



Relatório Técnico [rev.00]

Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo

BM-S-8 | Bacia de Santos

Preparado para: Statoil

Preparado por: André Luis Santi Coimbra de Oliveira

Felipe Lobo Mendes Soares

Flávia Pozzi Pimentel

Henery Ferreira Garção

Lívia Sant' Angelo Mariano

Marcelo Montenegro Cabral

07 de dezembro de 2016

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

© PROOCEANO 2016

The copyright in this document is vested in Prooceano. This document may only be reproduced in whole or in part, or stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means electronic, mechanical, photocopying or otherwise, with the prior permission of PROOCEANO.

Os direitos autorais deste documento são propriedade da PROOCEANO. Este documento somente poderá ser reproduzido inteiro ou em partes, ou armazenado, ou transmitido em qualquer forma, ou por quaisquer meios: eletrônico, mecânico, fotocópia ou qualquer outro modo, com a permissão prévia da PROOCEANO.

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 02

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Sumário

1. Introdução	29
2. Modelagem Hidrodinâmica	31
2.1. Modelo Numérico Utilizado	31
2.2. Domínio do Modelo	36
2.3. Condições Iniciais	39
2.4. Condições de Contorno	42
2.5. Estabilização da Energia Cinética	63
2.6. Avaliação do Modelo	65
2.7. Resultados	112
3. Modelagem de Dispersão de Óleo	120
3.1. Metodologia	121
3.2. Resultados	173
4. Conclusão	326
5. Bibliografia	329
Anexos	334

Índice das imagens

Figura 1: Localização dos poços exploratórios considerados como pontos de risco e utilizados na modelagem (em vermelho) e o bloco BM-S-8, na Bacia de Santos.....	29
Figura 2: Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico.....	37
Figura 3: Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo e a linha branca mostra a linha de costa da região.	38
Figura 4: Campo de temperatura superficial (°C) no dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.....	40
Figura 5: Campo de salinidade superficial no dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.....	40
Figura 6: Campo de Elevação da Superfície Livre (m) do dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.....	41
Figura 7: Campo de Correntes superficiais (m/s) do dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.....	41
Figura 8: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.....	42
Figura 9: Batimetria da grade do modelo numérico.....	43
Figura 10: Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).	46
Figura 11: Campo médio dos dados de precipitação do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).	47
Figura 12: Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).	48
Figura 13: Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).	49
Figura 14: Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).	50

Figura 15: Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).	51
Figura 16: Campo médio dos dados de vento do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).....	52
Figura 17: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2. Fonte (TPX07)	54
Figura 18: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte (TPX07).....	55
Figura 19: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte (TPX07)	56
Figura 20: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte (TPX07).....	57
Figura 21: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte (TPX07).....	58
Figura 22: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte (TPX07).	59
Figura 23: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte (TPX07).....	60
Figura 24: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte (TPX07).	61
Figura 25: Variação da energia cinética média em superfície ao longo da simulação.	64
Figura 26: Localização das estações maregráficas da FEMAR, utilizadas na avaliação da representação da maré no modelo.	66
Figura 27: Comparação entre a série maregráfica da estação de Torres - RS (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.	67
Figura 28: Comparação entre a série maregráfica da estação de Farol de Santa Marta - SC (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.....	68
Figura 29: Comparação entre a série maregráfica da estação de Ponta da Galheta - PR (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.....	69
Figura 30: Comparação entre a série maregráfica da estação de Ilha da Moela - SP (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.....	70
Figura 31: Comparação entre a série maregráfica da estação de Fortaleza de Santa Cruz - RJ (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.....	71

Figura 32: Comparação entre a série maregráfica da estação oceânica Fundeio 1 Norte - RJ (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.....	72
Figura 33: Comparação entre a série maregráfica da estação de Vitória - ES (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.	73
Figura 34: TSM média para janeiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	76
Figura 35: TSM média para fevereiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	77
Figura 36: TSM média para março de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	78
Figura 37: TSM média para abril de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	79
Figura 38: TSM média para maio de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	80
Figura 39: TSM média para junho de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	81
Figura 40: TSM média para julho de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	82
Figura 41: TSM média para agosto de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	83
Figura 42: TSM média para setembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	84
Figura 43: TSM média para outubro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	85
Figura 44: TSM média para novembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	86
Figura 45: TSM média para dezembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).....	87
Figura 46: Localização do ponto de grade do WOA utilizado para as comparações.	89

Figura 47: Perfis médios de temperatura e salinidade obtidos do WOA13.	90
Figura 48: Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).	93
Figura 49: Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita).	93
Figura 50: Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).	94
Figura 51: Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).	94
Figura 52: Trajetória descrita pelo dor 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).	95
Figura 53: Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).	95
Figura 54: Trajetória descrita pelo derivador 07 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 07 e os resultados do ROMS (direita).	96
Figura 55: Trajetória descrita pelo derivador 08 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 08 e os resultados do ROMS (direita).	96
Figura 56: Trajetória descrita pelo derivador 09 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 09 e os resultados do ROMS (direita).	97
Figura 57: Trajetória descrita pelo derivador 10 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 10 e os resultados do ROMS (direita).	97
Figura 58: Trajetória descrita pelo derivador 11 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 11 e os resultados do ROMS (direita).	98
Figura 59: Trajetória descrita pelo derivador 12 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 12 e os resultados do ROMS (direita).	98
Figura 60: Trajetória descrita pelo derivador 13 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 13 e os resultados do ROMS (direita).	99
Figura 61: Trajetória descrita pelo derivador 14 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 14 e os resultados do ROMS (direita).	99

Figura 62: Trajetória descrita pelo derivador 15 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 15 e os resultados do ROMS (direita).	100
Figura 63: Trajetória descrita pelo derivador 16 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 16 e os resultados do ROMS (direita).	100
Figura 64: Trajetória descrita pelo derivador 17 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 17 e os resultados do ROMS (direita).	101
Figura 65: Trajetória descrita pelo derivador 18 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 18 e os resultados do ROMS (direita).	101
Figura 66: Trajetória descrita pelo derivador 19 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 19 e os resultados do ROMS (direita).	102
Figura 67: Trajetória descrita pelo derivador 20 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 20 e os resultados do ROMS (direita).	102
Figura 68: Trajetória descrita pelo derivador 21 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 21 e os resultados do ROMS (direita).	103
Figura 69: Trajetória descrita pelo derivador 22 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 22 e os resultados do ROMS (direita).	103
Figura 70: Trajetória descrita pelo derivador 23 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 23 e os resultados do ROMS (direita).	104
Figura 71: Trajetória descrita pelo derivador 24 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 24 e os resultados do ROMS (direita).	104
Figura 72: Trajetória descrita pelo derivador 25 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 25 e os resultados do ROMS (direita).	105
Figura 73: Trajetória descrita pelo derivador 26 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 26 e os resultados do ROMS (direita).	105
Figura 74: Trajetória descrita pelo derivador 27 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 27 e os resultados do ROMS (direita).	106
Figura 75: Trajetória descrita pelo derivador 28 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 28 e os resultados do ROMS (direita).	106
Figura 76: Trajetória descrita pelo derivador 29 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 29 e os resultados do ROMS (direita).	107

Figura 77: Trajetória descrita pelo derivador 30 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 30 e os resultados do ROMS (direita).	107
Figura 78: Campo médio de circulação para o mês de janeiro.	113
Figura 79: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro.	114
Figura 80: Campo médio de circulação para o mês de março.	114
Figura 81: Campo médio de circulação para o mês de abril.	115
Figura 82: Campo médio de circulação para o mês de maio.	115
Figura 83: Campo médio de circulação para o mês de junho.	116
Figura 84: Campo médio de circulação para o mês de julho.	116
Figura 85: Campo médio de circulação para o mês de agosto.	117
Figura 86: Campo médio de circulação para o mês de setembro.	117
Figura 87: Campo médio de circulação para o mês de outubro.	118
Figura 88: Campo médio de circulação para o mês de novembro.	118
Figura 89: Campo médio de circulação para o mês de dezembro.	119
Figura 90: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).	122
Figura 91: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).	130
Figura 92: Esquema geral de plumas de blowout de óleo em profundidade. Adaptado de Lindersen (2013).	138
Figura 93: Ilustração de uma simulação de blowout no fundo oceânico com o OSCAR. O mapa mostra a distribuição de partículas representando o óleo em superfície (círculos em cinza) e as partículas representando o óleo na coluna d'água (pontos pretos e marrons).	140
Figura 94: Unidades de Conservação marinhas e costeiras identificadas na área costeiro-oceânica onde se verifica probabilidade de presença de óleo.	141
Figura 95: Representação do limite da grade de óleo (linha vermelha tracejada).	151
Figura 96: Grade de batimetria utilizada na simulação.	152

Figura 97: Localização dos pontos de grade do NCEP (em vermelho) em relação aos pontos de vazamento. Ponto em azul é o mais próximo da região de vazamento.	157
Figura 98: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo do local de vazamento.	158
Figura 99: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo dos locais de vazamento.	159
Figura 100: Rosa de correntes para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).....	162
Figura 101: Rosa de correntes para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).....	163
Figura 102: Rosa de correntes para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).....	165
Figura 103: Rosa de correntes para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).....	166
Figura 104: Perfis de salinidade e temperatura para o Poço Urtiga.	169
Figura 105: Perfis de salinidade e temperatura para o Poço Guanxuma.	170
Figura 106: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região dos pontos de vazamento na Bacia de Santos, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.	171
Figura 107: Gráfico do tipo box-plot.....	174
Figura 108: Fluxograma de apresentação dos resultados probabilísticos.....	175
Figura 109: Fluxograma de apresentação dos resultados determinísticos.	176
Figura 110: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	178
Figura 111: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d’água para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	179
Figura 112: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	180

Figura 113: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	181
Figura 114: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).....	182
Figura 115: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).....	183
Figura 116: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).....	184
Figura 117: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).....	185
Figura 118: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). .	187
Figura 119: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	188
Figura 120: Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	189
Figura 121: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	190
Figura 122: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).	191
Figura 123: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias). ..	192
Figura 124: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).	193
Figura 125: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m ³ . Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).....	194

Figura 126: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	195
Figura 127: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	196
Figura 128: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-86 m, 86-170 m e 170-254 m) para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	197
Figura 129: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178-1262 m, 1598-1682 m e 1934-1981 m) para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	198
Figura 130: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	199
Figura 131: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	200
Figura 132: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	201
Figura 133: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	202
Figura 134: Massa máxima de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	203
Figura 135: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	205

Figura 136: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	206
Figura 137: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	207
Figura 138: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	208
Figura 139: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-22 m, 22-42 m e 62-82 m), para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	209
Figura 140: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178-1261 m, 1598-1682 m e 1934-1981 m), para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	210
Figura 141: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	211
Figura 142: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	212
Figura 143: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	213
Figura 144: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	214
Figura 145: Mapa de massa máxima e óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	215
Figura 146: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i>	

(1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	217
Figura 147: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	218
Figura 148: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	226
Figura 149: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	227
Figura 150: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	228
Figura 151: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	229
Figura 152: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).....	230
Figura 153: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).....	231
Figura 154: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).....	232
Figura 155: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).....	233
Figura 156: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	234
Figura 157: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	235

Figura 158: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).	236
Figura 159: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	237
Figura 160: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias). .	238
Figura 161: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).	239
Figura 162: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias). .	240
Figura 163: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m ³ . Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).....	241
Figura 164: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	243
Figura 165: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	243
Figura 166: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-22 m, 22-42 m e 62-82 m) para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	244
Figura 167: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178 - 1262 m, 1598 - 1682 m e 1934 - 1990 m) para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	245
Figura 168: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	246

Figura 169: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	247
Figura 170: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	248
Figura 171: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	249
Figura 172: Massa máxima de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	250
Figura 173: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	252
Figura 174: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	253
Figura 175: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	254
Figura 176: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	255
Figura 177: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-22 m, 22-42 m e 62-82 m), para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	256
Figura 178: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178-1261 m, 1598-1682 m e 1934-1990 m), para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	257

Figura 179: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	258
Figura 180: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	259
Figura 181: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	260
Figura 182: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	261
Figura 183: Mapa de massa máxima e óleo em superfície para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	262
Figura 184: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	264
Figura 185: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de <i>blowout</i> (1.167.000 m ³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	265
Figura 186: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	271
Figura 187: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	272
Figura 188: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	273

Figura 189: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	274
Figura 190: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	275
Figura 191: Massa máxima de óleo na costa para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	276
Figura 192: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	278
Figura 193: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	279
Figura 194: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	280
Figura 195: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	281
Figura 196: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	282
Figura 197: Massa máxima de óleo na costa para os volumes de 8 m ³ , 200 m ³ e pior caso (1.167.000 m ³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	283
Figura 198: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque de óleo na costa.....	292
Figura 199: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.	293

Figura 200: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	295
Figura 201: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	296
Figura 202: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	297
Figura 203: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	298
Figura 204: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	299
Figura 205: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 374 horas (primeiro toque) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	300
Figura 206: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	301
Figura 207: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	302

Figura 208: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	303
Figura 209: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	304
Figura 210: Mapa de concentração de óleo no sedimento do fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada à costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	305
Figura 211: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada de óleo na costa. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Guanxuma.	306
Figura 212: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.	308
Figura 213: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.	309
Figura 214: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.	310
Figura 215: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.	312
Figura 216: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.	313
Figura 217: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em	

superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	314
Figura 218: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	315
Figura 219: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	316
Figura 220: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	317
Figura 221: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	318
Figura 222: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	319
Figura 223: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.....	320
Figura 224: Mapa de concentração de óleo no sedimento do fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 1.167.000 m ³ a partir do Poço Urtiga.	321
Figura 225: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Volume de 94.080 m ³	322

Figura 226: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. 324

Índice das tabelas

Tabela 1: Características dos pontos de vazamento considerados na modelagem na Bacia de Santos (Datum SIRGAS 2000). Profundidades de acordo com batimetria do ETOPO1... 30	30
Tabela 2: Parâmetros e constantes utilizadas no modelo hidrodinâmico. 36	36
Tabela 3: Comparação estatística entre os dados de elevação do ROMS e os dados medidos. 74	74
Tabela 4: Datas e coordenadas dos pontos iniciais e finais das trajetórias dos derivadores. 92	92
Tabela 5: Índice de Wilmot das comparações modelo/derivadores. 108	108
Tabela 6: Níveis de confiança (1- α) necessários para a rejeição da hipótese nula do teste KS na comparação modelo/derivadores..... 110	110
Tabela 7: Resumo dos cenários de vazamento simulados. 121	121
Tabela 8: Equações de regressão para estimativa dos parâmetros K_{oc} e K_{ow} para diferentes componentes químicos. Fonte: Reed, 2001. 132	132
Tabela 9: Lista de Unidades de Conservação identificadas na área costeiro-oceânica onde se verifica probabilidade de presença de óleo. Características das UCs e a divisão adotada em marinhas e costeiras..... 142	142
Tabela 10: Parâmetros físicos e químicos utilizados no modelo de óleo. 144	144
Tabela 11: Constantes físicas utilizadas no modelo de óleo. 145	145
Tabela 12: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de óleo. 146	146
Tabela 13: Características do óleo utilizado nas simulações. 149	149
Tabela 14: Componentes do óleo do banco de dados do OSCAR. 150	150
Tabela 15: Ocorrência mensal de direção dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento. 160	160
Tabela 16: Ocorrência mensal de intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento. 160	160
Tabela 17: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8)..... 164	164

Tabela 18: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).....	164
Tabela 19: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).....	167
Tabela 20: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).....	167
Tabela 21: Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (1.167.000 m ³) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.	219
Tabela 22: Área com toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação marinhas com possibilidade de serem atingidas em um vazamento de grande volume (38.900 m ³ /dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.....	222
Tabela 23: Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de grande volume (38.900 m ³ /dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.....	223
Tabela 24: Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (1.167.000 m ³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.	266
Tabela 25: Área com toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação marinhas com possibilidade de serem atingidas em um vazamento de grande volume (1.167.000 m ³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.....	269
Tabela 26: Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de grande volume (1.167.000 m ³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.....	270
Tabela 27: Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos pelos vazamentos	

de 8 m ³ , 200 m ³ e Pior Caso a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2.	285
Tabela 28: Área com toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação marinhas com possibilidade de serem atingidas pelos vazamentos de 200 m ³ de óleo cru a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2.	288
Tabela 29: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para um evento de derramamento de grande volume (1.167.000 m ³).	291
Tabela 30: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	292
Tabela 31: Estatística do vento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	292
Tabela 32: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	293
Tabela 33: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	293
Tabela 34: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais e de massa de óleo. Situação de menor tempo de chegada de óleo na costa.	307
Tabela 35: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação.	308
Tabela 36: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.	310
Tabela 37: Estatística do vento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.	310
Tabela 38: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.	311

Tabela 39: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	311
Tabela 40: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais e de massa de óleo. Situação de maior massa de óleo acumulada na costa.....	323
Tabela 41: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo e a massa de óleo do óleo durante a simulação.	324

Equipe técnica

Nome: André Luis Santi Coimbra de Oliveira

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5967357

Responsável pela(s) Seção(ões): Modelagem Hidrodinâmica

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): 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): Todas

Assinatura: _____

Nome: Lívia Sant'Angelo Mariano

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 6005736

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

Assinatura: _____

Nome: Flávia Pozzi Pimentel

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 2473071

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

Assinatura: _____

Nome: Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5621594

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: _____

1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamento a partir de dois pontos de risco em blocos a serem explorados pela Statoil na Bacia de Santos

Foram escolhidas duas posições de vazamento buscando conferir representatividade aos resultados da modelagem para vazamentos que possam ocorrer no interior do bloco BM-S-8, o Poço Urtiga e Poço Guanxuma (Figura 1).

A localização dos pontos de vazamento, assim como a localização do bloco é apresentada na Figura 1 e as coordenadas dos pontos na Tabela 1.

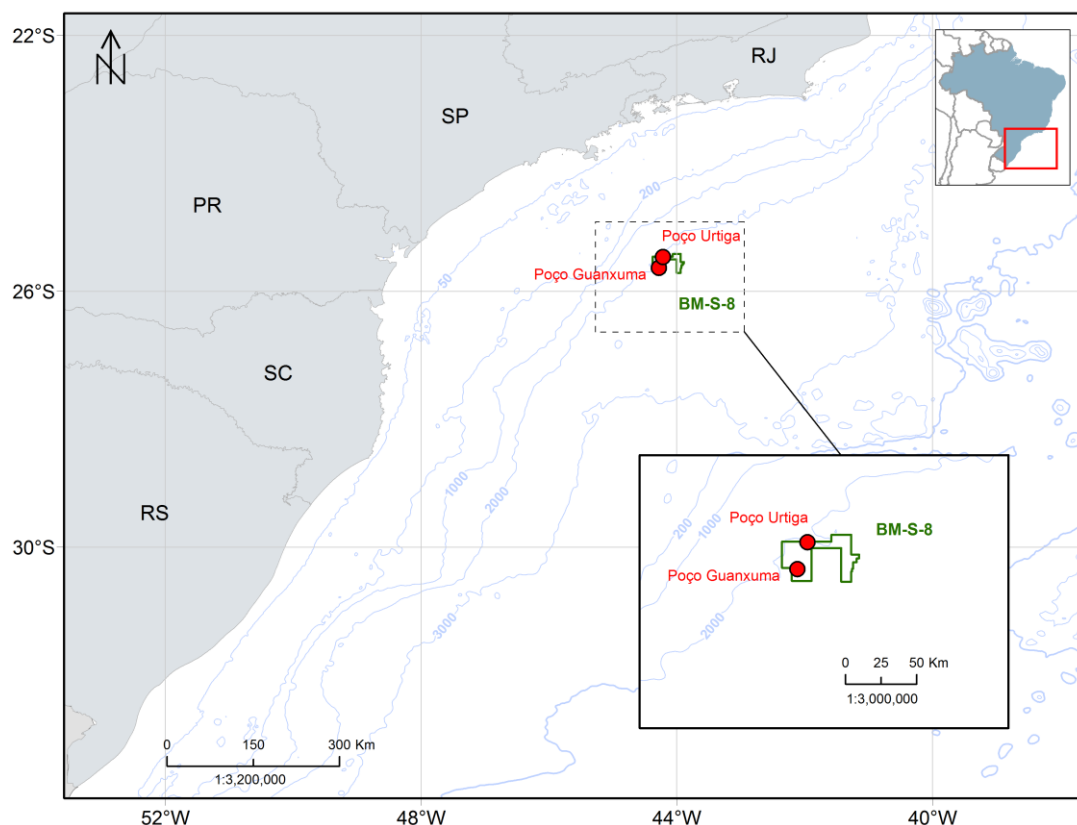


Figura 1: Localização dos poços exploratórios considerados como pontos de risco e utilizados na modelagem (em vermelho) e o bloco BM-S-8, na Bacia de Santos.

Tabela 1: Características dos pontos de vazamento considerados na modelagem na Bacia de Santos (Datum SIRGAS 2000). Profundidades de acordo com batimetria do ETOPO1.

Ponto	Latitude	Longitude	Profundidade (m)
Poço Urtiga	25° 27' 53,3795" S	44° 12' 50,3525" W	1.981
Poço Guanxuma	25° 38' 5,2631" S	44° 16' 36,4685" W	1.990

O estudo foi dividido em duas etapas. A primeira consiste na análise das características meteorológicas e simulações hidrodinâmicas da região, mais especificamente dos parâmetros capazes de afetar o comportamento do óleo derramado (item Modelagem Hidrodinâmica).

Na segunda etapa foi realizada a simulação da dispersão do óleo, para as condições meteoceanográficas características da região, estimando o comportamento do óleo vazado em cada uma delas (item

Modelagem de Dispersão de Óleo).

2. Modelagem Hidrodinâmica

Para simular o transporte de qualquer material no oceano é necessário conhecer o comportamento das correntes marinhas da região em questão. Para tal, pode-se recorrer à técnica conhecida como fluidodinâmica computacional, que consiste em reproduzir o comportamento de fluidos em resposta às forçantes atuantes no meio, através da solução numérica das equações que governam os processos envolvidos. Com isso, podem ser obtidos resultados sinóticos e sob diferentes condições de contorno e iniciais, como por exemplo, condições de verão e inverno, de maré de sizígia e quadratura etc.

A capacidade de simular diferentes condições, aliada à obtenção de resultados sinóticos em quatro dimensões (as três do espaço e o tempo), faz da fluidodinâmica computacional uma opção interessante, e em determinados casos, como em regiões com pouca ou nenhuma medição, a única para obter os resultados necessários à modelagem de transporte de materiais no oceano. É imprescindível, no entanto, a realização de comparações dos resultados obtidos pelo modelo hidrodinâmico com dados observados na região, para se obter uma medida da representatividade do modelo em relação ao observado.

O presente relatório apresenta uma descrição das simulações hidrodinâmicas e seus resultados, que serão utilizados nas modelagens de transporte de óleo a partir do BM-S-8.

2.1. Modelo Numérico Utilizado

Para as simulações hidrodinâmicas na região do BM-S-8 foi utilizado o modelo *Regional Ocean Modeling System* - ROMS (HAIDVOGEL *et al.*, 2008). O ROMS é um modelo oceânico de superfície livre, coordenadas seguidoras de terreno e equações primitivas, utilizado amplamente pela comunidade científica em uma vasta gama de aplicações (por exemplo, HAIDVOGEL *et al.*, 2000; MARCHESIELLO *et al.*, 2003; PELIZ *et al.*, 2003). Os algoritmos não lineares que formam o cerne computacional do ROMS são descritos em detalhes em Shchepetkin & McWilliams (2003, 2005). O ROMS inclui modelos acoplados para processos biogeoquímicos, bio-ópticos, transporte de sedimentos e também inclui diversos regimes de mistura vertical (WARNER *et al.*, 2005), níveis múltiplos de aninhamento e grades compostas.

As equações hidrostáticas primitivas de momento são resolvidas utilizando um passo de tempo dividido explicitamente e modos barotrópico (bidimensional) e baroclínico (tridimensional) acoplados. Um número finito de passos de tempo barotrópicos é efetuado em cada passo de tempo baroclínico para resolver as equações de superfície livre e momento verticalmente integrado. No intuito de evitar erros associados com o *aliasing* de frequências resolvidas no modo barotrópico, mas não no baroclínico, são realizadas médias temporais nos campos barotrópicos antes de serem trocados com os valores obtidos com um passo baroclínico de maior duração. Um filtro de tempo cossenoidal, centrado no novo nível de tempo, é usado para fazer as médias dos campos barotrópicos (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). Adicionalmente, o passo de tempo separado é forçado a manter a conservação de volume e a preservação de consistência, propriedades que são necessárias para as equações de traçadores (p.ex. temperatura e salinidade) (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

Atualmente, todas as equações em duas e três dimensões são discretizadas no tempo usando um algoritmo de passo de tempo previsor (*Leap-Frog*) e corretor (Adams-Molton) de terceira ordem, que é altamente robusto e estável. A estabilidade reforçada pelo esquema permite passos de tempo mais longos, por um fator de aproximadamente quatro, o qual mais do que compensa o custo elevado do algoritmo previsor-corretor.

As equações primitivas são discretizadas verticalmente sobre a variável topográfica utilizando coordenadas seguidoras de terreno “estiradas” (SONG; HAIDVOGEL, 1994). As coordenadas estiradas permitem o aumento da resolução em áreas de interesse, como na termoclina e nas camadas limites de fundo. A grade padrão utiliza diferenças finitas de segunda ordem, centradas em uma grade vertical irregular. Opções para grades de ordens maiores são disponíveis via uma reconstrução conservativa de derivadas verticais (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). Esta classe de modelo apresenta grande sensibilidade à topografia, resultando em erros do gradiente de pressão. Estes erros aumentam devido à divisão do termo do gradiente de pressão em um componente ao longo da coordenada sigma e uma correção hidrostática (para maiores detalhes, veja Haidvogel & Beckmann, 1999). O algoritmo numérico no ROMS é desenvolvido para minimizar tais erros (SHCHEPETKIN & MCWILLIAMS, 2003).

Na horizontal, as equações primitivas são calculadas usando coordenadas ortogonais curvilíneas ajustadas ao contorno em uma grade irregular do tipo C de Arakawa. A formulação geral das coordenadas curvilíneas inclui as coordenadas cartesianas e as esféricas. Contornos de costa também podem ser especificados como uma grade discretizada finitamente pela máscara terra/mar. Assim como na vertical, a grade horizontal utiliza diferenças finitas de segunda ordem centradas. Entretanto, o código também é desenvolvido para fazer a implementação de grades de maior ordem.

Existem várias opções para esquemas de advecção: diferenças centradas de segunda e quarta ordens; e terceira ordem, *upstream biased*. Este último esquema, padrão do modelo, apresenta uma dissipação hiper-difusa dependente da velocidade como erro dominante de truncamento (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 1998). Estes esquemas são estáveis para a metodologia de previsão e correção do modelo. Além disso, há uma opção para representação da advecção vertical, utilizando *spline* parabólico conservativo, que tem propriedades de dispersão similares a um esquema convencional preciso de oitava ordem.

Várias parametrizações de escala de sub-grade estão presentes no ROMS. A mistura vertical de momento e de traçadores pode ocorrer nos níveis verticais, superfícies geopotenciais (profundidade constante), ou superfícies isopicnais (densidade constante). O operador de mistura pode ser harmônico (arranjo de 3 pontos) ou bi-harmônico (arranjo de 5 pontos). Em Haidvogel & Beckmann (1999) podem ser obtidos maiores esclarecimentos sobre estes operadores.

A parametrização vertical de mistura no ROMS pode ser tanto por esquemas de fechamento locais, como não-locais. Os esquemas de fechamento locais são baseados nas equações de energia cinética turbulenta de nível 2,5 de Mellor & Yamada (1982) e na parametrização de Escala Genérica de Dimensão (EGD) (UMLAUF & BUCHARD, 2003). O esquema de fechamento não-local é baseado na formulação da camada limite, perfil-K, definida por Large *et al.* (1994). O esquema de perfil-K tem sido expandido para incluir tanto os limites de camadas de superfície quanto os de fundo. O EGD é um modelo de turbulência de duas equações que permite uma ampla variedade de fechamentos de mistura vertical, incluindo os esquemas k-kl (Mellor-Yamada level 2,5), k-e e k-w. Muitas funções de estabilidade têm sido empregadas para favorecer a flexibilidade. Um estudo recente (WARNER *et al.*, 2005a) avaliou a performance desses fechamentos de turbulência no ROMS, em aplicações de transporte de sedimentos idealizado. Além disso, existe um esquema de camada limite de fundo onda/corrente que provoca o estresse de fundo (STYLES; GLENN, 2000) e o transporte de sedimentos, que tem ganhado importância em aplicações costeiras.

A camada limite de interação ar-mar utilizada no ROMS, baseia-se na parametrização de Fairall *et al.* (1996). Esta foi adaptada do algoritmo do COARE (*Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment*) para o cálculo de fluxos de *momentum* de superfície, calor sensível, e calor latente. Esta camada limite é utilizada para o acoplamento com modelos atmosféricos.

O ROMS possui um código altamente moderno e modular escrito em F90 e 95. Utiliza pré-processamento C para ativar as diversas opções físicas e numéricas. Muitos padrões de códigos têm sido estabelecidos para facilitar a leitura, manutenção e portabilidade do modelo.

Todas as variáveis de estado do modelo são dinamicamente alocadas e passadas como argumento das rotinas computacionais.

O conjunto de equações governantes do ROMS é formado pelas equações primitivas do movimento, fazendo uso das aproximações de *Boussinesq*, plano β e hidrostática. Referenciando-se a um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com valores positivos de x , no sentido leste, e de y , no sentido norte, e realizando a transformação para coordenada *sigma*, tem-se o conjunto de equações básicas utilizadas pelo ROMS.

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x \quad (2)$$

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^{\sigma'} \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y \quad (3)$$

Equação da conservação de calor:

$$\frac{\partial \theta D}{\partial t} + \frac{\partial \theta UD}{\partial x} + \frac{\partial \theta VD}{\partial y} + \frac{\partial \theta \omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial \theta}{\partial \sigma} \right] + F_{\theta} - \frac{\partial R}{\partial z} \quad (4)$$

Equação da conservação de sal:

$$\frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_s \quad (5)$$

Equação de estado da água do mar:

$$\rho = \rho(S, \theta, P) \quad (6)$$

Nestas equações $D = H + \eta$ representa a altura da coluna d'água, U e V são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente, f é o parâmetro de Coriolis, g é a aceleração da gravidade, ρ é a densidade, ρ_0 é a densidade de referência, ρ' é a anomalia de densidade, θ é a temperatura potencial, S é a salinidade, KM é o coeficiente de viscosidade cinemática vertical, KH é o coeficiente de difusão de calor vertical, $\partial R / \partial z$ é o termo de fluxo de calor radiativo e ω é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

$$W = \omega + U \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \left(\sigma \frac{\partial D}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + \sigma \frac{\partial D}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial \sigma} \quad (7)$$

Todas as constantes e os parâmetros físicos utilizados no modelo hidrodinâmico são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros e constantes utilizadas no modelo hidrodinâmico.

Parâmetro	Valor	Descrição
TNU2 (m ⁴ /s)	0,0	Operador bi-harmônico de difusão horizontal de traçadores
VISC2 (m ² /s)	5,0	Coefficiente de viscosidade horizontal
AKT_BAK (m ² /s)	1,0x10 ⁻⁶	Coefficiente vertical de mistura para traçadores
AKV_BAK (m ² /s)	1,0x10 ⁻⁵	Coefficiente vertical de mistura de momentum
AKK_BAK (m ² /s)	5,0x10 ⁻⁶	Coefficiente vertical de mistura para energia cinética turbulenta
RDRG (m/s)	3,0x10 ⁻⁴	Coefficiente linear de atrito com o fundo
RDRG2	3,0x10 ⁻³	Coefficiente quadrático de atrito com o fundo
ZOB (m)	2,0x10 ⁻²	Rugosidade do fundo
ZOS (m)	2,0x10 ⁻²	Rugosidade da superfície

2.2. Domínio do Modelo

Para simular a hidrodinâmica da região de influência do BM-S-8, foi projetada uma grade numérica (Figura 2), que se estende de 39,0° S a 14,0° S, e 60,0° W a 25,0° W. O domínio da grade abrange a costa leste brasileira desde a metade do estado da Bahia até o final do Rio Grande do Sul. Além disso, ela se prolonga ainda mais ao sul, terminando logo após a cidade de Mar del Plata, na Argentina. A grade engloba a plataforma continental, o talude e parte das bacias oceânicas adjacentes.

A resolução da grade é de 0,0625° (~6,5 km) e foi escolhida tanto para que as principais feições batimétricas e da linha de costa pudessem ser reproduzidas de forma satisfatória (Figura 3) como para permitir um desempenho computacional compatível. Essa escolha resultou em uma grade com 254.694 pontos em cada nível horizontal (camada sigma), com 30 níveis verticais (camadas sigma).

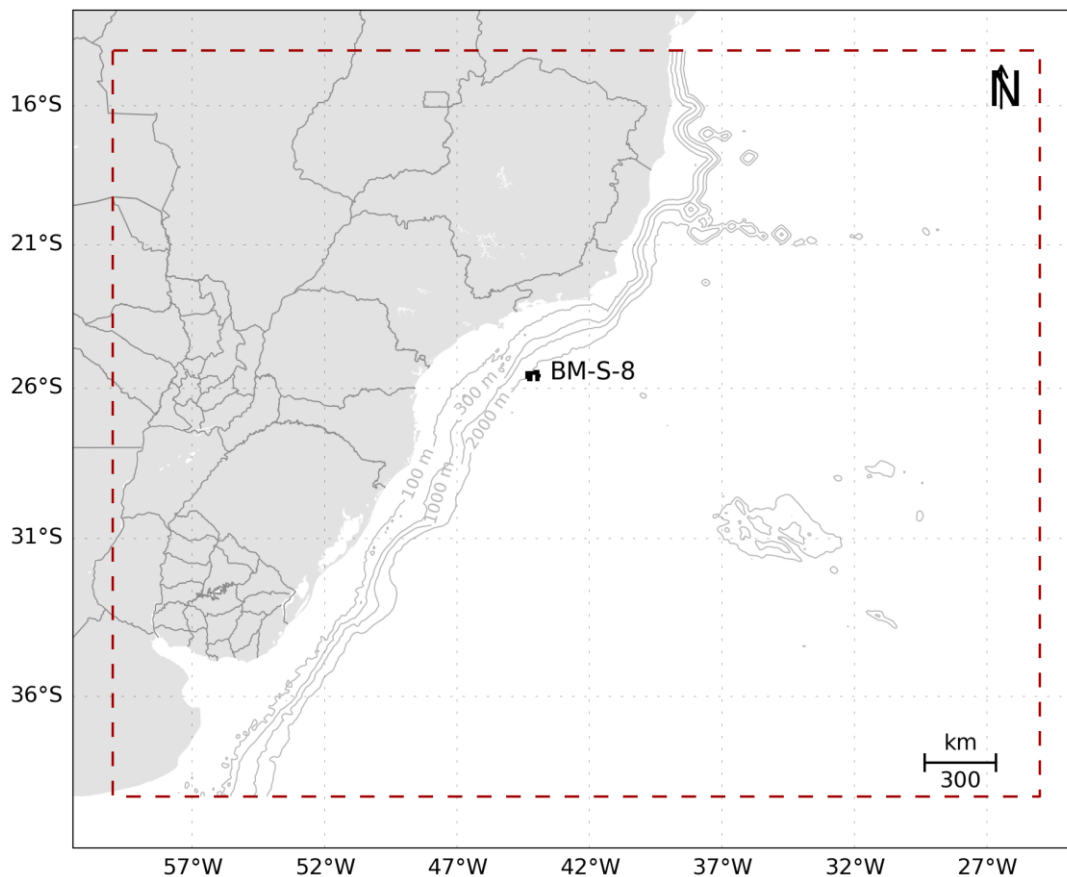


Figura 2: Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico.

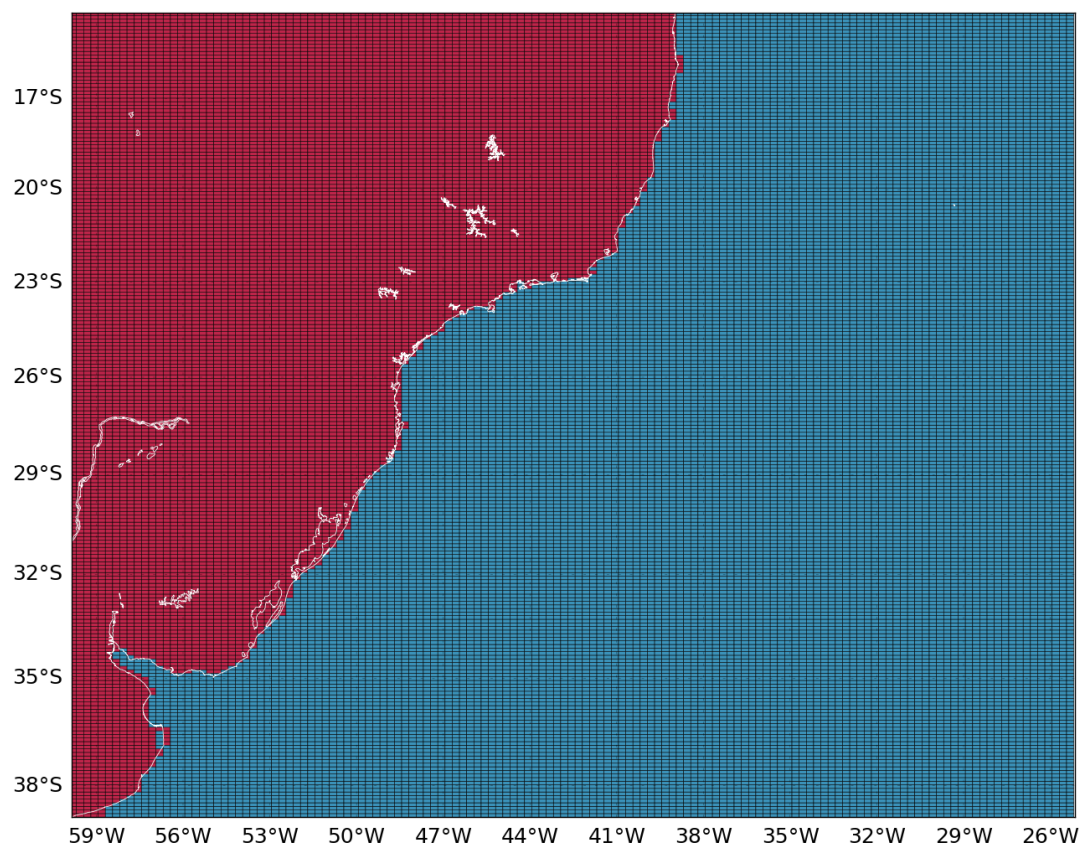


Figura 3: Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo e a linha branca mostra a linha de costa da região.

2.3. Condições Iniciais

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter, *in situ*, dados de temperatura, salinidade e correntes em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão.

Como condição inicial e de contorno para o sistema de previsão oceânica referente ao BM-S-8 foram utilizados os dados de temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e de correntes da Análise Global do Projeto Mercator. Este projeto disponibiliza, semanalmente, os resultados da análise e previsão oceânica global por um período de 14 dias, com resolução espacial de 1/12° e temporal de 24 h. O modelo oceânico global utilizado no Mercator é o NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*), forçado pelos campos atmosféricos obtidos da Análise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). O NEMO assimila dados de correntes, altura da superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ*, que passam por um criterioso controle de qualidade (LARNICOL *et al.*, 2006).

O modelo foi inicializado com os resultados da simulação do Mercator, interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) da grade usada no ROMS, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região simulada (ROMS) em um modelo global (Mercator) em modo *offline*, ou seja, as condições de contorno usadas no modelo de menor área e maior resolução foram extraídas de um modelo de maior área e menor resolução rodado previamente. Exemplos dos campos iniciais com dados do Mercator fornecidos ao modelo são apresentados da Figura 4 à Figura 7.

O modelo foi configurado para simular as correntes da região no período entre dezembro de 2012 e janeiro de 2014. Esse período é relativo à disponibilidade de dados do Mercator, que se inicia em 26/12/2012.

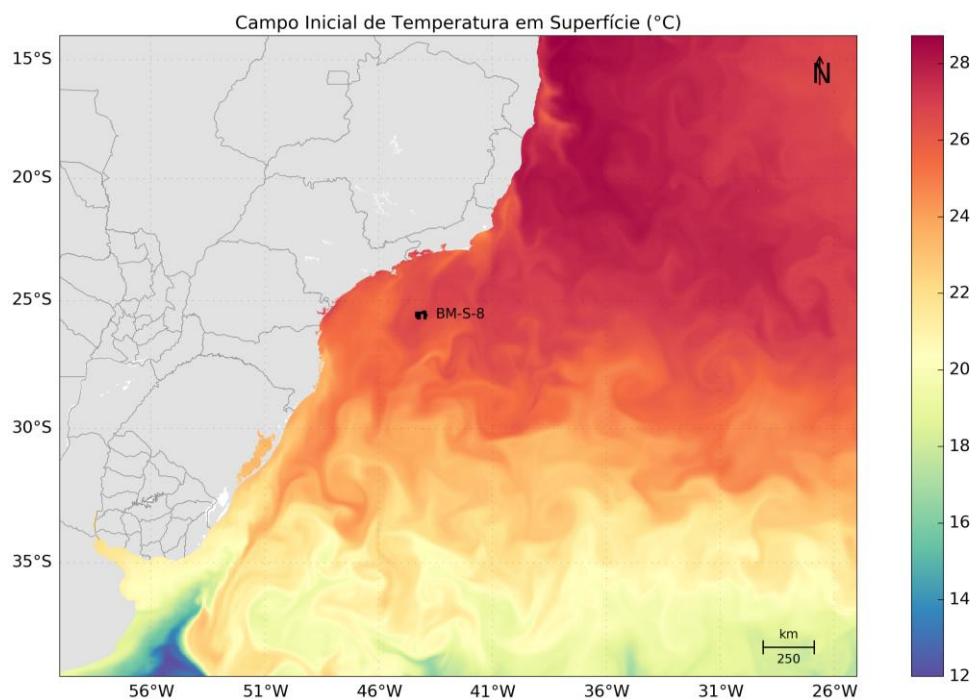


Figura 4: Campo de temperatura superficial (°C) no dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

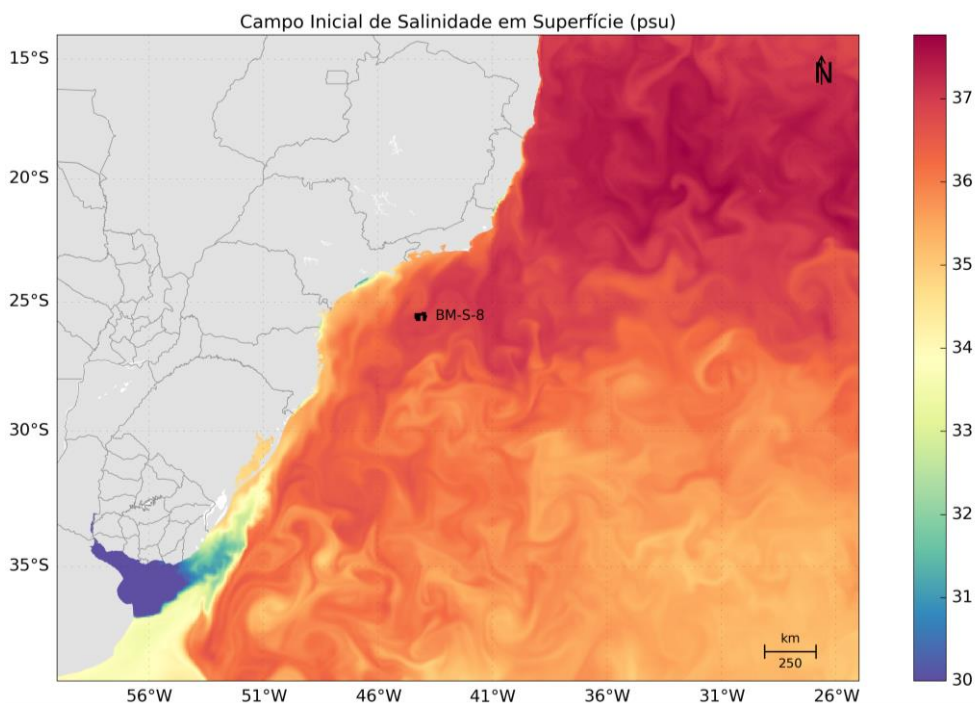


Figura 5: Campo de salinidade superficial no dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

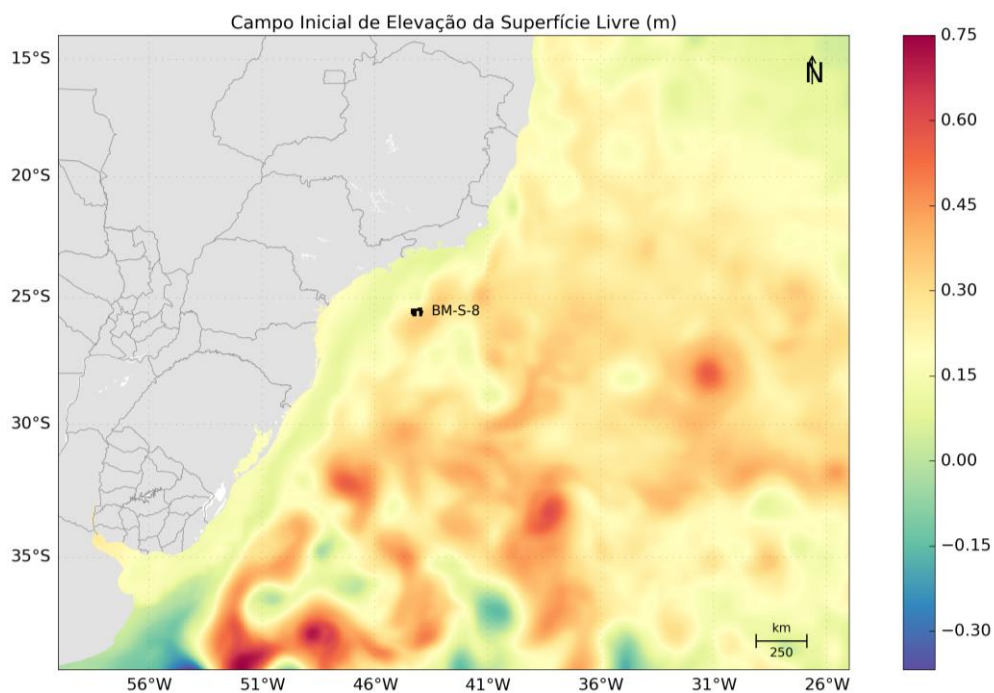


Figura 6: Campo de Elevação da Superfície Livre (m) do dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

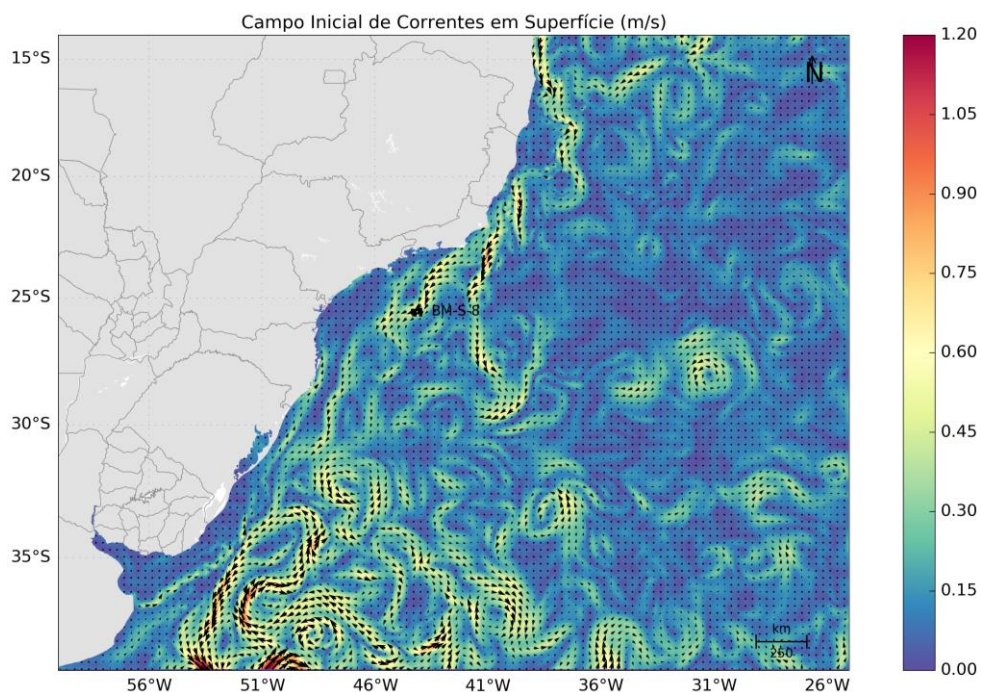


Figura 7: Campo de Correntes superficiais (m/s) do dia 26 de dezembro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

2.4. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do ROMS, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 8). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

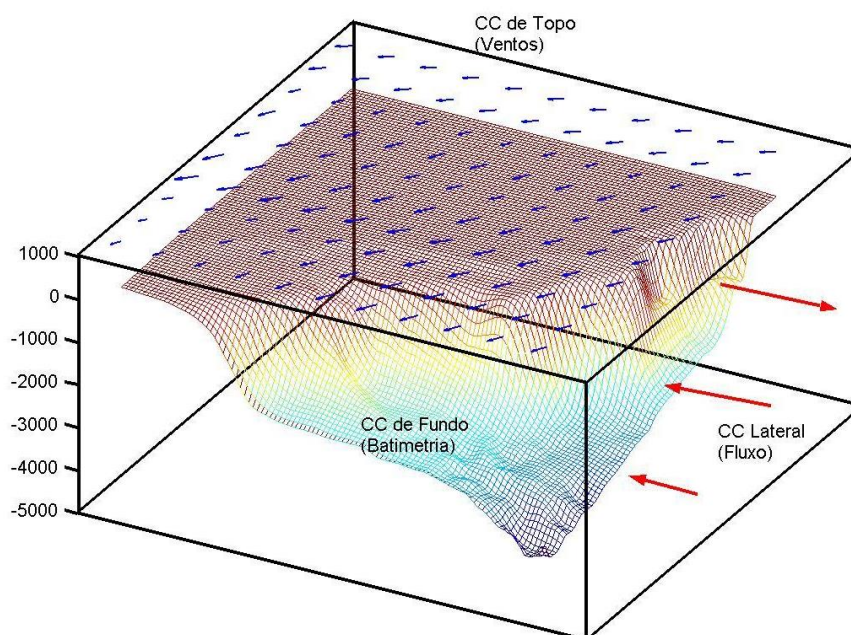


Figura 8: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

2.4.1 Condição de Contorno de Fundo

Para a confecção da matriz de batimetria do modelo da grade-mãe, foram utilizados os dados da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009). O ETOPO 1 é um modelo global do relevo da superfície terrestre, com resolução espacial de 1 minuto de arco, que integra topografia e batimetria do oceano. Após interpolação cúbica, obteve-se a matriz de topografia do fundo para a grade utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 9).

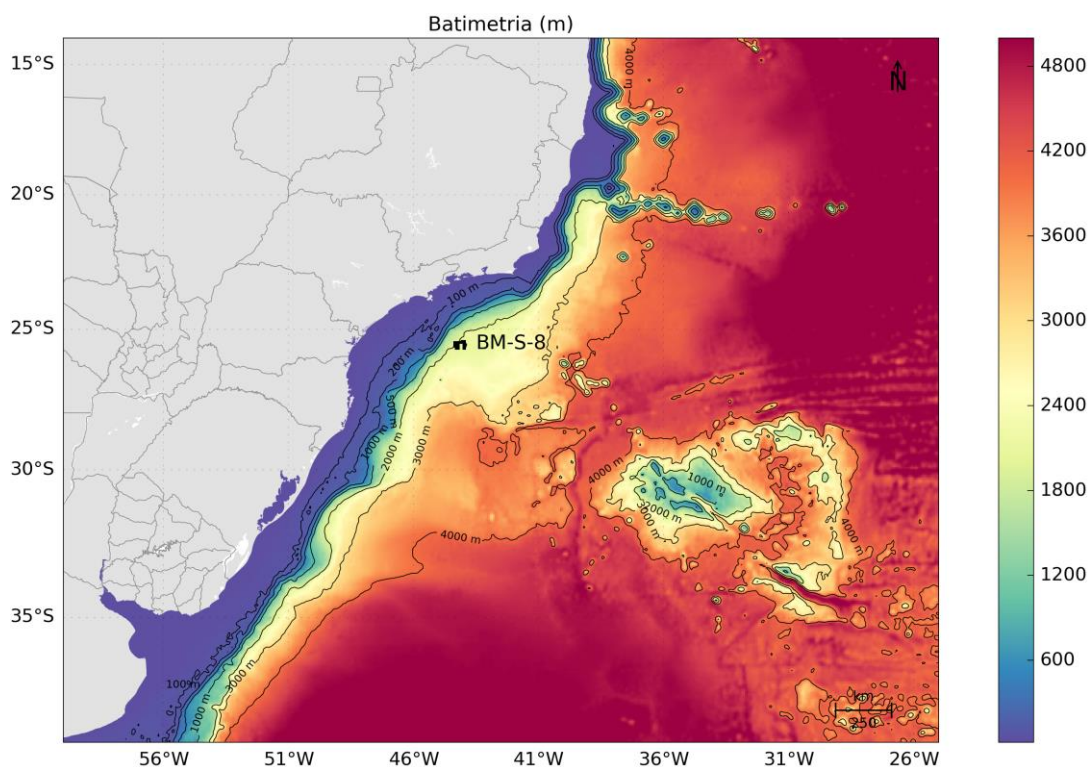


Figura 9: Batimetria da grade do modelo numérico.

2.4.2 Condição de Contorno de Superfície

No ROMS, os fluxos na interface oceano/atmosfera necessários para forçar o modelo podem ser inseridos de duas formas. O usuário pode fornecer dados com o fluxo total de calor, ou ativar a camada limite (oceano/atmosfera) do modelo para calcular tanto o fluxo total de calor quanto o atrito do vento através dos campos atmosféricos. Essa camada limite é baseada na parametrização das trocas ar/mar descrita por Liu *et al.* (1979) e calculada pela rotina `bulk_flux.F`, que foi adaptada do código do COARE, descrito em Fairall *et al.* (1996). Os fluxos turbulentos de vento, calor e mistura são calculados usando a teoria de similaridade Monin-Obukhov (Liu *et al.*, 1979).

Se a camada limite oceano/atmosfera é ativada, como neste caso, o usuário necessita informar os seguintes campos atmosféricos superficiais:

- » Componente zonal do vento;
- » Componente meridional do vento;
- » Temperatura do ar;
- » Pressão atmosférica;
- » Umidade relativa do ar;
- » Taxa de precipitação;
- » Radiação de onda curta;
- » Radiação de onda longa.

Estes campos foram obtidos através do projeto ERA-Interim do ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecast*), com resolução espacial de $0,75^\circ$ e temporal de 3 horas, para todo período de modelagem (dezembro de 2012 a janeiro de 2014).

A base ERA-Interim é a mais avançada reanálise produzida pelo ECMWF, que consiste em um banco de dados atmosféricos e de ondas gerado a partir de modelagem numérica e assimilação de dados. Ela apresenta resolução espacial e temporal compatíveis com a natureza do estudo, e disponibiliza informações de todas as 8 (oito) variáveis meteorológicas necessárias para forçar o ROMS.

Como exemplo dos campos atmosféricos utilizados como condição de contorno de topo do modelo, da Figura 10 à Figura 16 são apresentados os campos médios de cada variável,

calculados para o período 1 (setembro a fevereiro) e para o período 2 (março a agosto). Essa divisão em dois cenários, período 1 e período 2, será explicada no item 3.1.4.3.

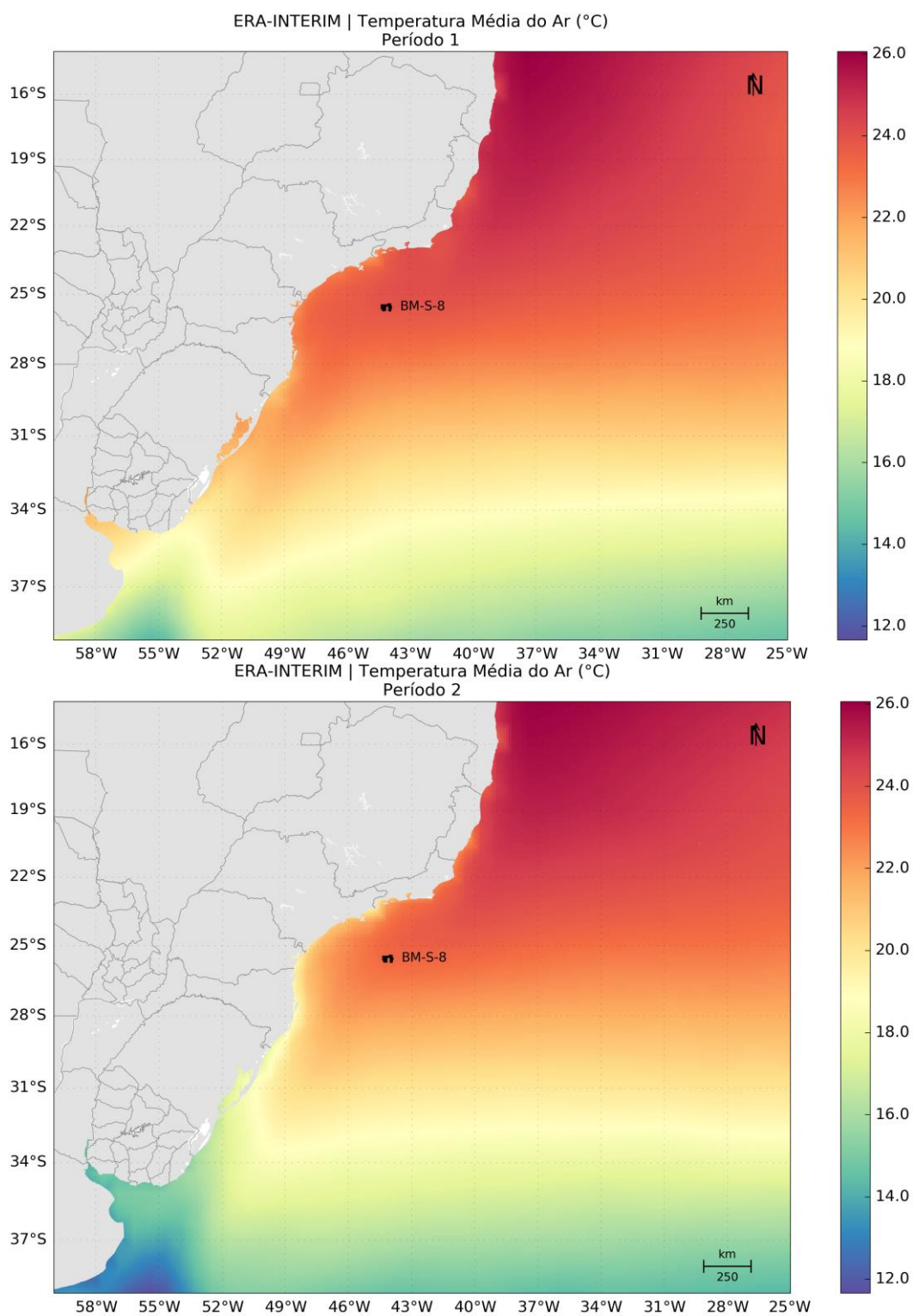


Figura 10: Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

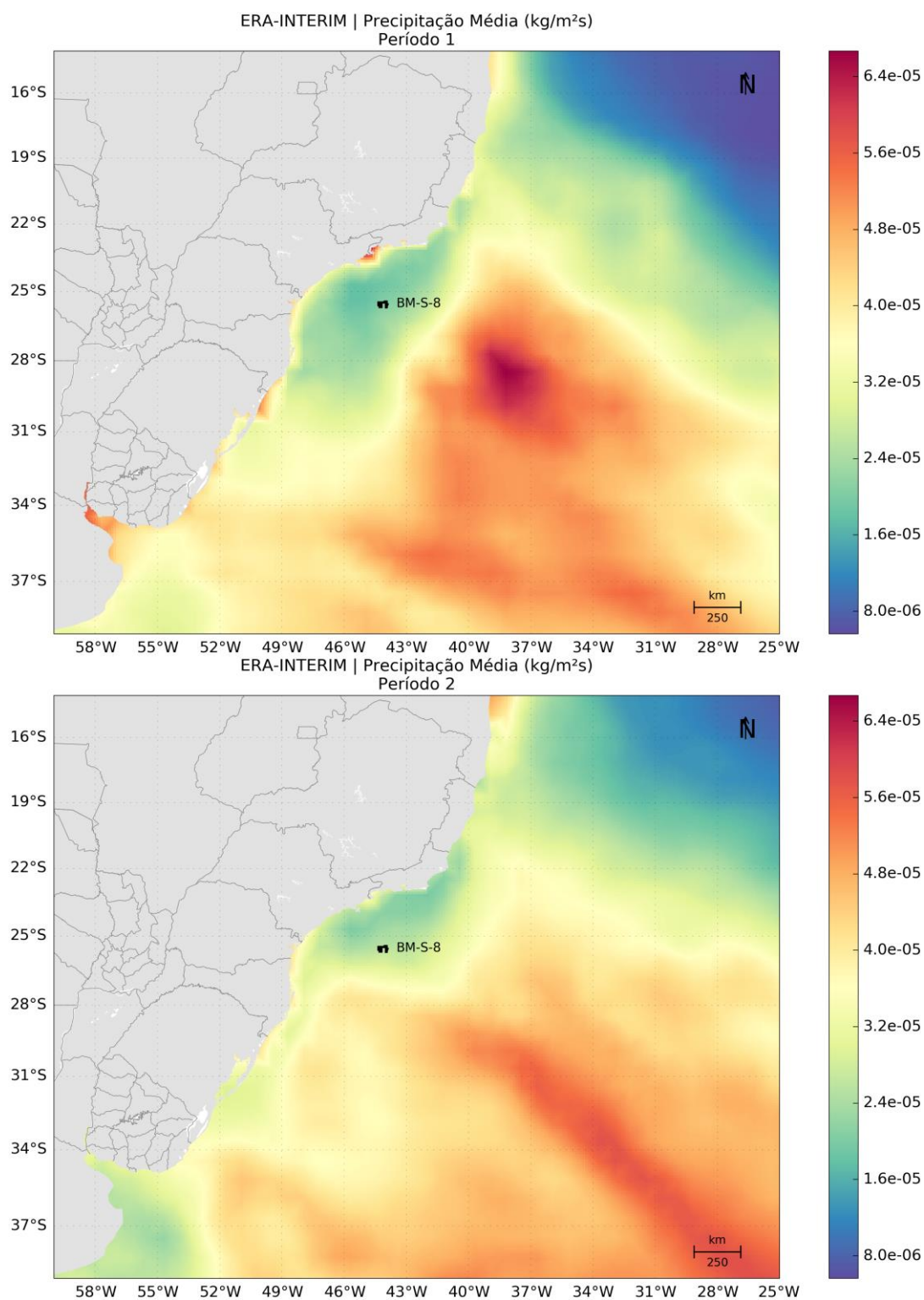


Figura 11: Campo médio dos dados de precipitação do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

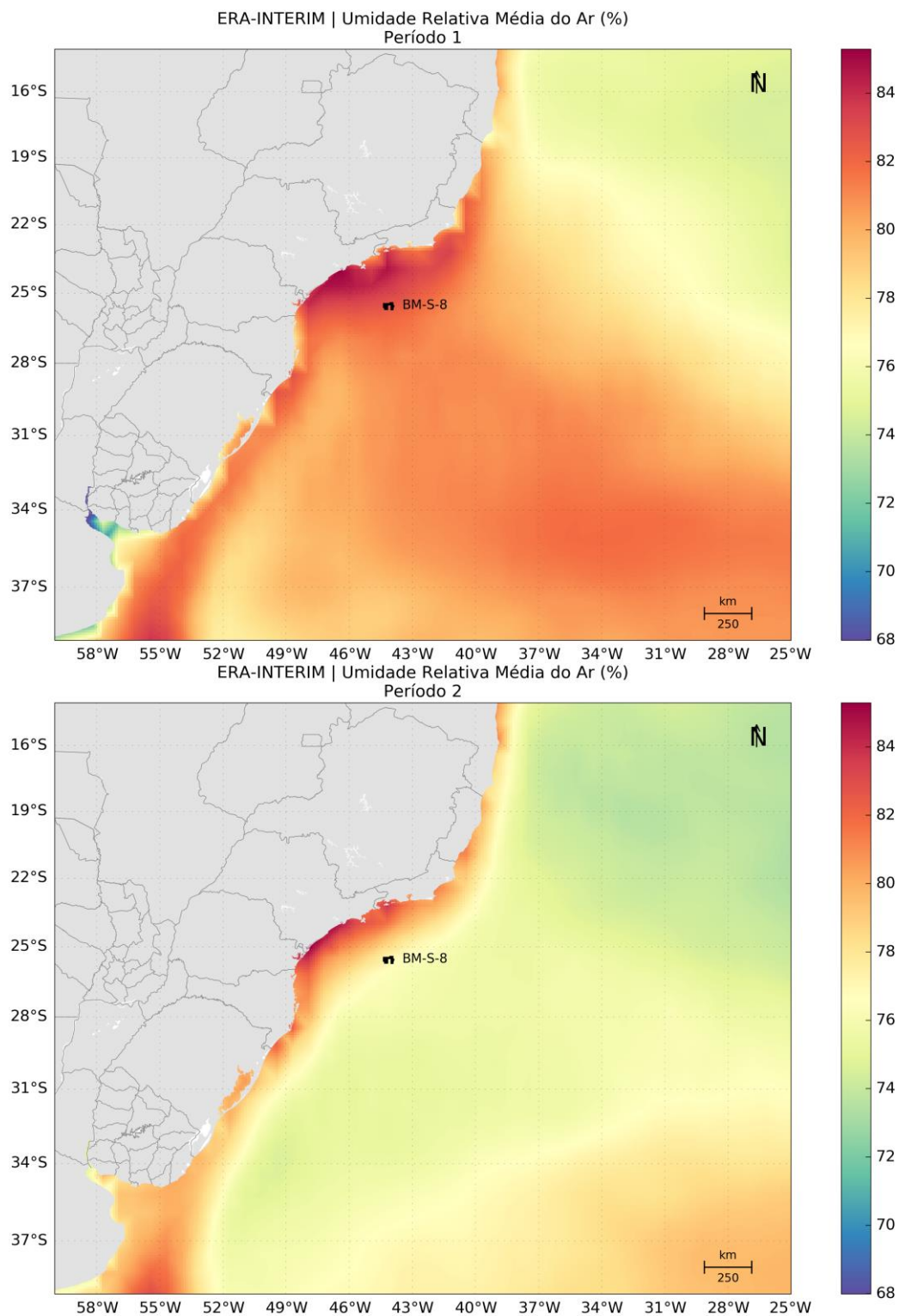


Figura 12: Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

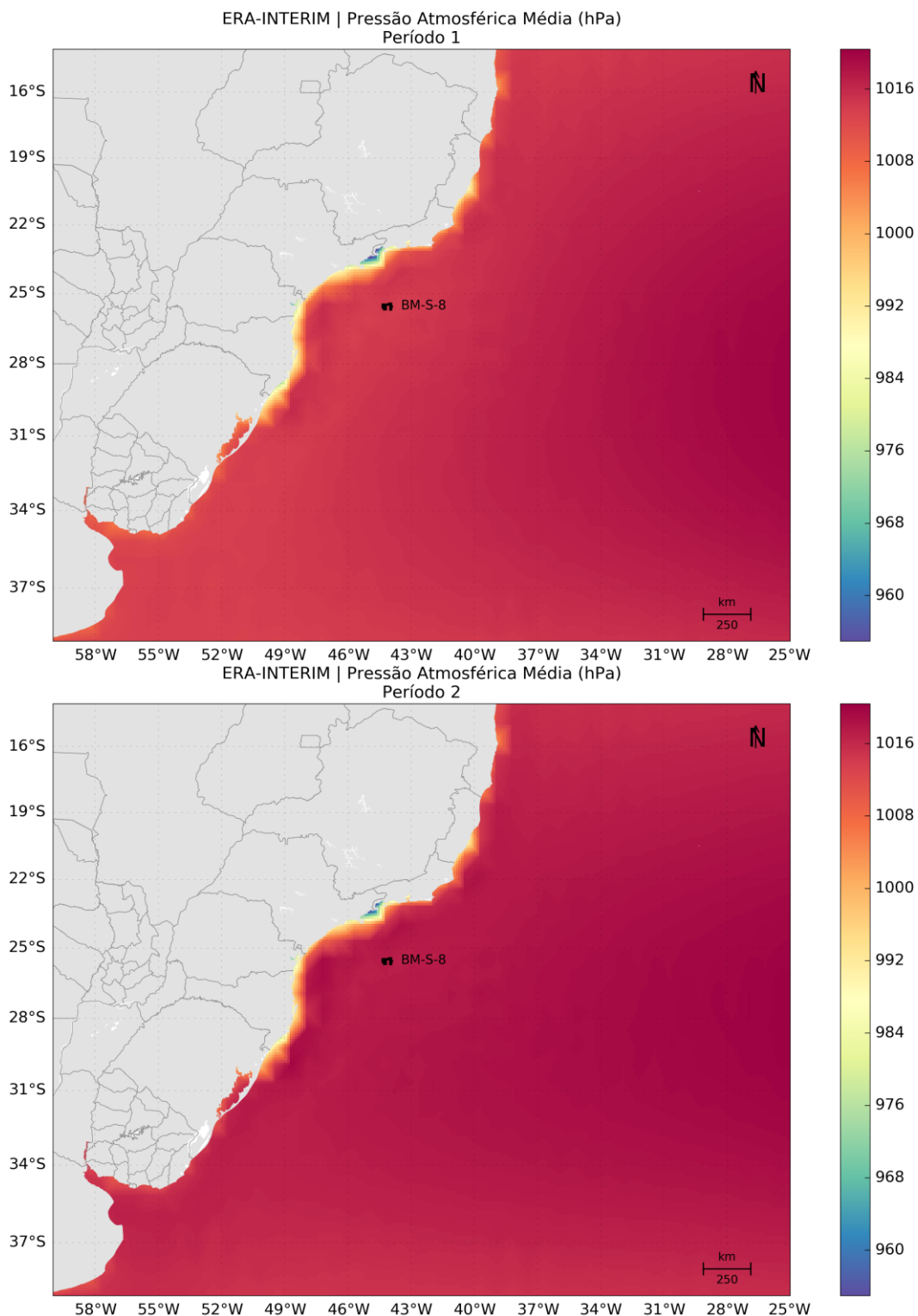


Figura 13: Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

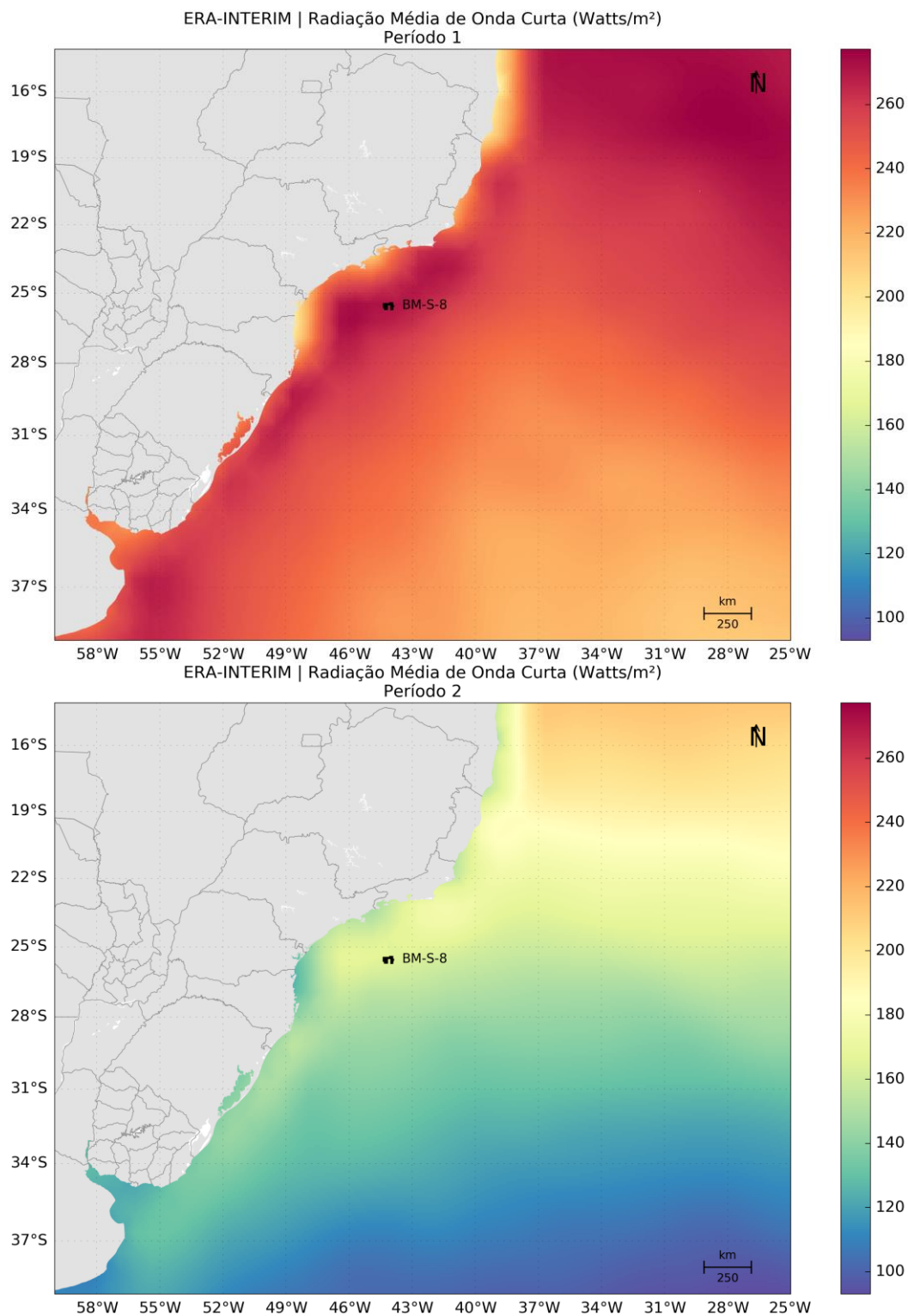


Figura 14: Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

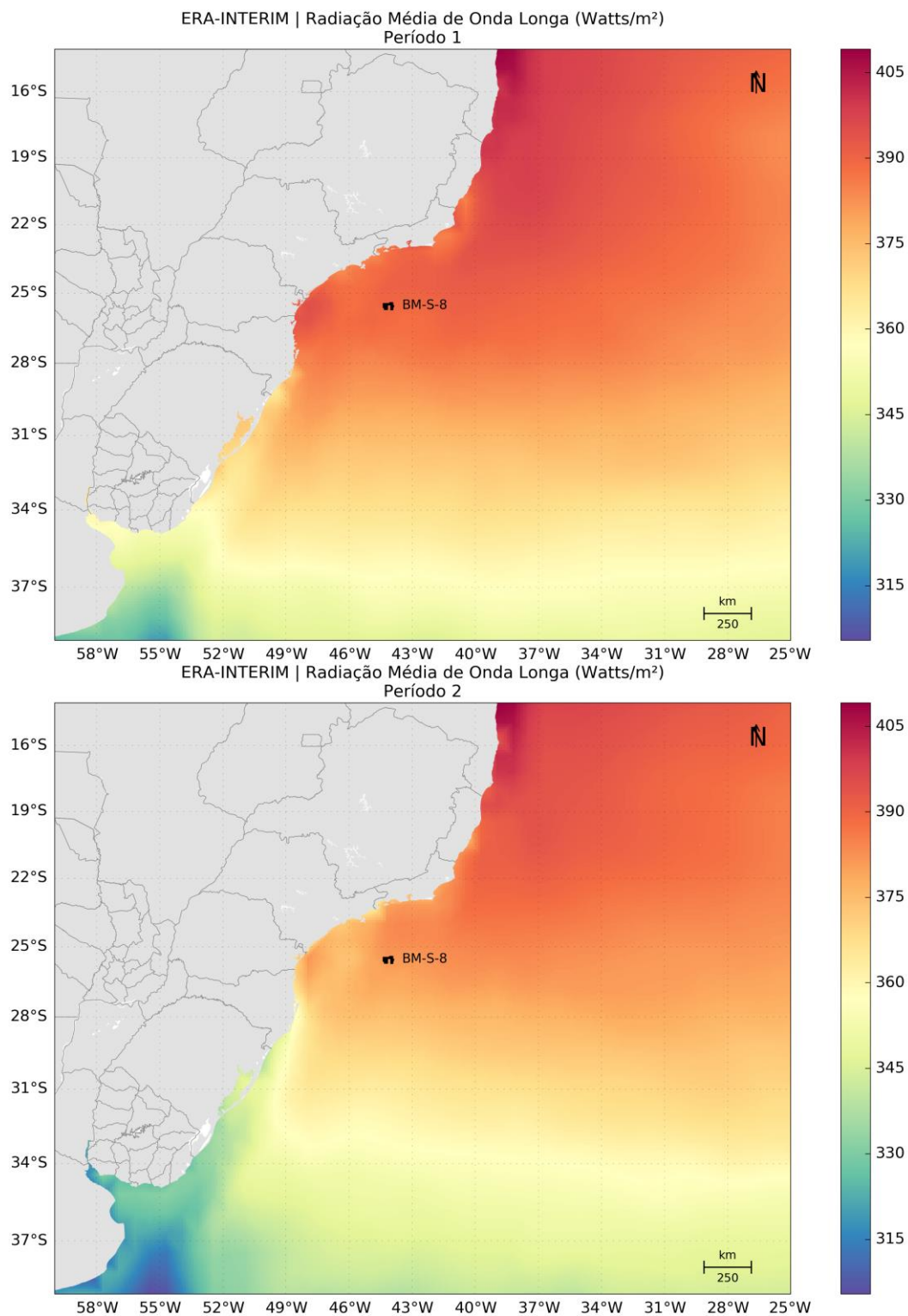


Figura 15: Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

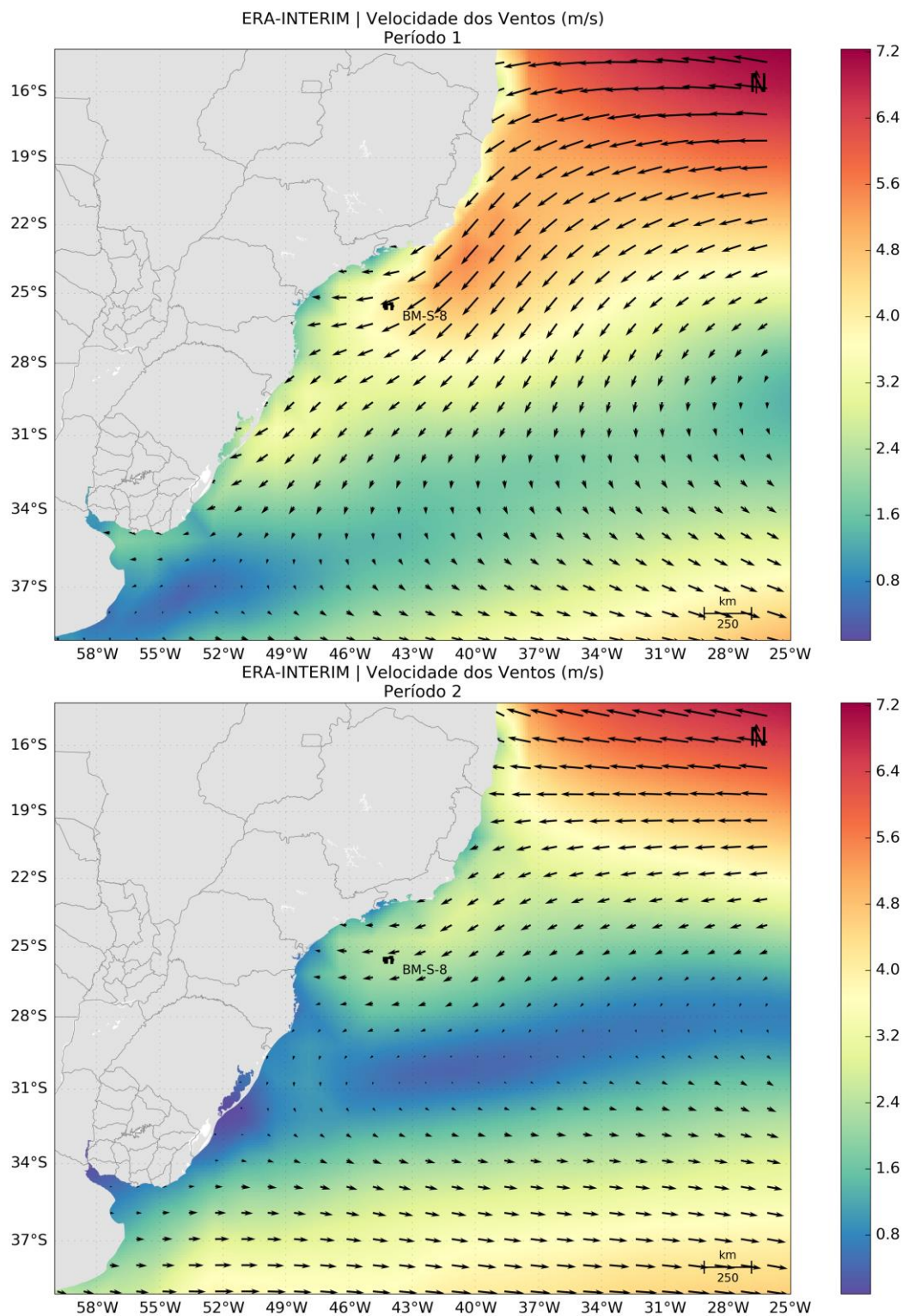


Figura 16: Campo médio dos dados de vento do ERA-Interim utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

2.4.3 Condição de Contorno Laterais

O modelo possui três fronteiras abertas (norte, leste e sul) e uma fechada (oeste). Na fronteira fechada foram utilizadas as condições de contorno, com velocidades normais ao contorno nulas e *free-slip*, ou seja, velocidades tangenciais ao contorno podendo ser diferentes de zero.

Por se tratar de um modelo regional, para as fronteiras abertas há a necessidade de se obter informações de regiões exteriores ao domínio do modelo. Nesse caso, foram utilizados os resultados do Mercator (temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e correntes) com resolução espacial de $1/12^\circ$ e temporal de 1 dia. Para passar estas informações ao ROMS, os resultados do Mercator foram interpolados em seções verticais localizadas nas bordas do modelo. Assim, a cada dia simulado, o modelo faz a leitura destas informações no contorno, propagando-as para o interior do domínio.

2.4.4 Maré

Para simular o efeito da elevação do nível do mar no domínio de modelagem, foram utilizadas as constantes harmônicas do modelo global de marés TPX07 (EGBERT; EROFEEVA, 2002). Este modelo possui resolução de $1/4^\circ$ e utiliza dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

A seguir, da Figura 17 à Figura 24, são apresentados os campos de amplitude e fase das 8 (oito) primeiras constantes harmônicas do TPX07 fornecidas ao modelo para o cálculo da elevação de maré, ressaltando que o ROMS utiliza apenas os dados nos contornos como forçante.

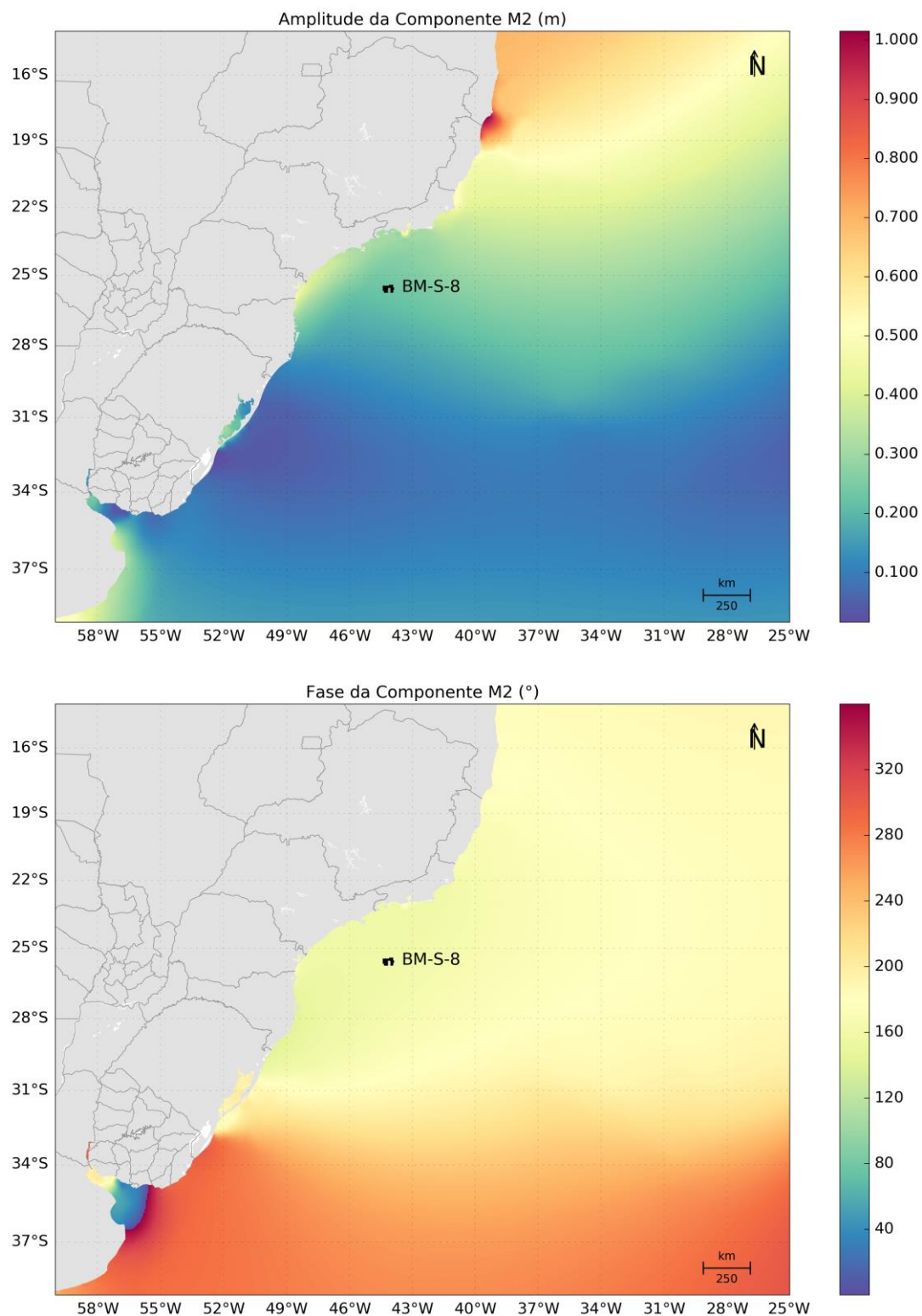


Figura 17: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2. Fonte (TPX07)

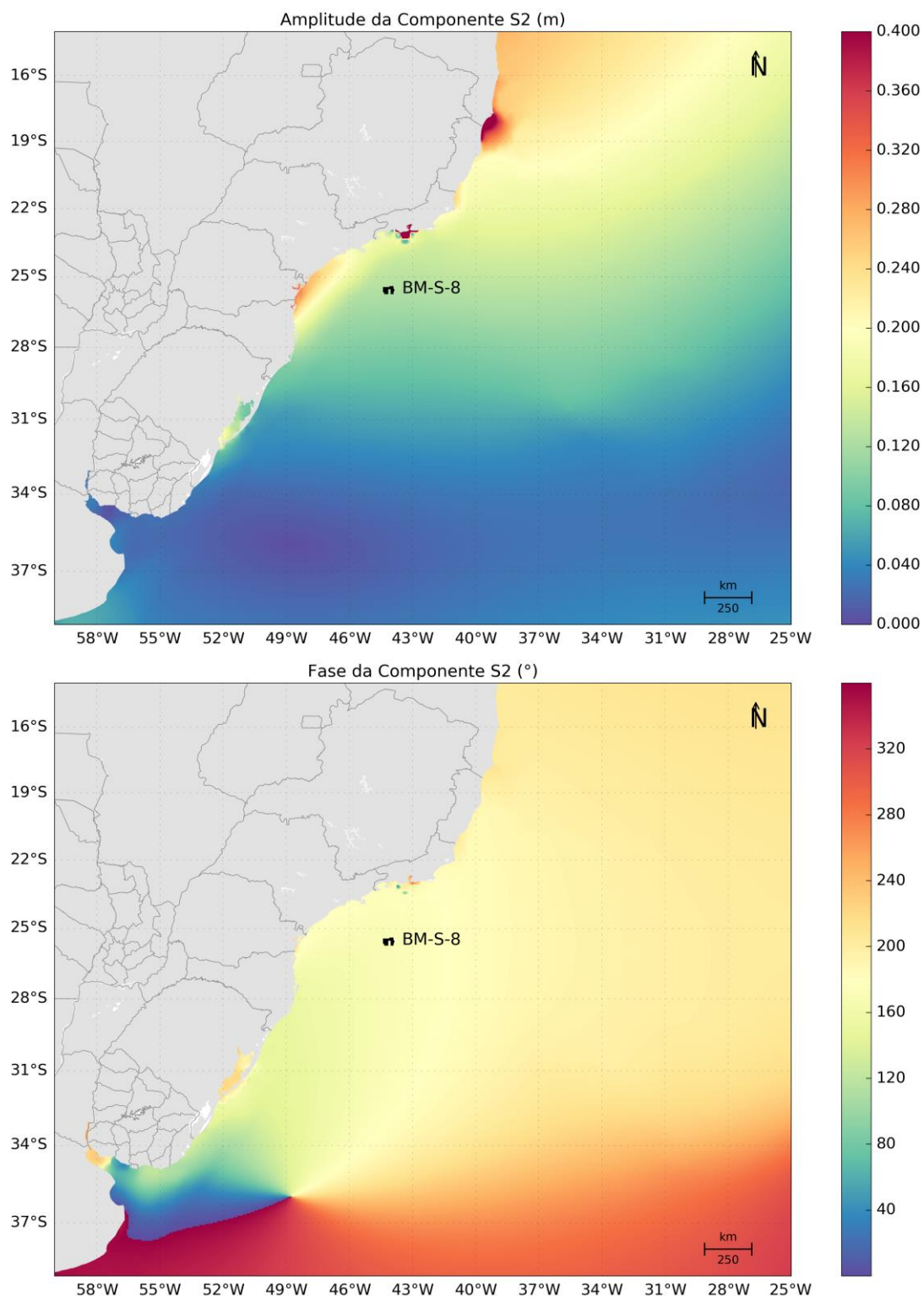


Figura 18: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte (TPX07).

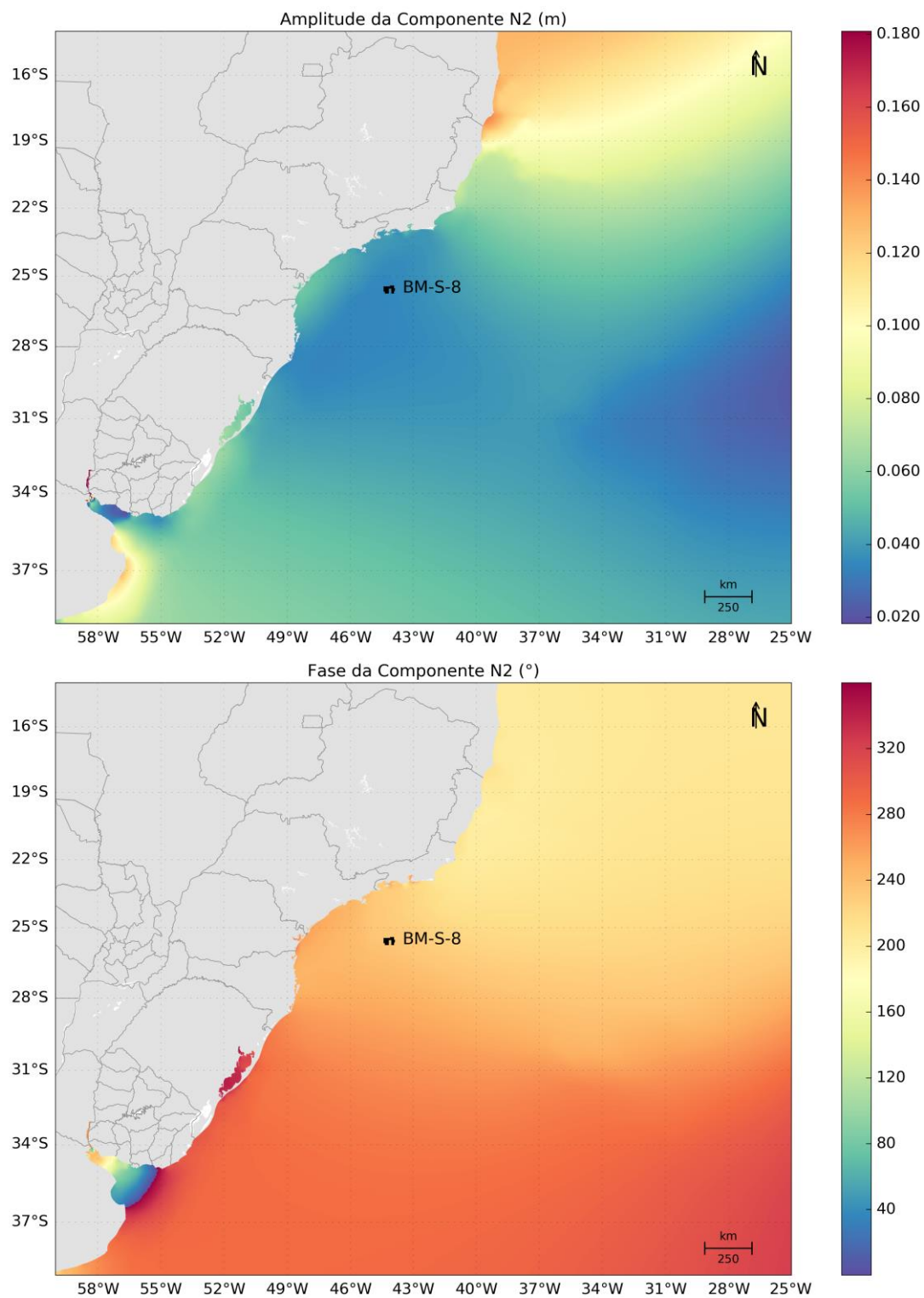


Figura 19: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte (TPX07)

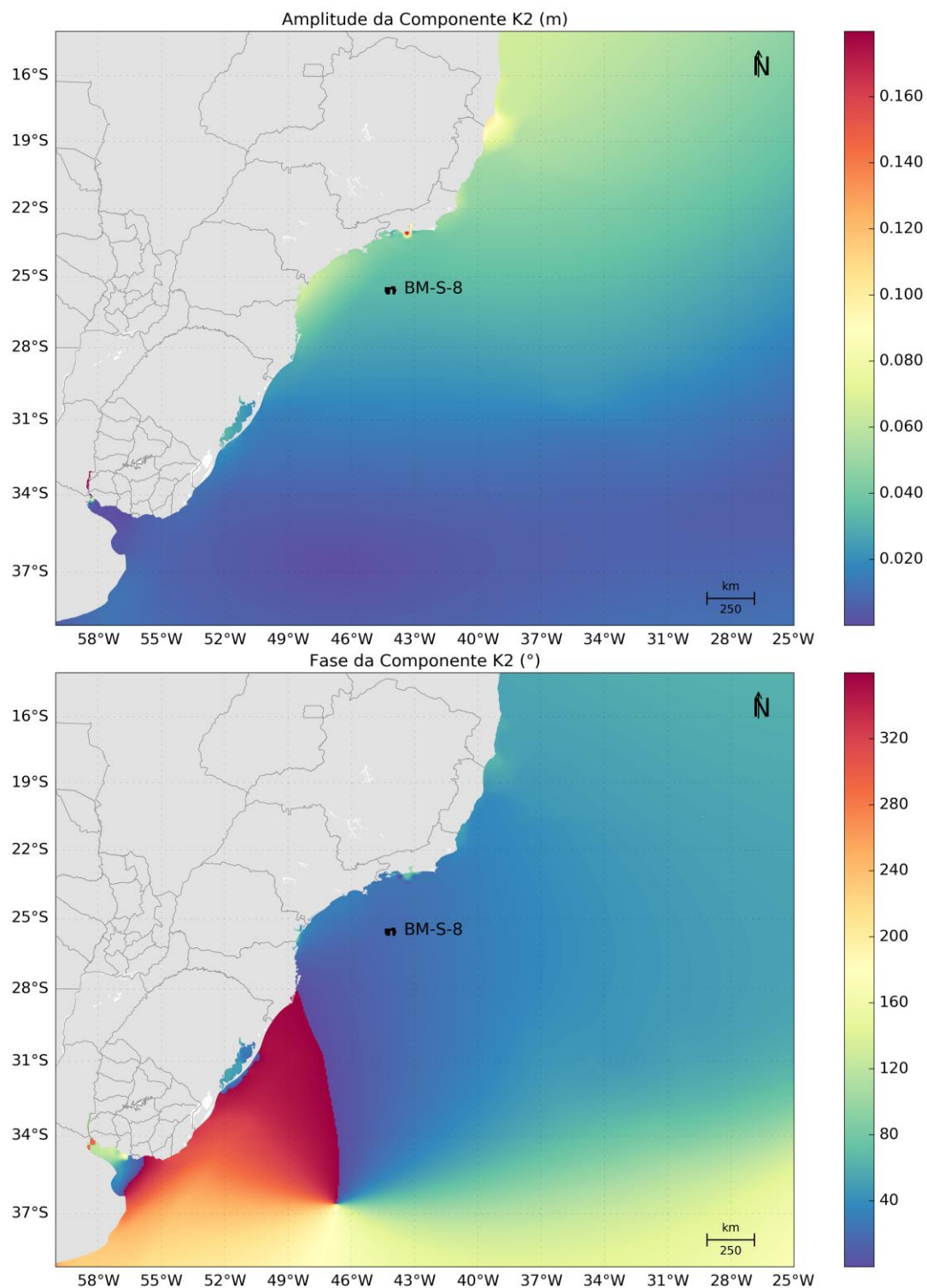


Figura 20: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte (TPX07).

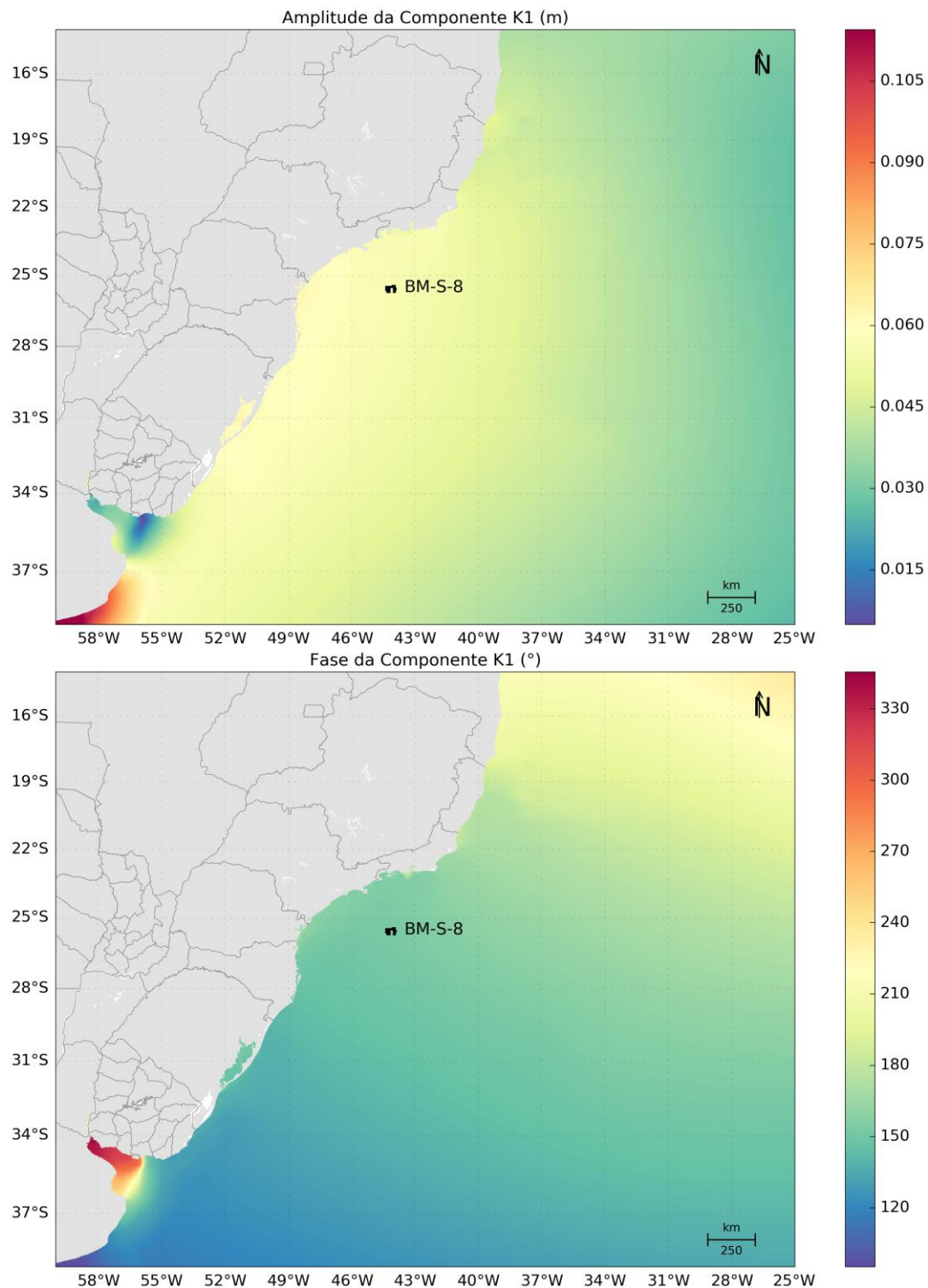


Figura 21: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte (TPX07).

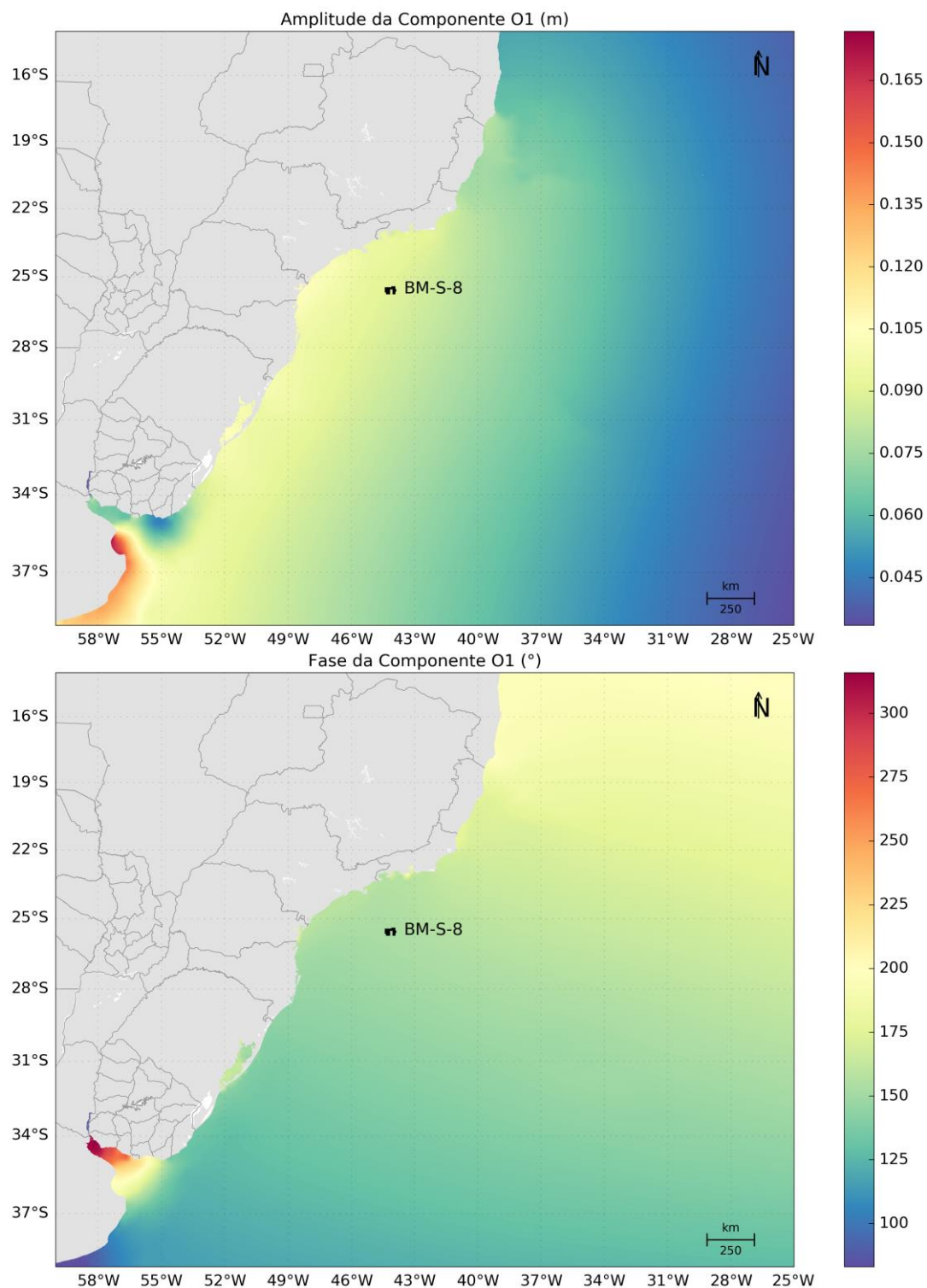


Figura 22: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte (TPX07).

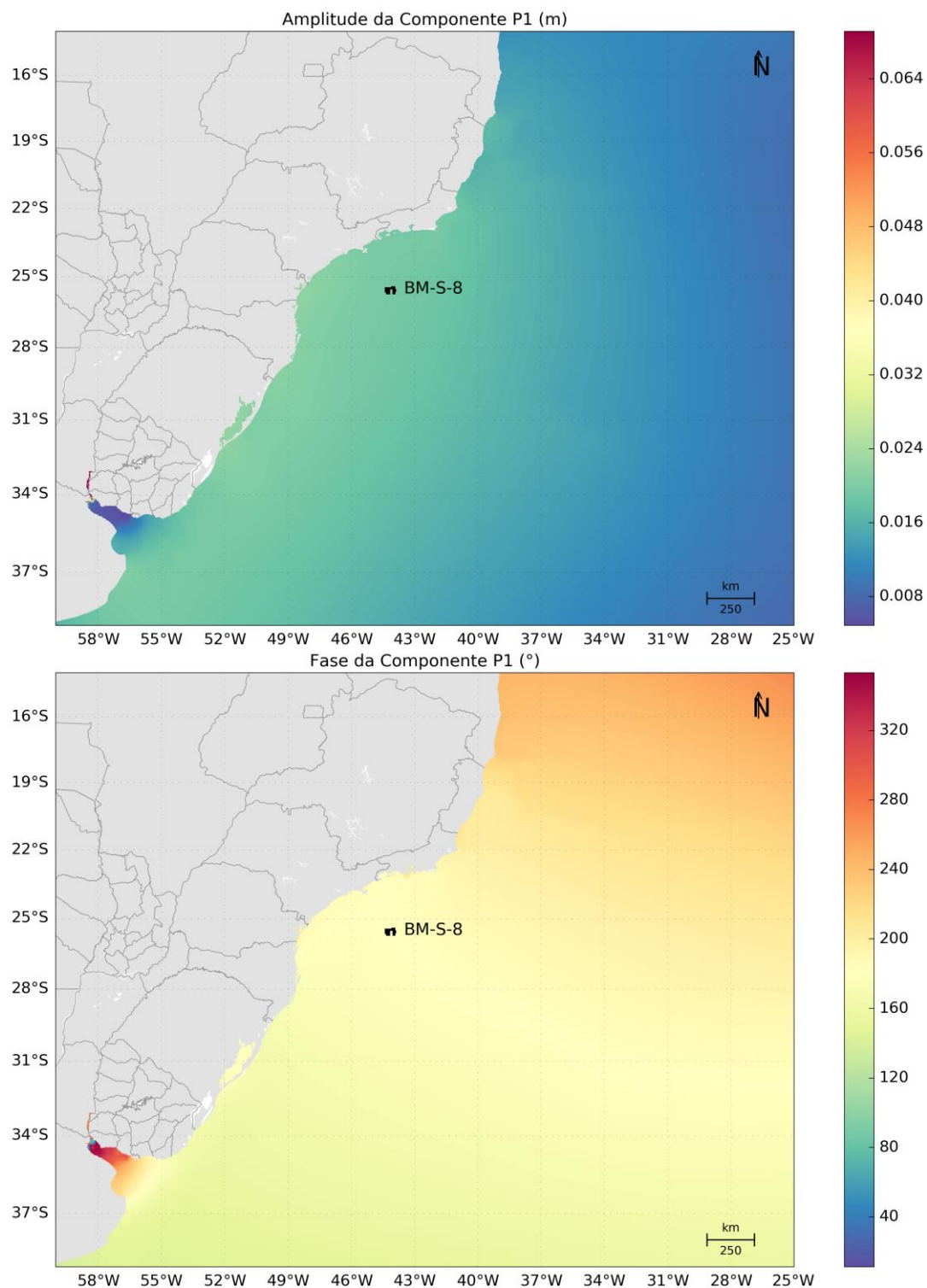


Figura 23: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte (TPX07).

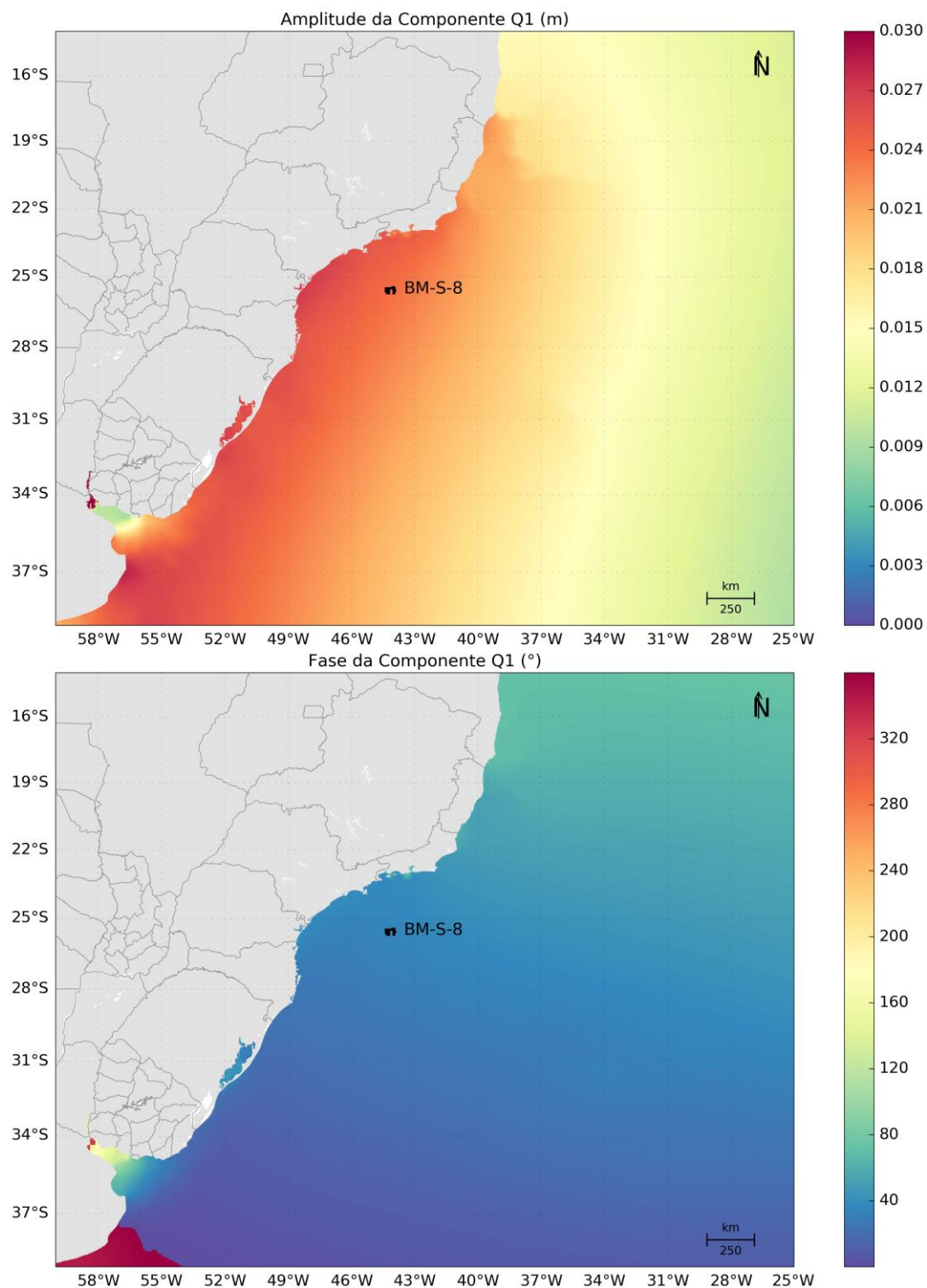


Figura 24: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte (TPX07).

A propagação da elevação de maré foi gerada utilizando-se a combinação de condições de contorno do tipo Flather, para as velocidades barotrópicas, e Chapman, para a elevação.

A condição de contorno proposta por Flather (1976) combina a equação de Summerfeld com uma versão unidimensional da equação da continuidade aplicada à direção normal ao contorno aberto e pode ser representada por:

$$\overline{u_n} = \overline{u_n^{ext}} - \sqrt{\frac{g}{h}} (n - n^{ext}) \quad (8)$$

onde $\overline{u_n^{ext}}$ representa os dados externos, h a profundidade local, g a aceleração da gravidade e n a elevação do nível do mar. Esta condição de contorno é apropriada para fluxos barotrópicos, porém potencialmente instável quando a condição CFL não é respeitada.

Já a condição de contorno Chapman (CHAPMAN, 1985) considera a propagação de ondas de gravidade e pode ser representada por:

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \sqrt{g(n + h_0)} \frac{\partial n}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

onde h_0 é a profundidade local.

2.5. Estabilização da Energia Cinética

O ROMS, além de usar os resultados do Mercator como condição inicial e de contorno, foi configurado para ler os resultados do Mercator em todo o seu domínio (X, Y e Z), inserindo um termo de tendência (*Nudging*), que faz com que os resultados do ROMS se aproximem aos do Mercator.

O termo de tendência (*Nudging*) nos resultados do ROMS é inserido da seguinte forma: o usuário deve fornecer a escala de tempo relativa ao *nudging* (nesse caso 1 dia) e então os resultados, em cada ponto de grade do ROMS são alterados em direção ao valor do resultado do Mercator através da seguinte equação:

$$\Delta\varnothing = \frac{Dt}{T} (\varnothing - \varnothing^{ext}) \quad (8)$$

Onde \varnothing representa uma variável do modelo (ROMS), \varnothing^{ext} representa um dado externo (Mercator), Dt é o passo de tempo do modelo ROMS, $\Delta\varnothing$ é o incremento imposto à variável e T é a escala de tempo para o *nudging*.

O emprego desta técnica tem o objetivo de aproveitar as vantagens do modelo Mercator (modelo global com sistema robusto de assimilação de dados) e conseguir uma representação das escalas temporais e espaciais adequadas para o problema proposto com o modelo ROMS (resultados de 2 em 2 horas, resolução de 1/16°). Com isso consegue-se a representação de processos físicos não representados no modelo Mercator, como a maré.

Consequentemente, não é necessário que o modelo seja integrado por certo período para atingir a estabilidade (*spin-up*), como demonstrado pelo gráfico da variação da energia cinética média do modelo ao longo da simulação (Figura 25).

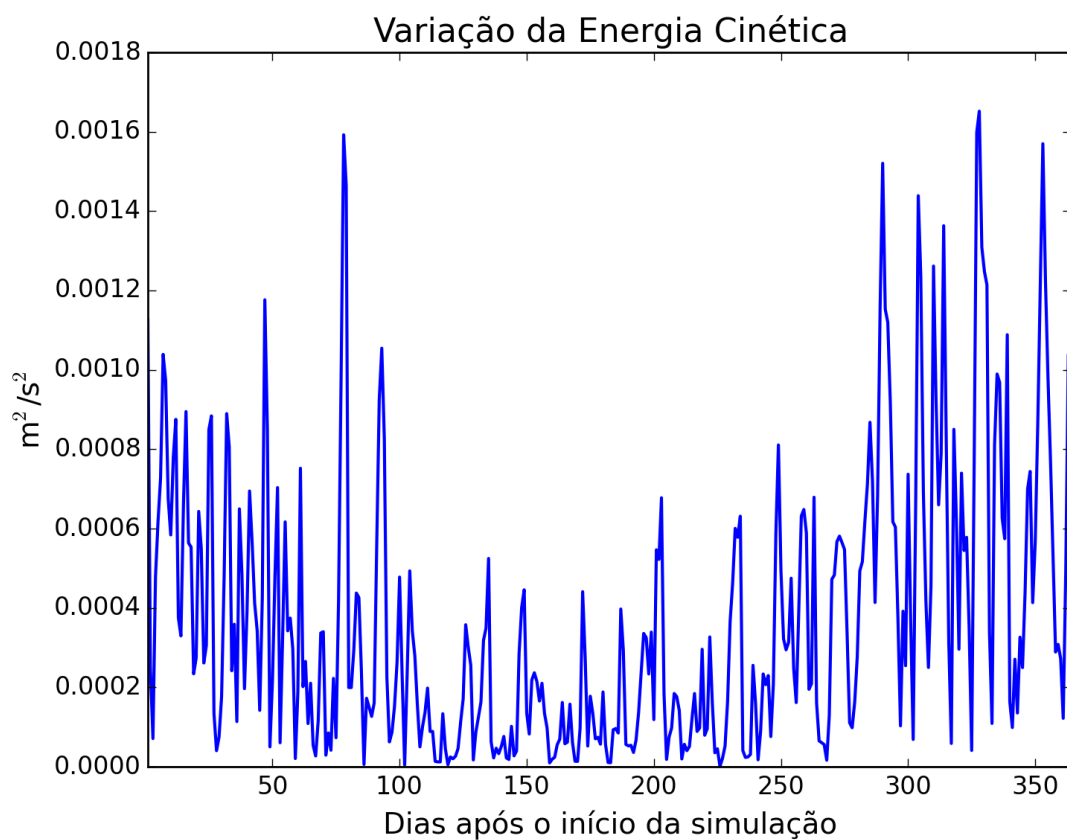


Figura 25: Variação da energia cinética média em superfície ao longo da simulação.

2.6. Avaliação do Modelo

Para que se possa saber se o comportamento de um modelo numérico 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 ROMS para estudos de circulação oceânica em diversas escalas, nos mais variados corpos d’água.

Para responder a segunda pergunta, foram realizadas diversas comparações entre dados medidos e os resultados obtidos pelo modelo, as quais são apresentadas a seguir.

2.6.1 Maré

Para comparar a elevação de maré calculada pelo modelo numérico com dados da região modelada foram escolhidas sete estações maregráficas (Torres – RS, Farol de Santa Marta – SC, Ponta da Galheta – PR, Ilha da Moela – SP, Fortaleza de Santa Cruz – RJ, Fundeio 1 Norte – RJ Oceânico e Vitória - ES) da FEMAR (Figura 26) situadas ao longo do domínio de modelagem. Estas estações foram escolhidas por estarem em regiões bem distintas entre si no interior do domínio de modelagem, tanto em regiões oceânicas, quanto em regiões costeiras e compreendendo os diferentes estados do Brasil.

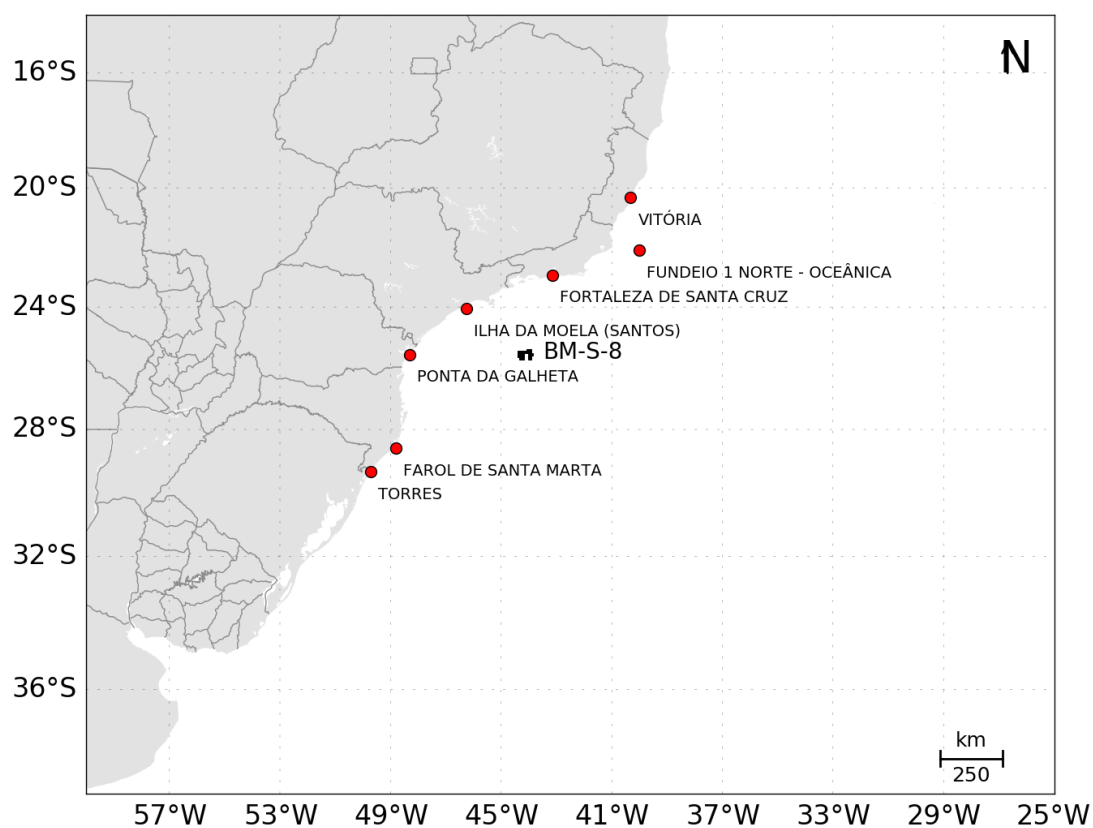


Figura 26: Localização das estações maregráficas da FEMAR, utilizadas na avaliação da representação da maré no modelo.

A partir das constantes harmônicas dessas estações foram realizadas previsões da elevação de maré para o período de simulação (janeiro de 2013 a janeiro de 2014). Séries de elevação do nível do mar nos pontos de grade mais próximos das estações foram obtidas e, a partir destas, foi realizada uma análise para se obter as mesmas constantes harmônicas utilizadas na reconstrução das séries da FEMAR e em seguida foram realizadas previsões da elevação da

maré para o mesmo período. Da Figura 27 a Figura 33 as comparações são apresentadas para todo o período de modelagem.

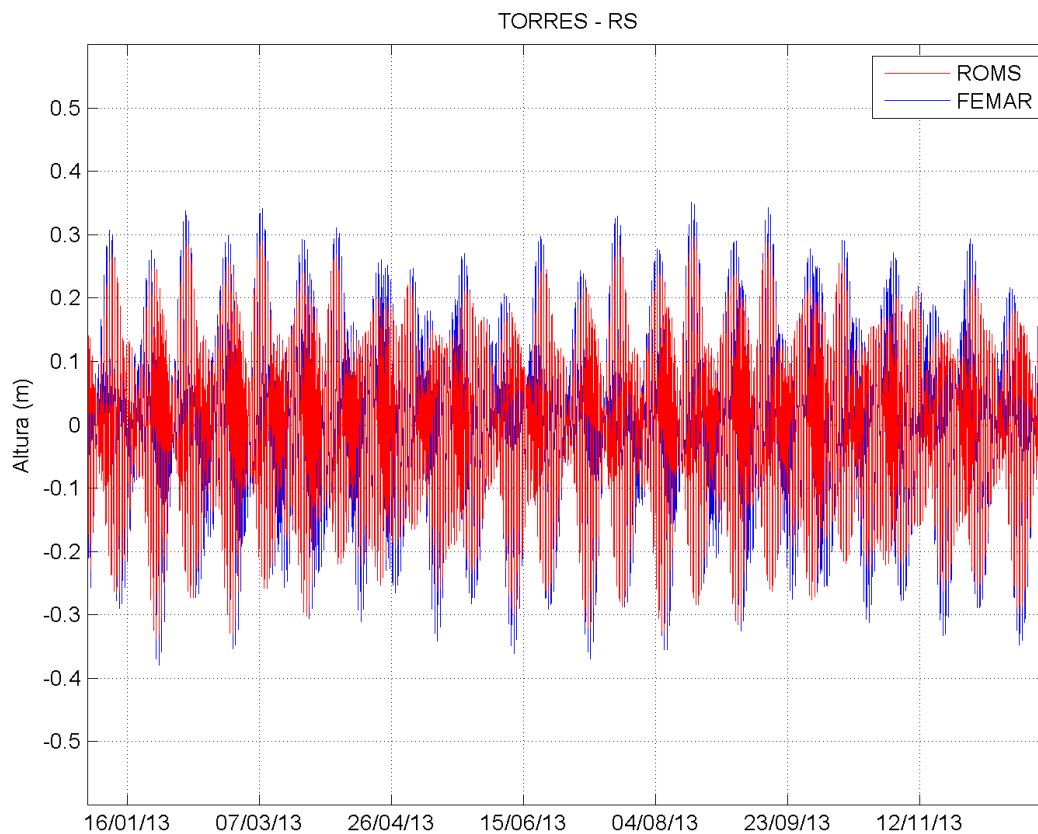


Figura 27: Comparação entre a série maregráfica da estação de Torres - RS (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

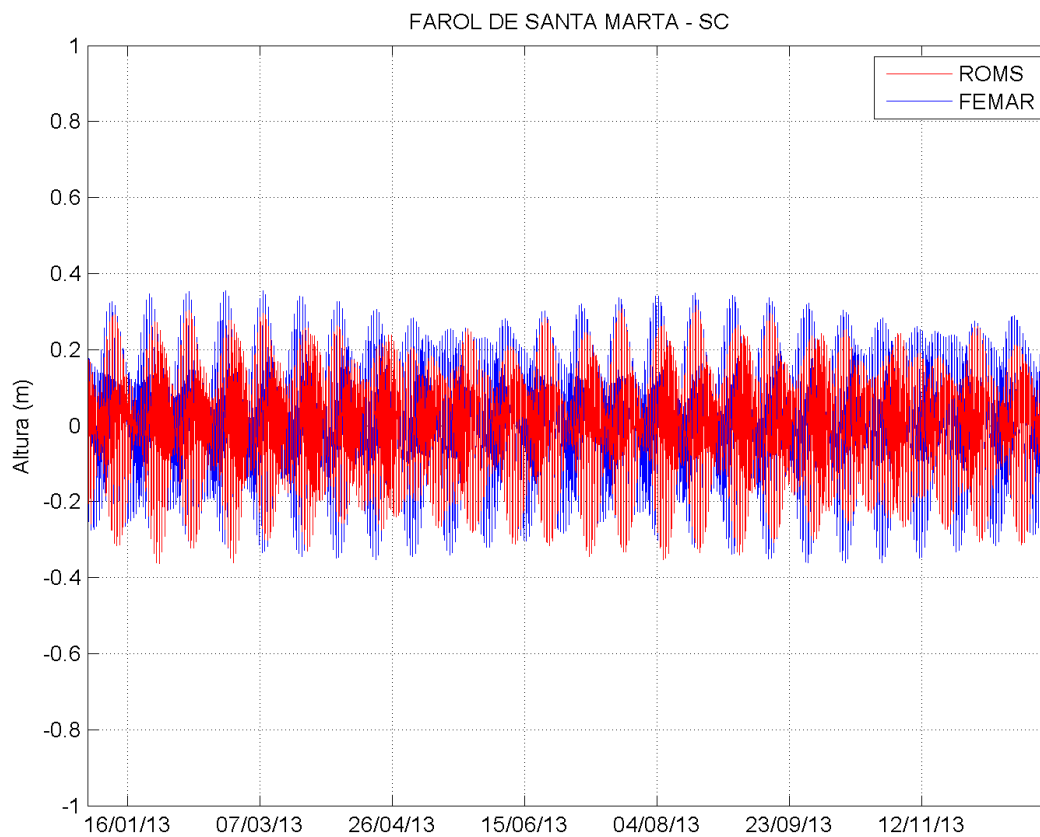


Figura 28: Comparação entre a série maregráfica da estação de Farol de Santa Marta - SC (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

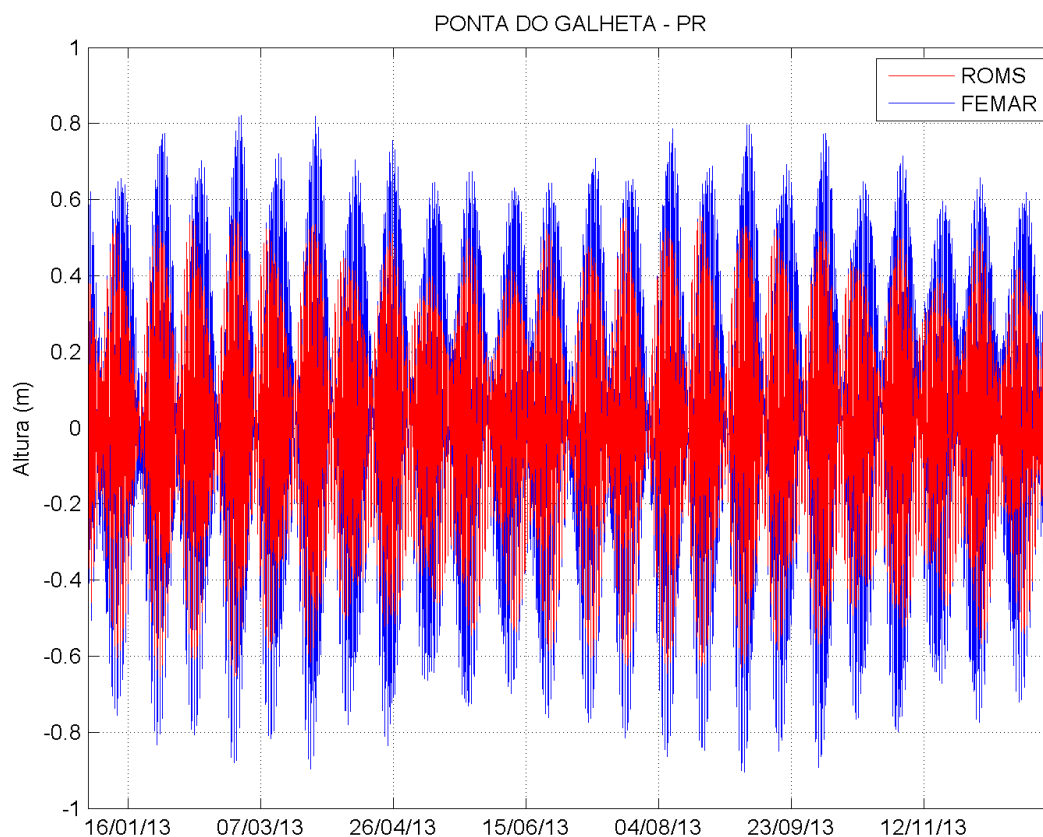


Figura 29: Comparação entre a série maregráfica da estação de Ponta da Galheta - PR (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

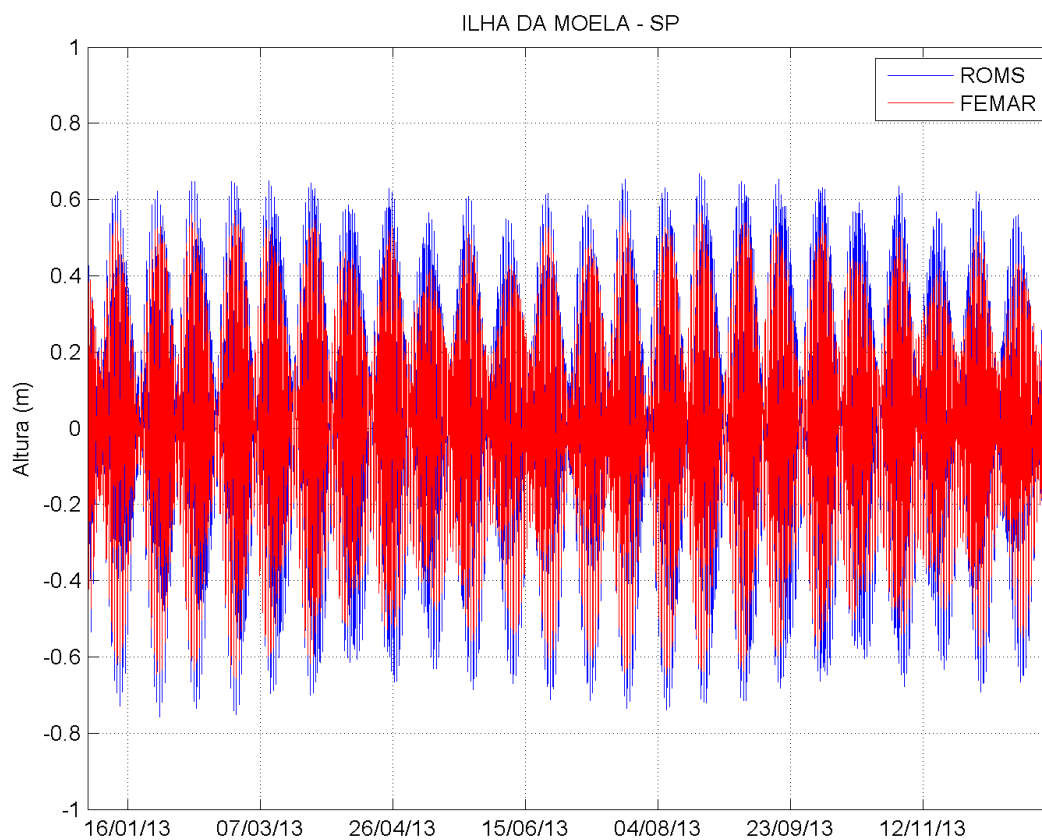


Figura 30: Comparação entre a série maregráfica da estação de Ilha da Moela - SP (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

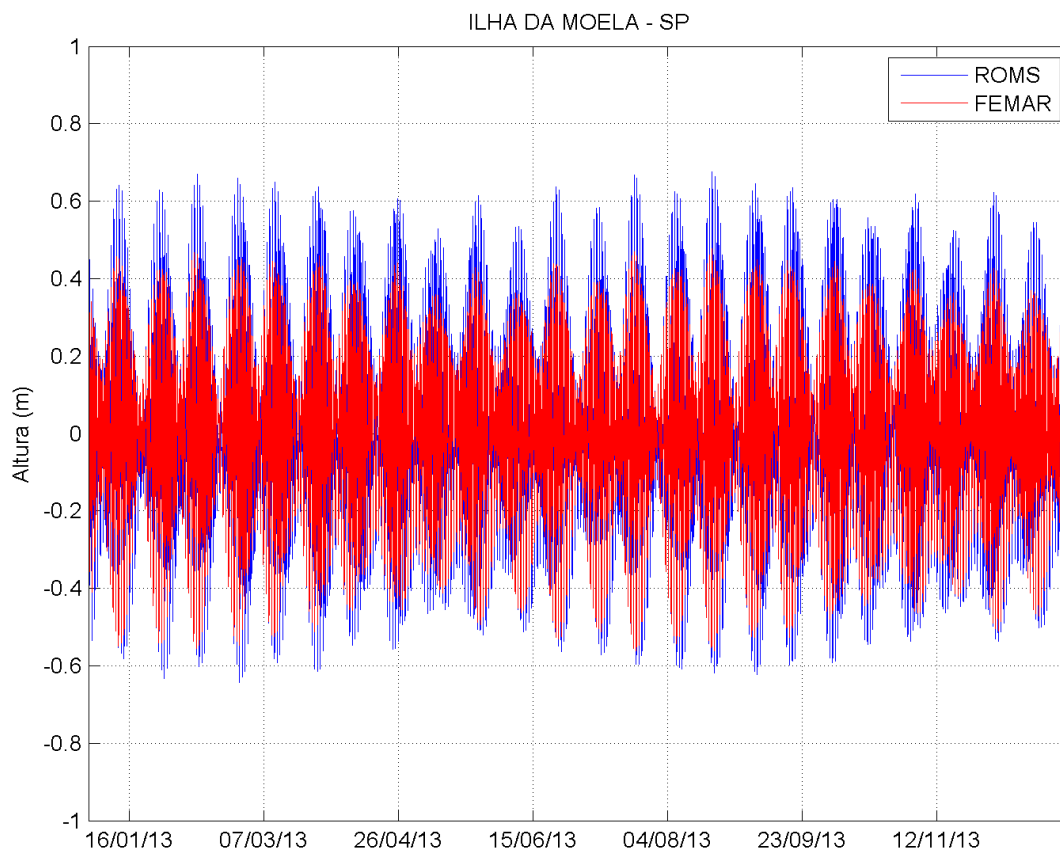


Figura 31: Comparação entre a série maregráfica da estação de Fortaleza de Santa Cruz - RJ (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

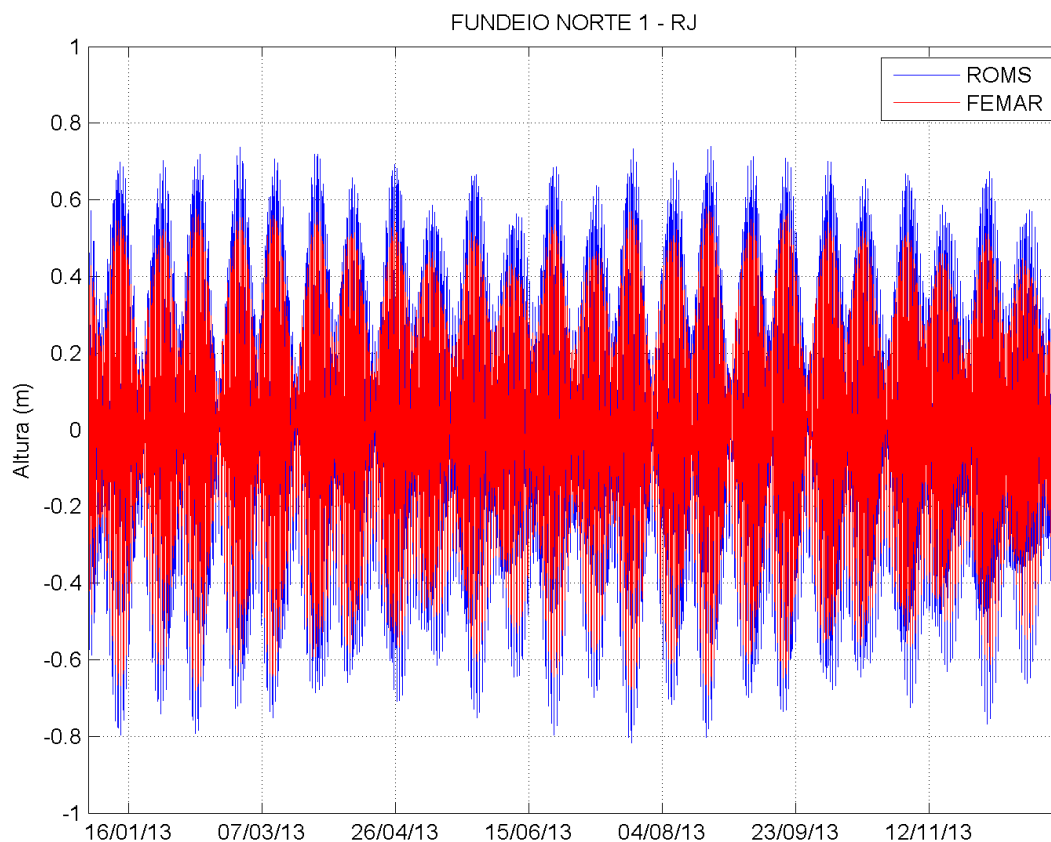


Figura 32: Comparação entre a série maregráfica da estação oceânica Fundeio 1 Norte - RJ (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

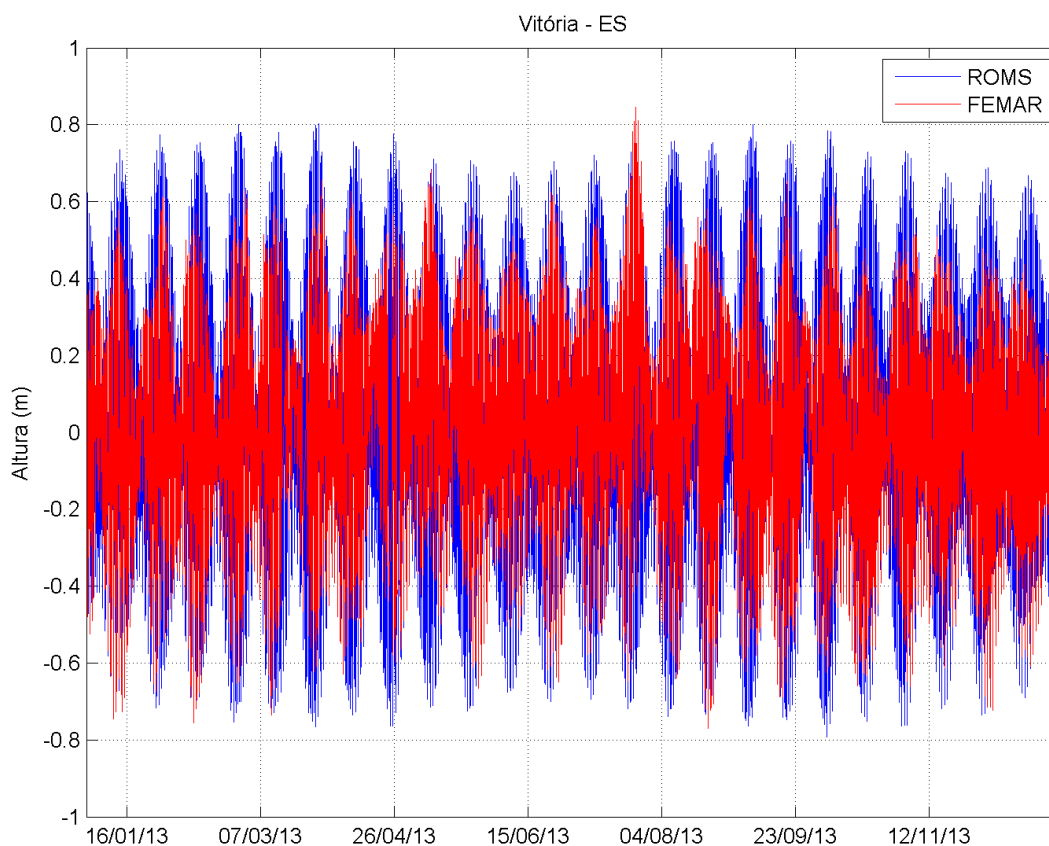


Figura 33: Comparação entre a série maregráfica da estação de Vitória - ES (azul) e calculada pelo modelo ROMS (vermelha), para o ponto mais próximo, para todo o período.

O método estatístico utilizado para a comparação foi o índice de concordância proposto por Wilmot (1982), que pode ser expresso por:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \right], 0 \leq d \leq 1, \quad (10)$$

Onde N é o número de observações, P é o resultado da simulação, O os dados observados, e P' representa a diferença entre os dados previstos e a média dos dados observados, e O' a diferença entre os dados observados e a sua média.

Esse índice estatístico reflete o quão acuradamente o parâmetro observado está sendo estimado pela variável simulada. O índice de concordância não é uma medida da correlação ou associação no sentido formal, mas uma medida do grau que o modelo é livre de erros. Ao mesmo tempo d é uma medida padronizada de modo que: (1) pode ser facilmente interpretada

e (2) comparações cruzadas de suas magnitudes podem ser realizadas independentemente das unidades e variáveis. Varia de 0 a 1 e quando este índice é igual a 1 significa que a concordância entre as séries é máxima e 0 indica completa discordância (WILMOT, 1982).

Os índices de concordância calculados para cada local são apresentados na Tabela 3. O melhor índice de concordância foi obtido para a estação de Torres (0,99), e o pior, na estação de Vitória (0,94). Pode-se concluir que a maré foi bem representada pelo ROMS.

Tabela 3: Comparação estatística entre os dados de elevação do ROMS e os dados medidos.

Local	D
Torres	0,99
Farol de Santa Marta	0,94
Ponta da Galheta	0,95
Ilha da Moela	0,97
Fortaleza de Santa Cruz	0,97
Fundeio 1 Norte	0,98
Vitória	0,93

2.6.2 Temperatura da Superfície do Mar

Da Figura 34 a Figura 45 são apresentadas as médias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) obtidas do ROMS para o período de janeiro de 2013 a janeiro de 2014, e as médias mensais da TSM obtida de dados satelitais disponibilizados pelo NCOF (*National Center for Ocean Forecast*) através do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*) para o mesmo período. Este produto abrange todo o globo e possui alta resolução (~6 km). O produto 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).

Para a comparação, os dados do OSTIA foram interpolados para a mesma grade do ROMS, como apresentado nas figuras a seguir.

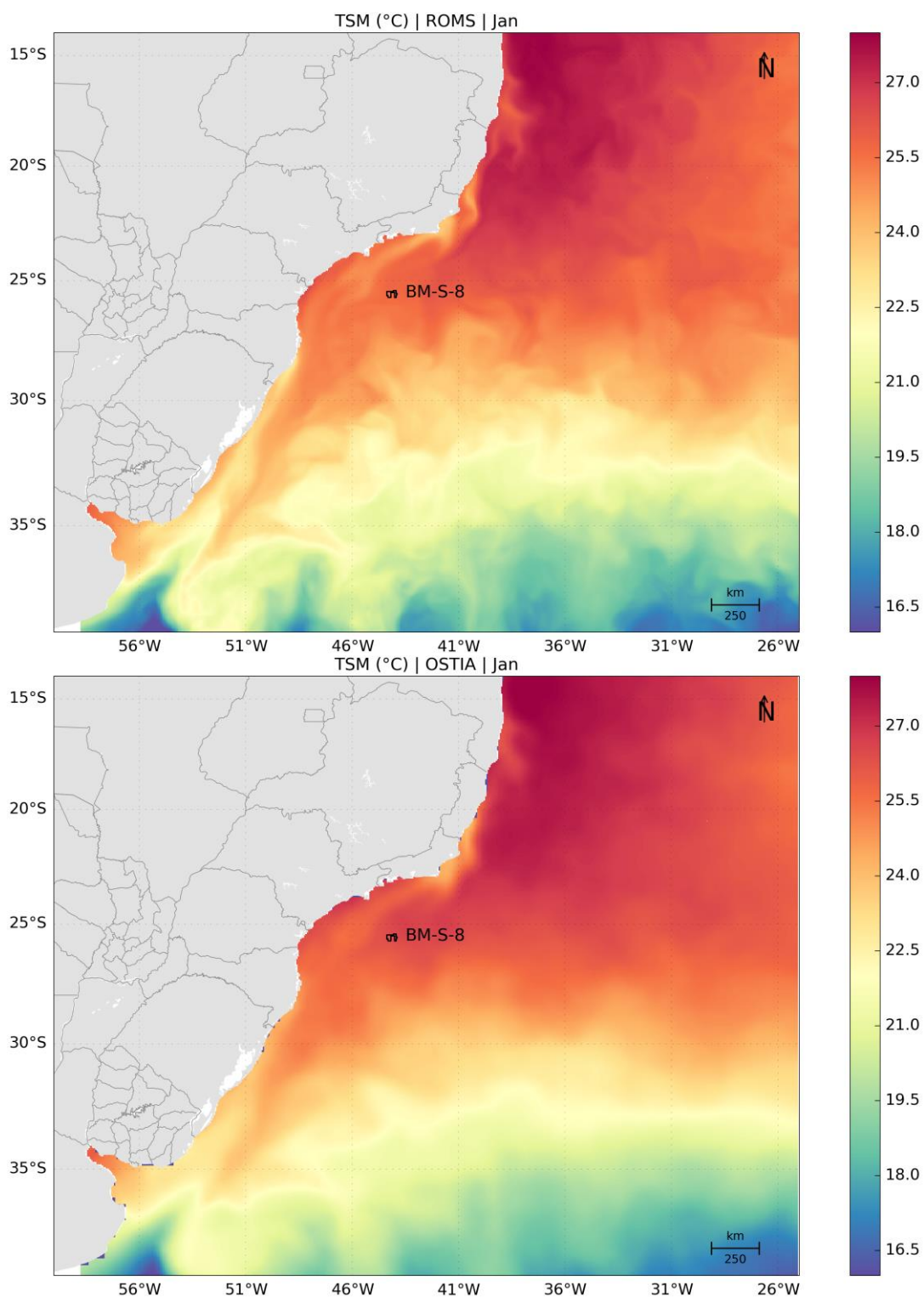


Figura 34: TSM média para janeiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

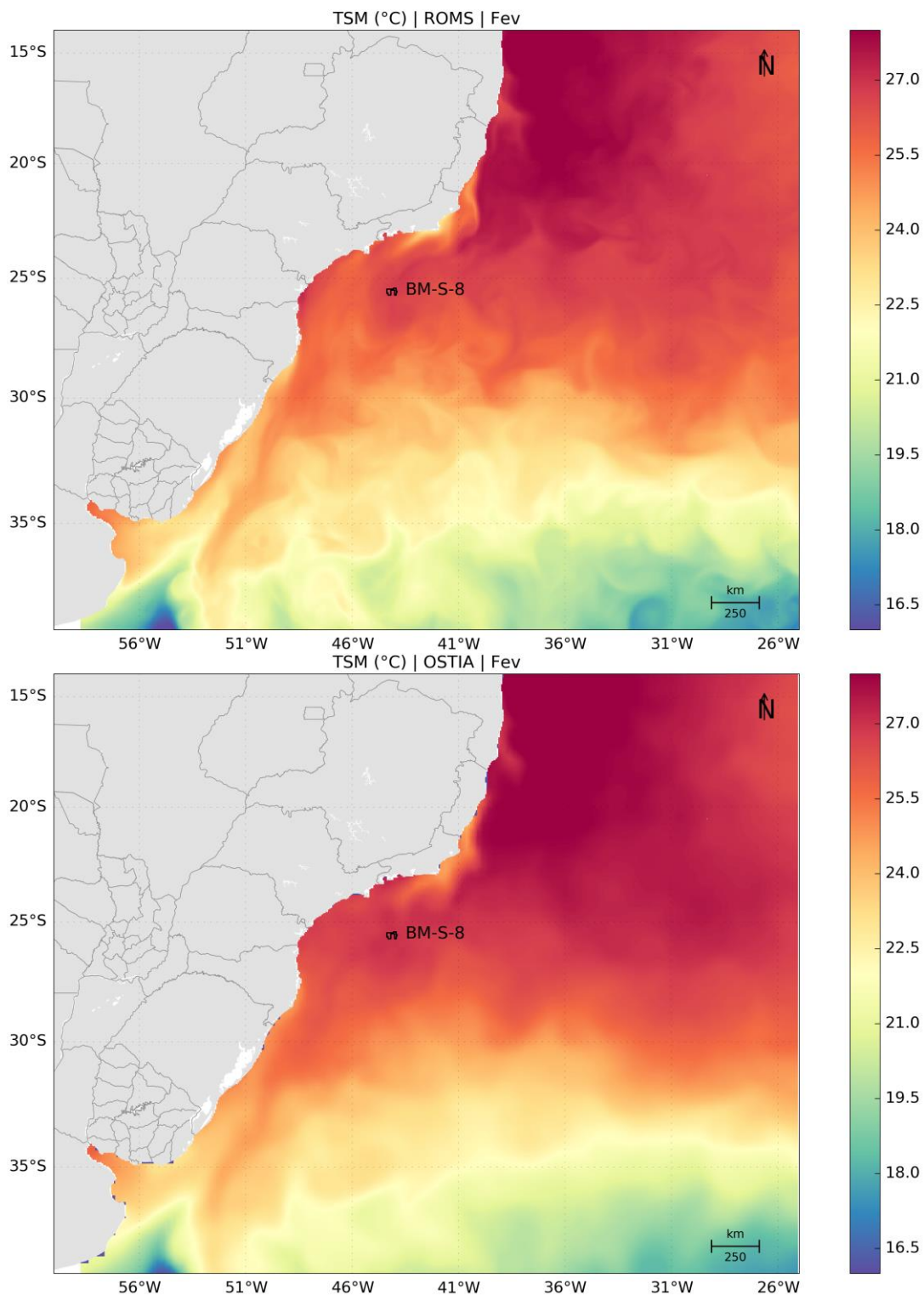


Figura 35: TSM média para fevereiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

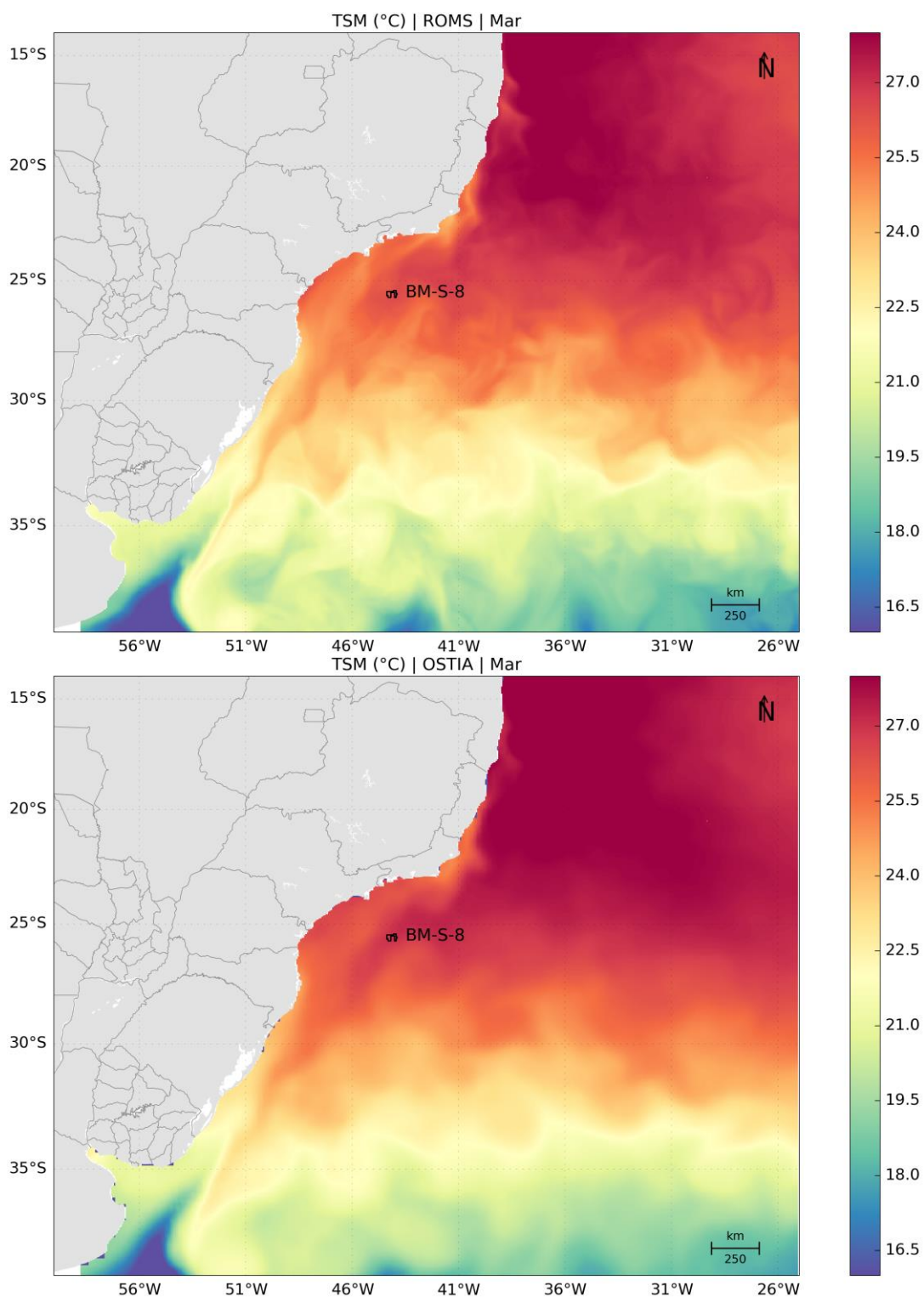


Figura 36: TSM média para março de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

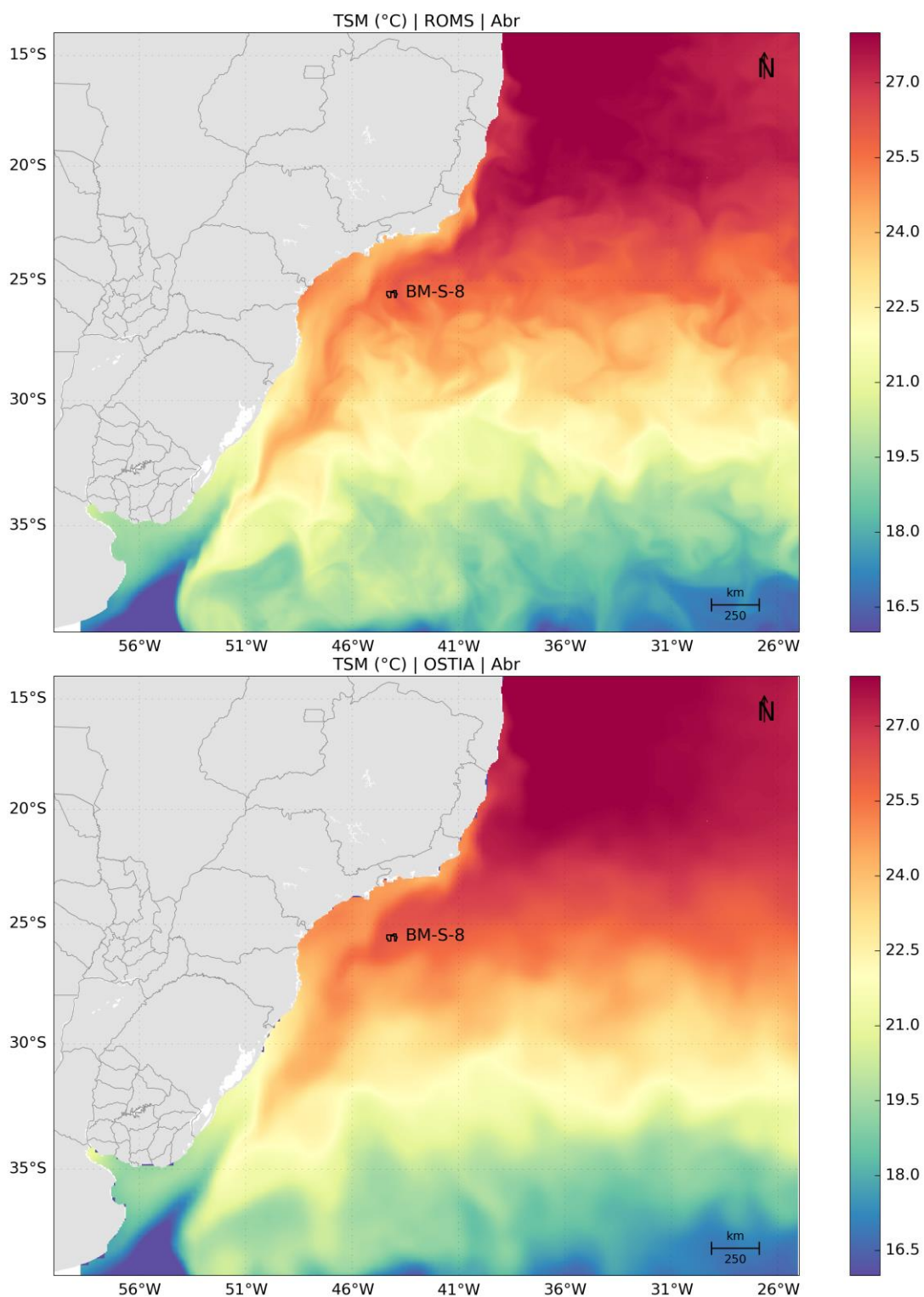


Figura 37: TSM média para abril de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

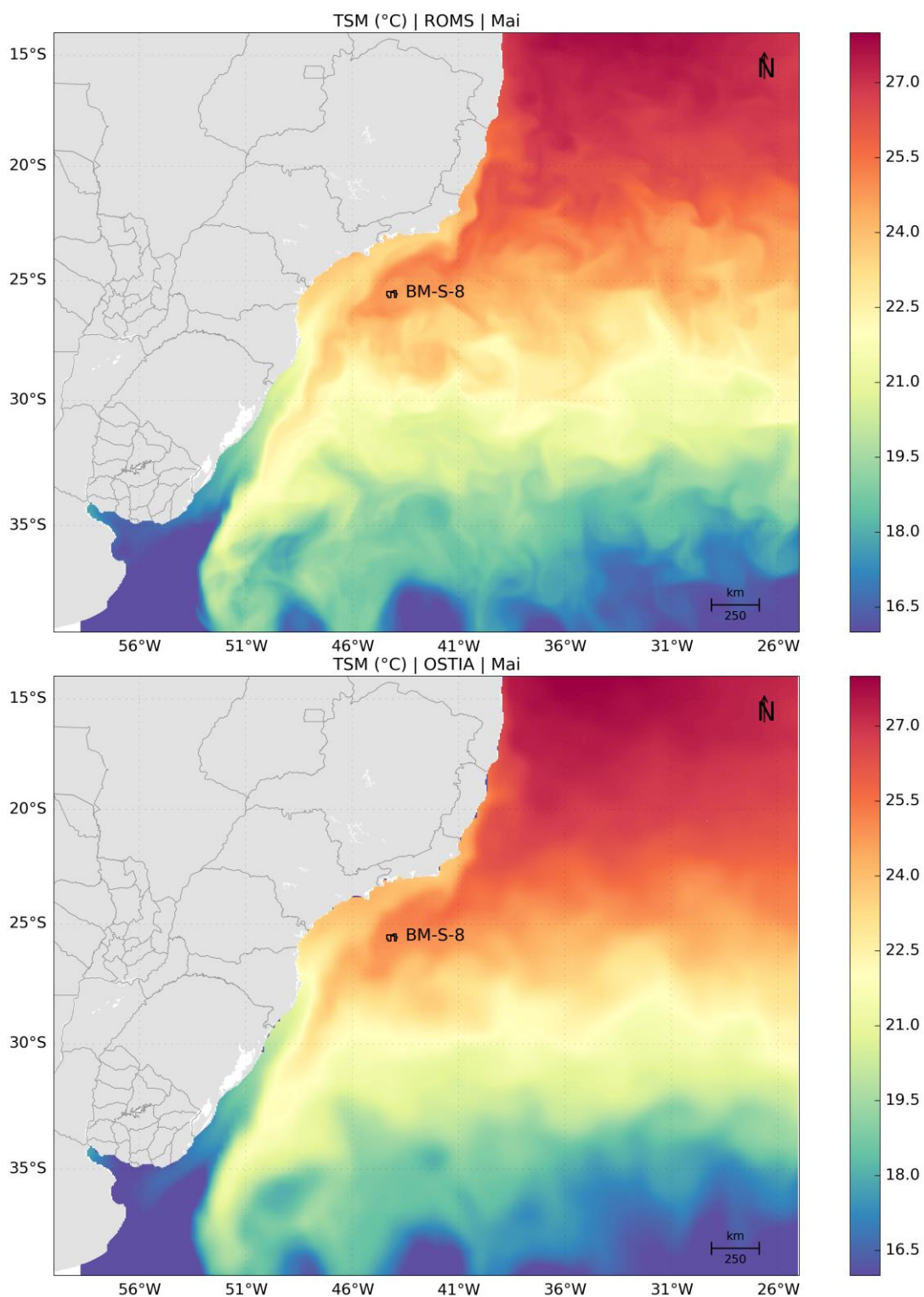


Figura 38: TSM média para maio de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

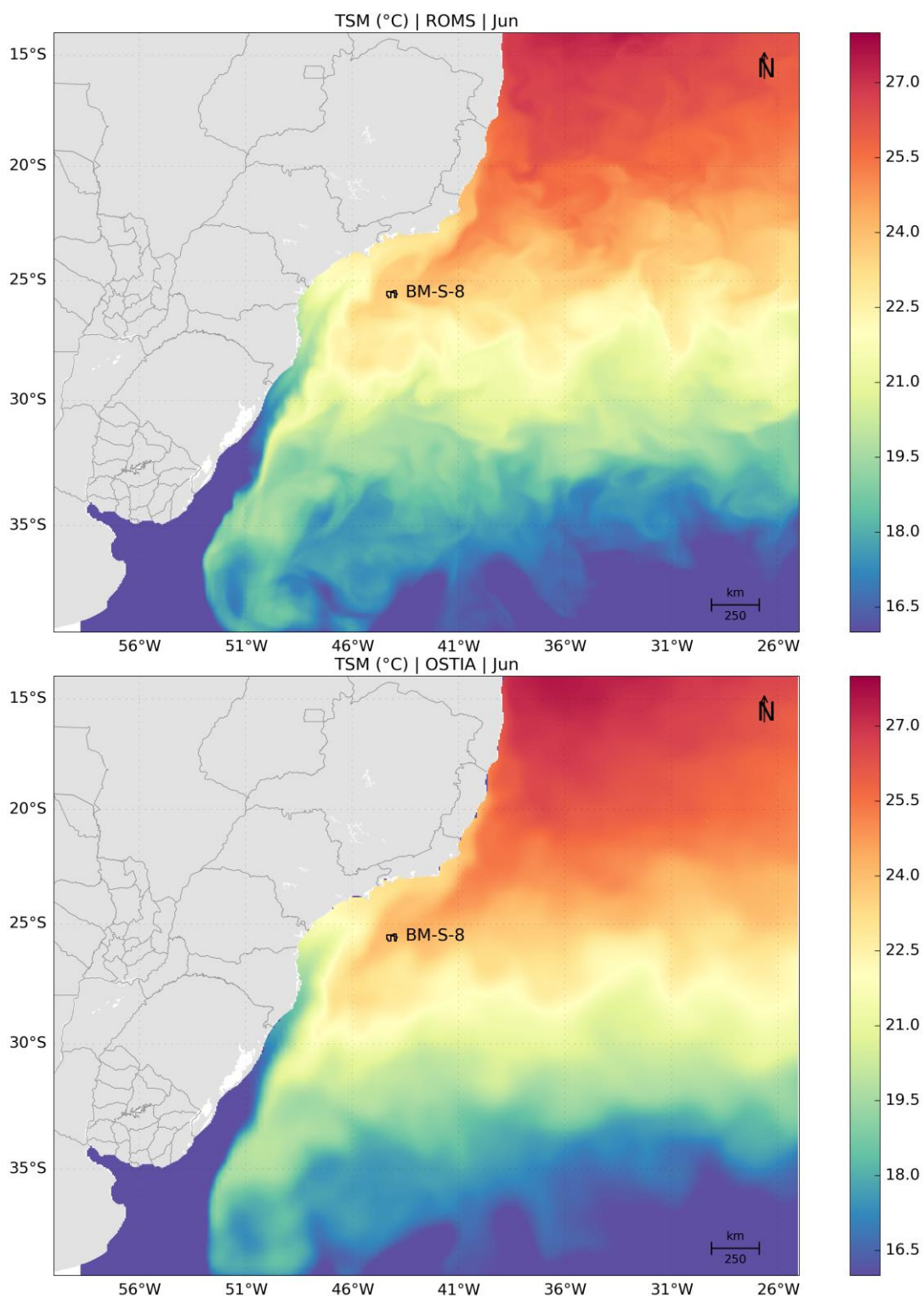


Figura 39: TSM média para junho de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

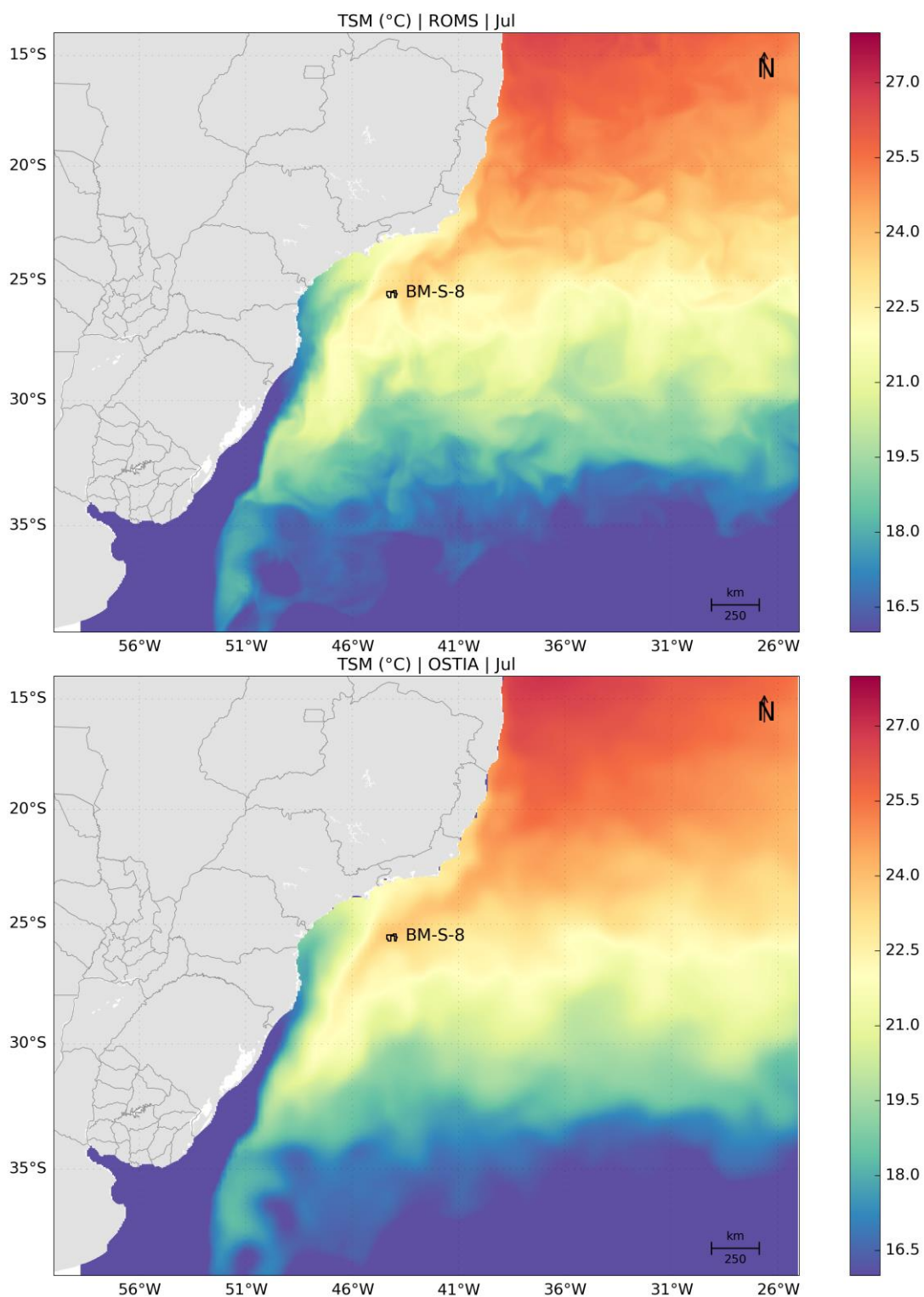


Figura 40: TSM média para julho de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

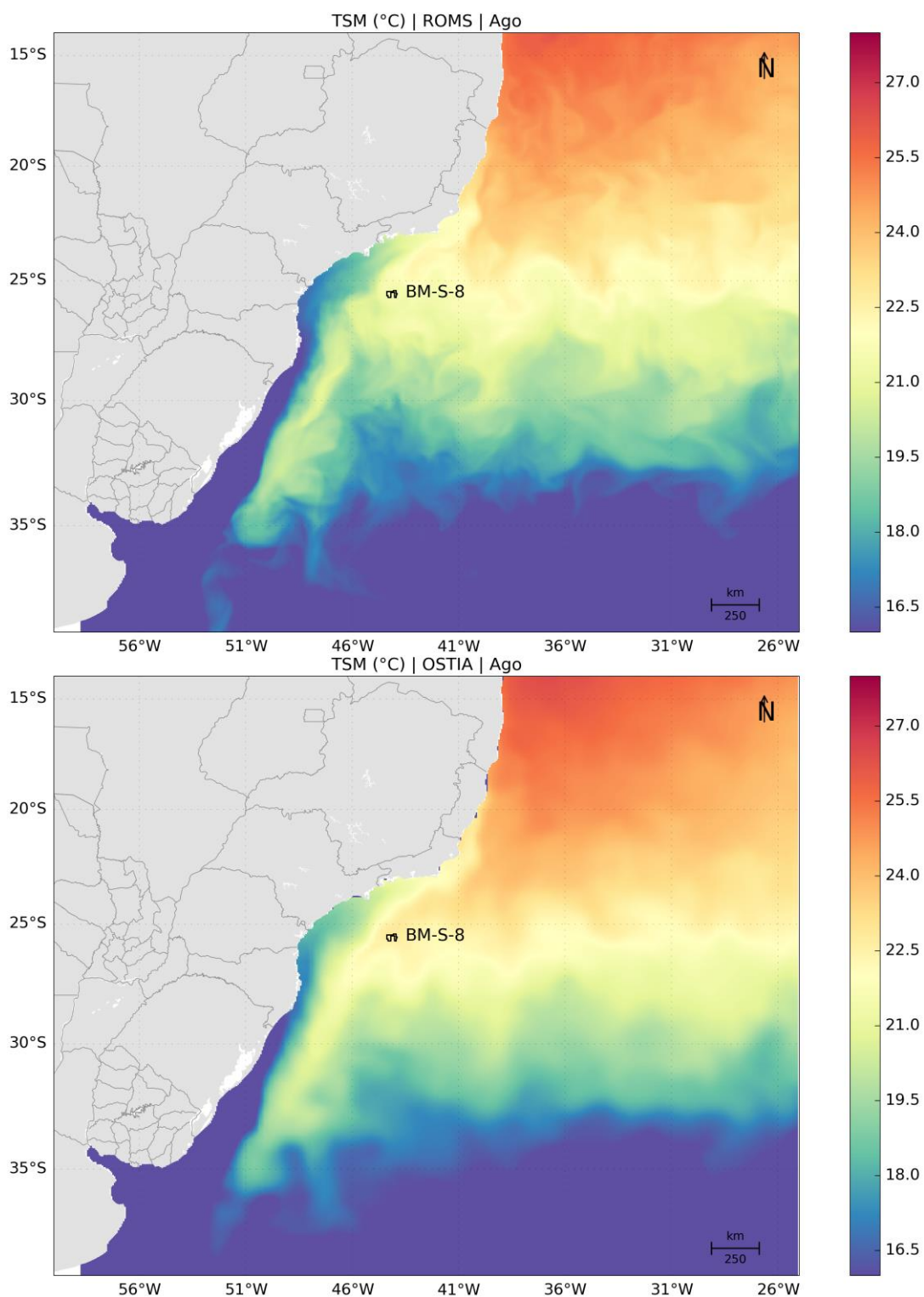


Figura 41: TSM média para agosto de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

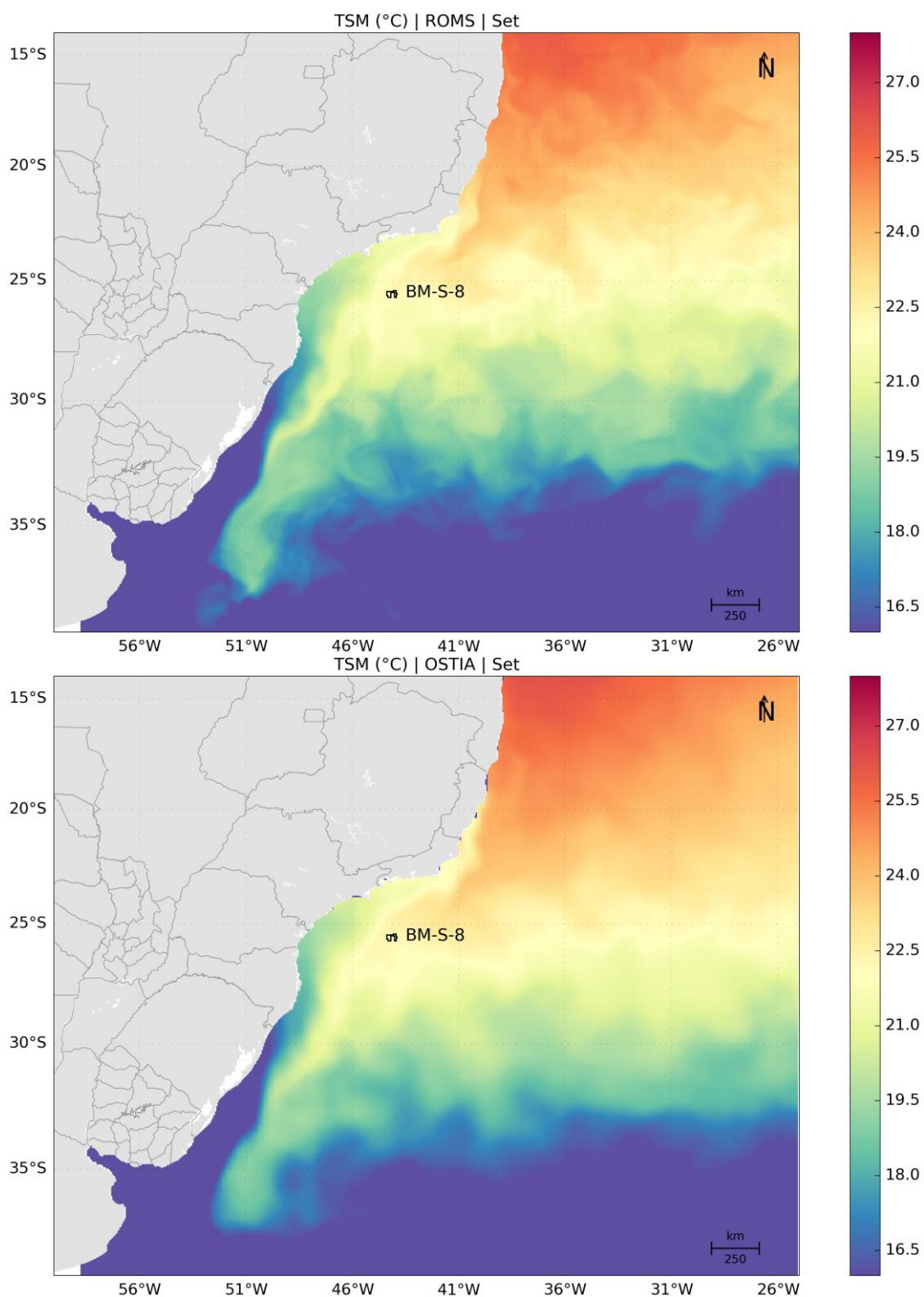


Figura 42: TSM média para setembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

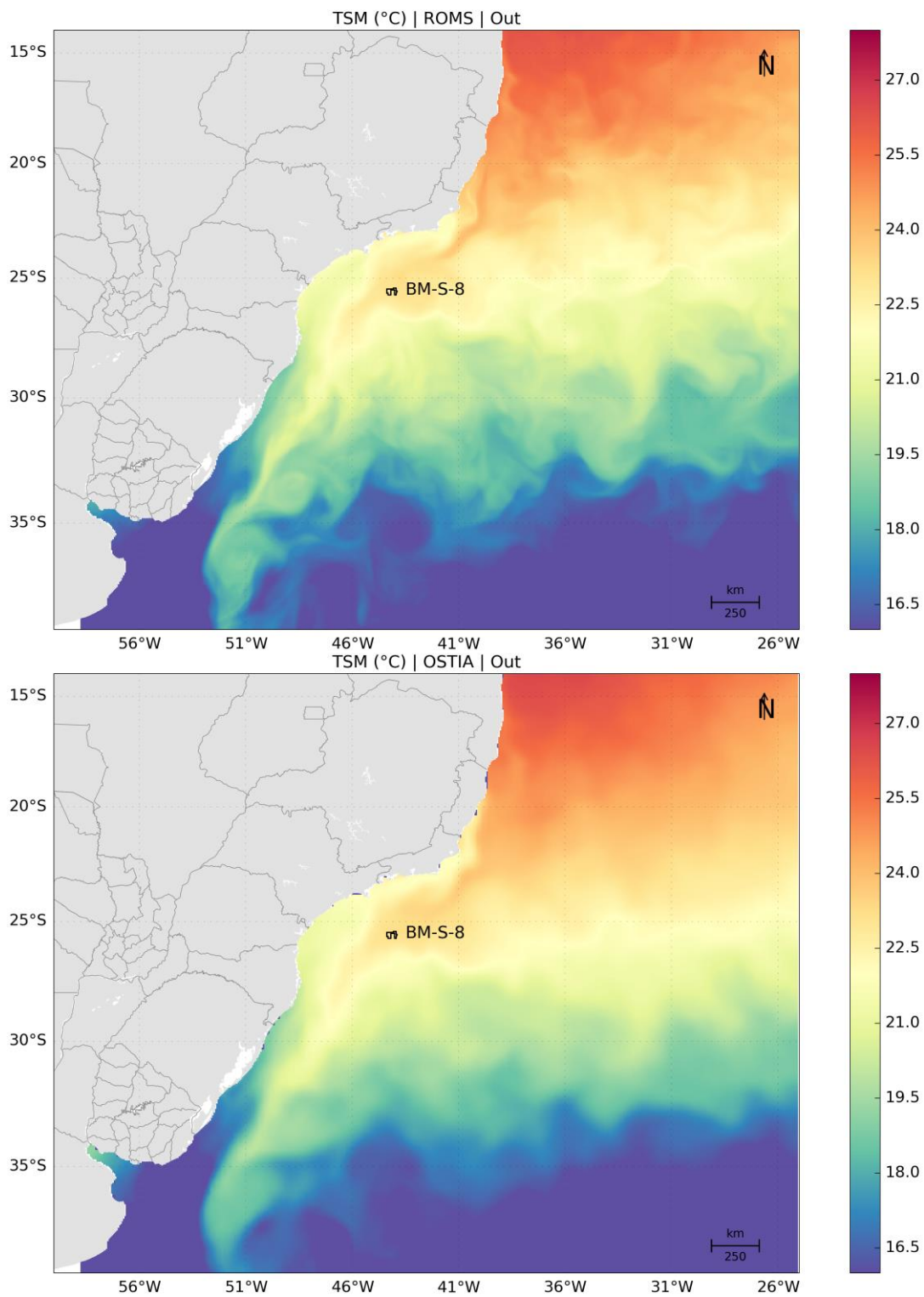


Figura 43: TSM média para outubro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

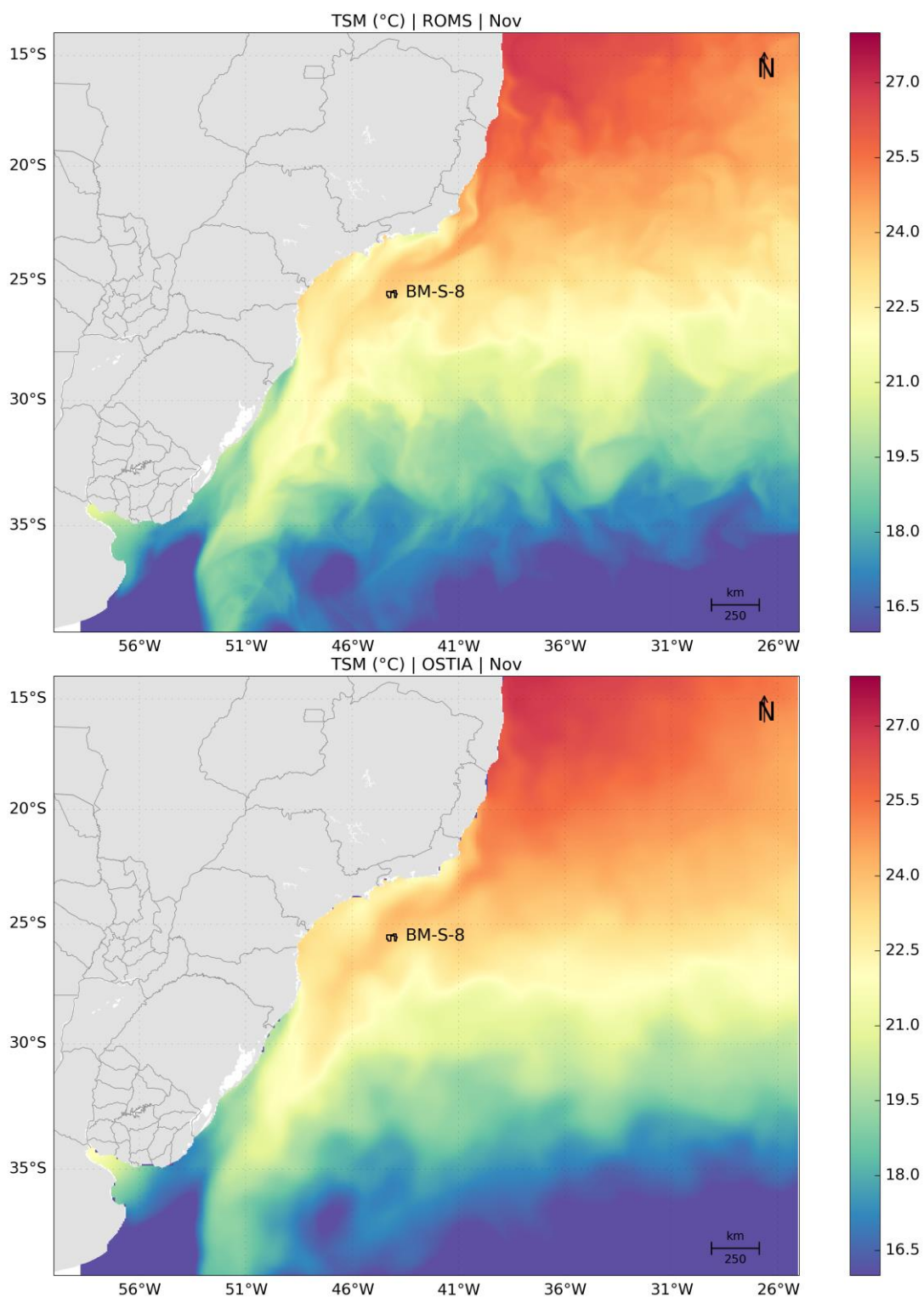


Figura 44: TSM média para novembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

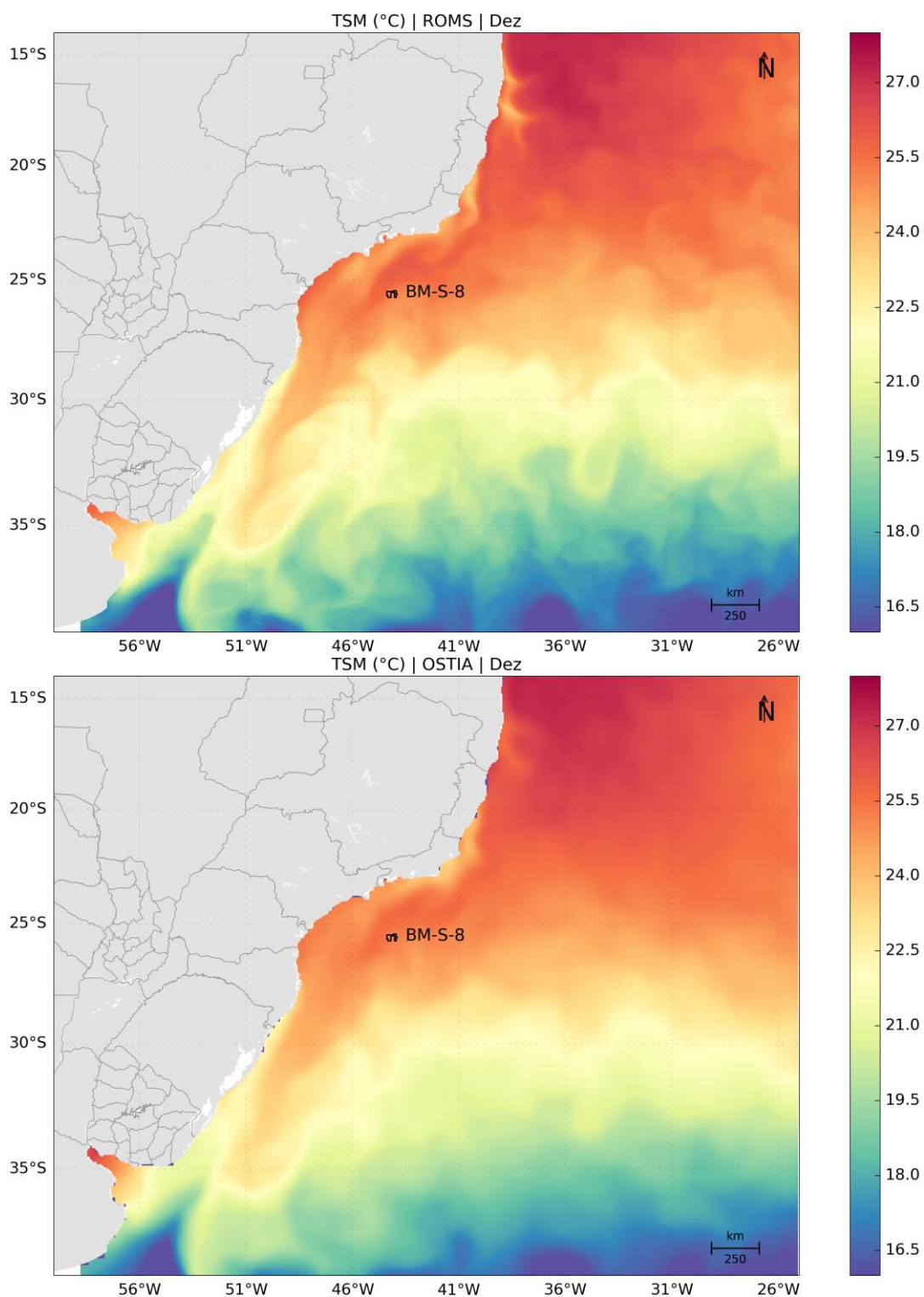


Figura 45: TSM média para dezembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (superior) e do OSTIA (inferior).

Em geral, verifica-se que os padrões da TSM foram bem representados pelo ROMS, embora haja, em alguns casos, uma subestimação da TSM nas regiões sobre a plataforma continental. A boa representação do campo de temperatura superficial do modelo é um excelente indicador da capacidade do modelo em representar a dinâmica da região, visto que a distribuição espacial da temperatura é influenciada fortemente pela advecção das correntes.

2.6.3 Estrutura Termohalina

Para avaliar a representação da estrutura vertical de temperatura e salinidade, na região de interesse, foram utilizados os dados da climatologia WOA13 (*World Ocean Atlas 13*) do *National Oceanographic Data Center* (NODC).

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA13 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 utilizar dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global com resolução espacial de $1/4^\circ$. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 102 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 1773 e 2013. Os dados da climatologia WOA13 podem ser obtidos através da sua página na internet (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>). Maiores informações sobre a bases climatológicas do WOA09 podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2013) e Zweng *et al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos de um ponto de grade localizado em $23,625^\circ\text{S}$ e $40,625^\circ\text{W}$, conforme apresentado na Figura 46.

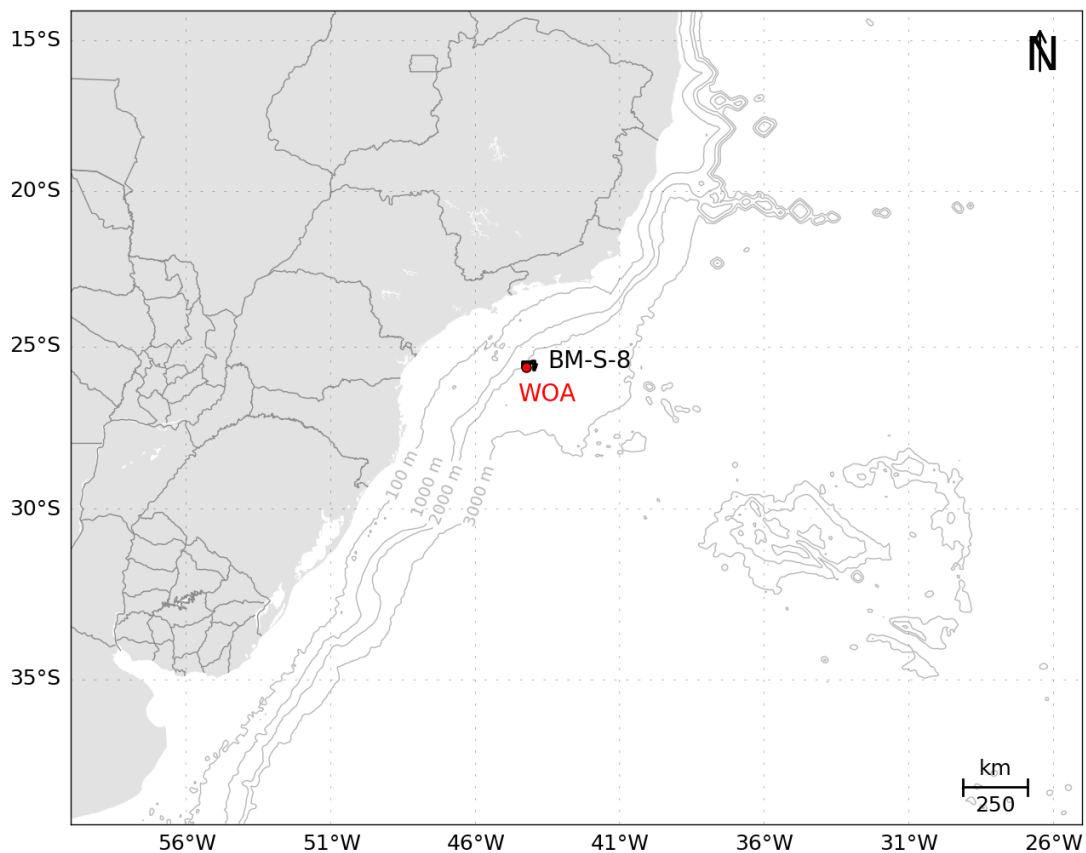


Figura 46: Localização do ponto de grade do WOA utilizado para as comparações.

Na Figura 47, que apresenta os perfis médios de temperatura e salinidade obtidos do WOA e do ROMS (todo período de modelagem), pode-se observar que o ROMS representou muito bem a estrutura vertical termohalina da região. Ao longo de toda a coluna d'água, os valores de temperatura e salinidade estiveram sempre muito próximos da climatologia.

Esta comparação é um indicativo de que houve uma boa representação da posição média das massas d'água na costa leste brasileira.

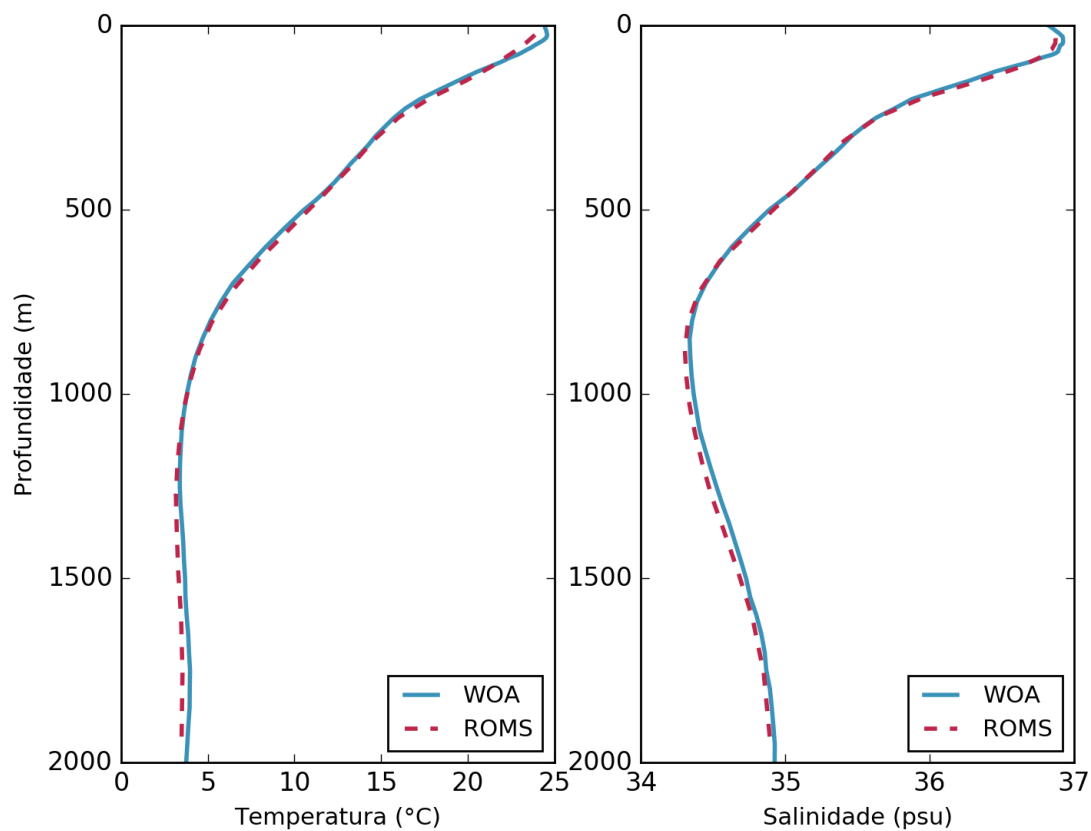


Figura 47: Perfis médios de temperatura e salinidade obtidos do WOA13.

2.6.4 Correntes

Para comparação das correntes, foram utilizados dados de derivadores lagrangianos de superfície do Projeto AZUL. Esse projeto consiste num sistema de observação oceânica para a Bacia de Santos nos moldes de sistemas similares ao redor do mundo e é fruto de uma parceria entre a BG BRASIL, a PROOCEANO e a COPPE/UFRJ. Com esse intuito, ele prevê a utilização de uma sofisticada tecnologia de coleta, disponibilização de dados em tempo real, computadores de alto desempenho e uma equipe multidisciplinar. Dentre as atividades propostas pelo projeto, ocorre o lançamento mensal de três derivadores do tipo SVP na Bacia de Santos, começando em março de 2013. Para o presente estudo, foram considerados os derivadores cuja trajetória está contida no domínio espacial e temporal da modelagem e que efetuaram transmissões por um período superior a duas semanas. Nesse contexto, 30 derivadores aparecem como relevantes para a comparação. A Tabela 4 agrupa as coordenadas do primeiro e último ponto onde cada derivador é encontrado no domínio espacial e temporal.

Tabela 4: Datas e coordenadas dos pontos iniciais e finais das trajetórias dos derivadores.

Derivador	Data Inicial	Longitude (°W)	Latitude (°S)	Data Final	Longitude (°W)	Latitude (°S)
1	05/03/2013	42,537	23,653	17/09/2013	42,035	25,619
2	06/03/2013	41,723	24,432	05/11/2013	41,900	36,237
3	06/03/2013	42,001	23,949	23/05/2013	45,334	26,517
4	26/03/2013	40,660	23,023	30/12/2013	34,261	33,135
5	27/03/2013	40,978	23,112	30/12/2013	43,681	23,440
6	27/03/2013	40,859	23,043	12/11/2013	48,459	36,567
7	15/05/2013	42,320	23,648	23/05/2013	41,755	32,627
8	15/05/2013	42,107	23,988	11/12/2013	52,240	31,973
9	14/05/2013	42,058	24,526	31/12/2013	41,872	39,000
10	01/10/2013	42,114	23,995	31/12/2013	49,903	28,482
11	15/06/2013	42,238	24,008	29/12/2013	45,972	22,937
12	25/10/2013	42,211	24,065	31/12/2013	47,329	30,542
13	20/07/2013	42,191	23,856	17/08/2013	42,347	23,843
14	28/08/2013	42,209	23,993	31/12/2013	39,544	26,380
15	15/06/2013	42,218	24,007	21/09/2013	46,094	25,480
16	15/06/2013	42,238	24,008	31/10/2013	45,480	28,527
17	28/08/2013	42,209	23,991	31/12/2013	37,077	30,781
18	25/10/2013	42,211	24,065	31/12/2013	48,084	32,953
19	01/10/2013	42,113	23,994	31/12/2013	49,628	26,245
20	28/08/2013	42,209	23,994	31/12/2013	46,744	23,583
21	28/11/2013	42,157	24,075	30/12/2013	45,932	28,782
22	20/07/2013	42,197	23,853	28/07/2013	41,856	37,407
23	25/10/2013	42,211	24,065	23/12/2013	49,145	30,950
24	20/07/2013	42,199	23,851	31/12/2013	49,673	25,996
25	01/10/2013	42,113	23,994	31/12/2013	49,963	23,403
26	28/11/2013	42,146	24,072	30/12/2013	45,808	23,631
27	19/12/2013	42,141	24,021	30/12/2013	42,396	23,648
28	19/12/2013	42,142	24,021	30/12/2013	43,163	28,756
29	19/12/2013	42,142	24,022	30/12/2013	43,166	25,619
30	28/11/2013	42,144	24,072	30/12/2013	46,694	36,237

Os dados transmitidos pelos derivadores passaram por um controle de qualidade baseado na técnica *forward & backward* (HANSEN; POULAIN, 1996) visando eliminar transmissões espúrias. O critério de corte foram velocidades superiores a 2,5 m/s, sendo identificados e removidos os dados de posição transmitidos que levassem a valores de velocidade superiores a este limiar.

Para fins de comparação foram usados os dados de velocidade dos derivadores, espaçados de 6h, no período em que estes permaneceram no domínio de modelagem, e a velocidade das correntes nos pontos de grade mais próximos da posição do derivador e no mesmo instante temporal.

A seguir, da Figura 48 a Figura 77 são apresentadas as trajetórias descritas pelos 30 derivadores, durante o período no qual estes permaneceram dentro do domínio de modelagem e as comparações entre as componentes zonais e meridionais das correntes medidas pelos derivadores, e calculadas pelo ROMS.

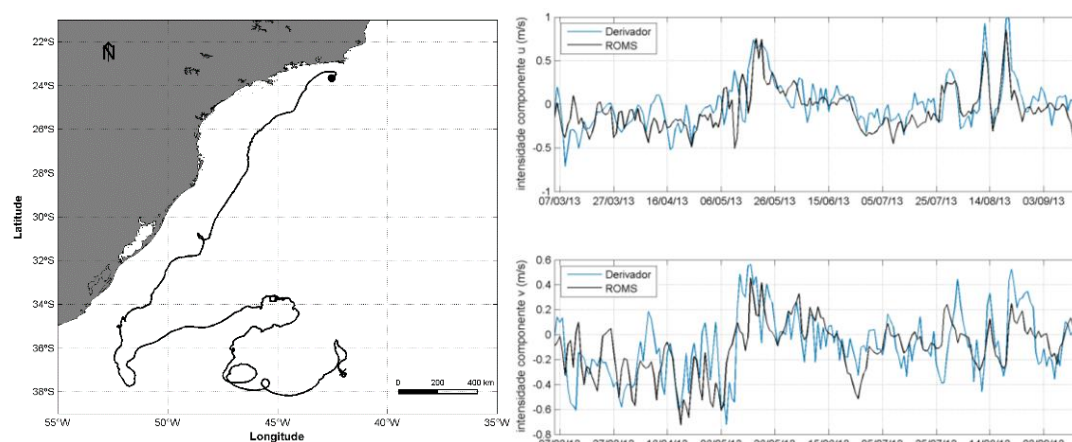


Figura 48: Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).

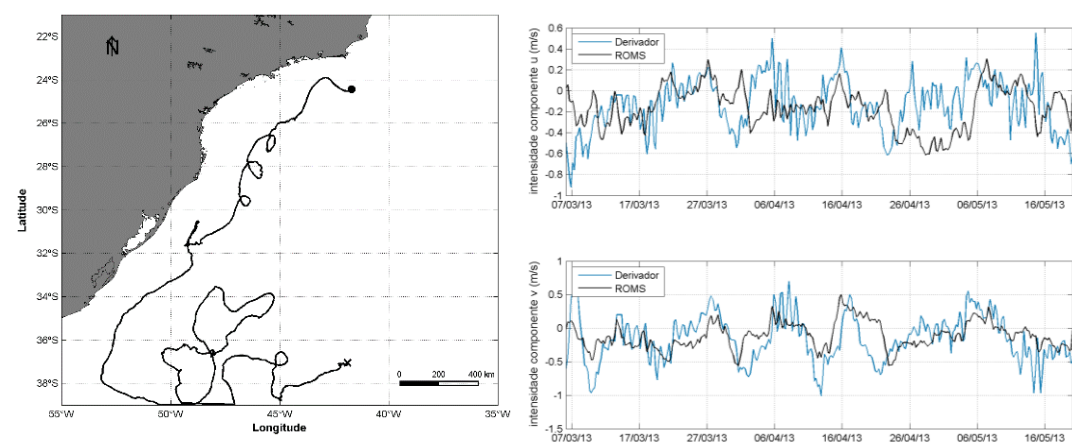


Figura 49: Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita).

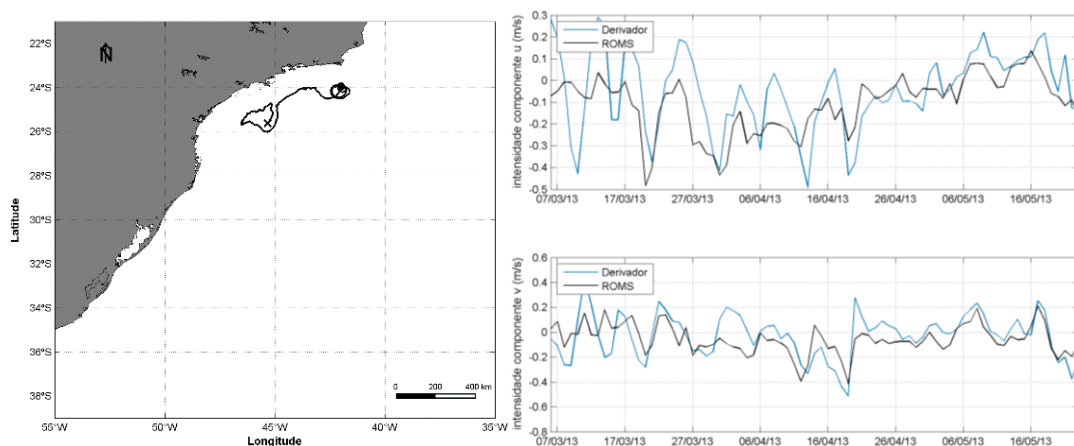


Figura 50: Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).

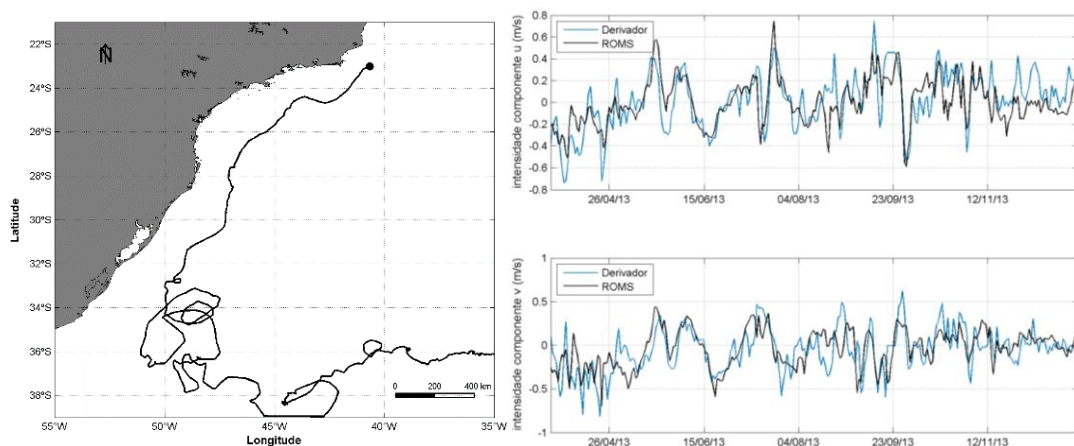


Figura 51: Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).

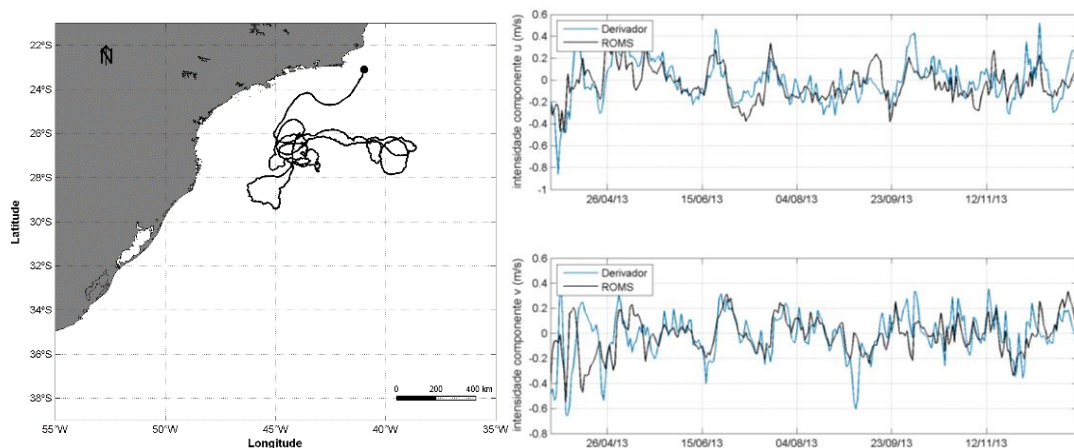


Figura 52: Trajetória descrita pelo dor 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).

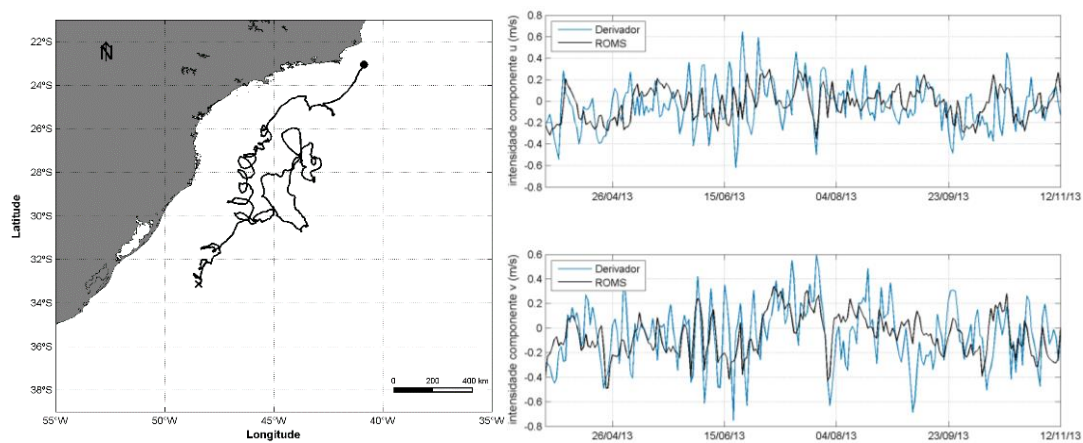


Figura 53: Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).

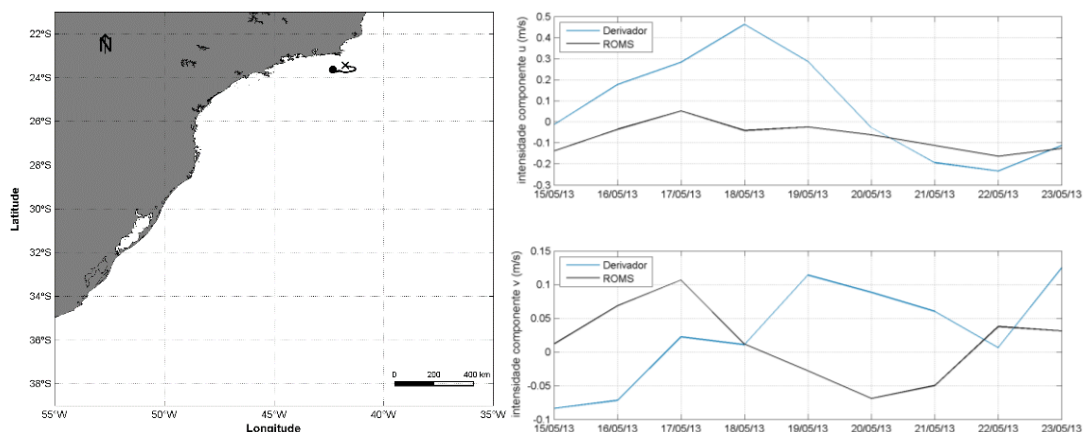


Figura 54: Trajetória descrita pelo derivador 07 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 07 e os resultados do ROMS (direita).

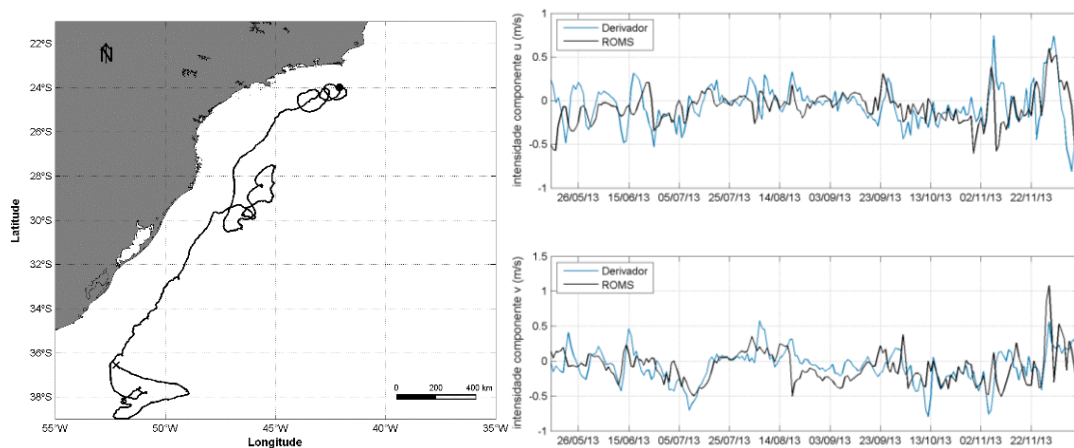


Figura 55: Trajetória descrita pelo derivador 08 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 08 e os resultados do ROMS (direita).

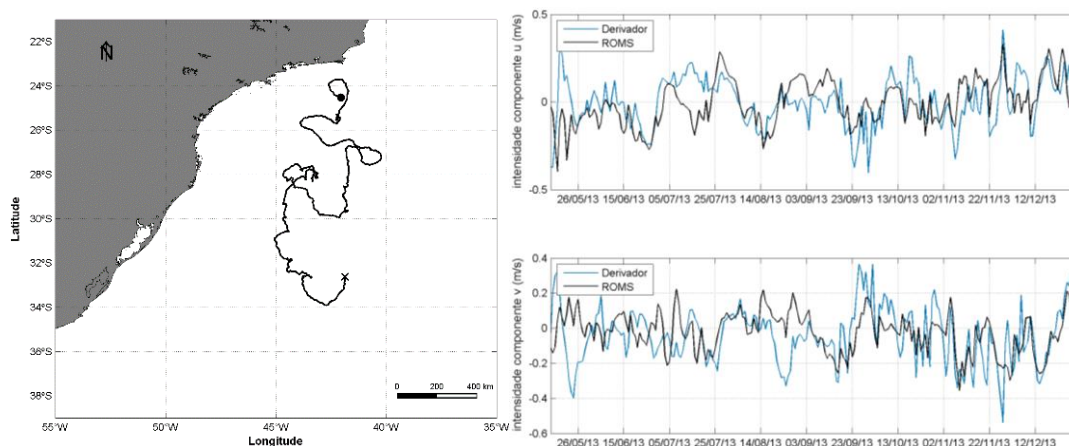


Figura 56: Trajetória descrita pelo derivador 09 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 09 e os resultados do ROMS (direita).

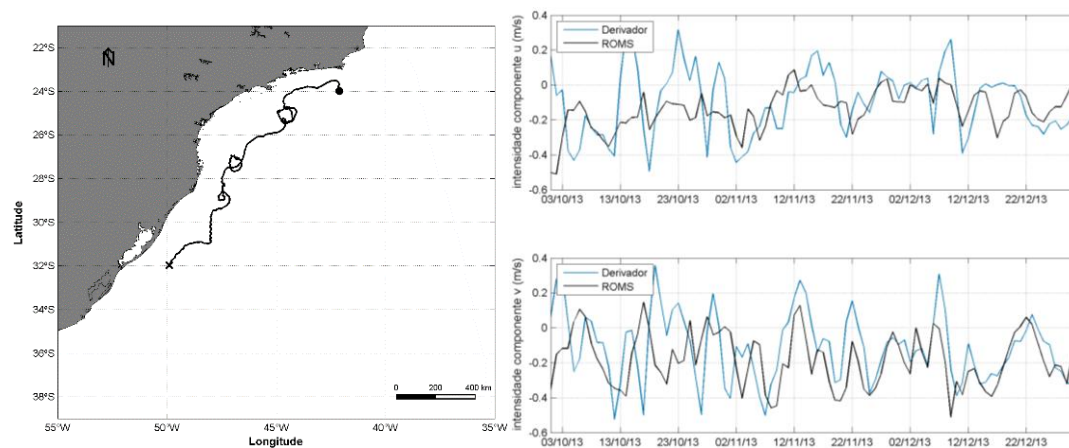


Figura 57: Trajetória descrita pelo derivador 10 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 10 e os resultados do ROMS (direita).

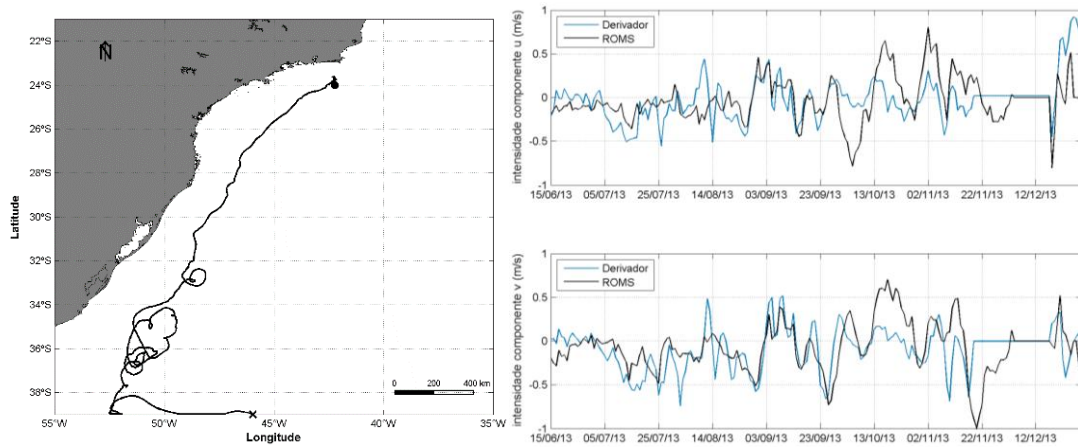


Figura 58: Trajetória descrita pelo derivador 11 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 11 e os resultados do ROMS (direita).

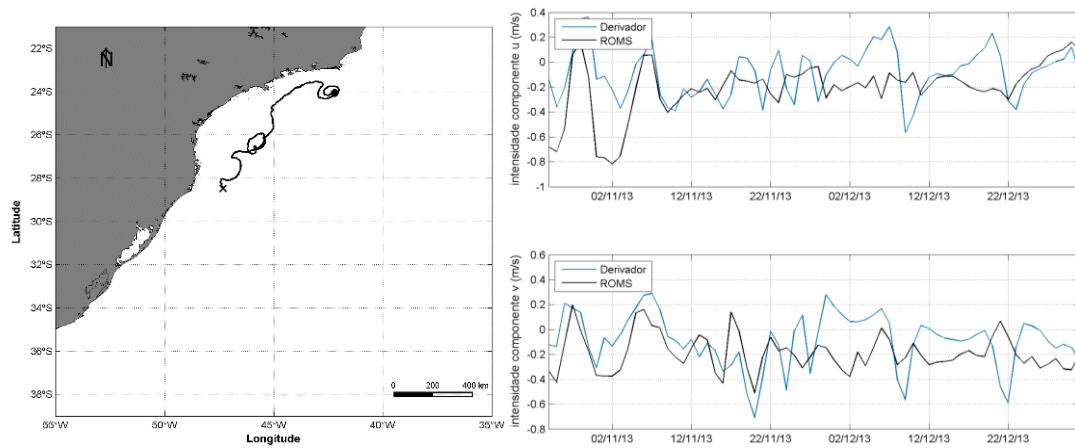


Figura 59: Trajetória descrita pelo derivador 12 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 12 e os resultados do ROMS (direita).

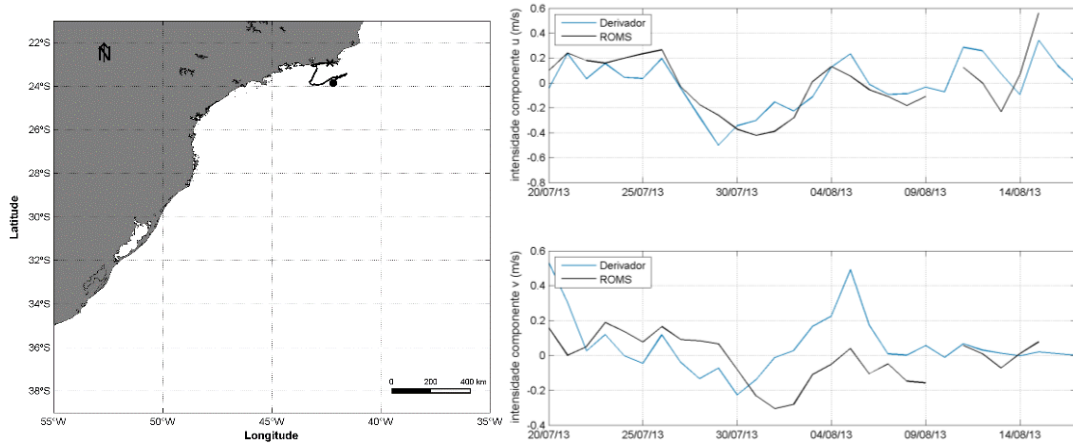


Figura 60: Trajetória descrita pelo derivador 13 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 13 e os resultados do ROMS (direita).

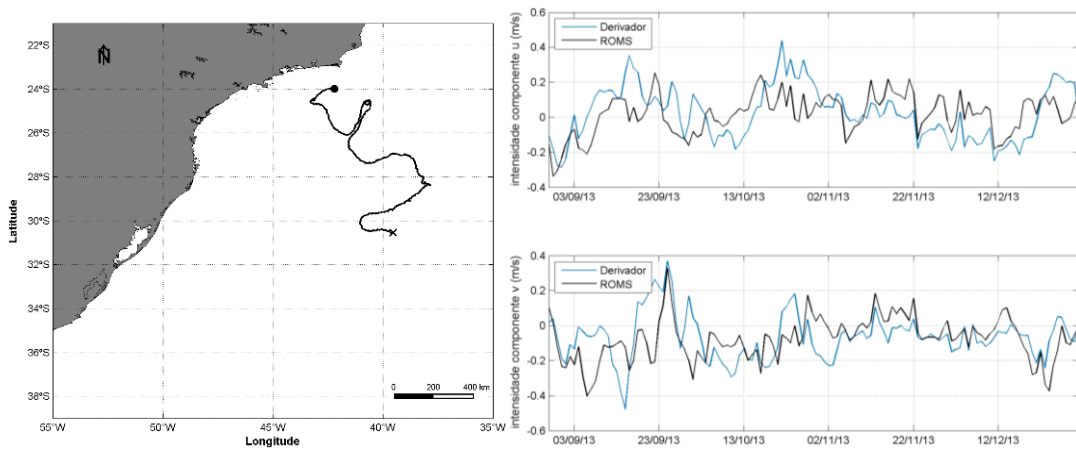


Figura 61: Trajetória descrita pelo derivador 14 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 14 e os resultados do ROMS (direita).

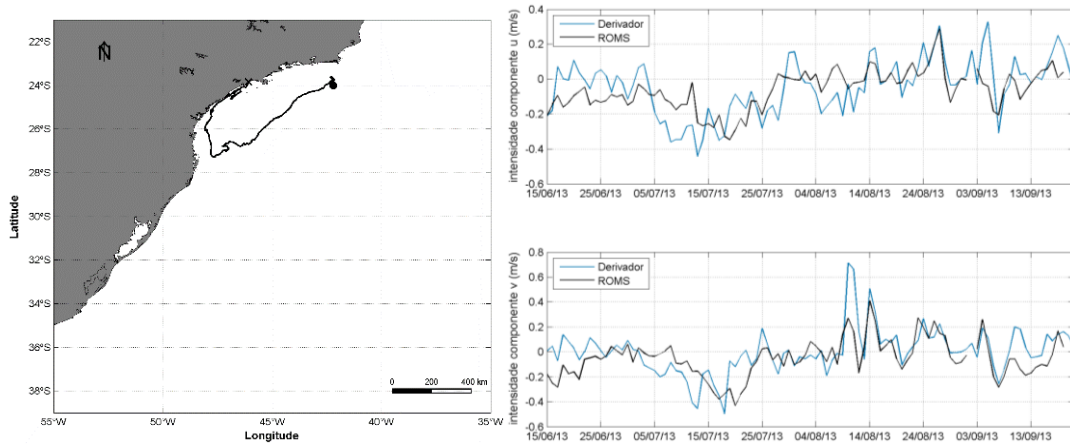


Figura 62: Trajetória descrita pelo derivador 15 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 15 e os resultados do ROMS (direita).

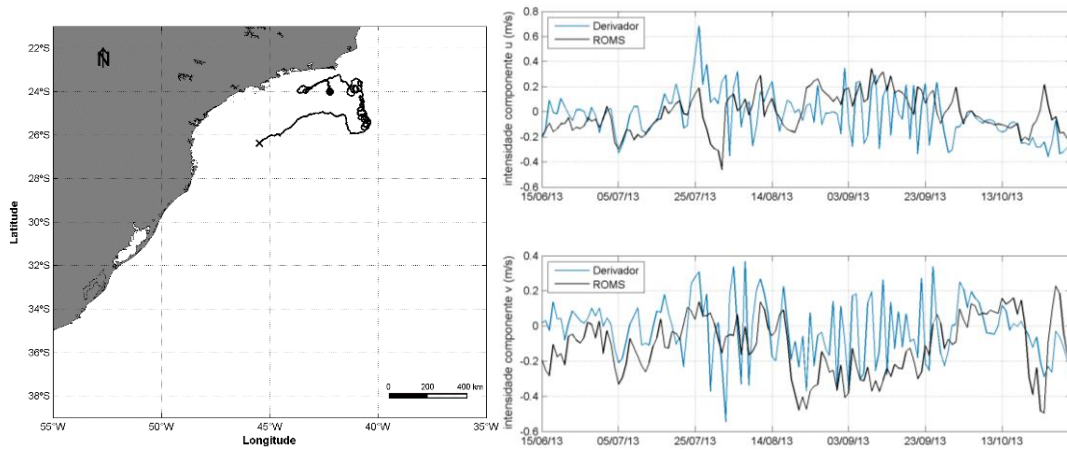


Figura 63: Trajetória descrita pelo derivador 16 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 16 e os resultados do ROMS (direita).

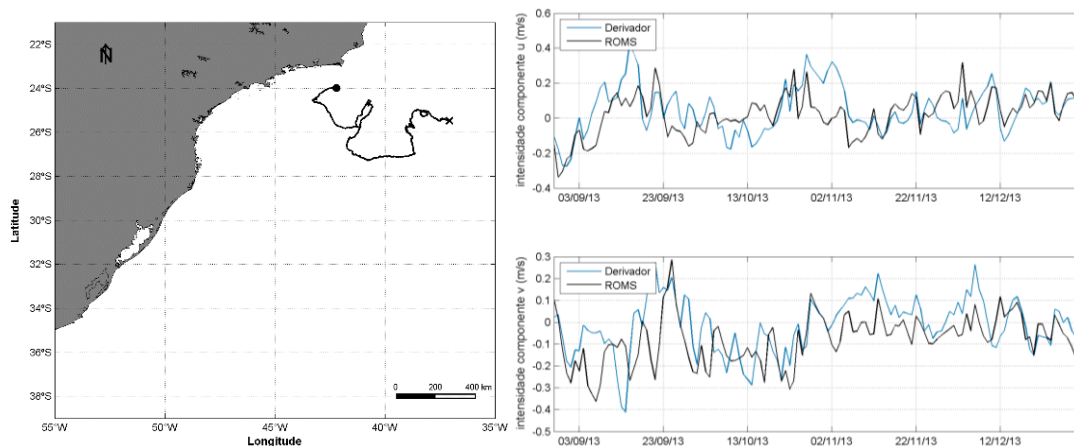


Figura 64: Trajetória descrita pelo derivador 17 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 17 e os resultados do ROMS (direita).

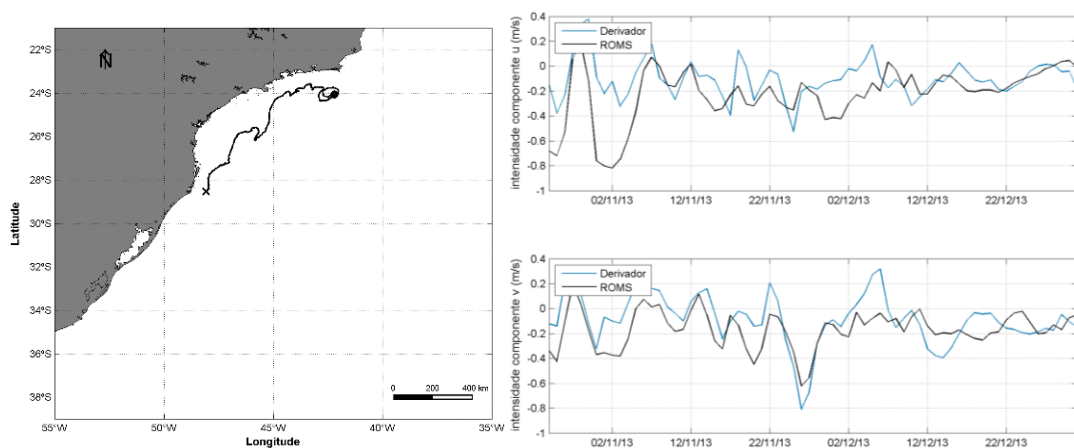


Figura 65: Trajetória descrita pelo derivador 18 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 18 e os resultados do ROMS (direita).

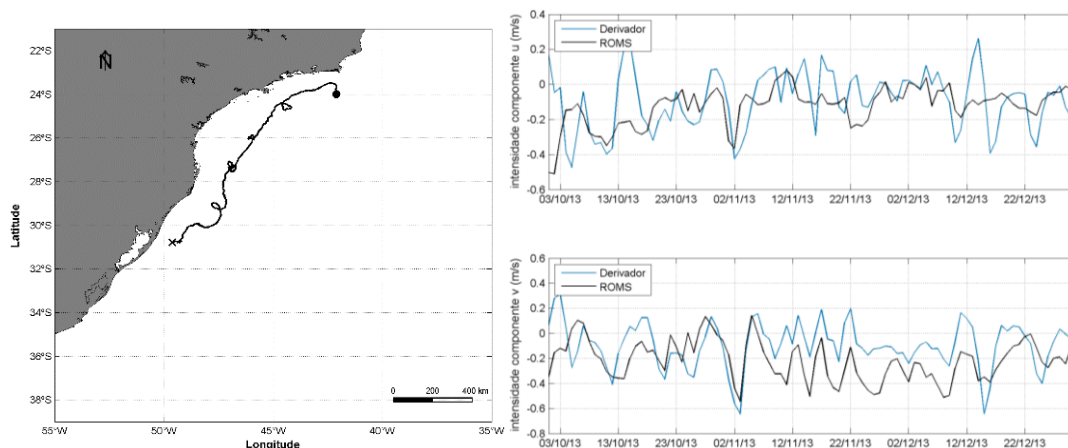


Figura 66: Trajetória descrita pelo derivador 19 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 19 e os resultados do ROMS (direita).

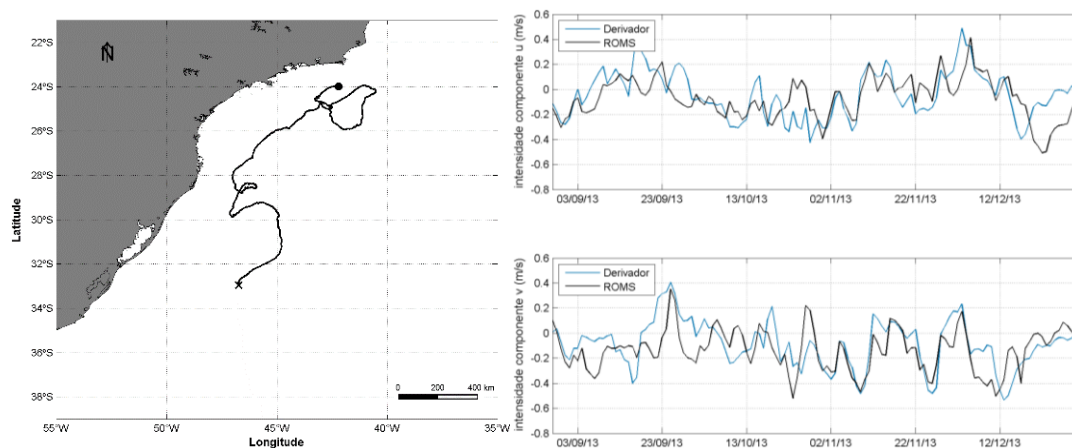


Figura 67: Trajetória descrita pelo derivador 20 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 20 e os resultados do ROMS (direita).

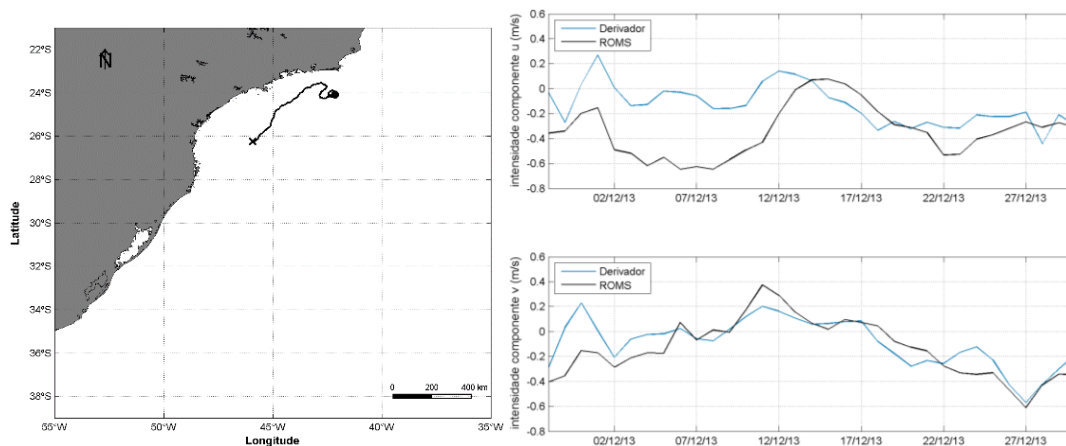


Figura 68: Trajetória descrita pelo derivador 21 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 21 e os resultados do ROMS (direita).

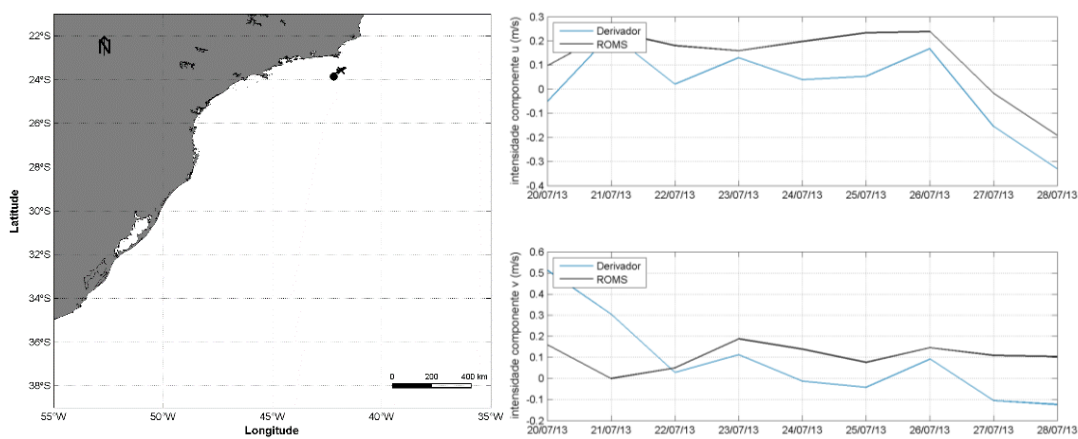


Figura 69: Trajetória descrita pelo derivador 22 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 22 e os resultados do ROMS (direita).

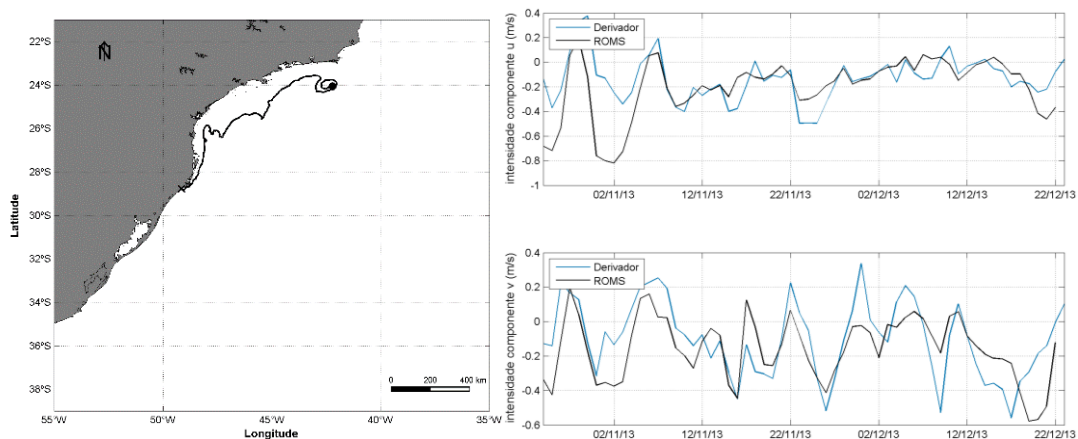


Figura 70: Trajetória descrita pelo derivador 23 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 23 e os resultados do ROMS (direita).

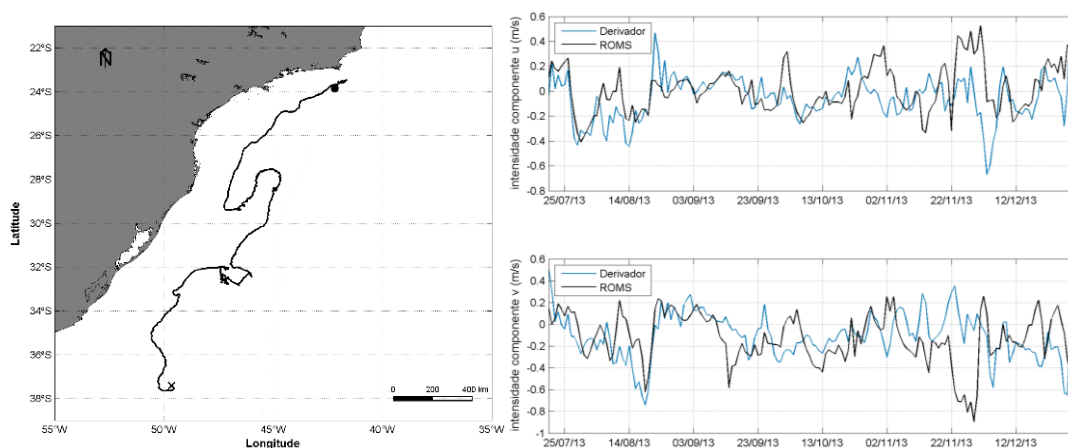


Figura 71: Trajetória descrita pelo derivador 24 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 24 e os resultados do ROMS (direita).

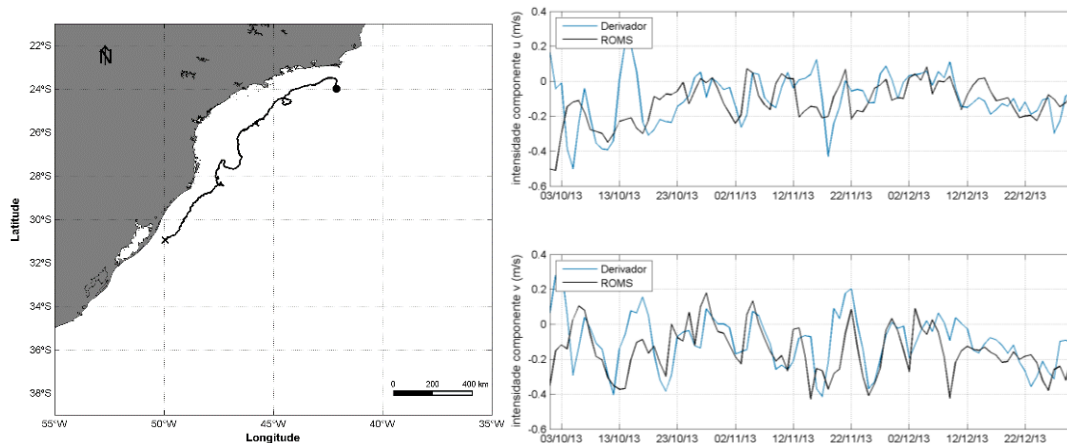


Figura 72: Trajetória descrita pelo derivador 25 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 25 e os resultados do ROMS (direita).

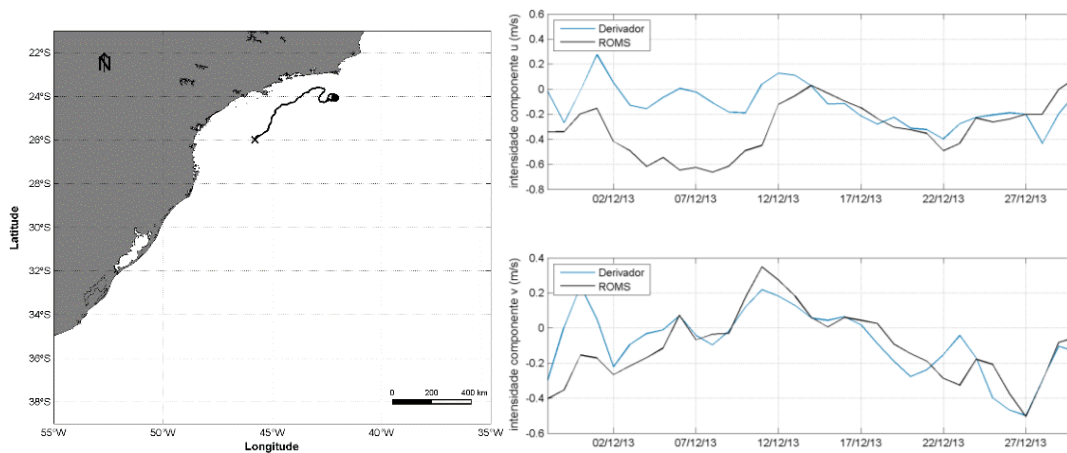


Figura 73: Trajetória descrita pelo derivador 26 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 26 e os resultados do ROMS (direita).

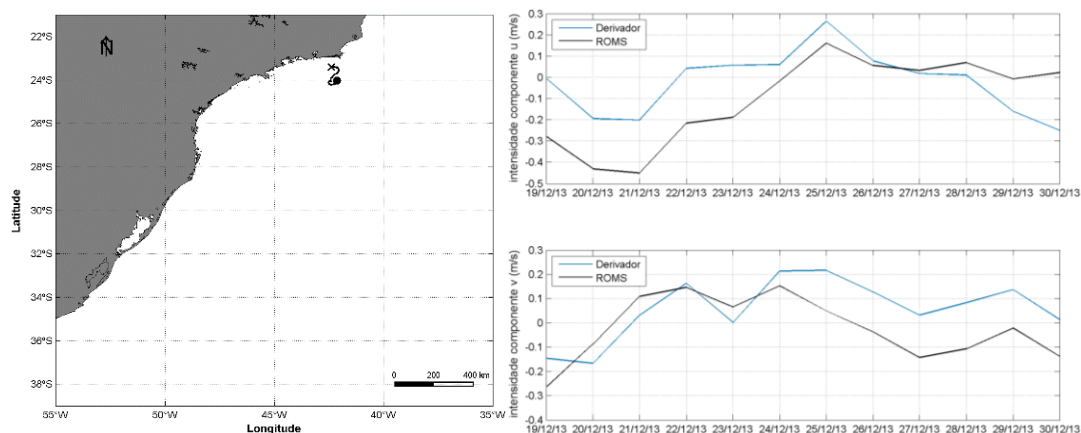


Figura 74: Trajetória descrita pelo derivador 27 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 27 e os resultados do ROMS (direita).

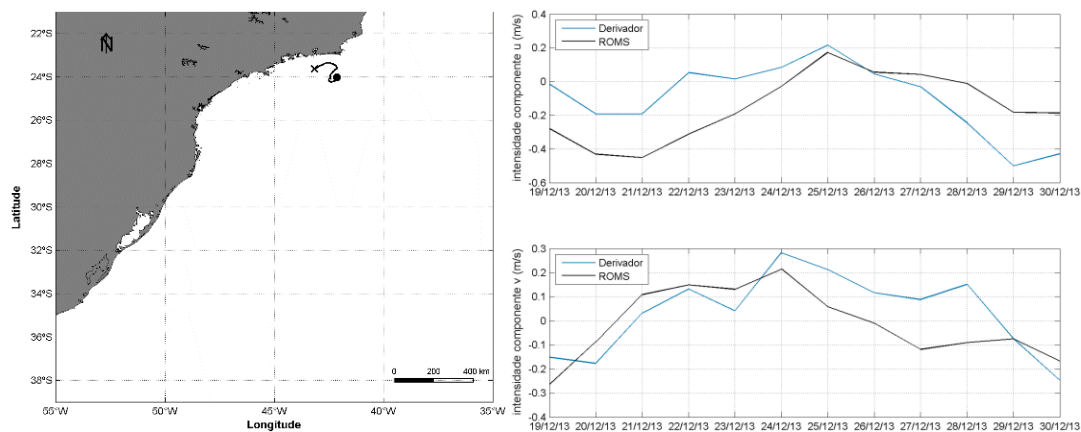


Figura 75: Trajetória descrita pelo derivador 28 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 28 e os resultados do ROMS (direita).

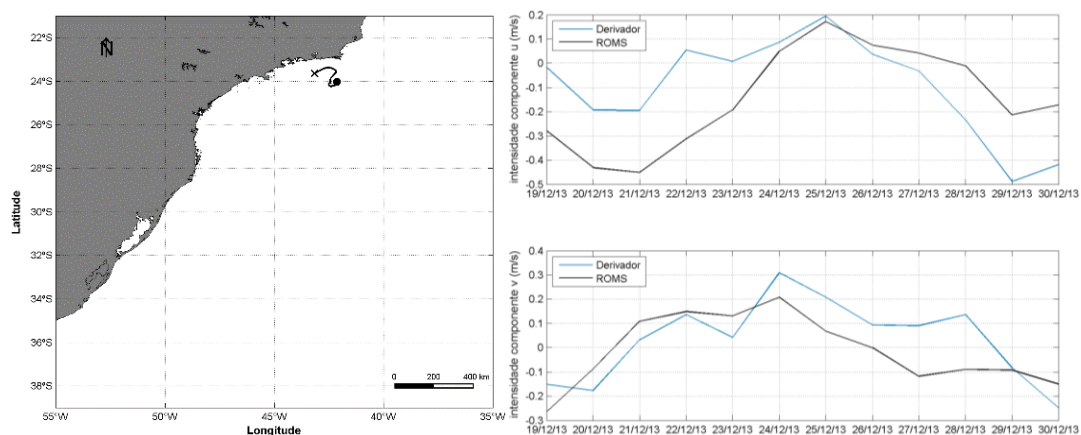


Figura 76: Trajetória descrita pelo derivador 29 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 29 e os resultados do ROMS (direita).

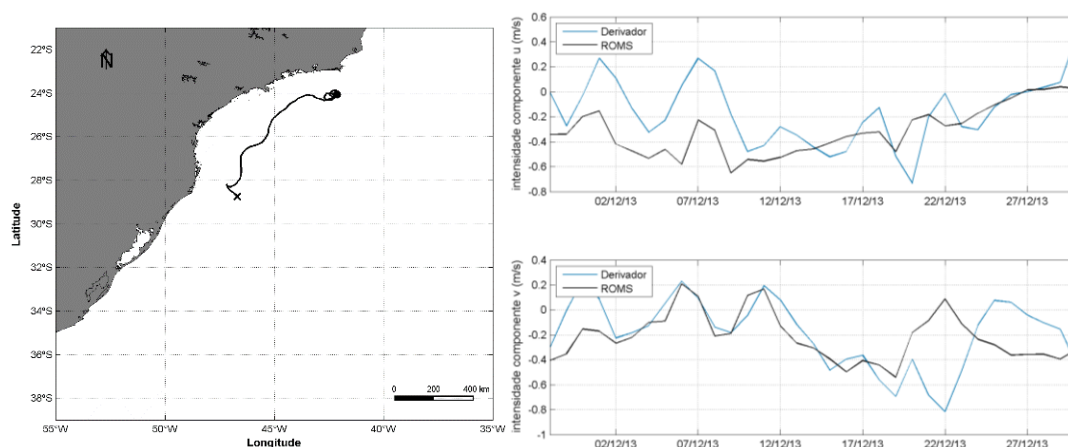


Figura 77: Trajetória descrita pelo derivador 30 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 30 e os resultados do ROMS (direita).

Através dos gráficos comparativos pode-se observar que os resultados do ROMS apresentaram uma boa aproximação com os dados medidos pelos derivadores, tanto nas amplitudes das oscilações quanto na fase. A fim de quantificar as comparações apresentadas, foi feita uma análise estatística calculando o índice de Wilmot (descrito na seção 2.6.1) e um teste de distribuição do tipo Kolmogorov-Smirnov. Os valores do índice de Wilmot (1982) para cada componente das correntes de cada derivador é apresentado na Tabela 5

Tabela 5: Índice de Wilmot das comparações modelo/derivadores.

Derivador	d componente zonal	d componente meridional
1	0,84	0,79
2	0,77	0,83
3	0,82	0,84
4	0,84	0,82
5	0,86	0,79
6	0,72	0,75
7	0,73	0,77
8	0,69	0,76
9	0,84	0,80
10	0,69	0,75
11	0,69	0,71
12	0,68	0,71
13	0,68	0,71
14	0,82	0,81
15	0,82	0,81
16	0,72	0,77
17	0,85	0,84
18	0,72	0,83
19	0,69	0,75
20	0,83	0,83
21	0,66	0,91
22	0,91	0,55
23	0,75	0,62
24	0,75	0,62
25	0,76	0,81
26	0,63	0,90
27	0,80	0,87
28	0,77	0,90
29	0,79	0,90
30	0,71	0,68
Média	0,76	0,79

De forma complementar foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (teste KS). Esse método avalia se dois conjuntos de dados provêm de uma mesma distribuição de probabilidade

realizando um teste de hipótese nula relativo a um nível de significância “alpha”. O teste foi aplicado para cada derivador, visando encontrar o nível de confiança $(1-\alpha)$ necessário para a rejeição da hipótese nula. Os resultados são apresentados na Tabela 6. Esses valores mostram que o nível de confiança médio das distribuições de todos os derivadores é de 76% para a componente zonal e de 75% para a componente meridional.

Tabela 6: Níveis de confiança (1- α) necessários para a rejeição da hipótese nula do teste KS na comparação modelo/derivadores.

Derivador	(1-α) componente zonal	(1-α) componente meridional
1	0,97	0,70
2	0,92	0,74
3	1,00	0,93
4	0,97	0,91
5	0,83	0,76
6	0,90	0,99
7	0,75	0,04
8	0,90	0,88
9	0,60	0,96
10	1,00	0,98
11	0,99	0,75
12	1,00	1,00
13	0,08	0,82
14	0,86	0,01
15	0,85	0,96
16	0,70	1,00
17	0,81	1,00
18	1,00	0,99
19	1,00	1,00
20	0,76	0,95
21	1,00	0,60
22	0,75	0,75
23	0,26	0,75
24	0,96	0,74
25	0,71	0,99
26	1,00	0,19
27	0,21	0,81
28	0,01	0,21
29	0,01	0,21
30	0,92	0,75
Média	0,76	0,75

Esta comparação com os derivadores é um bom indicativo de que o modelo é capaz de representar os principais fenômenos da região, tanto no espaço quanto no tempo, uma vez que os derivadores se deslocaram ao longo do domínio de modelagem, com os resultados permanecendo compatíveis ao longo do tempo.

Com esta comparação pode-se concluir que o modelo representa bem as correntes em superfície no que tange o padrão de intensidade e direção.

2.7. Resultados

Neste capítulo serão apresentados campos médios mensais obtidos a partir dos resultados do modelo. Objetiva-se apresentar os resultados da modelagem, assim como verificar se sua variabilidade sazonal está de acordo com o descrito na literatura especializada, constituindo assim mais uma forma de avaliação do modelo.

Conforme descrito na caracterização meteorológica realizada por Carvalho (2003), o padrão característico das condições meteorológicas na plataforma continental sudeste brasileira é dominado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e pela passagem de sistemas frontais (frentes frias). Devido ao caráter permanente do ASAS, ventos de NE são predominantes durante o ano, com intensidade média de 5,5 a 8 m/s. Durante a passagem de frentes frias, os ventos sobre a plataforma se invertem para o quadrante Sul (principalmente SW e W/SW), podendo atingir até 20 m/s. A passagem de frentes frias ocorre com uma média de 3 a 6 vezes por mês (intervalo entre frentes de 5 a 10 dias), com maior frequência durante os meses de inverno.

As correntes sobre a plataforma continental encontram-se em um equilíbrio dinâmico com os ventos sobrejacentes e apresentam conhecida sazonalidade. Durante o predomínio do ASAS, os ventos paralelos à costa são responsáveis pelo transporte das correntes superficiais em direção ao mar aberto, resultando em um abaixamento do nível do mar junto à costa. Esse abaixamento do nível gera uma força de gradiente de pressão em direção à costa que, entrando em equilíbrio com a força de Coriolis, resulta em uma corrente paralela à costa e na mesma direção do vento, fluindo com sentido sul. Durante a passagem de frentes frias, esse equilíbrio se dá no sentido inverso e a corrente resultante é no sentido do vento, fluindo paralela à costa com sentido norte (CASTRO FILHO, 1990 *apud* CARVALHO, 2003). A maior frequência de passagem de frentes frias no período de inverno resulta em uma corrente costeira residual sobre a plataforma, com sentido norte, enquanto no verão o predomínio da influência do ASAS resulta em uma corrente residual com direção sul.

Explorando a circulação ao largo (depois da quebra do talude), tem-se o domínio da Corrente do Brasil (CB). A CB é a corrente de contorno oeste que completa o giro do Atlântico Sul; é formada entre 10°S e 20°S pela bifurcação da porção sul da Corrente Sul Equatorial e flui em um padrão meandrante para sudoeste na região do talude continental até a confluência Brasil-Malvinas (PETERSON & STRAMMA, 1991). Na região do litoral norte do Rio de Janeiro, a orientação da costa sofre uma brusca mudança e, com isso, o padrão meandrante da CB é acentuado, dando origem a vórtices ciclônicos e anticiclônicos.

A costa sul do Brasil é influenciada por variações sazonais nos padrões de ventos e correntes, destacando-se a circulação associada às correntes de contorno oeste, a posição da Convergência Subtropical e a descarga continental (SEELIGER; ODEBRECHT, 1998).

Os padrões descritos acima para a região oceânica e para a circulação sobre a plataforma podem ser bem observados nos campos médios mensais apresentados da Figura 78 a Figura 89.

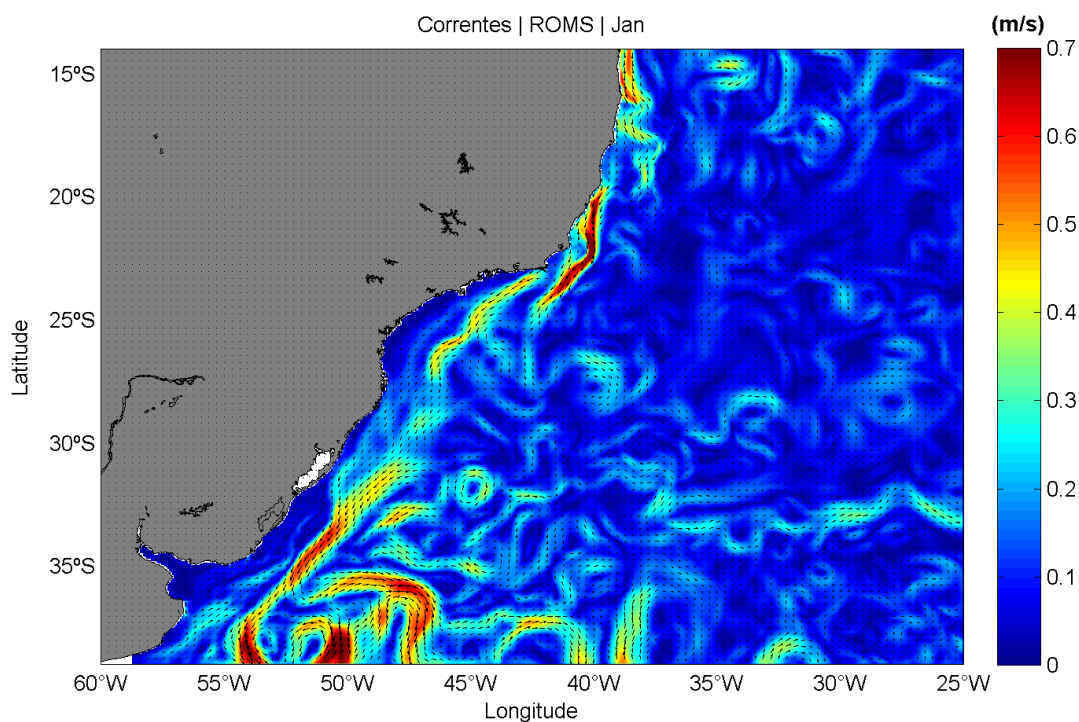


Figura 78: Campo médio de circulação para o mês de janeiro.

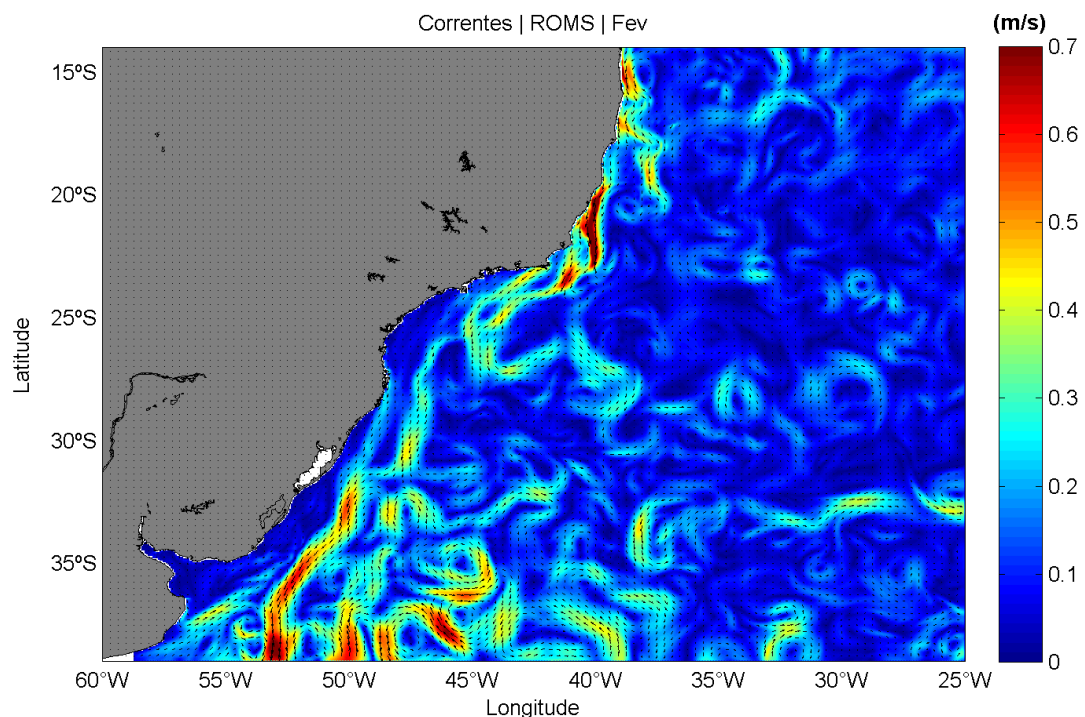


Figura 79: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro.

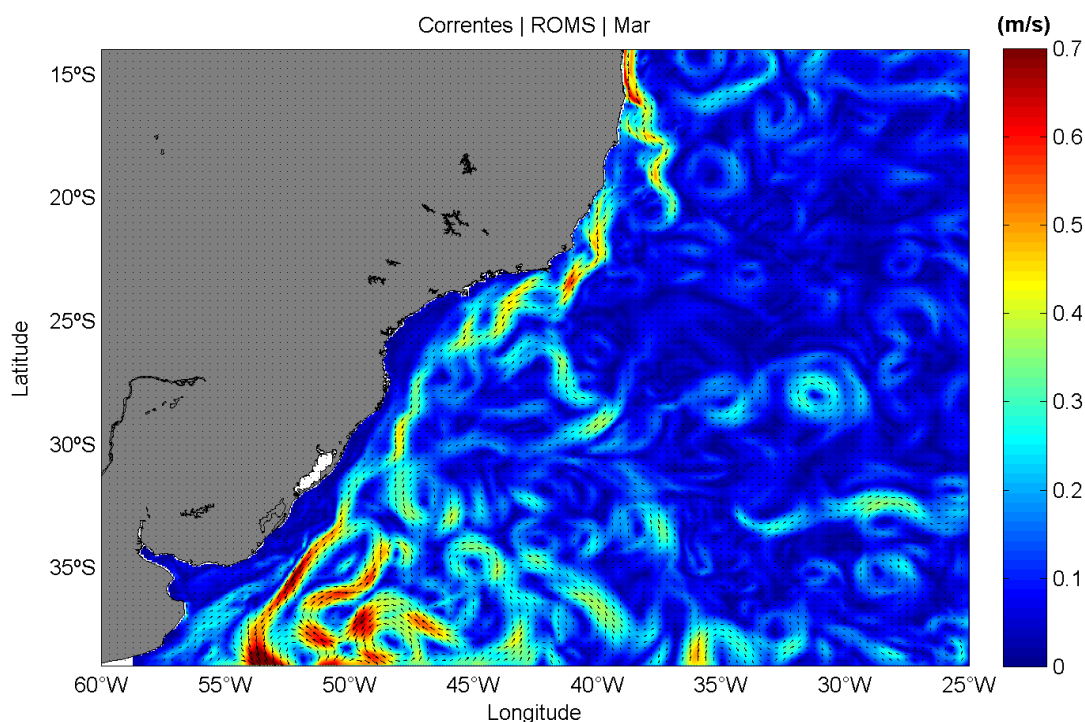


Figura 80: Campo médio de circulação para o mês de março.

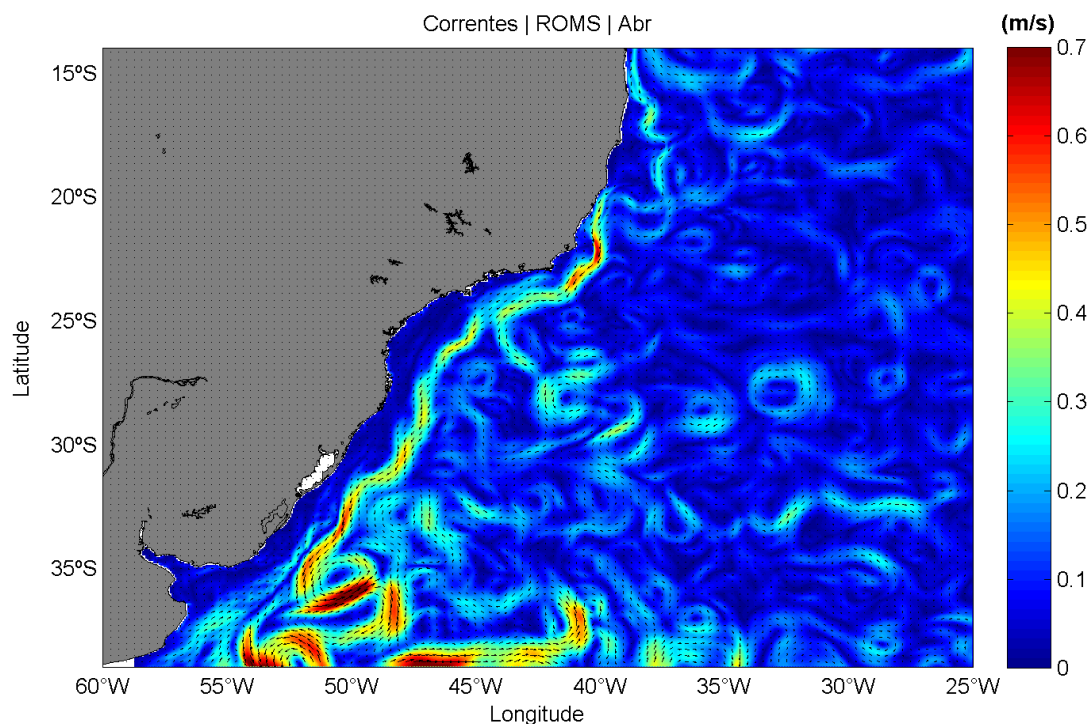


Figura 81: Campo médio de circulação para o mês de abril.

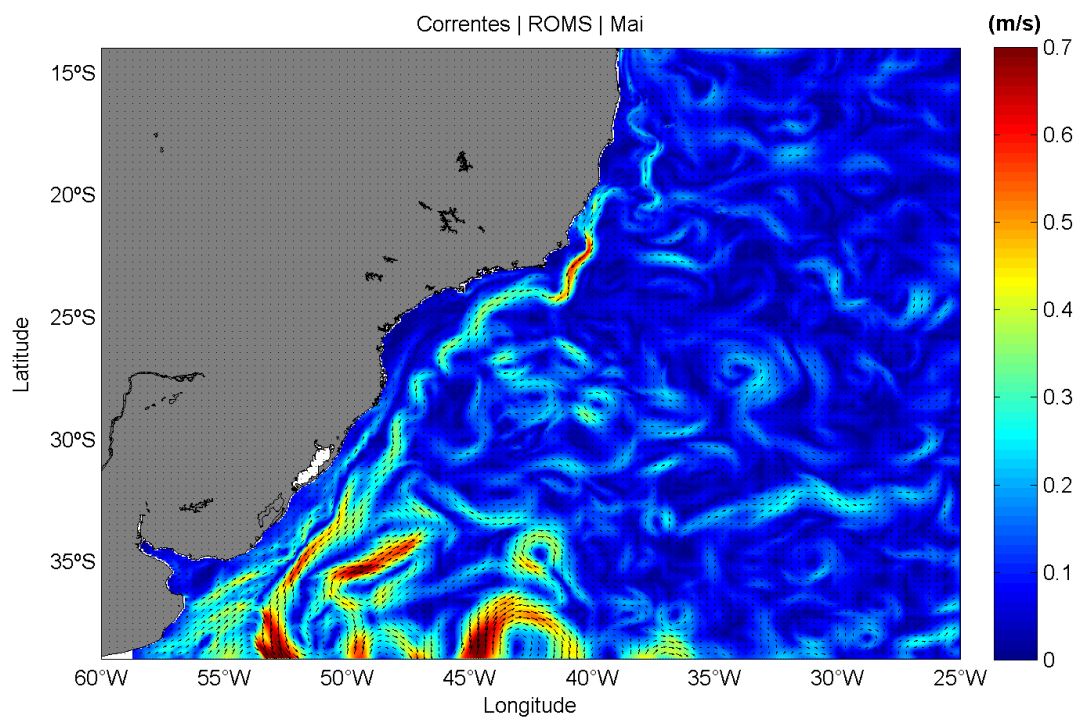


Figura 82: Campo médio de circulação para o mês de maio.

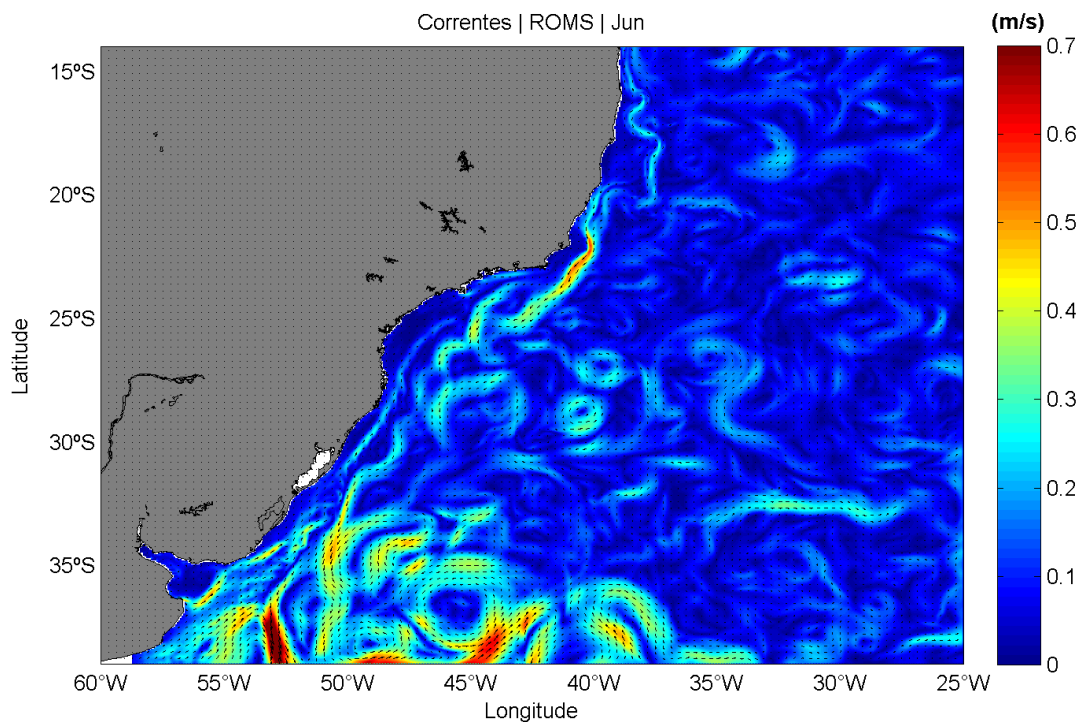


Figura 83: Campo médio de circulação para o mês de junho.

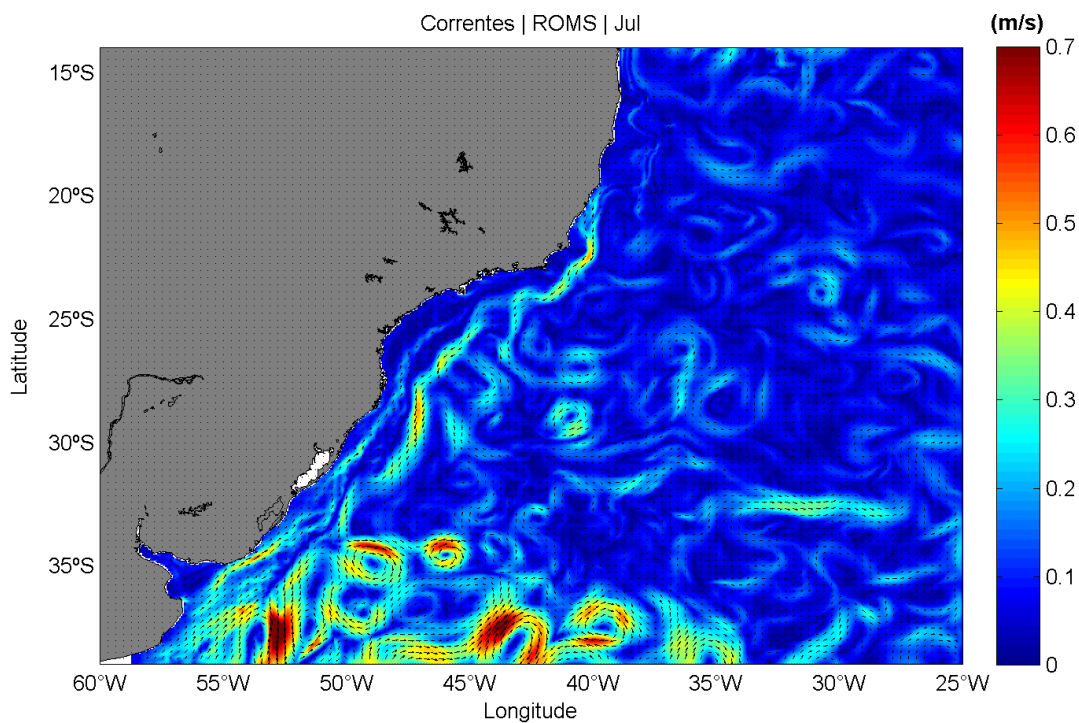


Figura 84: Campo médio de circulação para o mês de julho.

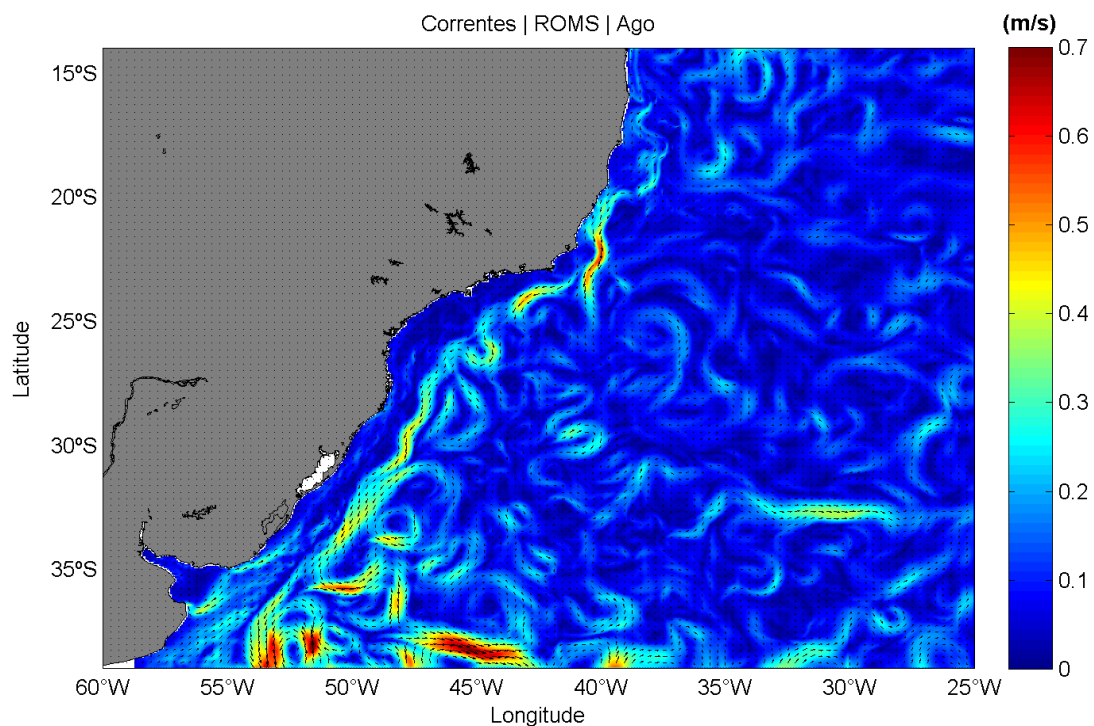


Figura 85: Campo médio de circulação para o mês de agosto.

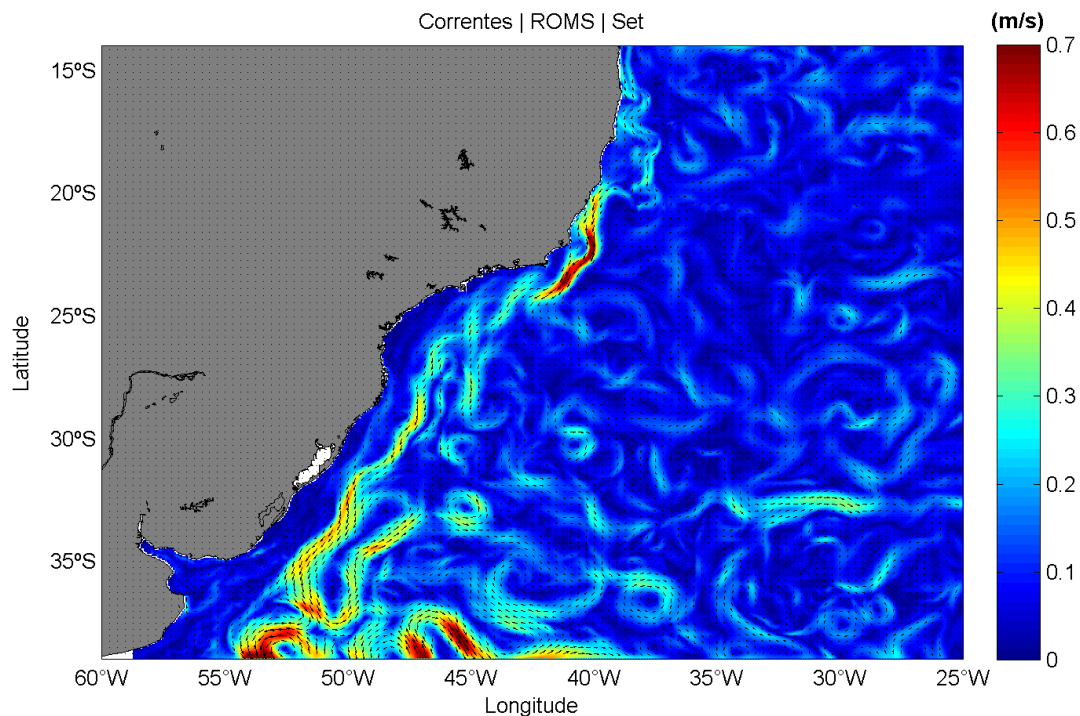


Figura 86: Campo médio de circulação para o mês de setembro.

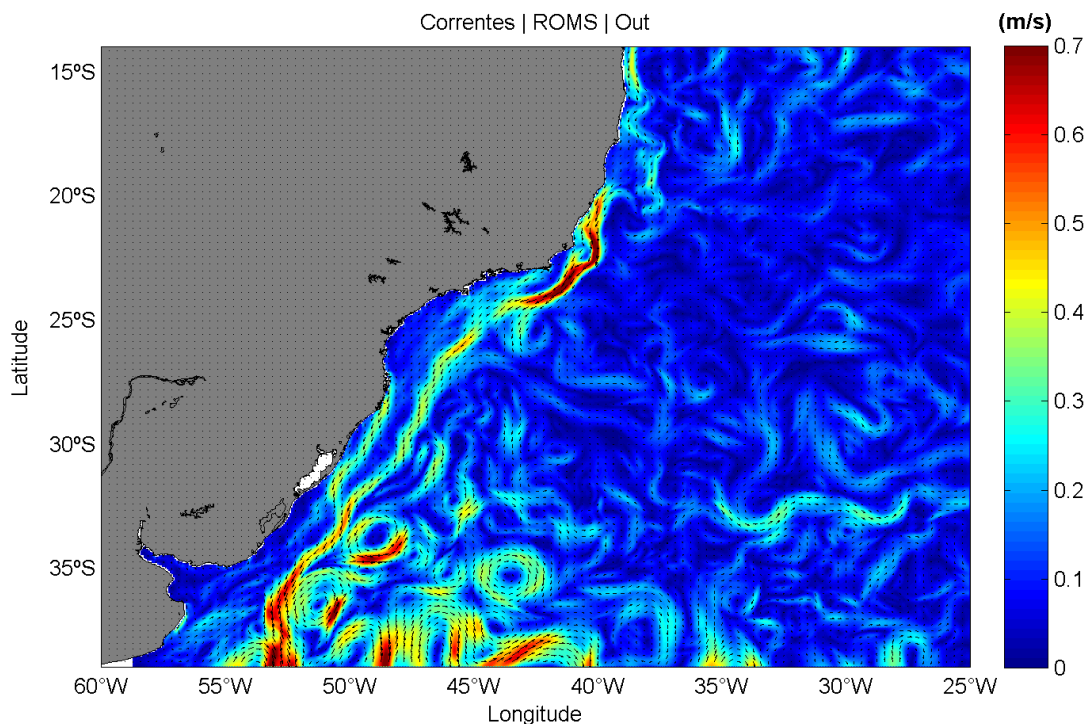


Figura 87: Campo médio de circulação para o mês de outubro.

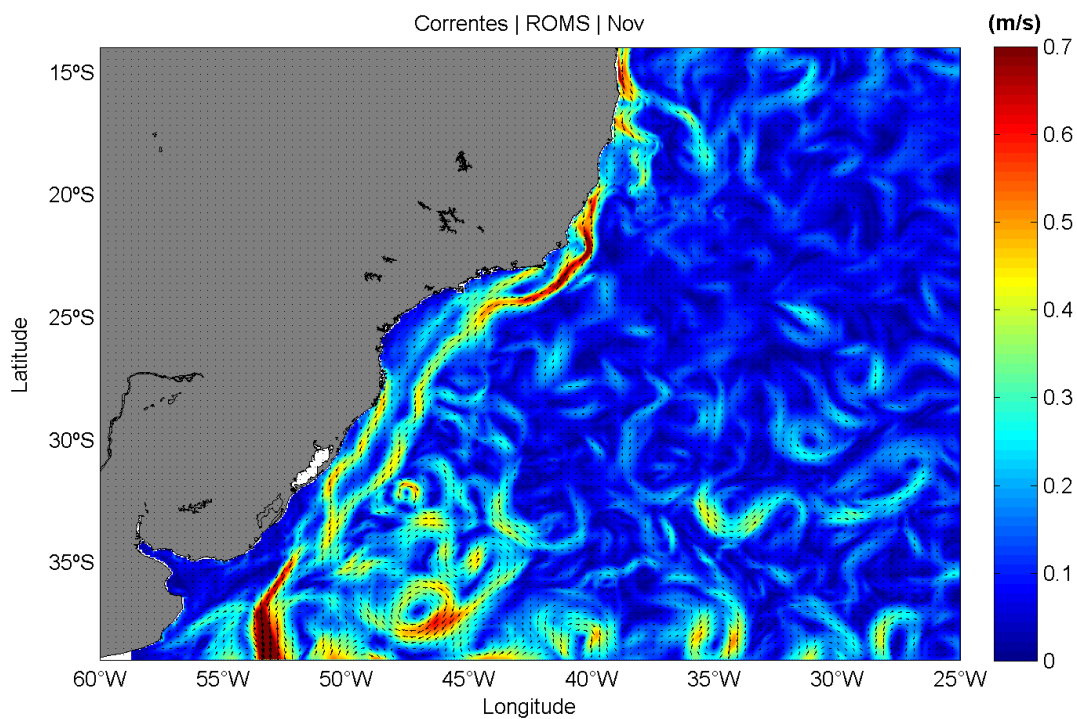


Figura 88: Campo médio de circulação para o mês de novembro.

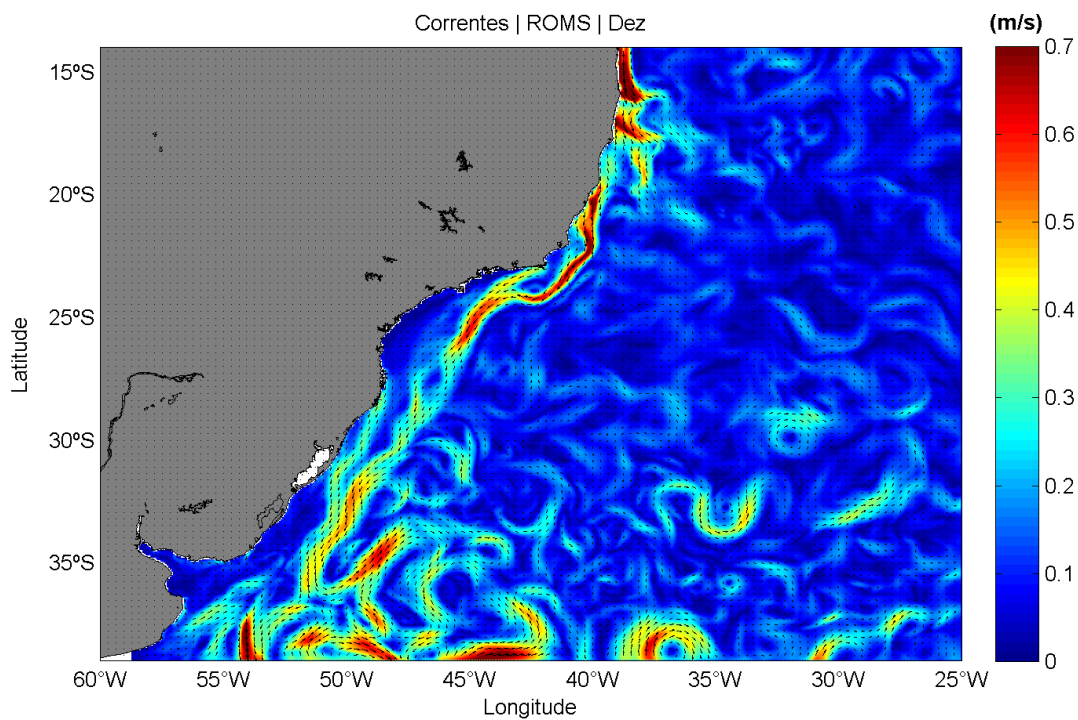


Figura 89: Campo médio de circulação para o mês de dezembro.

3. Modelagem de Dispersão de Óleo

Este item descreve os resultados obtidos nas modelagens numéricas do transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamentos localizados em dois pontos localizados na Bacia de Santos, no bloco BM-S-8, o Poço Urtiga e o Poço Guanxuma. A localização dos pontos de vazamento foi apresentada na Figura 1 e na Tabela 1.

Para cada ponto de vazamento foram considerados três possíveis casos de vazamentos acidentais. O montante de óleo relacionado a cada caso é:

- Pequeno porte - 8 m³
- Médio Porte - 200 m³
- Pior caso (maior volume): 1.167.000 m³ (equivalente a uma vazão diária de 38.900 m³ durante 30 dias).

Esses volumes simulados estão em concordância com a resolução CONAMA nº 398/2008, que dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual, para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.

No estudo de dispersão de óleo, dois tipos de simulações foram conduzidos: probabilísticas e determinísticas. Na Tabela 7 é apresentado o resumo dos cenários simulados.

Tabela 7: Resumo dos cenários de vazamento simulados.

Modelo	Tipo de óleo	Volume Total (m ³)	Vazamento	Tempo	Profundidade
Probabilístico					
Pequeno Porte	Cru	8	instantâneo	30 dias	Superfície
Médio Porte	Cru	200	instantâneo	30 dias	Superfície
Pior caso	Cru	1.167.000	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo
Determinístico					
Crítico - Menor tempo de toque de óleo na costa	Cru	1.167.000	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo
Crítico - Maior massa de óleo acumulada na costa	Cru	1.167.000	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo

3.1. Metodologia

3.1.1 Modelo de Transporte

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 90 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).

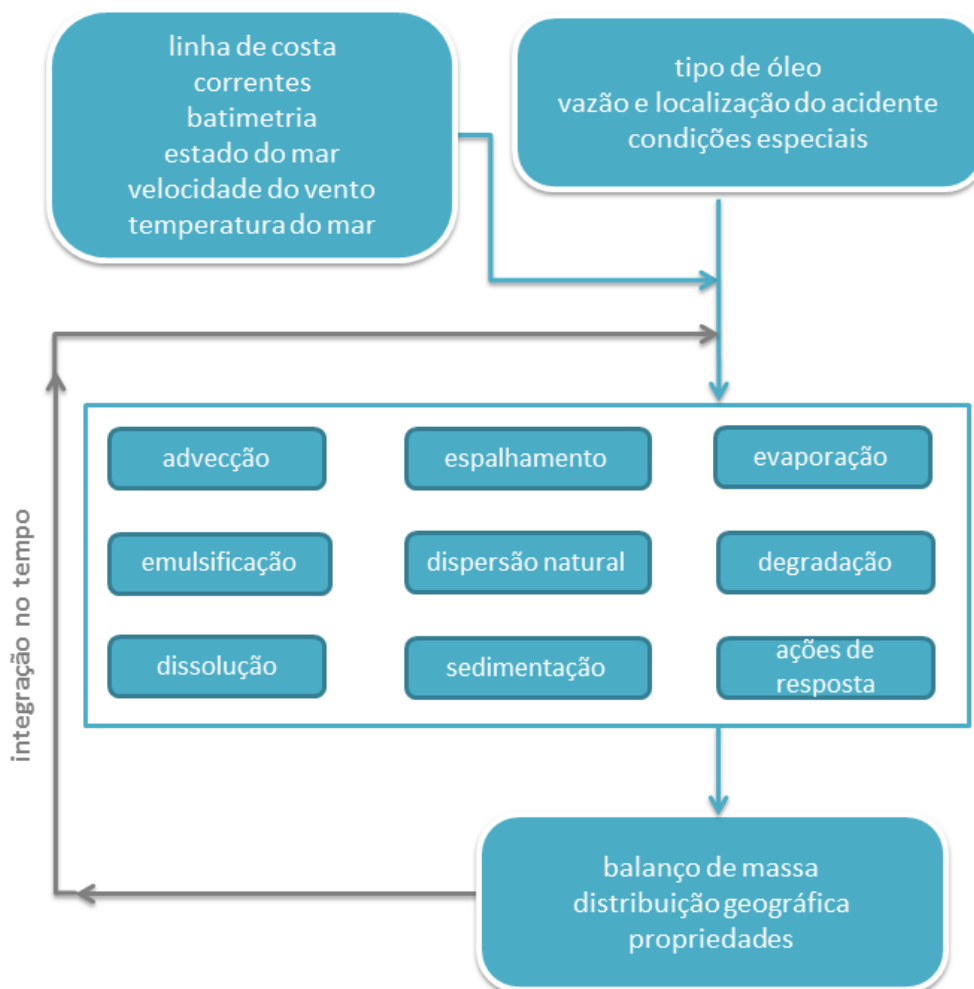


Figura 90: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).

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).

3.1.1.1 Processos de Intemperismo

O modelo OSCAR utiliza a aproximação de multicomponentes. Tal metodologia consiste na especificação de um número de componentes individuais ou pseudo-componentes para

representação da massa de óleo. Cada componente é associado com um conjunto de parâmetros que governam os processos de transformação do óleo.

Os processos de evaporação, dissolução e degradação estão diretamente relacionados com a massa de cada um dos componentes do óleo e são calculados dinamicamente a cada passo de tempo do modelo. Detalhes sobre a formação de multicomponentes do OSCAR podem ser vistos em Reed *et al.* (2000).

Outros processos como espalhamento, entranhamento e mistura vertical estão mais diretamente relacionados com “macro-características” do óleo, como densidade e viscosidade.

No entanto, como apresentado a seguir, existe uma inter-relação entre todos os processos de intemperismo.

3.1.1.1.1 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 da componente governada pela onda (Stokes). A componente turbulenta (w'), por sua vez, é expressa como:

$$w' = R\sqrt{6K / \Delta t} \quad 3-1$$

onde R é um número aleatório entre -1 e 1, 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):

$$K_x = 0,0027t^{1,34} \quad 3-2$$

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

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

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

3-3

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):

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

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 **3,5% da intensidade do vento**, como orientado pela Coordenação Geral de Petróleo e Gás.

3.1.1.1.2 Espalhamento

O espalhamento do óleo na superfície do mar envolve diversas interações entre forças e processos, e alguns estudos (FAY, 1969 *apud* REED, 2001, HOULT, 1972; FANNELØP & WALDMAN, 1972 *apud* REED, 2001) 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:

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

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 $\frac{1}{2}$ 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.

3.1.1.1.3 Evaporação

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

$$dm_i / dt = K_e P_i A M_i F_i / (RT) \quad 3-5$$

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 (m^2); 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 dos 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):

3-6

$$K_e = C_d U(t)$$

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:

$$C_d = \left(\frac{U^*}{U(t)} \right)^2 \quad 3-7$$

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).

3.1.1.1.4 Dispersão natural

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

$$Q_{di} = C^* D^{0,57} S F d_i^{0,7} \Delta d \quad 3-8$$

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/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:

$$C^* = 4450\nu^{-0,4} \quad 3-9$$

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

$$D = 0,0034\rho_w gH_b^2 \quad 3-10$$

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:

$$F = 3 \cdot 10^{-6} U(t)^{3,5} \quad 3-11$$

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

$$d_0 = \frac{C_0 \nu^{0,34}}{\sqrt{e}} \quad 3-12$$

sendo ν é a viscosidade cinemática do óleo (m^2/s); e é a taxa de dissipação de energia (geralmente $1000 J/m^3s$); 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.

3.1.1.1.5 Emulsificação

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

$$W(t + \Delta t) = W_m(t) - [W_m(t) - W(t)]0,5^{\frac{\Delta t}{t_{1/2}}} \quad 3-13$$

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:

$$t_{ref} = C t_{lab} \quad 3-14$$

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):

$$t_{1/2} = \left[\frac{1 + U_{ref}}{1 + U(t)} \right]^2 t_{ref} \quad 3-15$$

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.

3.1.1.1.6 Dissolução

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

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad 3-16$$

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 por (THIBODEAUX, 1979 *apud* REED, 2001):

$$K_d = Sh_i D_i / L \quad 3-17$$

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

$$Sh_i = 0,578 Re^{0,5} Sc_i^{0,33} \quad 3-18$$

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 (~ 8,9 x 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:

$$Sh = 2 + 0,347 Re^{0,62} Sc_i^{0,31i} \quad 3-19$$

3.1.1.1.7 Degradação

O cálculo da degradação do óleo no modelo OSCAR é feito através da soma da transformação de cada componente do óleo por diferentes formas de degradação. A Figura 91 mostra o esquema de transformação dos componentes considerados no modelo OSCAR.

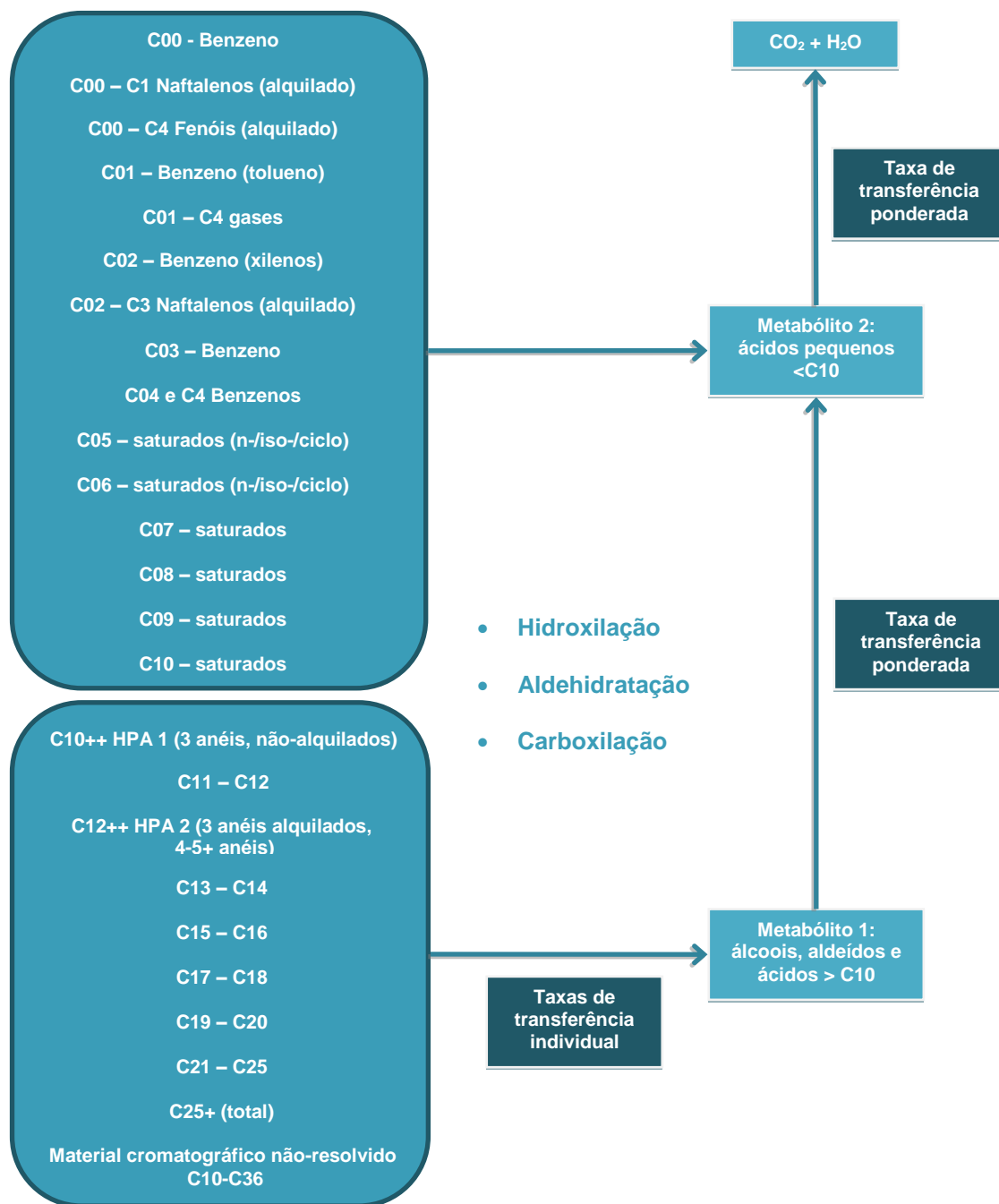


Figura 91: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).

3.1.1.1.8 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 3-20) e de Freundlich (Equação 3-21) (REED, 2001).

$$C_s = \frac{K_1 K_2 C_w}{1 + K_1 C_w} \quad 3-20$$

$$C_s = K_f C_w^{1/n} \quad 3-21$$

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 3-21 é geralmente igual a 1 e o termo $K_1 C_w$ na equação 3-20 é muito menor do que 1. Dessa forma, as equações podem ser reduzidas a uma equação linear

$$C_s = K_p C_w C_{ss} \quad 3-22$$

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})

$$K_{OC} = \frac{K_p}{f_{oc}} \quad 3-23$$

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 3-24 e 3-25, respectivamente).

$$\log K_{OC} = A \log K_{ow} + B \quad 3-24$$

$$\log K_{OC} = a \log S + b \quad 3-25$$

Assim, é possível determinar K_{oc} tanto a partir 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 8 mostra algumas equações de correlação entre K_{oc} , K_{ow} e S usados no modelo.

Tabela 8: 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

Embora seja possível especificar um valor constante de concentração de sedimentos suspensos nas simulações, neste estudo adotou-se um valor nulo de concentração de sedimentos suspensos. Dessa forma, se objetiva uma abordagem mais conservadora, que não permite a retirada de óleo da superfície e da coluna d'água por esse processo. Os valores de sedimentação apresentados nas simulações são referentes ao óleo na coluna d'água que toca diretamente o fundo marinho.

3.1.1.2 Propriedades físicas do óleo

As principais propriedades do óleo utilizadas pelo modelo são sua densidade e viscosidade. Essas propriedades variam de acordo com curvas obtidas em laboratório em função da fração de óleo evaporado. A seguir são apresentadas as equações das curvas obtidas em laboratório para os cálculos das propriedades do óleo (JOHANSEN, 1991 *apud* REED, 2001):

$$\text{Densidade (g/L)} \quad \rho_0 = a_p + b_p f \quad 3-26$$

$$\text{Viscosidade (cP)} \quad \mu_0 = e^{(a\mu + b\mu f)} \quad 3-27$$

sendo f a fração evaporada (%) e a e b fatores de regressão. Os parâmetros de ajuste a e b fazem parte do banco de dados da SINTEF, que integra o modelo OSCAR, e são obtidas através de ensaios laboratoriais. A densidade da emulsão $\rho(t)$ é calculada por:

$$\rho(t) = \frac{W(t)\rho_w + [100 - W(t)]\rho_0(t)}{100} \quad 3-28$$

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 $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \mu_0(t)e^{\frac{aW(t)}{100 - bW(t)}} \quad 3-29$$

onde a e b são constantes empíricas.

3.1.1.3 Concentração na coluna d'água

Como a grande maioria dos modelos numéricos de transporte de contaminantes, o OSCAR utiliza um modelo de partículas (modelagem lagrangiana) para obter aproximações da equação do transporte advectivo-difusivo:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} C_i = \vec{\nabla} \cdot D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ij} C_i \quad 3-30$$

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 a outro. Desta forma, as modificações nas propriedades toxicológicas são incorporadas no modelo.

A equação de transporte advectivo e difusivo determina a variação das concentrações no tempo e no espaço e serve como base para os modelos de partículas (ver, por exemplo, Fischer, 1979). Em contraste com os modelos de partículas, existem modelos que resolvem numericamente a equação de transporte advectivo e difusivo de maneira convencional, isto é, através de esquemas baseados em métodos de diferenças finitas, volumes finitos ou elementos finitos. Estas aproximações, conhecidas como modelagem Euleriana, fornecem diretamente os valores de concentrações e suas variações no espaço e no tempo em uma grade fixa, pré-definida. Vale ressaltar que este tipo de modelagem é inviável para o problema em questão devido às dimensões do domínio e as escalas envolvidas no transporte de óleo em bacias oceânicas.

Os modelos de partículas (modelos Lagrangianos) apresentam uma série de vantagens em relação aos modelos Eulerianos, pois são capazes de representar os fenômenos de transporte e calcular a distribuição de massa do contaminante de maneira acurada, independentemente de uma grade, além de não estarem sujeitos a oscilações numéricas espúrias e efeitos de difusão numérica (ver, por exemplo, Andrade, 2006).

Enquanto os modelos Eulerianos calculam diretamente os valores das concentrações, os modelos Lagrangianos calculam a distribuição espacial de massa do contaminante, que é representada por uma nuvem de partículas, sendo cada partícula uma representação discreta de uma parcela da massa total do contaminante no ambiente.

Se valores de concentração são requeridos, os resultados dos modelos de partículas precisam ser transformados e representados em uma grade. Como apresentado em Jong (2004), o OSCAR tem uma vantagem em relação a outros modelos Lagrangianos, pois permite essa transformação, inclusive fazendo a distinção entre a parcela da massa de óleo que está dissolvida, dispersa ou na superfície.

Existem várias maneiras de fazer essa transformação. A maneira mais simples é através da contagem de partículas que estão dentro das células da grade. Uma maneira mais avançada, que é a utilizada no OSCAR, é considerar a partícula como uma pequena nuvem que cresce com o tempo, usando funções de espalhamento gaussiano (ver, por exemplo, Andrade, 2006).

No OSCAR, a célula da grade em três dimensões é definida pelos espaçamentos meridional, zonal e vertical definidos pelo usuário. Embora os processos de mistura e de intemperismo do óleo estejam sendo resolvidos de maneira acurada e independentemente da grade, os resultados de concentração devem ser interpretados considerando o tamanho da célula da grade utilizada. Os resultados de concentração devem ser vistos como valores médios no volume definido pelas dimensões das células da grade. Sendo assim, plumas ou manchas de contaminantes que tenham dimensões inferiores às dimensões da grade estão sujeitos a uma “diluição numérica” artificial.

3.1.1.4 Óleo na costa

Apesar do grande número de publicações sobre a interação do óleo na costa, ainda existem consideráveis lacunas na compreensão do processo dinâmico de acumulação de óleo na costa. Uma relativamente recente revisão (ETKIN *et al.*, 2007) do “estado da arte” da modelagem da interação entre manchas de óleo e a costa foi elaborada por especialistas sobre o tema para o MMS (*Minerals Management Service*), órgão ligado ao departamento americano do interior. Tal publicação representa uma excelente referência sobre o tema.

O comportamento do óleo quando depositado na costa é complexo e depende dos seguintes fatores inter-relacionados:

- Características físico-químicas do óleo

- A espessura do óleo que encalha na costa
- Tempo de toque
- Instante da maré no momento da chegada da mancha de óleo na costa
- Morfologia da linha de costa
- Clima no momento do toque.
- Energia de ondas na costa

Um modelo que incorpore **todos** esses fatores é útil para algumas finalidades, no entanto é impraticável para simulações probabilísticas de vazamentos de óleo em regiões *offshore*, onde o grande número de simulações determinísticas e as grandes dimensões do domínio inviabilizam qualquer tentativa nesse sentido. Esta afirmação está alinhada com as conclusões do citado relatório da MMS.

Sendo assim, para modelagens probabilísticas de vazamentos em áreas *offshore*, a prática atual é fazer uma aproximação de acumulação de óleo na costa através de uma estimativa das capacidades de armazenamento e remoção de óleo na costa derivadas empiricamente. Tal procedimento é utilizado na maioria dos modelos de transporte de óleo que incluem algum tipo de algoritmo de interação do óleo com a costa. (GUNDALACH & REED, 1986; GUNDALACH, 1987; FRENCH *et al.*, 1996; REED *et al* 1999, 2000; CHENG *et al.*, 2000; FRENCH MCCAY, 2004 *apud* ETKIN *et al.*, 2007).

O modelo OSCAR incorpora uma dinâmica relativamente simples para simular as interações óleo-costa. Estes procedimentos representam uma simplificação dos conjuntos desenvolvidos para um modelo de derramamento de óleo em uma zona costeira mais complexa.

A partir de trabalhos científicos, grupos de capacidade máxima de absorção de óleo foram estimados juntamente com uma série de taxas de remoção. As capacidades de absorção destinam-se a refletir tanto a inclinação da costa como a sua permeabilidade e, em alguns casos, a exposição às ondas e aos ventos.

O volume máximo de óleo, V_{max} (m³), quando há o encontro da mancha de óleo com a linha de costa, pode ser expresso como:

$$V_{max} = \delta_i L W_i$$

3-31

Onde δ_i é a máxima capacidade de retenção por tipo de costa i , L é o comprimento da célula de praia e W_i é a largura da região de deposição por tipo de costa

Durante as simulações computacionais, se este volume máximo já tiver sido atingido, a massa de óleo que chega à costa não é mais depositada e o óleo continua a ser transportado pelos ventos e correntes para outras regiões:

O modelo também considera que ao longo da simulação uma quantidade de óleo vai sendo removida através da seguinte equação:

$$\Delta m = m_i (1 - \exp[-r_i \Delta t]) \quad 3-32$$

Onde Δm é a massa removida no passo de tempo Δt , m_i é a massa na célula de costa i , e r_i é a taxa de remoção por tipo de costa i .

3.1.1.5 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 das massas máximas por unidade de área que atingiram os elementos de grade que representam a costa.

Em seguida, é calculada a distribuição de massa ao longo da linha de costa considerando que o **tamanho da linha de costa de cada ponto de grade** é a sua **diagonal**. Assim se tem a **quantidade de massa por unidade de comprimento em cada ponto de grade** (Ex: toneladas por quilômetro).

3.1.1.6 Blowout Submerso

Nos últimos anos diversos modelos foram desenvolvidos para simular o transporte de misturas de óleo e gás em águas profundas. Lindersen (2013) apresenta alguns desses modelos e as bases teóricas para os seus desenvolvimentos.

De maneira geral os modelos de *blowout* submerso levam em consideram três diferentes fases: A fase de jato, a fase de pluma e uma fase passiva com velocidade vertical controlada pelo tamanho das gotículas de óleo, conforme ilustrado na Figura 92.

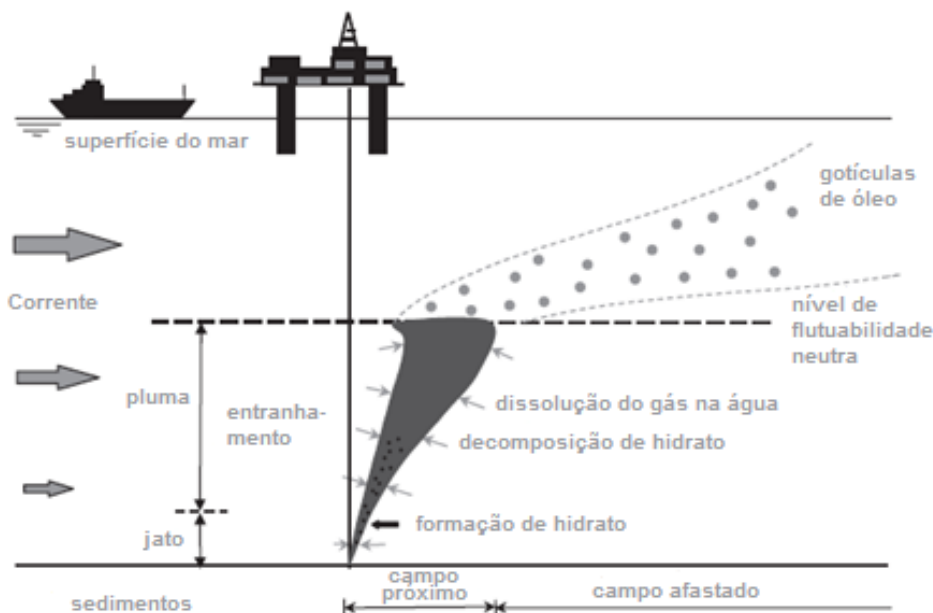


Figura 92: Esquema geral de plumas de blowout de óleo em profundidade. Adaptado de Lindersen (2013)

O modelo OSCAR contém um módulo específico para a modelagem de vazamentos de óleo em profundidade. Este módulo, chamado Plume3D, contém um modelo de pluma multifásico geral desenvolvido pela SINTEF, com acoplamento entre o campo próximo (*Near-Field*), que inclui as fases de jato e a fase de pluma, e o campo afastado (*Far-Field*), que permite o acompanhamento das gotículas dispersas, bolhas e partículas minerais decorrentes de descargas de óleo e gás oriundas do fundo do oceano. Detalhes sobre esse modelo podem ser encontradas em Johansen & Durgut (2006) e em Johansen *et al.*, 2012.

Vazamentos de óleo e gás no fundo oceânico resultarão na formação de gotículas de óleo e bolhas de gás respectivamente. Na fase de jato os movimentos são dominados pelas correntes induzidas pelo próprio vazamento e o tamanho dessas bolhas e gotículas não são consideradas.

Na fase de pluma, as gotículas e bolhas de diversos tamanhas se movem em conjunto como uma mistura integral. Nesta fase, a dissolução dos gases, a formação de hidratos e o estranhamento de água do ambiente têm papel dominante na densidade da pluma, que por sua vez, controla o movimento vertical da pluma. Nesta fase, os tamanhos das gotículas e bolhas

não afetam de maneira significativa o movimento da pluma. Aspectos importantes da fase de pluma em águas profundas, considerados no Plume3D são:

- Comportamento de gás não ideal;
- Dissolução de gás das bolhas para a água do ambiente;
- Efeito de correntes do ambiente;
- Formação e dissociação de Hidratos.

Após a fase de pluma é atingido o nível terminal da pluma dinâmica e inicia-se a fase passiva onde a velocidade vertical do óleo no ambiente é controlada pelo tamanho das gotículas de óleo formadas nas plumas. O Plume3d contém um algoritmo desenvolvido pela SINTEF para estimativa das distribuições do tamanho das gotículas de óleo a partir de experimentos realizados nos tanques dos laboratórios da SINTEF. Detalhes sobre esses experimentos podem ser encontrados em Brandvik *et al.* (2012).

A partir do nível terminal da pluma dinâmica a trajetória do óleo na coluna d'água é afetada pelo tamanho das gotículas de óleo formadas a partir do *blowout* em águas profundas. Como ilustração, considerando uma profundidade de 1.000 m, pequenas gotículas, com diâmetros inferiores a 0,5 mm, precisam de aproximadamente 1 dia para chegar a superfície. Na mesma situação, gotículas maiores, com diâmetro maiores que 5 mm, podem chegar a superfície em algumas poucas horas, enquanto que partículas menores do que 1.000 μm podem ficar retidas na coluna d'água por grandes períodos antes de chegarem a superfície. Além do tamanho das gotículas, fatores como correntes, turbulência vertical e estratificação vertical de densidade também são considerados na velocidade de subida dessas gotículas.

Detalhes sobre o algoritmo e as formulações utilizadas para cálculo da distribuição dos tamanhos das gotículas podem ser vistos em Brandvik *et al.* (2012) e Lindersen (2013).

O cálculo do tamanho das gotículas de óleo é feito em função de:

- Macro-características do óleo (viscosidade, densidade, etc);
- Dimensões do vazamento;
- Vazão do *blowout*;
- Correntes.

O acoplamento do Plume3D com o modelo de partículas lagrangiano do OSCAR permite um mapeamento tridimensional das partículas em cada instante e, conseqüentemente, o cálculo das concentrações de óleo na coluna d'água e espessuras de óleo em superfície, conforme ilustrado na Figura 93.

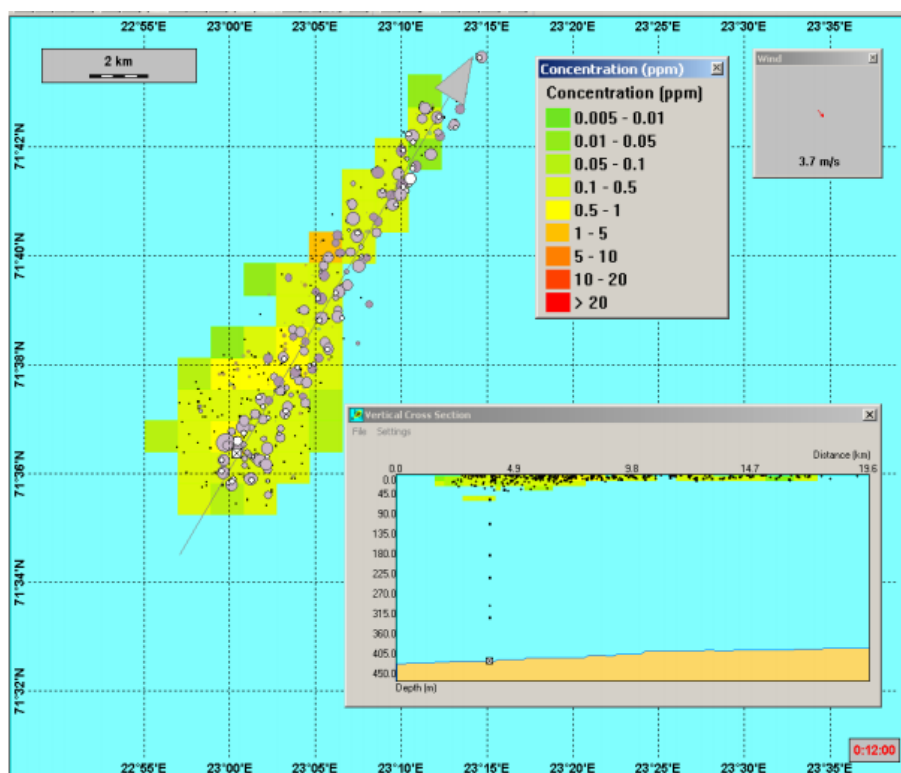


Figura 93: Ilustração de uma simulação de blowout no fundo oceânico com o OSCAR. O mapa mostra a distribuição de partículas representando o óleo em superfície (círculos em cinza) e as partículas representando o óleo na coluna d'água (pontos pretos e marrons).

3.1.1.7 Óleo nas Unidades de Conservação

Foram separadas todas as Unidades de Conservação (UCs) - federais, estaduais e municipais - disponibilizadas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2014), e nos instrumentos legais de criação, da região em que se verifica probabilidade de óleo na costa ou na região costeiro-oceânica.

Para identificação da probabilidade de presença, tempo mínimo e massa de óleo em cada Unidade de Conservação, estas foram inicialmente separadas em unidades de conservação costeiras e marinhas. Para as **unidades de conservação costeiras**, os cálculos foram realizados com os **resultados de costa**, sendo informada a extensão do toque de óleo. Já para as **unidades de conservação marinhas**, foram utilizados os resultados em **superfície do mar** e contabilizada a respectiva área com probabilidade de presença de óleo. As **unidades de conservação** que possuem **parte costeira e parte marinha** foram consideradas como

marinhas, pois os **resultados em superfície** apresentam maiores probabilidades e menores tempos de chegada de óleo.

É válido ressaltar que os resultados em superfície e na costa são distintos no que tange à massa máxima, onde a massa em superfície não deve ser interpretada como massa de óleo retida ou acumulada, como é o caso da massa na costa. O resultado em superfície de massa máxima representa a massa de óleo que passou em certa região da UC por certo instante durante a simulação.

Na Figura 94, a seguir, são apresentadas as Unidades de Conservação que apresentaram presença de óleo e a separação adotada para diferenciar as UCs costeiras e marinhas. Na Tabela 9 são listadas as Unidades de Conservação identificadas, a divisão adotada, o tipo de proteção atribuído a cada uma (Proteção Integral ou Uso Sustentável) e a esfera.

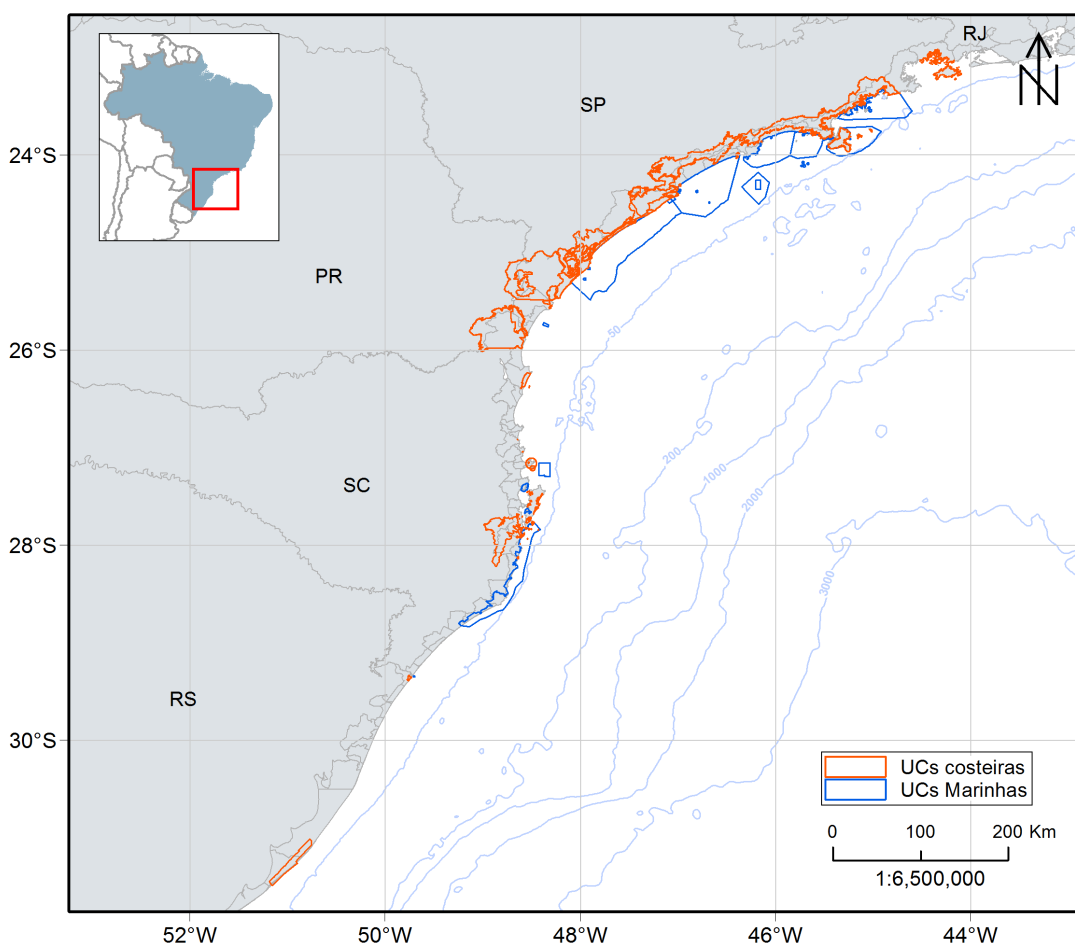


Figura 94: Unidades de Conservação marinhas e costeiras identificadas na área costeiro-oceânica onde se verifica probabilidade de presença de óleo.

Tabela 9: Lista de Unidades de Conservação identificadas na área costeiro-oceânica onde se verifica probabilidade de presença de óleo. Características das UCs e a divisão adotada em marinhas e costeiras.

Unidade de Conservação	Tipo	Proteção	Esfera
APA Costa Brava	Costeira	US	municipal
APA de Cananéia-Iguapé-Peruíbe	Costeira	US	federal
APA de Guaraqueçaba	Costeira	US	federal
APA de Tamoios	Costeira	US	estadual
APA Estadual de Guaratuba	Costeira	US	estadual
APA Ilha Comprida	Costeira	US	estadual
ARIE Costeira de Zimbros	Costeira	US	municipal
ARIE da Ilha Comprida	Costeira	US	estadual
ARIE do Guará	Costeira	US	estadual
ARIE Ilha Ameixal	Costeira	US	federal
ESEC da Ilha do Mel	Costeira	PI	federal
ESEC de Carijós	Costeira	PI	federal
ESEC Juréia-Itatins	Costeira	PI	estadual
PARNA da Lagoa do Peixe	Costeira	PI	federal
PARNA de Saint-Hilaire/Lange	Costeira	PI	federal
PARNA do Superagui	Costeira	PI	federal
PE Acarai	Costeira	PI	estadual
PE da Guarita	Costeira	PI	estadual
PE da Ilha do Cardoso	Costeira	PI	estadual
PE da Ilha do Mel	Costeira	PI	estadual
PE da Serra do Mar	Costeira	PI	estadual
PE da Serra do Tabuleiro	Costeira	PI	estadual
PE de Ilhabela	Costeira	PI	estadual
PE de Itapeva	Costeira	PI	estadual
PE do Itinguçu	Costeira	PI	estadual
PE do Prelado	Costeira	PI	estadual
PE do Rio Vermelho	Costeira	PI	estadual
PE Lagamar de Cananeia	Costeira	PI	estadual
PE Xixová-Japuí	Costeira	PI	estadual
PM do Manguezal de Itacorubi	Costeira	PI	municipal
PM Morro dos Macacos	Costeira	PI	municipal
PNM da Galheta	Costeira	PI	municipal
PNM da Lagoa do Peri	Costeira	PI	municipal
PNM da Lagoinha do Leste	Costeira	PI	municipal
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	Costeira	PI	municipal

PNM do Atalaia	Costeira	PI	municipal
PNM do Bougainville	Costeira	PI	municipal
PNM do Morro da Cruz	Costeira	PI	municipal
PNM do Vilão	Costeira	PI	municipal
PNM Restinga do Guaraú	Costeira	PI	municipal
RDS da Barra do Una	Costeira	US	estadual
REBIO Bom Jesus	Costeira	US	federal
REBIO Praia do Rosa	Costeira	PI	municipal
RESEX Ilha do Tumba	Costeira	US	estadual
RPPN Marina do Conde	Costeira	US	estadual
RPPN Morro dos Zimbros	Costeira	US	federal
APA Anhatomirim	Marinha	US	federal
APA da Baleia Franca	Marinha	US	federal
APA Marinha do Litoral Centro	Marinha	US	estadual
APA Marinha do Litoral Norte	Marinha	US	estadual
APA Marinha do Litoral Sul	Marinha	US	estadual
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	Marinha	US	federal
ESEC dos Tupiniquins	Marinha	PI	federal
ESEC Tupinambás	Marinha	PI	federal
PARNA Marinho Das Ilhas Dos Currais	Marinha	PI	federal
PE Marinho da Laje de Santos	Marinha	PI	estadual
RDS Barra do Una (Setor Marinho)	Marinha	US	estadual
REBIO Marinha do Arvoredo	Marinha	PI	federal
RESEX Marinha Pirajubaé	Marinha	US	federal
RVS Das Ilhas do Abrigo e Guararitama	Marinha	PI	estadual
RVS Ilha dos Lobos	Marinha	PI	federal

3.1.1.8 Resumo dos parâmetros físicos e numéricos

Os parâmetros físicos utilizados no presente modelo de dispersão de óleo são apresentados na Tabela 10, enquanto as constantes são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 10: Parâmetros físicos e químicos utilizados no modelo de óleo.

Parâmetro	Descrição
w'	componente turbulenta
K	coeficiente de dispersão turbulenta
K_x	coeficiente de dispersão horizontal
H e H_b	altura de onda
$T(1)$	período de onda
x_{le}	largura da mancha de óleo
$\Delta\rho$	diferença entre as densidades da água e do óleo
m	1/2 da taxa de liberação de massa dividido pela corrente superficial
m_i	massa associada ao i-ésimo componente de vazamento
K_e	coeficiente de transferência de massa evaporada
$T(2)$	Temperatura do óleo
P_i	pressão de vapor para o i-ésimo componente
F_i	fração molar do i-ésimo componente remanescente na mancha
C_d	coeficiente de atrito entre a atmosfera e o ar
$U(t)$	velocidade do vento
Q_{di}	taxa de dispersão por unidade de área das gotículas de óleo
C^*	coeficiente de dispersão derivado empiricamente
D	energia da onda dissipada por unidade de área
S	fração da superfície do oceano coberta por óleo
F	fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo
d_i	diâmetro média das partículas na classe de tamanho i
Δd	intervalo do diâmetro das partículas
ν	viscosidade cinemática do óleo
e	taxa de dissipação de energia
$W(t)$	emulsificação
$W_m(t)$	teor máximo de água no óleo
$t_{1/2}$	tempo de meia-vida dependente do vento para emulsificação
t_{ref}	tempo de meia-vida de referência
t_{lab}	média de valores de meia-vida encontrados em laboratório
K_d	coeficiente de transferência de massa por difusão
A	área superficial da mancha de óleo

S_i	solubilidade do componente i
C_i	concentração ambiente do componente i
Sh_i	Número de Sherwood
Re	Número de Reynolds
Sc_i	Número de Schmidt
U_{rel}	velocidade relativa entre o óleo e a água
L	extensão da mancha
D_i	difusividade molecular do componente i
C_w	concentração de equilíbrio de um poluente na fase aquosa
C_s	concentração de equilíbrio na fase sólida
C_{ss}	concentração de sedimentos suspensos
K_p	parâmetro dependente da temperatura, pH e das características físico-químicas do sólido adsorvido
A, B, a, b	constantes de correlação dependentes da estrutura do composto
$a'_{\mu, p, p}$	fatores de regressão
$b'_{\mu, p, p}$	fatores de regressão
ρ_o	densidade da água do óleo
D_k	coeficiente de difusão turbulenta para $k = x, y$ e z .
ρ_w	densidade da água
μ_w	viscosidade dinâmica da água
ν	viscosidade cinemática da água

Tabela 11: Constantes físicas utilizadas no modelo de óleo.

Constante	Valor	Descrição
K_z	10^{-4} m/s ²	coeficiente de dispersão vertical
g	9,81 m/s ²	aceleração gravitacional
ν	1×10^{-6} m ² /s	viscosidade cinemática da água
R	$8,206 \times 10^{-5}$ atm*m ³ /mol-K	constante universal dos gases
C	0,0323	constante
D	0,0474	constante
u_1	7	constante
u_2	20	constante
$C_0(2)$	500 a 3400	constante
a	2,5	constante empírica
b	0,654	constante empírica

Em seguida, na Tabela 12, são apresentados os parâmetros numéricos utilizados no modelo de dispersão de óleo.

Tabela 12: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de óleo.

Constante	Valor	Descrição
Δt	900 s	Passo de tempo
Δx	2 km	Espaçamento zonal da grade
Δy	2 km	Espaçamento meridional da grade
Δz	20 m	Espaçamento na coluna d'água da grade
n_p	40.000	Número de partículas

No modelo OSCAR pode-se utilizar até 30 mil partículas para representar a fração não dissolvida do óleo e 30 mil para representar a fração dissolvida. No estudo atual, optou-se por utilizar 20 mil para cada tipo, totalizando 40 mil partículas. Esse valor foi escolhido com base em testes de sensibilidade com aumentos sucessivos do número de partículas, onde foi verificado que a partir de 10 mil partículas (5 mil não dissolvidas e 5 mil dissolvidas) não observam-se diferenças entre os resultados. Com relação à distribuição dos diâmetros e massas das partículas, isto é feito internamente pelo modelo de óleo.

Foram utilizados os menores espaçamentos de grade permitidos pelo OSCAR para essa modelagem considerando as dimensões do domínio de modelagem. Conforme exposto anteriormente, é importante destacar que plumas ou manchas de óleo com dimensões menores do que as dimensões das células da grade estão sujeitos a uma “diluição numérica” artificial. Desta forma os resultados de concentração e espessuras devem ser vistos como valores médios no volume definido pelas dimensões das células da grade.

3.1.2 Estratégias de Modelagem

Simulações com óleo cru foram realizadas a partir de dois pontos no Bloco BM-S-8, na Bacia de Santos.

As simulações com óleo cru foram realizadas considerando eventos de *blowout* com **vazamentos contínuos** de 30 dias **a partir do fundo** em dois períodos sazonais, um de setembro a fevereiro (Período 1) e outro de março a agosto (Período 2). Após 30 dias de vazamento foram ainda simulados mais 30 dias para observação do comportamento da deriva do óleo, totalizando 60 dias (1.440 horas) de simulação.

Para cada ponto, além da simulação de pior caso, na qual foram considerados o volume de 1.167.000 m³, foram ainda realizadas simulações para **vazamentos instantâneos em superfície** 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 após o término do vazamento, independente da espessura do óleo, ou seja, mesmo que todo óleo tenha ficado abaixo do limiar de detecção em algum momento da simulação.

Em todas as simulações foi realizada uma modelagem tridimensional. Este tipo de modelagem permite o mapeamento das frações do óleo que ficam dissolvidas e dispersas na coluna d'água, além da parcela do óleo que fica na superfície. No caso de *blowout* o vazamento foi considerado ocorrendo no fundo do mar. Segundo informações obtidas com a contratante, o vazamento ocorre por um orifício de 34 polegadas, que é o diâmetro da cabeça do poço.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo na superfície espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros. Esse valor de espessura está em conformidade com o limite visual indicado na Informação Técnica n° 023/02, que "*corresponde ao filme de óleo denominado por arco-íris*".

A resolução CONAMA n°357 de 2005, em seu texto, estabelece que o padrão para óleos em águas salinas na classe 1 e 2 é "virtualmente ausente", enquanto que para classe 3 é "toleram-se iridescência". Dessa forma, entende-se que se não houver iridescências (arco-íris), pode-se considerar a superfície da água com teor de óleo virtualmente ausente.

Para mapeamento das concentrações de óleo disperso/dissolvido na coluna d'água foi utilizada a concentração de 20 ppb como limite para apresentação dos resultados. A especificação de um valor limiar deve ser baseada em critérios que levem em conta a toxicidade dos compostos presentes no óleo.

Para fins práticos é comum a adoção de um valor restritivo que possa ser utilizado de maneira mais geral. Um bom exemplo disso é o critério de presença de óleo baseado na espessura de óleo na superfície. O valor de 20 ppb foi adotado considerando que este valor é aproximadamente 0,1 % da concentração de óleo e graxas permitida para descarte de água produzida de acordo com a resolução CONAMA 393/2007. Esta resolução estabelece que “o descarte de água produzida deverá obedecer a concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg/l, com valor máximo diário de 42 mg/l”.

Dessa forma, se baseando em 0,1% de 29 mg/l temos aproximadamente 29 ppb. O valor de 0,1% foi arbitrado levando em consideração que este valor tem a mesma ordem de grandeza das diluições necessárias para que não sejam observados efeitos tóxicos adversos em descartes de água de produção, conforme observado em GABARDO (2007).

Vale ressaltar que o valor de 20 ppb utilizado como limiar para apresentação dos resultados não está diretamente relacionado com o risco de efeitos tóxicos adversos. Apenas foi utilizado um valor que, em ordem de grandeza, permitisse o mapeamento da pluma de óleo disperso/dissolvido na coluna d'água.

Segundo a contratante, após realização de amostragens do óleo da região e análise laboratorial o óleo possui 30,2º API. A partir dessa informação foi escolhido no banco de dados do modelo OSCAR um óleo similar para ser utilizado nas simulações.

As características do óleo utilizado nas simulações são apresentadas nas Tabela 13 e

Tabela 14.

Tabela 13: Características do óleo utilizado nas simulações.

Propriedade	Valor	Unidade
Densidade	0,875	g/cm ³
API	30,3	°
Viscosidade Dinâmica	23,0 (a 20°C)	cP
Ponto de Fluidez (<i>Pour Point</i>)	0	°C

Tabela 14: Componentes do óleo do banco de dados do OSCAR.

Componentes	Fração no óleo (%)
C1-C4 gases (dissolvido no óleo)	0,112335
C5-saturados (n-/iso-/ciclo)	0,179248
C6-saturados (n-/iso-/ciclo)	2,425394
Benzeno	1,389211
C7-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,277858
C1-Benzeno (Tolueno) et, B	0,422865
C8-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,666751
C2-Benzeno (xilenos; usando O-xileno)	0,883789
C9-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,60161
C3-Benzeno	3,24123
C10-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,282408
C4 e C4 Benzenos	0,113186
C11-C12 (total sat + aro)	3,452934
Fenóis (C0-C4 alquilado)	1,99222
Naftalenos 1 (C0-C1-alkilado)	3,759827
C13-C14 (total sat + aro)	1,830804
Naftalenos 2 (C2-C3-alkilado)	0,338377
C15-C16 (total sat + aro)	4,711669
HPA 1 (Hidrocarbonetos poliaromático médio solúvel (3 anéis-não-alkilado; < 4 anéis)	2,640129
C17-C18 (total sat + aro)	2,043518
C19-C20 (total sat + aro)	3,670588
Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR: C10 a C36)	0,040338
C21-C25 (total sat + aro)	3,359729
HPA 2 (Hidrocarbonetos poliaromático baixo solúvel (3 anéis-alkilado; 4-5+ anéis))	0,145619
C25+ (total)	53,41836

3.1.3 Descrição das Grades

Neste estudo utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 2 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 34° 02' S, ao norte, 21°33' S, a oeste, 53° 43' O e a leste, 37° 26' O (Figura 95). Com isso, obteve-se uma matriz com 800 por 692 pontos de grade.

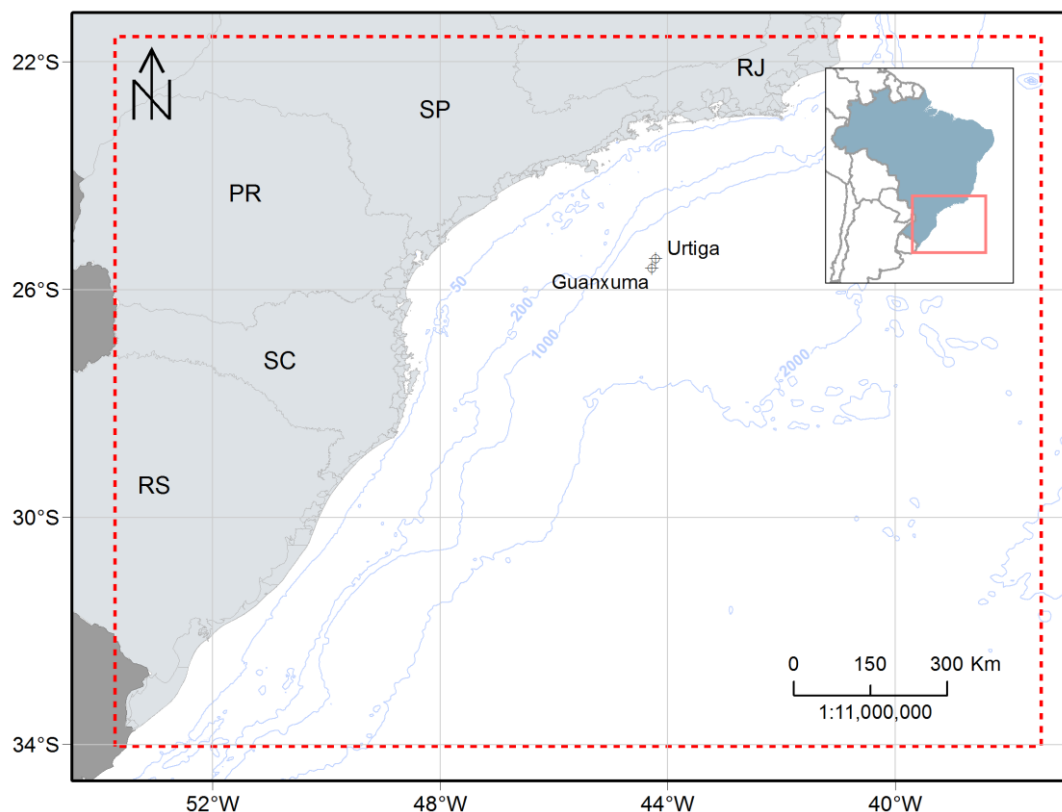


Figura 95: Representação do limite da grade de óleo (linha vermelha tracejada).

Para os volumes de vazamento de superfície de 8 m³ e 200 m³, o número de camadas utilizadas na vertical foi 16, indo de 0 a 152 m de profundidade, totalizando 8.857.600 elementos de grade. Para o vazamento de fundo com volume de pior caso, o número de camadas utilizadas na vertical foi 25, indo de 0 a 2022 m de profundidade, totalizando 13.840.000 elementos.

A grade do modelo de óleo com a batimetria é apresentada na Figura 96. Para manter a concordância com a modelagem hidrodinâmica, os dados de batimetria utilizados são provenientes da base global batimétrica ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009).

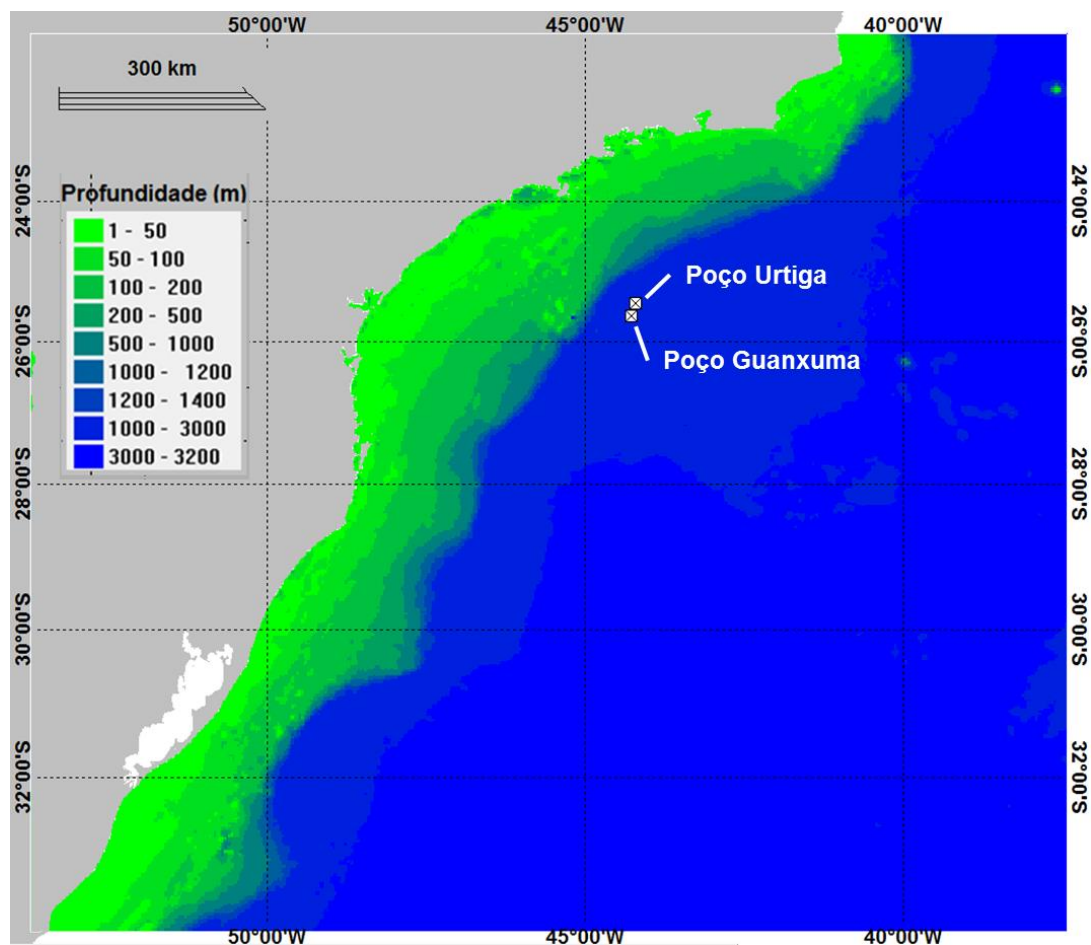


Figura 96: Grade de batimetria utilizada na simulação.

Como discutido no item 3.1.1.4, as interações óleo-linha de costa no modelo OSCAR são dependentes tanto do tipo de óleo considerado na modelagem quanto do tipo de linha de costa. O tipo da linha de costa considerado vai definir a máxima capacidade de retenção do óleo nos pontos da grade do modelo que representam a costa.

Para a definição do tipo de costa para fins da modelagem de óleo foram utilizadas como base as informações das Cartas de Sensibilidade ao Óleo (Cartas SAO), disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), e informações do Projeto de Proteção e Limpeza de Costa (PPLC, 2016).

As Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo constituem uma ferramenta e fonte de informações para o planejamento de contingência e para a implementação de ações de resposta a incidentes de poluição por óleo, uma vez que permitem identificar os ambientes com prioridade de proteção e as eventuais áreas de sacrifício, possibilitando o correto

direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização adequada das equipes de contenção e limpeza (MMA, 2016).

Neste contexto, as Cartas SAO subsidiam o planejamento de contingência nas escalas nacional, regional e local, desde o Plano Nacional de Contingência (PNC), passando pelos Planos de Área e alcançando os Planos de Emergência Individuais de empreendimentos situados nas bacias petrolíferas mapeadas.

Foi atribuído ao MMA responsabilidades na definição dos limites das áreas ecologicamente sensíveis com relação à poluição causada por lançamento de óleo em águas sob jurisdição nacional. A partir daí, este órgão governamental, em conjunto com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), preparou as Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo na zona costeira e marinha.

As cartas SAO devem incluir três tipos de informações principais: sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos, recursos biológicos, e atividades socioeconômicas. A sensibilidade da linha de costa classifica os segmentos do litoral em habitats, de acordo com suas características geomorfológicas, tipo de substrato, regime hidrodinâmico, persistência natural do óleo e condições de limpeza e remoção. Com isso é possível inferir padrões de comportamento do óleo derramado e de transporte de sedimentos.

As bacias sedimentares marítimas foram adotadas como unidade cartográfica deste mapeamento e até o ano de 2015 o mapeamento foi concluído para as Bacias do Ceará e Potiguar (2004); Santos (2007); Espírito Santo (2010) e Sul da Bahia (2013). Além destes, o mapeamento das Bacias de Sergipe–Alagoas/Pernambuco–Paraíba está em fase de conclusão, e os projetos para as Bacias da Foz do Amazonas; Bacia do Pará -Barreirinhas; Bacia de Campos e Bacia de Pelotas foram selecionados.

O Projeto de Proteção e Limpeza de Costa (PPLC), por sua vez, é um Acordo de Cooperação Técnica entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), cujo objetivo é criar um banco de dados georreferenciados de todo o litoral brasileiro, para servir de suporte para o planejamento e gestão de uma operação de resposta a acidentes envolvendo derramamento de óleo no mar.

O projeto utilizou os conceitos definidos nas Cartas SAO e contribui à atualização dos Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, já publicados. Portanto suas informações são complementares e coerentes para a segmentação da linha de costa para a área de estudo em questão.

A segmentação do tipo de substrato da grade da modelagem de óleo foi baseada prioritariamente nas Cartas SAO publicadas pelo MMA. Os trechos para os quais ainda não estão disponíveis informações destas cartas foram complementados com informações do Projeto de Proteção e Limpeza de Costa (PPLC).

Para adequar a segmentação da costa com a resolução do modelo de óleo, adotou-se o critério de que se certo tipo de costa tivesse extensão inferior à resolução da grade (< 2 km), seria considerado para aquele segmento o tipo de costa predominante no entorno.

Para o domínio do estudo foram definidos 5 (cinco) tipos de costa predominantes:

- Praia arenosa;
- Planície de maré;
- Manguezal.
- Costão rochoso;
- Estrutura artificial.

O detalhamento da linha de costa utilizado na grade da modelagem de óleo é apresentado no Anexo 1.

3.1.4 Forçantes

3.1.4.1 Ventos

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo de transporte de óleo são provenientes da Reanálise II do NCEP (R-2), que assim como a Reanálise I (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. 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 65 anos (1948-atual) de dados.

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, incluindo observações de navios, bóias fixas, bóias móveis e estações oceânicas próximas à superfície, dentre outras.
- 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).

A Reanálise I (R-1) foi criada 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. Conseqüentemente, 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) trata-se então, de uma série global atualizada, de 1979 até 2015, 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 às mudanças no modelo de assimilação (KANAMITSU *et al.*, 2002).

Deve ser ressaltado que a R-2, embora tenha passado por melhorias significativas, trata-se de 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 utilizados 5 anos de dados (2011 a 2015) com uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia). A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente 1,8° e foi utilizado o maior número de dados possíveis abrangendo os limites da modelagem.

Para uma análise mais detalhada, a seguir, são apresentadas as rosas dos ventos mensais (Figura 98 e Figura 99), elaboradas para o período utilizado, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 15 e Tabela 16) a partir dos dados do ponto de grade do NCEP mais próximo aos pontos de simulação de vazamento na Bacia de Santos (Figura 97).

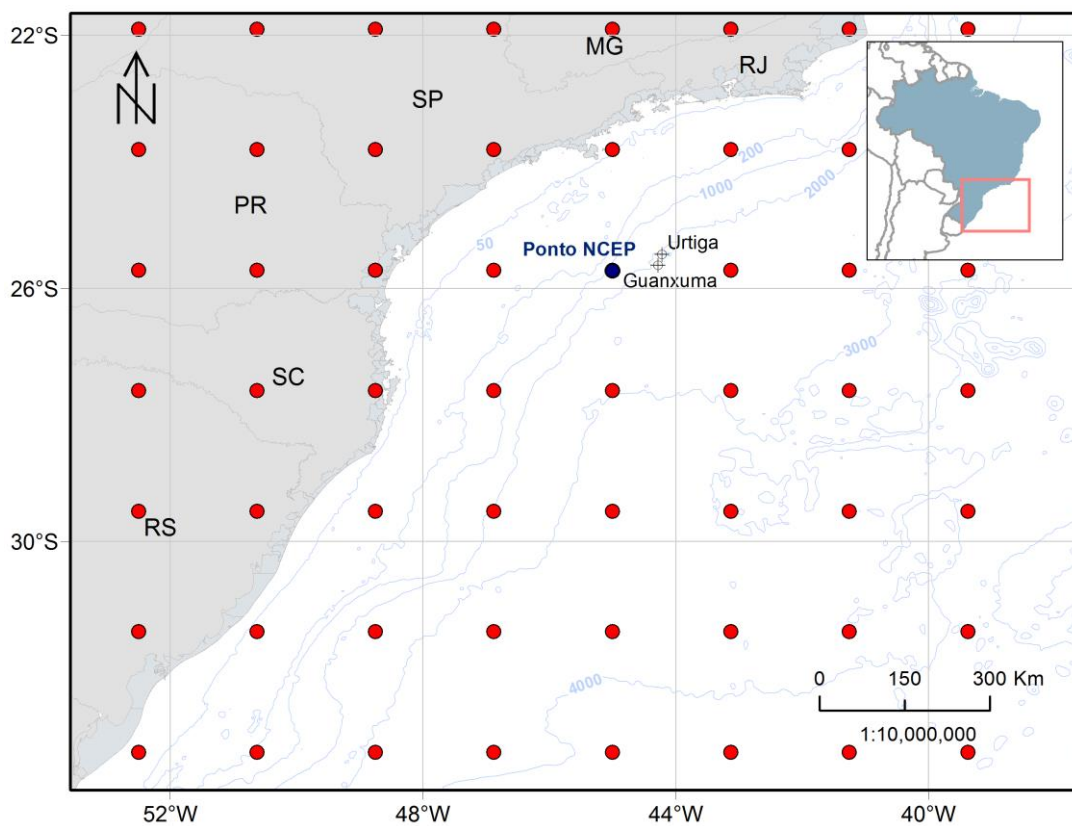


Figura 97: Localização dos pontos de grade do NCEP (em vermelho) em relação aos pontos de vazamento. Ponto em azul é o mais próximo da região de vazamento.

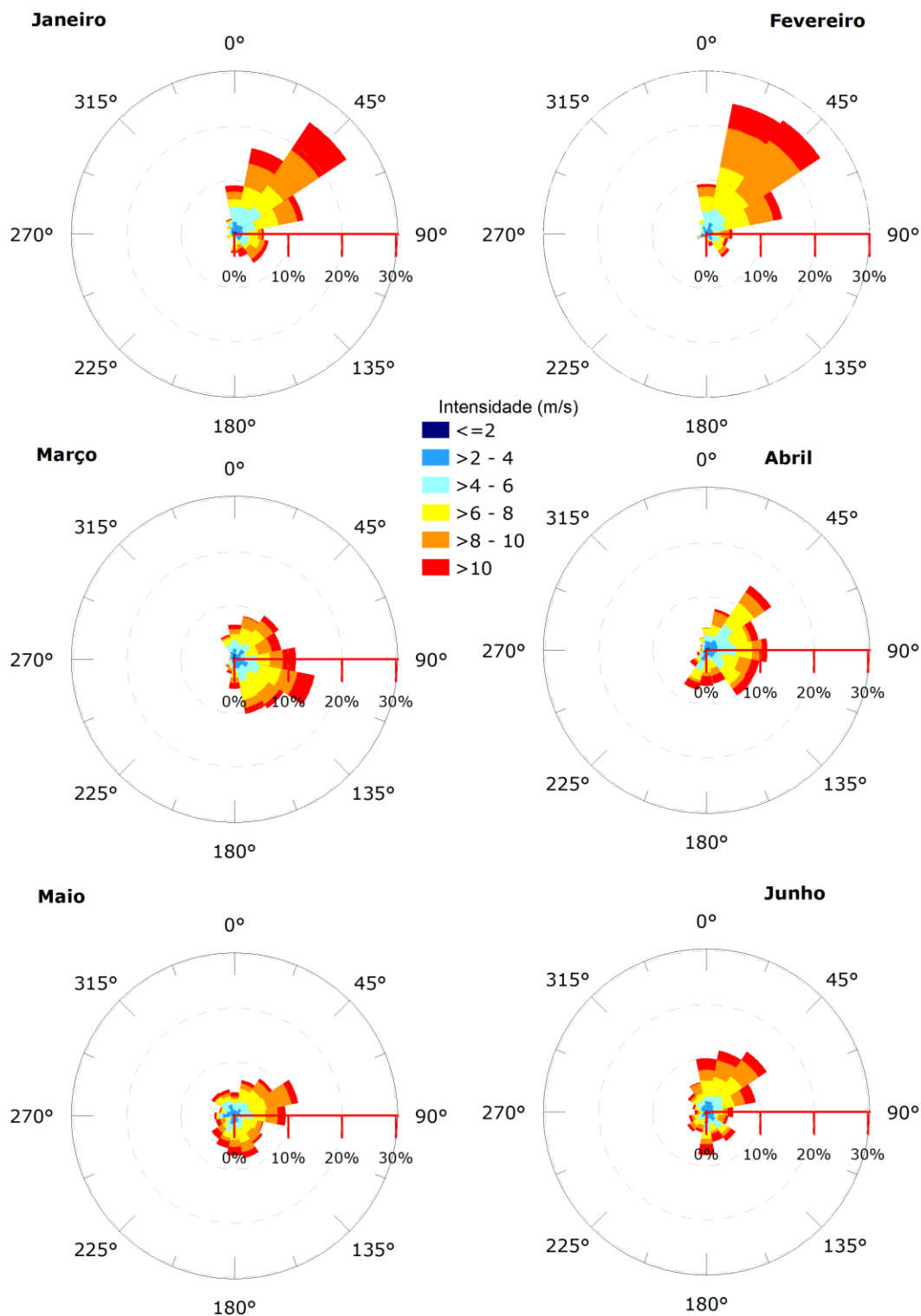


Figura 98: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo do local de vazamento.

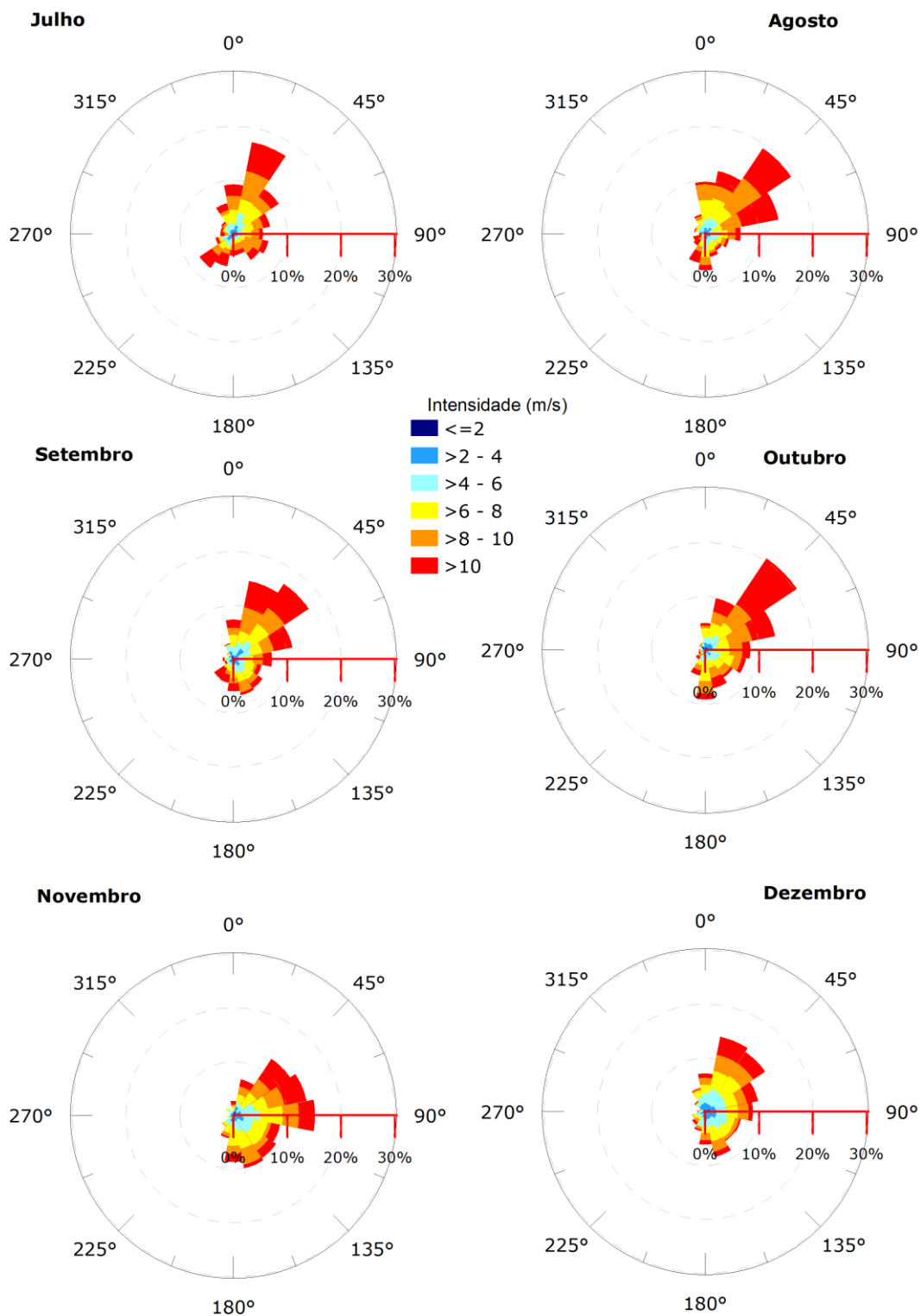


Figura 99: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo dos locais de vazamento.

Tabela 15: Ocorrência mensal de direção dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	9,0	9,2	6,5	4,2	4,4	10,0	9,2	9,7	7,3	5,0	2,7	7,1
NNE	16,3	24,5	8,2	7,8	6,8	11,7	17,4	11,9	14,8	9,8	6,8	14,2
NE	25,0	25,2	9,8	14,5	8,4	13,5	10,2	19,2	16,8	20,5	12,7	13,4
ENE	13,1	14,2	8,9	9,8	12,1	9,3	6,9	13,9	11,2	13,2	13,8	10,0
E	5,5	4,8	11,5	11,3	9,5	5,0	5,5	6,6	7,2	8,4	15,2	8,9
ESE	6,5	4,1	15,2	10,0	5,5	4,2	6,6	4,5	5,3	7,7	8,8	6,8
SE	6,5	5,1	11,0	10,2	6,3	6,5	5,8	3,7	6,5	6,1	9,5	6,6
SSE	4,4	2,3	10,3	6,3	8,1	5,7	3,9	4,4	6,8	7,3	10,0	8,5
S	3,5	1,4	5,5	6,7	7,4	8,0	4,0	6,8	6,0	9,2	8,7	6,1
SSO	1,0	0,5	2,7	7,5	6,1	3,8	6,1	5,5	4,5	4,8	4,3	3,7
SE	1,0	0,9	1,9	3,7	5,2	4,3	7,6	2,6	4,3	2,1	2,5	2,9
OSO	1,5	1,8	0,6	1,8	3,5	3,3	3,4	2,3	1,7	1,3	1,2	2,4
O	1,1	0,9	1,0	1,2	3,7	2,2	2,4	1,1	2,0	1,1	0,7	1,5
ONO	1,1	1,1	1,1	1,2	2,9	2,7	2,4	2,1	1,0	0,6	0,7	1,0
NO	1,8	1,4	1,1	1,3	5,2	4,2	2,7	2,1	1,5	1,3	1,7	2,4
NNO	2,9	2,7	4,7	2,5	5,0	5,7	5,8	3,7	3,0	1,5	0,8	4,5

Tabela 16: Ocorrência mensal de intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento.

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
Janeiro	3,7	13,1	22,3	23,1	22,9	15,0
Fevereiro	3,4	10,8	17,2	26,1	28,4	14,2
Março	5,8	15,3	19,2	26,5	19,2	14,0
Abril	5,5	15,2	23,0	28,5	14,5	13,3
Maio	3,9	16,1	19,8	26,6	20,2	13,4
Junho	5,2	16,7	15,7	25,2	20,5	16,8
Julho	3,7	11,0	15,5	20,5	25,5	23,9
Agosto	3,4	8,2	18,2	21,6	22,6	26,0
Setembro	4,2	11,3	19,7	20,3	19,2	25,3
Outubro	4,5	9,5	15,0	23,1	22,4	25,5
Novembro	2,5	12,3	20,5	26,8	18,3	19,5
Dezembro	5,0	16,3	24,8	23,2	17,4	13,2

3.1.4.2 Correntes

Como forçante hidrodinâmica foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico descritos no item 2 – Modelagem Hidrodinâmica. Assim, são apresentadas as rosas de correntes mensais (Figura 100 a Figura 103) para o ponto mais próximo dos locais de vazamento, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 17 a Tabela 20).

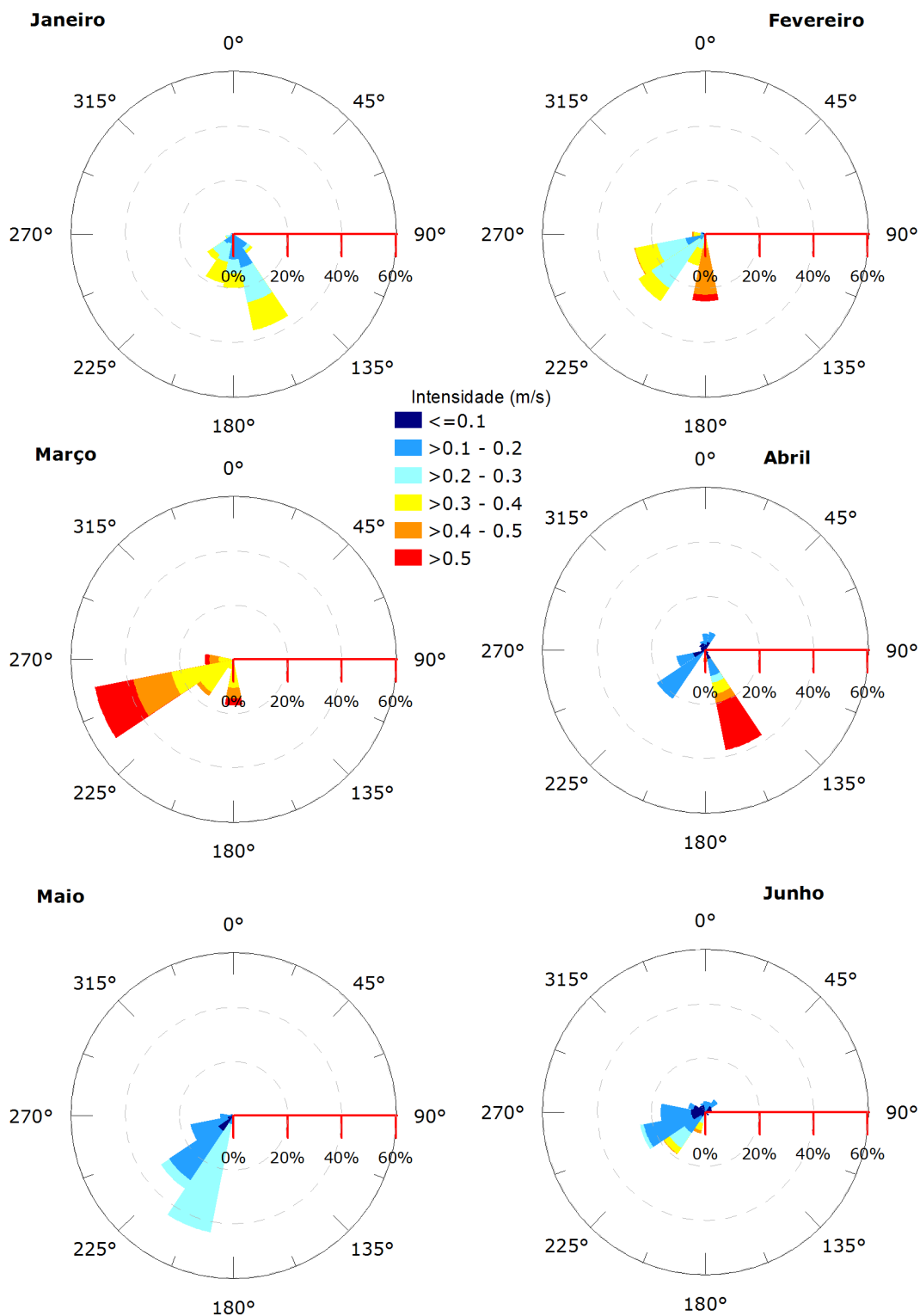


Figura 100: Rosa de correntes para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).

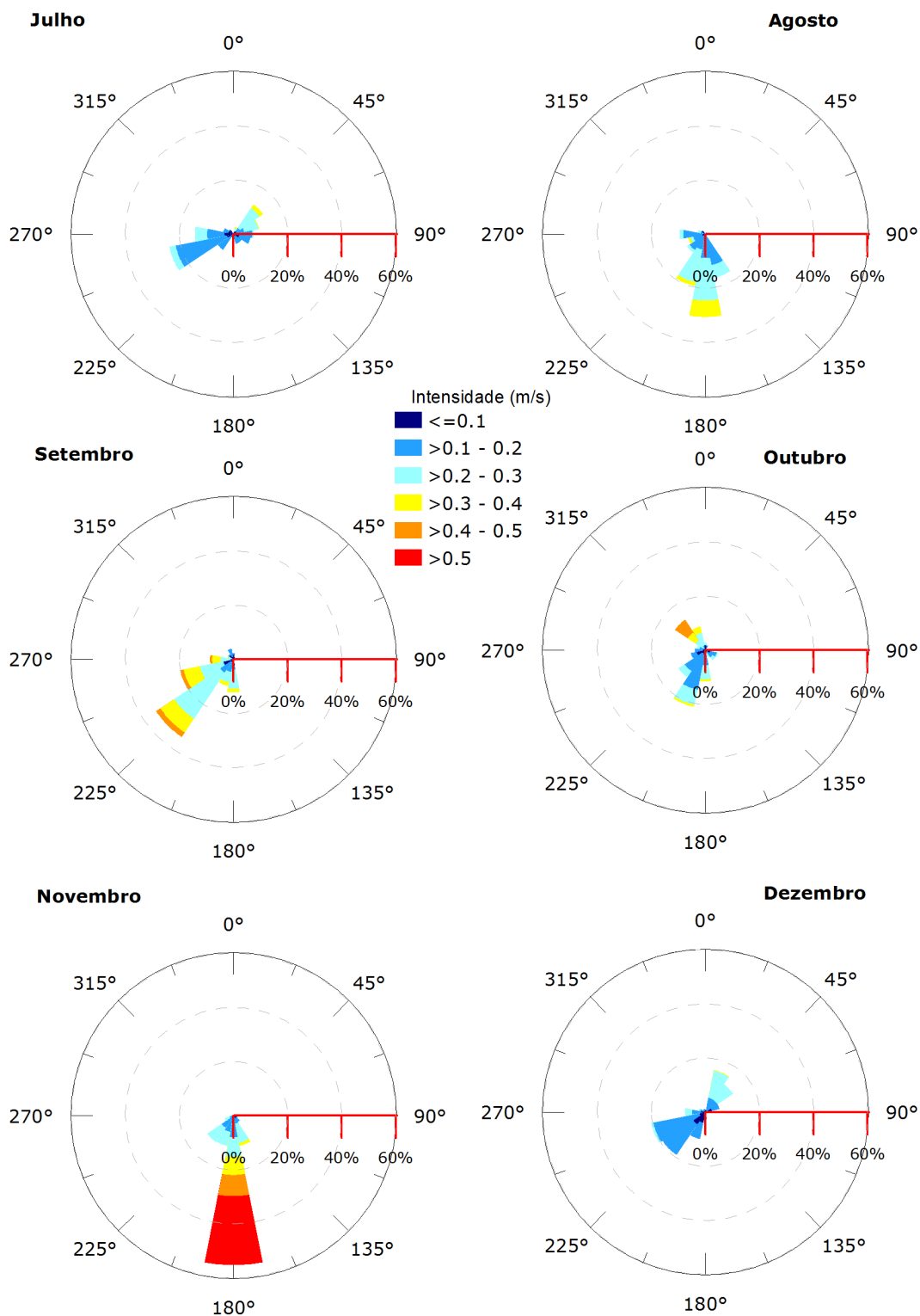


Figura 101: Rosa de correntes para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).

Tabela 17: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	-	-	-	6,0	-	3,9	0,3	-	2,2	2,7	-	0,8
NNE	0,3	-	-	6,9	-	3,9	2,7	0,3	0,8	1,9	-	15,8
NE	-	-	-	0,3	-	5,6	13,2	0,8	0,6	0,3	-	12,3
ENE	-	-	-	0,3	-	2,5	9,7	0,3	0,3	0,8	-	5,4
E	-	-	-	0,3	-	0,6	7,5	0,8	0,3	2,4	-	0,8
ESE	0,6	-	-	0,3	-	0,8	6,5	0,8	0,8	4,9	1,7	-
SE	8,6	-	-	1,4	-	1,7	3,8	1,1	-	4,6	3,1	0,3
SSE	36,3	-	-	37,6	-	0,3	3,8	16,5	0,8	2,7	11,4	0,3
S	19,9	24,9	17,1	4,3	0,8	0,3	-	30,7	12,3	11,6	55,3	2,7
SSO	18,6	12,0	3,7	0,9	43,9	8,1	1,1	19,6	10,1	21,4	11,4	10,2
SO	11,6	29,8	16,3	21,6	32,3	18,7	7,0	8,1	34,5	11,9	11,7	19,0
OSO	3,0	26,8	52,3	10,9	16,2	24,6	24,2	6,4	20,2	5,4	3,3	20,4
O	0,3	4,9	10,6	1,4	4,9	16,5	14,2	9,5	8,7	3,8	1,4	7,5
ONO	0,8	1,5	-	1,7	1,1	6,4	3,8	2,8	2,2	3,2	0,6	2,4
NO	-	-	-	2,6	0,8	2,8	2,2	1,7	2,2	13,5	0,3	1,1
NNO	-	-	-	3,4	-	3,4	0,3	0,6	3,9	8,9	-	1,1

Tabela 18: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Urtiga (Bloco BM-S-8).

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	2,5	36,3	33,5	27,7	-	-
Fevereiro	2,2	11,1	37,8	28,3	18,2	2,5
Março	-	0,9	5,4	51,4	23,4	18,9
Abril	25,0	45,1	3,2	4,6	4,0	18,1
Mai	11,3	44,2	44,5	-	-	-
Junho	32,4	50,0	10,9	5,3	1,4	-
Julho	19,6	54,8	23,1	2,4	-	-
Agosto	7,0	46,4	38,3	8,4	-	-
Setembro	16,2	15,4	45,7	18,5	4,2	-
Outubro	16,5	43,2	27,0	7,6	5,7	-
Novembro	4,7	25,3	28,9	7,8	7,8	25,6
Dezembro	20,9	57,6	21,2	0,3	-	-

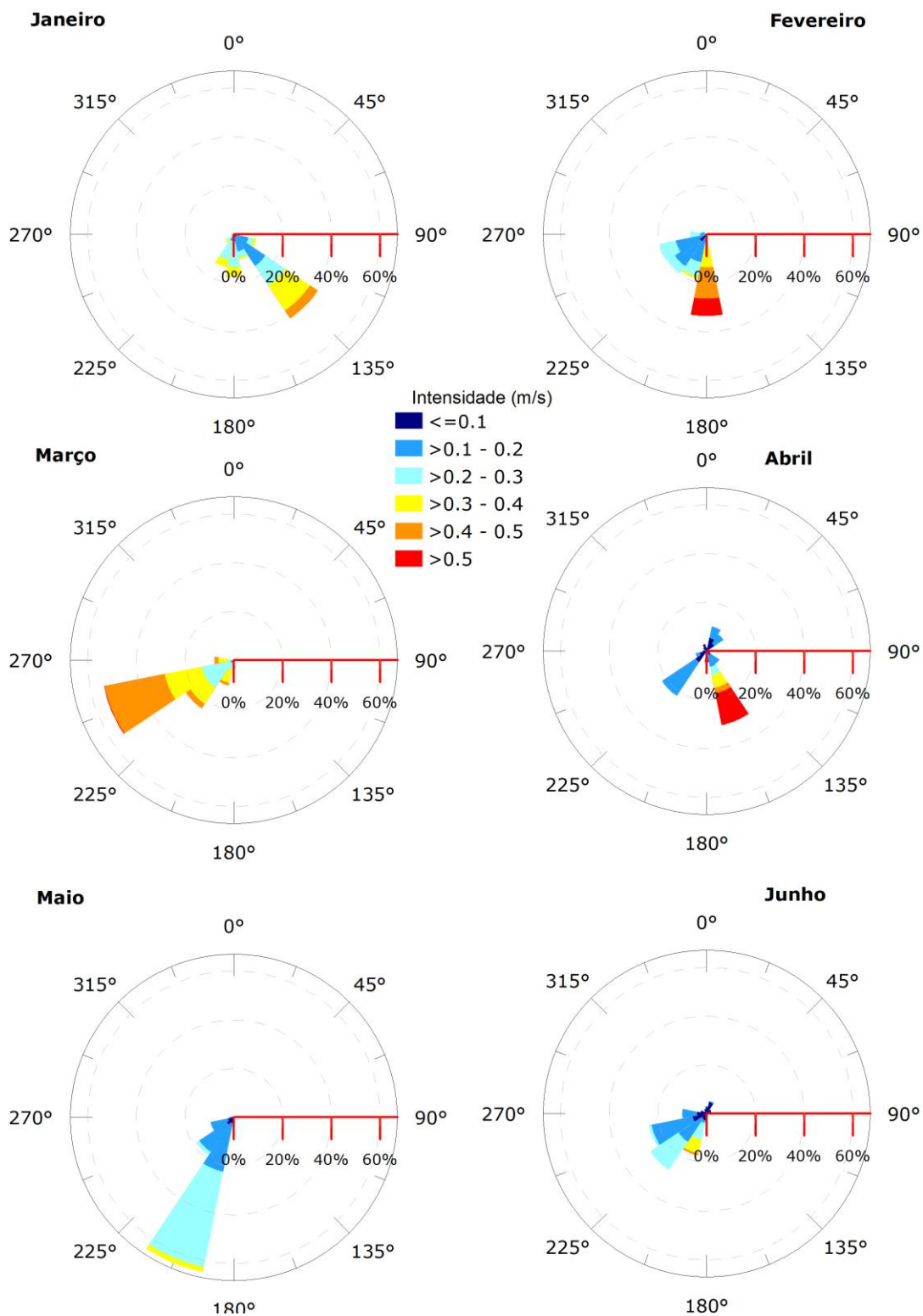


Figura 102: Rosa de correntes para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).

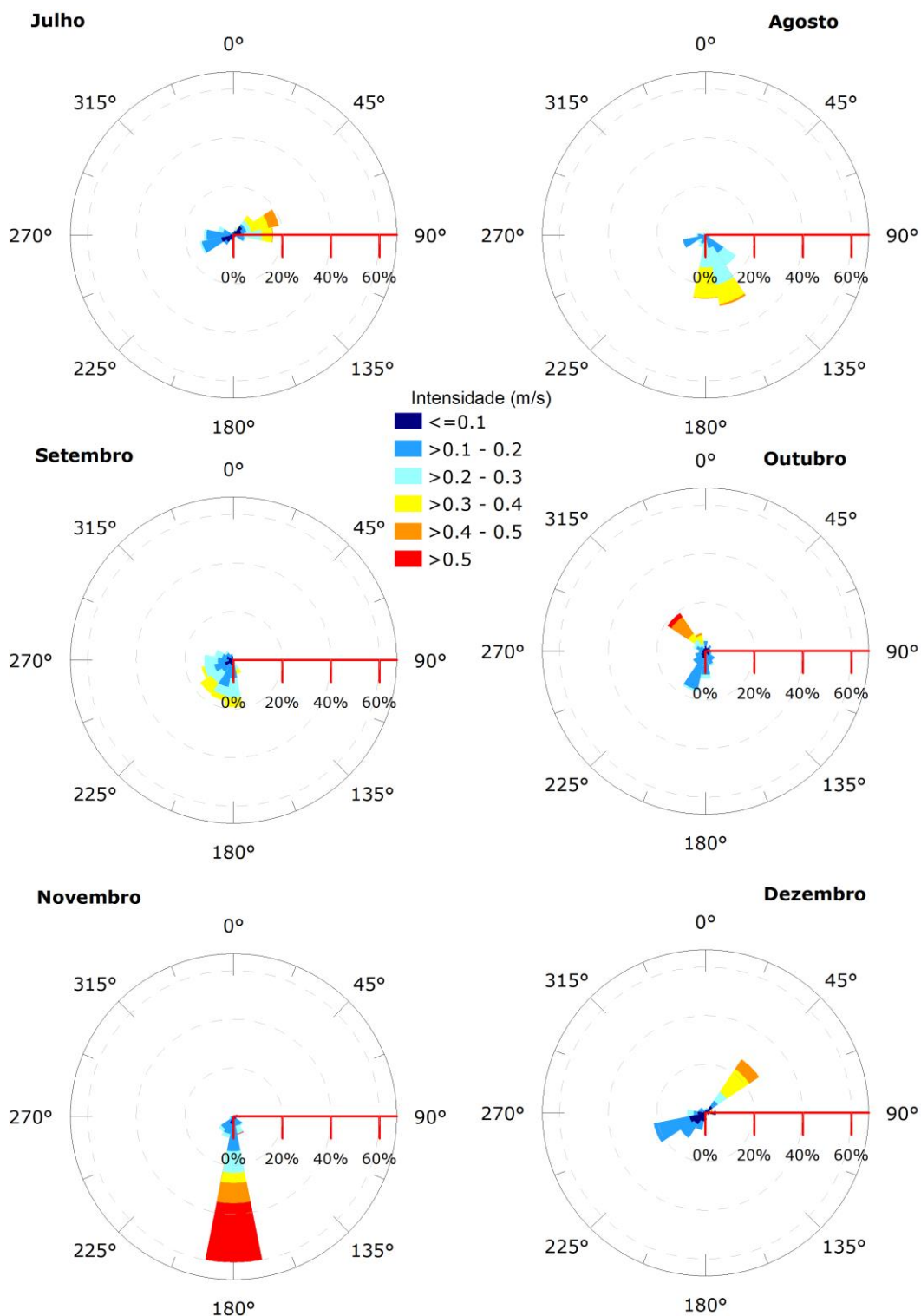


Figura 103: Rosa de correntes para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).

Tabela 19: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	0,3	-	-	1,7	-	3,1	1,1	-	0,3	4,3	0,6	1,9
NNE	0,3	-	-	10,3	-	5,3	3,2	-	0,3	1,3	0,3	2,1
NE	0,6	-	-	8,3	-	2,2	9,7	0,3	0,3	3,0	0,3	26,5
ENE	-	-	-	0,3	-	1,9	18,9	0,8	-	2,2	1,7	2,9
E	-	-	-	0,6	-	0,6	16,2	1,7	-	2,4	2,8	4,3
ESE	9,5	-	-	1,7	-	-	5,1	2,2	-	3,0	1,4	1,6
SE	41,5	-	-	6,3	-	0,3	1,1	15,0	0,3	4,8	4,7	0,5
SSE	10,6	0,3	-	30,9	-	0,6	1,1	29,8	5,9	6,5	7,5	1,1
S	17,5	33,5	3,4	4,6	4,0	1,1	1,4	26,2	19,3	11,3	59,9	2,9
SSO	13,9	18,5	10,6	1,4	64,7	17,5	2,4	5,3	17,0	16,9	8,9	7,2
SO	4,2	19,4	23,7	22,1	18,6	27,8	4,9	3,9	16,5	6,2	7,5	12,3
OSO	1,1	19,7	54,3	4,6	9,7	24,2	14,1	9,5	13,4	4,3	1,9	21,7
O	-	6,8	8,0	1,7	1,9	10,0	12,2	3,6	12,0	2,7	1,4	7,5
ONO	-	1,8	-	0,9	0,8	2,5	6,5	0,6	7,8	4,8	0,6	2,9
NO	0,3	-	-	1,7	0,3	1,1	1,1	0,8	4,5	18,8	0,3	2,7
NNO	0,3	-	-	2,9	-	1,9	1,1	0,3	2,5	7,5	0,3	1,6

Tabela 20: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao Poço Guanxuma (Bloco BM-S-8).

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	6,1	31,2	35,9	22,6	4,2	-
Fevereiro	4,6	41,2	24,3	9,8	12,9	7,1
Março	-	3,1	30,0	33,4	33,1	0,3
Abril	28,4	43,0	3,4	5,4	3,7	16,0
Mai	10,2	44,5	43,1	2,2	-	-
Junho	33,9	36,9	22,5	5,8	0,8	-
Julho	27,8	35,9	17,3	14,3	4,6	-
Agosto	4,5	35,4	38,4	20,6	1,1	-
Setembro	16,5	34,9	34,1	14,5	-	-
Outubro	23,9	47,8	10,8	6,5	9,1	1,9
Novembro	13,4	32,9	16,7	4,2	8,4	24,5
Dezembro	37,3	37,5	8,3	11,5	5,4	-

3.1.4.3 Separação Sazonal

A partir da observação das informações de ventos e correntes são identificadas duas condições sazonais a serem utilizadas no estudo.

A primeira, denominada **Período 1**, compreende os meses de **setembro a fevereiro** e a segunda, denominada **Período 2**, compreende os meses de **março a agosto**.

A partir da observação das rosas dos ventos do ponto do NCEP próximo aos pontos de vazamento, que trazem informações sobre as frequências de ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos na região, foi observado que na maioria dos meses do Período 1, há maior frequência e incidência de ventos do primeiro quadrante, com predominância de ventos de nordeste e intensidades predominantes acima de 6 m/s sendo que em dois meses a maior porcentagem fica em ventos acima de 10 m/s, enquanto na maioria nos meses do Período 2 há um aumento da frequência de ventos de segundo quadrante e as intensidades predominantes neste são menores, ficando entre 6 e 8 m/s.

Em relação às correntes, levando em consideração as posições dos pontos de vazamento em águas profundas, estes não se encontram na região preferencial do fluxo da Corrente do Brasil. Apresentam influência por ela sim, mas existe maior meandramento desta e conseqüentemente uma maior variação das direções das correntes observadas. Para os dois períodos as correntes variam principalmente de SSE a OSO. E as intensidades predominantes estão entre 0,1 e 0,3 m/s, no entanto entre os meses de Fevereiro e Abril, e em Novembro, há ocorrência de correntes acima de 0,5 m/s.

3.1.4.4 Salinidade e Temperatura

Para definir os perfis de salinidade e temperatura a serem incorporados na modelagem de óleo foram utilizados os dados dos resultados da Modelagem Hidrodinâmica apresentados no item 2.

Os perfis apresentados (Figura 104 e Figura 105) representam a média dos dados para o ponto de grade mais próximo do ponto de vazamento e dentro dos períodos sazonais escolhidos (3.1.4.3 Separação Sazonal).

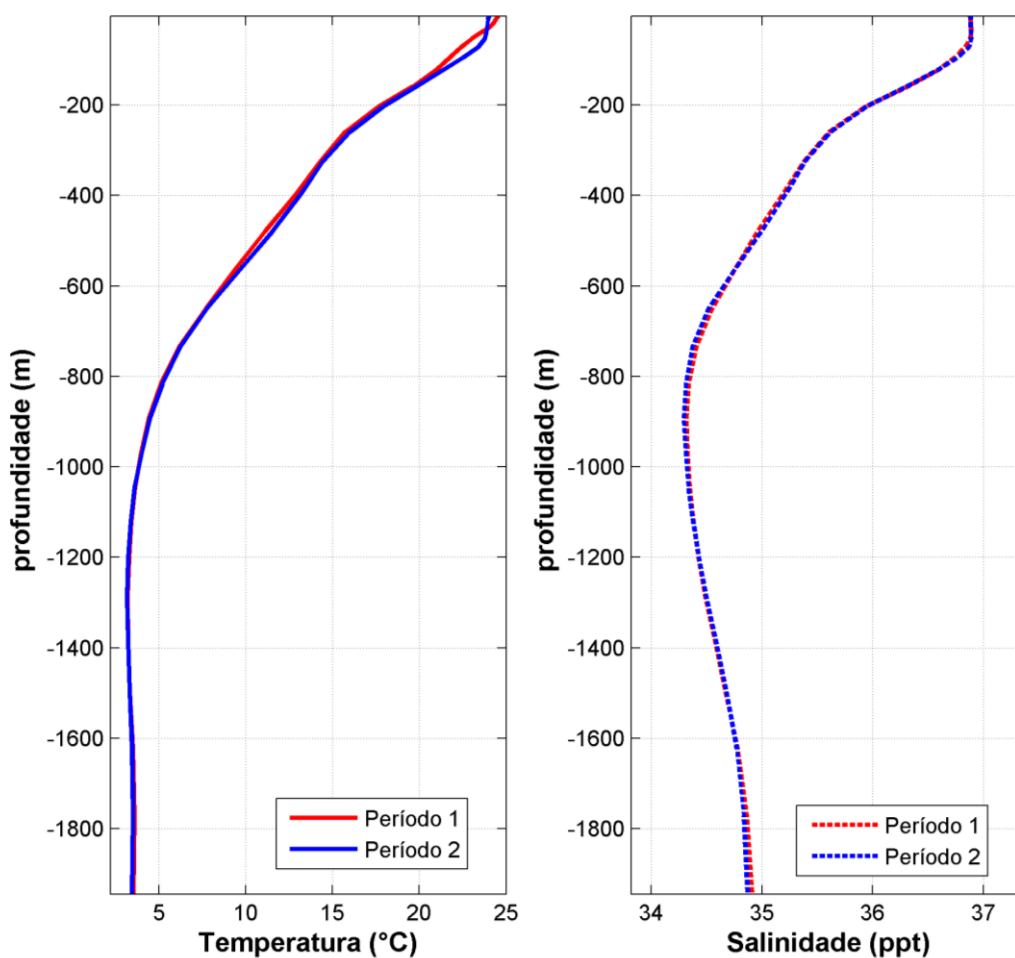


Figura 104: Perfis de salinidade e temperatura para o Poço Urtiga.

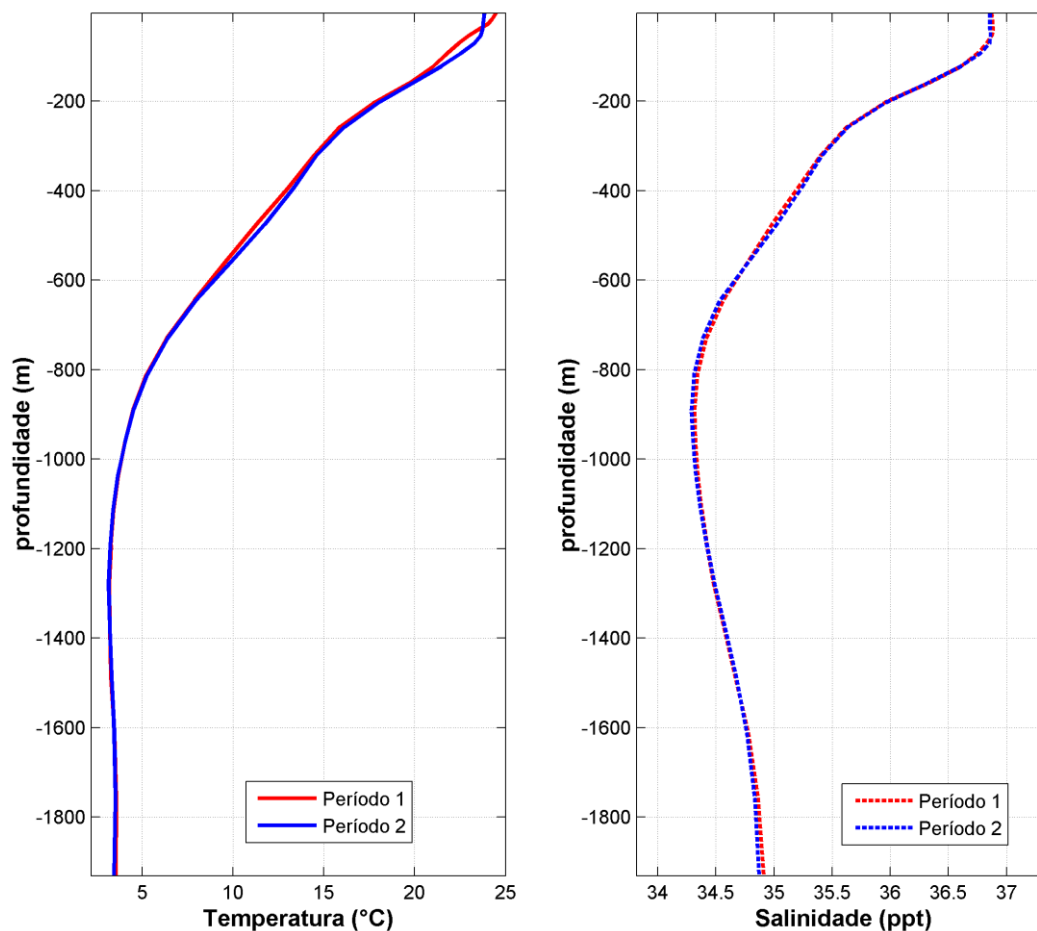


Figura 105: Perfis de salinidade e temperatura para o Poço Guanxuma.

3.1.5 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 na Bacia de Santos (Figura 97). Os resultados podem ser observados na Figura 106.

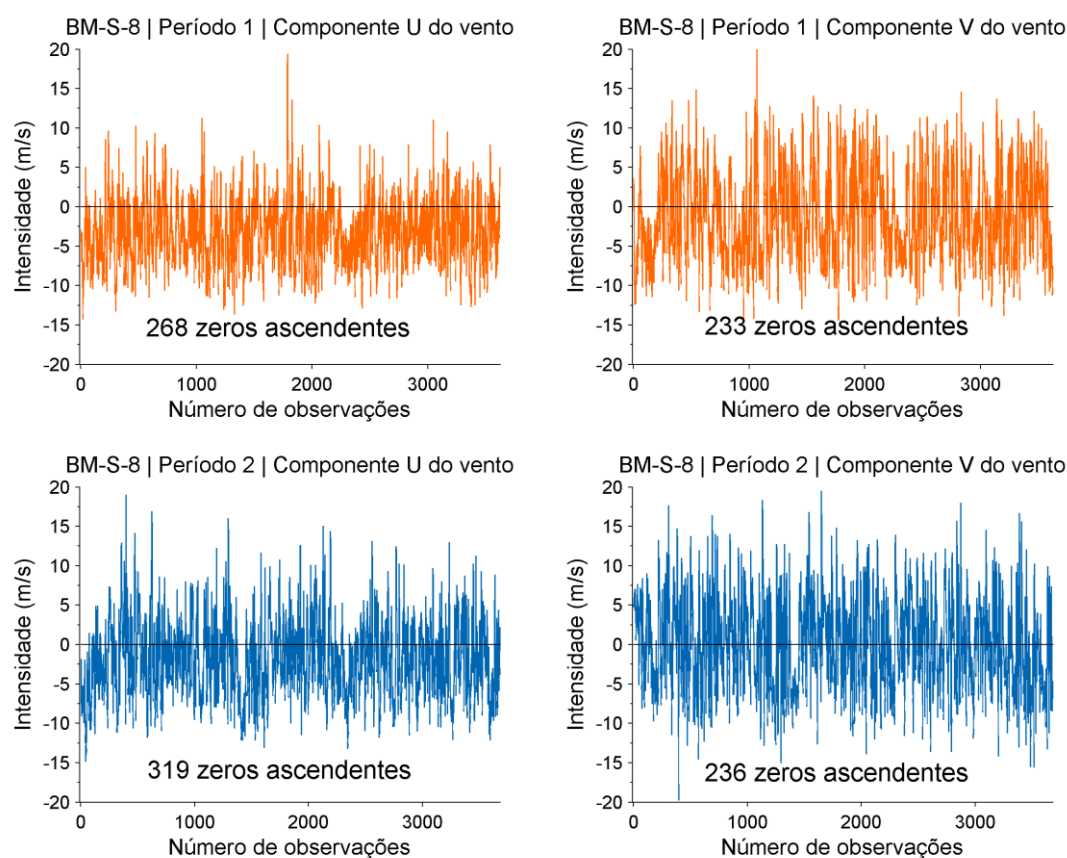


Figura 106: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região dos pontos de vazamento na Bacia de Santos, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que a no Período 1, o número de zeros ascendentes foi de 268, para a componente zonal (u) e 233 para a meridional (v). No Período 2, o número de zeros ascendentes para componente zonal (u) foi de 319 e da componente meridional (v) de 236.

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 268 e 319 para os períodos 1 e 2, respectivamente. No estudo em questão foram utilizadas 320 simulações para cada condição sazonal. Essas simulações são escolhidas com espaçamento de tempo regular, permitindo assim considerar todo o período de dados e toda a variabilidade ambiental da região no período.

3.2. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados das simulações de deriva do óleo cru para vazamentos de 8 m³, 200 m³ e pior caso (*blowout* – 1.167.000 m³, equivalente ao vazamento diário de 38.900 m³ durante 30 dias), nos modos probabilístico e determinístico.

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, conforme exposto anteriormente, 320 diferentes simulações para cada período definido (Período 1 e 2) nos diferentes volumes de vazamento, para cada ponto, totalizando 3.840 possíveis cenários ambientais de vazamento.

Para avaliação da presença de óleo no fundo oceânico foi utilizado o seguinte procedimento: a partir do cruzamento dos mapas de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água em diversas profundidades com o mapa de batimetria utilizado no estudo, foram obtidos mapas de probabilidade de presença de óleo no fundo oceânico. É importante observar que existe uma diferença entre este procedimento e a especificação de um limiar de concentração de óleo nos sedimentos. Enquanto a concentração de óleo nos sedimentos leva em consideração um efeito cumulativo de adsorção de óleo nos sedimentos, o critério utilizado no mapa de probabilidade leva em consideração apenas o fato do óleo tocar no fundo oceânico com concentrações superiores a 20 ppb.

Para avaliar a contribuição dos processos de intemperismo no balanço de massa do óleo nas simulações determinísticas que compõem os cenários probabilísticos, são apresentados gráficos do tipo *box-plot*. Nesse tipo de gráfico, é possível representar graficamente uma amostra de dados através de parâmetros estatísticos básicos, como valores mínimo, máximo, mediana, primeiro e terceiro quartis. A Figura 107 mostra o esquema da apresentação dos parâmetros no gráfico *box-plot*.

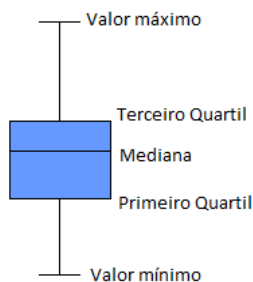


Figura 107: Gráfico do tipo box-plot.

Os cenários críticos simulados no modo determinístico foram definidos através da análise dos resultados sazonais de pior caso, sendo escolhida a situação onde o óleo atingiu a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento e a situação onde houve maior acúmulo de óleo na costa.

O intemperismo e a evolução da massa e área da mancha de óleo são apresentados ao final de cada simulação determinística, através de gráficos e tabelas que apresentam os valores ao longo da simulação.

A Figura 108 e a Figura 109 resumem a forma como os resultados dos modos probabilísticos e determinísticos serão apresentados, respectivamente.

Volume	Resultado	Tempo de Simulação
8 m³	Mapa de Probabilidade em superfície	30 dias
	Mapa de Probabilidade na coluna d'água	30 dias
	Mapa de Tempo Mínimo em superfície	30 dias
200 m³	Mapa de Probabilidade em superfície	30 dias
	Mapa de Probabilidade na coluna d'água	30 dias
	Mapa de Tempo Mínimo em superfície	30 dias
Pior caso (1.167.000 m³)	Mapa de Probabilidade em superfície	60 dias
	Mapa de Probabilidade na coluna d'água	60 dias
	Mapa de Probabilidade na costa	60 dias
	Mapa de Probabilidade no fundo marinho	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 108: Fluxograma de apresentação dos resultados probabilísticos.

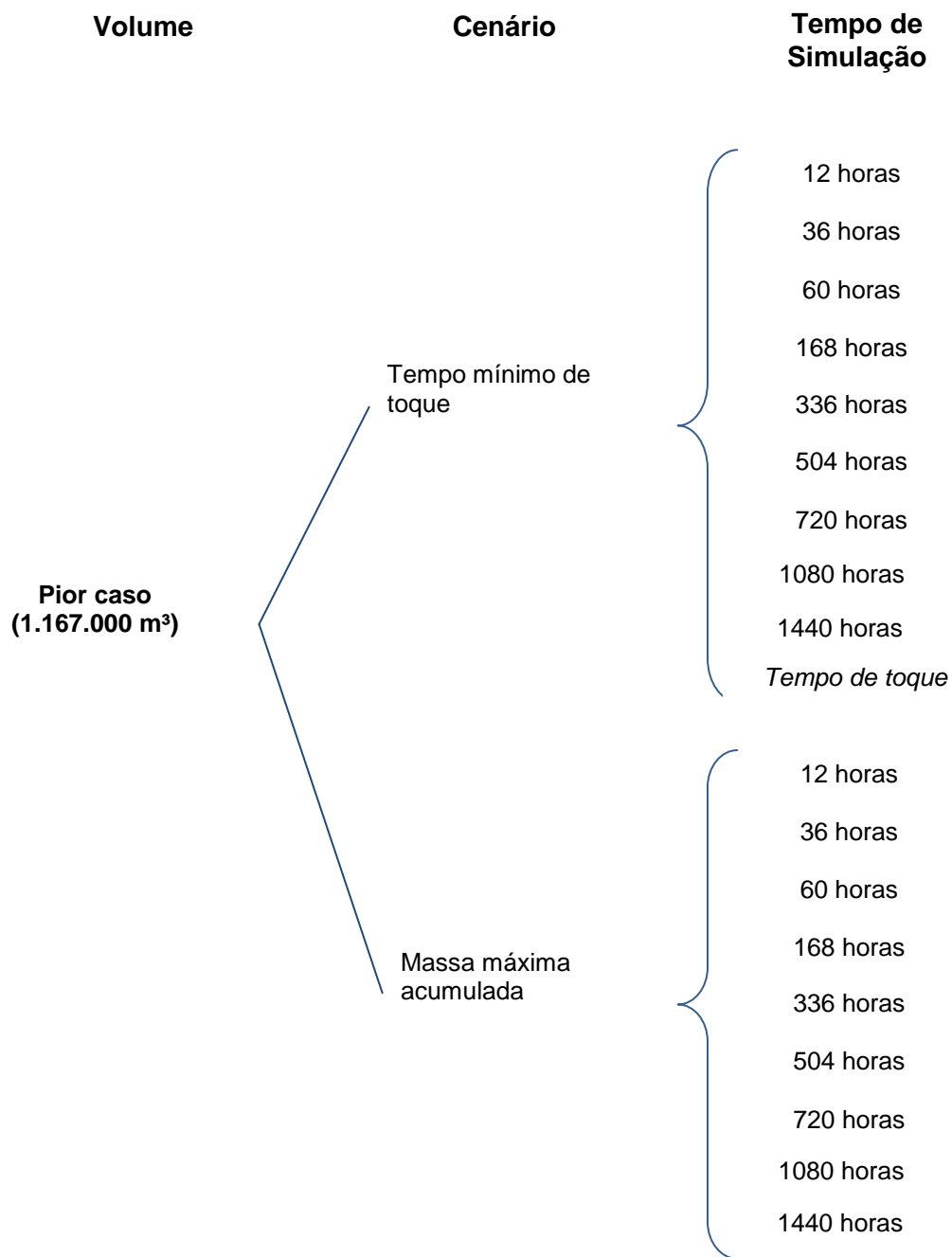


Figura 109: Fluxograma de apresentação dos resultados determinísticos.

3.2.1 Resultados Probabilísticos

A seguir serão apresentados os resultados do modo probabilístico para os vazamentos de óleo cru a partir de dois pontos de risco na Bacia de Santos para os três volumes (8 m³, 200 m³ e pior caso-1.167.000 m³) para o Poço Urtiga e o para o Poço Guanxuma, nos dois cenários sazonais definidos, Período 1 (setembro a fevereiro) e Período 2 (março a agosto).

3.2.1.1 Poço Urtiga

3.2.1.1.1 Vazamento de 8 m³

3.2.1.1.1.1 Período 1

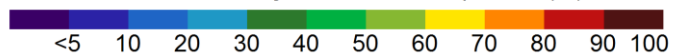
Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na coluna d'água e de tempo mínimo de chegada para o vazamento de 8 m³ a partir do Poço Urtiga no Período 1 são apresentados a seguir (Figura 110 à Figura 112).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 8 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)



UCs Marinhas

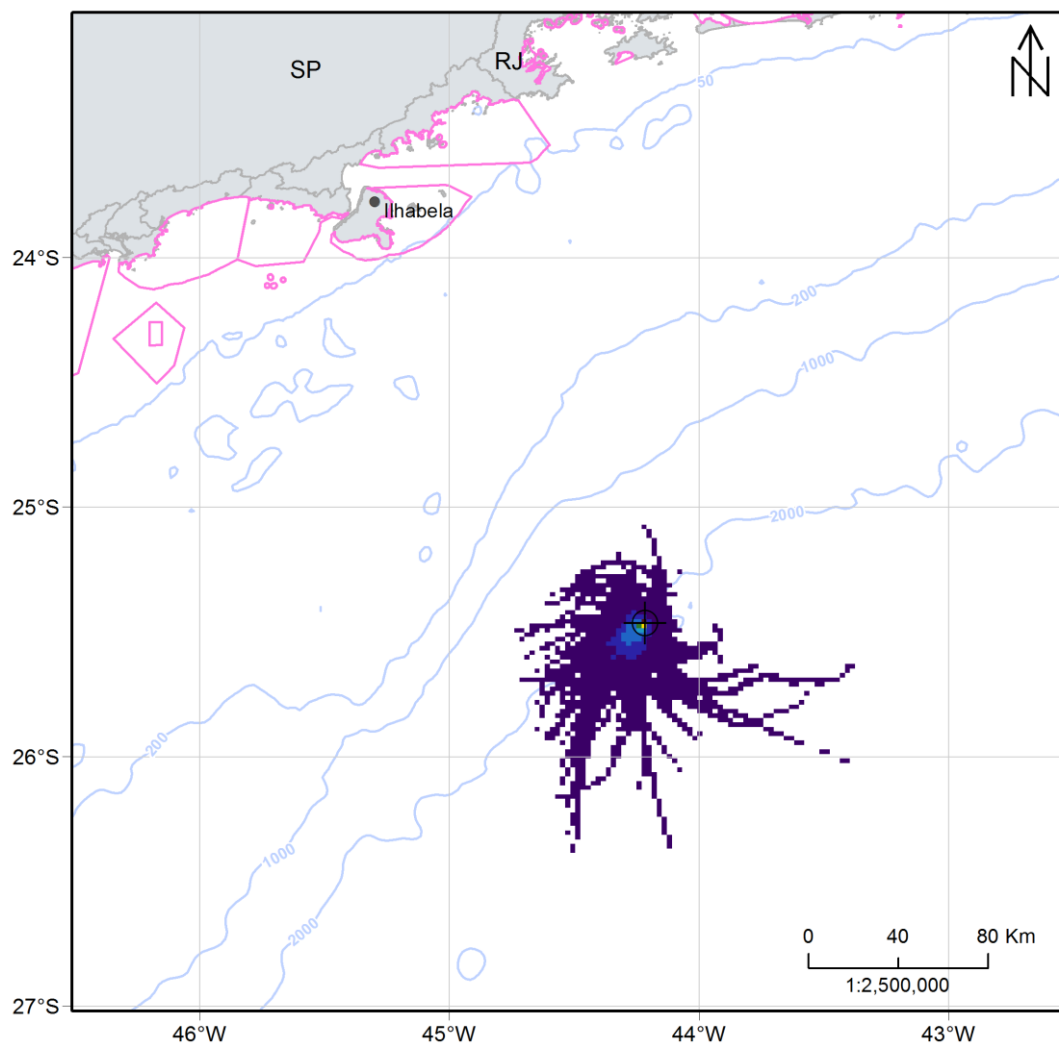


Figura 110: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

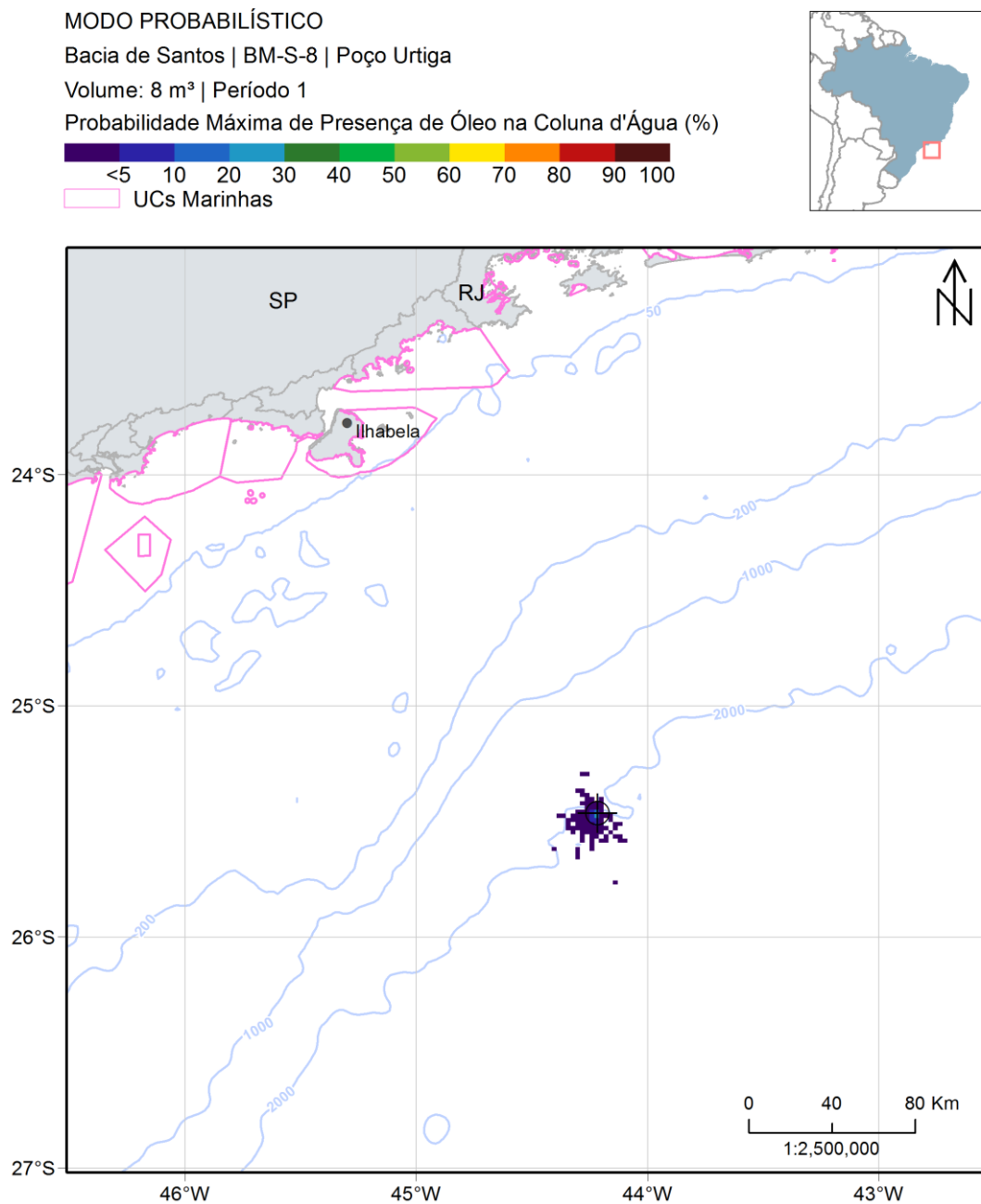


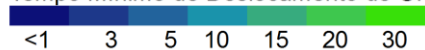
Figura 111: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 8 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

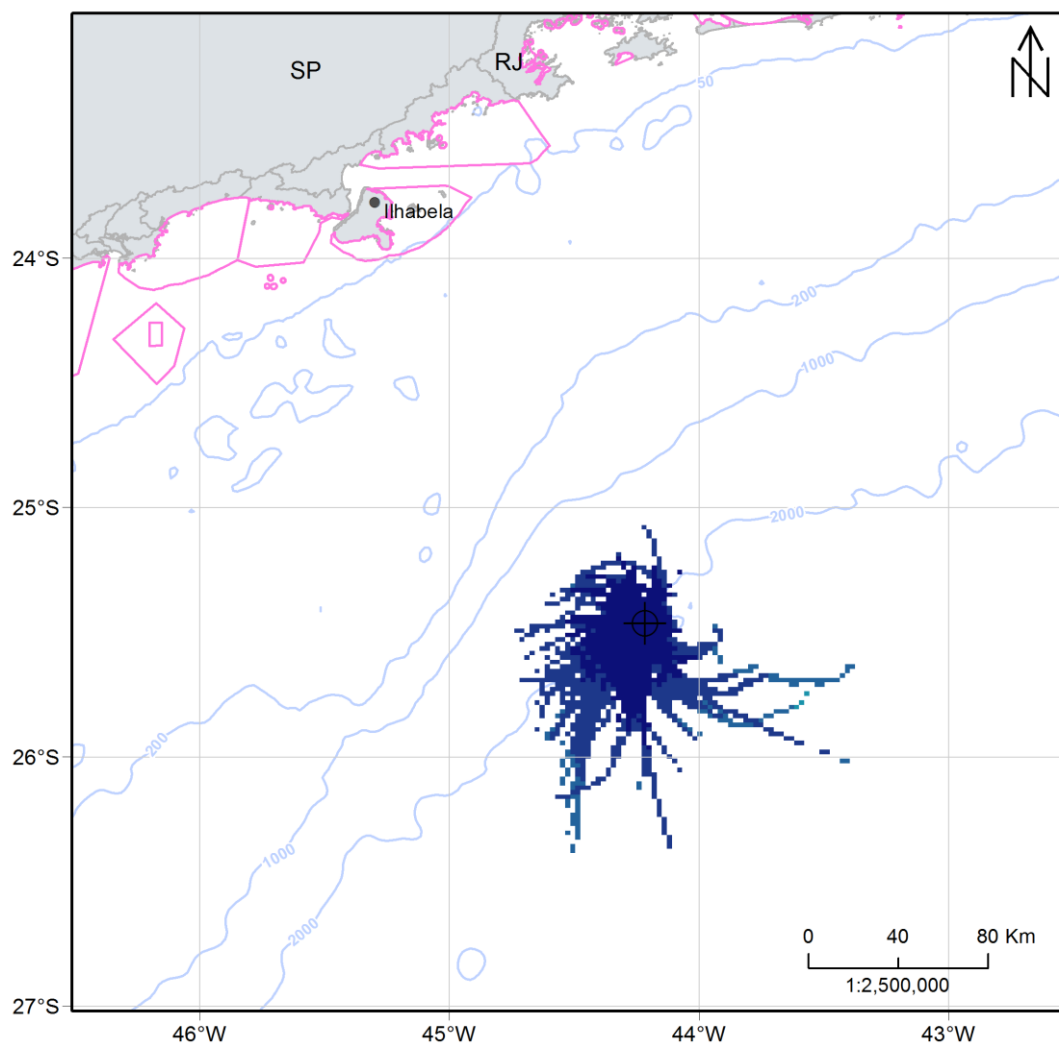


Figura 112: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³.
Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Nota-se que há uma direção preferencial de deriva do óleo para sul e sudoeste do ponto de vazamento, pela influência principalmente da Corrente do Brasil, com a área de probabilidade concentrando-se principalmente em uma região próxima ao ponto de vazamento.

A área de probabilidade se estende, no máximo, a aproximadamente 110 km do ponto de vazamento, concentrando-se principalmente em regiões de profundidades maiores que 2.000 metros próximo ao ponto de vazamento. Ao fim do primeiro dia de início de vazamento, o óleo pode atingir uma distância de até 56 km e o ponto mais afastado é atingido em 3 dias. Na coluna d'água, as probabilidades chegam no máximo a 25% e se restringem às proximidades do ponto de vazamento (até 35 km) e alcançam profundidades de até 32 metros.

Não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação, e o município de Ilhabela – SP foi a localidade que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de presença de óleo (cerca de 160 km).

A seguir, na Figura 113, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da dispersão na coluna d'água (mediana de 44%), seguido pela evaporação (mediana de 35%). O valor mediano da degradação foi cerca de 20% do total de óleo. Após 30 dias, o óleo em superfície em 75% das simulações é inferior a 1% do total e nos sedimentos é inferior a 0,2% em todas as simulações.

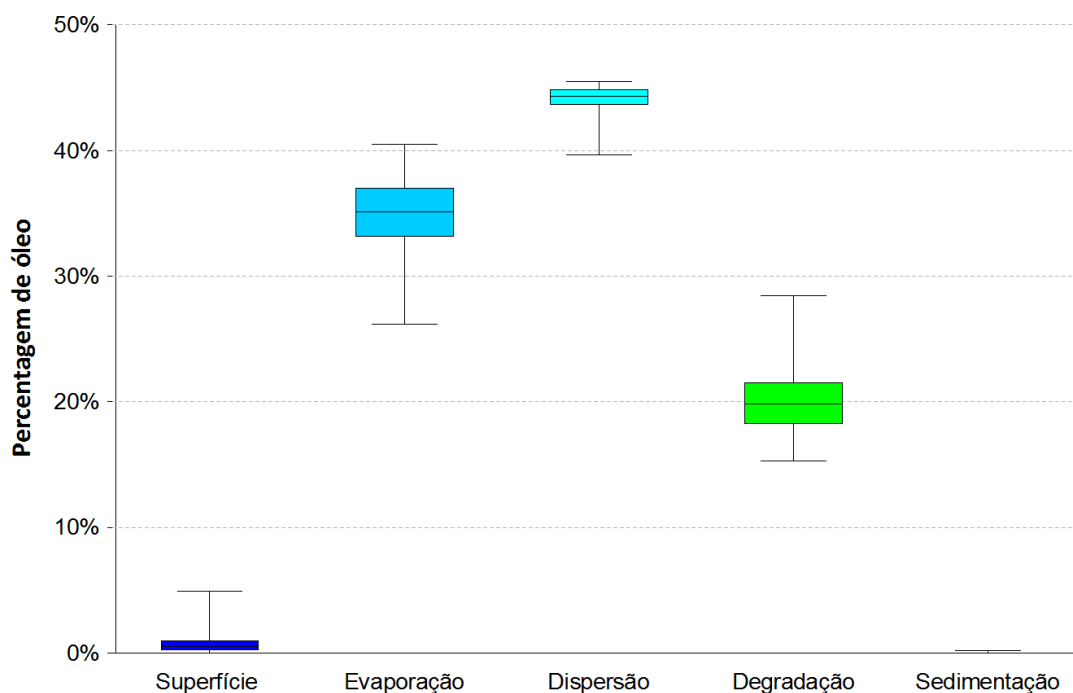


Figura 113: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.1.1.2 Período 2

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e coluna d'água e de tempo mínimo de chegada para o vazamento de 8 m³ a partir do Poço Urtiga no Período 2 são apresentados a seguir (Figura 114 à Figura 116).

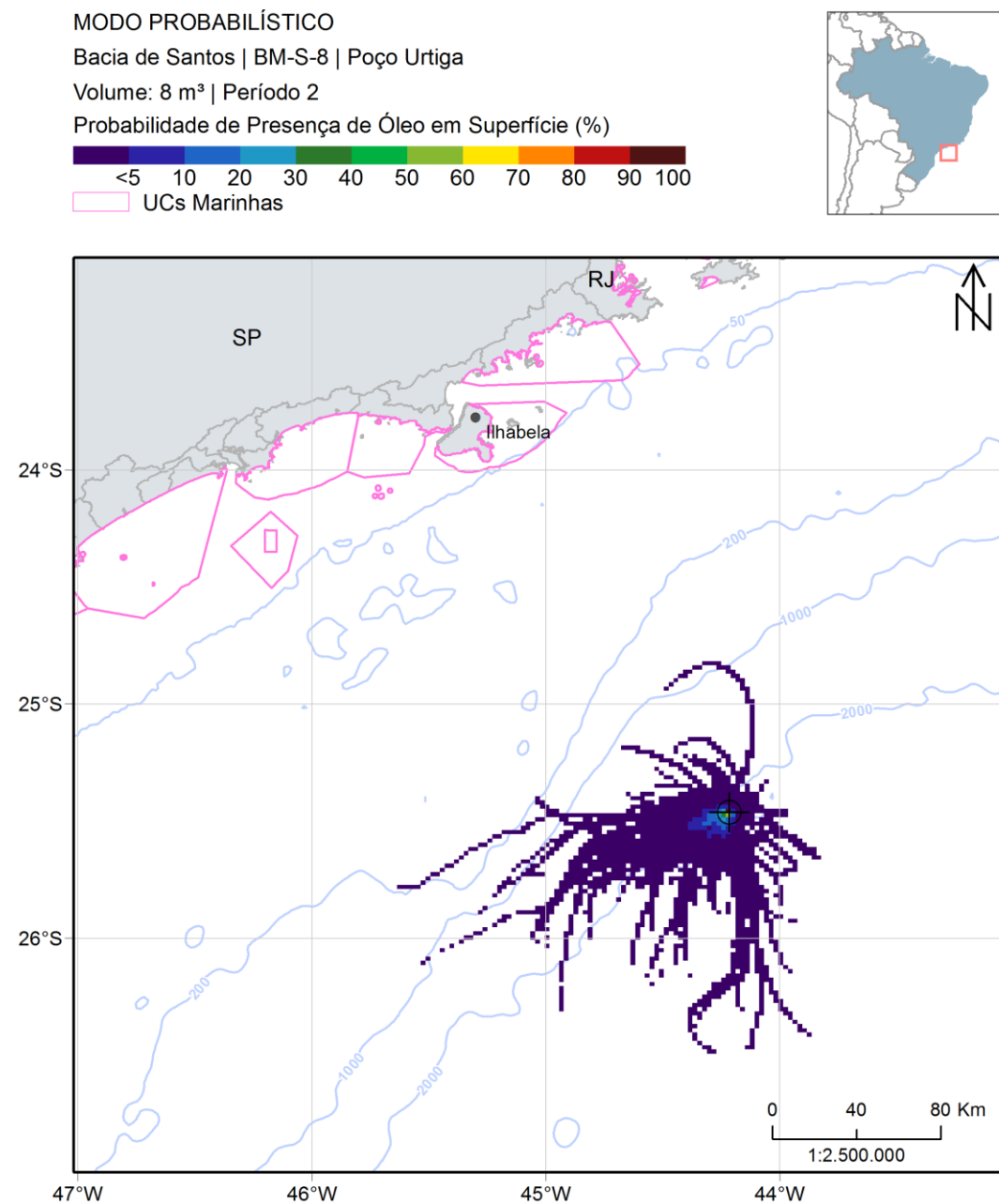


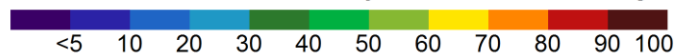
Figura 114: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 8 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

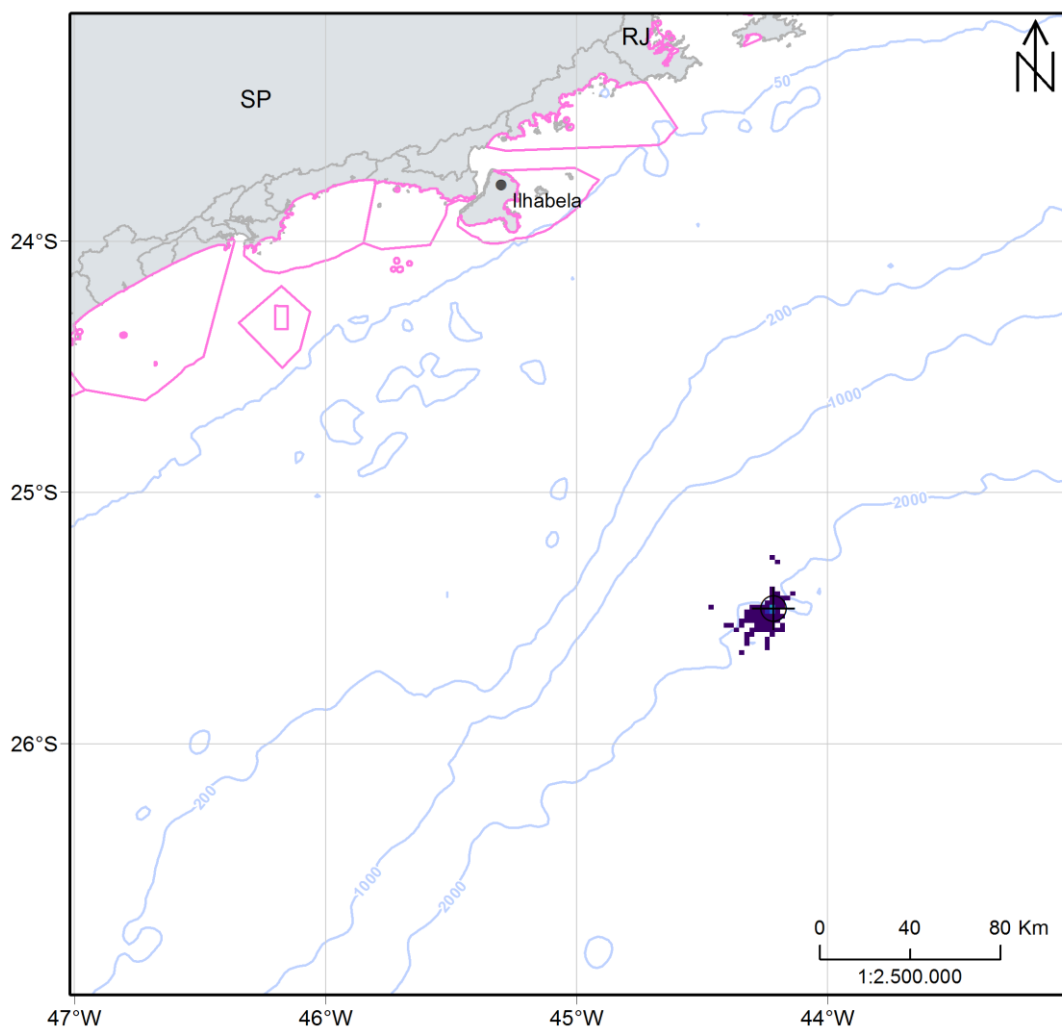


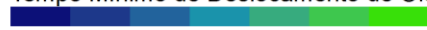
Figura 115: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 8 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

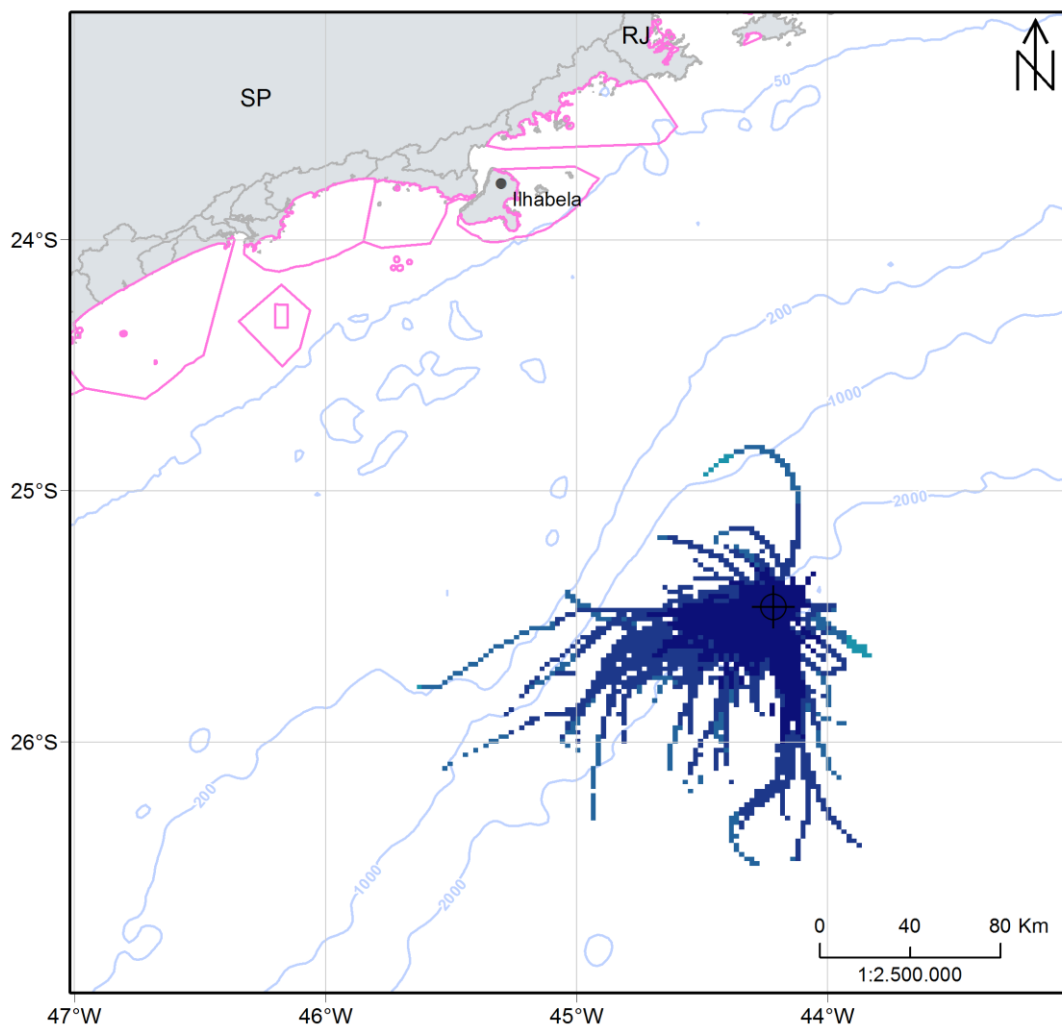


Figura 116: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

As direções preferenciais de deriva do óleo neste cenário são para oeste, sudoeste e sul. No entanto, no Período 2 nota-se que a área de probabilidade de óleo apresenta-se mais espalhada em função da maior variabilidade das direções das correntes e ventos, incluindo correntes na direção sudeste.

A deriva do óleo em superfície neste cenário pode se estender em até cerca de 160 km. No primeiro dia de vazamento, o óleo pode chegar a até 57 km do Poço Urtiga e o ponto mais afastado é alcançado em aproximadamente 5 dias. Na coluna d'água, há probabilidade de presença de óleo atingindo uma distância máxima do ponto de vazamento de 26 km e profundidades de até 32 metros. O valor máximo observado é de 23%.

Neste período não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação, contudo, ressalta-se que o município de Ilhabela – SP foi o que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de presença de óleo (cerca de 132 km).

A seguir, na Figura 117, são apresentados os percentuais de óleo dos processos de intemperismo ao final das simulações. Assim como no cenário do Período ,1 a retirada de óleo da superfície ocorreu principalmente, através da dispersão na coluna d'água (mediana de 47%), seguido pela evaporação (mediana de 35%). O valor mediano da degradação foi cerca de 17% do total de óleo. Após 30 dias, o óleo em superfície em 75% das simulações é inferior a 2% do total e nos sedimentos é inferior a 0,2% em todas as simulações.

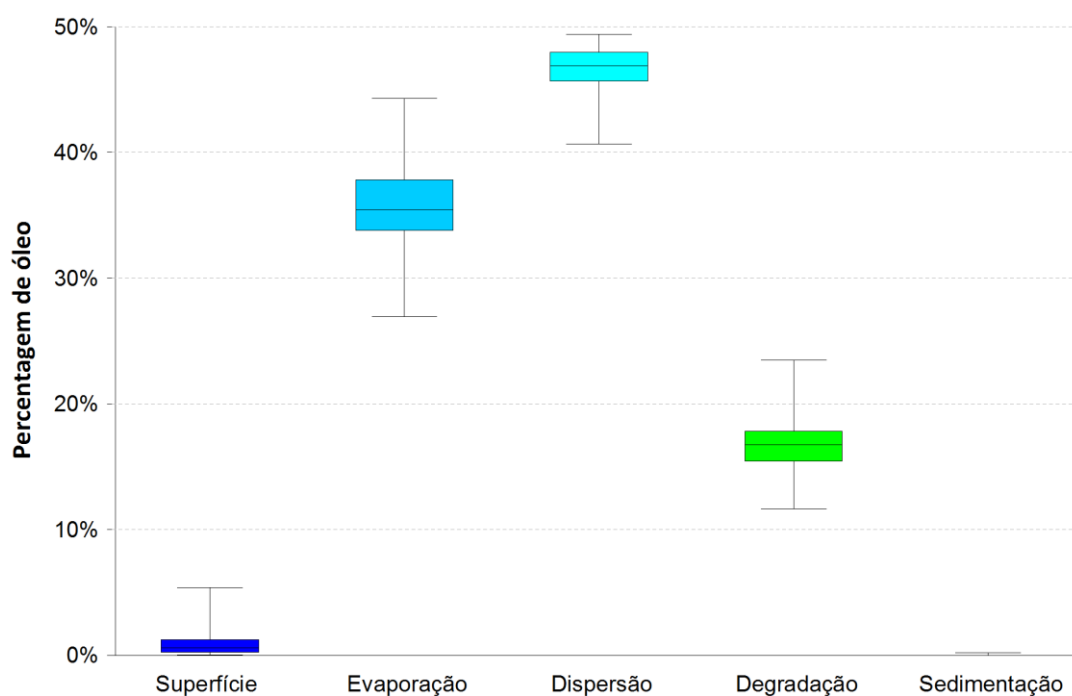


Figura 117: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³. Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.1.2 Vazamento de 200 m³

3.2.1.1.2.1 Período 1

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na coluna d'água para o vazamento de médio porte (200 m³) no Período 1 (Figura 118 e Figura 119). O mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície encontra-se na Figura 120.

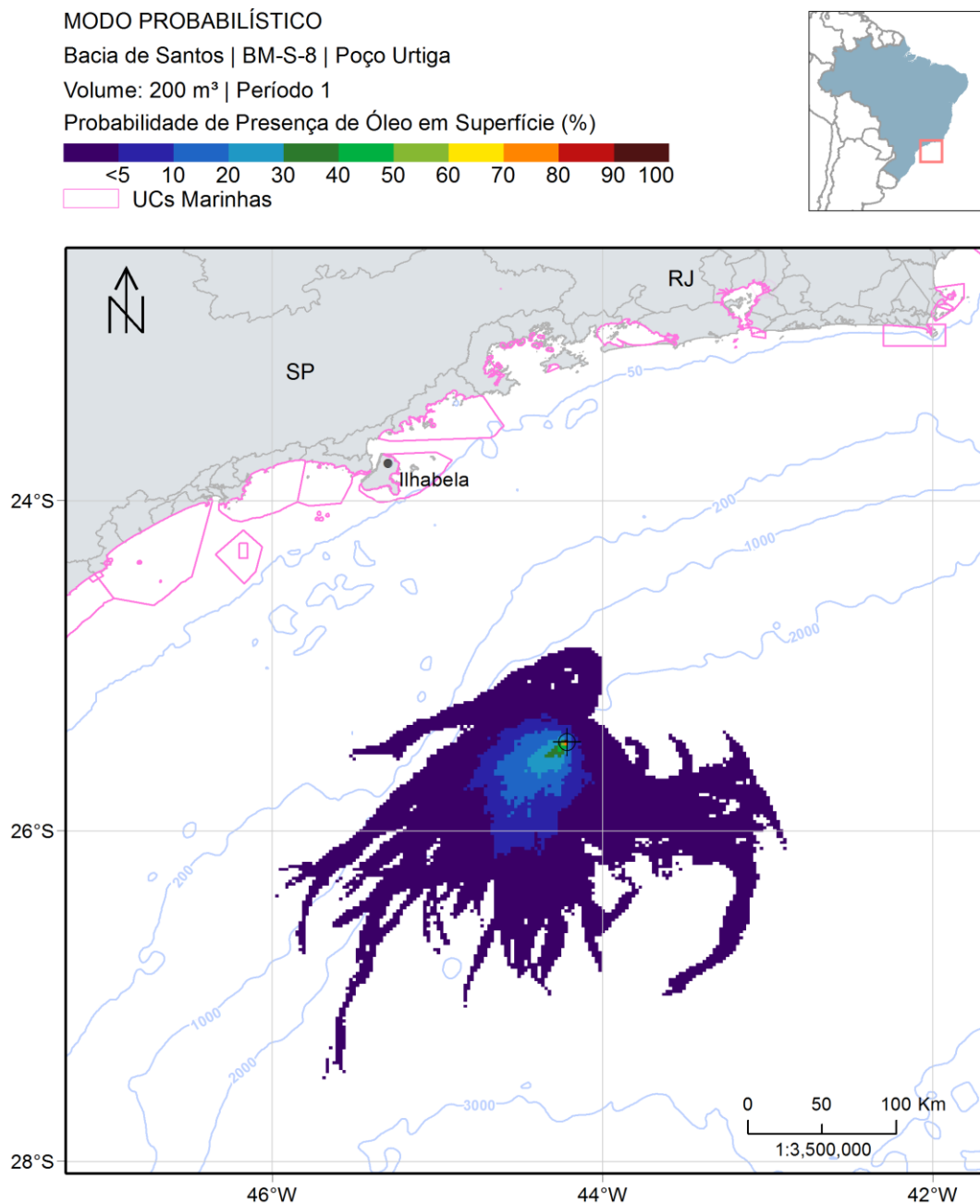
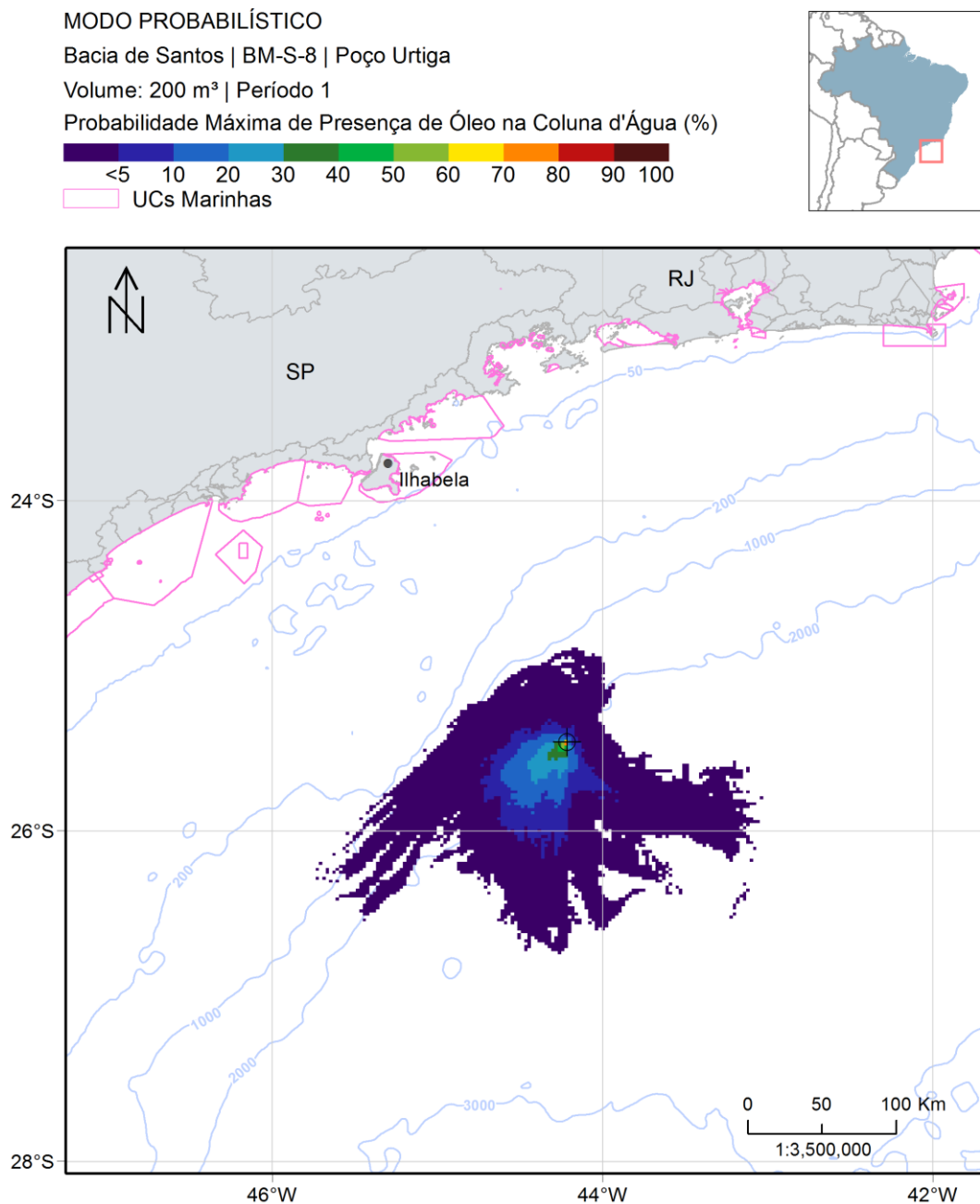


Figura 118: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m³. Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

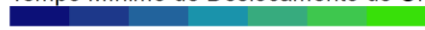


MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 200 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

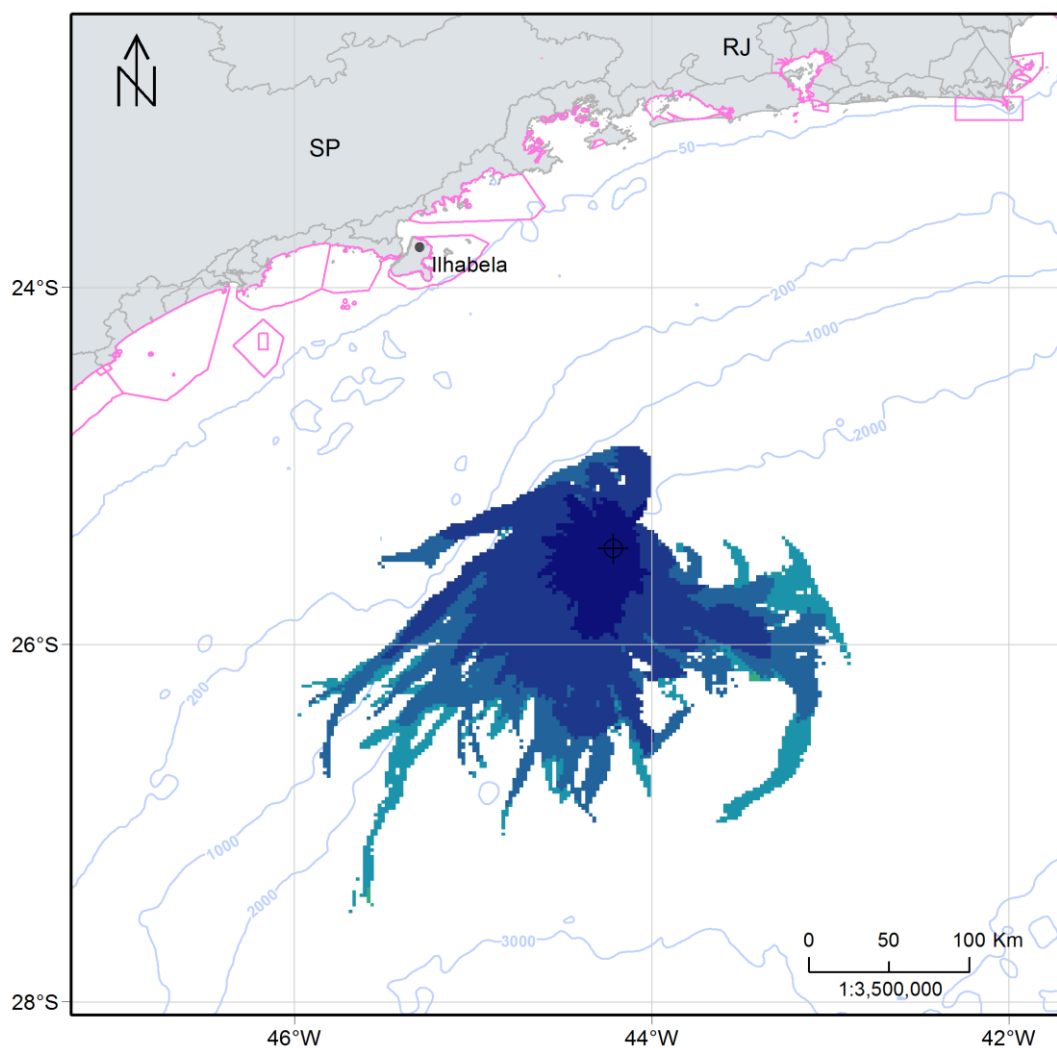


Figura 120: Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para vazamento de 200 m³. Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

A direção preferencial de deriva do óleo em superfície é para sudoeste do ponto de vazamento, seguindo o fluxo preferencial da Corrente do Brasil. Com o aumento do volume de vazamento em relação ao vazamento de 8 m³, houve neste cenário uma maior abrangência na área de probabilidade de presença de óleo, chegando até 270 km afastado do ponto de vazamento. A

deriva do óleo neste cenário limita-se à região oceânica em frente ao estado de São Paulo, sendo que no primeiro dia após o início do vazamento já pode ser observado óleo a uma distância de até 60 km.

A área com probabilidade de presença de óleo na coluna d'água é menor que a observada em superfície e o alcance máximo do óleo em relação ao ponto de vazamento é de aproximadamente 190 km, atingindo uma profundidade máxima de até 62 metros. O valor máximo de probabilidade na coluna d'água foi de 79%, sendo o mesmo nos primeiros 2 metros de profundidade e bem próximo ao ponto de vazamento.

A seguir, na Figura 121, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da dispersão na coluna d'água (mediana de 44%), seguido pela evaporação (mediana de 36%). O valor mediano da degradação foi cerca de 19% do total de óleo. Após 30 dias, o óleo em superfície em 75% das simulações é inferior a 2% do total e nos sedimentos é inferior a 0,4% em todas as simulações.

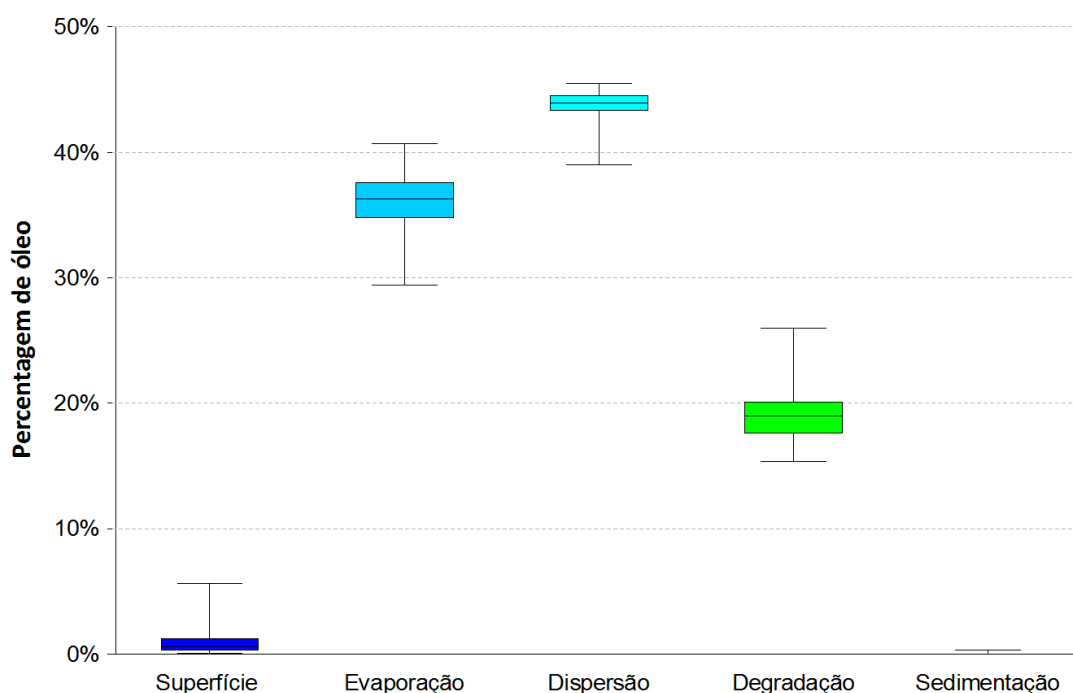


Figura 121: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³. Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.1.2.2 Período 2

A seguir são apresentados, na Figura 122 à Figura 124, os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na coluna d'água, assim como o mapa de tempo mínimo de chegada em superfície para o vazamento de médio porte (200 m³) no Período 2.

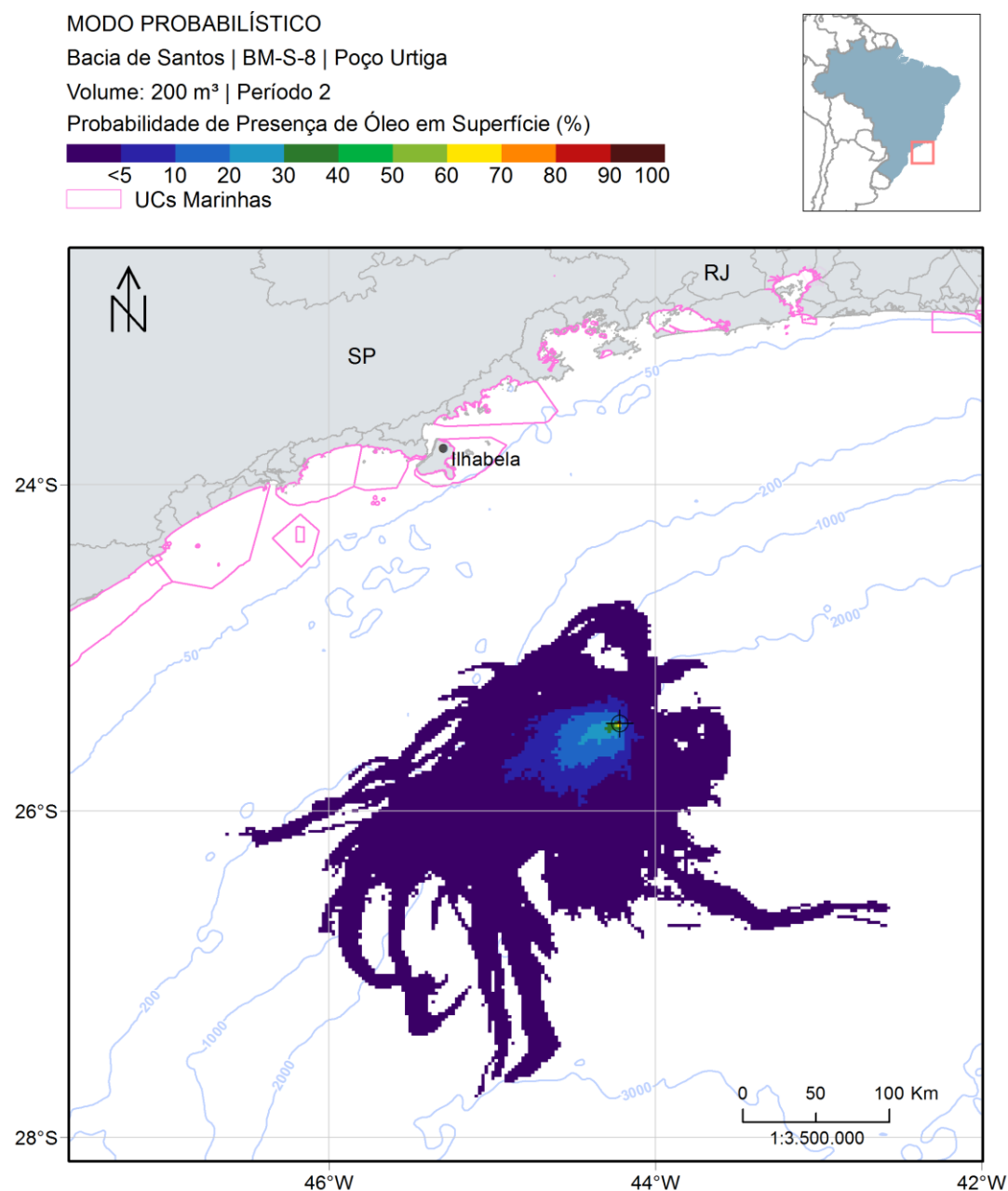


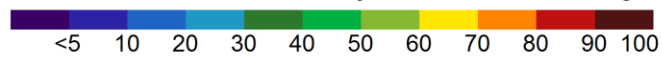
Figura 122: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m³.
 Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 200 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

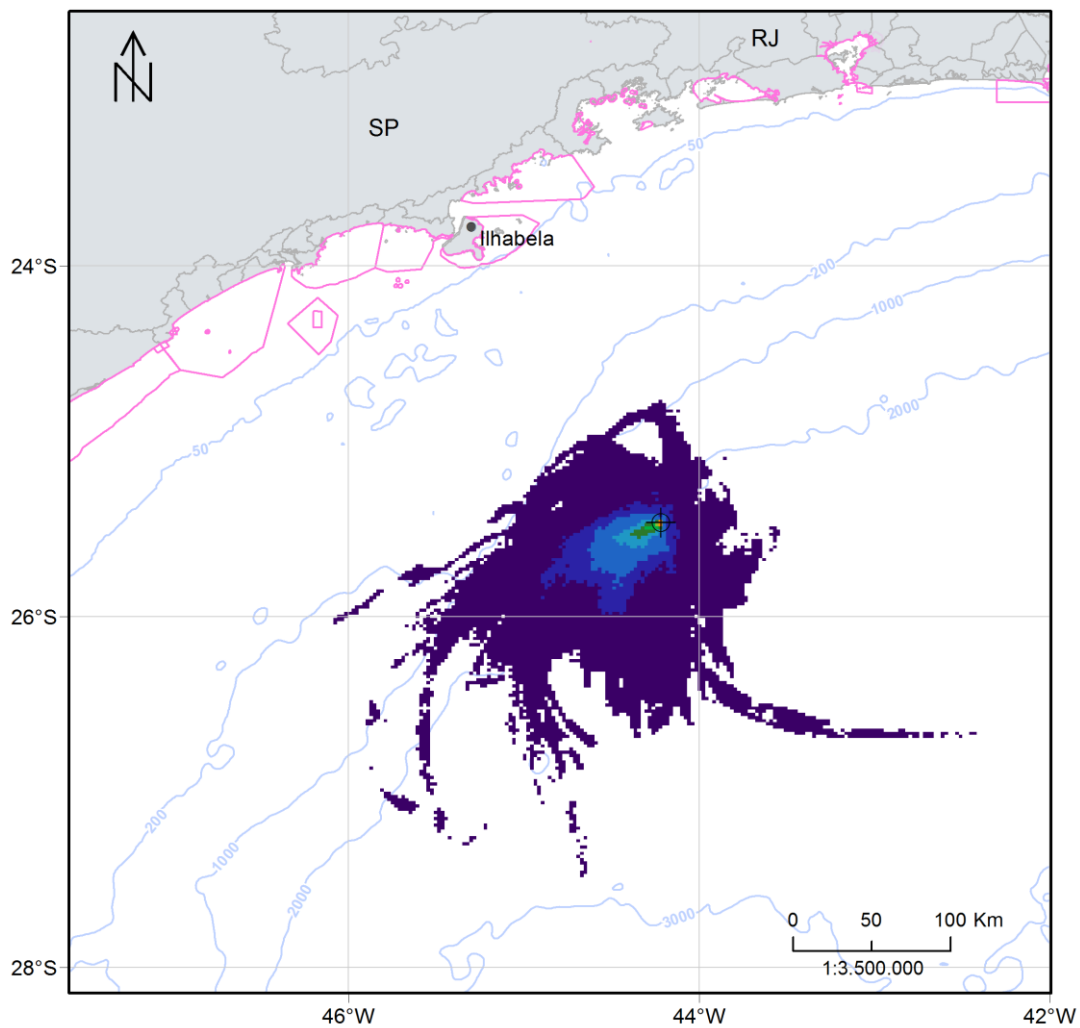


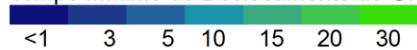
Figura 123: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna para vazamento de 200 m³. Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 200 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

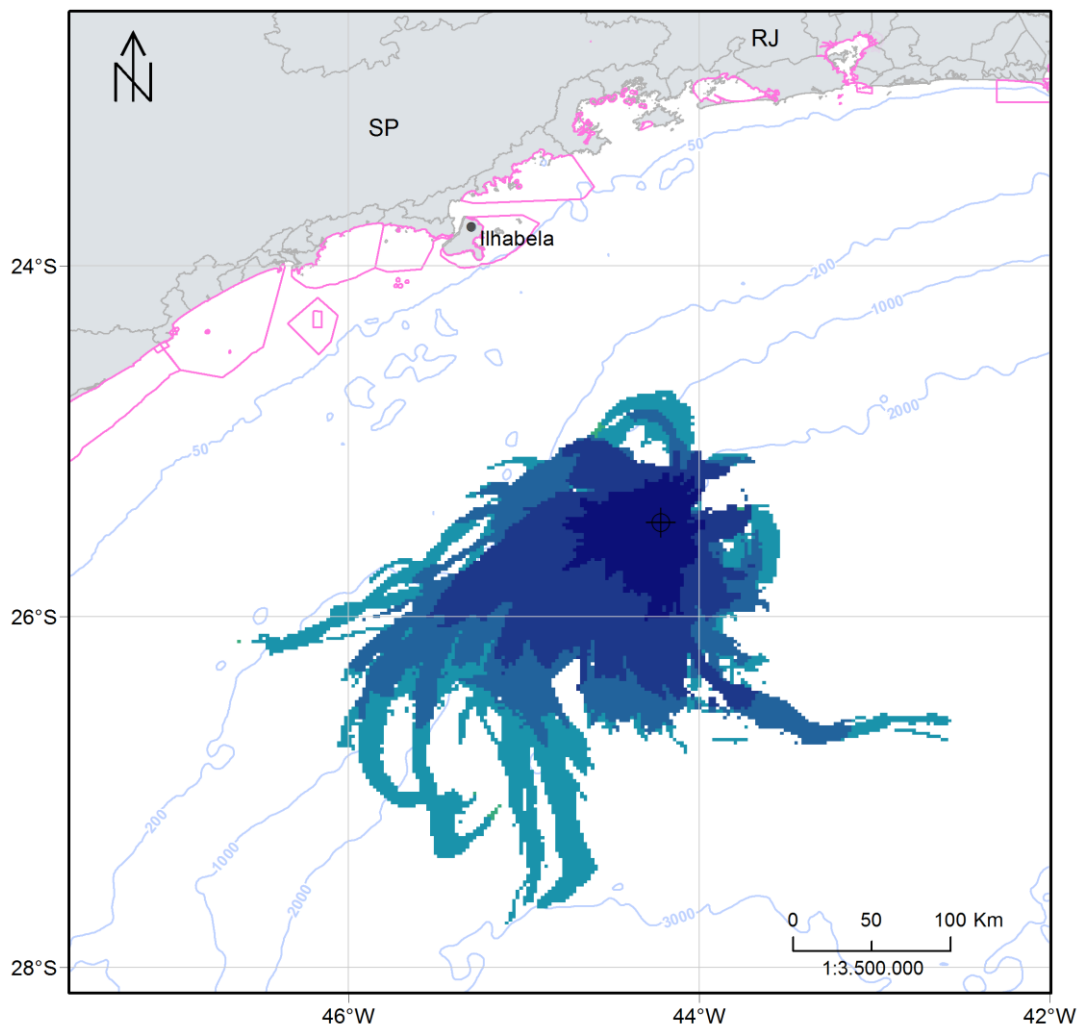


Figura 124: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m³. Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

Assim como foi observado no Período 1, a direção preferencial de deriva do óleo é para sudoeste, seguindo o fluxo principal da Corrente do Brasil. A deriva do óleo em superfície neste cenário pode se estender até 270 km a partir do ponto de vazamento e o ponto mais afastado com probabilidade de presença de óleo pode ser atingido em aproximadamente 10 dias de simulação, e limita-se a região oceânica em frente ao estado de São Paulo. No primeiro dia de

vazamento, já é possível que o óleo atinja uma distância de até 67 km. Neste cenário também não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação, porém, vale ressaltar que novamente o município de Ilhabela- SP - foi o que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de óleo (cerca de 125 km).

Na coluna d'água a área de probabilidade de presença de óleo é menor que a observada na superfície, alcançando uma distância máxima de 240 km. O maior valor observado foi de 73%, porém, novamente os valores mais expressivos foram registrados nos primeiros dois metros de profundidade e próximos ao local de vazamento. O óleo atingiu uma profundidade máxima na coluna d'água de até 72 km.

A seguir, na Figura 125, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Assim como no cenário de Período 1, a retirada de óleo da superfície ocorreu principalmente através dispersão na coluna d'água (mediana de 44%), seguida pela evaporação (mediana de 36%) e da degradação (mediana de 19%). Após 30 dias, o óleo em superfície em 75% das simulações é inferior a 2% do total e nos sedimentos é inferior a 0,2% em todas as simulações.

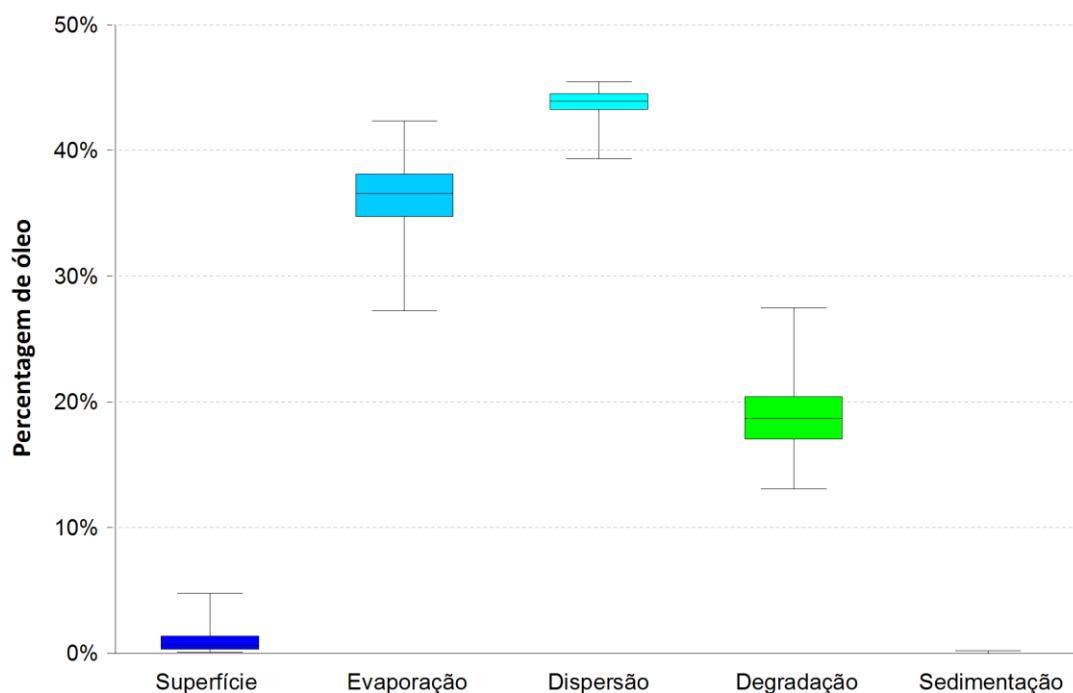


Figura 125: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³. Poço Urtiga. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.1.3 Vazamento de Pior Caso

3.2.1.1.3.1 Período 1

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água, na costa e nos sedimentos para o vazamento de pior caso (1.167.000 m³) no Período 1 a partir do Poço Urtiga (Figura 126 à Figura 131). Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se na Figura 132 e Figura 133. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 134.

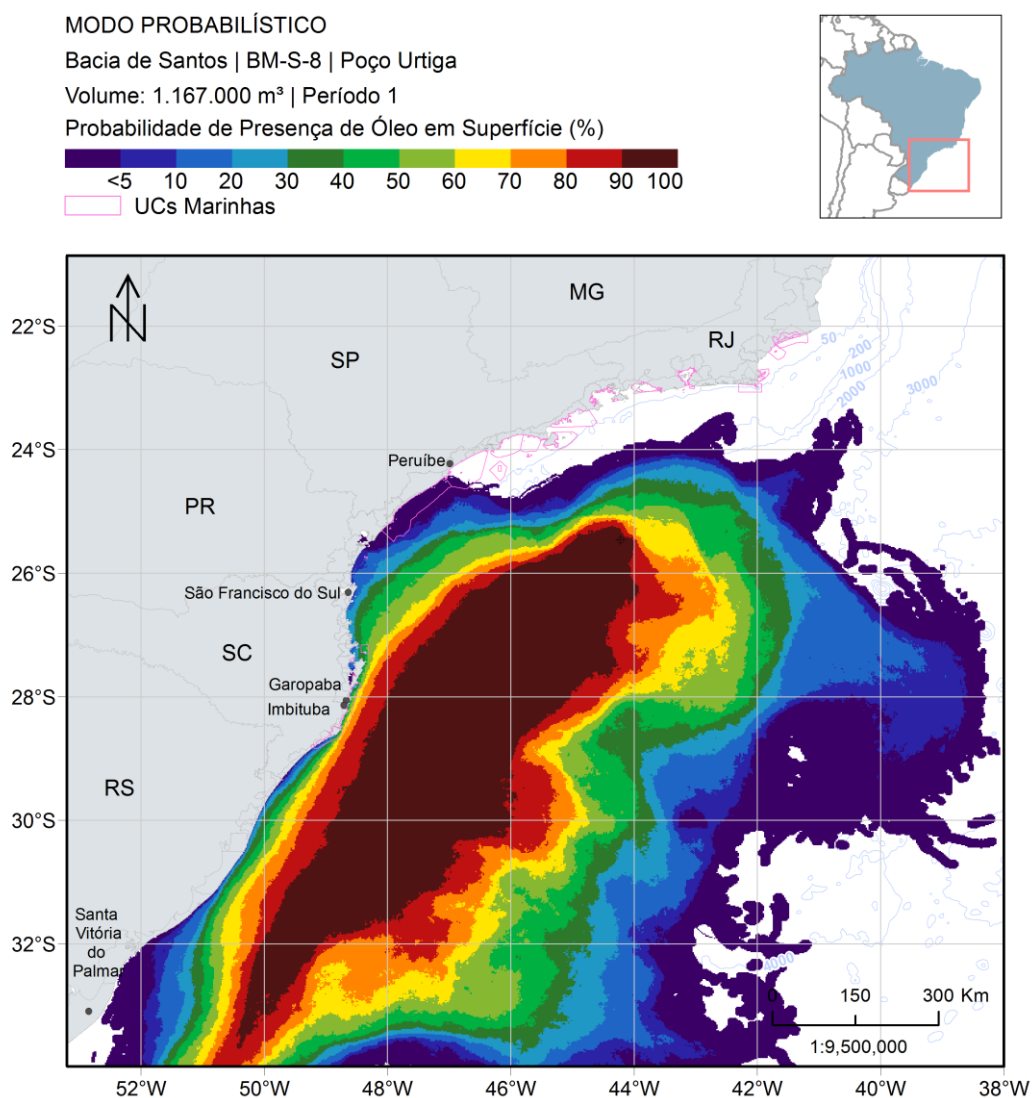


Figura 126: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

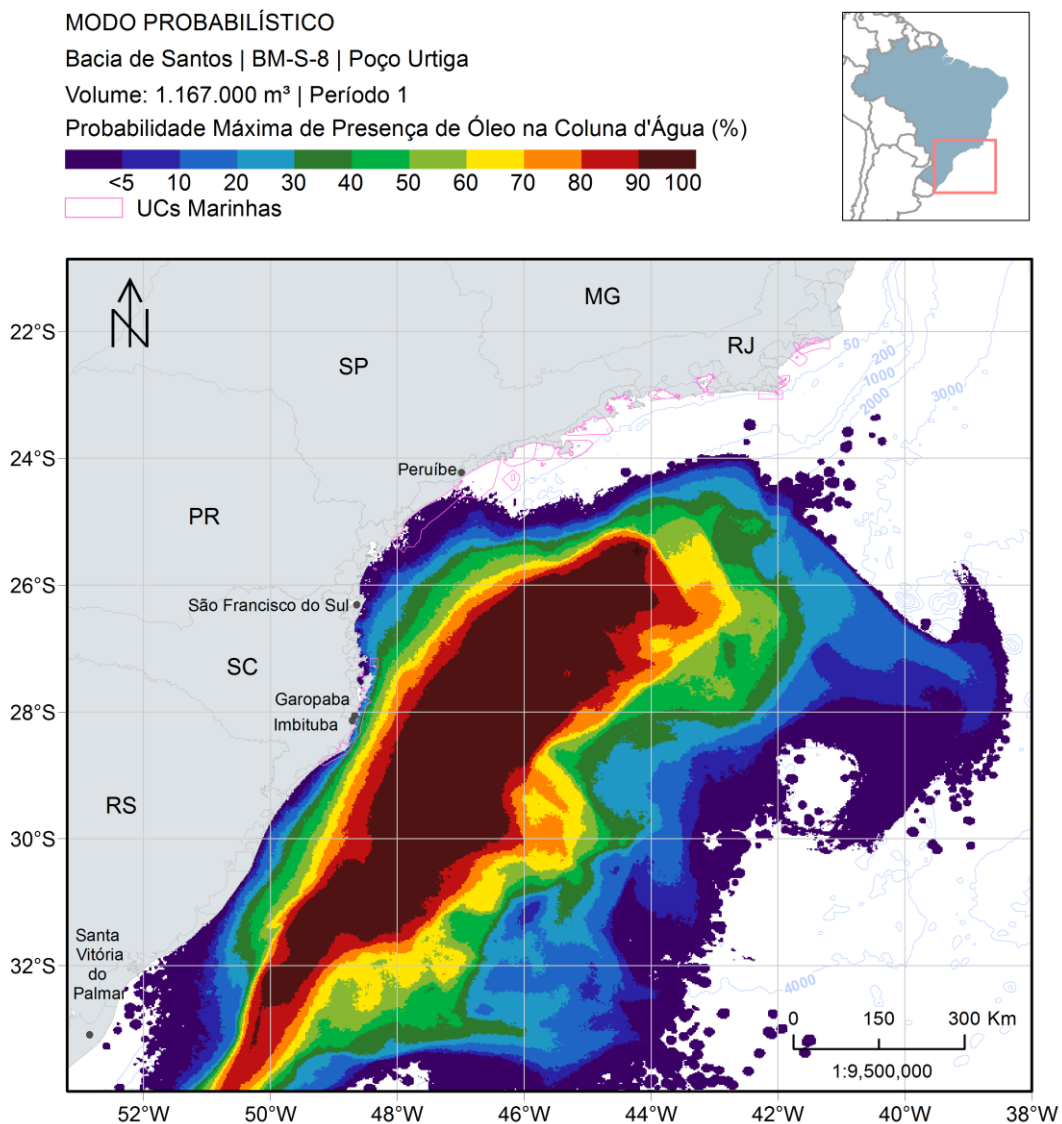


Figura 127: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

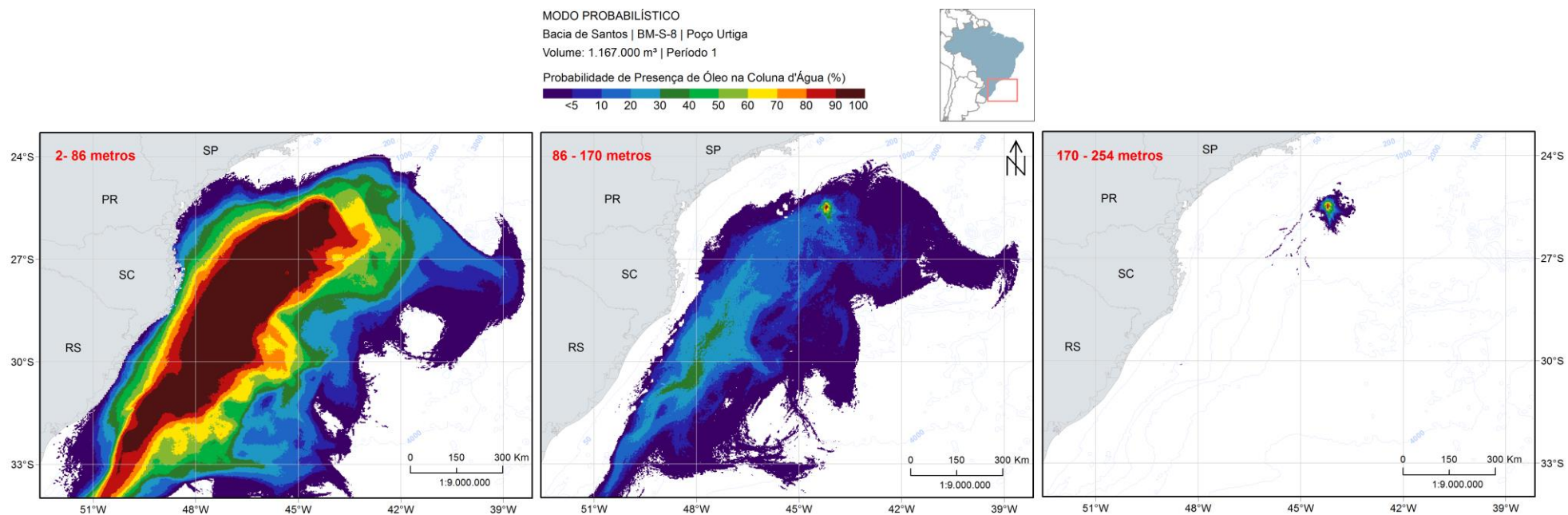


Figura 128: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-86 m, 86-170 m e 170-254 m) para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

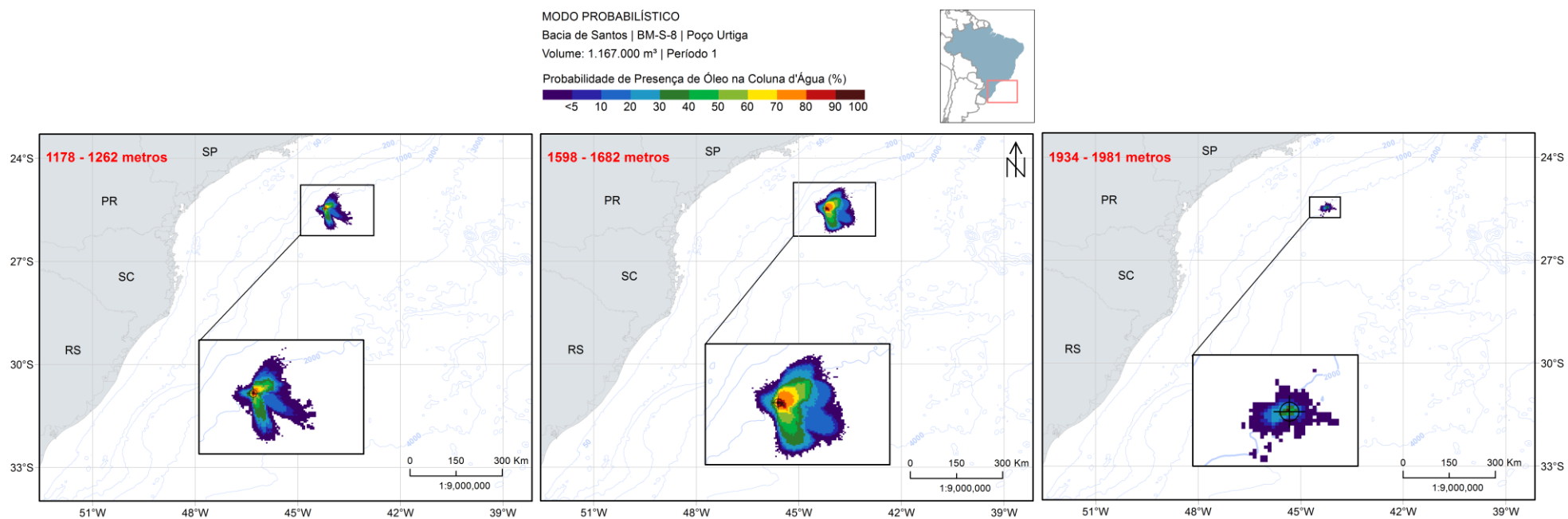


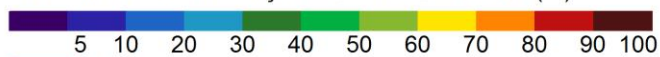
Figura 129: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178-1262 m, 1598-1682 m e 1934-1981 m) para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo no Sedimento (%)



UCs Marinhas

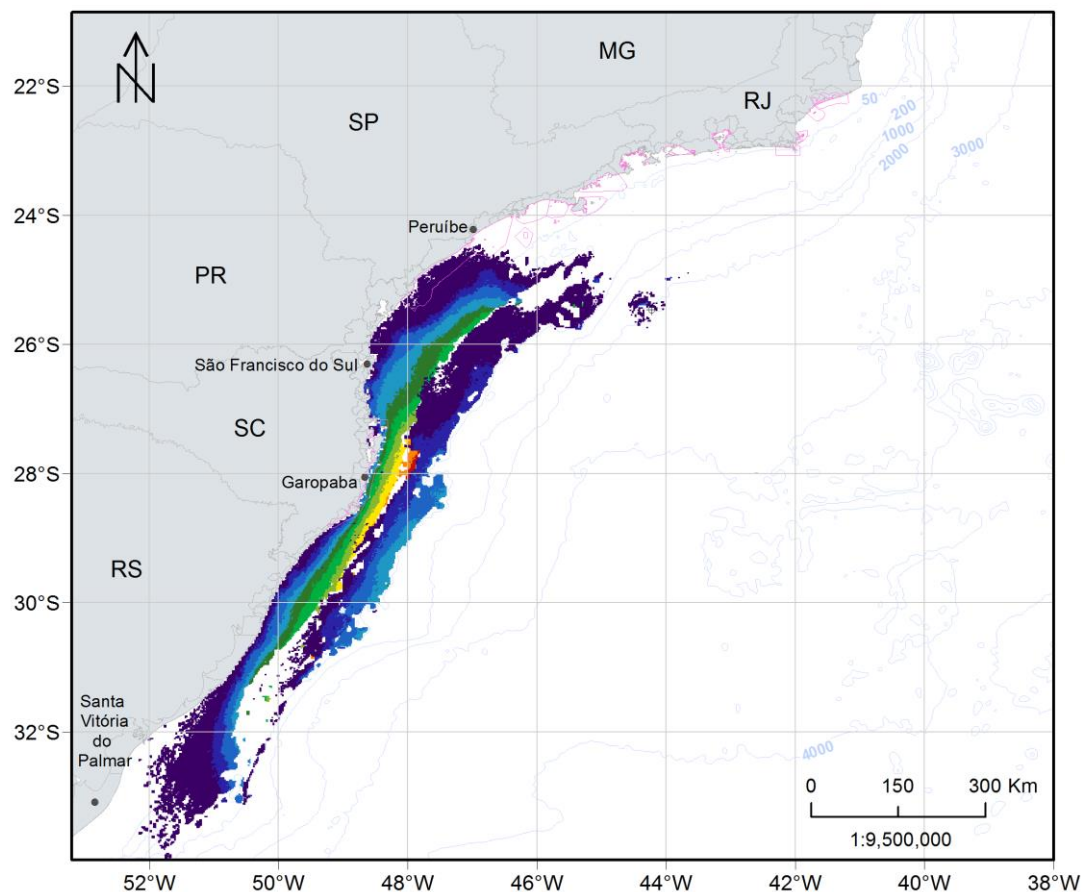


Figura 130: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

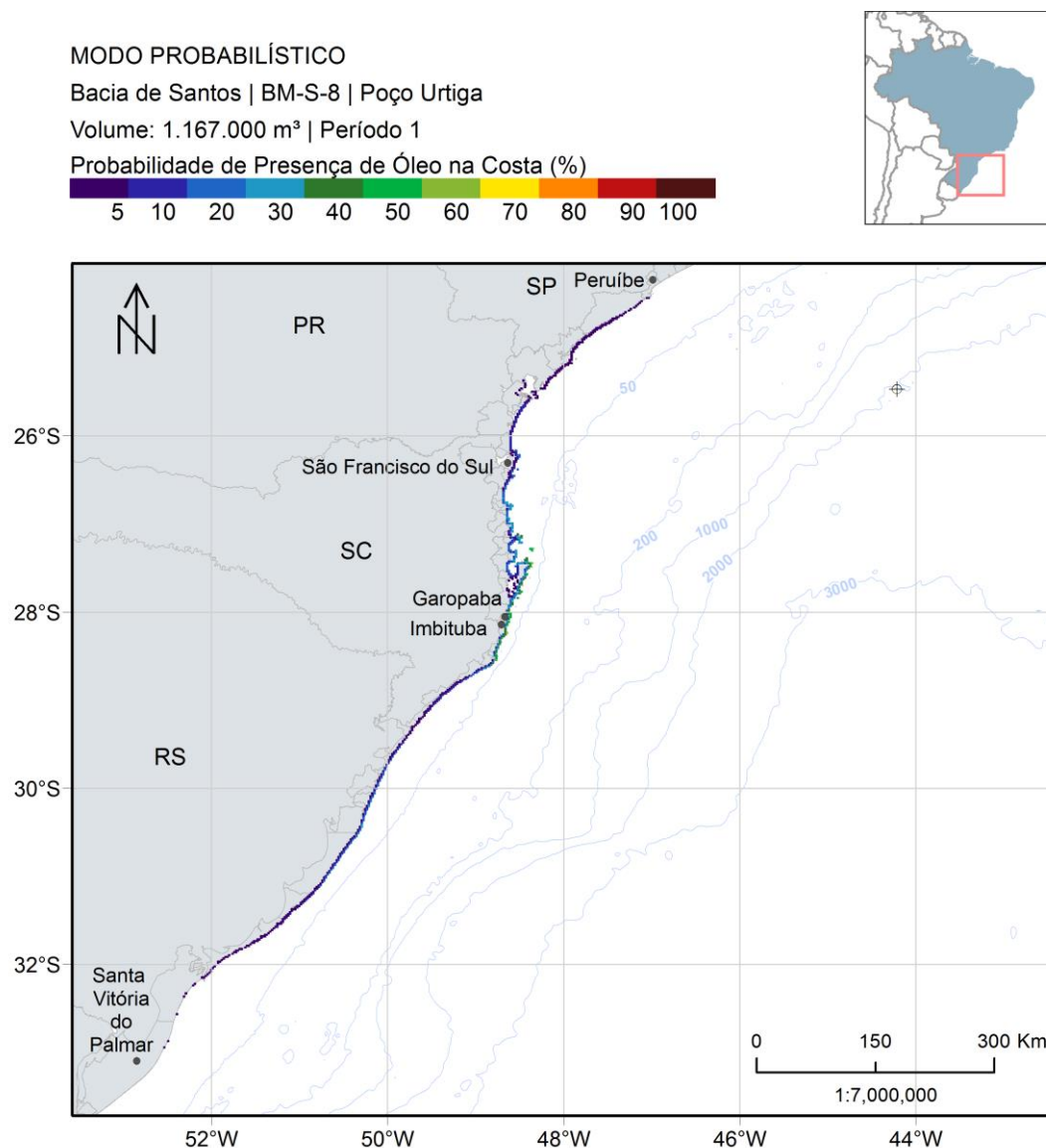


Figura 131: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

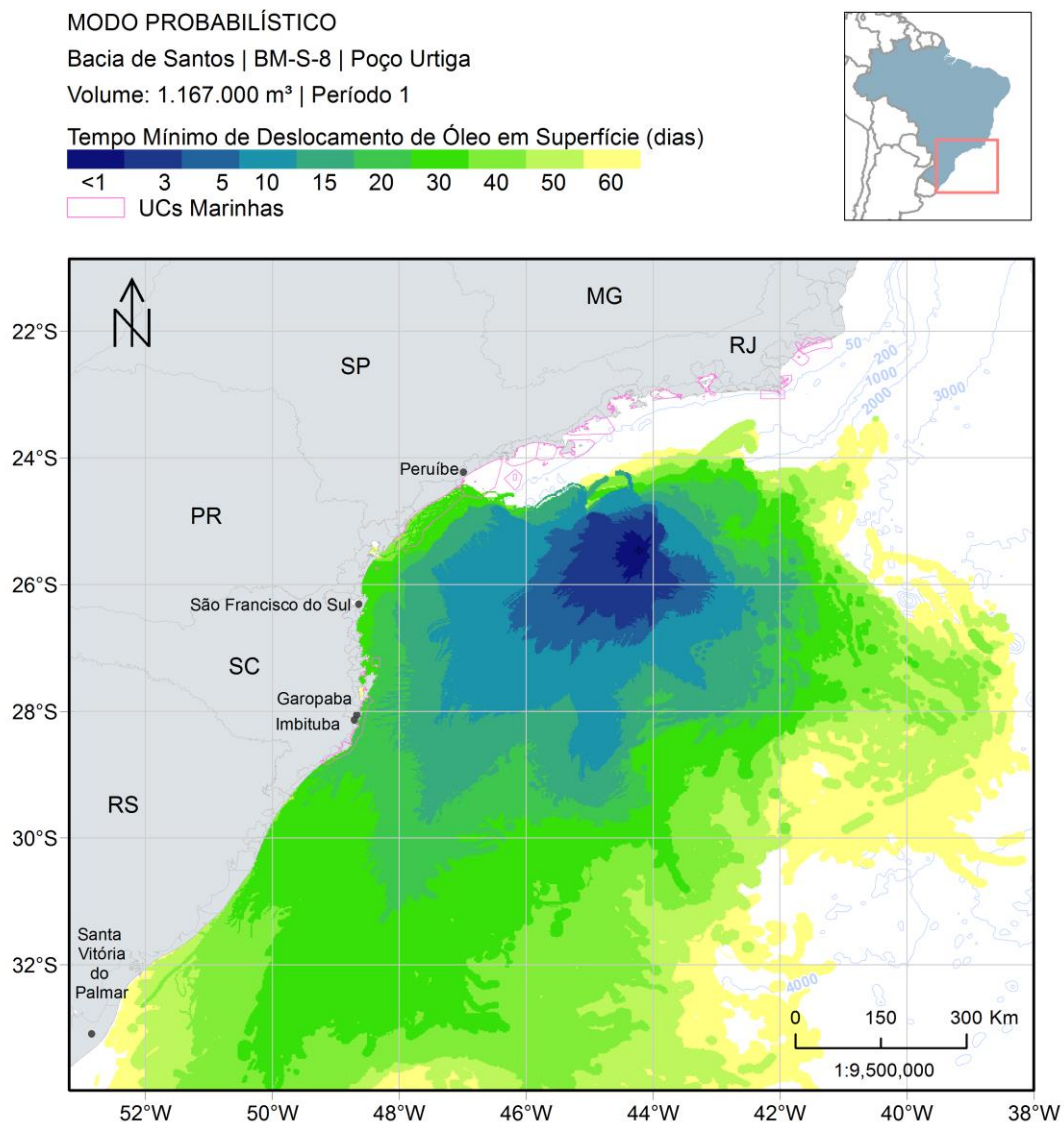


Figura 132: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

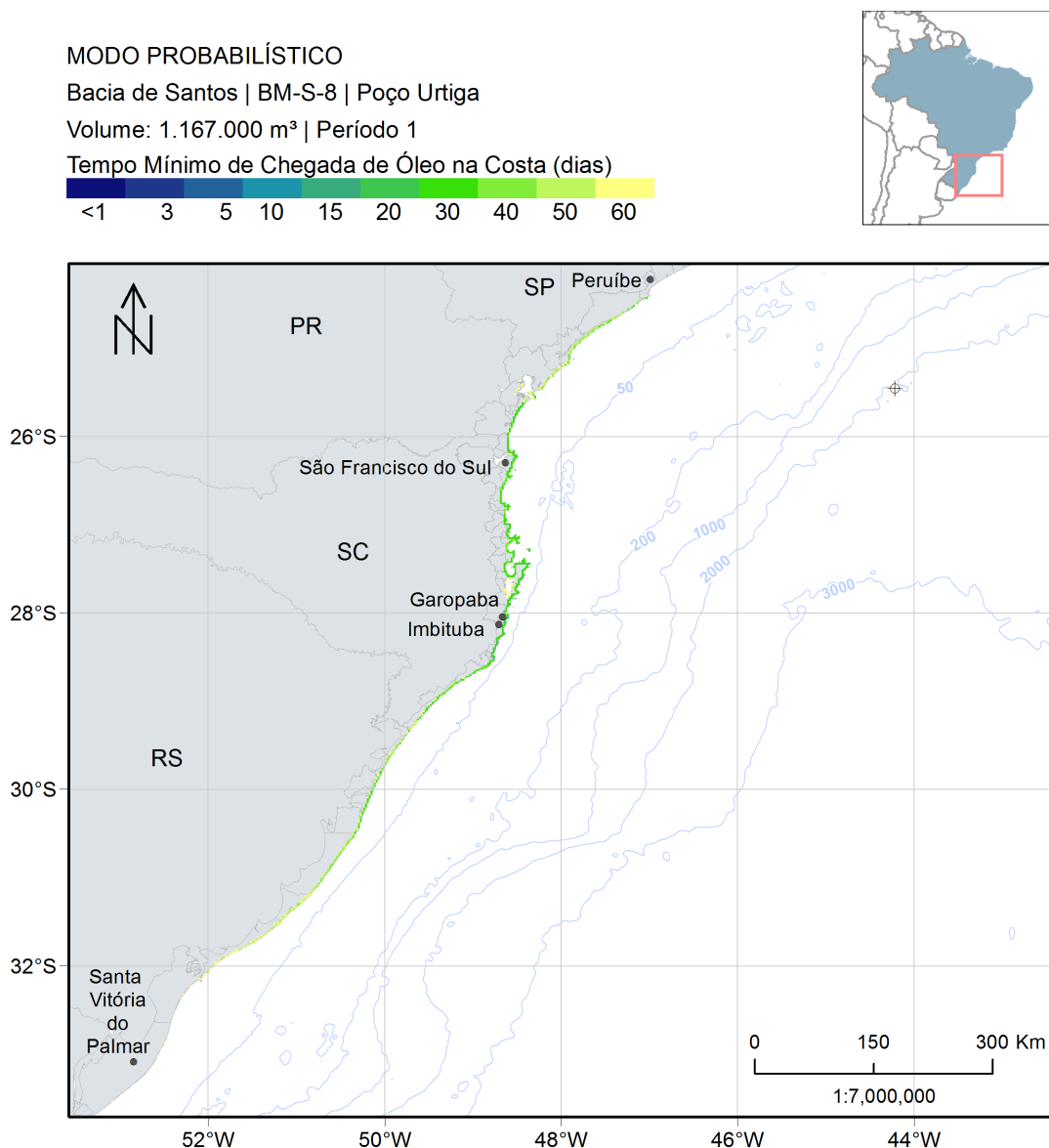


Figura 133: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

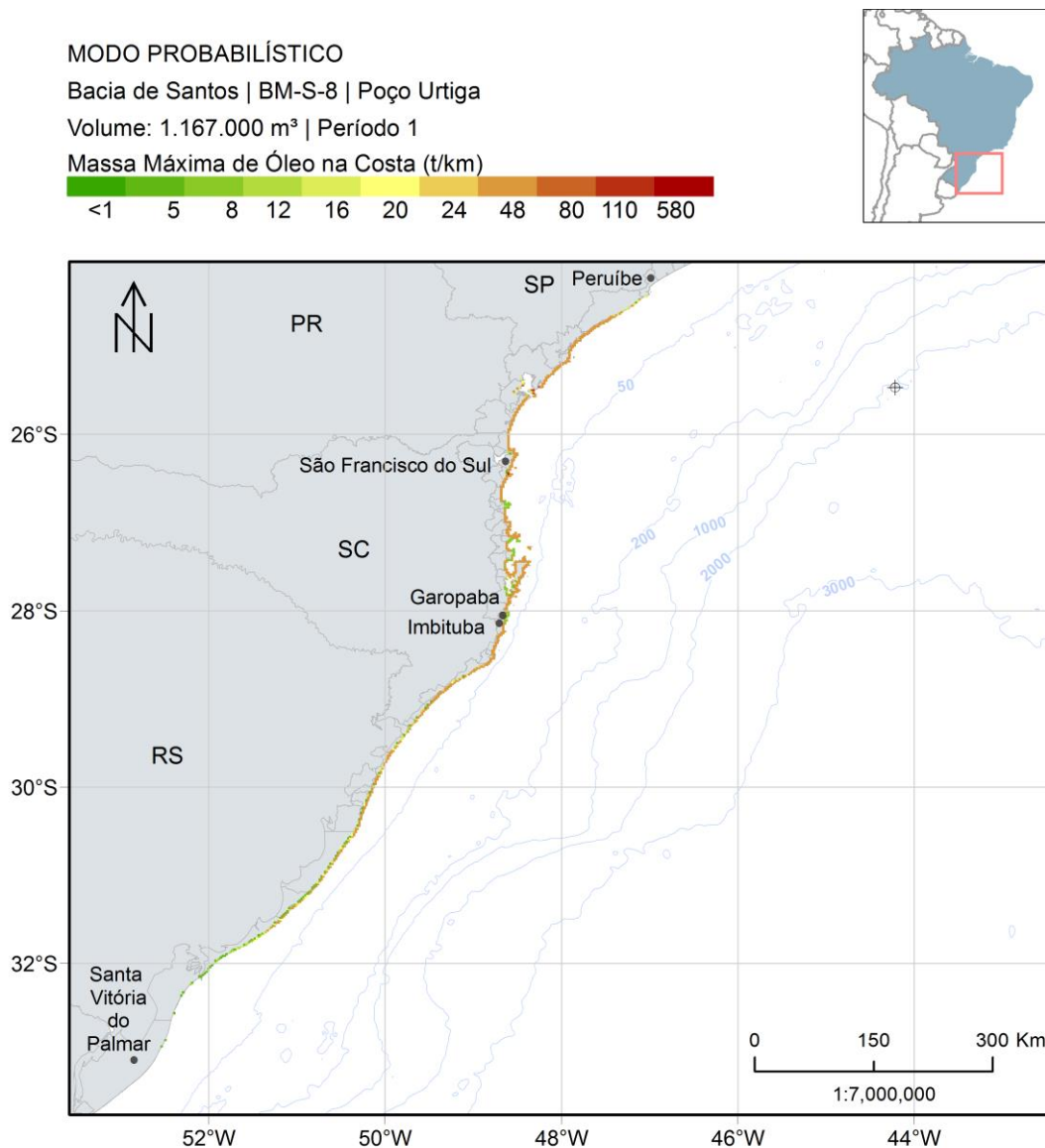


Figura 134: Massa máxima de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Como nos outros volumes, é possível observar que a deriva do óleo em superfície foi preferencialmente para sudoeste do ponto, devido à influência da CB e da predominância de ventos do primeiro quadrante neste período. Como nesta condição o vazamento possui maior volume, as probabilidades sobre a plataforma são superiores aos outros cenários, com a faixa de 90-100% de probabilidade estendendo do ponto de vazamento localizado a frente do estado de São Paulo até o estado do Rio Grande do Sul, até aproximadamente a latitude de 33°30'.

Na costa, o município de Imbituba – SC apresentou a maior probabilidade de presença de óleo, 56,8% (Tabela 21). A região na costa com probabilidade de chegada de óleo abarca cerca de 2480 km de extensão, indo da região do município de Peruíbe – SP até Santa Vitória do Palmar – RS.

Na coluna d'água, uma vez que se trata de um vazamento de fundo, as probabilidades máximas chegam até 100% e seguem o mesmo padrão observado na superfície. Com o aumento da profundidade, os valores e a área de probabilidade diminuem, sendo a área consideravelmente menor a partir de 170 m de profundidade, porém ainda com probabilidades entre 90 e 100% na região do entorno do vazamento, até sua profundidade, de 1981 m. Nesta profundidade máxima o óleo pode alcançar até 25 km de distância do ponto de vazamento. Já entre 1100 e 1700 metros o óleo alcança distâncias de até 100 km do ponto.

No fundo, a área de probabilidade de presença de óleo se estende desde regiões à frente ao estado de São Paulo até o estado do Rio Grande do Sul, cobrindo regiões até a isóbata de 200 m. As maiores probabilidades, de até 84%, são observadas na latitude de Florianópolis entre as isóbatas de 50 e 200 m.

Em relação às unidades de conservação, 10 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de óleo, chegando a 71,4% na APA da Baleia Franca, cujo tempo mínimo de chegada é o menor observado, de 15,3 dias. Já em relação às UCs costeiras, 37 apresentaram probabilidade de serem atingidas, sendo a maior probabilidade de 46,6% no PNM da Lagoinha do Leste e o menor tempo de chegada de 17,3 dias no PE da Serra do Tabuleiro.

O mapa de tempo mínimo na superfície mostra que o óleo pode atingir distâncias de até 160 km em 3 dias e de 460 km em 10 dias de simulação. Na costa, o menor tempo de chegada ocorreu em 15,63 dias em Garopaba – SC.

Das 320 simulações, em 255 simulações houve toque na costa, e destas menos de 10% apresentaram tempo de toque na costa inferior a 25 dias (Figura 135).

Em relação à massa máxima de óleo acumulado na costa, o maior valor foi observado em São Francisco do Sul – RS, com 103 t/km, seguido de Balneário Barra do Sul com 98,5 t/km.

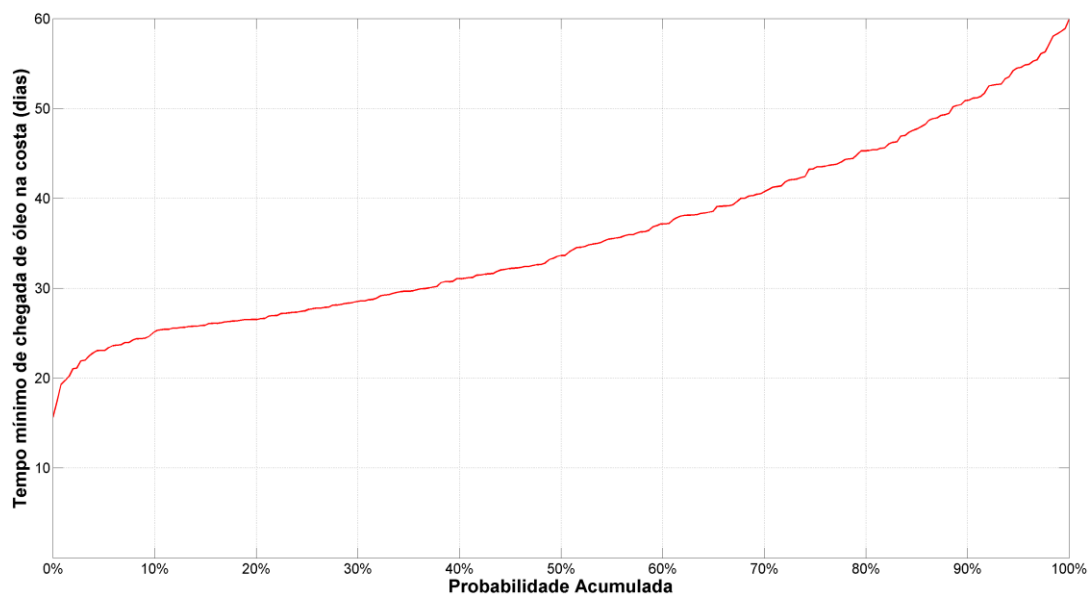


Figura 135: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a dispersão de óleo na coluna d'água foi o principal processo de intemperismo ao longo da simulação, com mediana de 38% e valores máximos de 45%, seguido da degradação e da evaporação, que apresentaram medianas de 35 e 18%, respectivamente. A sedimentação/fora da grade apresentou mediana de 6%, e a porcentagem de óleo em superfície ao término das simulações manteve-se com mediana abaixo de 2% e máximo de 8%. Na costa, a porcentagem de óleo em 75% das simulações foi abaixo de 1%, atingindo um máximo de 2%.

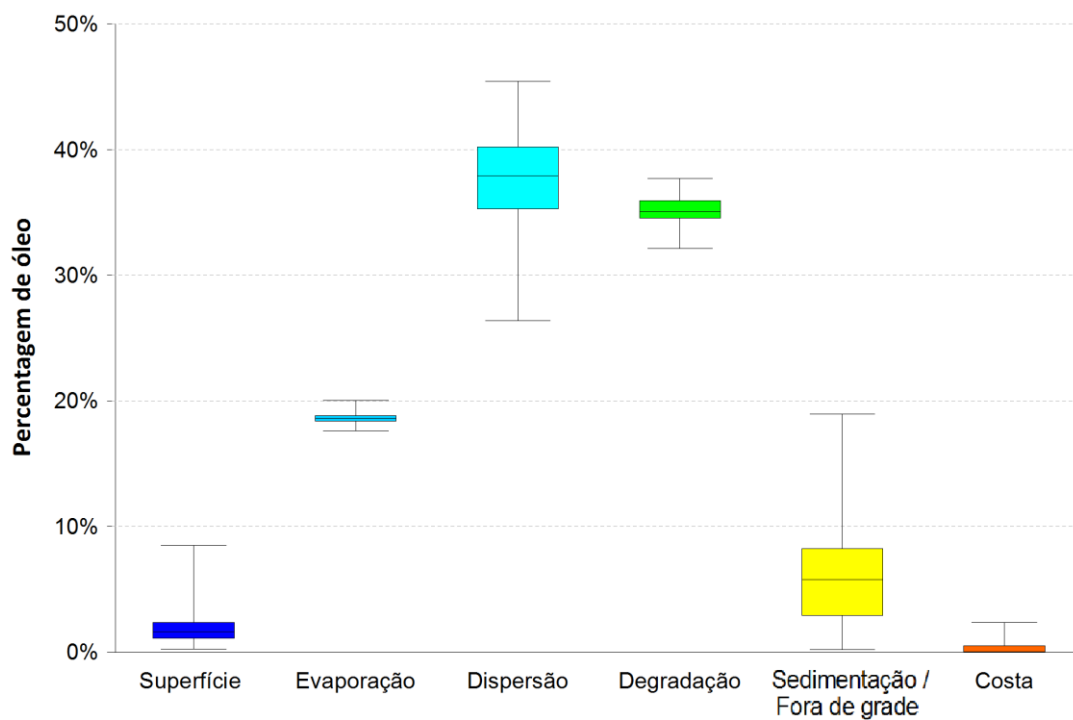


Figura 136: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

3.2.1.1.3.2 Período 2

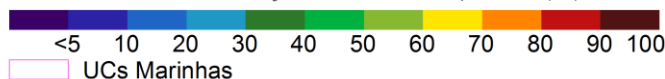
A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e nos sedimentos para o vazamento de pior caso (1.167.000 m³) no Período 2 (Figura 137 a Figura 142) a partir do Poço Urtiga. Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se nas Figura 143 e Figura 144. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 145.

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)



UCs Marinhas

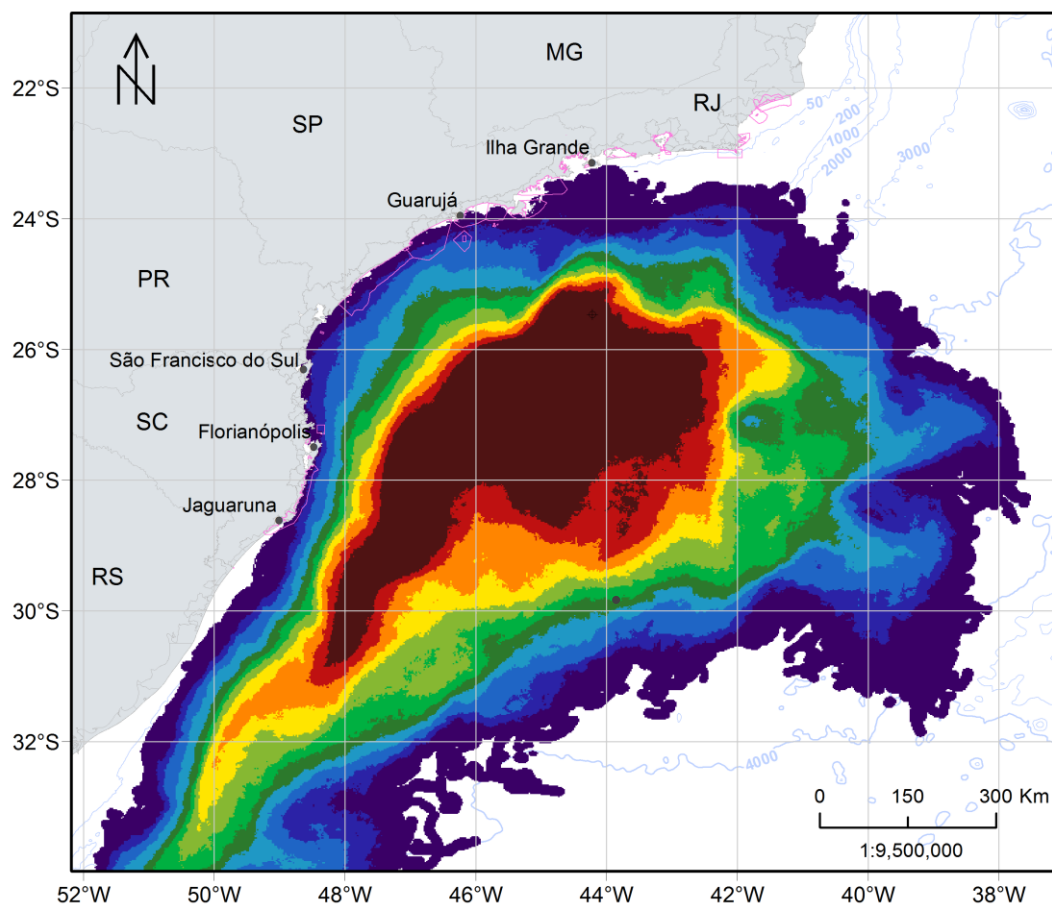


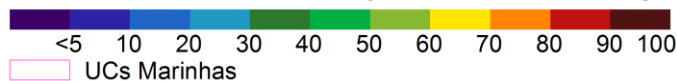
Figura 137: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

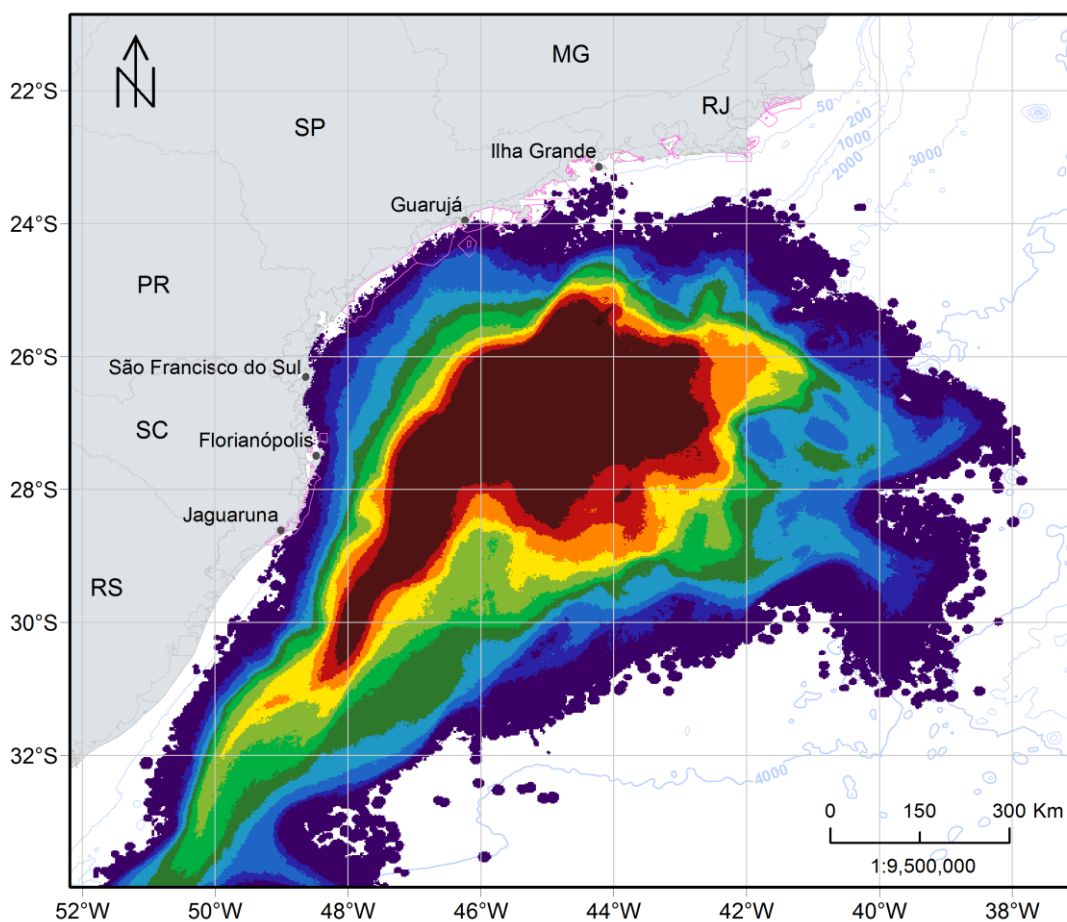


Figura 138: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

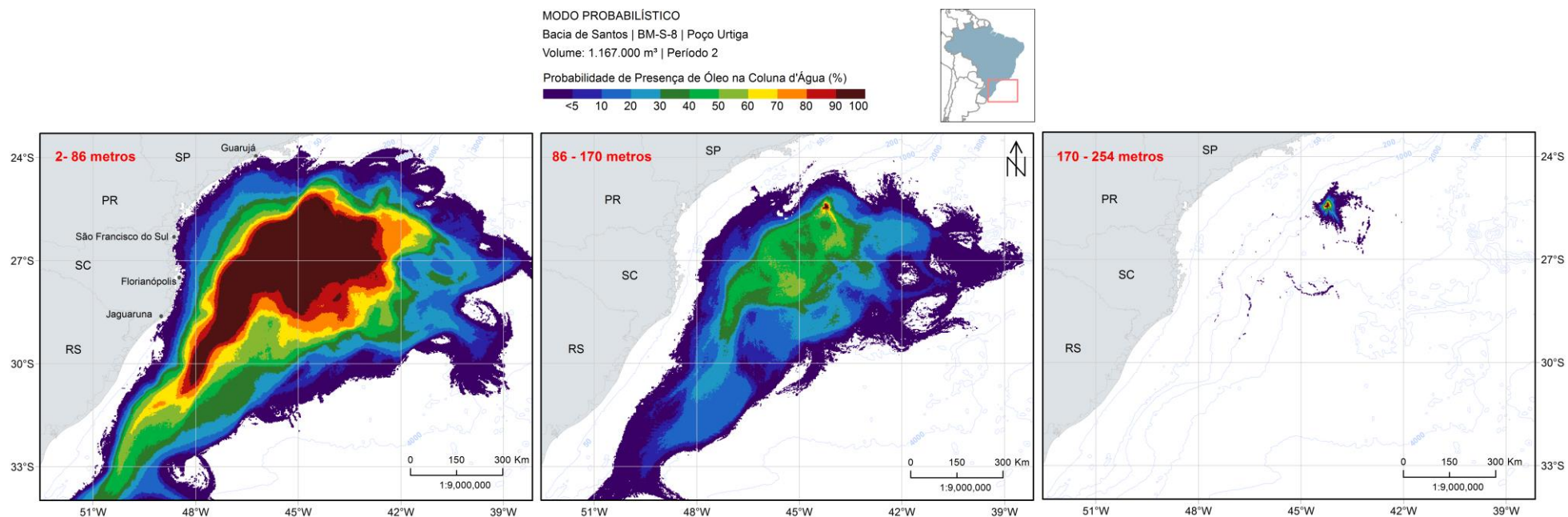


Figura 139: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-22 m, 22-42 m e 62-82 m), para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³).
Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

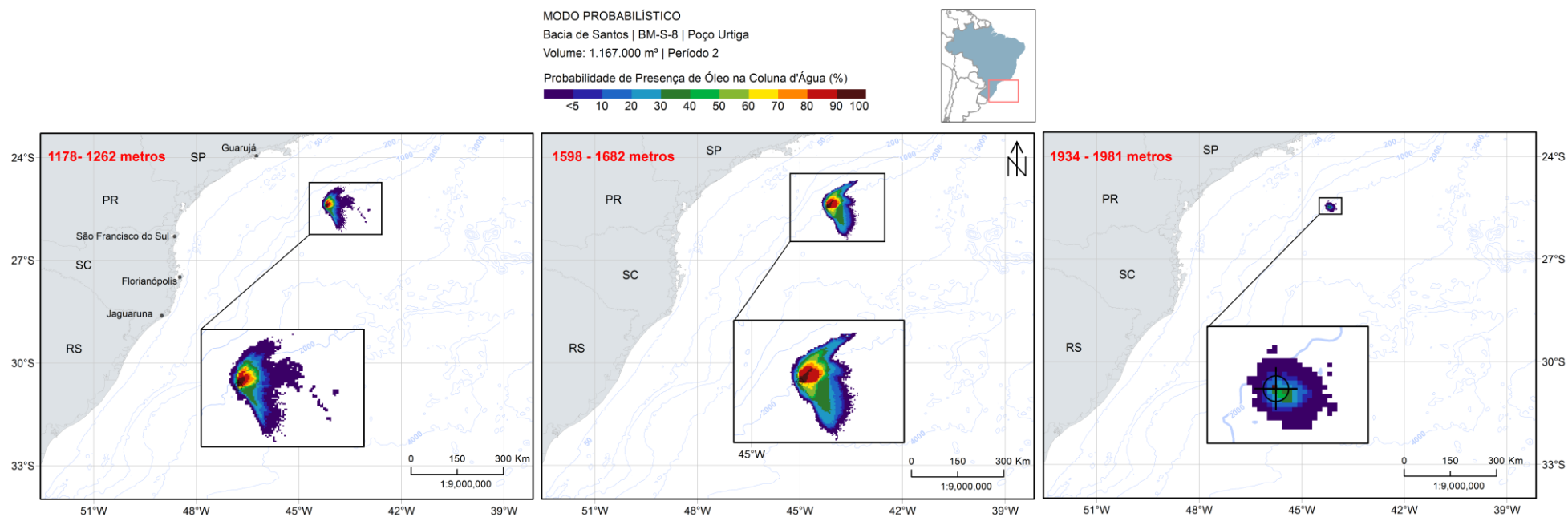


Figura 140: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178-1261 m, 1598-1682 m e 1934-1981 m), para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo no Sedimento (%)

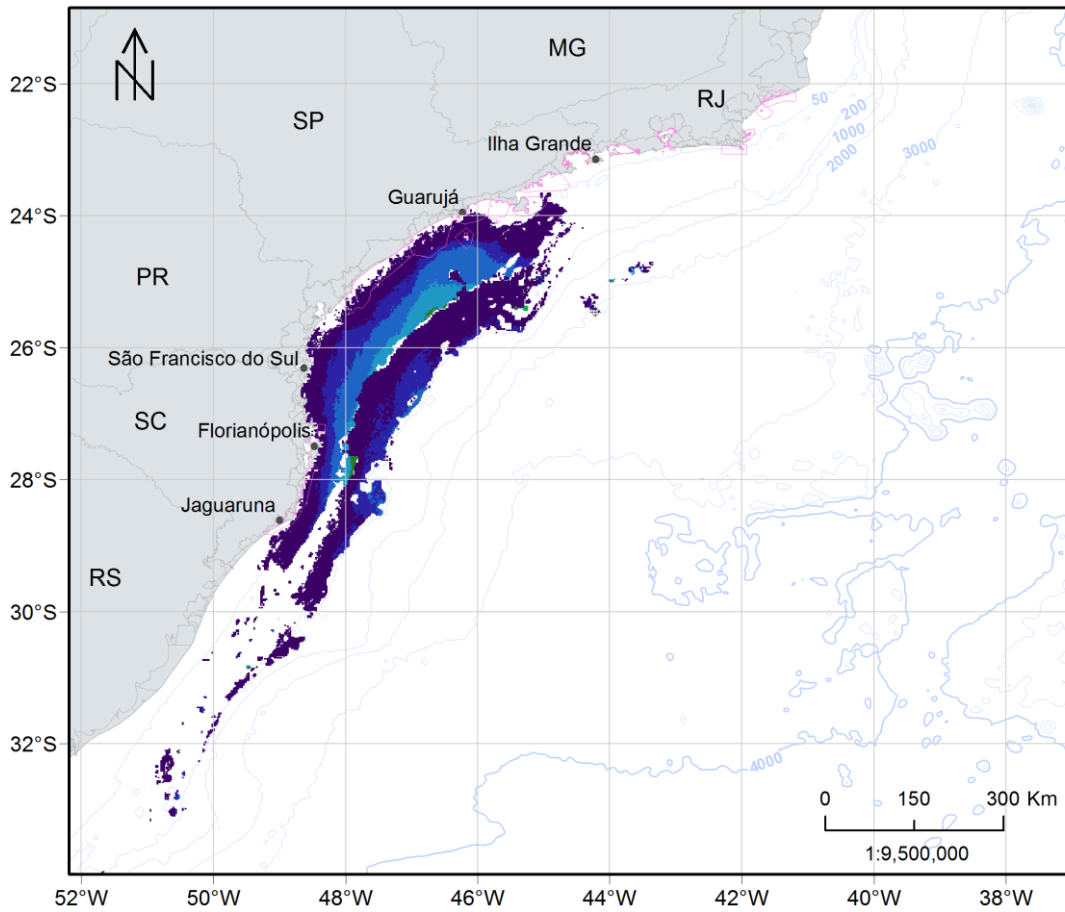
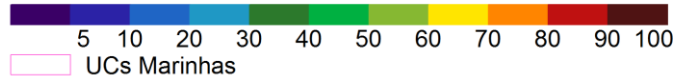


Figura 141: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

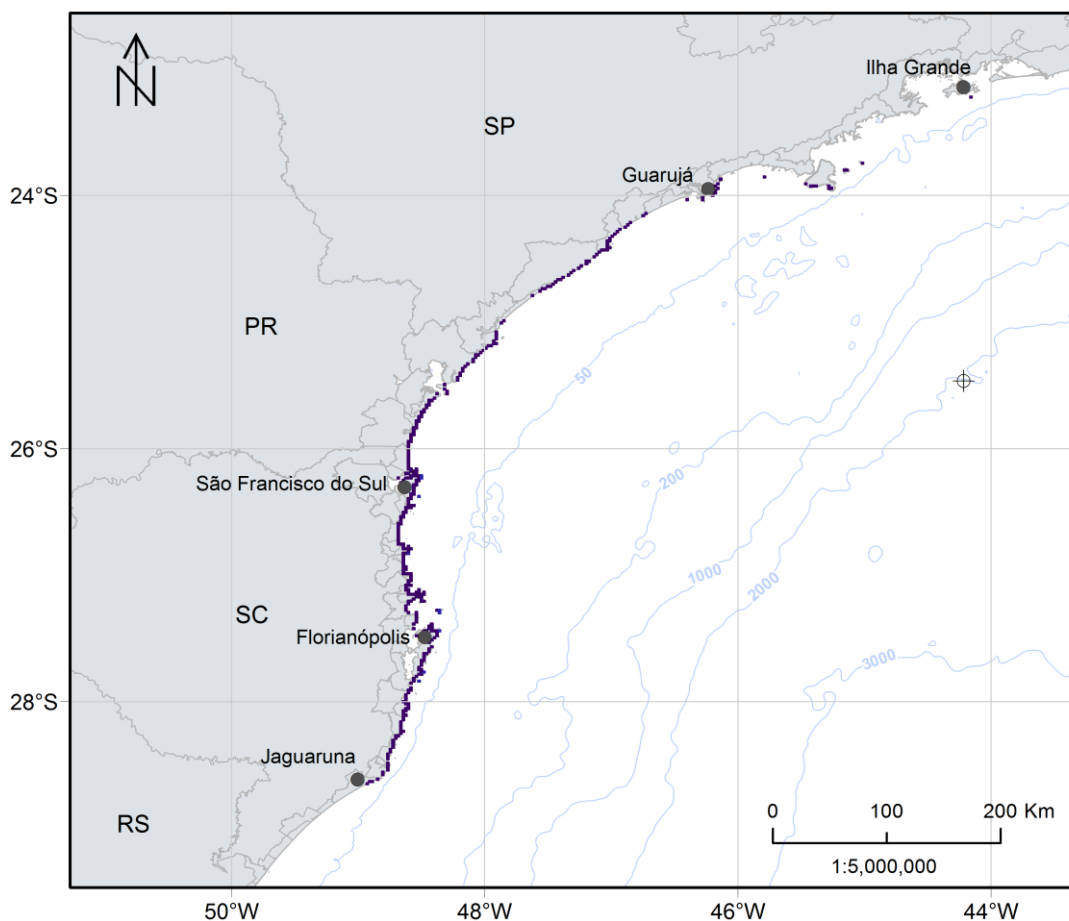
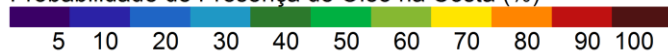


Figura 142: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

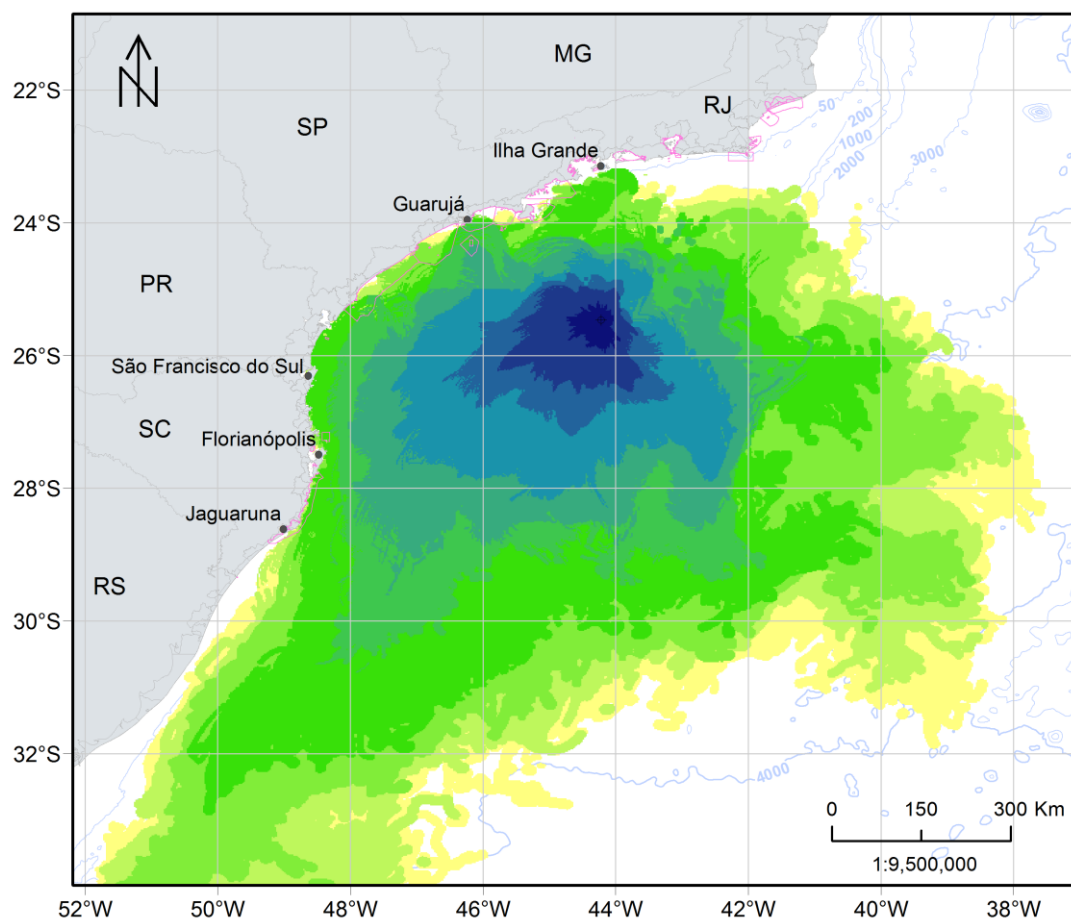


Figura 143: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

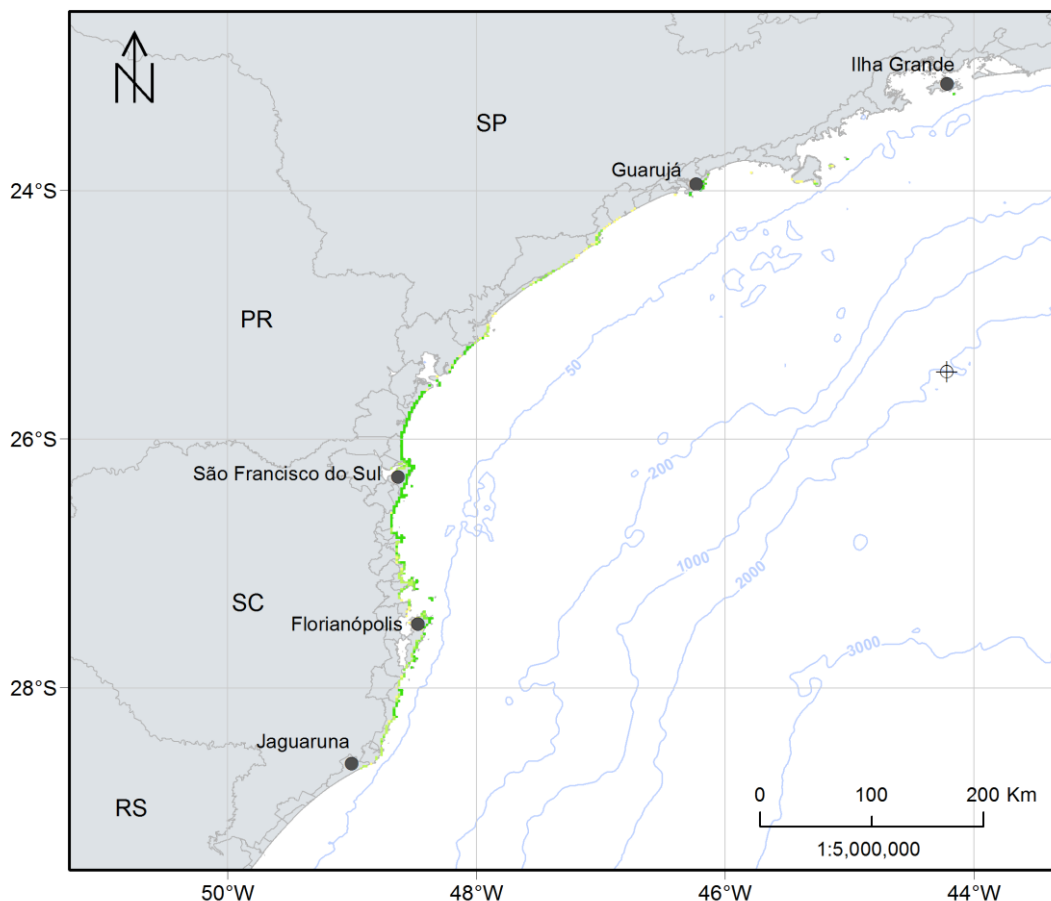
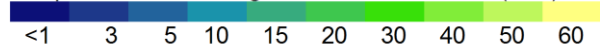


Figura 144: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Urtiga

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

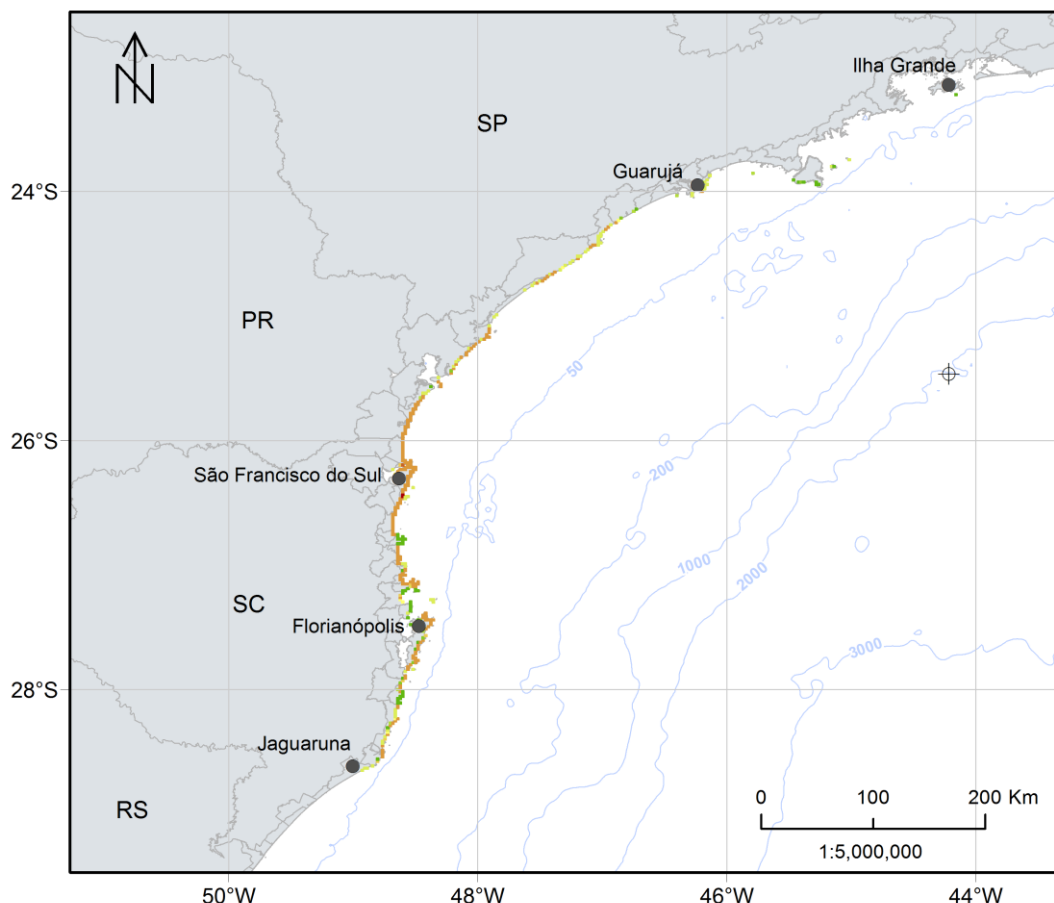
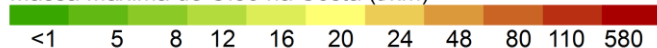


Figura 145: Mapa de massa máxima e óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Como no Período 1, é possível observar que a deriva do óleo em superfície foi preferencialmente para sudoeste do ponto de vazamento, devido à influência da CB. No entanto, neste cenário, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos, além de inversões de correntes na plataforma, é observado que há probabilidade do óleo atingir regiões mais a norte do que no Período 1. Outra diferença é que neste cenário o óleo flui mais afastado da costa e, sendo assim, as probabilidades na costa foram menores do que as observadas no Período 1. A faixa de 90-100% de probabilidade também se estende da região do ponto de

vazamento até o estado do Rio Grande do Sul, no entanto alcançando uma menor extensão, até a latitude de 31°.

Há probabilidade de toque na costa de Ilha Grande (localizada no município de Angra dos Reis – RJ) até o município de Jaguaruna– SC, totalizando uma extensão de aproximadamente 1060 km. No município do Rio de Janeiro-RJ não há toque acima do limiar de monitoramento, no entanto, são observadas probabilidades em superfície em uma distância inferior a 10 km. A localidade com maior probabilidade de toque (6,3%) foi o município de Florianópolis – SC.

As maiores regiões com probabilidade de presença de óleo na coluna d'água se concentram principalmente nas primeiras camadas de profundidade, sendo que nos primeiros 86 metros a área de probabilidade de presença de óleo é muito similar à área observada em superfície. Nas camadas mais profundas que 170 m a área de probabilidade se restringe a regiões próximas do ponto de vazamento e valores de até 100% são observados, até 1981 m, uma vez que se trata de um vazamento de fundo.

No fundo, assim como no Período 1 a área de probabilidade de presença de óleo se estende desde regiões à frente ao estado de São Paulo até o estado do Rio Grande do Sul, cobrindo regiões até a isóbata de 200 m. Os maiores valores de probabilidades observados estão na faixa entre 40 e 50% e são observadas na latitude dos municípios de Guaraqueçaba e Florianópolis, entre as isóbatas de 50 e 200 m.

Em relação às unidades de conservação, 13 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de óleo, chegando a cerca de 15% na APA da Baleia Franca, cujo tempo mínimo de chegada é o menor observado, de 14,5 dias. Já em relação às UCs costeiras, 36 apresentaram probabilidade de serem atingidas, sendo a maior probabilidade de aproximadamente 6% no PNM da Lagoinha do Leste e o menor tempo de chegada de mais de 21 dias no PE da Ilha do Cardoso.

O mapa de tempo mínimo na superfície mostra que o óleo pode atingir distâncias de até 64 km em 1 dia, 280 km em 5 dias e de 420 km em 10 dias de simulação. Na costa, o menor tempo de chegada ocorreu em 19,16 dias em Guarujá – SP.

Das 320 simulações, em apenas 84 simulações houve toque na costa, equivalente a 26,25% das simulações. E dentre estas cerca de 10% apresentaram tempo de toque na costa inferior a 26 dias (Figura 146).

Em relação à massa máxima de óleo acumulado na costa, o maior valor foi observado em São Francisco do Sul – RS, com 580 t/km, seguido de Balneário Barra do Sul com 110 t/km.

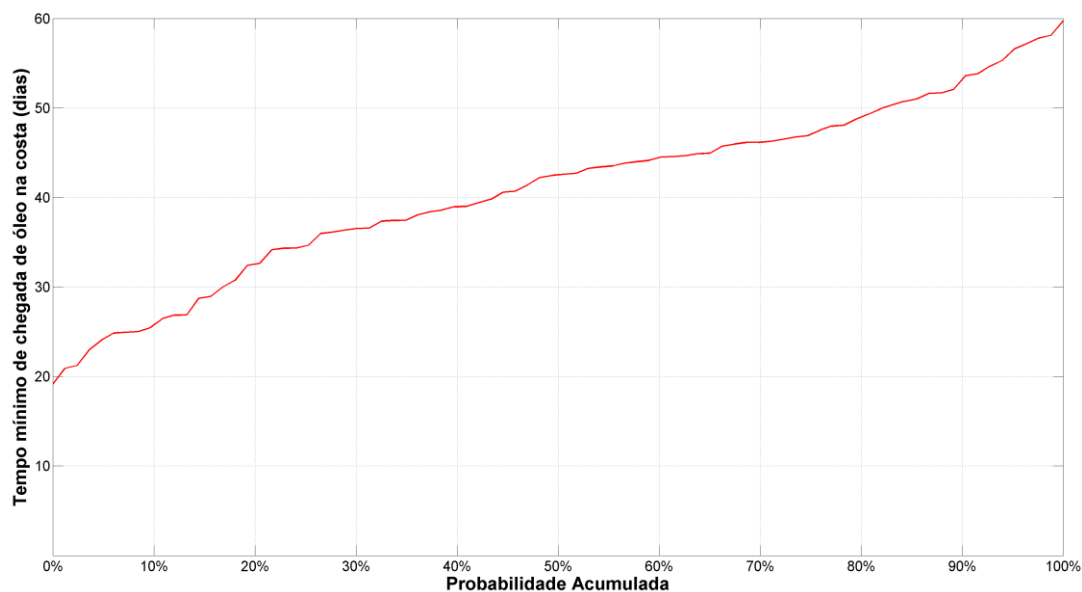


Figura 146: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

A seguir, na Tabela 21, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a dispersão de óleo na coluna d'água foi o processo mais relevante, com mediana de 47%, seguido da degradação e da evaporação, que apresentaram medianas de 30% e 20%, respectivamente. A sedimentação/fora da grade apresentou mediana inferior a 2% e a porcentagem de óleo em superfície ao término das simulações manteve-se com mediana abaixo de 2%, porém com valores máximos de 22%. Na costa, a porcentagem de máxima de óleo que pode chegar é inferior a 1%.

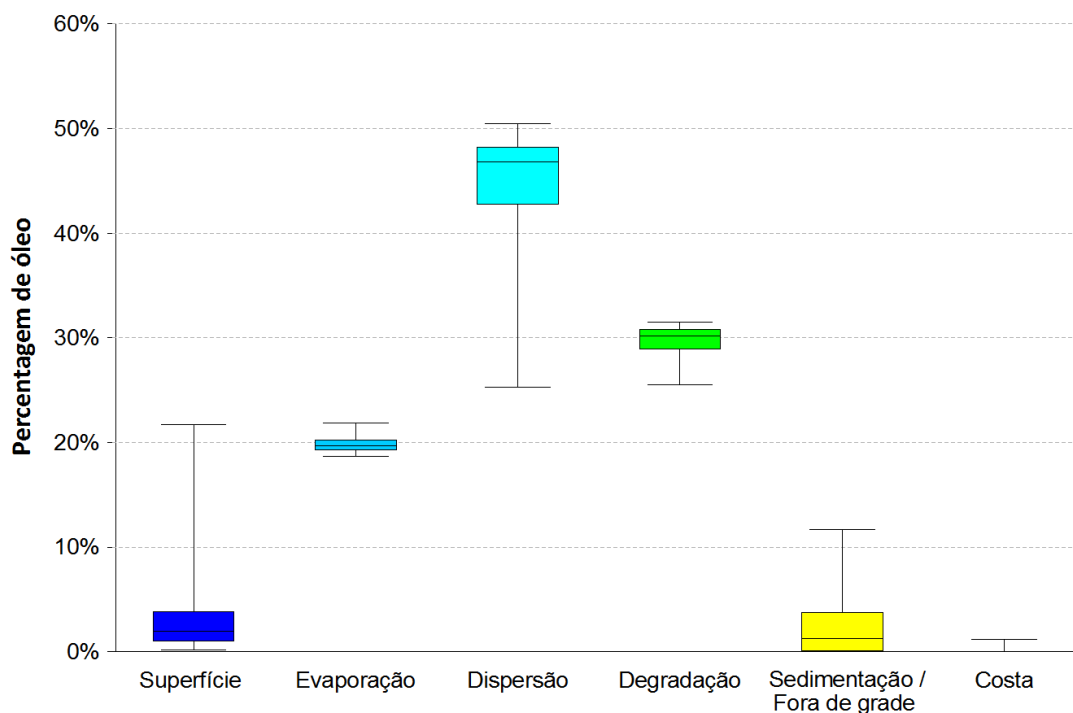


Figura 147: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

A seguir, na Tabela 21, 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 vazamento de 1.167.000 m³, além da extensão de toque em cada um deles. Na Tabela 22 são apresentados estes resultados para as Unidades de Conservação marinhas e na Tabela 23 para as Unidades de Conservação costeiras. Ressalta-se que esses valores nas UCs marinhas representam a passagem do óleo na superfície por essas regiões, não representando um acúmulo.

Tabela 21: Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (1.167.000 m³) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RJ	Angra dos Reis (Ilha Grande)	-	2,8	-	0,4	-	0,3	-	29,75
SP	Ubatuba	-	**	-	**	-	0,6*	-	32,62*
	Ilhabela	-	28,3	-	13,2	-	2,5	-	27,29
	São Sebastião	-	2,8	-	10,2	-	0,6	-	52,15
	Guarujá	-	25,5	-	26,7	-	4,1	-	19,16
	Praia Grande	-	2,8	-	10,7	-	0,6	-	53,49
	Mongaguá	-	2,8	-	2,3	-	0,3	-	51,96
	Itanhaém	-	14,1	-	25,0	-	0,9	-	51,96
	Peruíbe	5,7	42,4	13,4	25,7	0,9	4,1	26,50	34,35
	Iguape	70,7	48,1	26,9	25,8	1,6	2,5	23,05	37,85
	Ilha Comprida	127,3	28,3	27,2	25,8	2,5	2,2	27,75	38,90
Cananéia	84,9	48,1	27,4	26,4	2,5	2,8	29,65	21,24	
PR	Guaraqueçaba	73,5	42,4	94,3	26,4	2,5	2,8	31,54	21,38
	Paranaguá	50,9	11,3	94,3	26,5	3,7	0,9	30,00	22,81
	Pontal do Paraná	42,4	31,1	27,0	29,0	9,6	0,6	23,17	24,84
	Matinhos	36,8	36,8	26,9	28,3	9,0	1,6	23,18	24,68
	Guaratuba	31,1	31,1	26,9	29,7	8,4	2,5	24,71	25,01
SC	Itapoá	42,4	45,3	27,9	73,5	9,0	2,8	24,95	25,56
	São Francisco do Sul	84,9	104,7	103,0	579,7	15,2	5,9	24,10	24,95
	Balneário Barra do Sul	31,1	25,5	98,5	110,2	14,6	2,8	28,90	24,29
	Araquari	11,3	11,3	29,1	29,1	14,6	2,5	25,33	24,30
	Barra Velha	28,3	28,3	29,2	29,3	20,8	3,8	25,22	25,13
	Piçarras	11,3	11,3	29,6	29,1	20,8	4,1	24,79	27,99
	Penha	31,1	31,1	7,5	3,7	28,3	5,3	23,20	25,40
	Navegantes	19,8	19,8	29,2	27,6	21,4	3,8	24,86	27,66

* Valores retirados dos resultados em superfície para localidades que não apresentaram massa acumulada na costa acima do limiar monitorado, mas estão a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da costa.

** Como os valores apresentados são da superfície, não são apresentados valores de massa acumulada na costa e de extensão na costa.

Tabela 22 (continuação): Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (38.900 m³/dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
SC	Itajaí	17,0	17,0	29,4	29,1	25,5	4,1	23,81	28,14
	Balneário Camboriú	33,9	33,9	29,6	28,2	26,1	4,4	23,27	27,25
	Itapema	31,1	31,1	30,0	27,2	20,5	1,9	23,98	30,27
	Porto Belo	48,1	42,4	30,0	27,2	30,4	3,1	20,32	26,18
	Bombinhas	45,3	39,6	29,7	29,2	34,5	3,4	20,19	26,18
	Tijucas	25,5	17,0	29,2	26,4	18,0	1,3	25,04	37,64
	Governador Celso Ramos	39,6	19,8	29,8	13,6	24,2	1,9	22,01	38,58
	Biguaçu	25,5	-	29,6	-	14,6	-	23,17	-
	São José	22,6	-	30,0	-	12,4	-	22,97	-
	Florianópolis	215,0	107,5	30,4	27,9	51,6	6,3	16,06	24,28
	Palhoça	45,3	11,3	29,6	26,5	38,5	4,1	17,82	30,09
	Paulo Lopes	14,1	11,3	29,6	26,5	38,5	4,1	17,33	38,81
	Garopaba	45,3	39,6	29,6	26,9	48,1	4,7	15,63	25,70
	Imbituba	53,7	45,3	30,1	26,8	56,8	2,8	15,71	25,52
	Laguna	70,7	39,6	29,9	27,4	54,3	2,5	17,32	37,46
	Jaguaruna	70,7	11,3	29,8	14,8	28,3	1,3	18,51	44,90
	Balneário Rincão	33,9	-	28,5	-	9,3	-	18,66	-
	Araranguá	28,3	-	28,1	-	9,3	-	19,46	-
	Balneário Arroio do Silva	42,4	-	28,0	-	9,0	-	18,49	-
	Balneário Gaivota	42,4	-	27,0	-	9,0	-	25,23	-
Passo de Torres	22,6	-	26,2	-	5,0	-	26,46	-	
RS	Torres	22,6	-	26,6	-	7,1	-	26,46	-
	Arroio do Sal	39,6	-	26,5	-	12,1	-	28,02	-
	Terra de Areia	8,5	-	26,5	-	8,4	-	33,72	-
	Capão da Canoa	31,1	-	28,4	-	14,3	-	30,29	-
	Xangri-lá	19,8	-	27,2	-	16,5	-	29,81	-
	Osório	14,1	-	28,9	-	17,1	-	27,05	-
	Imbé	22,6	-	28,4	-	19,3	-	26,22	-

Tabela 22 (continuação): Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (38.900 m³/dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RS	Tramandaí	28,3	-	28,0	-	18,6	-	26,43	-
	Cidreira	36,8	-	28,4	-	20,8	-	26,89	-
	Balneário Pinhal	19,8	-	27,9	-	19,3	-	27,23	-
	Palmares do Sul	48,1	-	28,6	-	21,1	-	27,72	-
	Mostardas	169,7	-	27,6	-	22,7	-	28,54	-
	Tavares	93,3	-	26,3	-	6,5	-	31,83	-
	São José do Norte	147,1	-	26,4	-	5,9	-	41,66	-
	Rio Grande	17,0	-	8,1	-	0,3	-	55,79	-
Santa Vitória do Palmar	5,7	-	0,6	-	0,3	-	52,83	-	

Tabela 22: Área com toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação marinhas com possibilidade de serem atingidas em um vazamento de grande volume (38.900 m³/dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Área (km ²)		Massa Máxima (t/km ²)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Anhatomirim	12,7	7,3	138,1	4,8	25,8	0,6	22,08	52,92
APA da Baleia Franca	1055,9	908,2	429,9	41,4	71,4	8,1	15,33	23,13
APA Marinha do Litoral Centro	494,3	3535,3	18,9	72,8	2,2	14,7	21,25	14,46
APA Marinha do Litoral Norte	-	1745,2	-	18,4	-	4,4	-	19,50
APA Marinha do Litoral Sul	3324,2	3224,3	749,5	68,0	6,8	8,4	21,88	18,88
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	-	4,1	-	18,2	-	9,4	-	30,75
ESEC dos Tupiniquins	4,9	15,9	102,5	40,2	2,5	4,4	27,50	20,75
ESEC Tupinambás	-	13,7	-	14,3	-	5,3	-	17,08
PARNA Marinho das Ilhas dos Currais	12,8	12,8	24,4	16,1	11,2	1,3	22,46	21,67
PE Marinho da Laje de Santos	-	46,8	-	32,4	-	11,3	-	14,83
RDS Barra do Una (Setor Marinho)	17,1	24,3	9,5	22,0	0,9	2,5	22,71	34,50
REBIO Marinha do Arvoredo	153,6	153,2	41,4	78,8	52,5	10,3	17,50	19,79
RESEX Marinha Pirajubaé	9,6	-	37,0	-	1,6	-	53,88	-
RVS das Ilhas do Abrigo e Guararitama	-	4,9	-	22,9	-	3,4	-	33,88
RVS Ilha dos Lobos	1,5	-	9,3	-	5,6	-	26,33	-

Tabela 23: Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de grande volume (38.900 m³/dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Costa Brava	5,7	5,7	29,4	27,3	22,7	2,5	23,7	30,27
APA de Cananéia - Iguape - Peruíbe	101,8	39,6	27,0	25,8	1,6	2,8	29,00	34,42
APA de Guaraqueçaba	93,3	42,4	94,3	26,4	2,5	2,8	31,54	21,38
APA de Tamoios	-	2,8	-	0,4	-	0,3	-	29,75
APA Estadual de Guaratuba	31,1	31,1	26,9	29,5	8,1	2,2	24,71	24,82
APA Ilha Comprida	130,1	28,3	27,2	25,8	2,5	2,2	27,75	38,90
ARIE Costeira de Zimbros	48,1	45,3	30,0	29,2	34,5	3,4	20,19	26,18
ARIE da Ilha Comprida	8,5	-	27,1	-	2,2	-	33,34	-
ARIE do Guará	14,1	5,7	26,2	25,8	1,6	2,2	29,00	38,90
ARIE Ilha Ameixal	-	2,8	-	25,6	-	0,6	-	57,56
ESEC da Ilha do Mel	17,0	5,7	94,3	25,9	1,9	0,6	33,76	24,99
ESEC de Carijós	14,1	-	30,0	-	25,8	-	21,85	-
ESEC Juréia-Itatins	22,6	33,9	26,7	25,6	0,9	2,8	23,05	34,42
PARNA da Lagoa do Peixe	113,1	-	26,9	-	13,7	-	31,83	-
PARNA de Saint-Hilaire/Lange	11,3	11,3	26,9	26,7	8,1	1,6	25,01	24,82
PARNA do Superagui	70,7	42,4	94,3	26,4	2,5	2,8	31,54	21,38
PE de Ilhabela	-	28,3	-	13,2	-	2,5	-	27,29
PE Acarai	42,4	42,4	29,2	29,9	18,9	5,6	24,27	25,15
PE da Guarita	2,8	-	9,5	-	1,2	-	50,69	-
PE da Ilha do Cardoso	65,1	42,4	27,4	26,4	2,2	2,8	29,65	21,24
PE da Ilha do Mel	8,5	5,7	26,5	26,5	3,7	0,9	30,00	22,81
PE da Serra do Tabuleiro	53,7	22,6	30,0	26,5	41,0	5,6	17,33	28,97
PE de Itapeva	8,5	-	26,6	-	4,7	-	39,90	-
PE do Itinguçu	5,7	17,0	13,4	25,7	0,9	4,1	26,50	34,35
PE do Prelado	5,7	5,7	13,4	12,8	0,6	1,6	30,10	44,56
PE do Rio Vermelho	31,1	17,0	29,9	27,8	43,2	3,8	18,03	24,74
PE Lagamar de Cananeia	5,7	-	26,7	-	0,3	-	48,84	-
PE Xixová-Japuí	-	2,8	-	10,7	-	0,6	-	53,49
PM do Manguezal de Itacorubi	2,8	-	26,6	-	5,9	-	27,96	-

Tabela 24 (continuação): Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de grande volume (38.900 m³/dia) a partir do Poço Urtiga, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
PM Morro dos Macacos	8,5	8,5	7,5	3,5	28,9	2,8	22,97	27,67
PNM da Galheta	8,5	8,5	29,6	26,5	43,2	4,4	17,78	27,00
PNM da Lagoa do Peri	25,5	11,3	29,7	26,7	33,5	3,8	22,60	29,94
PNM da Lagoinha do Leste	8,5	8,5	29,8	26,8	46,6	5,9	19,77	29,94
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	17,0	14,1	29,6	26,8	39,8	4,7	17,50	35,97
PNM do Atalaia	2,8	2,8	29,2	27,6	21,4	3,4	24,86	28,14
PNM do Bougainville	-	2,8	-	14,3	-	4,1	-	34,35
PNM do Morro da Cruz	5,7	-	29,0	-	2,5	-	29,28	-
PNM do Vilão	-	5,7	-	14,3	-	4,1	-	34,35
PNM Restinga do Guaraú	-	5,7	-	25,5	-	1,3	-	38,07
RDS da Barra do Una	2,8	5,7	13,4	25,7	0,3	0,6	30,10	57,41
REBIO Bom Jesus	2,8	-	12,7	-	0,3	-	58,18	-
REBIO Praia do Rosa	5,7	5,7	30,0	26,6	40,1	2,8	20,06	29,99
RESEX Ilha do Tumba	14,1	5,7	26,6	25,6	2,2	1,9	31,53	43,93
RPPN Marina do Conde	-	2,8	-	13,3	-	0,3	-	36,54
RPPN Morro dos Zimbros	5,7	5,7	28,6	26,5	21,4	1,6	22,42	40,08

3.2.1.2 Poço Guanxuma

3.2.1.2.1 Vazamento de 8 m³

3.2.1.2.1.1 Período 1

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e coluna d'água e de tempo mínimo de chegada para o vazamento de 8 m³ a partir do Poço Guanxuma no Período 1 são apresentados a seguir (Figura 148 à Figura 150).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 8 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)

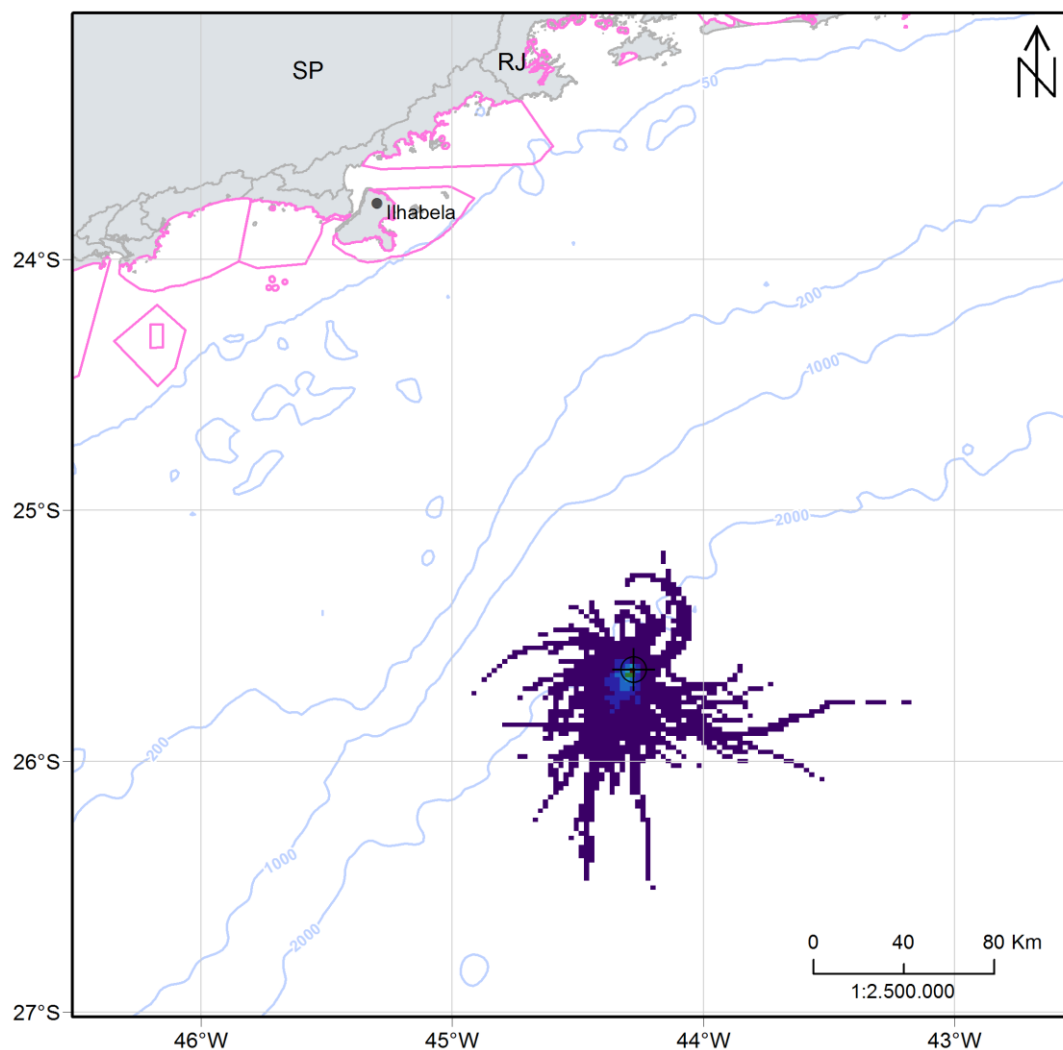
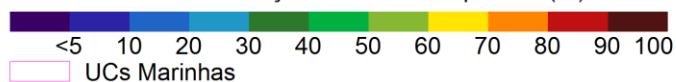


Figura 148: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 8 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)

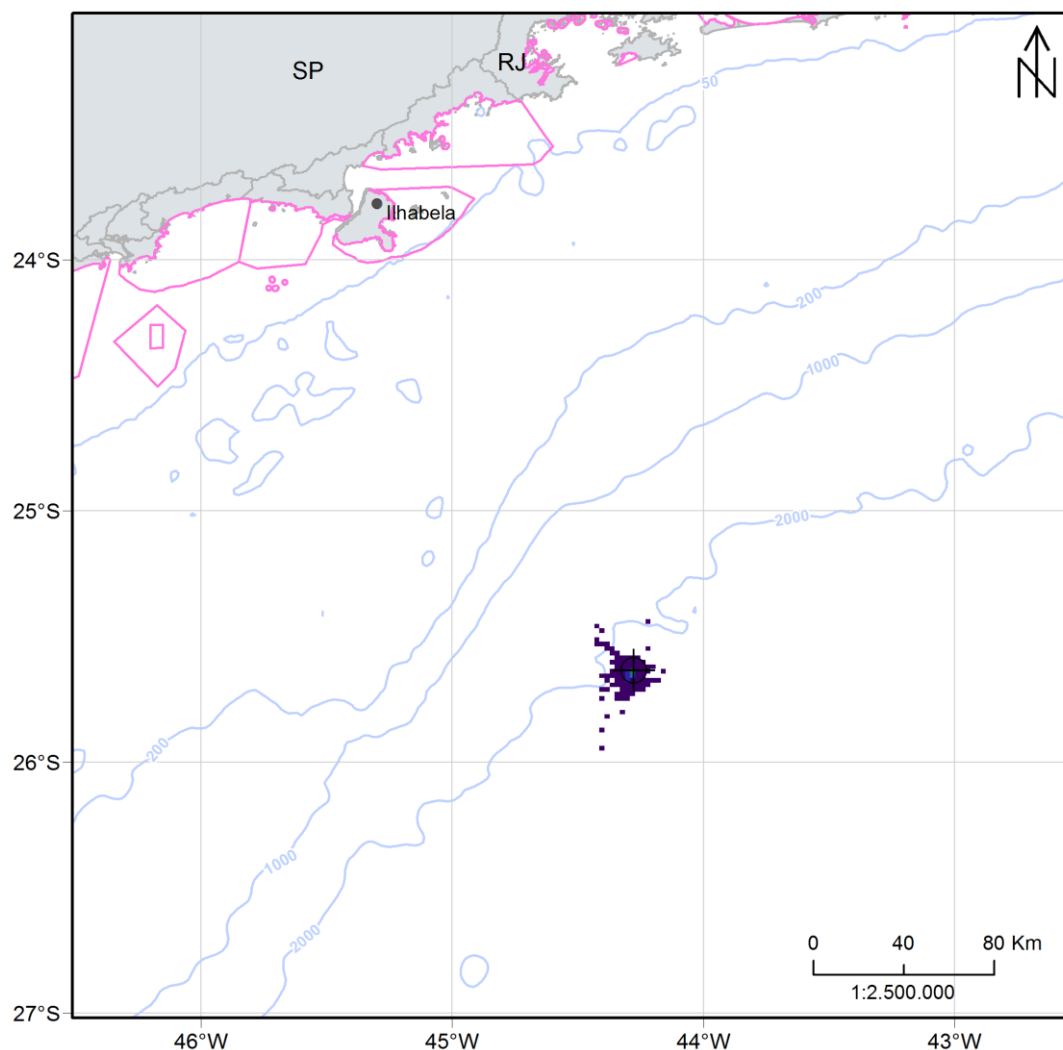
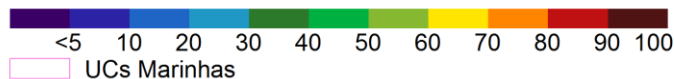


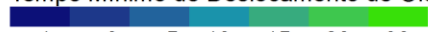
Figura 149: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 8 m³. Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 8 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

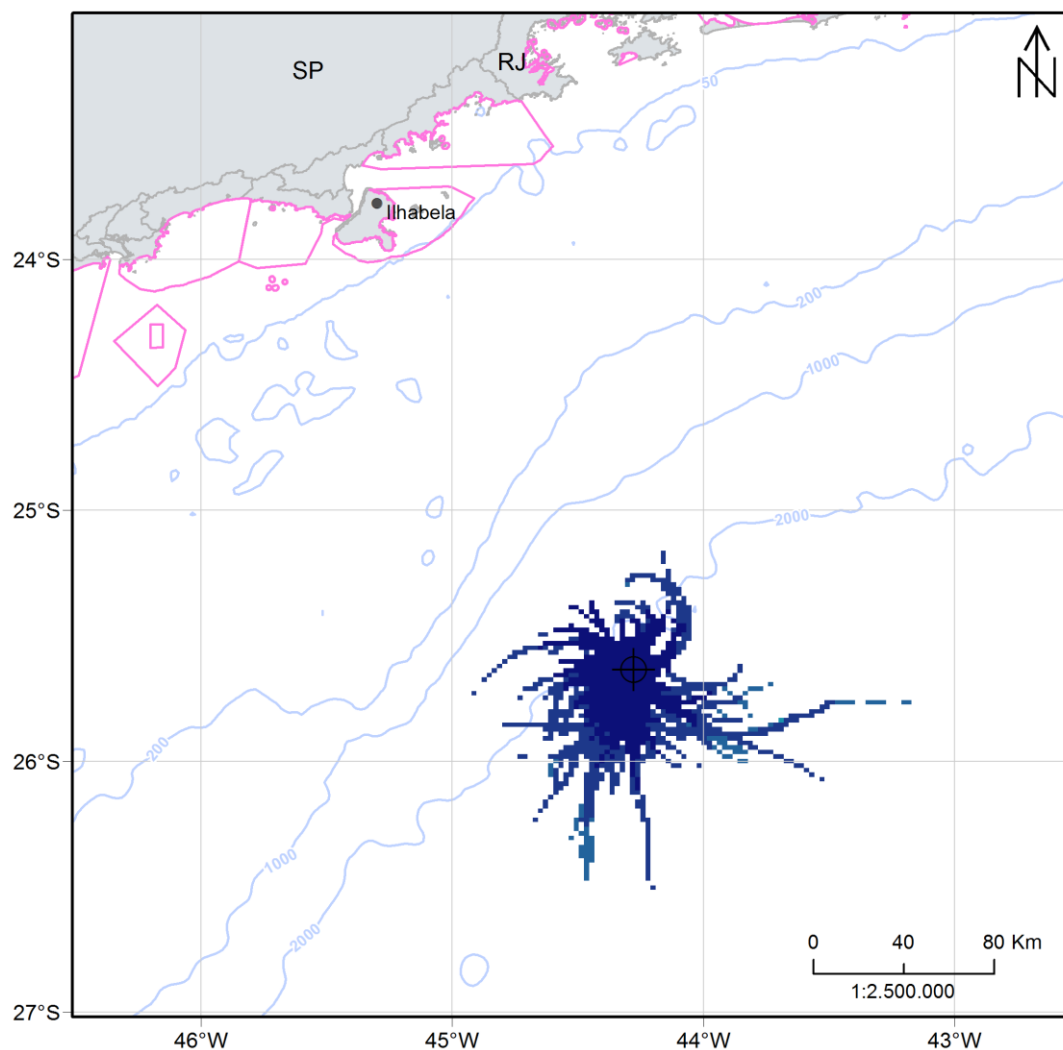


Figura 150: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 8 m³.
 Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Nota-se que há uma direção preferencial de deriva do óleo em superfície para sul e sudeste do ponto de vazamento, pela influência principalmente da Corrente do Brasil, com a área de probabilidade concentrando-se principalmente em uma região próxima ao ponto de vazamento.

A área de probabilidade se estende, no máximo, a aproximadamente 125 km do ponto de vazamento, concentrando-se principalmente em regiões de profundidades maiores que 2.000 metros. Após o primeiro dia de início de vazamento, o óleo pode atingir uma distância de até 52 km e o ponto mais afastado é atingido 4,5 dias. Na coluna d'água, as probabilidades se restringem às proximidades do ponto de vazamento (até 39 km), chegam no máximo a 35% e alcançam profundidades de até 32 metros.

Não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação, sendo o município de Ilhabela – SP a localidade que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de presença de óleo (cerca de 180 km).

A seguir, na Figura 151, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da dispersão na coluna d'água (mediana de 44%), seguido pela evaporação (mediana de 35%). O valor mediano da degradação foi cerca de 20% do total de óleo. Após 30 dias, o óleo em superfície em 75% das simulações é inferior a 1% do total e nos sedimentos é inferior a 0,1% em todas as simulações.

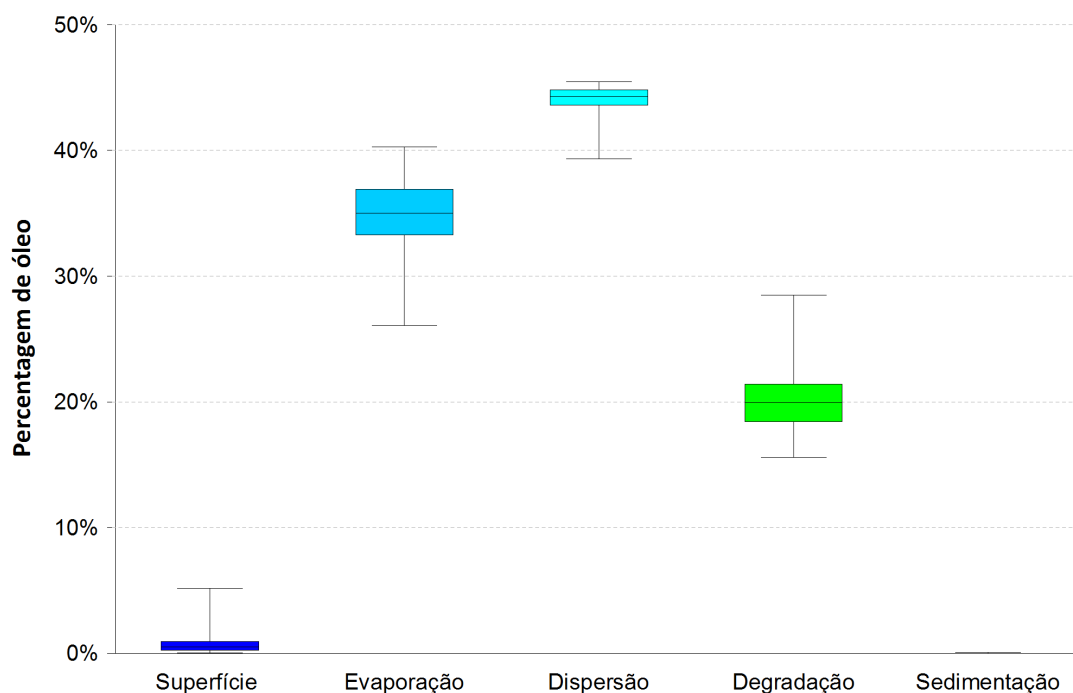


Figura 151: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³. Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2.1.2 Período 2

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e coluna d'água e de tempo mínimo de chegada para o vazamento de 8 m³ a partir do Poço Guanxuma na condição de Período 2 são apresentados a seguir (Figura 152 à Figura 154).

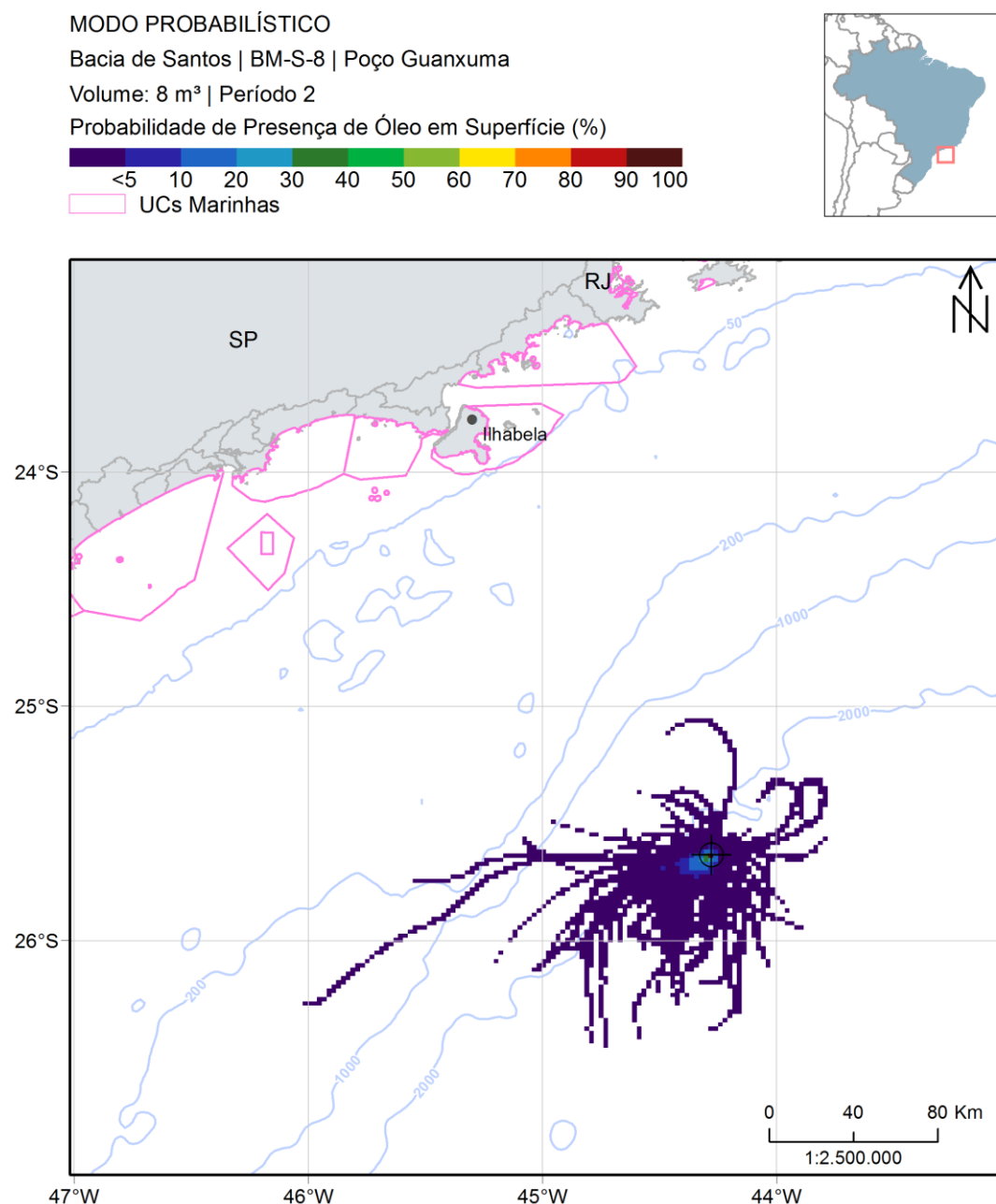


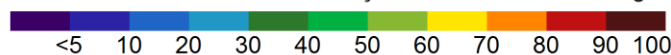
Figura 152: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 8 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

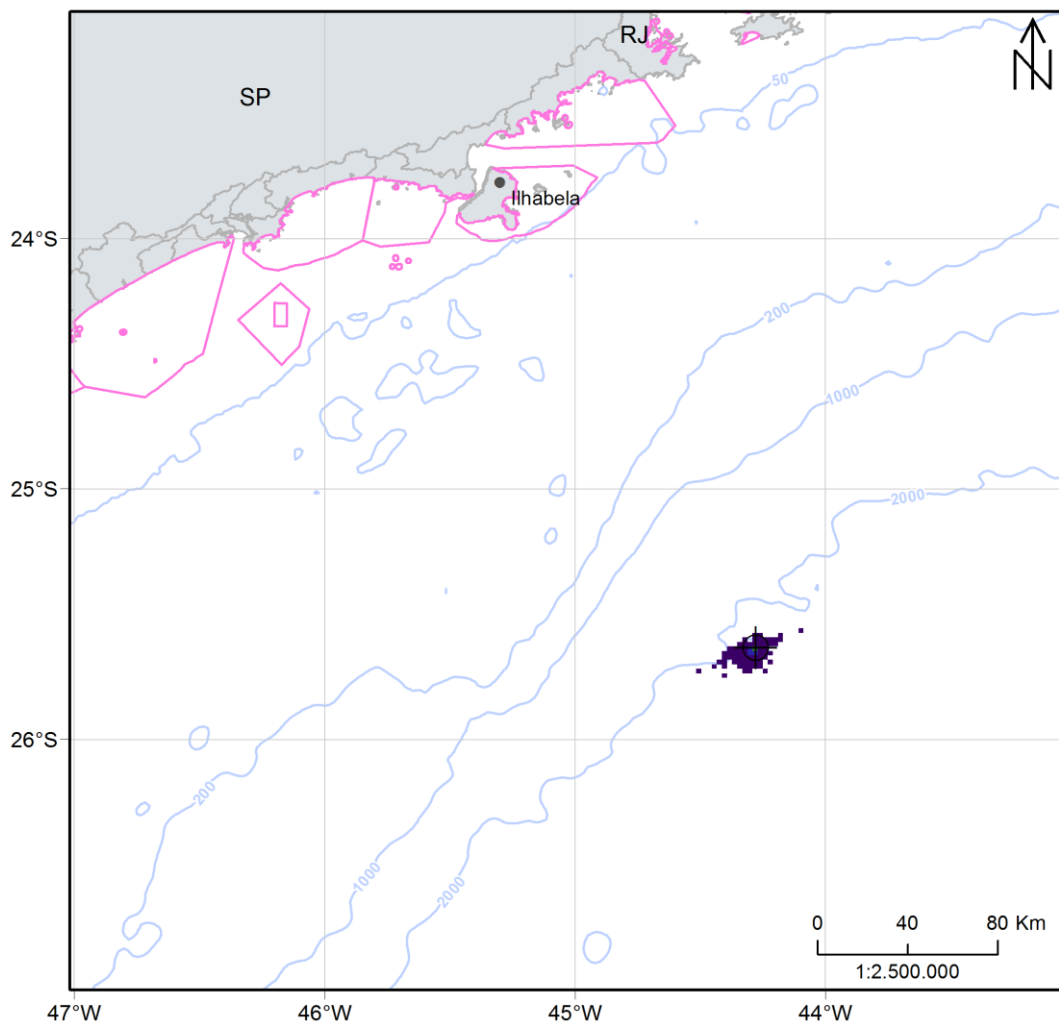


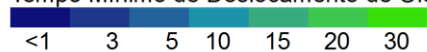
Figura 153: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 8 m³. Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 8 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

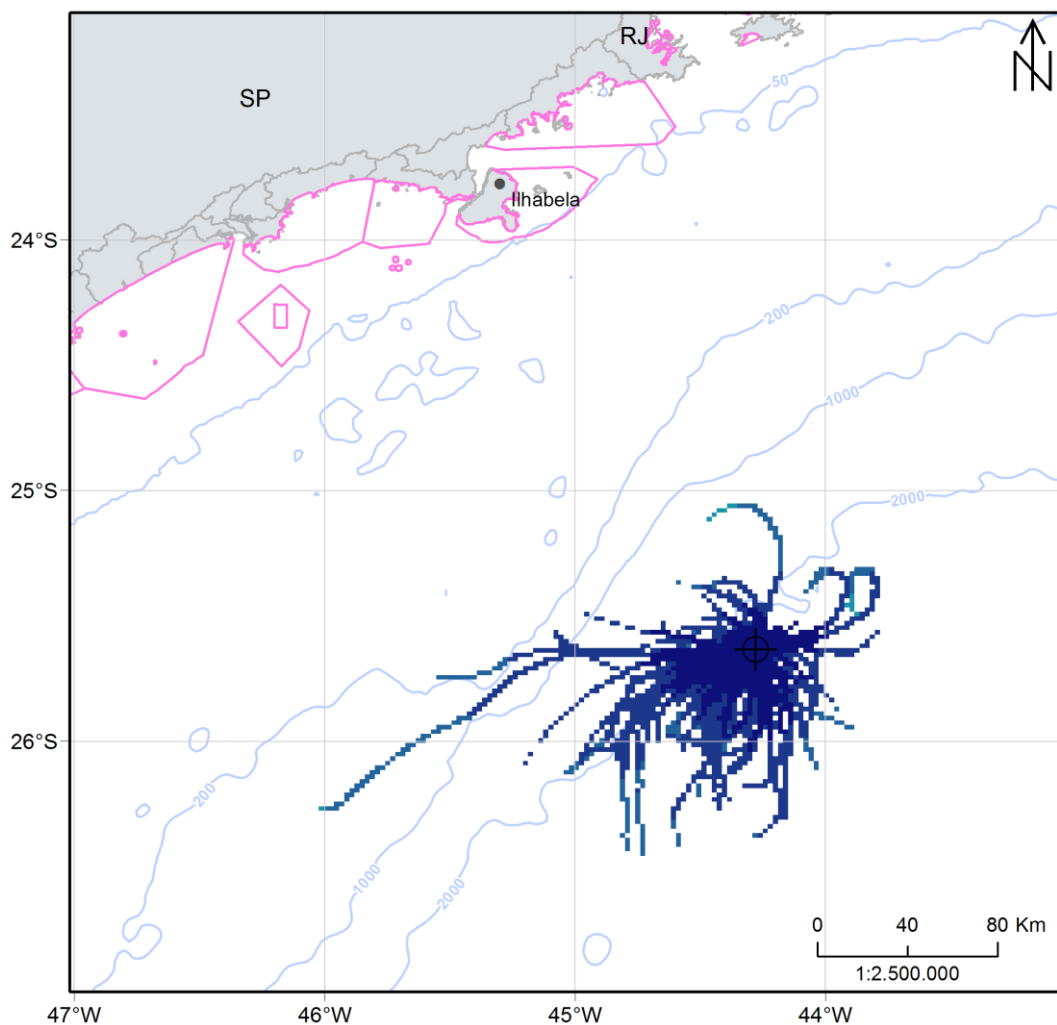


Figura 154: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de m³. Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

As direções preferenciais de deriva do óleo neste cenário são para oeste e sudoeste. No entanto, no Período 2 nota-se que a área de probabilidade de óleo apresenta-se mais espalhada em função da maior variabilidade das direções das correntes e ventos.

A deriva do óleo neste cenário pode se estender em até cerca de 200 km. Após o primeiro dia de vazamento, o óleo pode chegar a até 45 km e o ponto mais afastado é alcançado em 5,12 dias. Na coluna d'água, há probabilidade de presença de óleo máxima de 40% apenas no ponto de grade do ponto de vazamento. Nas regiões mais afastadas as probabilidades são inferiores a 8% e são possíveis de serem observadas até uma distância máxima de 28 km de distância do ponto de vazamento e profundidades de até 22 metros.

Neste cenário não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação, contudo, ressalta-se que o município de Ilhabela – SP foi o que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de presença de óleo (cerca de 150 km).

A seguir, na Figura 155, são apresentados os percentuais de óleo dos processos de intemperismo ao final das simulações. Assim como no cenário do Período 1, a retirada de óleo da superfície ocorreu principalmente através da dispersão na coluna d'água (mediana de 47%), seguida pela evaporação (mediana de 35%) e da degradação (mediana de 17%). Ao final de 30 dias em 75% das simulações, cerca de 1% do total de óleo vazado permanece em superfície, com um valor máximo de 6%, e menos de 0,3% do óleo vazado pode ser encontrado nos sedimentos em todas as simulações.

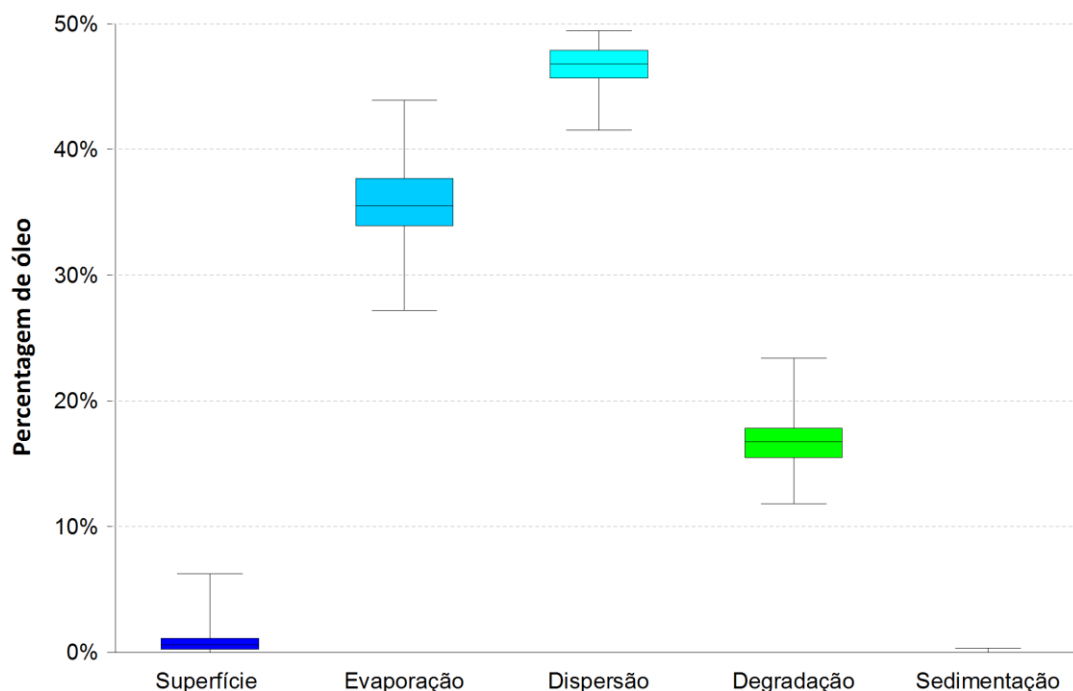


Figura 155: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³. Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2.2 Vazamento de 200 m³

3.2.1.2.2.1 Período 1

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de médio porte (200 m³) a partir do Poço Guanxuma no Período 1 (Figura 156 à Figura 158).

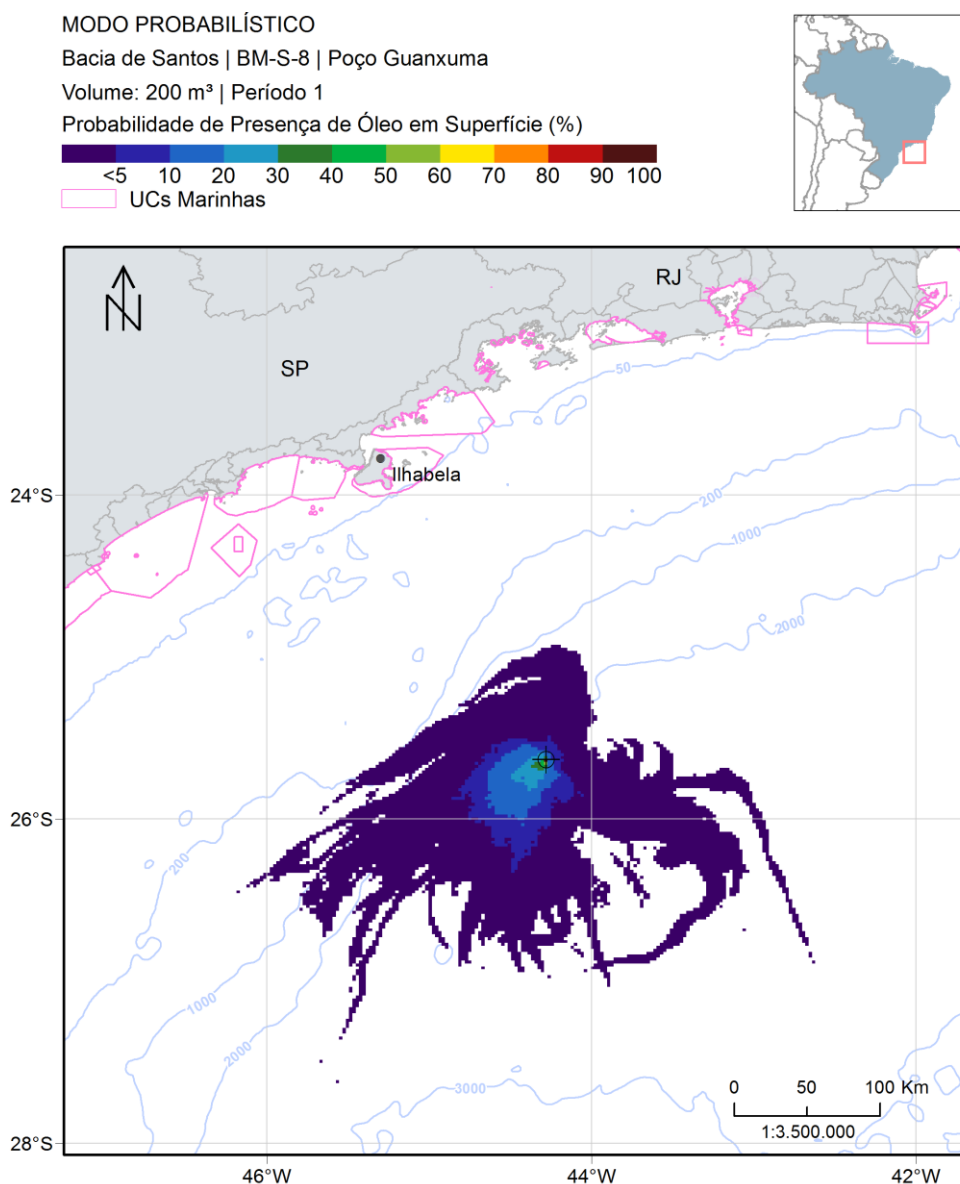


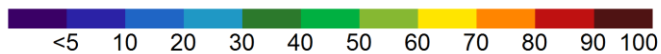
Figura 156: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 200 m³. Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 200 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

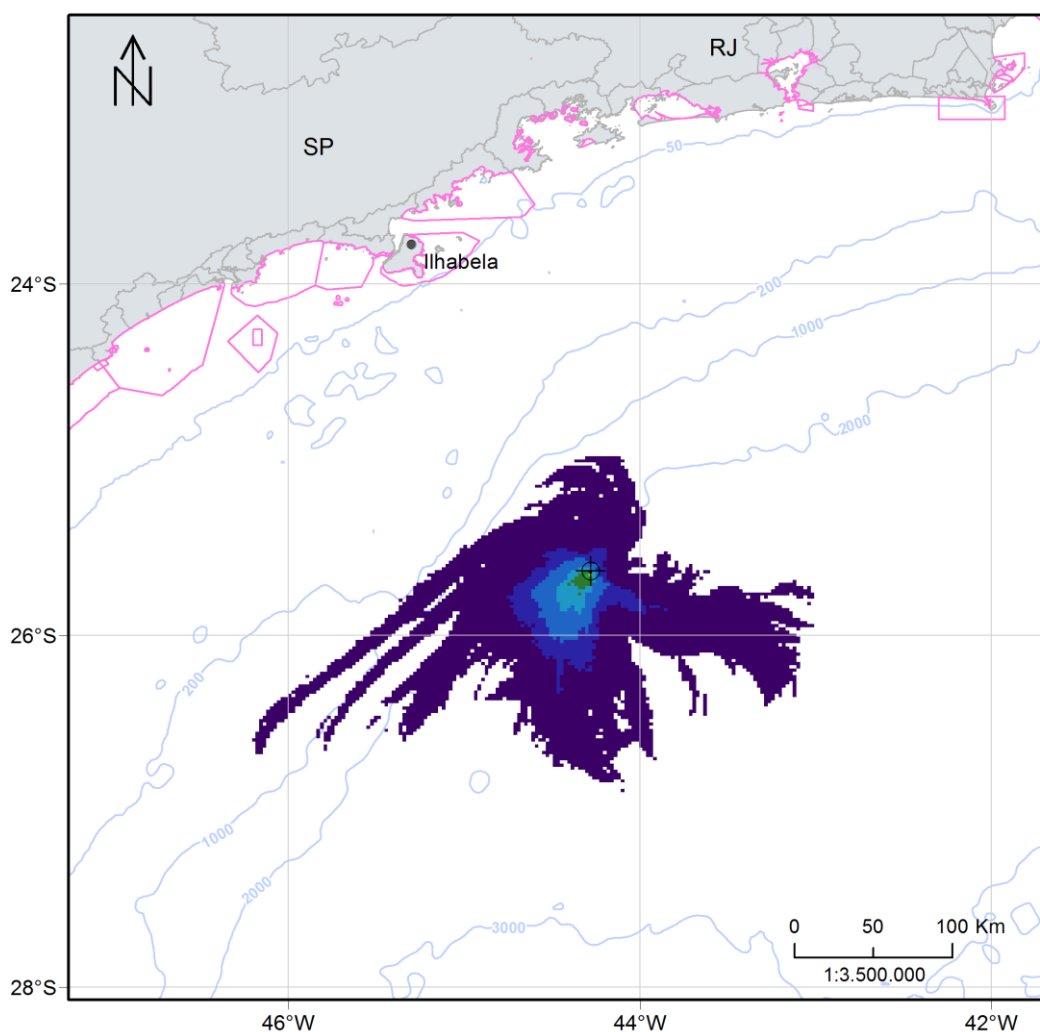


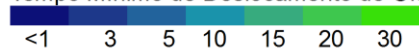
Figura 157: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para vazamento de 200 m³. Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 200 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

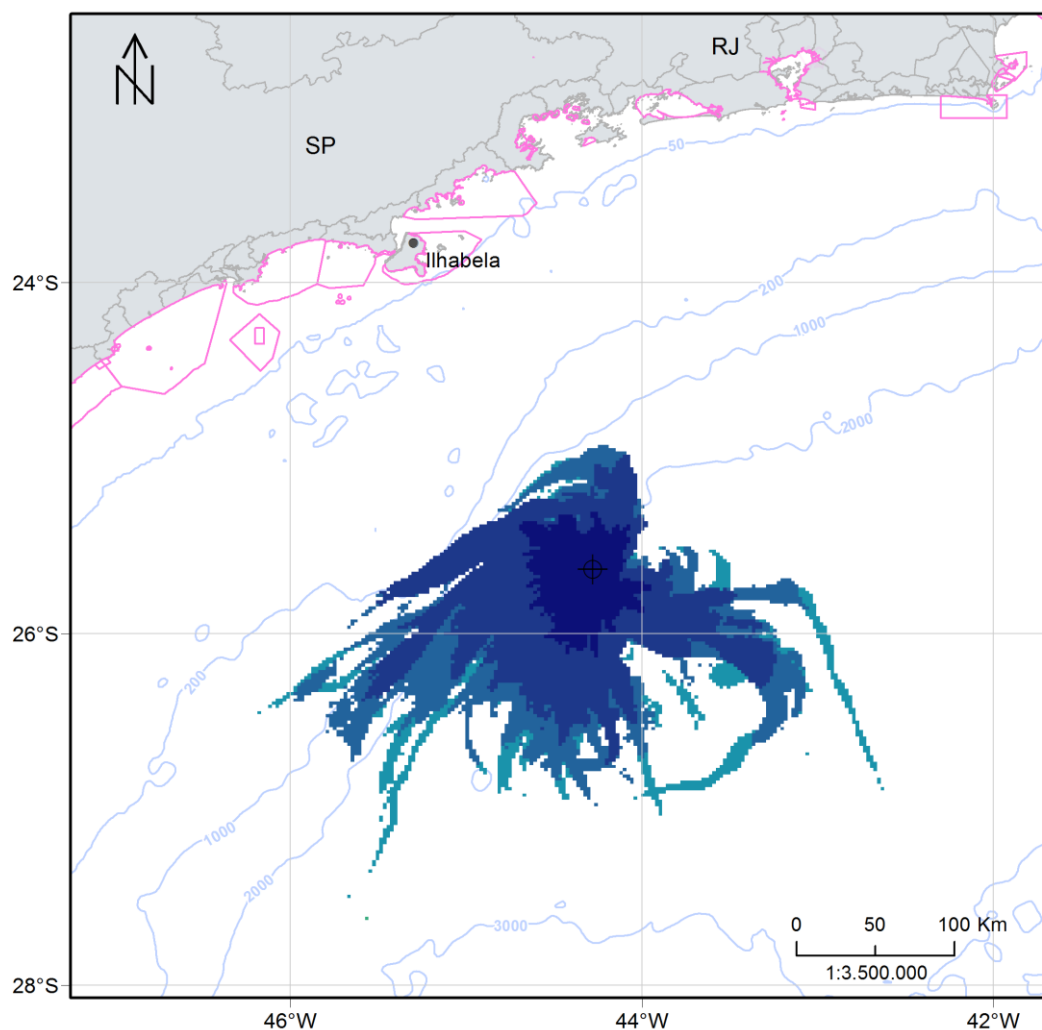


Figura 158: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m³.
 Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

A direção preferencial de deriva do óleo é para sudoeste do ponto de vazamento, seguindo o fluxo preferencial da Corrente do Brasil. Com o aumento do volume de vazamento, o óleo atingiu uma maior extensão em relação aos cenários anteriores, sendo de aproximadamente 255 km, limitando-se a região oceânica em frente ao estados de São Paulo. Apesar da maior extensão, neste período também não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em

alguma unidade de conservação, e o município de Ilhabela – SP foi o que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de presença de óleo (cerca de 142 km).

A área com probabilidade de presença de óleo na coluna d'água é relativamente menor que a observada em superfície e o alcance máximo do ponto de vazamento é de aproximadamente 240 km. O maior valor probabilidade observado foi 94%, ressaltando que o mesmo foi registrado nos primeiros dois metros de profundidade e muito próximo ao ponto de vazamento. A profundidade máxima de óleo na coluna d'água foi de 72 m.

A seguir, na Figura 159, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Assim como nos cenários de 8 m³, pode-se observar que, a retirada de óleo da superfície ocorreu principalmente através da dispersão na coluna d'água (mediana de 44%), seguida pela evaporação (mediana de 36%) e da degradação (mediana de 19%). A sedimentação apresentou máximo de 0,1% e ao final de 30 dias, a porcentagem de óleo em superfície foi de cerca de 1% em 75% das simulações, com máximo de 7%.

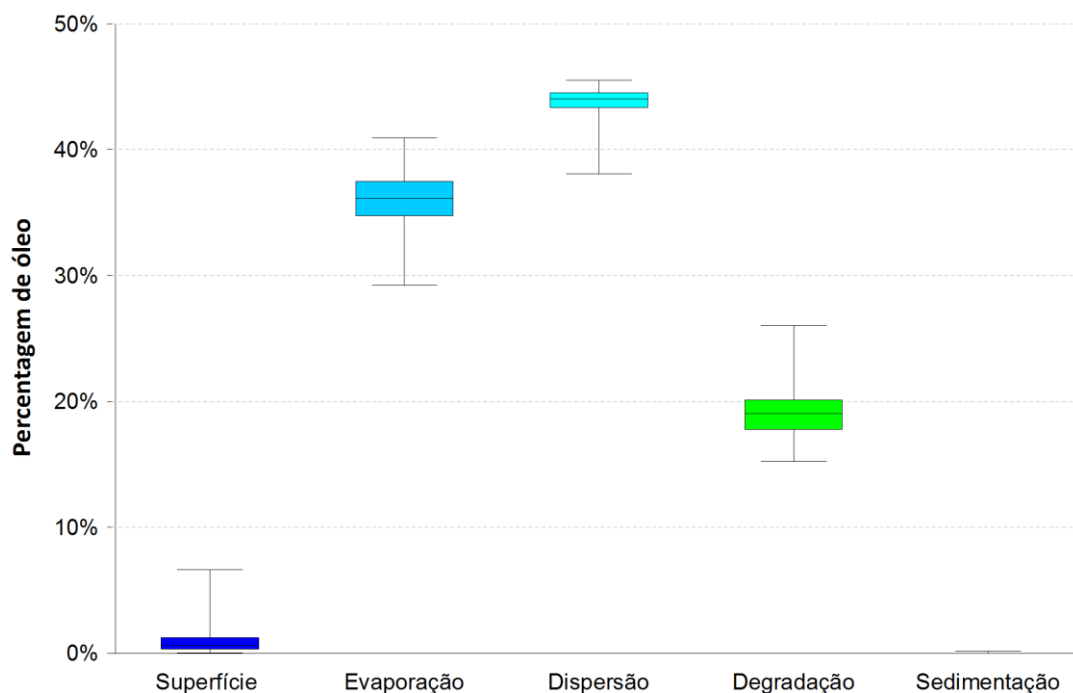
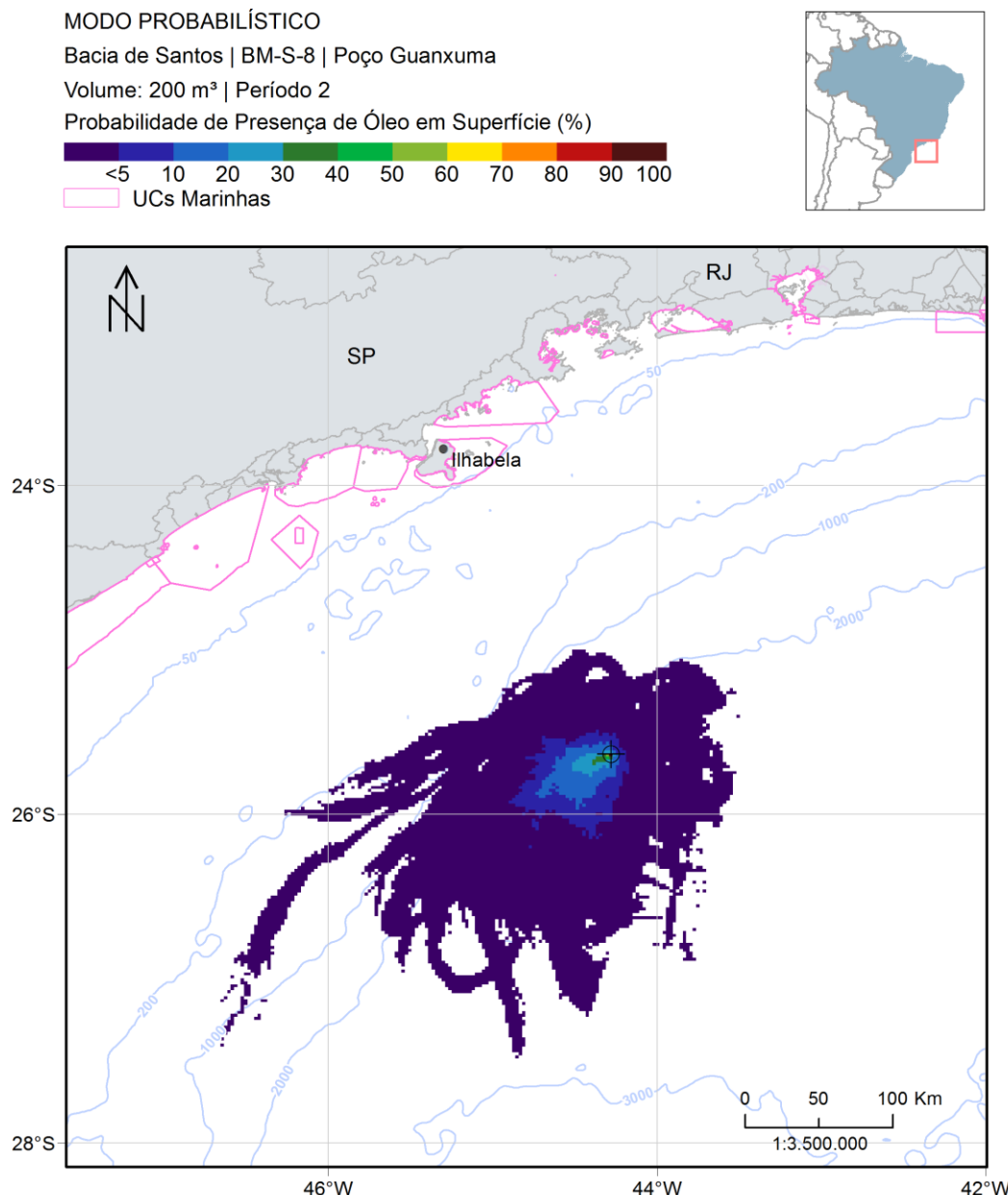


Figura 159: Balanço de massa das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³. Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2.2.2 Período 2

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de médio porte (200 m³) a partir do Poço guanxuma no Período 1 (Figura 160 à Figura 162).



MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 200 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)

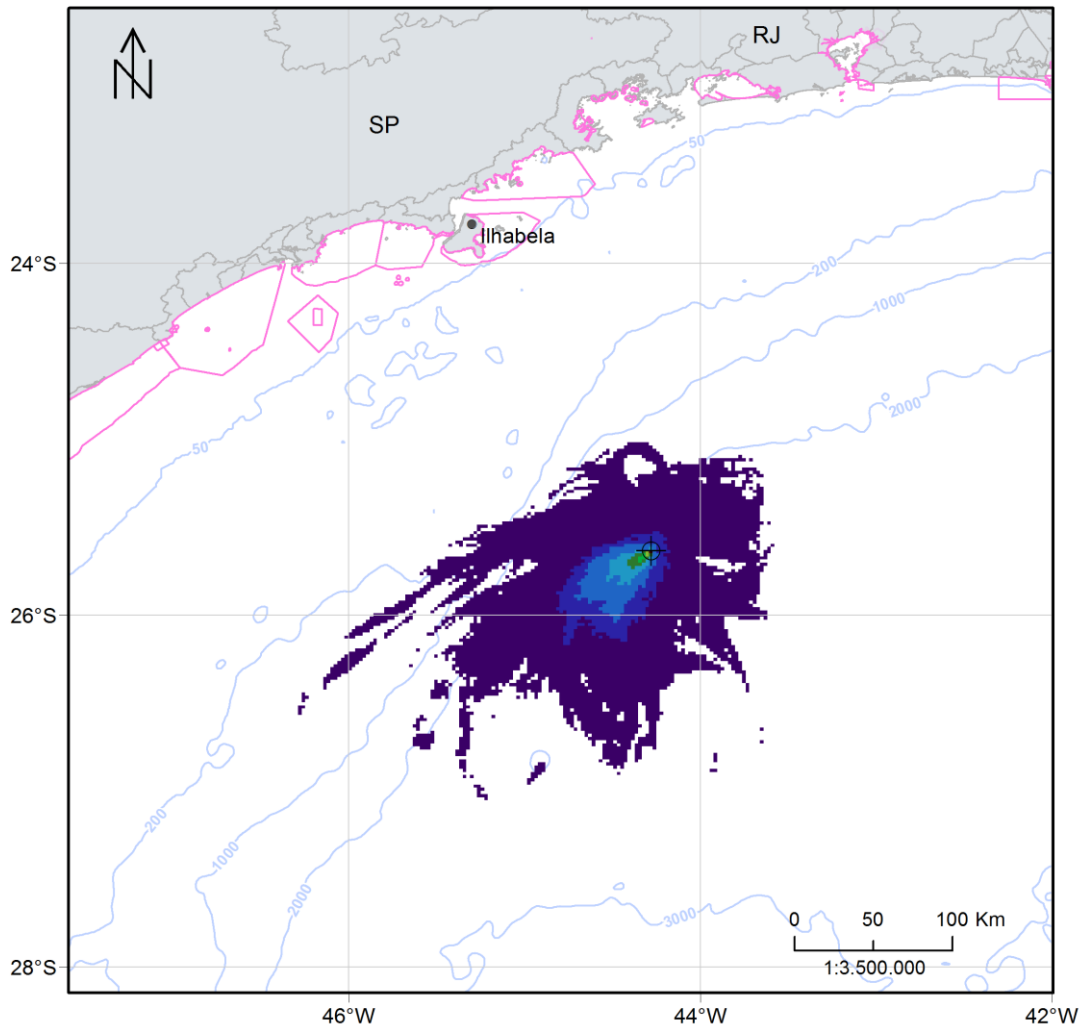
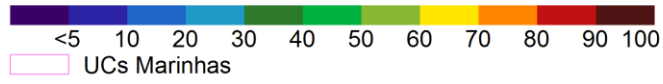


Figura 161: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna para vazamento de 200 m³. Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 200 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)

<1 3 5 10 15 20 30

UCs Marinhas

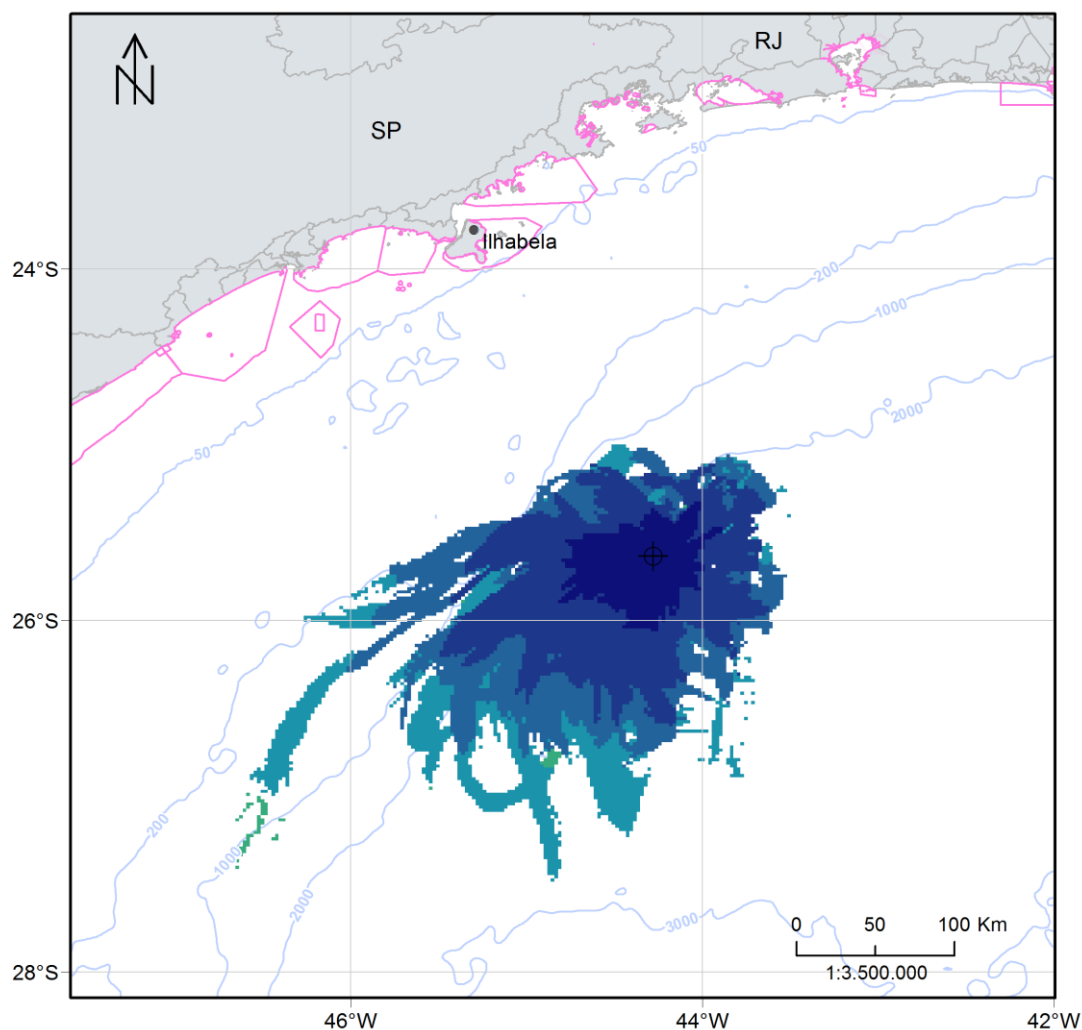


Figura 162: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para vazamento de 200 m³.
 Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

A direção preferencial de deriva do óleo em superfície é para sudoeste. A deriva do óleo neste cenário pode se estender até 324 km do ponto de vazamento, limitando-se a região oceânica em frente ao estado de São Paulo. Neste período não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação, porém, é importante ressaltar que o município de Ilhabela – SP foi o que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de

presença de óleo (cerca de 136 km). Em uma hora o óleo atingiu uma distância de até 65 km, e o ponto mais afastado pode ser atingido em até 13 dias.

Na coluna d'água a área de probabilidade de presença de óleo é menor que a observada na superfície, alcançando uma distância máxima de 240 km. Os maiores valores observados foram de 92%, porém, novamente os valores mais expressivos foram registrados nos primeiros dois metros de profundidade da coluna d'água e muito próximos ao ponto de vazamento. O óleo atingiu uma profundidade máxima na coluna d'água de 82 m.

A seguir, na Figura 163, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Assim como no cenário de Período 1, a retirada de óleo da superfície ocorreu principalmente através da dispersão na coluna d'água (mediana de 44%), seguida pela evaporação (mediana de 36%) e da degradação (mediana de 19%). Ao final de 30 dias em 75% das simulações, cerca de 1,3% do total de óleo vazado permanece em superfície e em todas as simulações a porcentagem de óleo nos sedimentos é inferior a 0,5%.

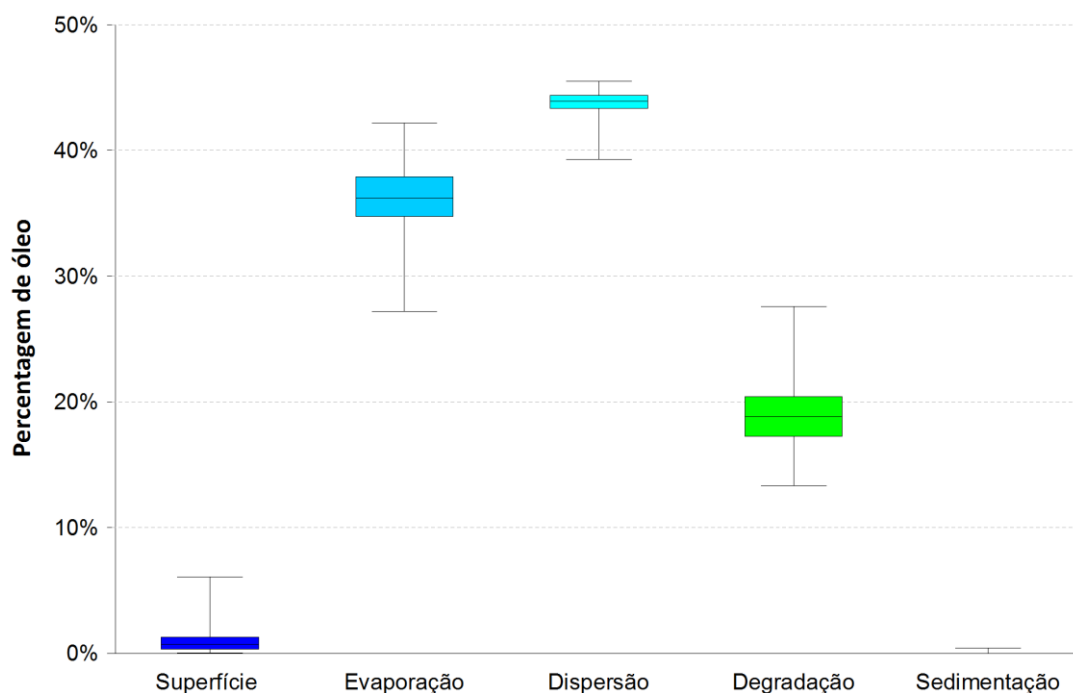


Figura 163: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³. Poço Guanxuma. Período 2 (agosto a março). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2.3 Vazamento de Pior Caso

3.2.1.2.3.1 Período 1

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água, na costa e nos sedimentos para o vazamento de pior caso (1.167.000 m³) a partir do Poço Guanxuma no Período 1 (Figura 164 à Figura 169). Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se na Figura 170 e Figura 171. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 172.

MODO PROBABILÍSTICO

Baía de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)

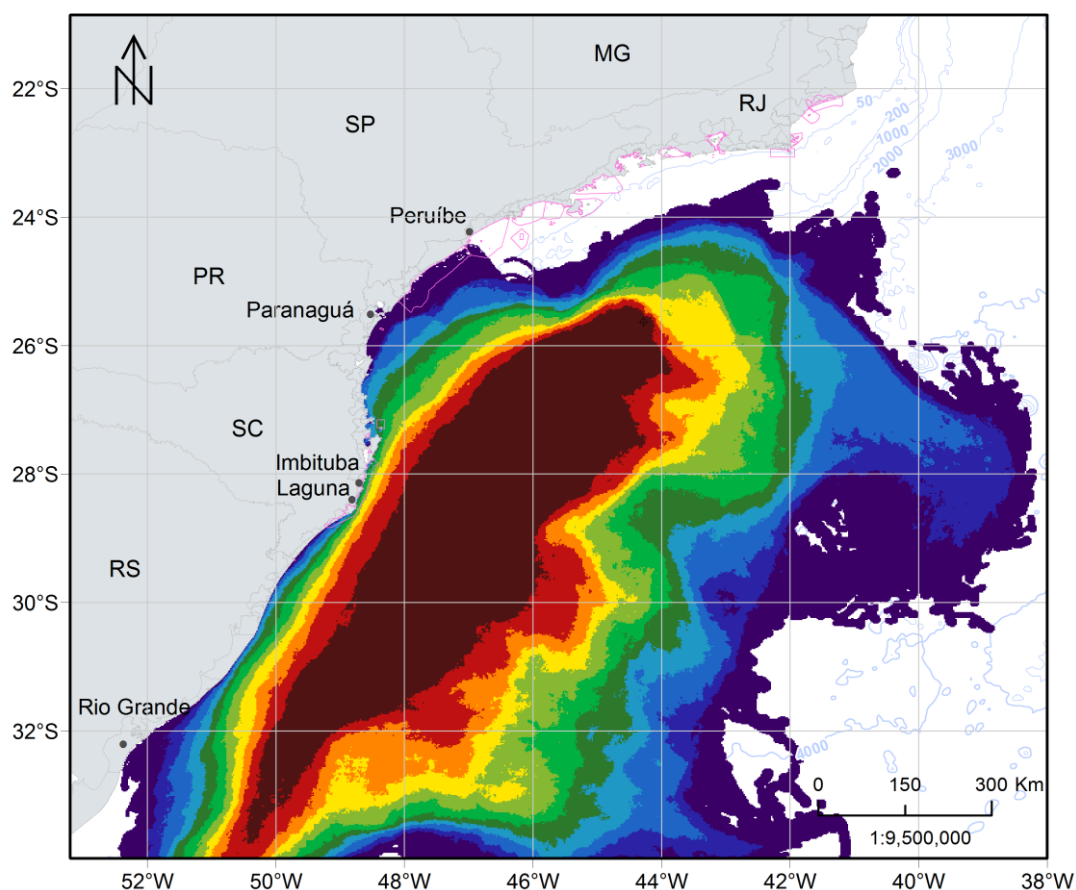
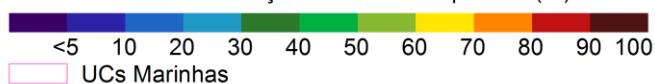


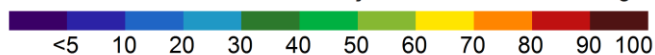
Figura 164: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

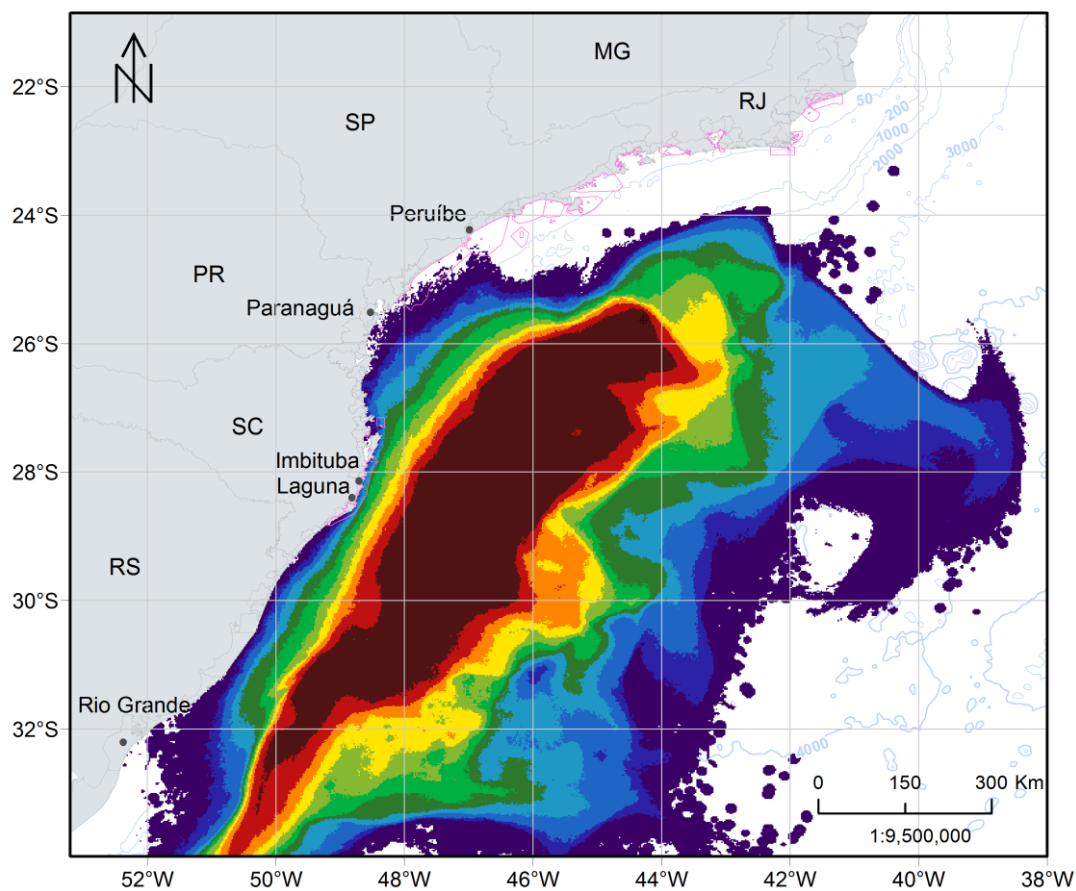


Figura 165: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

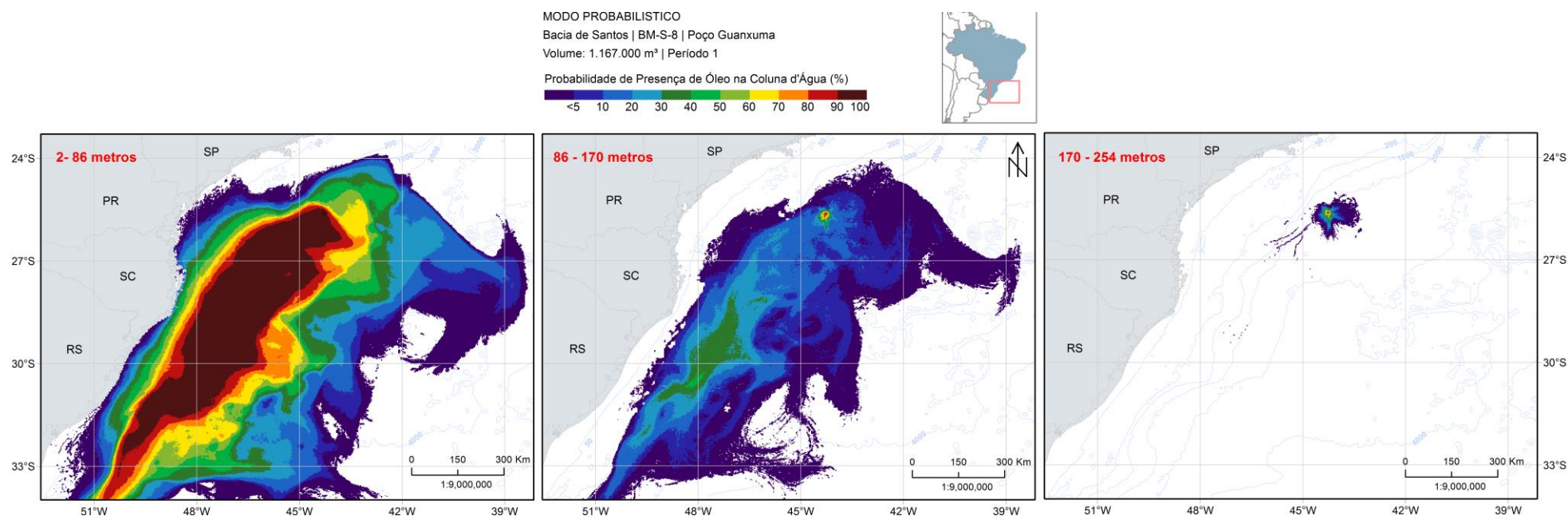


Figura 166: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-22 m, 22-42 m e 62-82 m) para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

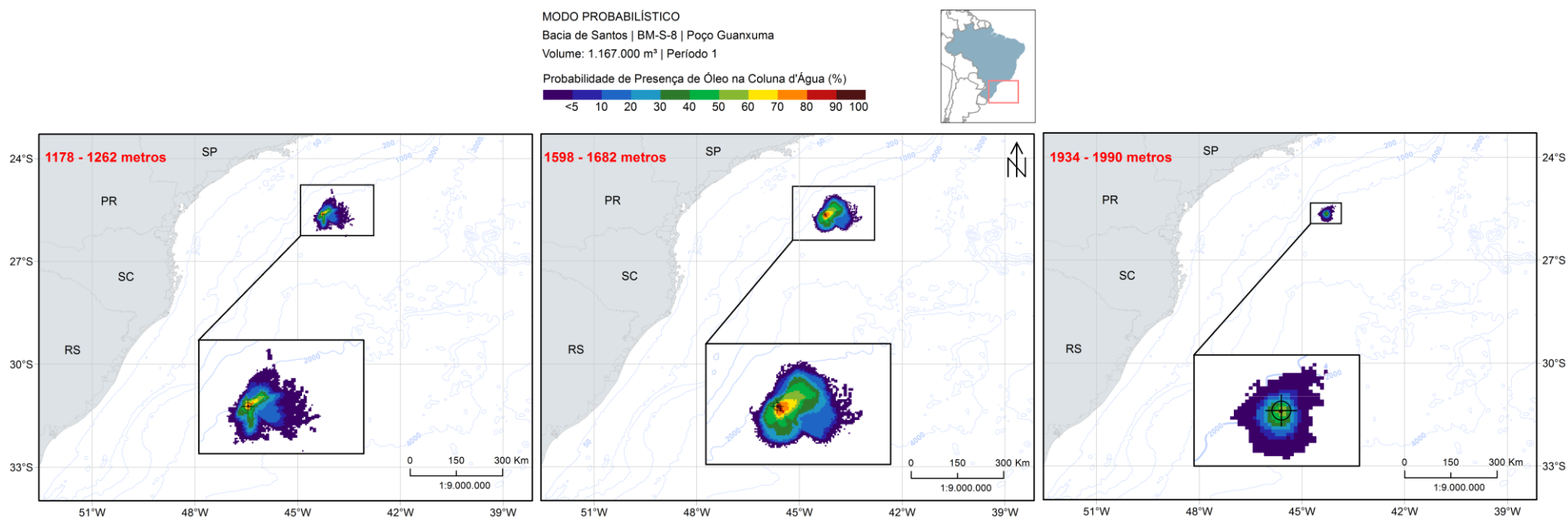


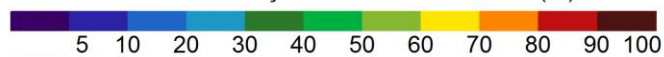
Figura 167: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178 - 1262 m, 1598 - 1682 m e 1934 - 1990 m) para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo no Sedimento (%)



UCs Marinhas

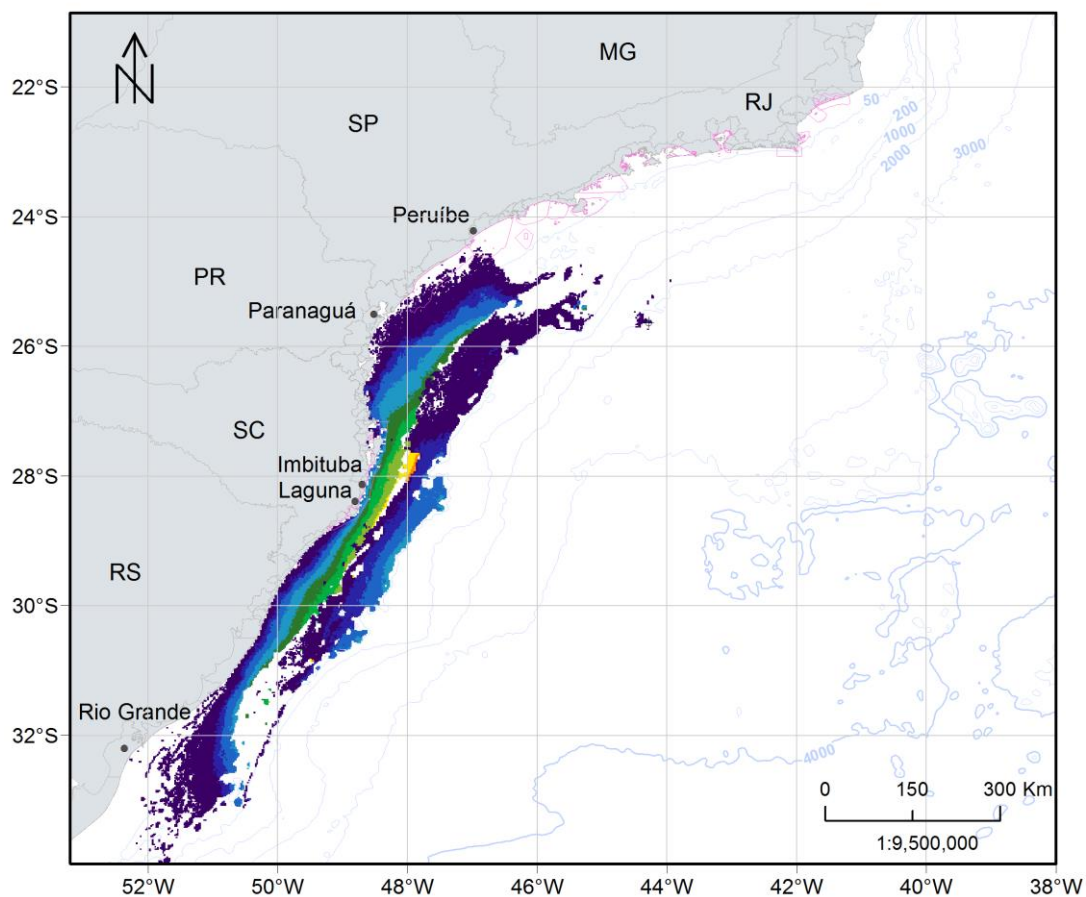


Figura 168: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

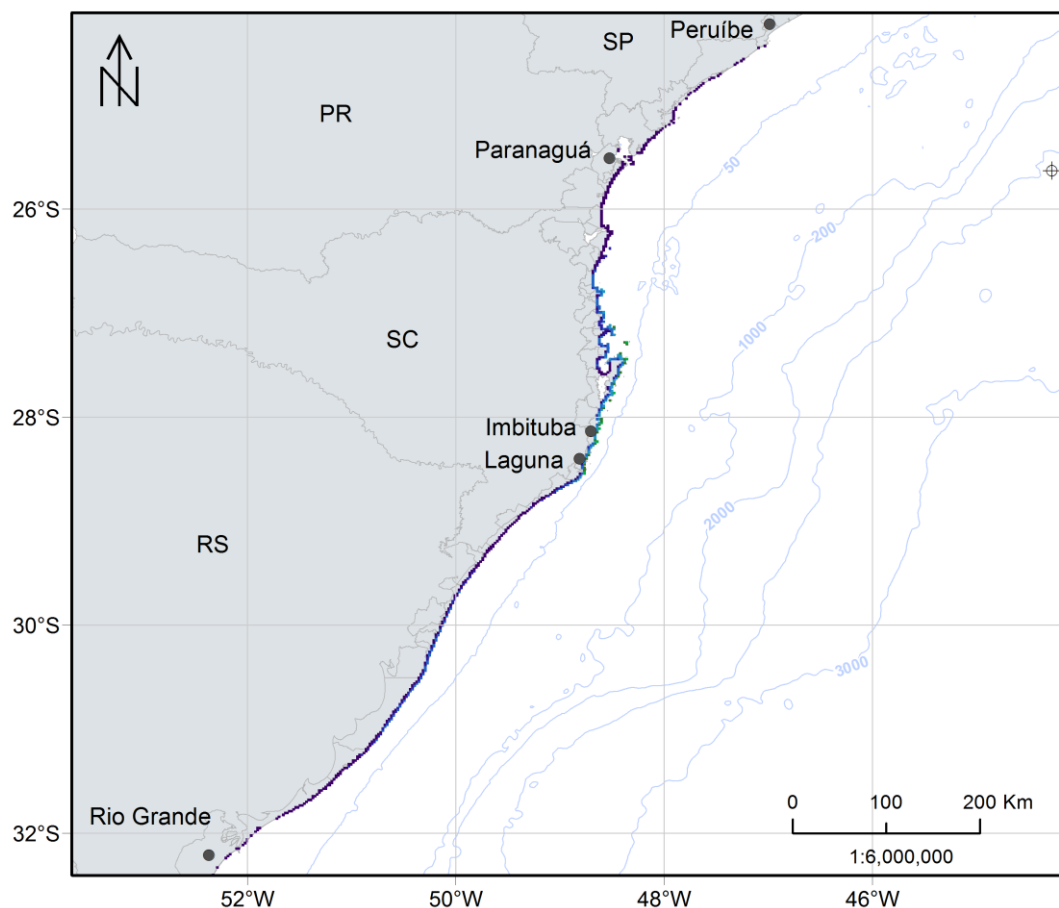
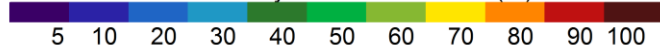


Figura 169: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

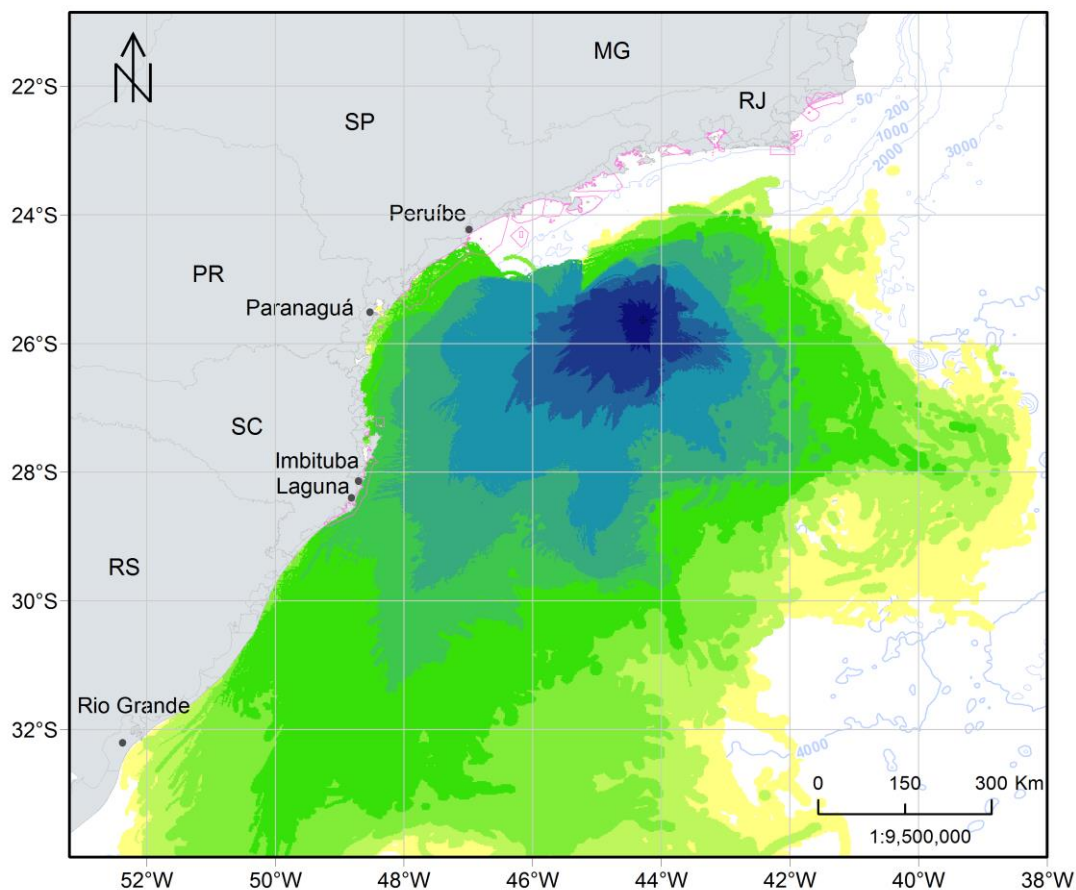


Figura 170: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

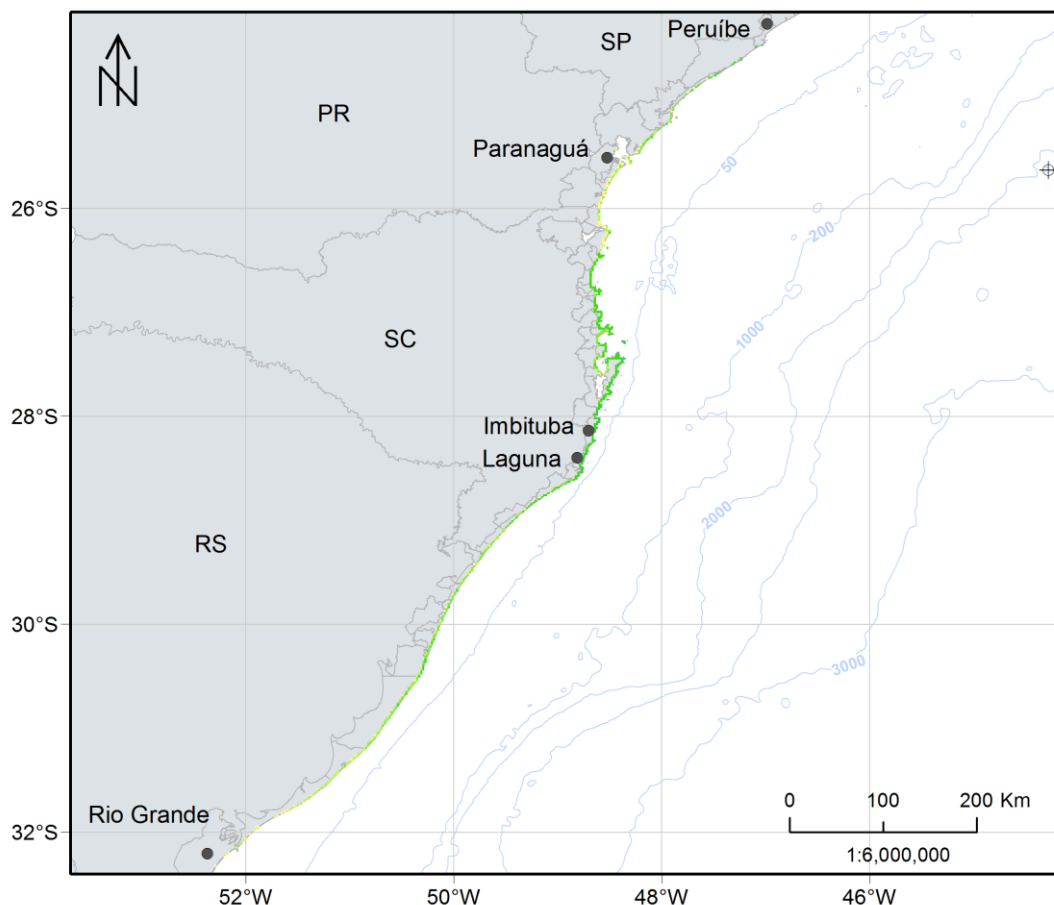
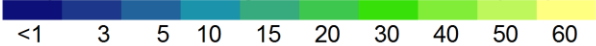


Figura 171: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 1

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

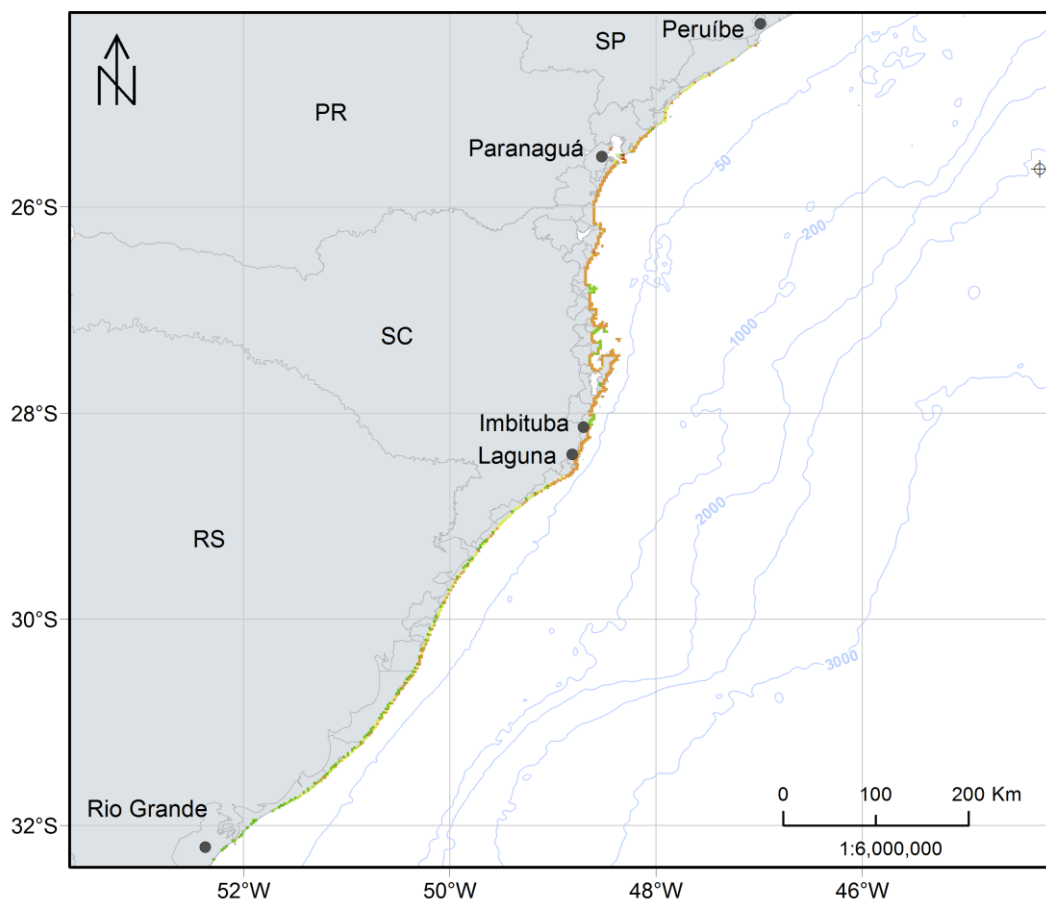
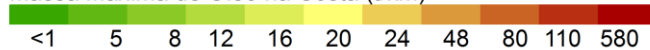


Figura 172: Massa máxima de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Como nos outros volumes, é possível observar que a deriva do óleo foi preferencialmente para sudoeste do ponto, devido à influência da CB e da predominância de ventos de primeiro quadrante neste período. Como nesta condição o vazamento possui maior volume, as probabilidades sobre a plataforma são superiores aos outros cenários, com a faixa de 90-100% de probabilidade estendendo do ponto de vazamento localizado a frente do estado de São Paulo até o estado do Rio Grande do Sul, até praticamente a latitude de 34°.

Na costa, o município de Imbituba – SC apresentou a maior probabilidade de presença de óleo, 45,7% (Tabela 21). A região na costa com probabilidade de chegada de óleo abarca cerca de 2059 km de extensão, indo da região do município de Peruíbe – SP até Rio Grande– RS.

Na coluna d'água as probabilidades máximas chegam até 100%, seguindo o mesmo padrão observado na superfície nos primeiros 86 metros de profundidade. Com o aumento da profundidade, os valores e a área de probabilidade diminuem, sendo a área consideravelmente menor após 170 m, porém ainda com probabilidades de 90-100% no entorno do ponto de vazamento até 1990 m de profundidade, uma vez que trata-se de um vazamento a partir do fundo. Nesta profundidade máxima o óleo pode alcançar até 38 km de distância do ponto de vazamento. Já entre 1100 e 1700 metros o óleo alcança distâncias de até 100 km do ponto.

No fundo, a área de probabilidade de presença de óleo se estende desde regiões à frente ao estado de São Paulo, em Peruíbe, até o estado do Rio Grande do Sul, cobrindo regiões até a isóbata de 200 m. As maiores probabilidades, de até 77%, são observadas na latitude de Florianópolis entre as isóbatas de 50 e 200 m.

Em relação às unidades de conservação, 9 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de óleo, chegando a 61% na APA da Baleia Franca, cujo tempo mínimo de chegada é o menor observado, de 15,5 dias. Já em relação às UCs costeiras, 32 apresentaram probabilidade de serem atingidas, sendo a maior probabilidade (41,3%) no PNM Lagoinha do Leste, enquanto o menor tempo de chegada, de 16 dias, foi observado no PE da Serra do Tabuleiro.

O mapa de tempo mínimo na superfície mostra que o óleo pode atingir distâncias de até 180 km em 3 dias e de 430 km em 10 dias de simulação. Na costa, o menor tempo de chegada ocorreu em 15,59 dias em Laguna – SC.

Das 320 simulações, cerca de 68% (217) apresentaram toque de óleo na costa. E dentre estas cerca de 10% apresentaram tempo de toque na costa inferior a 24 dias (Figura 173).

Em relação à massa máxima de óleo acumulado na costa, o maior valor foi observado no município de Paranaguá – PR, com 93,3 t/km, seguido do município de Guaraqueçaba, com 93,1 t/km.

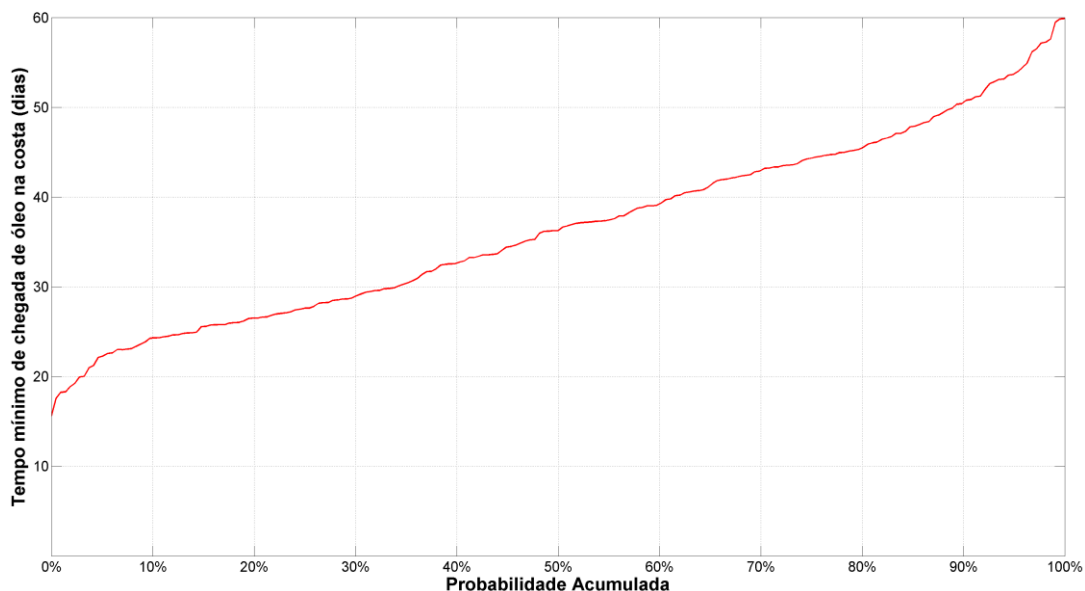


Figura 173: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

A seguir, na Figura 174, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a dispersão de óleo na coluna d'água foi o principal processo de intemperismo atuante na simulação, com mediana de 38%, seguido da degradação e da evaporação, que apresentaram medianas de 35% e 18%, respectivamente. A sedimentação/fora da grade apresentou mediana de 5%, e a porcentagem de óleo em superfície ao término das simulações manteve-se com mediana abaixo de 2% e máximo de 9%. Na costa, a porcentagem de óleo obteve máximos de 1,3%.

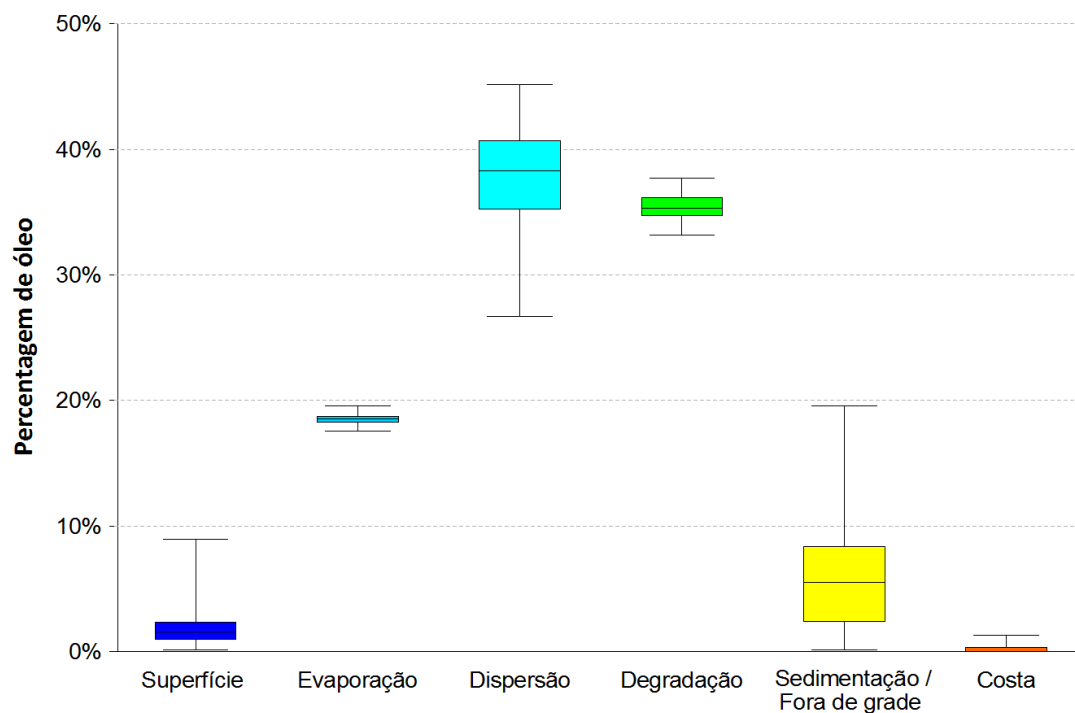


Figura 174: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

3.2.1.2.3.2 Período 2

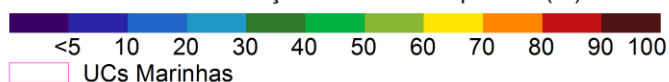
A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água, na costa e nos sedimentos para o vazamento de pior caso (1.167.000 m³) a partir do Poço Guanxuma no Período 2 (Figura 175 à Figura 180). Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se nas Figura 181 e Figura 182. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 183.

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)



UCs Marinhas

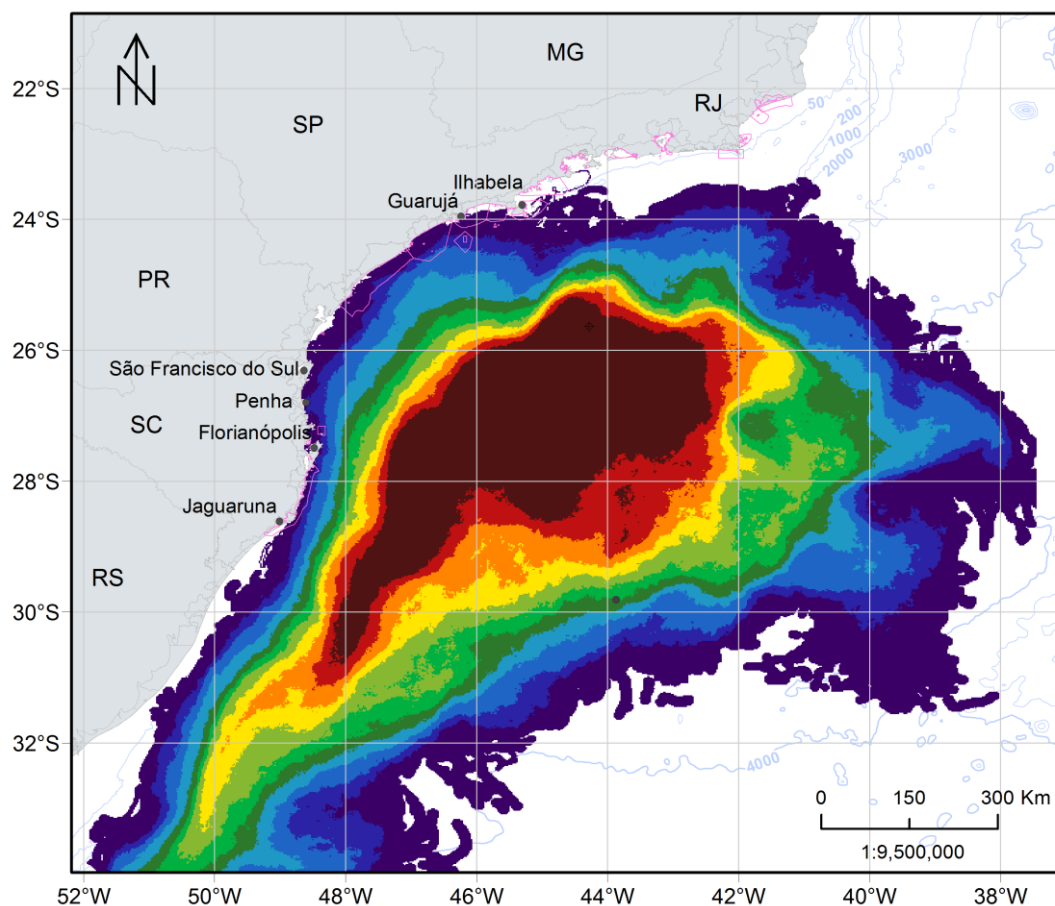


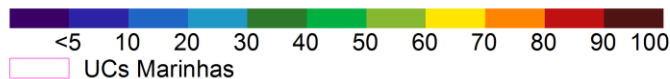
Figura 175: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

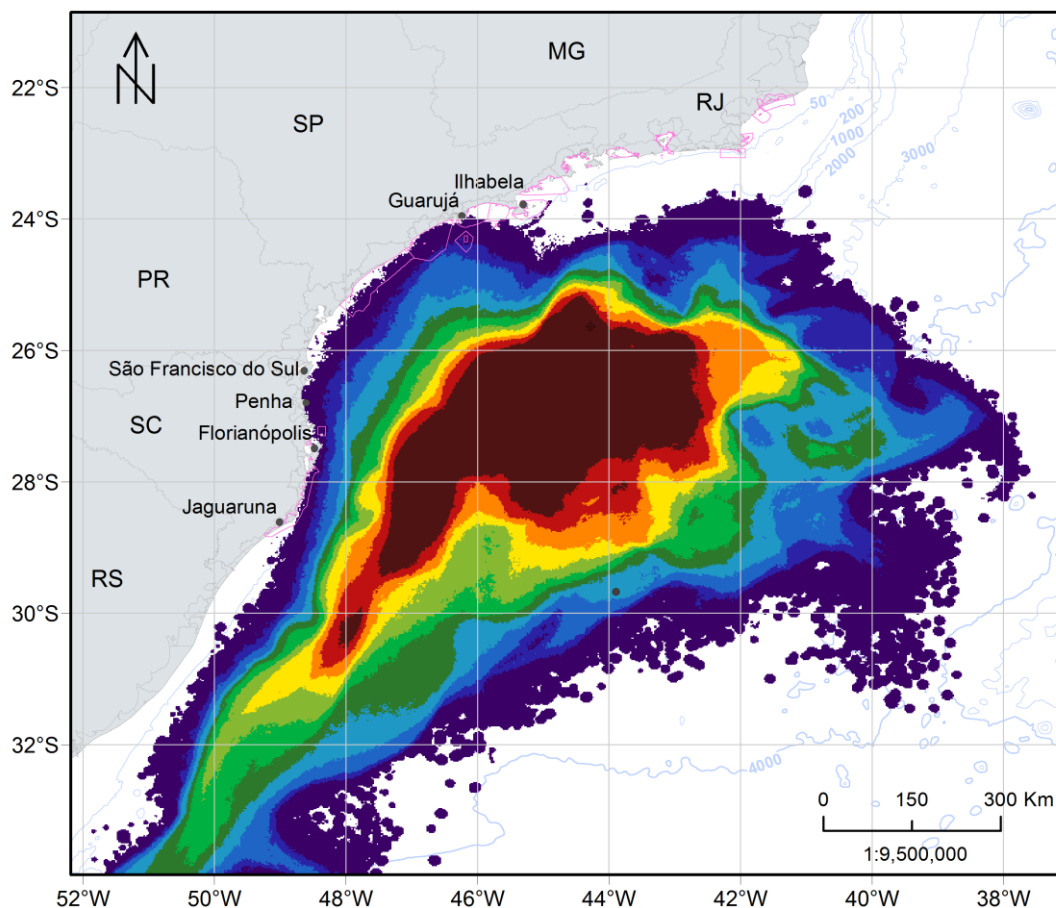


Figura 176: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

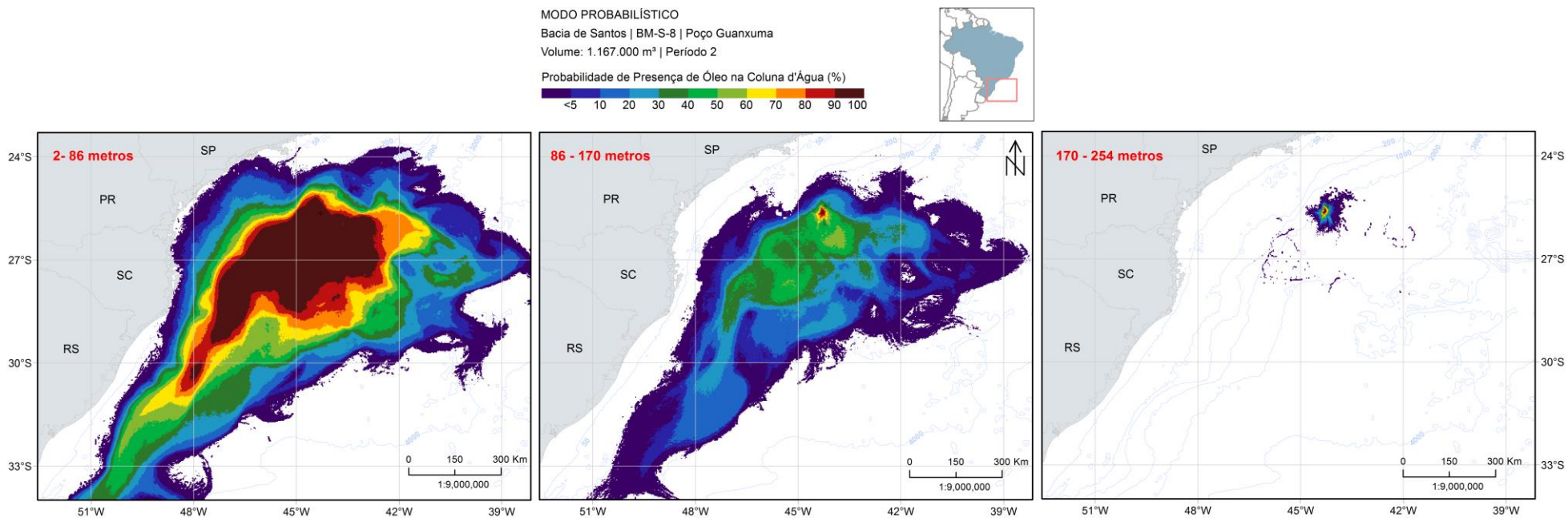


Figura 177: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (2-22 m, 22-42 m e 62-82 m), para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³).
Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

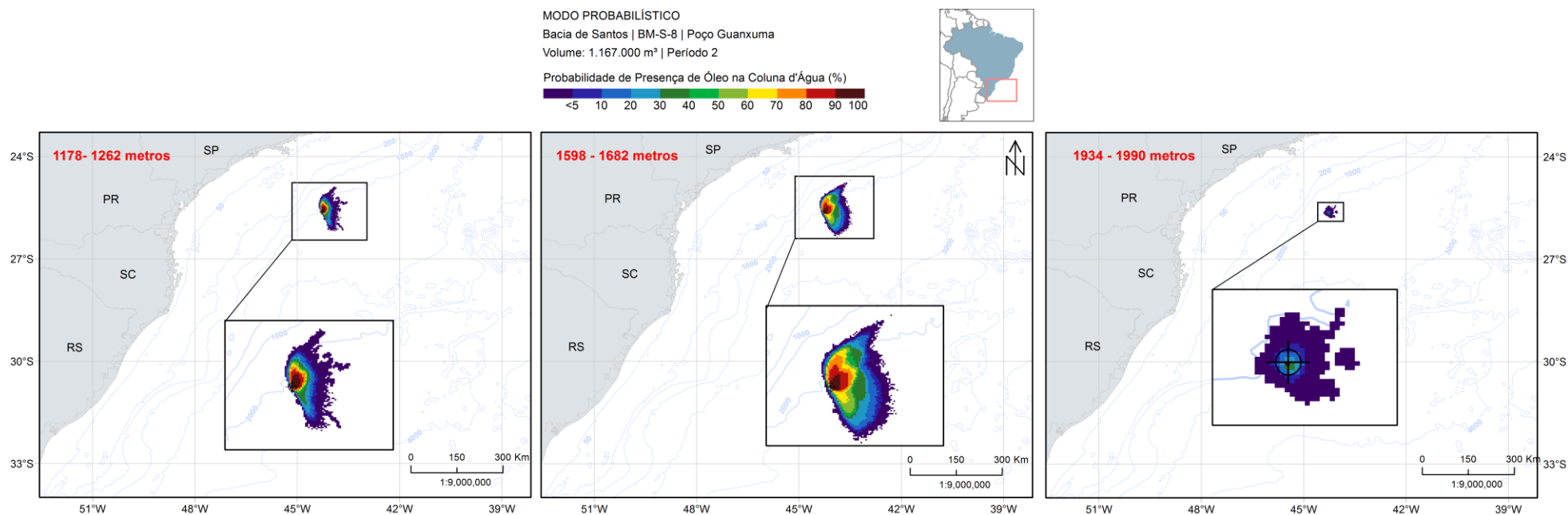


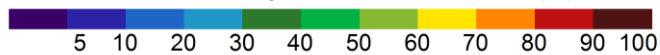
Figura 178: Mapa de probabilidade de presença de óleo em três camadas (1178-1261 m, 1598-1682 m e 1934-1990 m), para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo no Sedimento (%)



UCs Marinhas

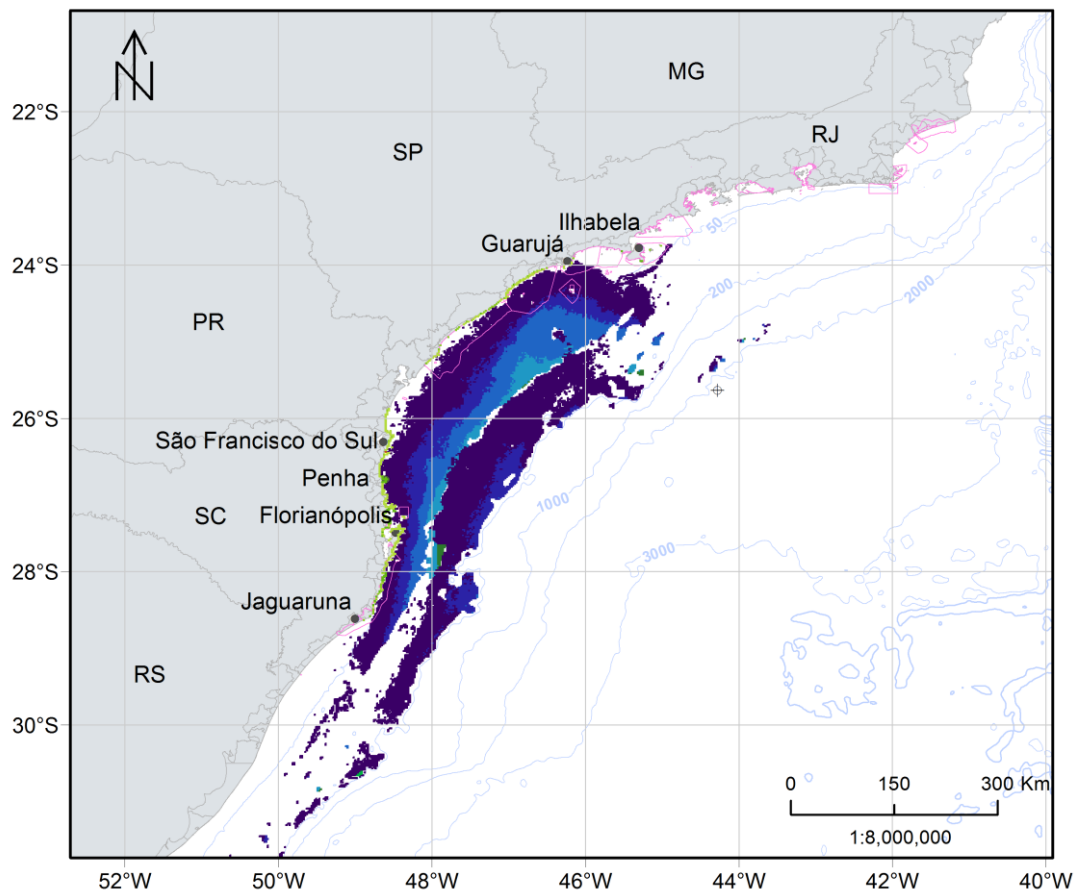


Figura 179: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

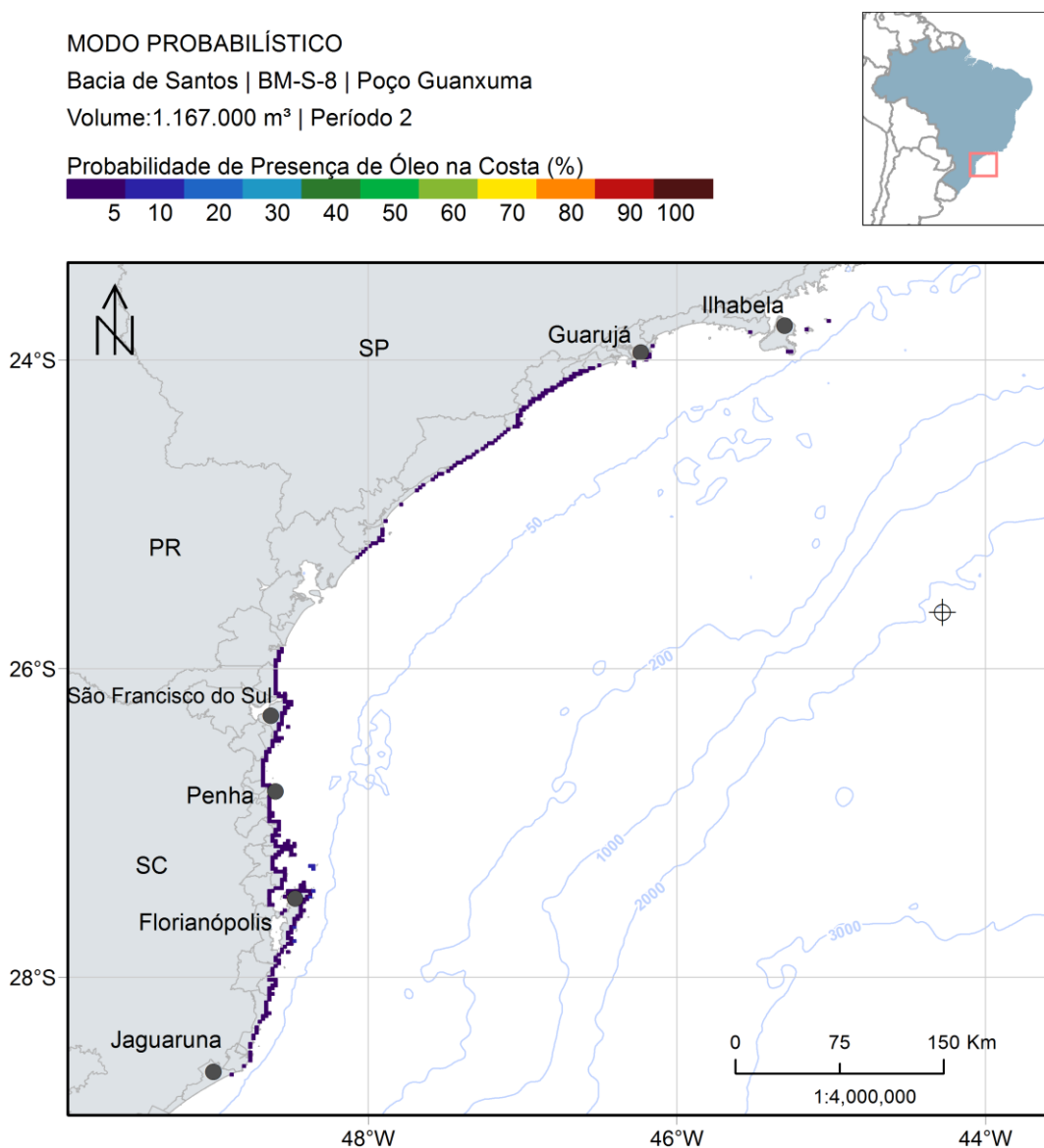


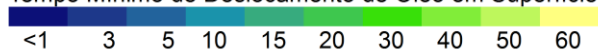
Figura 180: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

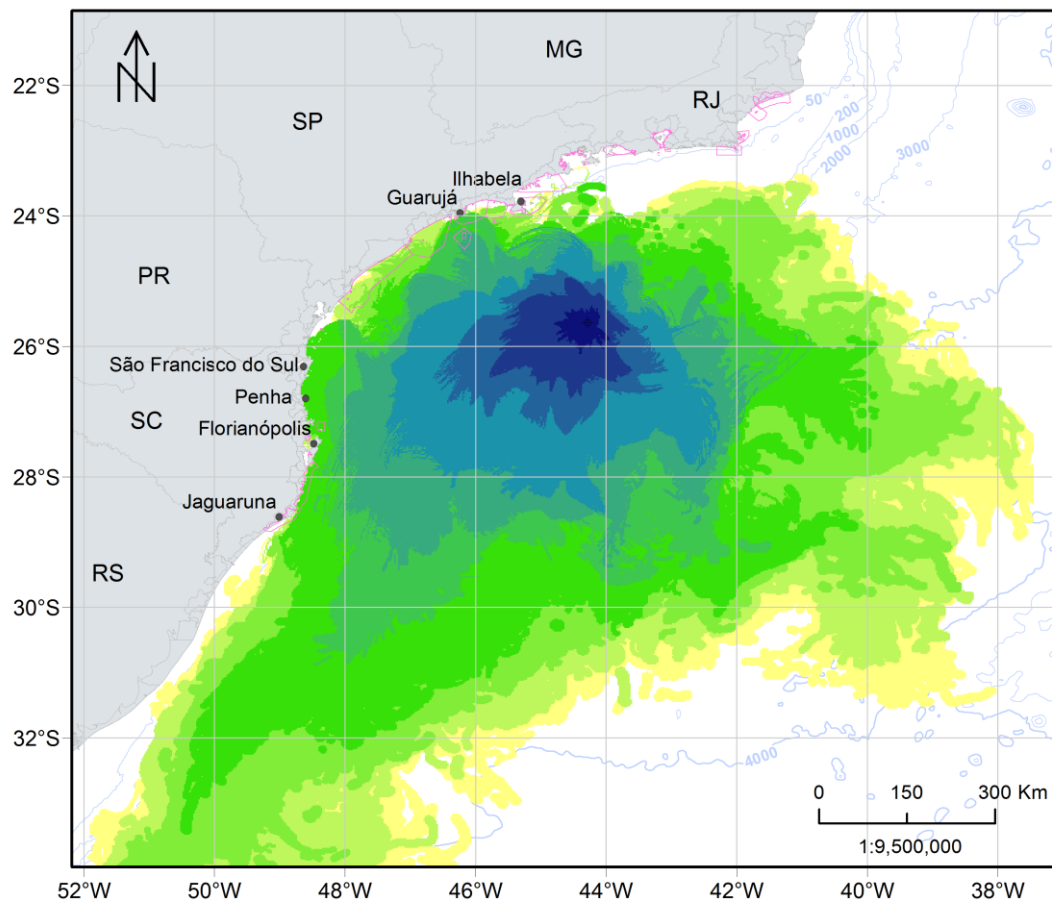


Figura 181: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

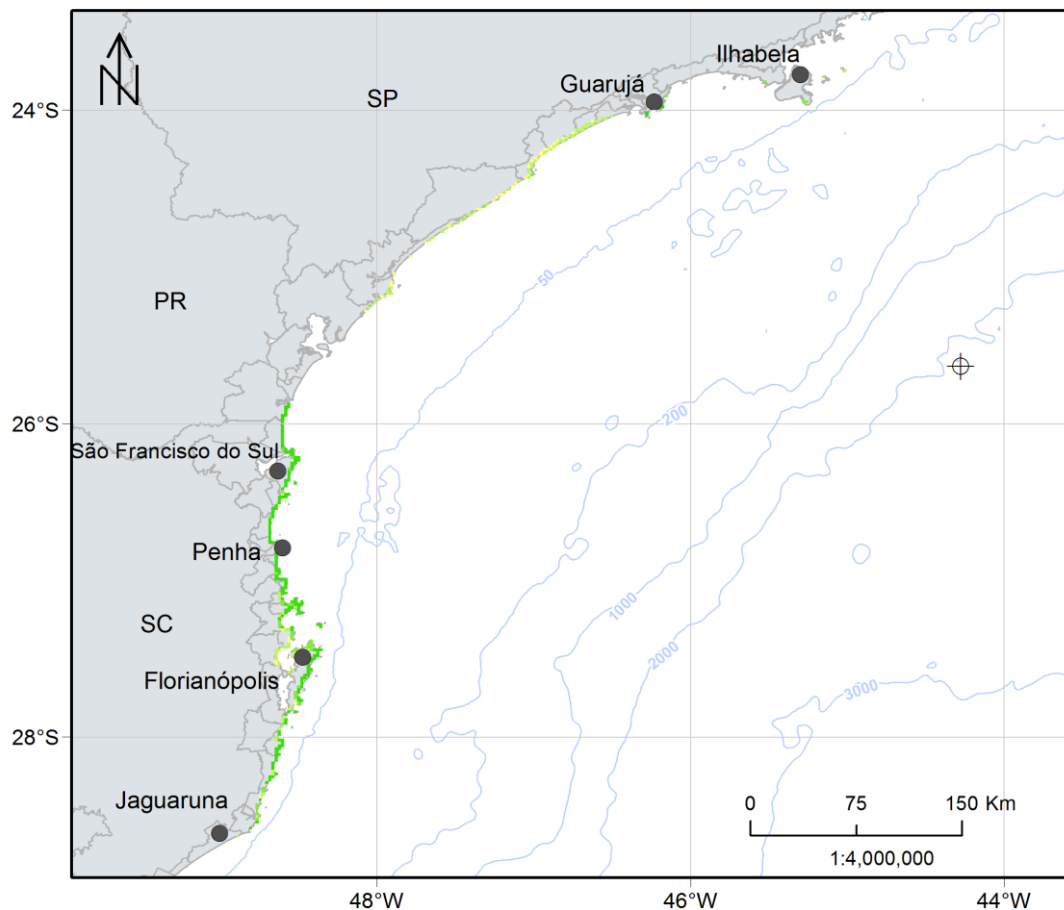
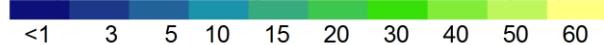


Figura 182: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Poço Guanxuma

Volume: 1.167.000 m³ | Período 2

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

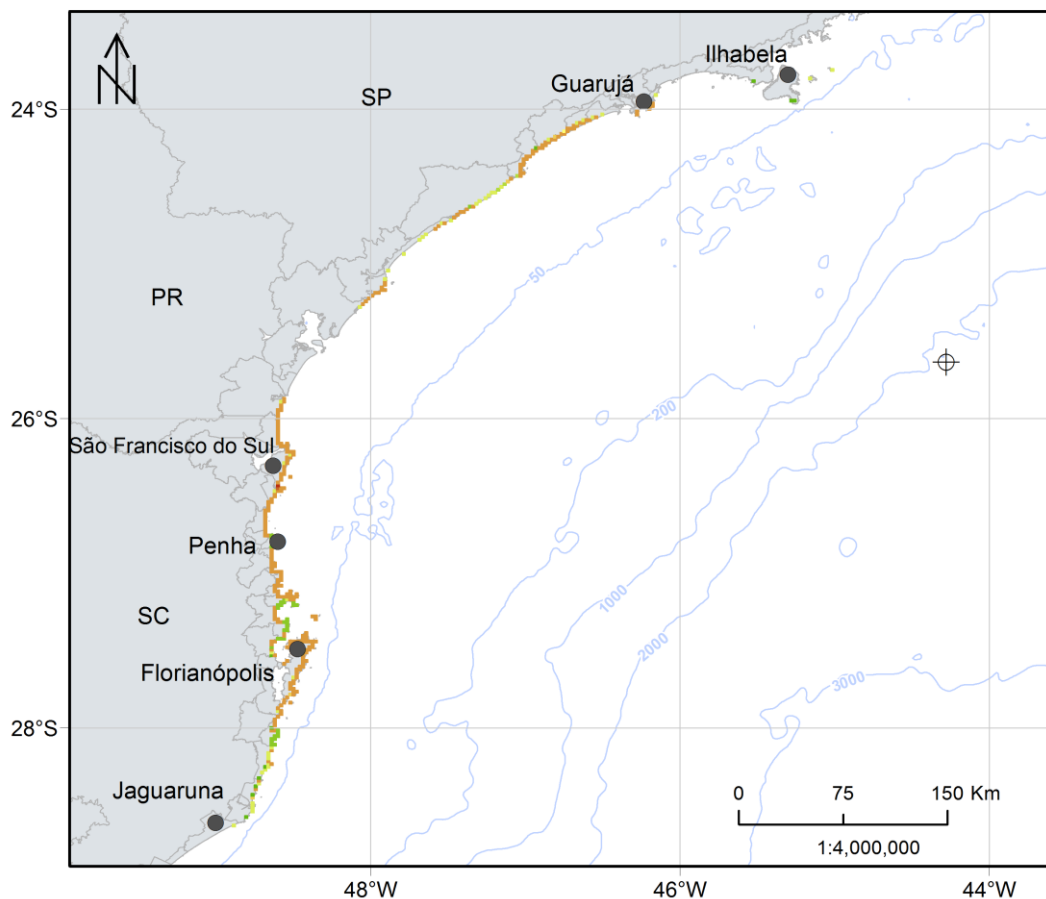
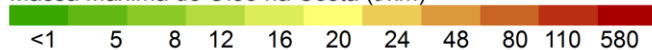


Figura 183: Mapa de massa máxima e óleo em superfície para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Como no Período 1, é possível observar que a deriva do óleo foi preferencialmente para sudoeste do ponto de vazamento, devido à influência da CB. No entanto, neste cenário, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos, além de inversões de correntes na plataforma, é observado que há probabilidade do óleo atingir regiões mais a norte do que no Período 1. Outra diferença é que neste cenário o óleo flui mais afastado da costa e, sendo assim, as probabilidades na costa foram menores do que as observadas no Período 1. A faixa de 90-100% de probabilidade também se estende da região do ponto de vazamento até o estado do Rio Grande do Sul, no entanto alcançando uma menor extensão, até a latitude de 31°.

Há probabilidade de toque na costa de Ilhabela – SP até o município de Jaguaruna– SC, totalizando uma extensão de 1120 km. Em Parati – RJ não há toque acima do limiar de monitoramento, no entanto, são observadas probabilidades em superfície a uma distância inferior a 2 km. A localidade com maior probabilidade de toque (6,6%) foi o município de Florianópolis – SC, enquanto a que apresentou o menor tempo de chegada foi Guarujá – SP, com 19,06 dias. Neste cenário nota-se que o óleo pode atingir, em superfície, uma distância de 270 km do ponto de vazamento em até 5 dias e 425 km em até 10 dias.

Das 320 simulações, cerca de 22% (71 simulações) apresentaram toque de óleo na costa. E dentre estas cerca de 10% apresentaram tempo de toque na costa inferior a 25 dias (Figura 173).

Em relação à massa máxima de óleo acumulado na costa, o maior valor foi observado em São Francisco do Sul – RS, com 90,5 t/km, seguido de Balneário Barra do Sul com 49,6 t/km.

As regiões com probabilidade de presença de óleo na coluna d'água se concentram principalmente nas primeiras camadas de profundidade com padrão semelhante ao observado em superfície. Com o aumento da profundidade, a área de probabilidade diminui, ficando bem mais restrita após 170 m. No entanto probabilidades de 90-100% são observados no entorno do ponto de vazamento até 1990 m de profundidade, uma vez que trata-se de um vazamento a partir do fundo. Nesta profundidade máxima o óleo pode alcançar até 41 km de distância do ponto de vazamento. Já entre 1100 e 1700 metros o óleo alcança distâncias de até 110 km do ponto.

No fundo, a área de probabilidade de presença de óleo se estende desde regiões à frente ao estado de São Paulo, em Ilhabela, até o estado do Rio Grande do Sul, cobrindo regiões até a isóbata de 200 m. As maiores probabilidades, de até 47%, são observadas principalmente na latitude de Florianópolis entre as isóbatas de 50 e 200 m.

Em relação às unidades de conservação, 13 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de óleo, chegando a cerca de 15% na APA Marinha do Litoral Centro, cujo tempo mínimo de chegada é o menor observado, de 14,4 dias. Já em relação às UCs costeiras, 31 apresentaram probabilidade de serem atingidas, sendo a maior probabilidade, de 6%,

observada tanto no PE do Rio Vermelho quanto no PNM das Dunas da Lagoa da Conceição, e o menor tempo de chegada de 23,3 dias na APA da Costa Brava.

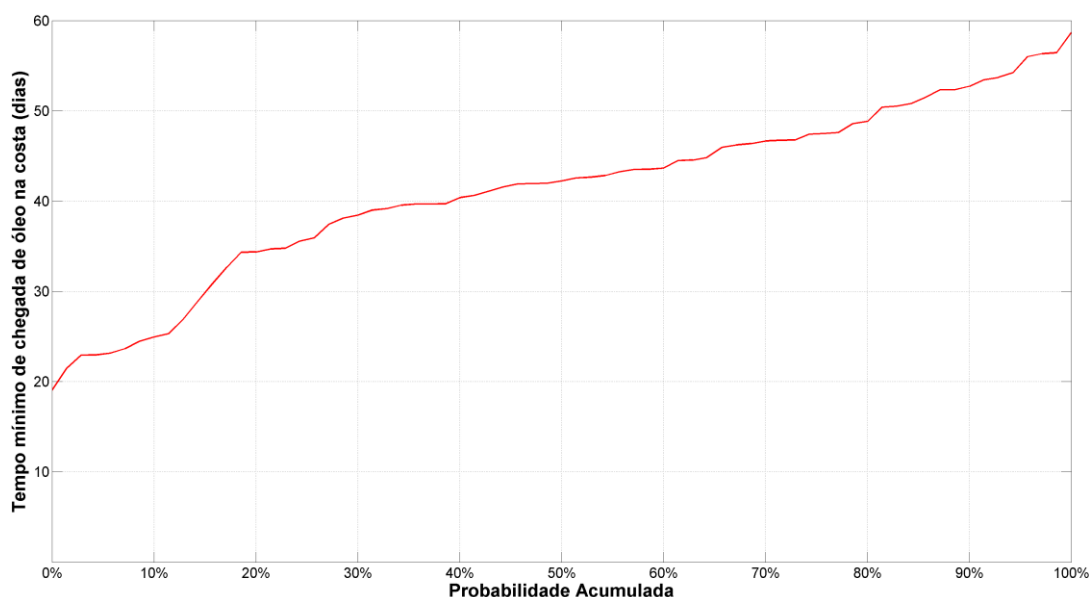


Figura 184: Gráfico de tempo mínimo de chegada de óleo na costa nas simulações em que houve probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

A seguir, na Figura 185, são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a dispersão de óleo na coluna d'água foi o principal processo de intemperismo atuante na simulação, com mediana de 43%, seguido da degradação e da evaporação, que apresentaram medianas de 36% e 19%, respectivamente. A sedimentação/fora da grade apresentou mediana inferior a 1% e a porcentagem de óleo em superfície ao término das simulações manteve-se com mediana abaixo de 2%, porém com valores máximos de 18%. Na costa, a porcentagem de óleo obteve um máximo abaixo de 2%.

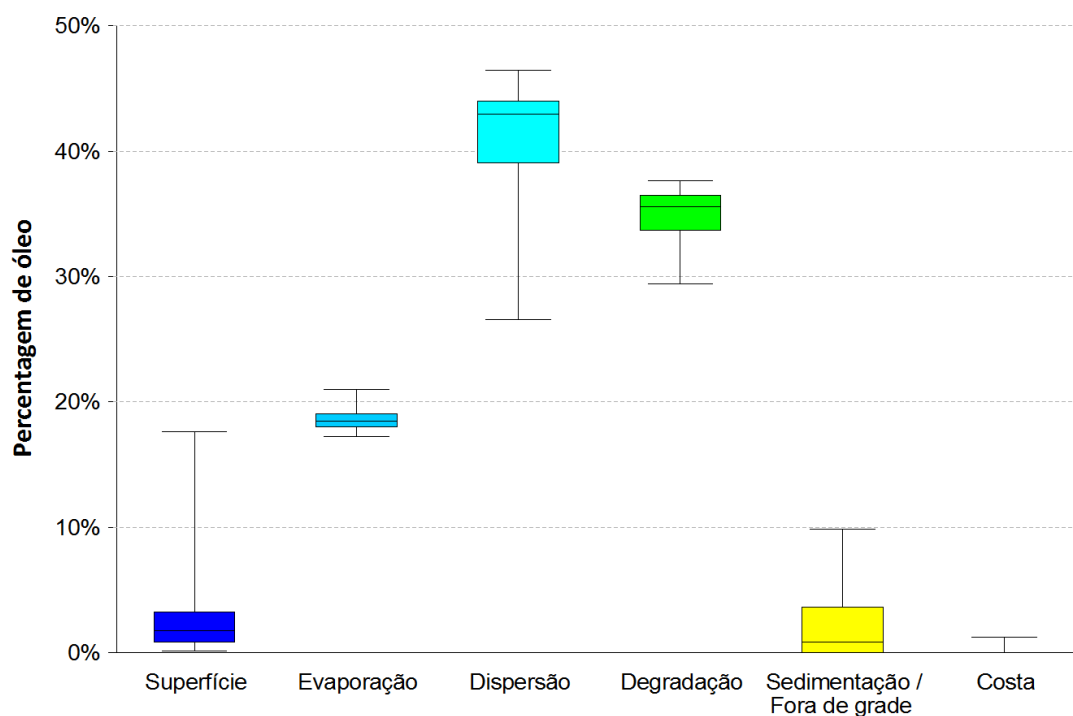


Figura 185: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de *blowout* (1.167.000 m³). Poço Guanxuma. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

A seguir, na Tabela 24, 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 vazamento de 1.167.000 m³, além da extensão de toque em cada um deles. Na Tabela 25 são apresentados estes resultados para as Unidades de Conservação marinhas e na Tabela 26 para as Unidades de Conservação costeiras. Ressalta-se que esses valores nas UCs marinhas representam a passagem do óleo na superfície por essas regiões, não representando um acúmulo.

Tabela 24: Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (1.167.000 m³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RJ	Parati	-	**	-	**	-	0,3*	-	51,83*
SP	Ilhabela	-	11,3	-	13,0	-	0,9	-	36,26
	São Sebastião	-	2,8	-	0,6	-	0,3	-	32,11
	Guarujá	-	17,0	-	26,7	-	3,8	-	19,06
	Praia Grande	-	14,1	-	25,6	-	1,6	-	40,61
	Mongaguá	-	31,1	-	26,5	-	1,9	-	40,73
	Itanhaém	-	45,3	-	26,2	-	2,5	-	41,17
	Peruíbe	2,8	53,7	26,7	26,7	0,3	2,5	22,56	34,38
	Iguape	17,0	50,9	26,5	25,8	0,6	2,2	23,71	37,24
	Ilha Comprida	48,1	33,9	26,3	25,7	0,9	2,2	23,71	40,05
Cananéia	45,3	36,8	26,3	25,9	2,2	2,5	29,63	41,56	
PR	Guaraqueçaba	59,4	8,5	93,1	25,6	2,2	2,2	27,91	44,18
	Paranaguá	33,9	-	93,3	-	1,6	-	30,21	-
	Pontal do Paraná	45,3	-	26,9	-	1,6	-	33,56	-
	Matinhos	36,8	-	26,8	-	1,2	-	31,94	-
	Guaratuba	31,1	25,5	26,7	26,4	1,9	0,3	36,36	23,15
SC	Itapoá	36,8	39,6	26,6	27,2	1,2	0,3	32,69	25,07
	São Francisco do Sul	67,9	70,7	55,6	90,5	2,8	1,6	27,03	24,31
	Balneário Barra do Sul	25,5	22,6	27,2	49,6	9,9	1,3	27,98	28,15
	Araquari	11,3	11,3	27,2	26,8	9,9	1,3	28,27	27,98
	Barra Velha	28,3	28,3	29,0	29,5	13,4	3,4	26,18	25,72
	Piçarras	11,3	11,3	30,0	29,3	16,8	4,1	24,01	27,09
	Penha	31,1	31,1	7,6	7,4	23,0	6,6	23,32	22,95
	Navegantes	19,8	19,8	29,4	29,4	15,2	4,1	24,70	23,25
	Itajaí	17,0	17,0	29,4	29,4	18,9	5,0	23,57	23,35
	Balneário Camboriú	33,9	33,9	29,6	29,5	20,5	4,1	22,15	23,21
	Itapema	31,1	31,1	29,5	29,3	15,5	1,3	23,38	23,96

* Valores retirados dos resultados em superfície para localidades que não apresentaram massa acumulada na costa acima do limiar monitorado, mas estão a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da costa.

** Como os valores apresentados são da superfície, não são apresentados valores de massa acumulada na costa e de extensão na costa.

Tabela 27 (continuação): Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (1.167.000 m³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
SC	Porto Belo	48,1	48,1	29,7	28,7	24,2	1,9	21,23	23,96
	Bombinhas	45,3	45,3	29,2	29,7	30,1	3,8	20,35	23,73
	Tijucas	25,5	25,5	28,9	29,3	15,2	1,6	28,59	28,96
	Governador Celso Ramos	39,6	39,6	29,4	26,7	20,5	1,9	21,85	28,96
	Biguaçu	25,5	22,6	28,3	27,3	10,6	0,3	23,51	47,48
	São José	17,0	5,7	27,6	25,3	7,8	0,3	23,03	47,53
	Florianópolis	178,2	144,3	30,5	29,8	41,9	6,6	16,69	23,85
	Palhoça	22,6	14,1	29,2	25,9	32,6	4,4	16,32	28,84
	Paulo Lopes	14,1	8,5	29,2	25,8	32,6	4,4	16,07	28,84
	Garopaba	45,3	42,4	29,3	26,3	41,6	4,1	15,73	25,28
	Imbituba	53,7	42,4	30,0	29,2	45,7	4,1	15,98	26,25
	Laguna	70,7	31,1	30,0	25,8	44,4	1,6	15,59	28,32
	Jaguaruna	67,9	2,8	30,0	12,7	26,1	0,9	16,50	44,04
	Balneário Rincão	19,8	-	26,6	-	7,1	-	19,57	-
	Araranguá	17,0	-	26,4	-	4,0	-	21,61	-
	Balneário Arroio do Silva	25,5	-	18,9	-	4,0	-	21,84	-
	Balneário Gaivota	31,1	-	25,7	-	4,0	-	32,79	-
	Passo de Torres	25,5	-	25,0	-	2,8	-	30,78	-
RS	Torres	25,5	-	25,0	-	3,7	-	34,08	-
	Arroio do Sal	36,8	-	26,4	-	9,6	-	30,15	-
	Terra de Areia	5,7	-	24,9	-	5,9	-	31,65	-
	Capão da Canoa	28,3	-	26,7	-	10,6	-	29,61	-
	Xangri-lá	19,8	-	26,7	-	13,4	-	27,93	-
	Osório	14,1	-	20,3	-	12,7	-	33,38	-
	Imbé	19,8	-	23,4	-	11,8	-	34,91	-
	Tramandaí	25,5	-	26,3	-	14,3	-	31,54	-
	Cidreira	33,9	-	27,2	-	17,4	-	29,16	-
	Balneário Pinhal	17,0	-	27,9	-	15,5	-	29,05	-

Tabela 27 (continuação): Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de grande volume (1.167.000 m³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RS	Palmares do Sul	48,1	-	28,5	-	18,6	-	26,65	-
	Mostardas	166,9	-	26,9	-	19,3	-	27,08	-
	Tavares	73,5	-	26,3	-	7,1	-	37,11	-
	São José do Norte	113,1	-	26,1	-	4,7	-	44,34	-
	Rio Grande	25,5	-	5,9	-	0,9	-	48,40	-

Tabela 25: Área com toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação marinhas com possibilidade de serem atingidas em um vazamento de grande volume (1.167.000 m³) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Área (km ²)		Massa Máxima (t/km ²)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Anhatomirim	12,8	12,8	50,3	55,1	22,0	0,6	21,75	42,88
APA da Baleia Franca	1055,9	855,3	294,3	51,5	60,9	8,4	15,46	23,79
APA Marinha do Litoral Centro	402,0	3713,5	9,5	84,8	1,2	14,7	21,04	14,38
APA Marinha do Litoral Norte	-	898,4	-	9,5	-	1,6	-	30,88
APA Marinha do Litoral Sul	3169,4	3228,7	32,1	63,9	3,4	7,8	21,63	33,54
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	-	4,1	-	9,1	-	8,8	-	33,54
ESEC dos Tupiniquins	5,1	16,0	22,8	33,2	1,9	3,8	29,67	40,67
ESEC Tupinambás	-	13,6	-	11,9	-	3,4	-	25,17
PARNA Marinho das Ilhas dos Currais	12,8	10,9	17,9	14,0	2,8	0,6	30,50	21,04
PE Marinho da Laje de Santos	-	46,7	-	25,0	-	7,8	-	14,67
RDS Barra do Una (Setor Marinho)	9,9	24,3	8,9	11,5	0,3	2,5	24,54	34,38
REBIO Marinha do Arvoredo	153,2	153,4	63,3	78,3	43,8	9,1	17,08	21,50
RVS das Ilhas do Abrigo e Guararitama	-	4,9	-	18,1	-	2,8	-	34,04
RVS Ilha dos Lobos	1,5	-	9,3	-	3,4	-	34,00	-

Tabela 26: Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de grande volume (1.167.000 m3) a partir do Poço Guanxuma, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Costa Brava	5,7	5,7	29,6	29,3	18,3	2,2	24,6	23,33
APA de Cananéia - Iguape - Peruíbe	22,6	42,4	26,0	26,0	0,6	2,2	23,71	37,24
APA de Guaraqueçaba	70,7	8,5	93,1	25,6	2,2	2,2	27,91	44,18
APA Esstadual de Guaratuba	31,1	19,8	26,6	26,4	1,2	0,3	31,94	24,08
APA Ilha Comprida	48,1	33,9	26,3	25,7	0,9	2,2	23,71	40,05
ARIE Costeira de Zimbros	48,1	48,1	29,7	29,7	30,1	3,8	20,35	23,73
ARIE da Ilha Comprida	2,8	-	13,0	-	0,3	-	54,32	-
ARIE do Guará	2,8	5,7	13,3	25,7	0,3	1,3	23,71	47,40
ESEC da Ilha do Mel	17,0	-	93,3	-	1,6	-	30,96	-
ESEC de Carijós	14,1	5,7	29,8	27,0	22,7	0,6	22,16	30,60
ESEC Juréia-Itatins	8,5	39,6	26,5	26,0	0,6	2,2	24,85	42,36
PARNA da Lagoa do Peixe	99,0	-	26,3	-	11,5	-	33,85	-
PARNA de Saint-Hilaire/Lange	11,3	-	26,5	-	1,2	-	31,94	-
PARNA do Superagui	59,4	8,5	93,1	25,6	2,2	2,2	27,91	44,18
PE de Ilhabela	-	11,3	-	13,0	-	0,9	-	36,26
PE Acarai	39,6	39,6	27,2	27,7	7,8	3,4	26,89	24,79
PE da Guarita	2,8	-	13,0	-	0,9	-	39,35	-
PE da Ilha do Cardoso	39,6	33,9	26,3	25,8	1,6	2,2	29,85	41,56
PE da Ilha do Mel	8,5	-	26,6	-	1,2	-	30,21	-
PE da Serra do Mar	-	17,0	-	26,1	-	1,6	-	32,11
PE da Serra do Tabuleiro	36,8	25,5	30,0	27,9	35,4	4,4	16,07	28,84
PE de Itapeva	8,5	-	13,9	-	3,1	-	38,85	-
PE do Itinguçu	2,8	17,0	26,7	26,7	0,3	2,5	22,56	34,38
PE do Prelado	5,7	5,7	26,5	12,9	0,6	1,3	25,28	49,79
PE do Rio Vermelho	31,1	31,1	30,2	29,3	32,6	5,9	16,69	24,06
PM Morro dos Macacos	8,5	8,5	7,4	7,2	25,2	2,8	22,64	25,53
PNM da Galheta	8,5	8,5	29,9	26,7	32,6	4,7	17,63	23,86
PNM da Lagoa do Peri	22,6	14,1	29,5	27,6	29,8	4,4	18,99	28,97
PNM da Lagoinha do Leste	8,5	8,5	30,1	26,7	41,3	5,6	17,76	26,83
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	17,0	17,0	29,9	26,7	34,8	5,9	17,63	23,86
PNM do Atalaia	2,8	2,8	29,4	29,3	12,4	3,8	24,70	26,43
PNM do Bougainville	-	2,8	-	26,7	-	2,5	-	34,38
PNM do Vilão	-	5,7	-	26,7	-	2,5	-	34,38
PNM Restinga do Guaraú	-	8,5	-	26,2	-	1,9	-	47,32
RDS da Barra do Una	-	2,8	-	11,8	-	0,6	-	51,70
REBIO Praia do Rosa	5,7	5,7	29,5	26,5	38,5	2,8	18,26	28,80
RESEX Ilha do Tumba	5,7	5,7	26,3	25,6	1,6	2,2	31,54	44,57
RPPN Morro dos Zimbros	5,7	5,7	28,9	27,6	14,6	0,9	25,95	29,60

3.2.1.3 Integração dos Resultados

3.2.1.3.1 Período 1

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e na costa para os resultados integrados dos volumes de 8 m³, 200 m³ e Pior Caso (1.167.000 m³) no Período 1 (Figura 186 à Figura 188). Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se na Figura 189 e Figura 190. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 191.

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8m³, 200m³ e Pior Caso | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)

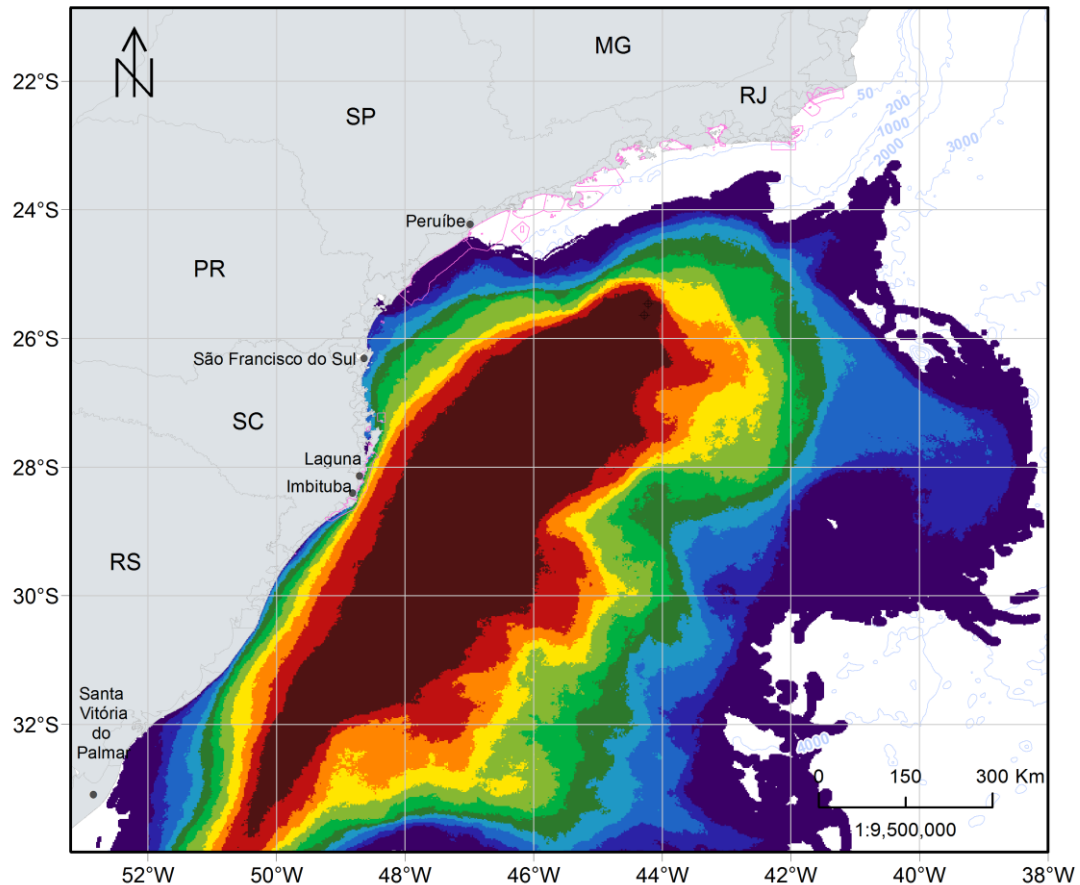
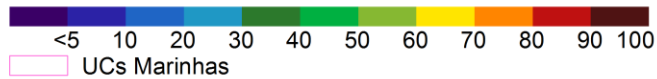


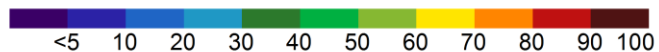
Figura 186: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Baía de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8m³, 200m³ e Pior Caso | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)



UCs Marinhas

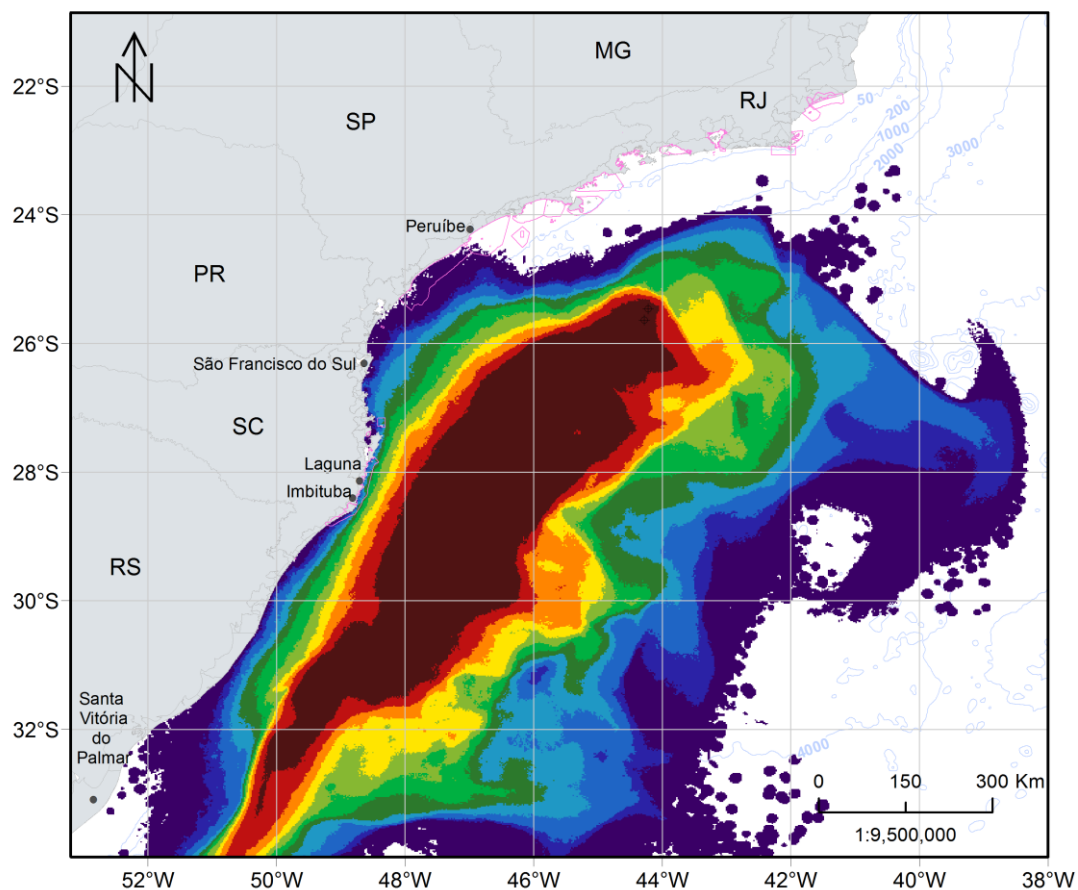


Figura 187: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

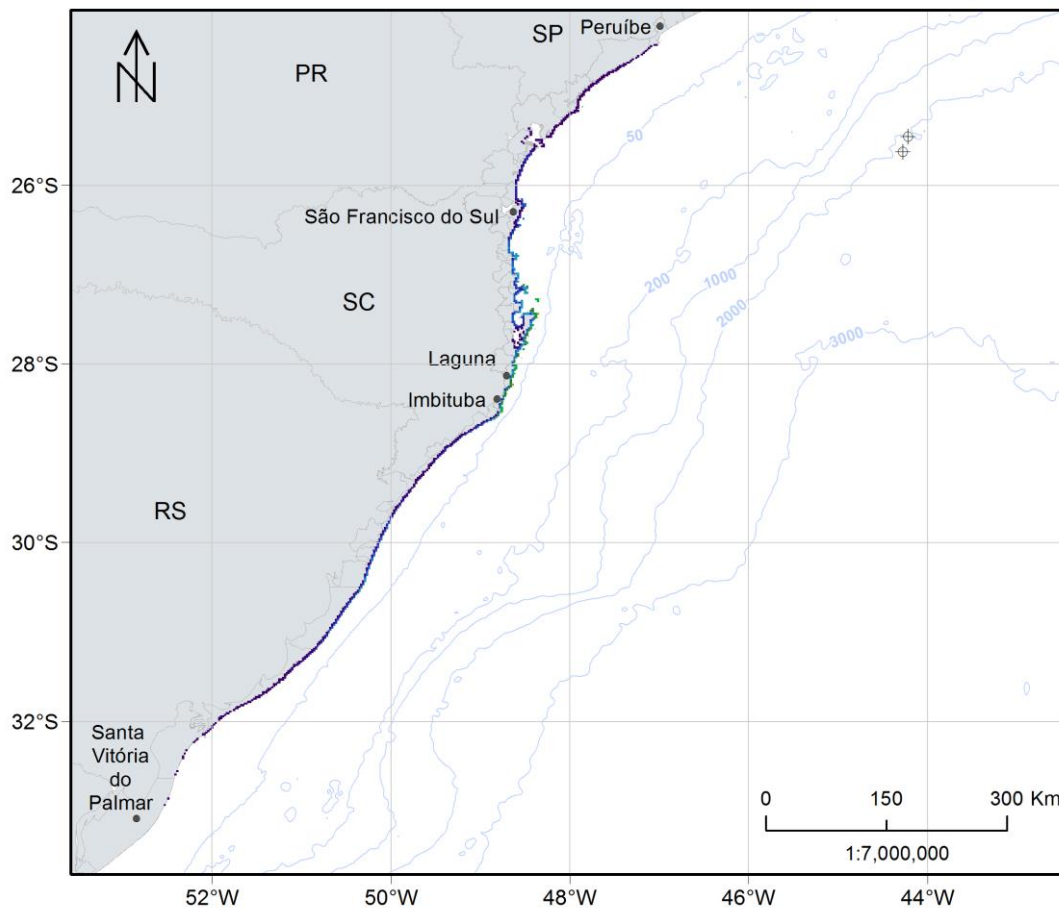


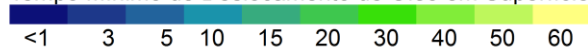
Figura 188: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8m³, 200m³ e Pior Caso | Período 1

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

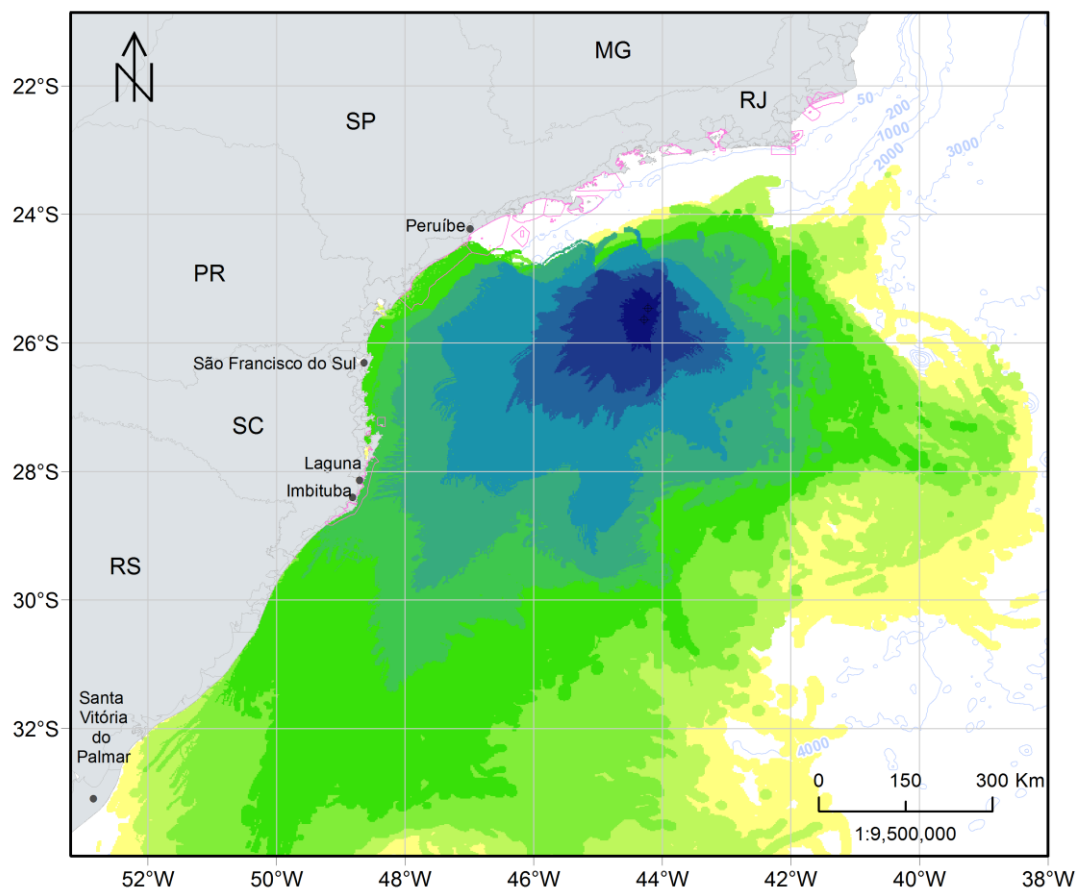


Figura 189: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 1

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

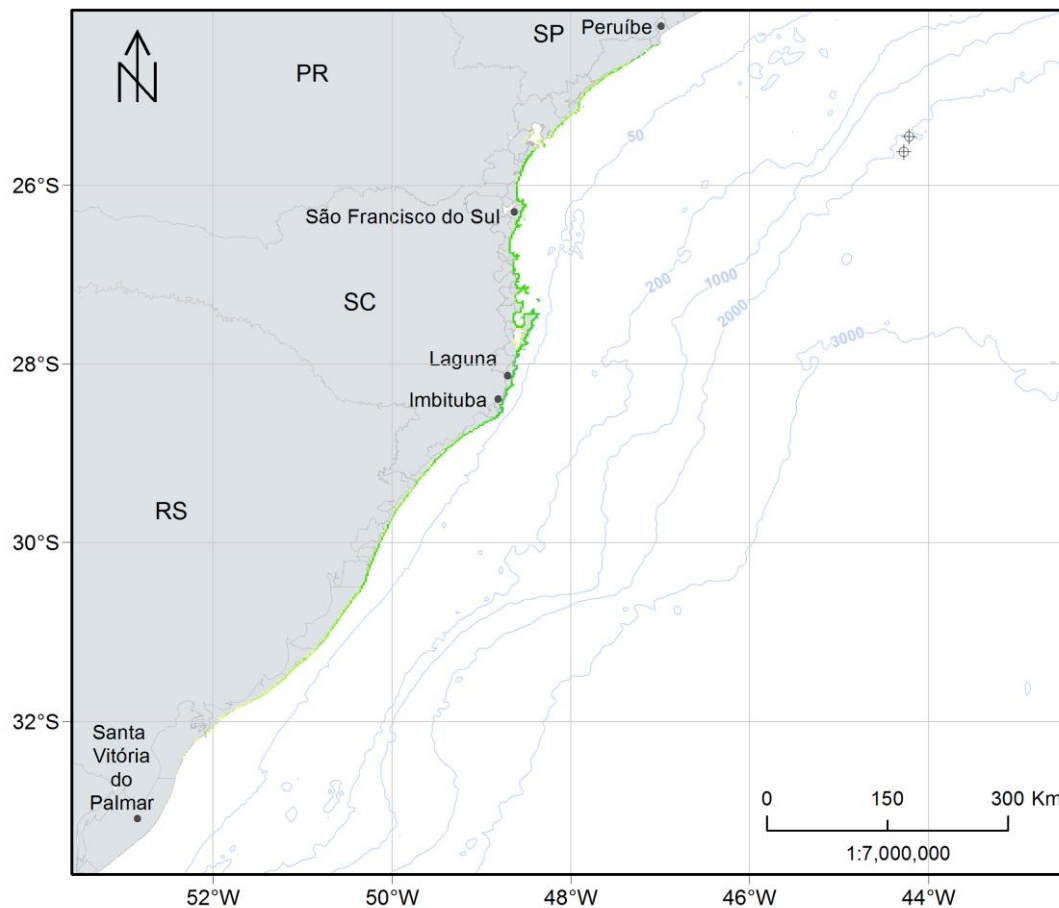


Figura 190: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 1

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

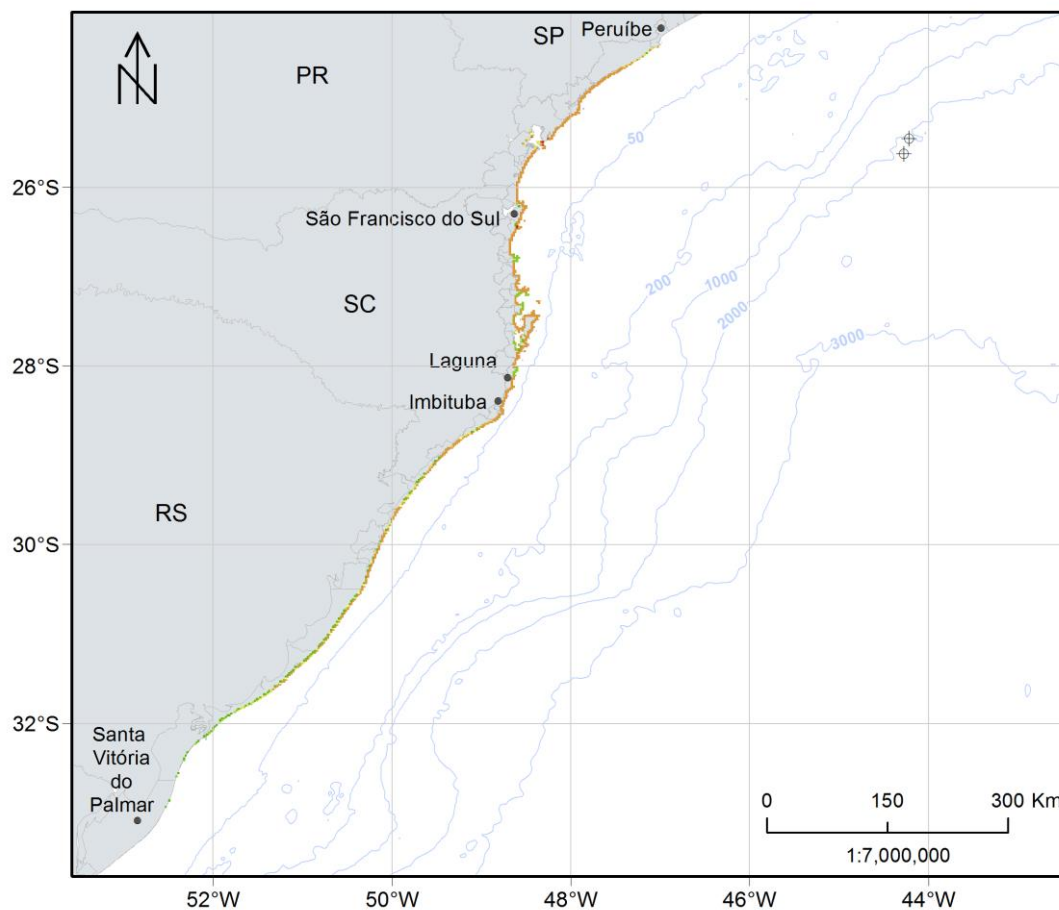
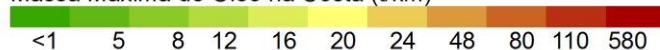


Figura 191: Massa máxima de óleo na costa para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Assim como nos volumes de pior caso, é possível observar que a deriva do óleo foi preferencialmente para sudoeste do ponto, devido à influência da CB e da predominância de ventos de primeiro quadrante neste período. Como nesta condição o vazamento possui os volumes integrados ressaltando os cenários de pior caso, as probabilidades sobre a plataforma possuem uma faixa de 80-100% se estendendo do ponto de vazamento localizado a frente do estado do Rio de Janeiro até o estado do Rio Grande do Sul.

Na costa, o município de Imbituba – SC apresentou a maior probabilidade de presença de óleo, 56,8% (Tabela 27). A região na costa com probabilidade de chegada de óleo abarca cerca de 4540 km de extensão, indo da região do município de Peruíbe – SP até Santa Vitória do Palmar – RS.

Em relação às unidades de conservação, 10 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de óleo, chegando a 71,4% na APA da Baleia Franca, cujo tempo mínimo de chegada é o menor observado, de 15,3 dias. Já em relação às UCs costeiras, 37 apresentaram probabilidade de serem atingidas, sendo a maior probabilidade de 46,6% no PNM da Lagoinha do Leste e o menor tempo de chegada de 16 dias no PE da Serra do Tabuleiro.

O mapa de tempo mínimo na superfície mostra que o óleo pode atingir distâncias de até 190 km em 3 dias e de 460 km em 10 dias de simulação. Na costa, o menor tempo de chegada ocorreu em 15,59 dias em Laguna– SC.

3.2.1.3.2 Período 2

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e na costa para os resultados integrados dos volumes de 8 m³, 200 m³ e Pior Caso no Período 2 (Figura 198 à Figura 194). Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se na Figura 195 e Figura 196. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 197.

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo em Superfície (%)

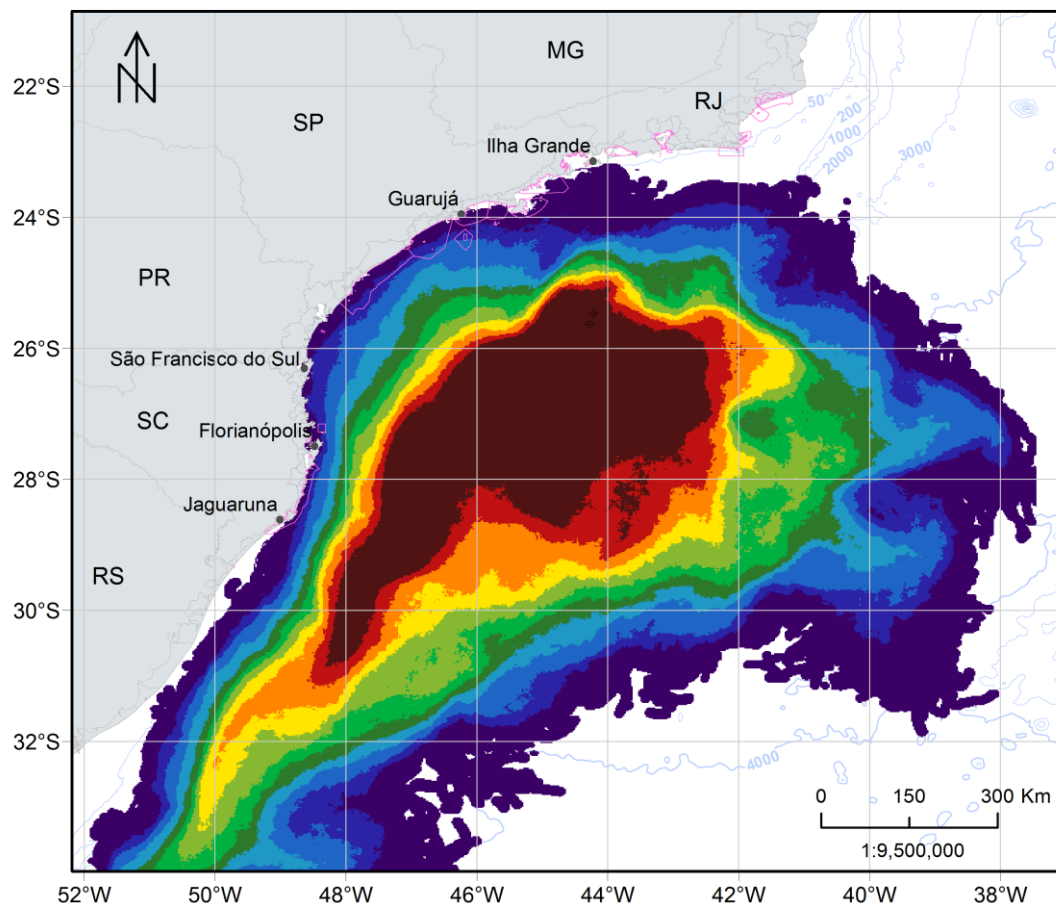
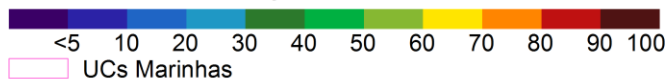


Figura 192: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Baía de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'Água (%)

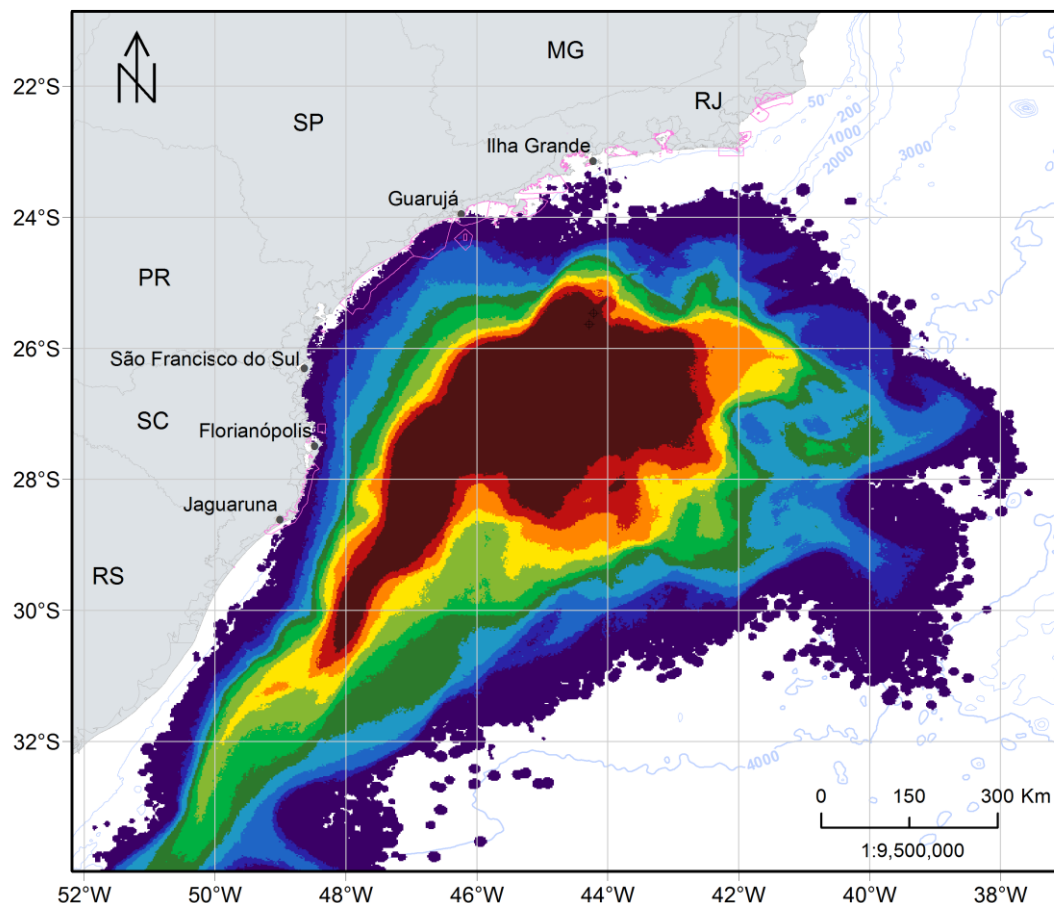
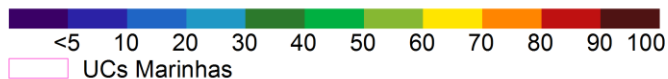


Figura 193: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

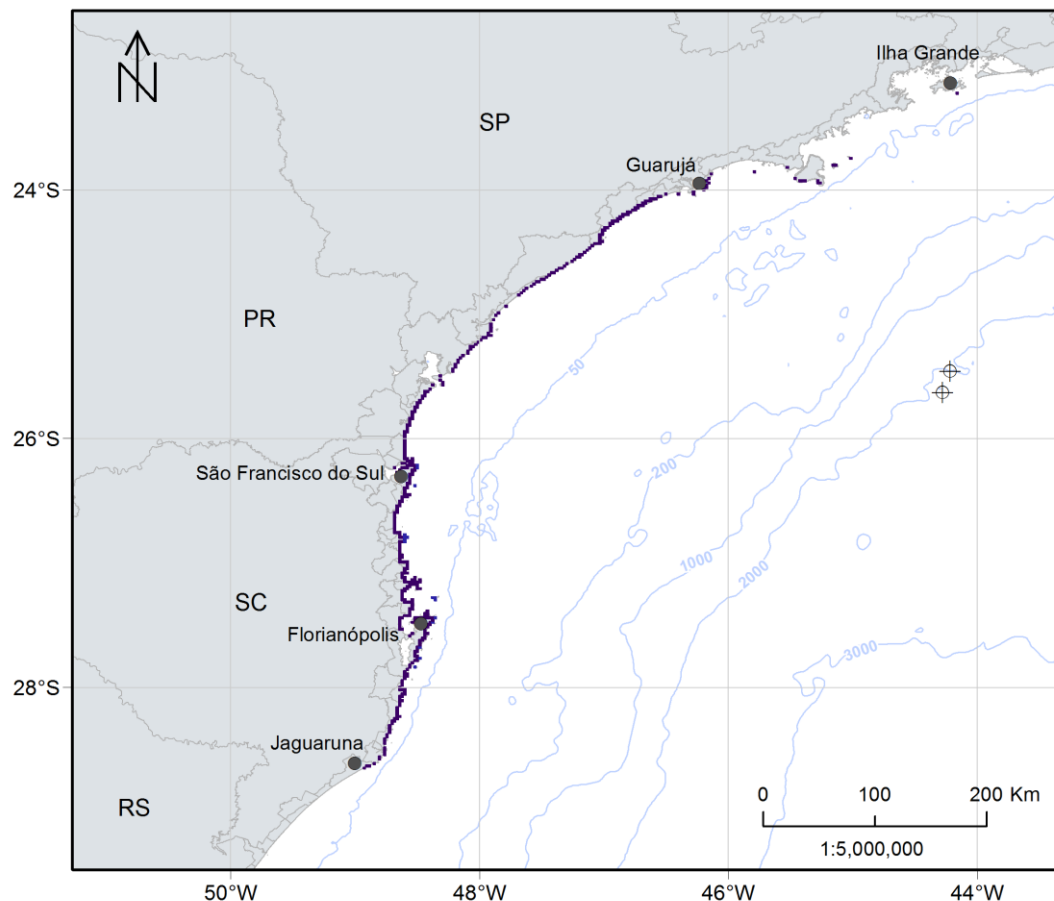
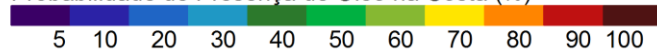


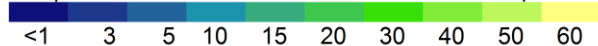
Figura 194: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 2

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



UCs Marinhas

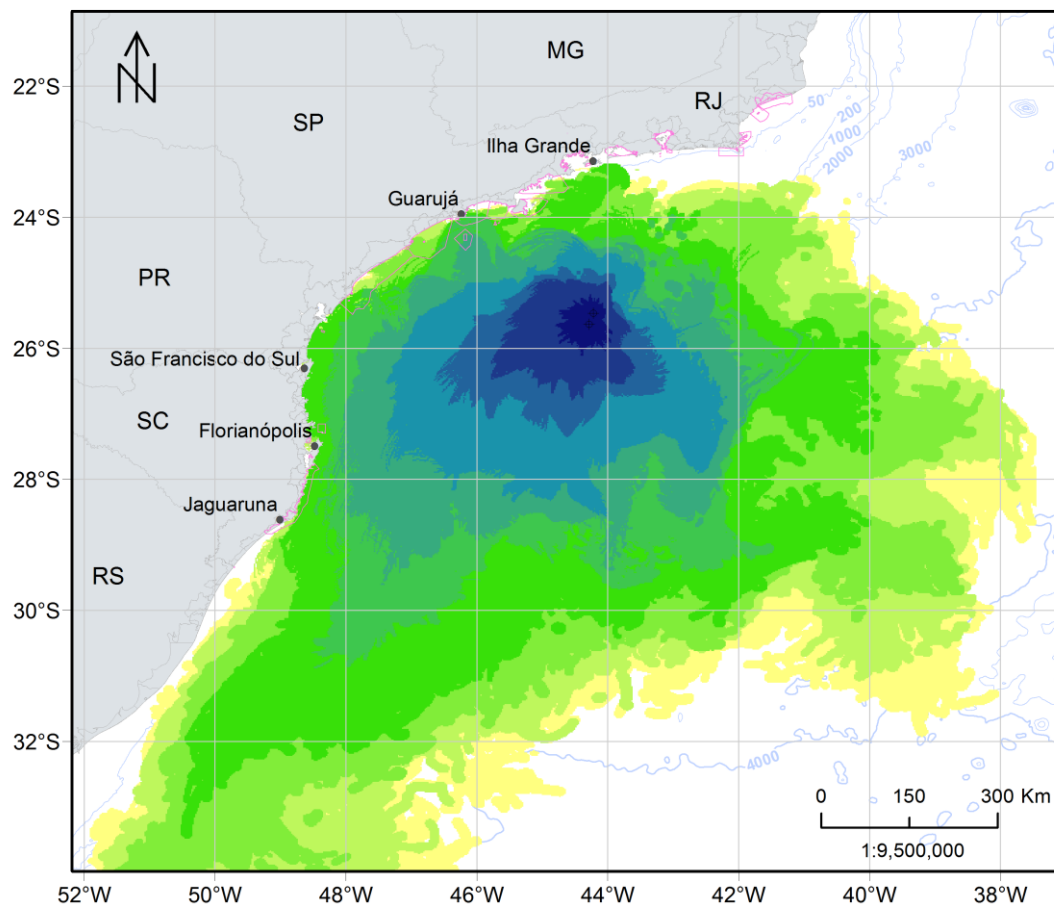


Figura 195: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 2

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

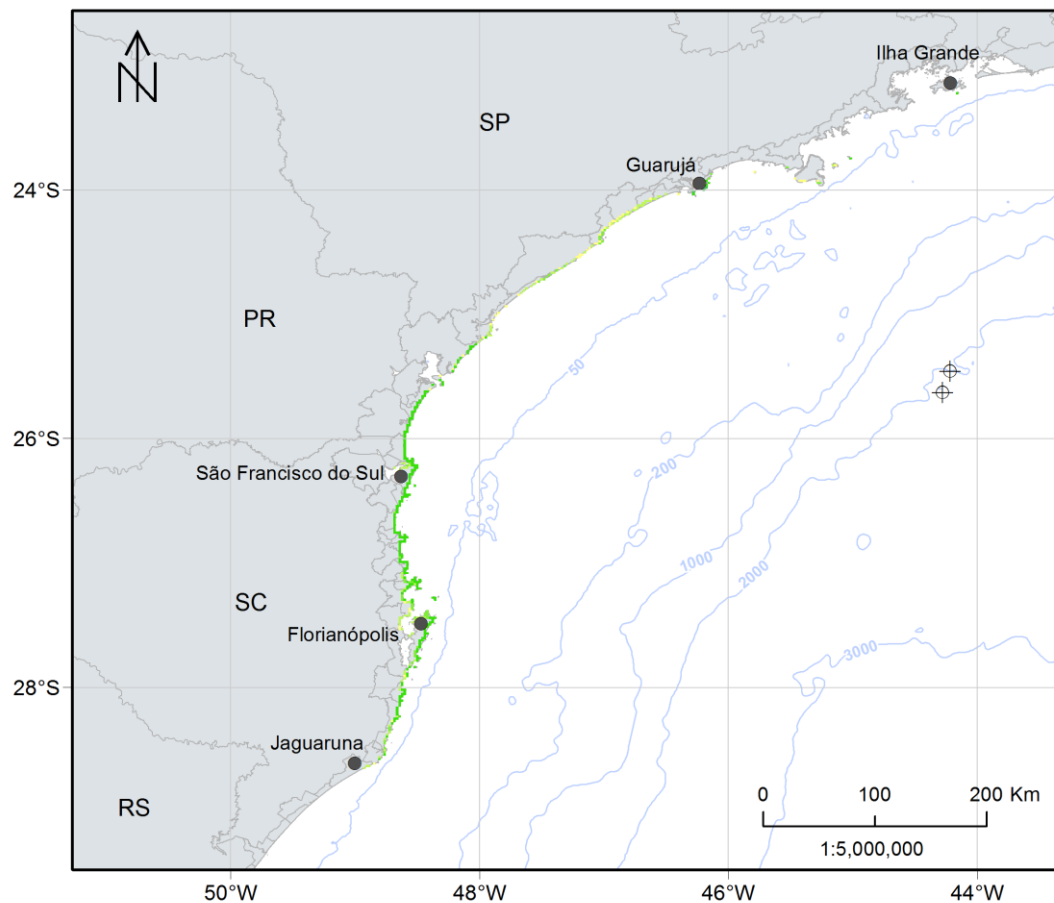
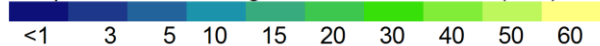


Figura 196: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

Bacia de Santos | BM-S-8 | Integração

Volume: 8 m³, 200 m³ e Pior Caso | Período 2

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

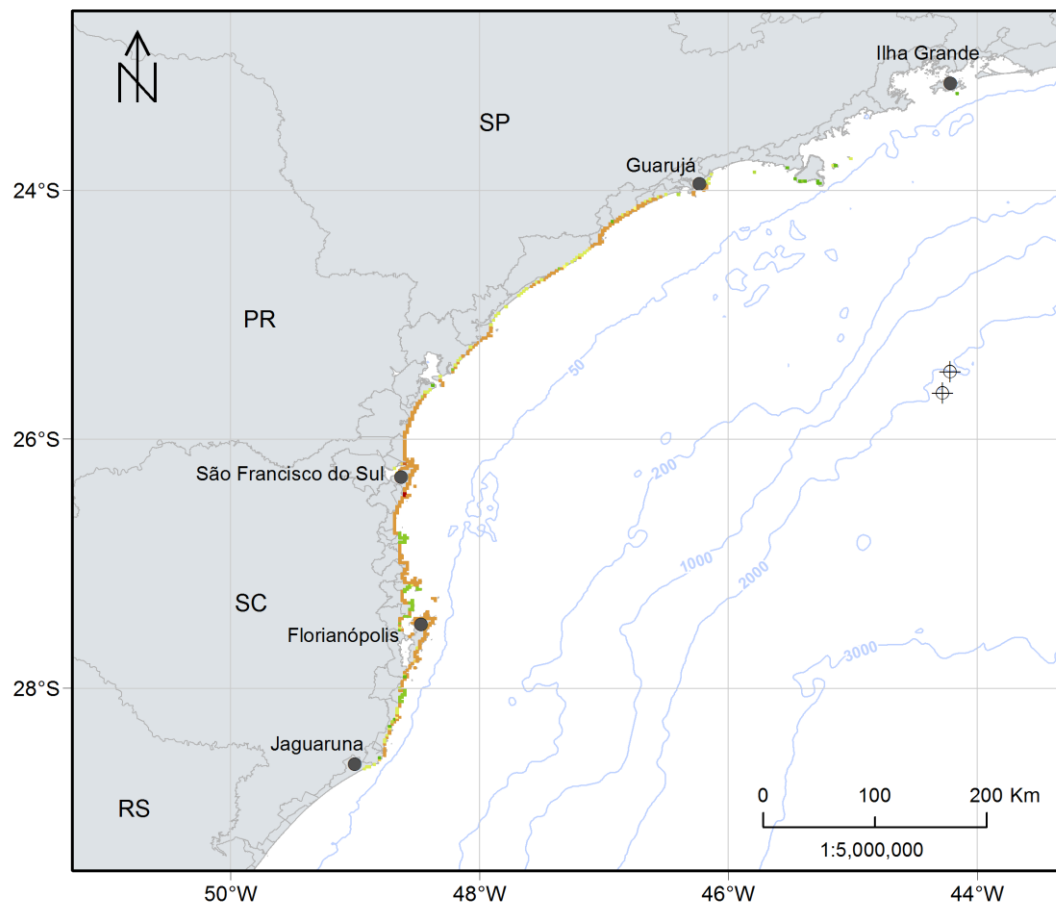
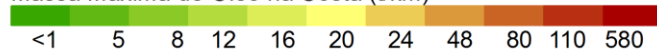


Figura 197: Massa máxima de óleo na costa para os volumes de 8 m³, 200 m³ e pior caso (1.167.000 m³). Poços Guanxuma e Urtiga. Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Assim como no cenário anterior, é possível observar que a deriva do óleo foi preferencialmente para sudoeste do ponto, devido novamente à influência da CB. No entanto, em razão do cenário 2 apresentar uma maior variação da direção dos ventos, além de inversões de correntes na plataforma, é observado que há probabilidade do óleo atingir regiões mais a norte do que no Período 1. Outra diferença é que neste cenário o óleo flui mais afastado da costa e, sendo assim, as probabilidades na costa foram menores do que as observadas no Período 1.

Na costa, o município de Florianópolis – SC apresentou a maior probabilidade de presença de óleo, 6,6% (Tabela 27). A região na costa com probabilidade de chegada de óleo abarca cerca de 2062 km de extensão, indo da região do município de Ilha Grande - RJ até Jaguaruna - SC.

Em relação às unidades de conservação, 13 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de óleo, chegando a cerca de 15% na APA da Baleia Franca, cujo tempo mínimo de chegada é o menor observado, de 14,4 dias. Já em relação às UCs costeiras, 38 apresentaram probabilidade de serem atingidas, sendo a maior probabilidade, de 6%, observada no PE do Rio Vermelho, no PNM da Lagoinha do Leste e no PNM das Dunas da Lagoa da Conceição. O menor tempo de chegada de mais de 21 dias no PE da Ilha do Cardoso.

O mapa de tempo mínimo na superfície mostra que o óleo pode atingir distâncias de até 190 km em 3 dias e de 290 km em até 5 dias de simulação. Na costa, o menor tempo de chegada ocorreu em 19,06 dias em Guarujá – SP.

A seguir serão apresentados os resultados probabilísticos integrados para os municípios, unidades de conservação marinha e costeira para os vazamentos de óleo com os volumes de 8 m³, 200 m³ e Pior Caso (*blowout*).

Tabela 27: Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos pelos vazamentos de 8 m³, 200 m³ e Pior Caso a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RJ	Angra dos Reis (Ilha Grande)	-	39,6	-	0,4	-	0,3	-	29,75
	Parati	-	**	-	**	-	0,3*	-	51,83*
SP	Ubatuba	-	**	-	**	-	0,6*	-	32,62*
	Ilhabela	-	5,7	-	13,2	-	2,5	-	27,29
	São Sebastião	-	2,8	-	10,2	-	0,6	-	32,11
	Guarujá	-	42,4	-	26,7	-	4,1	-	19,06
	Praia Grande	-	17,0	-	25,6	-	1,6	-	40,61
	Mongaguá	-	33,9	-	26,5	-	1,9	-	40,73
	Itanhaém	-	59,4	-	26,2	-	2,5	-	41,17
	Peruíbe	8,5	96,2	26,7	26,7	0,9	4,1	22,56	34,35
	Iguape	87,7	99,0	26,9	25,8	1,6	2,5	23,05	37,24
	Ilha Comprida	175,4	62,2	27,2	25,8	2,5	2,2	23,71	38,90
	Cananéia	130,1	84,9	27,4	26,4	2,5	2,8	29,63	21,24
PR	Guaraqueçaba	132,9	50,9	94,3	26,4	2,5	2,8	27,91	21,38
	Paranaguá	84,9	11,3	94,3	26,5	3,7	0,9	30,00	22,81
	Pontal do Paraná	87,7	31,1	27,0	29,0	9,6	0,6	23,17	24,84
	Matinhos	73,5	36,8	26,9	28,3	9,0	1,6	23,18	24,68
	Guaratuba	62,2	56,6	26,9	29,7	8,4	2,5	24,71	23,15
SC	Itapoá	79,2	84,9	27,9	73,5	9,0	2,8	24,95	25,07
	São Francisco do Sul	152,7	175,4	103,0	579,7	15,2	5,9	24,10	24,31
	Balneário Barra do Sul	56,6	48,1	98,5	110,2	14,6	2,8	27,98	24,29
	Araquari	22,6	22,6	29,1	29,1	14,6	2,5	25,33	24,30
	Barra Velha	56,6	56,6	29,2	29,5	20,8	3,8	25,22	25,13

* Valores retirados dos resultados em superfície para localidades que não apresentaram massa acumulada na costa acima do limiar monitorado, mas estão a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da costa.

** Como os valores apresentados são da superfície, não são apresentados valores de massa acumulada na costa e de extensão na costa.

Tabela 30 (continuação): Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos pelos vazamentos de 8 m³, 200 m³ e Pior Caso a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
SC	Piçarras	22,6	22,6	30,0	29,3	20,8	4,1	24,01	27,09
	Penha	62,2	62,2	7,6	7,4	28,3	6,6	23,20	22,95
	Navegantes	39,6	39,6	29,4	29,4	21,4	4,1	24,70	23,25
	Itajaí	33,9	33,9	29,4	29,4	25,5	5,0	23,57	23,35
	Balneário Camboriú	67,9	67,9	29,6	29,5	26,1	4,4	22,15	23,21
	Itapema	62,2	62,2	30,0	29,3	20,5	1,9	23,38	23,96
	Porto Belo	96,2	90,5	30,0	28,7	30,4	3,1	20,32	23,96
	Bombinhas	90,5	84,9	29,7	29,7	34,5	3,8	20,19	23,73
	Tijucas	50,9	42,4	29,2	29,3	18,0	1,6	25,04	28,96
	Governador Celso Ramos	79,2	59,4	29,8	26,7	24,2	1,9	21,85	28,96
	Biguaçu	50,9	22,6	29,6	27,3	14,6	0,3	23,17	47,48
	São José	39,6	5,7	30,0	25,3	12,4	0,3	22,97	47,53
	Florianópolis	393,2	251,7	30,5	29,8	51,6	6,6	16,06	23,85
	Palhoça	67,9	25,5	29,6	26,5	38,5	4,4	16,32	28,84
	Paulo Lopes	28,3	19,8	29,6	26,5	38,5	4,4	16,07	28,84
	Garopaba	90,5	82,0	29,6	26,9	48,1	4,7	15,63	25,28
	Imbituba	107,5	87,7	30,1	29,2	56,8	4,1	15,71	25,52
	Laguna	141,4	70,7	30,0	27,4	54,3	2,5	15,59	28,32
	Jaguaruna	138,6	14,1	30,0	14,8	28,3	1,3	16,50	44,04
	Balneário Rincão	53,7	-	28,5	-	9,3	-	18,66	-
Araranguá	45,3	-	28,1	-	9,3	-	19,46	-	
Balneário Arroio do Silva	67,9	-	28,0	-	9,0	-	18,49	-	
Balneário Gaivota	73,5	-	27,0	-	9,0	-	25,23	-	
Passo de Torres	48,1	-	26,2	-	5,0	-	26,46	-	
RS	Torres	48,1	-	26,6	-	7,1	-	26,46	-
	Arroio do Sal	76,4	-	26,5	-	12,1	-	28,02	-
	Terra de Areia	14,1	-	26,5	-	8,4	-	31,65	-
	Capão da Canoa	59,4	-	28,4	-	14,3	-	29,61	-

Tabela 30 (continuação): Extensão de toque, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos pelos vazamentos de 8 m³, 200 m³ e Pior Caso a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	MUNICÍPIOS	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
RS	Xangri-lá	39,6	-	27,2	-	16,5	-	27,93	-
	Osório	28,3	-	28,9	-	17,1	-	27,05	-
	Imbé	42,4	-	28,4	-	19,3	-	26,22	-
	Tramandaí	53,7	-	28,0	-	18,6	-	26,43	-
	Cidreira	70,7	-	28,4	-	20,8	-	26,89	-
	Balneário Pinhal	36,8	-	27,9	-	19,3	-	27,23	-
	Palmares do Sul	96,2	-	28,6	-	21,1	-	26,65	-
	Mostardas	336,6	-	27,6	-	22,7	-	27,08	-
	Tavares	166,9	-	26,3	-	7,1	-	31,83	-
	São José do Norte	260,2	-	26,4	-	5,9	-	41,66	-
	Rio Grande	42,4	-	8,1	-	0,9	-	48,40	-
	Santa Vitória do Palmar	5,7	-	0,6	-	0,3	-	52,83	-

Tabela 28: Área com toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação marinhas com possibilidade de serem atingidas pelos vazamentos de 200 m³ de óleo cru a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Área (km²)		Massa Máxima (t/km²)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Anhatomirim	12,8	12,8	138,1	55,1	25,8	0,6	21,75	42,88
APA da Baleia Franca	1055,9	908,2	429,9	51,5	71,4	8,4	15,33	23,13
APA Marinha do Litoral Centro	494,3	3713,5	18,9	84,8	2,2	14,7	21,04	14,38
APA Marinha do Litoral Norte	-	1745,2	-	18,4	-	4,4	-	19,50
APA Marinha do Litoral Sul	3324,2	3228,7	749,5	68,0	6,8	8,4	21,63	18,88
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	-	4,1	-	18,2	-	9,4	-	30,75
ESEC dos Tupiniquins	5,1	16,0	102,5	40,2	2,5	4,4	27,50	20,75
ESEC Tupinambás	-	13,7	-	14,3	-	5,3	-	17,08
PARNA Marinho das Ilhas dos Currais	12,8	12,8	24,4	16,1	11,2	1,3	22,46	21,04
PE Marinho da Laje de Santos	-	46,8	-	32,4	-	11,3	-	14,67
RDS Barra do Una (Setor Marinho)	17,1	24,3	9,5	22,0	0,9	2,5	22,71	34,38
REBIO Marinha do Arvoredo	153,6	153,4	63,3	78,8	52,5	10,3	17,08	19,79
RESEX Marinha Pirajubaé	9,6	-	37,0	-	1,6	-	53,88	-
RVS das Ilhas do Abrigo e Guararitama	-	4,9	-	22,9	-	3,4	-	33,88
RVS Ilha dos Lobos	1,5	-	9,3	-	5,6	-	26,33	-

Tabela 32: Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas pelos vazamentos integrados (8 m³, 200 m³ e Pior Caso) a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2. As células em vermelho (Período 1) e em azul (Período 2) indicam os valores mais críticos.

Unidade de Conservação	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Costa Brava	5,7	5,7	29,6	29,3	22,7	2,5	23,73	23,33
APA de Cananéia - Iguape - Peruíbe	101,8	42,4	27,0	26,0	1,6	2,8	23,71	34,42
APA de Guaraqueçaba	93,3	42,4	94,3	26,4	2,5	2,8	27,91	21,38
APA de Tamoios	-	2,8	-	0,4	-	0,3	-	29,75
APA Estadual de Guaratuba	31,1	31,1	26,9	29,5	8,1	2,2	24,71	24,08
APA Ilha Comprida	130,1	33,9	27,2	25,8	2,5	2,2	23,71	38,90
ARIE Costeira de Zimbros	48,1	48,1	30,0	29,7	34,5	3,8	20,19	23,73
ARIE da Ilha Comprida	8,5	-	27,1	-	2,2	-	33,34	-
ARIE do Guará	14,1	5,7	26,2	25,8	1,6	2,2	23,71	38,90
ARIE Ilha Ameixal	-	2,8	-	25,6	-	0,6	-	57,56
ESEC da Ilha do Mel	17,0	5,7	94,3	25,9	1,9	0,6	30,96	24,99
ESEC de Carijós	14,1	5,7	30,0	27,0	25,8	0,6	21,85	30,60
ESEC Juréia-Itatins	22,6	39,6	26,7	26,0	0,9	2,8	23,05	34,42
PARNA da Lagoa do Peixe	113,1	-	26,9	-	13,7	-	31,83	-
PARNA de Saint-Hilaire/Lange	11,3	11,3	26,9	26,7	8,1	1,6	25,01	24,82
PARNA do Superagui	70,7	42,4	94,3	26,4	2,5	2,8	27,91	21,38
PE de Ilhabela	-	28,3	-	13,2	-	2,5	-	27,29
PE Acarai	42,4	42,4	29,2	29,9	18,9	5,6	24,27	24,79
PE da Guarita	2,8	-	13,0	-	1,2	-	39,35	-
PE da Ilha do Cardoso	65,1	42,4	27,4	26,4	2,2	2,8	29,65	21,24
PE da Ilha do Mel	8,5	5,7	26,6	26,5	3,7	0,9	30,00	22,81
PE da Serra do Mar	-	17,0	-	26,1	-	1,6	-	32,11
PE da Serra do Tabuleiro	53,7	25,5	30,0	27,9	41,0	5,6	16,07	28,84
PE de Itapeva	8,5	-	26,6	-	4,7	-	38,85	-
PE do Itinguçu	5,7	17,0	26,7	26,7	0,9	4,1	22,56	34,35
PE do Prelado	5,7	5,7	26,5	12,9	0,6	1,6	25,28	44,56
PE do Rio Vermelho	31,1	31,1	30,2	29,3	43,2	5,9	16,69	24,06
PE Lagamar de Cananeia	5,7	-	26,7	-	0,3	-	48,84	-
PE Xixová-Japuí	2,8	2,8	-	10,7	-	0,6	-	53,49
PM do Manguezal de Itacorubi	2,8	-	26,6	-	5,9	-	27,96	-

Tabela 32 (continuação): Extensão de toque de óleo, massa máxima, probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação costeiras com possibilidade de serem atingidas pelos vazamentos integrados (8 m³, 200 m³ e Pior Caso) a partir dos dois pontos simulados, nos cenários de Período 1 e Período 2. As células em vermelho (Período 1) e em azul (Período 2) indicam os valores mais críticos.

Unidade de Conservação	Extensão de toque (km)		Massa Máxima (t/km)		Probabilidade de Presença (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
PM Morro dos Macacos	8,5	8,5	7,5	7,2	28,9	2,8	22,64	25,53
PNM da Galheta	8,5	8,5	29,9	26,7	43,2	4,7	17,63	23,86
PNM da Lagoa do Peri	25,5	14,1	29,7	27,6	33,5	4,4	18,99	28,97
PNM da Lagoinha do Leste	8,5	8,5	30,1	26,8	46,6	5,9	17,76	26,83
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	17,0	17,0	29,9	26,8	39,8	5,9	17,50	23,86
PNM do Atalaia	2,8	2,8	29,4	29,3	21,4	3,8	24,70	26,43
PNM do Bougainville	-	2,8	-	26,7	-	4,1	-	34,35
PNM do Morro da Cruz	5,7	-	29,0	-	2,5	-	29,28	-
PNM do Vilão	-	5,7	-	26,7	-	4,1	-	34,35
PNM Restinga do Guaraú	-	8,5	-	26,2	-	1,9	-	38,07
RDS da Barra do Una	2,8	5,7	13,4	25,7	0,3	0,6	30,10	51,70
REBIO Bom Jesus	2,8	-	12,7	-	0,3	-	58,18	-
REBIO Praia do Rosa	5,7	5,7	30,0	26,6	40,1	2,8	18,26	28,80
RESEX Ilha do Tumba	14,1	5,7	26,6	25,6	2,2	2,2	31,53	43,93
RPPN Marina do Conde	-	2,8	-	13,3	-	0,3	-	36,54
RPPN Morro dos Zimbros	5,7	5,7	28,9	27,6	21,4	1,6	22,42	29,60

3.2.2 Resultados Determinísticos

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas, foram identificadas as condições críticas para ocorrência de um vazamento de *blowout* a partir dos pontos de risco na Bacia de Santos.

A situação de menor tempo de chegada de óleo na costa ocorreu para o vazamento de *blowout* a partir do Poço Guanxuma enquanto a situação de maior massa acumulada na costa ocorreu para o vazamento de *blowout* a partir do Poço Urtiga. O volume de *blowout* é de 1.167.000 m³ e ambos os cenários ocorreram no Período 1 (de setembro a fevereiro). Na Tabela 29 é apresentada a informação dessas condições críticas selecionadas.

Tabela 29: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para um evento de derramamento de grande volume (1.167.000 m³).

Poço	Cenário	Data da simulação (GMT)	Tempo de toque na costa (dias)	Primeira localidade de toque	Massa final de óleo na costa (t)
Guanxuma	Tempo mínimo de toque de óleo na costa	07/12/2013 às 2h	15,59	Laguna - SC	4742
Urtiga	Maior massa de óleo acumulada na costa	20/09/2011 às 21h	27,89	São Francisco do Sul - SC	24793

3.2.2.1.1 Menor tempo de chegada de óleo na costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado, que se estendeu por 60 dias, de 07/12/2013 às 2h até 05/02/2013 às 2h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

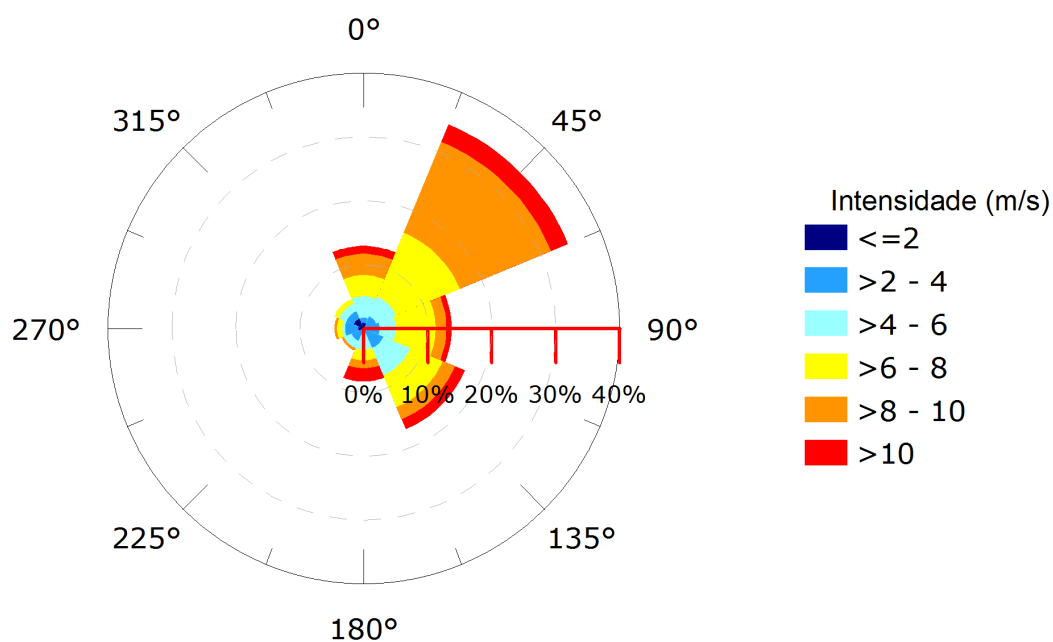


Figura 198: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque de óleo na costa.

Tabela 30: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção -> Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
0-2	2	-	2	1	-	1	2	4	5,0
2-4	2	5	4	7	2	4	5	3	13,3
4-6	8	8	6	11	6	3	1	3	19,2
6-8	8	26	15	13	4	-	2	2	29,2
8-10	8	37	4	5	3	1	1	-	24,6
>10	3	7	2	4	5	-	-	-	8,8
Freq. (%)	12,9	34,6	13,8	17,1	8,3	3,8	4,6	5,0	

Tabela 31: Estatística do vento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín (m/s)	Vel máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
66	349	6,63	0,51	12,28	2,64

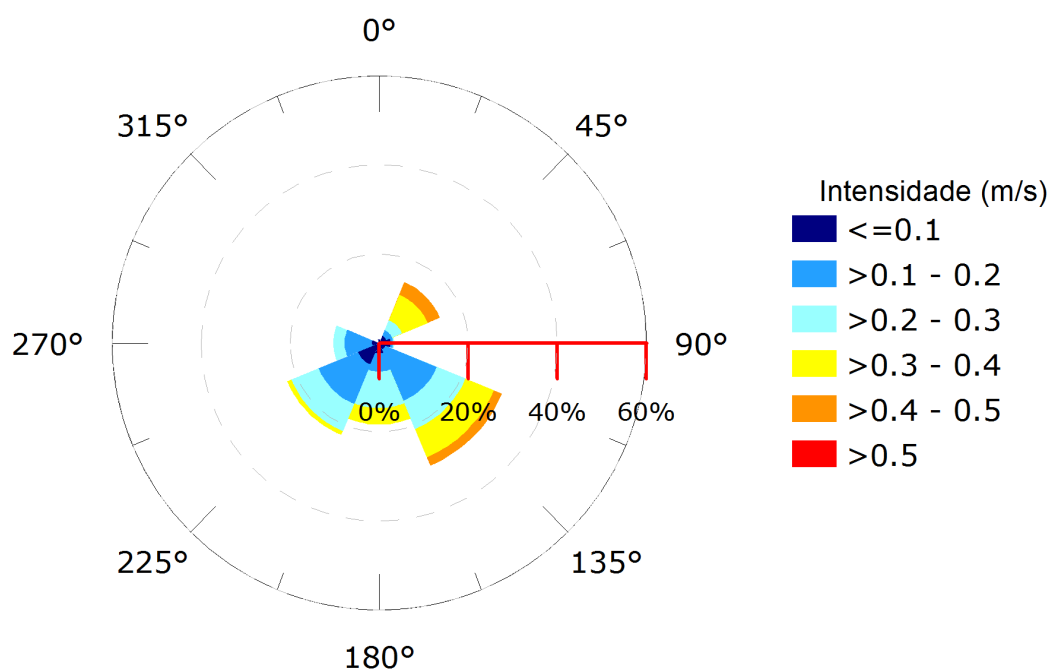


Figura 199: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.

Tabela 32: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
<0,1	5	12	18	11	17	36	11	1	15,9
0,1 - 0,2	-	10	4	87	28	67	43	-	34,3
0,2 - 0,3	-	17	2	48	57	46	18	-	27,0
0,3 - 0,4	-	43	-	48	26	7	-	-	17,8
0,4 - 0,5	-	21	-	14	-	-	-	-	5,0
>0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq. (%)	0,7	14,8	3,4	29,8	18,4	22,4	10,3	0,1	

Tabela 33: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín (m/s)	Vel. máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
155	51	0,21	0,004	0,49	0,11

Pelos dados de vento (Figura 198, Tabela 30 e Tabela 31) no período da simulação, ocorre a predominância de ventos de nordeste (34,6%) e predominância de ventos com intensidades entre 6 e 8 m/s (29,2%). As informações de correntes mostram que a direção preferencial das correntes é para sudeste (29,8%), seguidas de correntes para SW (22,4%) e a maior porcentagem das correntes apresentam intensidades baixas, entre 0,1 e 0,2 m/s (34,3%) (Figura 199, Tabela 32 e Tabela 33).

A seguir, da Figura 200 à Figura 209, é apresentada a deriva do óleo em superfície e na coluna d'água, além da área varrida pela mancha (em amarelo claro nas figuras) durante toda a simulação. O resultado na coluna d'água representa a integração dos valores de concentração de óleo ao longo da longitude, isto é, é apresentado o maior valor de concentração em cada ponto de grade relativo à longitude e à profundidade.

Também é apresentado o mapa de concentração de óleo nos sedimentos ao final da simulação (Figura 210). Os mapas de concentração de óleo no fundo foram construídos considerando um valor limiar de 1g de óleo/m²¹.

¹ Valor baseado em LONG ET AL (1995) considerando uma espessura de contaminação de 10 cm, densidade de sedimentos de 2,6 g/cm³

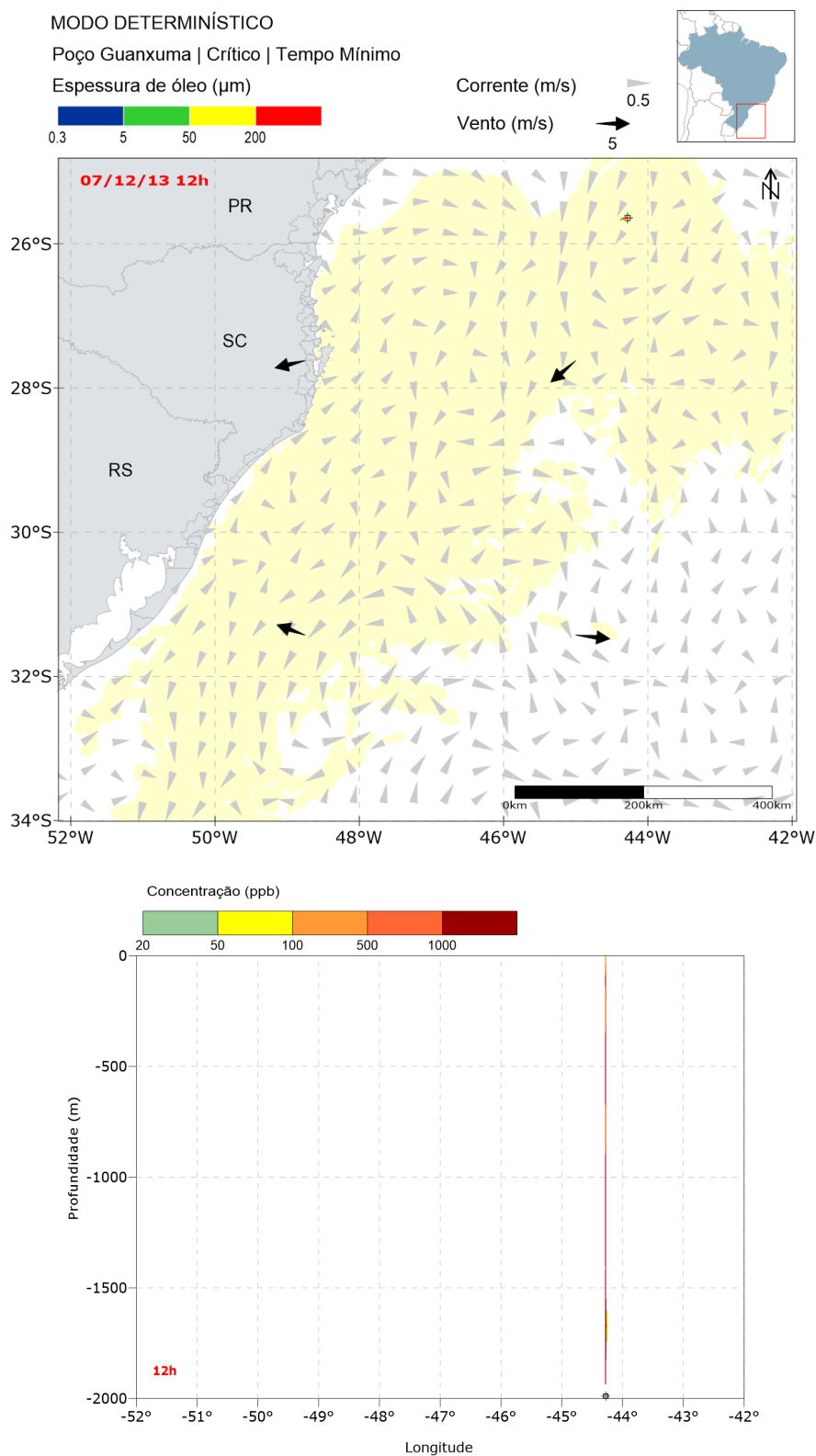


Figura 200: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

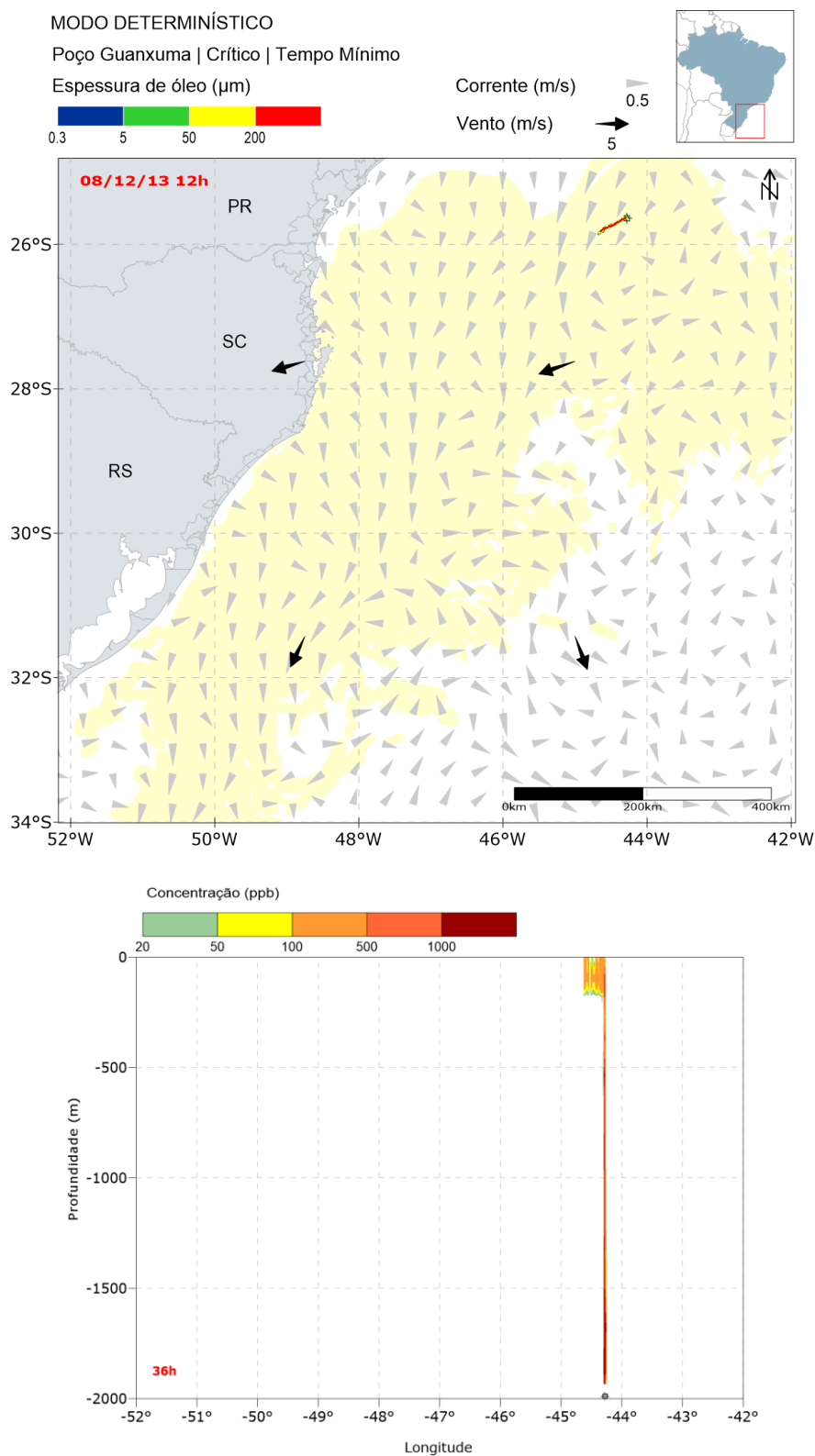


Figura 201: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

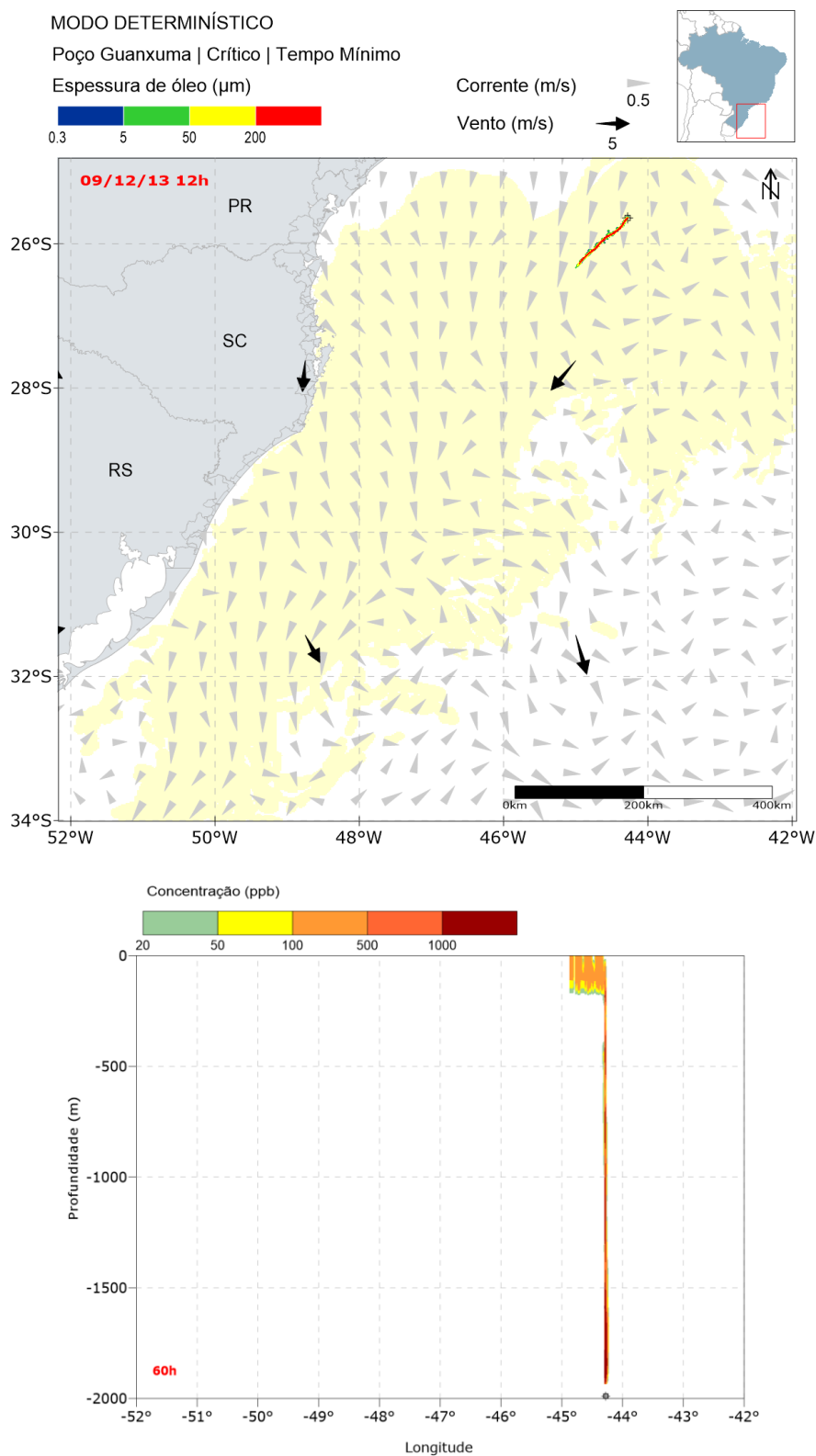


Figura 202: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

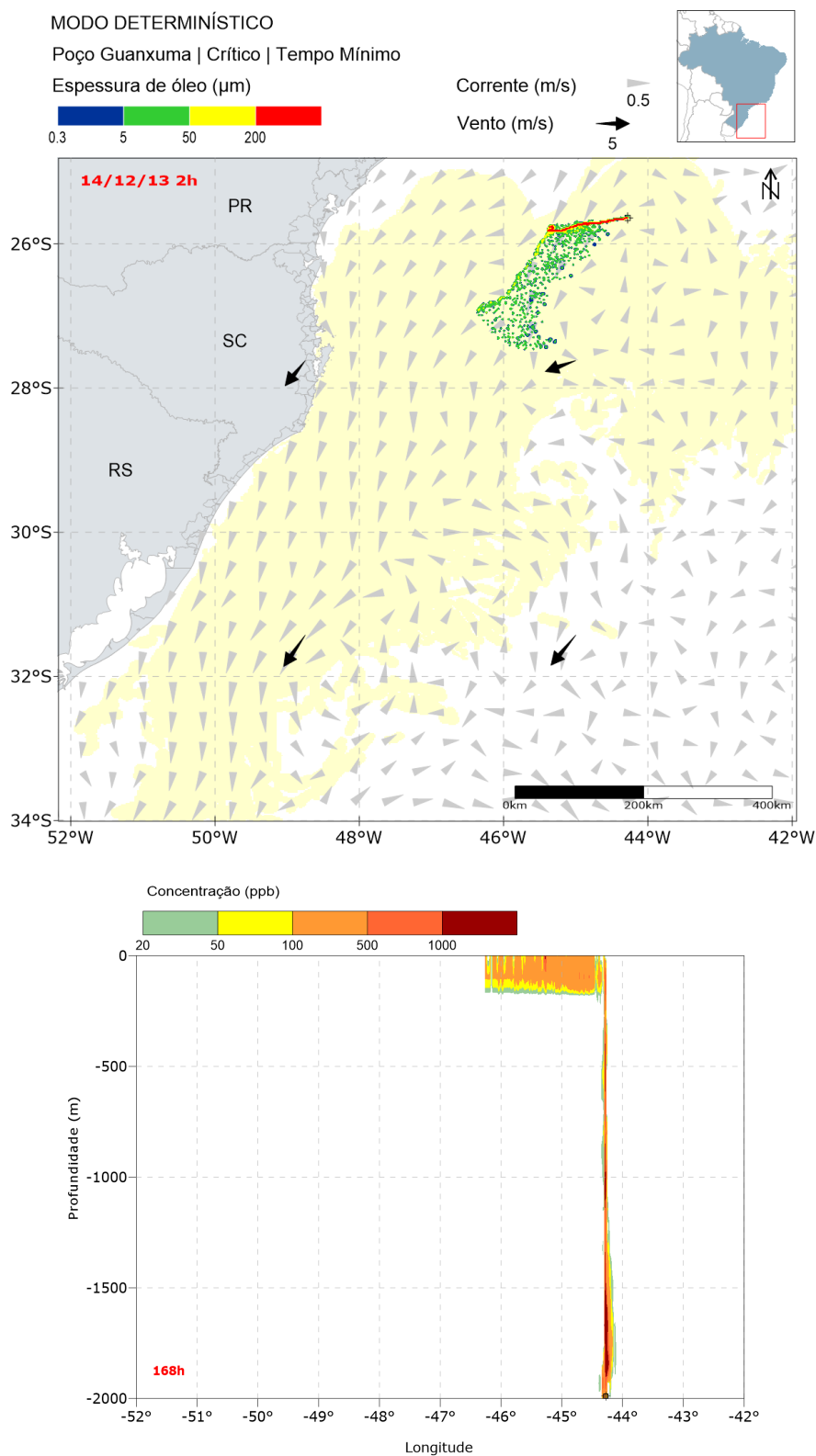


Figura 203: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

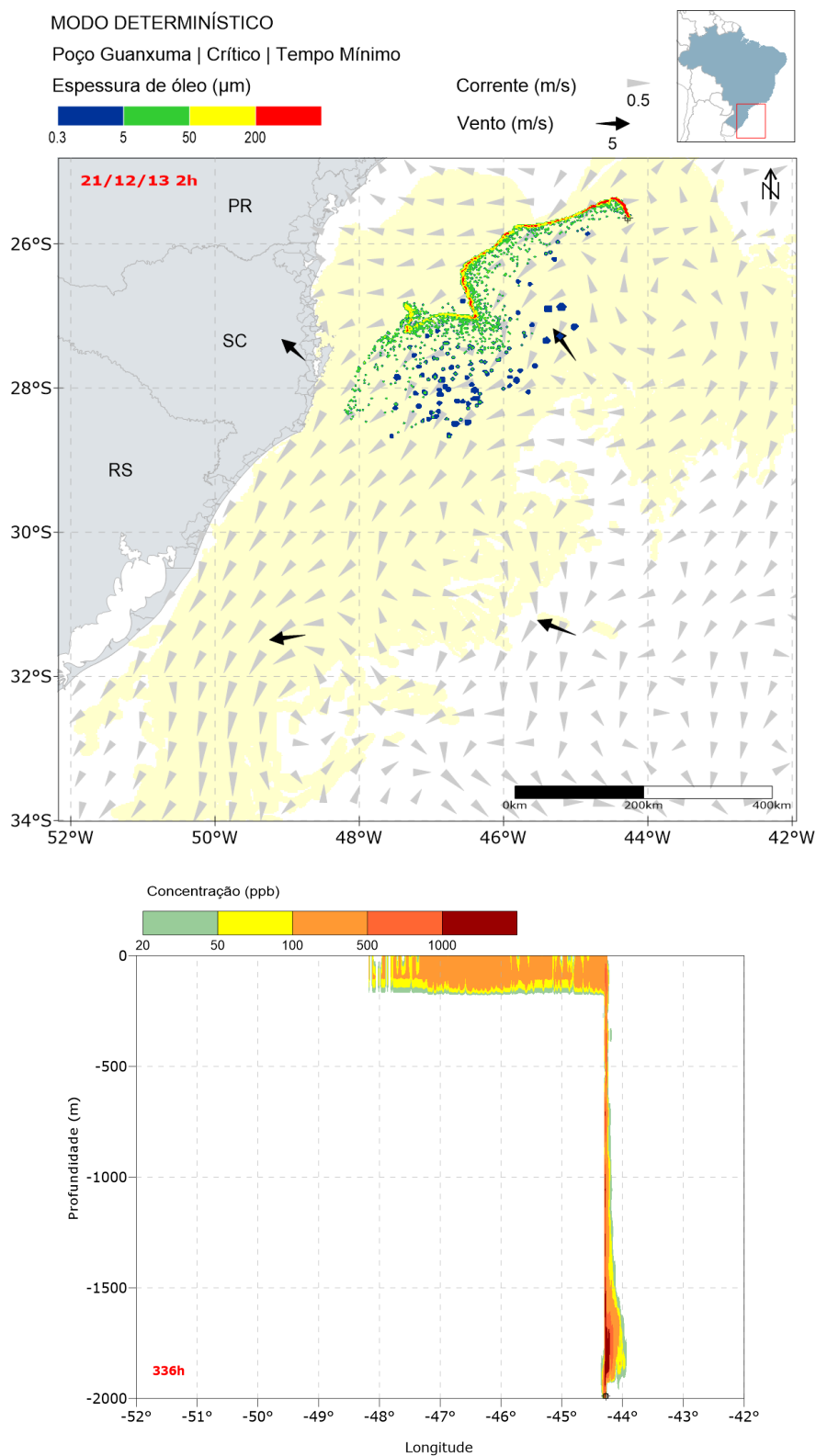


Figura 204: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

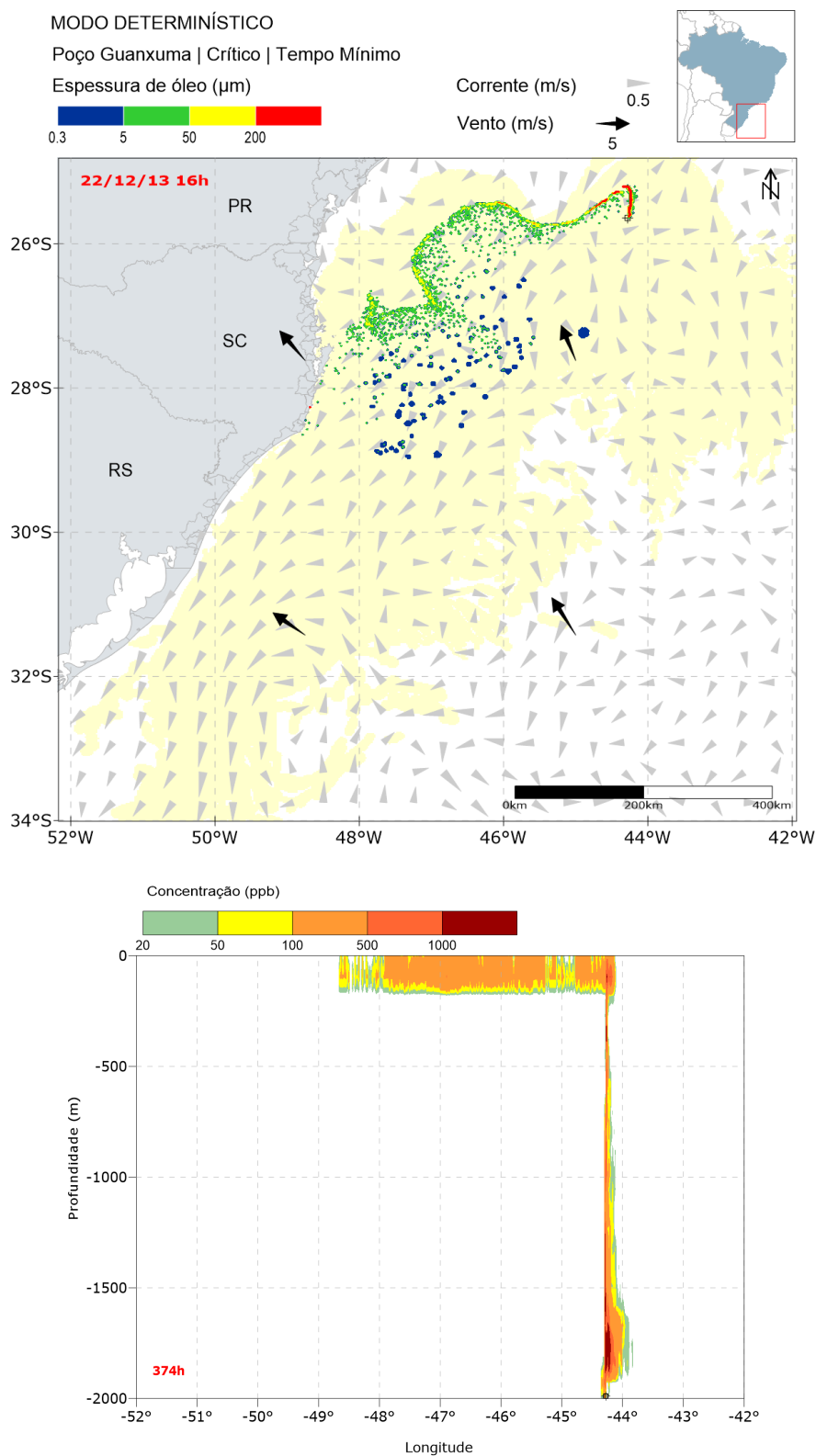


Figura 205: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 374 horas (primeiro toque) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

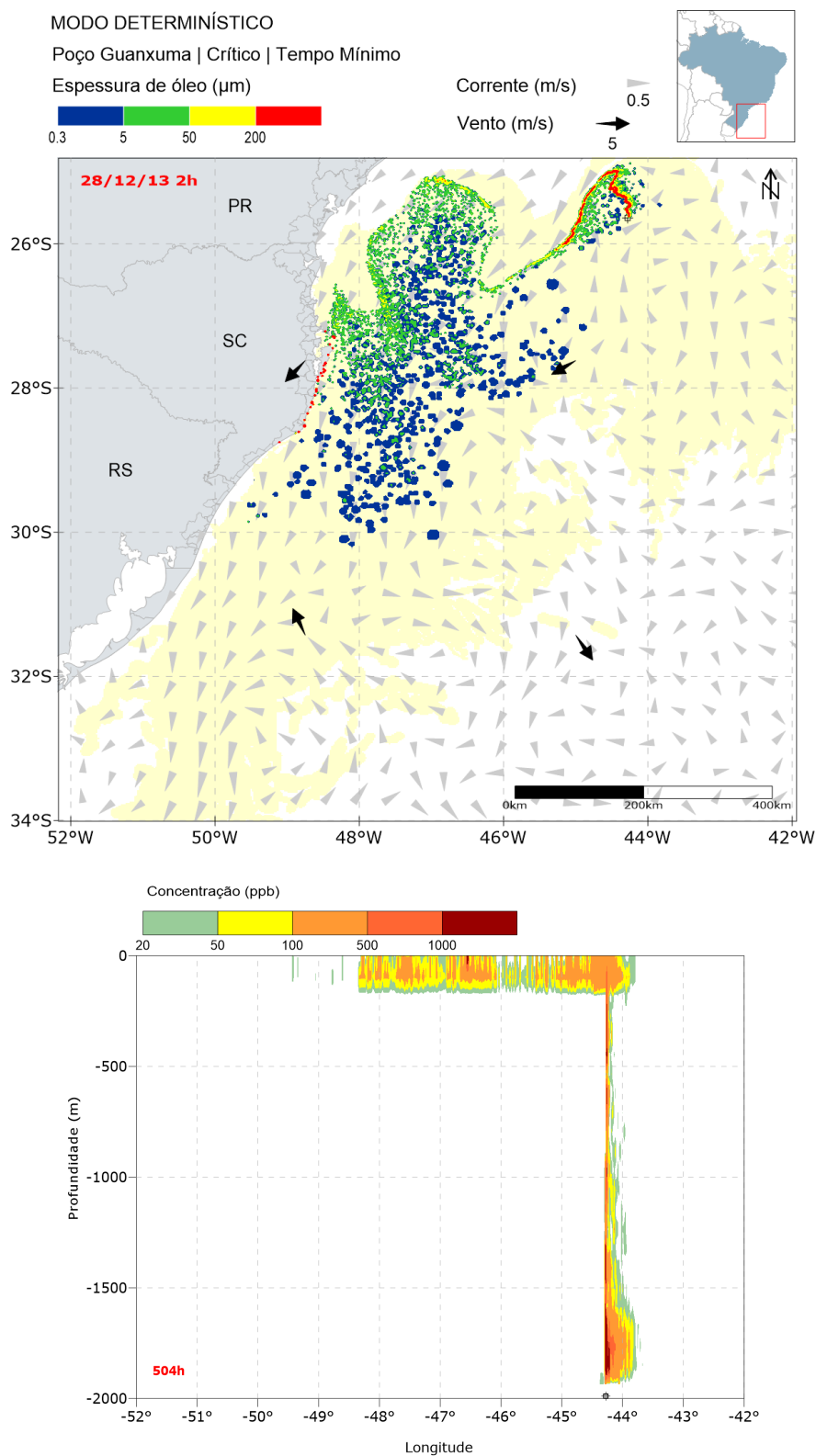


Figura 206: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

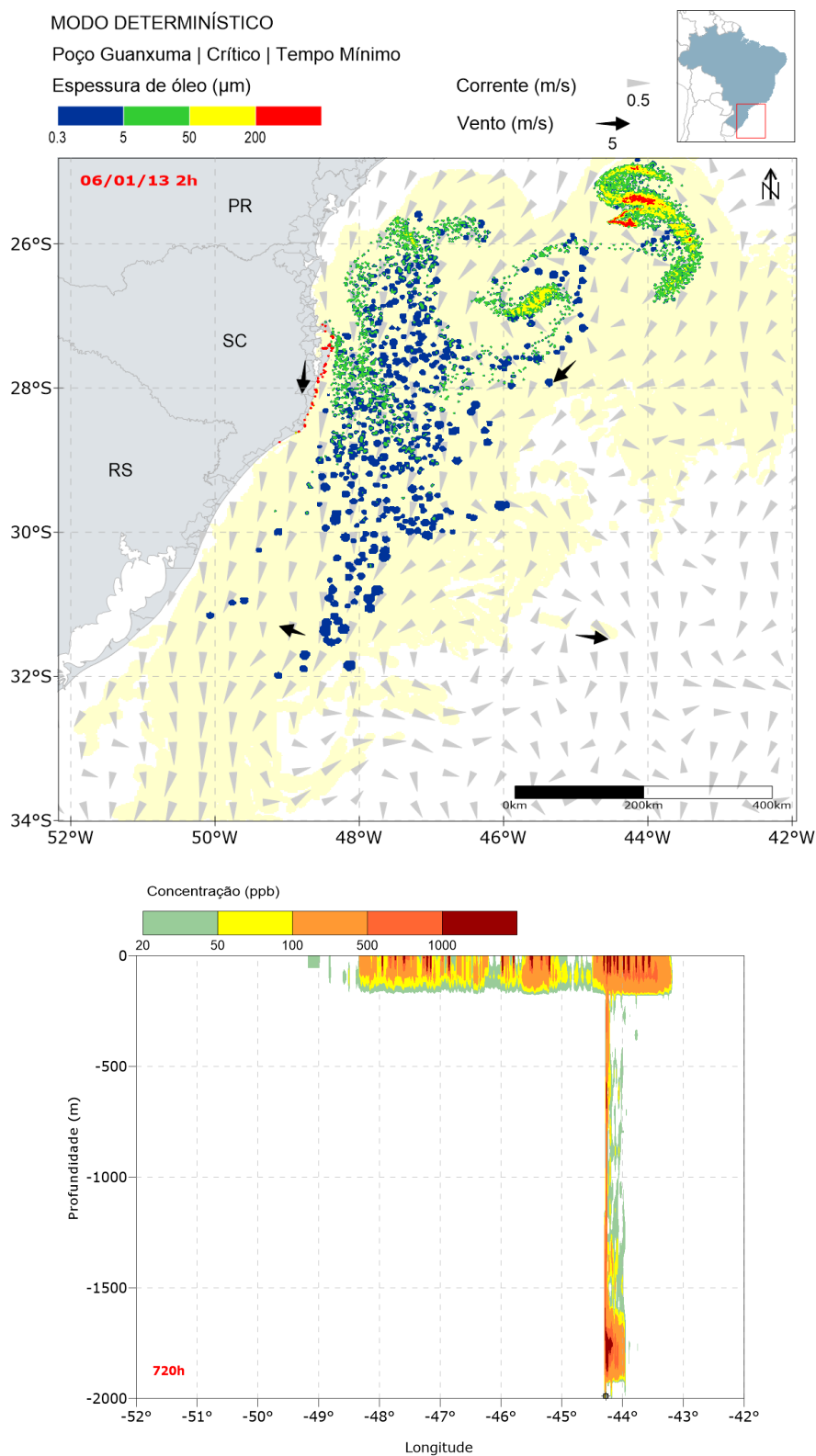


Figura 207: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

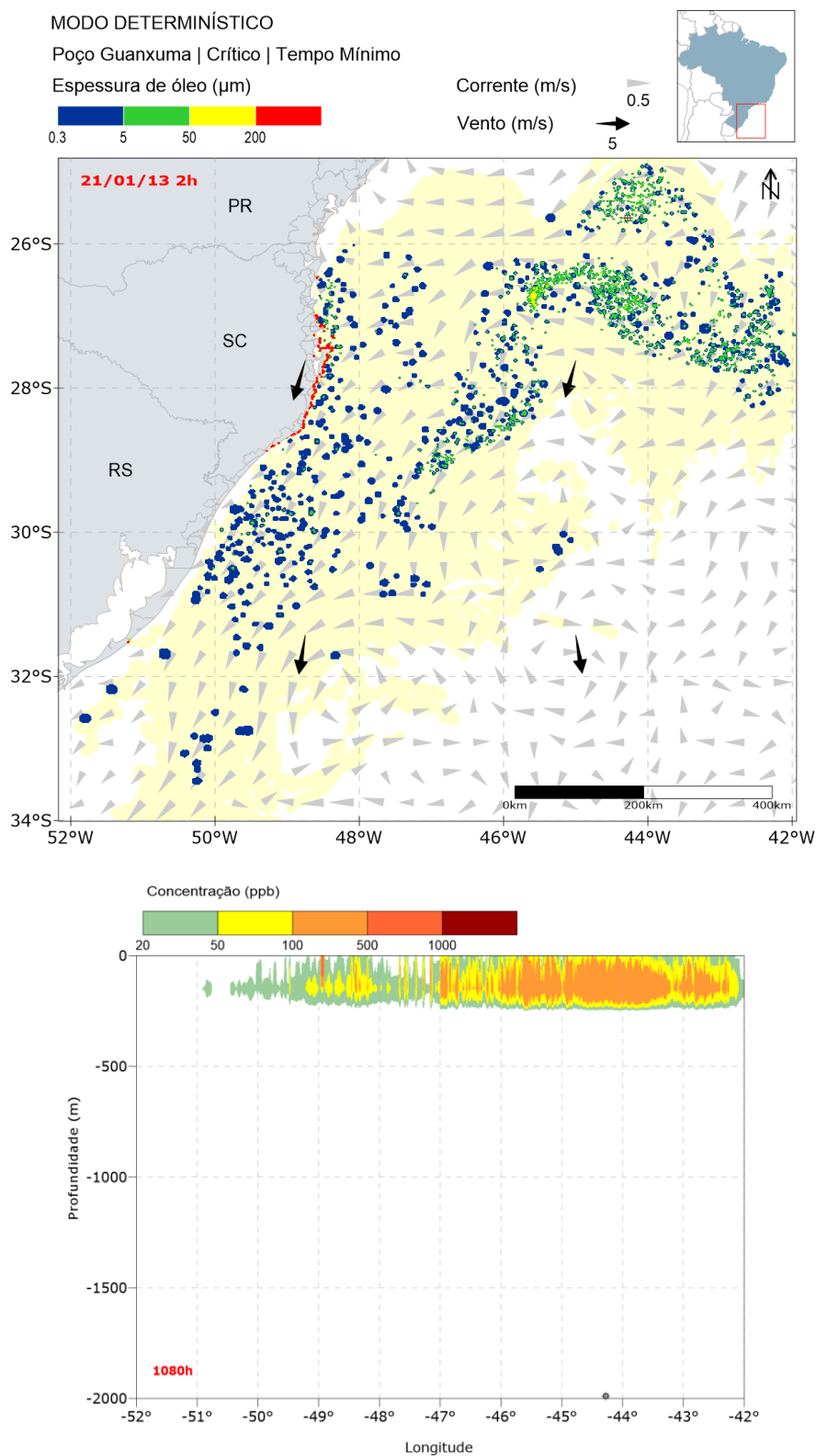


Figura 208: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

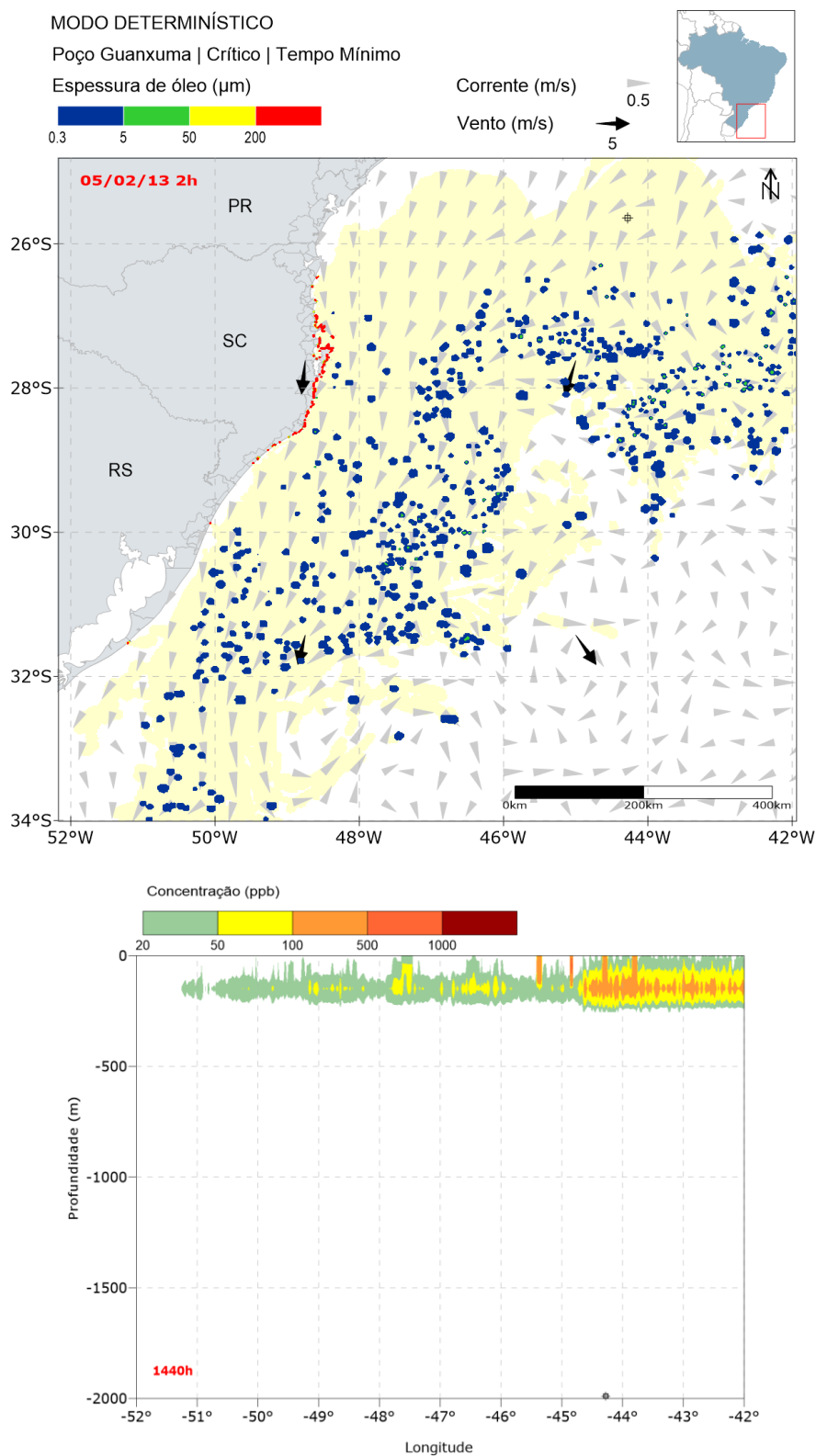


Figura 209: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

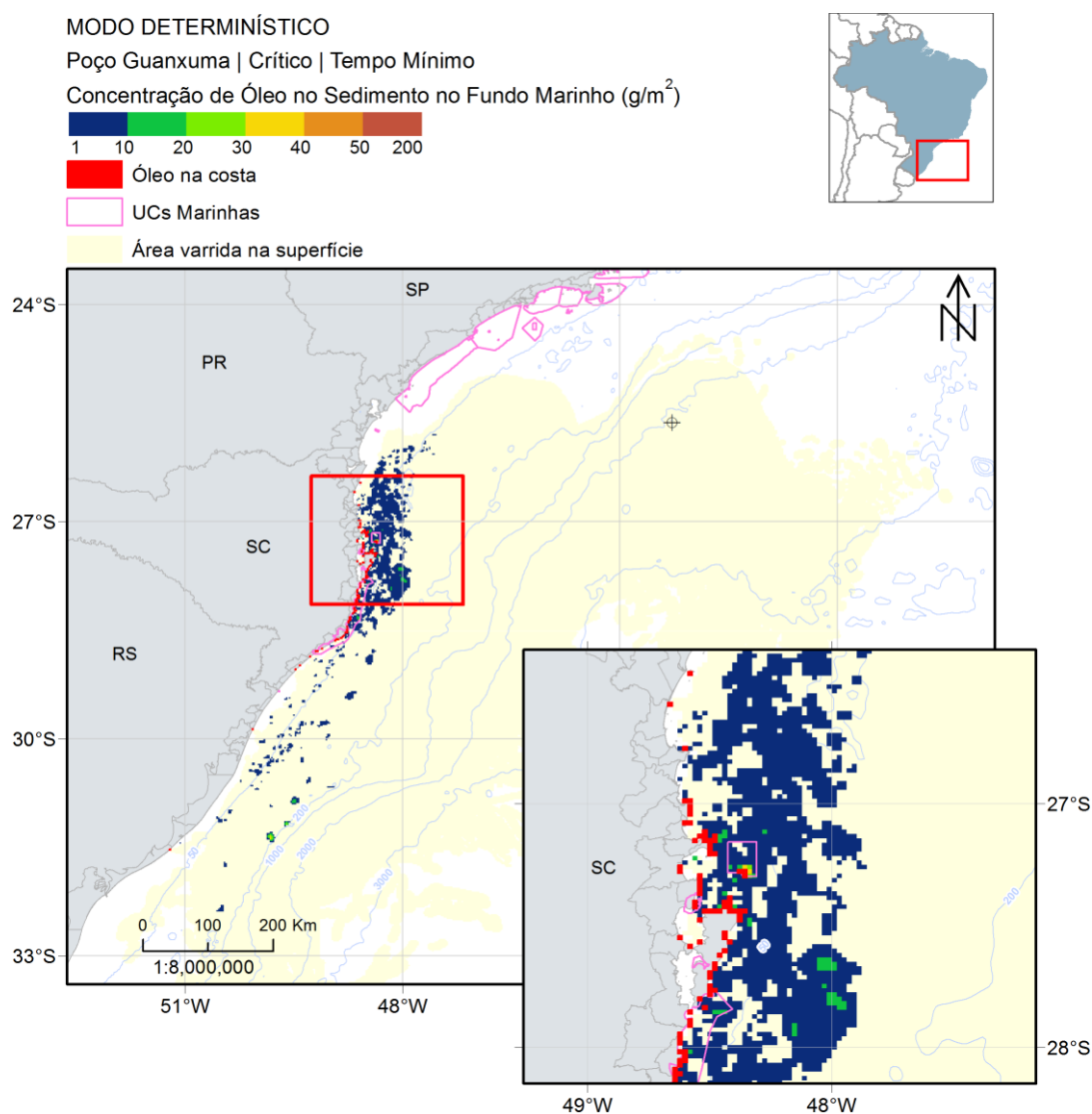


Figura 210: Mapa de concentração de óleo no sedimento do fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada à costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 1.167.000 m^3 a partir do Poço Guanxuma.

A deriva do óleo iniciou rumo a sudoeste do ponto de vazamento devido à Corrente do Brasil e aos ventos de nordeste no período inicial. Após uma semana, com a ocorrência de ventos de sudeste e mudança na direção da corrente para oeste, a mancha de óleo passa a deslocar para oeste/sudoeste, alcançando a costa em Laguna – SC após 15,59 dias. Após este instante e até 30 dias simulação, no fim do vazamento, a mancha de óleo em superfície continua a derivar em direção à costa, atingindo de Porto Belo - SC até Jaguaruna, município localizado mais a sul do estado de Santa Catarina. Após o término do vazamento em 30 dias, o óleo continua a se dispersar e até o fim de 60 dias de simulação o óleo em superfície alcança latitudes de 34°S e atinge mais municípios, tanto no estado de Santa Catarina quanto de outros estados, como o Rio Grande do Sul.

Em relação à coluna d'água, considerando que se trata de um vazamento de fundo, observam-se concentrações de até 1.000 ppb em torno de 44°16' W (restritas a longitude do ponto de vazamento), até uma profundidade de 1981 m nos primeiros 30 dias de simulação, período de vazamento. Após este instante, após a ascensão do óleo para a região mais próxima a superfície o óleo se dispersa na coluna d'água, concentrado nos primeiros 200 m de profundidade, podendo ser observado ao final de 60 dias desde a longitude de 42°W a 51°30'W. As concentrações variam de 20 a 500 ppb.

Em relação ao óleo associado ao sedimento, concentrações acima de 1g de óleo/m² ficaram restritas à região costeira do estado de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A concentração máxima observada foi de 35 g/m².em latitude próxima ao município de Tijucas - SC, em região mais rasa que 50m.

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo (Figura 211 e

Tabela 34) e a evolução da área em superfície impactada pelo e da massa de óleo (Figura 212 e Tabela 35) durante a simulação.

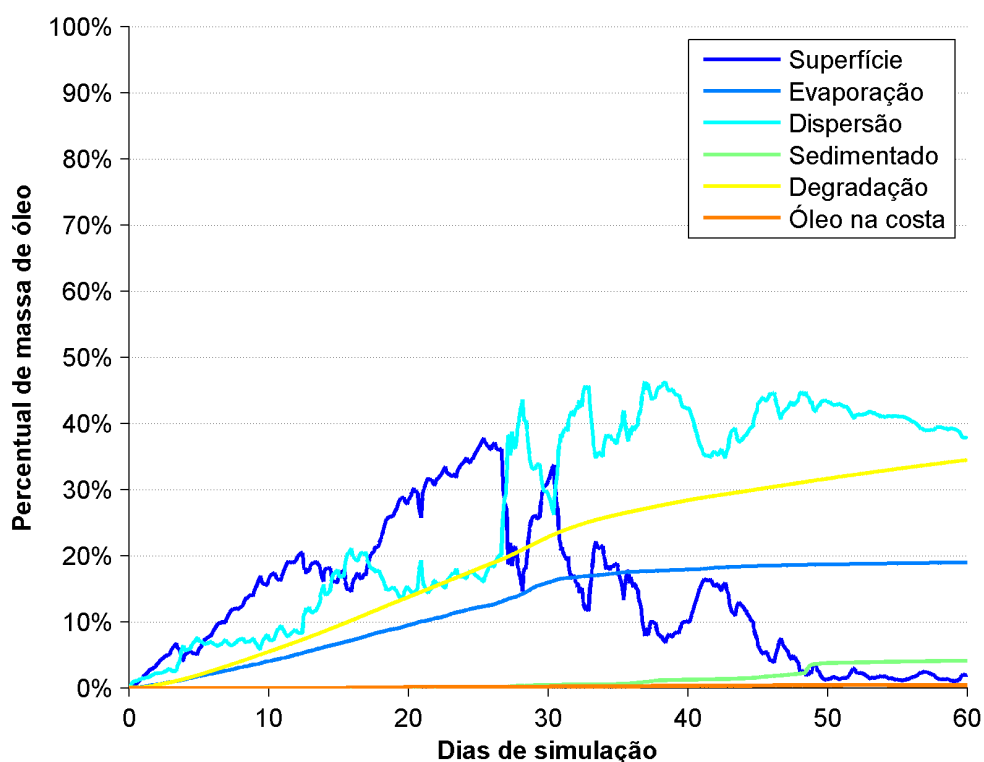


Figura 211: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada de óleo na costa. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Guanxuma.

Tabela 34: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais e de massa de óleo. Situação de menor tempo de chegada de óleo na costa.

Tempo (h)	Superfície (%)	Evaporado (%)	Coluna d'água (%)	Sedimento (%)	Degradado (%)	Costa (%)	Fora da grade (%)
12	0,57 (6003 t)	0,04 (447 t)	1,02 (10690 t)	-	0,03 (346 t)	-	-
36	2,67 (28040 t)	0,35 (3720 t)	1,72 (18010 t)	-	0,26 (2682 t)	-	-
60	4,62 (48520 t)	0,69 (7234 t)	2,39 (25070 t)	-	0,63 (6601 t)	-	-
168	10,51 (110300 t)	2,62 (27450 t)	6,89 (72330 t)	-	3,31 (34750 t)	-	-
336	17,58 (184400 t)	6,18 (64810 t)	14,35 (150600 t)	-	8,56 (89780 t)	-	-
374	16,29 (170900 t)	7,26 (76210 t)	19,70 (206700 t)	0,01 (138 t)	10,33 (108400 t)	0,03 (265 t)	-
504	28,75 (301600 t)	10,06 (105500 t)	16,48 (172900 t)	0,04 (446 t)	14,57 (152900 t)	0,12 (1236 t)	-
720	31,35 (328900 t)	15,92 (167000 t)	29,27 (307100 t)	0,42 (4451 t)	22,80 (239200 t)	0,19 (1946 t)	0,06 (629 t)
1080	6,63 (69610 t)	18,41 (193200 t)	42,62 (447200 t)	1,58 (16530 t)	30,01 (314900 t)	0,36 (3738 t)	0,38 (3990 t)
1440	1,96 (20570 t)	18,97 (199000 t)	37,70 (395500 t)	4,11 (43070 t)	34,46 (361500 t)	0,41 (4293 t)	2,40 (25220 t)

Os processos de intemperismos mais significativos durante a simulação foram a dispersão do óleo na coluna d'água (37,70%), seguido pela degradação (34,46%) e pela evaporação (18,97%). Ao final da simulação, a porcentagem de óleo acumulado na costa foi inferior a 1%, equivalente a 4.293 toneladas, enquanto menos de 2% permaneceu em superfície (20.570 toneladas). Uma porcentagem de 4,11% foi acumulada nos sedimentos e 2,40% saiu do domínio de modelagem.

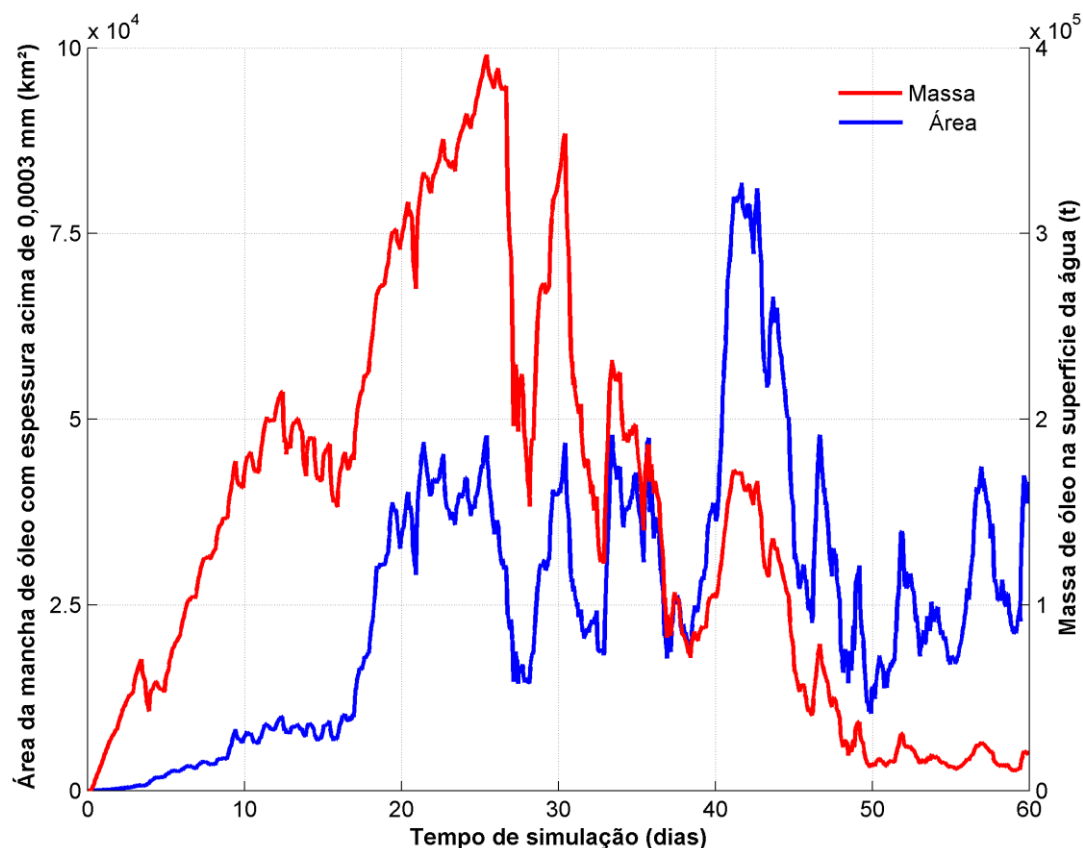


Figura 212: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tabela 35: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação.

Tempo (h)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	24	6003	603
36	148	28040	1313,1
60	380	48520	980,7
168	3340	110300	1473,4
336	8530	184400	2604,5
374	8830	170900	7657,1
504	36500	301600	15109
720	40200	328900	14811
1080	34400	69610	14606
1440	41500	20570	14309

A Figura 212 mostra um crescimento quase que contínuo da área e da massa de óleo em superfície ao longo dos primeiros 30 dias de simulação. Após esse tempo, com o encerramento

do vazamento, a massa de óleo em superfície decai em função dos processos intempéricos (principalmente da dispersão de óleo na coluna d'água), no entanto a área praticamente se mantém devido ao espalhamento, chegando a 41.500 km² ao final de 60 dias.

Os maiores valores de espessura, 15.109 µm, são observados após o início do toque de óleo na costa e conseqüente posterior acúmulo de uma maior quantidade de óleo.

3.2.2.1.2 Maior massa acumulada na costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado, que se estendeu por 60 dias, de 20/09/2011 às 21h até 19/11/2011 às 21h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

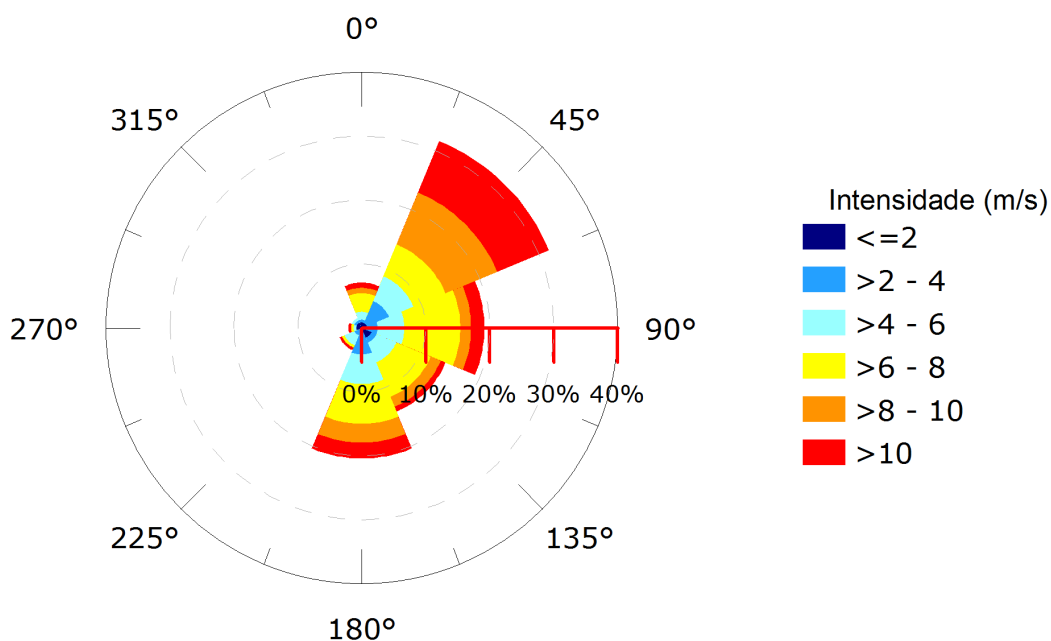


Figura 213: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 36: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção -> Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
0-2	2	2	-	4	1	-	2	2	5,4
2-4	1	9	6	2	9	3	0	1	12,9
4-6	3	10	10	8	11	4	1	1	20,0
6,8	7	13	21	14	15	1	1	-	30,0
8-10	2	21	4	4	7	-	-	-	15,8
>10	2	21	5	2	6	1	1	-	15,8
Freq. (%)	7,1	31,7	19,2	14,2	20,4	3,8	2,1	1,7	

Tabela 37: Estatística do vento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín (m/s)	Vel. máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
89	185	6,76	0,46	14,95	2,98

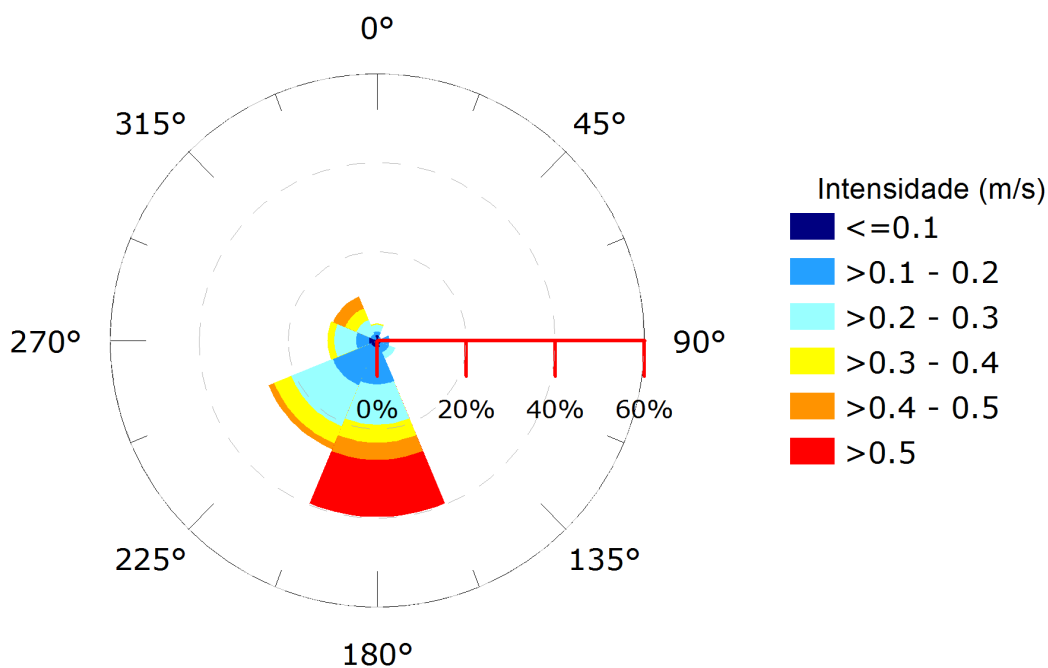


Figura 214: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 38: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
<0,1	8	3	7	7	11	11	13	2	8,6
0,1 - 0,2	6	4	13	14	60	67	21	9	27,0
0,2 - 0,3	11	-	-	11	65	72	35	25	30,5
0,3 - 0,4	2	-	-	-	29	30	11	20	12,8
0,4 - 0,5	-	-	-	-	28	10	-	21	8,2
>0,5	-	-	-	-	92	-	-	-	12,8
Freq. (%)	3,8	1,0	2,8	4,5	39,7	26,5	11,1	10,7	

Tabela 39: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín (m/s)	Vel máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
207	171	0,28	0,003	0,77	0,16

Pelos dados de vento (Figura 213, Tabela 36 e Tabela 37) no período da simulação ocorre a predominância de ventos de nordeste (31,7%), seguidos pelos ventos de sul e leste, com 20,4% e 19,2% respectivamente. As intensidades predominantes são entre 6 e 8 m/s (30,0%). As informações de correntes mostram que a direção preferencial é para S (39,7%) e as velocidades predominantes são entre 0,2 e 0,3 m/s (30,5%). (Figura 214, Tabela 38 e Tabela 39).

A seguir, da Figura 215 à Figura 223, é apresentada a deriva do óleo em superfície e na coluna d'água, além da área varrida (em amarelo claro nas figuras) pela mancha durante toda a simulação. O resultado na coluna d'água representa a integração dos valores de concentração de óleo ao longo da longitude, isto é, é apresentado o maior valor de concentração em cada ponto de grade relativo à longitude e a profundidade.

É também apresentado o mapa de concentração de óleo nos sedimentos ao final da simulação (Figura 224). Os mapas de concentração de óleo no fundo foram construídos considerando um valor limiar de 1g de óleo/m².

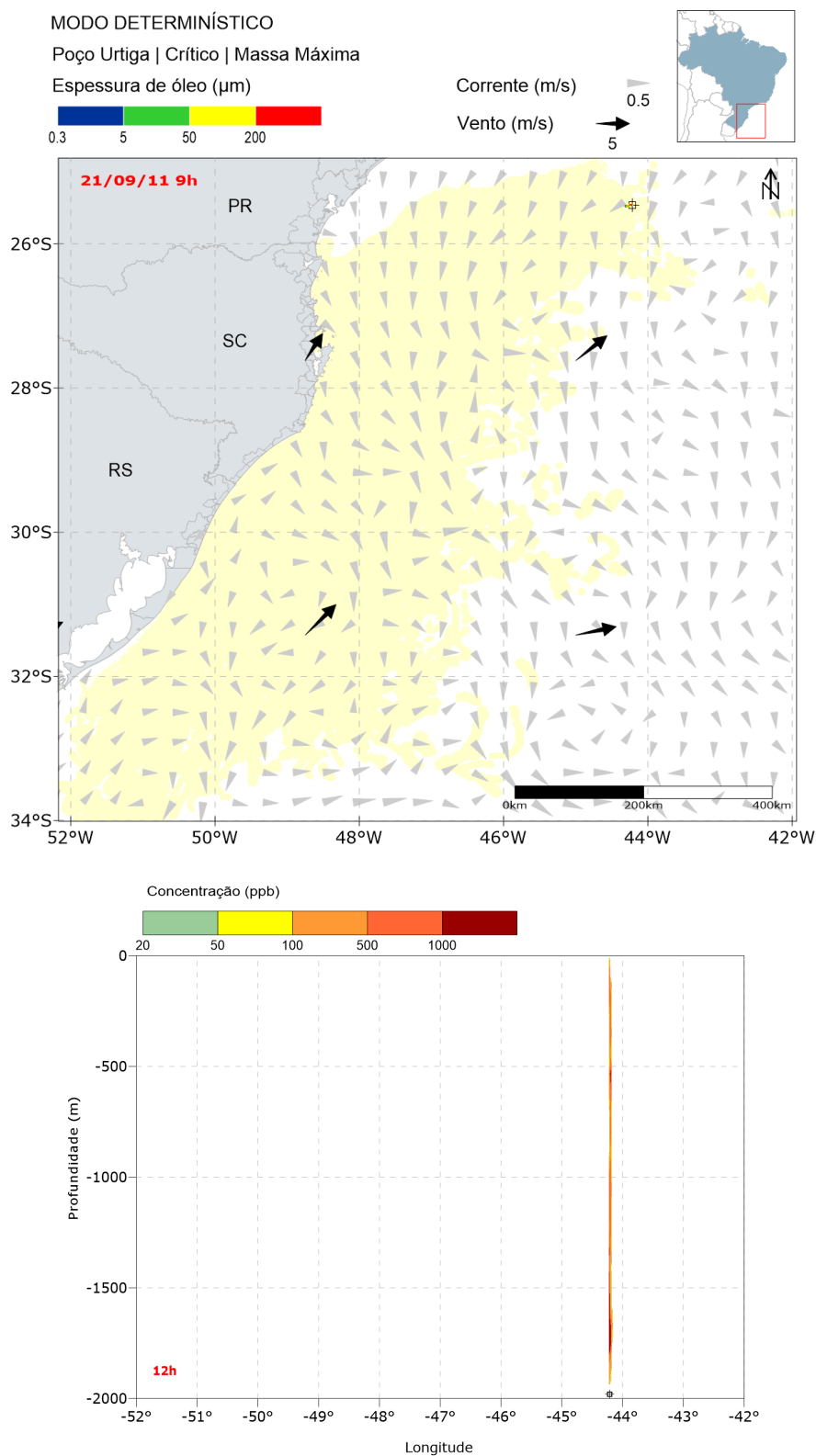


Figura 215: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

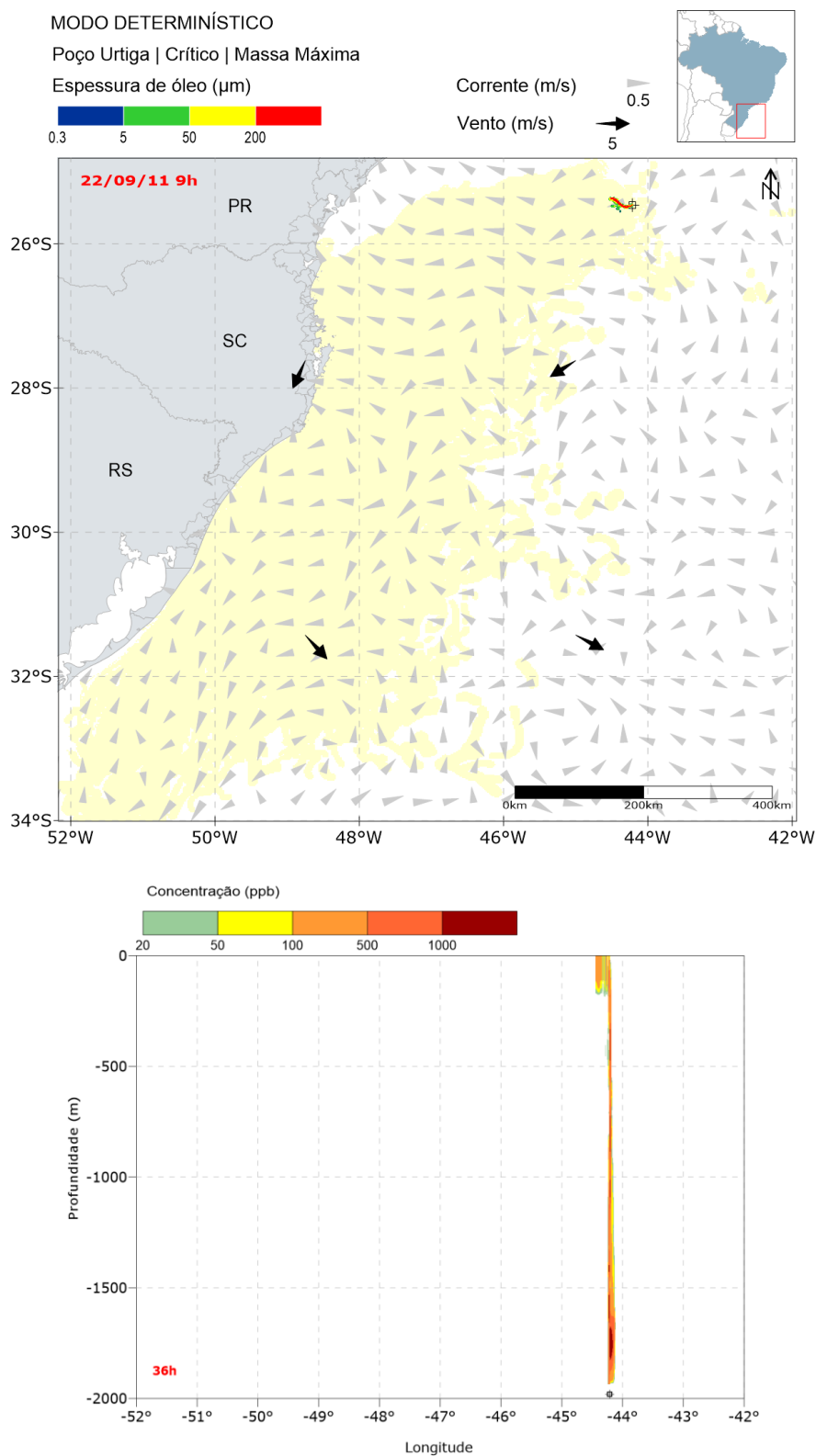


Figura 216: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

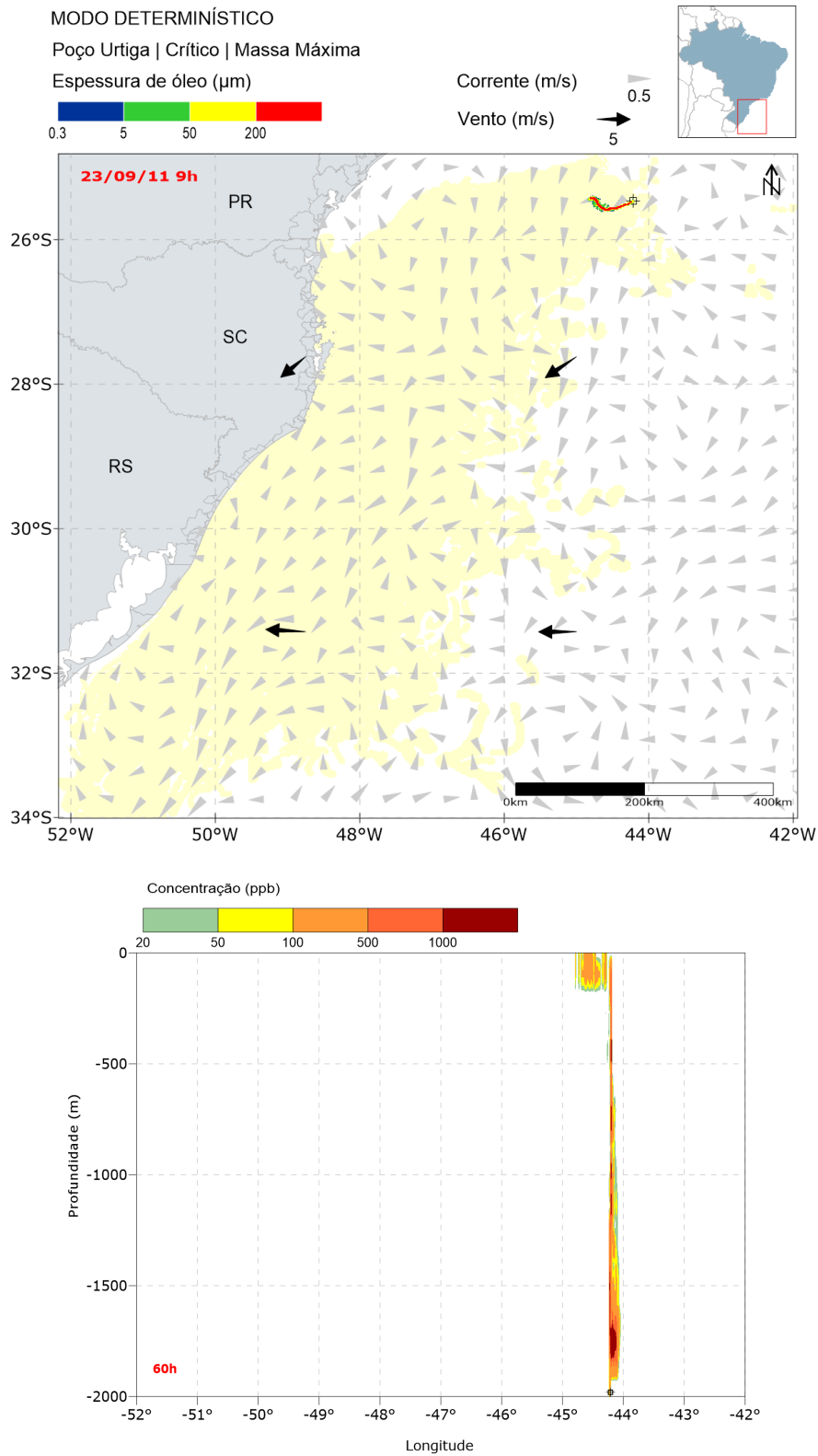


Figura 217: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

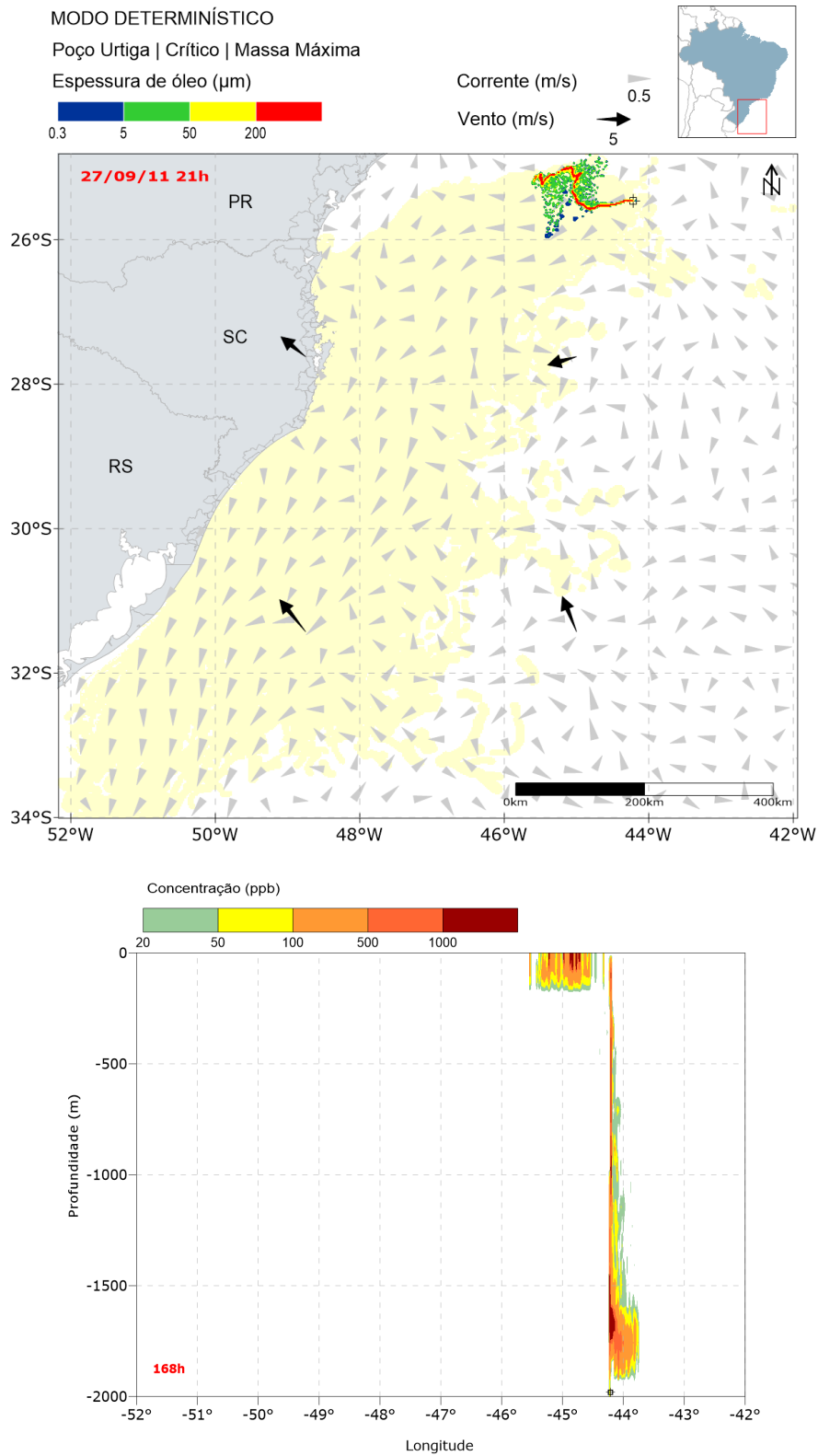


Figura 218: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

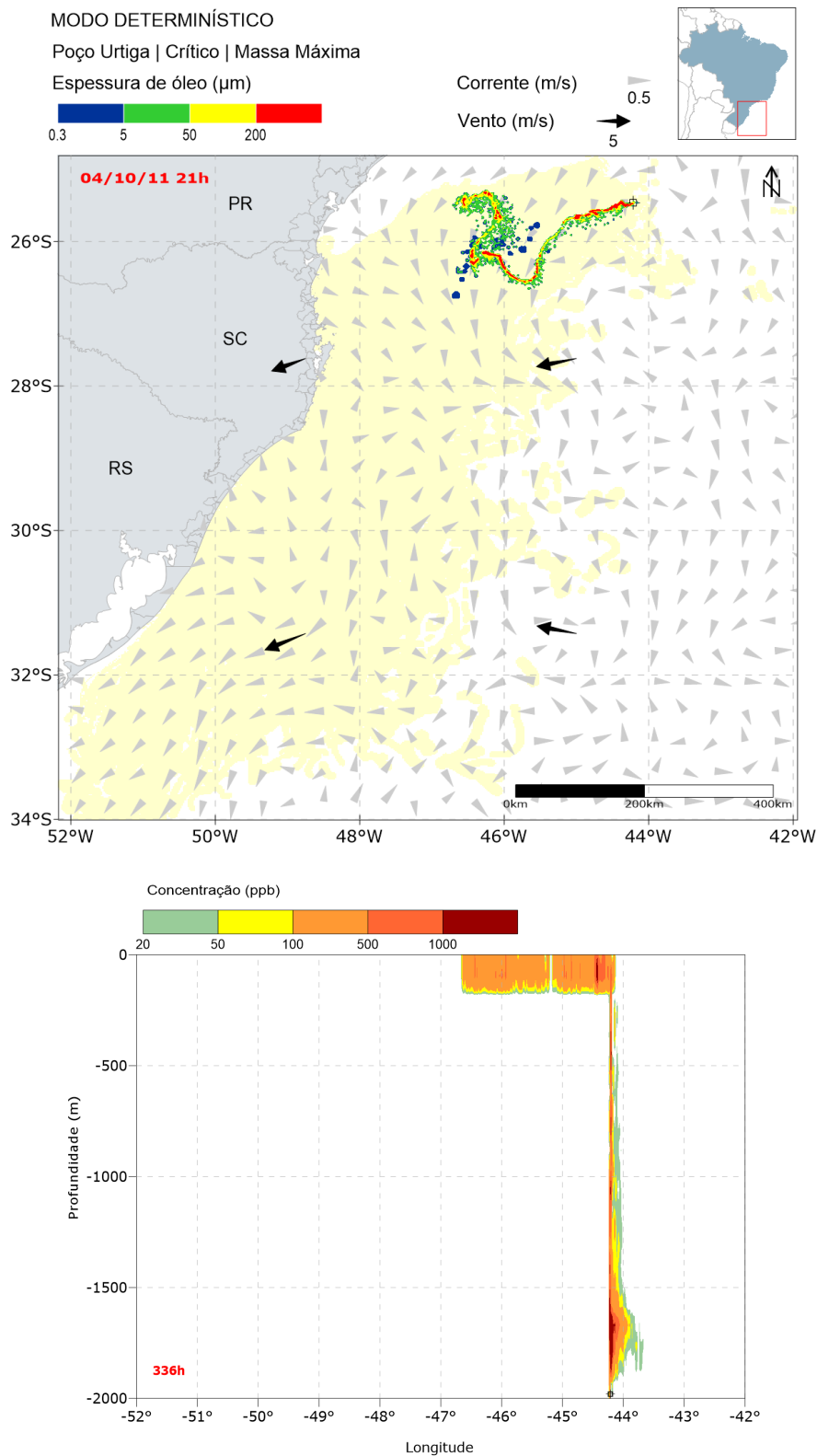


Figura 219: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

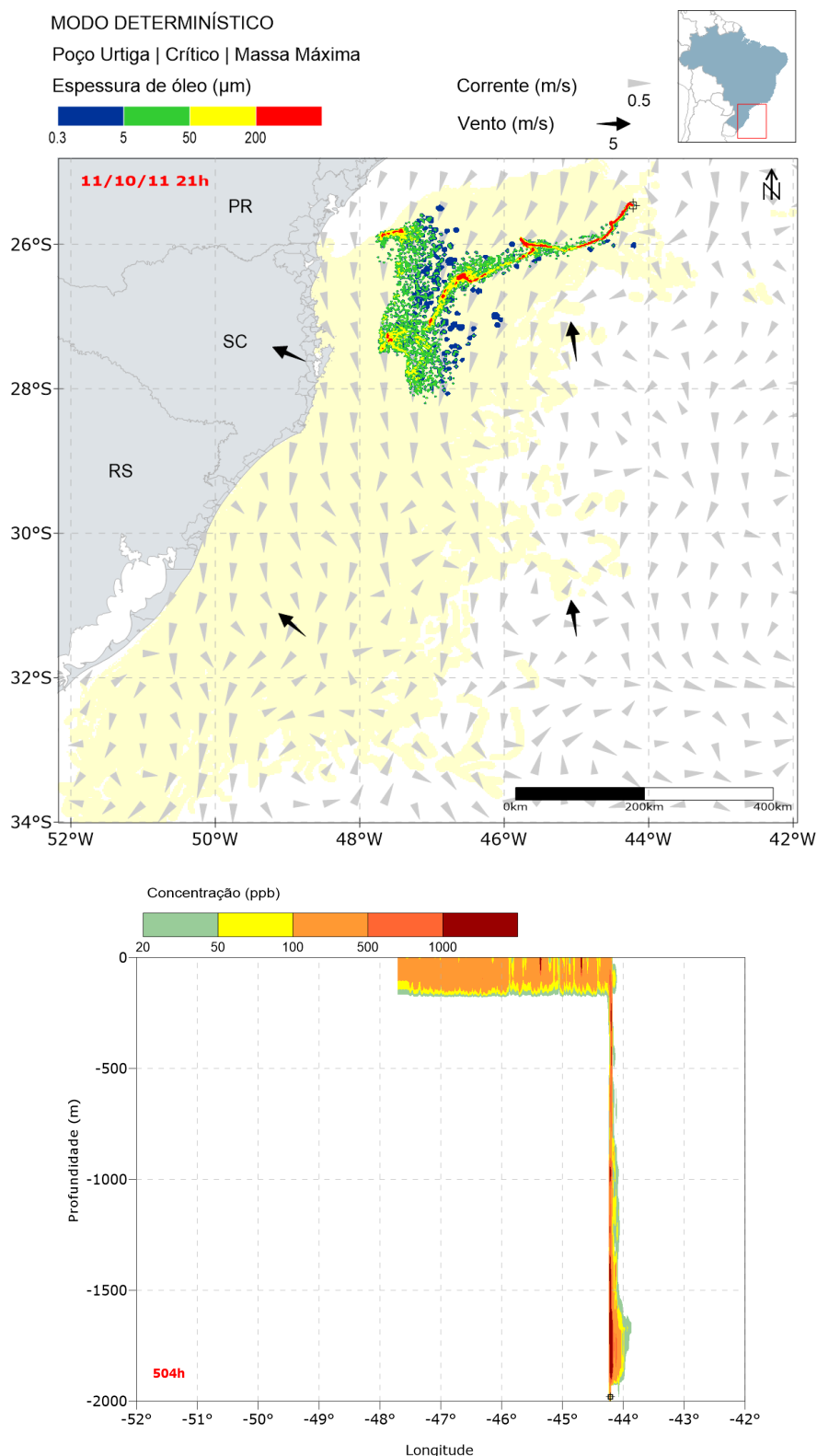


Figura 220: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

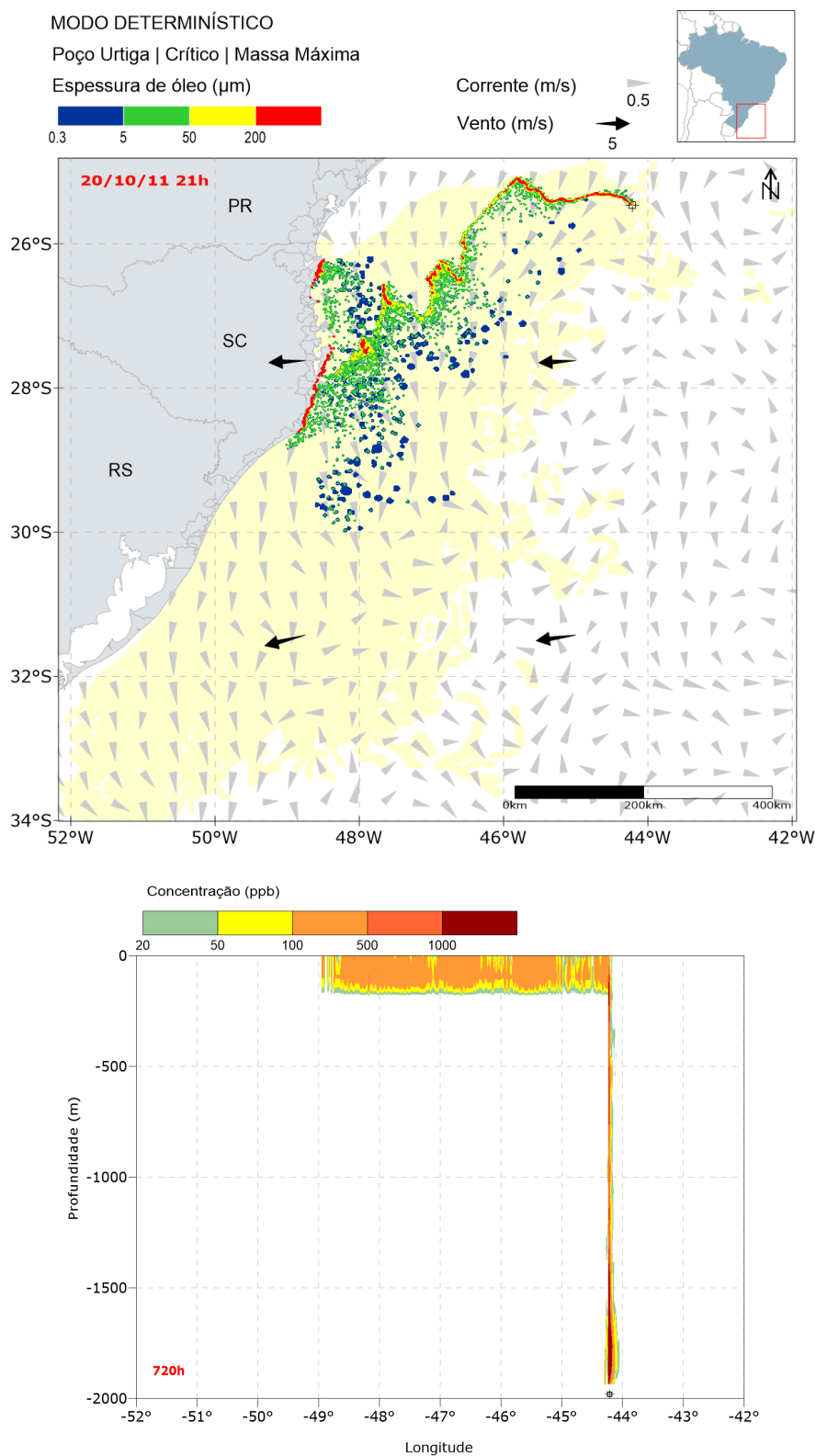


Figura 221: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

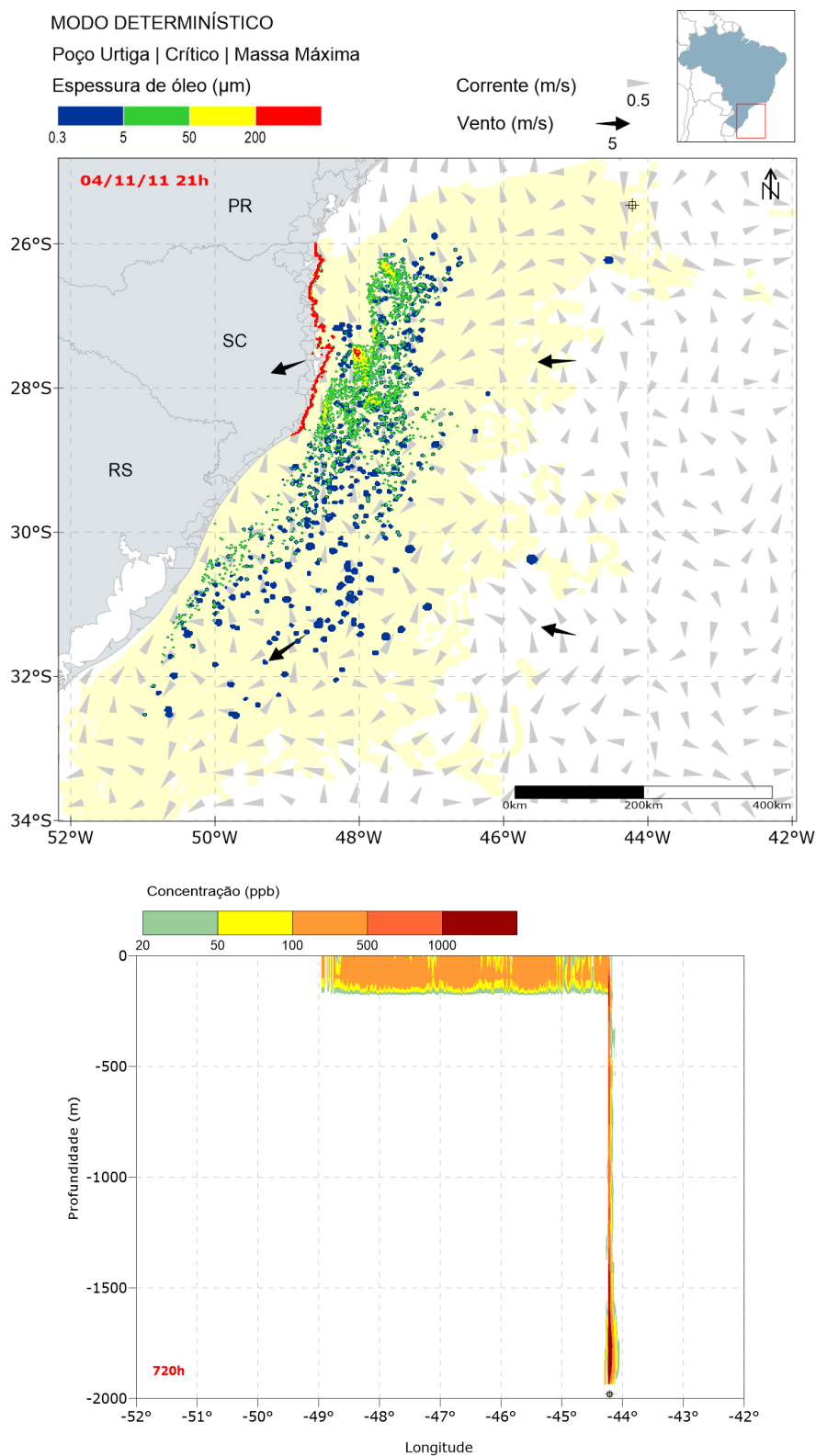


Figura 222: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

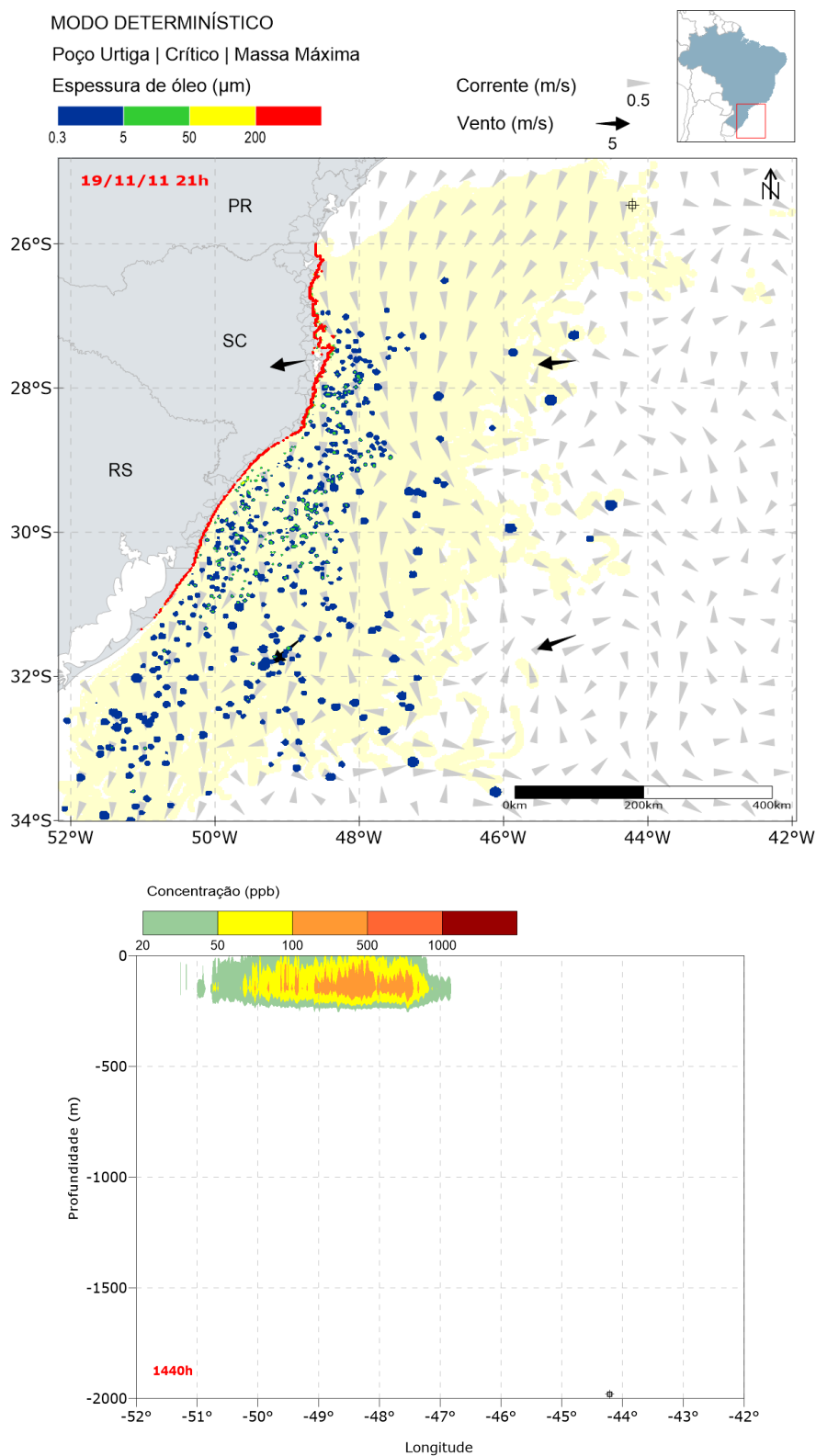


Figura 223: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

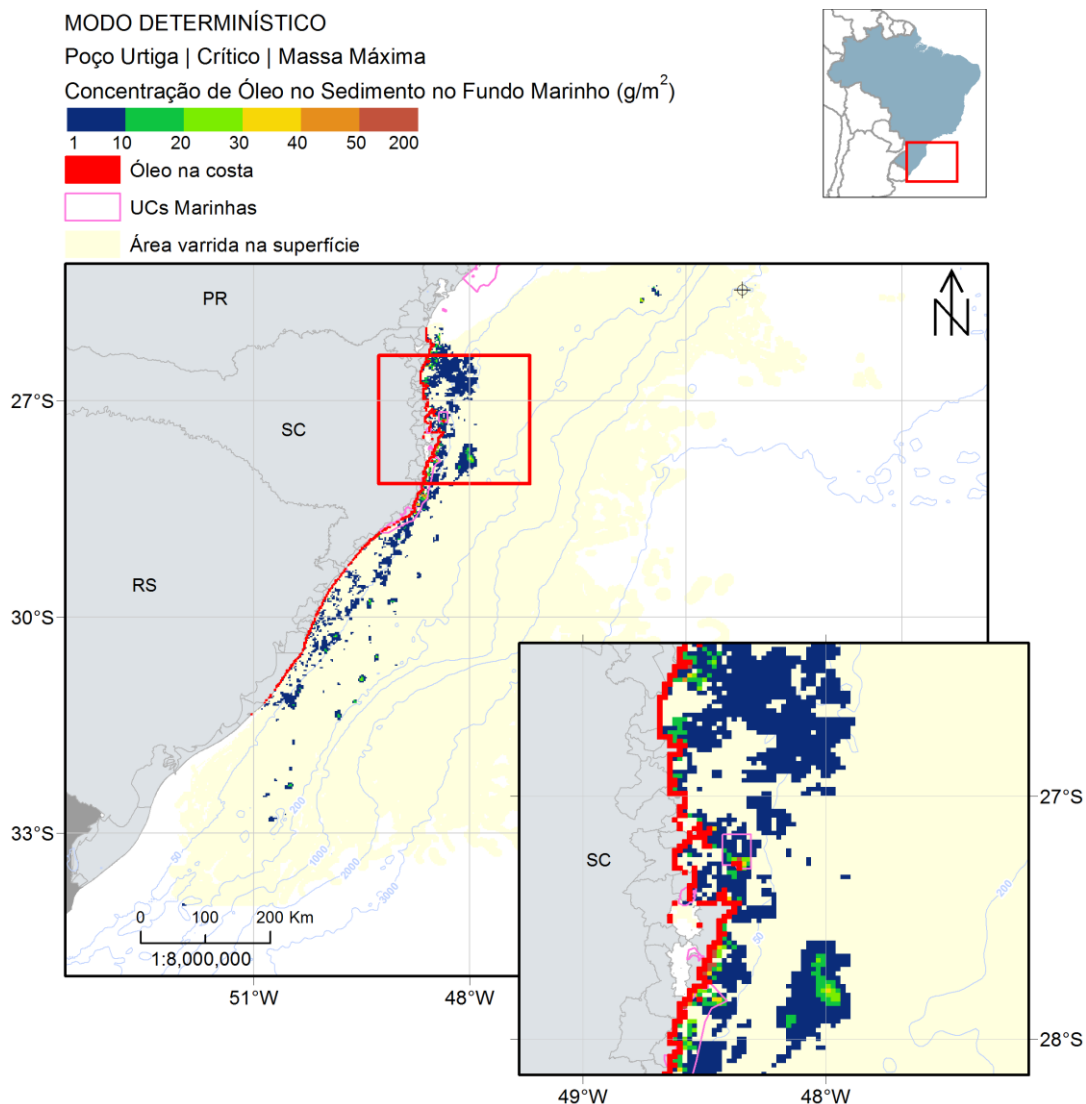


Figura 224: Mapa de concentração de óleo no sedimento do fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 1.167.000 m³ a partir do Poço Urtiga.

No cenário de massa máxima, a deriva do óleo inicialmente foi para oeste do ponto de vazamento devido às correntes predominantes. Este padrão se manteve nas 2 primeiras semanas, e em seguida a deriva passou a ser para sudoeste, se aproximando da costa até tocar no município de São Francisco do Sul - SC em 27,89 dias. Após o fim do vazamento de óleo, em 30 dias, o óleo em superfície continua sua deriva para sudoeste e é direcionado para junto à costa, atingindo ao final de 60 dias de simulação, desde a divisa entre Paraná e Santa Catarina, até o município de Tavares, no estado do Rio Grande do Sul. Já o óleo que permanece em superfície alcança latitudes a sul de 34°S.

Por se tratar de um vazamento de fundo, as maiores concentrações na coluna d'água, acima de 500 ppb, foram verificadas inicialmente próximo ao fundo e na mesma latitude do ponto de vazamento. A medida que o tempo de simulação passa o óleo na coluna d'água alcança intervalos de longitudes maiores e as maiores concentrações (entre 100 e 500 ppb) são observadas nos primeiros 200 metros de profundidade.

Em relação ao óleo associado ao sedimento, concentrações acima de 1g de óleo/m² foram observadas ao longo do estado de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul, em profundidades até 200 m. A concentração máxima observada foi de 201 g/m², próximo ao município de Florianópolis e Bombinhas, ambos em Santa Catarina.

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo (Figura 225 e Tabela 40) e a evolução da área atingida por óleo em superfície e a massa de óleo (Figura 226 e Tabela 41) durante a simulação.

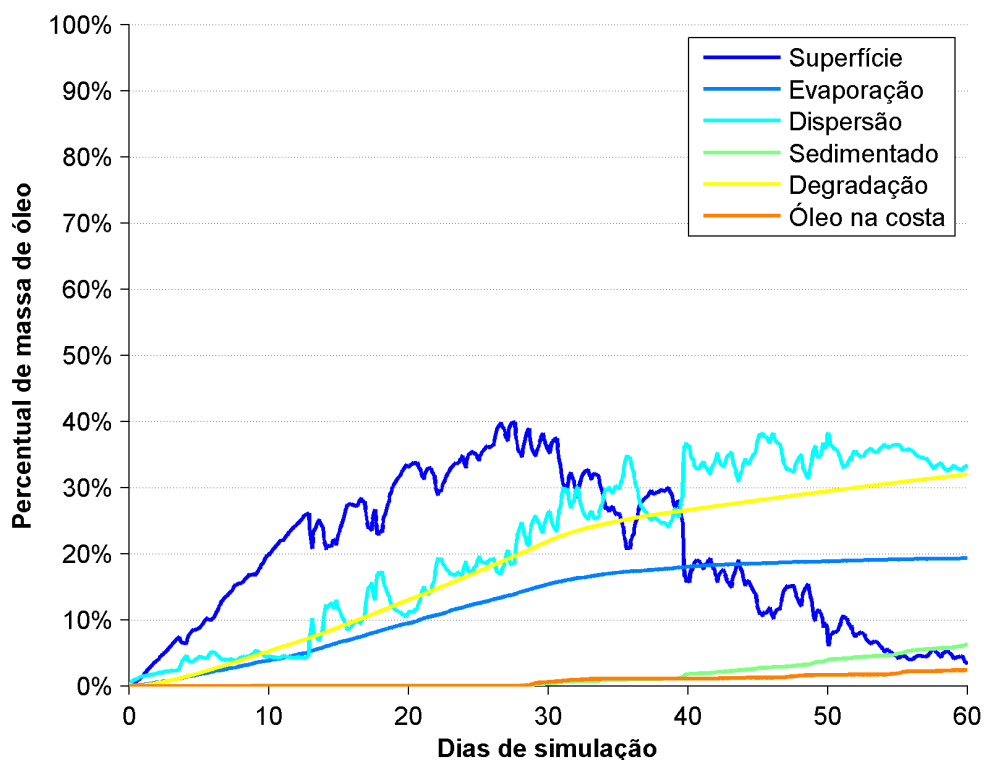


Figura 225: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Volume de 94.080 m³.

Tabela 40: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais e de massa de óleo. Situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tempo (h)	Superfície (%)	Evaporado (%)	Coluna d'água (%)	Sedimento (%)	Degradado (%)	Costa (%)	Fora da grade (%)
12	0,60 (6313 t)	0,04 (443 t)	0,99 (10410 t)	-	0,03 (316 t)	-	-
36	2,78 (29180 t)	0,34 (3559 t)	1,63 (17110 t)	-	0,25 (2611 t)	-	-
60	4,91 (51520 t)	0,69 (7248 t)	2,12 (22200 t)	-	0,62 (6457 t)	-	-
168	13,60 (142700 t)	2,54 (26650 t)	3,99 (41820 t)	-	3,21 (33670 t)	-	-
336	21,73 (228000 t)	5,90 (61850 t)	10,96 (115000 t)	0,01 (58 t)	8,05 (84460 t)	-	0,02 (165 t)
504	31,57 (331200 t)	10,13 (106300 t)	14,46 (151700 t)	0,01 (72 t)	13,82 (145000 t)	-	0,01 (151 t)
720	35,56 (373100 t)	15,37 (161200 t)	26,27 (275600 t)	0,33 (3540 t)	21,87 (229400 t)	0,60 (6253 t)	0,05 (498 t)
1080	11,81 (123900 t)	18,49 (194000 t)	37,24 (390700 t)	2,68 (28080 t)	28,04 (294200 t)	1,23 (12880 t)	0,52 (5420 t)
1440	3,58 (37530 t)	19,26 (202100 t)	33,03 (346500 t)	6,29 (65990 t)	31,97 (335400 t)	2,38 (24970 t)	3,49 (36610 t)

Os processos de intemperismo mais importantes ao longo da simulação foram a dispersão na coluna d'água, contribuindo com 33,03% e a degradação, com 31,97%. A porcentagem do óleo no final da simulação acumulada na costa foi de 2,38%, o equivalente a 24.970 toneladas. Já o remanescente na superfície ao final foi de 3,58% do total, e o remanescente no sedimento foi de 6,29%, cerca de 65.990 toneladas. Menos de 3,5% saiu do domínio de modelagem.

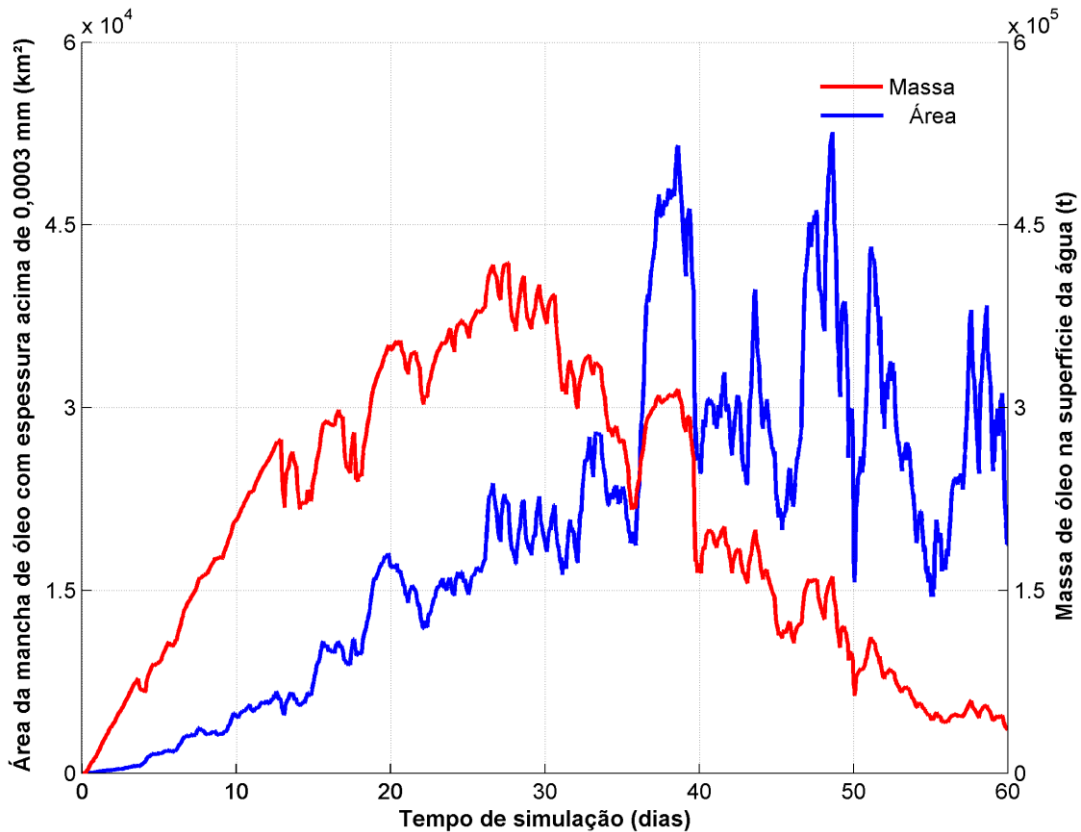


Figura 226: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tabela 41: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo e a massa de óleo do óleo durante a simulação.

Tempo (h)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	12	24	6313
36	36	196	29180
60	60	328	51520
168	168	3080	142700
336	336	5660	228000
504	504	14600	331200
720	720	18800	373100
1080	1080	22400	123900
1440	1440	20300	37530

O gráfico da massa de óleo na superfície da área mostra um crescimento até aproximadamente 28 dias de simulação, a partir do qual começa o acúmulo de óleo na costa e diminuição da massa em superfície. Em relação à área da mancha em superfície, ela apresenta um máximo

em aproximadamente 38 dias, a partir do qual apresenta oscilações em função do acúmulo na costa e do espalhamento do óleo remascente.

Em relação à espessura máxima, pode-se dizer que há uma grande diferença nos valores observados após 21 dias (504 h). Essa diferença ocorre devido ao início do acúmulo de óleo na costa a partir de 27,89 dias. A espessura máxima é observada no final do período de vazamento (30 dias - 720horas), com valor de 373.100 μm .

4. Conclusão

O modelo numérico hidrodinâmico de coordenadas sigma ROMS foi aplicado na região do bloco BM-S-8, utilizando uma grade com resolução espacial de aproximadamente 6,5 km. As condições de contorno e iniciais implementadas no modelo numérico foram obtidas a partir dos resultados do Mercator, com o modelo sendo forçado pelas variáveis atmosféricas do projeto ERA-Interim do *ECMWF* e pelo modelo global de marés TPX07.

Os resultados das comparações entre os resultados do ROMS e os dados medidos, tanto para temperatura quanto para a elevação de maré e para os dados de correntes, mostraram que o modelo numérico foi capaz de reproduzir bem a circulação oceânica e costeira da região em estudo.

Após comparações com dados observados de várias fontes, relativos à temperatura de superfície do mar (TSM), estrutura termohalina, maré e derivadores, os resultados do modelo hidrodinâmico foram considerados aptos a serem utilizados para as simulações de transporte de material no oceano realizadas para o Bloco BM-S-8. Neste pode-se obter as variações espaço-temporais da circulação, levando-se em conta mudanças sazonais, infra-sazonais e diurnas, o que garante aos resultados das simulações de transporte uma maior confiabilidade, pois estes irão contemplar uma ampla gama de situações ambientais ocorrentes na região de estudo.

As simulações probabilísticas da modelagem de dispersão de óleo mostraram que a direção preferencial da deriva de óleo em superfície e na coluna d'água é para sudoeste, sendo o fluxo da Corrente do Brasil, a principal forçante. No entanto, observa-se uma variação sazonal neste padrão. No Período 1, devido aos ventos predominantes de nordeste, a área de maiores probabilidades é deslocada em direção à costa, enquanto no Período 2, devido à maior variação da direção dos ventos, com maior frequência de ventos de segundo quadrante e inversão de correntes sob a plataforma, o óleo alcança áreas mais a norte. Além disso, no Período 2, a parte do óleo que flui para sudoeste tem sua deriva mais afastada da costa ao sul do estado de São Paulo, havendo probabilidades menores de toque na costa quando comparado ao Período 1.

Em todos os vazamentos a partir da superfície de 8 m³ e 200 m³ contemplados neste estudo não houve probabilidade do óleo atingir a costa, considerando 30 dias de acompanhamento e o limite visual de 0,3 µm. O município de Ilhabela- SP foi o que apresentou maior proximidade com a área de probabilidade de óleo nestes cenários, cerca de 140 km de maneira geral, uma vez que a área de probabilidade se manteve em regiões mais profundas que 200 m.

No que tange às simulações com vazamento do volume de pior caso (1.167.000 m³) a partir do fundo, a cerca de 1990 m de profundidade, tanto para os vazamentos ocorridos a partir do poço Urtiga quanto a partir do poço Guanxuma, no Período 1 são observadas maiores probabilidades

e massas de óleo na costa e os menores tempos de chegada que no Período 2. Entre os dois poços de vazamento simulados, o poço Urtiga é cerca de 10 km mais próximo da costa que o poço Guanxuma e apesar de apresentarem área de probabilidade de óleo em superfície e na coluna d'água semelhantes, assim como extensão de toque na costa semelhante, é possível observar que os valores de probabilidades na costa são de forma geral maiores quando o vazamento é a partir do Poço Urtiga e os valores de tempo de chegada relativamente menores quando o vazamento é a partir do poço Guanxuma.

Na costa, o município de Imbituba – SC apresentou a maior probabilidade de presença de óleo, 56,7%, no vazamento a partir do Poço Urtiga no Período 1. Para esse período municípios desde Peruíbe – SP até Santa Vitória do Palmar – RS apresentam probabilidade de serem atingidos. Já no Período 2, a extensão da costa vai desde Angra dos Reis (Ilha Grande) – RJ até Jaguaruna – RS.

Na superfície o óleo pode atingir distâncias de até 190 km em 3 dias e de 460 km em 10 dias de simulação. E na costa, o menor tempo de chegada de óleo ocorreu em 15,59 dias em Laguna– SC, no vazamento a partir do Poço Guanxuma no Período 1.

Em todas as simulações probabilísticas a partir da superfície (de 8m³ e 200 m³) a dispersão de óleo na coluna d'água foi o principal processo de intemperismo responsável pela retirada do óleo da superfície do mar, apresentando mediana em torno de 43% do total dos vazamentos, seguido pela evaporação (mediana em torno de 38%). Nos cenários de pior caso, com vazamentos de fundo, a dispersão do óleo na coluna d'água também foi o processo de intemperismo mais significativo, seguido pela degradação, apresentando medianas entre 38% e 42%, e entre 30% e 35%, respectivamente. A porcentagem de óleo que chega à costa nestes cenários, apesar de representarem uma quantidade de massa significativa, chegando a cerca de 31475 toneladas, é inferior a 3% do volume total de óleo vazado.

Em relação às unidades de conservação, de maneira geral, considerando todas as simulações realizadas a partir dos dois poços, 15 UCs marinhas apresentaram probabilidade de presença de chegada de óleo. A maior probabilidade foi de 71,4% na APA da Baleia Franca para o vazamento de Pior Caso a partir do poço Urtiga, enquanto o menor tempo de toque foi de 14,4 dias na APA Marinha do Litoral Centro no vazamento de Pior Caso a partir do poço Guanxuma no Período 2.

Já em relação às UCs costeiras, 45 podem ser atingidas. A maior probabilidade foi de 46,6% observada no PNM da Lagoinha do Leste no vazamento a partir do poço Urtiga no Período 1. Já o menor tempo de toque foi de 16 dias para o vazamento a partir do poço Guanxuma também no Período 1.

Com base nos resultados do modo probabilístico, foram definidos dois cenários críticos para o vazamento de *pior caso*: um que representou o menor tempo de toque na costa, que ocorreu a

partir do Poço Guanxuma, e o outro a maior massa de óleo acumulada na costa, que ocorreu no vazamento a partir do Poço Urtiga. Ambos ocorreram no Período 1 (setembro a fevereiro).

A simulação de tempo mínimo de toque na costa apresentou deriva inicial para sudoeste do ponto de vazamento devido à Corrente do Brasil e aos ventos de nordeste. O primeiro toque foi no município de Laguna – SC, que foi atingido em 15,59 dias. Após o término do vazamento em 30 dias, o óleo continua a se dispersar e até o fim de 60 dias de simulação o óleo em superfície alcança latitudes de 34°S e atinge mais municípios, tanto no estado de Santa Catarina quanto de outros estados, como o Rio Grande do Sul.

Já na simulação de massa máxima acumulada, o óleo apresentou sua deriva inicialmente para oeste e depois para sudoeste com o primeiro toque na costa após 27,89 dias, no município de São Francisco do Sul – SC, e ao final o óleo atinge desde a divisa entre Paraná e Santa Catarina, até o município de Tavares, no estado do Rio Grande do Sul. Já o óleo que permanece em superfície alcança latitudes a sul de 34°S.

Em ambos os casos determinísticos, por se tratar de um vazamento de fundo, as maiores concentrações na coluna d'água, acima de 500 ppb, foram verificadas inicialmente próximo ao fundo e na mesma latitude dos pontos de vazamento. A medida que o tempo de simulação passa o óleo na coluna d'água alcança intervalos de longitudes maiores e as maiores concentrações (entre 100 e 500 ppb) são observadas nos primeiros 200 metros de profundidade.

Em relação ao óleo associado ao sedimento, concentrações acima de 1g de óleo/m² ficaram restritas à região costeira do estado de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em profundidades até 200 m. As máximas concentrações foram observadas próximo ao município de Florianópolis e Bombinhas, ambos em Santa Catarina, em região mais rasa que 50m.

5. Bibliografia

- AMANTE, C., and B.W. EAKINS. 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, Whole-world grids available on-line at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado U.S.A.
- ANDRADE, R.C., 2006 Uma Nova Abordagem para a Solução Numérica de Problemas de Advecção e Difusão Multidimensional, em Corpos de Água Naturais. Tese de doutorado do Programa de Engenharia Oceânica – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica – COPPE/UFRJ.
- 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.
- BOWDEN, K.F. 1983. Physical oceanography of coastal waters. John Wiley, NY, 302 p.
- BRANDVIK, P., JOHANSEN, Ø., LEIRVIK, F., FAROOQ, U. and DALING, P. (2012). Droplet breakup in sub-surface oil releases - Part 1: Experimental study of droplet breakup and effectiveness of dispersant injection, Submitted to Marine Pollution Bulletin October 2012.
- 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.
- CARVALHO, J.L.B. 2003. 190 p. Modelagem e Análise do Lançamento de Efluentes Através de Emissários Submarinos. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CHAPMAN, D. C., 1985: Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model, J. Phys. Oceanogr., 15, 1060--1075.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2007. Resolução Conama nº 393. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2008. Resolução Conama nº 398. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- DELVIGNE G.A.L.; SWEENEY C.E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.
- EGBERT, G.D., EROFEEVA, S. Y, 2002: Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, J. Atmos. Oceanic Technol., 19(2), 183-204.

- 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 nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.
- ETKIN, D.S., FRENCH-MCCAY, D.; MICHEL, J. 2007. Review of the State-of-the-Art on Modeling Interactions between Spilled Oil and Shorelines for the Development of Algorithms for Oil Spill Risk Analysis Modeling. Available from BOEM Environmental Division, Branch of Environmental Sciences. OCS Study MMS 2007-063. 161 p.
- FAIRALL, C.W., E.F. BRADLEY, D.P. ROGERS, J.B. EDSON and G.S. YOUNG, 1996: Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment, *J. Geophys. Res.*, 101, 3747-3764.
- FISCHER ET AL, 1979. *Mixing in Inland and Coastal Waters.*, Academic Press, New York, 1979.
- FLATHER, R.A., 1976. A tidal model of the North-West European continental shelf. *Mém. Soc. R. Soc. Liège* 9, 141–164.
- GABARDO. I. T., 2007. Caracterização Química e Toxicológica da água Produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande Norte. UFRN.
- HAIDVOGEL, D. B. and A. BECKMANN, 1999: *Numerical Ocean Circulation Modeling*. Imperial College Press.
- HAIDVOGEL, D. B., H. G. ARANGO, K. HEDSTRON, A. BECKMAN, P. MALANOTTE-RIZZOLI, and A. F. SCHEPETK (2000), Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates, *Dyn. Atmos. Oceans*, 32, 239-281.
- HAIDVOGEL, D. B., H. ARANGO, W. P. BUDGELL, B. D. CORNUELLE, E. CURCHISTER, E. DI LORENZO, K. FENNEL, W. R. GEYER, A. J. HERMANN, L. LANEROLLE, J. LEVIN, J. C. McWILLIAMS, A. J. MILLER, A. M. MOORE, T. M. POWELL, A. F. SHCHEPETKIN, C. R. SHERWOOD, R. P. SIGNELL, J. C. WARNER, and J. WILKIN, 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Journal of Computational Physics*, 227, 3595-3624.
- HANSEN, D. V.; POULAIN, P. M. Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, v. 13, n. 4, p. 900–910, 1996.
- HOULT, D. P. Oil spreading on the sea. *Annual Review of Fluid Mechanics*, p. 341-367, 1972.
- JOHANSEN, Ø. 2000. DeepBlow – A Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts. *Spill Science & Technology Bulletin*. Vol. 6, No. 2: 103 – 111.

- JOHANSEN, Ø. and DURGUT, I. (2006). Implementation of the near-field module in the ERMS model, Technical report, SINTEF.
- JONG, K, 2004 A Comparison of Four Particle Models. A Comparison of DemWaq, DREAM, GNOME, and SIMPAR. Ministeriere Van Verkeer en Waterstraat.
- 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.
- 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.
- LARGE, W. G., J. C. McWILLIAMS, and S. C. DONEY, 1994: Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. Rev. Geophys., 32, 363-403.
- LARNICOL, G., GUINEHUT S., RIO M.H., DREVILLON M., FAUGÈRE Y., HERNANDEZ F. (2006). The global observed ocean products of the French Mercator project. 15 years of radar altimetry symposium, Venice.
- 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, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- LINDERSEN, P, J, B, 2013. Modelling of Subsurface Releases of Oil and Gas. Master's Thesis. Norwegian University of Science and Technology. Department of Chemical Engineering. Trondheim, Norway.
- LIU, W.T., K.B. KATSAROS, and J.A. BUSINGER, 1979: Bulk parameterization of the air-sea exchange of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface, J. Atmos. Sci., 36, 1722-1735.
- MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON. 1980. Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.

- MARCHESIELLO, P., J.C. McWILLIAMS, and A. SHCHEPETKIN, 2003: Equilibrium structure and dynamics of the California Current System, *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 753-783.
- MELLOR, G. L.; YAMADA, T., 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, 851-875.
- MMA, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo>. Acesso em 06 de dezembro de 2016.
- MERCATOR, 2015, Ocean Monitoring and Forecasting. http://www.Mercator.eu/web/69-Mercator-interactive-catalogue.php/?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHYS_001_002
- PELIZ, A., J. DUBERT, D. B. HAIDVOGEL, 2003: Subinertial Response of a Density-Driven Eastern Boundary Poleward Current to Wind Forcing, *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 1633-1650.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L., 1991: Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p. 1-73.
- PPLC, 2016. Disponível em :<http://www.pplc.com.br/webapp/index.html>. Acesso em 06 de dezembro de 2016.
- 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. 2000; SINGSAAS, I.; DALING, P.S; FAKNES, L; BRAKSTAD, O.G.; HETLAND, B. A.; HOKSTAD, J. 2000. Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000. In: 2001 International Oil Spill Conference. Computer Technology and Oil Spills. SINTEF Report. pp.1083-1091.
- 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.

- SEBASTIÃO, P.; SOARES, C. G. 1995. Modeling the Fate of Oil Spills at Sea. *Spill Science and Technology Bulletin*, 2 (2): pp 121-131.
- SCHEPETKIN, A. F., and J. C. McWILLIANS (1998), Quasi-monotone advection schemes based on explicit locally adaptive dissipation, *Monthly Weather Review*, 126, 1541-1580.
- SHCHEPETKIN, A. F., and J. C. McWILLIANS (2003), A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, *J. Geophys. Res.*, 108(C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.
- SHCHEPETKIN, A. F., and J. C. McWILLIANS (2005), The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, *Ocean Modelling*, 9, 347-404.
- SONG, Y. and D. B. HAIDVOGEL, 1994: A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. *J. Comp. Phys.*, 115(1), 228-244.
- STARK, J. D. CRAIG J. DONLON, MATTHEW J. MARTIN and 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.*
- SEELIGER, U., C. ODEBRECHT, J.P. CASTELLO, 1998: Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. *Ecocientia*.
- STYLES, R. and S.M. GLENN, 2000: Modeling stratified wave and current bottom boundary layers in the continental shelf. *J. of Geophys. Res.*, 105, 24119-24139.
- UMLAUF, L., H. BUCHARD, 2003: A generic length-scale equation for geophysical turbulence models. *J. Marine Res.*, 61, 235-265.
- WARNER, J.C., C.R. SHERWOOD, H.G. ARANGO, and R.P. SIGNELL, 2005a: Performance of four Turbulence Closure Methods Implemented using a Generic Length Scale Method. *Ocean Modelling*, 8, 81-113.
- WILMOT, C. J., 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin American Meteorological Society*. Vol. 63, No. 11, pp. 1309-1313.
- ZWENG, M.M., J.R. REAGAN, J.I. ANTONOV, R.A. LOCARNINI, A.V. MISHONOV, T.P. BOYER, H.E. GARCIA, O.K. BARANOVA, D.R. JOHNSON, D. SEIDOV, M.M. BIDDLE, 2013. *World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity*. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 74, 39 pp.

Anexos

ANEXO I - Mapa com Detalhamento de linha de costa utilizado para a definição da grade do modelo do OSCAR