



Relatório Técnico [rev.01]

Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo

SEAL-M-351 | Bacia Sergipe - Alagoas

Preparado para: ExxonMobil

Preparado por: Gabriel Carvalho

Felipe Lobo Mendes Soares

Flávia Pozzi Pimentel

Henery Ferreira Garção

Júlio Pellegrini

Lívia Sant'Angelo Mariano

Marcelo Montenegro Cabral

11 de maio de 2020

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 2020

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: 11 / 05 / 2020

Descrição: Alteração das tabelas 3 e 4 com base no Parecer Técnico nº 101/20

Responsável: Henery Garção

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

Sumário Executivo	18
1. Introdução	22
2. Modelagem Hidrodinâmica	24
3. Modelagem de Dispersão de Óleo	39
3.1. Metodologia	40
3.2. Resultados	66
4. Conclusão	170
5. Bibliografia	172
Anexos	175

Índice das imagens

Figura 1: Isolinha de 30% de probabilidade dos resultados integrados do período 1 e 2 das simulações com vazamento de <i>blowout</i> (238.480,9 m ³).....	20
Figura 2: Localização do poço exploratório considerado como ponto de risco e utilizado na modelagem (em vermelho) e o bloco SEAL-M-351 (em verde), na Bacia Sergipe - Alagoas.....	22
Figura 3: Campo médio de circulação oceânica para o mês de janeiro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	25
Figura 4: Campo médio de circulação oceânica para o mês de fevereiro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	26
Figura 5: Campo médio de circulação oceânica para o mês de março. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	27
Figura 6: Campo médio de circulação oceânica para o mês de abril. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	28
Figura 7: Campo médio de circulação oceânica para o mês de maio. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	29
Figura 8: Campo médio de circulação oceânica para o mês de junho. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	30
Figura 9: Campo médio de circulação oceânica para o mês de julho. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	31
Figura 10: Campo médio de circulação oceânica para o mês de agosto. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	32
Figura 11: Campo médio de circulação oceânica para o mês de setembro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	33
Figura 12: Campo médio de circulação oceânica para o mês de outubro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	34
Figura 13: Campo médio de circulação oceânica para o mês de novembro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	35
Figura 14: Campo médio de circulação oceânica para o mês de dezembro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.	36
Figura 15: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades para a região do bloco SEAL-M-351.	37

Figura 16: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para a região do bloco SEAL-M-351.	38
Figura 17: Representação do limite da grade de óleo na escala regional (linha vermelha tracejada).	45
Figura 18: Representação do limite da grade de óleo na escala local (linha vermelha tracejada).	46
Figura 19: Grade de batimetria utilizada na simulação da escala regional.	47
Figura 20: Grade de batimetria utilizada na simulação da escala local.	48
Figura 21: Localização dos pontos de grade do NCEP (em vermelho) em relação ao ponto de vazamento. Ponto em azul é o mais próximo da região de vazamento.	52
Figura 22: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	53
Figura 23: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	54
Figura 24: Rosa de correntes para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	57
Figura 25: Rosa de correntes para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	58
Figura 26: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao ponto de vazamento.	61
Figura 27: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do ponto de vazamento na Bacia Sergipe - Alagoas, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.	63
Figura 28: Exemplos de quatro trajetórias de derramamentos individuais para um cenário de vazamento genérico (à esquerda). Centenas de trajetórias individuais são sobrepostas umas sobre as outras, como mostrado à direita para calcular os resultados estocásticos (probabilidade, tempos mínimos de chegada, massa máxima de óleo encalhado na costa, etc.)	66
Figura 29: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 8 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).	68

Figura 30: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 8 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).....	69
Figura 31: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).....	70
Figura 32: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 8 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	71
Figura 33: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 8 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	72
Figura 34: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	73
Figura 35: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).....	74
Figura 36: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).....	75
Figura 37: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).....	76
Figura 38: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).....	77
Figura 39: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	78
Figura 40: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	79

Figura 41: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	80
Figura 42: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m ³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	81
Figura 43: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	84
Figura 44: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	85
Figura 45: Perfil vertical em longitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	86
Figura 46: Perfil vertical em latitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	87
Figura 47: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	88
Figura 48: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	89
Figura 49: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	90
Figura 50: Perfil vertical em longitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	91
Figura 51: Perfil vertical em latitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	92

Figura 52: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	93
Figura 53: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	94
Figura 54: Massa máxima de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).	95
Figura 55: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	97
Figura 56: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).	98
Figura 57: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).	99
Figura 58: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).	100
Figura 59: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).	101
Figura 60: Massa máxima de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	102
Figura 61: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	104
Figura 62: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	105
Figura 63: Perfil vertical em longitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	106

Figura 64: Perfil vertical em latitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	107
Figura 65: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	108
Figura 66: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	109
Figura 67: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	110
Figura 68: Perfil vertical em longitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	111
Figura 69: Perfil vertical em latitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	112
Figura 70: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	113
Figura 71: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	114
Figura 72: Mapa de massa máxima e óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	115
Figura 73: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 238.480,9 m ³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias)... ..	117
Figura 74: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	118
Figura 75: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	119

Figura 76: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	120
Figura 77: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	121
Figura 78: Massa máxima de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).	122
Figura 79: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	124
Figura 80: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	125
Figura 81: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na superfície na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	126
Figura 82: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	127
Figura 83: Massa máxima de óleo na costa na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).....	128
Figura 84: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de verão sobre o resultado probabilístico de presença de óleo em superfície no Período 1.	135
Figura 85: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de inverno sobre o resultado probabilístico de presença de óleo em superfície no Período 2.	136
Figura 86: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de verão sobre o resultado probabilístico de tempo mínimo de chegada do óleo em superfície no Período 1.	137
Figura 87: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de inverno sobre o resultado probabilístico de tempo mínimo de chegada do óleo em superfície no Período 2.	138

Figura 88: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque de óleo na costa.....	141
Figura 89: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.	142
Figura 90: 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 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.	144
Figura 91: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 24 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.	145
Figura 92: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 58 horas (primeiro toque) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	146
Figura 93: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 72 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.	147
Figura 94: 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 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	148
Figura 95: 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 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	149
Figura 96: 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 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	150
Figura 97: 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. Vazamento de 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	151
Figura 98: 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 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.	152
Figura 99: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada de óleo na costa. Vazamento de 238.480,9 m ³	153
Figura 100: 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.	154
Figura 101: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.....	156
Figura 102: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.....	157
Figura 103: 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 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	159
Figura 104: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 24 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	160
Figura 105: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 72 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m ³ . A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.....	161

- Figura 106: 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 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação. 162
- Figura 107: 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 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação. 163
- Figura 108: 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 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação. 164
- Figura 109: 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. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação. 165
- Figura 110: 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 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação. 166
- Figura 111: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Volume de 238.480,9 m³. 167
- Figura 112: 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. 168

Índice das tabelas

Tabela 1: Características do ponto de vazamento considerado na modelagem na Bacia Sergipe - Alagoas (Datum SIRGAS 2000). Profundidades de acordo com batimetria do ETOPO1.	23
Tabela 2: Resumo dos cenários de vazamento simulados.	39
Tabela 3: Características do óleo utilizado nas simulações.	43
Tabela 4: Ocorrência mensal de direção dos ventos para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	55
Tabela 5: Ocorrência mensal de intensidade dos ventos para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	55
Tabela 6: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	59
Tabela 7: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.	59
Tabela 8: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de óleo.	64
Tabela 9: 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 200 m ³ de óleo a partir da superfície, nos cenários de Período 1 e Período 2.	82
Tabela 10: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de 200 m ³ de óleo a partir da superfície, nos cenários de Período 1 e Período 2.	82
Tabela 11: 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 238.480,9 m ³ de óleo a partir do fundo, nos cenários de Período 1 e Período 2.	129
Tabela 12: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de 238.480,9 m ³ de óleo a partir do fundo, nos cenários de Período 1 e Período 2.	133
Tabela 13: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para um evento de derramamento de grande volume (238.480,9 m ³).	140
Tabela 14: 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.	141

Tabela 15: Estatística do vento para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	141
Tabela 16: 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.	142
Tabela 17: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa.	142
Tabela 18: 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.	153
Tabela 19: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.	154
Tabela 20: 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.	156
Tabela 21: Estatística do vento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.	156
Tabela 22: 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.	157
Tabela 23: Estatística de corrente para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa.	157
Tabela 24: 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.	167
Tabela 25: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo e a massa de óleo do óleo durante a simulação.	168

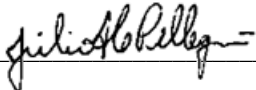
Equipe técnica

Nome: Júlio Augusto de Castro Pellegrini

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 210325

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

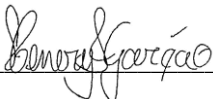
Assinatura: 

Nome: Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas


Assinatura: 

Nome: Livia Sant'Angelo Mariano

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

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: Não aplicável

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

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

Assinatura: _____



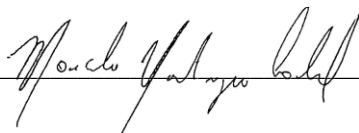
Nome: Marcelo Montenegro Cabral

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: _____



Sumário Executivo

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 um ponto de risco localizado na área do bloco SEAL-M-351, na Bacia Sergipe-Alagoas.

O principal objetivo do estudo de modelagem foi de auxiliar na avaliação de impactos ambientais, como especificado no Termo de Referência nº 02001.006112/2019-16, emitido pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) em 24 de julho de 2019, com ênfase no suporte à elaboração do Plano de Emergência Individual (PEI), à Análise de Risco Ambiental (ARA) e à Avaliação de Impactos Ambientais (AIA). Este relatório se concentra na dispersão tridimensional (3D) do óleo de vazamentos hipotéticos em superfície e de menores volumes (vazamentos de oito [8] metros cúbicos [m³] e 200 m³) e um vazamento em fundo marinho para o cenário de pior caso com volume total de 238.480,9 m³. Esta modelagem incorpora regime de correntes de superfície e subsuperfície (movimento da água) para caracterizar o ambiente hidrodinâmico do local, e considera o intemperismo do óleo e suas variações ao longo do tempo no ambiente marinho.

O estudo de modelagem compreende dois (2) componentes:

1. O primeiro consiste na análise das características meteorológicas e simulações hidrodinâmicas da região, mais especificamente dos parâmetros capazes de afetar o comportamento do óleo derramado. Para isso foram elaboradas bases hidrodinâmicas da parte oceânica e costeira, e também de dois dos principais rios da região; e,
2. O segundo consiste em realizar simulações de dispersão de óleo em dois períodos ou estações ao longo do ano, definidos a partir das condições meteorológicas e oceanográficas características da região. Para isso foram elaboradas simulações com escala regional, que se estende do estado de São Paulo até o estado do Amapá, e com escala local, focados no Rio Sergipe e no Rio São Francisco.

O bloco em estudo está localizado em uma região onde a circulação oceânica apresenta marcante variação sazonal devido à variação latitudinal da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE-ramo sul), dando origem a Corrente do Brasil (CB), que flui para sul e a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB), fluindo para norte.

Este estudo de modelagem considera a variabilidade meteorológica e oceanográfica (hidrodinâmica) sazonal através da definição de dois (2) períodos para análise:

- **Período 1:** compreende os meses de novembro a abril, quando há predominância de ventos de ESE e E; e

- **Período 2:** corresponde aos meses de maio a outubro, quando há predominância de ventos de ESE e SE.

As simulações de dispersão de óleo para o pior caso consideraram o vazamento contínuo com a vazão máxima por 30 dias sem considerar a intervenção/contingência e outros 30 dias adicionais após o término do vazamento sem ações de respostas. Portanto, as simulações não consideram atividades de mitigação para fechar o poço ou outras ações para interromper ou restringir o vazamento.

A partir dos resultados das simulações de dispersão de óleo, tem-se que nos vazamentos de 8 m³ as áreas de probabilidade de presença de óleo em superfície se mantiveram em regiões mais profundas que 2.000 m, enquanto nos vazamentos de 200 m³ o óleo pode alcançar regiões bem próximas da costa. Nos vazamentos de pior caso são observadas probabilidades de até 100% para o óleo atingir à costa.

Nestes cenários de maior volume, as maiores probabilidades foram preferencialmente na direção sudoeste no Período 1 e para norte e noroeste no Período 2. Tal diferença ocorre pela variação latitudinal da região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial que, ao se posicionar mais ao norte no Período 1, faz com que a região de vazamento fique sob influência da Corrente do Brasil (CB), e ao migrar para o sul no Período 2, deixa a região sob influência da Subcorrente Norte do Brasil (SCNB).

Independentemente da ocorrência de um vazamento de pior caso no Período 1 ou 2, as simulações de dispersão de óleo resultam, em superfície, em probabilidades acima de 30% que se estendem da costa do Rio Grande do Norte até a região do estado da Bahia (Figura 1).

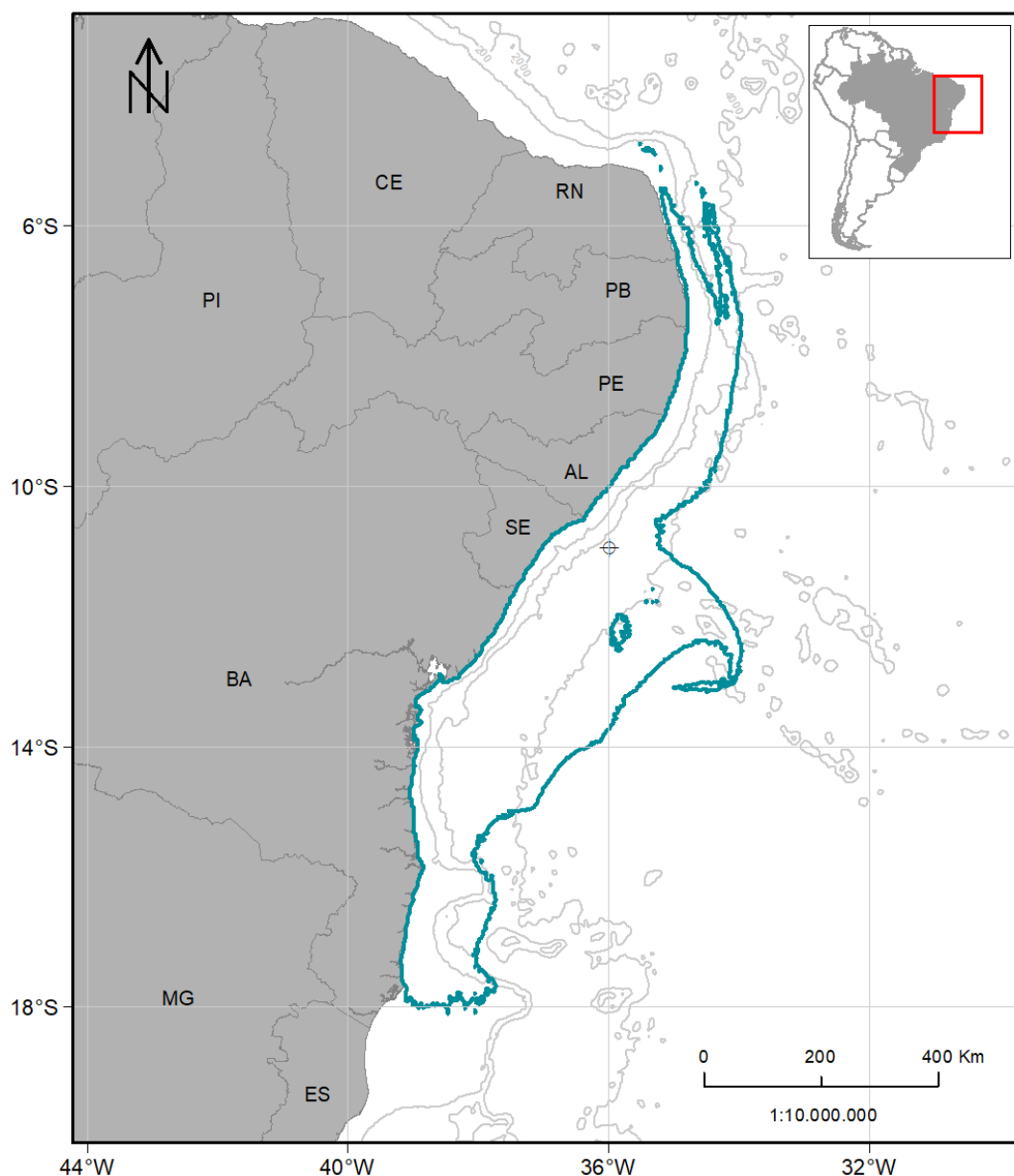


Figura 1: Isolinha de 30% de probabilidade dos resultados integrados do período 1 e 2 das simulações com vazamento de *blowout* (238.480,9 m³).

Entre todas as simulações, somente o vazamento 8 m³ não apresentou probabilidade de presença de óleo na costa. No vazamento de pior caso, as localidades onde se observa valores acima de 70% de probabilidade estão entre o município de Recife e o município de Salvador, incluindo municípios com tempo mínimo de chegada de óleo menor que 3 dias.

Em relação às Unidades de Conservação, considerando todos os cenários de vazamento, há 69 unidades na região com valores de probabilidade de chegada de óleo. Dentre essas 69 UCs, existem 14 unidades (nove no Período 1 e cinco no Período 2) com valor de 100% de probabilidade de presença para o cenário de vazamento de pior caso.

Em todas as simulações probabilísticas a partir da superfície (de 8 m³ e 200 m³) a evaporação foi o principal processo de intemperismo responsável pela retirada do óleo da superfície do mar. Todavia, nos cenários de pior caso, por se tratar de um vazamento de fundo, a evaporação divide a importância com a degradação do óleo na coluna d'água como os processos mais significantes.

A modelagem incluiu a avaliação das concentrações de óleo para os piores cenários de descarga, onde os resultados indicam que as concentrações da coluna d'água de óleo disperso podem subir acima de 20 partes por bilhão (ppb) nos dois períodos (1 e 2).

No fundo marinho, as maiores probabilidades são observadas na região da plataforma continental, frente aos estados de Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Nas regiões mais profundas somente é observado probabilidade em regiões esparsas.

Foram avaliados em escala local os Rios Sergipe e São Francisco. No Rio Sergipe, as probabilidades de presença de óleo em superfície são de até 70% e há probabilidade de chegada em ambos os cenários de pior caso. No Rio São Francisco, com abordagem de escala local, só há probabilidade de chegada de óleo no Período 2, chegando a 90-100% na entrada do rio. Os valores mais críticos de probabilidade e tempo de chegada observados nas margens no interior dos rios foram nos municípios mais próximos à desembocadura e estes foram menos conservadores que os já observados em escala regional, enquanto nos municípios mais internos as probabilidades foram inferiores a 10%.

O acúmulo de massa na costa, no entanto, foi maior na zona estuarina do que no restante da costa, com máximos acima de 130 t/km observados tanto nas margens do Rio Sergipe quanto do Rio São Francisco.

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 um ponto de risco localizado no bloco SEAL-M-351, na Bacia Sergipe-Alagoas.

A localização do ponto de vazamento, assim como a localização do bloco é apresentada na Figura 2 e na Tabela 1.

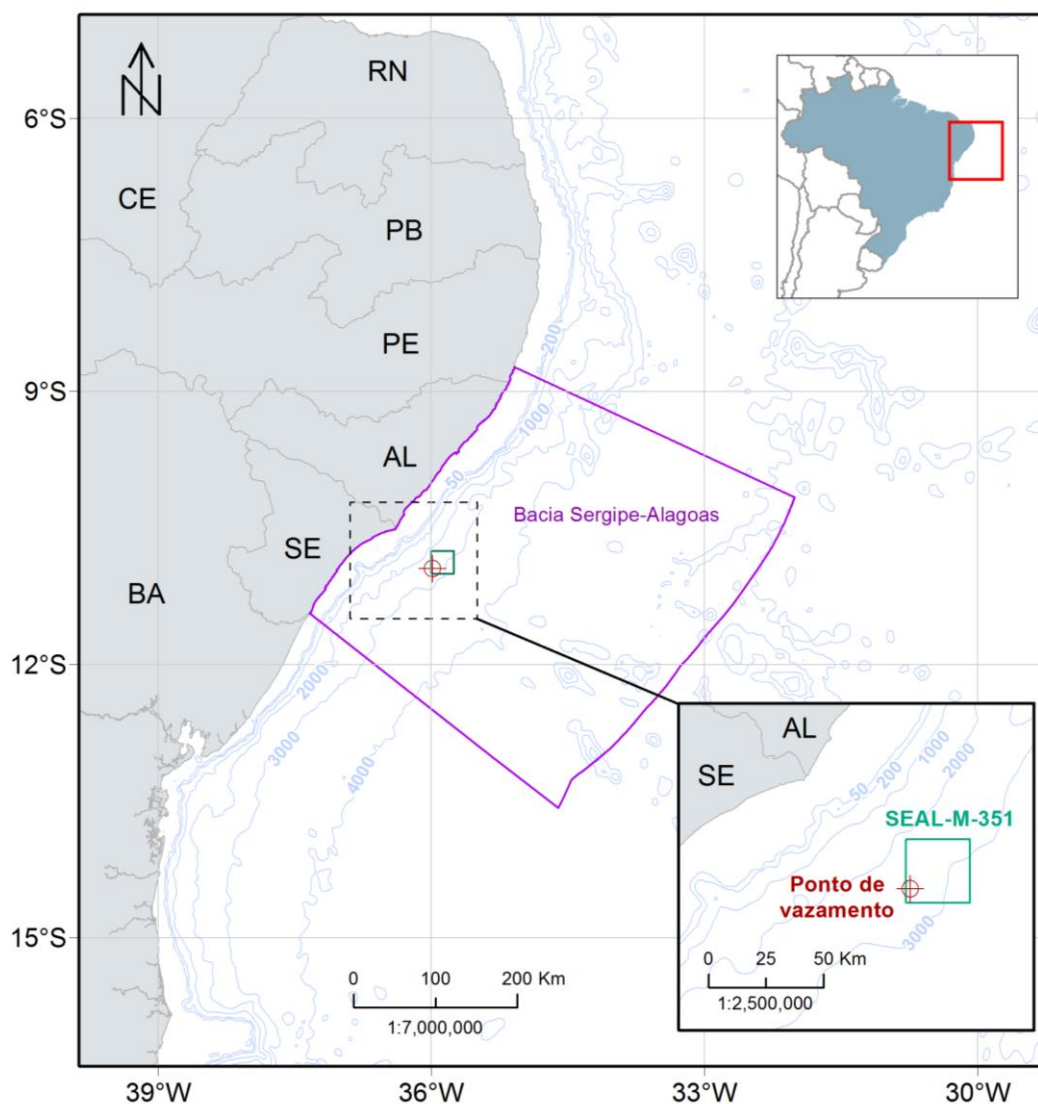


Figura 2: Localização do poço exploratório considerado como ponto de risco e utilizado na modelagem (em vermelho) e o bloco SEAL-M-351 (em verde), na Bacia Sergipe - Alagoas.

Tabela 1: Características do ponto de vazamento considerado na modelagem na Bacia Sergipe - Alagoas (Datum SIRGAS 2000). Profundidades de acordo com batimetria do ETOPO1.

Latitude	Longitude	Profundidade (m)
10° 56' 48,083" S	35° 58' 55,149" W	2.680

O estudo teve dois focos principais. O primeiro consiste na análise do comportamento do óleo na parte oceânica e costeira, visando observar as características meteorológicas e hidrodinâmicas que interagem no transporte de óleo derramado em uma escala regional. Nessa escala, o modelo de deriva de óleo utilizou como forçante as correntes resultantes do modelo hidrodinâmico regional (Anexo I).

O segundo foco do estudo foi a análise do comportamento do óleo no interior da zona estuarina dos rios Sergipe e São Francisco. Como forçante hidrodinâmica utilizou-se além do dado hidrodinâmico da modelagem regional, as correntes no interior destes rios. Estes dados para o Rio Sergipe e para o Rio São Francisco são descritos no Anexo II.

Os sistemas de modelagem, metodologias e análises empregados neste documento estão alinhadas com os requisitos da norma internacional ASTM F2067-13 para desenvolvimento e uso de modelos de trajetórias de derramamentos de óleo (ASTM, 2013).

2. Modelagem Hidrodinâmica

A descrição da modelagem hidrodinâmica *offshore* utilizada como forçante para a modelagem de transporte de óleo a partir do bloco SEAL-M-351, e seus resultados para todo o domínio do modelo, são apresentados no Anexo I. As modelagens hidrodinâmicas no interior do Rio Sergipe e Rio São Francisco são descritos no Anexo II.

A seguir são apresentados os campos médios mensais obtidos a partir dos resultados do modelo regional com detalhe para a região do bloco. A região do bloco SEAL-M-351 encontra-se na área adjacente à Plataforma Leste Brasileira. Conforme descrito por Castro & Miranda (1998) a Plataforma Leste Brasileira é a região menos estudada da costa brasileira.

Recentemente, estudos sobre a circulação oceânica da região vêm sendo publicados (SOUTELINO, *et al.*, 2011; REZENDE, *et al.* 2011; AMORIM, *et al.* 2011; REZENDE 2010; MARIN, 2009; RODRIGUES, *et al.* 2006) visando suprir a lacuna de conhecimento nesta região da costa Brasileira.

Em síntese, a circulação oceânica da região apresenta marcante variação sazonal devido à variação latitudinal da bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE-ramo sul), dando origem a Corrente do Brasil (CB), que flui para sul e a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB), fluindo para norte. Tal bifurcação ocorre entre 10° S e 20° S, atingindo sua posição mais ao norte no verão e mais ao sul no inverno, com fortes indicações de alta correlação com a sazonalidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, conseqüentemente, com o padrão de ventos local, dominados pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) (verão) e pelos Alísios (inverno). Porém, destaca-se que ainda existem muitas incertezas quanto à hidrodinâmica da região, com indicações de que a circulação possa ser dominada por vórtices (SOUTELINO, *et al.* 2011), hipótese que complexifica o entendimento dos padrões locais de circulação oceânica.

Ao sul desta faixa onde ocorre a bifurcação da CSE há predomínio do fluxo da CB ao longo de todo o ano, e ao norte, predomina a SCNB. Ao norte de 5,5° S, quando há uma inflexão da costa a partir do Cabo de São Roque-RN, o fluxo da SCNB se une ao ramo norte e central da CSE, originando a Corrente Norte do Brasil (CNB). A CNB flui para oeste ao longo da Margem Equatorial brasileira, com intensidades médias de até 1,5 m/s.

Os padrões descritos acima para a região oceânica e para a circulação oceânica sobre a plataforma podem ser bem observados nos campos médios mensais apresentados da Figura 3 a Figura 14, indicando que o modelo representou de forma adequada os padrões de circulação esperados para a área de estudo.

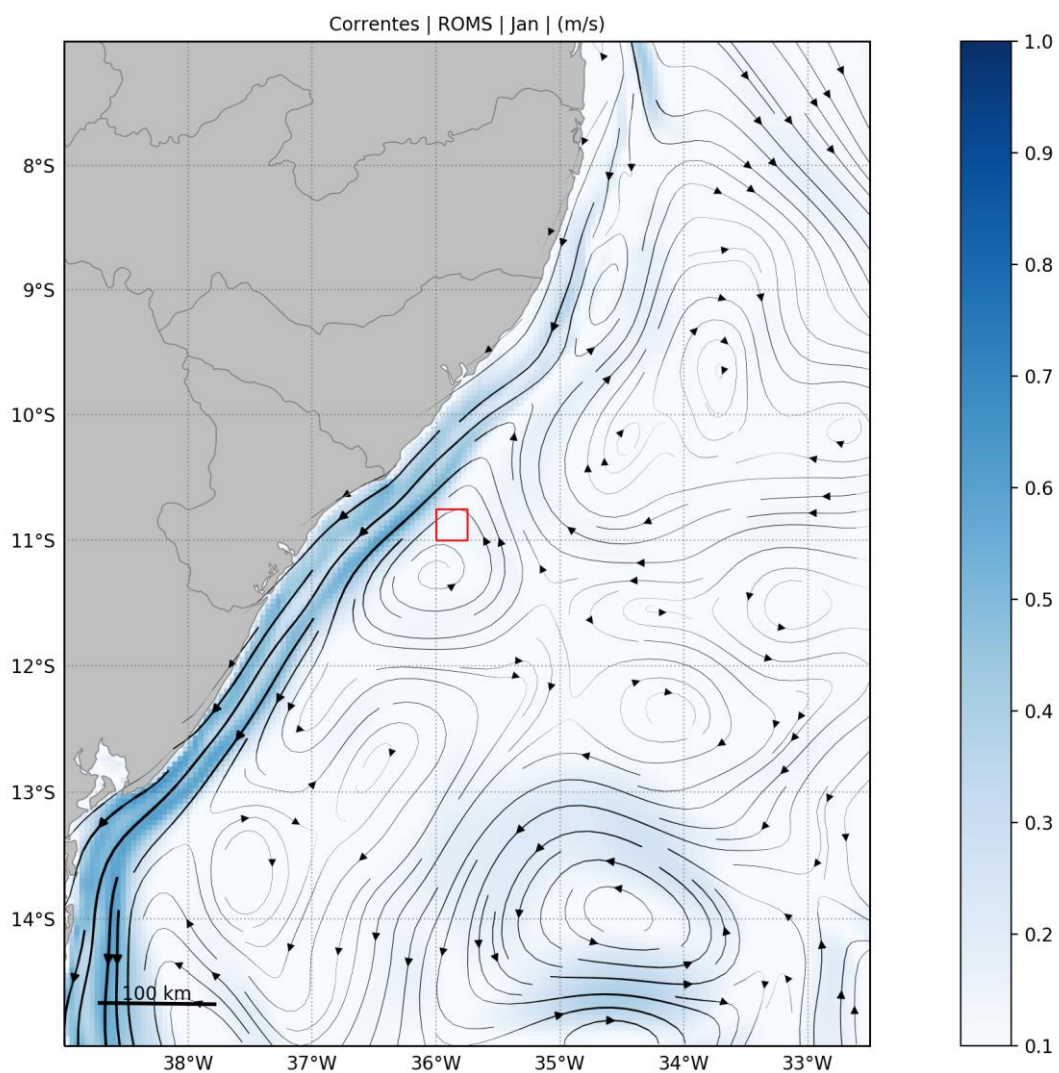


Figura 3: Campo médio de circulação oceânica para o mês de janeiro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

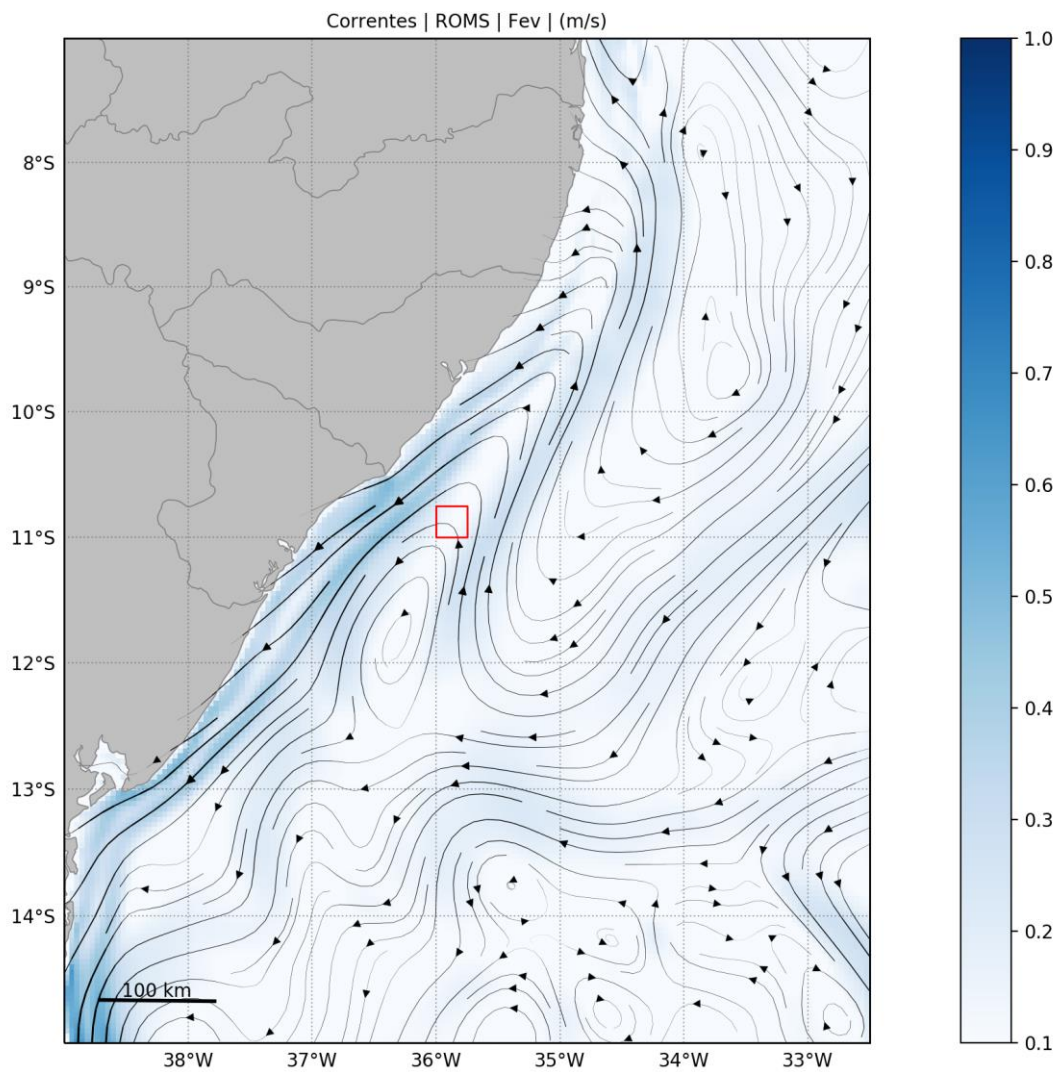


Figura 4: Campo médio de circulação oceânica para o mês de fevereiro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

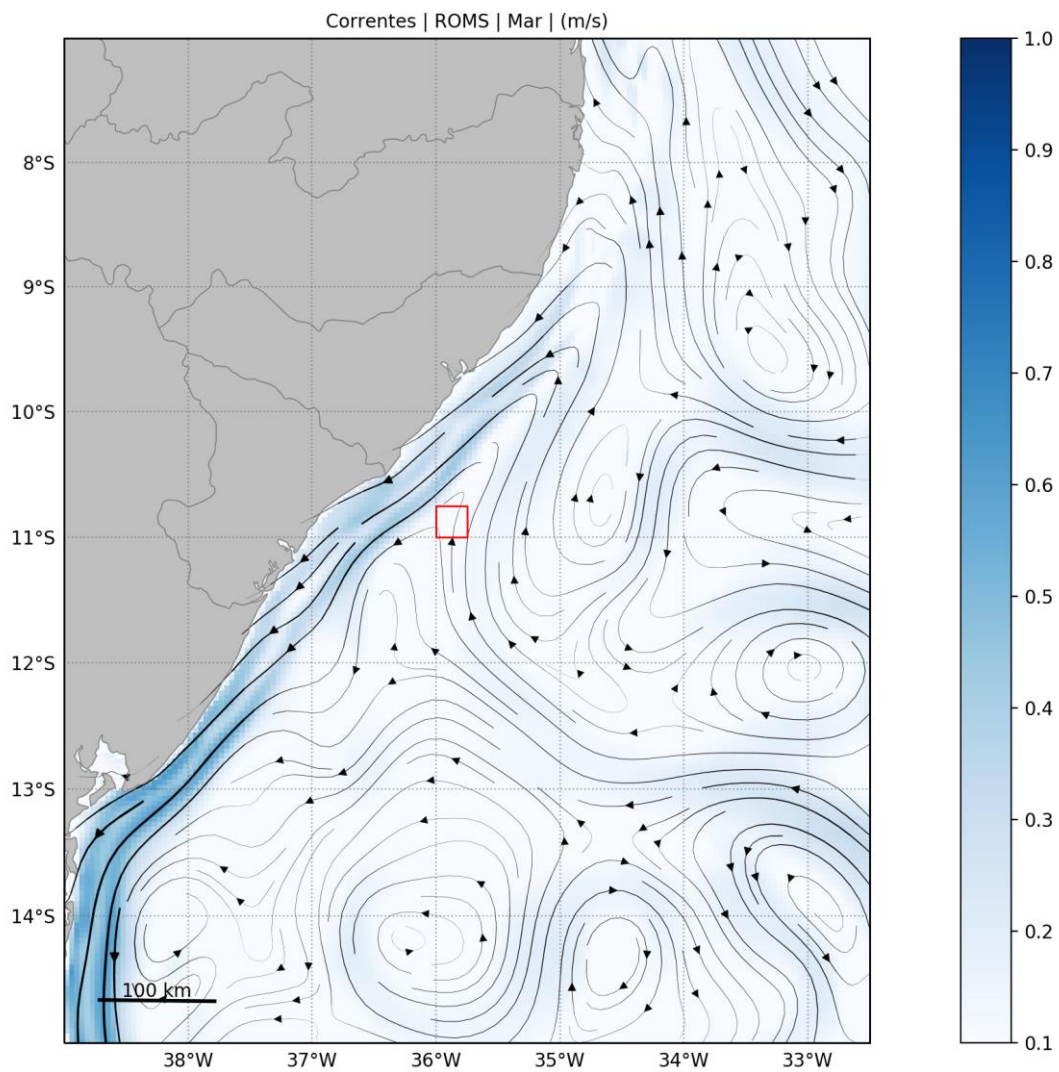


Figura 5: Campo médio de circulação oceânica para o mês de março. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

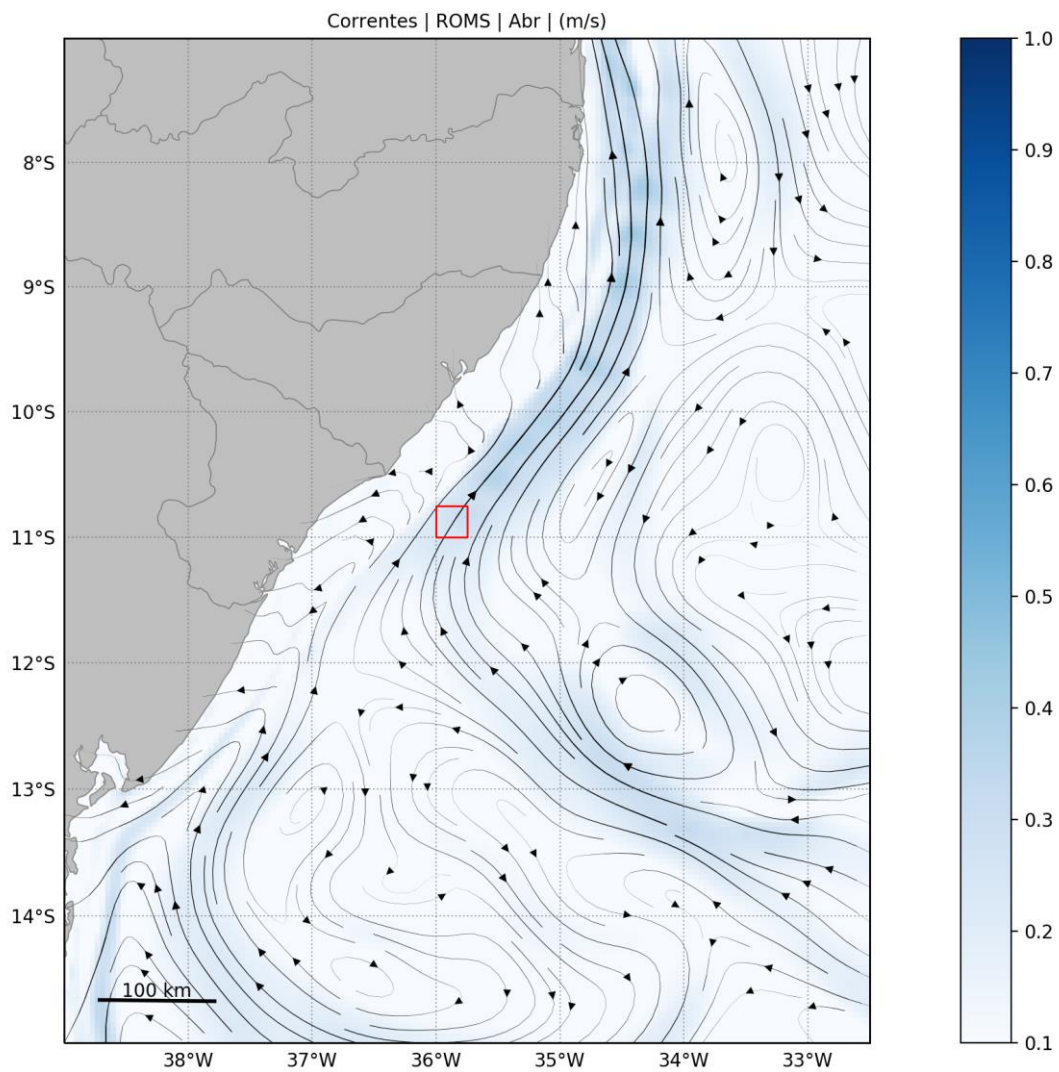


Figura 6: Campo médio de circulação oceânica para o mês de abril. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

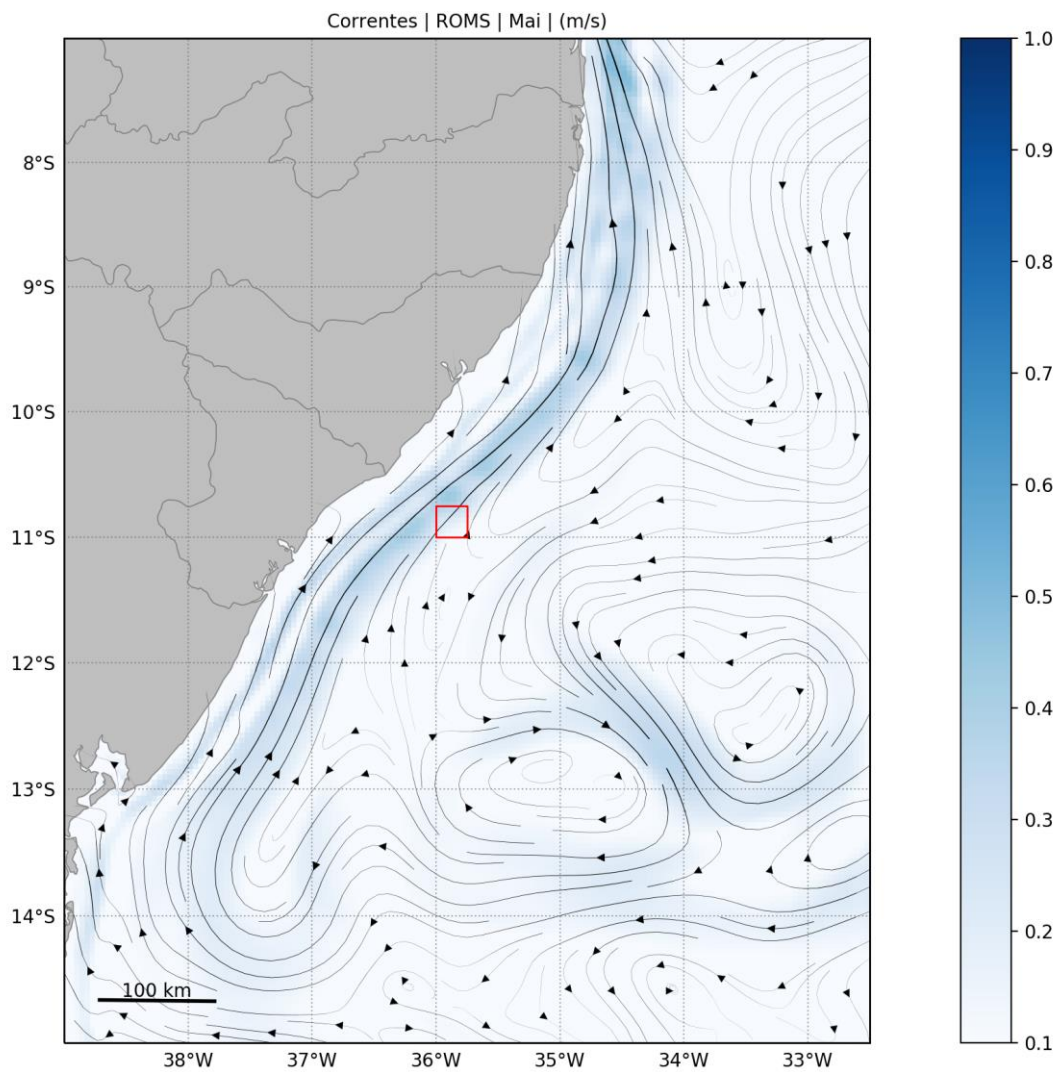


Figura 7: Campo médio de circulação oceânica para o mês de maio. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

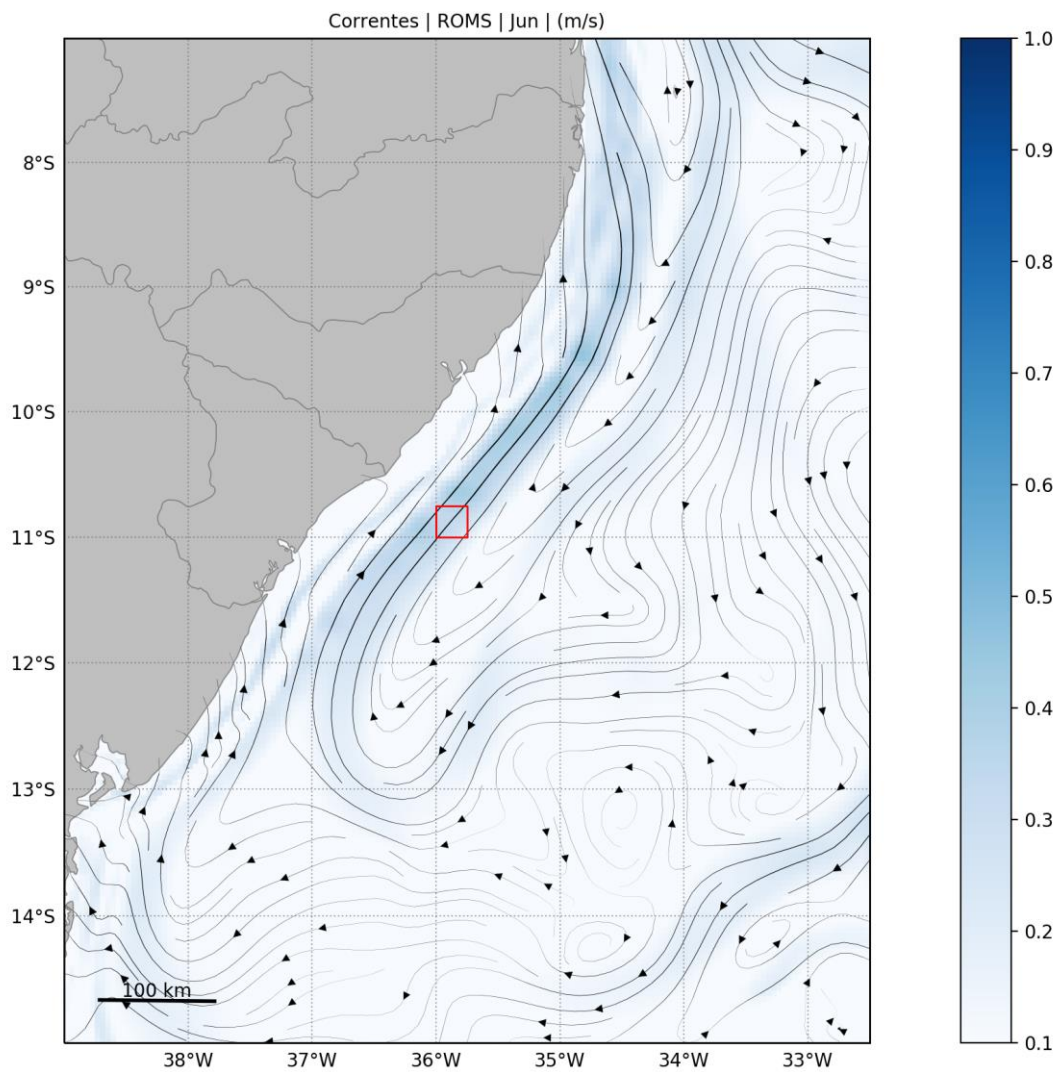


Figura 8: Campo médio de circulação oceânica para o mês de junho. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

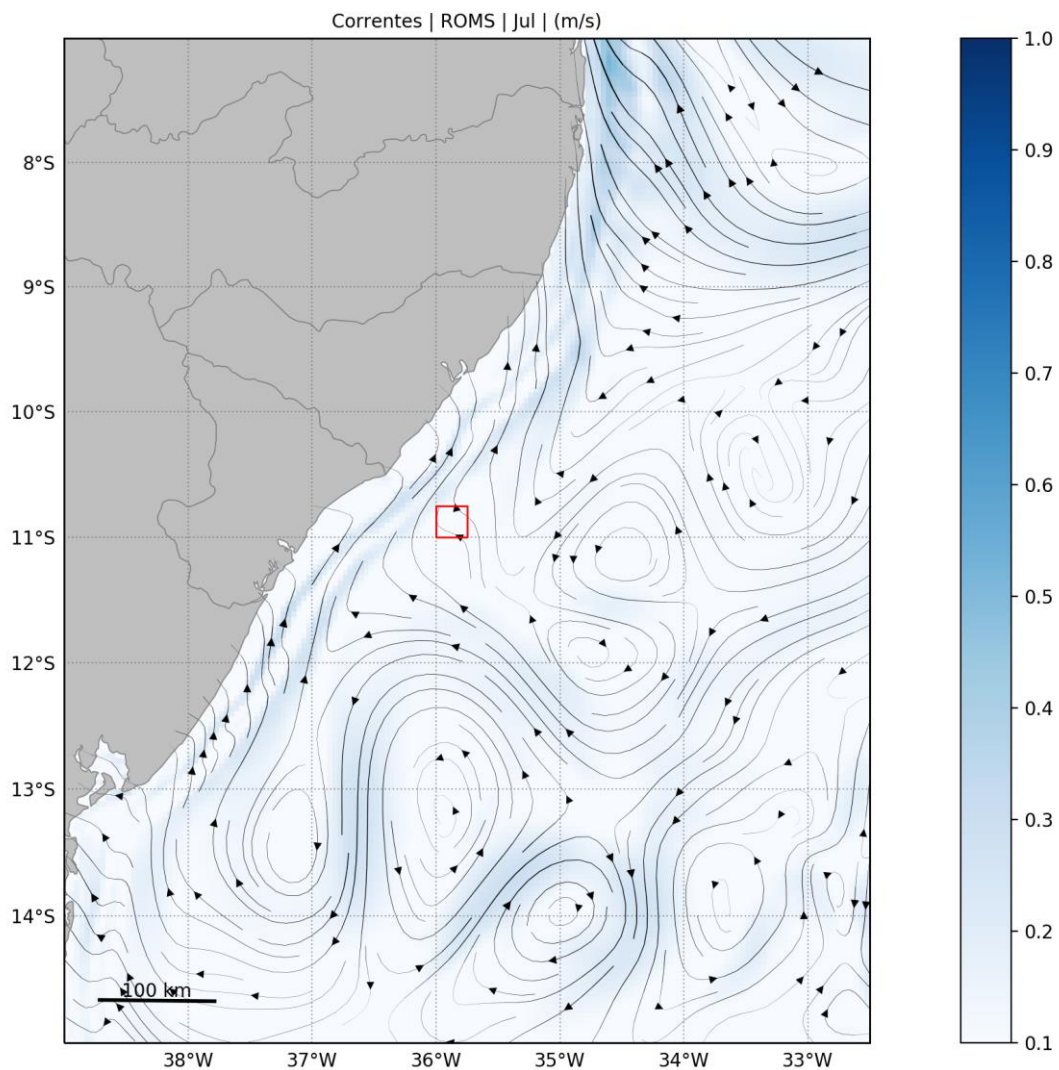


Figura 9: Campo médio de circulação oceânica para o mês de julho. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

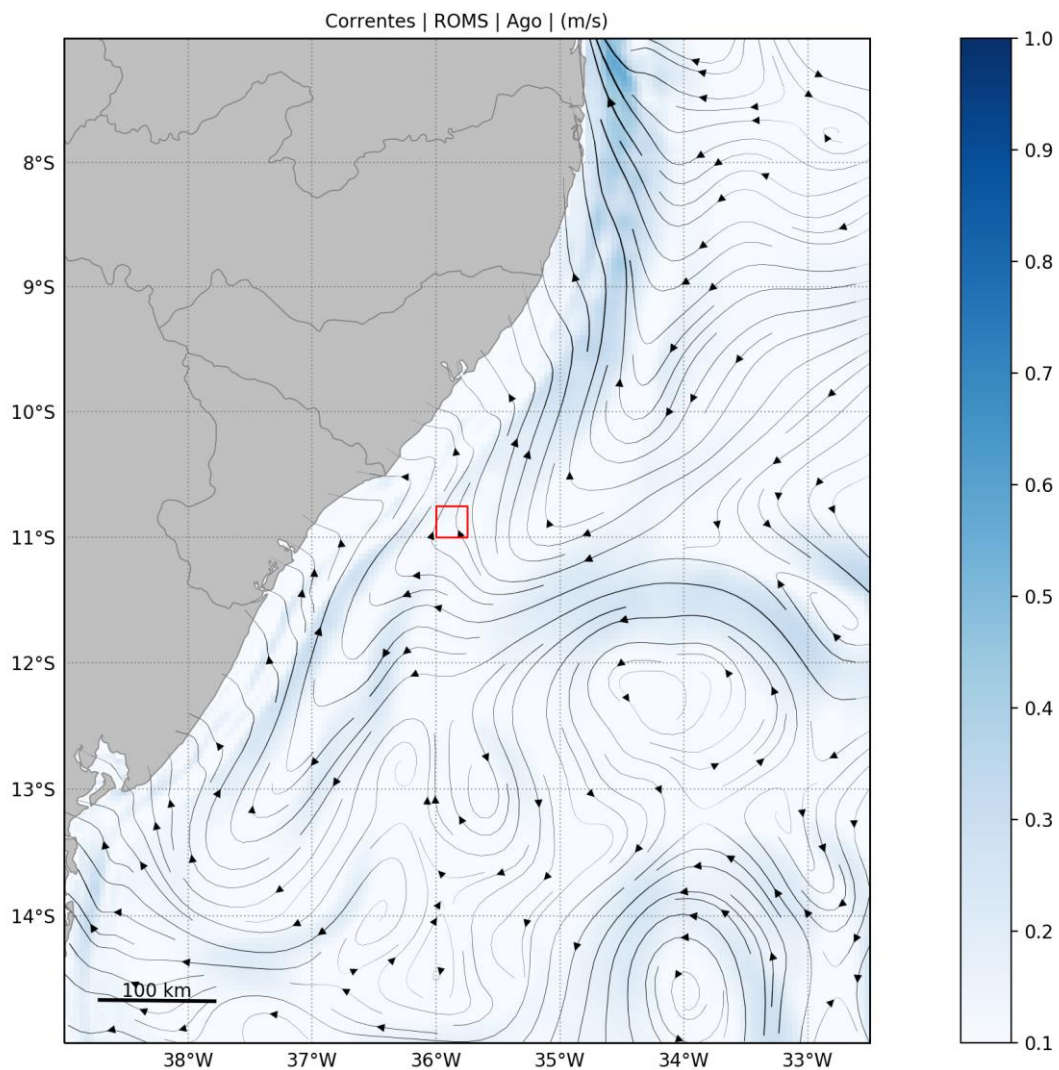


Figura 10: Campo médio de circulação oceânica para o mês de agosto. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

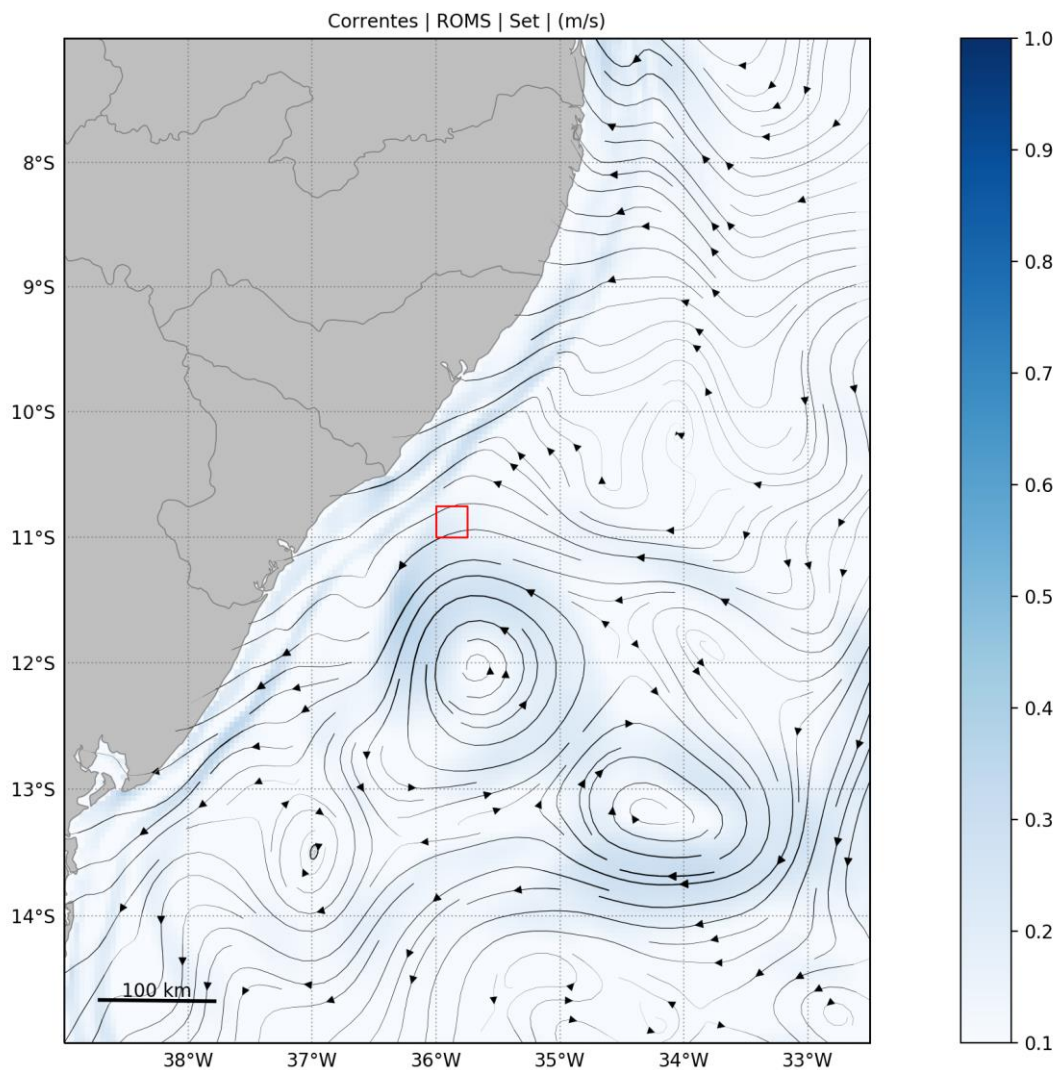


Figura 11: Campo médio de circulação oceânica para o mês de setembro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

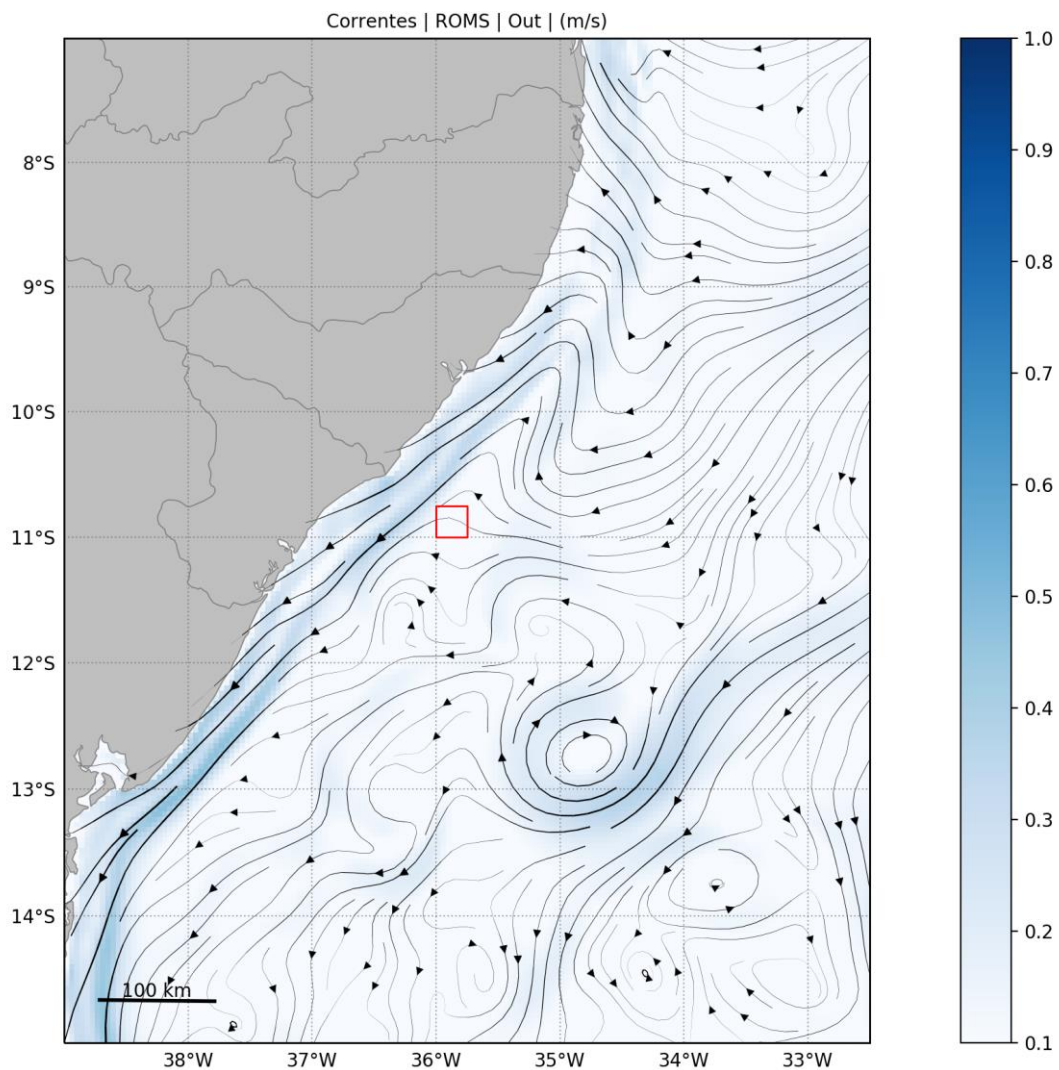


Figura 12: Campo médio de circulação oceânica para o mês de outubro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

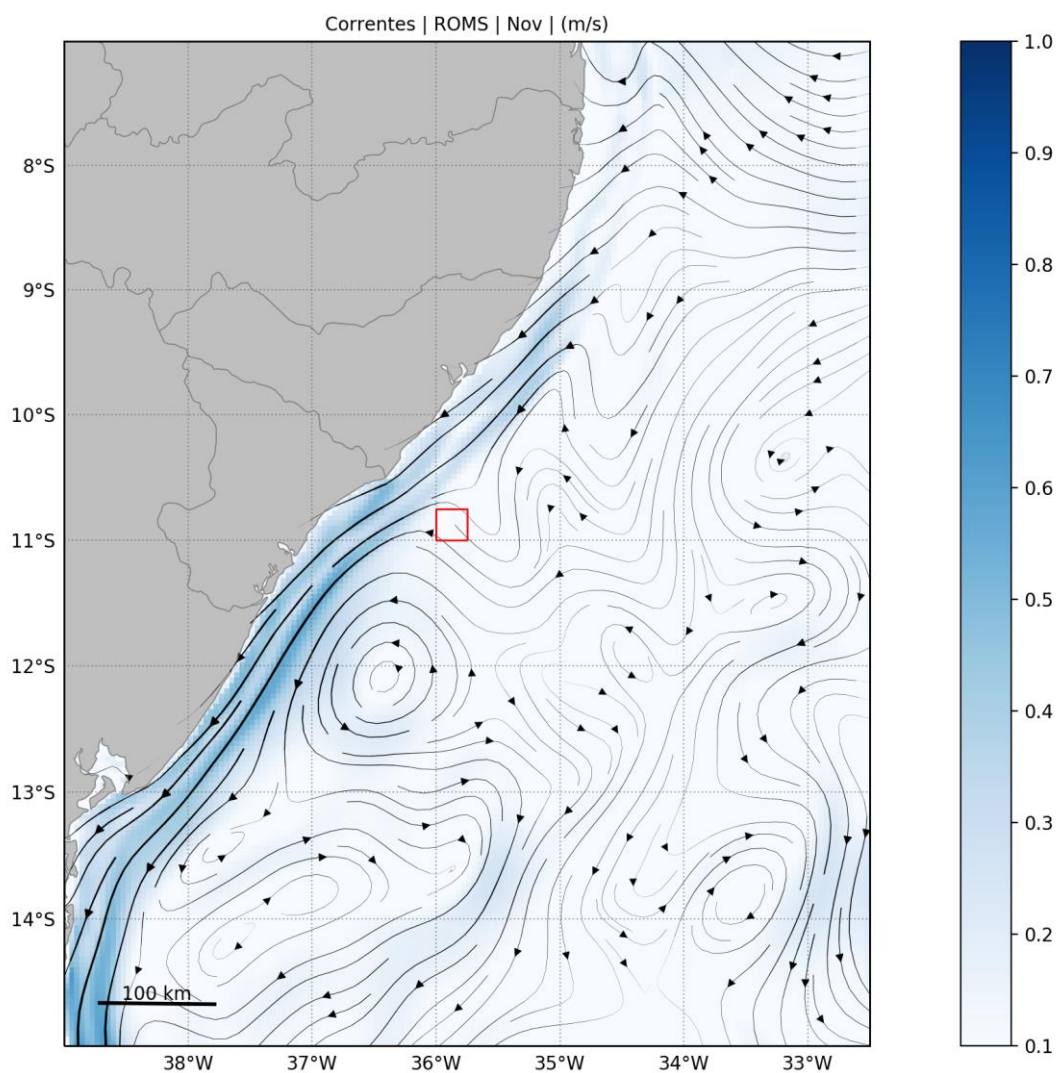


Figura 13: Campo médio de circulação oceânica para o mês de novembro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

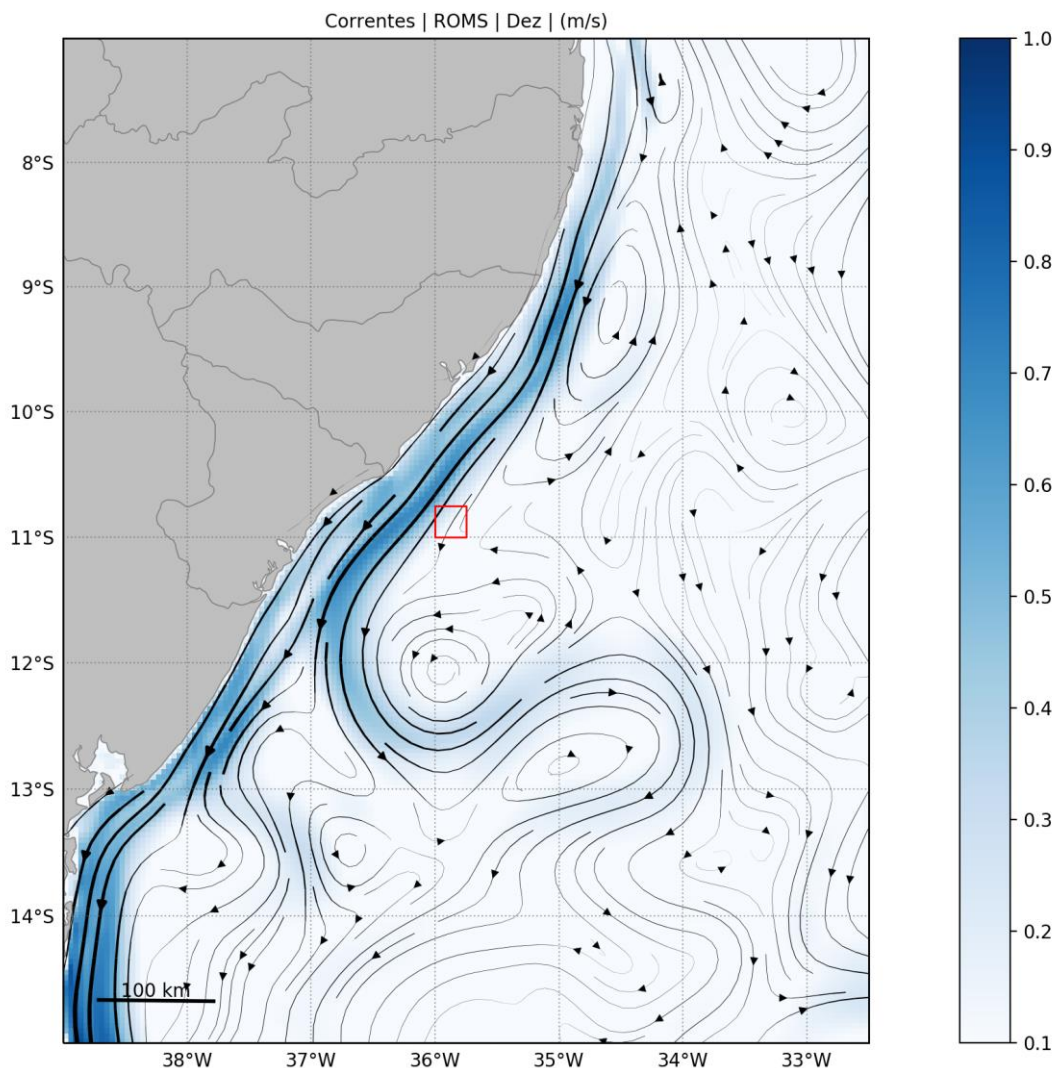


Figura 14: Campo médio de circulação oceânica para o mês de dezembro. O bloco SEAL-M-351 é representado pelo polígono vermelho.

Para uma avaliação da representação da estrutura vertical de temperatura e salinidade na região do bloco SEAL-M-351 foram utilizados os dados da climatologia WOA13 V2 (*World Ocean Atlas 13 version 2*) do *National Oceanographic Data Center* (NODC).

A Figura 15 apresenta o número de observações do WOA13 V2 ao longo das profundidades para a região do bloco SEAL-M-351, sendo este o ponto mais próximo ao ponto de vazamento. A Figura 16 apresenta as faixas de ocorrência¹ das observações de temperatura e salinidade obtidas no modelo (vermelho) e no WOA13-V2 (cinza). Pode-se observar que o modelo representou muito bem a estrutura vertical termohalina e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água as faixas de ocorrência são muito similares. Além disso, essa

¹ Considerando que estas variáveis seguem uma distribuição normal, esta faixa é calculada para abranger 99,7% das ocorrências, e, portanto, seus limites representam 3 vezes o desvio padrão ao redor da média.

compatibilidade dos valores é um indicativo de que houve uma boa representação da posição média das massas d'água no domínio de modelagem.

Ressalta-se que diferenças observadas são esperadas, uma vez que os dados do WOA representam uma climatologia obtida para áreas com 1° de resolução, sendo muito maior que a área representada pelos dados do ROMS, com resolução de 1/24°.

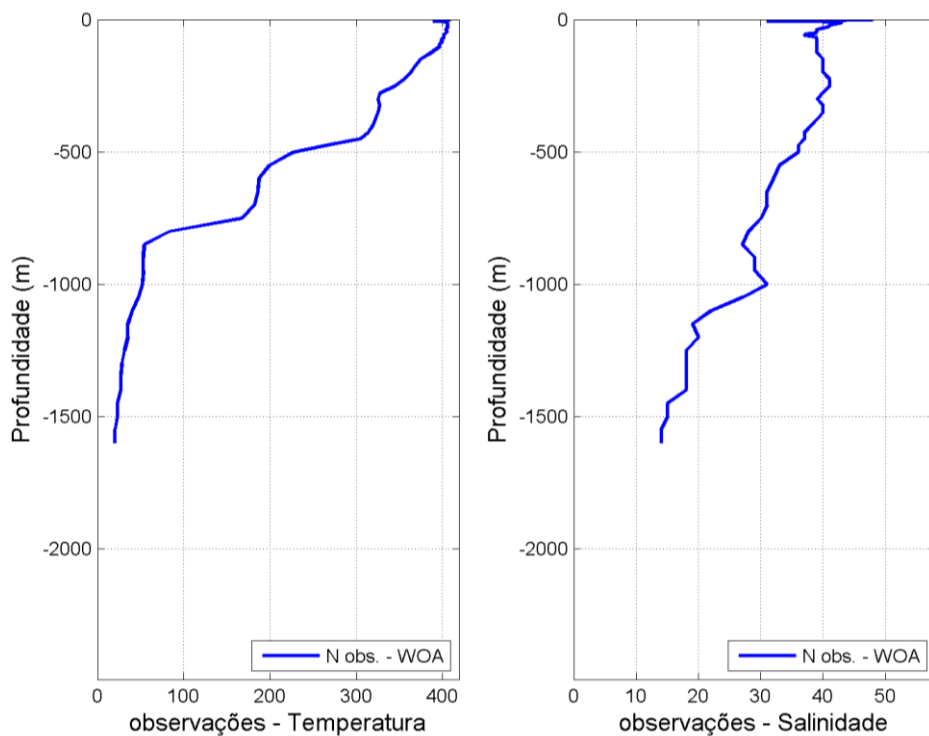


Figura 15: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades para a região do bloco SEAL-M-351.

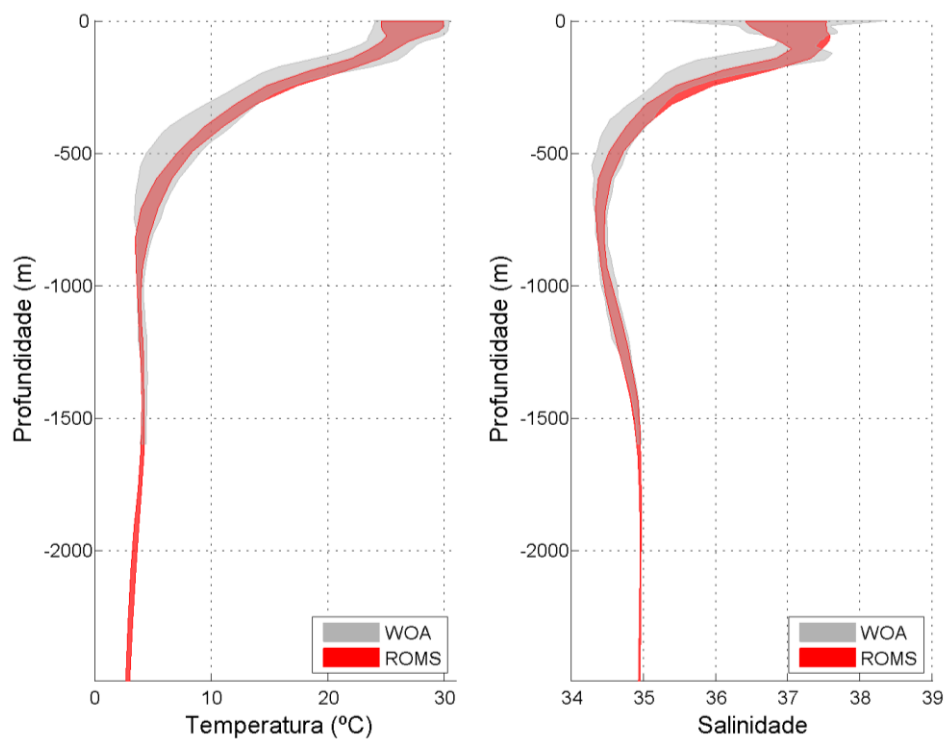


Figura 16: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para a região do bloco SEAL-M-351.

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 a partir de um ponto localizado no bloco SEAL-M-351, na Baía Sergipe – Alagoas. A localização do ponto de vazamento foi apresentada na Figura 2 e na Tabela 1.

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) - 238.480,9 m³ (1.500.000 bbl).

O volume de pior caso foi definido considerando uma vazão diária de 50.000 bbl (7.949,4 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 2 é apresentado o resumo dos cenários simulados.

Tabela 2: Resumo dos cenários de vazamento simulados.

Modelo	Tipo de óleo	Volume Total (m ³)	Vazamento	Tempo	Profundidade (m)
Probabilístico					
Pequeno Porte	Cru	8	instantâneo	30 dias	Superfície
Médio Porte	Cru	200	instantâneo	30 dias	Superfície
Pior caso	Cru	238.480,9	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo
Determinístico					
Crítico - Menor tempo de toque de óleo na costa	Cru	238.480,9	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo
Crítico - Maior massa de óleo acumulado na costa	Cru	238.480,9	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 modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), desenvolvido pela SINTEF para o cálculo da dispersão de manchas de óleo. A descrição do modelo de dispersão de óleo é apresentada no Anexo III - Descrição do Modelo de Transporte de Óleo.

3.1.2 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, 2019), nos instrumentos legais de criação, ICMBIO (2018) e WWF (2016), da região em que se verifica probabilidade de óleo na costa ou na região costeiro-oceânica.

Para identificação da probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em cada Unidade de Conservação, foram considerados os resultados do modelo de dispersão de óleo tanto em superfície quanto na costa e selecionados os valores de probabilidade e tempo mais críticos para cada unidade de conservação.

As Unidades de Conservação levantadas para a região e consideradas no presente estudo são apresentadas no Anexo IV - Mapa com Unidades de Conservação consideradas no estudo.

3.1.3 Estratégias de Modelagem

As simulações de pior caso foram realizadas considerando eventos de *blowout* com **vazamentos contínuos no fundo marinho** de 30 dias por um **orifício de 8,681 polegadas** (~220 mm) (informação da contratante) em dois períodos sazonais, um de novembro a abril (Período 1) e outro de maio a outubro (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 as simulações com volume de pequeno e médio porte (8 m³ e 200 m³, respectivamente) foram considerados **vazamentos instantâneos em superfície**, mais o acompanhamento da deriva do óleo 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 permitiu o mapeamento das frações do óleo que ficam dissolvidas e dispersas na coluna d'água, além da parcela do óleo que fica na superfície.

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 nº 023/02 (ELPN/IBAMA), que “*corresponde ao filme de óleo denominado por arco-íris*”.

A resolução CONAMA nº357 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 por Gabardo (2007).

Apesar da concentração de óleo de 20 ppb ser um valor arbitrado em função do estudo de Gabardo (2007), ao compararmos os limiares ambientais à pares internacionais, é observado que o valor selecionado está na mesma ordem de grandeza. Por exemplo, no documento de Oskar Commission (2014) é recomendado o valor de PNEC (do inglês, *Predicted No Effect Concentration* ou Concentração Sem Efeito Previsível) de 70,5 ppb, que cita como referência o estudo de Smit *et al.* (2009). Esse valor equivale ao descritor HC5 (concentração de risco com efeito adverso para 5% das espécies) que protege 95% das espécies em uma curva de Distribuição de Sensibilidade das Espécies, baseada em 30 valores de CENO (Concentração de Efeito Não Observado) crônicos para 17 espécies marinhas.

Em um exemplo adicional, no documento de Rye *et al.* (2004) onde se discute a criação de um Fator de Impacto Ambiental (em inglês, Environment Impact Factor – EIF) em concordância

entre operadores de óleo e gás na Noruega, o valor de PNEC adotado para o cálculo do EIF é de 40,4 ppb. Dessa forma, observa-se aderência do valor adotado para o presente estudo com publicações internacionais.

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.

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 no fundo marinho. Enquanto a concentração de óleo no fundo marinho 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.

Segundo a contratante, o óleo esperado para a região possui 36º API (*American Petroleum Institute*). 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 na Tabela 3.

Tabela 3: Características do óleo utilizado nas simulações.

Classificação do óleo	Descrição
() pesados	maior conteúdo de componentes pesados, evaporação inferior a 50% volume após 1 semana no mar, possibilidade de formação de emulsão.
() condensados	não contém componentes como asfalto e parafinas pesadas, evaporação tipicamente superior a 70% volume, baixa possibilidade de formação de emulsão
(X) leves *	maior conteúdo de componentes leves, evaporação entre 50 a 70% volume, formação de emulsões instáveis.

Propriedades Físicas		
Parâmetro	Valor	Unidade
API	36,2	°
Densidade	0,844	g/cm ³
Viscosidade Dinâmica	16,0 (a 13°C)	cP
Ponto de Fluidez (<i>Pour Point</i>)	-12	°C
<i>Flash Point</i>	-	-
Conteúdo máximo de água	-	-

Componentes do óleo	
Componentes	Fração no óleo (%)
C1-C4 gases (dissolvido no óleo)	2,5035
C5-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,9947
C6-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,5807
Benzeno	0,2635
C7-saturados (n-/iso-/ciclo)	2,5491
C1-Benzeno (Tolueno) et, B	0,8853
C8-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,4894
C2-Benzeno (xilenos; usando O-xileno)	0,9533
C9-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,8848
C3-Benzeno	1,9043
C10-saturados (n-/iso-/ciclo)	4,9670
C4 e C4 Benzenos	0,1713
C11-C12 (total sat + aro)	9,0648
Fenóis (C0-C4 alquilado)	0,0144
Naftalenos 1 (C0-C1-alquilado)	0,4889
C13-C14 (total sat + aro)	10,9109
Naftalenos 2 (C2-C3-alquilado)	0,7378
C15-C16 (total sat + aro)	5,8154

HPA 1 (Hidrocarbonetos poliaromático médio solúvel (3 anéis-não-alquilado; < 4 anéis)	0,2519
C17-C18 (total sat + aro)	5,7378
C19-C20 (total sat + aro)	4,4063
Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR: C10 a C36)	0,0782
C21-C25 (total sat + aro)	6,5133
HPA 2 (Hidrocarbonetos poliaromático baixo solúvel (3 anéis-alquilado; 4-5+ anéis))	0,2823
C25+ (total)	28,5513

Curva de destilação

Temperatura (°C)	Volume (%)
70	8,3
100	13,4
150	23,2
190	30,5
235	40,2
280	51,9
343	68,2
565	96,9

** Para os cenários de vazamento de instantâneos, a evaporação foi maior que 65% do total vazado, enquanto para os vazamentos contínuos o valor de evaporação foi entre 35 e 44% do total.*

3.1.4 Descrição das Grades

No estudo em escala regional utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 3,5 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 25° 04' S, ao norte, 4° 30' N, a oeste, 51° 34' W e a leste, 31° 11' W (Figura 17). Com isso, obteve-se uma matriz com 636 por 937 pontos de grade.

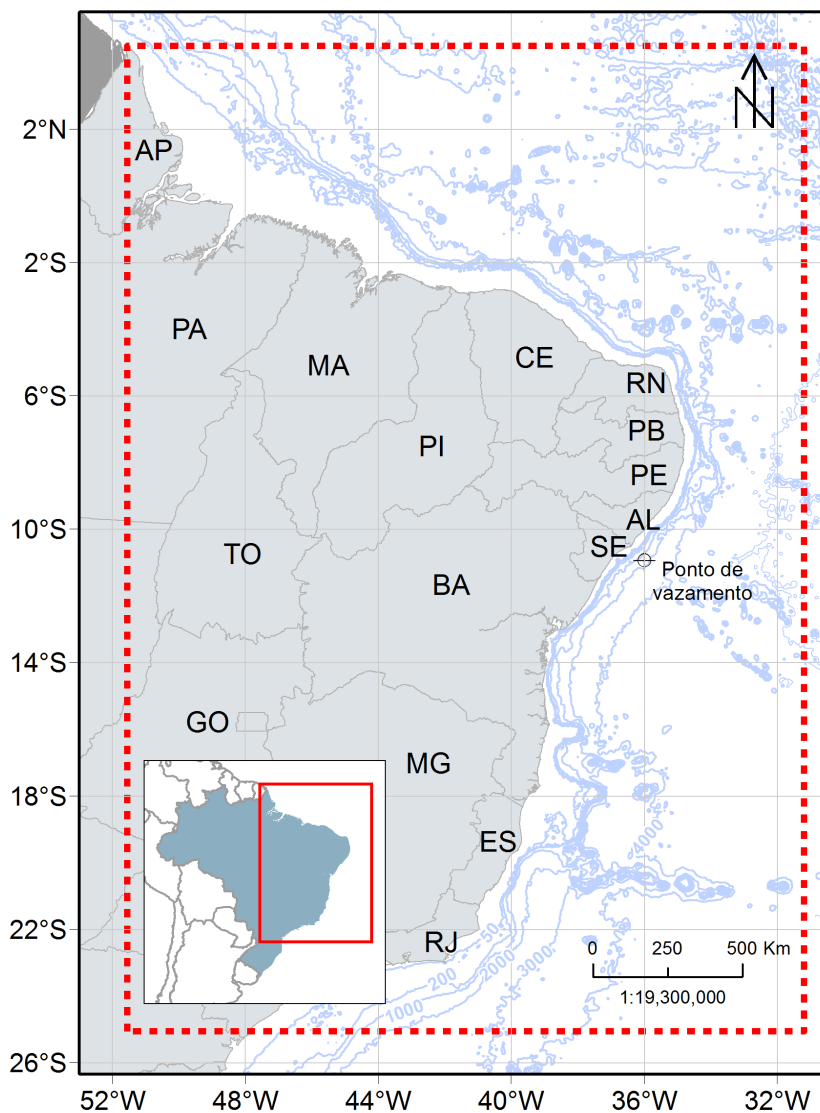


Figura 17: Representação do limite da grade de óleo na escala regional (linha vermelha tracejada).

Para todos os cenários, o número de camadas utilizadas na vertical foi 21, totalizando 125.145.572 elementos. No entanto, para os vazamentos de 8 m³ e 200 m³, a partir da superfície, as camadas verticais foram de 0 a 202 metros de profundidade e para o vazamento de pior caso, a partir do fundo, as camadas foram de 0 a 3.002 m de profundidade.

No estudo em escala local, no interior dos rios Sergipe e São Francisco, utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 150 m nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 11° 18' S, ao norte, 9° 57' S, a oeste, 37° 12' W e a leste, 35° 49' W. Com isso, obteve-se uma matriz com 1.000 por 1.000, totalizando 1.000.000 elementos.

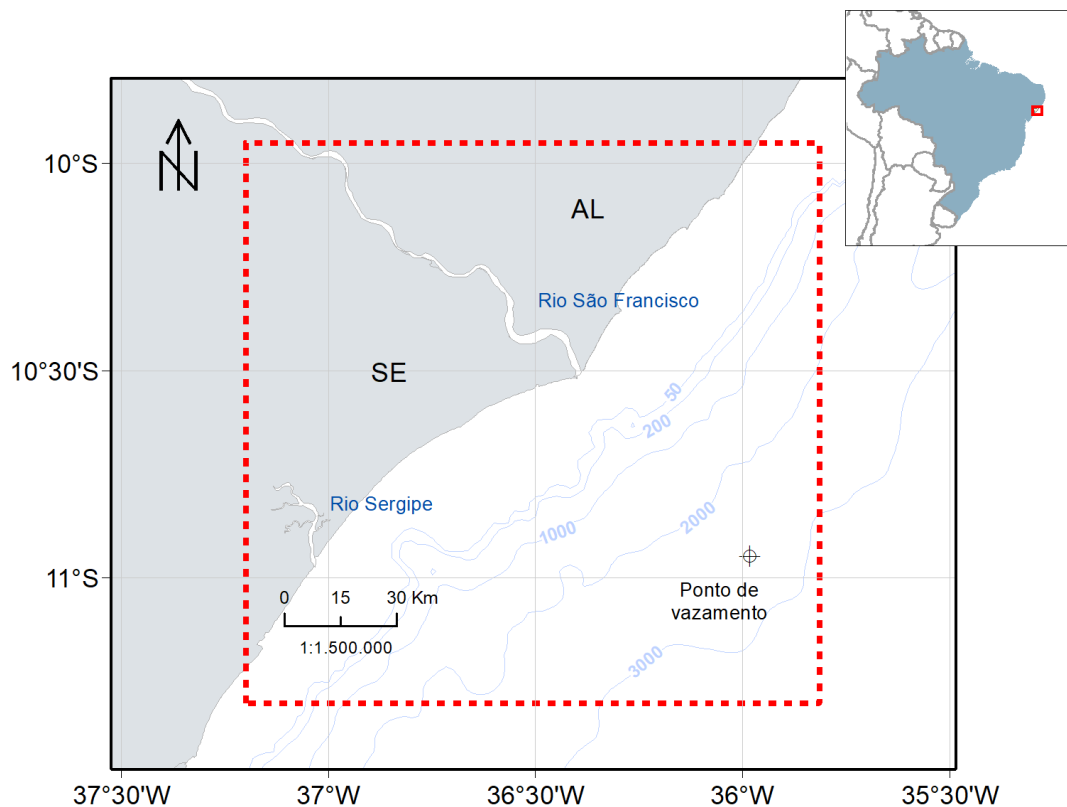


Figura 18: Representação do limite da grade de óleo na escala local (linha vermelha tracejada).

As grades do modelo de óleo com a batimetria são apresentadas na Figura 19 e na Figura 20. Para manter a concordância com a modelagem hidrodinâmica, os dados de batimetria utilizados são provenientes da base global batimétrica ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009).

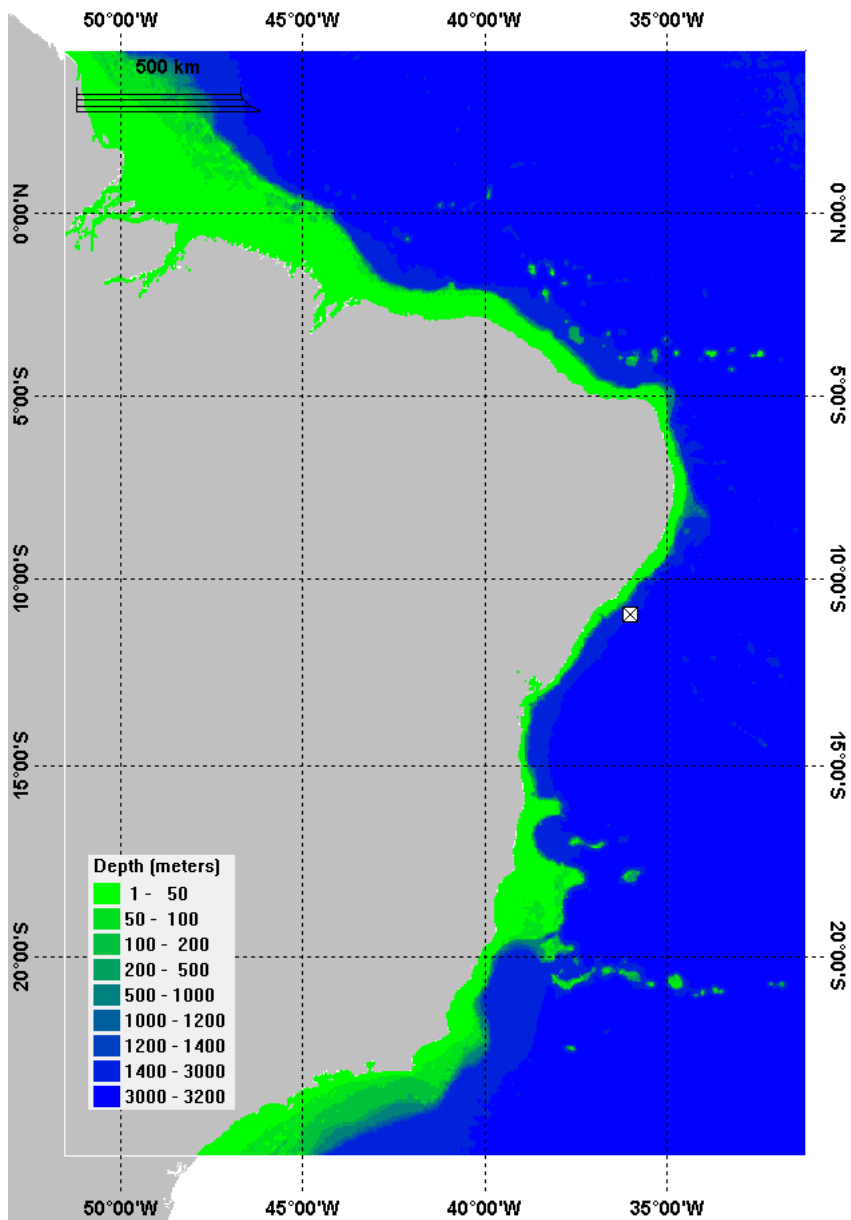


Figura 19: Grade de batimetria utilizada na simulação da escala regional.

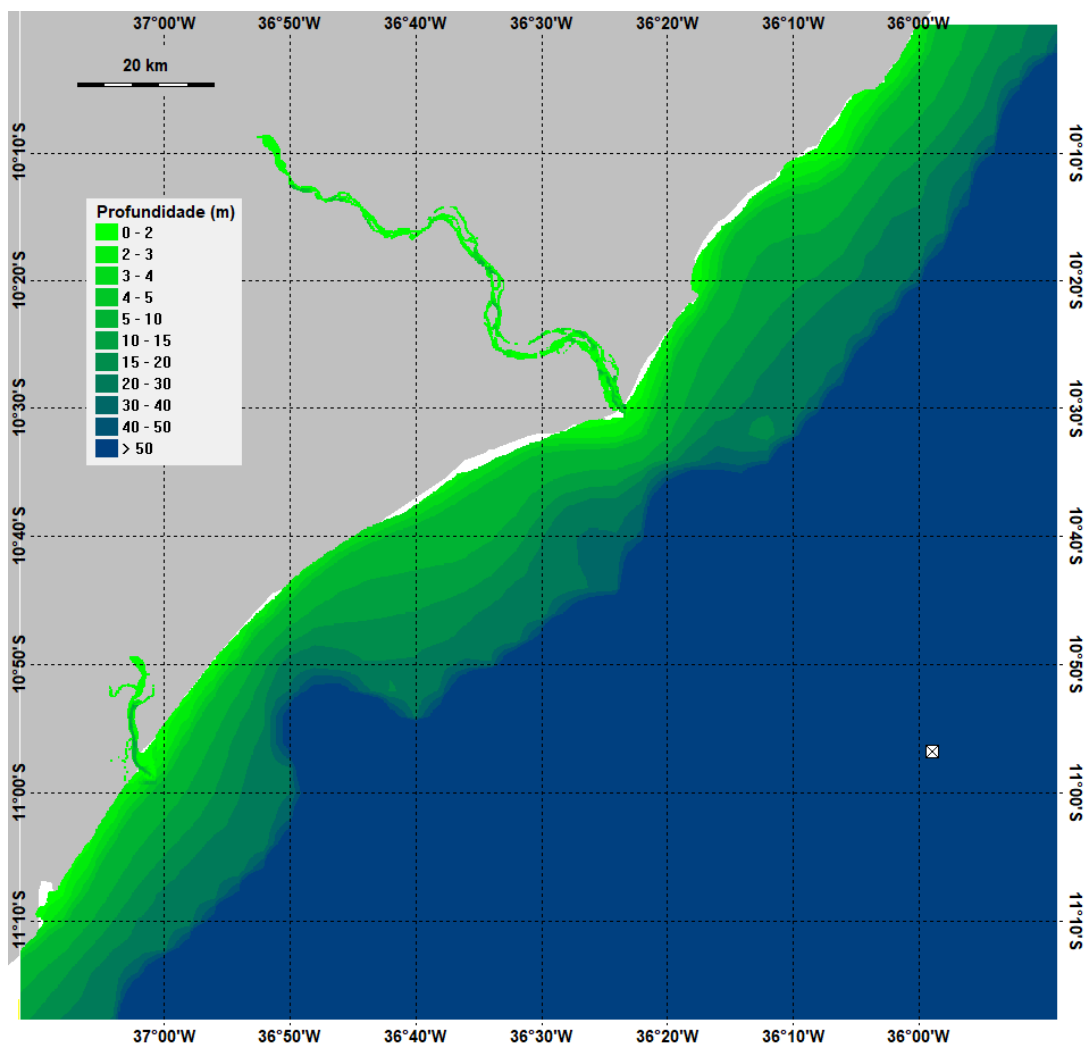


Figura 20: Grade de batimetria utilizada na simulação da escala local.

Conforme apresentado no Anexo III – Óleo na Costa, 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 definirá 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 do banco de dados do Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar (MAREM), que é constituído de informações das Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) e do Projeto de Proteção e Limpeza de Costa (PPLC, 2018).

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, 2018).

O Projeto de Proteção e Limpeza de Costa (PPLC), por sua vez, foi fruto de 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 foi criar um banco de dados georreferenciados de todo o litoral brasileiro, para servir de suporte para o planejamento preliminar e emergencial, e gestão de uma operação de resposta a acidentes envolvendo derramamento de óleo no mar em qualquer ponto da costa.

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, seria considerado para aquele segmento o tipo de costa predominante no entorno.

Para o domínio do estudo foram definidos seis tipos de costa predominantes:

- Praia arenosa;
- Planície de maré;
- Manguezal/Barra de rio vegetada;
- Costão rochoso;
- Estrutura artificial;
- Recifes areníticos.

O detalhamento da linha de costa utilizado na grade da modelagem de óleo é apresentado no Anexo V - Mapa com Detalhamento de linha de costa utilizado para a definição da grade do modelo do OSCAR.

3.1.5 Forçantes

3.1.5.1 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 o 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. Consequentemente, o processo se tornou propenso a erros humanos. Neste contexto, surgiu a Reanálise 2 (R-2), que além de minimizar os erros humanos no processamento, incorporou atualizações no modelo de previsão e diagnóstico (KANAMITSU *et al.*, 2002). Outro fator determinante para o desenvolvimento da R-2 foi o aumento significativo da quantidade e da qualidade dos dados coletados a partir do final dos anos 70. Assim, ao contrário da R-1 que está disponível de 1948 até os dias de hoje, a R-2 encontra-se disponível a partir de 1/1/1979 (CAMPOS, 2009).

O projeto R-2 (NCEP - DOE AMIP-II Reanalysis) 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 22 e Figura 23), elaboradas para o período utilizado, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 4 e Tabela 5) a partir dos dados do ponto de grade do NCEP mais próximo ao ponto de simulação de vazamento na Bacia Sergipe - Alagoas (Figura 21).

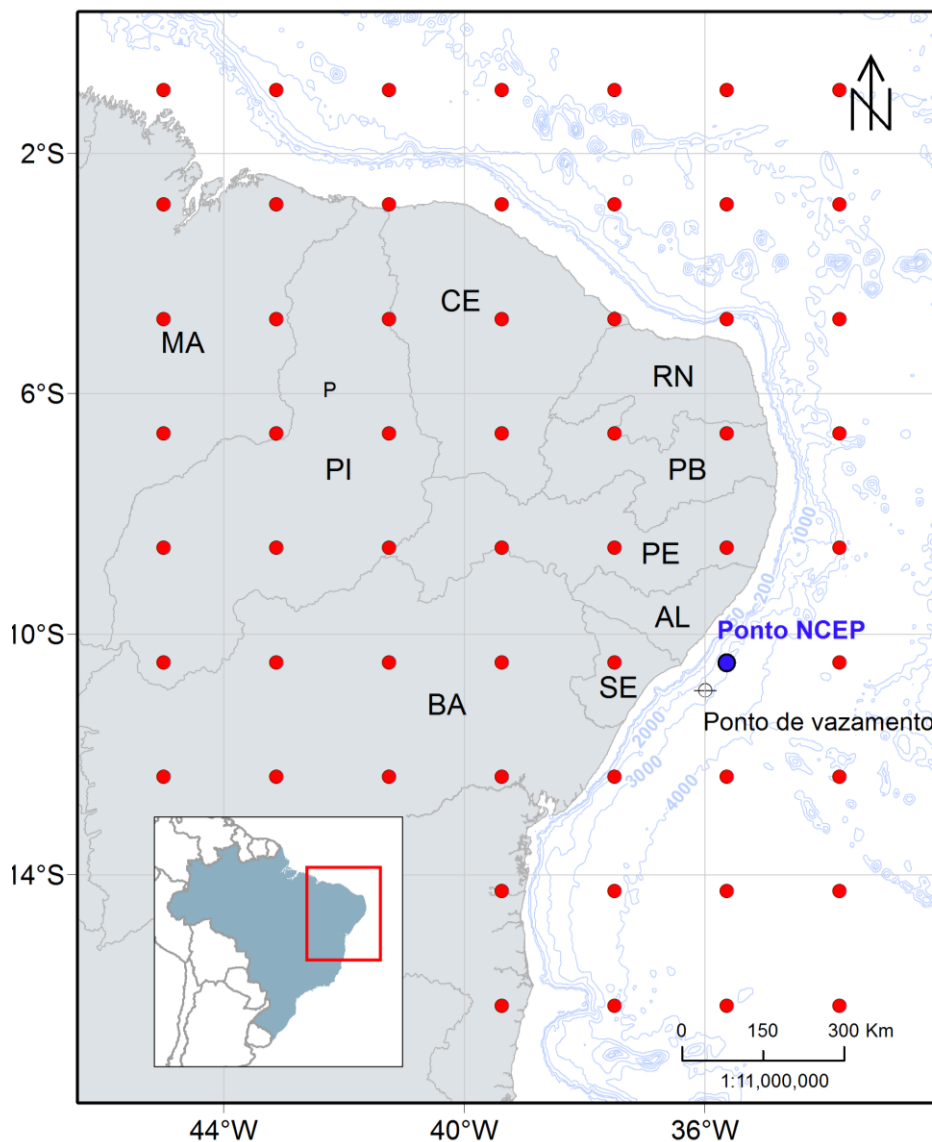


Figura 21: Localização dos pontos de grade do NCEP (em vermelho) em relação ao ponto de vazamento. Ponto em azul é o mais próximo da região de vazamento.

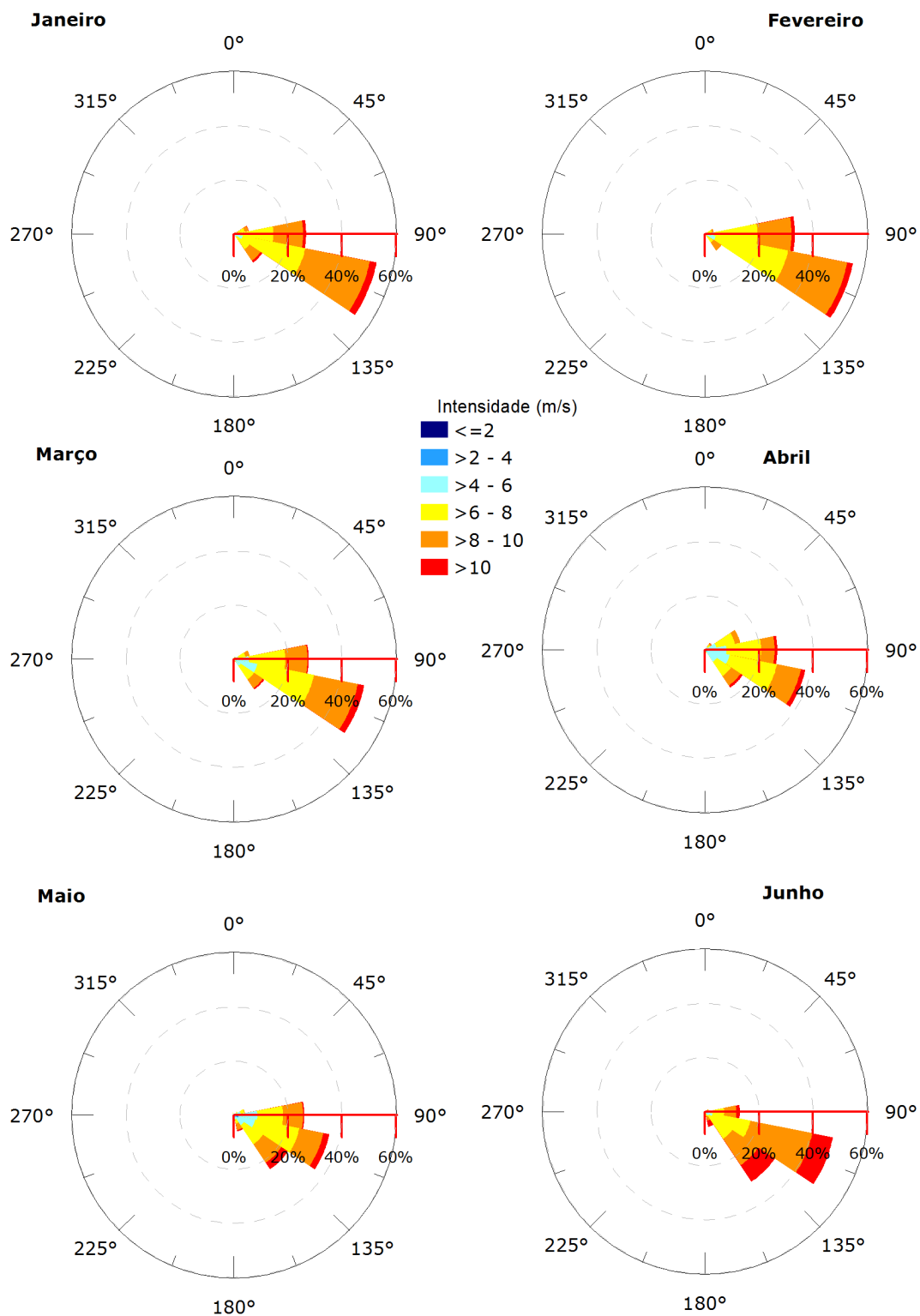


Figura 22: Rosa dos ventos para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

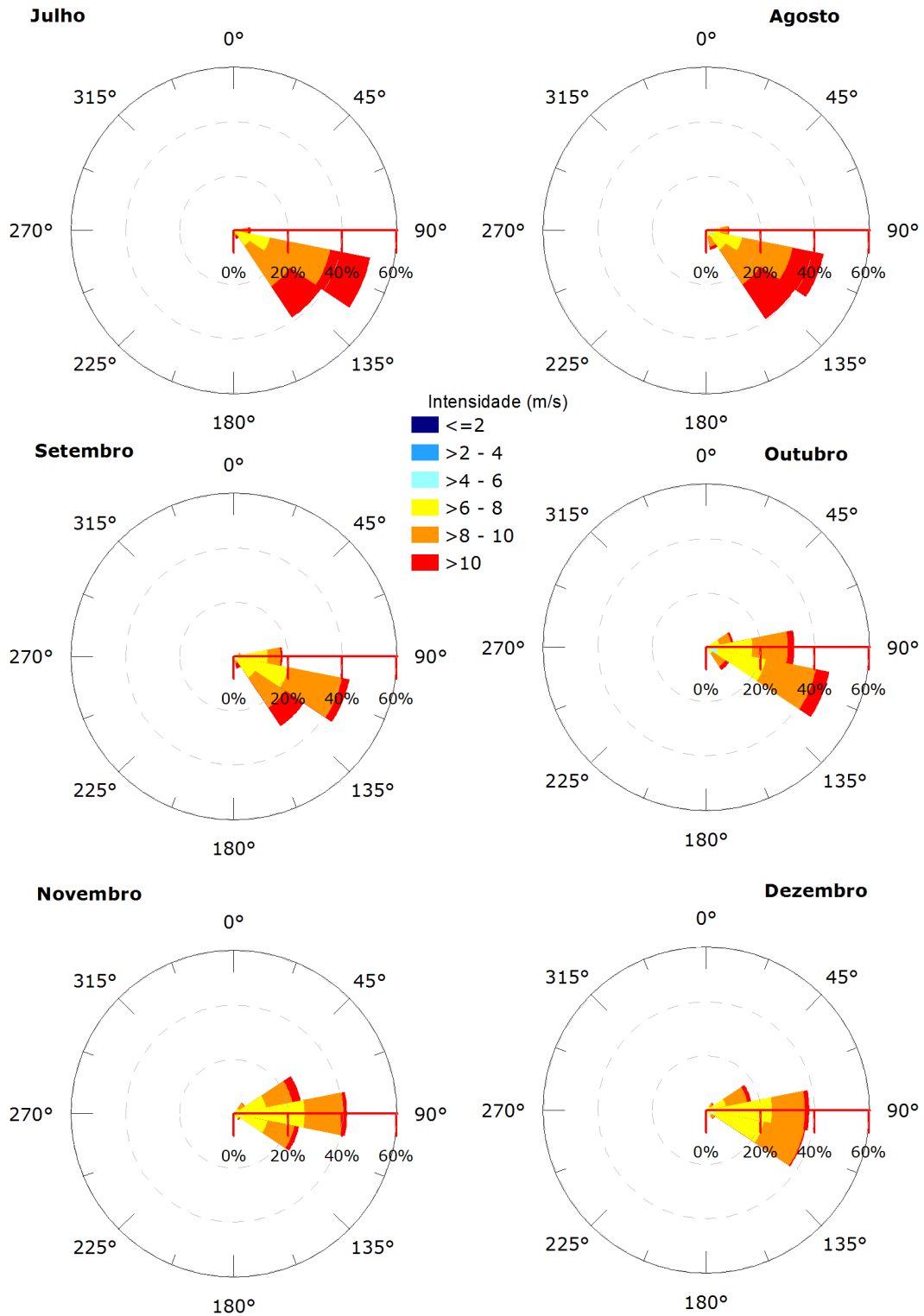


Figura 23: Rosa dos ventos para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Tabela 4: Ocorrência mensal de direção dos ventos para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	-	-	0,5	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-
NNE	-	-	1,0	0,3	0,2	-	-	-	-	-	0,3	0,3
NE	0,8	-	1,0	3,2	1,6	-	-	0,2	-	0,8	5,0	3,4
ENE	5,6	3,4	6,0	13,3	4,2	1,5	0,3	0,3	2,7	10,2	25,2	16,9
E	26,8	33,3	27,7	26,8	26,1	13,0	6,3	8,5	18,0	32,6	41,8	38,1
ESE	53,9	55,9	49,2	37,8	36,0	48,3	51,3	44,2	43,5	46,3	24,5	37,3
SE	12,7	7,4	13,5	16,8	24,0	31,2	38,7	39,4	31,0	10,2	3,0	4,0
SSE	0,2	-	1,1	1,2	6,1	5,8	3,4	7,4	4,7	-	0,2	-
S	-	-	-	0,3	0,3	0,2	-	-	0,2	-	-	-
SSW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WSW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WNW	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
NW	-	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-
NNW	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 5: Ocorrência mensal de intensidade dos ventos para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	> 10
Janeiro	-	-	9,0	44,4	41,9	4,7
Fevereiro	-	0,5	8,9	48,0	39,2	3,4
Março	-	2,6	19,2	44,0	30,6	3,5
Abril	-	3,2	26,0	45,8	21,2	3,8
Mai	0,5	6,6	20,6	38,9	27,3	6,1
Junho	0,2	2,0	6,3	31,2	41,5	18,8
Julho	-	-	2,7	21,1	45,0	31,1
Agosto	0,3	1,9	5,2	22,9	41,3	28,4
Setembro	-	0,5	7,0	38,8	40,0	13,7
Outubro	-	0,3	9,0	38,4	42,3	10,0
Novembro	-	0,5	6,0	49,3	37,5	6,7
Dezembro	-	0,6	8,1	49,2	38,1	4,0

3.1.5.2 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 24 a Figura 25) para o ponto mais próximo do local de vazamento, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 6 a Tabela 7).

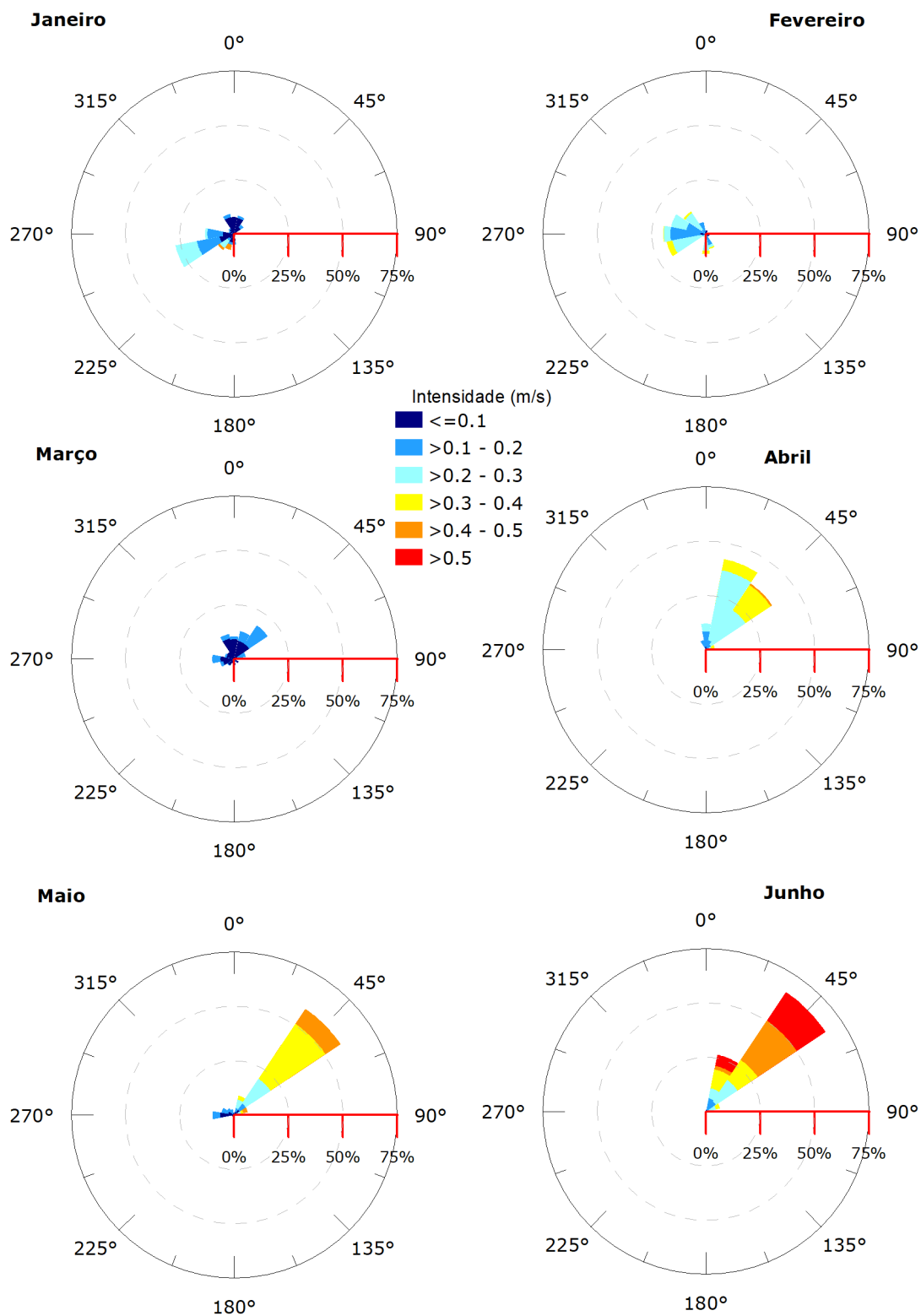


Figura 24: Rosa de correntes para os meses de janeiro a junho para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

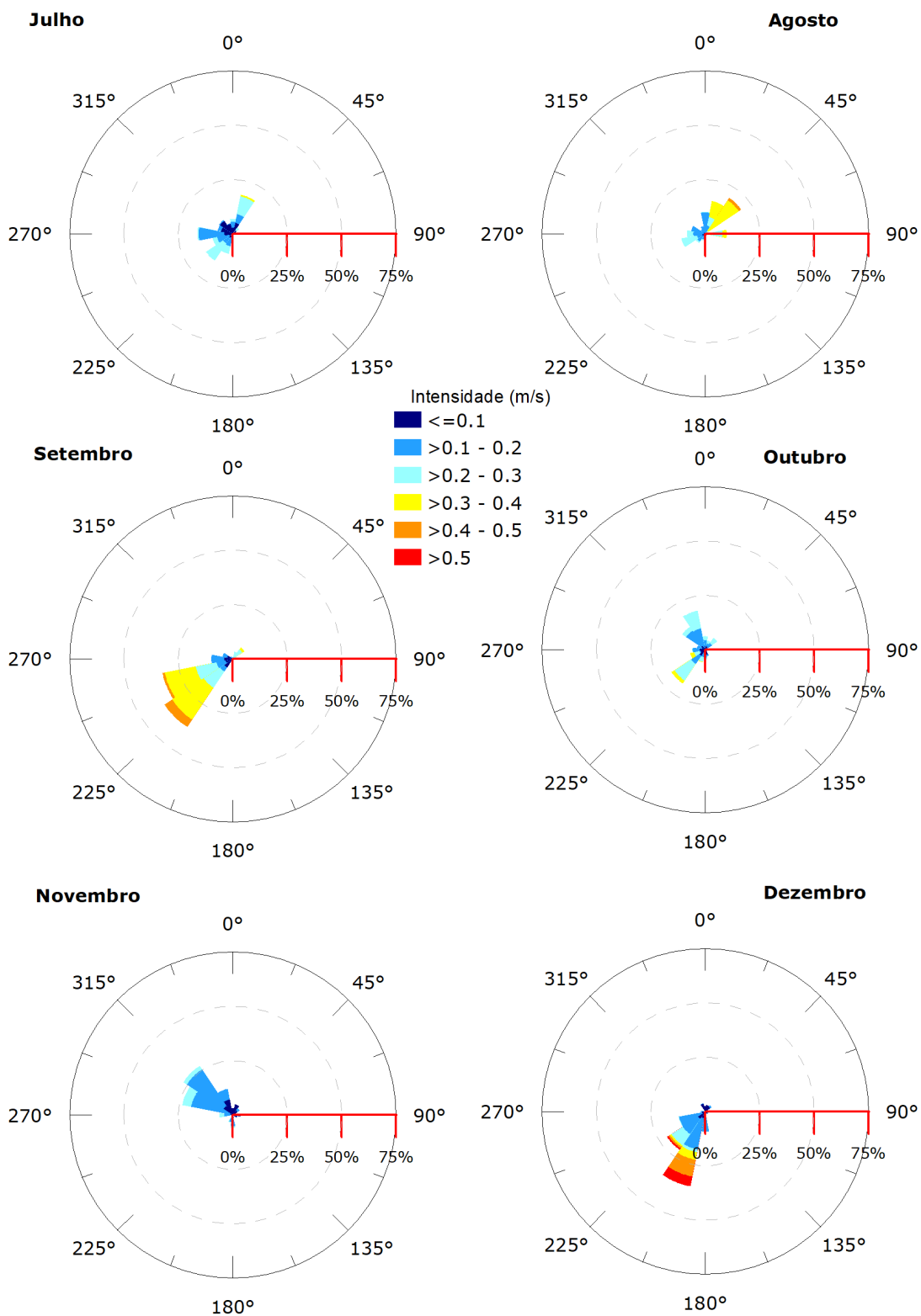


Figura 25: Rosa de correntes para os meses de julho a dezembro para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Tabela 6: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	7,6	1,5	10,3	12,0	0,8	0,6	6,7	10,0	0,8	6,2	3,1	2,4
NNE	8,4	1,5	13,0	42,6	9,1	26,7	18,3	15,4	3,4	4,3	5,0	3,0
NE	5,2	0,3	18,7	36,8	58,9	66,1	3,5	19,9	6,4	6,7	3,9	3,5
ENE	-	0,9	5,4	4,2	6,5	6,7	-	1,6	1,7	1,1	1,4	0,8
E	-	0,9	2,4	-	0,5	-	0,3	10,0	-	-	3,6	1,9
ESE	-	1,8	0,8	-	-	-	-	0,5	-	0,5	2,2	1,6
SE	0,3	1,5	2,4	-	-	-	0,3	1,1	-	1,3	0,6	1,6
SSE	1,1	7,2	1,6	-	0,3	-	-	0,3	-	3,2	1,4	1,4
S	5,2	9,3	3,0	-	-	-	1,6	1,1	-	4,6	5,8	9,5
SSW	7,6	1,2	2,2	-	-	-	9,4	3,2	0,3	5,9	3,6	35,1
SW	9,0	1,8	3,8	-	0,5	-	14,8	5,1	37,7	18,5	-	21,1
WSW	27,5	18,4	6,5	-	1,1	-	9,4	11,1	33,0	7,0	-	12,4
W	13,4	19,6	10,0	-	9,9	-	16,2	8,4	9,8	5,9	6,1	1,9
WNW	2,5	16,3	4,3	-	5,9	-	7,0	6,5	4,7	3,8	23,7	-
NW	3,0	12,3	3,8	-	3,8	-	7,5	2,4	1,4	12,6	27,3	-
NNW	9,3	5,4	11,7	4,5	2,7	-	4,9	3,5	0,8	18,3	12,3	3,8

Tabela 7: Ocorrência mensal de intensidade das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

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	54,0	27,2	15,3	-	3,5	-
Fevereiro	16,6	36,1	41,3	6,0	-	-
Março	70,5	29,5	-	-	-	-
Abril	2,8	17,3	58,2	20,9	0,8	-
Mai	18,5	18,5	19,1	33,3	10,5	-
Junho	1,1	11,4	21,1	21,9	23,3	21,1
Julho	36,9	35,3	27,0	0,8	-	-
Agosto	8,1	40,4	23,7	26,4	1,3	-
Setembro	14,5	18,2	28,8	33,2	5,3	-
Outubro	22,3	42,5	31,5	3,8	-	-
Novembro	34,8	56,0	9,2	-	-	-
Dezembro	28,9	44,9	7,8	4,3	8,6	5,4

3.1.5.3 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 **novembro a abril** e a segunda, denominada **Período 2**, compreende os meses de **maio a outubro**.

A partir da observação das rosas dos ventos do ponto do NCEP próximo ao ponto 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 de ESE e E, e intensidades predominantes entre 6 e 8 m/s, enquanto no Período 2 os ventos são principalmente de ESE e SE e as intensidades predominantes são maiores, ficando entre 8 e 10 m/s.

Em relação às correntes, levando em consideração a posição do ponto de vazamento em águas profundas, este não se encontra na região preferencial do fluxo das correntes de contorno oeste, além de estar localizado em uma região da bifurcação da Corrente Sul Equatorial. Portanto há uma grande variação das direções observadas neste ponto de vazamento nos dois períodos sazonais definidos. Em relação às intensidades predominantes de cada período, de maneira geral o Período 2 apresenta intensidades maiores que o Período 1, acima de 0,1 m/s, enquanto que o Período 1, apresenta porcentagem significativa de correntes entre 0 e 0,1 m/s em alguns meses.

3.1.5.4 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.

O perfil apresentado (Figura 26) representa a média dos dados para o ponto de grade mais próximo do ponto de vazamento e dentro dos períodos sazonais escolhidos (3.1.5.3 Separação Sazonal).

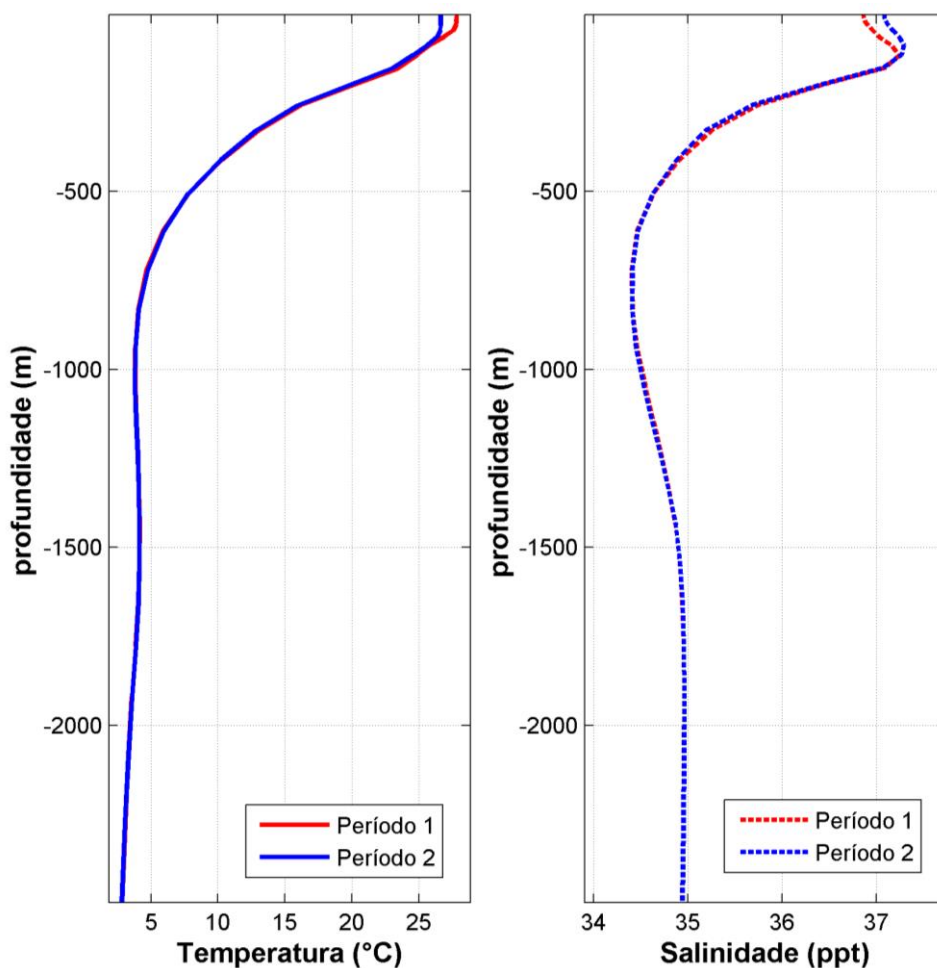


Figura 26: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao ponto de vazamento.

3.1.6 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 ao ponto de vazamento na Bacia Sergipe - Alagoas (Figura 21). Os resultados podem ser observados na Figura 27.

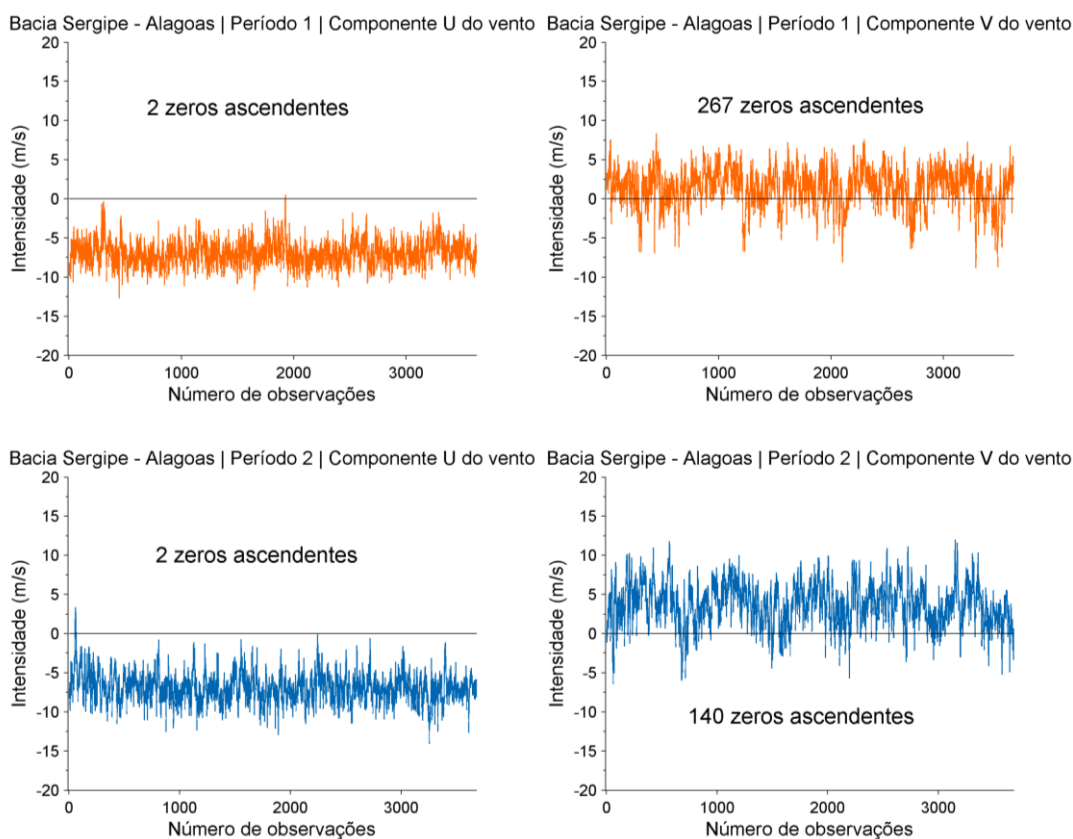


Figura 27: Séries temporais das componentes “u” e “v”, do vento, para a região do ponto de vazamento na Bacia Sergipe - Alagoas, com o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que o número de zeros ascendentes para a componente zonal (u) do vento foi de apenas 2 em ambos os períodos sazonais adotados. Já a componente meridional (v) apresentou 267 zeros ascendentes no Período 1 e 140 no Período 2.

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 267 e 140 para os períodos 1 e 2, respectivamente. No estudo em questão foram utilizadas 270 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.

3.1.7 Resumo das características das simulações

Os parâmetros utilizados no presente estudo são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de óleo.

Parâmetros dos modelos			
Ambos os modelos			
Número de partículas	Gotículas (não dissolvidas)	20.000	
	Dissolvidas	20.000	
Duração da simulação		60	dias
Número de simulações no modo probabilístico		270	Período 1
		270	Período 2
Modelo regional			
Dimensão da grade	Zonal	~2.040	km
	Meridional	~3.300	km
Resolução da grade	Direção X (longitude)	3,5	km
	Direção Y (latitude)	3,5	km
	Direção Z (profundidade) (vazamentos superfície / vazamento de fundo)	10 / 150	m
Profundidade para grade de concentração	Min:	0	m
	Max (vazamentos superfície / vazamento de fundo)	202 / 3.002	m
Limiar de concentração na coluna d'água		20	ppb
Passos de tempo	Passo de tempo de cálculo	15	min
	Passo de tempo de saída	1	hora
Modelo local (rios)			
Dimensão da grade	Zonal	~150	km
	Meridional	~150	km
Resolução da grade	Direção X (longitude)	150	m
	Direção Y (latitude)	150	m
	Direção Z (profundidade)	150	m
Profundidade para grade de concentração	Min:	0	m
	Max	3.002	m
Limiar de concentração na coluna d'água		20	ppb
	Passo de tempo de cálculo	6	min
	Passo de tempo de saída	30	min

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.

3.2. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados das simulações de deriva do óleo cru para vazamentos de 8 m³, 200 m³ e 238.480,9 m³ (equivalente ao vazamento diário de 7.949,4 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, 270 diferentes simulações para cada período definido (Período 1 e 2), para cada volume (8 m³, 200 m³ e 238.480,9 m³), totalizando 1.620 possíveis cenários ambientais de vazamento. Este número de simulações foi definido conforme descrito no item 3.1.6 – Variabilidade Ambiental.

Para os resultados probabilísticos de escala local, também foram realizadas 270 diferentes simulações em cada período sazonal para o volume de pior caso, pois este foi o cenário de vazamento que houve chegada de óleo nos rios.

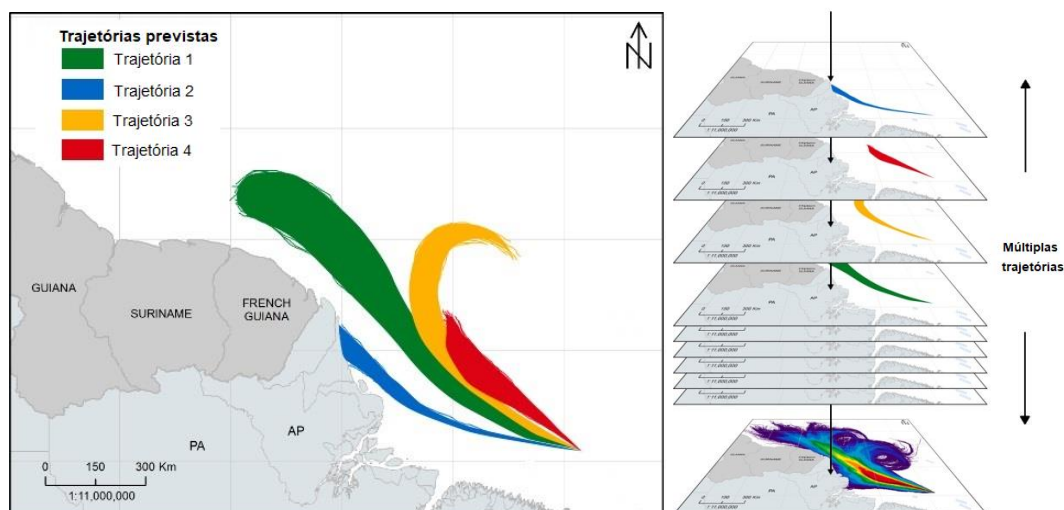


Figura 28: Exemplos de quatro trajetórias de derramamentos individuais para um cenário de vazamento genérico (à esquerda). Centenas de trajetórias individuais são sobrepostas umas sobre as outras, como mostrado à direita para calcular os resultados estocásticos (probabilidade, tempos mínimos de chegada, massa máxima de óleo encalhado na costa, etc.).

Os mapas/gráficos das simulações probabilísticas apresentados a seguir são resultados de:

- Probabilidade de chegada de óleo – Este mapa define os locais (superfície, costa, coluna d’água e/ou fundo marinho) e a probabilidade associada em que se espera que a massa de óleo exceda o limiar que define a presença de uma mancha de óleo.
- Tempo mínimo de chegada de óleo – Este mapa corresponde ao tempo mínimo de chegada de óleo ao mapa de probabilidade de presença de óleo. A ideia deste mapa é mostrar o menor tempo necessário para que o óleo exceda os limiares ambientais (espessura, concentração e/ou massa) definidos em cada ponto de grade se ocorrer um vazamento de óleo.
- Massa ou concentração máxima de óleo - Este mapa corresponde a massa ou concentração máxima ao mapa de probabilidade de presença de óleo. A ideia deste mapa é mostrar o máximo de massa ou concentração para os locais onde o óleo excede os limiares ambientais (espessura, concentração e/ou massa) definidos em cada ponto de grade se ocorrer um vazamento de óleo.
- Balanço de massa do óleo - Gráficos do tipo *box-plot* para o balanço de massa do óleo considerando todos os processos de intemperismo, onde é possível observar valores mínimo, máximo, mediana, primeiro e terceiro quartis.

No modo determinístico, os cenários a serem simulados foram definidos através da análise dos resultados das simulações probabilísticas de pior caso. Foram selecionadas as simulações que apresentaram o menor tempo de chegada de óleo na costa e a maior massa de óleo atingindo a costa dentre os cenários simulados. O intemperismo e a evolução da massa e área da mancha de óleo serão apresentados ao final de cada simulação determinística, através de gráficos e tabelas que apresentam os valores ao longo da simulação.

3.2.1 Resultados Probabilísticos

A seguir serão apresentados os resultados do modo probabilístico para os vazamentos de 8 m³, 200 m³ e 238.480,9 m³ de óleo cru a partir de um ponto de risco no bloco SEAL-M-351, na Bacia Sergipe - Alagoas nos dois cenários sazonais definidos, Período 1 (novembro a abril) e Período 2 (maio a outubro).

3.2.1.1 Volume de 8 m³

3.2.1.1.1 Período 1

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença e tempo mínimo de deslocamento do óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 1 (Figura 29 e Figura 30).

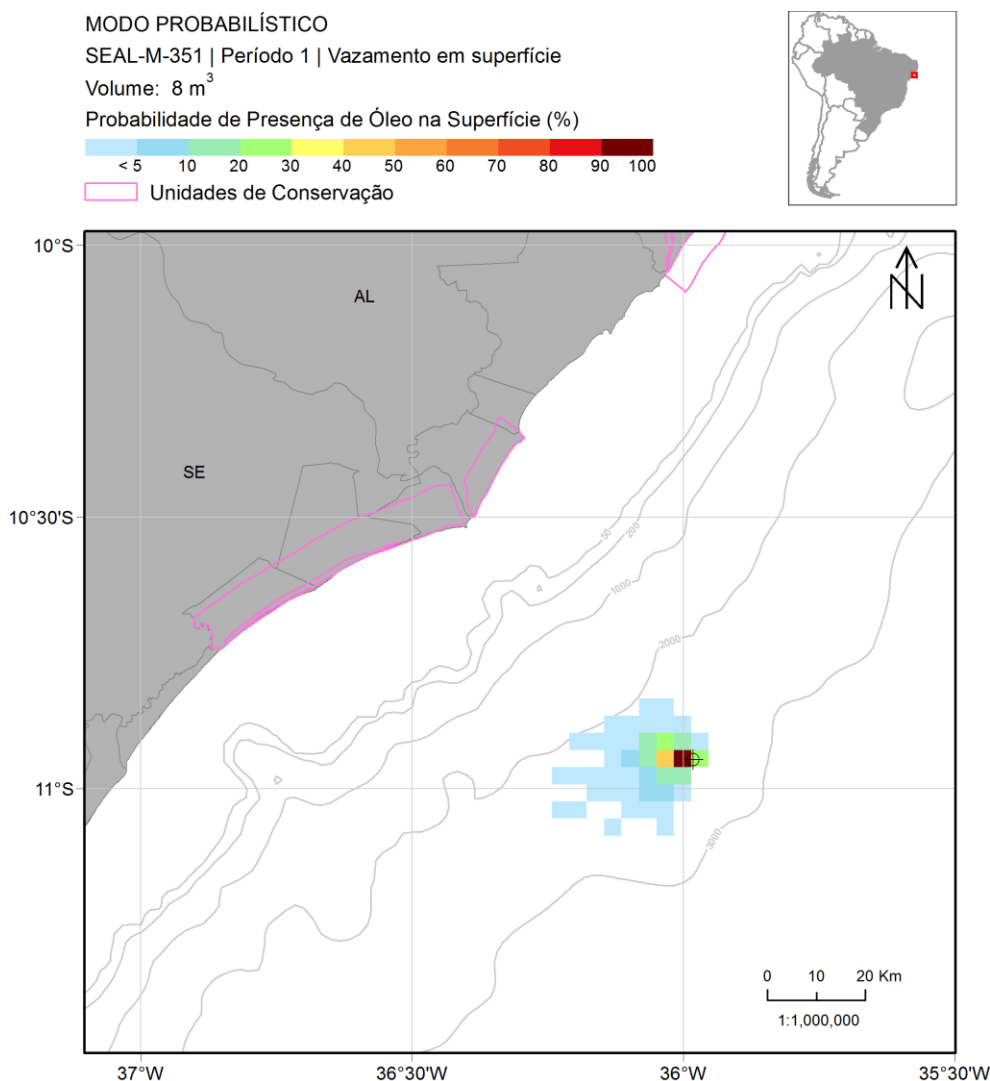


Figura 29: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 8 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

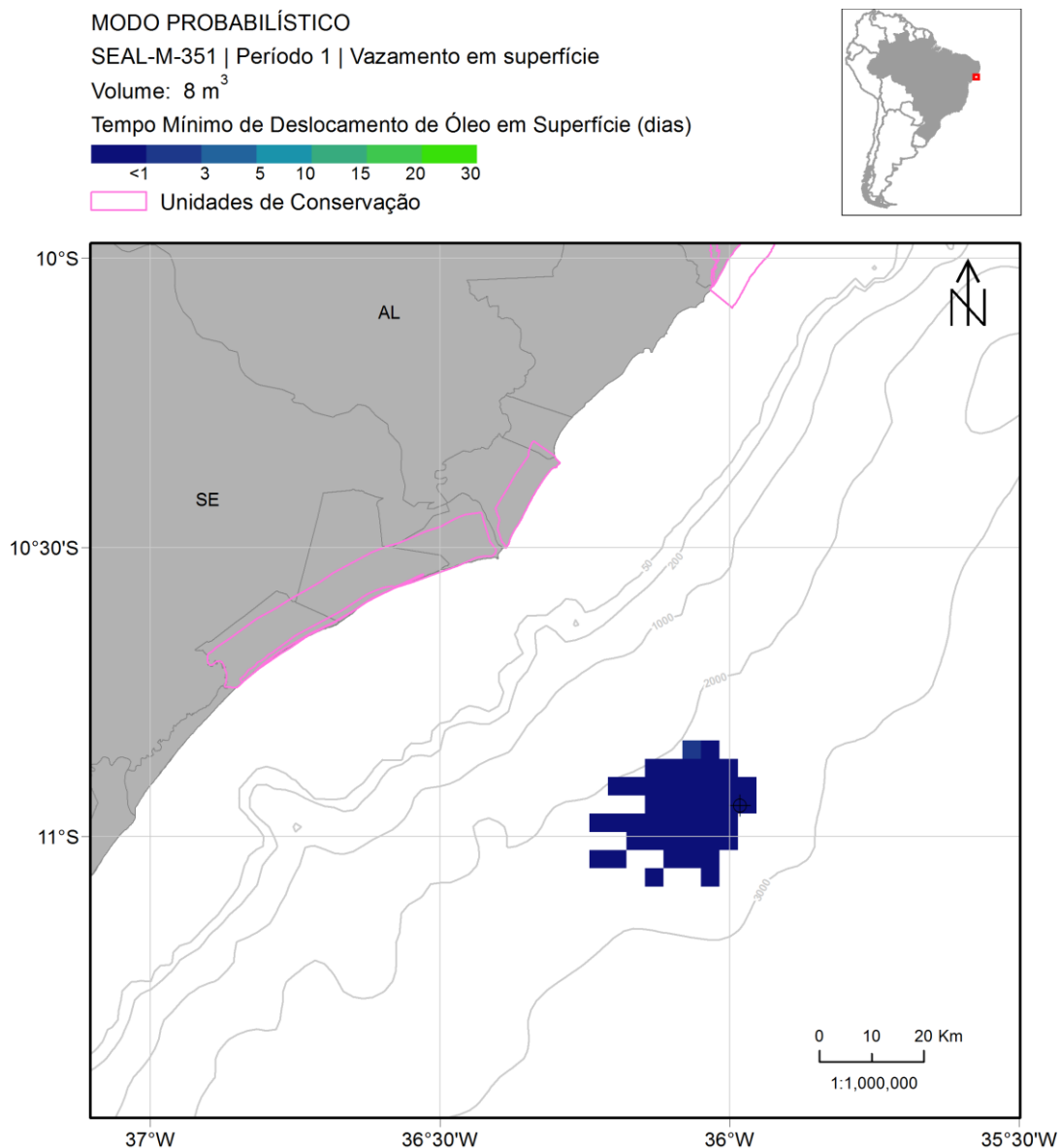


Figura 30: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 8 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

Neste cenário, a deriva do óleo é principalmente para oeste e sudoeste devido à influência da Corrente do Brasil (já que a bifurcação da Corrente Sul Equatorial está acima do ponto de vazamento neste período) e dos ventos de sudeste e leste mais frequentes.

A distância máxima que o óleo pode alcançar é de 30 km, distância que pode ser alcançada ainda no primeiro dia de simulação. Não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em unidades de conservação neste cenário.

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a evaporação foi o principal processo de intemperismo ao longo da simulação, com mediana de 69%. A dispersão na coluna d'água e a degradação

apresentaram medianas de 14% e 12%, respectivamente. A sedimentação teve mediana de 4%, mas pode retirar até 26% do total de óleo. O óleo remanescente em superfície ao final das simulações é inferior a 1% em todas as simulações.

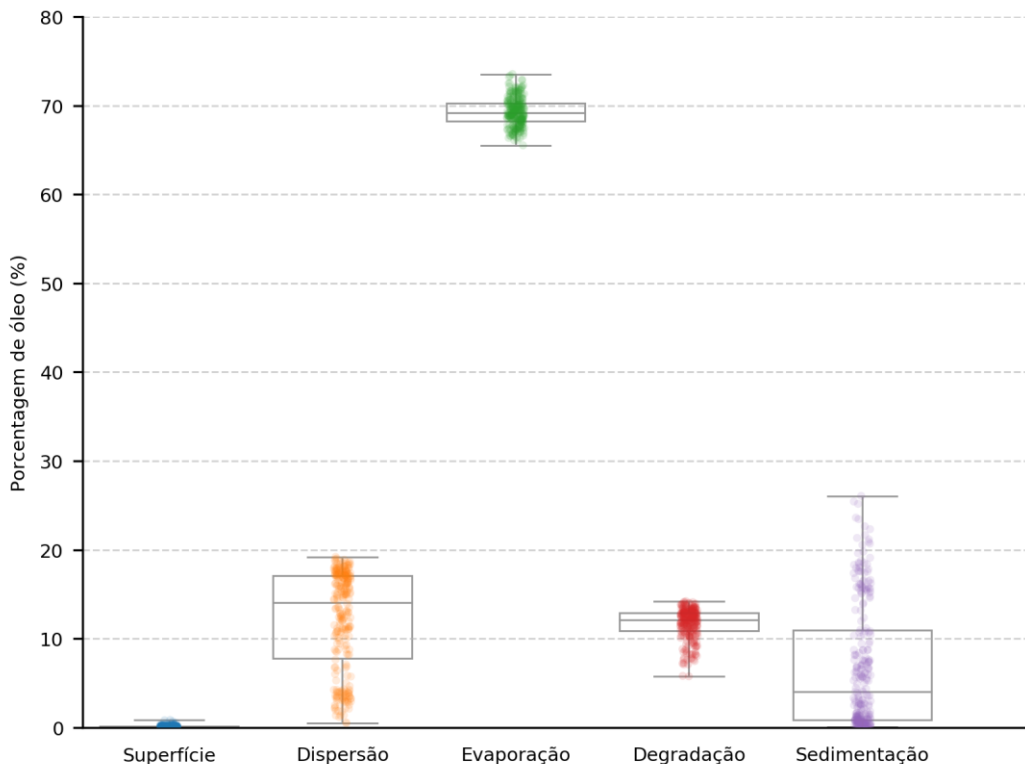


Figura 31: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.1.2 Período 2

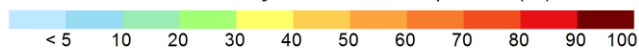
A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença e tempo mínimo de deslocamento do óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 2 (Figura 32 e Figura 33).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento em superfície

Volume: 8 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (%)



Unidades de Conservação

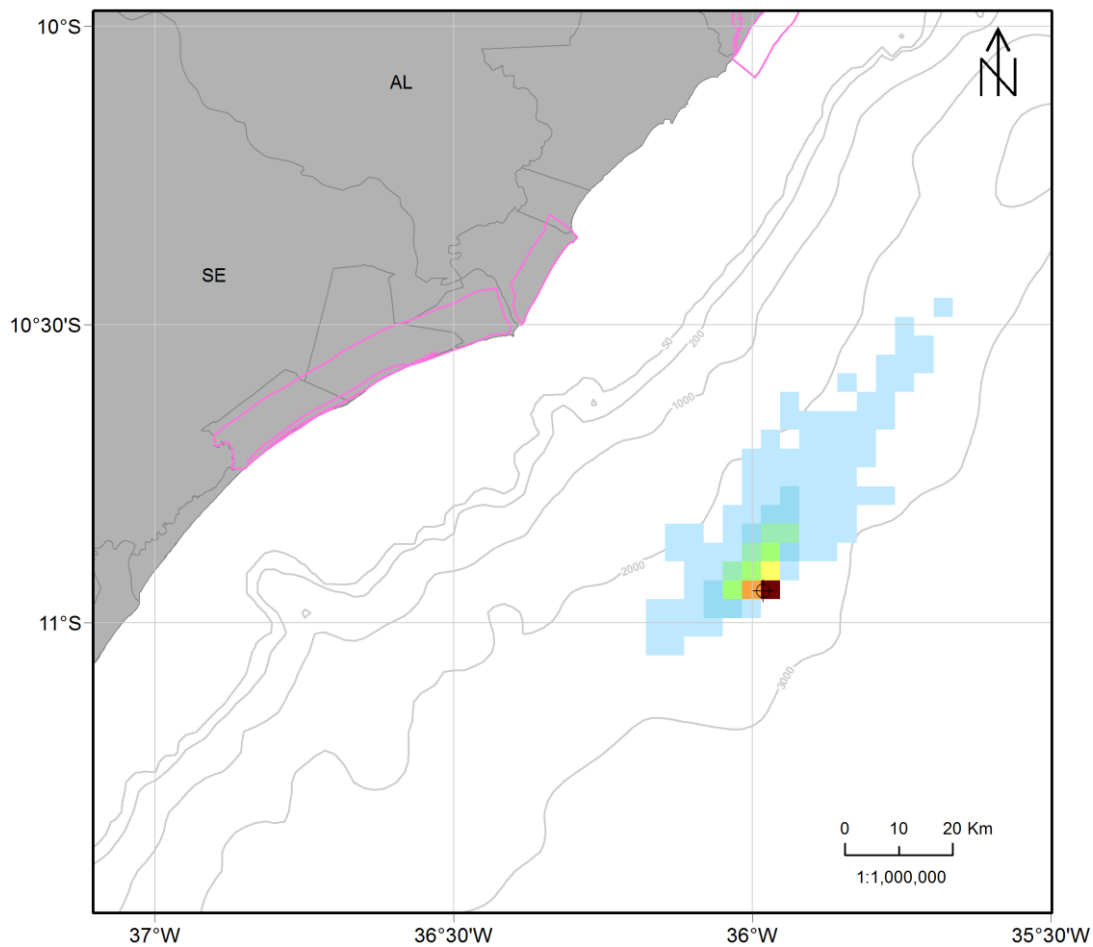


Figura 32: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 8 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

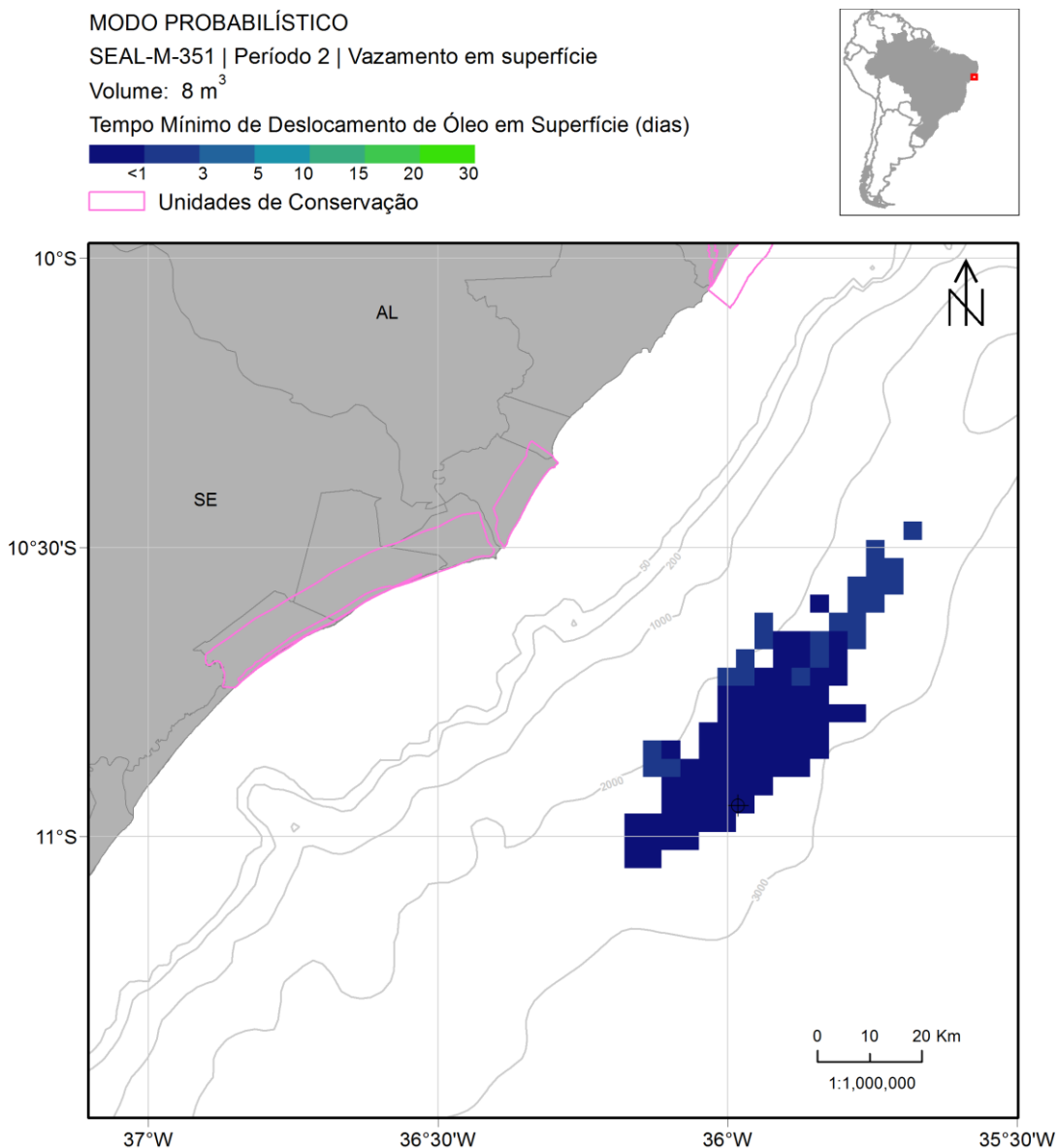


Figura 33: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 8 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Com o deslocamento para sul da região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial, a região próxima ao ponto de vazamento fica na maior parte do tempo sob influência da Subcorrente Norte do Brasil, que flui para norte e segue a orientação da costa. Por isso, a direção principal da deriva de óleo neste cenário é para nordeste.

O óleo alcança uma distância de até 65 km do ponto de vazamento e os pontos mais distantes são atingidos entre 1 e 3 dias. Assim como no Período 1, não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em unidades de conservação.

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a evaporação foi o principal processo de intemperismo ao longo

da simulação, com mediana de 69%. A sedimentação teve mediana de 20%, enquanto a degradação e dispersão na coluna d'água apresentaram medianas de 9% e 3%, respectivamente. O óleo remanescente em superfície ao final das simulações é inferior a 1% em todas as simulações.

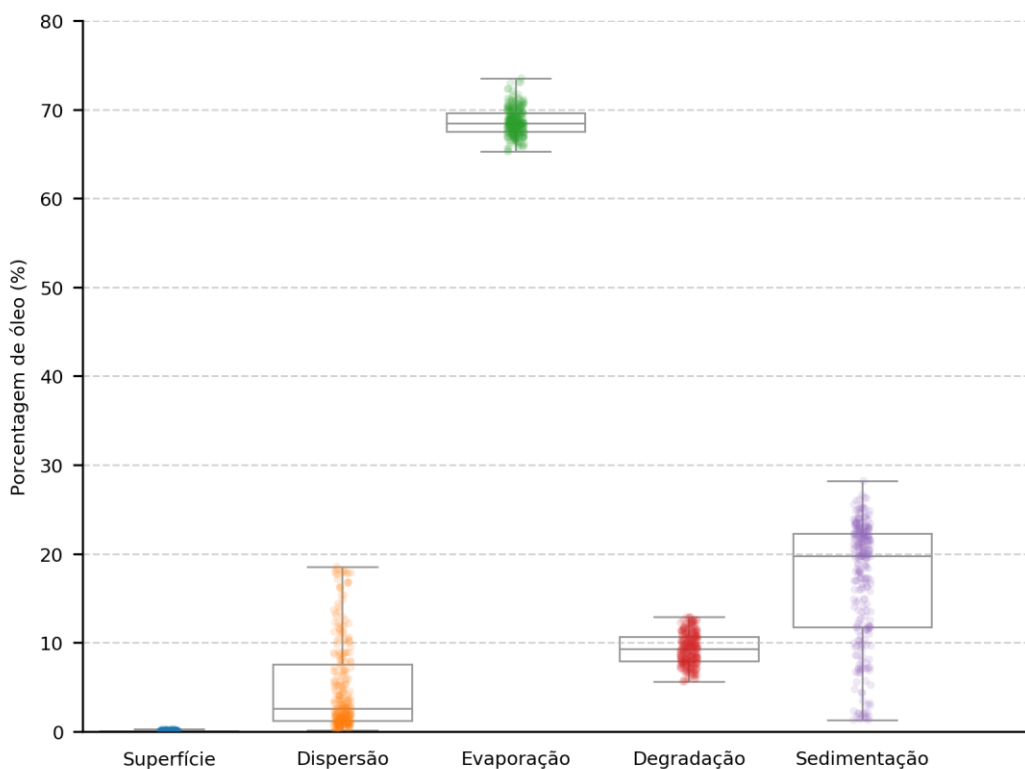


Figura 34: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2 Volume de 200 m³

3.2.1.2.1 Período 1

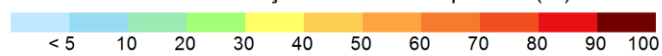
A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na coluna d'água e o mapa de tempo mínimo de deslocamento do óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 1 (Figura 35 à Figura 37).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento em superfície

Volume: 200 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (%)



Unidades de Conservação

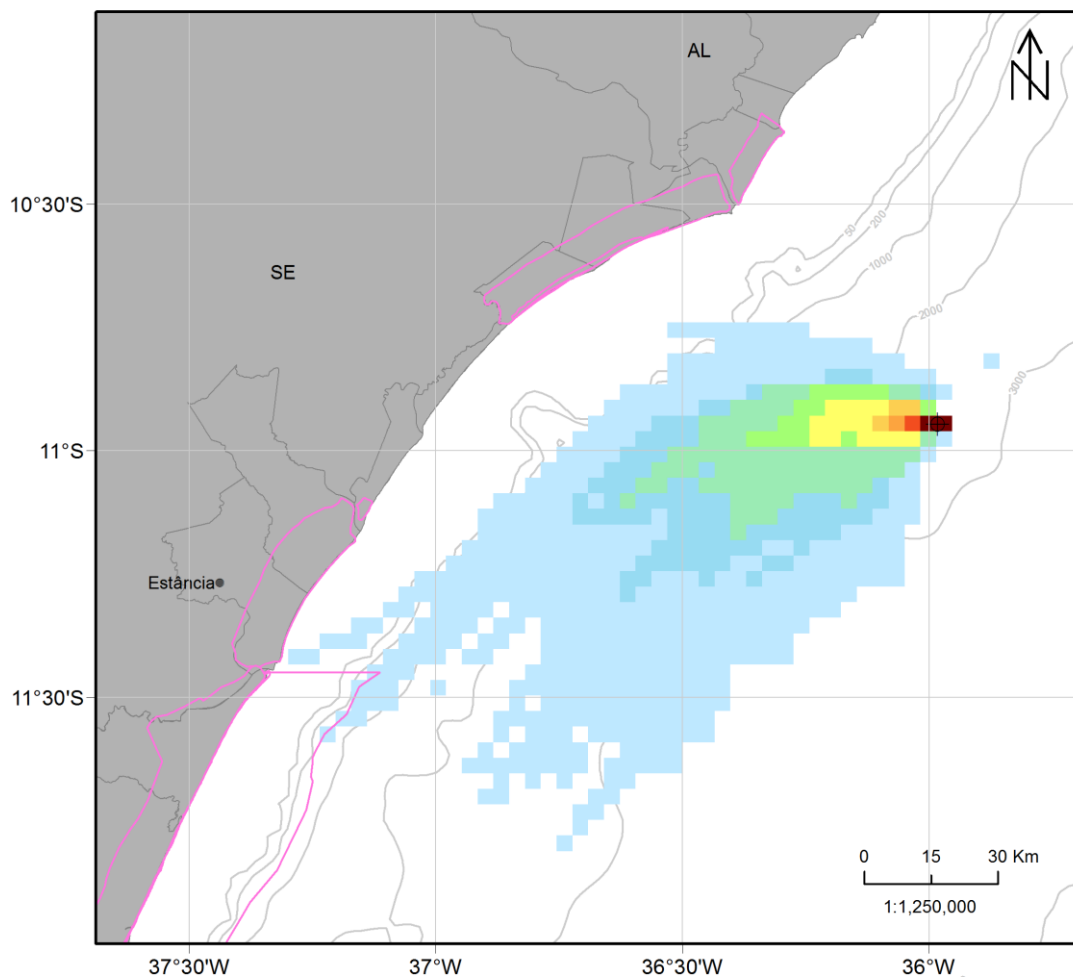


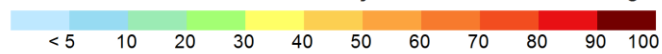
Figura 35: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento em superfície

Volume: 200 m³

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



Unidades de Conservação

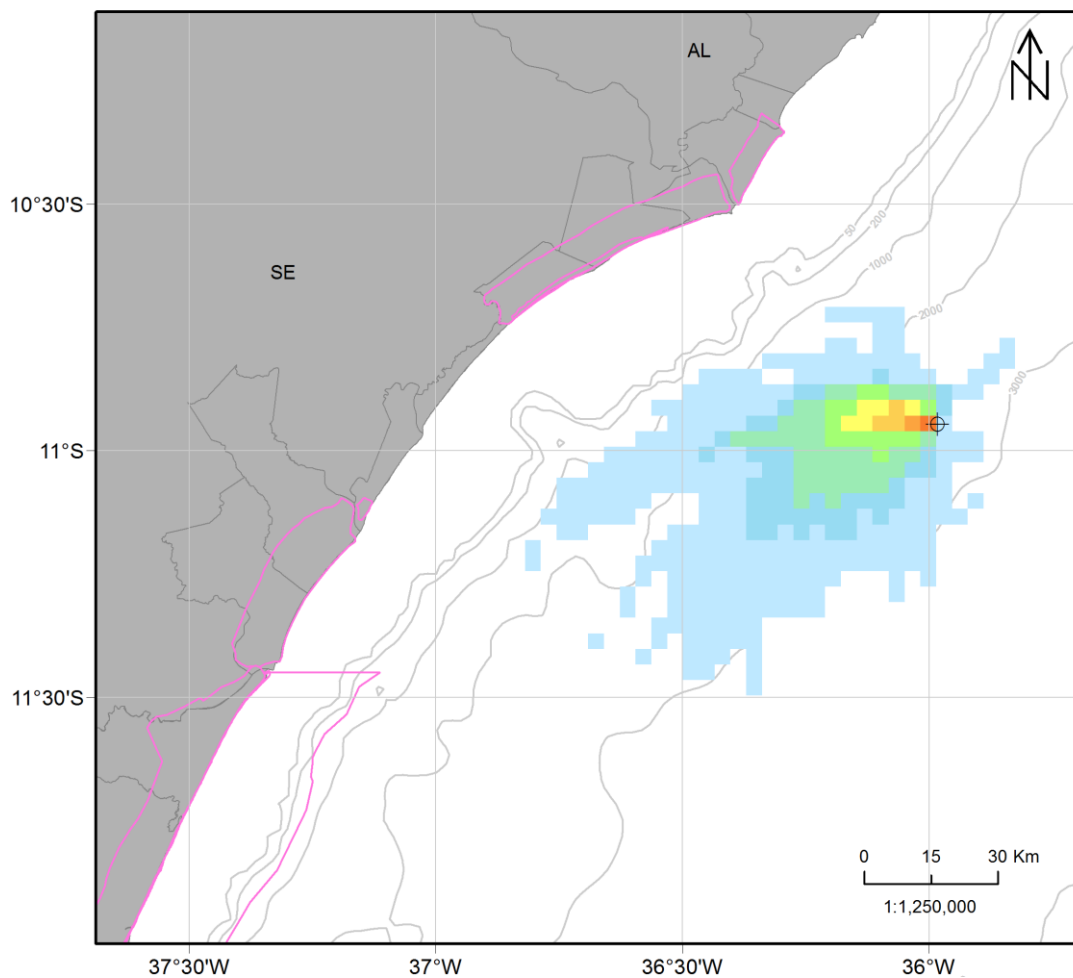


Figura 36: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

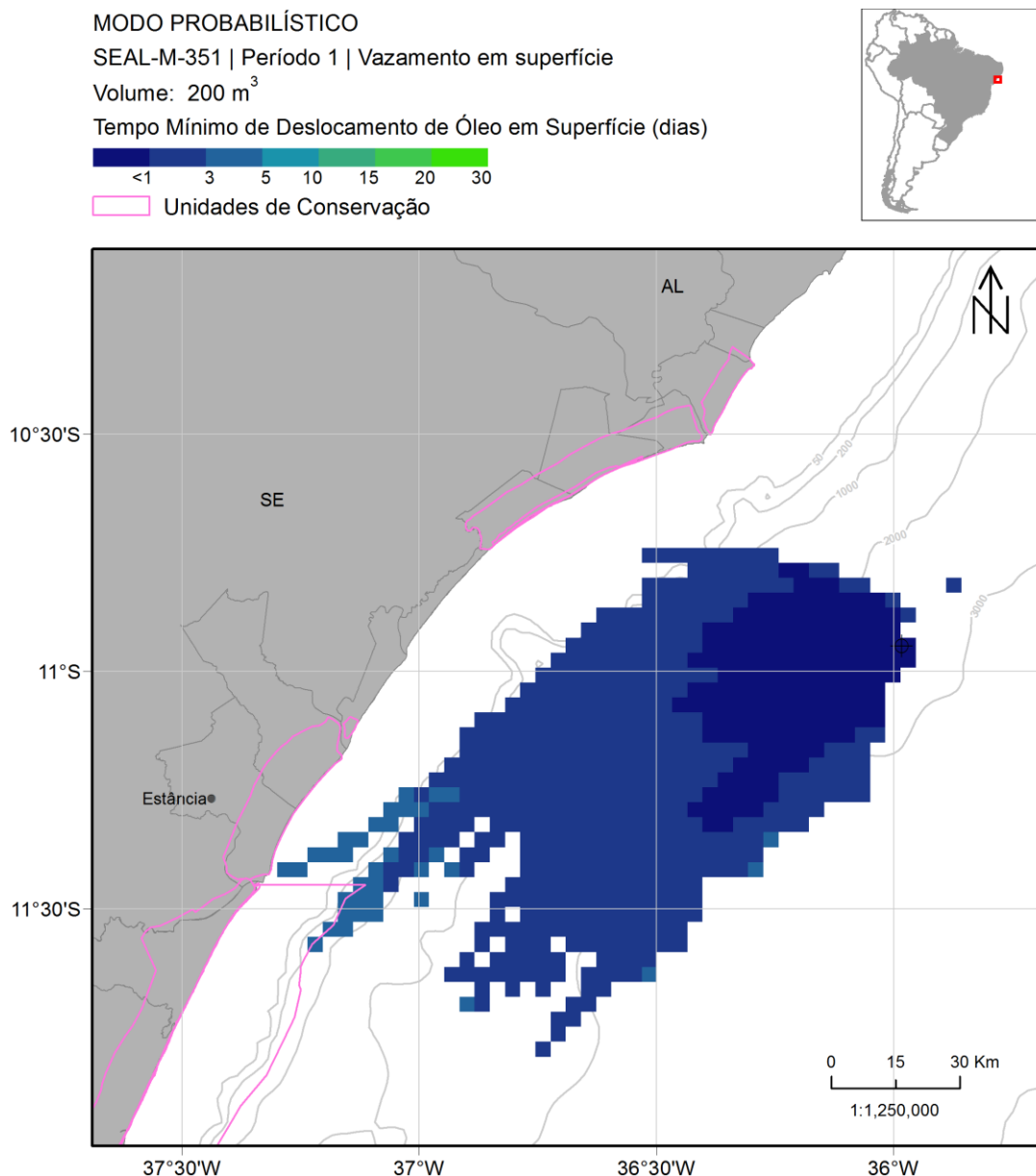


Figura 37: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

Neste cenário, a deriva do óleo é principalmente para oeste e sudoeste devido à influência da Corrente do Brasil (já que a bifurcação da Corrente Sul Equatorial está acima do ponto de vazamento neste período) e dos ventos de sudeste e leste mais frequentes.

Em superfície, o óleo alcança uma distância de até 154 km do ponto de vazamento. Em relação ao tempo de deslocamento, tem-se que o óleo pode alcançar até 62 km no primeiro dia de simulação e os pontos mais distantes podem ser atingidos entre 3 e 5 dias.

Na coluna d'água, o padrão é semelhante ao observado em superfície, mas a área de probabilidade de presença de óleo e os valores são menores. Há probabilidade de presença até

32 metros e o máximo é entre 60-70% nos primeiros metros da coluna d'água na região do vazamento.

Não há probabilidade de chegada de óleo na costa, porém o óleo em superfície pode se aproximar a uma distância menor que um ponto de grade (2 km) do município de Estância – SE. Em relação às Unidades de Conservação, há probabilidade de chegada em apenas uma, a APA da Plataforma Continental do Litoral Norte, com menos de 1%, e tempo mínimo de 3 dias.

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a evaporação foi o principal processo de intemperismo ao longo da simulação, com mediana de 71%. A dispersão na coluna d'água e a degradação apresentaram medianas em torno de 11%. A sedimentação teve mediana de 6%, mas pode retirar até 26% do total de óleo. O óleo remanescente em superfície ao final das simulações é inferior a 1% em todas as simulações.

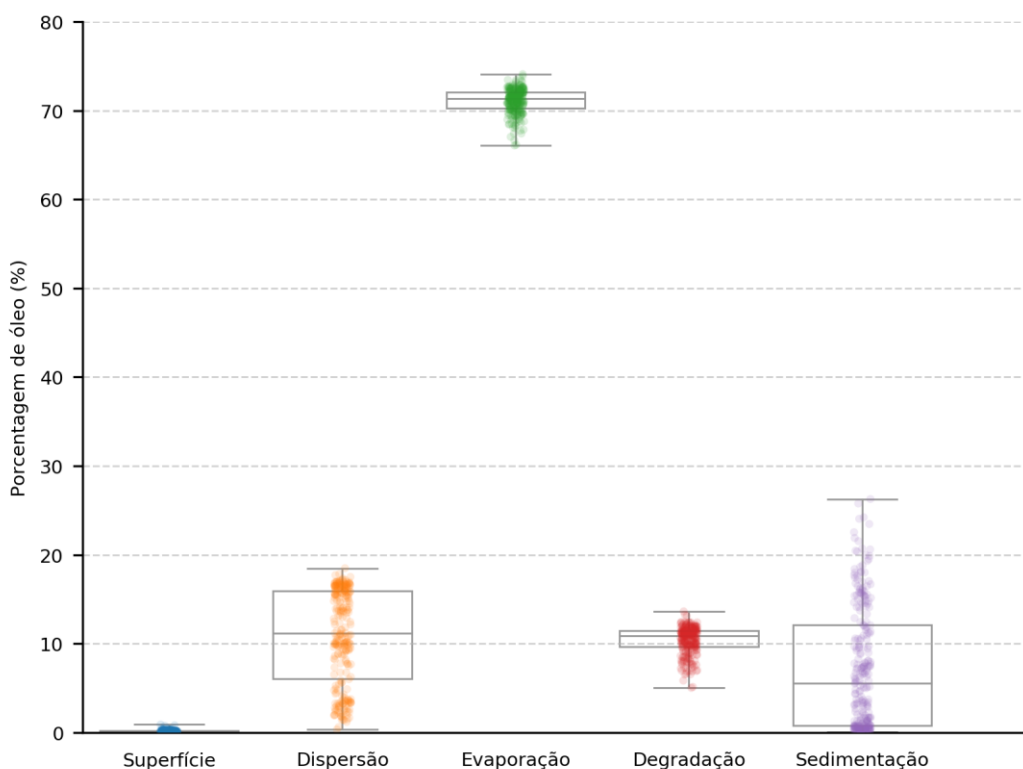


Figura 38: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2.2 Período 2

A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e na coluna d'água e o mapa de tempo mínimo de deslocamento do óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 2 (Figura 39 à Figura 41).

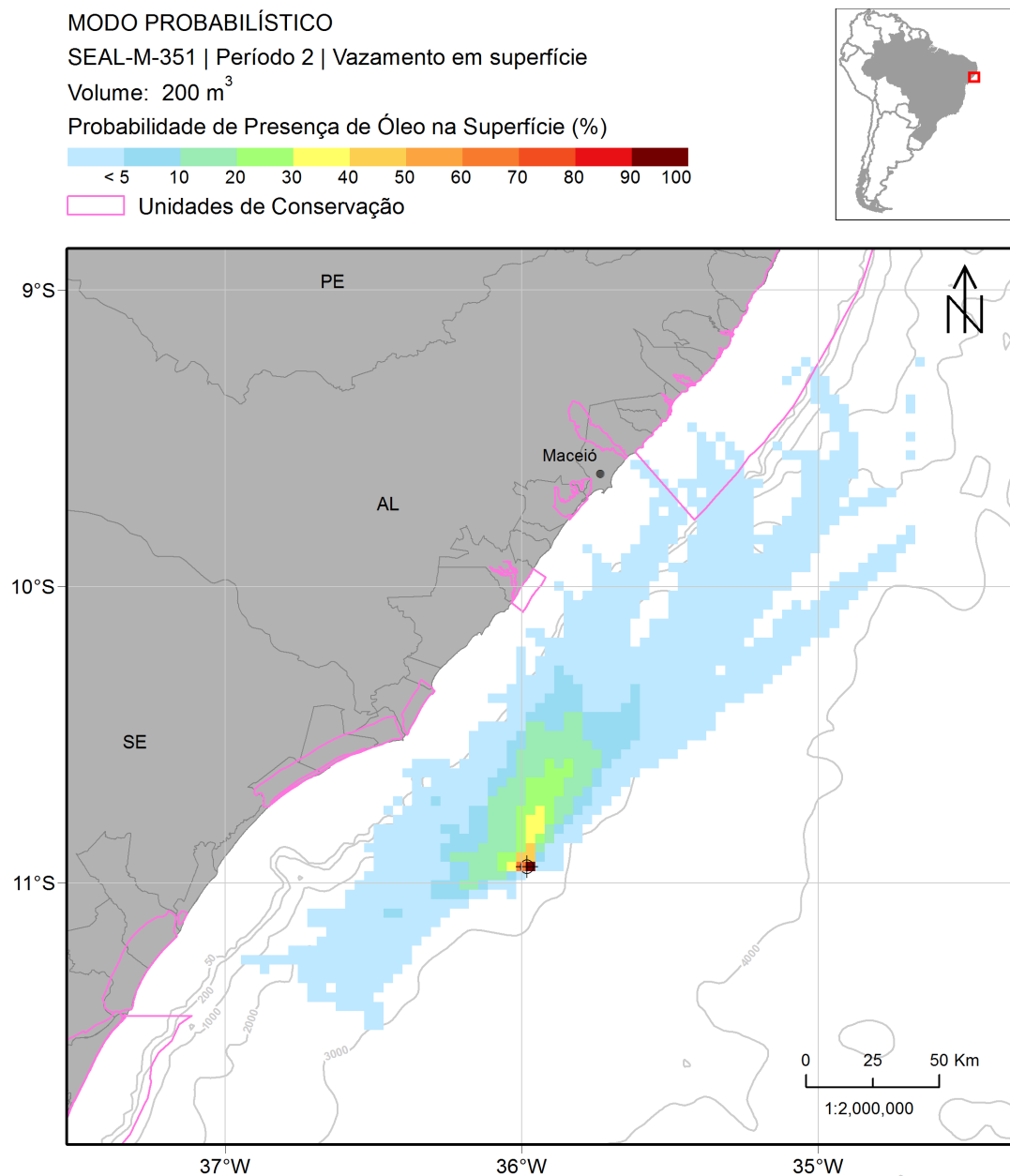


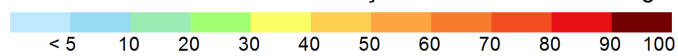
Figura 39: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento em superfície

Volume: 200 m³

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



Unidades de Conservação

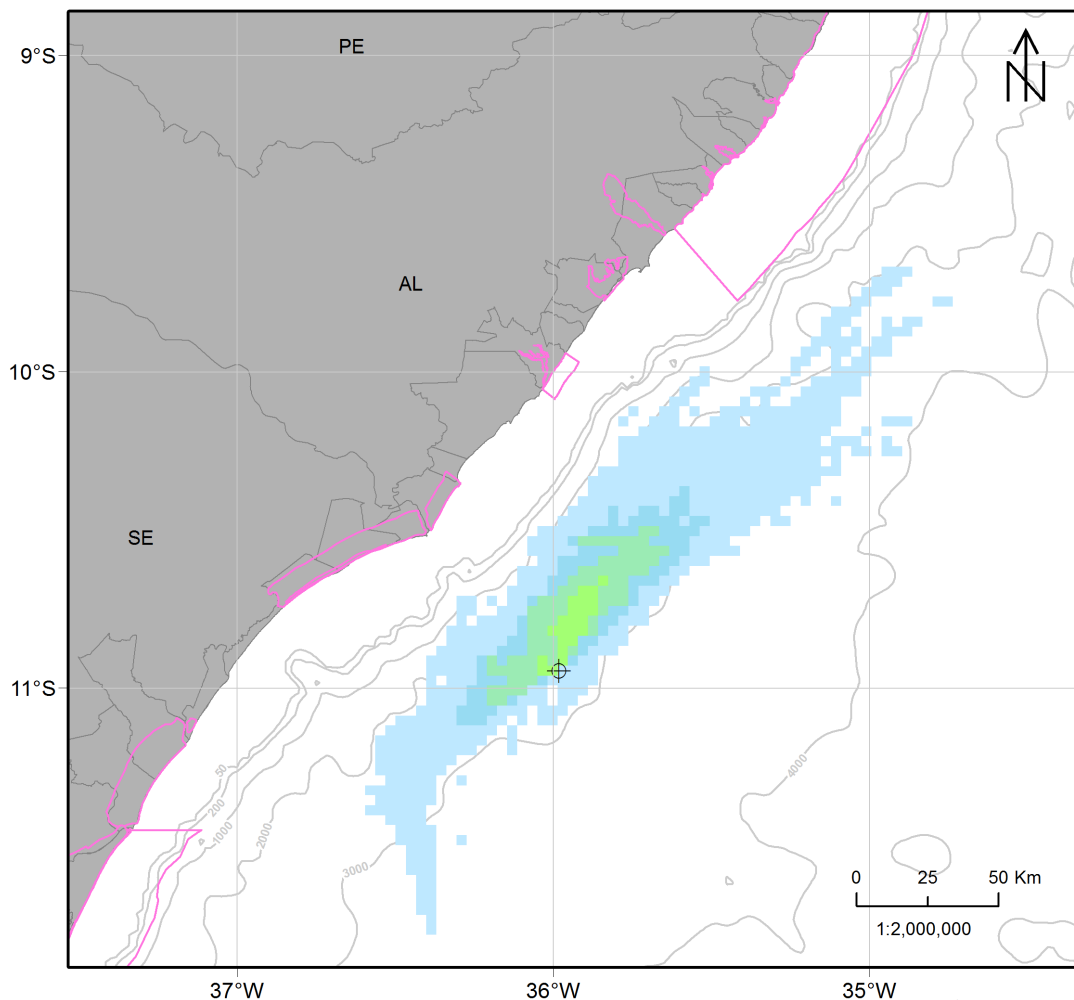


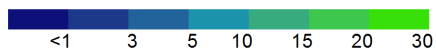
Figura 40: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento em superfície

Volume: 200 m³

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



Unidades de Conservação

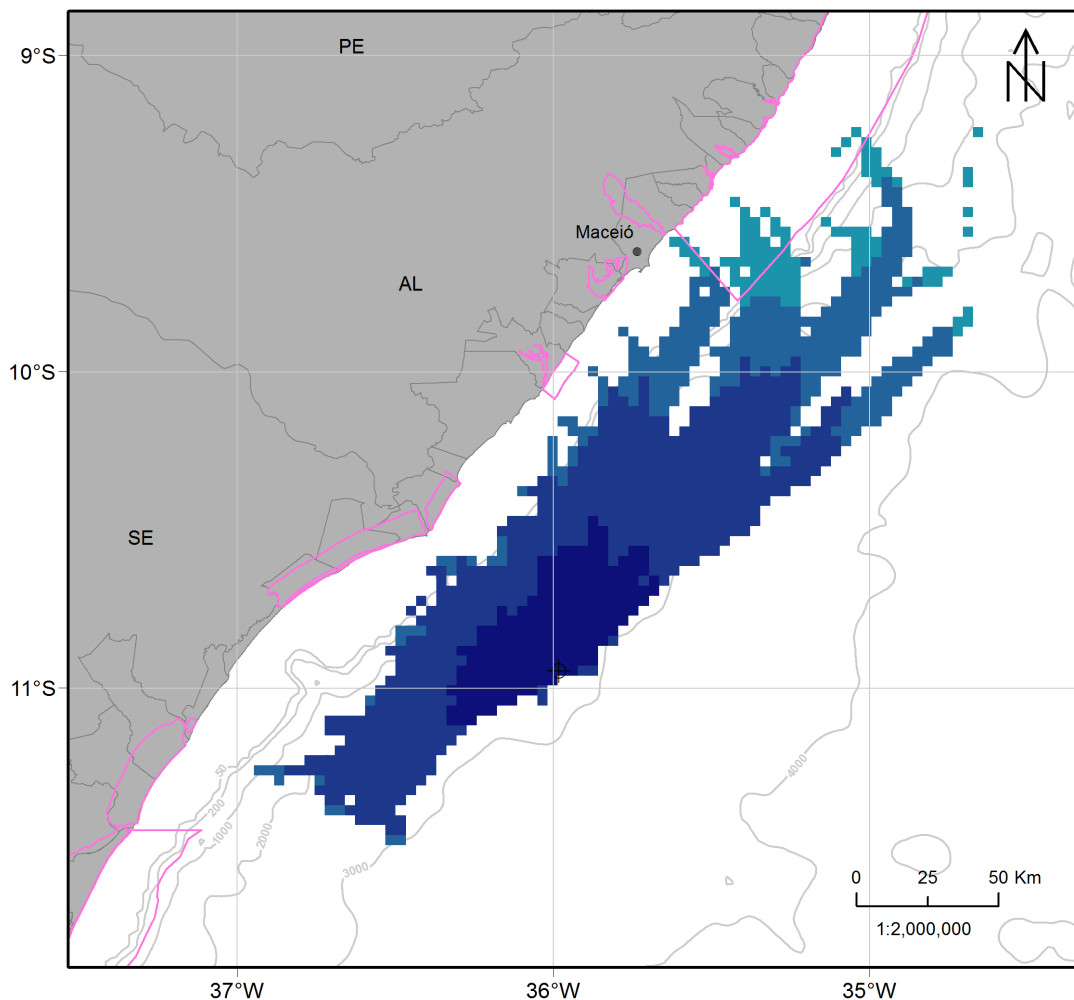


Figura 41: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Com o deslocamento para sul da região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial, a região próxima ao ponto de vazamento fica na maior parte do tempo sob influência da Subcorrente Norte do Brasil, que flui para norte e segue a orientação da costa. Por isso, a direção principal da deriva de óleo neste cenário é para nordeste.

Em superfície, o óleo alcança uma distância de até 240 km do ponto de vazamento. Em relação ao tempo de deslocamento, tem-se que o óleo pode alcançar até 58 km no primeiro dia de simulação e os pontos mais distantes podem ser atingidos entre 5 e 10 dias.

Na coluna d'água, o padrão é semelhante ao observado em superfície, mas a área de probabilidade de presença de óleo e os valores são menores. Há probabilidade de presença até 32 metros e os valores máximos são entre 20-30%.

Não há probabilidade de chegada de óleo na costa, porém o óleo em superfície pode se aproximar a uma distância menor que um ponto de grade (2 km) do município de Maceió – AL em uma das 270 simulações. Em relação às Unidades de Conservação, há probabilidade de chegada em apenas uma, a APA Costa dos Corais, com menos de 1%, e tempo mínimo de 4,8 dias.

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a evaporação foi o principal processo de intemperismo ao longo da simulação, com mediana de 70%. A sedimentação teve mediana de 19%, enquanto a degradação e dispersão na coluna d'água apresentaram medianas de 8% e 2%, respectivamente. O óleo remanescente em superfície ao final das simulações é inferior a 1% em todas as simulações.

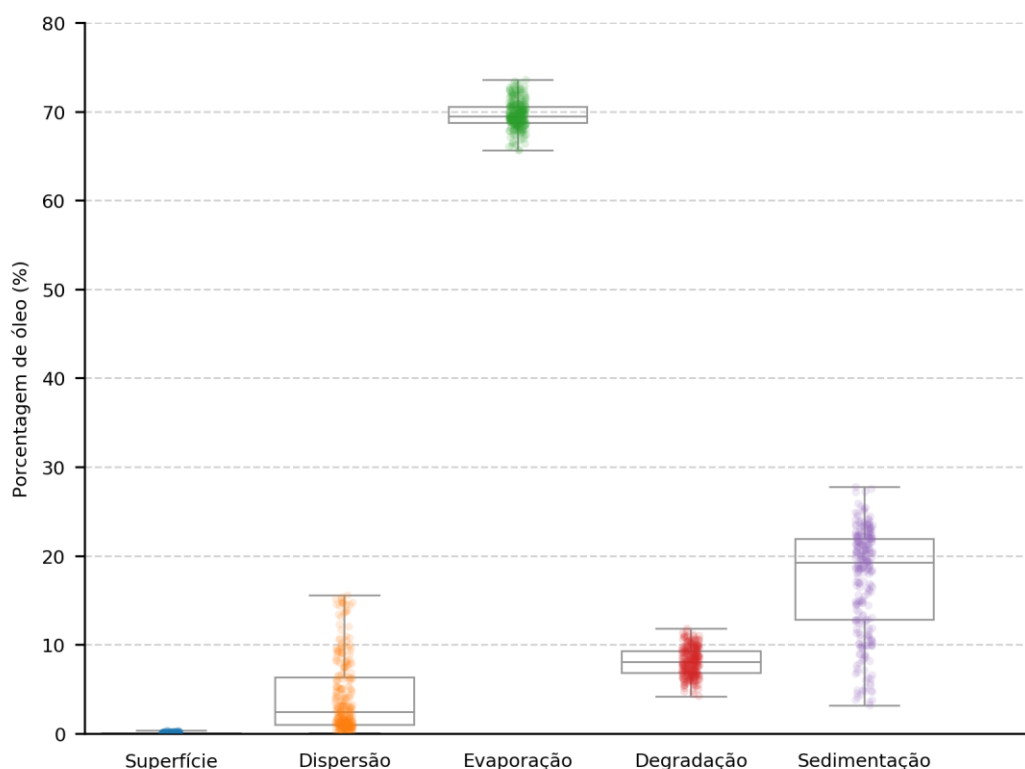


Figura 42: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³ de óleo cru a partir da superfície. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 720 horas (30 dias).

3.2.1.2.3 Tabelas comparativas

A seguir, 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 200 m³ de óleo a partir da superfície (Tabela 9). Na Tabela 10 são apresentados estes resultados para as Unidades de Conservação.

Tabela 9: 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 200 m³ de óleo a partir da superfície, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	Município	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)		Massa Máxima (t/km)		Extensão (km)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
AL	Maceió	-	0,4*	-	6,0*	-	**	-	**
SE	Estância	0,4*	-	4,1*	-	**	-	**	-

* 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 3,5 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 10: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de 200 m³ de óleo a partir da superfície, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Probabilidade de presença (%)		Tempo mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Plataforma Continental do Litoral Norte	0,7	-	3,2	-
APA Costa dos Corais	-	0,7	-	4,8

3.2.1.3 Volume de 238.480,9 m³

A seguir são apresentados os resultados probabilísticos tanto para as simulações de escala regional como para as simulações de escala local.

3.2.1.3.1 Período 1

A seguir são apresentados os resultados probabilísticos da escala regional e do Rio Sergipe. Nesse período, com abordagem de escala local, não se observou probabilidade de chegada de óleo no Rio São Francisco, diferentemente que é observado na escala regional. Com o refinamento da grade e limitação do domínio na escala local (focado na região entre o ponto de vazamento e os rios), não houve valores de presença de óleo superiores aos limiares adotados.

3.2.1.3.1.1 Escala regional

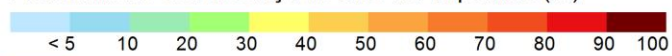
A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água, na costa e no fundo marinho para o vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo no Período 1 (Figura 43 à Figura 48). A concentração de óleo na coluna d'água é apresentada da Figura 49 à Figura 51. Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se na Figura 52 e Figura 53. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 54.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (%)



Unidades de Conservação

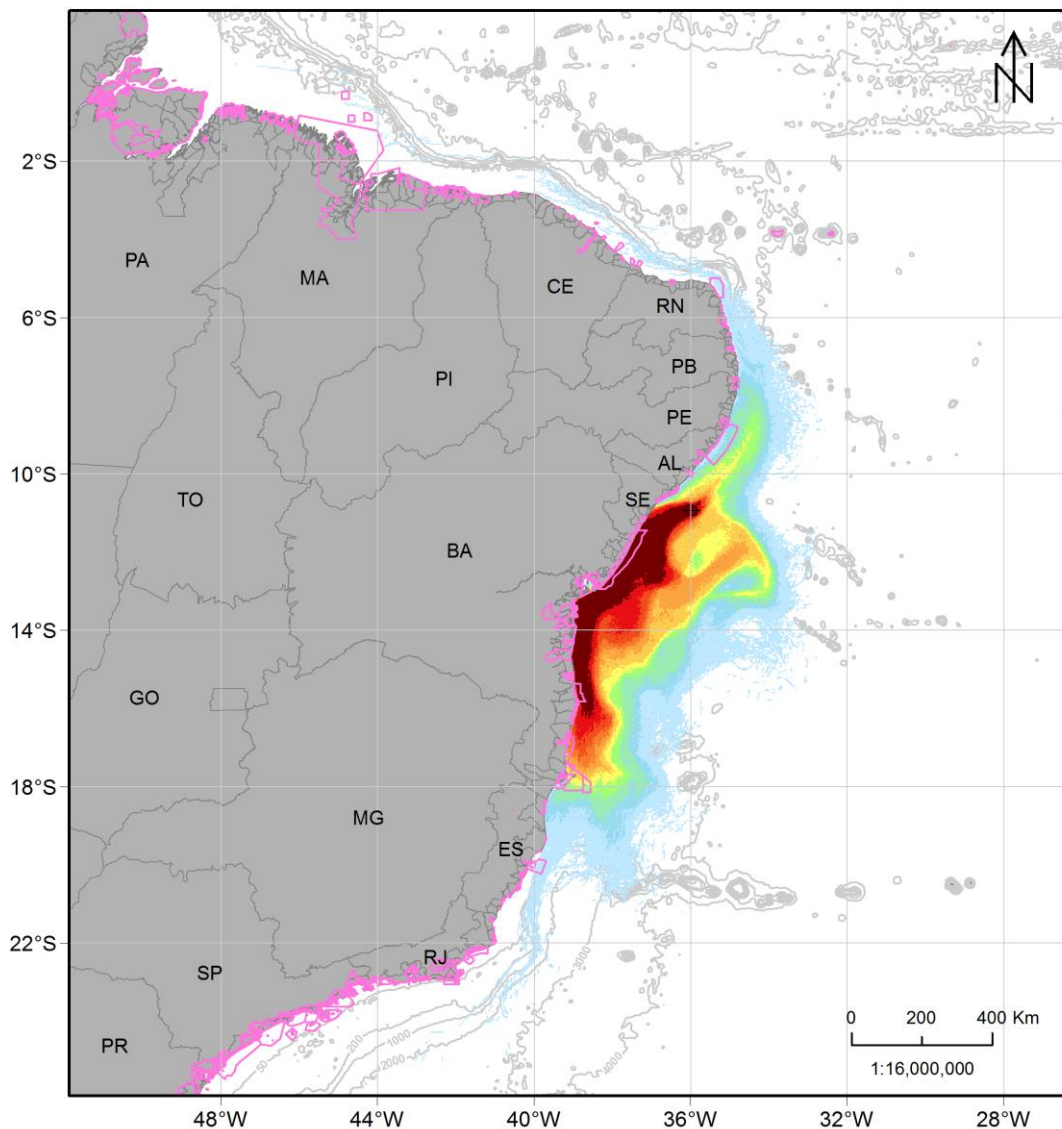


Figura 43: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

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



Unidades de Conservação

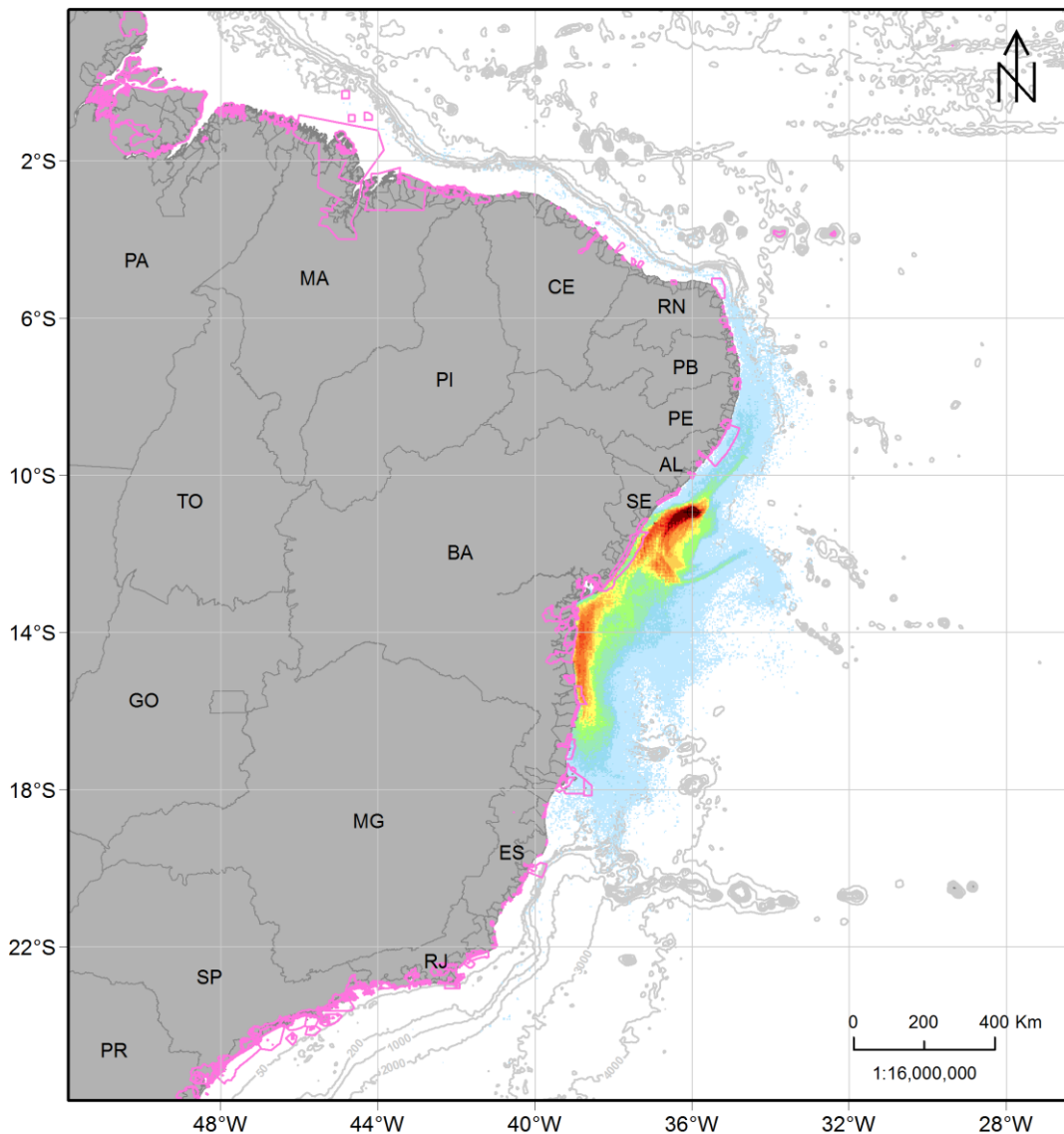


Figura 44: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

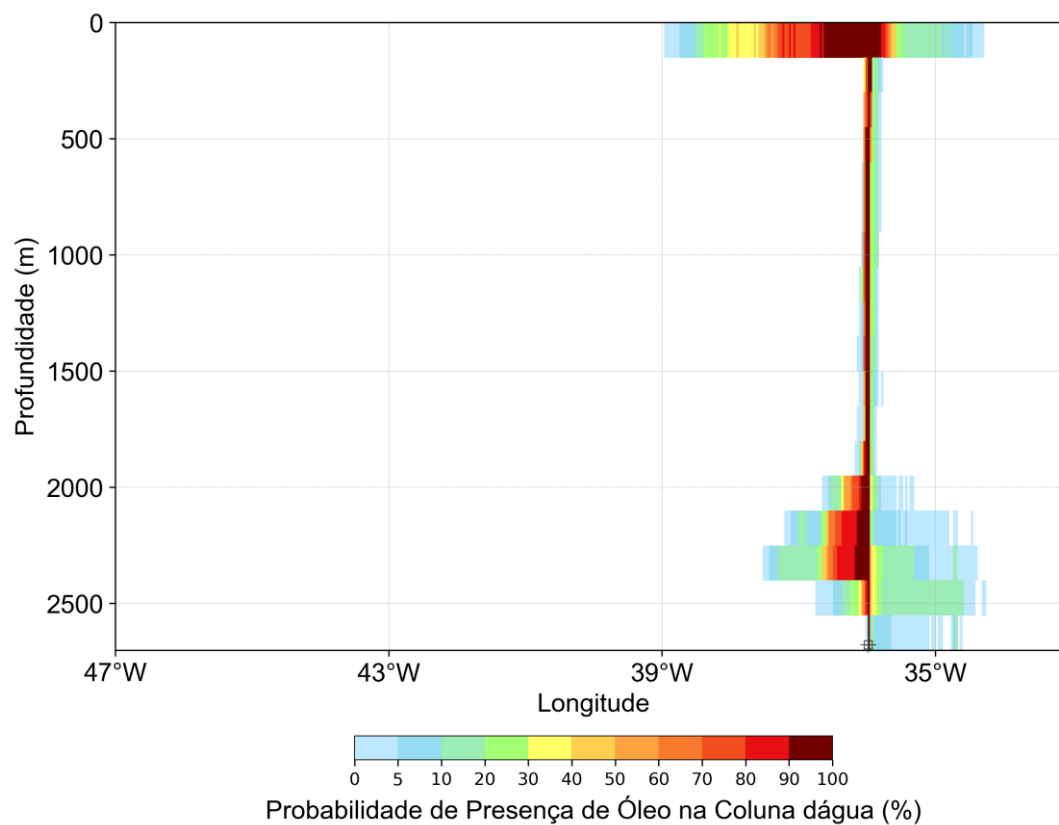


Figura 45: Perfil vertical em longitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

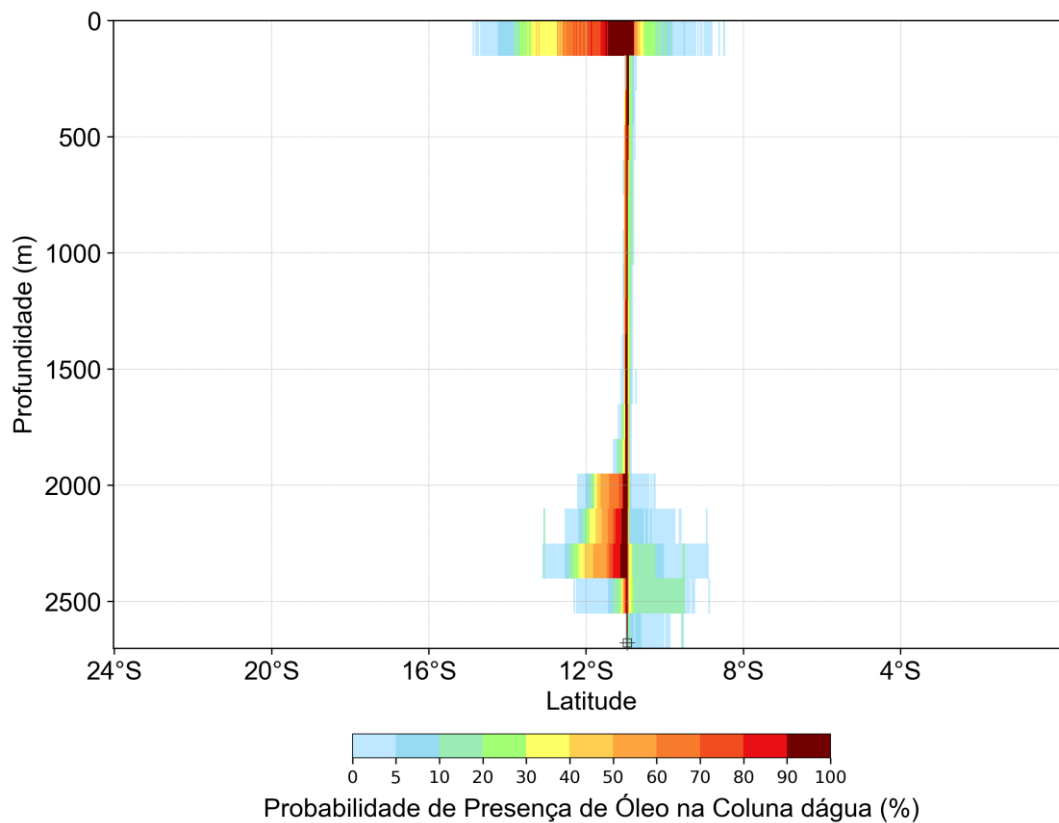


Figura 46: Perfil vertical em latitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho (%)

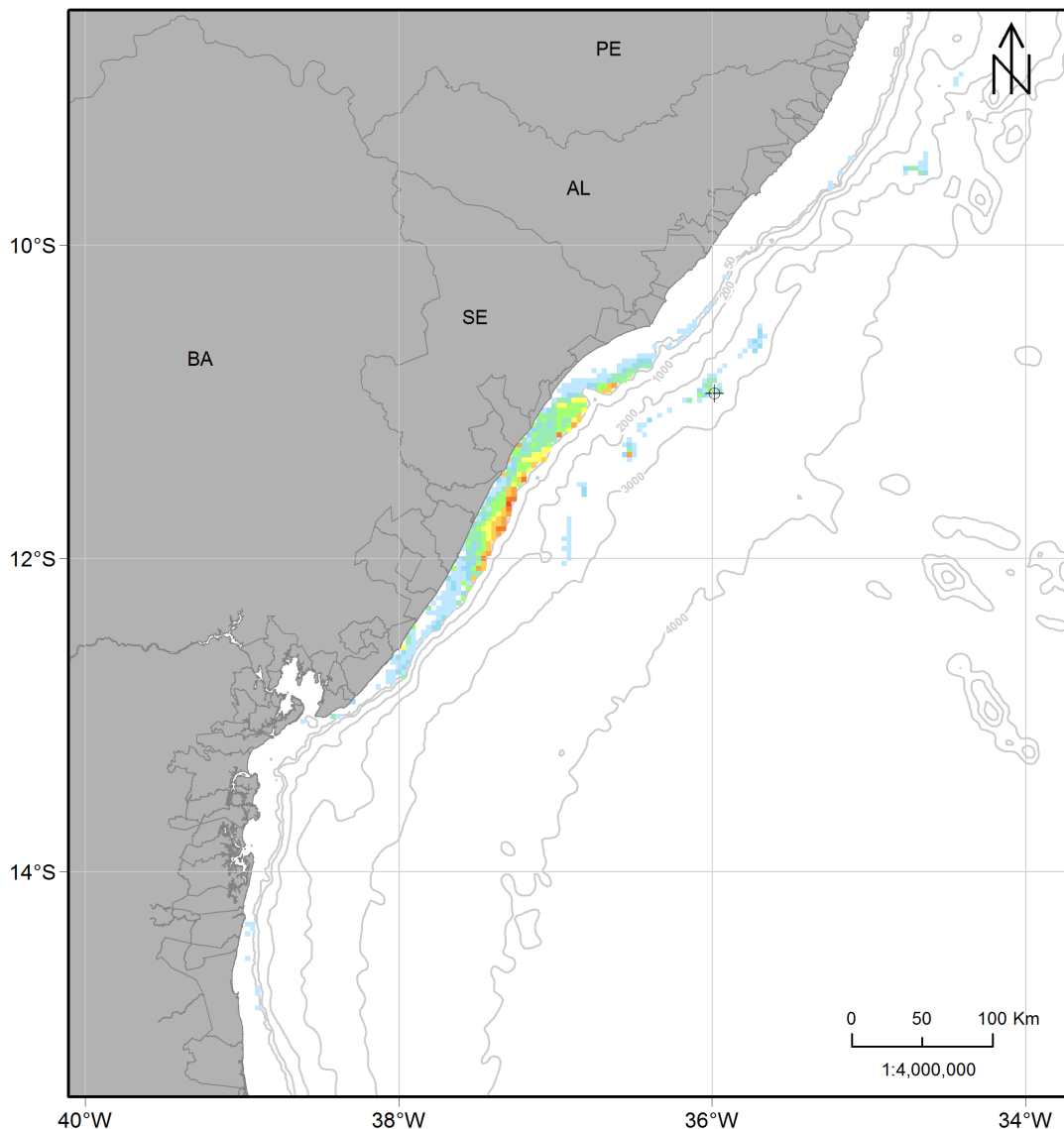
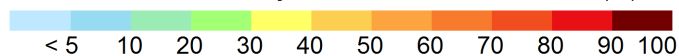


Figura 47: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

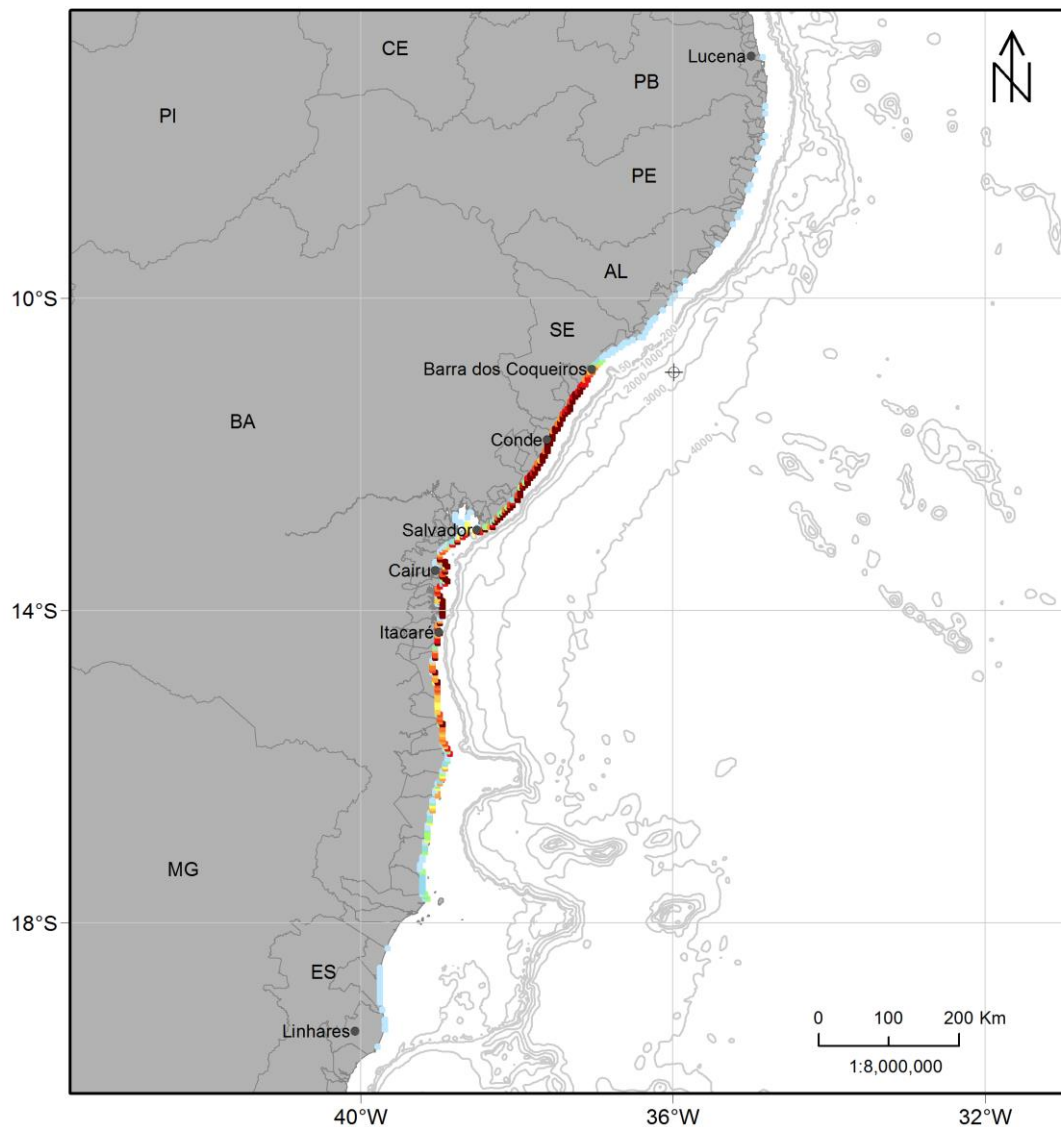
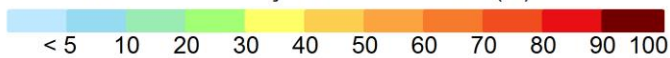


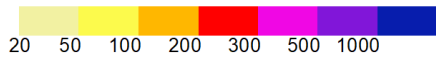
Figura 48: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa, para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Concentração de Óleo na Coluna d'Água (ppb)



Unidades de Conservação

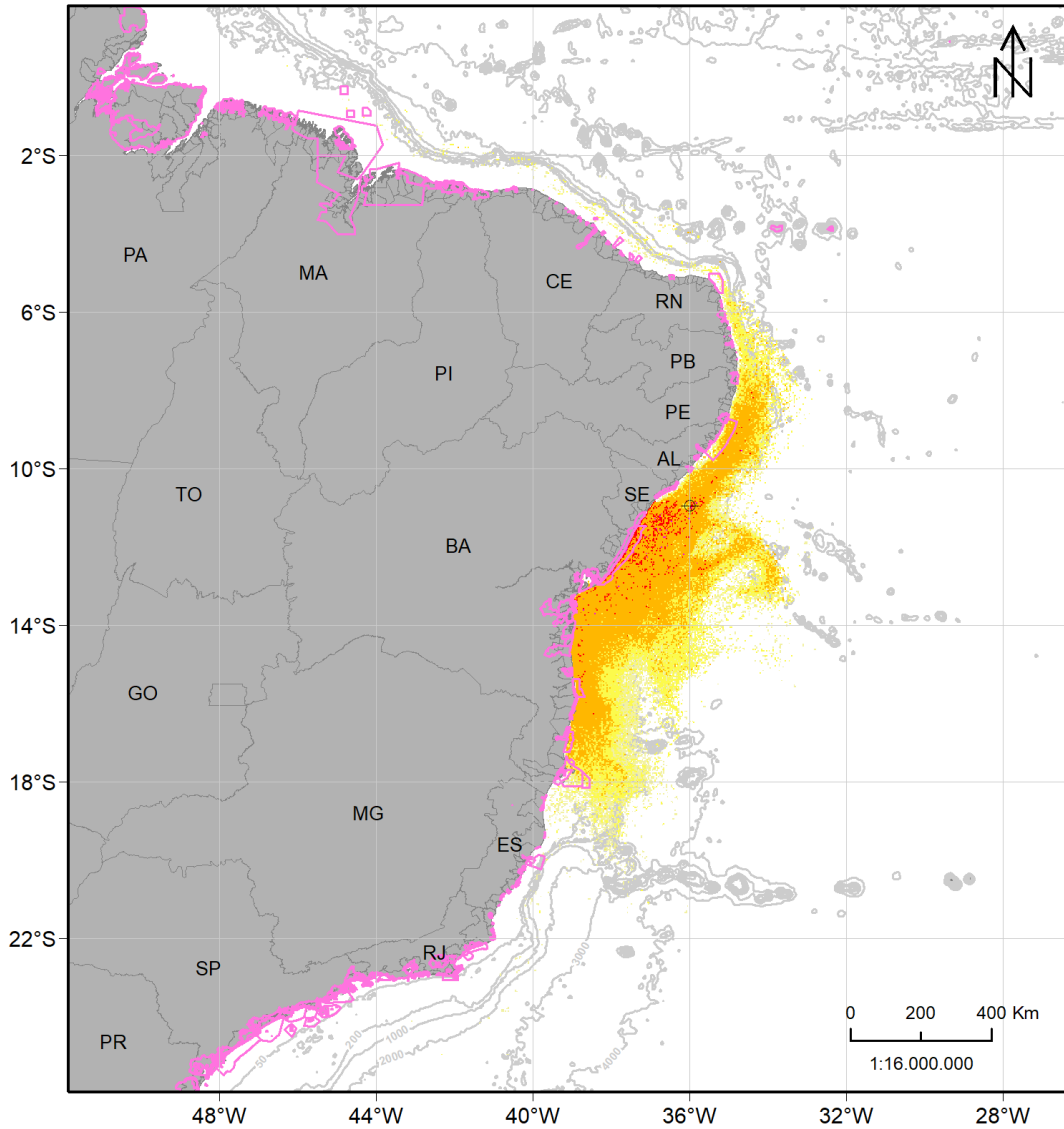


Figura 49: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

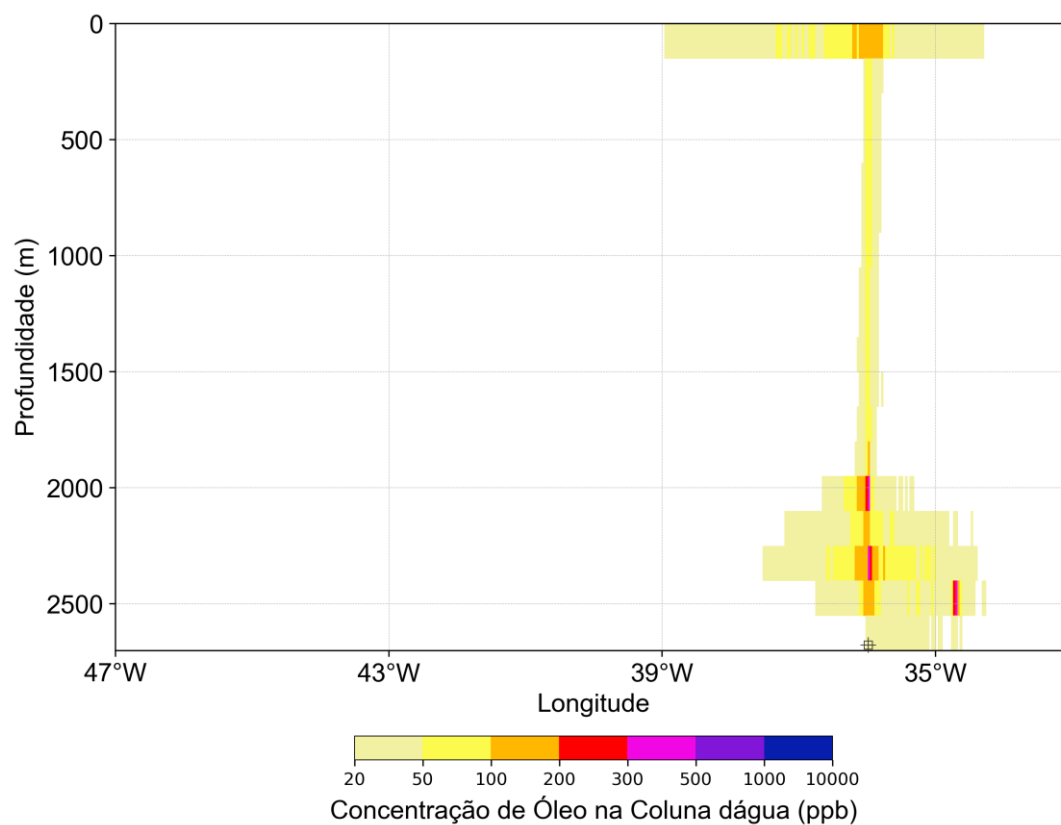


Figura 50: Perfil vertical em longitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

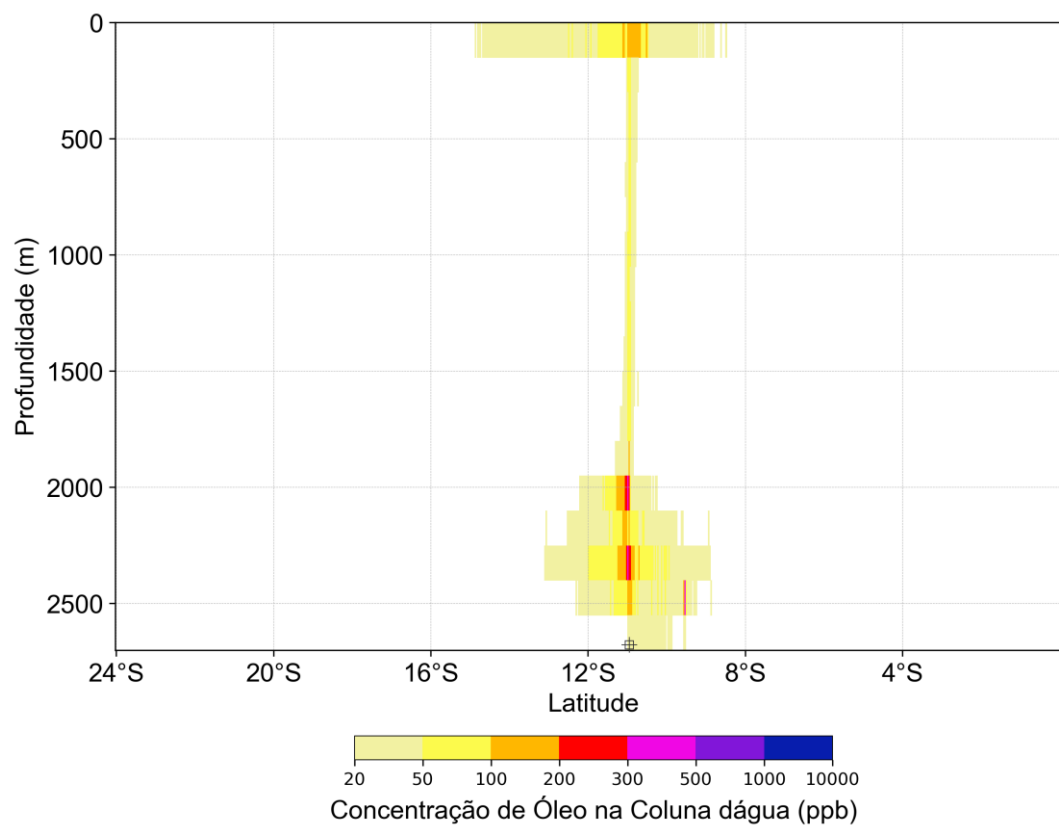


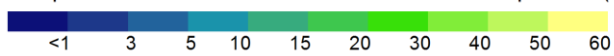
Figura 51: Perfil vertical em latitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



Unidades de Conservação

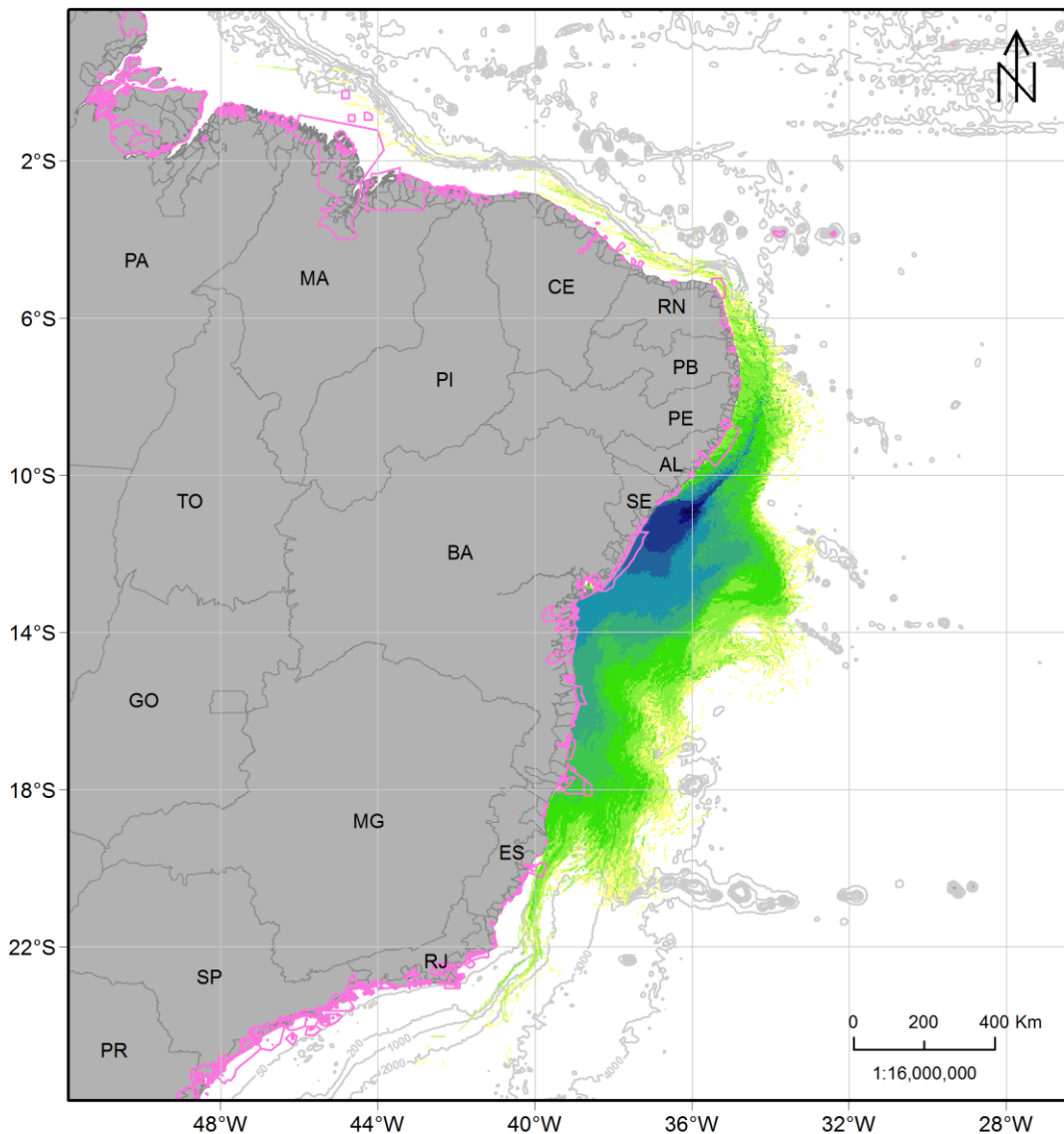


Figura 52: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

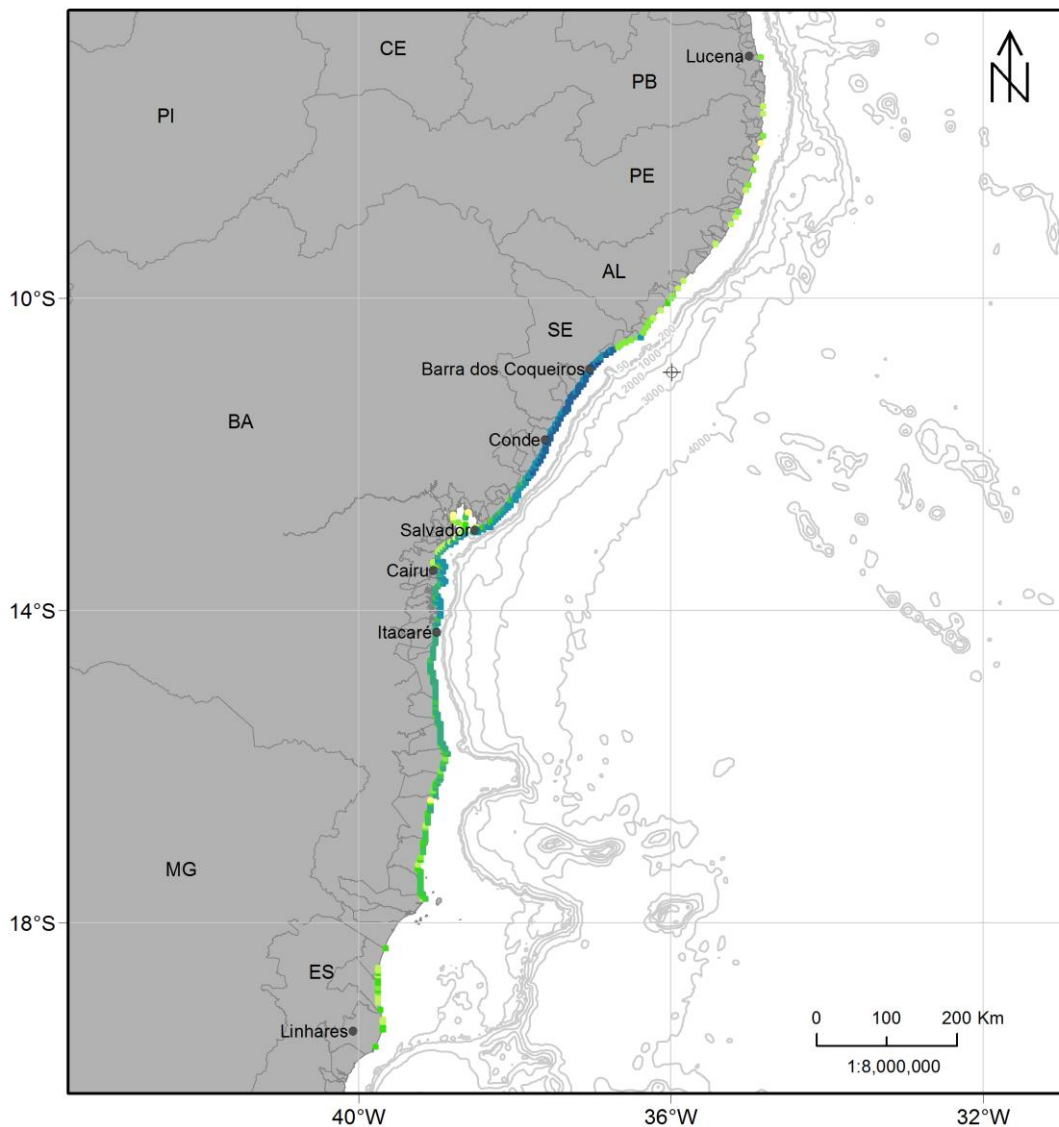


Figura 53: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

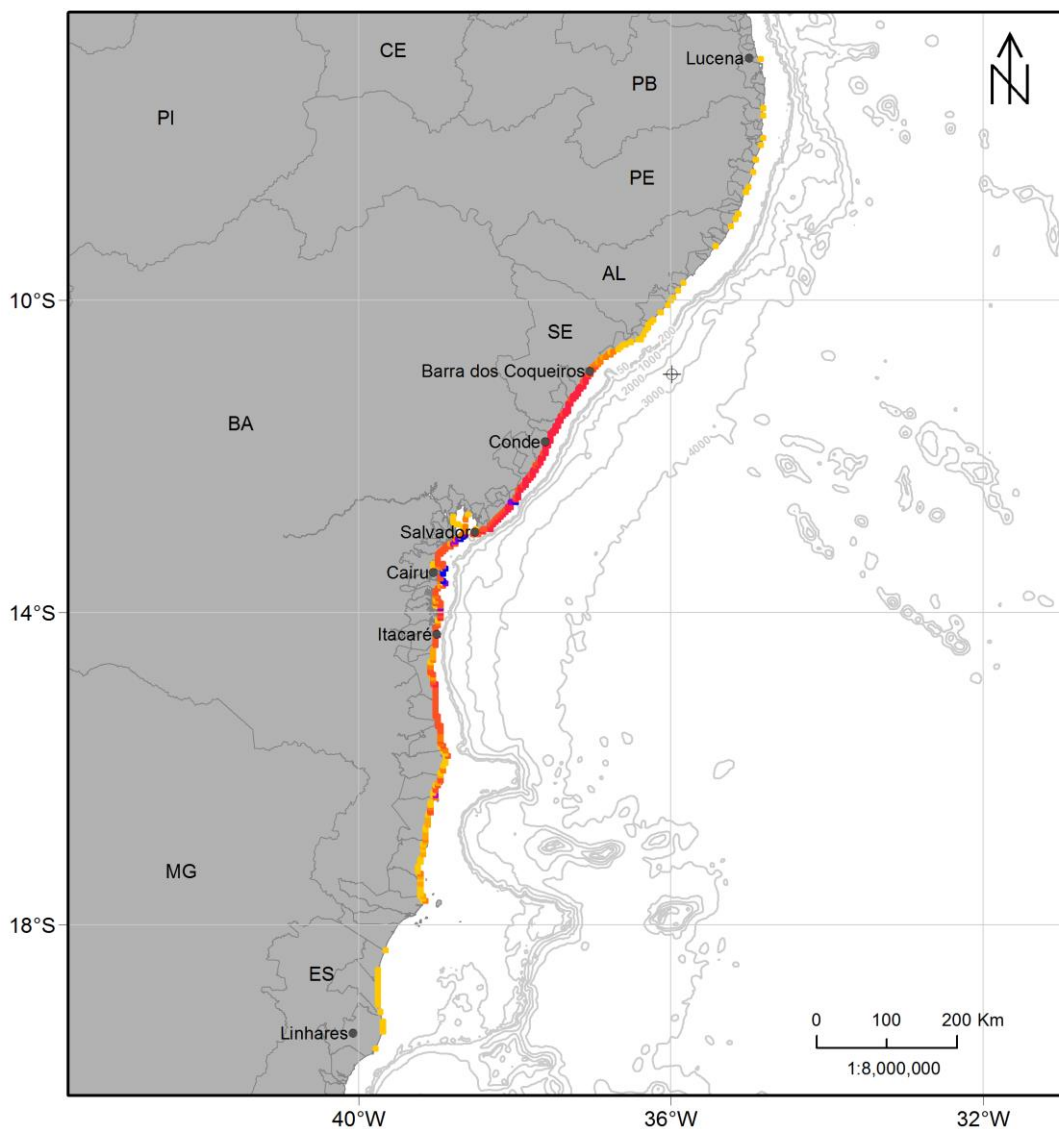
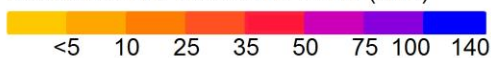


Figura 54: Massa máxima de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Neste cenário, a bifurcação da Corrente Sul Equatorial localiza-se na maior parte do tempo acima do ponto de vazamento, fazendo com que a região fique sobre domínio da Corrente do Brasil, que flui para sudoeste. Por isso, a deriva preferencial do óleo no Período 1 é nesta direção. Porém, durante a subida do óleo ao longo da coluna d'água, o óleo deriva para norte nas camadas mais profundas e isso influencia a distribuição em superfície. O tempo mínimo para o óleo chegar até a superfície é em torno de 5 horas.

Na costa, há probabilidade de presença de óleo do município de Lucena – PB até Linhares – ES e os maiores valores, entre 90-100%, são observados principalmente ao norte da Bahia e sul de Sergipe (Tabela 11). O menor tempo de chegada ocorreu em 3 dias em Barra dos Coqueiros – SE (Tabela 11). A maior massa de óleo acumulado na costa, de 145 t/km, foi observada em Aracaju – SE (Tabela 11).

Nas camadas superiores da coluna d'água, a deriva é principalmente para sudoeste, assim como em superfície, enquanto nas camadas mais profundas, perto do ponto de vazamento, há deriva também para nordeste. No fundo marinho, a área de probabilidade de presença de óleo vai da região frente ao estado de Alagoas até o norte da Bahia e o valor máximo é entre 70-80%.

Em relação à concentração de óleo na coluna d'água, assim como o padrão de probabilidade, valores acima de 20 ppb podem ser observados desde as camadas mais superficiais até as mais profundas, com uma redução da área de dispersão. Quando avaliados valores de concentrações acima de 100 ppb, nota-se que são mais concentrados próximos ao ponto de vazamento nas camadas mais próximas à superfície e abaixo de 2.000 metros.

Houve probabilidade de presença de óleo em 52 unidades de conservação, com máximo de 100% nas seguintes: APA do Litoral Norte do estado da Bahia, APA Lagoas de Guarajuba, APA Tinharé/Boipeba, APA Lagoas e Dunas do Abaeté, APA Costa de Itacaré/Serra Grande, APA de Camamu, RESEX de Canavieiras, RPPN Dunas De Santo Antônio e APA da Plataforma Continental do Litoral Norte, sendo esta última a que apresentou o menor tempo de chegada, de 2,8 dias (Tabela 12).

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a evaporação foi o principal processo de intemperismo ao longo da simulação, com mediana de 39%, seguido pelo óleo retirado pela degradação e o óleo sedimentado/fora de grade, que apresentaram medianas de 32 e 17%, respectivamente. A dispersão apresentou mediana de 7%. A porcentagem de óleo retido na costa foi de 5% em 50% das simulações, mas teve máximo em torno de 9%, enquanto o óleo remanescente em superfície ao final das simulações é inferior a 1% em 75% das simulações.

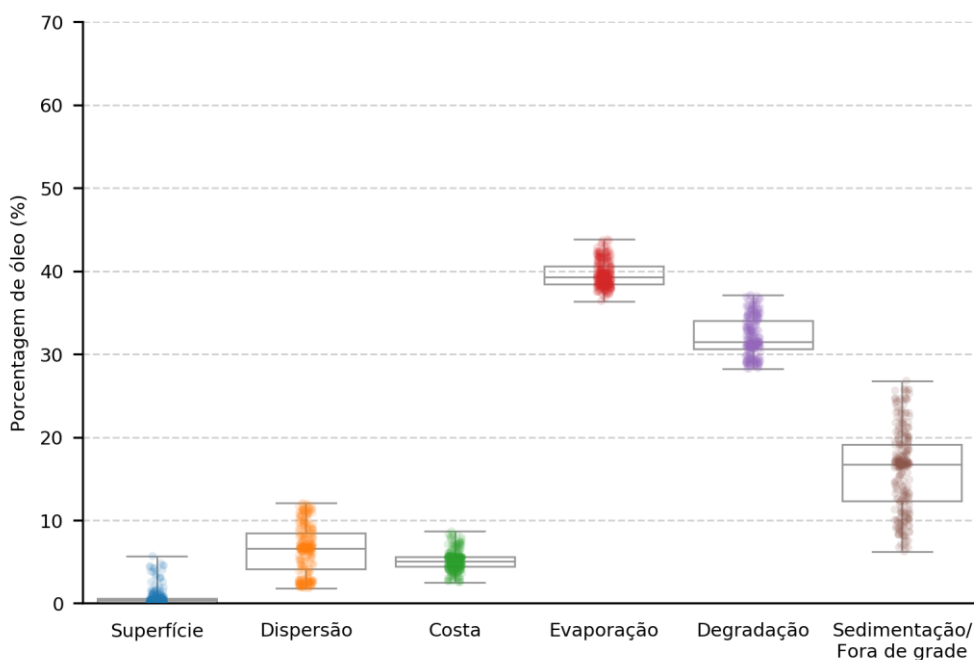


Figura 55: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

3.2.1.3.1.2 Rio Sergipe

Os mapas de probabilidade de presença de óleo, para o vazamento de 238.480,9 m³ no Período 1, no Rio Sergipe encontram-se na Figura 56 e Figura 57. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 58 e Figura 59.

Os resultados são apresentados até um raio de 3,5 km (distância equivalente a um ponto da grade de escala regional) a partir da boca do rio. Este limite é indicado pelo contorno em roxo nos mapas.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (%)

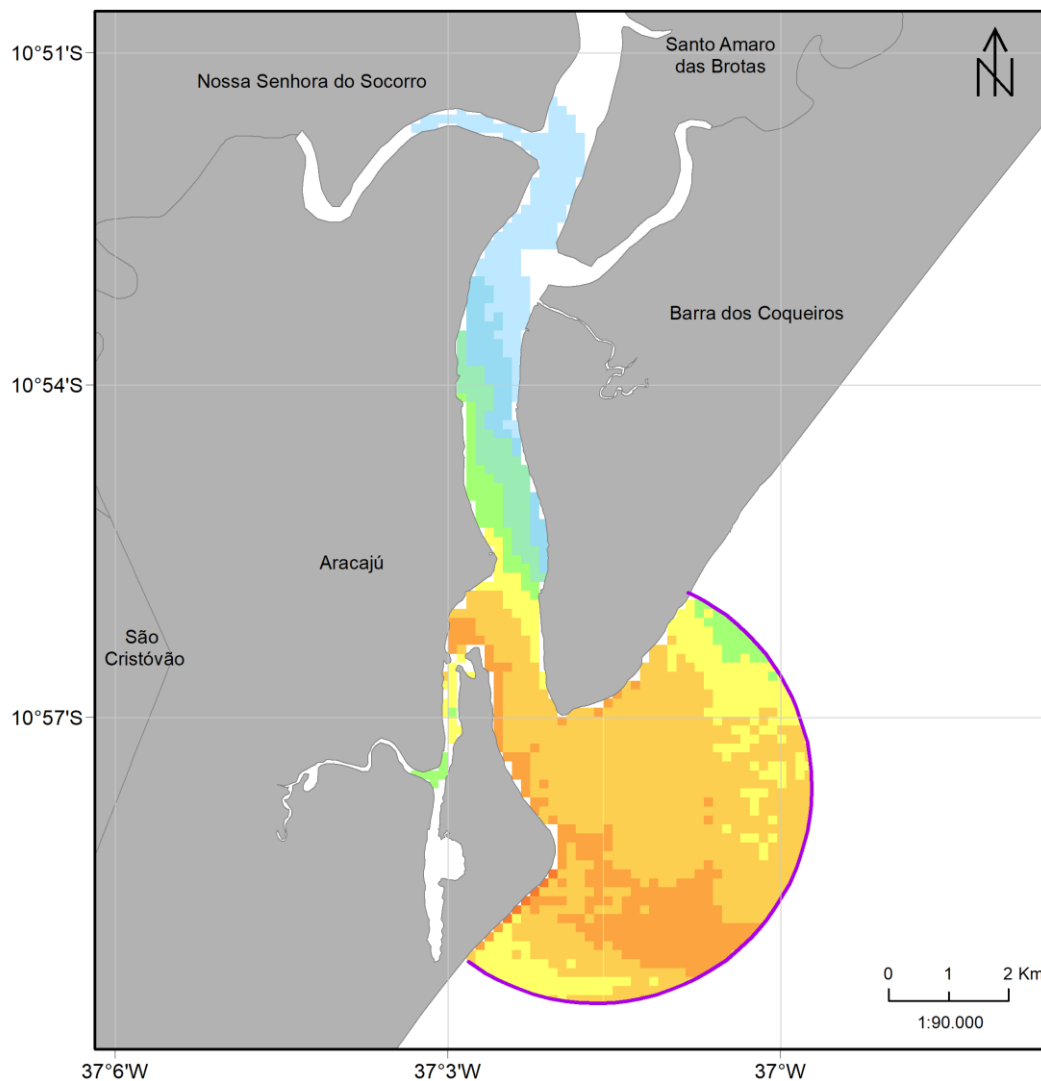
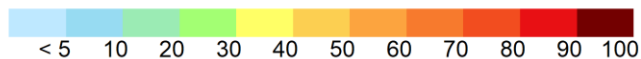


Figura 56: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

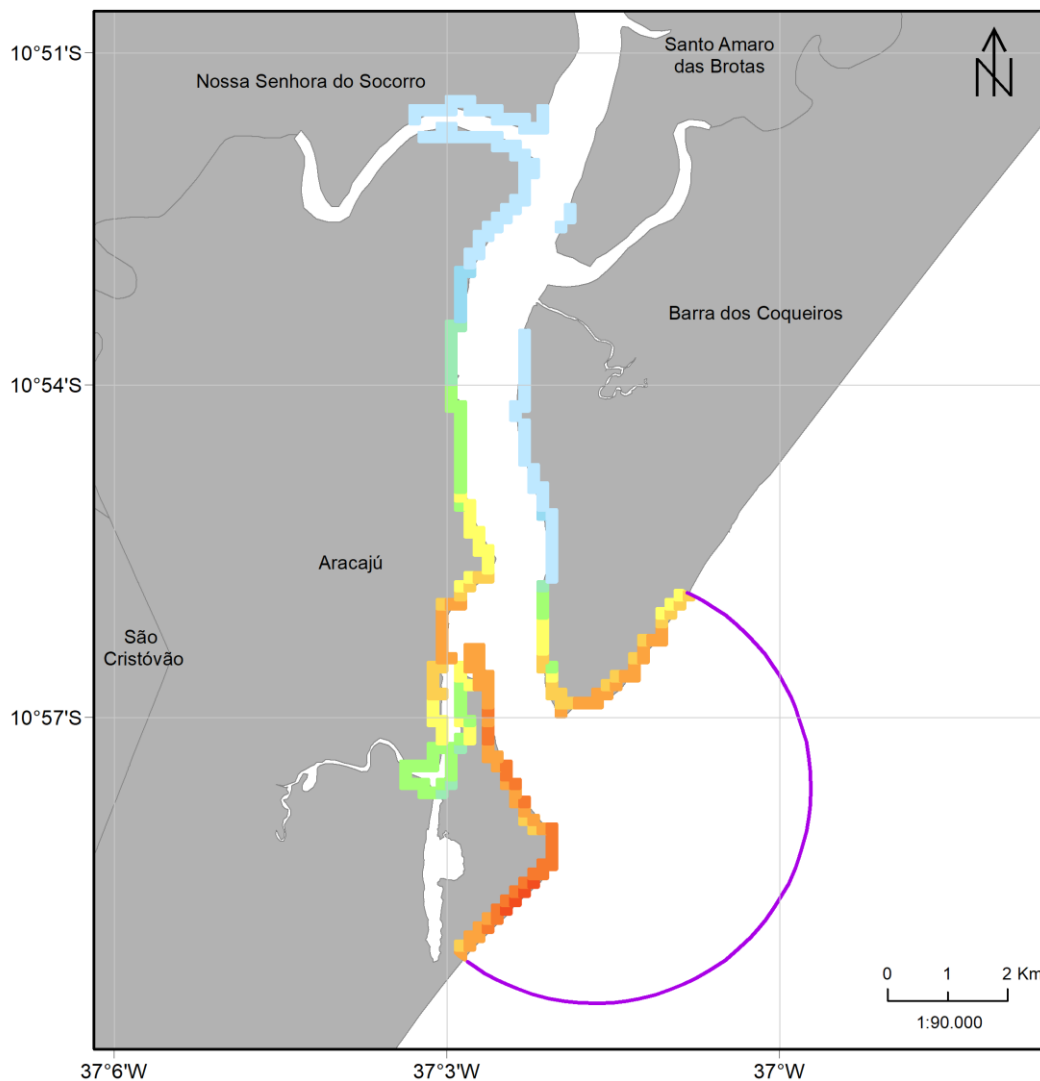
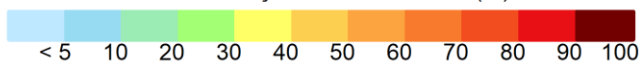


Figura 57: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Observa-se uma probabilidade de até 70% de presença de óleo em superfície na entrada do rio. Nas margens do Rio Sergipe, os maiores valores de probabilidade de toque são entre 70-80% em Aracaju e entre 50-60% em Barra dos Coqueiros. Nos municípios mais internos, as probabilidades de toque são inferiores a 1%.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)

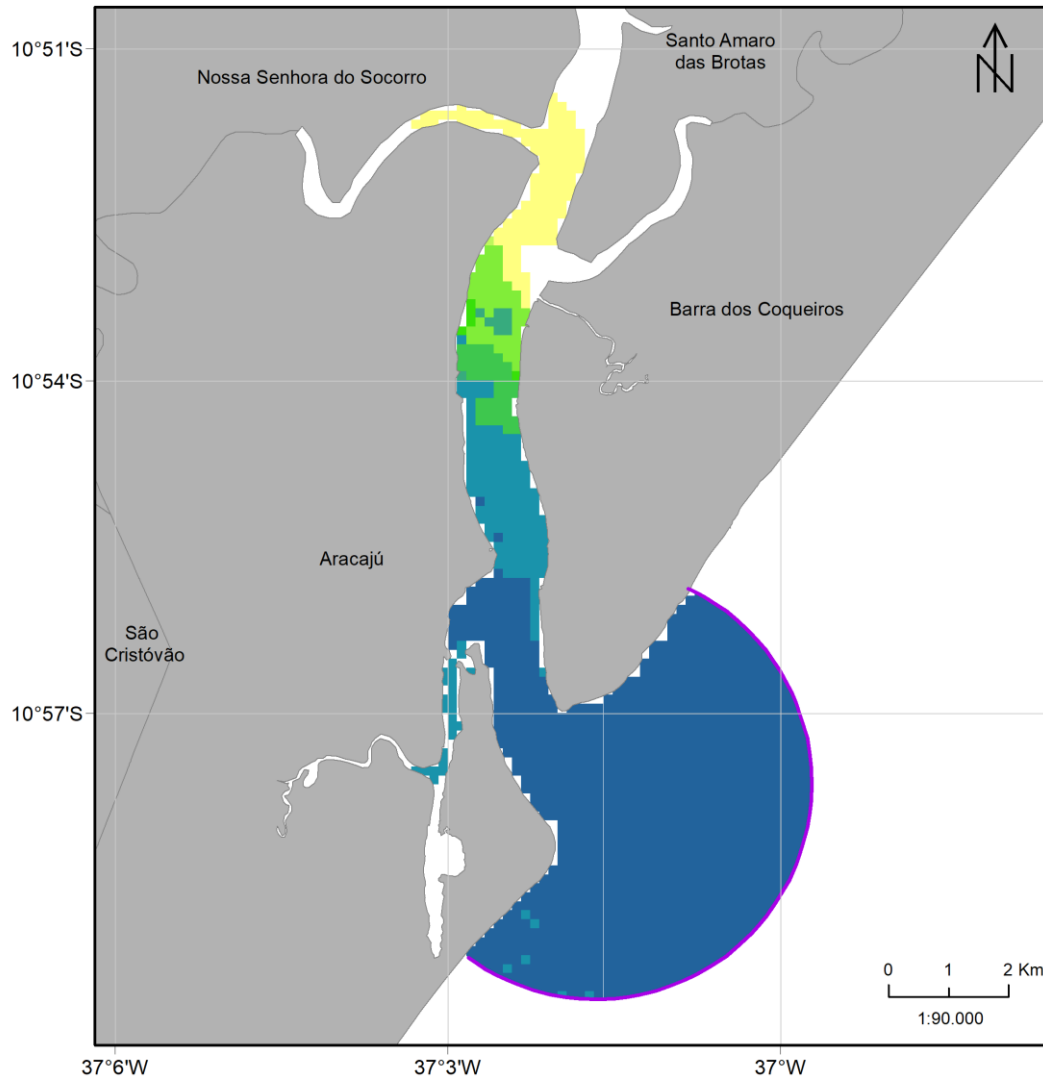
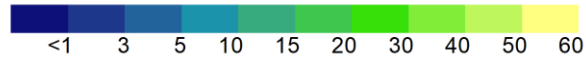


Figura 58: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril).

Simulação de 1440 horas (60 dias).

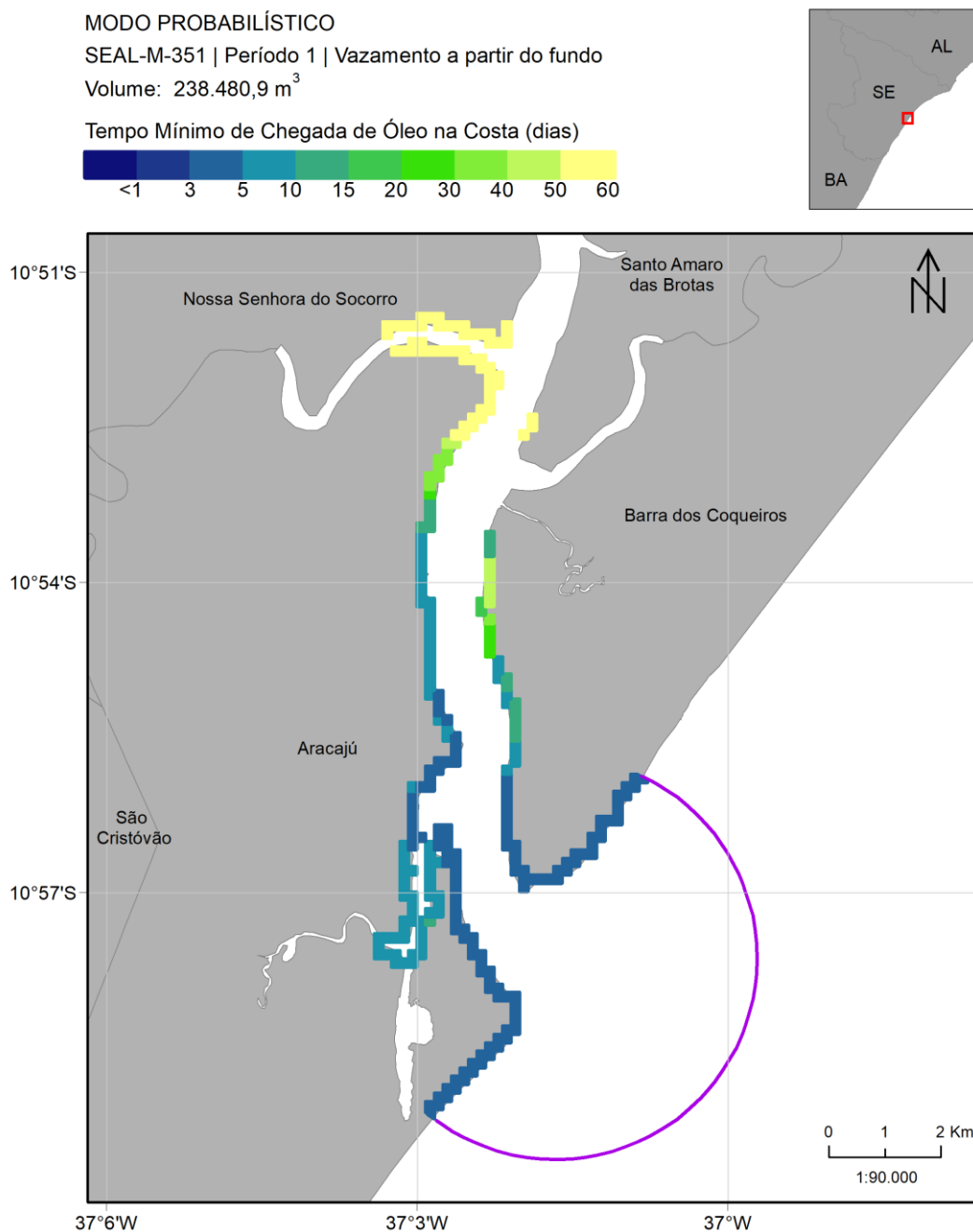


Figura 59: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Nota-se que o tempo mínimo de chegada do óleo na costa no interior do rio foi de 3 a 5 dias mais próximo à desembocadura e maior que 50 dias nos municípios mais internos.

A seguir, a Figura 60 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no Período 1.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 1 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

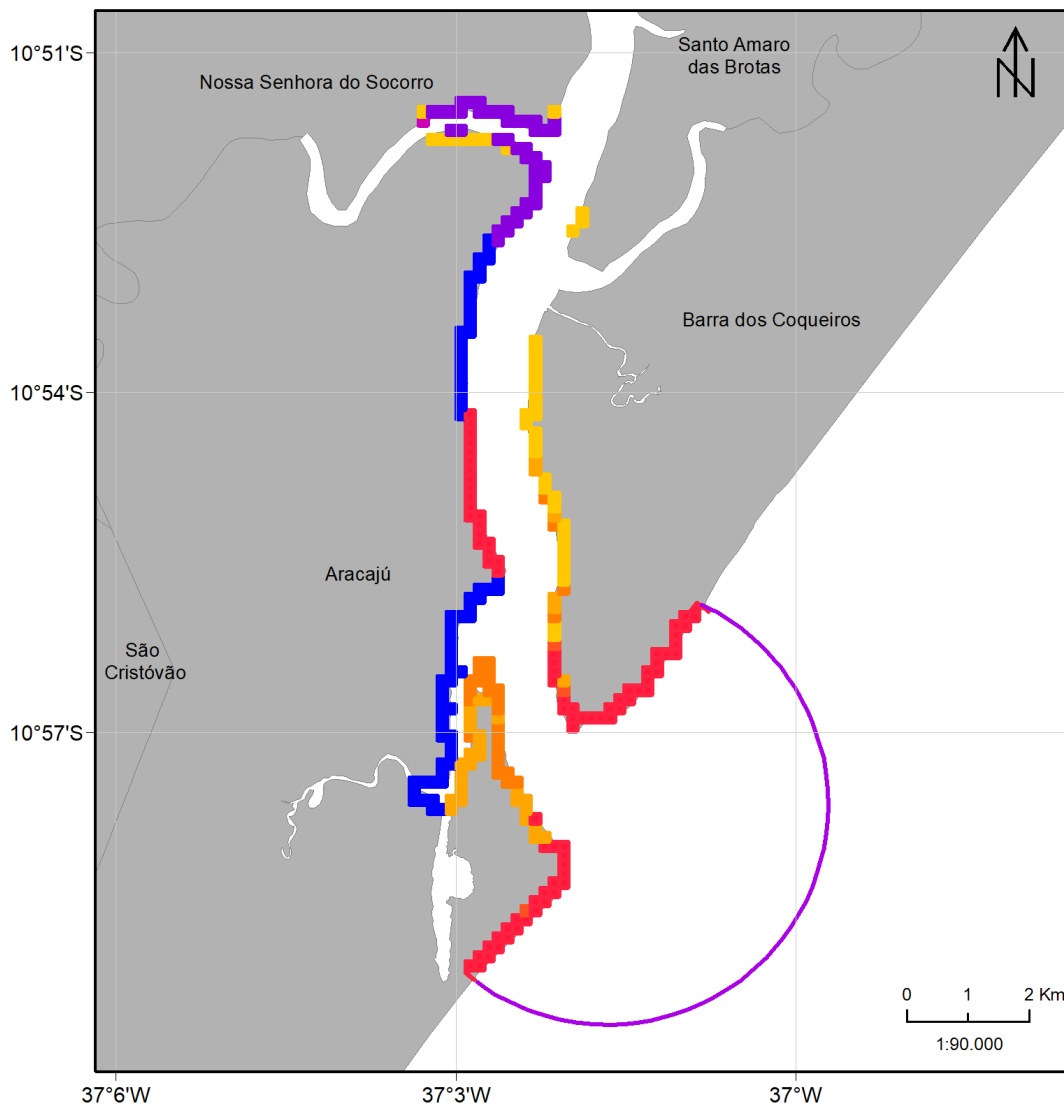
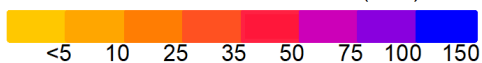


Figura 60: Massa máxima de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 1 (novembro a abril). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Nota-se que o acúmulo de massa foi maior dentro do estuário do que no restante da costa neste período e os maiores valores foram observados na margem do rio em que está o município de Aracaju – SE, chegando a mais de 100 t/km.

3.2.1.3.2 Período 2

A seguir são apresentados os resultados probabilísticos da escala regional, do Rio Sergipe e do Rio São Francisco.

3.2.1.3.2.1 Escala Regional

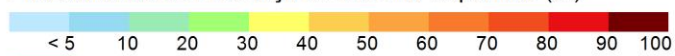
A seguir são apresentados os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e nos sedimentos para o vazamento de pior caso (238.480,9 m³) a partir do fundo no Período 2 (Figura 61 à Figura 66). A concentração de óleo na coluna d'água é apresentada da Figura 67 à Figura 69. Os mapas de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície e na costa encontram-se nas Figura 70 e Figura 71. Já o mapa de massa máxima de óleo na costa é apresentado na Figura 72.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (%)



Unidades de Conservação

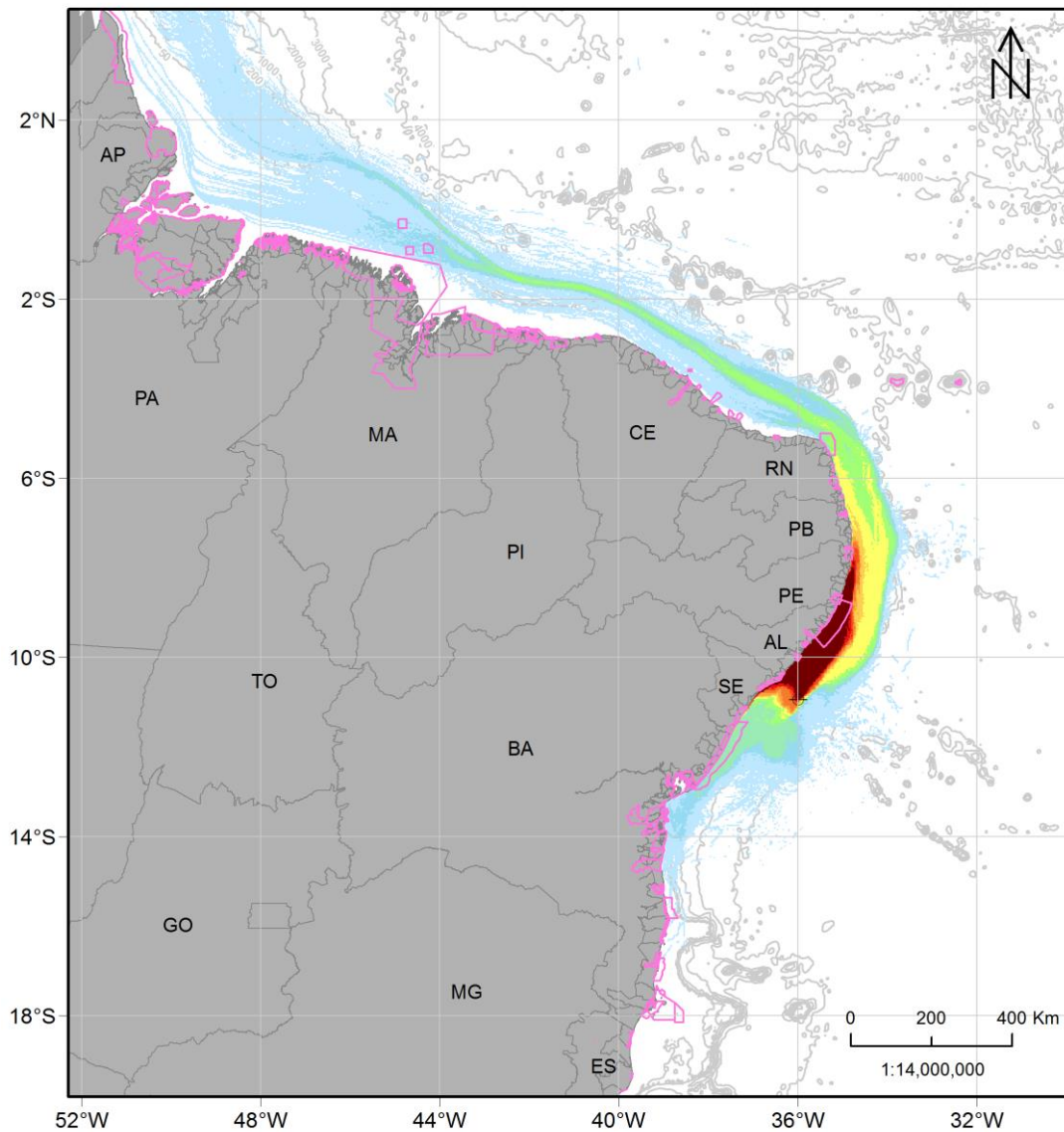


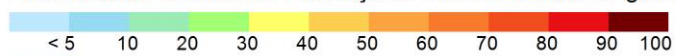
Figura 61: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

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



Unidades de Conservação

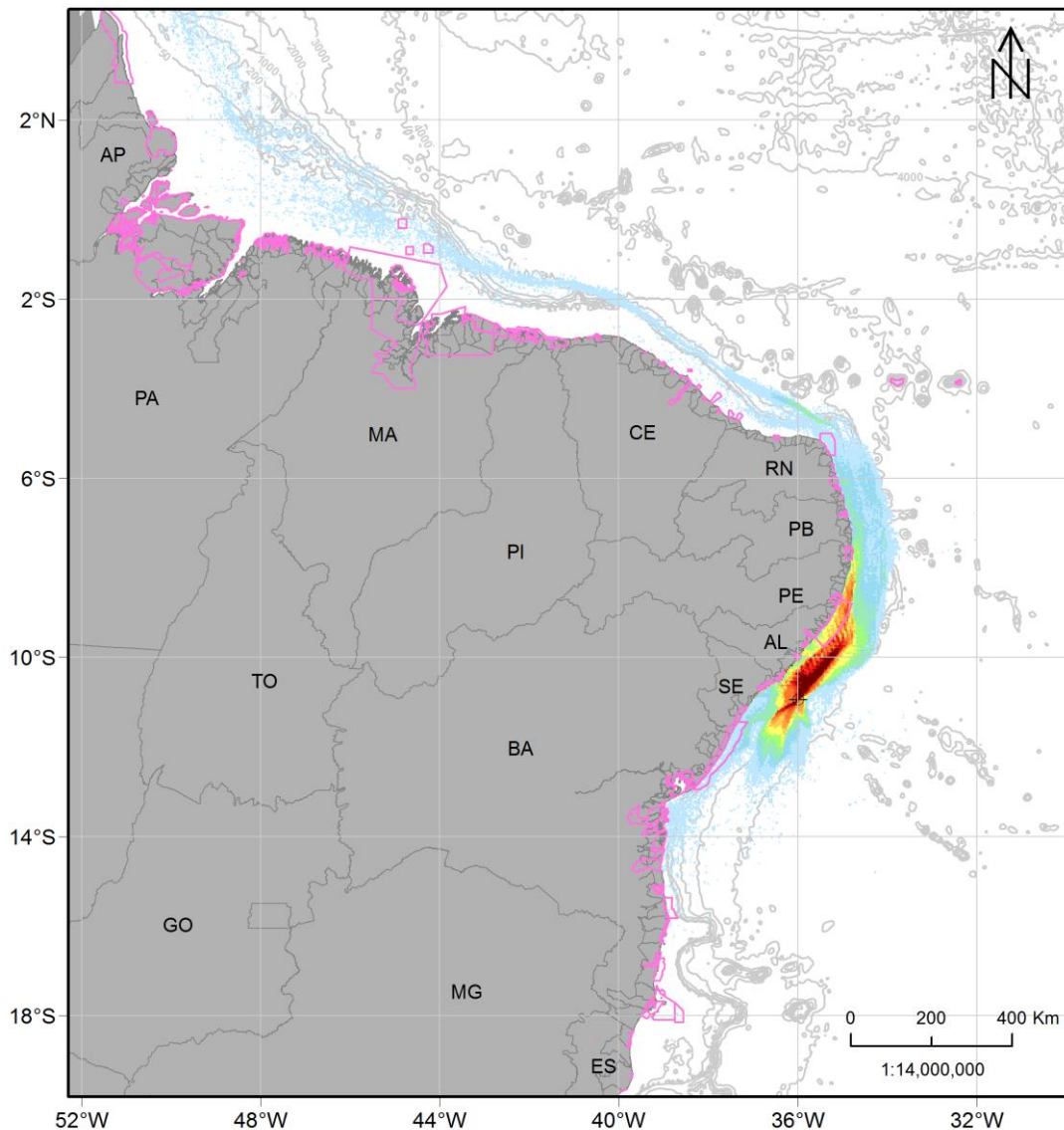


Figura 62: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

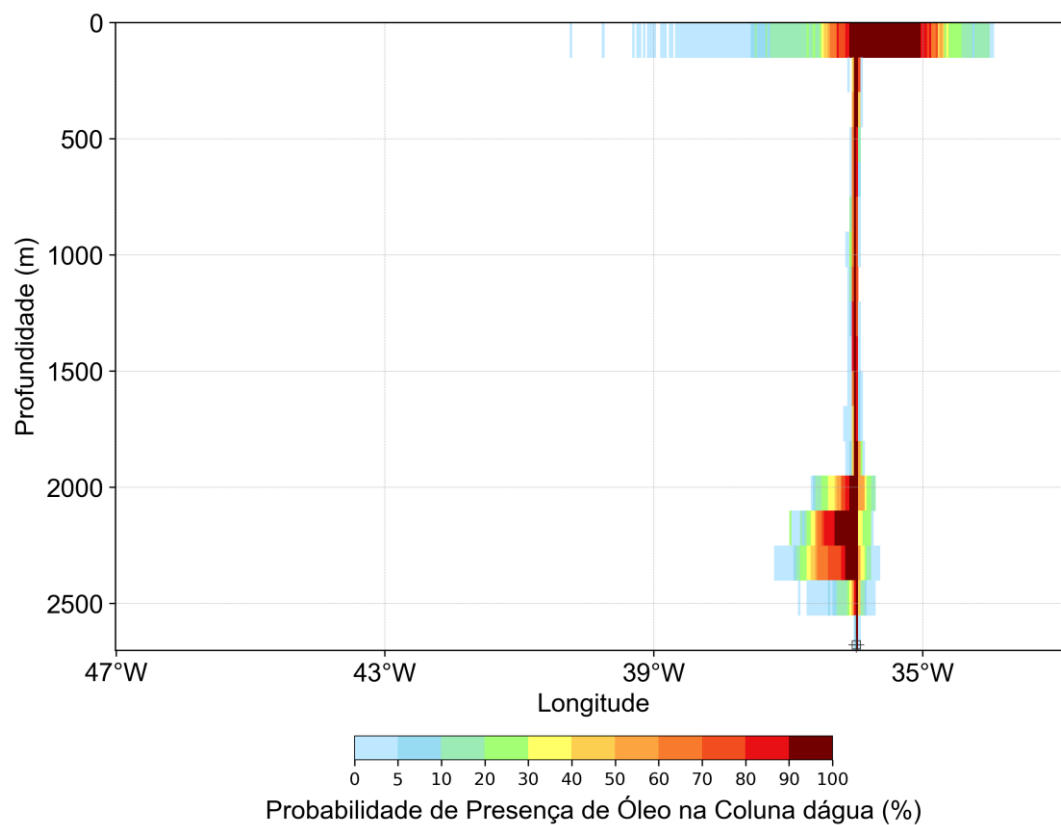


Figura 63: Perfil vertical em longitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

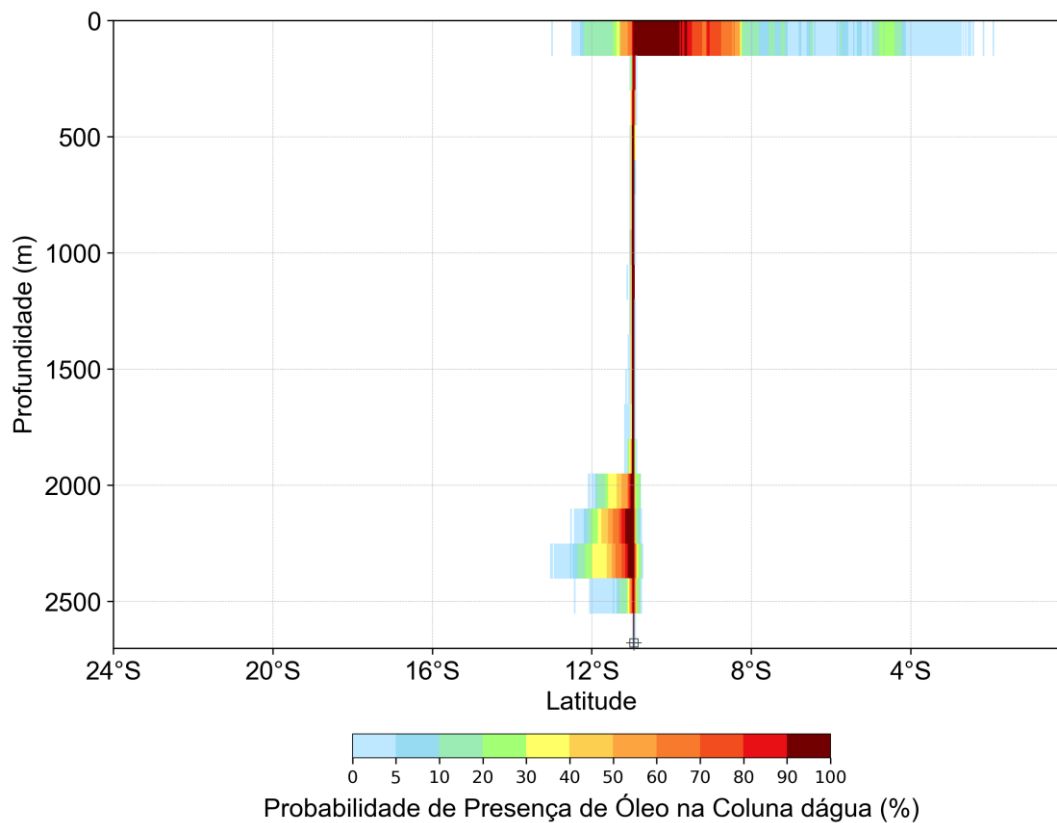


Figura 64: Perfil vertical em latitude de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho (%)

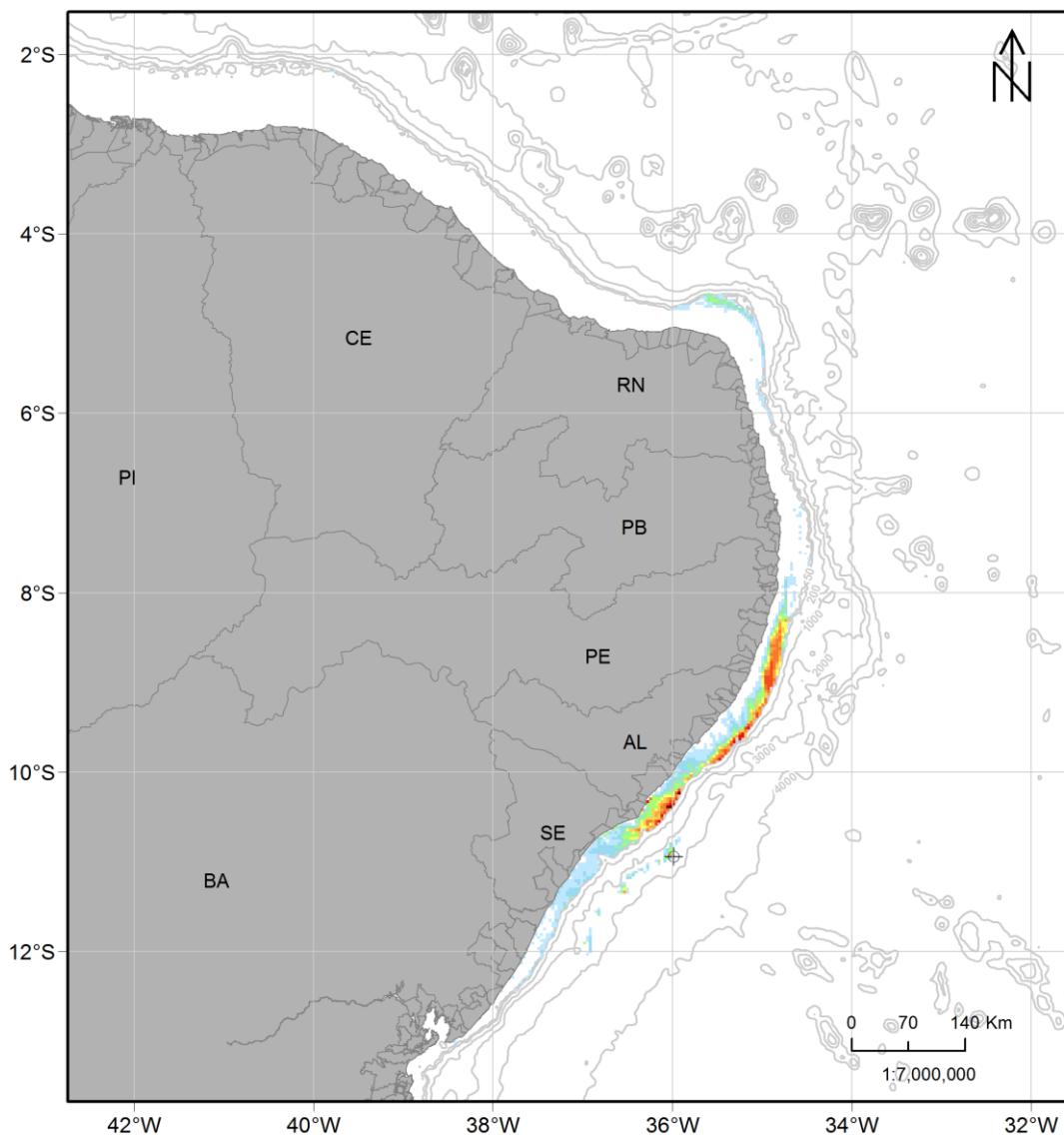
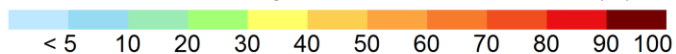


Figura 65: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa (%)

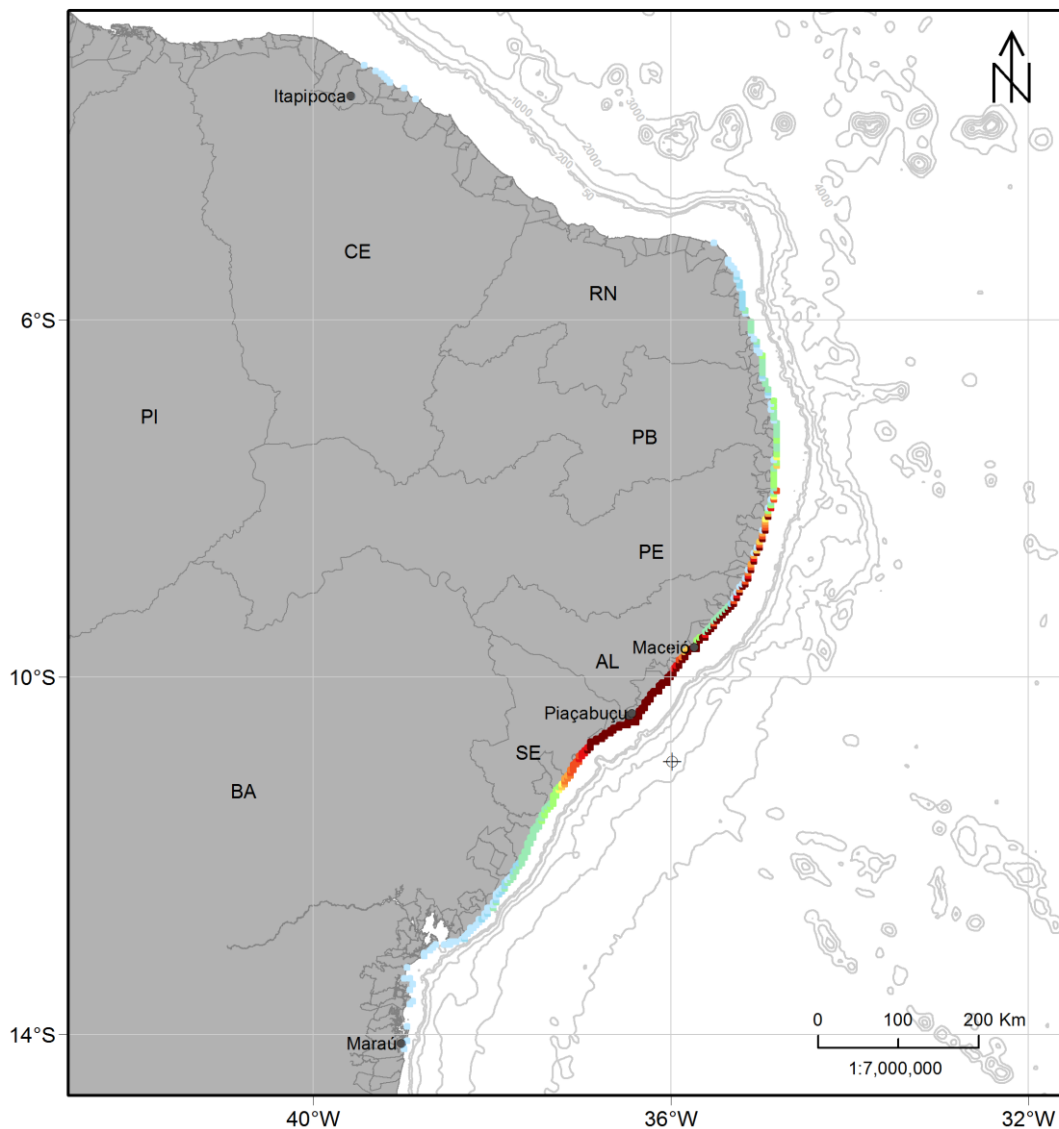
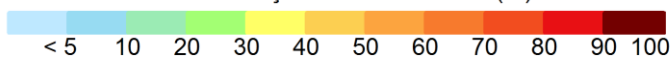


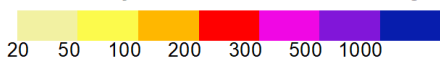
Figura 66: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Concentração de Óleo na Coluna d'Água (ppb)



Unidades de Conservação

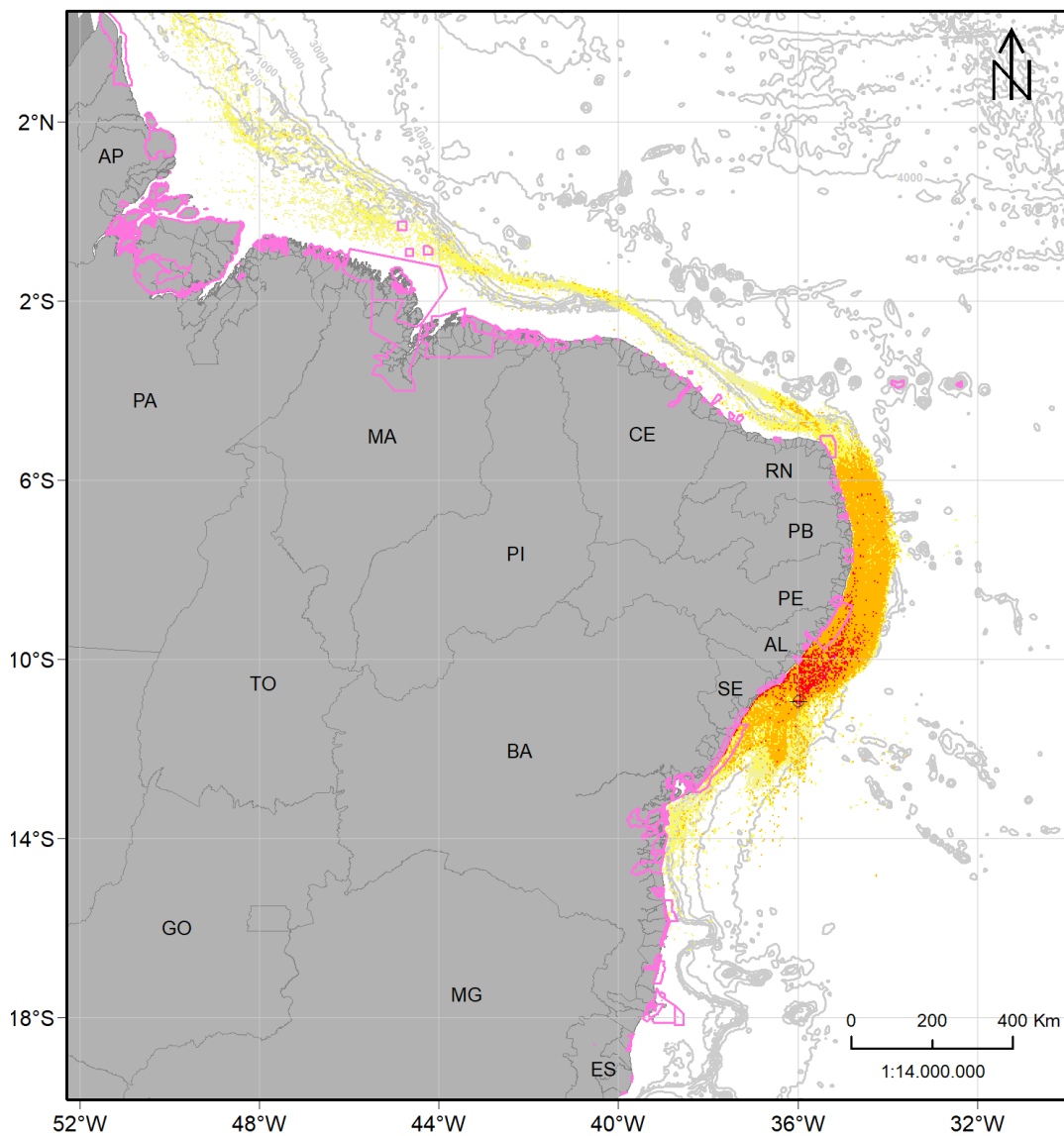


Figura 67: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

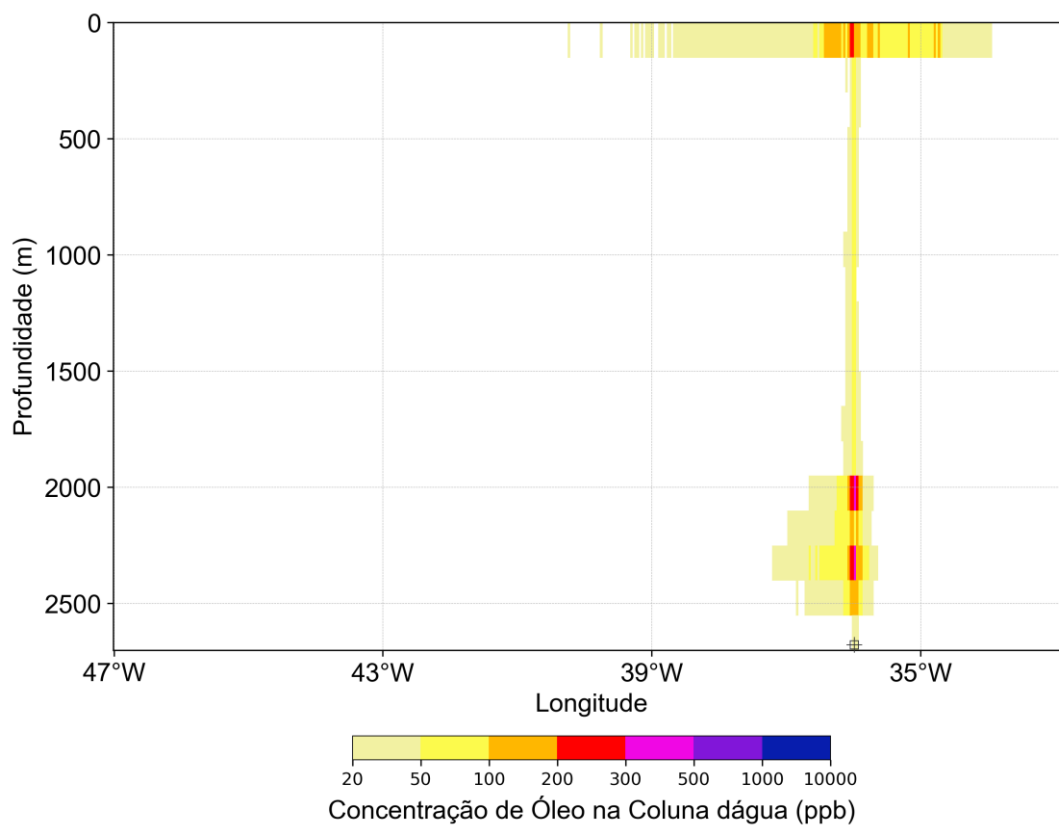


Figura 68: Perfil vertical em longitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

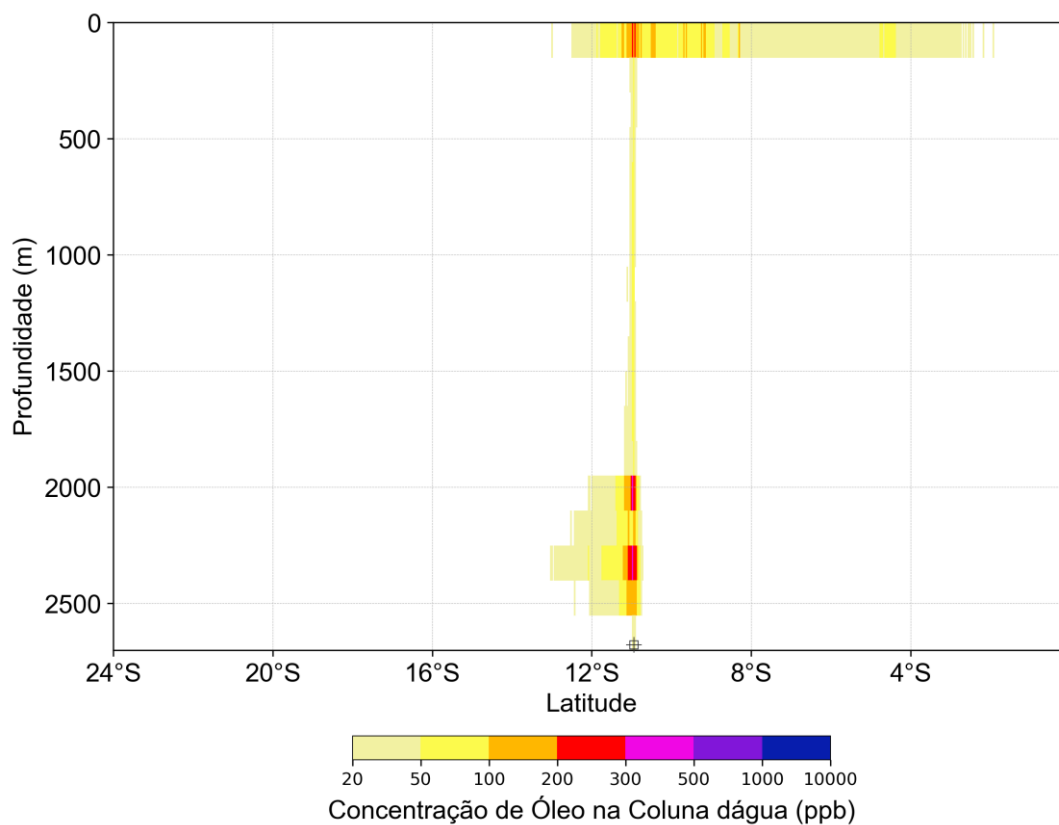


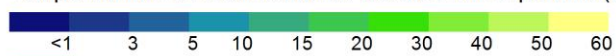
Figura 69: Perfil vertical em latitude de concentração máxima de óleo na coluna d'água para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)



Unidades de Conservação

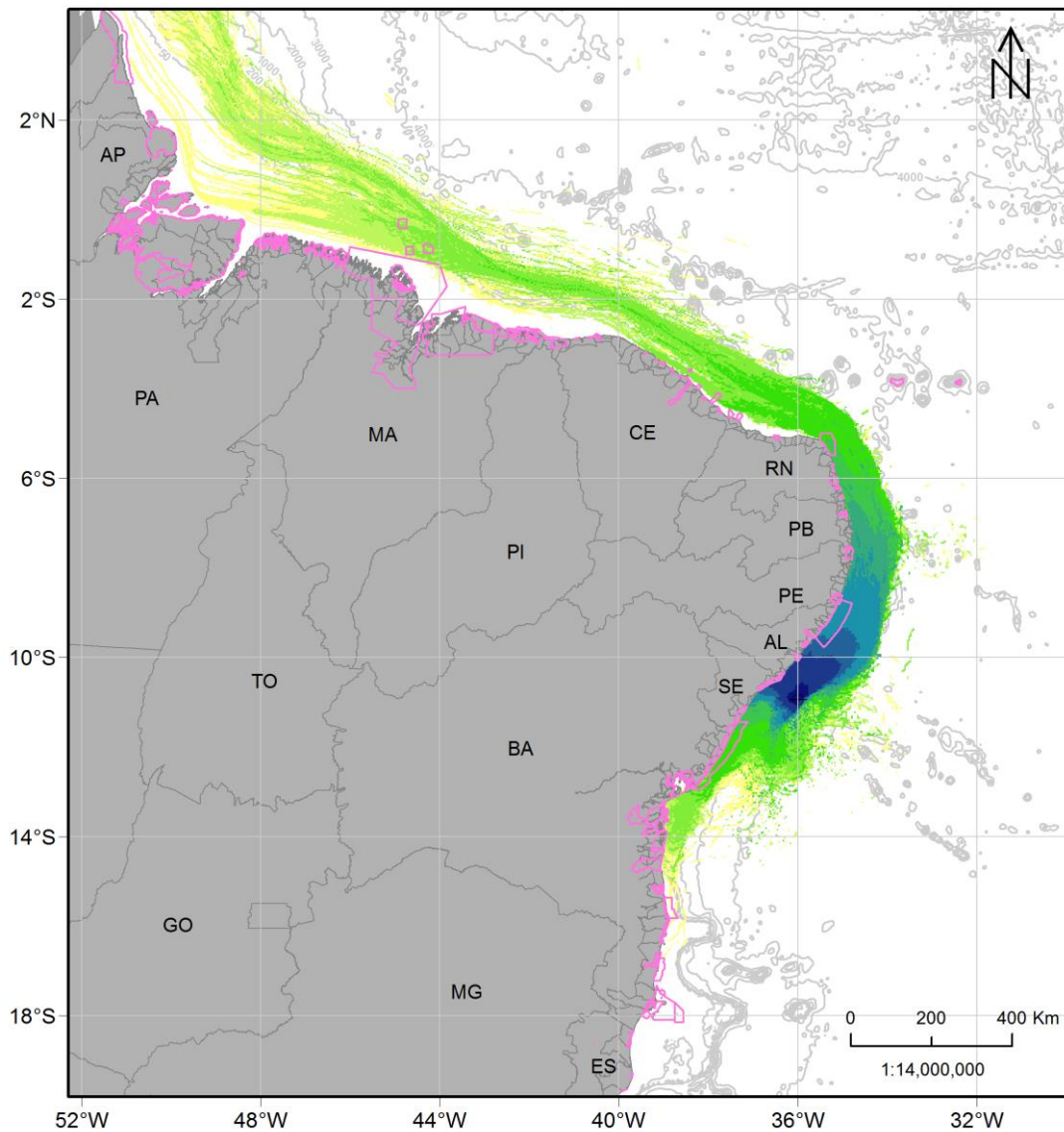


Figura 70: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

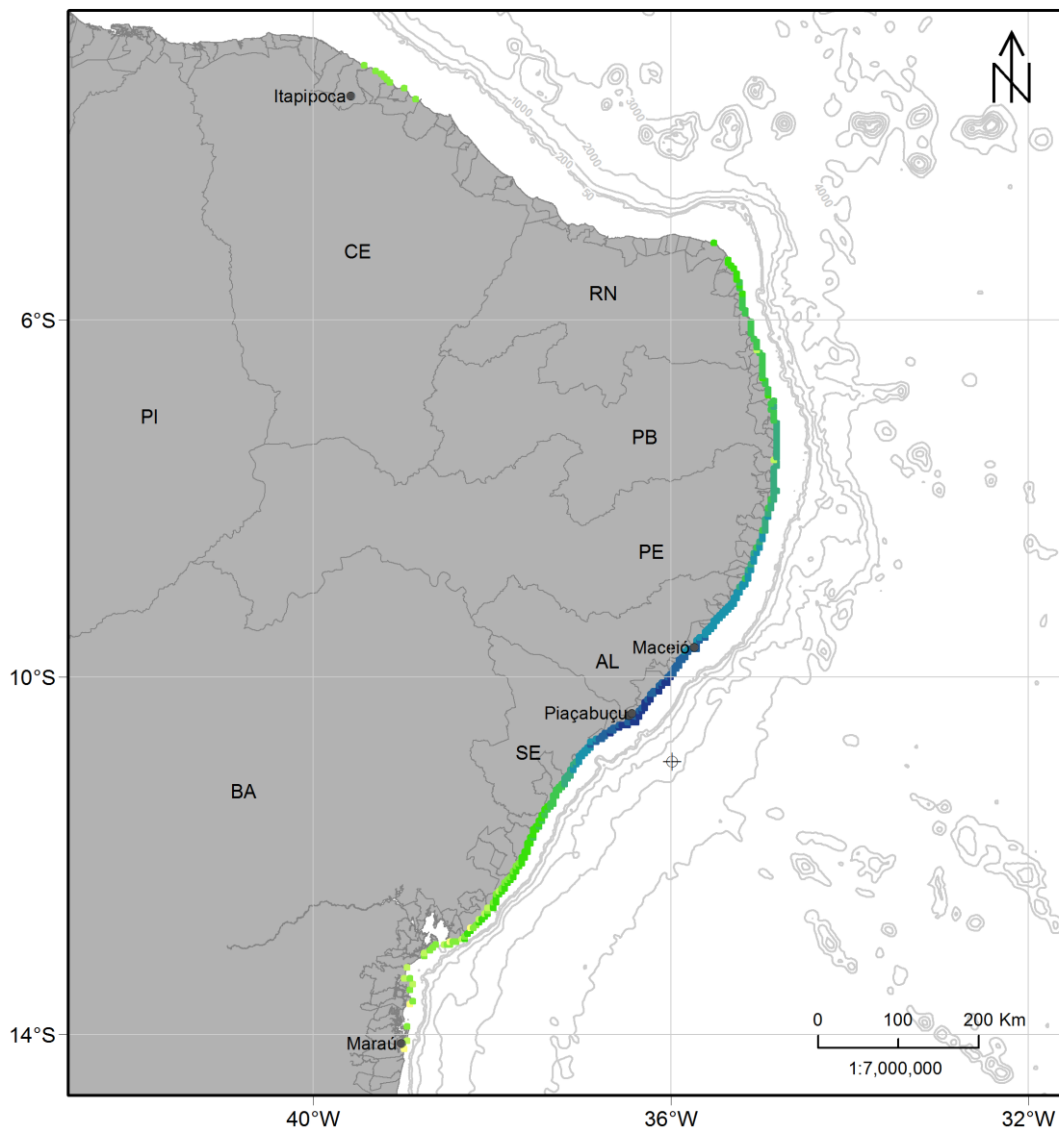
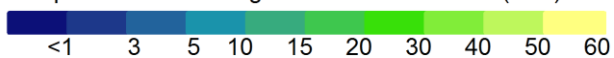


Figura 71: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

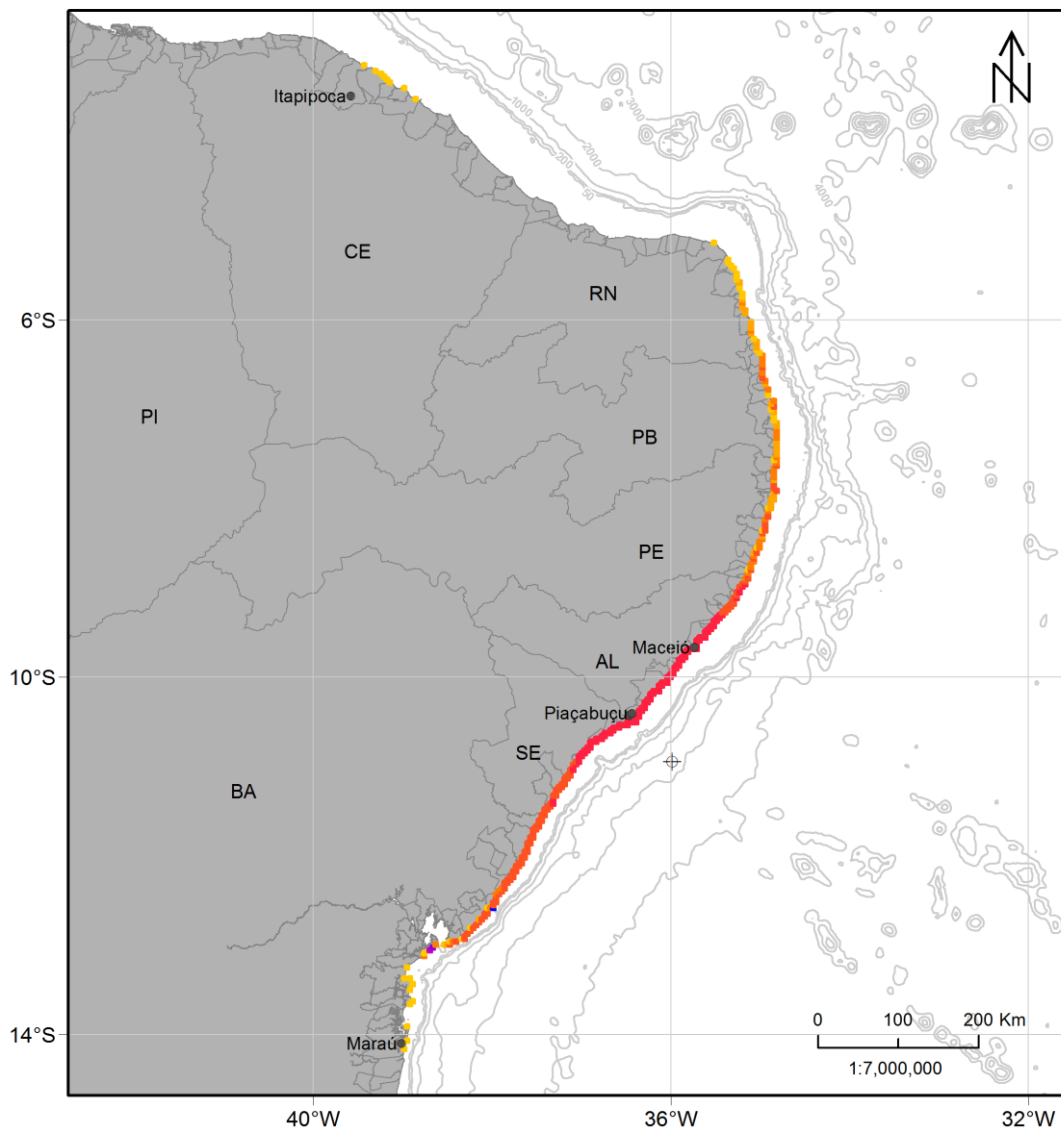
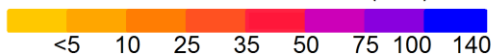


Figura 72: Mapa de massa máxima e óleo em superfície para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Neste cenário, há um deslocamento para sul da região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial e, com isso, a região próxima ao ponto de vazamento fica na maior parte do tempo sob influência da Subcorrente Norte do Brasil. Esta corrente flui para norte e segue a orientação da costa, alterando seu sentido para noroeste a partir do Rio Grande do Norte. Com isso, observa-se uma área de probabilidade de presença de óleo bastante distinta da observada no Período 1, chegando próxima ao limite noroeste do domínio do modelo. Os ventos preferencialmente de

sudeste concentram a região de maiores probabilidades (acima de 90%) à frente dos estados de Sergipe até a Paraíba. O tempo mínimo para o óleo chegar até a superfície é de 5 horas.

Na costa, há probabilidade de presença de óleo do município de Itapipoca – CE a Maraú – BA. Probabilidades acima de 90% são observadas do norte de Sergipe até o sul de Pernambuco (Tabela 11). O menor tempo de chegada na costa ocorreu em Piaçabuçu – AL (Tabela 11). A maior massa de óleo acumulada, de 143 t/km, foi observada em Brejo Grande - SE.

Na coluna d'água, a deriva ocorre em duas direções principais: nordeste e sudoeste, sendo a última nas camadas mais profundas, próximas ao ponto de vazamento. No fundo marinho, a área de probabilidade de presença de óleo vai da região frente ao norte da Bahia até o Ceará, e inclui principalmente regiões de profundidades menores que 200 metros, mas também alguns pontos em regiões mais profundas. Os valores máximos chegam à classe entre 90-100%.

Em relação à concentração de óleo na coluna d'água, assim como o padrão de probabilidade, valores acima de 20 ppb podem ser observados desde as camadas mais superficiais até as mais profundas, com uma redução da área de dispersão. Quando avaliados valores de concentrações acima de 200 ppb, nota-se que estes são mais concentrados próximos ao ponto de vazamento nas camadas mais próximas à superfície e abaixo de 2.000 metros.

Houve probabilidade de presença de óleo em 52 unidades de conservação, com máximo de 100% nas seguintes: RESEX Marinha da Lagoa do Jequiá, APA de Santa Rita, APA Costa dos Corais, APA Litoral Norte de Sergipe e APA de Piaçabuçu, sendo esta última a que apresentou o menor tempo de chegada, de 2,4 dias.

A seguir são apresentados os percentuais de óleo em cada processo intempérico ao final das simulações. Observa-se que a evaporação foi o principal processo de intemperismo ao longo da simulação, com mediana de 37%, seguido pelo óleo sedimentado/fora de grade e o óleo retirado pela degradação, que apresentaram medianas de 30% e 27%, respectivamente. A dispersão apresentou mediana de em torno de 1%. A porcentagem de óleo retido na costa foi de 5% em 50% das simulações, mas teve máximo de 8%, enquanto o óleo remanescente em superfície ao final das simulações é inferior a 1% em 75% das simulações.

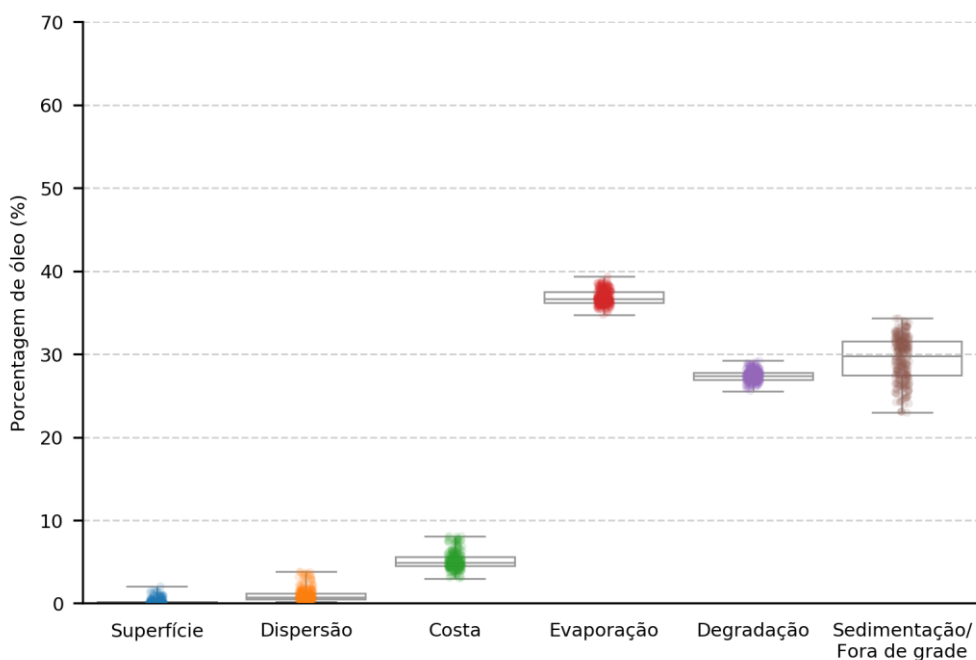


Figura 73: Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 238.480,9 m³ a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

3.2.1.3.2.2 Rio Sergipe

Os mapas de probabilidade de presença de óleo, para o vazamento de 238.480,9 m³ no Período 2, no Rio Sergipe encontram-se na Figura 74e Figura 75. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 76 e Figura 77.

Os resultados são apresentados até um raio de 3,5 km (distância equivalente a um ponto da grade de escala regional) a partir da boca do rio. Este limite é indicado pelo contorno em roxo nos mapas.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (%)

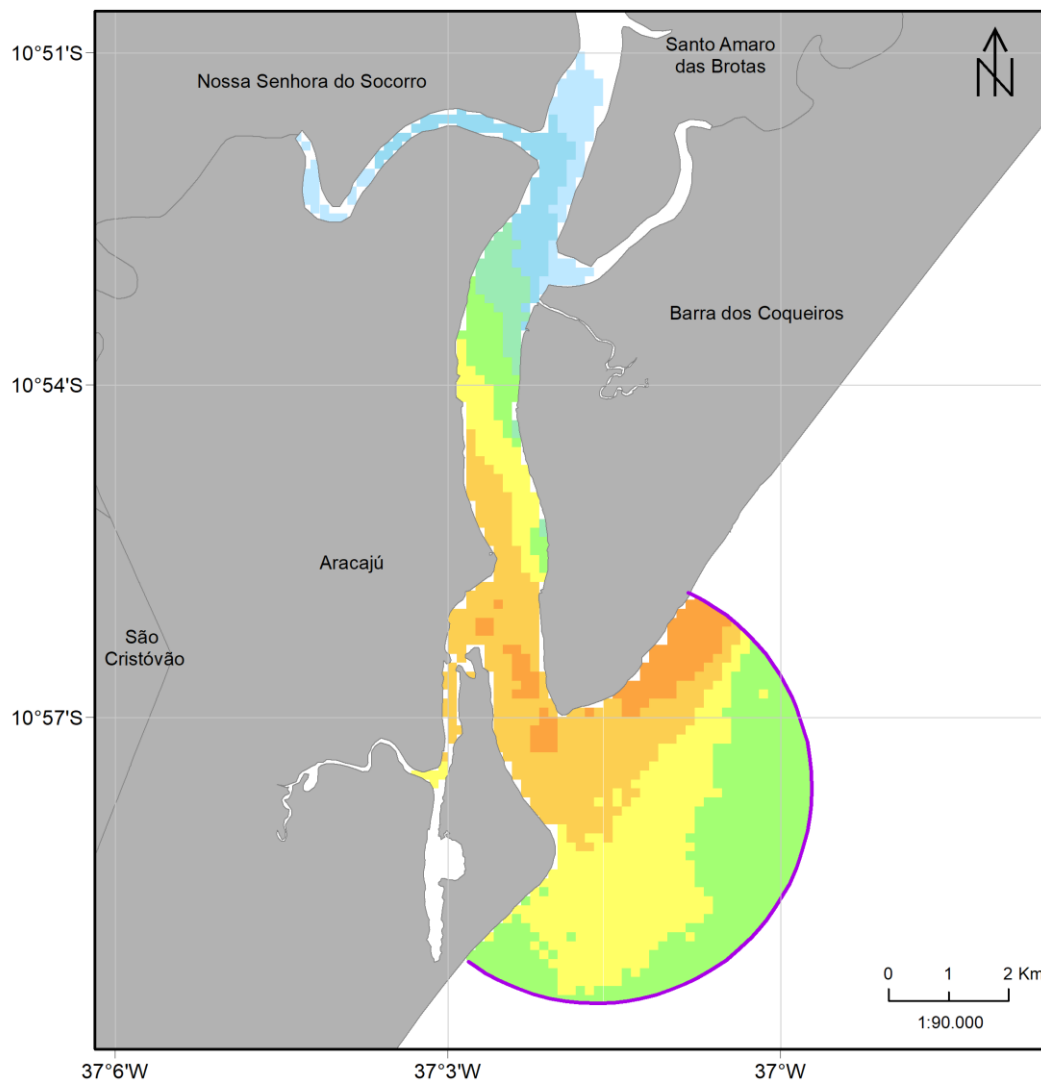
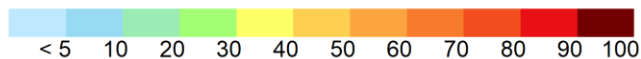


Figura 74: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

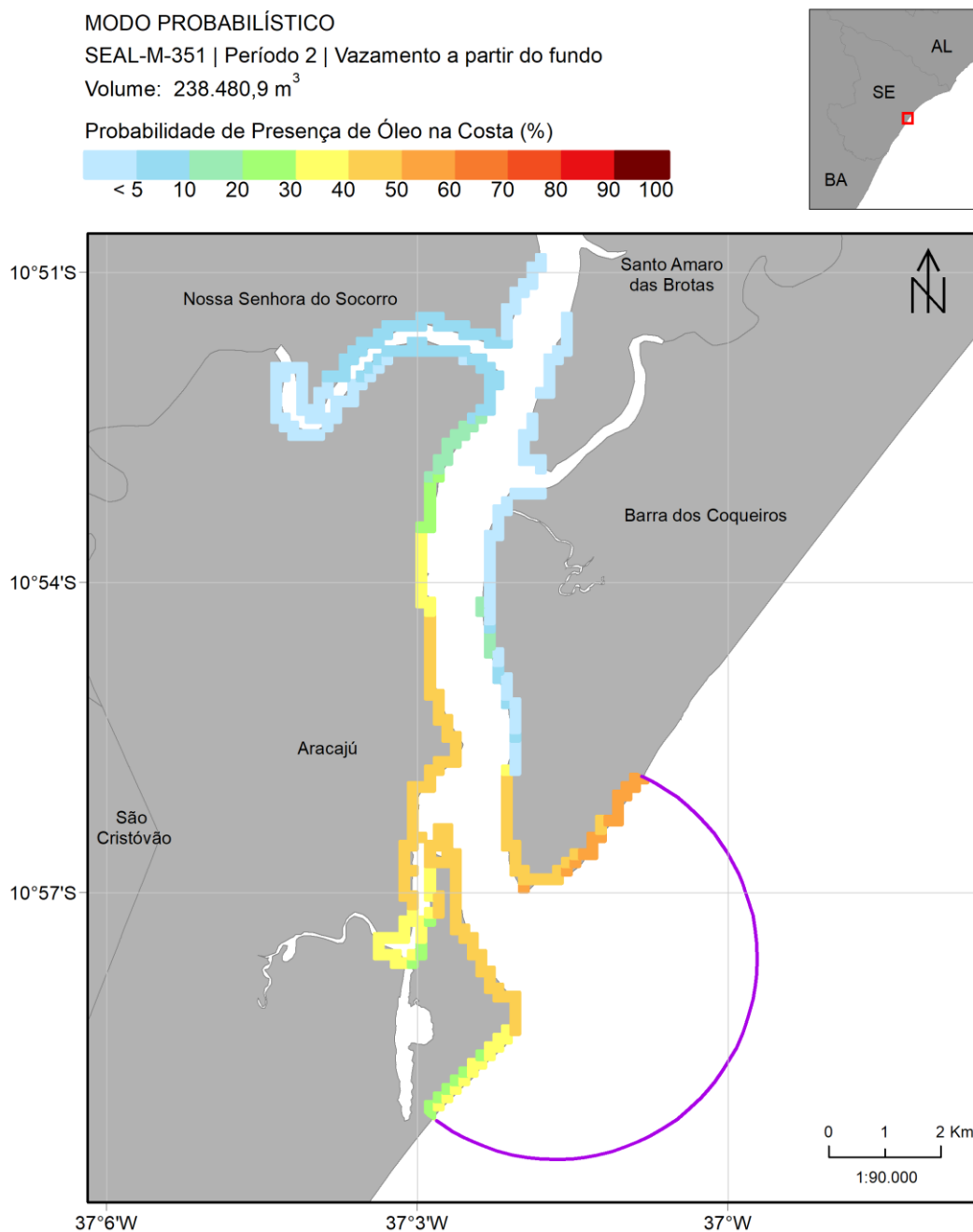


Figura 75: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Observa-se uma probabilidade de até 50-60% de presença de óleo em superfície dentro do Rio Sergipe, adentrando até cerca de 3 km a partir da desembocadura. As probabilidades de toque nas margens do rio são no máximo entre 50-60% no município de Barra dos Coqueiros – SE e de 40-60% em Aracaju. Nos demais municípios localizados à margem do rio, as probabilidades são menores que 10%.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Deslocamento de Óleo em Superfície (dias)

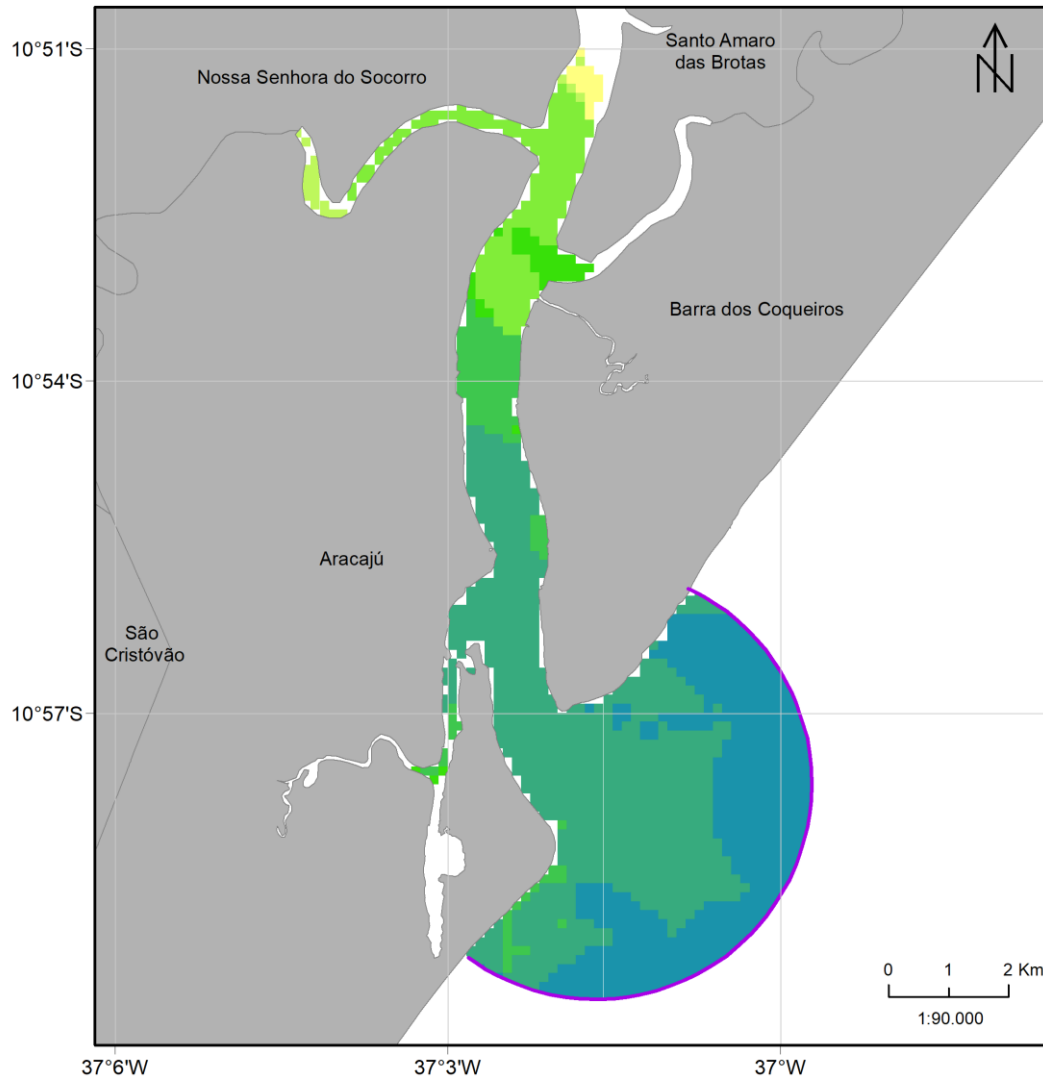
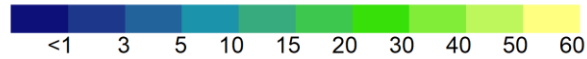


Figura 76: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na superfície na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa (dias)

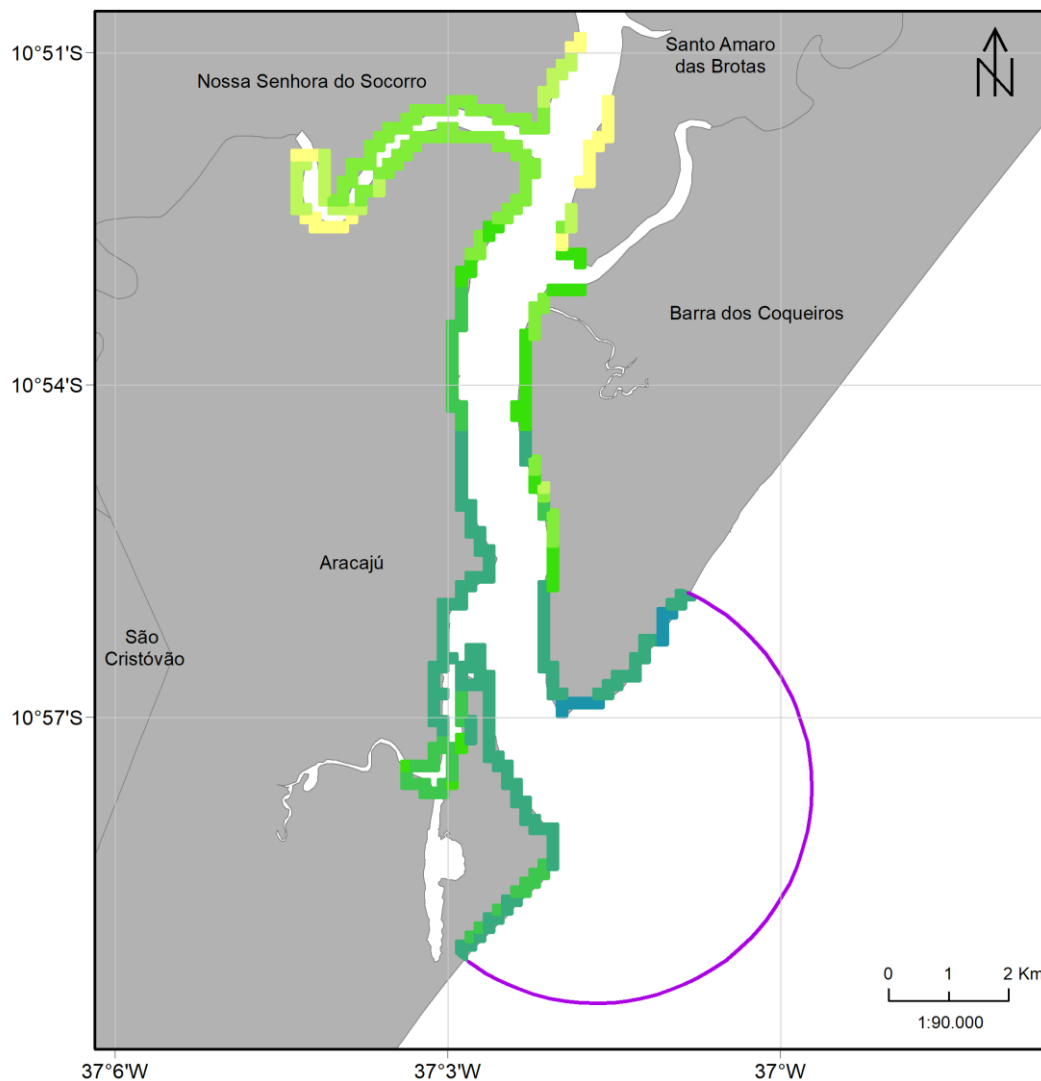
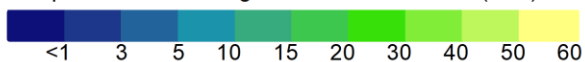


Figura 77: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Nota-se que o tempo mínimo de chegada do óleo na costa no Rio Sergipe foi de 5 a 10 dias mais próximo à desembocadura no município de Barra dos Coqueiros – SE e maior que 20 dias nos municípios mais internos.

A seguir, a Figura 78 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no Período 2.

MODO PROBABILÍSTICO

SEAL-M-351 | Período 2 | Vazamento a partir do fundo

Volume: 238.480,9 m³

Massa Máxima de Óleo na Costa (t/km)

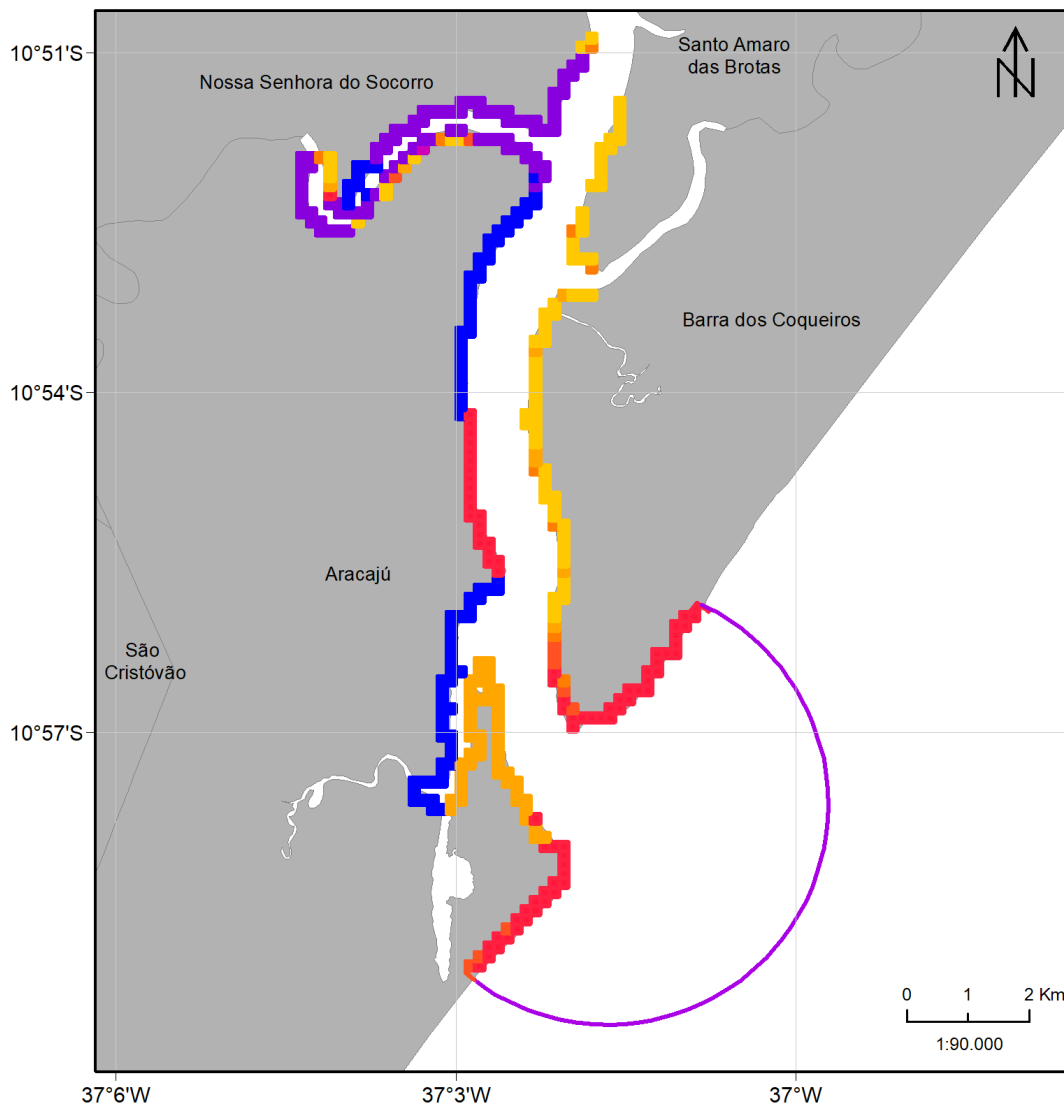
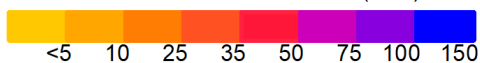


Figura 78: Massa máxima de óleo na costa na região do Rio Sergipe para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Nota-se que o acúmulo de massa foi maior dentro do estuário do que no restante da costa neste período e os maiores valores foram observados na margem do rio em que estão os municípios de Aracaju – SE e Nossa Senhora do Socorro – SE, chegando a mais de 100 t/km.

3.2.1.3.2.3 Rio São Francisco

Os mapas de probabilidade de presença de óleo, para o vazamento de 238.480,9 m³ no Período 2, no Rio São Francisco encontram-se na Figura 79 e Figura 80. Os mapas de tempo mínimo de chegada encontram-se na Figura 81 e Figura 82.

Os resultados são apresentados até um raio de 3,5 km (distância equivalente a um ponto da grade de escala regional) a partir da boca do rio. Este limite é indicado pelo contorno em roxo nos mapas.

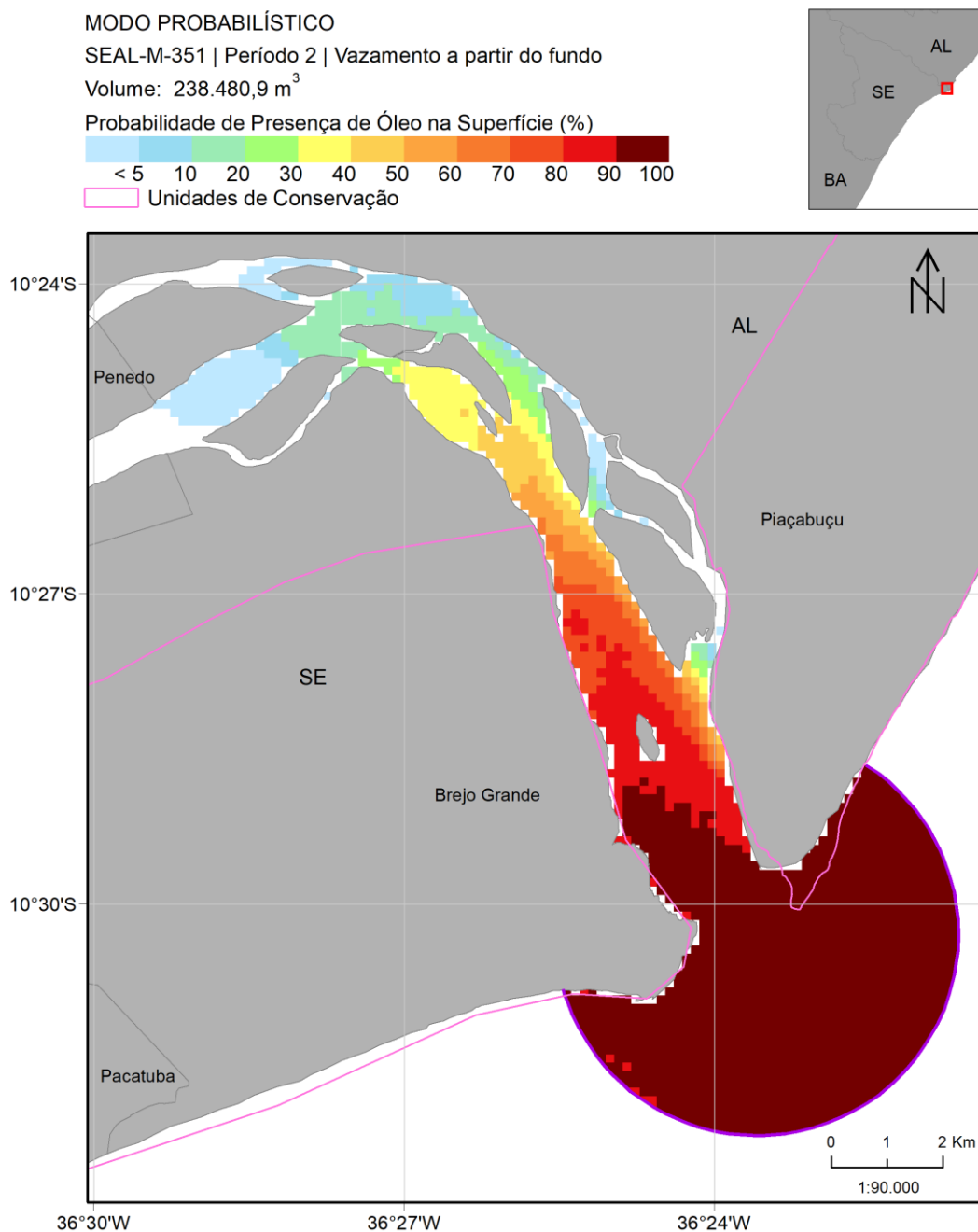


Figura 79: Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

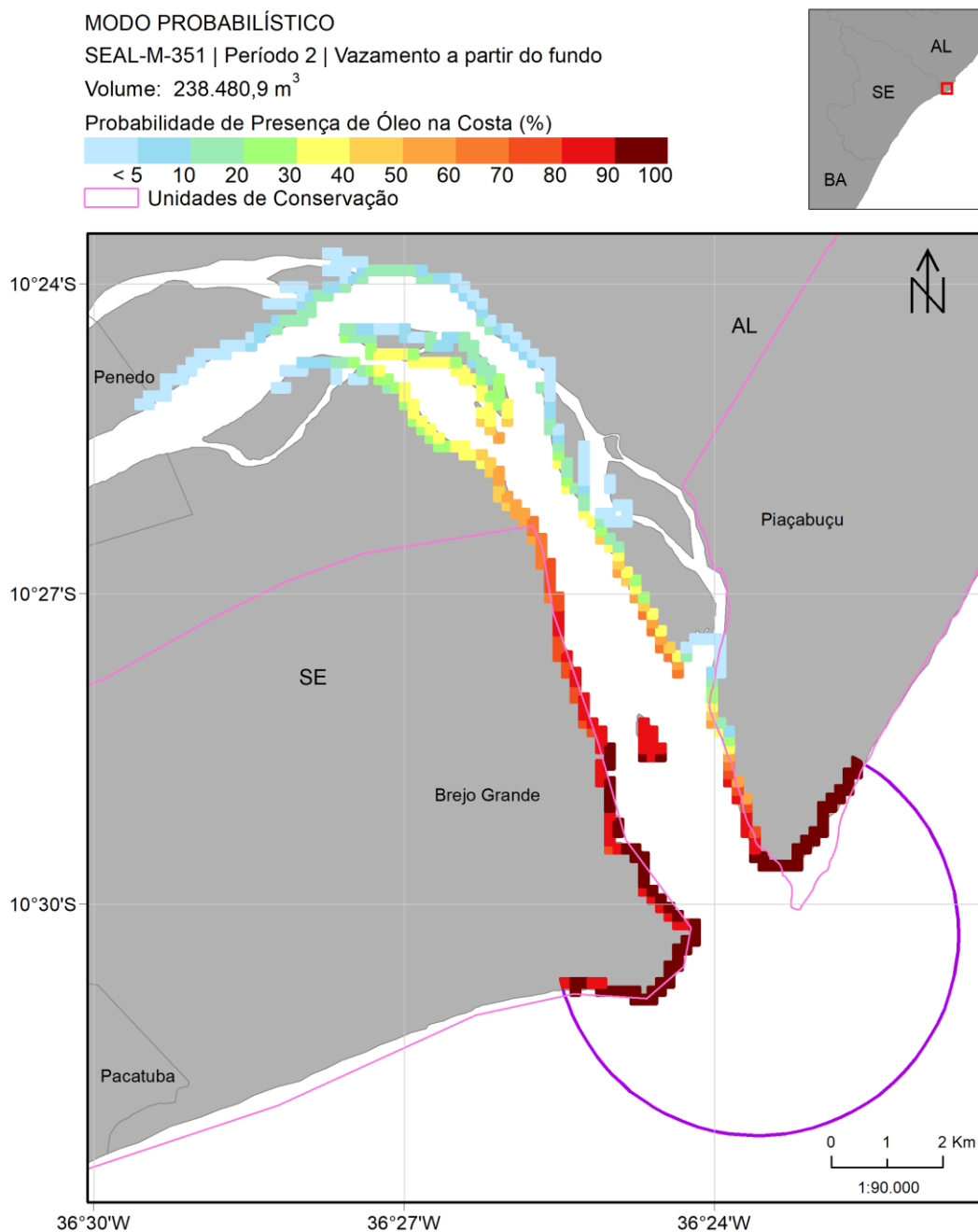


Figura 80: Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Observa-se probabilidades de presença de óleo em superfície da faixa de 90-100% na entrada do Rio São Francisco. Probabilidades acima de 30% alcançam uma extensão de até 9km para dentro do rio, a partir da entrada. Nas margens do rio, a probabilidade de toque é entre 90-100% nos municípios de Piaçabuçu – AL e Brejo Grande – SE. Em Penedo – AL, a probabilidade é inferior a 1%.

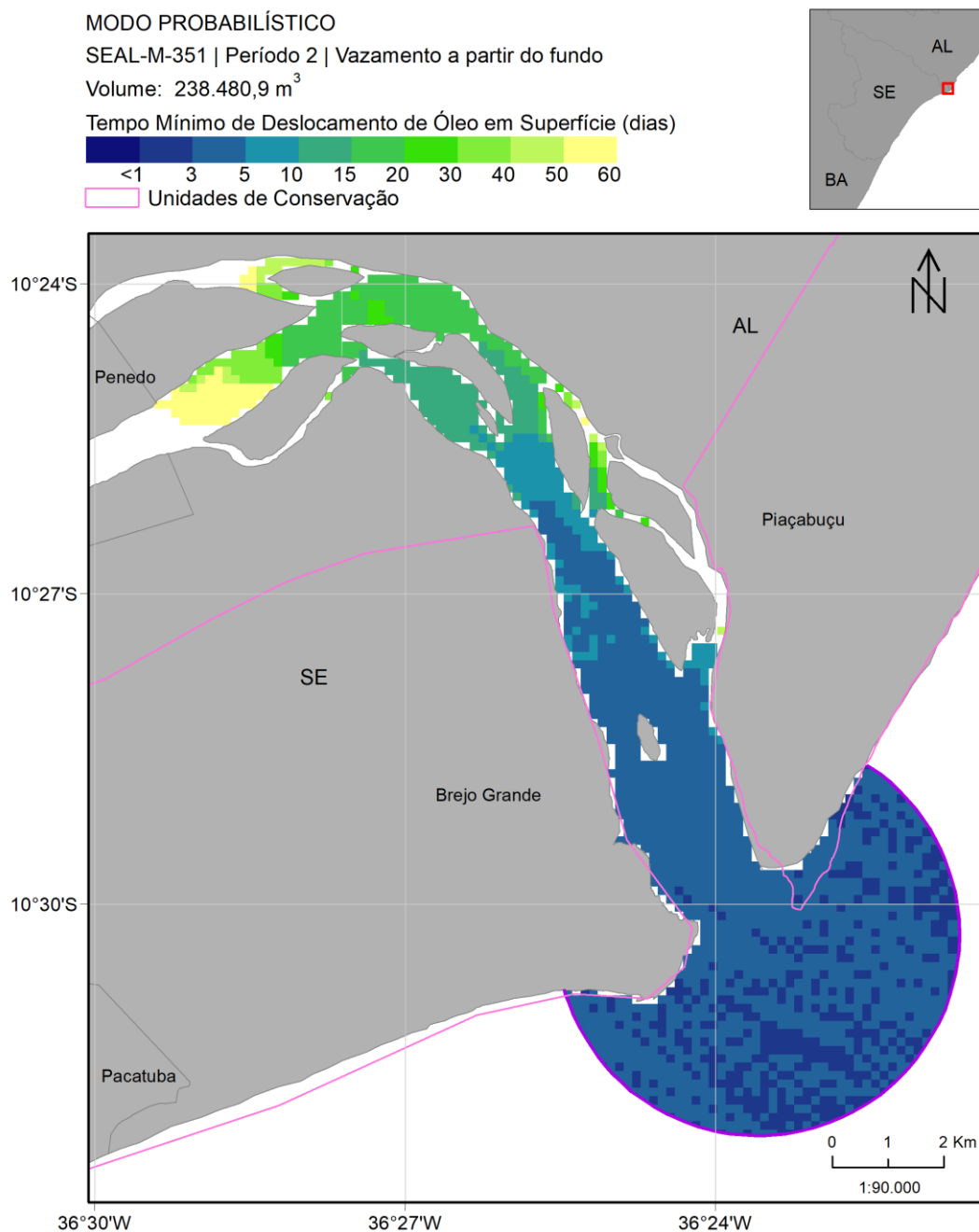


Figura 81: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na superfície na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

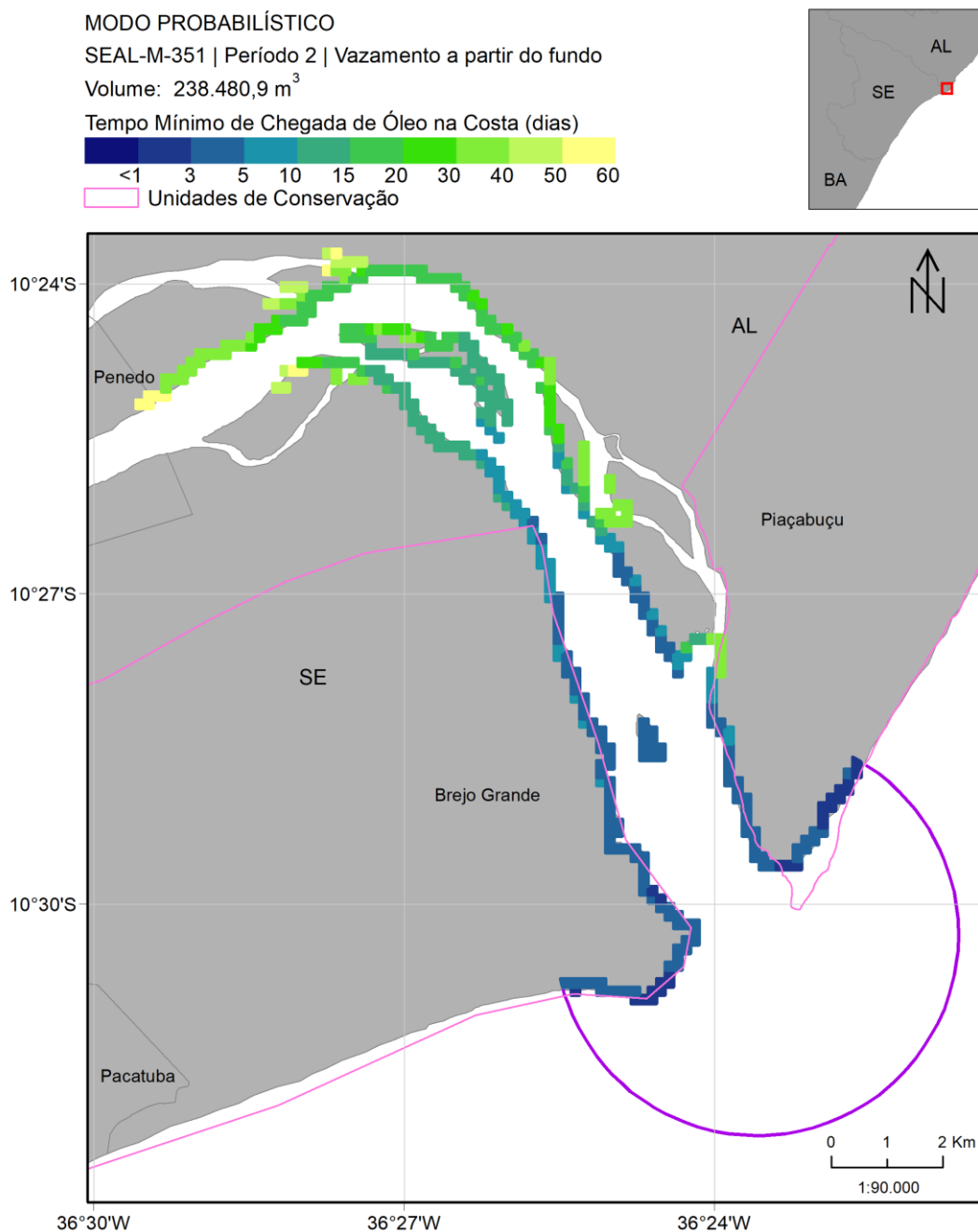


Figura 82: Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Os menores tempos de chegada de óleo na costa às margens do Rio São Francisco são de menos de 3 dias próximo à desembocadura nos municípios de Brejo Grande e Piaçabuçu. Nas regiões mais distantes, chegando ao município de Penedo – AL, o tempo é superior a 50 dias.

Nas Unidades de Conservação costeiras que incluem as margens do Rio São Francisco, os valores de probabilidade e tempo foram menos críticos que os já observados na escala regional.

A seguir, a Figura 83 apresenta a massa máxima de óleo na costa para as simulações no Período 2.

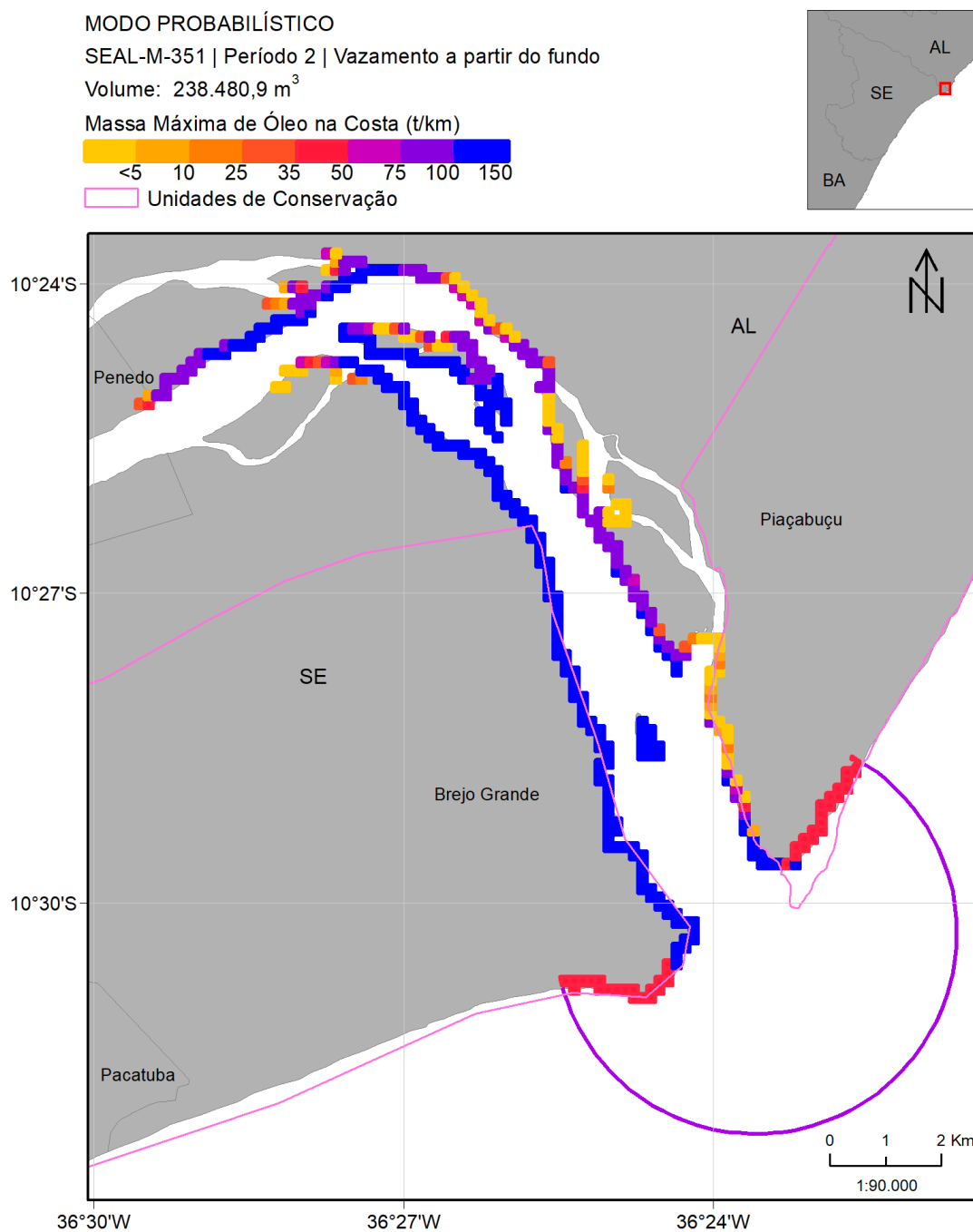


Figura 83: Massa máxima de óleo na costa na região do Rio São Francisco para um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo cru a partir do fundo. Período 2 (maio a outubro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Nota-se que na costa dentro do Rio São Francisco, os valores de massa acumulada são maiores que fora do rio, com valores acima de 100 t/km Piaçabuçu – AL e, principalmente, em Brejo Grande – SE.

3.2.1.3.3 Tabelas comparativas

A seguir, 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 238.480,9 m³ de óleo a partir do fundo (Tabela 11). Na Tabela 12 são apresentados estes resultados para as Unidades de Conservação.

Como foram produzidos resultados com duas modelagens distintas (regional e rios), optou-se por adotar os resultados das simulações dos rios para os municípios localizados no interior dos mesmos e os resultados da simulação regional para os municípios localizado fora dos rios. Nos municípios com costa oceânica localizados na entrada dos rios optou-se pelos valores mais conservadores.

Tabela 11: 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 238.480,9 m³ de óleo a partir do fundo, nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	Município	Probabilidade (%)		Tempo (dias)		Massa (t/km)		Extensão (km)		
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1		
CE	Itapipoca	-	0,4	-	36,8	-	0,7	-	4	
	Trairi	-	1,1	-	36,8	-	4,0	-	19	
	Paraipaba	-	1,1	-	36,8	-	2,4	-	4	
	Paracuru	-	0,7	-	38,5	-	2,2	-	4	
RN	São Gonçalo do Amarante	-	0,4	-	37,9	-	0,7	-	4	
	Touros	-	0,4	-	27,6	-	0,7	-	4	
	Rio do Fogo	-	0,4	-	21,1	-	0,8	-	14	
	Maxaranguape	-	6,3	-	21,1	-	3,4	-	19	
	Ceará-Mirim	-	10,0	-	18,9	-	5,7	-	24	
	Extremoz	-	9,3	-	18,1	-	4,0	-	19	
	Natal	-	11,9	-	17,4	-	24,7	-	29	
	Parnamirim	-	11,9	-	17,4	-	7,8	-	14	
	Nísia Floresta	-	14,1	-	17,0	-	18,4	-	29	
	Senador Georgino Avelino	-	4,8	-	17,1	-	9,1	-	4	
	Tibau do Sul	-	13,3	-	17,0	-	6,6	-	14	
	Canguaretama	-	10,0	-	17,4	-	6,6	-	14	
	Baía Formosa	-	21,5	-	16,6	-	24,9	-	34	
	PB	Mataraca	-	17,8	-	16,6	-	25,1	-	19

	Baía da Traição	-	17,8	-	16,3	-	25,4	-	24
	Marcação	-	11,1	-	16,5	-	7,2	-	4
	Rio Tinto	-	14,4	-	16,1	-	24,0	-	14
	Lucena	0,4	24,4	37,4	13,8	0,7	26,5	4	14
	Santa Rita	-	0,7	-	16,6	-	1,9	-	4
	Cabedelo	-	24,4	-	13,8	-	26,5	-	24
	João Pessoa	-	18,1	-	14,3	-	14,9	-	34
	Conde	-	21,9	-	11,7	-	14,9	-	29
	Pitimbu	0,4	32,6	48,6	12,8	1,1	17,8	4	34
	Goiana	0,4	48,5	44,5	12,3	0,7	25,6	4	24
	Ilha de Itamaracá	-	30,0	-	11,4	-	25,8	-	24
	Igarassu	-	27,0	-	12,5	-	30,6	-	14
	Paulista	3,3	76,7	33,2	10,5	1,5	30,6	4	29
	Olinda	1,1	74,8	52,0	11,6	0,8	8,2	4	24
	Recife	-	89,3	-	10,7	-	25,4	-	34
PE	Jaboatão dos Guararapes	0,7	92,2	45,0	9,6	1,2	27,4	4	19
	Cabo de Santo Agostinho	2,2	100,0	37,5	10,0	1,1	30,8	4	29
	Ipojuca	2,2	98,9	37,6	9,0	1,1	30,8	9	49
	Sirinhaém	0,7	98,1	45,8	8,2	0,8	30,1	4	24
	Tamandaré	-	98,1	-	8,2	-	31,5	-	24
	Barreiros	-	98,1	-	8,4	-	31,5	-	19
	São José da Coroa Grande	1,5	99,6	32,8	8,2	0,7	33,3	4	24
	Maragogi	1,5	99,6	32,8	7,3	0,7	36,1	14	54
	Japaratinga	0,4	97,4	45,2	6,7	0,6	36,1	4	29
	Porto de Pedras	-	98,9	-	6,2	-	34,2	-	33
AL	São Miguel dos Milagres	-	98,9	-	6,2	-	34,8	-	24
	Passo de Camaragibe	0,4	98,9	44,0	5,8	1,3	38,1	4	29
	Barra de Santo Antônio	-	99,6	-	5,3	-	39,8	-	34
	Paripueira	-	99,6	-	5,3	-	39,7	-	24
	Maceió	-	100,0	-	3,8	-	40,1	-	79
	Marechal Deodoro	0,7	100,0	43,0	3,7	0,8	40,1	4	44
	Barra de São Miguel	0,7	100,0	43,0	3,5	0,8	40,2	9	29
	Roteiro	0,4	100,0	45,6	3,1	0,8	40,3	4	29
	Jequiá da Praia	1,9	100,0	28,3	2,6	1,2	40,4	14	44
	Coruripe	1,9	100,0	28,3	2,6	1,1	40,6	19	84

	Feliz Deserto	0,7	100,0	34,1	2,5	1,0	40,6	14	24	
	Penedo	-	0,4	-	52,8	-	38,7	-	<1	
	Piaçabuçu	4,8	100,0	9,7	2,4	2,5	142,3	19	92	
SE	Brejo Grande	4,8	100,0	9,7	2,5	2,5	142,5	9	59	
	Pacatuba	1,5	99,6	31,8	2,6	2,1	39,5	24	54	
	Pirambu	4,4	98,9	4,7	2,9	24,4	39,1	34	54	
	Barra dos Coqueiros	68,9	92,2	3,0	4,8	40,8	38,9	59	62	
	Santo Amaro das Brotas	0,4	1,9	59,0	23,9	0,1	23,3	<1	5	
	Nossa Senhora do Socorro	0,7	7,8	57,5	35,5	87,1	107,6	8	22	
	Aracaju	90,4	81,5	3,1	7,2	145,4	131,8	91	97	
	São Cristovão	85,6	73,7	3,4	11,0	41,0	34,6	14	14	
	Itaporanga d'Ajuda	97,4	63,0	3,3	12,7	41,9	34,3	54	54	
	Estância	98,9	30,0	3,2	17,5	42,1	35,6	44	44	
	Indiaroba	97,4	20,7	3,6	20,0	41,4	33,2	14	14	
	BA	Jandaíra	99,6	21,1	3,6	19,3	41,9	34,8	84	84
		Conde	100,0	19,6	4,1	20,0	41,9	33,6	94	94
Esplanada		100,0	18,1	4,5	24,1	41,5	31,4	39	39	
Entre Rios		100,0	16,7	4,8	26,1	41,5	30,9	59	59	
Mata de São João		100,0	12,2	5,6	26,2	136,4	105,5	64	64	
Camaçari		100,0	8,5	6,3	26,8	98,3	27,9	94	69	
Lauro de Freitas		97,8	3,7	7,6	29,0	35,7	26,7	14	9	
Salvador		99,6	5,2	7,3	29,9	37,3	26,7	69	44	
São Francisco do Conde		0,4	-	50,9	-	0,9	-	4	-	
Saubara		1,1	-	33,8	-	2,7	-	14	-	
Maragogipe		1,1	-	33,8	-	2,7	-	4	-	
Salinas da Margarida		3,0	-	33,7	-	2,7	-	14	-	
Itaparica		34,8	-	28,7	-	16,1	-	19	-	
Vera Cruz		90,7	1,5	9,2	31,1	105,7	85,6	59	24	
Jaguaripe		82,6	0,4	9,6	47,9	29,8	0,7	49	4	
Valença		92,6	0,4	9,7	46,6	34,2	0,9	49	9	
Cairu		100,0	3,7	8,7	36,6	116,2	1,5	89	29	
Nilo Peçanha		80,4	-	10,2	-	32,0	-	9	-	
Ituberá		95,6	-	9,5	-	33,5	-	34	-	
Igrapiúna		48,5	-	9,7	-	25,0	-	14	-	
Camamu	8,1	-	14,6	-	2,3	-	9	-		
Maraú	98,9	0,7	9,3	38,5	85,6	1,0	69	14		
Itacaré	100,0	-	10,2	-	35,3	-	39	-		

	Uruçuca	92,2	-	10,8	-	31,8	-	14	-
	Ilhéus	95,6	-	10,2	-	35,6	-	108	-
	Una	73,7	-	11,9	-	34,6	-	59	-
	Canavieiras	91,9	-	12,1	-	34,6	-	79	-
	Belmonte	86,7	-	12,9	-	27,8	-	59	-
	Santa Cruz Cabrália	60,0	-	13,1	-	71,6	-	54	-
	Porto Seguro	60,0	-	13,6	-	71,6	-	94	-
	Prado	31,9	-	15,7	-	13,1	-	84	-
	Alcobaça	22,6	-	16,4	-	10,3	-	64	-
	Caravelas	21,5	-	17,2	-	10,3	-	14	-
	Mucuri	1,5	-	24,3	-	1,0	-	4	-
ES	Conceição da Barra	1,9	-	21,1	-	1,5	-	29	-
	São Mateus	1,9	-	22,2	-	2,5	-	59	-
	Linhares	1,9	-	22,2	-	2,5	-	29	-

Tabela 12: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas por um vazamento de 238.480,9 m³ de óleo a partir do fundo, nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidade de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
PE DO JACARAPÉ	-	17,0	-	14,7
APA DE PIAÇABUÇU	4,8	100,0	9,7	2,4
APA BAÍA DE CAMAMU	100,0	3,0	9,3	38,5
ARIE MANGUEZAIS DA FOZ DO RIO MAMANGUAPE	-	14,4	-	16,1
RPPN CARROULA	25,2	-	17,4	-
APA LAGOA ENCANTADA	91,5	0,4	10,2	58,6
APA BARRA DO RIO MAMANGUAPE	0,4	23,7	37,3	15,1
ARIE DO DEGREDO	0,7	-	26,6	-
ARIE DA BARRA DO RIO CAMARATUBA	-	17,8	-	16,9
REBIO DE SANTA ISABEL	5,2	99,6	4,6	2,8
PARNA DO MONTE PASCOAL	54,4	-	15,3	-
RPPN DUNAS DE SANTO ANTÔNIO	100,0	9,3	5,5	27,2
PE DO ARATU	0,7	35,6	42,5	14,0
RVS DE UNA	74,8	-	11,7	-
APA LAGOAS E DUNAS DO ABAETÉ	99,6	5,2	7,3	29,9
APA COSTA DE ITACARÉ/ SERRA GRANDE	100,0	0,7	10,0	45,3
APA BONFIM/GUARAÍRA	-	14,1	-	16,9
APA CONCEIÇÃO DA BARRA	6,3	-	21,0	-
APA DE SANTA RITA	2,2	100,0	27,5	3,8
APA SANTO ANTÔNIO	53,7	-	12,8	-
APA DE SIRINHAÉM	0,7	98,1	45,8	8,5
APA LAGOAS DE GUARAJUBA	100,0	8,5	6,2	26,8
APA DE JENIPABU	-	9,3	-	18,1
APA DAS DUNAS DE PARACURU	-	0,7	-	38,5
ESEC PECÉM	-	0,4	-	35,2
APA DAS DUNAS DA LAGOINHA	-	1,1	-	36,8
REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE DO RIO DOS FRADES	18,5	-	16,3	-
RPPN MATA ESTRELA	-	21,5	-	16,6
RPPN AVAÍ	0,4	-	41,4	-
APA CAMINHOS ECOLÓGICOS DA BOA ESPERANÇA	92,6	0,7	9,7	44,2
APA DA FOZ DO RIO VAZA-BARRIS	90,4	69,3	3,2	12,4
APA DO LITORAL SUL	98,9	63,0	3,1	12,7
APA DO PRATAGY	-	97,8	-	5,7
APA JOANES - IPITANGA	99,3	5,2	6,9	29,0
APA LITORAL NORTE DO ESTADO DA BAHIA	100,0	21,1	3,5	19,3
APA LITORAL NORTE (SERGIPE)	6,7	100,0	3,9	2,5
APA PRATIGI	95,9	0,4	9,3	46,9
APA RIO CAPIVARA	99,6	5,9	6,6	26,8

APA TINHARÉ / BOIPEBA	100,0	3,7	8,7	36,6
PE DE ITAÚNAS	4,1	-	20,9	-
PE DUNAS DE NATAL	-	21,9	-	17,5
REBIO DE UNA	35,9	-	14,9	-
APA COSTA DOS CORAIS	23,0	100,0	8,5	4,1
RESEX MARINHA DA LAGOA DO JEQUIÁ	9,6	100,0	13,8	2,6
APA PONTA DA BALEIA / ABROLHOS	54,4	-	16,0	-
RESEX CORUMBAU	76,3	0,4	14,6	59,0
APA PLATAFORMA CONTINENTAL DO LITORAL NORTE	100,0	23,0	2,8	18,7
APA CARAÍVA/ TRANCOSO	67,4	-	14,6	-
RESEX DE CASSURUBÁ	47,0	-	17,0	-
RESEX DE CANAVIEIRAS	100,0	1,1	11,3	53,6
PARNA MARINHO DOS ABROLHOS	53,7	-	16,4	-
RESEX ACAÚ-GOIANA	4,1	51,9	30,7	12,8
APA COSTA DAS ALGAS	3,3	-	24,3	-
RVS DE SANTA CRUZ	0,7	-	44,5	-
APA DAS REENTRÂNCIAS MARANHENSES	0,4	3,0	53,7	36,8
PE MARINHO DO PARCEL DE MANUEL LUÍS	-	7,8	-	33,1
PE MARINHO DO BANCO DO ÁLVARO	-	6,7	-	32,8
PE MARINHO DO BANCO DO TAROL	-	6,7	-	34,2
RESEX PRAINHA DO CANTO VERDE	0,4	3,7	46,7	29,9
RESEX DO BATOQUE	-	2,6	-	31,4
PE MARINHO DA PEDRA DA RISCA DO MEIO	-	1,9	-	34,3
PE MARINHO DE AREIA VERMELHA	-	31,9	-	11,0
APA BAÍA DE TODOS OS SANTOS	97,0	4,1	8,7	31,1
APA COROA VERMELHA	79,6	-	13,5	-
APA DOS RECIFES DE CORAIS	3,7	33,0	32,3	17,3
APA DE GUADALUPE	6,3	99,3	32,7	7,7
APA DE SANTA CRUZ	7,4	84,8	30,5	10,8
APA DO MANGUEZAL DA BARRA GRANDE	0,4	0,4	55,6	34,5

3.2.1.3.4 Análise dos resultados

Para o bloco SEAL-M-351 foi executado um projeto de aquisição de dados por 40 derivadores em duas campanhas. Em cada campanha foram lançados 20 derivadores em par, composto por um derivador do tipo SVP (derivador com vela) e um derivador do tipo FHD (derivador sem vela) em 10 pontos ao longo do talude continental, na região próxima do bloco.

O derivador do tipo FHD consiste de um equipamento de corpo cilíndrico com GPS, sensores e modem. O desenho do derivador foi criado especificamente para que seu comportamento à superfície do mar sofra influência de correntes e ventos.

Com o objetivo de identificar padrões sazonais nos dados coletados e comparar com os resultados probabilísticos, as campanhas foram separadas de acordo com a mesma separação sazonal adotada para a modelagem: Período 1 (novembro a abril) e Período 2 (maio a outubro). As figuras a seguir mostram as trajetórias dos 10 FHDs implantados em cada campanha nos

mapas de probabilidade de presença de óleo na superfície e tempo mínimo de chegada de óleo.

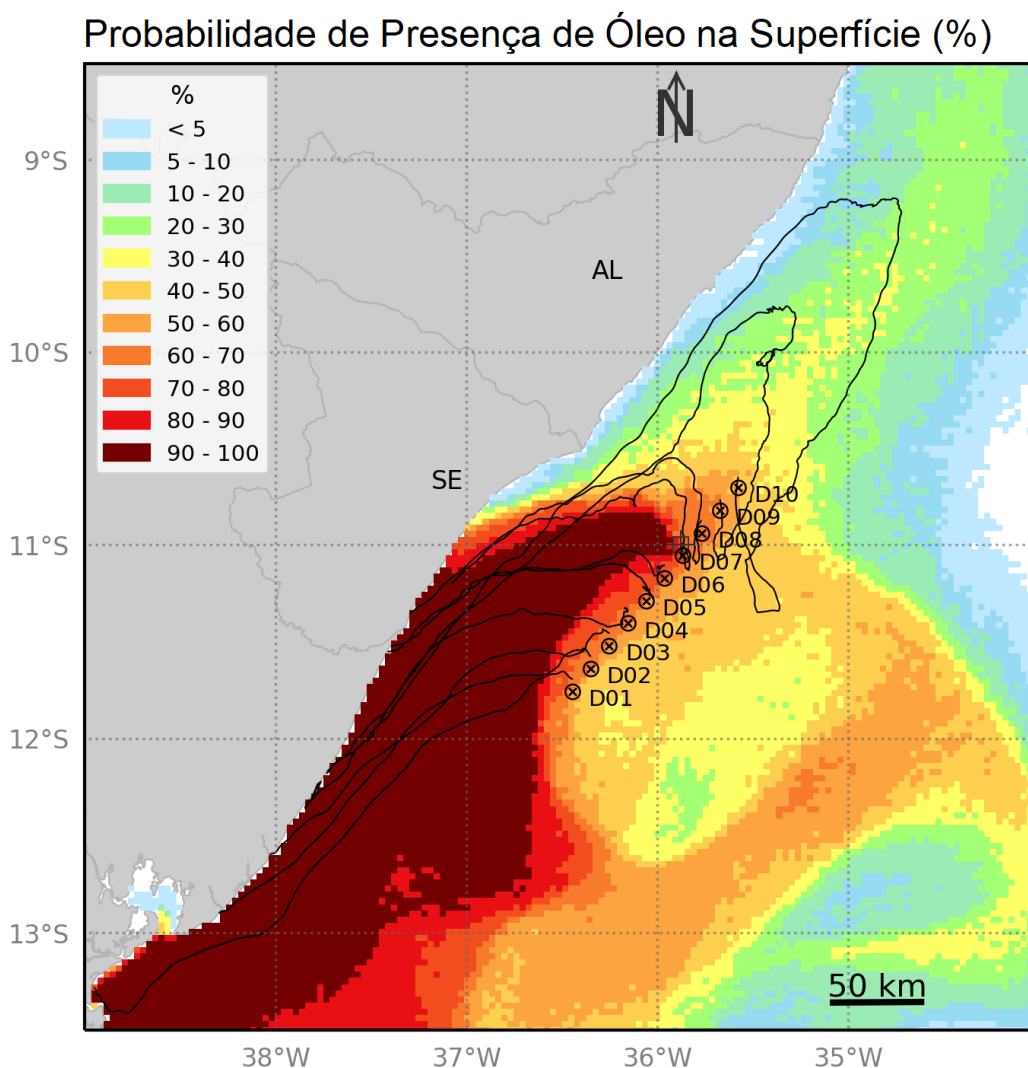


Figura 84: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de verão sobre o resultado probabilístico de presença de óleo em superfície no Período 1.

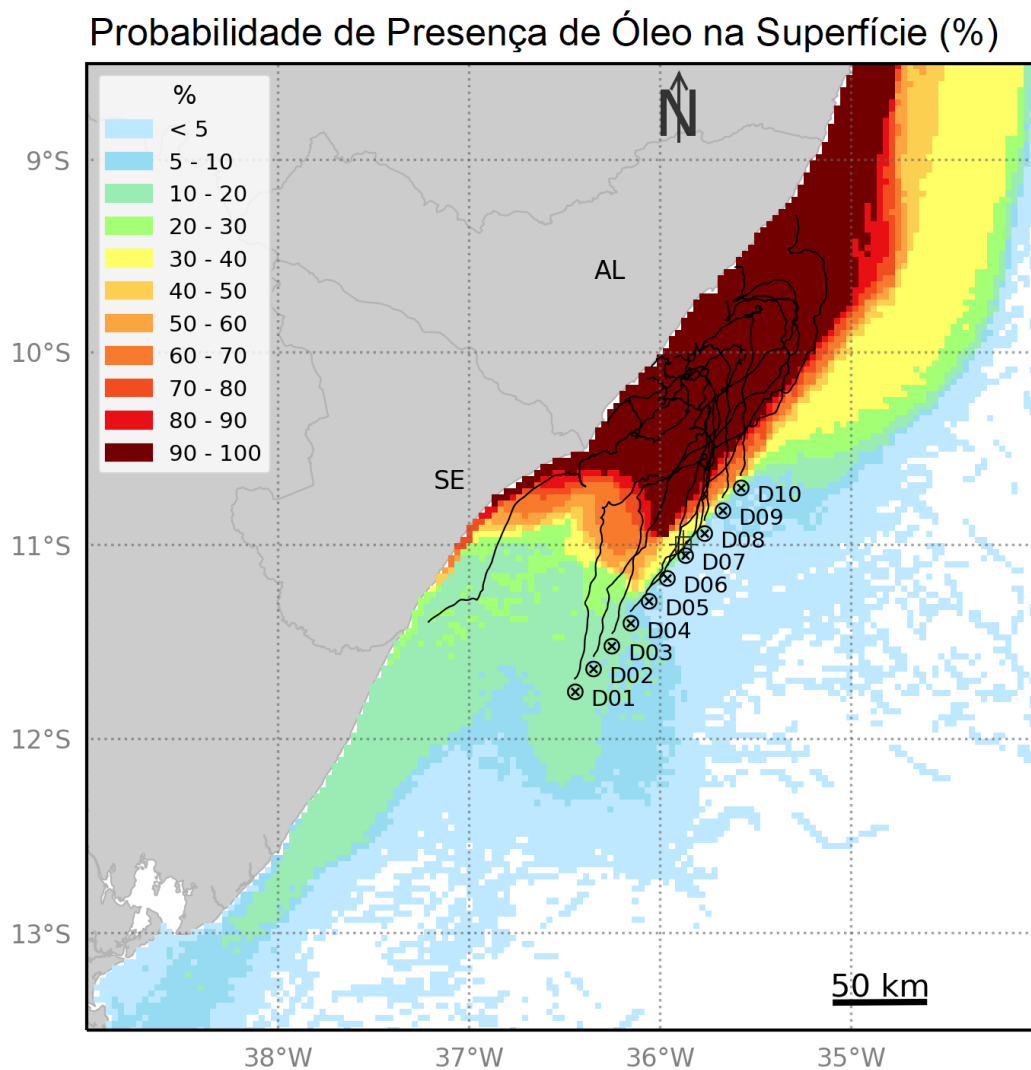


Figura 85: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de inverno sobre o resultado probabilístico de presença de óleo em superfície no Período 2.

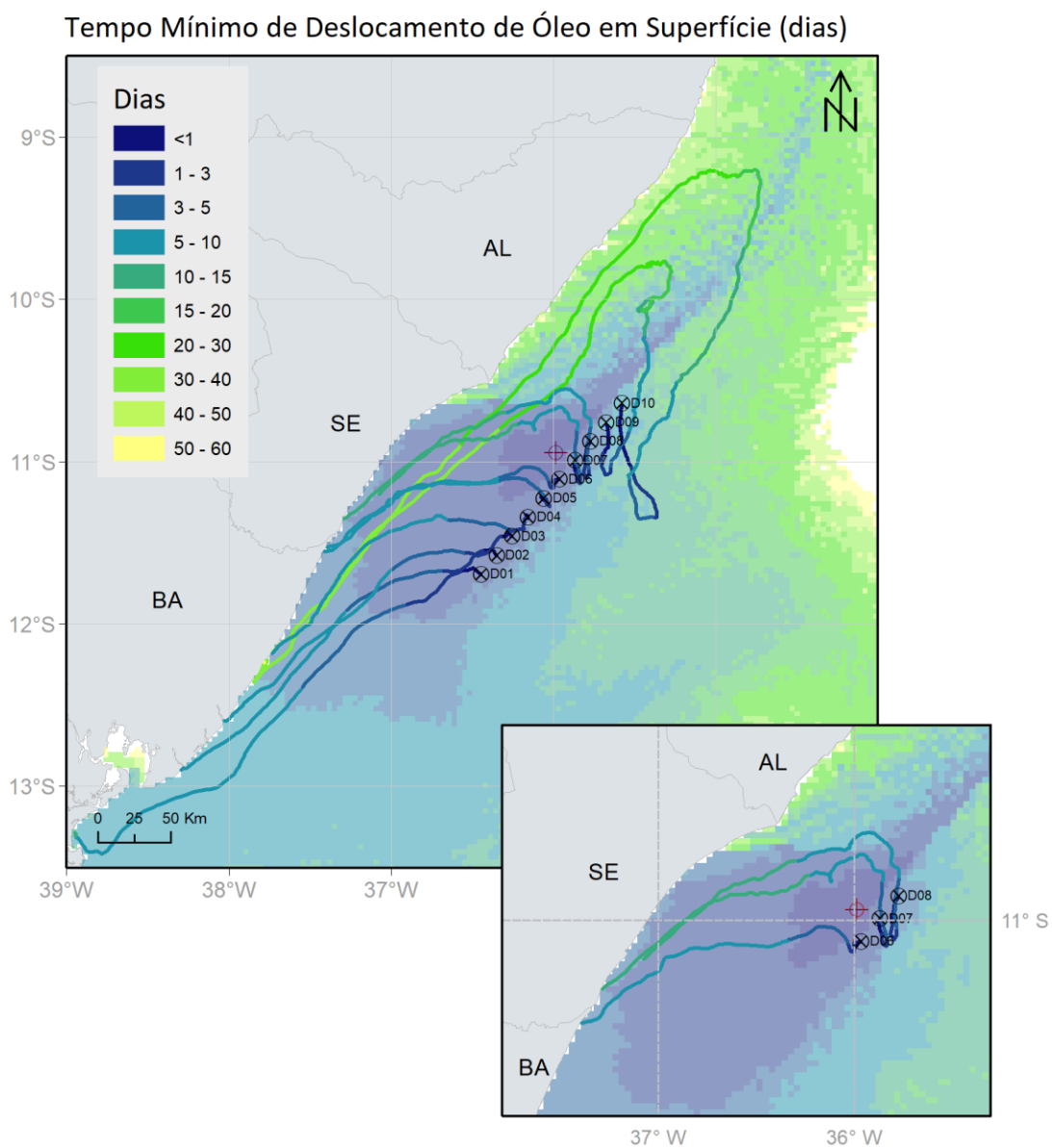


Figura 86: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de verão sobre o resultado probabilístico de tempo mínimo de chegada do óleo em superfície no Período 1.

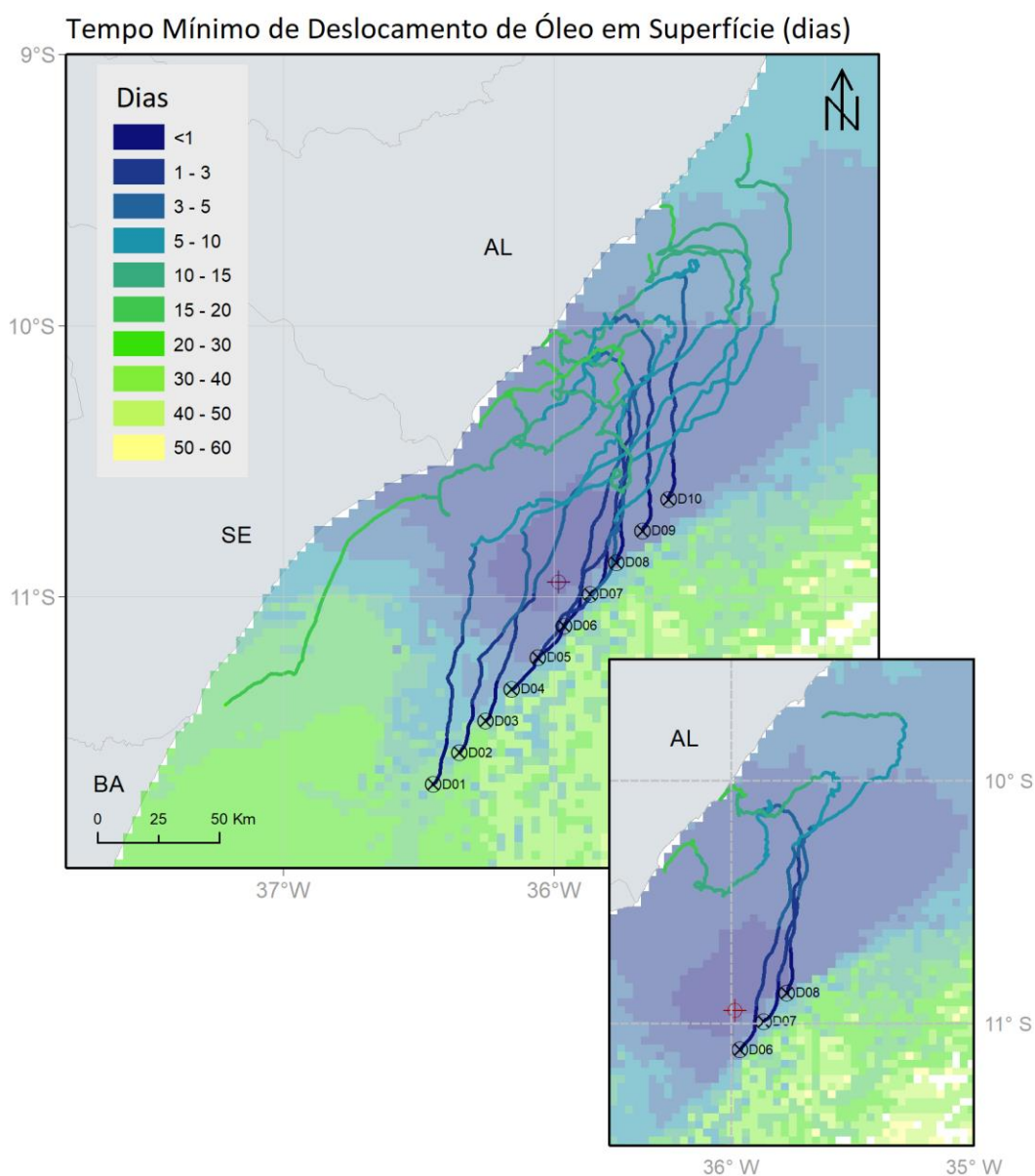


Figura 87: Trajetórias dos 10 derivadores do tipo FHD lançados na campanha de inverno sobre o resultado probabilístico de tempo mínimo de chegada do óleo em superfície no Período 2.

As trajetórias dos derivadores FHD para os dois períodos indicam a confiabilidade das simulações de dispersão do óleo. Todos os derivadores, em geral, tendem a seguir as áreas de maior probabilidade de presença de óleo. Nove dos dez derivadores lançados na campanha de inverno chegaram à costa em áreas com mais de 90% de probabilidade de presença de óleo no Período 2. Os 10 derivadores lançados na campanha de verão atingiram a costa em áreas com probabilidade de presença superior a 90% no Período 1.

É possível ressaltar que na campanha de verão os derivadores 09 e 10 se moveram por áreas com menores probabilidades de presença de óleo em caminhos muito semelhantes aos padrões observados na probabilidade de presença de óleo.

Com relação ao tempo de chegada, na campanha de inverno, os derivadores chegaram à costa entre 12,5 e 20 dias em locais com tempo de chegada mínimo calculado pelo modelo entre 1 e 20 dias. Na campanha de verão, os derivadores chegaram à costa entre 9 e 51 dias, em locais com tempos mínimos de chegada calculados pelo modelo entre 1 e 10 dias.

Focando nos três derivadores lançados próximos ao ponto de vazamento da modelagem no período de inverno (Figura 87 - pequeno frame), que são os mais comparáveis, percebe-se que as trajetórias dos derivadores demoraram mais para chegar nos mesmos locais que o resultado probabilístico mostrou, mesmo afastado da costa. Nos casos específicos dos derivadores 06 e 08, que chegaram à costa de Coruripe e Piaçabuçu, respectivamente, a diferença entre modelagem e os derivadores é maior que 10 dias. Esse resultado comparativo é esperado, uma vez que a modelagem representa o tempo mínimo de chegada em centenas de situações de correntes e ventos, enquanto o derivador é apenas um caso específico, sendo coberto pelo resultado probabilístico.

Observando os três pontos de lançamento mais próximos no período de verão (Figura 86 - pequeno quadro), os tempos de chegada na costa são mais próximos do que a campanha de inverno. Por exemplo, na cidade de Jandaíra, estado da Bahia, o derivador 06 chegou entre 5 e 10 dias, enquanto a modelagem mostrou o tempo mínimo de 3,6 dias.

Estes resultados comparativos demonstram a capacidade da modelagem de dispersão de óleo elaborada para do Bloco SEAL-M-351 de representar as condições meteoceanográficas da Bacia Sergipe-Alagoas e de dar suporte em caso de vazamentos de óleo.

3.2.2 Resultados Determinísticos

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas da escala regional, foram identificadas as condições críticas para ocorrência de um vazamento de pior caso a partir do ponto de risco na Bacia Sergipe – Alagoas.

A situação de menor tempo de chegada de óleo na costa ocorreu no Período 2, enquanto a situação de maior massa acumulada na costa ocorreu no Período 1. Na Tabela 13 é apresentada a informação dessas condições críticas selecionadas.

Tabela 13: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para um evento de derramamento de grande volume (238.480,9 m³).

Cenário	Data da simulação (GMT)	Tempo de toque na costa (dias)	Primeira localidade de toque	Massa final de óleo na costa (t)
Tempo mínimo de toque de óleo na costa	16/08/2014 às 22h	2,4	Piaçabuçu – AL	12,8
Maior massa de óleo acumulada na costa	25/02/2015 às 12h	3,7	Estância - SE	17,4

3.2.2.1 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 16/08/2014 às 22h até 15/10/2014 às 22h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

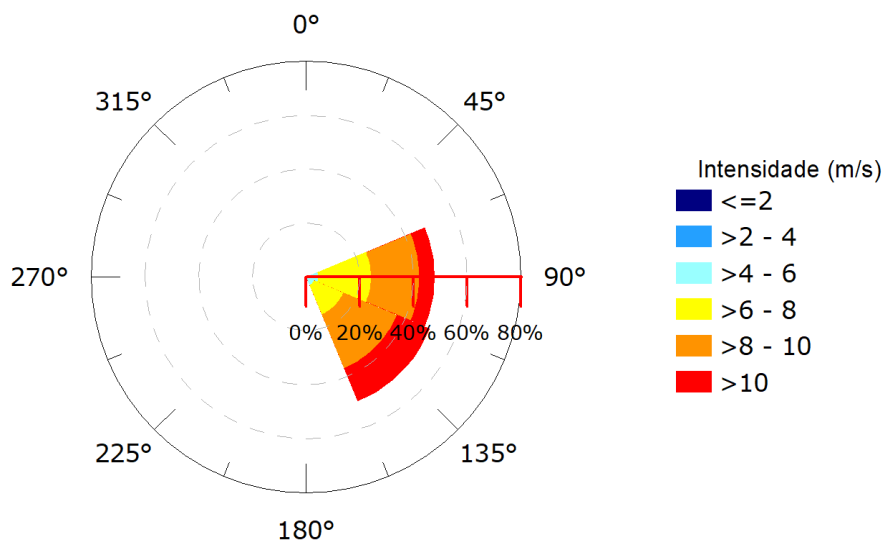


Figura 88: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque de óleo na costa.

Tabela 14: 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 ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
0-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-6	-	-	11	8	-	-	-	-	7,9
6-8	-	1	47	28	-	-	-	-	31,7
8-10	-	-	43	52	3	-	-	-	40,8
>10	-	-	14	32	1	-	-	-	19,6
Freq. (%)	-	0,4	47,9	50,0	1,7	-	-	-	

Tabela 15: 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)
116	141	8,48	4,38	12,86	1,67

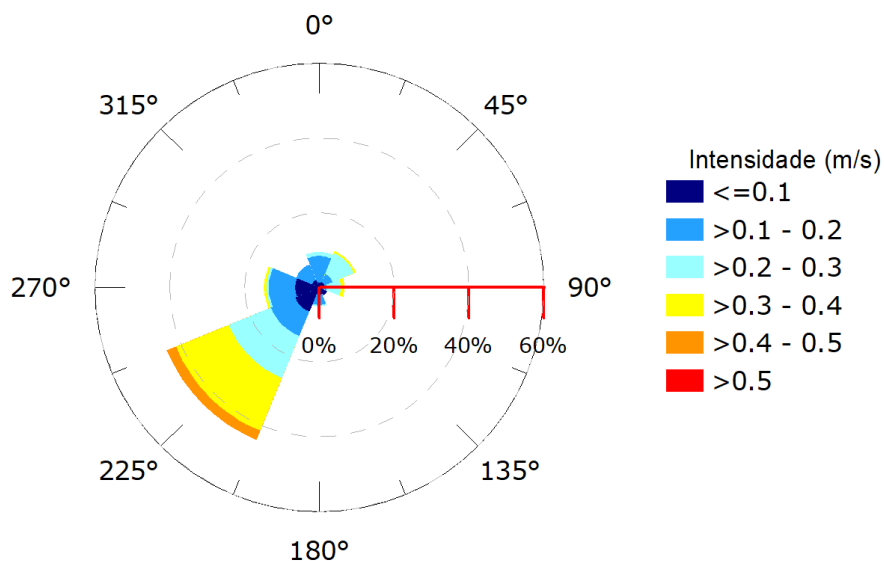


Figura 89: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.

Tabela 16: 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	9	11	-	17	14	50	46	15	22,6
0,1 - 0,2	51	17	15	-	20	51	51	33	33,1
0,2 - 0,3	8	44	27	-	3	87	4	-	24,1
0,3 - 0,4	-	4	7	-	-	110	5	-	17,5
0,4 - 0,5	-	-	-	-	-	19	-	-	2,6
>0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq. (%)	9,5	10,6	6,8	2,4	5,2	44,2	14,8	6,7	

Tabela 17: 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)
244	231	0,20	0,004	0,42	0,11

Pelos dados de vento (Figura 88, Tabela 14 e Tabela 15) no período da simulação, ocorre a predominância de ventos de sudeste (50%), seguidos pelos ventos de leste (48%) e predominância de ventos com intensidades entre 8 e 10 m/s (40,8%). As informações de correntes mostram que a direção preferencial é para sudoeste (44,2%), seguidas de correntes

para oeste (14,8%), e a maior porcentagem das correntes apresentam intensidades baixas, entre 0,1 e 0,2 m/s (33,1%) (Figura 89, Tabela 16 e Tabela 17).

A seguir, da Figura 90 à Figura 97, é apresentada a deriva do óleo em superfície, além da área varrida pela mancha (em amarelo claro nas figuras) durante toda a simulação.

Também é apresentado o mapa de concentração de óleo nos sedimentos ao final da simulação (Figura 98). Os mapas de concentração de óleo no fundo foram construídos considerando um valor limiar de 1g de óleo/m².

² Valor baseado em Long et al. (1995) considerando uma espessura de contaminação de 10 cm, densidade de sedimentos de 2,6 g/cm³.

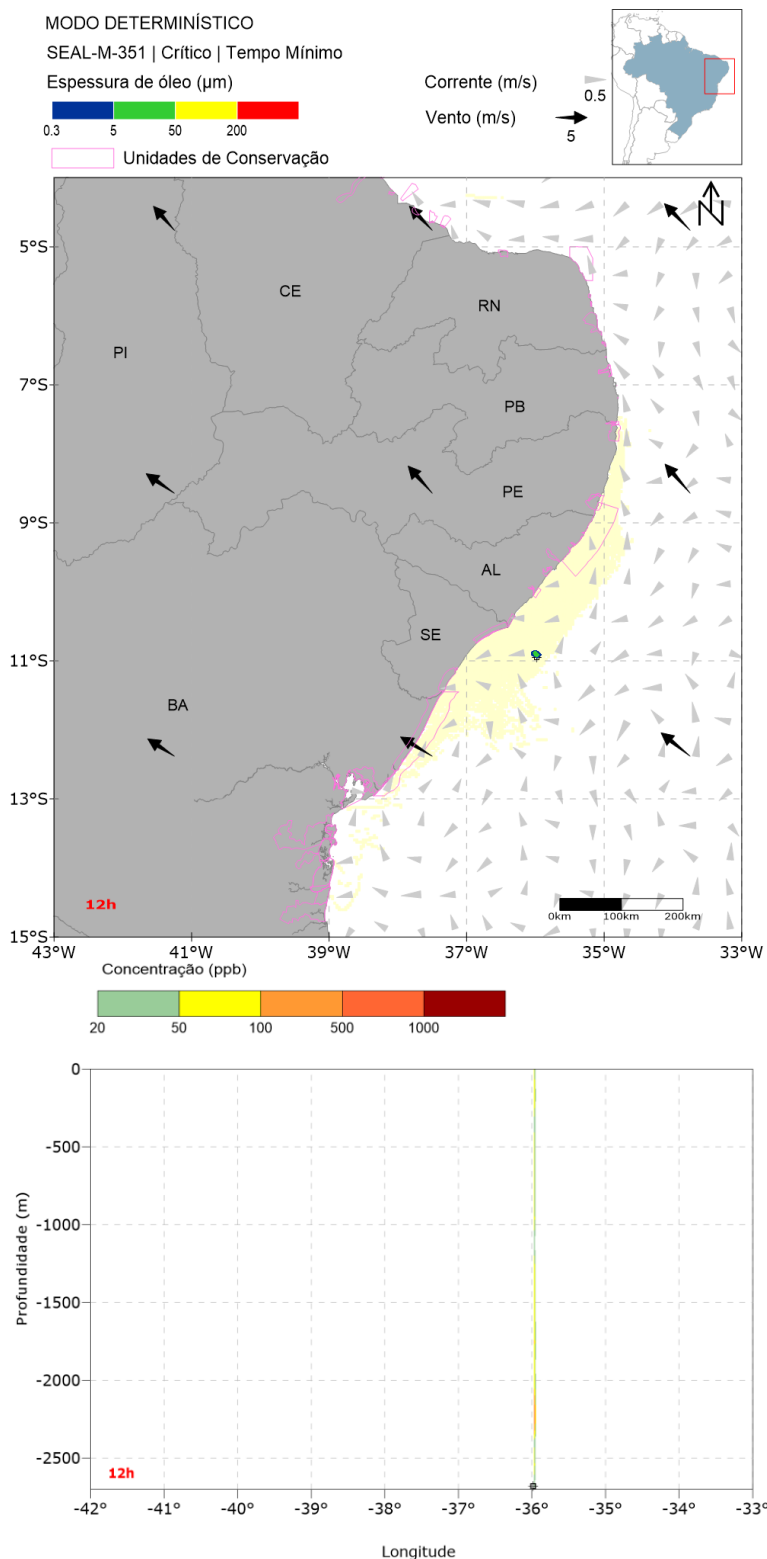


Figura 90: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

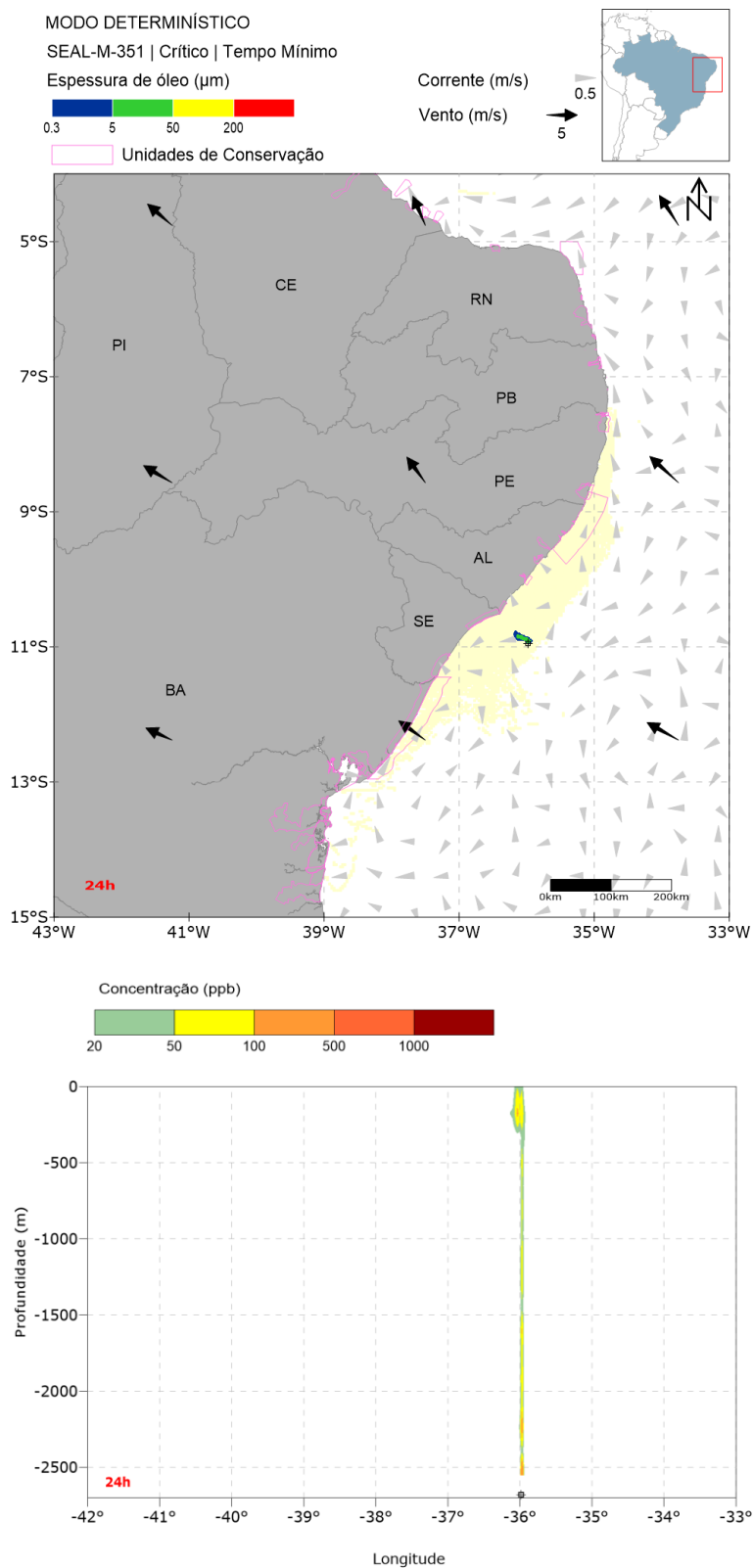


Figura 91: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 24 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

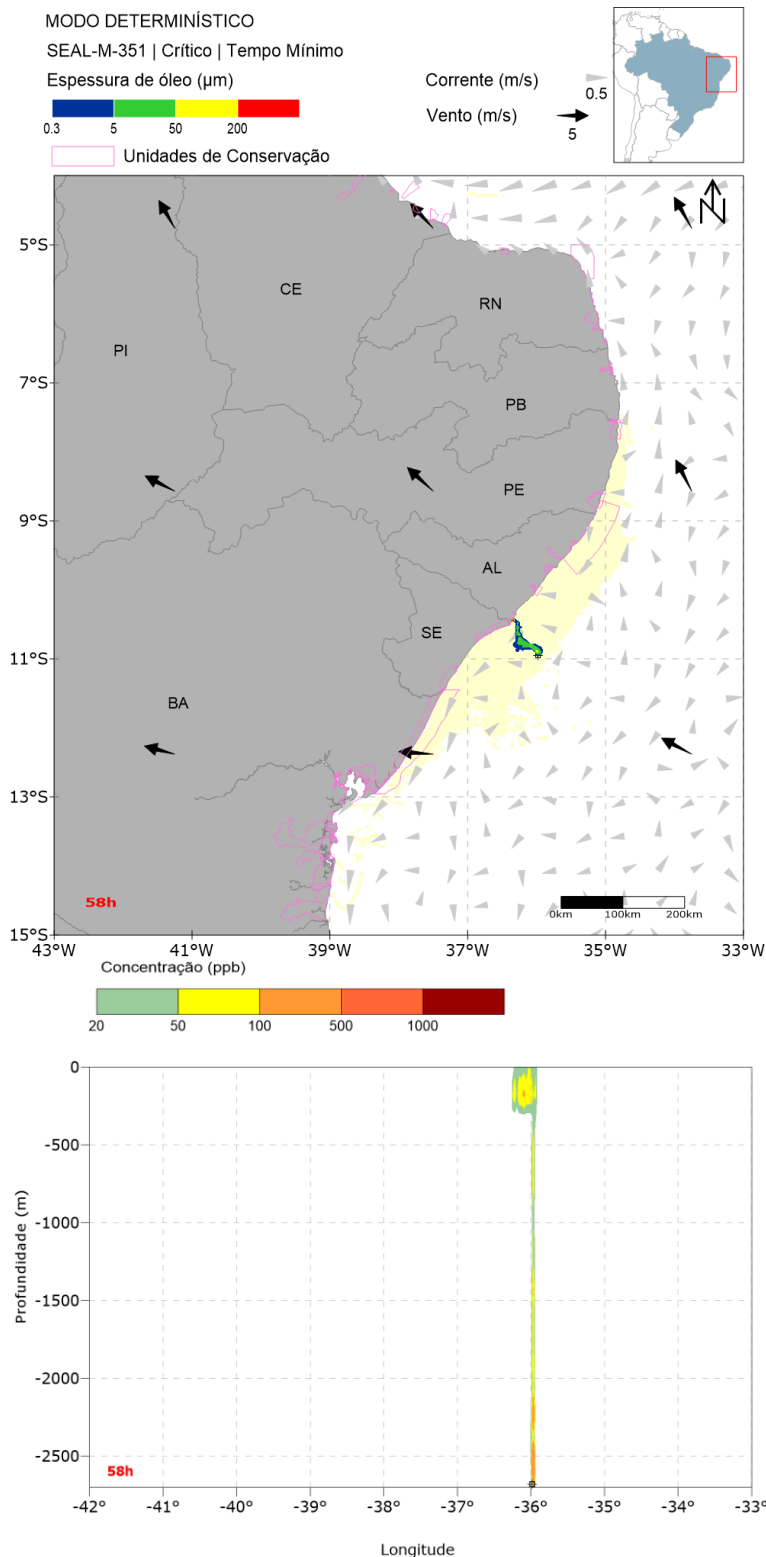


Figura 92: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 58 horas (primeiro toque) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

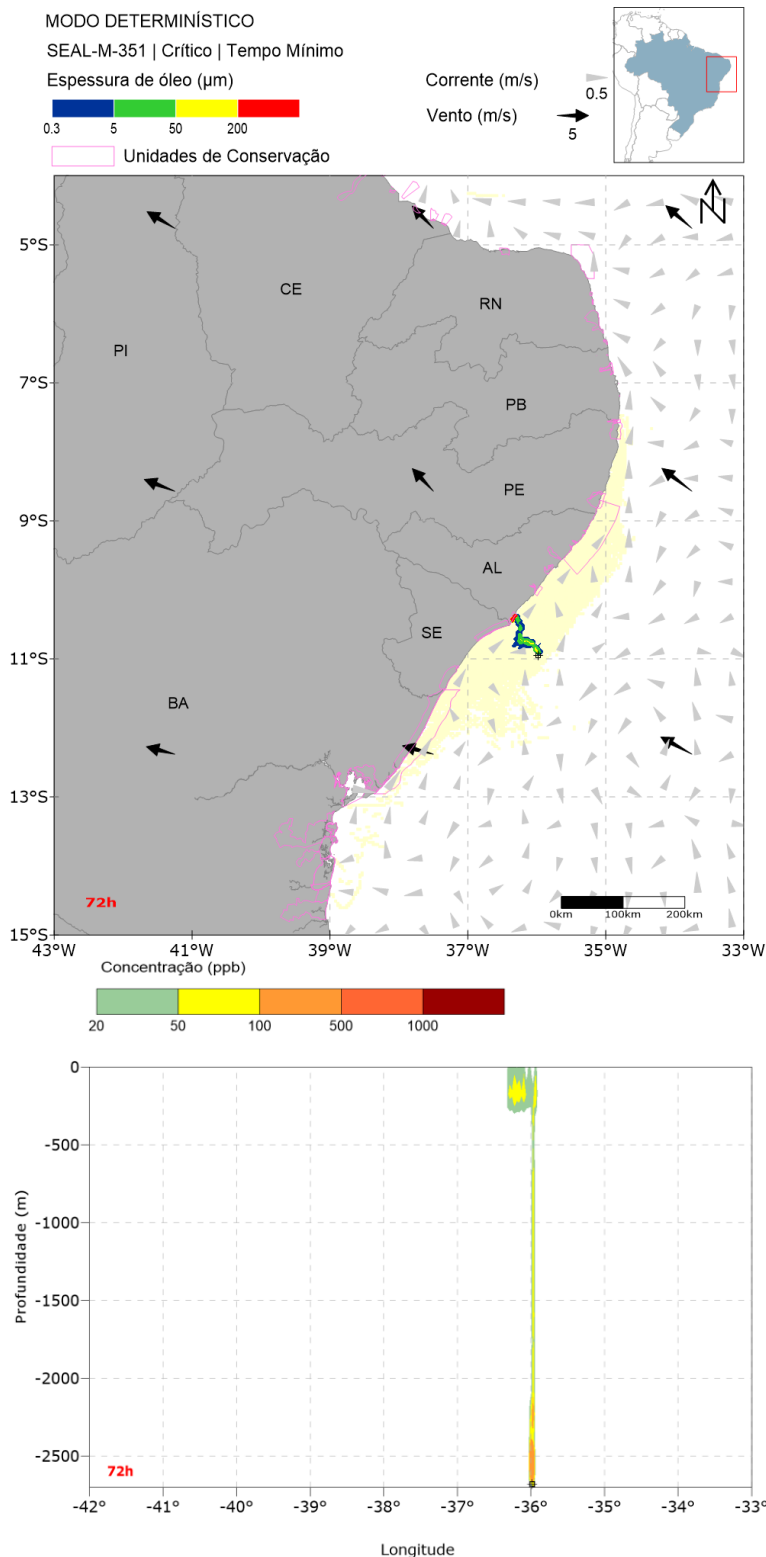


Figura 93: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 72 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

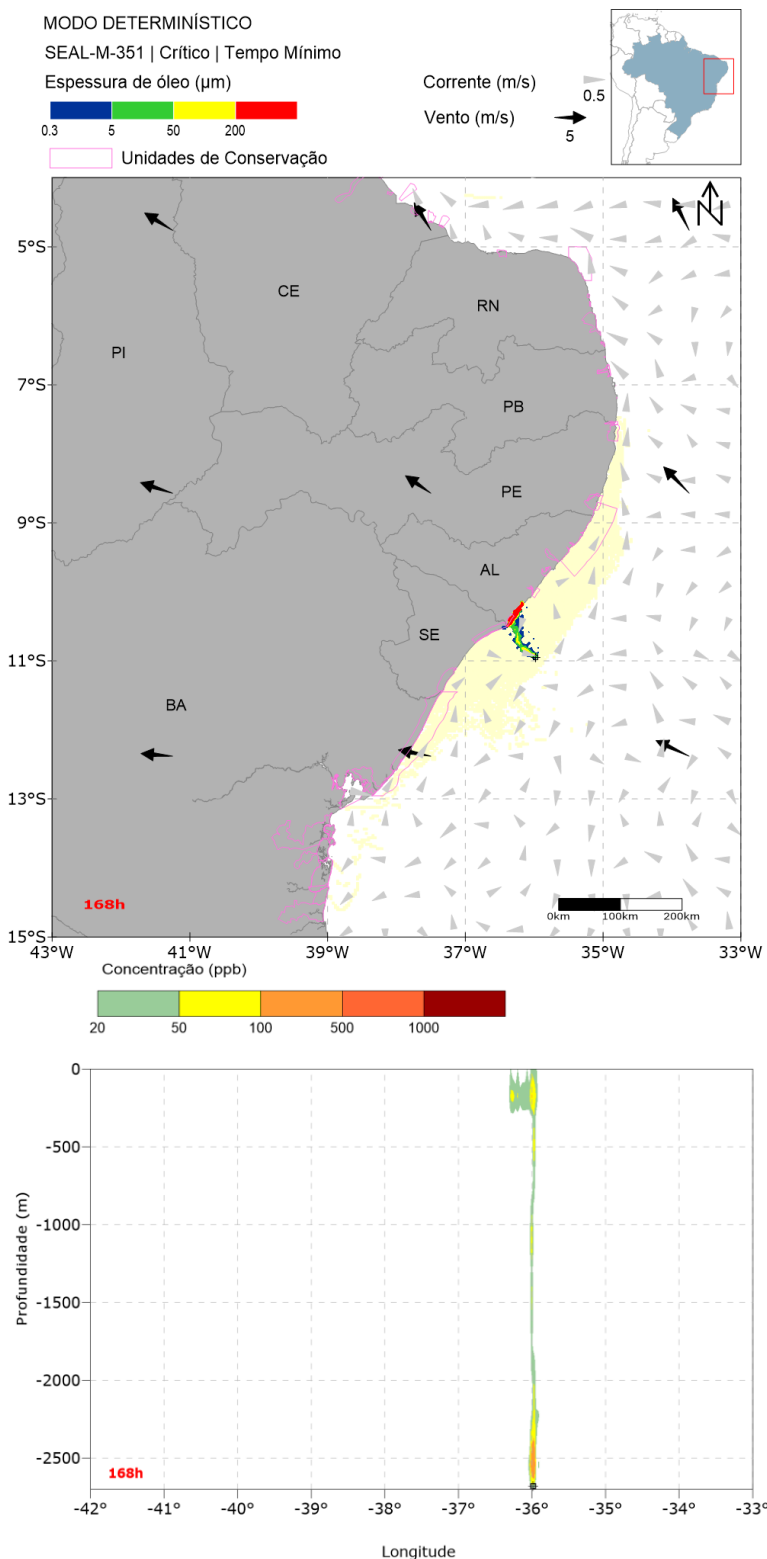


Figura 94: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

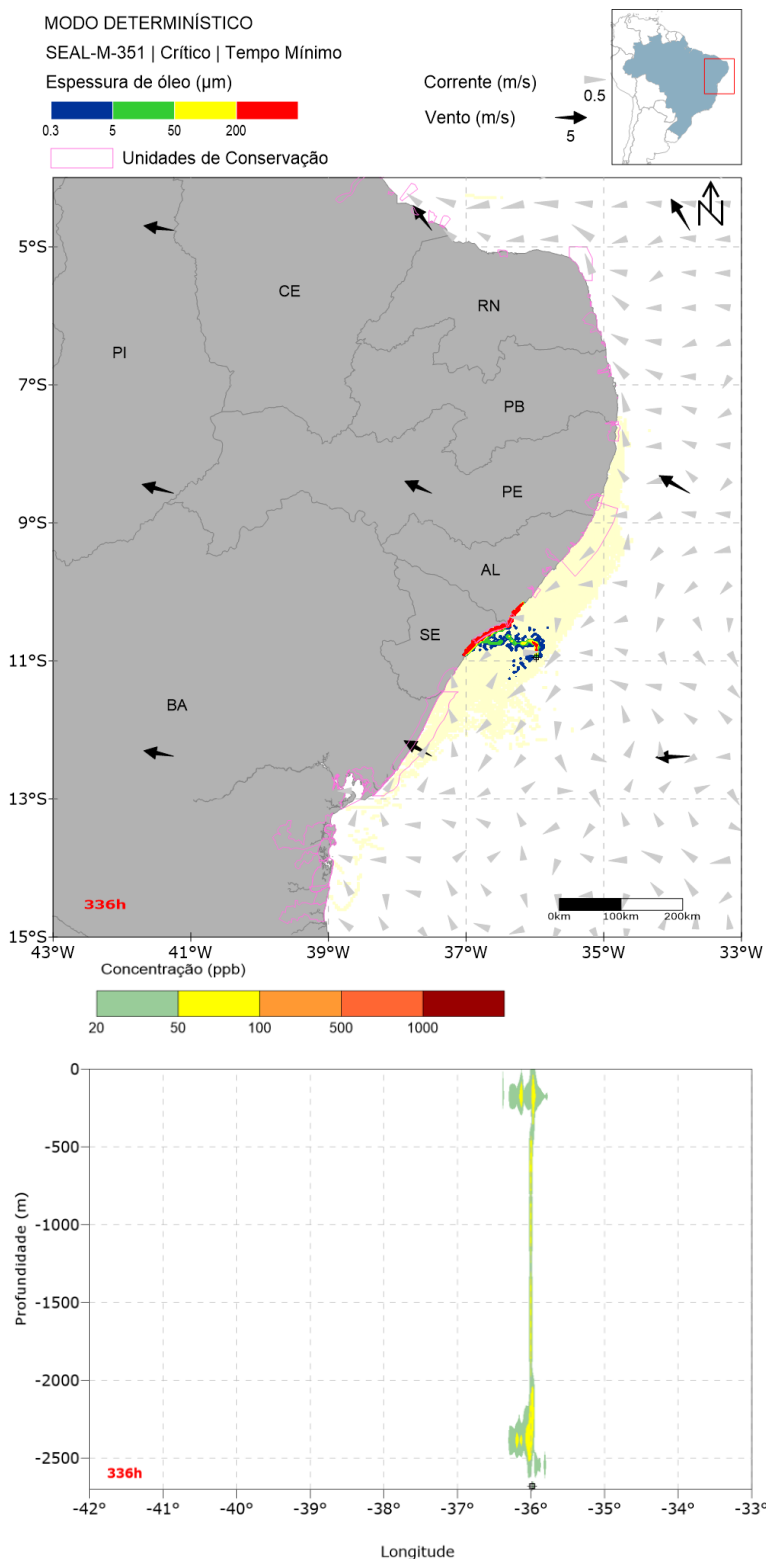


Figura 95: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

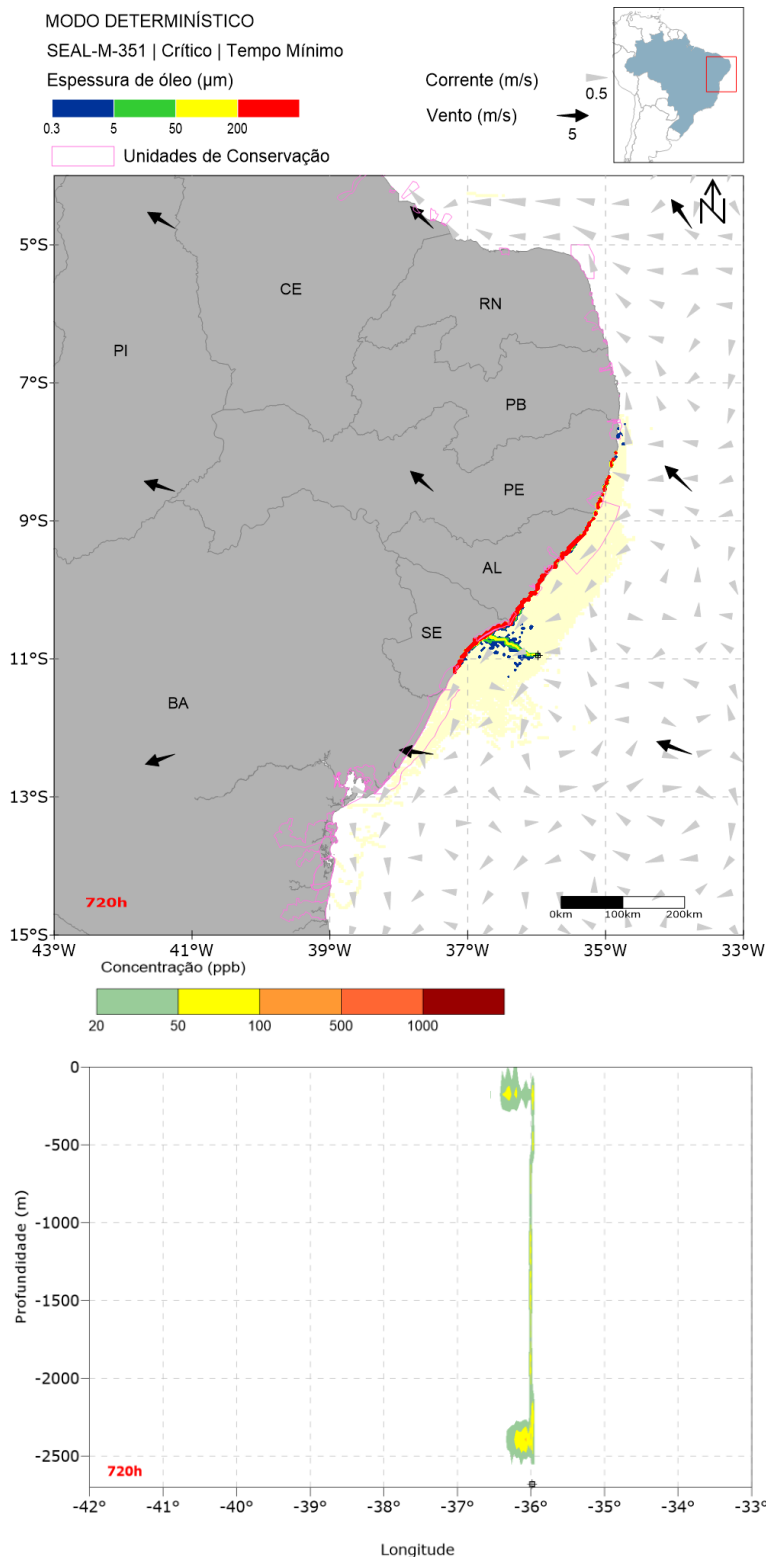


Figura 96: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

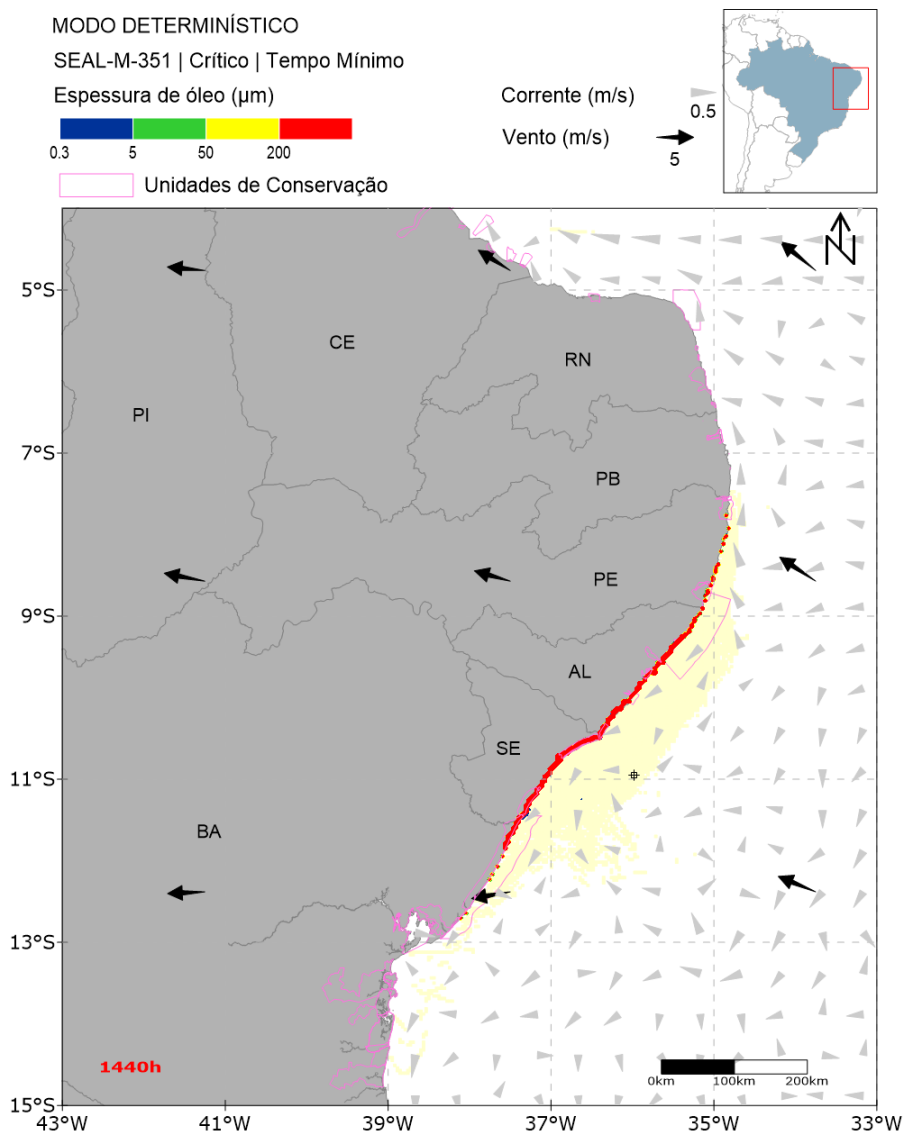




Figura 97: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

MODO DETERMINÍSTICO
SEAL-M-351 | Crítico | Tempo mínimo
Concentração de óleo no sedimento (g/m²)



1 10 20 30 40 50 200

 Óleo na costa

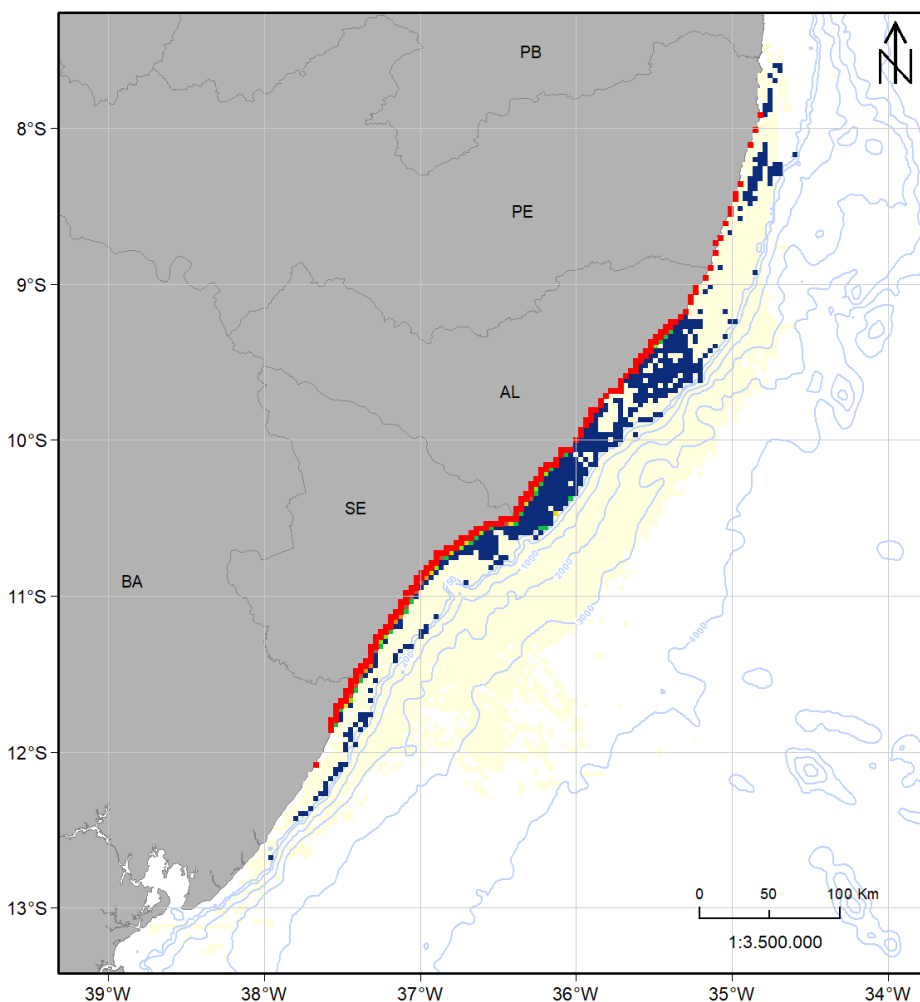


Figura 98: Mapa de concentração de óleo no sedimento do fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada à costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

Nesta simulação, o óleo deriva para noroeste e chega ao litoral em 58 horas (2,4 dias) próximo a divisa entre os estados de Sergipe e Alagoas, na cidade de Piaçabuçu-AL. Em duas semanas, a deriva muda para sudoeste e retorna ao noroeste em três semanas. No final da simulação, não há óleo na superfície com espessura superior a 0,3 µm e o óleo na costa é observado da Bahia até Pernambuco.

Na coluna d'água, as concentrações máximas estão entre 100-500 ppb em torno de 2.000 metros de profundidade, entre o início e 1 semana. No final da simulação, não há mais

concentração superior a 20 ppb na coluna de água. No fundo marinho, o óleo foi observado na plataforma continental em frente a Alagoas, Sergipe e norte da Bahia, e a concentração máxima foi de 127 g/m².

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo (Figura 99 e Tabela 18) e a evolução da área em superfície impactada pelo óleo e da massa de óleo (Figura 100 e Tabela 19) durante a simulação.

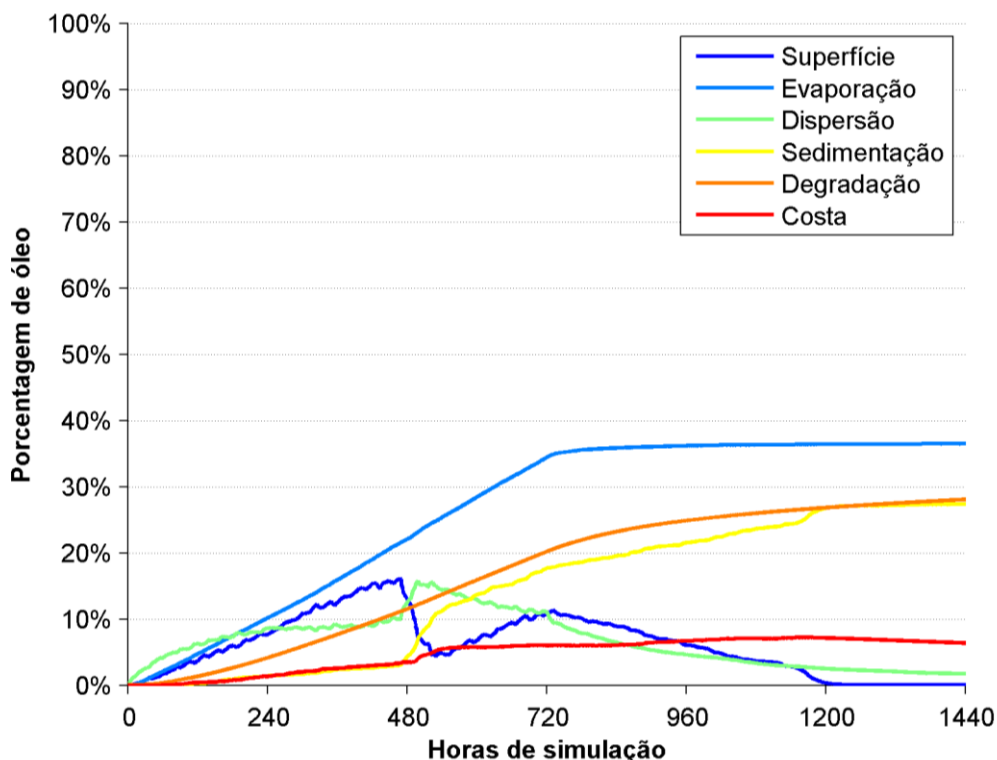


Figura 99: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada de óleo na costa. Vazamento de 238.480,9 m³.

Tabela 18: 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 (%)
12	0,23 (457 t)	0,13 (256 t)	1,29 (2588 t)	-	0,02 (36 t)	-
24	0,54 (1086 t)	0,54 (1076 t)	2,18 (4371 t)	-	0,07 (140 t)	-
58	1,59 (3185 t)	1,99 (3979 t)	4,11 (8218 t)	<0,01 (3 t)	0,37 (736 t)	<0,01 (5 t)
72	2,11 (4223 t)	2,59 (5181 t)	4,70 (9418 t)	0,02 (48 t)	0,54 (1090 t)	0,03 (58 t)
168	5,38 (10770 t)	6,90 (13810 t)	7,27 (14560 t)	0,82 (1647 t)	2,35 (4702 t)	0,61 (1226 t)
336	11,76 (23540 t)	14,66 (29350 t)	8,81 (17630 t)	2,08 (4170 t)	6,92 (13850 t)	2,44 (4880 t)
720	10,74 (21490 t)	34,39 (68840 t)	11,06 (22140 t)	17,62 (35280 t)	20,17 (40380 t)	6,02 (12050 t)
1440	0,01 (14 t)	36,46 (72990 t)	1,73 (3466 t)	27,36 (54760 t)	28,06 (56180 t)	6,38 (12770 t)

O processo de intemperismo mais importante ao longo da simulação para a retirada de óleo da superfície foi a evaporação, contribuindo com 36,5%. Em seguida foi processo de sedimentação, com 27,4%, e degradação, que foi de 28% do total do óleo vazado. O remanescente na superfície ao final da simulação foi 0,01% do total de óleo vazado e o óleo na coluna d'água foi de 1,8%. O óleo acumulado na costa foi de 6,4%, o equivalente a 12.770 toneladas.

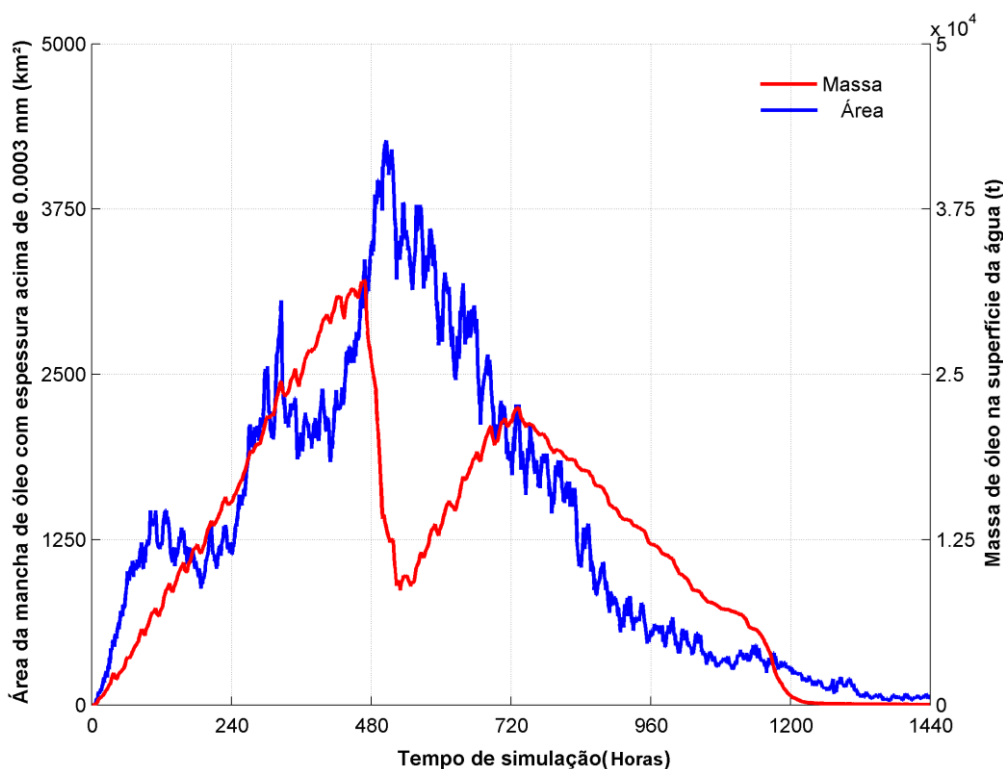


Figura 100: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tabela 19: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (h)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	98,1	457,4	40,2
24	233	1086	49,6
58	833	3185	651,7
72	968	4223	4.478,7
168	1190	10770	14.076
336	2180	23540	14.123
720	1890	21490	14.088
1440	61,3	14,2	14.100

A Figura 100 mostra um crescimento da área e da massa de óleo em superfície ao longo dos primeiros 20-22 dias de simulação. Após esse tempo, tanto a massa quanto a área de óleo em superfície decaem. Neste instante, é possível perceber pelo gráfico dos processos de intemperismo ao longo da simulação (Figura 99) que, além do acúmulo na costa, há um aumento da sedimentação e dispersão em torno de 20 dias, fator responsável pela queda da área e da massa de óleo em superfície a partir deste instante. Após 20 dias, como o vazamento de óleo continua, é observado novamente um aumento da massa de óleo em superfície. Após o término do vazamento (30 dias) a massa em superfície volta a diminuir. Ao fim da simulação, a área com óleo em superfície em espessuras acima do limiar ($0,3 \mu\text{m}$) se limita a 61 km^2 e a massa total chega a 14 toneladas ao fim da simulação (60 dias).

Em relação à espessura de óleo, nota-se que há um aumento a partir do primeiro toque de óleo na costa, em 58 horas. O maior valor de espessura, $14.123 \mu\text{m}$, é observado após 2 semanas do início do vazamento (336 horas).

3.2.2.2 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 25/02/2015 às 12h até 25/04/2015 às 12h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

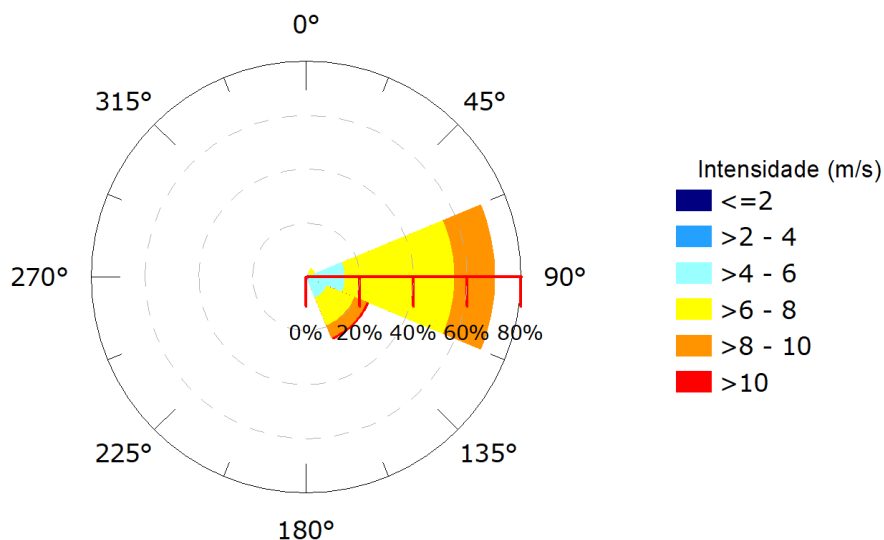


Figura 101: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 20: 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	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-4	-	1	3	3	-	-	-	-	2,9
4-6	-	3	32	17	1	-	-	-	22,0
6-8	-	5	98	27	-	-	-	-	53,9
8-10	-	-	37	12	-	-	-	-	20,3
>10	-	-	-	2	-	-	-	-	0,8
Freq. (%)	-	3,7	70,5	25,3	0,4	-	-	-	

Tabela 21: 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)
101	118	6,87	3,48	10,63	1,36

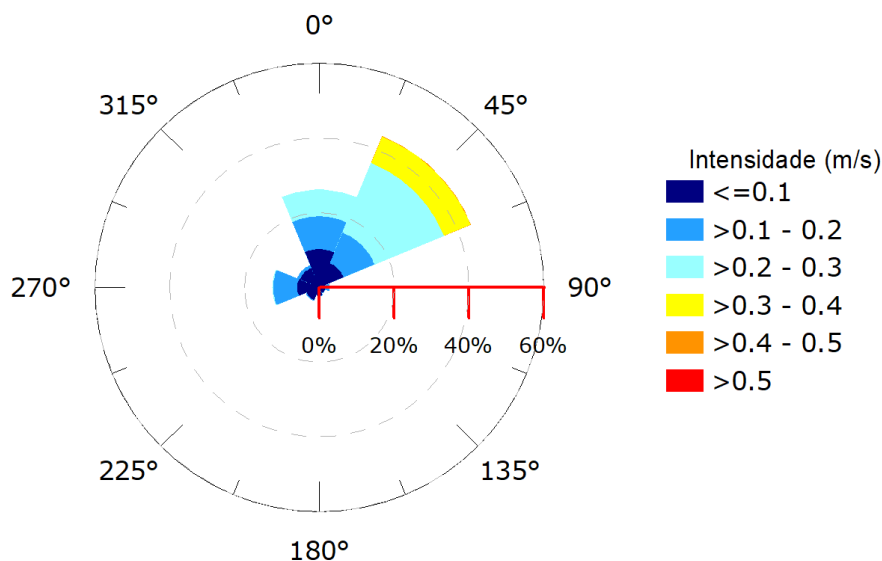


Figura 102: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 22: 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	73	51	11	12	16	26	42	40	37,8
0,1 - 0,2	63	64	9	1	1	2	46	6	26,8
0,2 - 0,3	52	144	-	-	-	-	2	-	27,6
0,3 - 0,4	-	55	-	-	-	-	-	-	7,7
0,4 - 0,5	-	1	-	-	-	-	-	-	0,1
>0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq. (%)	26,2	43,9	2,8	1,8	2,4	3,9	12,6	6,4	

Tabela 23: Estatística de corrente 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)
25	52	0,16	0,006	0,40	0,09

Pelos dados de vento (Figura 101, Tabela 20 e Tabela 21) no período da simulação ocorre a predominância de ventos de leste (70,5%), seguidos pelos ventos de sudeste (25,3%). As intensidades predominantes são entre 6 e 8 m/s (53,9%), e é possível observar ventos com

intensidades entre 8 e 10 m/s (27,4%) e até uma pequena porcentagem (2,1%) de ventos com intensidade acima de 10 m/s. As informações de correntes no ponto de vazamento mostram que a direção preferencial é para nordeste (43,9%) e as velocidades predominantes são menores que 0,1 (37,8%) (Figura 102, Tabela 22 e Tabela 23).

A seguir, da Figura 103 à Figura 109, é apresentada a deriva do óleo em superfície, além da área varrida (em amarelo claro nas figuras) pela mancha durante toda a simulação. É também apresentado o mapa de concentração de óleo nos sedimentos ao final da simulação (Figura 110). Os mapas de concentração de óleo no fundo foram construídos considerando um valor limiar de 1g de óleo/m².

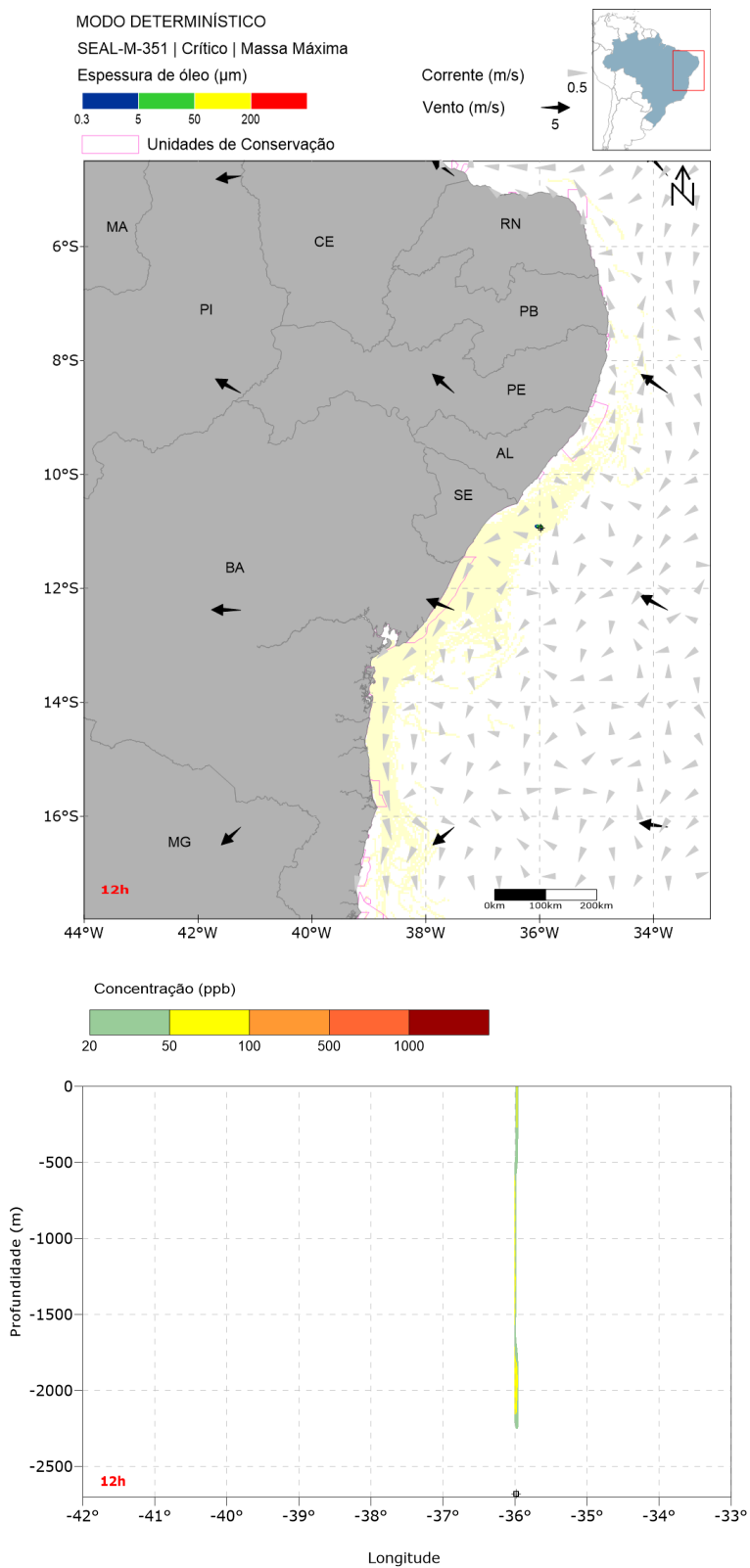


Figura 103: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

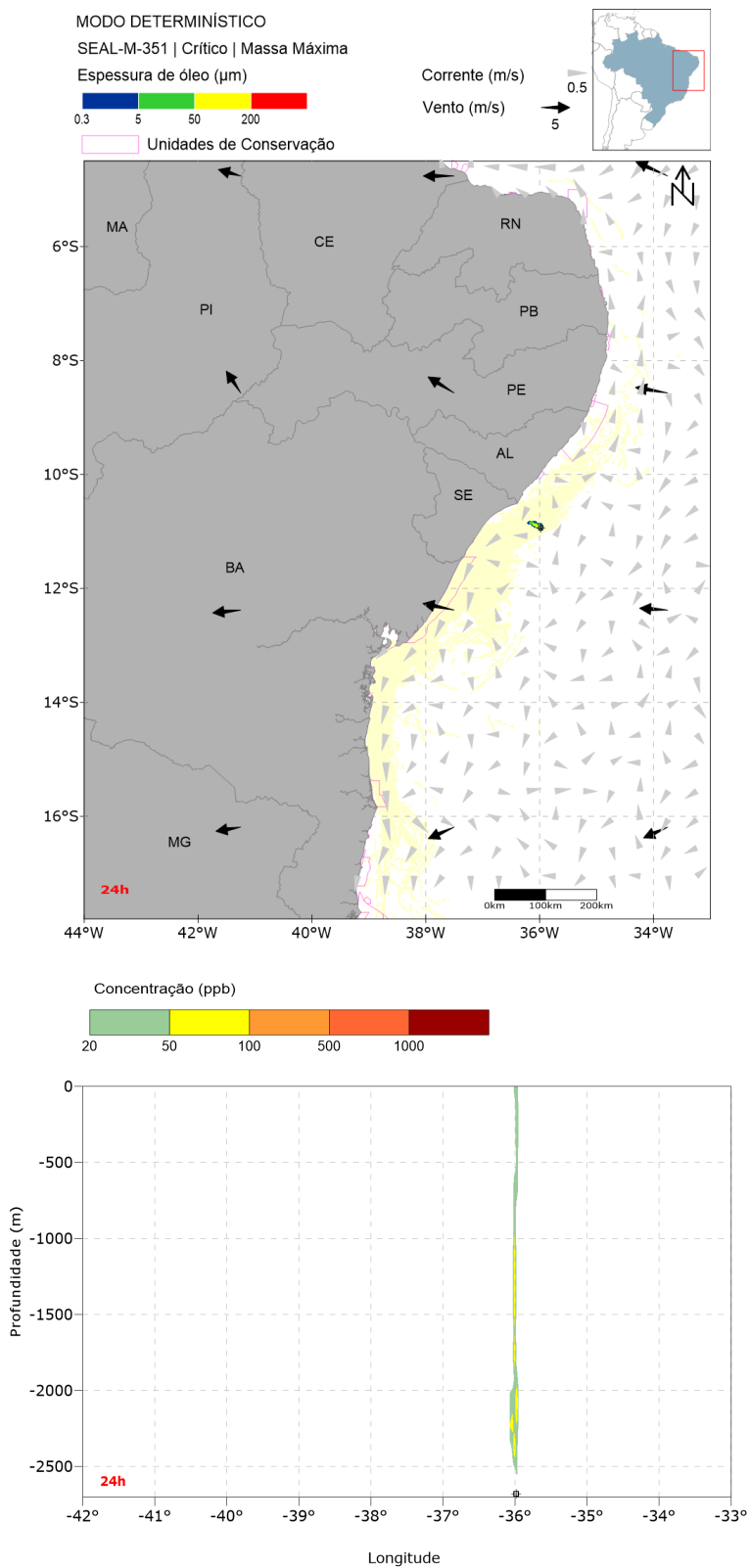


Figura 104: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 24 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

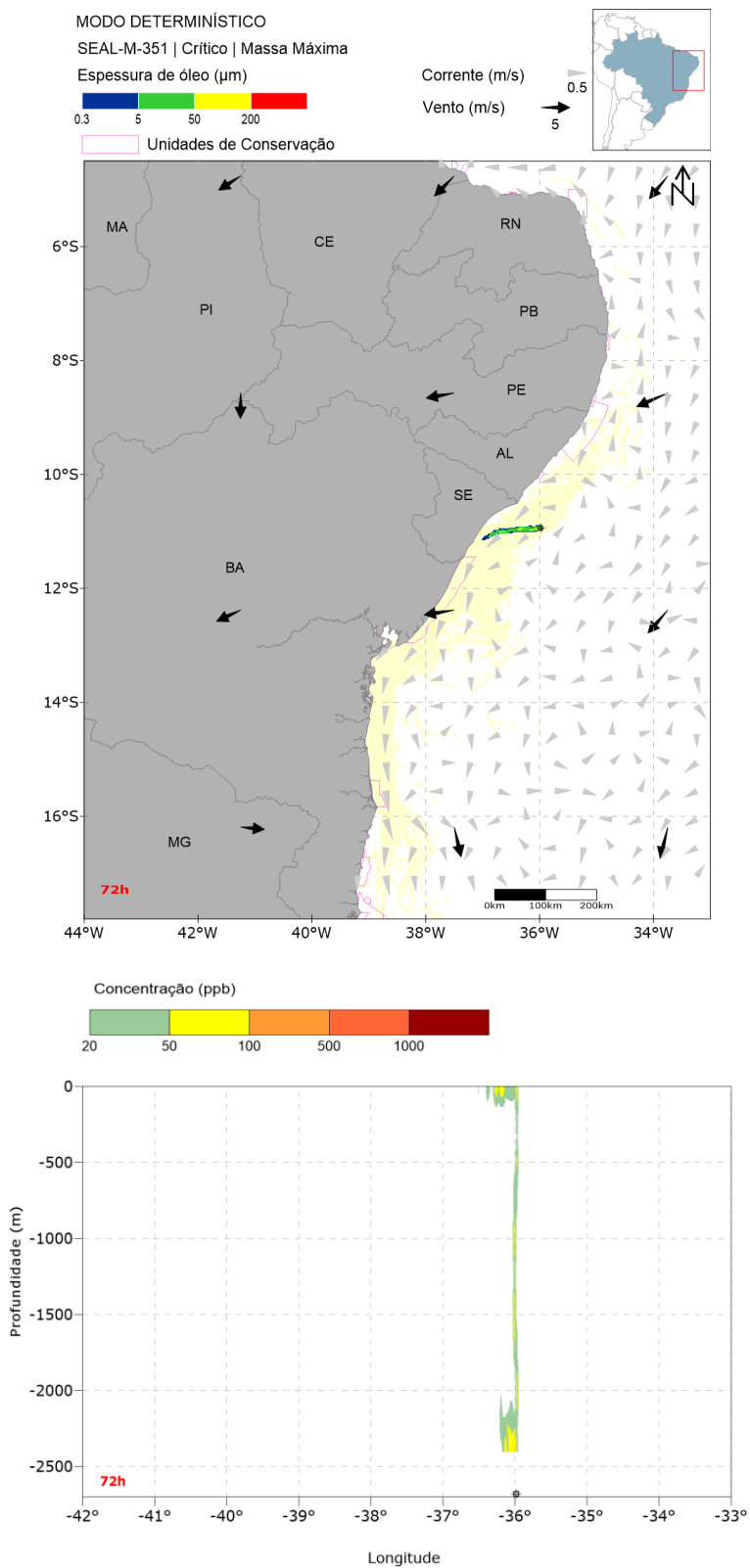


Figura 105: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 72 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

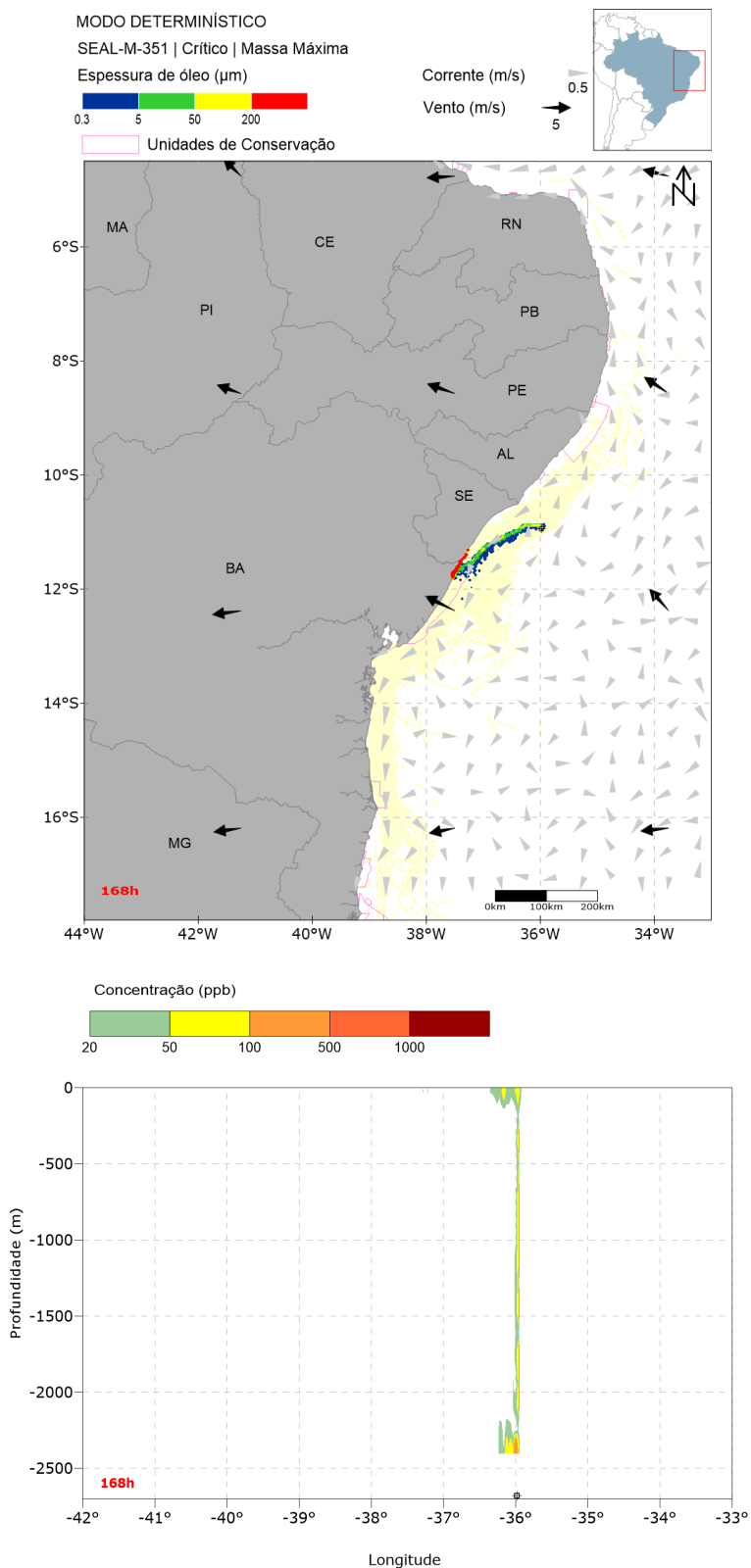


Figura 106: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

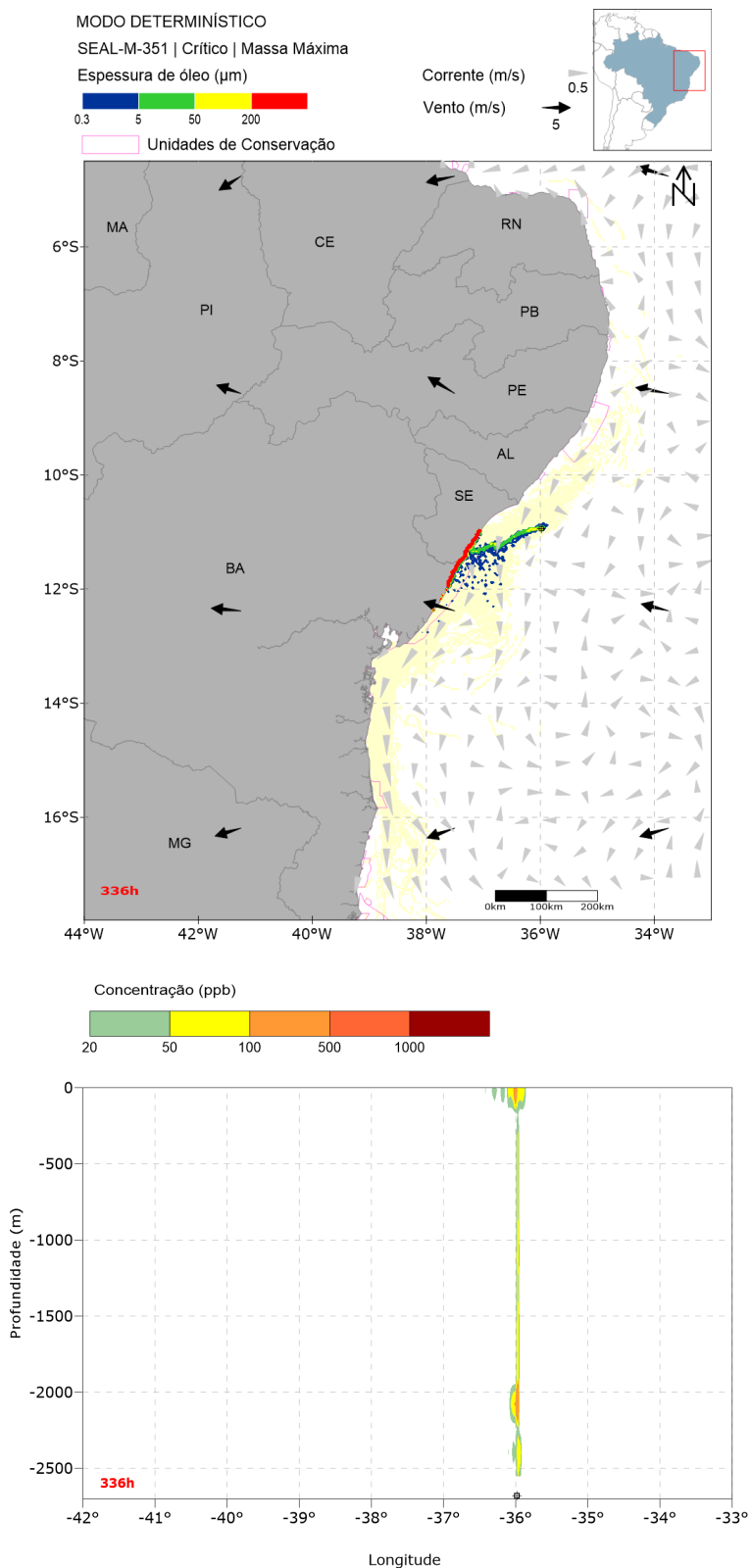


Figura 107: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

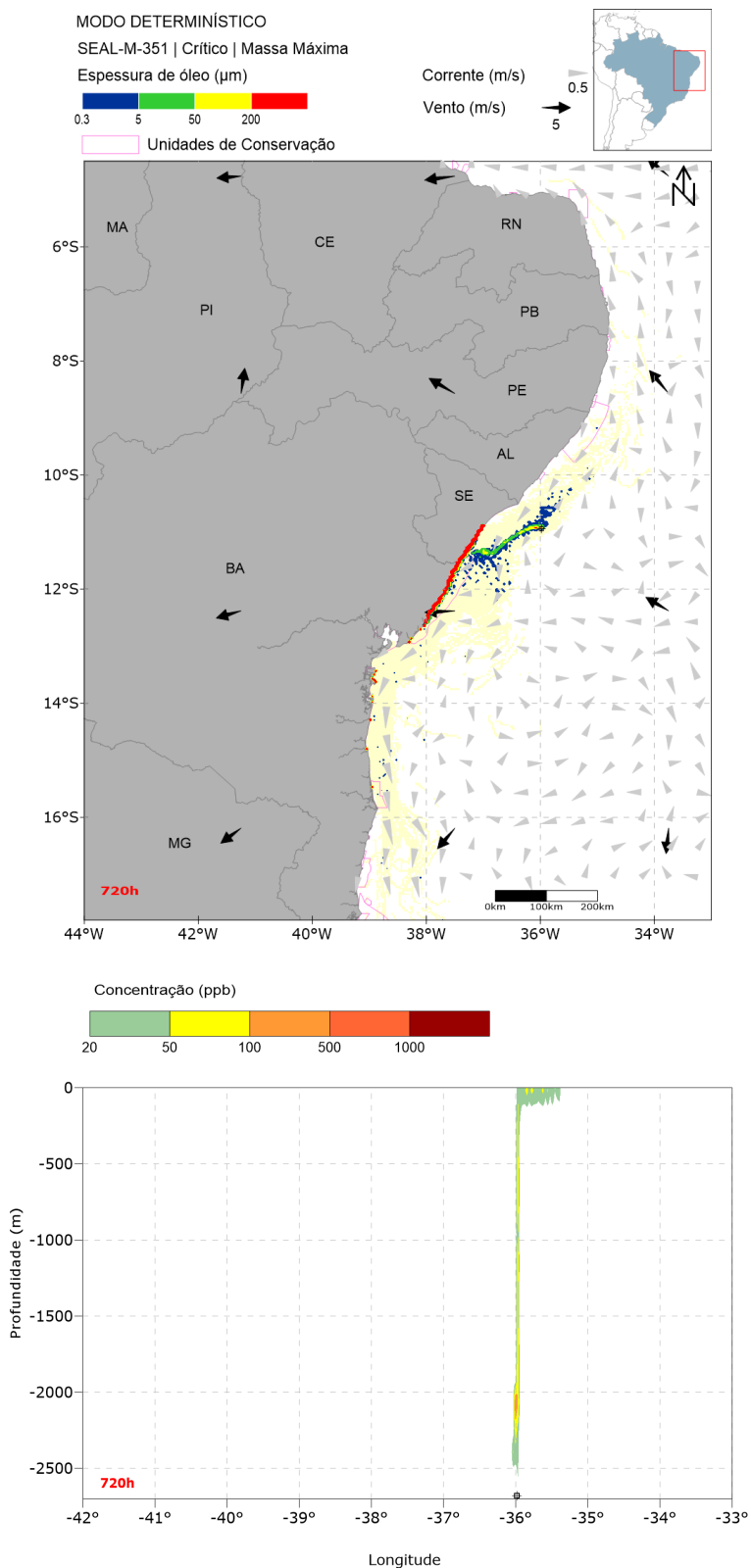


Figura 108: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

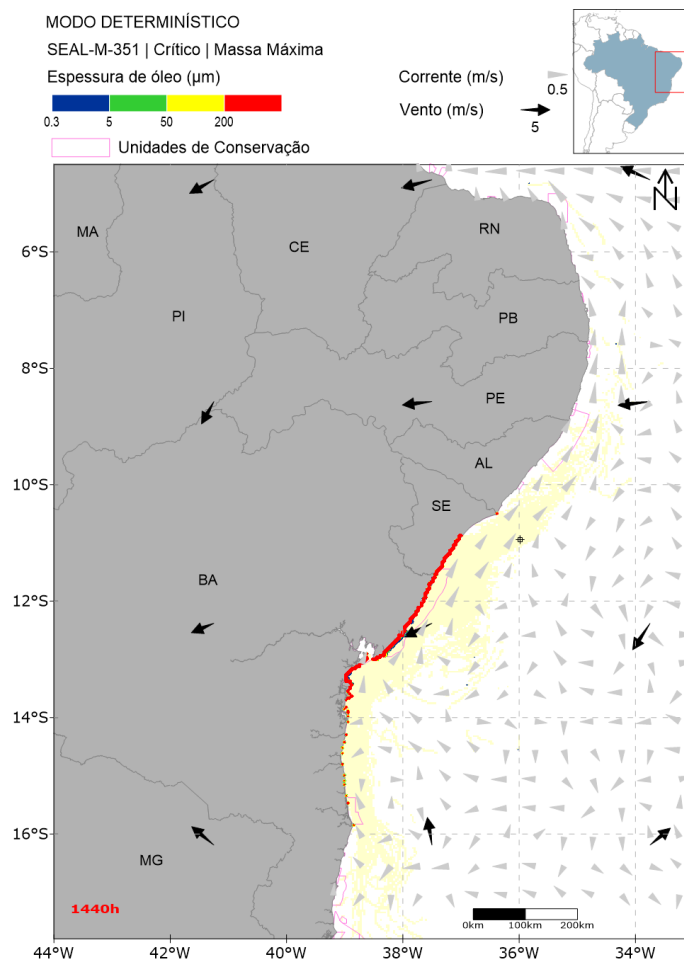


Figura 109: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

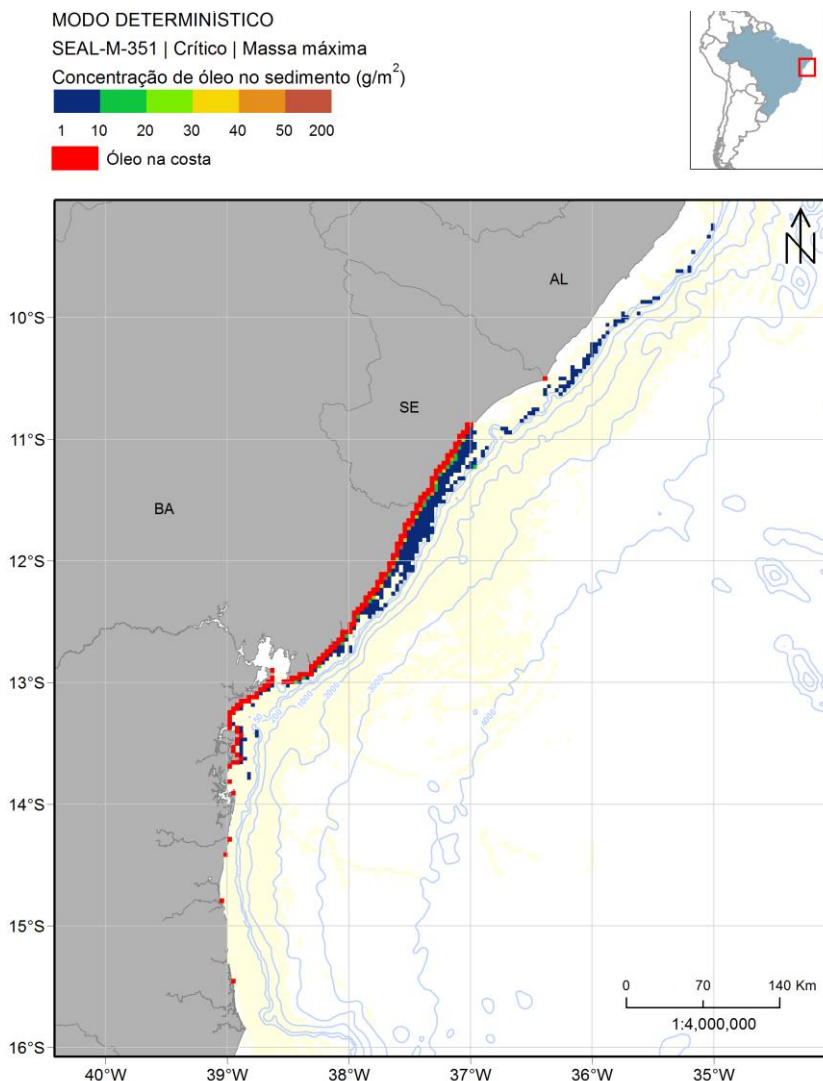


Figura 110: Mapa de concentração de óleo no sedimento do fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 238.480,9 m³. A área em amarelo representa a área varrida pelo óleo em superfície ao longo de toda a simulação.

Nesta simulação, o óleo se desloca principalmente para o oeste nos primeiros 3 dias e depois começa a se mover para sudoeste. Antes de 1 semana (168 horas), o óleo chega na costa ao sul de Sergipe e ao norte da Bahia. Depois disso, o óleo ainda está se movendo para sudoeste, com ventos forçando-o para as outras partes da costa da Bahia, mas também há algumas partes da mancha de óleo indo para o norte e alcançando a costa de Alagoas.

Na coluna d'água, as concentrações máximas estão entre 100-500 ppb em torno de 2.000 metros de profundidade, entre 1 semana e 30 dias, e próximo à superfície, em duas semanas. No final da simulação, não há mais concentração superior a 20 ppb na coluna de água. Nos sedimentos, o óleo foi observado na plataforma continental em frente a Alagoas, Sergipe e norte da Bahia, e a concentração máxima foi de 136 g/m².

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo (Figura 111 e Tabela 24) e a evolução da área atingida por óleo em superfície e a massa de óleo (Figura 112 e Tabela 25) durante a simulação.

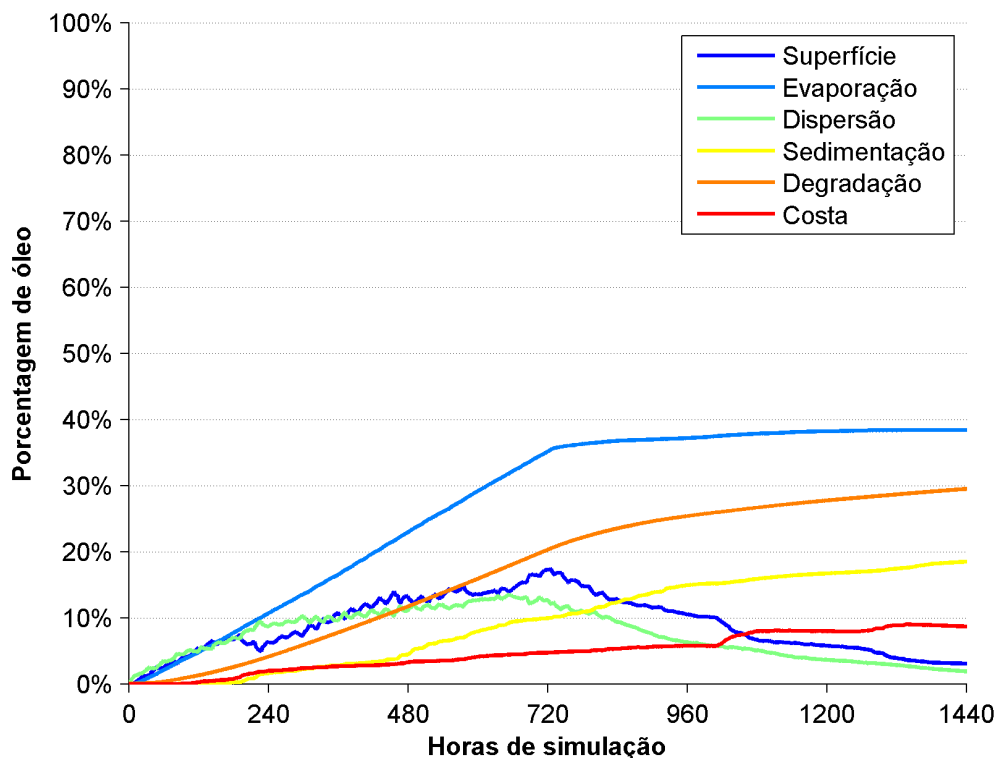


Figura 111: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Volume de 238.480,9 m³.

Tabela 24: 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 (%)
12	0,26 (527 t)	0,10 (196 t)	1,29 (2578 t)	-	0,02 (35 t)	-
24	1,09 (2187 t)	0,53 (1055 t)	1,65 (3297 t)	-	0,07 (135 t)	-
72	3,27 (6545 t)	2,64 (5288 t)	3,57 (7149 t)	-	0,52 (1037 t)	-
168	6,98 (13970 t)	7,10 (14220 t)	6,21 (12430 t)	0,12 (236 t)	2,28 (4567 t)	0,64 (1288 t)
336	9,92 (19850 t)	15,34 (30700 t)	9,35 (18720 t)	2,57 (5139 t)	6,99 (14000 t)	2,51 (5015 t)
720	17,31 (34660 t)	35,12 (70310 t)	12,64 (25300 t)	9,93 (19880 t)	20,28 (40590 t)	4,72 (9445 t)
1440	3,04 (6093 t)	38,41 (76880 t)	1,89 (3788 t)	18,50 (37030 t)	29,49 (59030 t)	8,67 (17360 t)

O processo de intemperismo mais importante ao longo da simulação para a retirada de óleo da superfície foi a evaporação, contribuindo com 38,4%. Em seguida foi processo de degradação, com 29,5%, e sedimentação, que foi de 18,5% do total do óleo vazado. O remanescente na

superfície ao final da simulação foi de 3% do total de óleo vazado) e o óleo na coluna d'água foi em torno de 2%. O óleo acumulado na costa foi de 8,7%, o equivalente a 17.360 toneladas.

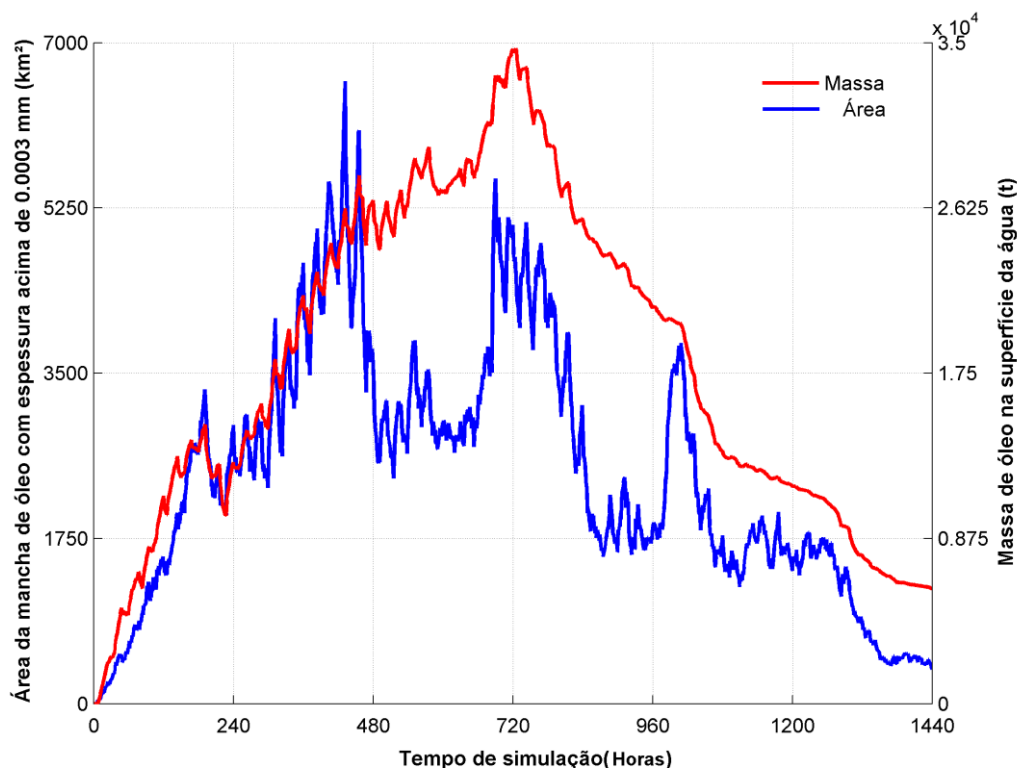


Figura 112: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tabela 25: 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	61	527	61
24	233	2187	94
72	809	6545	134
168	2760	13970	14123
336	3750	19850	14111
720	5070	34660	49431
1440	368	6093	49431

A Figura 112 mostra um crescimento da área e da massa de óleo em superfície ao longo dos primeiros dias de simulação. Por volta de 18 dias, a área de óleo em superfície decai em função do acúmulo de óleo na costa e demais processos intempéricos. Após 20 dias é observado

novamente um aumento devido a estabilização do acúmulo de óleo na costa e permanência do vazamento. Após o término do vazamento (30 dias) a massa e área em superfície voltam a diminuir.

Em relação à espessura máxima, há uma grande diferença nos valores observados antes e depois de 1 semana (168 horas). Essa diferença ocorre devido ao início do acúmulo de óleo na costa a partir desse instante. A espessura máxima é observada em 30 dias, com valor de 49.431 μm e permanece até o fim da simulação.

4. Conclusão

As simulações probabilísticas da modelagem de dispersão de óleo mostraram comportamentos distintos entre os períodos sazonais escolhidos. No Período 1, que compreende os meses de novembro a abril, a direção preferencial da deriva de óleo é para sudoeste, enquanto no Período 2, que compreende os meses de maio a outubro, a direção preferencial é para norte e posteriormente noroeste. Tal diferença pode ser explicada, principalmente, pela variação latitudinal da região de bifurcação da Corrente Sul Equatorial que, ao se posicionar mais a norte no Período 1, faz com que a região de vazamento fique sob influência da Corrente do Brasil, e ao migrar para sul no Período 2, deixa a região sob influência da Subcorrente Norte do Brasil.

No vazamento de 8 m³ não houve probabilidade do óleo alcançar a costa, enquanto no vazamento de 200 m³ algumas localidades apresentam pontos de grade com aproximação. Nos vazamentos de 8 m³, a área de probabilidade em superfície fica restrita a regiões com profundidades maiores que 2.000 m. Já nos vazamentos de 200 m³ o óleo pode alcançar regiões mais rasas que 50 metros de profundidade, próximo à costa.

Em relação aos vazamentos de pior caso, o tempo de chegada do óleo é menor no Período 2, sendo de 2,4 dias em Piaçabuçu - AL. Todos os cenários têm probabilidades máximas de presença de óleo na costa em torno de 100%. No Período 2, as maiores probabilidades ocorrem no litoral do estado de Alagoas enquanto no Período 1 as maiores probabilidades ocorrem no litoral do estado da Bahia.

No Rio Sergipe, as probabilidades de presença de óleo em superfície são de até 70%. Nos municípios do entorno do rio, as maiores probabilidades de toque são observadas nos municípios mais externos, com valores menores do que os já observados na escala regional, enquanto nos municípios mais internos as probabilidades são menores que 1% no Período 1 e 10% no Período 2, e os tempos são superiores a 20 dias.

No Rio São Francisco, com abordagem de escala local, só há probabilidade de chegada de óleo no Período 2, chegando a 90-100% na entrada do rio. As probabilidades e tempos de chegada nos municípios e Unidades de Conservação das margens do rio foram menos conservadores do que os já observados na escala regional, exceto pela probabilidade de chegada também em Penedo – AL, de menos de 1%.

O acúmulo de massa na costa, no entanto, foi maior na zona estuarina do que no restante da costa, com máximos acima de 130 t/km observados tanto nas margens do Rio Sergipe quanto do Rio São Francisco.

Para todos os cenários, a evaporação é o principal processo de intemperismo que ocorre ao longo das simulações, principalmente quando o vazamento ocorre em superfície (8 m³ e 200 m³) ficando em torno de 70%.

As simulações determinísticas foram feitas com base nas condições críticas dos vazamentos de pior caso, levando em conta a maior quantidade de óleo na costa e tempo mínimo de chegada. O primeiro caso ocorreu no Período 2 e o segundo no Período 1. Na simulação da condição de tempo mínimo, a deriva do óleo é para noroeste na maior parte do tempo, enquanto na condição de massa máxima a deriva é principalmente para sudoeste.

A comparação dos resultados probabilísticos da modelagem de dispersão de óleo com a deriva e tempo de deslocamento dos 20 derivadores FHD lançados em duas campanhas na região próxima do bloco indica a confiabilidade das simulações de dispersão do óleo.

Todos os derivadores, em geral, seguiram as áreas de maior probabilidade de presença de óleo, sendo que 95% deles chegaram à costa em áreas com mais de 90% de probabilidade de presença de óleo, além das trajetórias apresentarem padrões muito semelhantes aos observados nas simulações.

Focando nos três derivadores lançados próximos ao ponto de vazamento da modelagem, os tempos de chegada na costa também são próximos aos tempos mínimos observados na modelagem.

Estes resultados comparativos demonstram a capacidade da modelagem de dispersão de óleo elaborada para do Bloco SEAL-M-351 de representar as condições meteoceanográficas da Bacia Sergipe-Alagoas e de dar suporte em caso de vazamentos de óleo.

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.
- AMORIM, F.N. CIRANO, M. SOARES, I. D. LENTINI, C. A. D. 2011. Coastal and Shelf circulation in the vicinity of Camamu Bay (14° S), Eastern Brazilian Shelf. Continental Shelf Research, Vol. 31, pp108-119.
- ASTM, 2013. Standard Practice for Development and Use of Oil-Spill Trajectory Models. Designation: F2067-13. American Society for Testing and Materials. DOI: 10.1520/F2067-13.
- CASTRO, B. M. AND MIRANDA, L. B. (1998), Physical oceanography of the western Atlantic Continental Shelf located between 4°N and 34°S coastal segment (4, w). The Sea, 11, 209-251.
- 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.
- ELLIOT, 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.
- 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.
- HENNERMANN, K. ERA5 Data Documentation. Disponível em: <https://software.ecmwf.int/wiki/display/CKB/ERA5+data+documentation> Acesso em 20/09/2017.
- ICMBIO, 2018. Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN. Disponível em: <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/>. Acesso em 18 de dezembro de 2018.

- 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.
- LONG, E. R.; MACDONALD, D. D.; SMITH, S.L.; CALDER, F. D. (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environ. Manage.* 19, 81-97.
- MARIN, F. O. 2009. A Subcorrente Norte do Brasil ao Largo da Costa do Nordeste. Dissertação (Mestrado), Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (SP).
- MENDONÇA, L.F., SOUZA, R.B., ASSEF, C.R.C., PEZZI, L.P., MÖLLER, O.O., ALVES, R.C.M. 2016. Regional modeling of the water masses and circulation annual variability at the Southern Brazilian Continental Shelf. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2016JC011780. MMA, 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo>. Acesso em 06 de dezembro de 2016.
- MMA, 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo>. Acesso em 06 de janeiro de 2018.
- MMA, 2019. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acesso em 04 de janeiro de 2019.
- OSPAR COMMISSION. 2014. Background document. Establishment of a list of Predicted No Effect Concentration (PNECs) for naturally occurring substances in produced water. OSPAR Agreement 2014-05.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L., 1991: Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, p. 1–73.
- PPLC, 2018. Disponível em :<http://www.pplc.com.br/webapp/index.html>. Acesso em 06 de janeiro de 2018.

- REZENDE, L. F. SILVA, P. A. CIRANO, M. PELIZ, A. DUBERT, J. 2011. Mean Circulation, Seazonal Cycle, and Eddy Interactions in the Eastern Brazilian Margin, a Nested ROMS Model. *Journal of Coastal Research*, Vol. 27, pp. 329-347.
- REZENDE, L. F. 2010. Dinâmica em múltiplas escalas na Margem Continental Leste Brasileira. Tese (Doutorado), Departamento de Física da Universidade de Aveiro (Portugal).
- RYE, H.; REED, M.; DITLEVSEN, M.K.; BERNTSEN, S. The “Environment Impact Factor” (EIF) for produced water discharges – a tool for reducing environmental impacts. In: *Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies*. WIT Press, 2004.
- RODRIGUES, R. R. ROTHSTEIN, L. M. WIMBUSH, M. 2006. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 37.
- SOUTELINO, R.G. SILVEIRA, I. C. A. GANGOPADHYAY, A. MIRANDA, J.A. 2011. Is the Brazil Current eddy-dominated to the north of 20°S?. *Geophysical research letter*, vol 38.
- WWF, 2016. Observatório de UCs. Disponível em: <http://observatorio.wwf.org.br/mapa/>. Acesso em 10 de dezembro de 2016.

Anexos

ANEXO I - Descrição do Modelo Hidrodinâmico Regional

ANEXO II – Descrição dos Modelos Hidrodinâmicos dos rios Sergipe e São Francisco

ANEXO III – Descrição do Modelo de Transporte de Óleo

ANEXO IV - Mapa com Unidades de Conservação consideradas no estudo

ANEXO V - Mapa com Detalhamento de linha de costa utilizado para a definição da grade do modelo do OSCAR