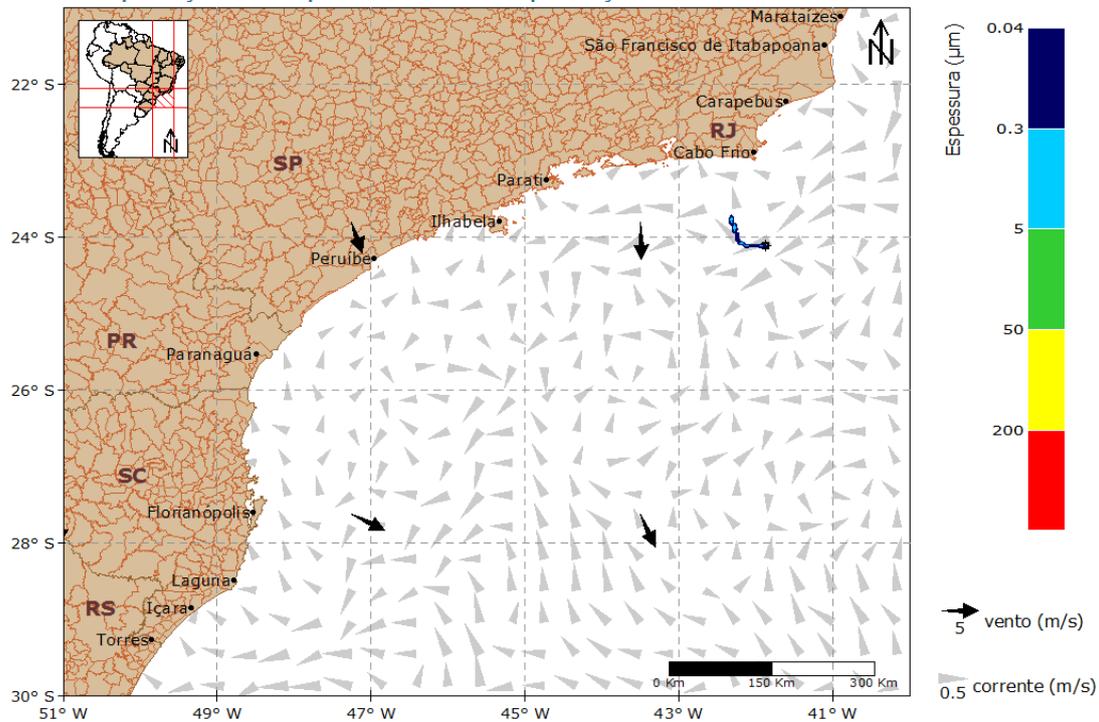


Figura 196: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

60h

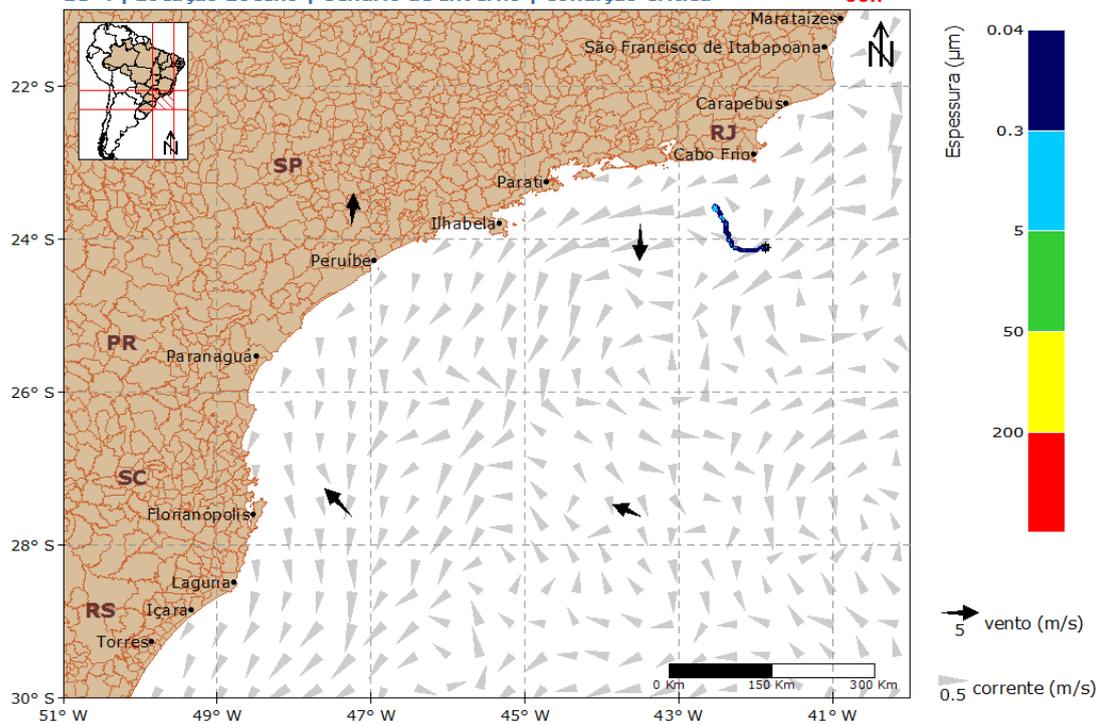


Figura 197: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

147h

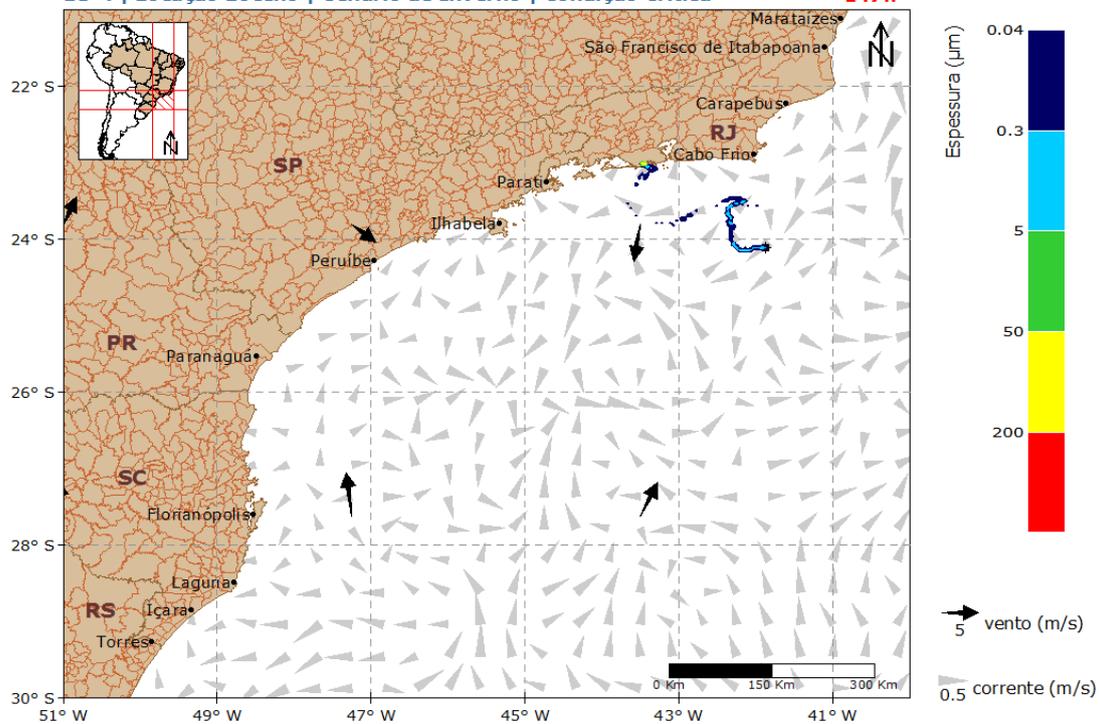


Figura 198: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 147 horas (tempo mínimo de toque) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

168h

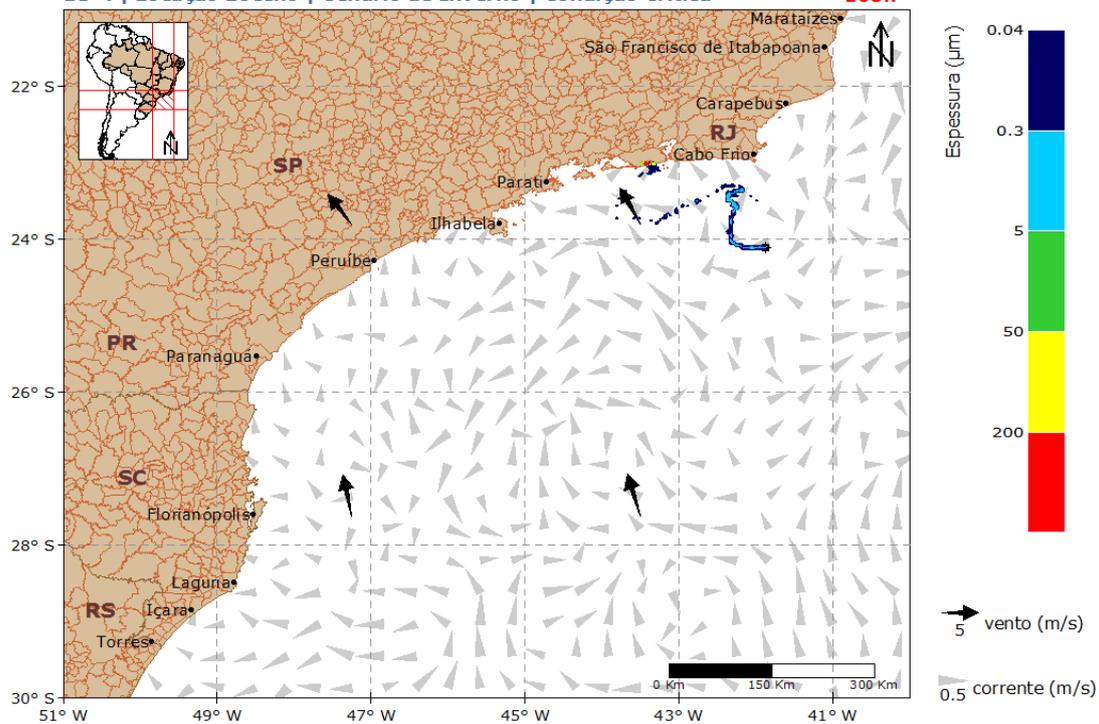


Figura 199: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

336h

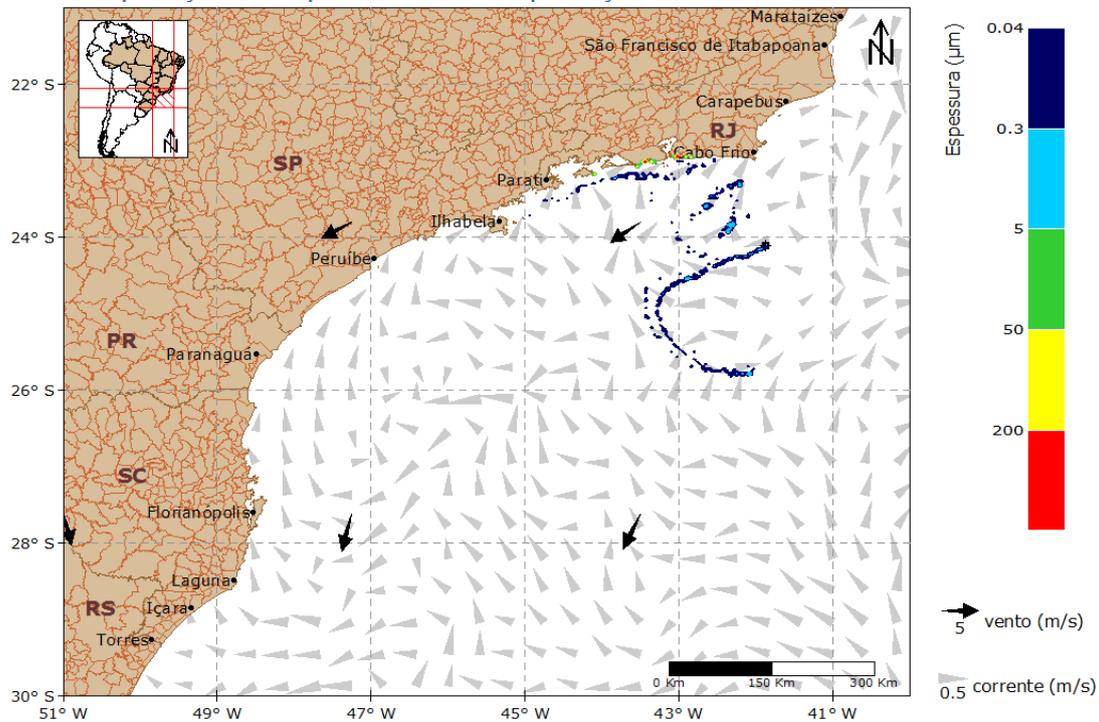


Figura 200: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

504h

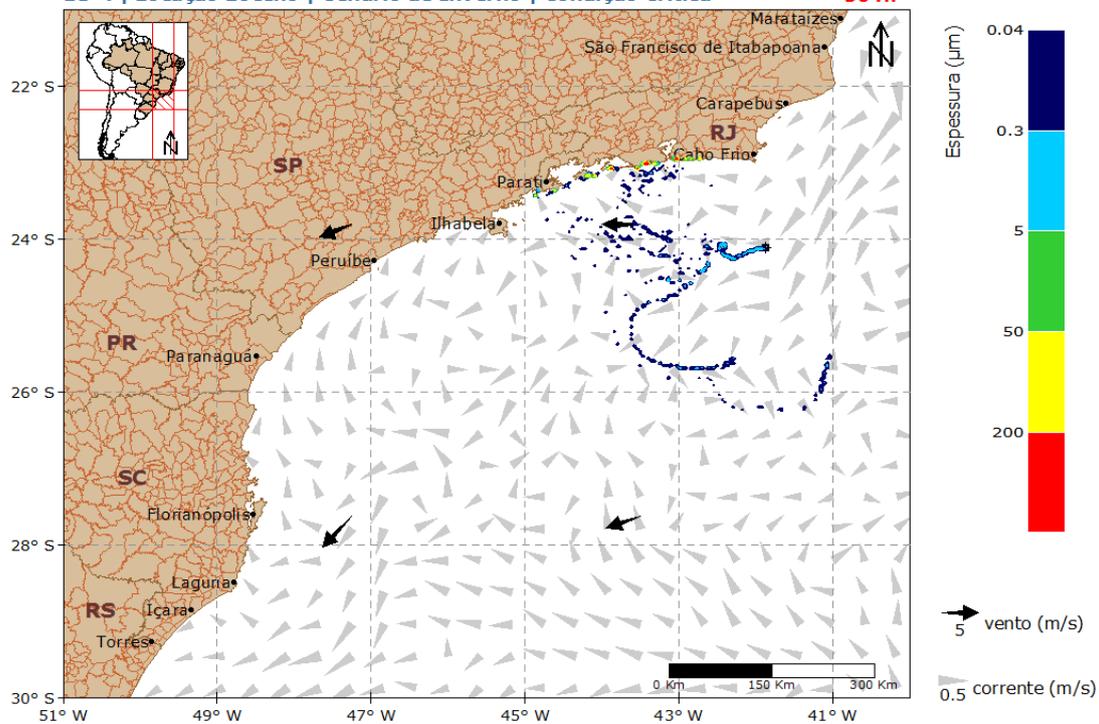


Figura 201: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

672h

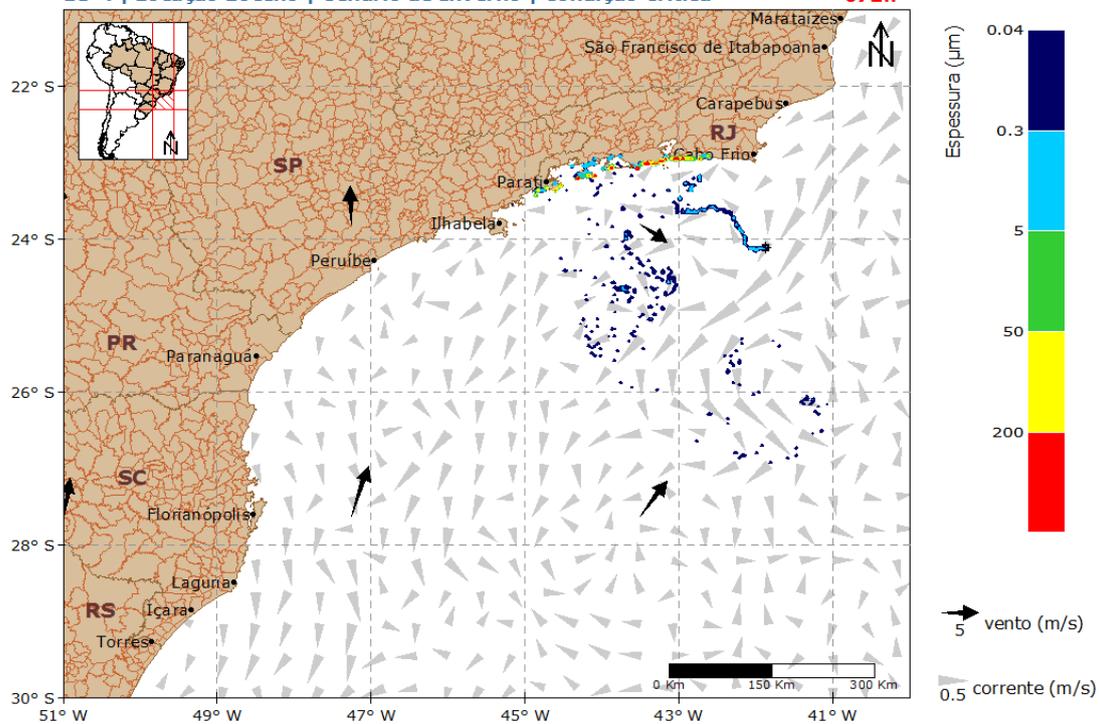


Figura 202: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

720h

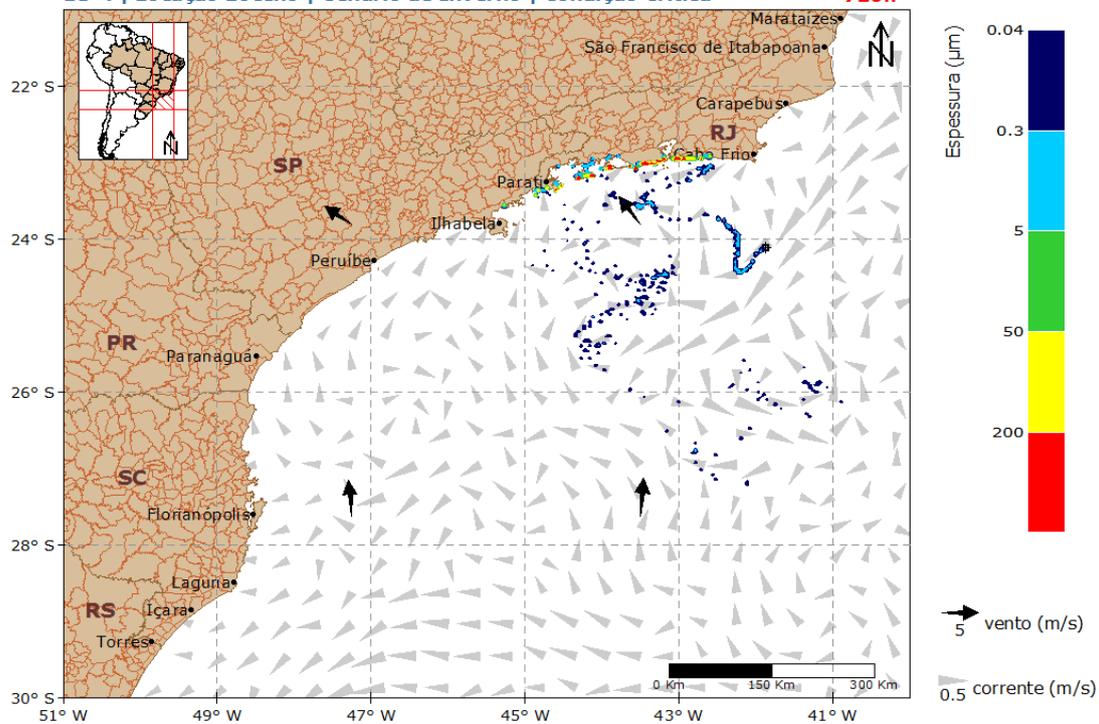


Figura 203: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Locação Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

1080h

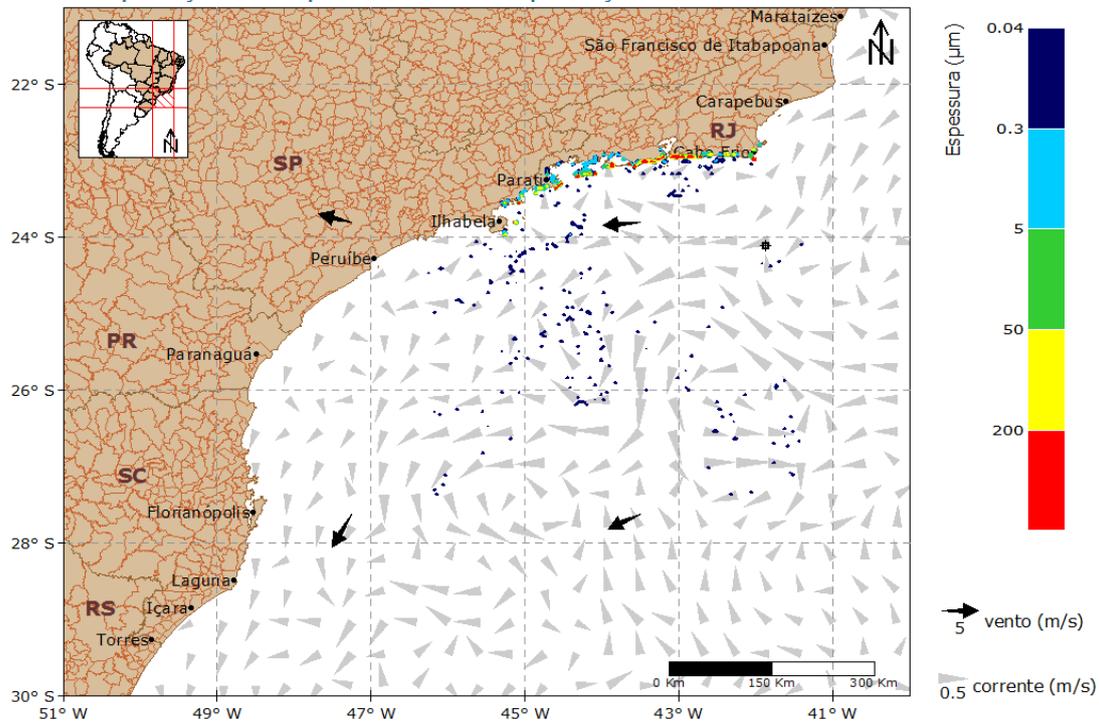


Figura 204: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Locação Eoceno | Cenário de Inverno | Condição Crítica

1440h

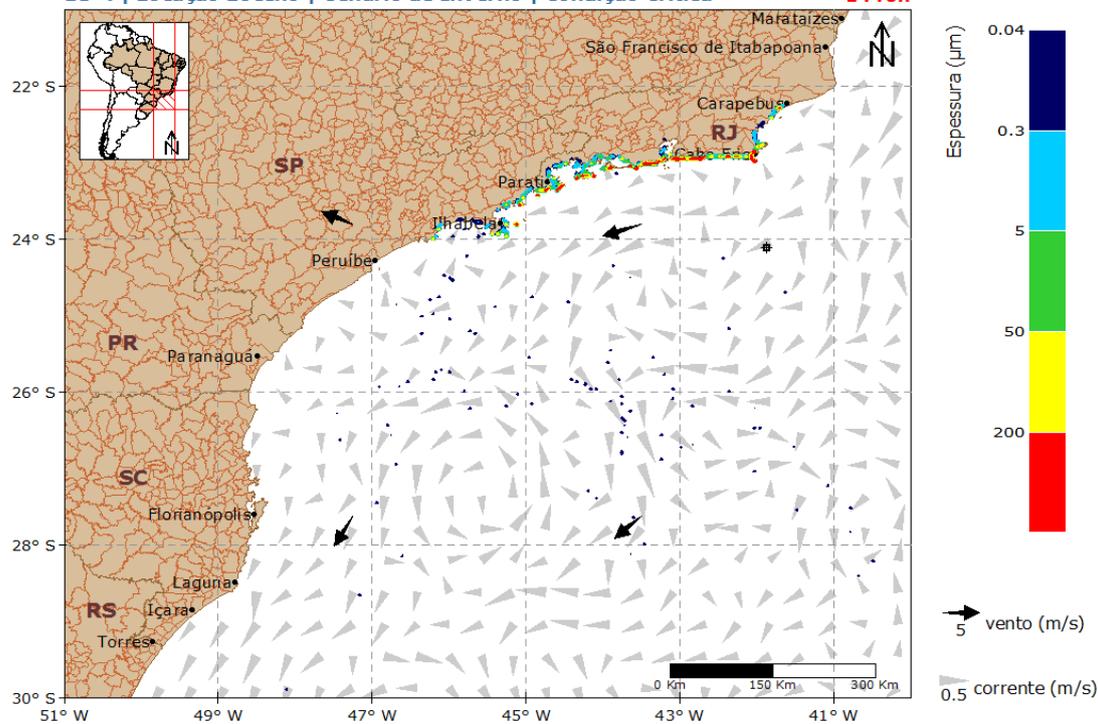


Figura 205: Resultado da simulação determinística em condição crítica, cenário de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Locação Eoceno.

A deriva do óleo ocorreu inicialmente rumo a norte-noroeste do ponto de vazamento, sob a influência dos ventos de sudeste e das correntes. Devido à proximidade da costa em relação ao ponto de vazamento, em 147 horas ocorreu o toque do óleo no município do Rio de Janeiro (RJ). A partir deste momento até o final da simulação, a deriva do óleo variou entre noroeste e sudoeste, abrangendo grande parte da costa do estado do Rio de Janeiro e parte de São Paulo.

No gráfico (Figura 206), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

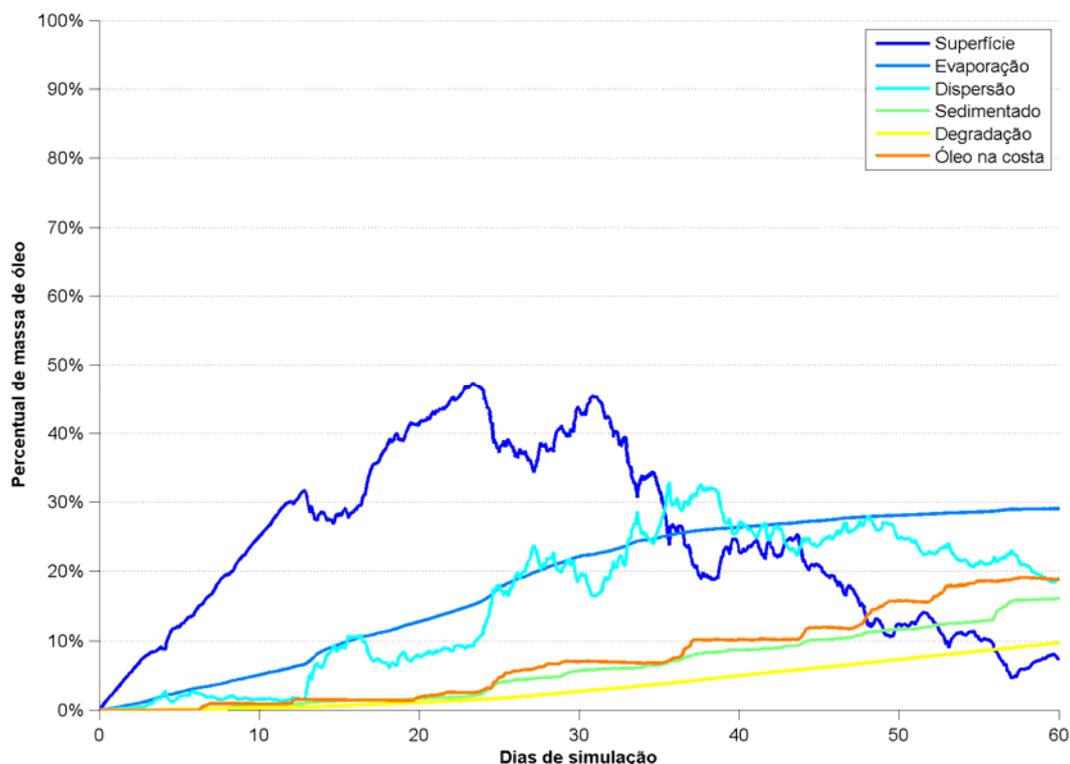


Figura 206: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica no cenário de inverno. Volume de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Observa-se que a evaporação foi novamente o processo de intemperismo do óleo mais atuante, responsável pela retirada de aproximadamente 29% da massa, e a degradação por 10%. O óleo acumulado na costa e o óleo na coluna d'água apresentaram o mesmo valor, aproximadamente de 19%, enquanto a sedimentação foi de 16%. Ao final da simulação, havia aproximadamente 7% de óleo em superfície.

4.3.2.2.2. Condições Meteoceanográficas Frequentes

Nos itens a seguir serão apresentadas duas trajetórias em condições meteoceanográficas frequentes para a localização Eoceno, sendo uma no período de verão e outra no inverno, para um vazamento de *blowout* (2.280 m³) contínuo por 30 dias, simulação de 60 dias.

4.3.2.2.2.1. Verão

A deriva do óleo em condições meteoceanográficas frequentes de verão será apresentada da Figura 207 à Figura 216.

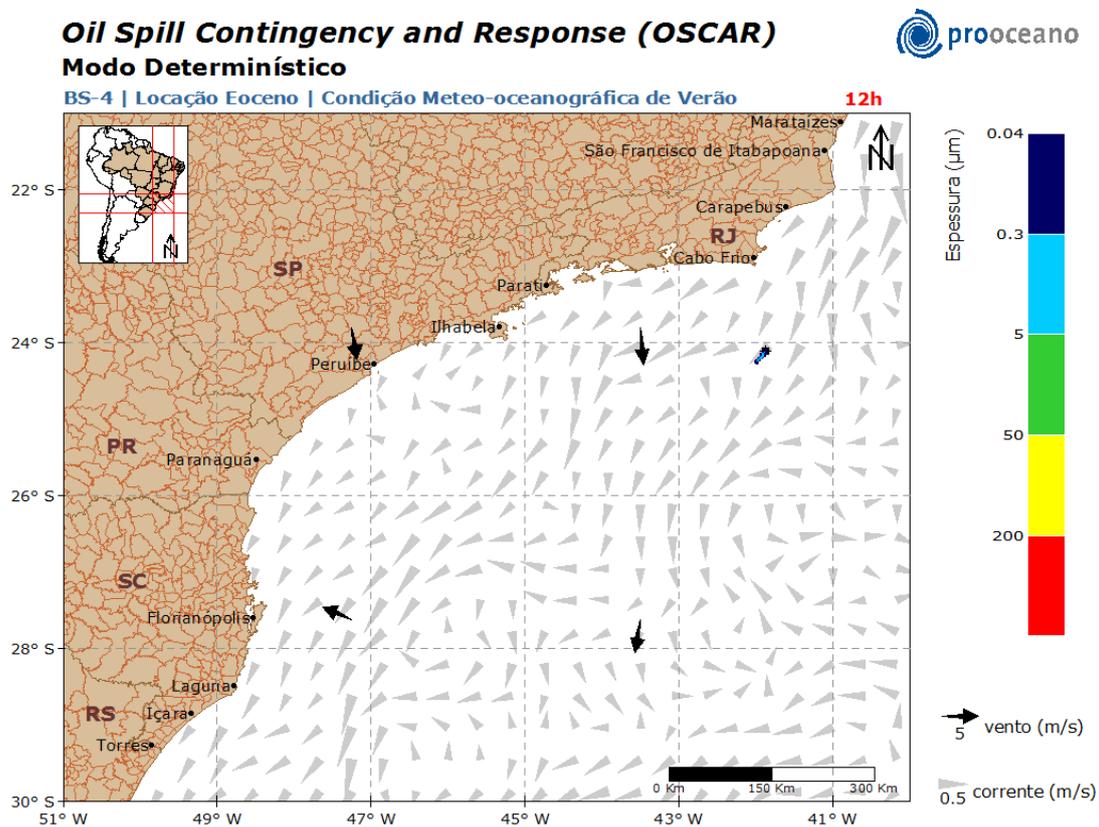


Figura 207: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

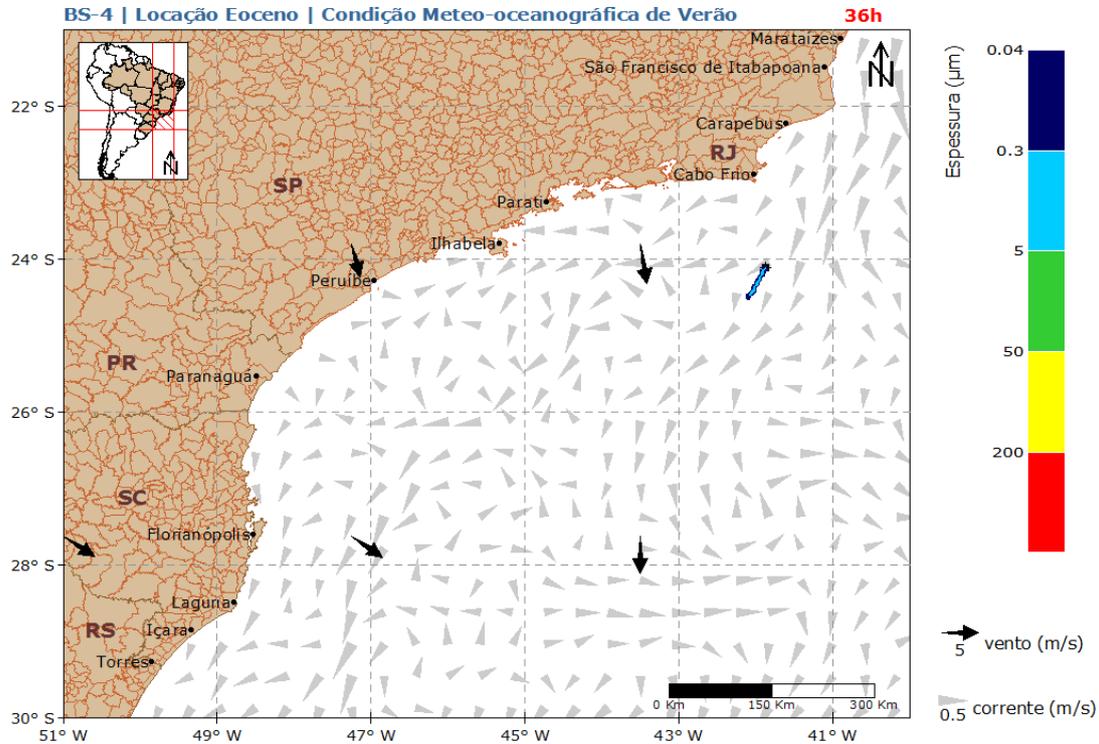


Figura 208: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

60h

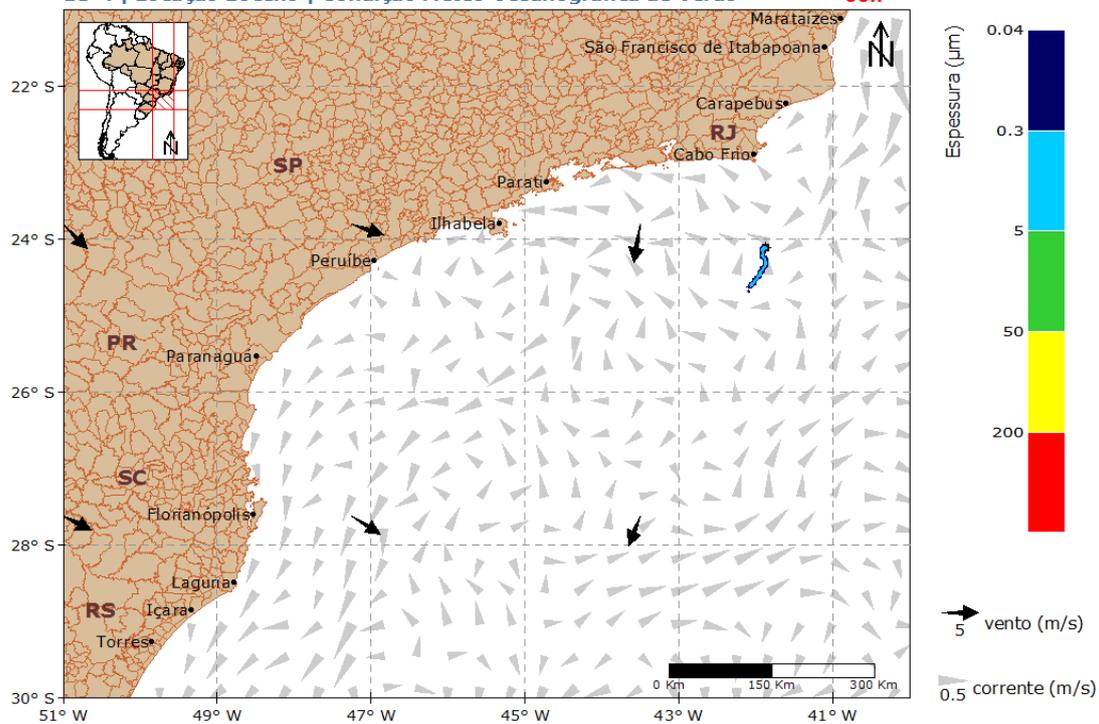


Figura 209: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

168h

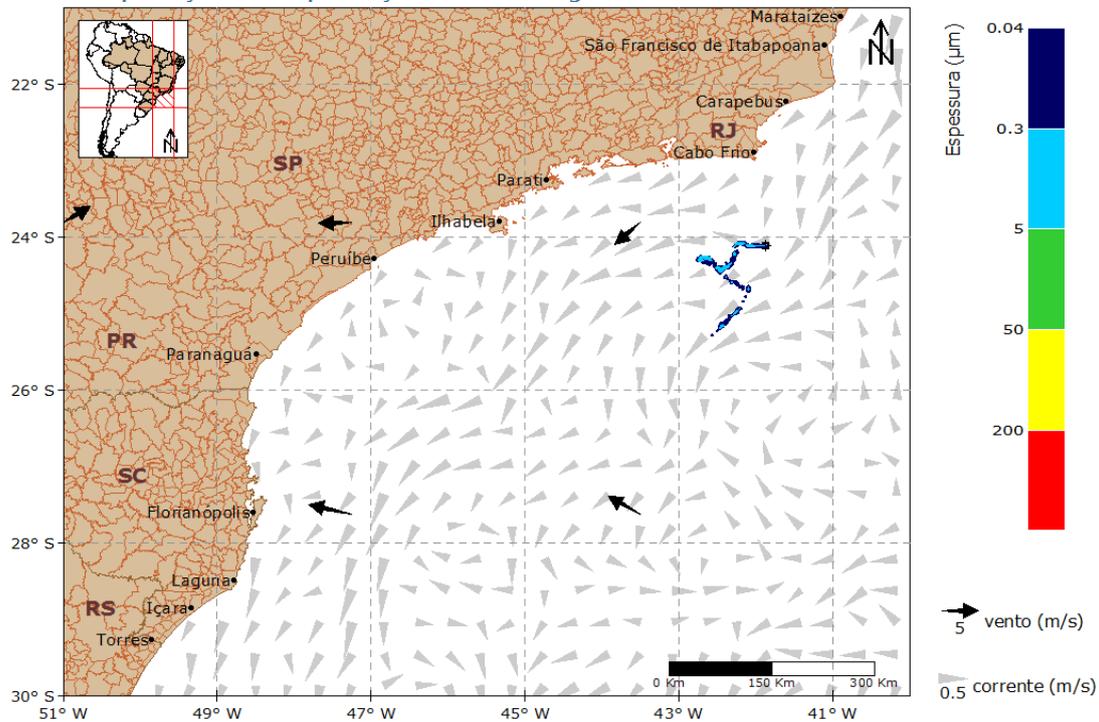


Figura 210: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.

Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

336h

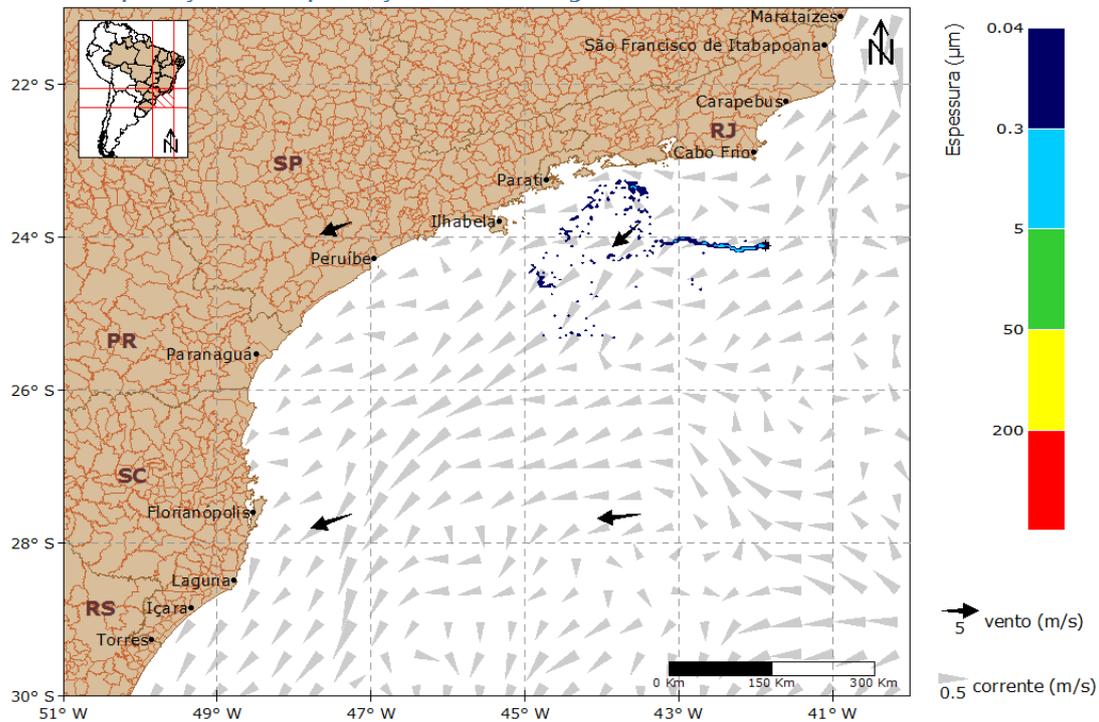


Figura 211: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.

Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

504h

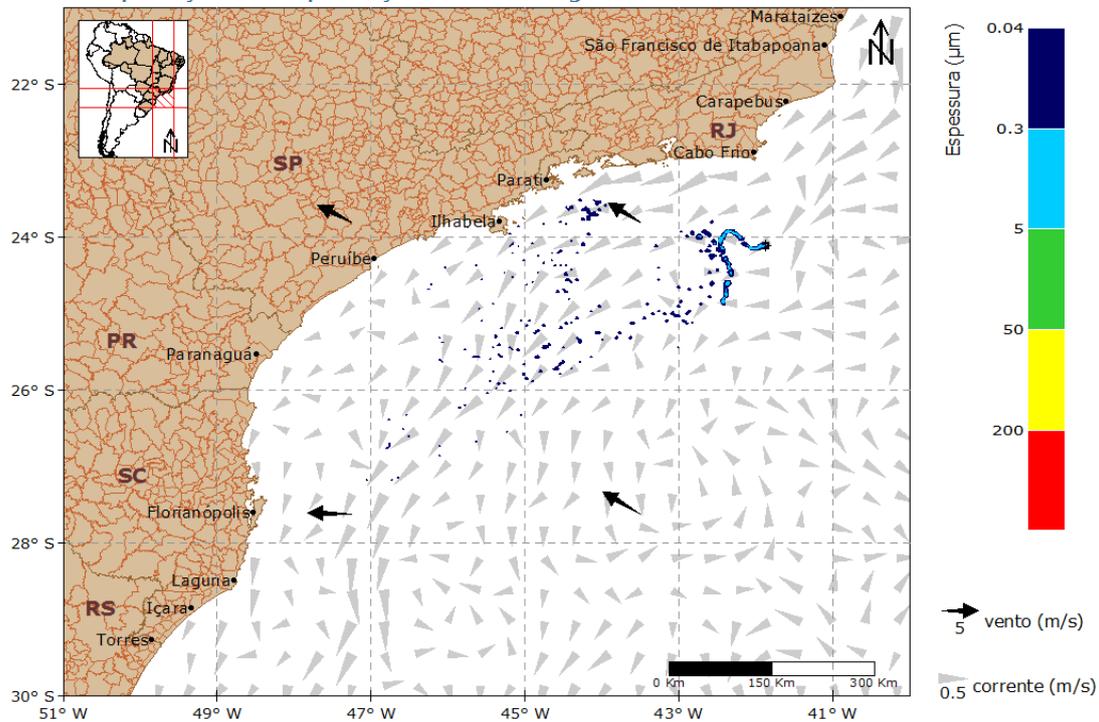


Figura 212: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.

Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

672h

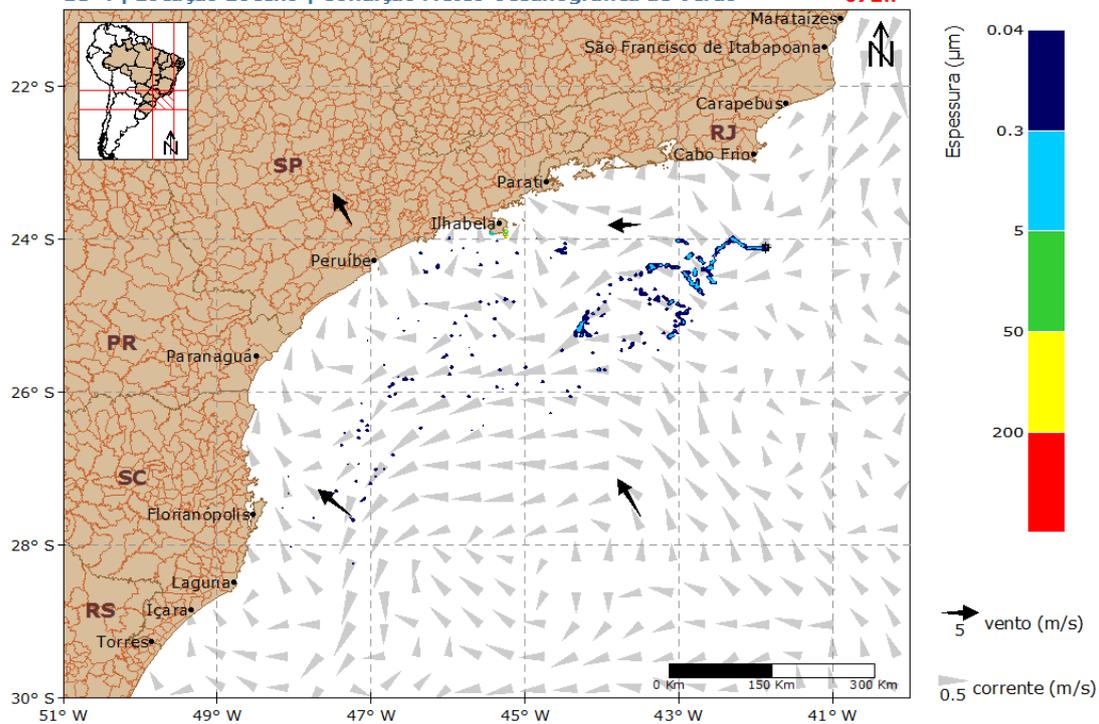


Figura 213: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.

Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

720h

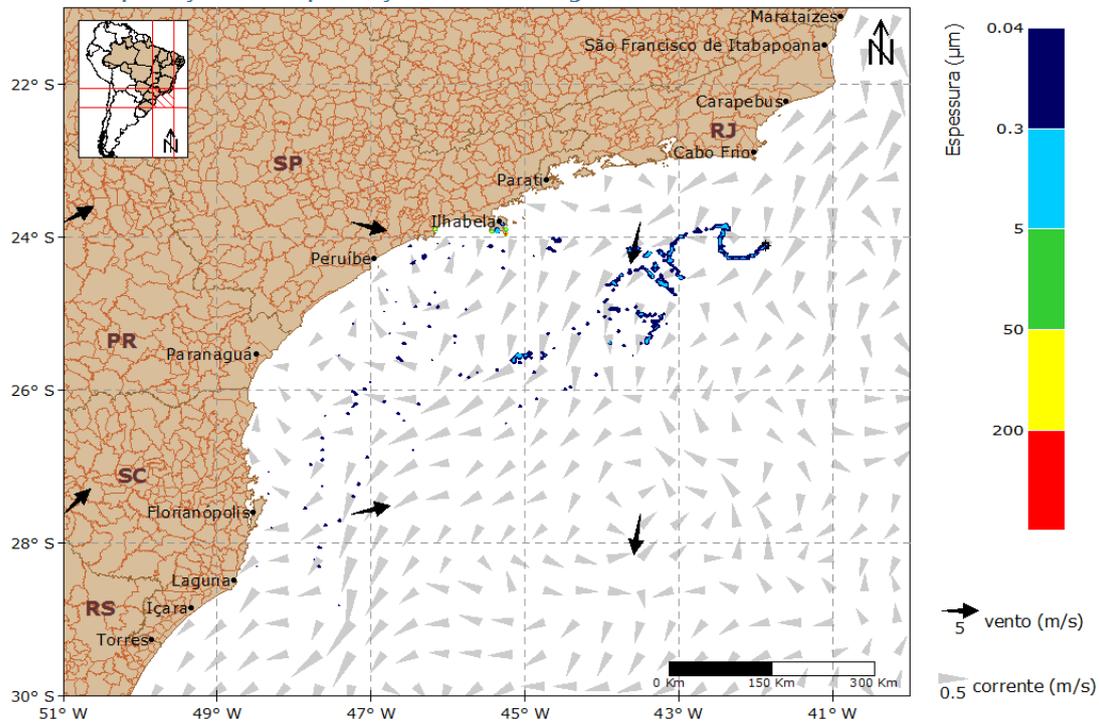


Figura 214: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

1080h

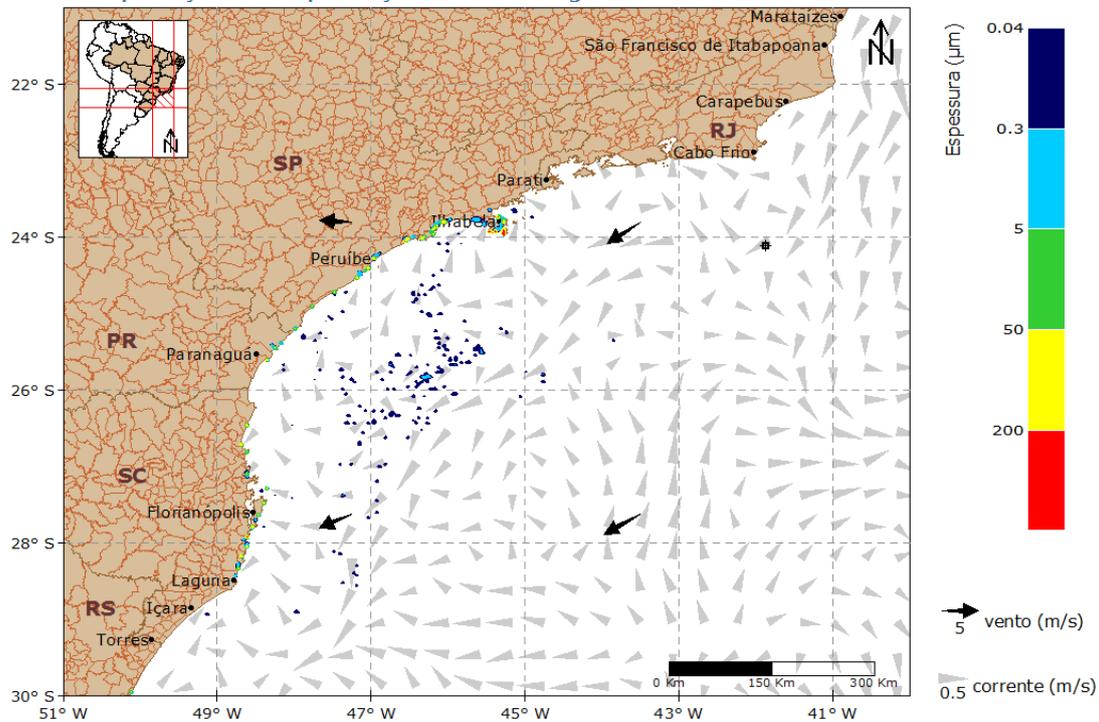


Figura 215: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.
Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Verão

1440h

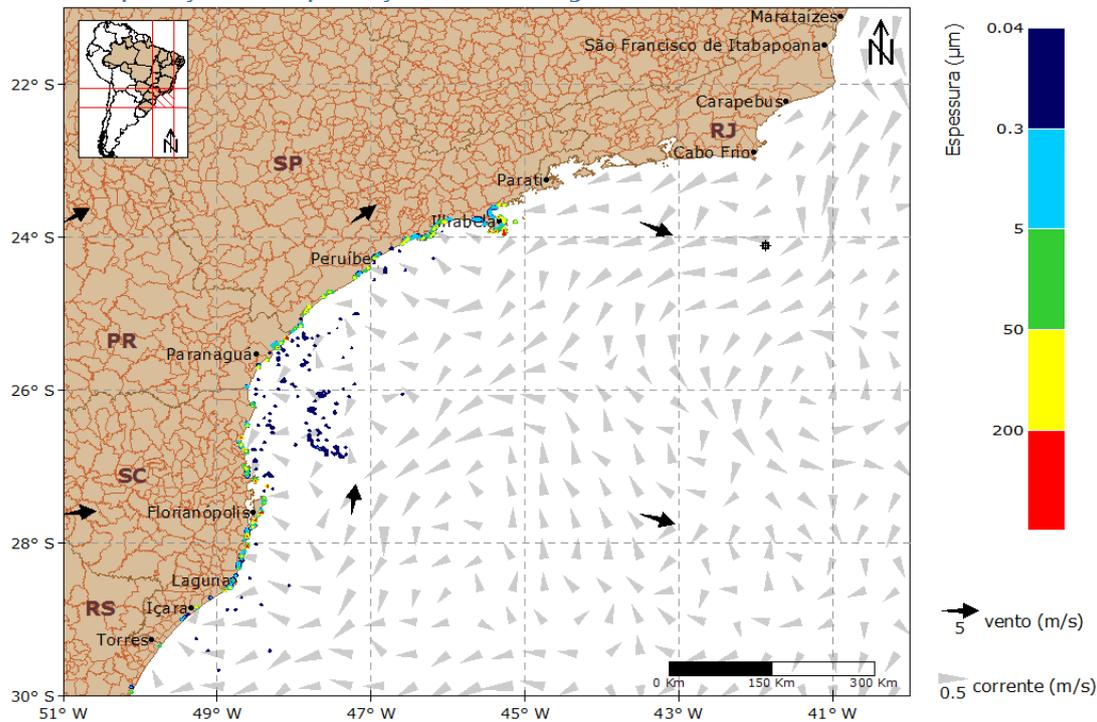


Figura 216: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de verão, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.

Localização Eoceno.

Inicialmente até 168 horas, o óleo derivou a sudoeste da localização Eoceno sob a influência conjunta da Corrente do Brasil e dos ventos de primeiro quadrante. Em 336 horas, observa-se que o óleo aproximou da costa com a variação da corrente sobre a plataforma. Com a evolução da simulação, o óleo permaneceu derivando para sudoeste, sendo observada a presença de óleo em Ilhabela em 672 horas (28 dias) de simulação. Ao final, em 1440 horas, era possível observar óleo acumulado desde o estado do São Paulo até Rio Grande do Sul.

No gráfico (Figura 217), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

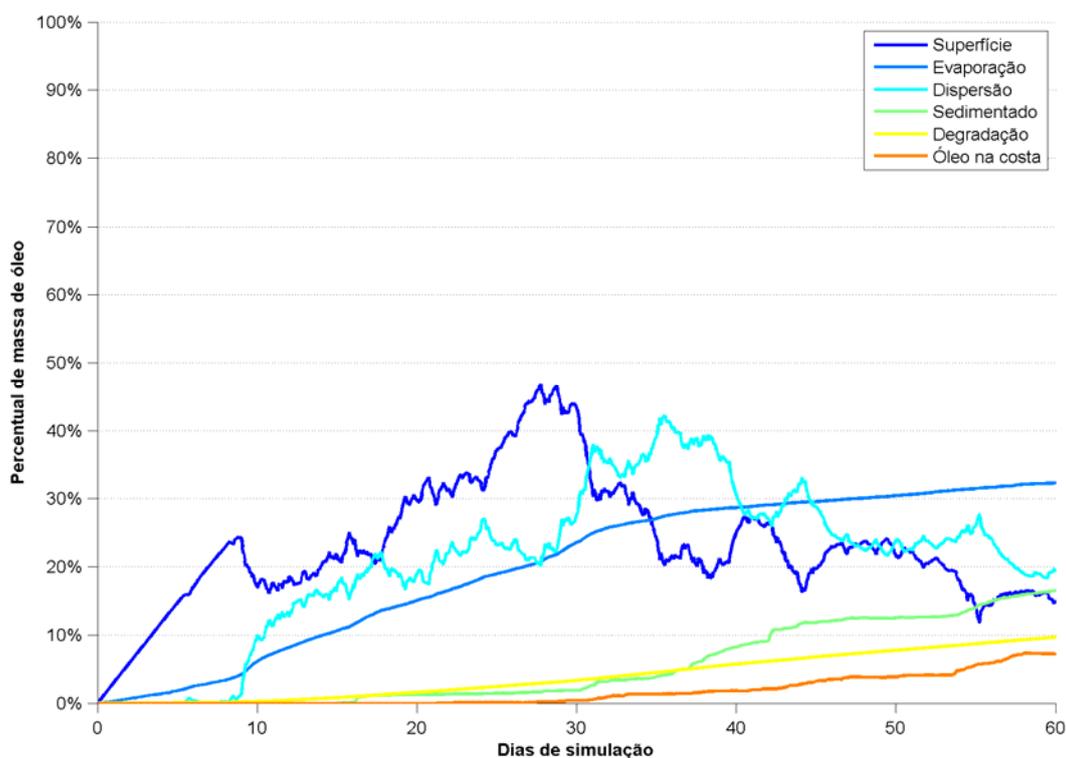


Figura 217: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteoceanográficas frequentes, no período de verão. Volume de 2.280 m³. Localização Eoceno.

A retirada de massa de óleo por evaporação foi o processo mais efetivo ao longo da simulação removendo, aproximadamente, 32% da massa, enquanto a degradação representou aproximadamente 10% da perda de massa. A dispersão, isto é, o óleo que vai para a coluna d'água, retirou da superfície da água 19,5% ao final da simulação e no sedimento foi de 16,5%. Ao final da simulação, havia 7,2% de óleo acumulado na costa e 14,8% de óleo na superfície da água.

4.3.2.2.2. Inverno

A deriva do óleo em condições meteoceanográficas frequentes de inverno será apresentada da Figura 218 à Figura 227.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

12h

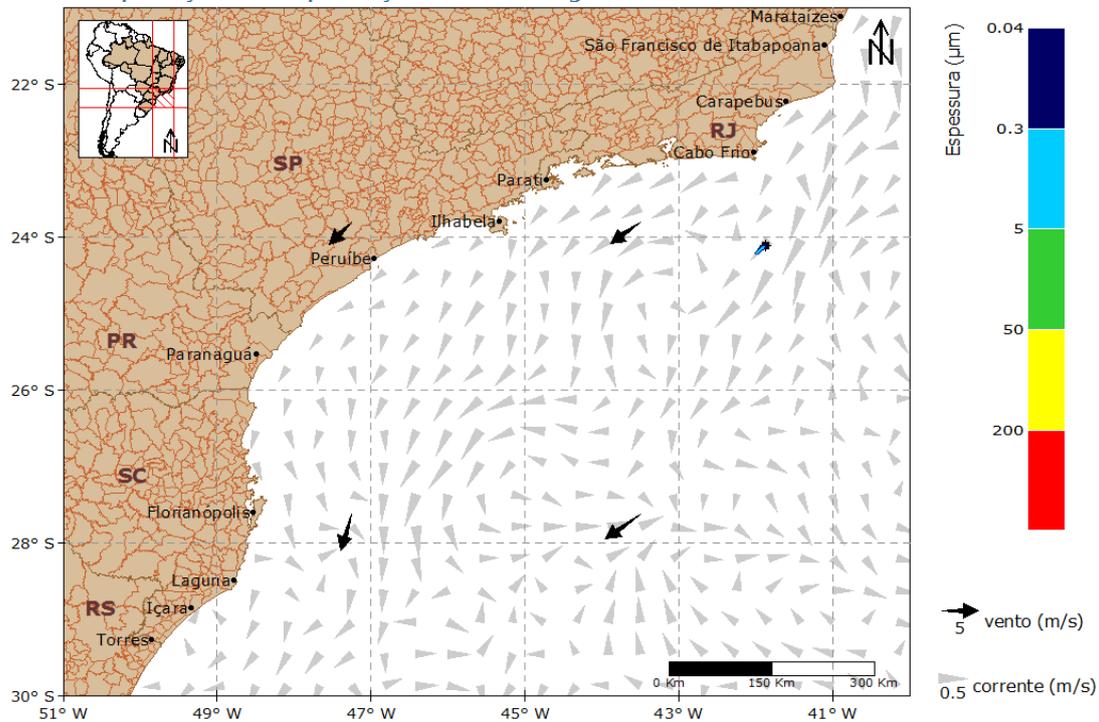


Figura 218: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 12 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

36h

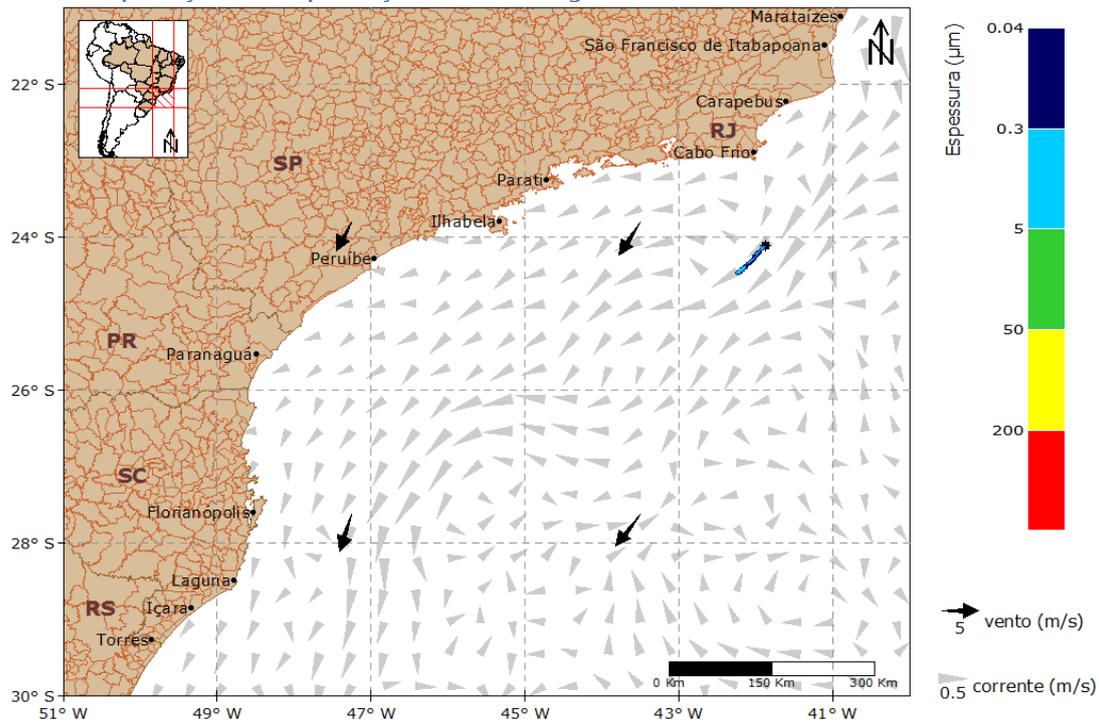


Figura 219: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 36 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

60h

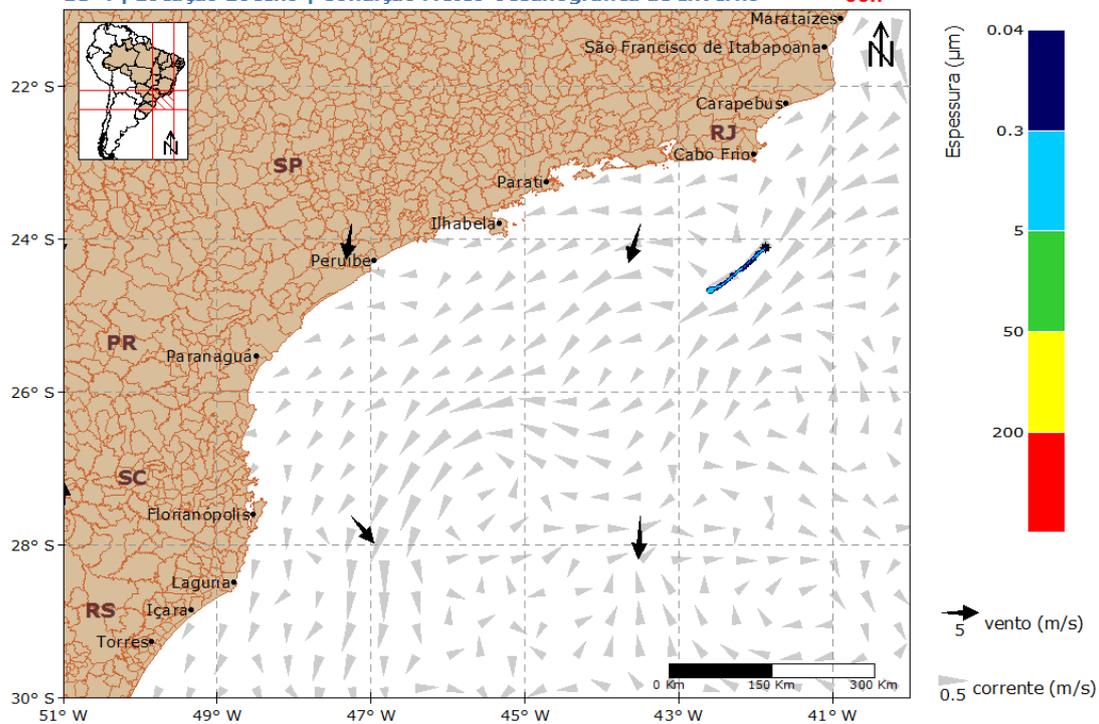


Figura 220: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 60 horas do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

168h

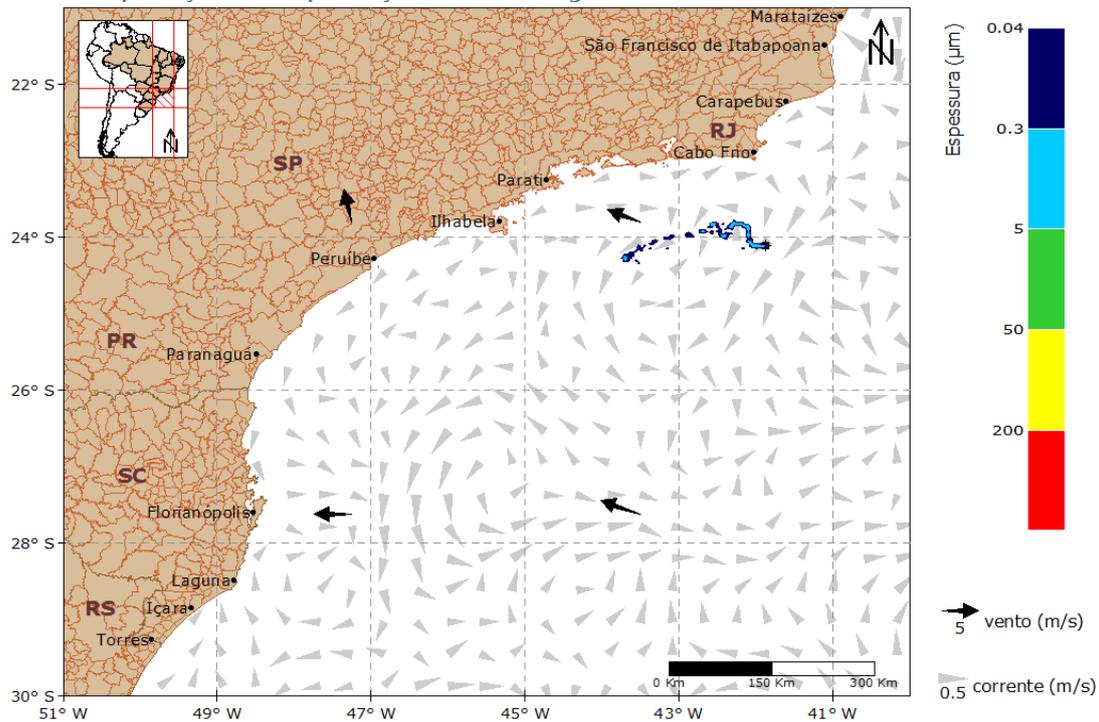


Figura 221: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

336h

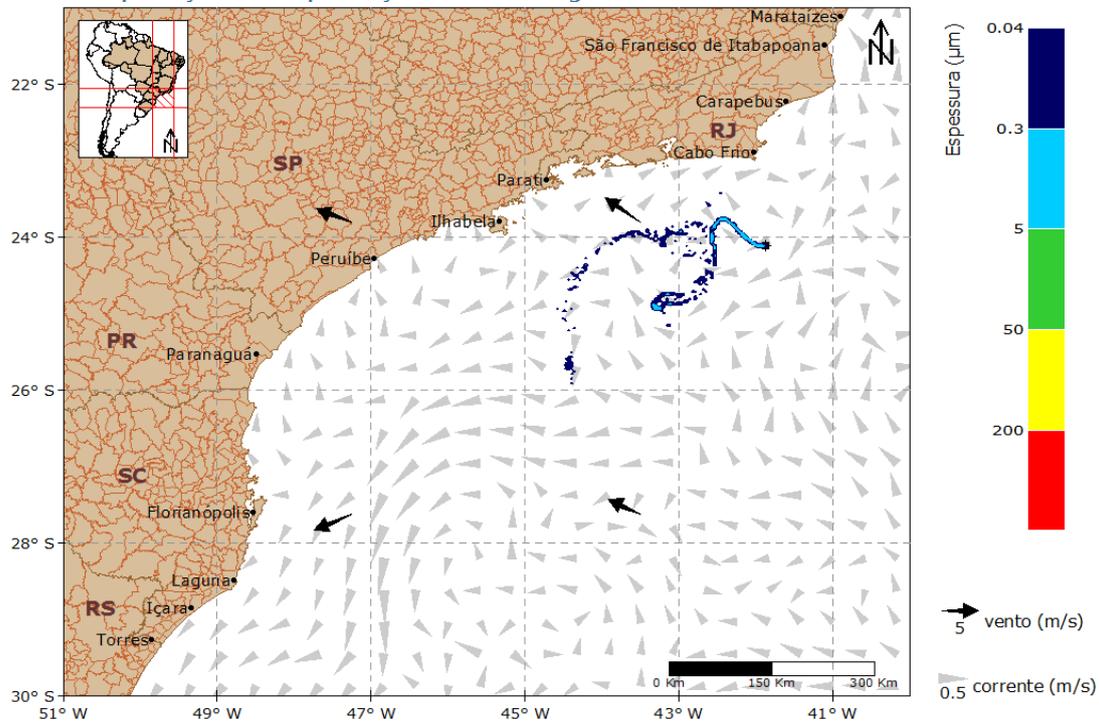


Figura 222: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

504h

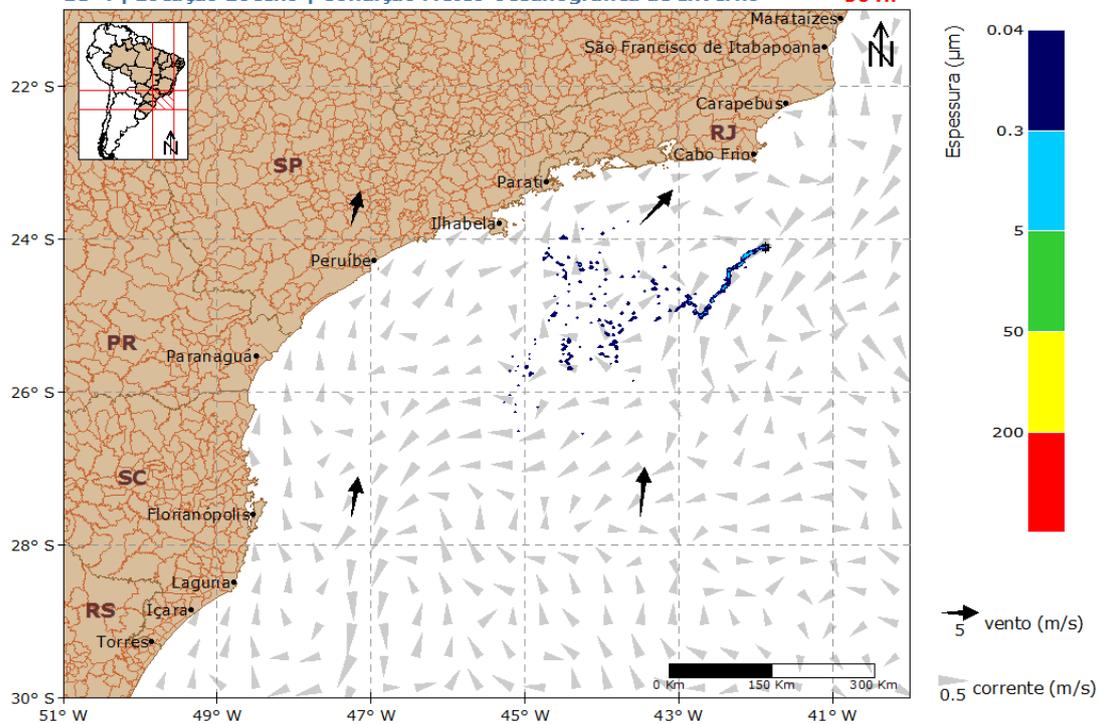


Figura 223: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

672h

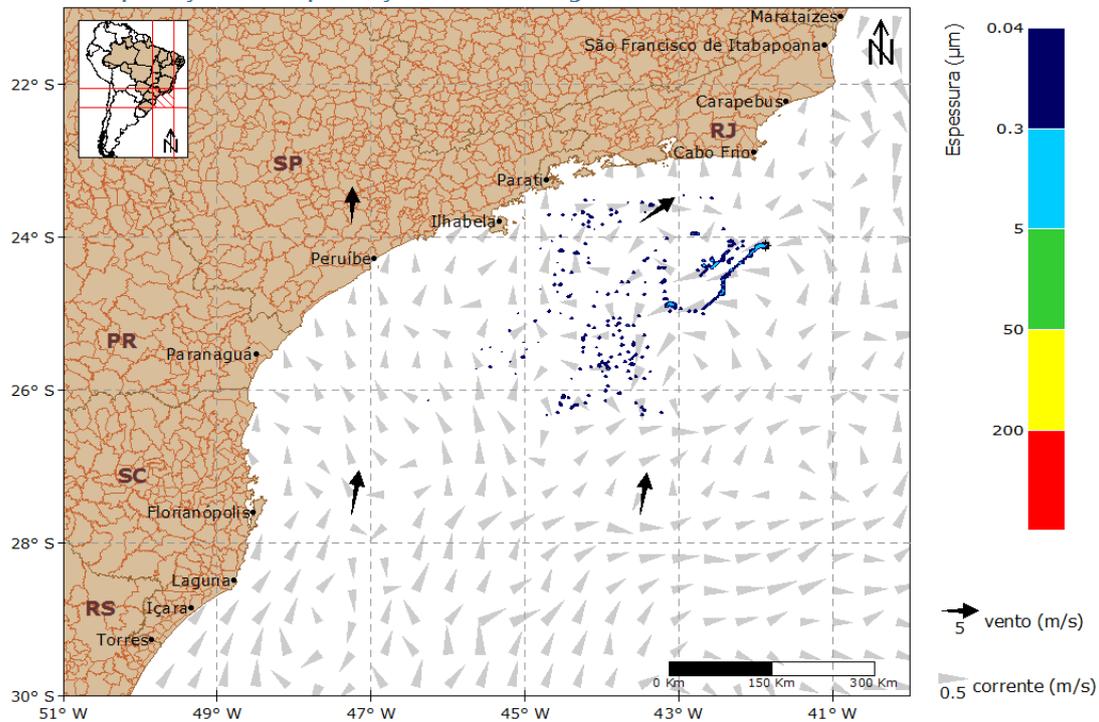


Figura 224: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 672 horas (4 semanas) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

720h

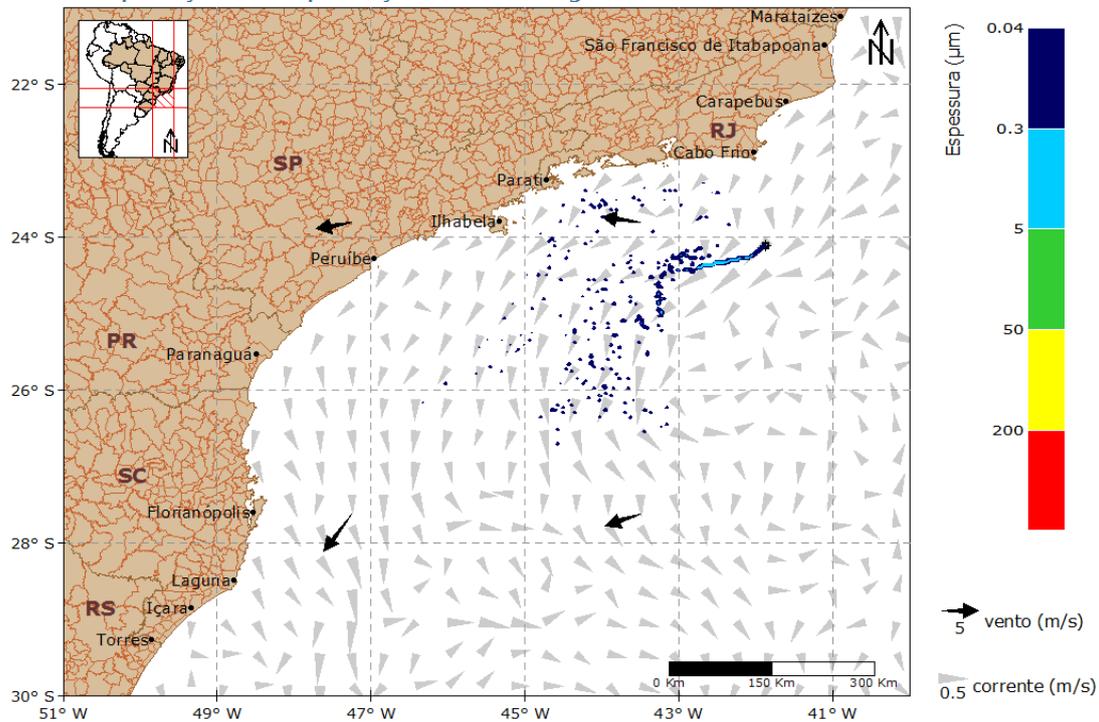


Figura 225: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

1080h

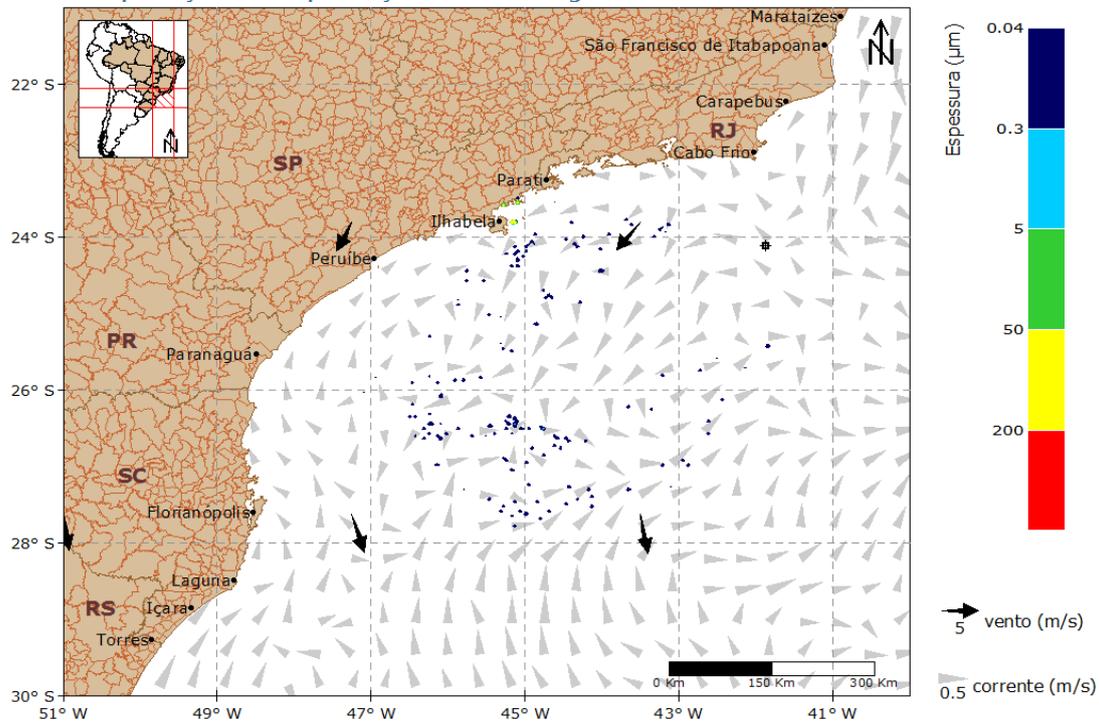


Figura 226: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³. Localização Eoceno.

Oil Spill Contingency and Response (OSCAR)



Modo Determinístico

BS-4 | Localização Eoceno | Condição Meteo-oceanográfica de Inverno

1440h

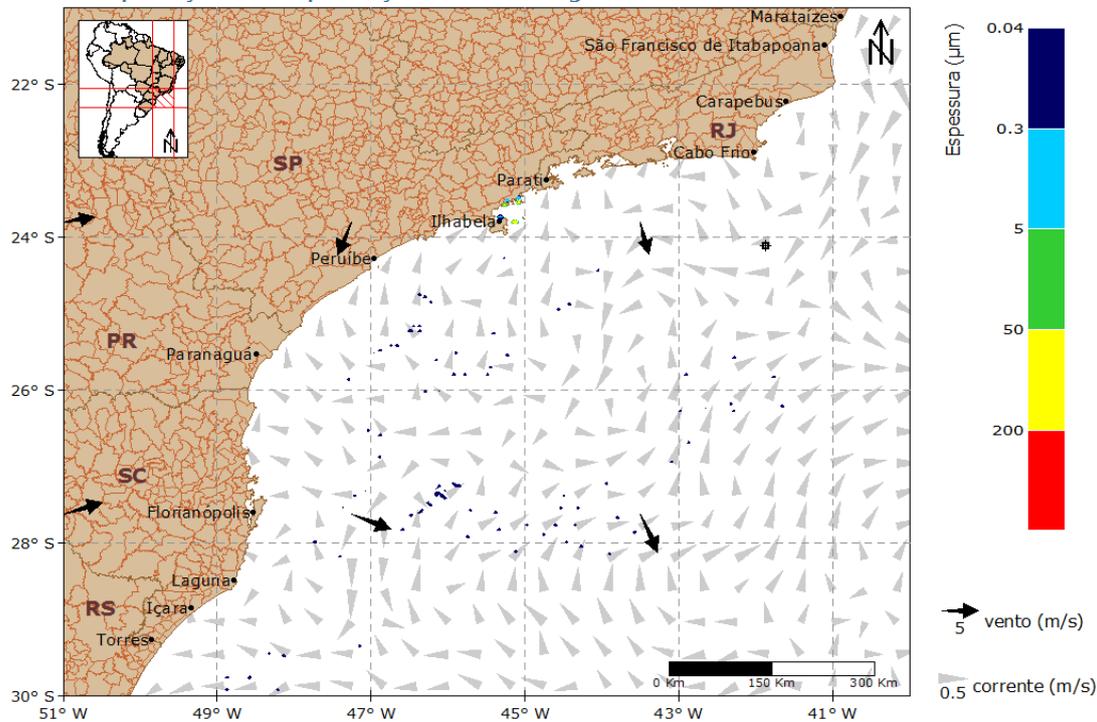


Figura 227: Resultado da simulação determinística em condições meteoceanográficas frequentes, período de inverno, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 2.280 m³.

Localização Eoceno.

O óleo inicialmente a sudoeste da localização Eoceno e, posteriormente, aproximou da costa sob a influência de ventos de componente meridional sul presentes nesse período. Com a evolução da simulação, o óleo permaneceu derivando para sudoeste principalmente sob a influência da Corrente do Brasil, sendo observada a presença de óleo na costa em 1080 horas (45 dias) de simulação. Ao final, em 1440 horas, era possível observar óleo acumulado na costa nordeste do estado de São Paulo.

No gráfico (Figura 228), a seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo durante a simulação.

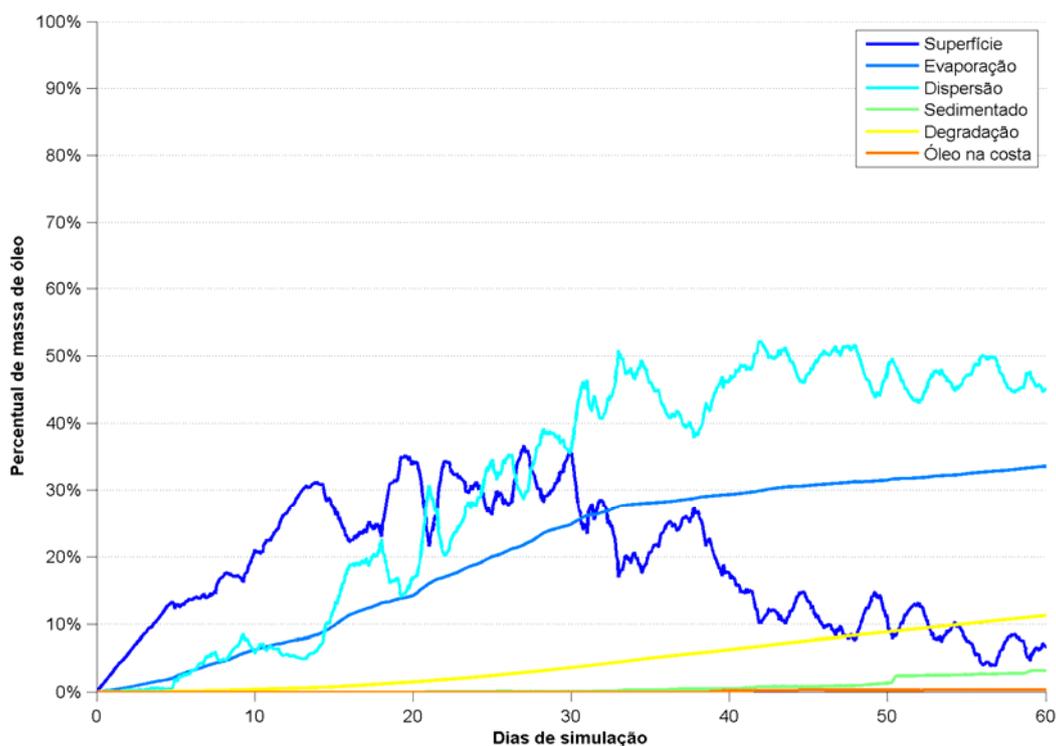


Figura 228: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condições meteorológicas frequentes, no período de inverno. Volume de 2.280 m³. Localização Eoceno.

A evaporação foi o processo mais efetivo na retirada de massa de óleo ao longo da simulação removendo, aproximadamente, 33% da massa, enquanto a degradação representou aproximadamente 11% da perda de massa. A dispersão retirou da superfície da água cerca de 45% do óleo ao final da simulação, enquanto a sedimentação representou somente 3%. A massa de óleo na superfície da água foi de, aproximadamente, 7% e óleo acumulado na costa foi inferior a 1%.

4.3.3. Resumo dos Resultados

De forma a auxiliar a análise dos resultados da modelagem de dispersão de óleo para as localidades Piapara e Eoceno, no Bloco BS-4, a seguir, na Tabela 34, são apresentados os principais resultados obtidos.

Tabela 34: Resumo dos principais resultados obtidos na modelagem da dispersão de óleo no mar.

		Resultados	Volume de vazamento	verão	Local (Município)	Volume de vazamento	inverno	Local (Município)
Localção Piapara	Probabilístico	Maior Probabilidade de Presença de Óleo (%)	Blowout	87,8	Ilhabela-SP	Blowout	49,38	Rio de Janeiro-RJ
		Menor Tempo Mínimo de Chegada de Óleo (dias)	Blowout	4,88	Rio de Janeiro - RJ	Blowout	4,48	Maricá-RJ
		Maior Massa Máxima de Óleo na costa (t)	Blowout	192,39	Paraty-RJ e Ubatuba-SP	Blowout	188,98	Maricá-RJ
	Determinístico	Massa de Óleo Acumulado na Costa (t) - Condição Meteoceanográfica frequente	Blowout	~17160	Entre Paraty-RJ e Jaguaruna-SC	Blowout	~11450	Angra dos Reis (Ilha Grande)-RJ e Ilhabela-SP
		Massa de Óleo Acumulado na Costa (t) - Condição Crítica	Blowout	~3246	Entre Rio de Janeiro-RJ e Cidreira-RS	Blowout	~118	Entre Guarapari-ES e Ilhabela-SP
Localção Eoceno	Probabilístico	Maior Probabilidade de Presença de Óleo (%)	Blowout	32,4	Ilhabela-SP	Blowout	28,8	Rio de Janeiro-RJ
		Menor Tempo Mínimo de Chegada de Óleo (dias)	200 m³	8,52	Angra dos Reis (Ilha Grande)-RJ	200 m³	5,44	Rio de Janeiro-RJ
		Maior Massa Máxima de Óleo na costa (t)	Blowout	49,41	Mangaratiba e Angra dos Reis-RJ	Blowout	98,55	Saquarema-RJ
	Determinístico	Massa de Óleo Acumulado na Costa (t) - Condição Meteoceanográfica frequente	Blowout	~151	Entre Ubatuba-SP e Imbé-RS	Blowout	~6	Entre Ubatuba e Ilhabela-SP
		Massa de Óleo Acumulado na Costa (t) - Condição Crítica	-	-	-	Blowout	~393	Entre Carapebus-RJ e Guarujá-SP

4.4. Conclusão

Em ambas as locações, as simulações probabilísticas mostraram comportamentos semelhantes, devido, principalmente, às características ambientais serem pouco distintas. Entretanto, nas simulações probabilísticas de verão, a deriva do óleo se estendeu mais à sudoeste, enquanto no inverno houve áreas mais a norte do ponto de vazamento, devido à incidência de ventos sul nesta condição sazonal.

Para os dois pontos de vazamento, houve probabilidade do óleo atingir a costa nos volumes de vazamento de 200 m³ e *blowout*, nas duas condições sazonais.

Para a locação Piapara, as localidades na costa com probabilidade de serem atingidas pelo óleo se estendem de São Vitória do Palmar-RS até Guarapari-ES, abrangendo ao todo seis (6) estados. Já para a locação Eoceno, a região com possibilidade de ser atingida pelo óleo se estende de Palmares do Sul-RS até Campos dos Goytacazes-RJ, abrangendo ao todo cinco (5) estados.

De maneira geral, para a locação Piapara, a região com maior probabilidade de presença de óleo na costa, no cenário de verão, foi a região compreendida entre Bombinhas-SC e Paraty-RJ. No cenário de inverno, foi a região entre Ilhabela-SP e Arraial do Cabo-RJ. Para a locação Eoceno, o estado com maior probabilidade de presença de óleo na costa, no cenário de verão, foi o estado São Paulo, enquanto no cenário de inverno foi o estado do Rio de Janeiro.

Para a locação Piapara, a maior probabilidade de toque na costa no cenário de verão foi de 87,8%, enquanto no inverno o maior valor foi de 49,38%. Nos municípios de Ubatuba-SP e Paraty-RJ foi registrado o maior valor de massa de óleo na costa, aproximadamente 192 toneladas, no período de verão. Para o período de inverno, o município de Maricá-RJ apresentou maior massa acumulada, aproximadamente 189 toneladas. Com relação ao tempo mínimo de chegada de óleo na costa os dois cenários apresentaram valores muito similares. No verão o menor valor foi de 4,88 dias (~117 horas) após o vazamento, enquanto no inverno, foi de 4,48 dias (~108 horas).

Para a locação Eoceno, a maior probabilidade de presença de óleo no período de verão foi de 32,4%, enquanto no inverno o maior valor foi de 28,8%. Nos municípios de Mangaratiba e Angra dos Reis-RJ foi registrado o maior valor de massa de óleo na costa, no período de verão. Para o período de inverno, o município de Saquarema-RJ apresentou maior massa acumulada, aproximadamente 189 toneladas. Com relação ao tempo mínimo de chegada de óleo na costa os dois cenários apresentaram valores com grande diferença. No verão o menor valor foi de 8,52 dias (~204 horas) após o vazamento, enquanto no inverno, foi de 5,44 dias (~131 horas).

Com base nos resultados do modo probabilístico, foi definido o cenário crítico para a ocorrência de um vazamento de *blowout*. O critério escolhido para definição do cenário foi o tempo mínimo de chegada do óleo na costa. Para a locação Piapara, devido à similaridade nos valores de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para os dois cenários (verão e inverno), foram descritas as trajetórias para ambos os cenários. Já para a locação Eoceno o menor tempo mínimo foi registrado no vazamento de *blowout*, no cenário de inverno.

Na trajetória em condições meteoceanográficas frequentes de verão, o toque de óleo na costa ocorreu após 29 dias de simulação, para a locação Piapara e após 21 dias de simulação, para a locação Eoceno. Na trajetória de inverno em condições meteoceanográficas frequentes o óleo alcançou à costa somente após 39 dias, para a locação Piapara e após 38 dias, para a locação Eoceno.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo usado para a locação Piapara e Eoceno, mostraram que a evaporação foi o processo mais efetivo na retirada de massa de óleo, variando entre 35 e 40% e 29 e 36%, respectivamente.

Para a locação Piapara, degradação e a sedimentação também representaram processos importantes na retirada de óleo da superfície. O percentual de óleo na coluna d'água oscilou entre 2,8% e 33,5%, enquanto o óleo na superfície não ultrapassou 5% ao final das simulações.

Já para a locação Eoceno, a degradação e a sedimentação foram superiores a 10% total vazado, exceto na simulação de meteoceanográfica de inverno, que foi de 3%. O percentual de óleo na coluna d'água variou desde 11% até 45% enquanto o óleo na superfície oscilou entre 7 e 14,8% ao final das simulações.

4.5. Bibliografia

- BECK, B., 2002. Model evaluation and performance. In Encyclopedia of Environmetrics, Eds. A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- BLECK, R., 2002. An oceanic general circulation model framed in hybrid isopycniccartesian coordinates. *Ocean Modeling*, 4, 5588.
- CAMPOS, R. M. Análise dos extremos de onda no Rio de Janeiro associados a ciclones extratropicais no Atlântico Sul, RJ. 2009. Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ.
- CHANG, Y. S., ÖZGÖKMEN, T. M. PETERS, H. XU, X. 2008. Numerical Simulation of the Red Sea Outflow Using HYCOM. And Comparison With REDSOX Observations. *J. Phys. Oceanogr.* 38(2). 357 – 358.
- CHASSIGNET, E. P., SMITH, L. T., HALLIWEL, G. R., et al., 2003, “North Atlantic Simulations with the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and termobaricity”, *Journal Physical Oceanography*, v. 33, n. 12, pp. 2504-2526.
- CHU, P.C., L.M. IVANOV, L.H. KANTHA, T.M. MARGOLINA, O.M. MELNICHENKO, and Y.A. POBERENZHNY, 2004: Lagrangian predictability of high-resolution regional ocean models: the special case of the Gulf of Mexico. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 47-66.
- DELVIGNE G.A.L.; SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. *Oil & Chemical Pollution* 4 (1988) 281-310.
- ELLIOTT A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 61 (2004) 569–581.
- ELPN/IBAMA. Informação Técnica n° 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar
- GABIOUX, M. Estudo numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S [Rio de Janeiro] 2008 XVII, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2008) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- GUO, W. J.; WANG, Y. X.; XIE, M. X.; CUI, Y. J. Modeling oil spill trajectory in coastal waters based on fractional Brownian motion. *Marine Pollution Bulletin*, v. 58, p. 1339-1346, 2009.
- HOULT, D. P. Oil spreading on the sea. *Annual Review of Fluid Mechanics*, p. 341-367, 1972.

- HYCOM, 2008. Assimilative Global Simulation (10/2008 to 11/2008), [online] Disponível via WWW. URL: http://hycom.coaps.fsu.edu/data/glb_simulation.html.
- JOHANSEN, Ø. 2000. DeepBlow – A Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts. Spill Science & Technology Bulletin. Vol. 6, No. 2: 103 – 111.
- KALNAY, E, M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL, S. SAHA, G. WHITE, J. WOOLLEN, Y. ZHU, M. CHELLIAH, W. EBISUZAK, W. HIGGINS, J. JANOWIAK, K.C. MO, C. ROPELEWSKI, J. WANG, A. LEETMAA, R. REYNOLDS, R. JENNE, D. JOSEPH, 1996: "The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project", Bulletin of the American Meteorological Society, 437-470.
- KANAMITSU, M.; EBISUZAKI, W.; WOOLLEN, J.; YANG, S.; HNILO, J.J.; FIORINO, M. & POTTER, G.L., 2002. "The NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)". Bulletin of the American Meteorological Society, 1631-1643.
- KARA, A. B., WALLCRAFT, A. J., HULBURT, H. E. (2005). Sea Surface Temperature Sensitivity to Water Turbidity from Simulations of the Turbid Black Sea Using HYCOM. J. Phys. Oceanogr., 35. 33-54.
- KELLY, K. A., THOMPSON, L., CHENG, W., METZGER, E. J. 2007. Evaluation of HYCOM in the Kuroshio Extension Region Using New Metrics. J. Geophys. Res. 112.
- KISTLER, R.; KALNAY, E; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; DOOL, H.; JENNE, R. & FIORINO, 2001. "The NCEP-NCAR 50 Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation." Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 247-267.
- MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON. 1980. Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.
- REED, M. 2001. Technical Description and Verification Tests of OSCAR 2000, a Multi-Component 3-Dimensional Oil Spill Contingency And Response Model. SINTEF Report. 52p.
- REED, M., AAMO, O. M., DOWNING, K..1996. Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System. Proceedings of the 1996 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, pp.689-726.
- REED, M.; DALING, P.; LEWIS, A.; DITLEVSEN, M. K.; BRØRS, B.; CLARK, J.; AURAND, D. 2004. Modelling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters. Environmental Modelling & Software, v. 19, p. 681-690.

- REED, M.; JOHANSEN, Ø.; BRANDVIK, P. J.; DALING, P.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. 1999. Oil Spill Modelling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. *Spill Science and Technology Bulletin*, 5 (1): pp 3-16.
- REED, M.; TURNER, C.; ODULO, A. The role of wind and emulsification in modelling oil spill and surface drifter trajectories. *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 1, Issue 2, pp 143-15, 1994.
- SANTOS, N.G., CERRONE, B.N., SOUZA, R.B., dos SANTOS, F.A. 2011. Estudo sobre a sazonalidade da corrente costeira do Brasil através de um algoritmo não-supervisionado de tratamento de dados de TSM. Apresentação no COLACMAR. Balneário Camboriú, Santa Catarina, Brasil.
- SHAJI, C., WANG, C., HALLIWEL, G. R., WALLCRAFT, A.J. 2005. Simulation of Tropical Pacific And Atlantic Oceans Using a Hybrid Coordinate Ocean Model. *Ocean Modelling*, 9, pp. 359-87.
- SMITH, W. H. F.; SANDWELL, D. T. 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, v. 277, p. 1957-1962.
- SOUZA, R.B. and ROBINSON, I., 2004. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. *Continental Shelf Research* vol. 24 (2) pp. 241-262.
- STARK, J. D. CRAIG J. DONLON, MATTHEW J. MARTIN and MICHAEL E. MCCULLOCH, 2007, OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system., *Oceans '07 IEEE Aberdeen*, conference proceedings. Marine challenges: coastline to deep sea. Aberdeen, Scotland.IEEE.
- WANG, S.D.; SHEN, Y. M; ZHENG, Y. H. Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, v.32, p. 1556-1571, 2005.