

## II.6. MODELAGEM NUMÉRICA

### II.6.1. Modelagem da Dispersão de Óleo e Dispersão de Poluentes

Os estudos de modelagem de dispersão de óleo e de cascalho e fluido de perfuração foram elaborados pela empresa PROOCEANO, de acordo com o Termo de Referência (TR) SEI/IBAMA 8197751, específico para a Atividade de Perfuração Marítima da Acumulação de Patola, do Campo de Baúna, Bloco BM-S-40, Bacia de Santos, e encontram-se apresentados a seguir.

## **MODELAGEM DA DISPERSÃO DE ÓLEO**



Relatório Técnico [rev.00]

## Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo

Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) | Acumulação de Patola

Bacia de Santos

---

Preparado para: Karoon Energy

Preparado por: Flávia Pozzi Pimentel

Henery Ferreira Garção

Júlio Pellegrini

Lívia Sant'Angelo Mariano

Marcelo Montenegro Cabral

31 de julho 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](http://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: / /

---

Descrição:

---

Responsável:

---

Empresa: Prooceano

---

---

Revisão nº 02

---

Data: / /

---

Descrição:

---

Responsável:

---

Empresa: Prooceano

---

---

Revisão nº 03

---

Data: / /

---

Descrição:

---

Responsável:

---

Empresa: Prooceano

---

---

Revisão nº 04

---

Data: / /

---

Descrição:

---

Responsável:

---

Empresa: Prooceano

---

---

Revisão nº 05

---

Data: / /

---

Descrição:

---

Responsável:

---

Empresa: Prooceano

---



## Sumário

<b>Sumário Executivo.....</b>	<b>17</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>20</b>
<b>2. Modelagem Hidrodinâmica .....</b>	<b>22</b>
<b>3. Modelagem de Dispersão de Óleo .....</b>	<b>40</b>
3.1. Metodologia .....	41
3.2. Resultados .....	63
<b>4. Conclusão .....</b>	<b>160</b>
<b>5. Bibliografia .....</b>	<b>162</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>165</b>



## Índice das imagens

Figura 1: Localização dos pontos de risco utilizados na modelagem (em vermelho), do Bloco BM-S-40 “Campo de Baúna” (em azul), e da acumulação de Patola (em verde), na Bacia de Santos.....	20
Figura 2: Campo médio de circulação para o mês de janeiro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	24
Figura 3: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	25
Figura 4: Campo médio de circulação para o mês de março. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	26
Figura 5: Campo médio de circulação para o mês de abril. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho. ....	27
Figura 6: Campo médio de circulação para o mês de maio. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	28
Figura 7: Campo médio de circulação para o mês de junho. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	29
Figura 8: Campo médio de circulação para o mês de julho. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	30
Figura 9: Campo médio de circulação para o mês de agosto. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	31
Figura 10: Campo médio de circulação para o mês de setembro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	32
Figura 11: Campo médio de circulação para o mês de outubro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	33
Figura 12: Campo médio de circulação para o mês de novembro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	34
Figura 13: Campo médio de circulação para o mês de dezembro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.....	35
Figura 14: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o Ponto 1.....	36
Figura 15: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o Ponto 1. ....	37



Figura 16: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o Ponto 2.....	38
Figura 17: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o Ponto 2. ....	39
Figura 18: Representação do limite da grade de óleo (linha vermelha tracejada). ....	46
Figura 19: Grade de batimetria utilizada na simulação.....	47
Figura 20: Localização dos pontos de grade do ERA5 (em vermelho) em relação aos pontos de vazamento e ao bloco BM-S-40. Ponto em azul é o mais próximo dos pontos de vazamento. ....	50
Figura 21: Rosa dos ventos para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo aos pontos de vazamento. ....	51
Figura 22: Rosa de correntes para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo ao Ponto 1. ....	53
Figura 23: Rosa de correntes para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo ao Ponto 2. ....	55
Figura 24: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao Ponto 1. ....	58
Figura 25: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao Ponto 2. ....	59
Figura 26: Séries temporais das componentes “u” e “v” do vento para o ponto de vazamento e o número de zeros ascendentes presentes nas séries. ....	60
Figura 27: 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.). ....	63
Figura 28: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	66
Figura 29: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d’água para o Ponto 1, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 1 (março a agosto). Simulação de 30 dias. ....	67
Figura 30: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	68



Figura 31: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). .....	69
Figura 32: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 1, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 30 dias. ....	70
Figura 33: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	71
Figura 34: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para Ponto 1, o vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	73
Figura 35: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água e na costa para o Ponto 1, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	74
Figura 36: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	75
Figura 37: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	76
Figura 38: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 1, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). .	77
Figura 39: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	78
Figura 40: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	82
Figura 41: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	83
Figura 42: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	84
Figura 43: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias .....	85



Figura 44: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	86
Figura 45: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	87
Figura 46: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	88
Figura 47: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	89
Figura 48: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	90
Figura 49: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	91
Figura 50: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	97
Figura 51: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 2, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 1 (março a agosto). Simulação de 30 dias. ....	98
Figura 52: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	99
Figura 53: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	100
Figura 54: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 2, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ...	101
Figura 55: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de 8 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	102
Figura 56: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	104



Figura 57: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água e na costa para o Ponto 2, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	105
Figura 58: Balanço de massa das simulações probabilísticas para Ponto 2, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).....	106
Figura 59: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).....	107
Figura 60: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 2, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	108
Figura 61: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de 200 m <sup>3</sup> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias). ....	109
Figura 62: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.....	113
Figura 63: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	114
Figura 64: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	115
Figura 65: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias .....	116
Figura 66: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias. ....	117
Figura 67: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	118
Figura 68: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias.....	119



Figura 69: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	120
Figura 70: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias .....	121
Figura 71: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de <i>blowout</i> . Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias. ....	122
Figura 72: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa. ....	127
Figura 73: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa. ....	128
Figura 74: 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 41.219 m <sup>3</sup> . ....	130
Figura 75: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m <sup>3</sup> . ....	131
Figura 76: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m <sup>3</sup> . ....	132
Figura 77: 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 41.219 m <sup>3</sup> . ....	133
Figura 78: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 207 horas (primeiro toque na costa) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m <sup>3</sup> . ....	134
Figura 79: 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 41.219 m <sup>3</sup> . ....	135



Figura 80: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m³.	136
Figura 81: 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. Vazamento de 41.219 m³.	137
Figura 82: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m³. ...	138
Figura 83: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m³. ...	139
Figura 84: Concentração de óleo no sedimento após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento na simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada de óleo na costa. Vazamento de 41.219 m³.	140
Figura 85: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.	141
Figura 86: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.	142
Figura 87: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.	144
Figura 88: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.	145
Figura 89: 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 41.219m³. ....	147
Figura 90: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m³. ....	148
Figura 91: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m³. ....	149





Figura 92: 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 41.219m <sup>3</sup> .....	150
Figura 93: 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 41.219m <sup>3</sup> .....	151
Figura 94: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m <sup>3</sup> .....	152
Figura 95: 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 41.219m <sup>3</sup> .....	153
Figura 96: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m <sup>3</sup> .....	154
Figura 97: 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 41.219m <sup>3</sup> . ....	155
Figura 98: Concentração de óleo no sedimento após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento na simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Vazamento de 41.219 m <sup>3</sup> . ....	156
Figura 99: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Vazamento de 41.219m <sup>3</sup> .....	157
Figura 100: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. ....	158



## Índice das tabelas

Tabela 1: Coordenadas e profundidade dos pontos de risco considerados na modelagem (Datum SIRGAS 2000). .....	20
Tabela 2: Resumo dos cenários de vazamento simulados. ....	40
Tabela 3: Características do óleo utilizado nas simulações. ....	44
Tabela 4: Ocorrência mensal (%) de direção dos ventos para o ponto mais próximo aos pontos de vazamento. ....	52
Tabela 5: Ocorrência mensal (%) de intensidade dos ventos para o ponto mais próximo aos pontos de vazamento.....	52
Tabela 6: Ocorrência mensal (%) de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Ponto1.....	54
Tabela 7: Ocorrência mensal (%) de intensidade das correntes para o Ponto 1. ....	54
Tabela 8: Ocorrência mensal (%) de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Ponto 2. ....	56
Tabela 9: Ocorrência mensal (%) de intensidade das correntes para o Ponto 2. ....	56
Tabela 10: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de dispersão de óleo.....	62
Tabela 11: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de 200 m <sup>3</sup> , nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.....	79
Tabela 12: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de 200 m <sup>3</sup> nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.....	79
Tabela 13: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de <i>blowout</i> , nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.....	92
Tabela 14: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de <i>blowout</i> , nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.....	94
Tabela 15: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de 200 m <sup>3</sup> , nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.....	110



Tabela 16: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de 200 m <sup>3</sup> nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.....	110
Tabela 17: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de <i>blowout</i> , nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.....	123
Tabela 18: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de <i>blowout</i> , nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.....	125
Tabela 19: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para um derrame de grande volume (41.219 m <sup>3</sup> ).....	127
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 menor tempo de toque na costa. ....	128
Tabela 21: Estatística do vento para o período da condição de menor tempo de toque na costa. ....	128
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 menor tempo de toque na costa. ....	129
Tabela 23: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa. ....	129
Tabela 24: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais e de massa de óleo em condição crítica de menor tempo de chegada. ....	141
Tabela 25: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.....	142
Tabela 26: 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.....	144
Tabela 27: Estatística do vento para o período da condição de maior massa de óleo acumulada na costa. ....	144
Tabela 28: 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.....	145



---

Tabela 29: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo de toque na costa. ....	145
Tabela 30: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais de massa de óleo em condição crítica de maior massa acumulada na costa. ....	158
Tabela 31: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de maior massa acumulada na costa. ....	159

## 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: 2002110225 - CREA/RJ

---

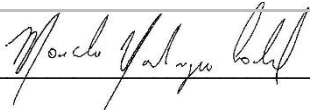
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 5621594

---

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 dois pontos de risco localizados no Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), na Bacia de Santos, onde se localiza a acumulação de Patola.

O principal objetivo do estudo de modelagem foi dar subsídio para o processo de licenciamento ambiental para as atividades de perfuração no campo e elaboração de planos de emergência do empreendimento. Para isso, foram avaliados o comportamento da deriva e o intemperismo do óleo, e suas variações ao longo do tempo e de forma tridimensional no ambiente marinho, avaliando os resultados de vazamentos de óleo a partir da superfície para os cenários de menores volumes (8 e 200 m<sup>3</sup>) e para vazamento de fundo nos cenários de pior caso (41.219 m<sup>3</sup>).

Para cumprir esse objetivo, o estudo foi dividido em duas etapas. A primeira consiste na análise das características meteorológicas e simulações hidrodinâmicas da região, mais especificamente dos parâmetros capazes de afetar o comportamento do óleo derramado. Na segunda etapa foram realizadas simulações de dispersão de óleo, para dois períodos ao longo do ano, definidos a partir das condições meteoceanográficas características da região.

O bloco em estudo se encontra em uma região dominada pela circulação associada ao sistema da Corrente do Brasil (CB). Nas camadas mais superficiais predominam correntes para sul ao longo do talude continental, enquanto que em profundidades intermediárias encontra-se o fluxo para norte da Corrente de Contorno Intermediária (CCI). O padrão característico das condições meteorológicas é dominado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com predominância de ventos do primeiro quadrante, e pela passagem de sistemas frontais (frentes frias), quando há ocorrência de ventos do terceiro quadrante.

A divisão sazonal adotada neste estudo, em que o Período 1 compreende os meses de setembro a fevereiro e Período 2 os meses de março a agosto, baseia-se, portanto, nas variações destes sistemas, meteorológico e oceanográfico, ao longo do ano. Em ambos os períodos há predominância de ventos de NE, porém no Período 2 há uma variação maior das direções. Em relação às correntes na região do ponto de vazamento, é observada predominância para sudoeste em ambos os períodos, porém com maior variação de direção e menores intensidades no Período 2.

As simulações de dispersão de óleo para o pior caso seguiram a solicitação de considerar 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.

As simulações probabilísticas da modelagem de dispersão de óleo mostraram deriva do óleo preferencialmente para sudoeste, influenciadas pelo fluxo principal da Corrente do Brasil e pelos ventos de nordeste. No entanto, no Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos e enfraquecimento da CB, apresenta menor extensão da área de probabilidades acima de 30% na direção sudoeste e o óleo flui mais afastado da costa. Com isso, o Período 2 apresenta menor extensão da costa com probabilidade de chegada de óleo em relação ao Período 1. Além disso, devido à maior variabilidade de direção dos ventos e correntes, no Período 2 são observadas maiores probabilidades a norte do ponto de vazamento.

Nos cenários de 8 m<sup>3</sup>, em ambos os pontos de risco, não há probabilidade de chegada de óleo na costa. Já nos cenários de 200 m<sup>3</sup>, somente há toque na costa no Período 1, em municípios de Santa Catarina e probabilidades de 0,2%.

Nos cenários de pior caso do Ponto 1, houve toque na costa entre Peruíbe – SP e Rio Grande – RS no Período 1, com probabilidade máxima de 47,8% em Florianópolis – SC. No Período 2, houve toque na costa de São Sebastião – SP até Laguna – SC e o valor máximo foi observado em Itanhaém – SP, de 12%.

Para os vazamentos de pior caso a partir do Ponto 2, no Período 1 houve toque na costa de Itanhaém – SP até Santa Vitória do Palmar – RS, com probabilidade máxima de 58,2% em Florianópolis – SC. No Período 2, houve toque na costa de São Sebastião – SP até Imbituba – SC e o valor máximo foi observado em Itanhaém – SP, de 21,4%.

O tempo mínimo de chegada de óleo na costa foi observado em Florianópolis em todos os cenários de pior caso, sendo após 8 dias nos cenários de período 1 e após 14 dias nos cenários de Período 2.

Nas Unidades de Conservação, a probabilidade de toque no Período 1 se estende da APA Marinha do Litoral Centro até RDS do Molhe Leste para os vazamentos de ambos os pontos. No entanto, para o Ponto 1, somente duas UCs apresentam probabilidade acima de 30%, enquanto para o Ponto 2, essa quantidade eleva-se para oito. A maior probabilidade é observada na REBIO Marinha do Arvoredo, sendo de 53% para o Ponto 1 e de 64% para o Ponto 2.

No Período 2, houve toque da REBIO Praia do Rosa até a APA Marinha do Litoral Norte para o Ponto 1 e até o PE da Serra do Mar para o Ponto 2, com valor acima de 30% apenas em uma: APA Marinha do Litoral Sul, com 31% e 35% para os vazamentos a partir dos Pontos 1 e 2, respectivamente.





Em todas as simulações probabilísticas, a evaporação foi o principal processo de intemperismo responsável pela retirada do óleo da superfície do mar, seguida pela dispersão na coluna d'água para os vazamentos a partir da superfície (8 m<sup>3</sup> e 200 m<sup>3</sup>) e pela degradação nos vazamentos de fundo.

A modelagem incluiu a avaliação das concentrações de óleo, onde os resultados indicam que as concentrações da coluna d'água de óleo disperso podem ascender, a partir do fundo marinho, acima de 20 partes por bilhão (ppb) nos dois períodos (1 e 2).

Ao longo da coluna d'água, o maior espalhamento do óleo ocorre acima de 50 metros de profundidade. As probabilidades entre 90 e 100% são observadas na região do entorno do vazamento, da superfície até a profundidade local, de 271 m e 231 m para os Pontos 1 e 2.

Para os resultados no fundo marinho, são observadas probabilidades de 100% no local do vazamento e valores sobre a plataforma continental de até 10-20% no Período 1 e inferiores a 10% no Período 2.



## 1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamento a partir de dois pontos de risco localizados no Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), na Bacia de Santos. O Ponto 1 localiza-se na acumulação de Patola, enquanto o Ponto 2 se localiza no Vértice Noroeste do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna). A localização dos pontos, assim como a localização do bloco, é apresentada na Figura 1 e na Tabela 1.

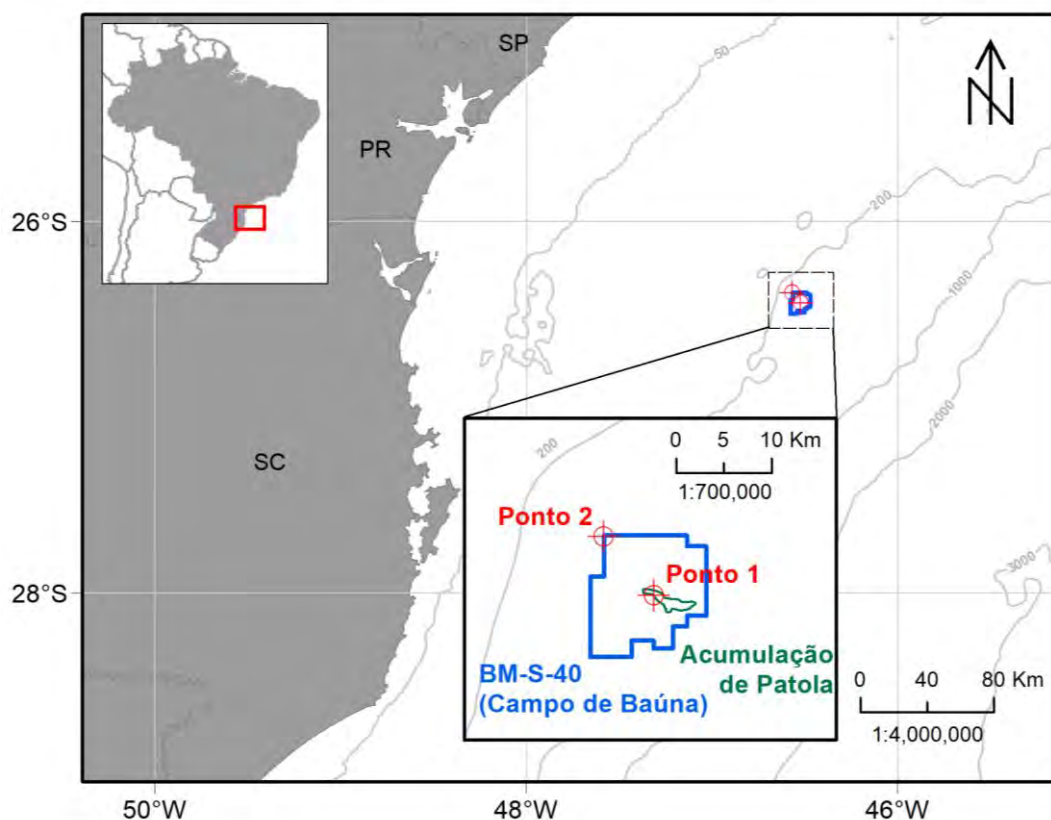


Figura 1: Localização dos pontos de risco utilizados na modelagem (em vermelho), do Bloco BM-S-40 "Campo de Baúna" (em azul), e da acumulação de Patola (em verde), na Bacia de Santos.

Tabela 1: Coordenadas e profundidade dos pontos de risco considerados na modelagem (*Datum* SIRGAS 2000).

Ponto	Latitude	Longitude	Profundidade (m)
Ponto 1 (Poço PAT1 – acumulação de Patola)	26° 26' 23,82" S	46° 31' 4,68" W	271
Ponto 2 (Vértice Noroeste do bloco BM-S-40)	26° 23' 3,12" S	46° 33' 55,08" W	231

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

Na segunda etapa foi realizada a simulação da dispersão do óleo, para as condições meteorológicas e oceanográficas características da região, estimando o comportamento do óleo vazado em cada uma delas (item Modelagem de Dispersão de Óleo).

O presente estudo atende aos requisitos do Anexo I – Modelagem (SEI nº 7802055) do Ofício nº 605/2020 do IBAMA (COEXP/CGMAC/DILIC), para a Modelagem Numérica da Atividade de Perfuração Marítima da acumulação de Patola.

Destaca-se também que 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 utilizada como forçante para a modelagem de transporte de óleo deste estudo, e seus resultados para todo o domínio do modelo, são apresentados no Anexo I. A seguir são apresentados os campos médios mensais obtidos a partir dos resultados do modelo com detalhe para a região de estudo.

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

As correntes sobre a plataforma continental se encontram em um equilíbrio dinâmico com os ventos sobrejacentes e apresentam conhecida sazonalidade. Durante o predomínio do ASAS, os ventos paralelos a costa são responsáveis pelo transporte das correntes superficiais em direção ao mar aberto, resultando em um abaixamento do nível do mar junto a costa. Esse abaixamento do nível gera uma força de gradiente de pressão em direção à costa que, entrando em equilíbrio com a força de Coriolis, resulta em uma corrente paralela à costa e na mesma direção do vento, fluindo com sentido sul. Durante a passagem de frentes frias, esse equilíbrio se dá no sentido inverso e a corrente resultante é no sentido do vento, fluindo paralela à costa com sentido norte (CASTRO FILHO, 1990 *apud* CARVALHO, 2003). A maior frequência de passagem de frentes frias no período de inverno resulta em uma corrente costeira residual sobre a plataforma (a Corrente Costeira do Brasil, ou CCB), com direção nordeste, que transporta água mais fria e rica em nutrientes até a latitude 24°S (MENDONÇA *et al.*, 2016; SOUZA & ROBINSON, 2004). No verão o predomínio da influência do ASAS resulta em uma corrente residual com direção sul.

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

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

Os padrões descritos acima para a região oceânica e para a circulação sobre a plataforma podem ser bem observados nos campos médios mensais apresentados da Figura 2 a Figura 13, indicando que o modelo representou de forma adequada os padrões de circulação esperados para a área de estudo.



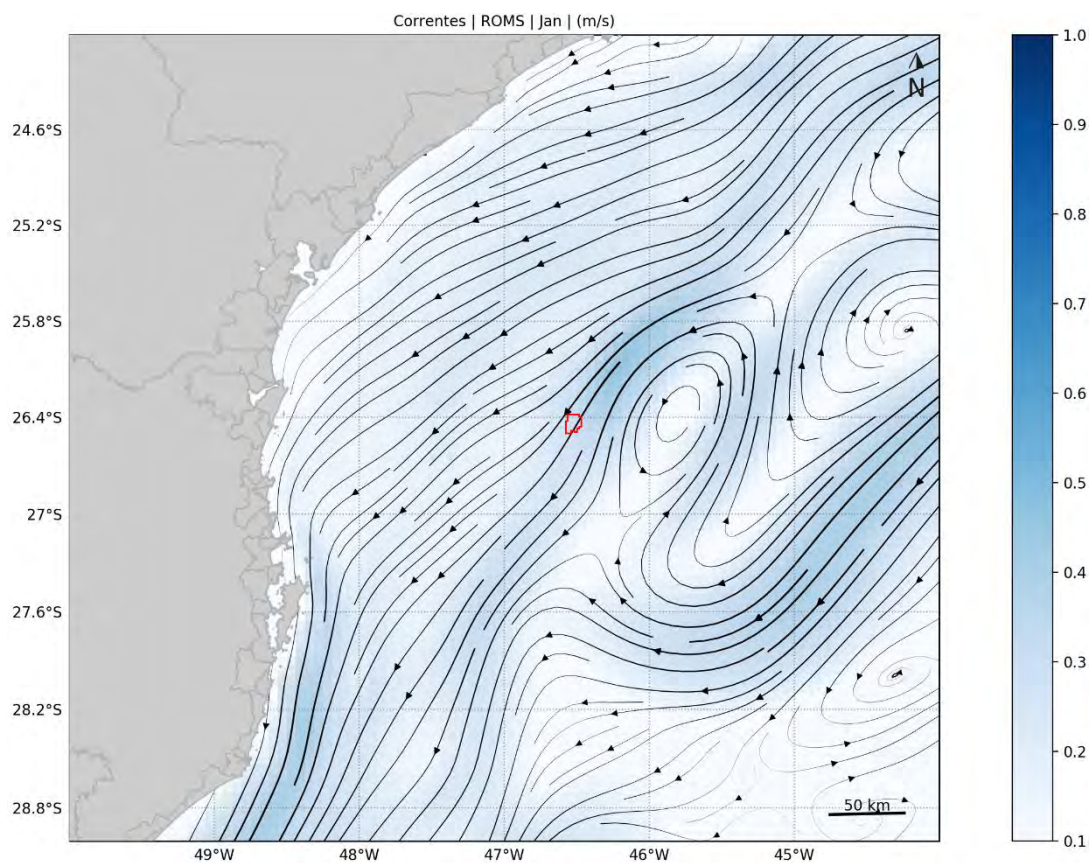


Figura 2: Campo médio de circulação para o mês de janeiro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.



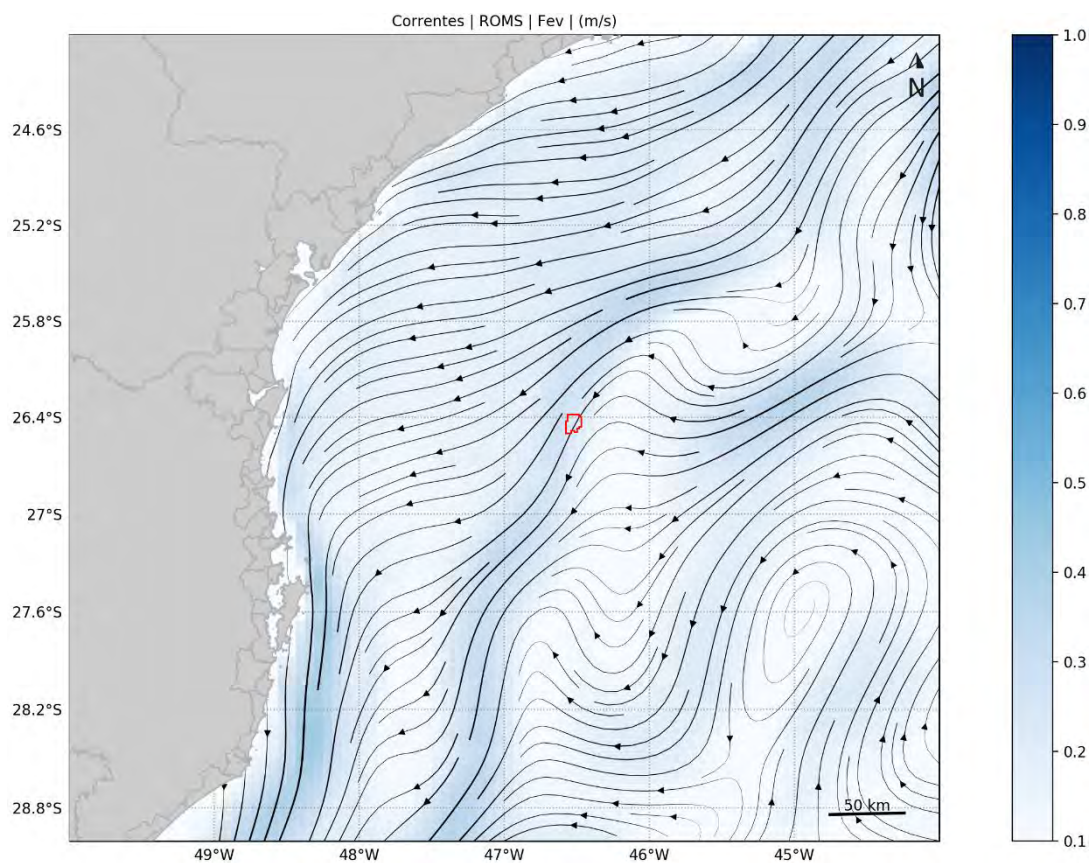


Figura 3: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

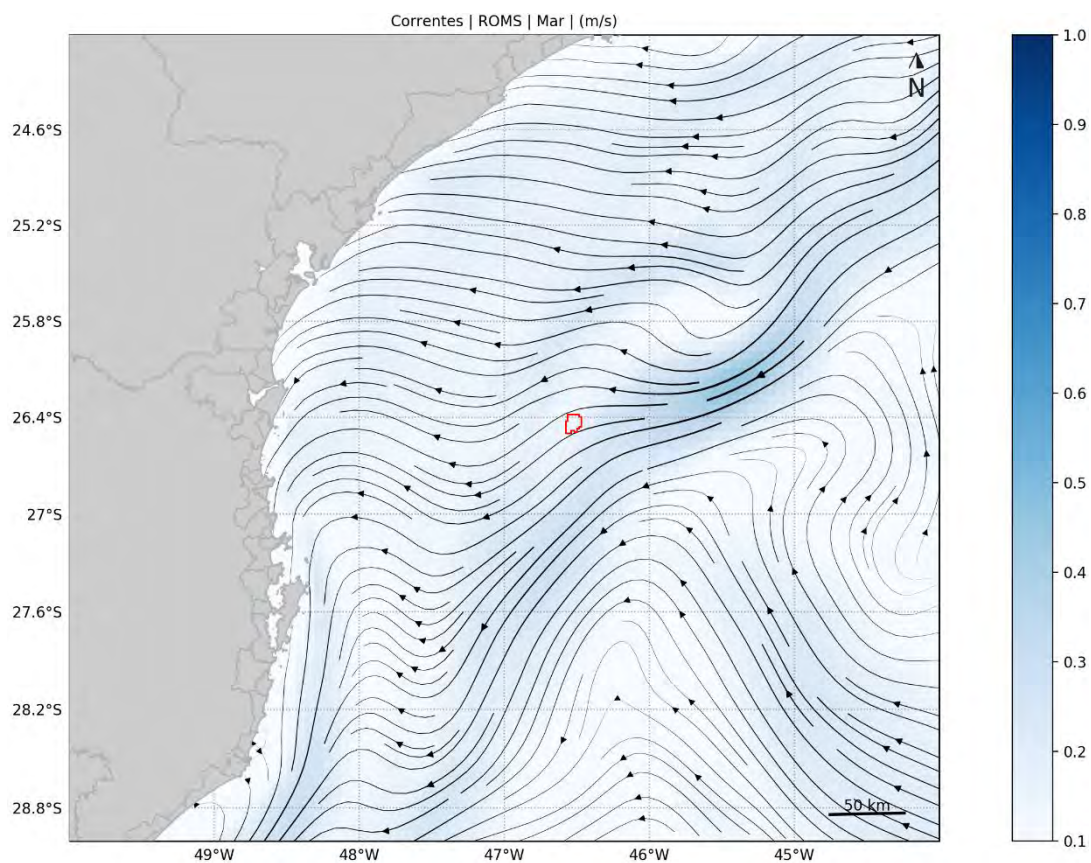


Figura 4: Campo médio de circulação para o mês de março. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.



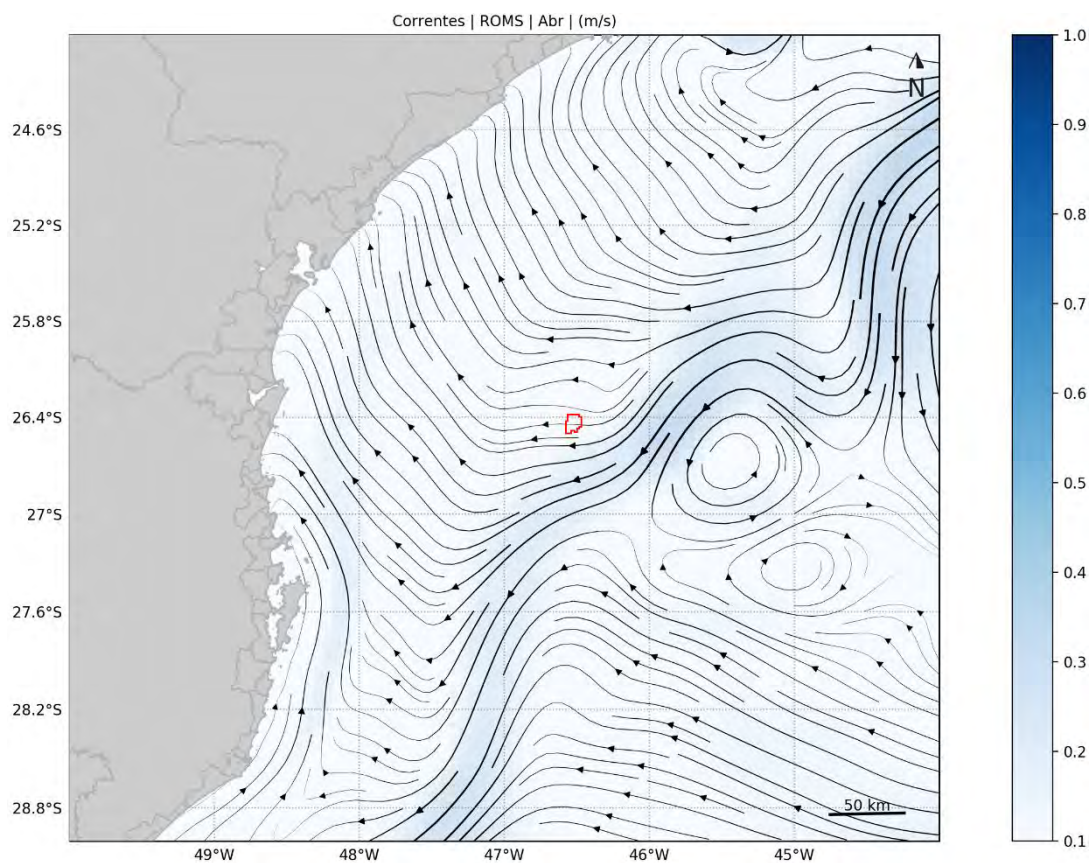


Figura 5: Campo médio de circulação para o mês de abril. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

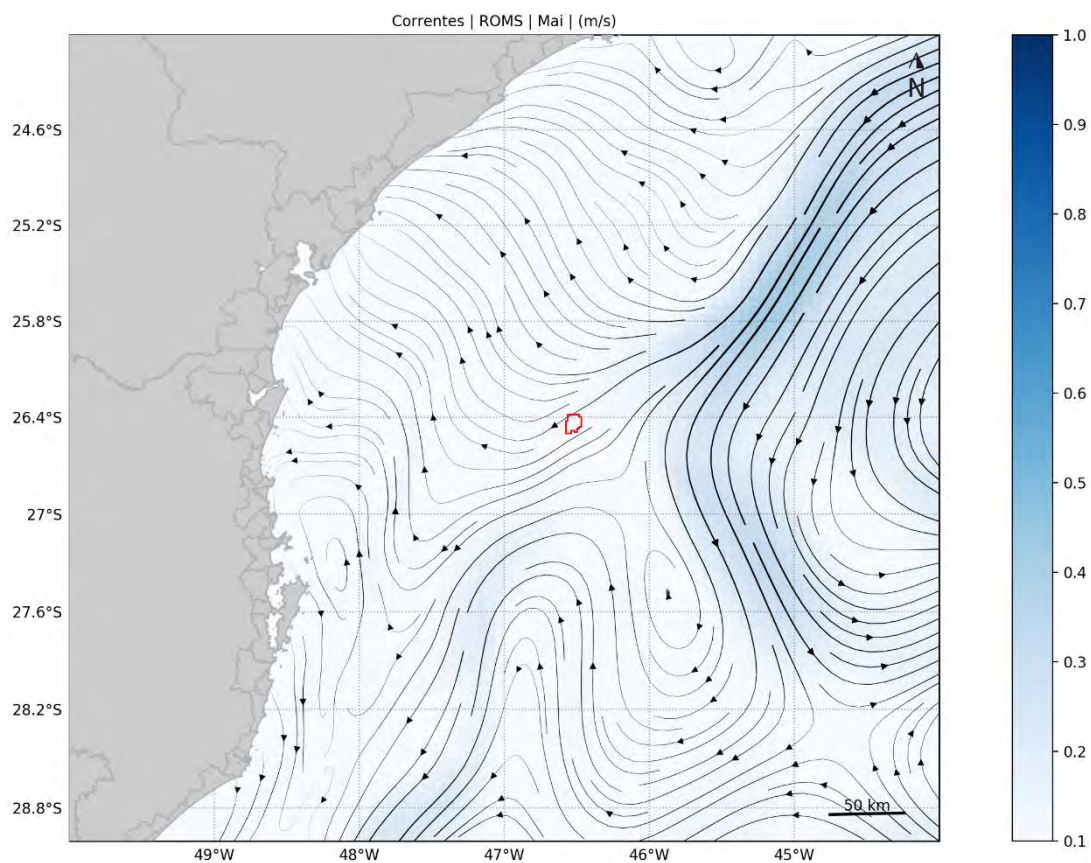


Figura 6: Campo médio de circulação para o mês de maio. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

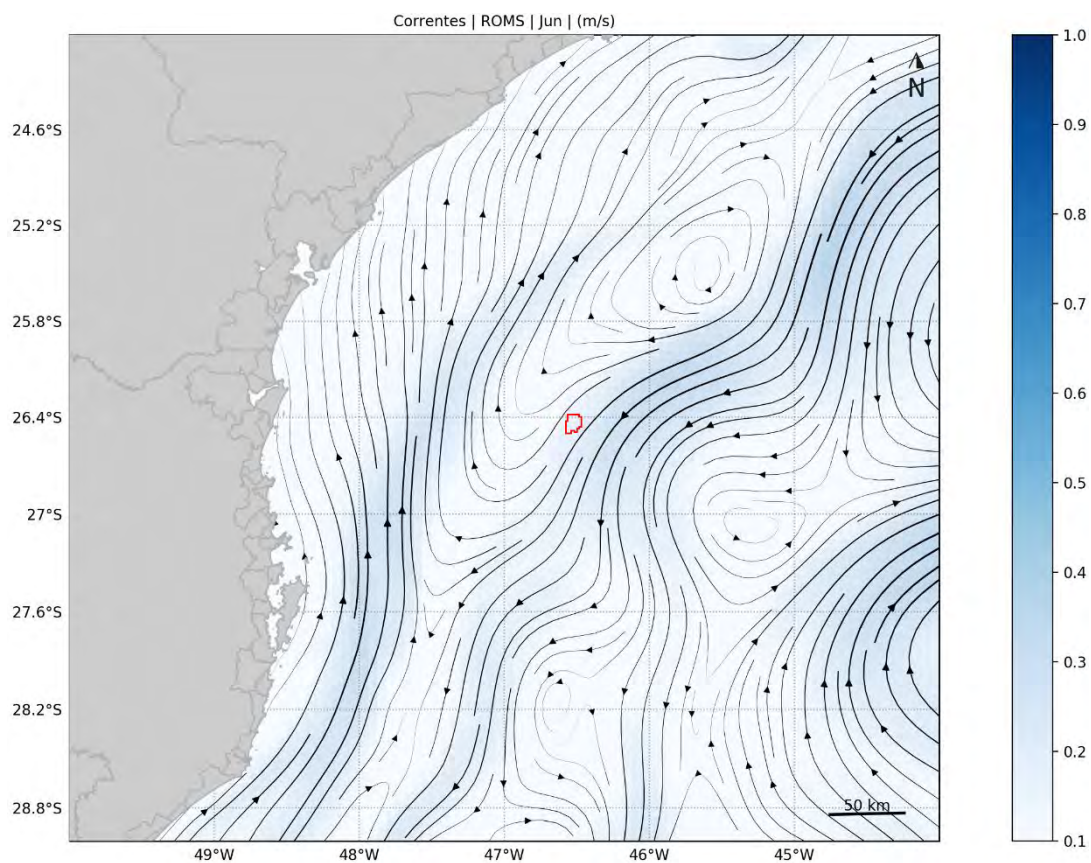


Figura 7: Campo médio de circulação para o mês de junho. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.



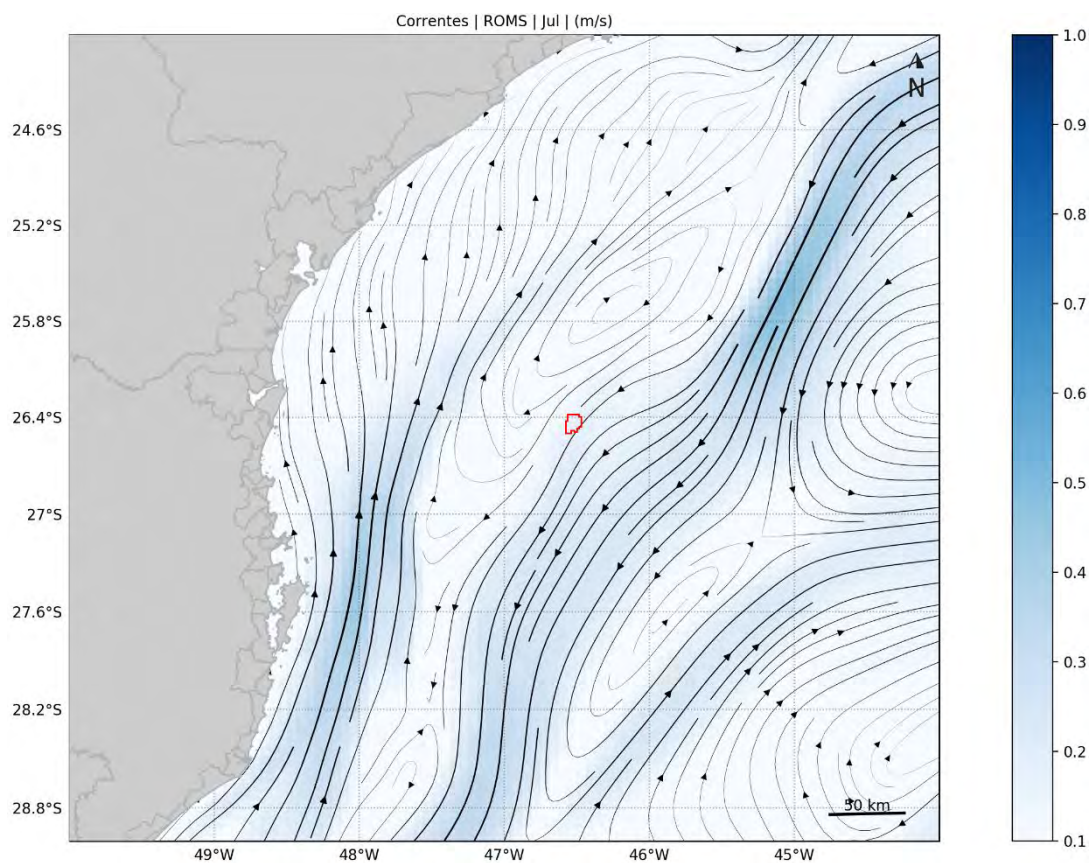


Figura 8: Campo médio de circulação para o mês de julho. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

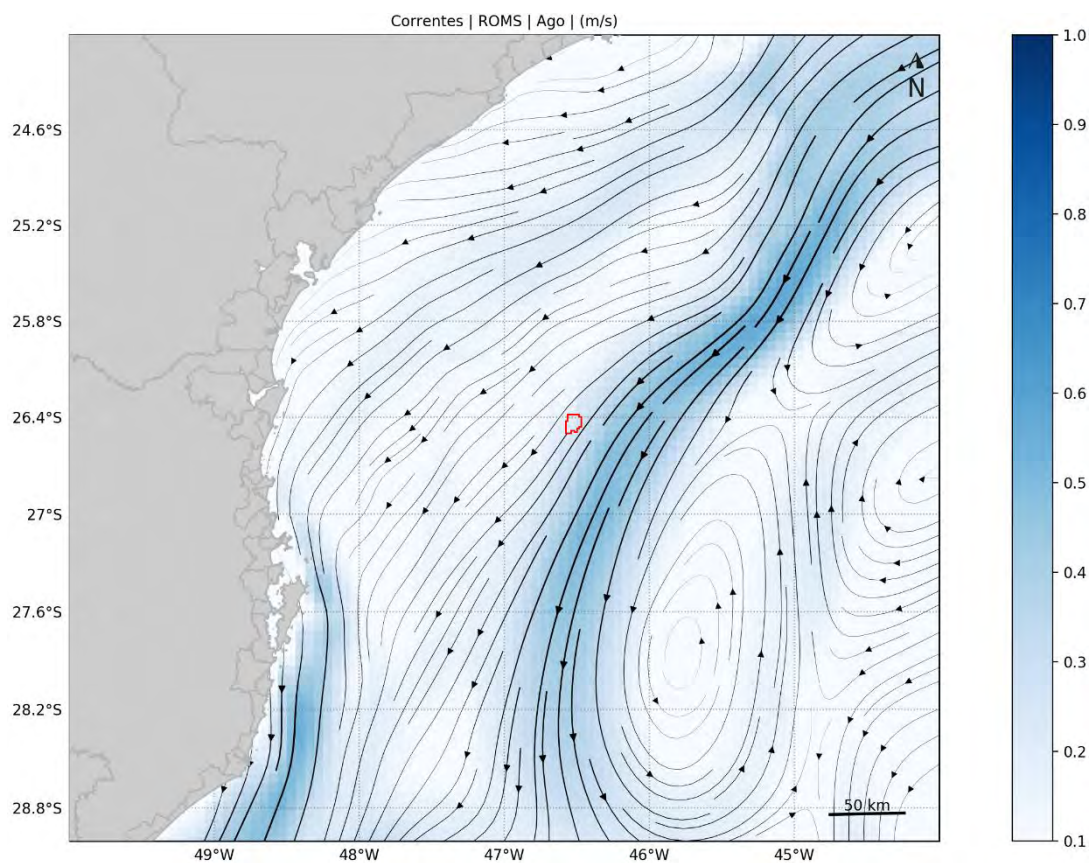


Figura 9: Campo médio de circulação para o mês de agosto. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

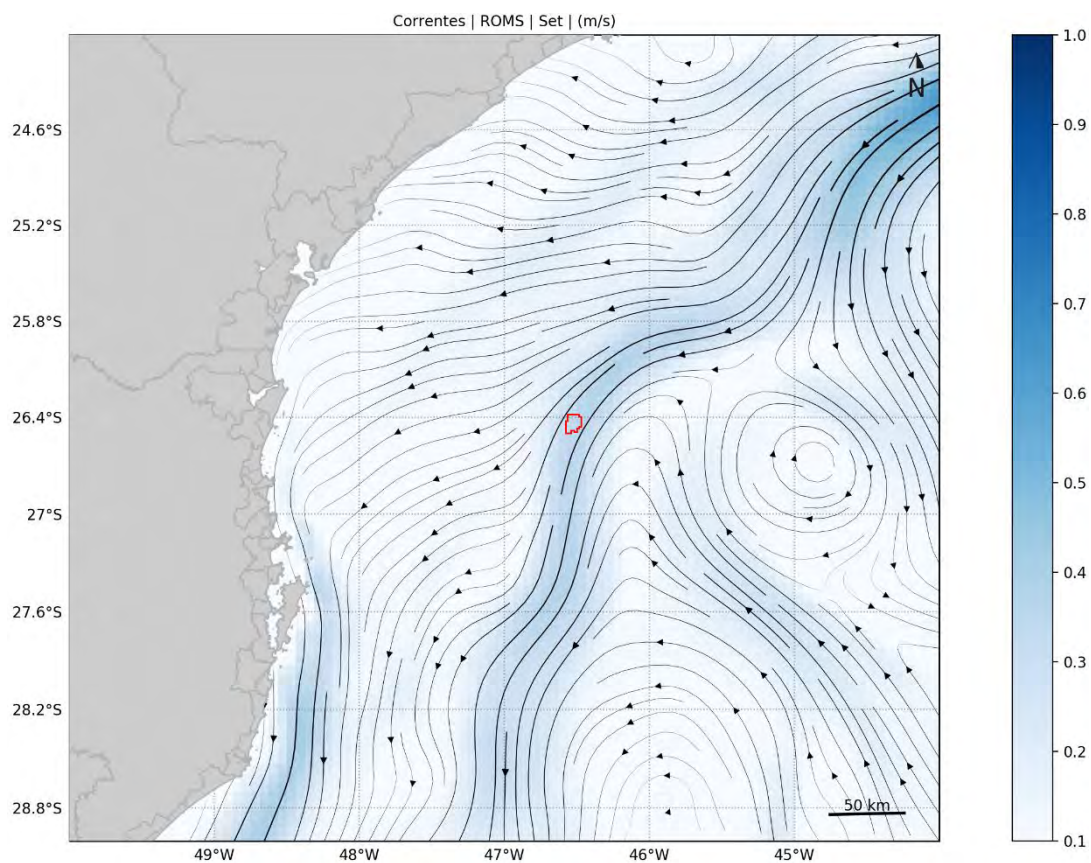


Figura 10: Campo médio de circulação para o mês de setembro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.



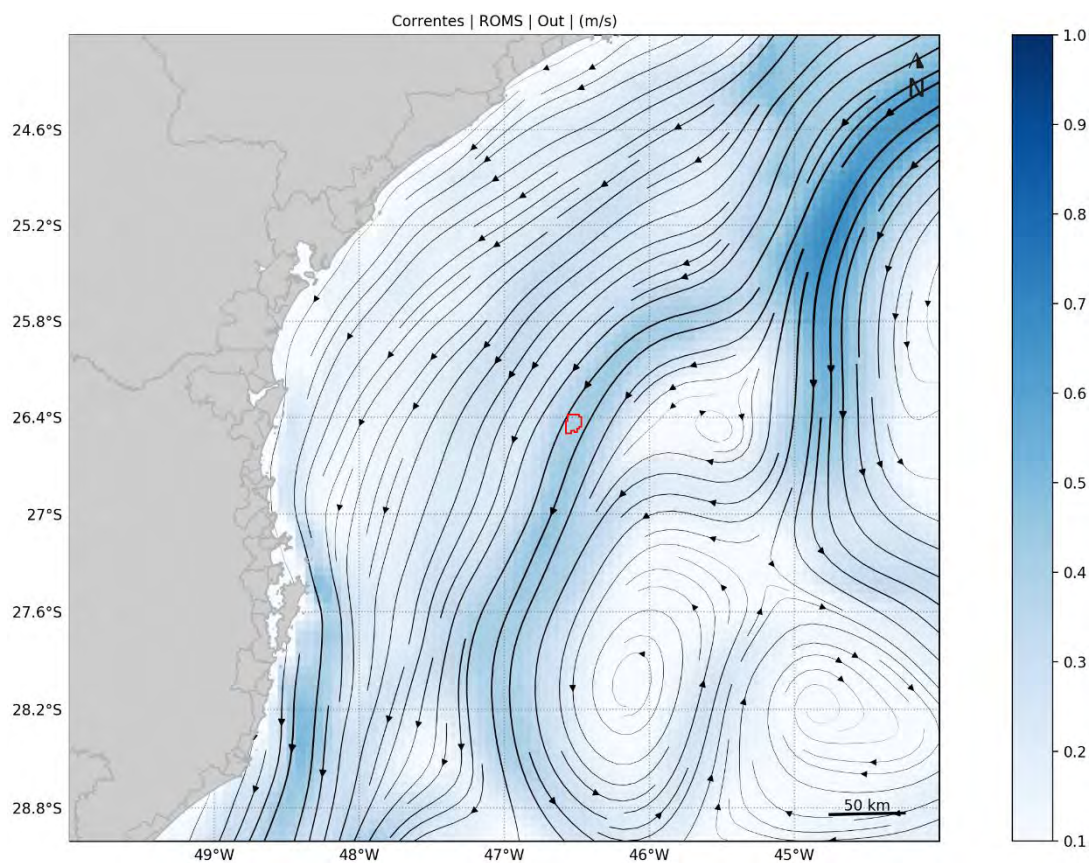


Figura 11: Campo médio de circulação para o mês de outubro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

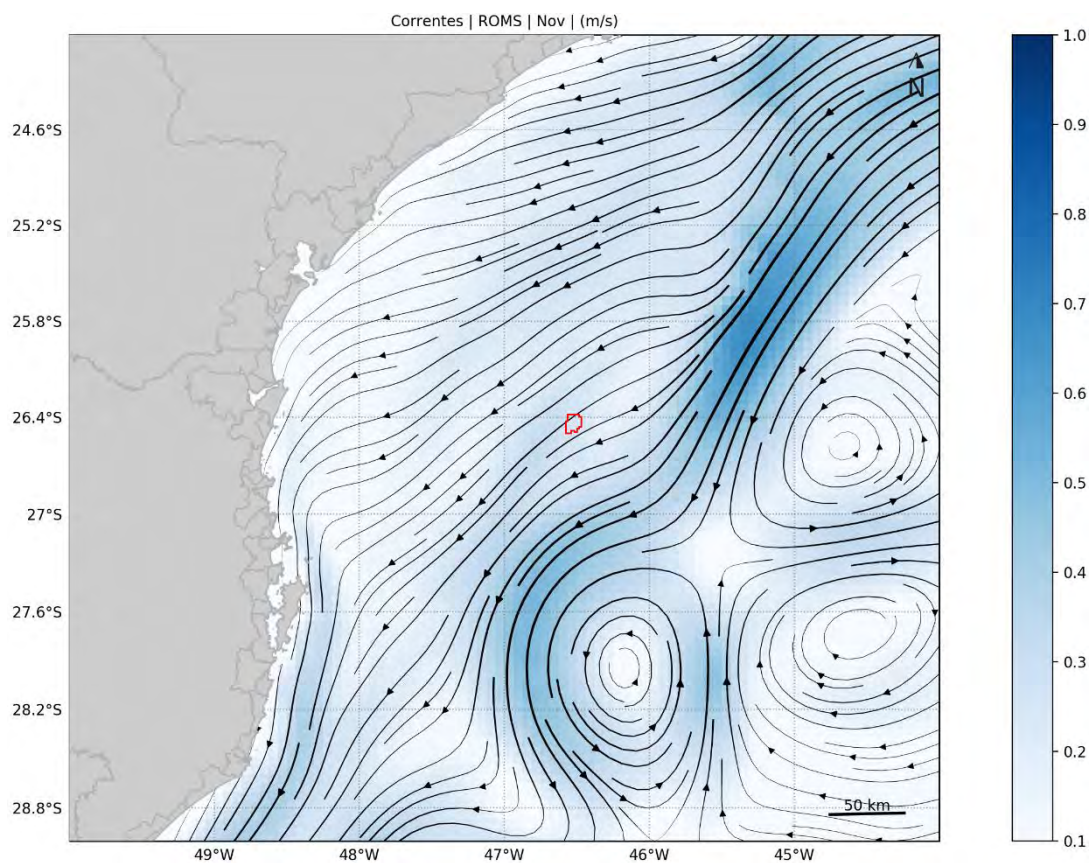


Figura 12: Campo médio de circulação para o mês de novembro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.



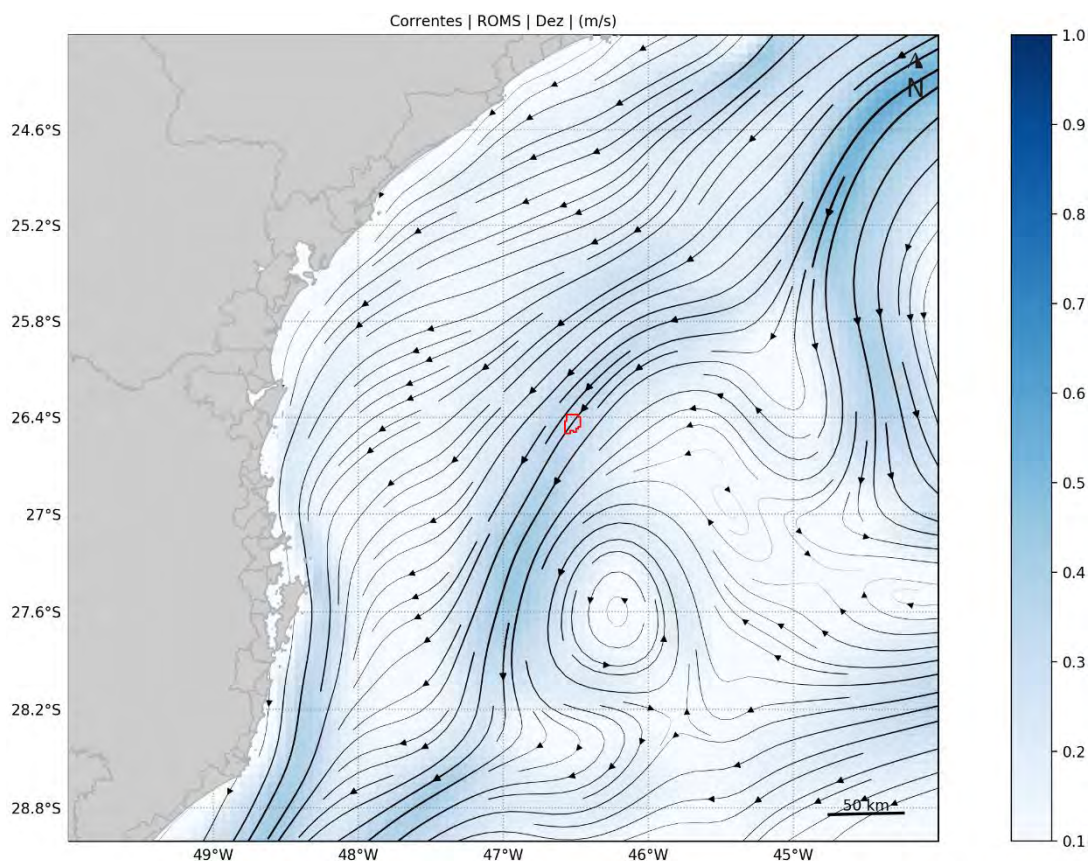


Figura 13: Campo médio de circulação para o mês de dezembro. O Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) é representado pelo polígono vermelho.

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

Na Figura 14 e Figura 15, apresenta-se o número de observações o ponto de grade do WOA13 V2 próximo ao ponto de vazamento ao longo da coluna d'água, e as faixas de ocorrência<sup>1</sup> das observações de temperatura e salinidade obtidas no modelo (vermelho) e no WOA13-V2 (cinza). O ponto de grade do WOA mais próximo não tinha dados suficientes para comparação, portanto foi utilizado um ponto alternativo também próximo (42,5°W e 24,5°W). 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 compatibilidade dos valores é um indicativo de que houve uma boa representação da posição média das massas d'água no domínio de modelagem.

<sup>1</sup> 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.

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 1/16°.

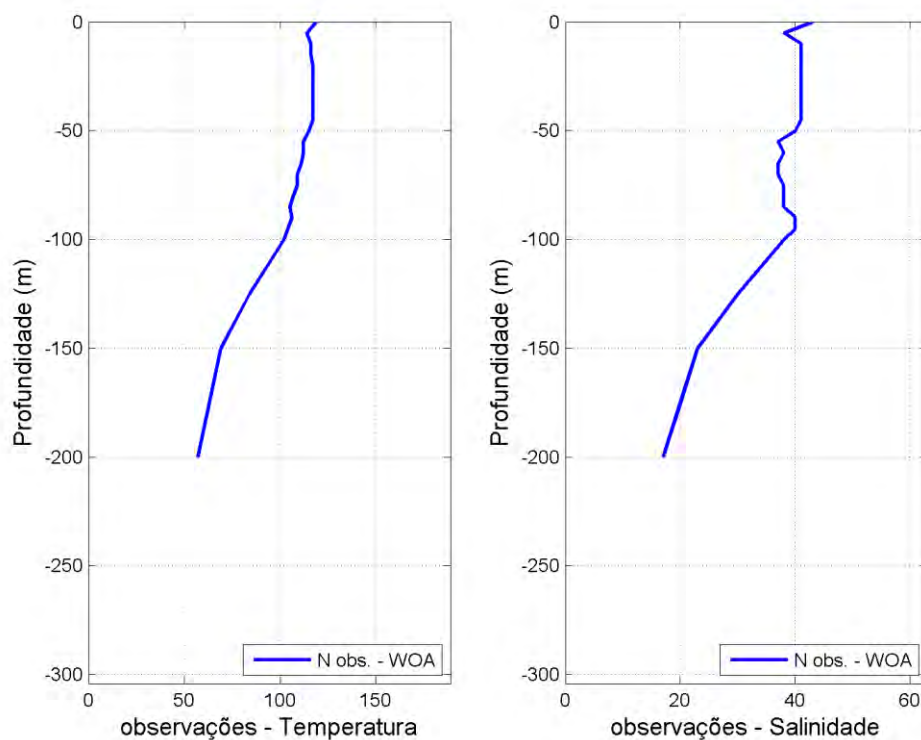


Figura 14: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o Ponto 1.

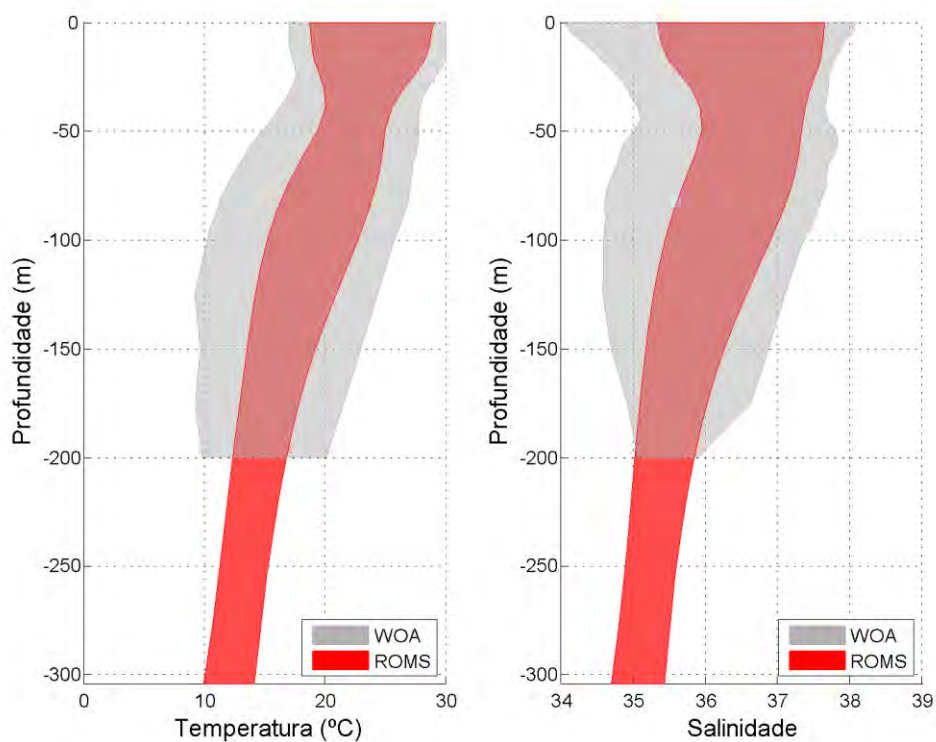


Figura 15: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o Ponto 1.

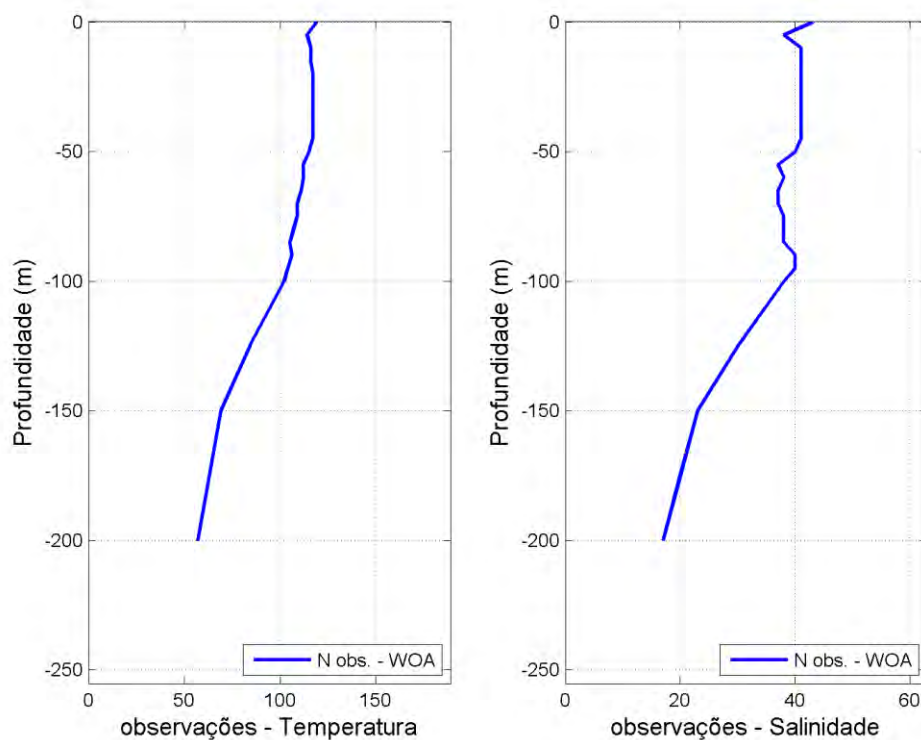


Figura 16: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o Ponto 2.

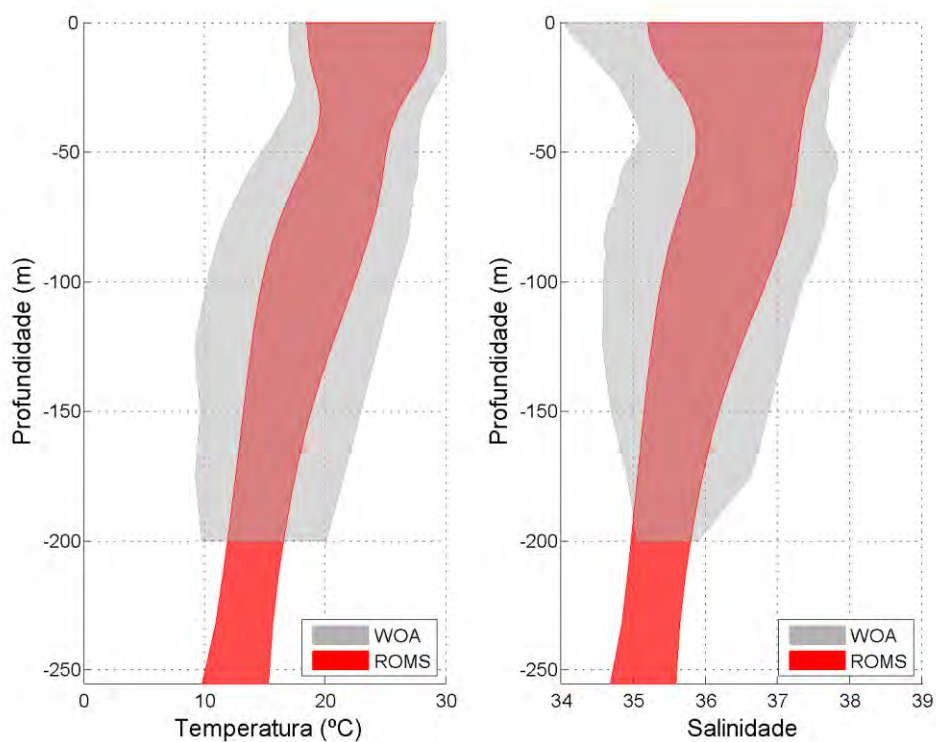


Figura 17: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o Ponto 2.

### 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 BM-S-40, na Bacia de Santos. A localização do ponto de vazamento foi apresentada na Figura 1 e na Tabela 1.

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

- Pequeno porte - 8 m<sup>3</sup>
- Médio Porte - 200 m<sup>3</sup>
- Pior caso (maior volume): 41.219 m<sup>3</sup> (equivalente a 259.260 barris, devido a uma vazão diária de 8.642 barris 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 <sup>3</sup> )	Vazamento	Tempo	Profundidade (m)
Probabilístico					
Pequeno Porte	Cru	8	instantâneo	30 dias	Superfície
Médio Porte	Cru	200	instantâneo	30 dias	Superfície
Pior caso – vazamento de fundo	Cru	41.219	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo
Determinístico					
Tempo mínimo de toque de óleo na costa e Maior massa de óleo acumulada na costa	Cru	41.219	contínuo (30 dias)	60 dias	Fundo





## 3.1. Metodologia

### 3.1.1 Modelo de Transporte

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), modelo desenvolvido pela SINTEF para o cálculo da dispersão de manchas de óleo. A descrição do modelo de dispersão de óleo é apresentada no Anexo II.

### 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 e em 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 III.

### 3.1.3 Estratégias de Modelagem

Para os volumes de 8 m<sup>3</sup> e 200 m<sup>3</sup> foram realizadas simulações de vazamentos instantâneos de óleo cru em superfície, enquanto que para as simulações de eventos de *blowout* foram considerados vazamentos contínuos no fundo marinho de 30 dias por um orifício de 0,47 m (informação da contratante) em dois períodos sazonais, um de setembro a fevereiro (Período 1) e outro de março a agosto (Período 2). Após 30 dias de vazamento foram ainda simulados mais 30 dias para observação do comportamento da deriva do óleo, totalizando 60 dias (1.440 horas) de simulação.

Em todas as simulações foi realizada uma modelagem tridimensional. Este tipo de modelagem permite o mapeamento das frações do óleo que ficam dissolvidas e dispersas na coluna d'água, além da parcela do óleo que fica na superfície.

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo na superfície espessuras maiores ou iguais ao limiar de  $3 \times 10^{-7}$  metros. Esse valor de espessura está em

conformidade com a espessura de iridescência apontada como limiar no Anexo I – Modelagem (SEI nº 7802055) do Ofício nº 605/2020 do IBAMA (COEXP/CGMAC/DILIC).

A resolução CONAMA nº 357 de 2005, em seu texto, estabelece que o padrão para óleos em águas salinas na classe 1 e 2 é “virtualmente ausente”, enquanto que para classe 3 é “toleram-se iridescência”. Dessa forma, entende-se que se não houver iridescências (arco-íris), pode-se considerar a superfície da água com teor de óleo virtualmente ausente.

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

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

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

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.

Ainda citando exemplo, 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.

Para as simulações foram utilizadas as características do óleo do Campo de Baúna, pertencente ao mesmo Bloco BM-S-40. Essas informações são apresentadas na Tabela 3, de acordo a contratante.



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	33,3	º
Densidade	0,855	g/cm³
Viscosidade Cinemática	14,04 (a 20°C)	mm²/s
Ponto de Fluidez ( <i>Pour Point</i> )	11	°C
<i>Flash Point</i>	-	-
Conteúdo máximo de água	-	%
Caracterização química (composição química)		
Componentes do óleo		
Componentes		Fração no óleo (%)
C1-C4 gases (dissolvido no óleo)		1,2820
C5-saturados (n-/iso-/ciclo)		2,4436
C6-saturados (n-/iso-/ciclo)		1,4781
Benzeno		0,2464
C7-saturados (n-/iso-/ciclo)		2,3836
C1-Benzeno (Tolueno) et, B		0,7635
C8-saturados (n-/iso-/ciclo)		3,0092
C2-Benzeno (xilenos; usando O-xileno)		0,7330
C9-saturados (n-/iso-/ciclo)		2,9872
C3-Benzeno		4,5599
C10-saturados (n-/iso-/ciclo)		3,8206
C4 e C4 Benzenos		0,1317
C11-C12 (total sat + aro)		3,9322
Fenóis (C0-C4 alquilado)		0,0063



Naftalenos 1 (C0-C1-alquilado)	0,1859
C13-C14 (total sat + aro)	3,7227
Naftalenos 2 (C2-C3-alquilado)	4,8241
C15-C16 (total sat + aro)	3,6764
HPA 1 (Hidrocarbonetos poliaromático médio solúvel (3 anéis-não-alquilado; < 4 anéis)	0,1593
C17-C18 (total sat + aro)	3,8332
C19-C20 (total sat + aro)	3,9762
Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR: C10 a C36)	0,1008
C21-C25 (total sat + aro)	8,3957
HPA 2 (Hidrocarbonetos poliaromático baixo solúvel (3 anéis-alquilado; 4-5+ anéis))	0,0565
C25+ (total)	43,2919

#### Curva de destilação

Temperatura (°C)	Volume (%)
15	1,8
95	9,9
125	14,1
149	18,2
175	22,7
200	27,1
225	31,3
250	35,4
275	39,5
300	43,5
325	47,5
350	51,7
400	60,6
425	65,2
450	69,7
500	77,6
550	84,0

\* A evaporação apresentou medianas em torno de 40% a 50% do total do volume dos vazamentos.



### 3.1.4 Descrição das Grades

Neste estudo utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 2 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 37°39' S, ao norte, 21° 13' S, a oeste, 59° 17' W e a leste, 39° 16' W (Figura 18). Com isso, obteve-se uma matriz com 968 por 912 pontos de grade.

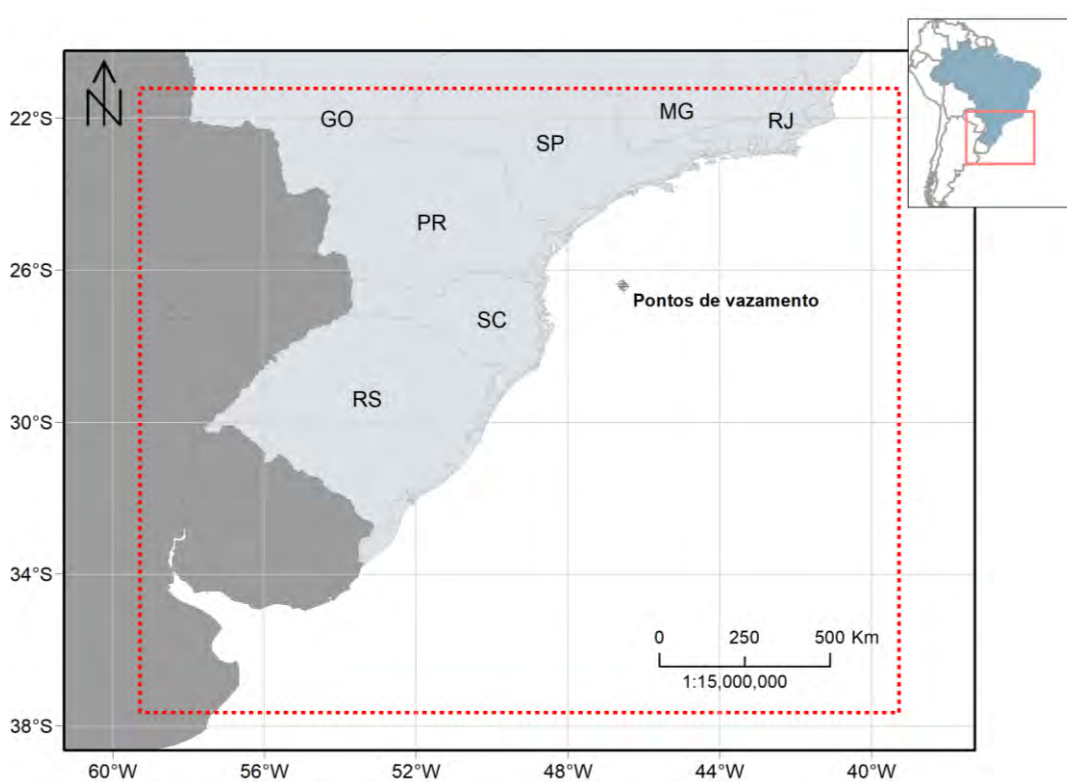


Figura 18: Representação do limite da grade de óleo (linha vermelha tracejada).

Nos cenários de vazamento de superfície ( $8 \text{ m}^3$  e  $200 \text{ m}^3$ ), o número de camadas utilizadas na vertical foi 21, indo de 0 a 202 m de profundidade, totalizando 13.368.096 elementos. Já nos cenários de *blowout* de fundo, o número de camadas utilizadas na vertical foi 27, indo de 0 a 272 m de profundidade, totalizando 23.836.032 elementos.

A grade do modelo de óleo com a batimetria é apresentada na Figura 19. Para manter a concordância com a modelagem hidrodinâmica, os dados de batimetria utilizados são provenientes de cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009).

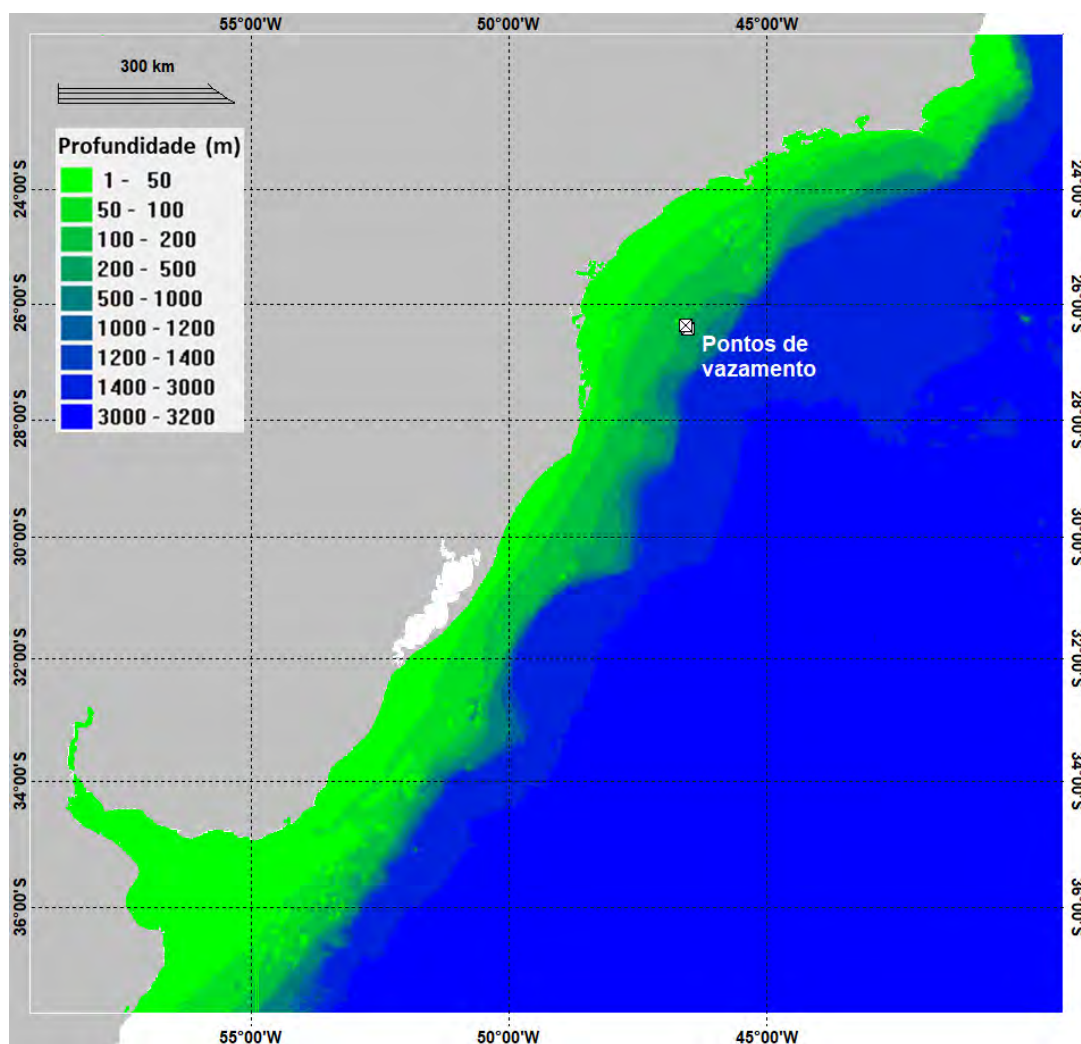


Figura 19: Grade de batimetria utilizada na simulação.

Como discutido no Anexo II – 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 ao 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 cinco tipos de costa predominantes:

- Costão rochoso
- Praia arenosa
- Estrutura artificial abrigada
- Planície de maré
- Manguezal / Marisma / Barra de rio vegetada.

O detalhamento da linha de costa utilizado na grade da modelagem de óleo é apresentado no Anexo IV - 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 são provenientes do ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e a primeira produzida como serviço operacional, com resolução temporal horária e espacial de 31 km em 137 níveis atmosféricos, desde a superfície até 0,01 hPa (HENNERMANN, 2017).

As Reanálises climáticas do ECMWF começaram com o FGGE, produzida na década de 1980, seguida pelo ERA-15, ERA-40 e mais recentemente pelo ERA-Interim. O ERA5 é uma reanálise que cobre dados de 1950 até o presente e atualmente apresenta dados disponibilizados para uso público para o período de 2002 a 2016.

Em relação ao seu antecessor ERA-Interim, as principais melhorias apresentadas no ERA-5 são (HENNERMANN, 2017):

- Resolução espacial e temporal muito maior
- Informações sobre a variação de qualidade em relação ao espaço e ao tempo
- Troposfera otimizada
- Melhor representação de ciclones tropicais
- Melhor equilíbrio global de precipitação e evaporação
- Maior precipitação sobre a terra nos trópicos profundos
- Melhor umidade do solo
- Temperatura mais consistente da superfície do mar e gelo marinho

O ERA5 combina grandes quantidades de observações históricas em estimativas globais utilizando sistemas avançados de modelagem e assimilação de dados. O ERA5 foi produzido usando a assimilação de dados 4DVar em CY41R2 do IFS (*Integrated Forecast System*) do ECMWF. As observações utilizadas na assimilação de dados do ERA-5 incluem dados de satélite e dados *in situ*. Entre os dados de satélite, estão dados de diferentes sensores de uma gama de satélites que inclui AQUA, ERS-2, ENVISAT, JASON-1, JASON-2, entre muitos outros. As observações *in situ* são provenientes do WMO *Information System* (WIS) e incluem dados de estação de terra, boias de deriva, dados de navios, radiossondas, radares, entre outros.

Para este estudo foram utilizados e tratados 5 anos de dados do ERA5 (2012 a 2016) com uma frequência temporal de 1 hora. A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos mensais





(Figura 21), elaboradas para o período analisado, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 4 e Tabela 5) para o ponto mais próximo ao local de vazamento.

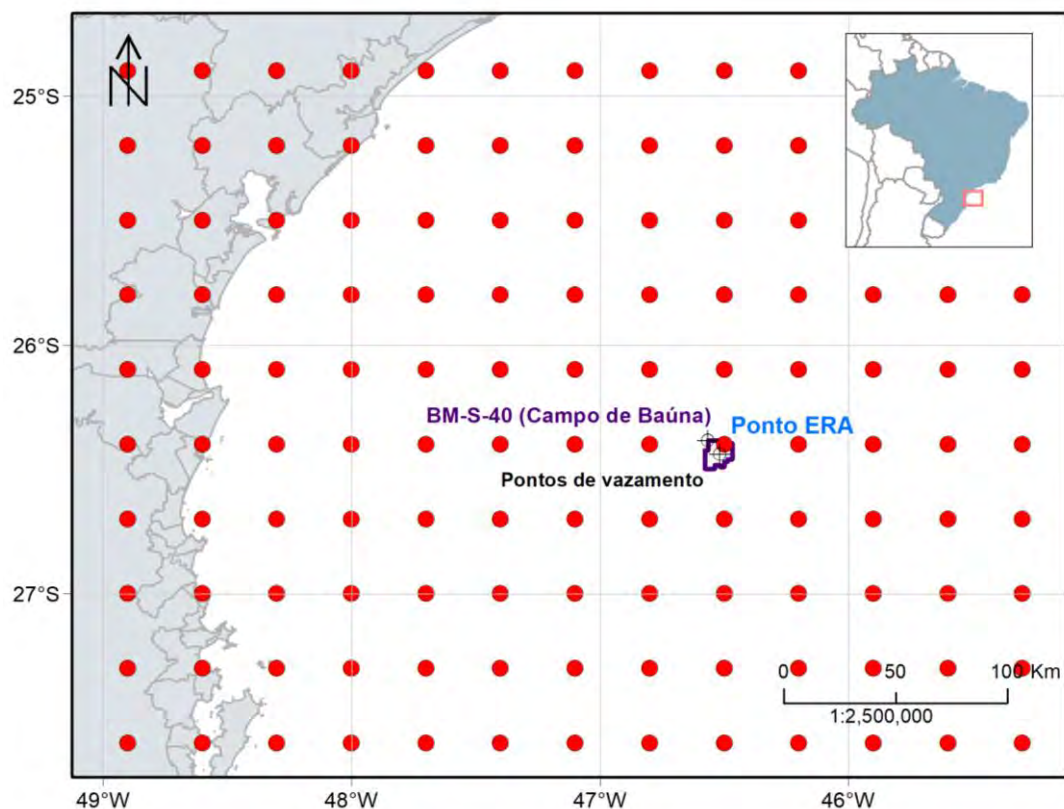


Figura 20: Localização dos pontos de grade do ERA5 (em vermelho) em relação aos pontos de vazamento e ao bloco BM-S-40. Ponto em azul é o mais próximo dos pontos de vazamento.



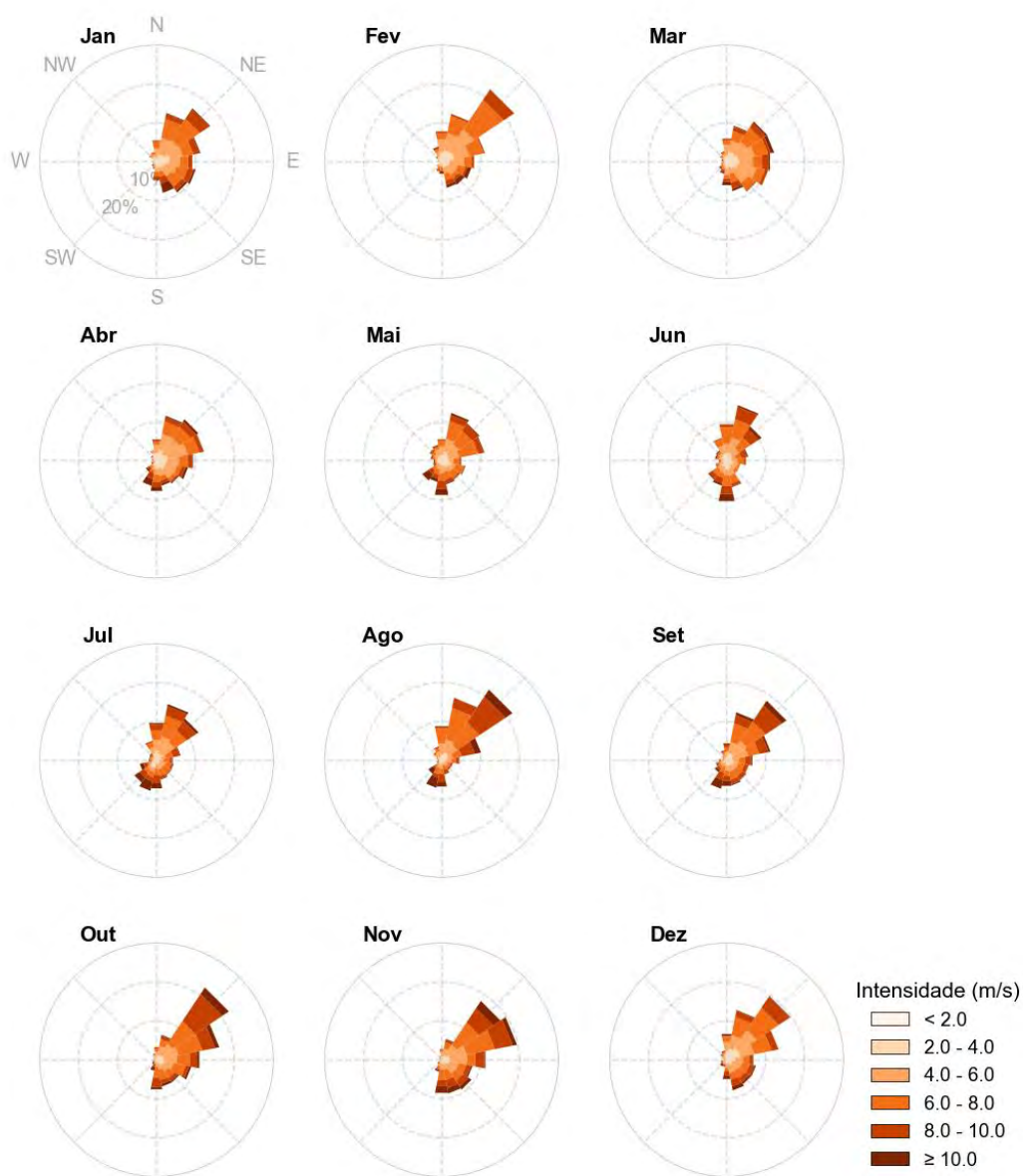


Figura 21: Rosa dos ventos para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo aos pontos de vazamento.

*[Handwritten signature]*

Tabela 4: Ocorrência mensal (%) de direção dos ventos para o ponto mais próximo aos pontos de vazamento.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>N</b>	5,59	7,95	6,05	5,72	5,75	9,64	9,78	9,01	4,50	3,28	2,78	6,75
<b>NNE</b>	12,82	12,59	9,46	11,89	12,63	14,67	14,76	16,42	12,61	6,56	5,50	13,01
<b>NE</b>	16,56	22,42	12,47	12,92	11,72	10,78	12,98	21,85	18,47	22,31	18,14	19,68
<b>ENE</b>	11,51	11,38	12,42	12,44	11,24	5,67	6,32	10,32	11,50	16,42	19,72	13,60
<b>E</b>	9,38	8,48	11,32	9,53	5,11	5,03	4,22	4,68	6,72	11,18	11,44	6,99
<b>ESE</b>	10,24	7,81	10,89	8,25	6,24	3,61	4,46	3,01	5,81	9,11	8,08	7,66
<b>SE</b>	9,52	7,07	9,22	6,92	5,73	3,75	4,54	2,96	6,11	7,04	9,22	7,55
<b>SSE</b>	8,15	6,81	7,69	6,44	6,05	6,83	5,05	3,66	6,53	7,02	8,83	8,04
<b>S</b>	4,84	3,08	6,08	7,78	8,84	10,44	7,28	6,83	6,64	7,72	8,67	5,03
<b>SSO</b>	1,96	2,55	3,15	6,47	5,46	6,39	7,96	7,15	7,42	2,90	3,14	1,85
<b>SO</b>	1,48	1,64	2,37	3,33	5,97	5,72	6,85	4,14	3,69	1,37	1,31	2,07
<b>OSO</b>	0,97	0,56	1,51	1,42	2,23	2,97	4,41	1,26	2,81	1,08	0,61	1,51
<b>O</b>	1,05	0,73	1,10	0,94	2,04	1,97	1,99	0,94	1,94	0,70	0,36	0,75
<b>ONO</b>	1,02	1,00	1,40	1,22	2,93	3,06	1,99	1,45	1,08	0,81	0,47	1,16
<b>NO</b>	2,28	1,88	2,10	1,78	3,74	3,33	2,20	2,63	1,47	0,78	0,75	1,96
<b>NNO</b>	2,63	4,05	2,80	2,94	4,33	6,14	5,19	3,68	2,69	1,72	0,97	2,39

Tabela 5: Ocorrência mensal (%) de intensidade dos ventos para o ponto mais próximo aos pontos de vazamento.

Mês	Intensidade (m/s)					
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	>10
Janeiro	8,12	17,61	28,31	28,39	12,74	4,84
Fevereiro	6,81	19,84	32,16	28,73	8,60	3,87
Março	6,21	21,72	33,36	24,03	10,05	4,62
Abril	7,67	22,17	31,47	20,31	11,86	6,53
Maio	5,56	19,25	25,43	30,00	12,77	6,99
Junho	6,22	19,83	25,08	28,69	14,47	5,69
Julho	4,78	16,88	24,19	27,23	17,31	9,60
Agosto	5,35	12,55	20,46	30,56	21,16	9,92
Setembro	3,64	16,08	24,44	27,42	19,61	8,81
Outubro	4,87	11,42	24,06	30,91	20,89	7,85
Novembro	3,92	12,42	25,44	29,78	19,67	8,78
Dezembro	6,42	18,28	28,41	27,31	14,14	5,43



### 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 22 e Figura 23) para os pontos mais próximos dos pontos de vazamento, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade

Tabela 6 a Tabela 9).

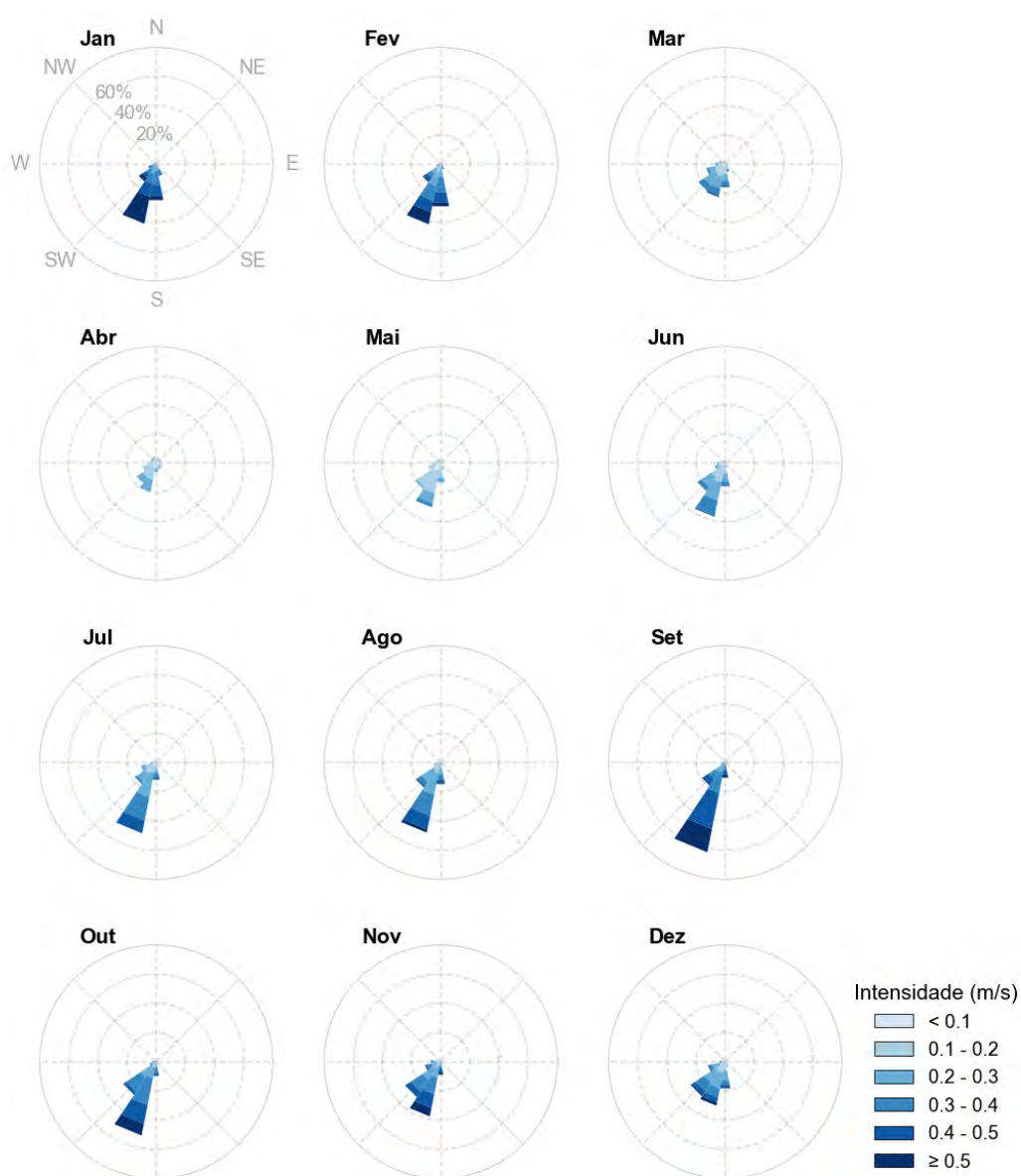


Figura 22: Rosa de correntes para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo ao Ponto 1.

Tabela 6: Ocorrência mensal (%) de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Ponto1.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>N</b>	0,3	-	0,9	2,2	2,6	0,6	0,4	0,3	0,1	0,4	0,1	0,3
<b>NNE</b>	-	-	0,5	3,8	0,7	0,4	0,5	0,1	0,3	-	-	0,1
<b>NE</b>	0,3	0,2	0,3	3,5	0,7	0,3	0,3	-	-	0,1	0,1	-
<b>ENE</b>	-	0,2	0,3	4,0	0,7	0,4	-	0,4	-	0,1	0,1	0,1
<b>E</b>	0,1	0,3	0,5	3,2	1,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	-	0,1
<b>ESE</b>	0,5	0,9	0,9	4,2	0,4	1,0	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>SE</b>	1,2	2,2	2,3	4,0	1,9	1,0	0,3	1,1	0,1	0,3	0,6	0,3
<b>SSE</b>	8,2	3,8	5,4	4,6	4,6	2,6	2,0	1,6	1,3	0,9	1,4	3,6
<b>S</b>	25,0	29,4	15,9	5,8	13,3	16,1	12,0	15,1	10,6	9,8	9,0	18,7
<b>SSO</b>	41,6	42,0	23,1	20,0	30,8	37,4	49,5	48,9	62,6	51,5	38,2	30,7
<b>SO</b>	14,4	14,9	22,0	16,1	21,2	22,9	17,7	20,6	19,0	27,3	29,3	28,5
<b>OSO</b>	5,5	3,1	13,2	9,3	8,7	7,2	10,6	5,0	2,6	4,6	11,0	12,0
<b>O</b>	1,8	1,8	6,6	6,0	5,9	5,4	3,6	2,6	1,4	2,4	6,5	3,8
<b>ONO</b>	0,8	1,2	4,2	4,0	1,9	2,2	1,3	1,5	0,8	1,3	2,4	1,1
<b>NO</b>	0,3	0,3	2,3	4,3	2,6	1,4	0,7	1,3	0,7	0,5	1,0	0,3
<b>NNO</b>	-	-	1,6	5,0	2,8	1,0	0,5	0,8	0,1	0,4	0,1	0,3

Tabela 7: Ocorrência mensal (%) de intensidade das correntes para o Ponto 1.

Mês	Intensidade (m/s)					
	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
<b>Janeiro</b>	2,2	7,0	18,3	26,0	21,3	25,3
<b>Fevereiro</b>	4,4	17,0	21,6	26,2	18,7	12,1
<b>Março</b>	14,9	35,1	30,5	15,3	3,5	0,7
<b>Abril</b>	33,5	43,6	21,0	1,8	0,1	-
<b>Mai</b>	28,8	53,5	14,7	3,1	-	-
<b>Junho</b>	14,0	35,7	30,7	17,8	1,8	-
<b>Julho</b>	13,4	23,0	30,8	22,6	10,1	0,1
<b>Agosto</b>	7,9	21,9	32,0	22,2	13,2	2,8
<b>Setembro</b>	1,4	5,4	15,3	25,4	33,6	18,9
<b>Outubro</b>	3,2	11,2	23,4	36,4	17,3	8,5
<b>Novembro</b>	3,6	14,9	27,1	27,5	19,0	7,9
<b>Dezembro</b>	4,9	26,5	35,9	19,1	9,4	4,2

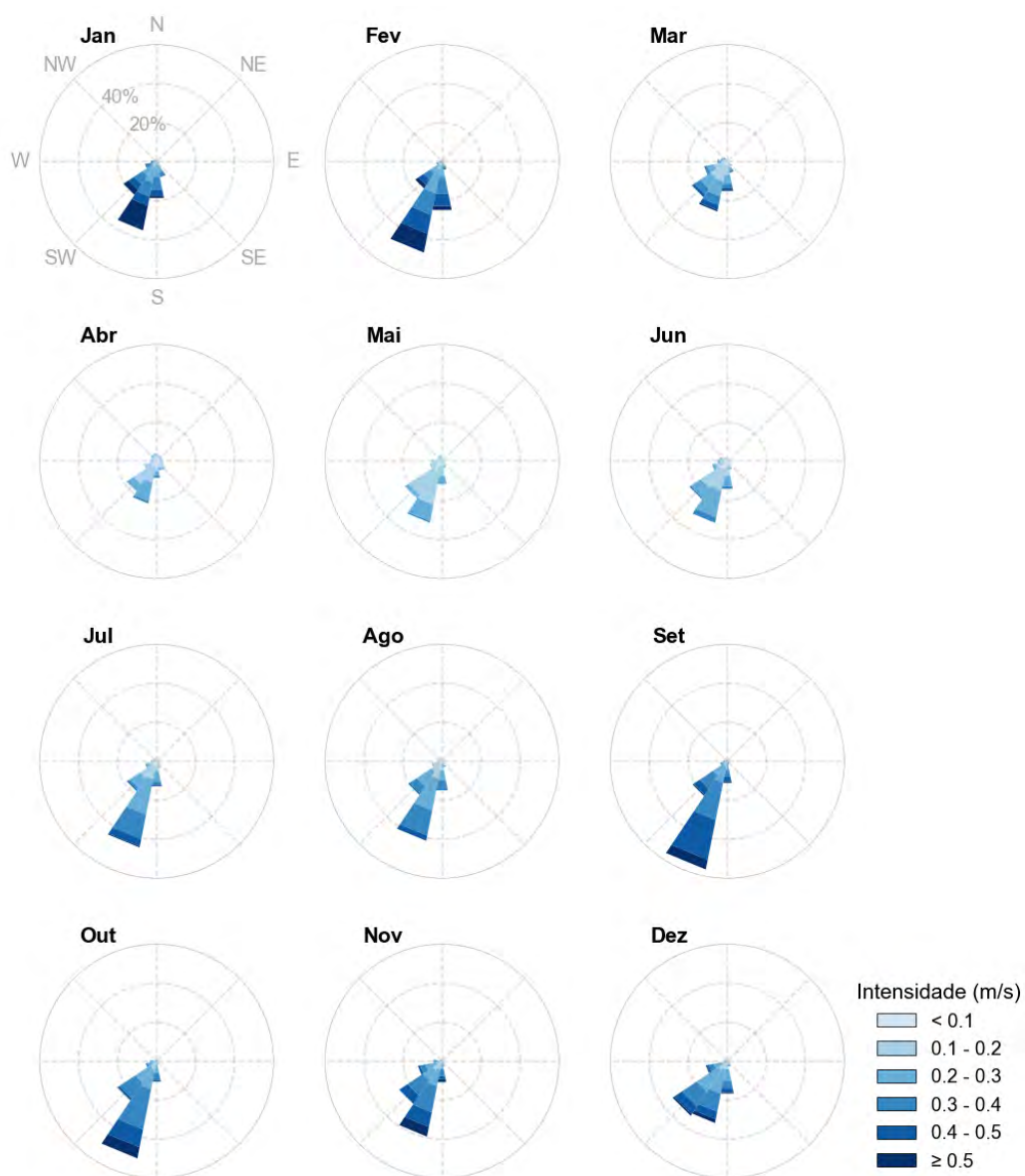


Figura 23: Rosa de correntes para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo ao Ponto 2.

*[Handwritten signature]*

Tabela 8: Ocorrência mensal (%) de direção das correntes para o ponto mais próximo ao Ponto 2.

Direção	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>N</b>	0,3	-	0,7	4,0	2,0	0,6	0,7	0,9	0,1	0,3	0,1	0,3
<b>NNE</b>	0,4	0,2	0,5	3,1	1,2	1,0	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	-
<b>NE</b>	0,5	-	0,7	3,8	1,5	0,4	1,1	0,8	0,1	-	-	-
<b>ENE</b>	0,3	-	0,5	2,8	0,8	0,1	0,5	0,7	-	0,3	0,3	-
<b>E</b>	0,1	-	0,5	3,3	0,7	1,0	0,7	0,8	0,1	-	0,1	0,1
<b>ESE</b>	1,5	0,4	0,5	3,6	1,3	0,8	0,9	1,5	0,1	0,3	0,3	-
<b>SE</b>	1,5	1,2	2,7	5,3	2,4	1,1	2,2	1,2	0,3	0,5	0,6	0,1
<b>SSE</b>	8,2	4,4	5,9	4,9	3,6	4,4	3,8	3,2	1,5	1,3	2,6	2,9
<b>S</b>	19,0	25,3	15,3	8,5	11,8	14,3	13,0	15,1	11,3	10,8	11,0	16,9
<b>SSO</b>	35,9	47,5	26,1	21,9	32,0	32,1	45,0	41,5	56,5	50,8	39,4	32,3
<b>SO</b>	20,5	16,5	21,9	18,5	22,9	23,3	18,4	20,7	21,4	24,3	26,4	33,7
<b>OSO</b>	6,1	2,9	12,1	6,7	6,3	7,9	6,1	5,4	3,8	5,8	12,6	11,2
<b>O</b>	3,0	1,3	5,0	3,3	5,4	4,9	3,0	2,2	1,9	3,4	4,3	1,8
<b>ONO</b>	1,4	0,2	3,5	2,6	2,8	4,2	1,9	2,8	1,1	0,9	1,1	0,6
<b>NO</b>	0,7	0,2	2,6	3,8	1,9	2,2	1,3	1,5	0,6	0,5	0,7	0,1
<b>NNO</b>	0,8	-	1,5	4,0	3,4	1,7	1,1	1,6	0,8	0,4	0,3	-

Tabela 9: Ocorrência mensal (%) de intensidade das correntes para o Ponto 2.

Mês	Intensidade (m/s)					
	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
<b>Janeiro</b>	3,4	12,7	28,7	25,4	12,1	17,8
<b>Fevereiro</b>	2,5	10,7	26,8	26,0	20,2	13,9
<b>Março</b>	15,7	36,2	27,7	12,6	6,6	1,2
<b>Abril</b>	33,2	41,9	21,8	2,4	0,7	-
<b>Maio</b>	25,1	56,1	17,6	1,2	-	-
<b>Junho</b>	22,8	41,5	29,9	5,8	-	-
<b>Julho</b>	15,9	29,2	32,8	16,4	5,2	0,5
<b>Agosto</b>	11,6	28,4	33,3	22,7	4,0	-
<b>Setembro</b>	1,3	10,0	22,2	32,6	27,6	6,3
<b>Outubro</b>	2,3	15,1	28,5	36,7	11,4	6,1
<b>Novembro</b>	4,9	15,6	26,1	30,8	16,1	6,5
<b>Dezembro</b>	3,3	16,4	38,3	25,9	12,3	3,8



### 3.1.5.3 Separação Sazonal

A partir da observação das informações de ventos (item 3.1.5.1) e correntes (item 3.1.5.2) são identificadas duas condições sazonais a serem utilizadas no estudo.

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

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

A partir da observação das rosas dos ventos do ponto do ERA5 próximo ao ponto de vazamento, que trazem informações sobre as frequências de ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos na região, foi observado em ambos os períodos, há maior frequência e incidência de ventos do primeiro quadrante, com predominância de ventos de NE. Porém no Período 2 há maior variedade de direções. Em relação às intensidades, no Período 1 predominam ventos entre 4 – 6 m/s, enquanto no Período 2 as velocidades são principalmente entre 6 – 8 m/s na maioria dos meses.

Em relação às correntes, a região do ponto de vazamento se encontra sob influência da Corrente do Brasil. A direção preferencial é para SSO em praticamente todos os meses em ambos os pontos, porém no Período 2 há maior variação de direção, assim como observado para os ventos. Em geral, as intensidades são maiores nos meses do Período 1 do que no Período 2, em que há um enfraquecimento da CB.





### 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.

Os perfis apresentados (Figura 24 e Figura 25) representam a média dos dados para os pontos de grade mais próximo dos pontos de vazamento e dentro dos períodos sazonais escolhidos (item 3.1.5.3).

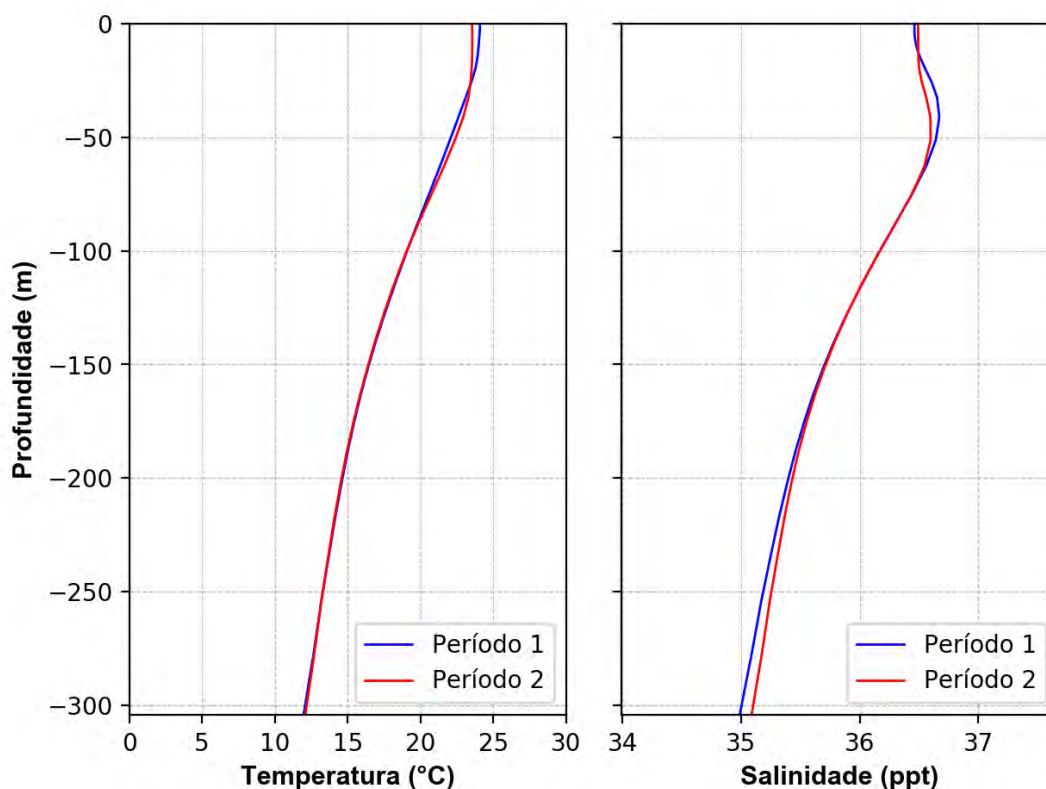


Figura 24: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao Ponto 1.



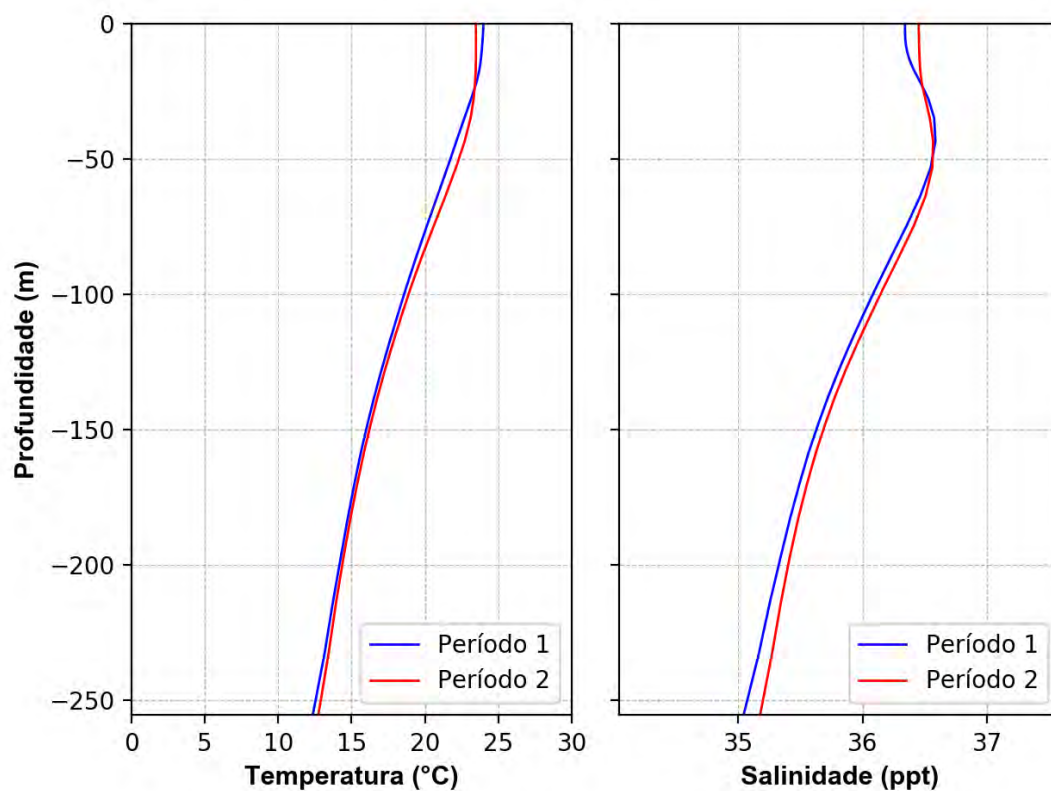


Figura 25: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao Ponto 2.

### 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 ERA5 mais próximo aos pontos de vazamento (Figura 20). Os resultados podem ser observados na Figura 26.

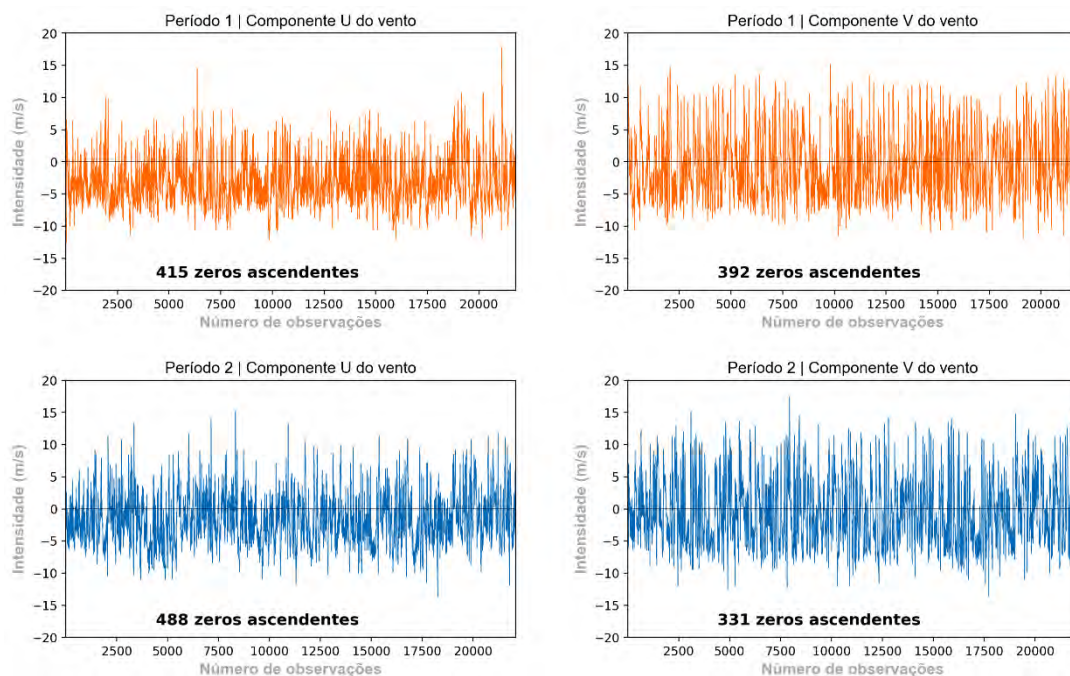


Figura 26: Séries temporais das componentes “u” e “v” do vento para o ponto de vazamento e o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que o número de zeros ascendentes para a componente zonal (u) do vento foi de 415 para o Período 1 e 488 para o Período 2. Já a componente meridional (v) apresentou 392 zeros ascendentes no Período 1 e 331 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 415 e 488 para os períodos 1 e 2, respectivamente. No estudo em questão foram utilizadas 500 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 10.

Tabela 10: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de dispersão de óleo.

Parâmetros do modelo			
Número de partículas	Gotículas (não dissolvidas)	20.000	
	Dissolvidas	20.000	
Dimensão da grade	Zonal	~2.000	km
	Meridional	~2.000	km
Resolução da grade	Direção X (longitude)	2	km
	Direção Y (latitude)	2	km
	Direção Z (profundidade)	10	m
Profundidade para grade de concentração	Min:	0	m
	Max (vazamentos superfície / vazamento de fundo)	202 / 272	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
Duração da simulação (vazamentos superfície / vazamento de fundo)		30 / 60	dias
Número de simulações no modo probabilístico		500	Período 1
		500	Período 2

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 para todos os diferentes volumes de vazamentos a partir dos pontos de risco considerados no Bloco BM-S-40.

Na abordagem probabilística são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos (correntes e ventos). 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 nos diferentes cenários simulados (Figura 27).

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 500 diferentes simulações para cada cenário (período 1 e período 2) nos diferentes volumes de vazamento, totalizando: 3.000 possíveis trajetórias do óleo. Este número de simulações foi definido conforme descrito no item 3.1.6 – Variabilidade Ambiental.

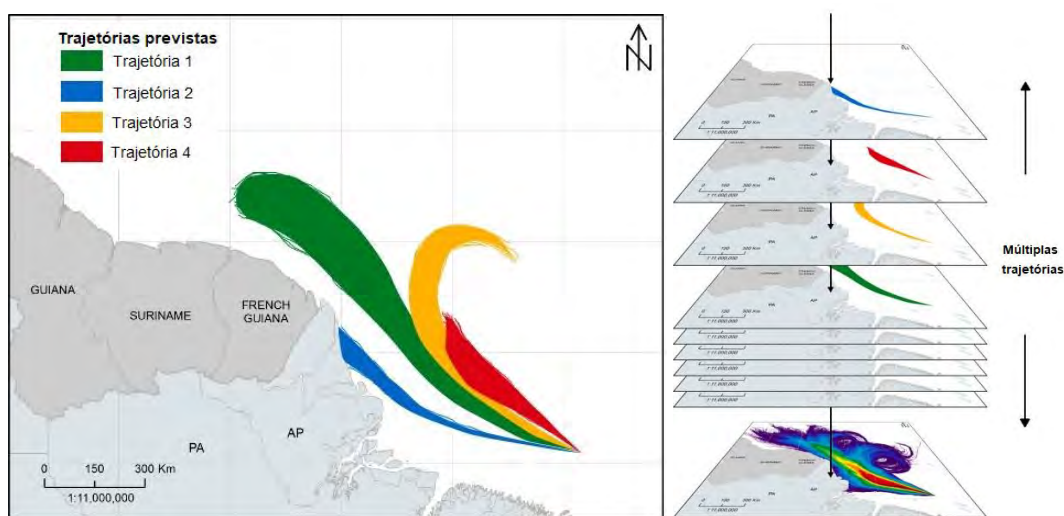


Figura 27: Exemplos de quatro trajetórias de derramamentos individuais para um cenário de vazamento genérico (à esquerda). Centenas de trajetórias individuais são sobrepostas umas sobre as outras, como mostrado à direita para calcular os resultados estocásticos (probabilidade, tempos mínimos de chegada, 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. Dessa forma, foram selecionadas simulações específicas como exemplo para uma análise mais detalhada. As simulações selecionadas foram as com menor tempo de chegada de óleo na costa e a maior massa de óleo atingindo a de costa dentre os cenários simulados, em cada caso.

### 3.2.1 Resultados Probabilísticos

A seguir serão apresentados os resultados do modo probabilístico para os vazamentos de óleo cru a partir do Bloco BM-S-40, na Bacia de Santos, para:

- » dois pontos de vazamento (Ponto 1 e Ponto 2);
- » três volumes (8 m<sup>3</sup>, 200 m<sup>3</sup> e pior caso – 41.219 m<sup>3</sup>);
- » dois cenários sazonais definidos, Período 1 (setembro a fevereiro) e Período 2 (março a agosto);



### 3.2.1.1 Ponto 1

#### 3.2.1.1.1 Vazamento de 8 m<sup>3</sup>

Para os vazamentos de 8 m<sup>3</sup>, o padrão da área com probabilidade de presença é similar entre os períodos sazonais, com deriva preferencial do óleo para sudoeste em função da Corrente do Brasil e dos ventos de nordeste. No Período 2 se observa maior variação da deriva devido à maior variação das direções do vento.

Valores de probabilidade acima de 30% são observados a uma distância máxima de 13 km. Áreas com probabilidades menores, inferiores a 5%, são observadas até 163 km de distância do ponto de vazamento. As regiões mais afastadas podem ser alcançadas em até 7 dias em ambos os períodos.

Nestes cenários não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação. A menor distância que o óleo alcança em relação à costa é de 85 km no Período 1 e de 110 km no Período 2, ambos em relação a Florianópolis – SC.

Na coluna d'água, a área de probabilidade se estende a uma distância máxima de 23 km e 15 km do ponto de vazamento nos períodos 1 e 2, respectivamente. A profundidade máxima alcançada é de 22 metros, com valores inferiores a 5%.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da evaporação, mediana em torno de 50%, seguido pela dispersão do óleo na coluna d'água (mediana em torno de 32%). O valor mediano da degradação foi em torno de 16% do total de óleo e, após 30 dias, o óleo em superfície tem mediana inferior a 1% do total. No fundo marinho, os valores foram inferiores a 1% em todas as simulações.

Os mapas de probabilidade de presença de óleo e de tempo mínimo de chegada, além do gráfico de balanço de massa para o vazamento de 8 m<sup>3</sup> no Período 1 e Período 2 são apresentados a seguir.



### 3.2.1.1.1.1 Período 1

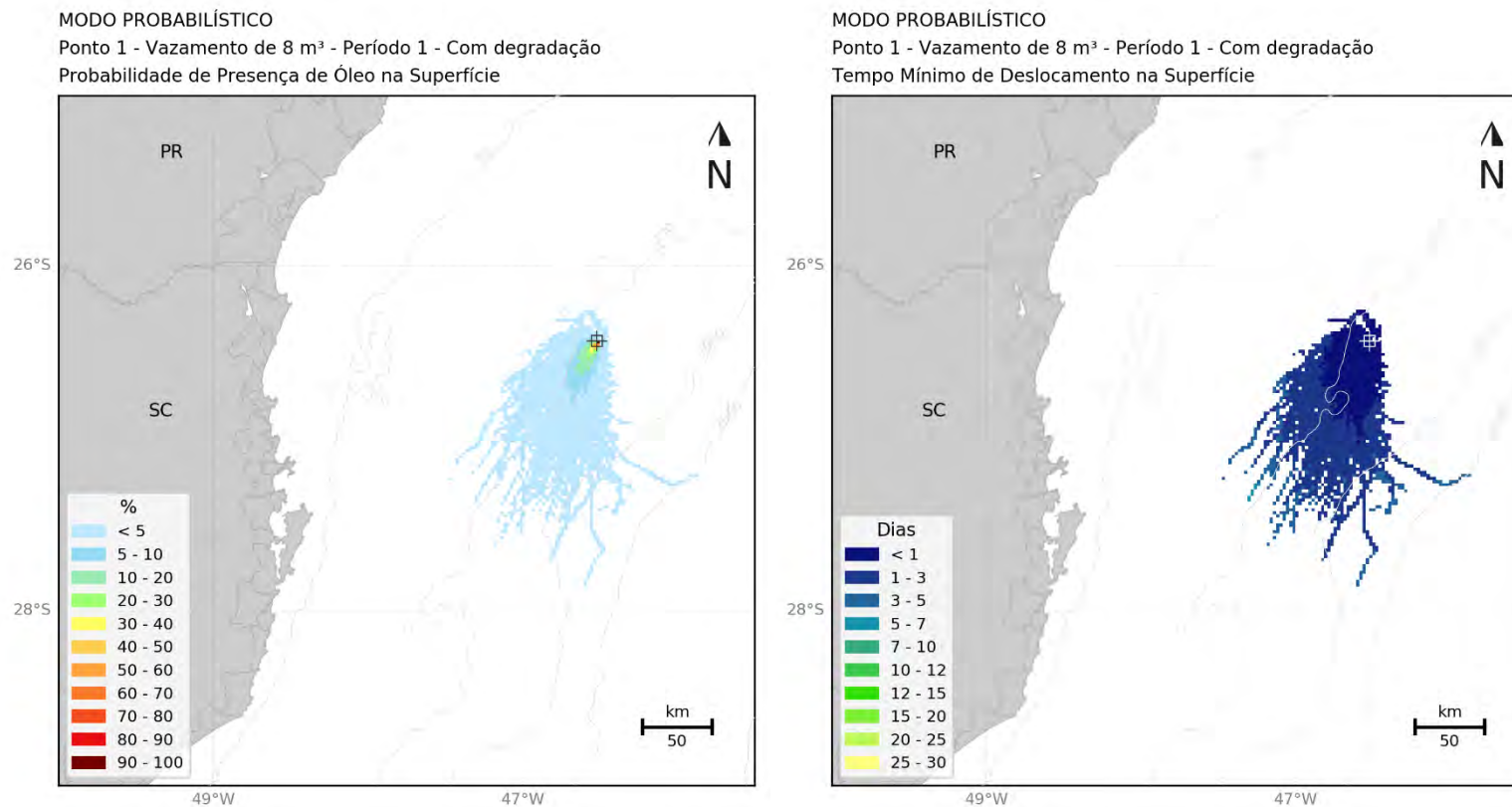


Figura 28: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

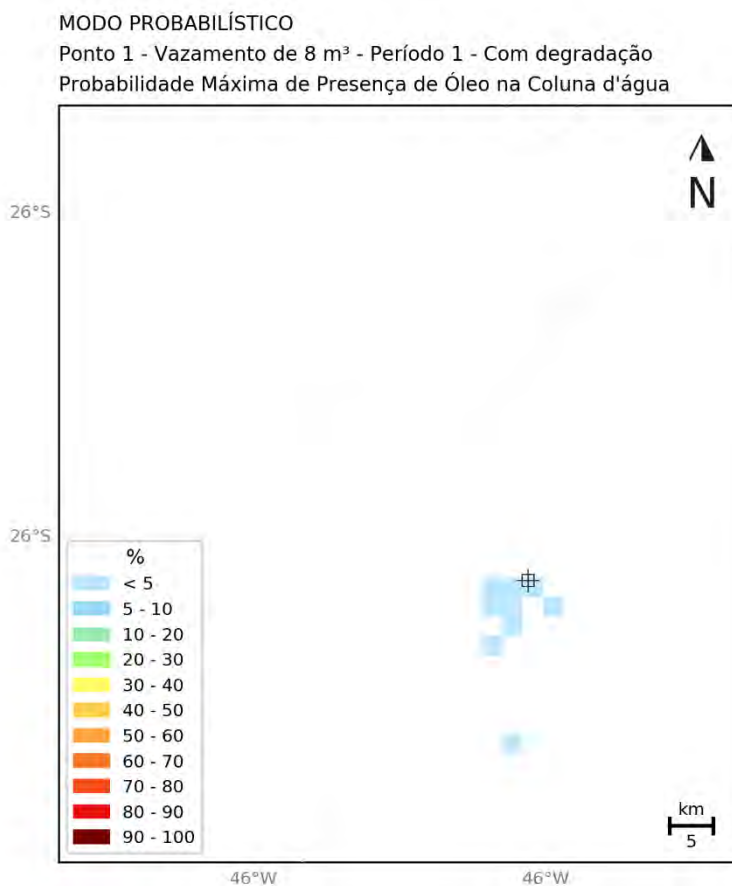


Figura 29: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 1, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 1 (março a agosto). Simulação de 30 dias.

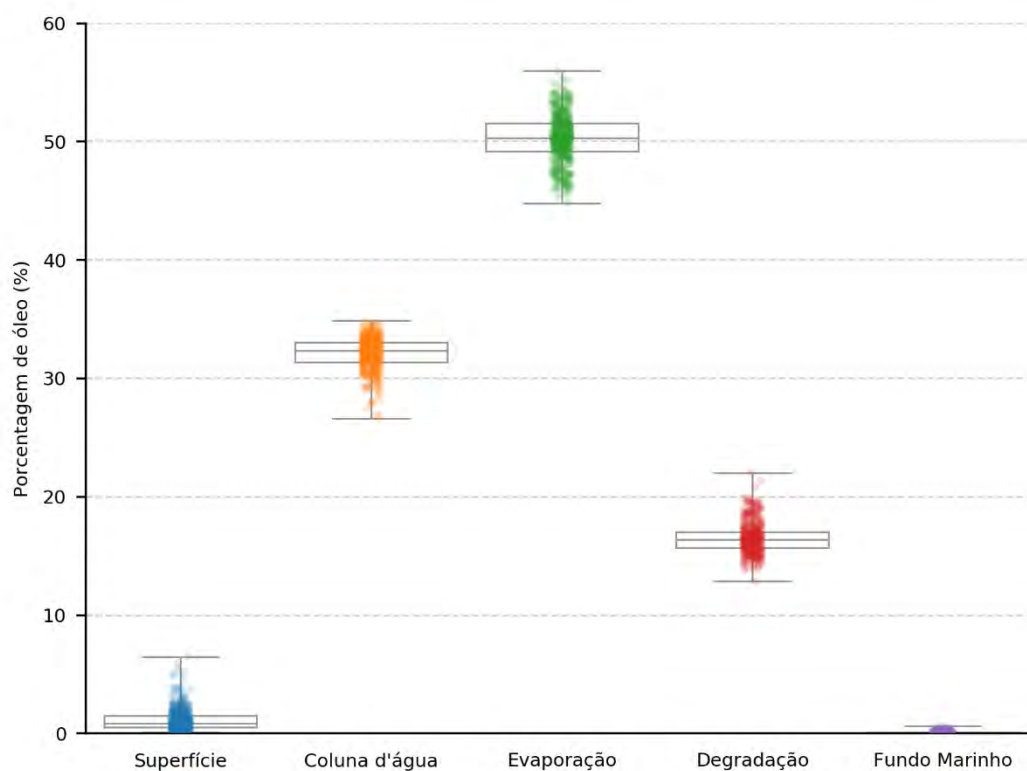


Figura 30: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 8 m<sup>3</sup>.  
Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

### 3.2.1.1.1.2 Período 2

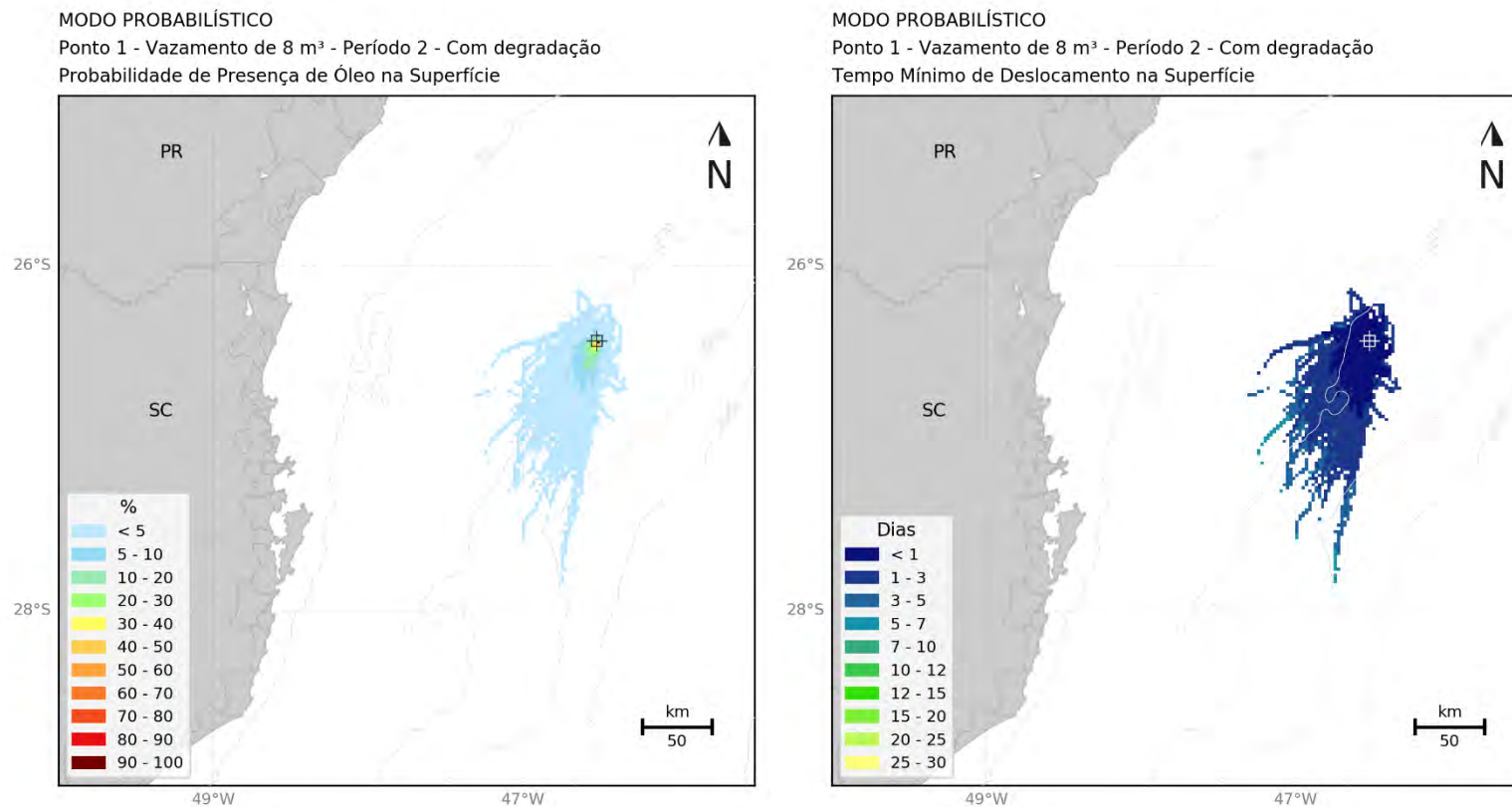


Figura 31: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

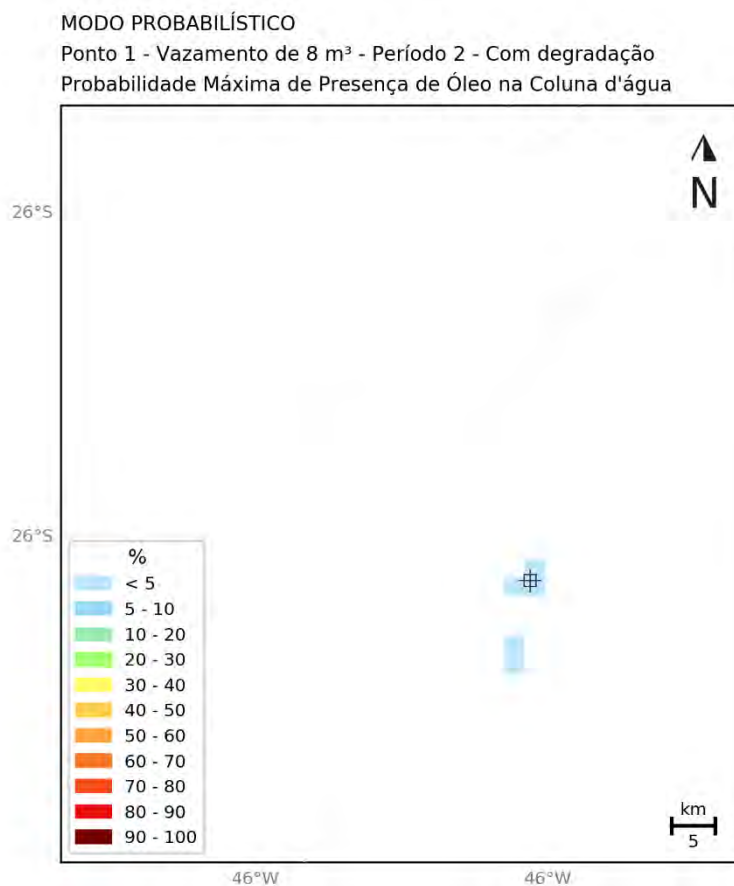


Figura 32: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 1, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 30 dias.



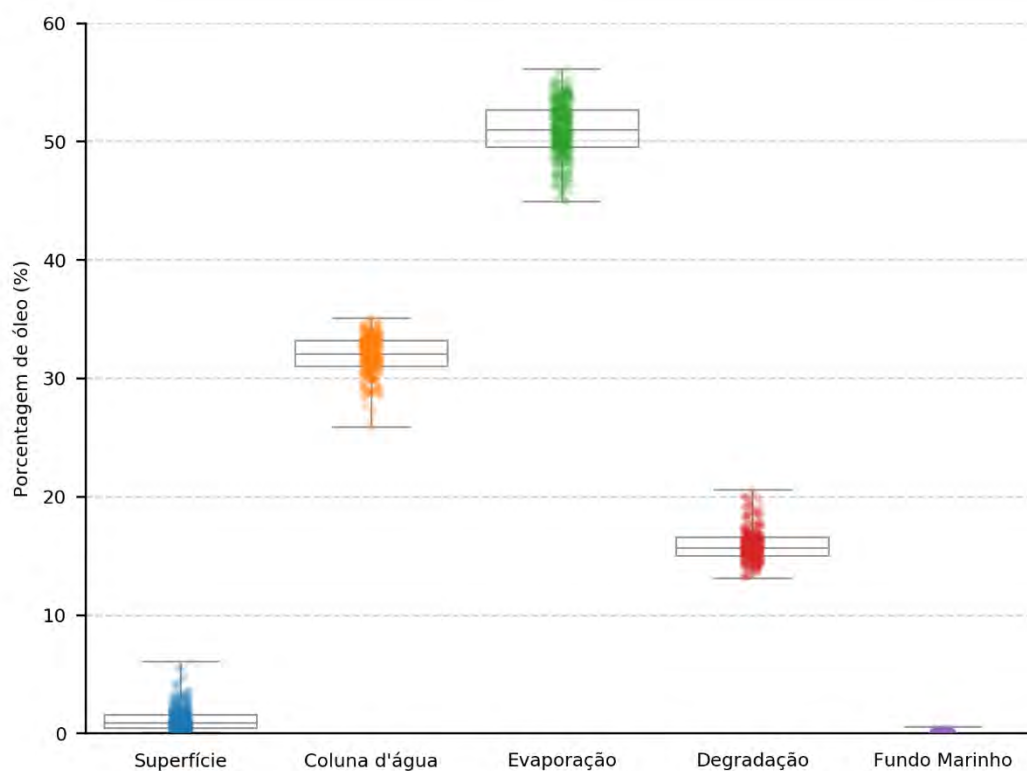


Figura 33: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 8 m<sup>3</sup>.  
Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

### 3.2.1.1.2 Vazamento de 200 m<sup>3</sup>

Nesses cenários de vazamentos de 200 m<sup>3</sup>, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste em função da Corrente do Brasil e dos ventos de nordeste. No Período 2 se observa maior extensão da área de probabilidade em superfície para norte, associada a probabilidades baixas, devido ao aumento dos ventos de quadrante sul.

Para este volume de vazamento só há probabilidade de chegada de óleo na costa no Período 1, de 0,2% em Imbituba – SC. Não é observada probabilidade em superfície próxima ao local em que ocorre o toque na costa. Isto ocorre porque o óleo pode chegar à costa em espessuras abaixo do limiar de detecção considerado para a superfície ( $3 \times 10^{-7}$  metros, conforme apresentado no item 3.1.3. Estratégias de Modelagem) e acumular na costa acima do limiar.

No Período 2, a menor distância que o óleo alcança em relação à costa é de 58 km até Florianópolis – SC. Nas Unidades de Conservação também só há probabilidade de presença de óleo no Período 1, de 0,2% na APA da Baleia Franca.

Valores de probabilidade acima de 30% são observados próximos ao ponto de vazamento, a uma distância máxima de 30 e 25 km nos períodos 1 e 2, respectivamente. Já áreas com valores de probabilidades menores, de até 5%, são observadas a distâncias de até 318 km do ponto de vazamento no Período 1 e 298 km no Período 2. As regiões mais afastadas em superfície podem ser alcançadas em até 12 dias. No Período 1, o tempo de chegada do óleo em Imbituba – SC é de 11 dias.

A distribuição de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, nas camadas mais superficiais, é similar à observada em superfície, porém com área menor e com valor máximo entre 40-50% no Período 1 e entre 50-60% no Período 2, próximo ao ponto de vazamento. O alcance máximo em profundidade é de 42 metros em ambos os cenários.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, semelhante aos vazamentos de 8 m<sup>3</sup>, observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da evaporação, mediana em torno de 53%, seguido pela dispersão do óleo na coluna d'água (mediana em torno de 30%). O valor mediano da degradação foi cerca de 14% do total de óleo e após 30 dias, o óleo em superfície teve mediana inferior a 2% do total e no fundo marinho os valores foram inferiores a 1% em todas as simulações. No Período 1, o percentual máximo acumulado na costa foi em torno de 3% do total de óleo vazado.

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e coluna d'água e de tempo mínimo de chegada, além do gráfico de balanço de massa para o vazamento de 200 m<sup>3</sup> no Período 1 e Período 2 são apresentados a seguir.



### 3.2.1.1.2.1 Período 1

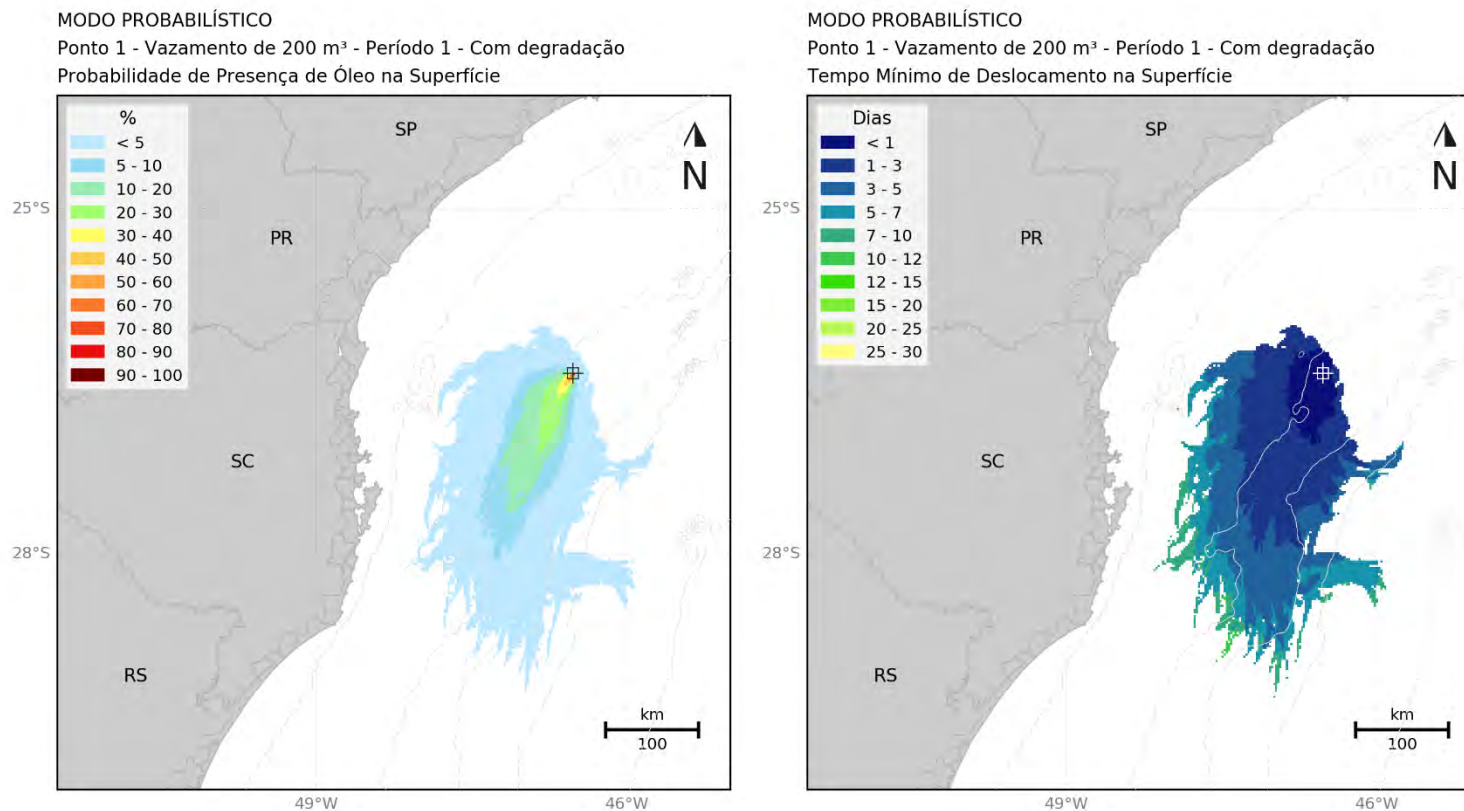
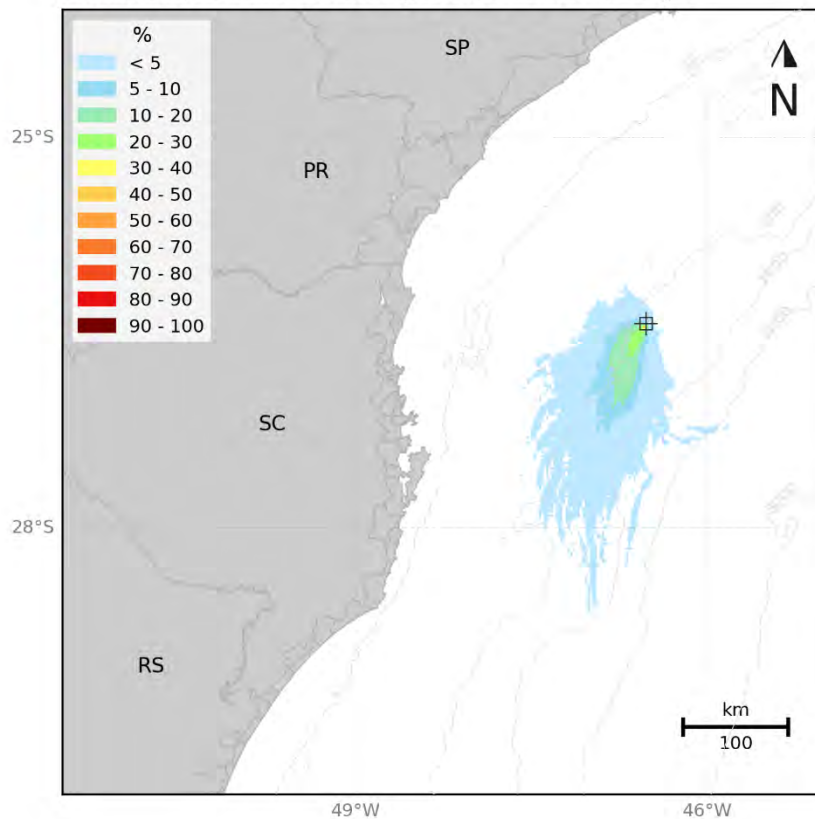


Figura 34: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para Ponto 1, o vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 1 - Vazamento de 200 m<sup>3</sup> - Período 1 - Com degradação  
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água



**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 1 - Vazamento de 200 m<sup>3</sup> - Período 1 - Com degradação  
Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

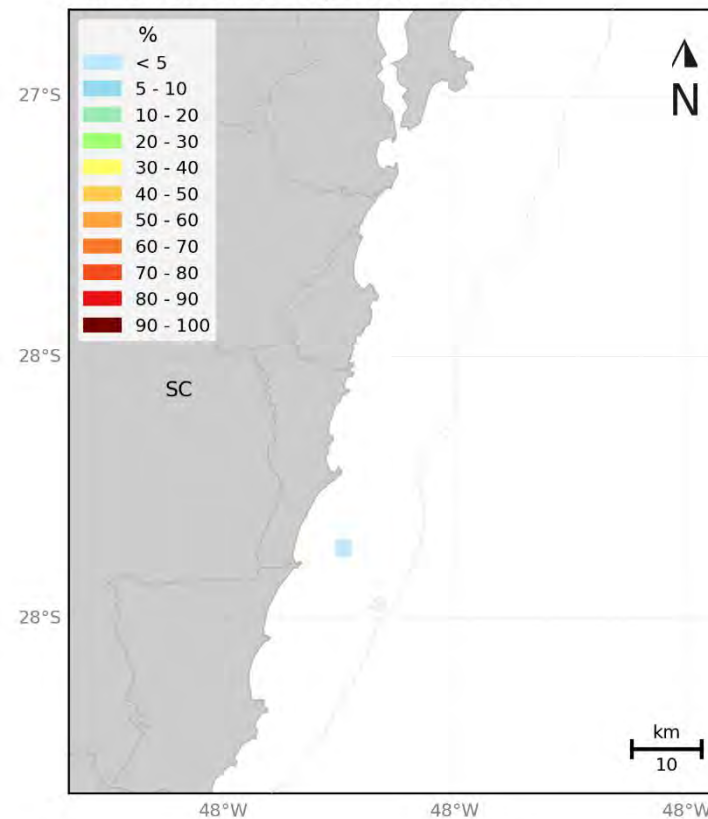


Figura 35: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água e na costa para o Ponto 1, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

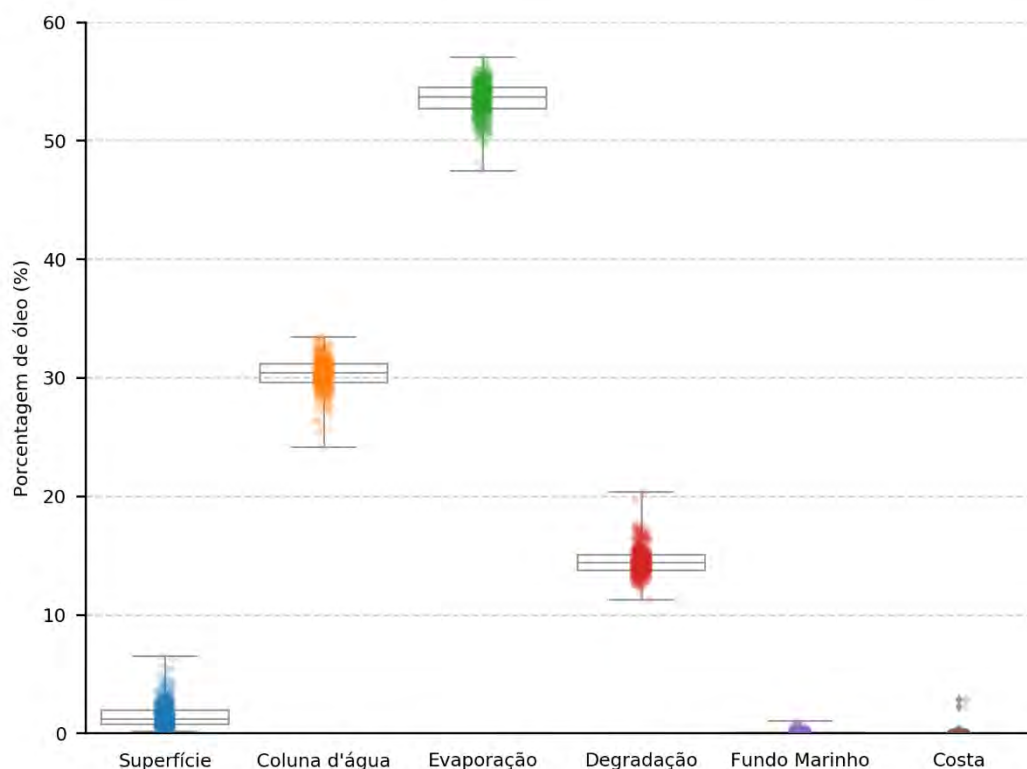


Figura 36: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 200 m<sup>3</sup>.  
Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

### 3.2.1.1.2.2 Período 2

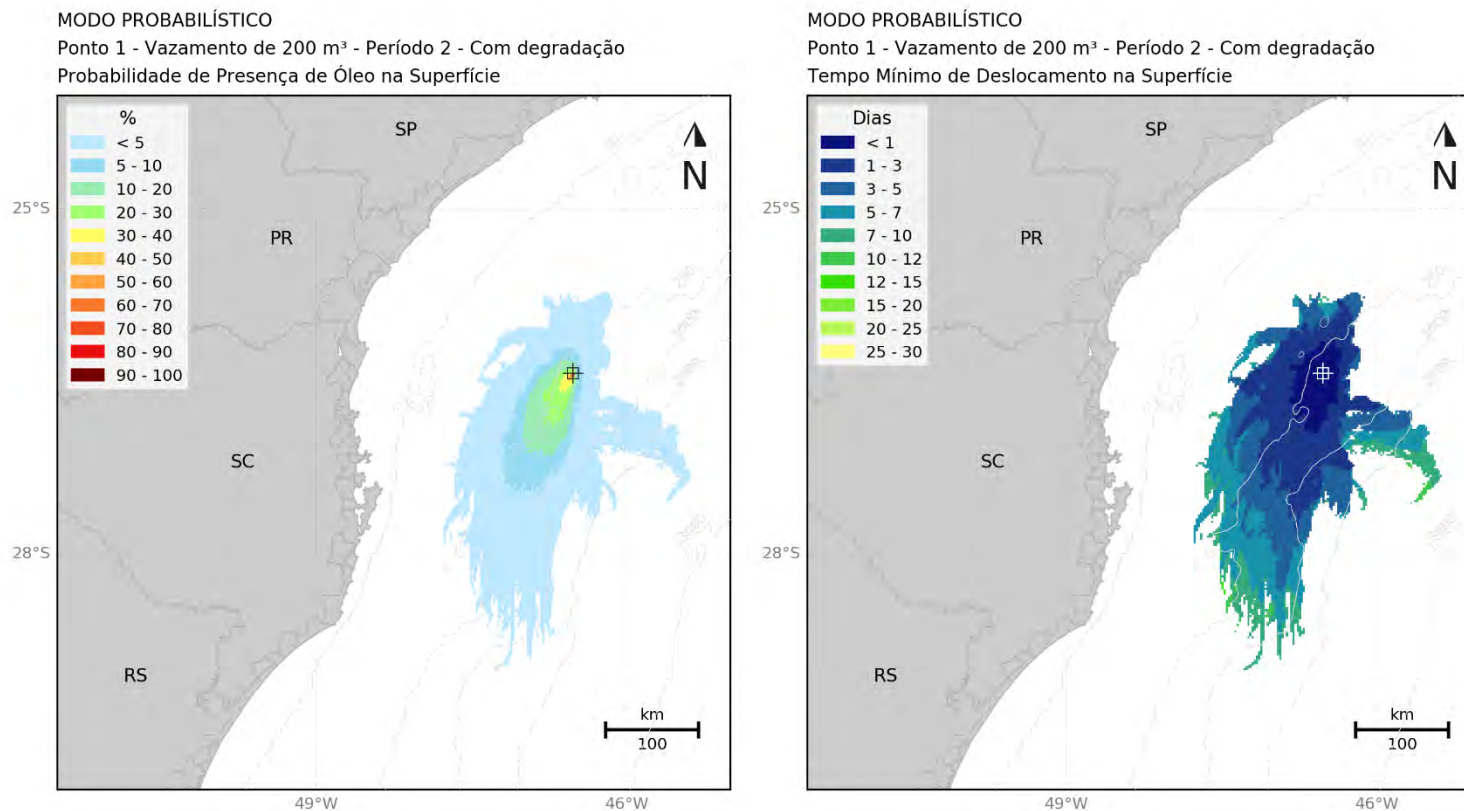


Figura 37: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).



**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 1 - Vazamento de 200 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

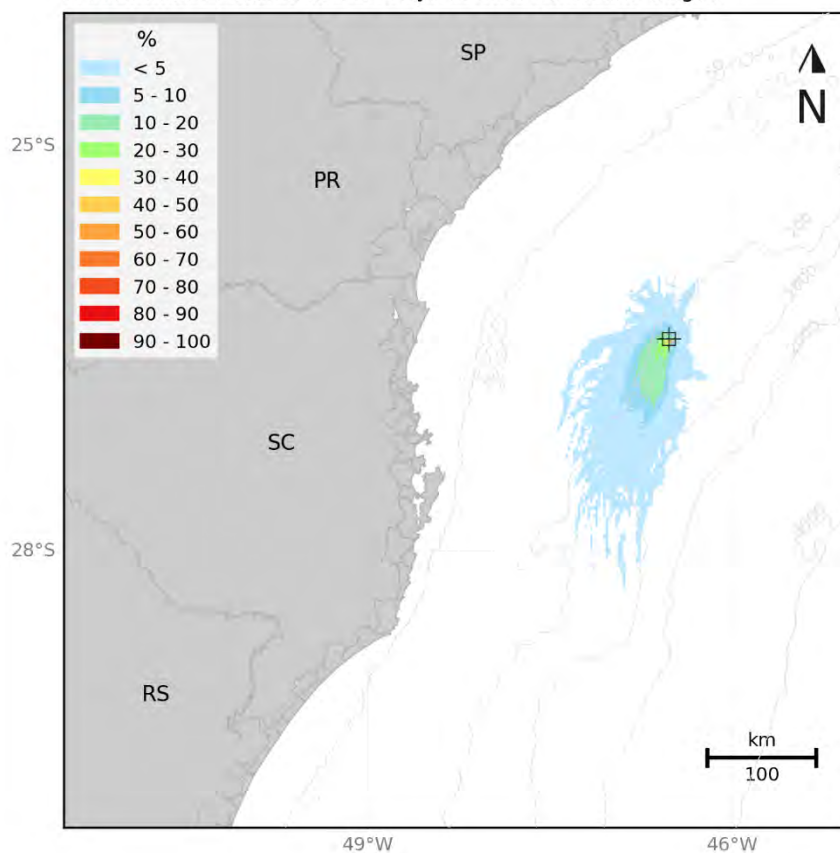


Figura 38: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 1, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

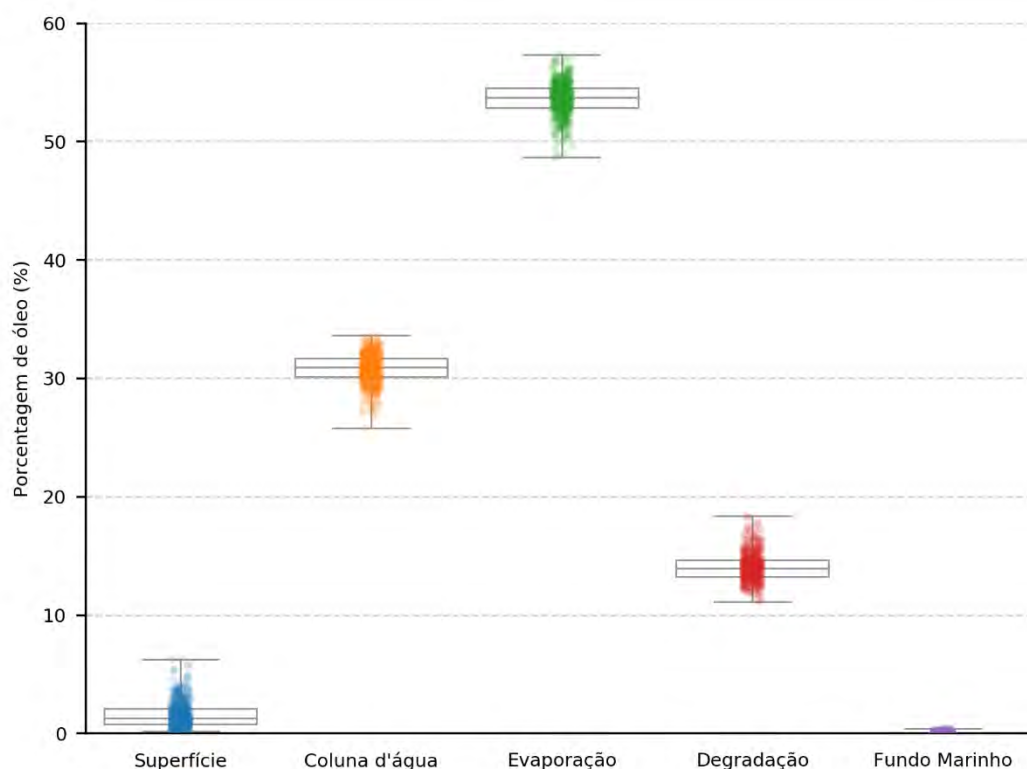


Figura 39: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de 200 m<sup>3</sup>.  
Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

A seguir, são apresentadas informações específicas para os municípios e Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidos por óleo em um vazamento de 200 m<sup>3</sup> (Tabela 13 e Tabela 14).

Tabela 11: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de 200 m<sup>3</sup>, nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.

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
SC	IMBITUBA	0,2	-	11,2	-	0,4	-	2	-

Tabela 12: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de 200 m<sup>3</sup> nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.

Unidade de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA da Baleia Franca	0,2	-	11,2	-



### 3.2.1.1.3 Vazamento de Pior Caso

Para os vazamentos de *blowout* a partir do fundo ( $41.219 \text{ m}^3$ ), a deriva do óleo é principalmente para sudoeste do ponto de vazamento, devido à Corrente do Brasil e aos ventos de primeiro quadrante. Para esse maior volume com vazamento contínuo por 30 dias, a área possível de ser impactada é consideravelmente maior do que a dos cenários de menor volume, alcançando o limite sul do modelo, em torno de  $37^\circ\text{S}$ .

No Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos e enfraquecimento da CB, a extensão da área com probabilidades de chegada de óleo acima de 30% na direção sudoeste é menor. Além disso, são observadas probabilidades mais a norte do ponto de vazamento neste período, decorrente da maior frequência de frentes frias e ventos do segundo e terceiro quadrante.

Em superfície, probabilidades de presença de óleo acima de 30% são observadas a uma distância máxima do ponto de vazamento de 1.375 km no Período 1 e 1.096 km no Período 2. Em relação ao tempo mínimo de deslocamento de óleo, tem-se que o óleo pode atingir distâncias de cerca de 70 km no primeiro dia após o vazamento.

No Período 1 houve toque na costa de Peruíbe – SP até Rio Grande – RS, sendo dois municípios com probabilidade maior que 30%: Bombinhas e Florianópolis – SC. A probabilidade máxima foi de 47,8% em Florianópolis – SC. No Período 2, houve toque na costa de São Sebastião – SP até Laguna – SC. Não houve probabilidades acima de 30% na costa e o valor máximo foi observado em Itanhaém – SP, de 12%. O tempo mínimo de chegada de óleo na costa foi observado em Florianópolis em ambos os cenários, sendo de 8,8 dias no Período 1 e de 14,8 dias no Período 2.

As Unidades de Conservação com toque no Período 1 vão da APA Marinha do Litoral Centro até RDS do Molhe Leste. Duas UCs apresentaram probabilidade maior que 30%: REBIO Marinha do Arvoredo e APA da Baleia Franca, sendo a maior probabilidade de aproximadamente 53% na REBIO Marinha do Arvoredo. No Período 2, houve toque da APA Marinha do Litoral Norte até REBIO Praia do Rosa, com valor acima de 30% apenas em uma: APA Marinha do Litoral Sul, com 31%.

Na coluna d'água, uma vez que se trata de um vazamento de fundo, nos dois períodos há probabilidades entre 90 e 100% na região do entorno do vazamento, da superfície até a profundidade de vazamento. Nas primeiras camadas, o padrão de distribuição de probabilidade é similar ao observado em superfície, porém com redução das áreas de maiores probabilidades. Com o aumento da profundidade, a área de probabilidade diminui. O maior espalhamento do óleo ocorre até 50 metros de profundidade.

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, como uma coluna vertical a partir do ponto de vazamento com um espalhamento maior nas profundidades menores que 50 metros.

No fundo marinho, a área com probabilidade de toque se restringe às proximidades do ponto de vazamento e regiões de profundidades menores que 50 metros da plataforma frente ao estado de São Paulo até Rio Grande do Sul no Período 1 e até o norte de Santa Catarina no Período 2. Os valores máximos são de até 10-20% no Período 1 e inferiores a 10% no Período 2.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 60 dias de simulação, a evaporação foi o processo mais importante na retirada de óleo, apresentando valores de mediana em torno de 40%. O processo de degradação apresentou mediana em torno de 30%. Ao final da simulação, um percentual em torno de 25% do total vazado ficou disperso na coluna d'água. Já o óleo em superfície tem mediana inferior a 2% do total. No fundo marinho, a mediana é inferior a 1% no Período 2 e em torno de 3% no Período 1. O percentual de óleo acumulado na costa é inferior a 1% do total vazado em todas as simulações no Período 2, enquanto no Período 1 chega a quase 7%.

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e na costa, exclusivamente para o Período 1, de tempo mínimo de chegada, concentração de óleo na coluna d'água, além do gráfico de balanço de massa para o vazamento de *blowout* a partir do fundo no Período 1 e Período 2 são apresentados a seguir.



### 3.2.1.1.3.1 Período 1

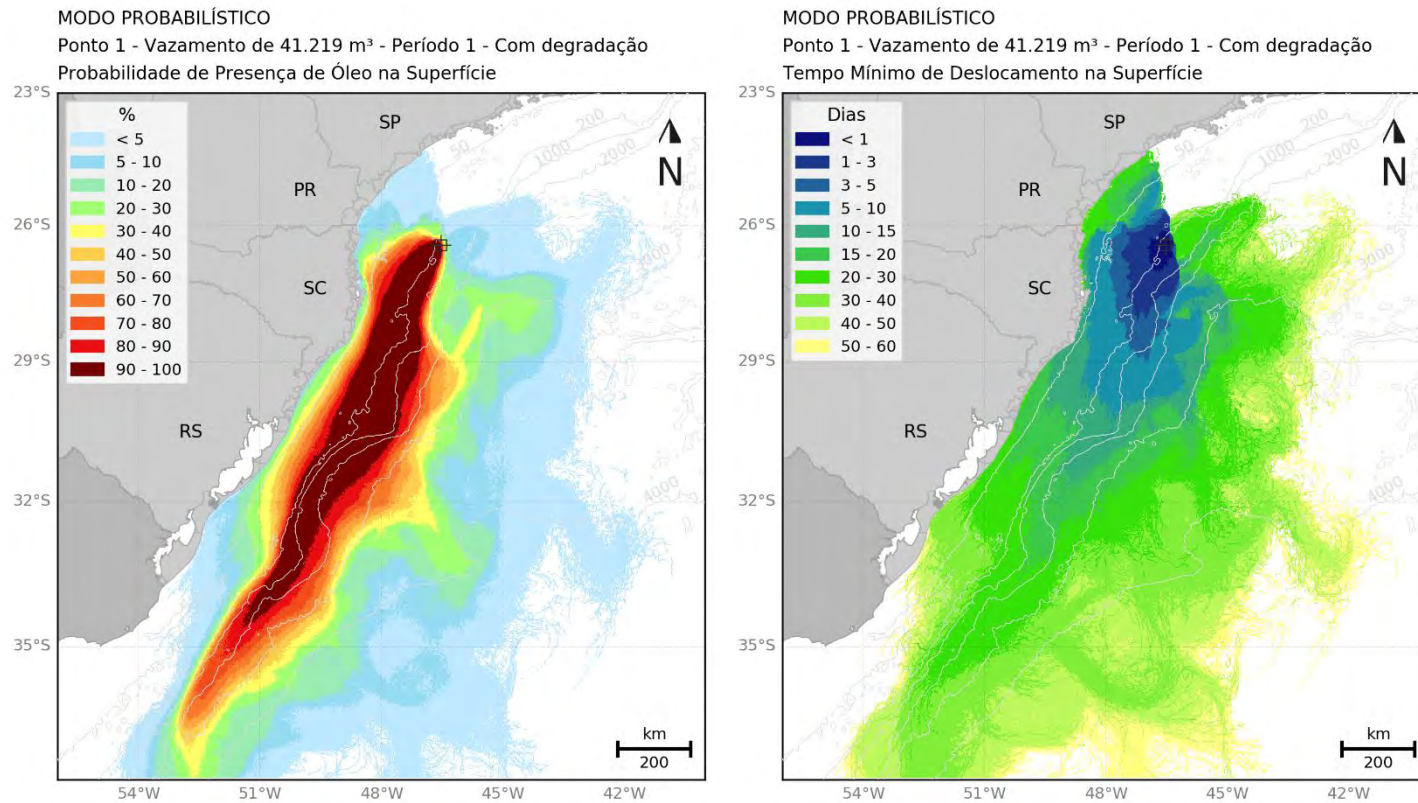


Figura 40: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de *blowout*. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.



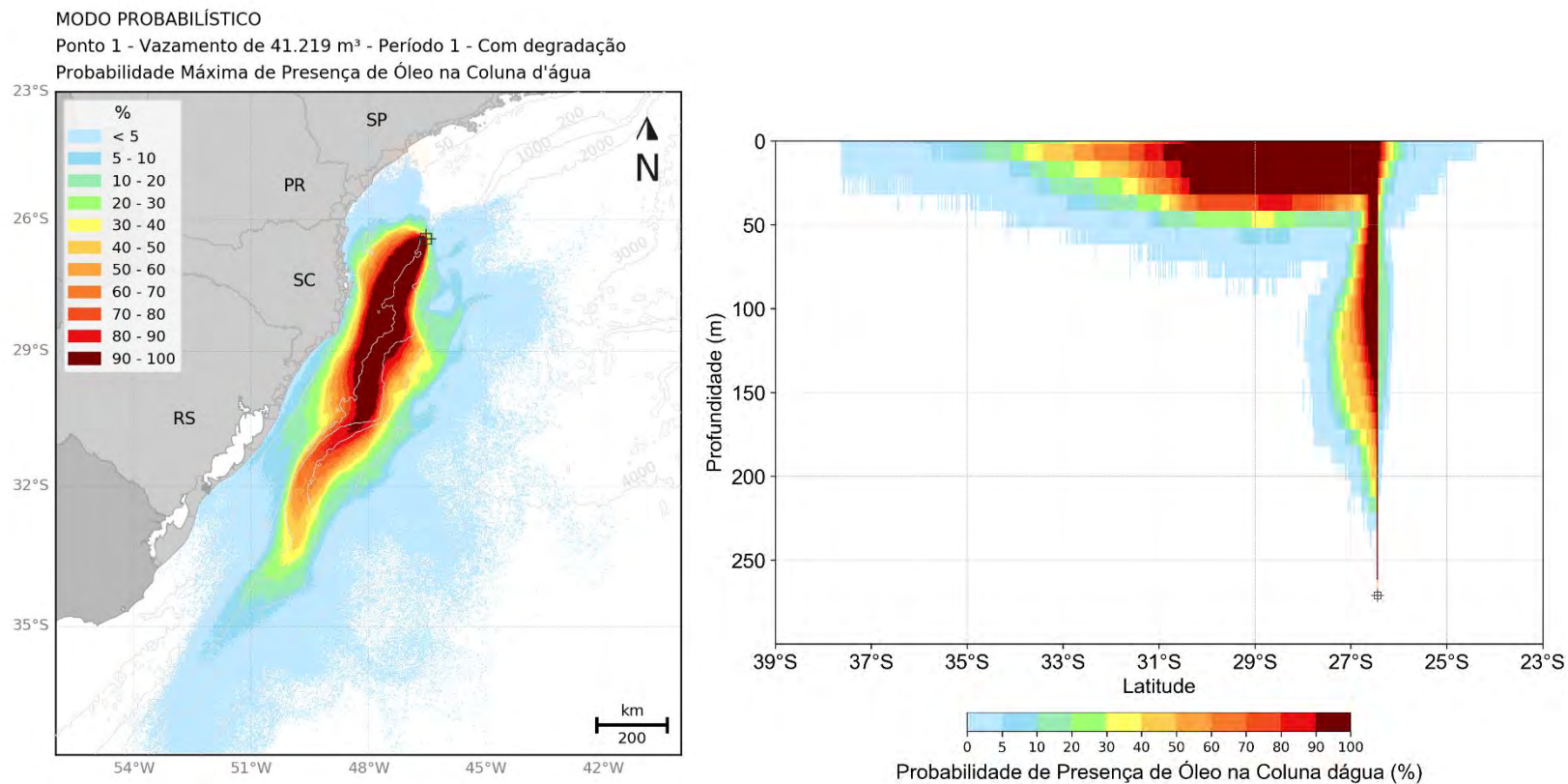


Figura 41: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de *blowout*. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.

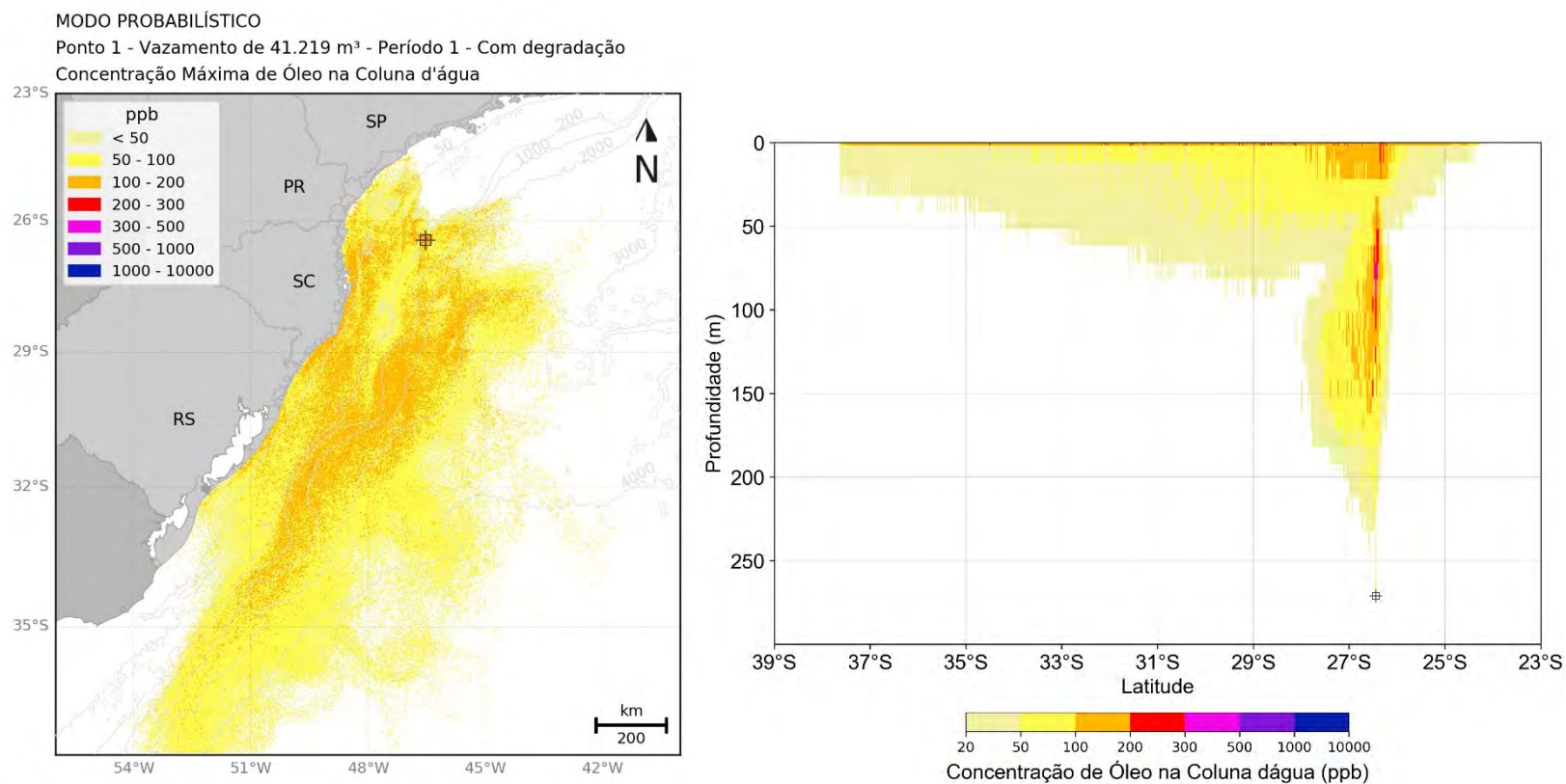


Figura 42: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de *blowout*. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.

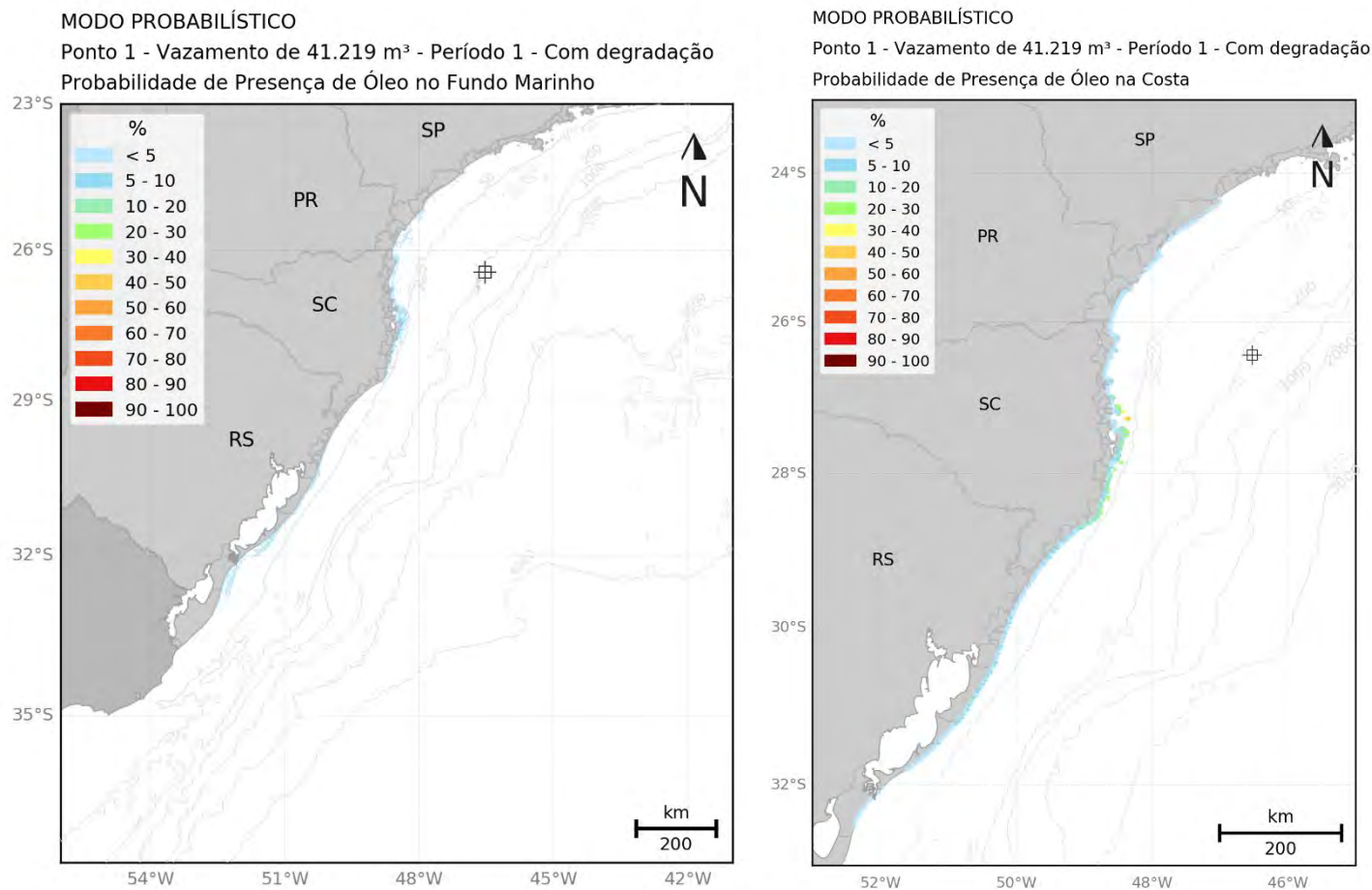


Figura 43: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 1, vazamento de blowout. Período 1 (setembro a fevereiro).  
Simulação de 60 dias

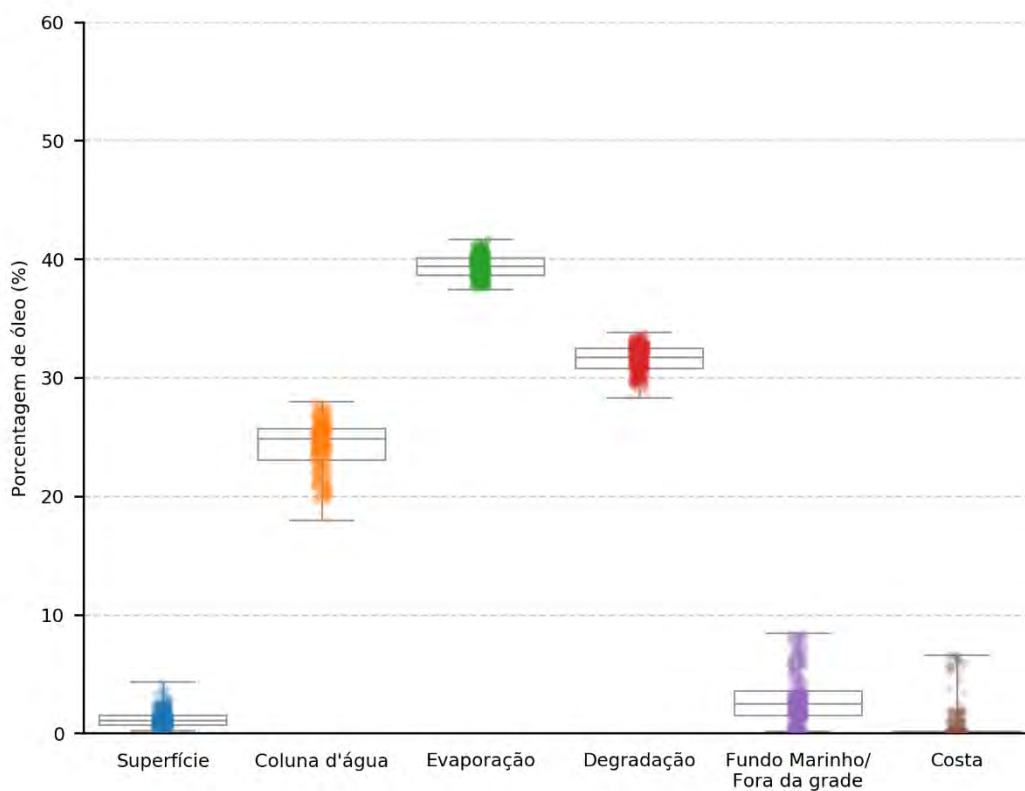


Figura 44: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de *blowout*.  
Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.



### 3.2.1.1.3.3 Período 2

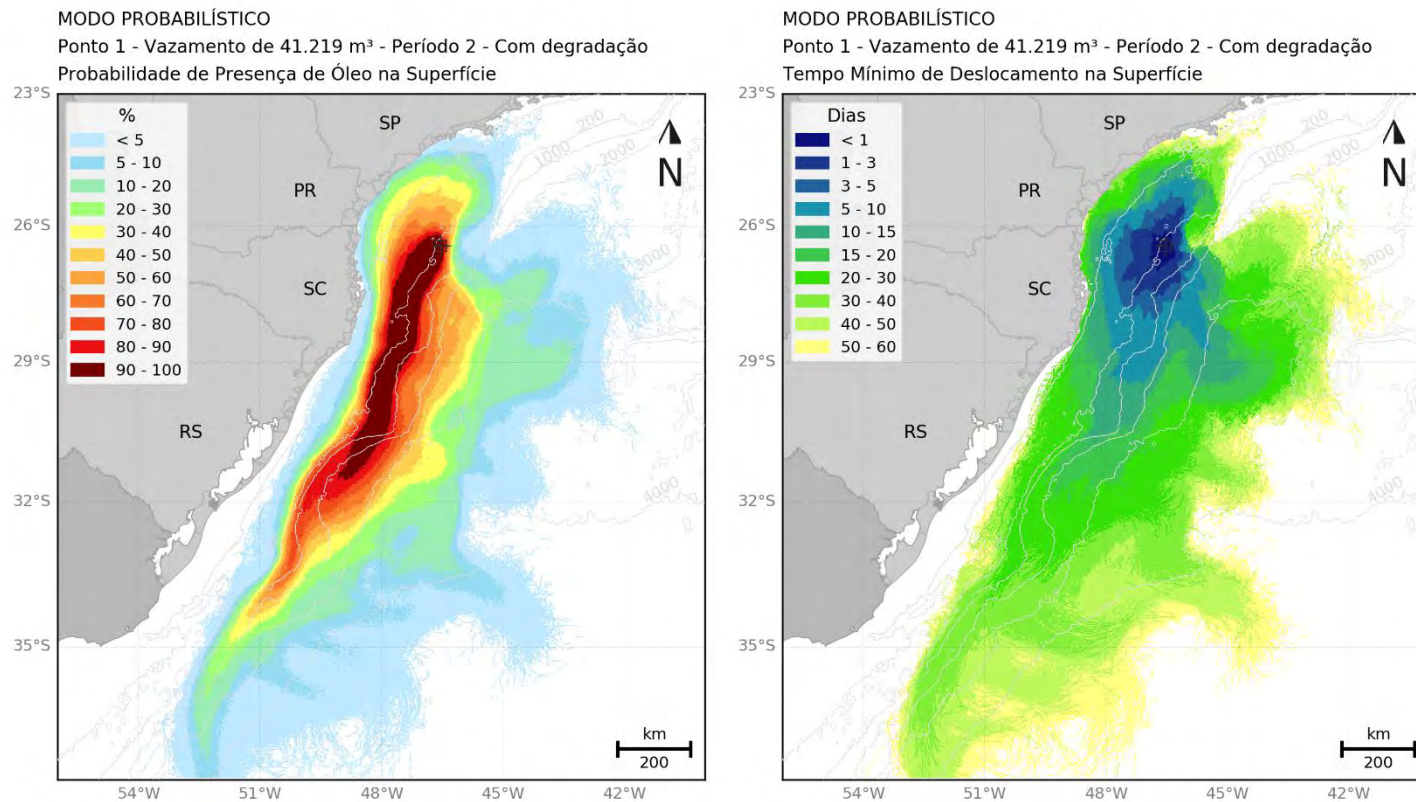


Figura 45: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 1, vazamento de *blowout*. Período 2 (março a agosto).  
Simulação de 60 dias.

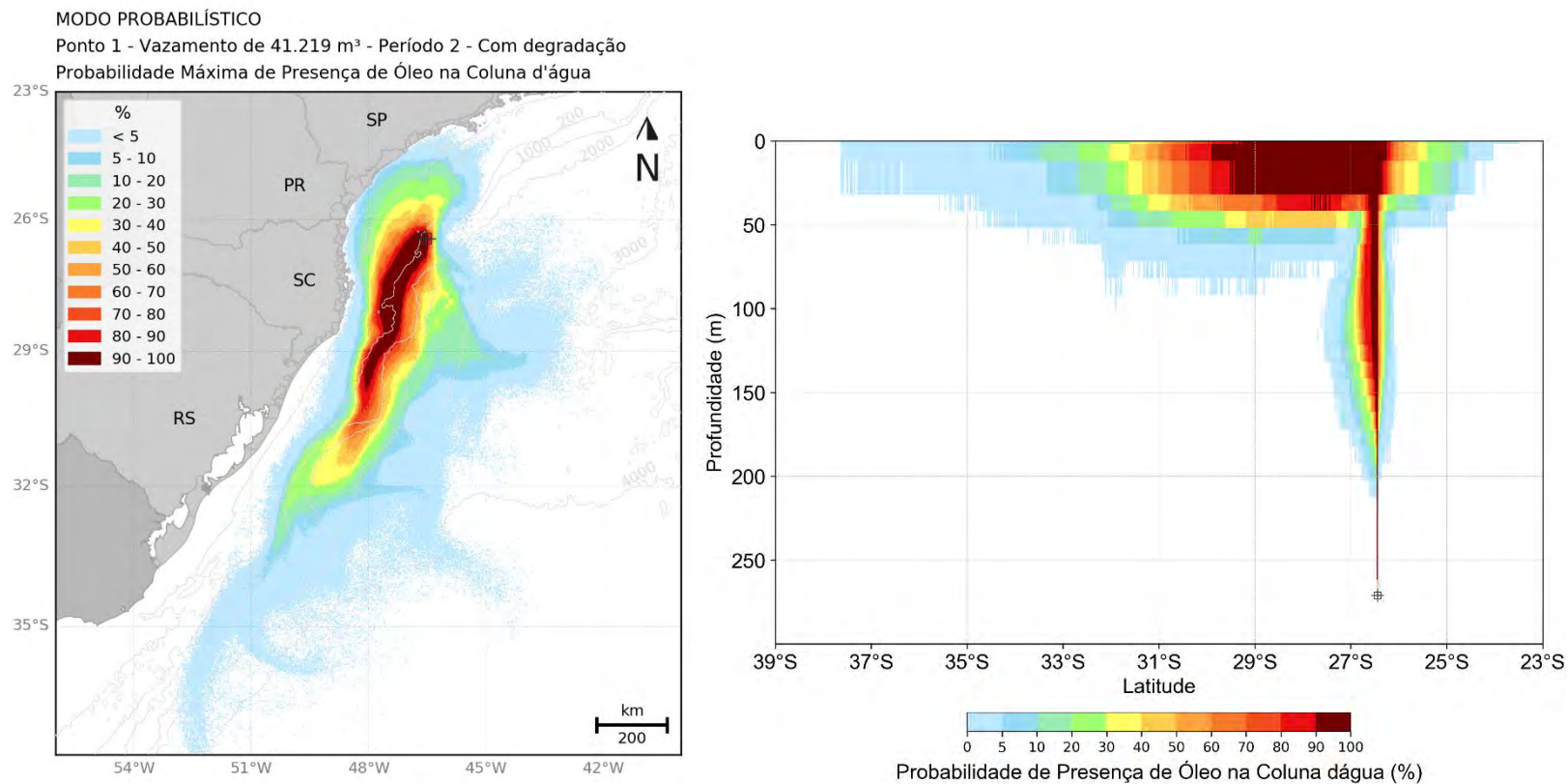


Figura 46: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de *blowout*. Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias.



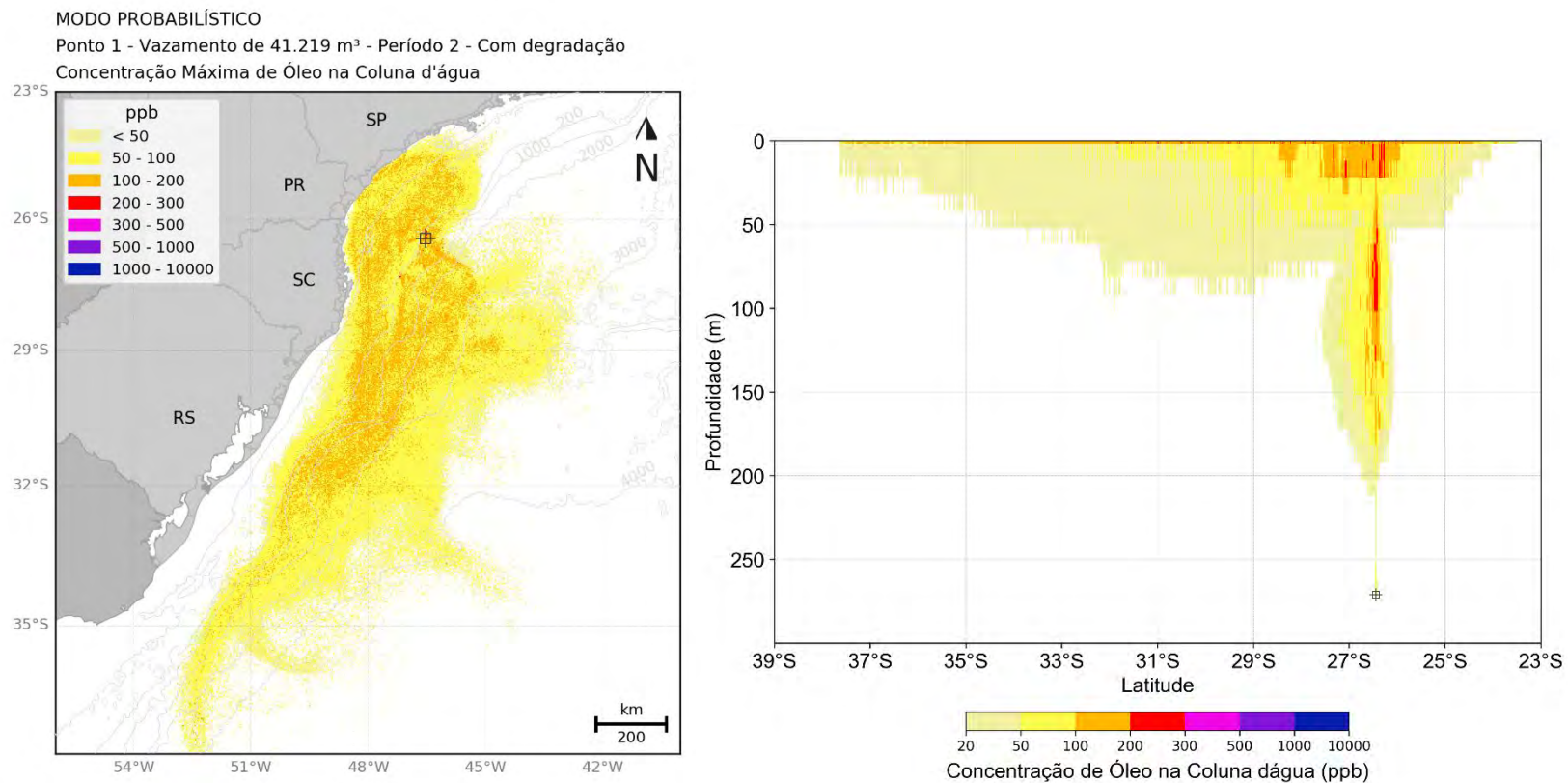
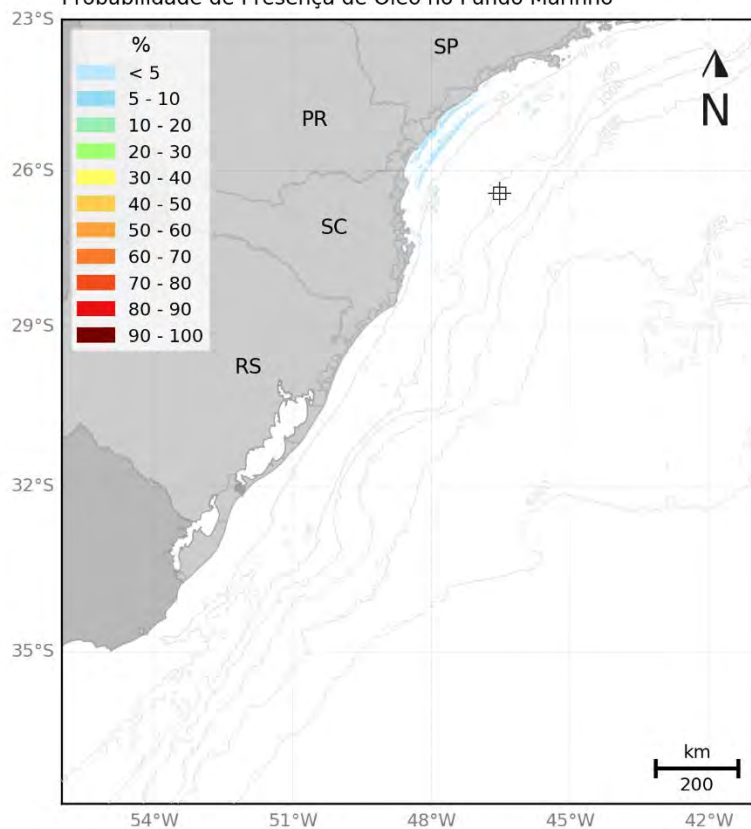


Figura 47: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 1, vazamento de *blowout*. Período 2 (março a agosto).  
Simulação de 60 dias.

**MODO PROBABILÍSTICO**  
Ponto 1 - Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação  
Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho



**MODO PROBABILÍSTICO**  
Ponto 1 - Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação  
Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

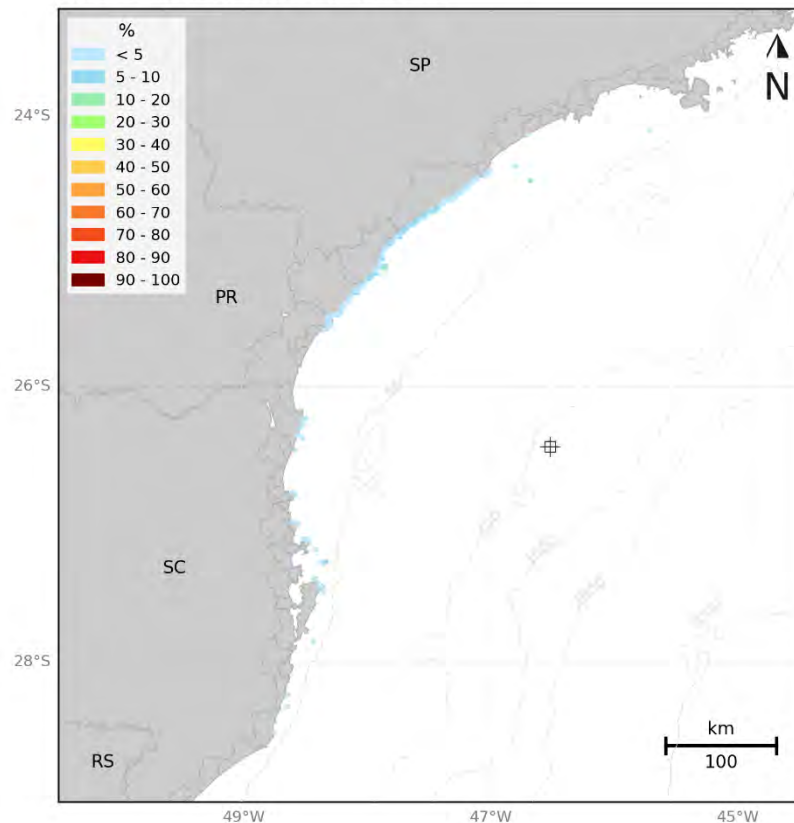


Figura 48: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 1, vazamento de blowout. Período 2 (setembro a fevereiro).  
Simulação de 60 dias

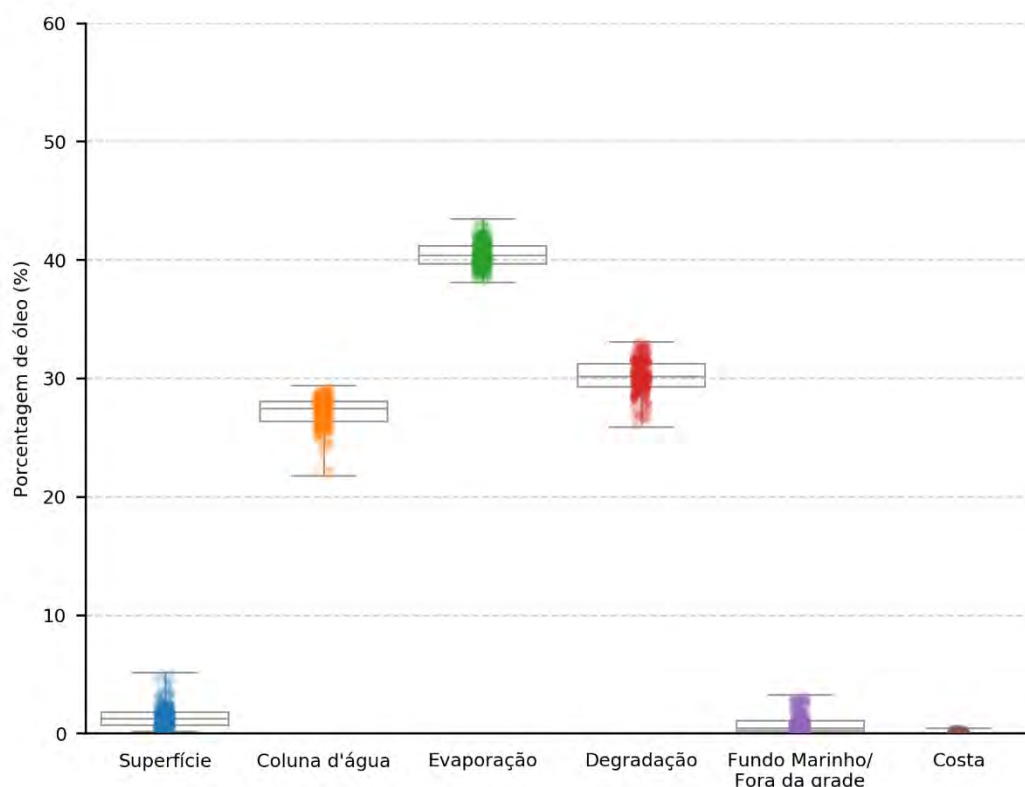


Figura 49: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 1, vazamento de *blowout*.  
Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias.

A seguir, são apresentadas informações específicas para os municípios e Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidos por óleo em um vazamento de *blowout* (Tabela 13 e Tabela 14).

Tabela 13: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de *blowout*, nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.

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
SP	UBATUBA	-	0,2*	-	53,6*	-	**	-	**
	ILHABELA	-	0,4*	-	49,7*	-	**	-	**
	SÃO SEBASTIÃO	-	0,2	-	54,1	-	0,8	-	2
	GUARUJÁ	-	1,0*	-	43,5*	-	**	-	**
	SANTOS	-	6,8*	-	27,5*	-	**	-	**
	PRAIA GRANDE	-	0,6*	-	47,9*	-	**	-	**
	MONGAGUÁ	-	0,2	-	55,4	-	0,6	-	2
	ITANHAÉM	-	12,2	-	23,7	-	2,3	-	8
	PERUÍBE	2,4	1	21,4	41,7	1,4	0,9	16	8
	IGUAPE	1,6	5,8	19	35,1	1,3	3,2	36	53
	ILHA COMPRIDA	1	8,2	20,3	34,8	0,9	4,5	45	73
	CANANÉIA	1,8	10,6	20,8	26,9	1,3	4,6	36	48
PR	GUARAQUEÇABA	1,8	4,8	20,9	25,3	1,2	5,5	14	50
	PARANAGUÁ	0,8	4,8	30	32,8	0,6	2,5	5	16
	PONTAL DO PARANÁ	3,2	0,8	30,2	48,3	5	0,6	22	2
	MATINHOS	2,6	5,2*	33	23,4*	1,2	**	25	**
	GUARATUBA	2,8	0,2*	32,4	55,1*	2,1	**	14	**
SC	ITAPOÁ	4,4	0,2*	24,4	35,2*	5	**	28	**
	SÃO FRANCISCO DO SUL	5,8	2,6	22,9	23	3,7	1,4	42	16
	BALNEÁRIO BARRA DO SUL	4,8	0,6	24,2	30,4	1,9	0,6	16	2
	ARAQUARI	3,2	0,4*	26,2	32,8*	1,5	**	2	**
	BARRA VELHA	3	2,2*	31,6	21,0*	1,1	**	19	**
	BALNEÁRIO PIÇARRAS	0,6	-	33,8	-	0,5	-	5	-
	PENHA	11,6	2	12	22,5	4,6	1,3	16	5
	NAVEGANTES	1,4	0,2*	32,2	23,9*	0,7	**	11	**
	ITAJAÍ	1,4	1,2*	32,2	23,0*	0,7	**	11	**
	BALNEÁRIO CAMBORIÚ	14,6	1,6	13,3	20,8	10,2	1,1	16	8
	ITAPEMA	1,2	0,2*	34,8	25,6*	1,2	**	5	**
	PORTO BELO	23	2,2	13	19	23,5	1,3	25	5
	BOMBINHAS	32,8	2,2	10,9	16,5	28,1	2,7	50	11
	TIJUCAS	0,2	-	50,2	-	0,4	-	2	-
	GOVERNADOR CELSO RAMOS	1,2	-	17,3	-	1,1	-	22	-
	FLORIANÓPOLIS	47,8	5,4	8,7	14,4	33,3	8,2	144	31

RS	PALHOÇA	9,8	0,2*	11	48,9*	26	**	14	**
	PAULO LOPES	21,8	0,4*	10,4	20,6*	26	**	19	**
	GAROPABA	18,6	0,6*	11,1	21,4*	10,3	**	39	**
	IMBITUBA	26,4	1	11,3	20,3	22,9	1,2	53	5
	LAGUNA	24,2	0,2	11	22,7	27,2	0,4	67	2
	JAGUARUNA	18,4	-	11,1	-	25,5	-	50	-
	BALNEÁRIO RINCÃO	9,4	-	14,5	-	4,7	-	19	-
	ARARANGUÁ	8,2	-	15,7	-	2,5	-	14	-
	BALNEÁRIO ARROIO DO SILVA	7,4	-	16	-	3,6	-	25	-
	BALNEÁRIO GAIVOTA	7,4	-	16,1	-	3,6	-	22	-
	PASSO DE TORRES	2,4	-	21,6	-	1	-	11	-
	TORRES	1,4	-	25,3	-	0,8	-	11	-
	ARROIO DO SAL	1,6	-	27	-	0,9	-	14	-
	TERRA DE AREIA	0,8	-	37,8	-	0,6	-	2	-
	CAPÃO DA CANOA	2,6	-	25,3	-	0,9	-	14	-
	XANGRI-LÁ	3	-	26,8	-	1	-	8	-
	OSÓRIO	5,4	-	27,6	-	1,5	-	8	-
	IMBÉ	6,2	-	29,2	-	1,7	-	16	-
	TRAMANDAÍ	8,2	-	19,3	-	1,7	-	22	-
	CIDREIRA	10,4	-	19,3	-	2,4	-	25	-
	BALNEÁRIO PINHAL	10,4	-	19,5	-	2,4	-	14	-
	PALMARES DO SUL	12	-	20,4	-	2,6	-	33	-
	MOSTARDAS	12,8	-	23,1	-	4	-	104	-
	TAVARES	8,2	-	26,9	-	2,2	-	53	-
	SÃO JOSÉ DO NORTE	4,8	-	30,6	-	1,3	-	59	-
	RIO GRANDE	2,2	-	37	-	0,9	-	45	-
	SANTA VITÓRIA DO PALMAR	0,6*	-	41,4*	-	**	-	**	-

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

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

Tabela 14: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de *blowout*, nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 1.

Unidade de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Marinha do Litoral Norte	-	1,4	-	47,7
ESEC Tupinambás	-	1,2	-	48,8
PE de Ilhabela	-	0,2	-	49,8
APA Marinha do Litoral Centro	2,6	23	14,3	17
RVS do Arquipélago de Alcatrazes	-	3,6	-	27,8
APA de Cananéia-Iguapé-Peruíbe	1	8,2	20,3	34,8
PE Marinho da Laje de Santos	-	6,8	-	27,5
PNM Restinga do Guaraú	0,2	0,4	23,2	50,6
ESEC Juréia-Itatins	1,8	5,4	19	36,3
ESEC dos Tupiniquins	2,8	14,2	20	26
RVS das Ilhas do Abrigo e Guararitama	1,2	2,2	22,8	39,1
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	-	12,2	-	23,7
PE do Itinguçu	2,4	1	21,7	41,7
PNM do Bougainville	0,2	2,2	26,6	41,6
RDS da Barra do Una	0,4	-	35,9	-
PNM do Vilão	2,4	1,8	20,9	41,7
RDS Barra do Una (Setor Marinho)	2,4	6,2	19,9	37,8
APA Marinha do Litoral Sul	6	31	17,3	23,5
PE do Prelado	1,6	6	22,8	36,3
APA Ilha Comprida	1,4	9,6	20,2	34,8
ARIE do Guará	1,2	6,6	23,6	35,1
ARIE da Ilha Comprida	0,8	9,2	20,2	35,6
APA de Guaraqueçaba	1,8	6,4	20,9	25,1
PE da Ilha do Cardoso	1,8	8,2	20,6	26,9
RESEX Ilha do Tumba	0,2	4,4	24,6	30,8
PARNA do Superagui	1,8	6,4	20,9	25,1
ESEC da Ilha do Mel	-	0,2	-	39,8
PE da Ilha do Mel	2,4	5	29,9	32,1
APA de Guaratuba	4	-	31	-
PARNA de Saint-Hilaire/Lange	2,6	-	33	-
PNM do Rio Perequê	-	0,8	-	48,3
PARNA Marinho das Ilhas dos Currais	5,8	11,4	24,5	23,9
PE do Rio da Onça	1,4	-	33,4	-
RPPN Fazenda Palmital	2	-	27,9	-
PE Acaraí	5,8	2,6	22,9	23
PNM Caminho do Peabiru	0,4	-	52,7	-
PNM do Atalaia	0,8	-	38,1	-
RPPN Aroeira Vermelha	6,4	0,2	30,8	23,9

APA Costa Brava	0,8	-	23,7	-
PNM Costeira de Zimbros	4,8	-	14,1	-
RPPN Morro dos Zimbros	3,8	-	24,5	-
REBIO Marinha do Arvoredo	53,2	11,6	8,2	14
PM Morro dos Macacos	26,6	2	12,4	20,9
APA ANHATOMIRIM	3,6	-	17,3	-
PNM Lagoa do Jacaré das Dunas do Santinho	27,2	1,4	9,8	14,8
AT Dunas dos Ingleses	25,8	1	10,1	14,9
AT Dunas do Santinho	25,8	1	10,1	14,9
ESEC de Carijós	2,4	-	18,6	-
RPPN Morro das Aranhas	22,6	0,6	10,1	14,9
PE do Rio Vermelho	15,6	0,2	11,2	47,3
MN da Galheta	21	0,4	11	21,3
PNM da Galheta	21	0,4	11	21,3
PNM do Maciço da Costeira	8,8	-	13	-
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	18,8	-	10,9	-
AT da Lagoinha Pequena	10,6	-	11,8	-
PE DA SERRA DO TABULEIRO	26,8	1	10,1	14,9
AT Dunas do Campeche	11,8	-	11,7	-
AT da Lagoa da Chica	5,6	-	12	-
MN da Lagoa do Peri	10,4	-	11,3	-
PNM da Lagoa do Peri	10,4	-	11,9	-
PNM da Lagoinha do Leste	18,2	-	11,1	-
APA da Baleia Franca	36,6	1,4	10	14,9
APA do Entorno Costeiro	14,2	-	10,8	-
REBIO Praia do Rosa	23,2	0,6	11,5	23,7
PE de Itapeva	0,8	-	25,3	-
RVS Ilha dos Lobos	5,6	-	25,7	-
PE da Guarita	0,6	-	25,3	-
PARNA da Lagoa do Peixe	17,4	-	25,9	-
RDS do Molhe Leste	4,2	-	34,5	-



### 3.2.1.2 Ponto 2

#### 3.2.1.2.1 Vazamento de 8 m<sup>3</sup>

Para os vazamentos de 8 m<sup>3</sup>, o padrão da área com probabilidade de presença é similar entre os períodos sazonais, com deriva preferencial do óleo para sudoeste em função da Corrente do Brasil e dos ventos de nordeste. No Período 2 se observa também derivas para norte, com probabilidades baixas (<5%) devido ao aumento dos ventos de quadrante sul.

Valores de probabilidade acima de 30% são observados a uma distância máxima de menos de 10 km. Áreas com probabilidades menores, inferiores a 5%, são observadas até 176 km de distância do ponto de vazamento no Período 1 e até 155 km do Período 2. As regiões mais afastadas podem ser alcançadas em até 7 dias em ambos os períodos.

Nestes cenários não houve probabilidade de chegada de óleo na costa ou em alguma unidade de conservação. A menor distância que o óleo alcança em relação à costa é de 90 km no Período 1 e de 110 km no Período 2, ambos em relação a Florianópolis – SC.

Na coluna d'água, a área de probabilidade se estende a uma distância máxima de 10 km e 4 km do ponto de vazamento nos períodos 1 e 2, respectivamente. A profundidade máxima alcançada é de 22 metros, com valores inferiores a 5%.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da evaporação, mediana em torno de 50%, seguido pela dispersão do óleo na coluna d'água (mediana em torno de 32%). O valor mediano da degradação foi em torno de 16% do total de óleo e, após 30 dias, o óleo em superfície tem mediana inferior a 1% do total. No fundo marinho, os valores foram inferiores a 1% em todas as simulações.

Os mapas de probabilidade de presença de óleo e de tempo mínimo de chegada, além do gráfico de balanço de massa para o vazamento de 8 m<sup>3</sup> no Período 1 e Período 2 são apresentados a seguir.

### 3.2.1.2.1.1 Período 1

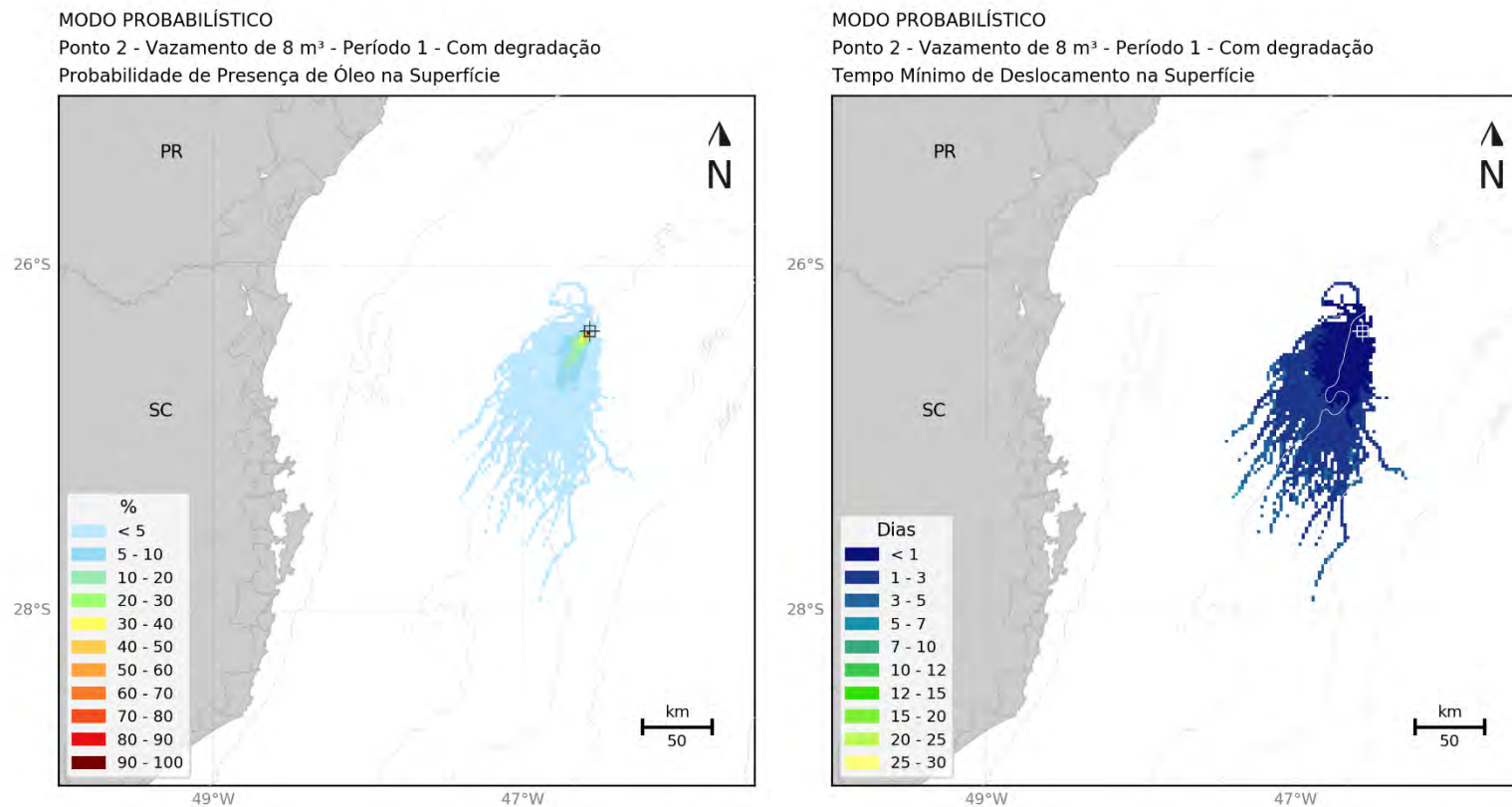


Figura 50: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

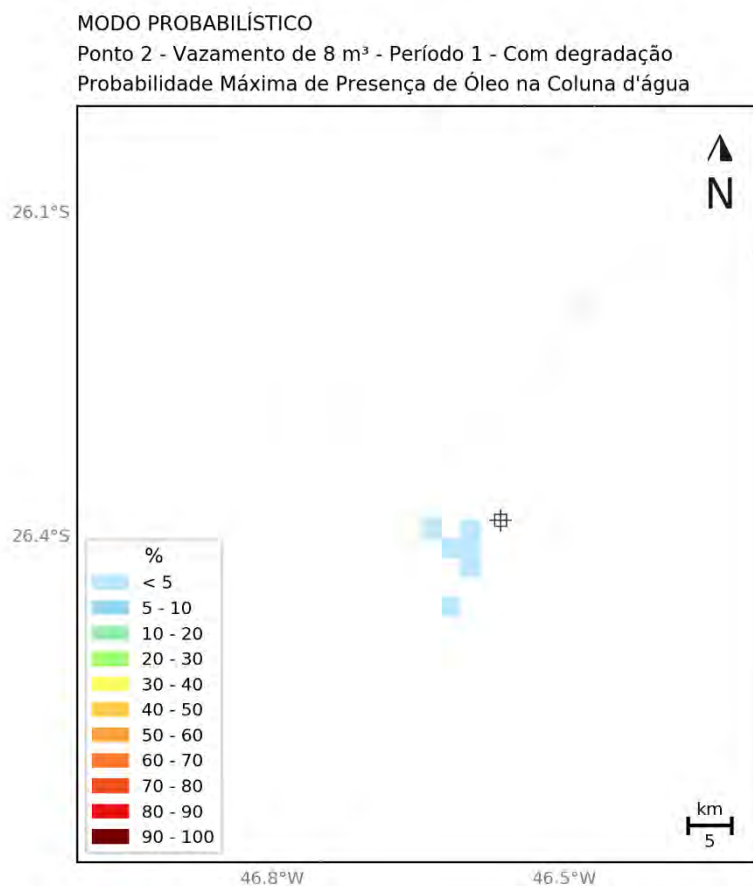


Figura 51: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 2, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 1 (março a agosto). Simulação de 30 dias.

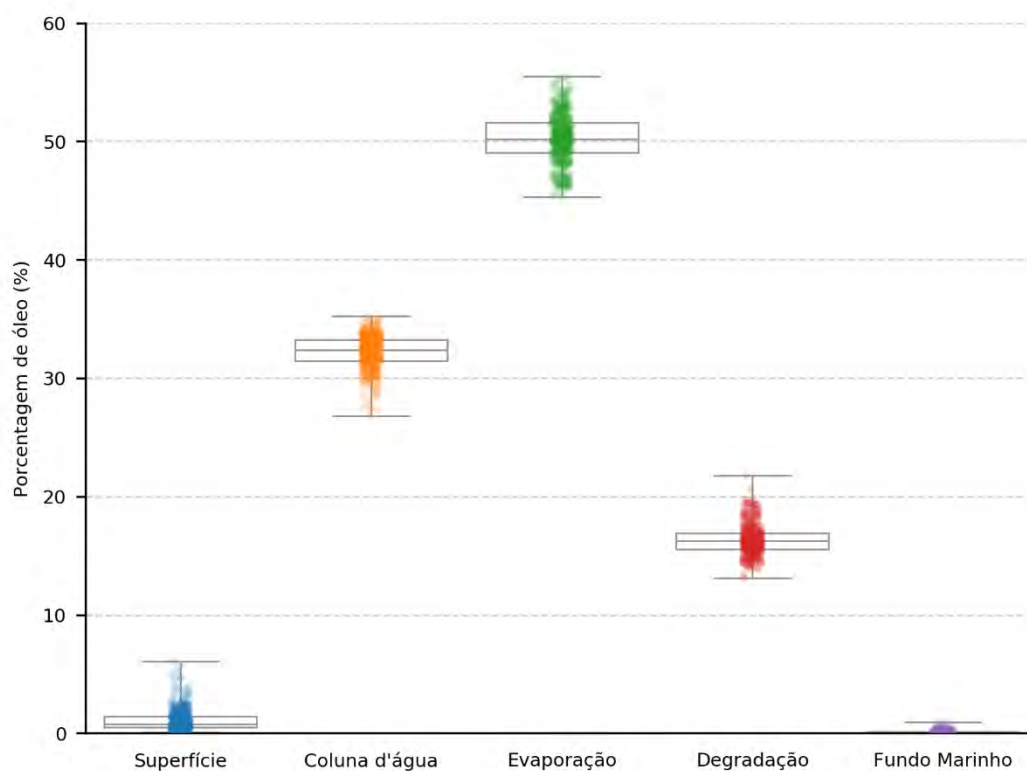


Figura 52: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de 8 m<sup>3</sup>.  
Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

### 3.2.1.2.1.2 Período 2

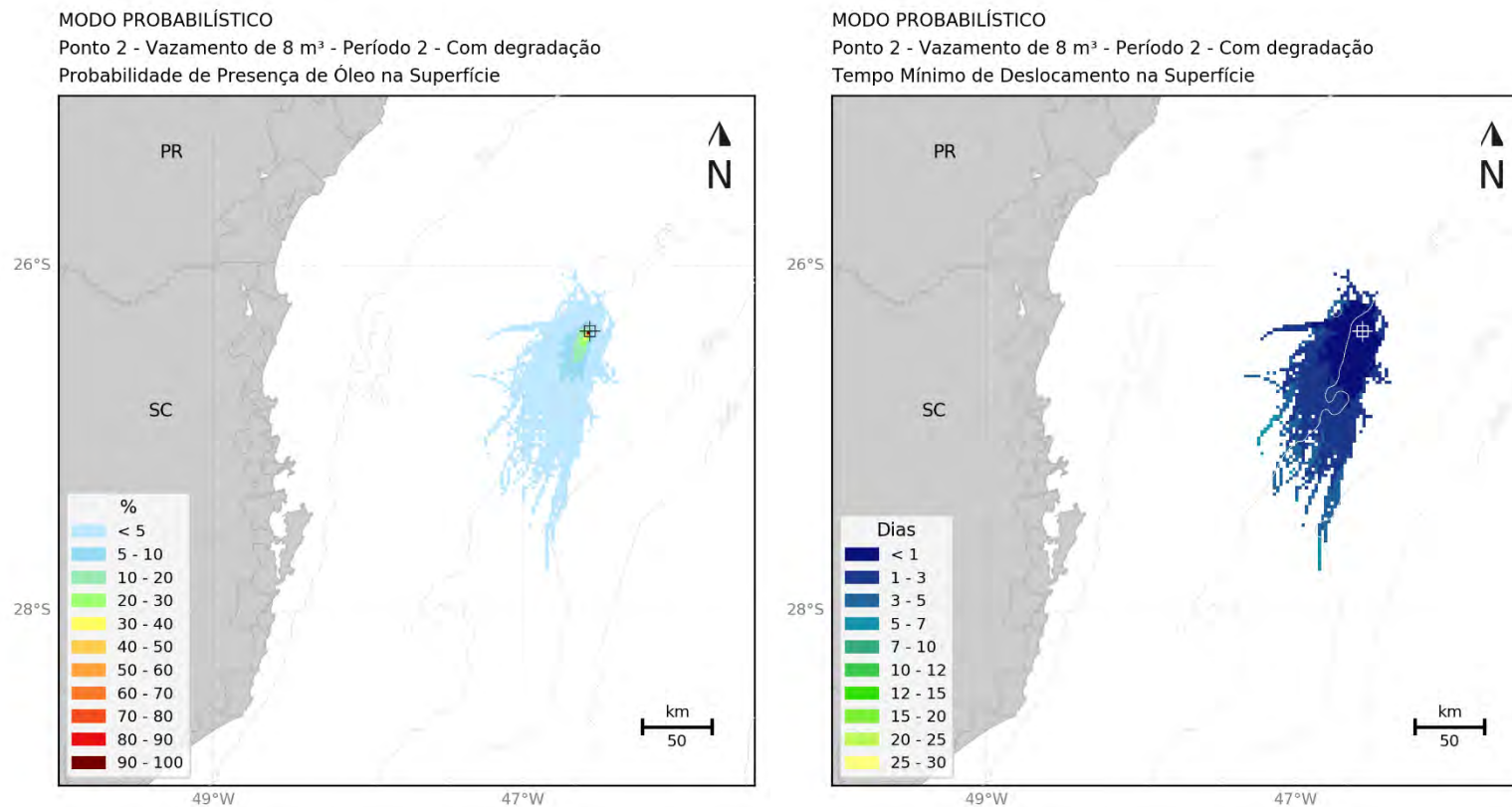


Figura 53: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 2 - Vazamento de 8 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

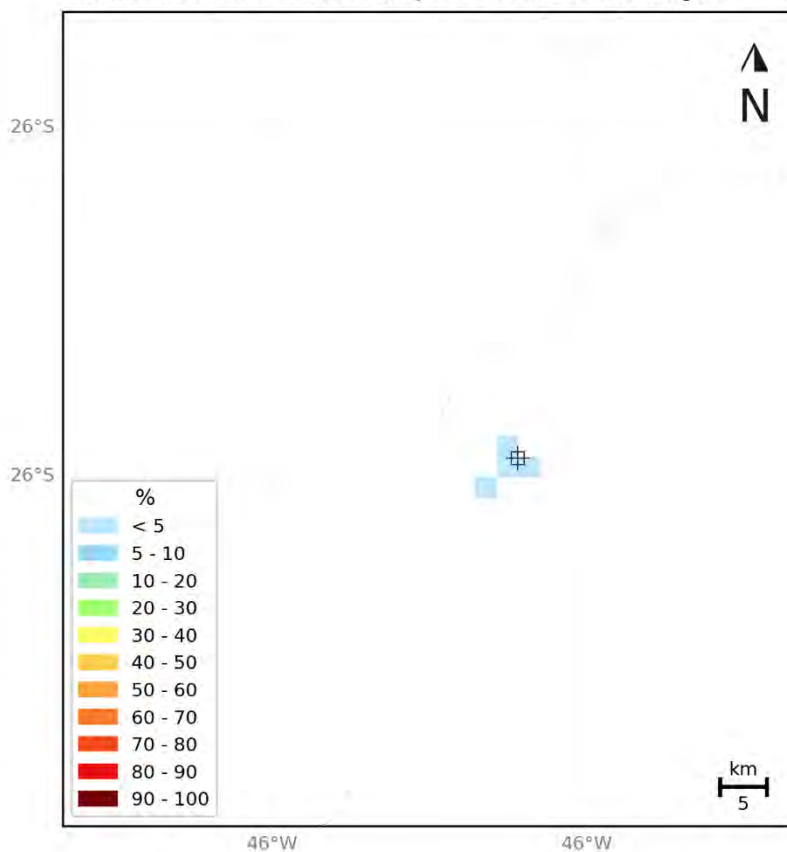


Figura 54: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 2, vazamento de 8 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

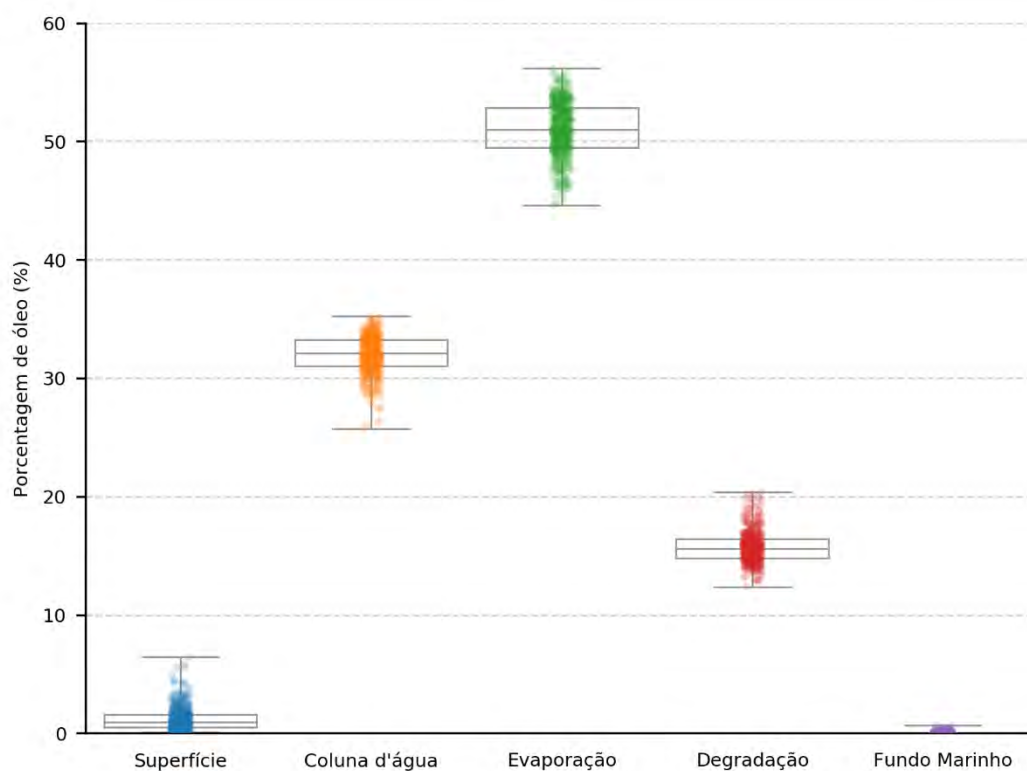


Figura 55: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de 8 m<sup>3</sup>.  
Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).



### 3.2.1.2.2 Vazamento de 200 m<sup>3</sup>

Nesses cenários de vazamentos de 200 m<sup>3</sup>, a deriva preferencial do óleo foi para sudoeste em função da Corrente do Brasil e dos ventos de nordeste. No Período 2 se observa maior extensão da área de probabilidade em superfície para norte, associada a probabilidades baixas, devido ao aumento dos ventos de quadrante sul.

Para este volume de vazamento só há probabilidade de chegada de óleo na costa no Período 1, de 0,2% em Florianópolis – SC e Laguna – SC. No Período 2, a menor distância que o óleo alcança em relação à costa é de 58 km até Florianópolis – SC. Nas Unidades de Conservação também só há probabilidade de presença de óleo no Período 1, de 0,2% na APA da Baleia Franca e no PE da Serra do Tabuleiro.

Valores de probabilidade acima de 30% são observados próximos ao ponto de vazamento, a uma distância máxima de 29 e 24 km nos períodos 1 e 2, respectivamente. Já áreas com valores de probabilidades menores, de até 5%, são observadas a distâncias de até cerca de 320 km do ponto de vazamento em ambos os períodos. As regiões mais afastadas em superfície podem ser alcançadas em até 12 dias. No Período 1, os tempos de chegada do óleo na costa são entre 10 e 11 dias.

A distribuição de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água, nas camadas mais superficiais, é similar à observada em superfície, porém com área menor e com valor máximo entre 30-40% no Período 1 e entre 60-70% no Período 2, próximo ao ponto de vazamento. O alcance máximo em profundidade é de 42 metros em ambos os cenários.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, semelhante aos vazamentos de 8 m<sup>3</sup>, observa-se que a retirada de óleo da superfície ocorreu, principalmente, através da evaporação, mediana em torno de 54%, seguido pela dispersão do óleo na coluna d'água (mediana em torno de 31%). O valor mediano da degradação foi cerca de 14% do total de óleo e após 30 dias, o óleo em superfície teve mediana inferior a 2% do total e no fundo marinho os valores foram inferiores a 2% em todas as simulações. No Período 1, o percentual máximo acumulado na costa foi em torno de 4% do total de óleo vazado.

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície e coluna d'água e de tempo mínimo de chegada, além do gráfico de balanço de massa para o vazamento de 200 m<sup>3</sup> no Período 1 e Período 2 são apresentados a seguir.

### 3.2.1.2.2.1 Período 1

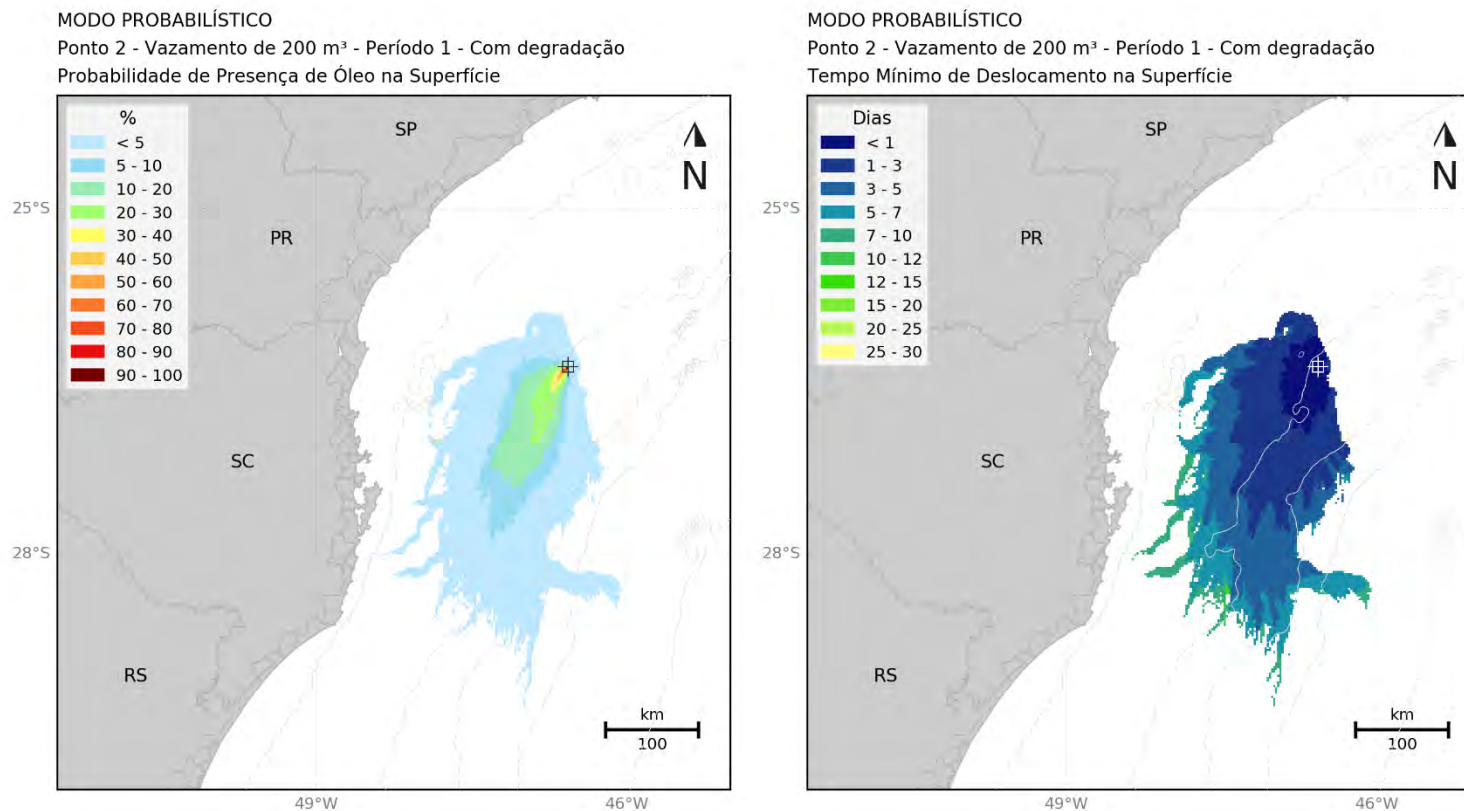
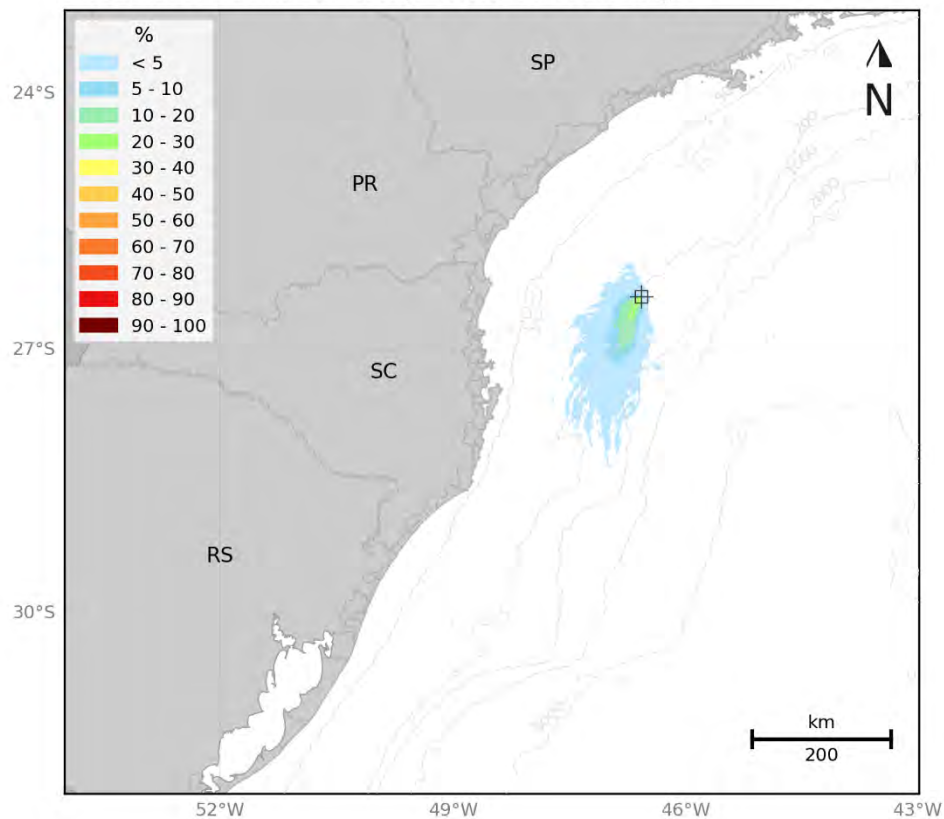


Figura 56: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 2 - Vazamento de 200 m<sup>3</sup> - Período 1 - Com degradação

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água



**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 2 - Vazamento de 200 m<sup>3</sup> - Período 1 - Com degradação

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

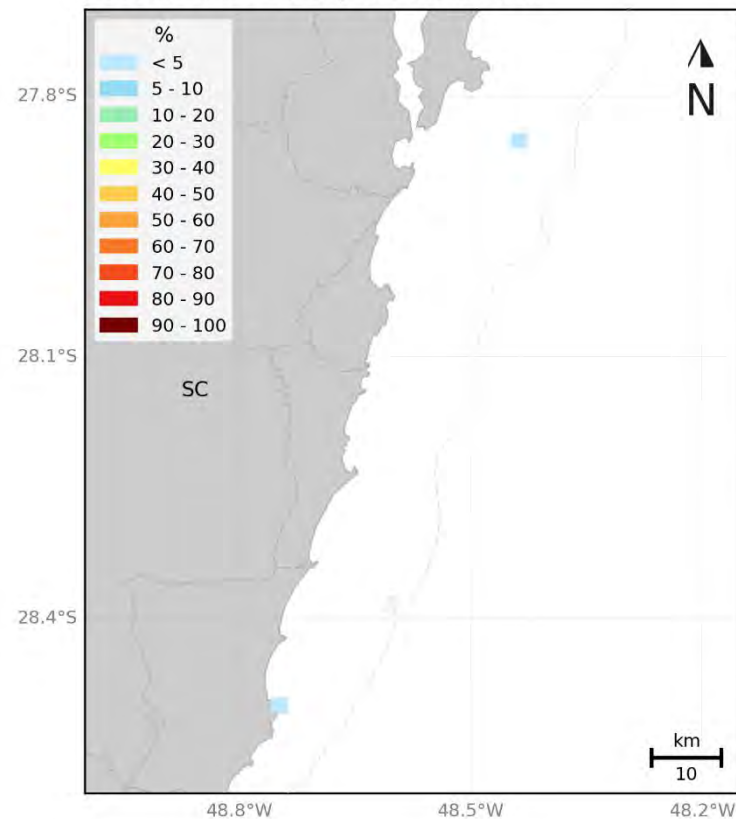


Figura 57: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água e na costa para o Ponto 2, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

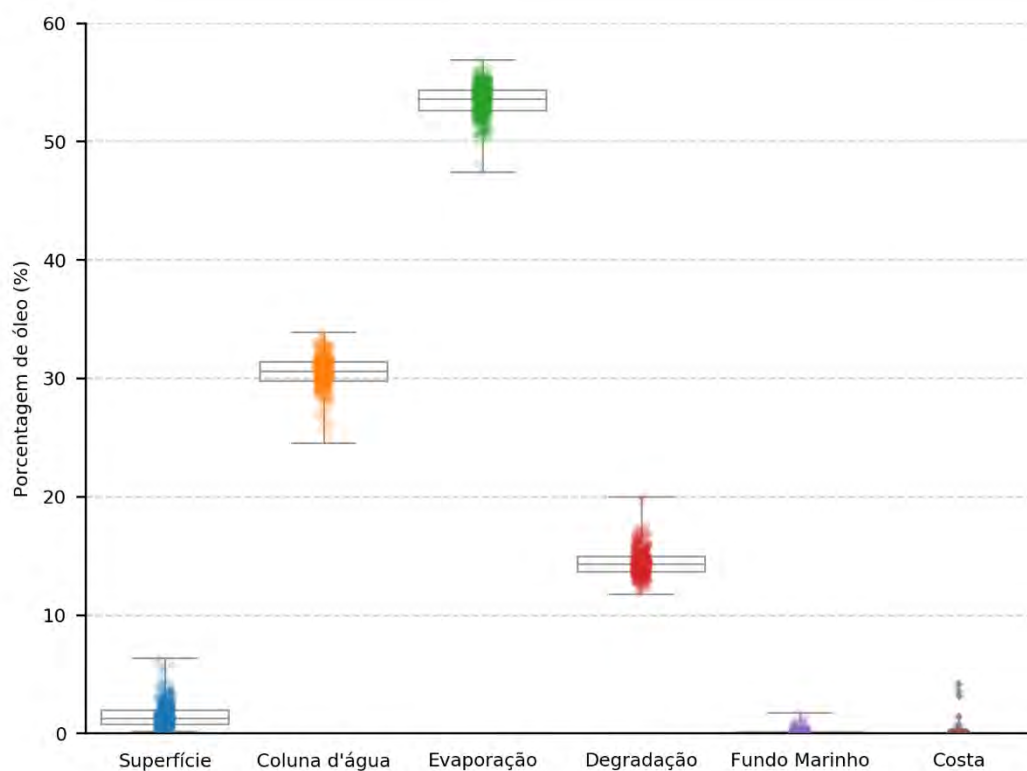


Figura 58: Balanço de massa das simulações probabilísticas para Ponto 2, vazamento de 200 m<sup>3</sup>.  
Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

### 3.2.1.2.2.2 Período 2

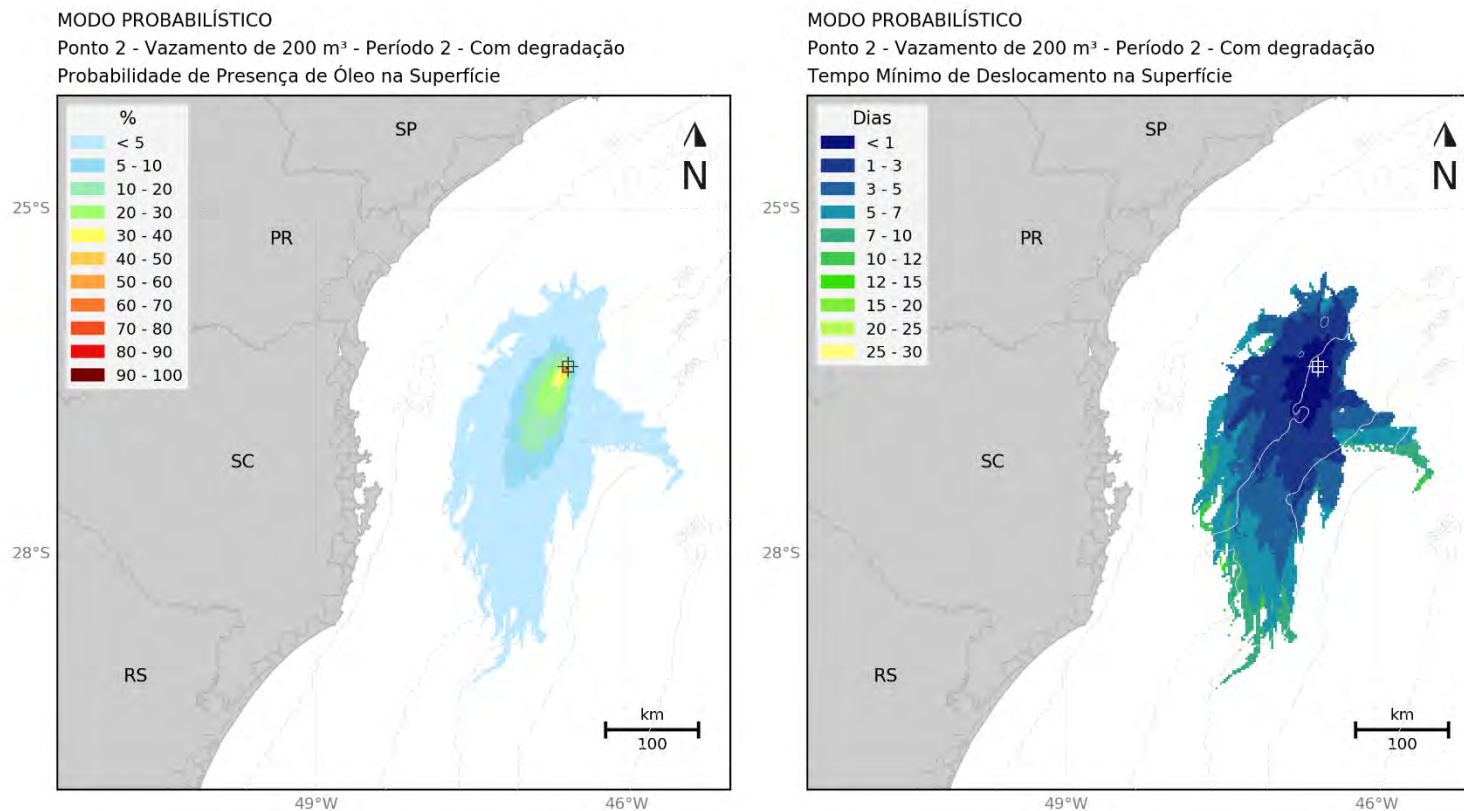


Figura 59: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

**MODO PROBABILÍSTICO**

Ponto 2 - Vazamento de 200 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

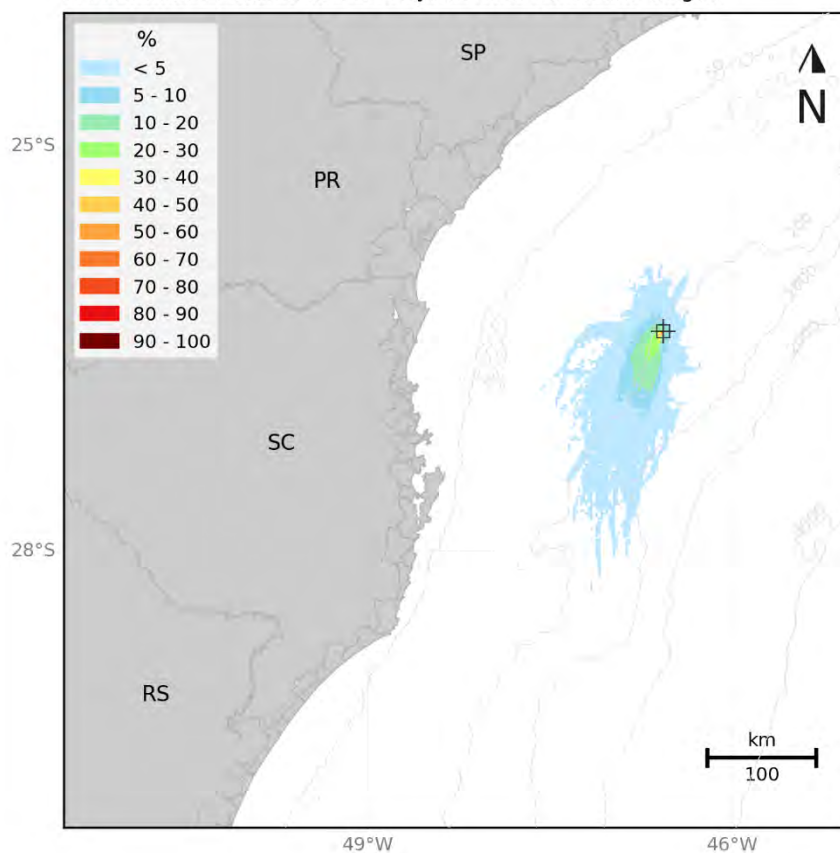


Figura 60: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o Ponto 2, vazamento de 200 m<sup>3</sup>. Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

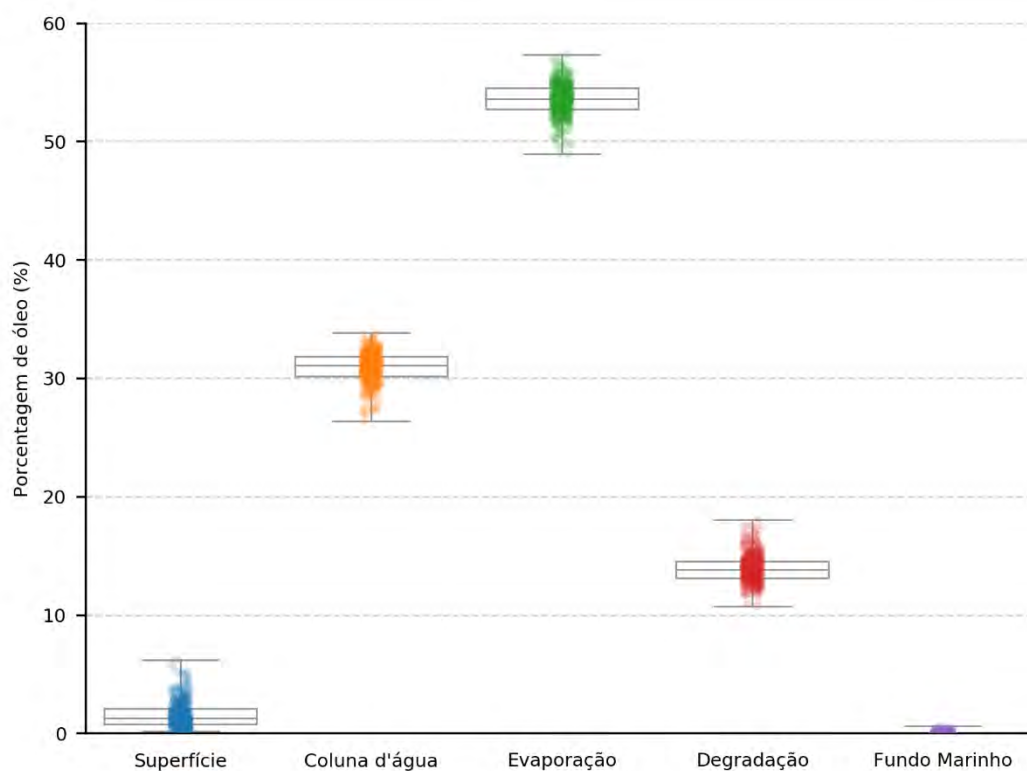


Figura 61: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de 200 m<sup>3</sup>.  
Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

A seguir, são apresentadas informações específicas para os municípios e Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidos por óleo em um vazamento de 200 m<sup>3</sup> (Tabela 13 e Tabela 14).



Tabela 15: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de 200 m<sup>3</sup>, nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.

UF	Município	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)		Massa Máxima (t/km)		Extensão (km)	
		Período		Período		Período		Período	
		1	2	1	2	1	2	1	2
SC	FLORIANÓPOLIS	0,2	-	10,7	-	0,5	-	2	-
	LAGUNA	0,2	-	10,9	-	0,5	-	2	-

Tabela 16: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de 200 m<sup>3</sup> nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.

Unidade de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
PE da Serra do Tabuleiro	0,2	-	10,7	-
APA da Baleia Franca	0,2	-	10,7	-

### 3.2.1.2.3 Vazamento de Pior Caso

Para os vazamentos de *blowout* a partir do fundo ( $41.219 \text{ m}^3$ ), a deriva do óleo é principalmente para sudoeste do ponto de vazamento, devido à Corrente do Brasil e aos ventos de primeiro quadrante. Para esse maior volume com vazamento contínuo por 30 dias, a área possível de ser impactada é consideravelmente maior do que a dos cenários de menor volume, alcançando o limite sul do modelo, em torno de  $37^\circ\text{S}$ .

No Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos e enfraquecimento da CB, a extensão da área com probabilidades de chegada de óleo acima de 30% na direção sudoeste é menor. Além disso, são observadas probabilidades mais a norte do ponto de vazamento neste período, decorrente da maior frequência de frentes frias e ventos do segundo e terceiro quadrante.

Em superfície, probabilidades de presença de óleo acima de 30% são observadas a uma distância máxima do ponto de vazamento de 1.375 km no Período 1 e 1.060 km no Período 2. Em relação ao tempo mínimo de deslocamento de óleo, tem-se que o óleo pode atingir distâncias de cerca de 70 km no primeiro dia após o vazamento.

No Período 1 houve toque na costa de Itanhaém – SP até Santa Vitória do Palmar – RS, sendo cinco municípios com probabilidade maior que 30%, sendo o mais ao norte Porto Belo – SC e mais a sul Laguna – SC. A probabilidade máxima foi de 58,2% em Florianópolis – SC. No Período 2, houve toque na costa de São Sebastião – SP até Imbituba – SC. Não houve probabilidades acima de 30% na costa e o valor máximo foi observado em Itanhaém – SP, de 21,4%. O tempo mínimo de chegada de óleo na costa foi observado em Florianópolis em ambos os cenários, sendo de 8,7 dias no Período 1 e de 14,4 dias no Período 2.

As Unidades de Conservação com toque no Período 1 vão da APA Marinha do Litoral Centro até RDS do Molhe Leste e oito UCs apresentaram probabilidade acima de 30% entre REBIO Marinha do Arvoredo e APA da Baleia Franca. A maior probabilidade no Período 1 foi observada na REBIO Marinha do Arvoredo, sendo de 64%. No Período 2, houve toque do PE da Serra do Mar até REBIO Praia do Rosa, com valor acima de 30% apenas na APA Marinha do Litoral Sul, com 35,2%.

Na coluna d'água, uma vez que se trata de um vazamento de fundo, nos dois períodos há probabilidades entre 90 e 100% na região do entorno do vazamento, da superfície até a profundidade de vazamento. Nas primeiras camadas, o padrão de distribuição de probabilidade é similar ao observado em superfície, porém com redução das áreas de maiores probabilidades. Com o aumento da profundidade, a área de probabilidade diminui. O maior espalhamento do óleo ocorre até 50 metros de profundidade.

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, como uma coluna vertical a partir do ponto de vazamento com um espalhamento maior nas profundidades menores que 50 metros.

No fundo marinho, a área com probabilidade de toque se restringe às proximidades do ponto de vazamento e regiões rasas, próximo à costa frente ao estado de São Paulo até Rio Grande do Sul no Período 1 e até o norte de Santa Catarina no Período 2. Os valores máximos são de até 10-20% no Período 1 e inferiores a 10% no Período 2.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 60 dias de simulação, a evaporação foi o processo mais importante na retirada de óleo, apresentando valores de mediana em torno de 40%. O processo de degradação apresentou mediana em torno de 30%. Ao final da simulação, um percentual em torno de 25% do total vazado ficou disperso na coluna d'água. Já o óleo em superfície tem mediana inferior a 2% do total. No fundo marinho, a mediana é inferior a 1% no Período 2 e em torno de 3% no Período 1. O percentual de óleo acumulado na costa é inferior a 1% do total vazado em todas as simulações no Período 2, enquanto no Período 1 chega a quase 8%.

Os mapas de probabilidade de presença de óleo em superfície, na coluna d'água e na costa, exclusivamente para o Período 1, de tempo mínimo de chegada, concentração de óleo na coluna d'água, além do gráfico de balanço de massa para o vazamento de *blowout* a partir do fundo no Período 1 e Período 2 são apresentados a seguir.



### 3.2.1.2.3.1 Período 1

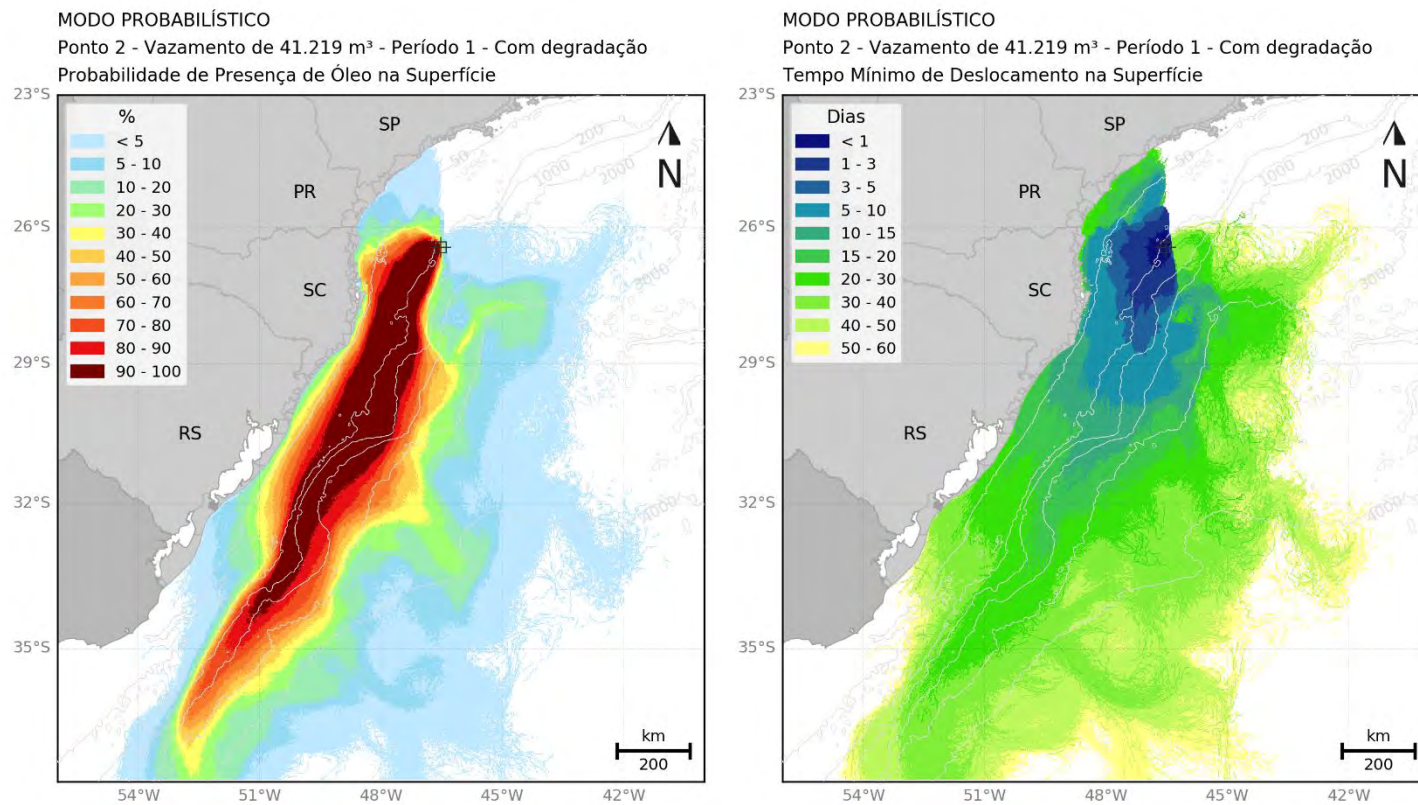


Figura 62: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de *blowout*. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.

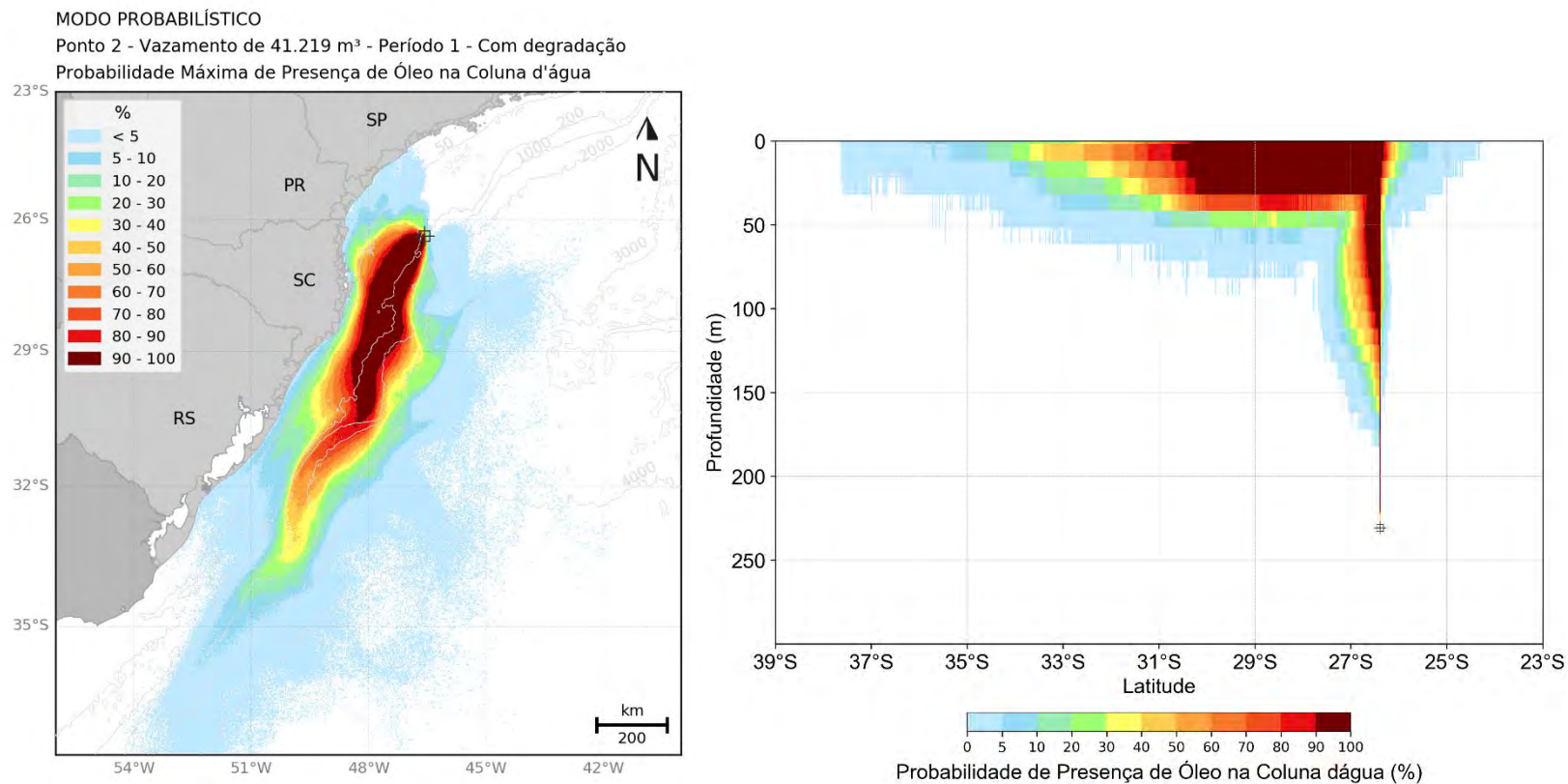


Figura 63: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de *blowout*. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.



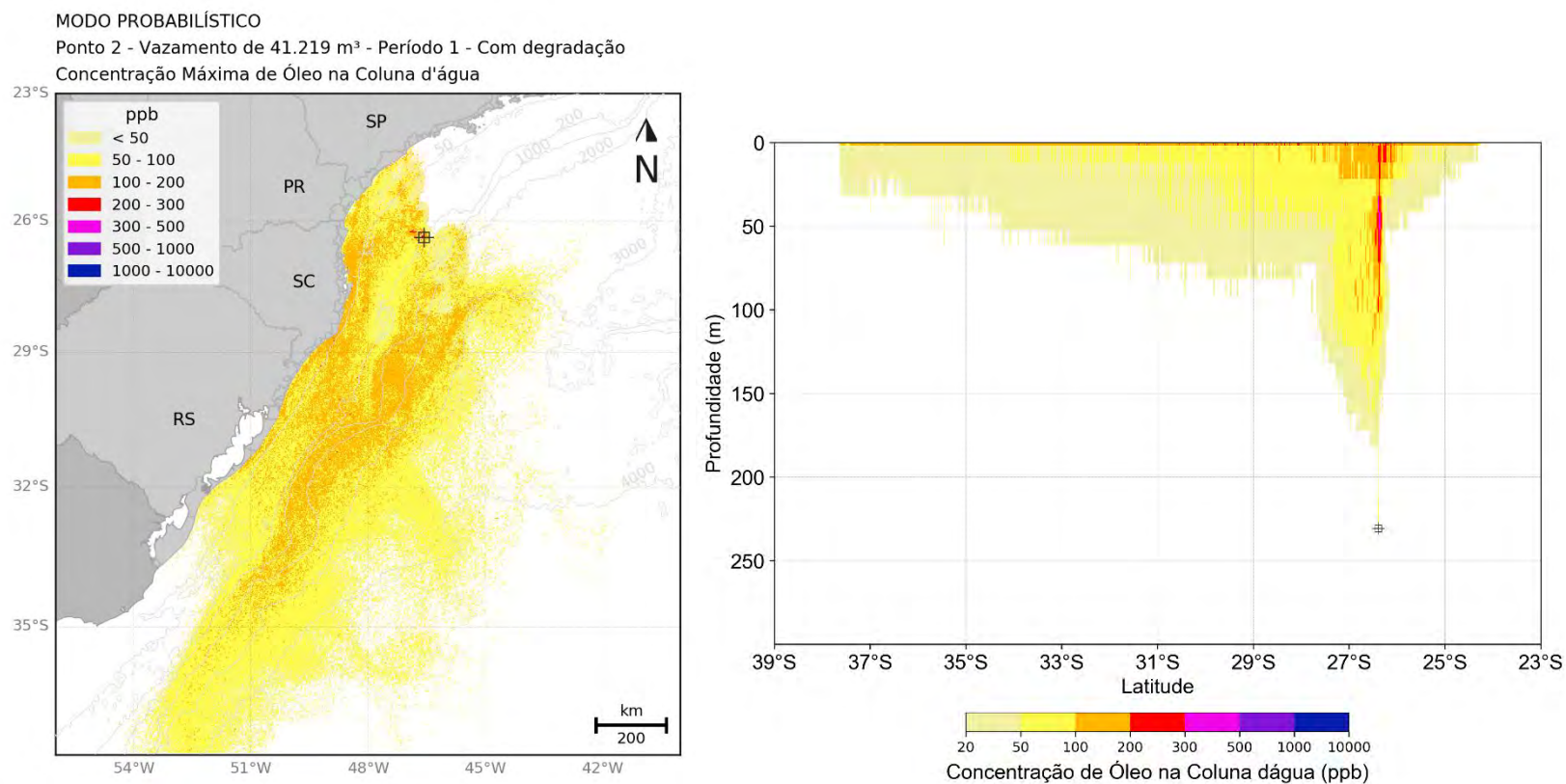


Figura 64: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de *blowout*. Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.

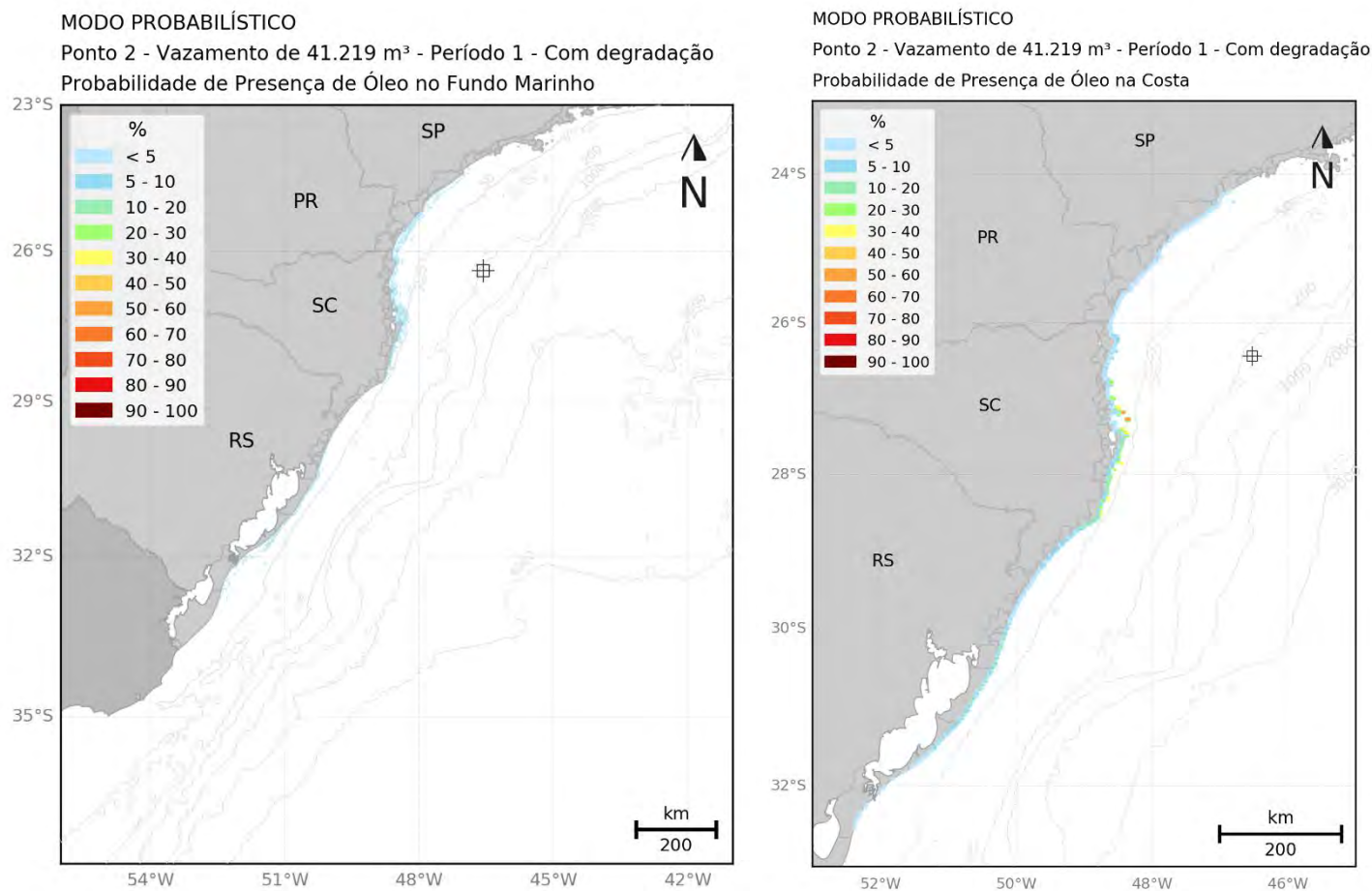


Figura 65: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 2, vazamento de blowout. Período 1 (setembro a fevereiro).  
Simulação de 60 dias



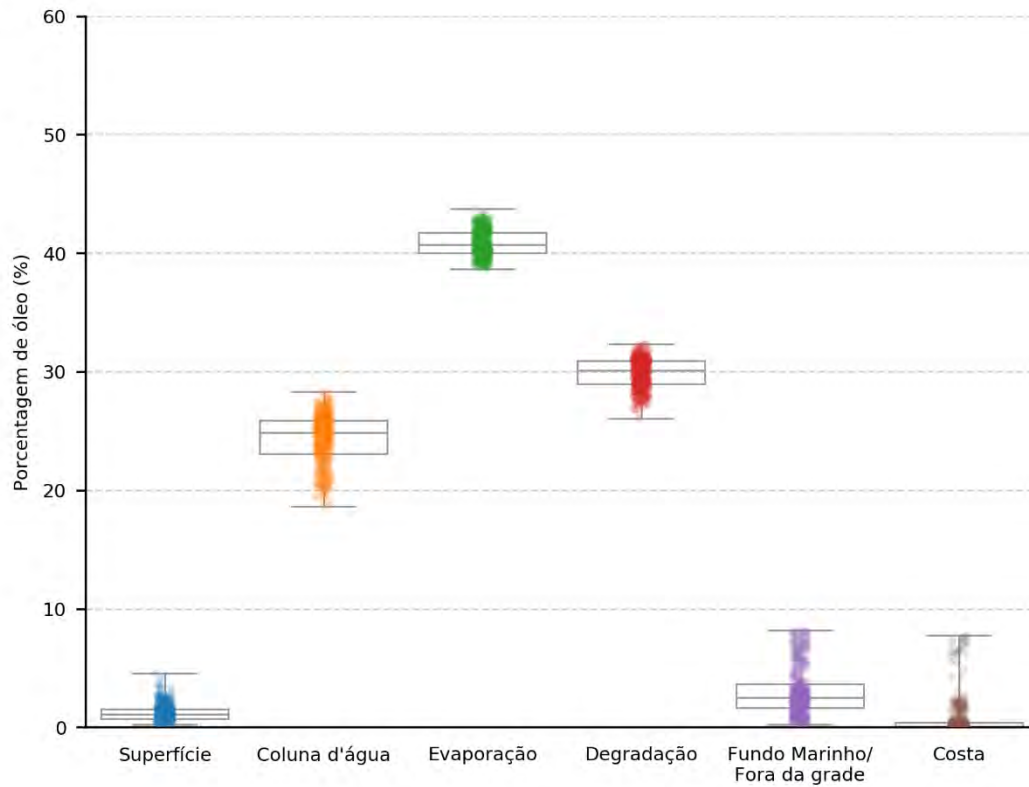


Figura 66: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de *blowout*.  
Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 60 dias.

### 3.2.1.2.3.2 Período 2

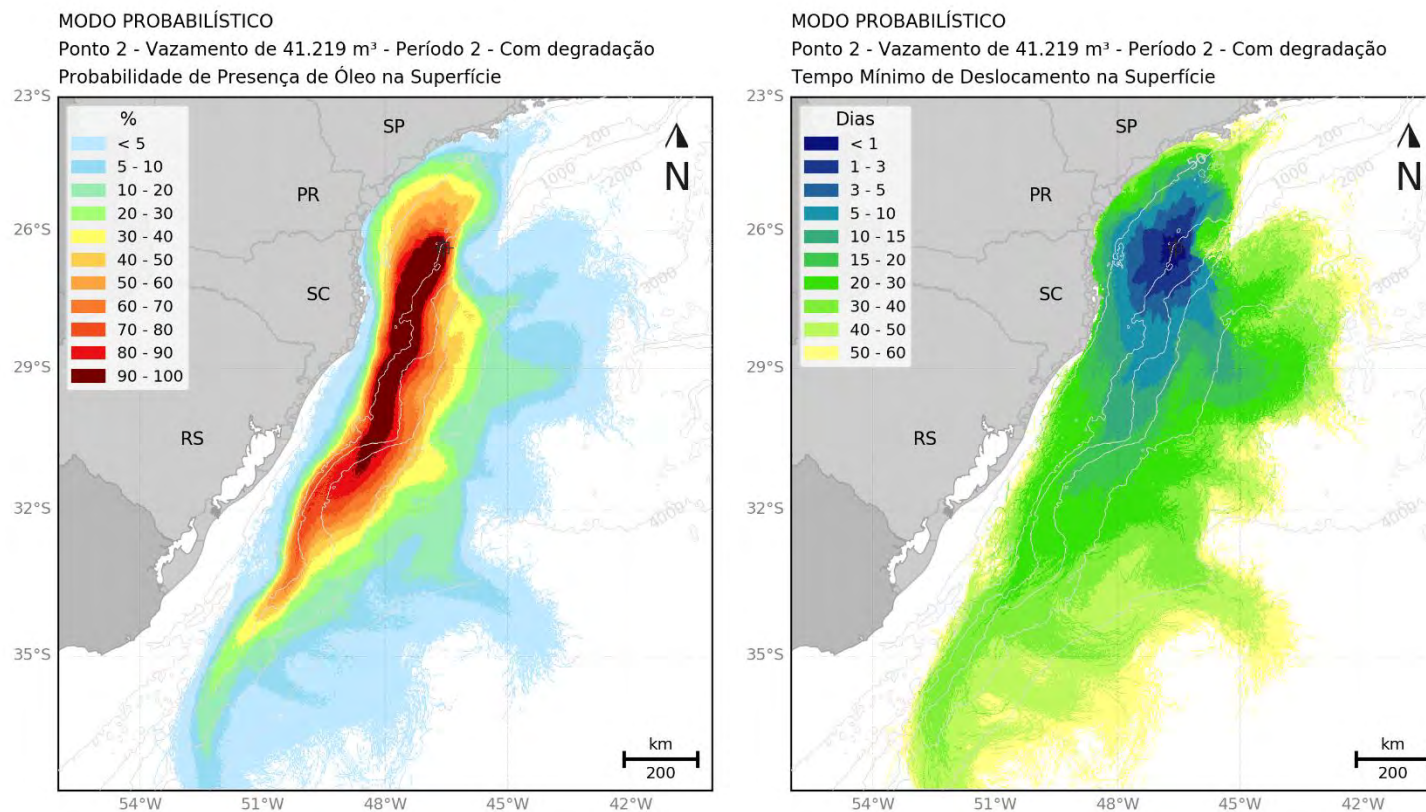


Figura 67: Mapa de probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o Ponto 2, vazamento de *blowout*. Período 2 (março a agosto).  
Simulação de 60 dias.

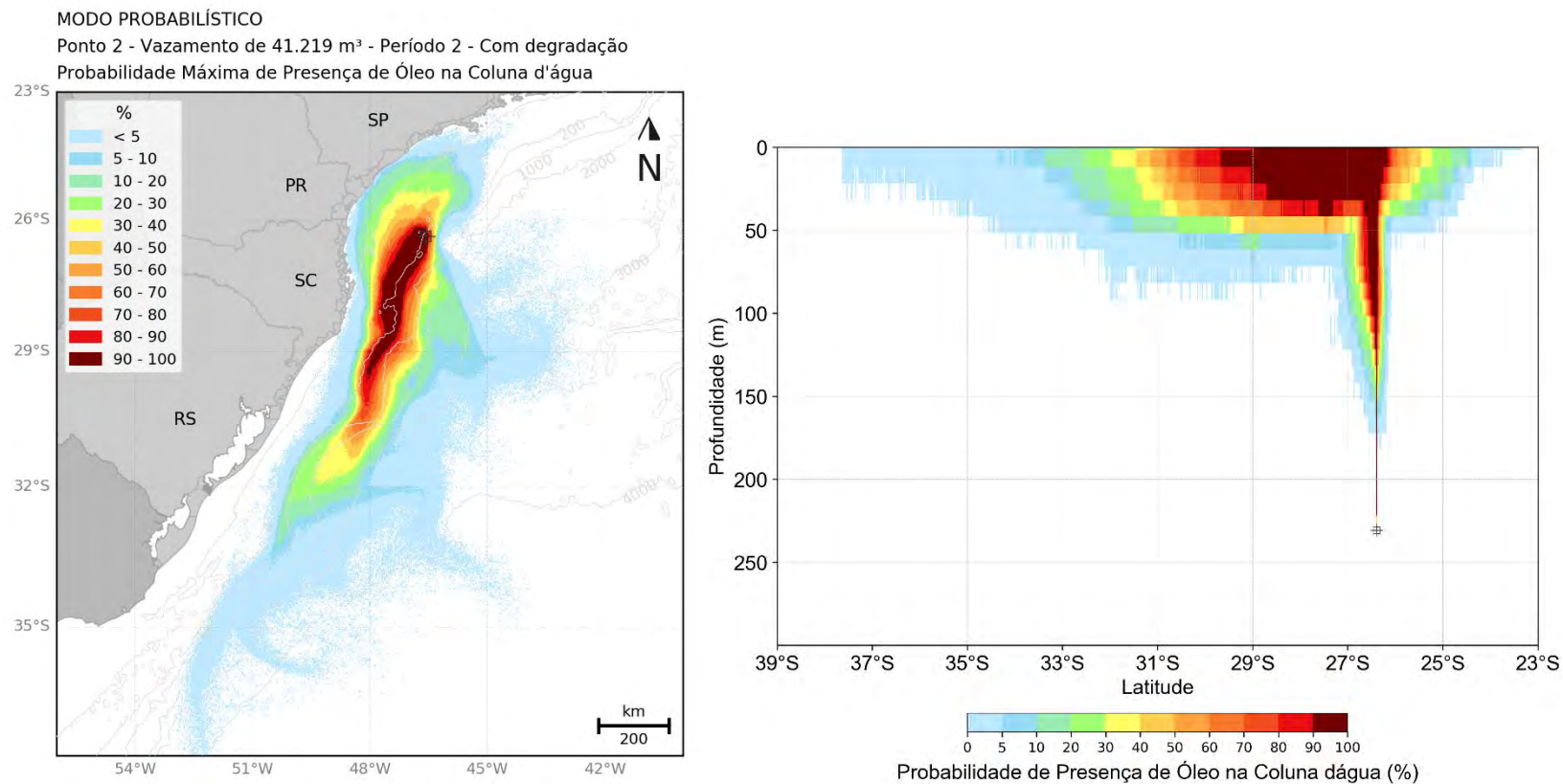


Figura 68: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de *blowout*. Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias.

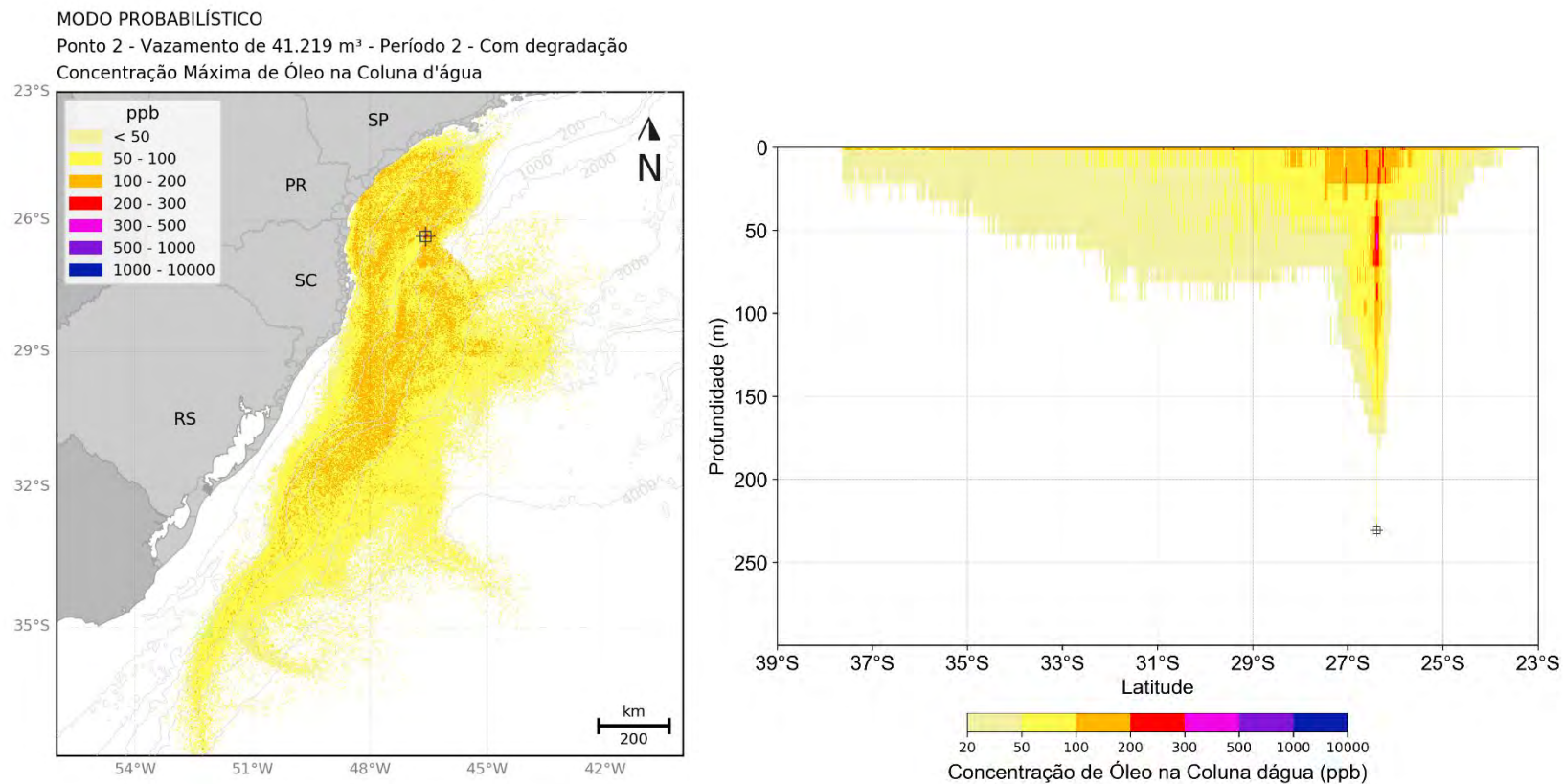
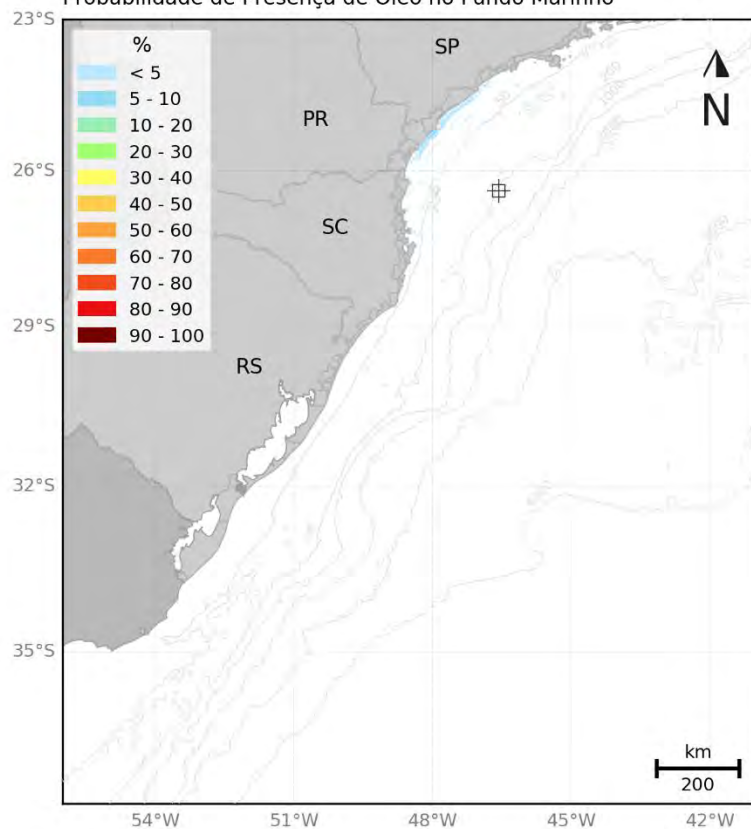


Figura 69: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o Ponto 2, vazamento de *blowout*. Período 2 (março a agosto).  
Simulação de 60 dias.



**MODO PROBABILÍSTICO**  
Ponto 2 - Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação  
Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho



**MODO PROBABILÍSTICO**  
Ponto 2 - Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup> - Período 2 - Com degradação  
Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

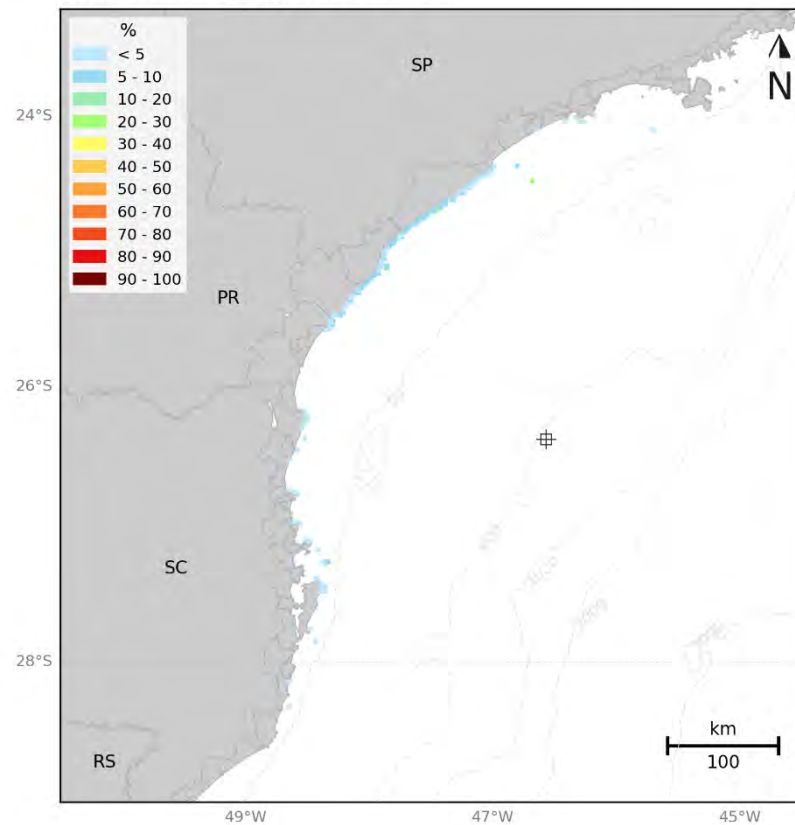


Figura 70: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o Ponto 2, vazamento de blowout. Período 2 (setembro a fevereiro).  
Simulação de 60 dias

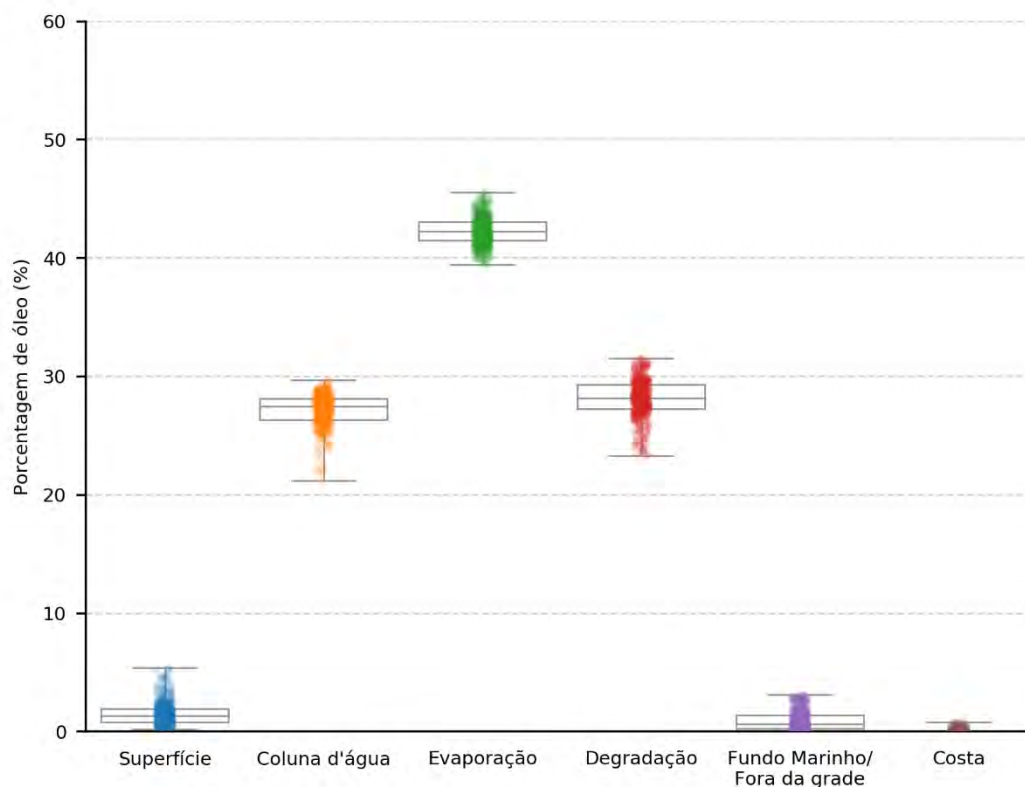


Figura 71: Balanço de massa das simulações probabilísticas para o Ponto 2, vazamento de *blowout*.  
Período 2 (março a agosto). Simulação de 60 dias.

A seguir, são apresentadas informações específicas para os municípios e Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidos por óleo em um vazamento de *blowout* (Tabela 13 e Tabela 14).

Tabela 17: Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada e massa máxima e nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de *blowout*, nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 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
SP	UBATUBA	-	0,4*	-	52,3*	-	**	-	**
	ILHABELA	-	1,2*	-	48,1*	-	**	-	**
	SÃO SEBASTIÃO	-	1,6	-	47,1	-	0,7	-	5
	BERTIOGA	-	0,2*	-	54,4*	-	**	-	**
	GUARUJÁ	-	0,6	-	48,6	-	0,6	-	11
	SANTOS	-	15,6*	-	20,8*	-	**	-	**
	PRAIA GRANDE	-	0,2	-	49,6	-	0,4	-	2
	MONGAGUÁ	-	0,2	-	53,3	-	0,6	-	2
	ITANHAÉM	1,4	21,4	20,3	19,3	0,8	5,1	11	5
	PERUÍBE	2,2	1,8	20,4	38,6	1,9	0,9	33	11
	IGUAPE	2,2	10,4	19	33,6	1,3	6,9	53	56
	ILHA COMPRIDA	2,8	10,8	19,9	33,6	2,3	5	56	76
	CANANÉIA	2,8	11	19,3	25,2	1,8	7,1	36	48
PR	GUARAQUEÇABA	4	7,6	19,5	24,6	6,7	6,7	39	48
	PARANAGUÁ	4,2	6,6	23	31,1	1,6	2,2	14	14
	PONTAL DO PARANÁ	4,2	0,2	27,2	46,2	5,1	0,4	22	2
	MATINHOS	3,4	8,6*	27,2	19,2*	1,3	**	19	**
	GUARATUBA	3,8	0,6*	30,2	41,0*	2,5	**	14	**
SC	ITAPOÁ	7,2	0,6*	25,4	30,5*	5,6	**	39	**
	SÃO FRANCISCO DO SUL	9,6	3,6	22,8	22,3	7,7	2	56	19
	BALNEÁRIO BARRA DO SUL	11,2	0,8	24,3	19,9	3,7	0,5	19	5
	ARAQUARI	9,2	0,2	25	19,9	2,1	0,4	8	2
	BARRA VELHA	9,6	3,0*	25,5	16,5*	1,9	**	25	**
	BALNEÁRIO PIÇARRAS	2,4	0,2*	31,9	37,5*	1,2	**	8	**
	PENHA	24,2	2,2	12	16,3	7,2	3,2	25	8
	NAVEGANTES	4,8	0,4*	29,2	26,5*	1,5	**	16	**
	ITAJAÍ	4,8	1,4*	27,5	23,1*	1,5	**	14	**
	BALNEÁRIO CAMBORIÚ	28	2	13,2	20,6	21	2,3	28	8
	ITAPEMA	6	0,2*	20,4	24,4*	1,2	**	11	**
	PORTO BELO	34,2	2,4	13	21,1	27,4	2,9	31	5
	BOMBINHAS	51	3	9,9	16,3	28,4	6,4	50	11
	TIJUCAS	0,4	-	39,5	-	0,4	-	5	-
	GOVERNADOR CELSO	4,4	-	17,8	-	1,5	-	28	-



RAMOS								
FLORIANÓPOLIS	58,2	5,4	8,6	14,7	34,2	10,3	147	36
PALHOÇA	13	-	10,6	-	25,7	-	14	-
PAULO LOPES	23,2	0,4*	10,2	25,1*	25,7	**	19	**
GAROPABA	22	1,2*	10,4	19,3*	11,7	**	39	**
IMBITUBA	33	1	10,2	20,3	27,3	1,8	48	5
LAGUNA	31,8	0,4*	10,9	24,0*	27,6	**	59	**
JAGUARUNA	19,6	0,2*	11,6	40,5*	6,7	**	48	**
BALNEÁRIO RINCÃO	8,8	-	14,5	-	4	-	16	-
ARARANGUÁ	7,6	-	15,6	-	2,4	-	16	-
BALNEÁRIO ARROIO DO SILVA	8,2	0,2*	15,9	38,5*	3,7	**	25	**
BALNEÁRIO GAIVOTA	7,4	0,2*	16,8	38,5*	3,5	**	25	**
PASSO DE TORRES	3	-	24,1	-	1,2	-	14	-
TORRES	3	-	18,2	-	1	-	16	-
ARROIO DO SAL	4	-	18,2	-	1,5	-	22	-
TERRA DE AREIA	2,2	-	25,7	-	0,6	-	5	-
CAPÃO DA CANOA	4,8	-	20,2	-	1	-	22	-
XANGRI-LÁ	4,8	-	24,6	-	1	-	11	-
OSÓRIO	8,2	-	26,4	-	1,2	-	8	-
IMBÉ	10	-	19,2	-	2,1	-	16	-
TRAMANDAÍ	13,2	-	19,2	-	2,5	-	22	-
CIDREIRA	16	-	19,3	-	3,8	-	25	-
BALNEÁRIO PINHAL	16	-	19,4	-	2,7	-	14	-
PALMARES DO SUL	18,4	0,2*	19,4	55,9*	2,5	**	33	**
MOSTARDAS	14,8	-	22	-	3,2	-	107	-
TAVARES	10,8	-	25,4	-	2,2	-	53	-
SÃO JOSÉ DO NORTE	5,2	-	28,8	-	1,8	-	65	-
RIO GRANDE	2	-	37	-	0,9	-	36	-
SANTA VITÓRIA DO PALMAR	0,2	-	54,3	-	0,4	-	2	-

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

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

Tabela 18: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas para o vazamento de *blowout*, nos cenários de Período 1 e Período 2 para o Ponto 2.

Unidade de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
PE da Serra do Mar	-	0,2	-	53,3
APA Marinha do Litoral Norte	-	2,2	-	44,8
ESEC Tupinambás	-	2,4	-	47
PE da Ilha Anchieta	-	0,2	-	52,9
PE de Ilhabela	-	1,2	-	48,5
APA Marinha do Litoral Centro	3	28,2	14	13,2
APA Alcatrazes	-	0,2	-	48,9
PE Xixová-Japuí	-	0,4	-	49,6
RVS do Arquipélago de Alcatrazes	-	10,2	-	25
APA de Cananéia-Iguapé-Peruíbe	1,8	10,4	19,9	33,6
PE Marinho da Laje de Santos	-	15,6	-	21,6
PNM Restinga do Guaraú	2,2	0,2	22,2	59,2
ESEC Juréia-Itatins	2,2	7	19	36,3
ESEC dos Tupiniquins	5,2	16,2	18,8	26
RVS das Ilhas do Abrigo e Guararitama	2,6	4,4	21,6	35,2
ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	1,4	21,4	19,5	19,2
PE do Itinguçu	1,2	1,8	20,5	43,5
PNM dos Manguezais do Rio Preto	0,4	-	26,5	-
PNM do Bougainville	2,4	4,6	19,1	40,3
RDS da Barra do Una	0,4	-	30,4	-
PNM do Vilão	1,6	2,4	20,4	43,5
RDS Barra do Una (Setor Marinho)	2,4	8,8	20,1	34,6
APA Marinha do Litoral Sul	6,6	35,2	16,8	17,1
PE do Prelado	1,8	6,8	21,3	36,3
APA Ilha Comprida	2,8	12,6	19,9	33,6
ARIE do Guará	1,8	12,8	19,8	33,6
ARIE da Ilha Comprida	1,8	11	21,9	34,4
APA de Guaraqueçaba	4,8	8,8	19,5	24,2
PE da Ilha do Cardoso	2,6	11	19,1	25,8
RESEX Ilha do Tumba	0,6	8,8	30,1	26,7
PARNA do Superagui	4,8	8,8	19,5	24,2
ESEC da Ilha do Mel	0,4	0,6	33,5	39,7
PE da Ilha do Mel	4,2	7,2	22,9	31,1
APA de Guaratuba	5	0,2	30,2	53,2
PARNA de Saint-Hilaire/Lange	3,4	-	30,2	-
PNM do Rio Perequê	0,2	0,2	34,9	46,2
PARNA Marinho das Ilhas dos Currais	8,6	16,2	22	18
PE do Rio da Onça	2	-	32,5	-

RPPN Fazenda Palmital	1,6	-	32,6	-
PE Acaraí	9,6	3,6	22,8	16,2
PNM Caminho do Peabiru	3	-	26,9	-
PNM do Atalaia	3,4	-	29,2	-
RPPN Aroeira Vermelha	9,8	0,4	24,4	26,5
APA Costa Brava	3,2	-	23,1	-
PNM Costeira de Zimbros	5,4	-	13,8	-
RPPN Morro dos Zimbros	12,6	-	17,6	-
REBIO Marinha do Arvoredo	64	14,2	8,1	14,3
PM Morro dos Macacos	42,6	2	12,1	20,2
APA Anhatomirim	4,4	-	19,7	-
PNM Lagoa do Jacaré das Dunas do Santinho	40	2	9,2	14,8
AT Dunas dos Ingleses	39,8	1	11,1	20,5
AT Dunas do Santinho	39,8	1	11,1	20,5
ESEC de Carijós	1,6	-	22,2	-
RPPN Morro das Aranhas	35,2	0,4	11,3	20,6
PE do Rio Vermelho	16,4	0,4	10,5	22,7
MN da Galheta	24,2	0,4	10,7	22,5
PNM da Galheta	24,2	0,2	10,7	28,4
PNM do Maciço da Costeira	7,6	-	11,9	-
PNM das Dunas da Lagoa da Conceição	23	-	10,3	-
AT da Lagoinha Pequena	11,2	-	11,8	-
PE da Serra do Tabuleiro	34	1,4	10	15,1
AT Dunas do Campeche	12,4	-	11,8	-
AT da Lagoa da Chica	6,2	-	13,5	-
MN da Lagoa do Peri	9	-	11,2	-
PNM da Lagoa do Peri	9	-	11,9	-
PNM da Lagoinha do Leste	23,4	0,2	10,9	22,5
APA da Baleia Franca	45,8	1,4	9,8	15
APA do Entorno Costeiro	17	-	10,6	-
REBIO Praia do Rosa	26,8	0,8	10,5	23,6
PE de Itapeva	3,4	-	23,2	-
RVS Ilha dos Lobos	10,4	-	19,2	-
PE da Guarita	3	-	26,5	-
PARNA da Lagoa do Peixe	18,4	-	25	-
RDS do Molhe Leste	4	-	33,9	-

### 3.2.2 Resultados Determinísticos

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas, foram identificadas as condições críticas para ocorrência de um vazamento de 41.219 m<sup>3</sup> na região do Bloco BM-S-40, na Bacia de Santos.

Tanto a situação de menor tempo de chegada de óleo na costa quanto a situação de maior massa acumulada ocorreram nos vazamentos a partir do Ponto 2 no Período 1. Na Tabela 19 são apresentadas as informações dessas condições críticas selecionadas.

Tabela 19: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para um derrame de grande volume (41.219 m<sup>3</sup>).

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	14/12/2013 02h	8,7	Florianópolis - SC	767,8
Maior massa de óleo acumulada na costa	19/11/2013 21h	11,2	Florianópolis - SC	~2.800

#### 3.2.2.1 Menor tempo de chegada de óleo à costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado que se estendeu de 14/12/2013 às 2h até 12/02/2014 às 2h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

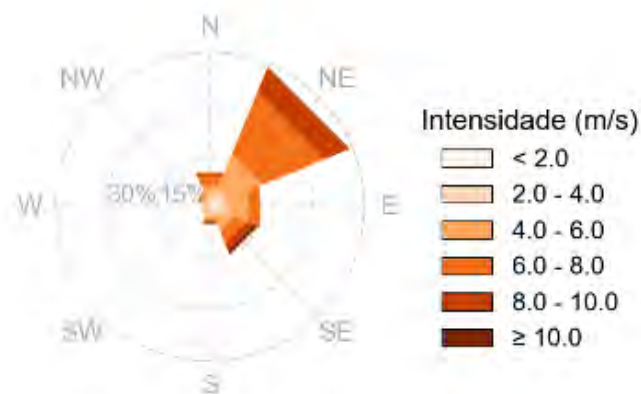


Figura 72: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.

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 menor tempo de toque na costa.

Direção -> Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
0-2	13	19	27	18	10	7	5	8	7,4
2-4	33	58	55	38	9	8	24	16	16,7
4-6	49	164	95	58	30	17	6	22	30,6
6-8	47	279	51	55	17	-	-	13	32,1
8-10	13	114	-	29	13	-	-	-	11,7
>10	-	2	-	19	-	-	-	-	1,5
Freq. (%)	10,8	44,1	15,8	15,1	5,5	2,2	2,4	4,1	

Tabela 21: 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)
241	154	5,55	0,07	11,87	2,23

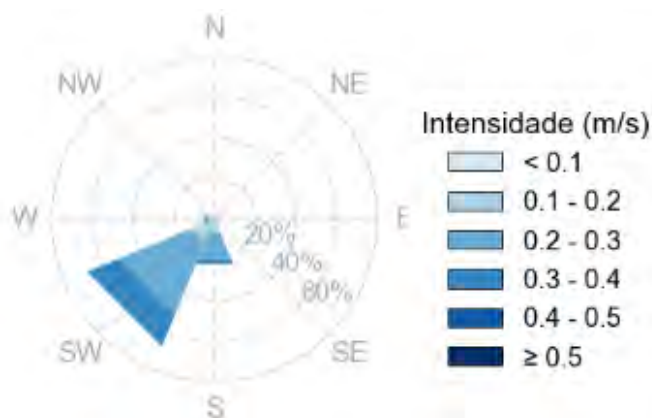


Figura 73: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo de toque na costa.

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 menor tempo de toque na costa.

Direção -> Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
<0,1	1	-	1	-	-	1	-	1	2,0
0,1 - 0,2	-	-	-	1	15	25	6	-	23,0
0,2 - 0,3	-	-	-	1	29	78	5	-	55,4
0,3 - 0,4	-	-	-	-	5	34	1	-	19,6
0,4 - 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
>0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq. (%)	0,5	-	0,5	1,0	24,0	67,6	5,9	0,5	

Tabela 23: 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)
218	217	0,25	0,06	0,37	0,06

Pelos dados de vento no período da simulação nota-se a predominância de ventos de nordeste (44%). As intensidades predominantes estão entre 6 e 8 m/s (32%). As informações de correntes mostram que a direção das correntes é preferencialmente para sudoeste (67,6%) e que as velocidades se concentram entre 0,2 e 0,3 m/s (55,4%).

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



# MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 14-12-2013 14h

Vento 5.0 m/s: →

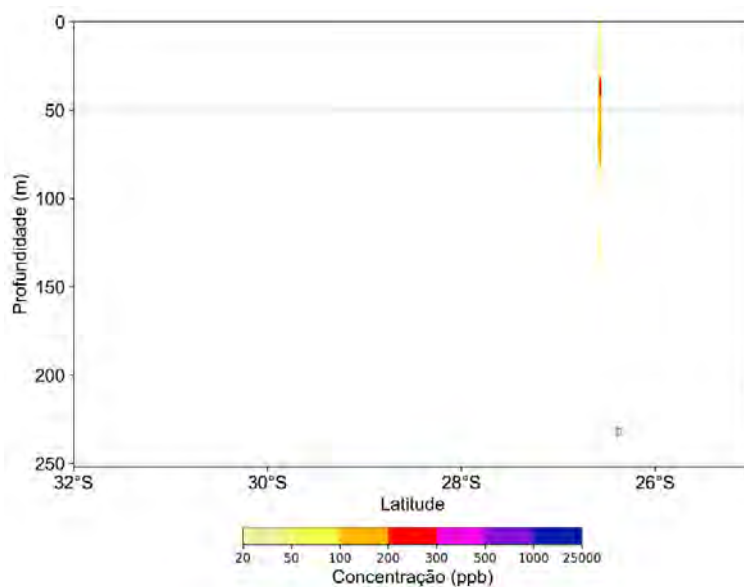
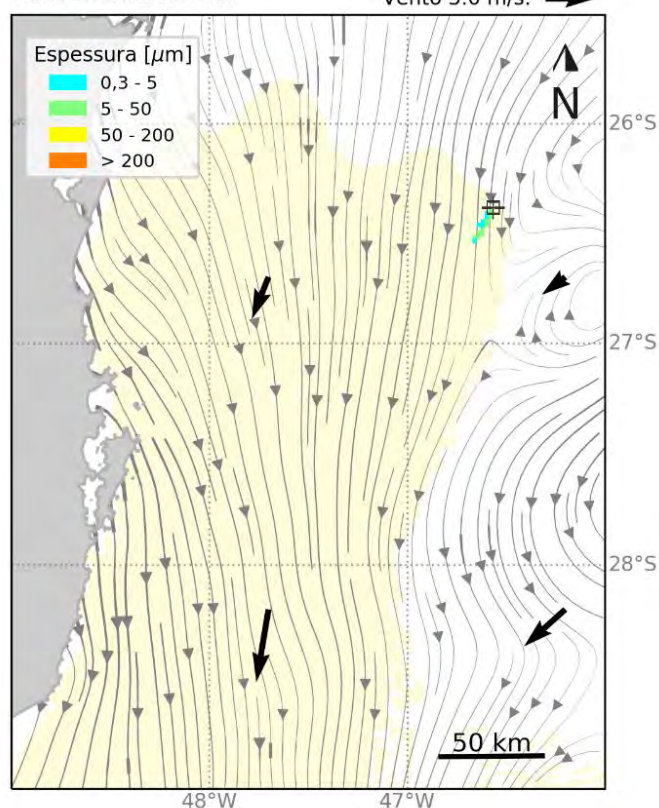


Figura 74: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 15-12-2013 14h

Vento 5.0 m/s: →

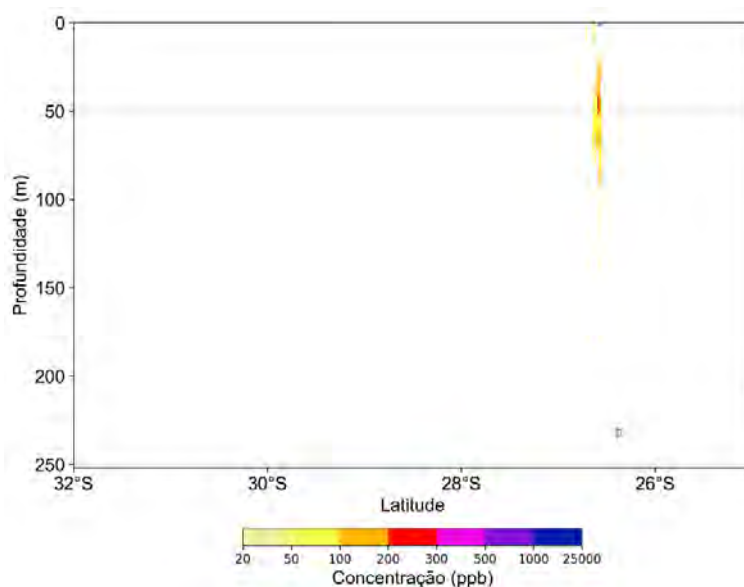
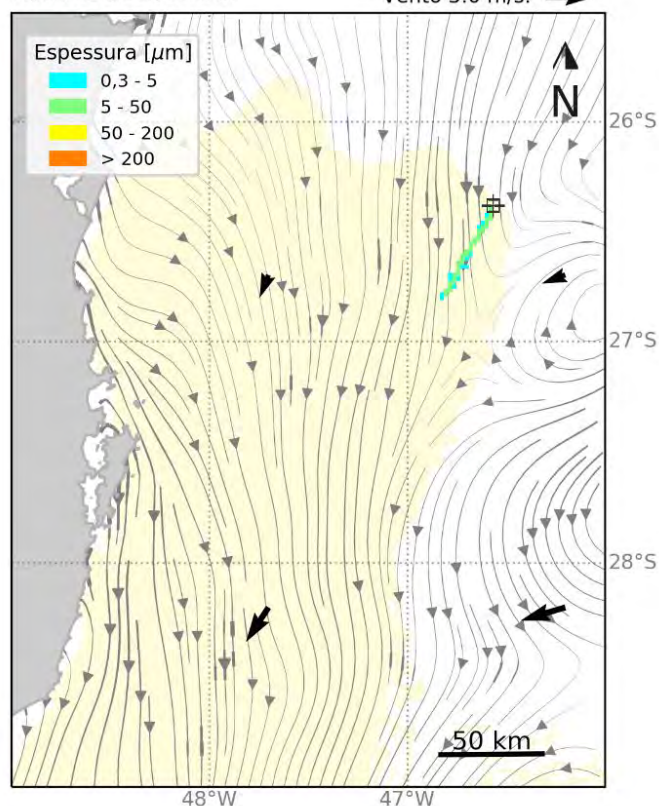


Figura 75: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 16-12-2013 14h

Vento 5.0 m/s: →

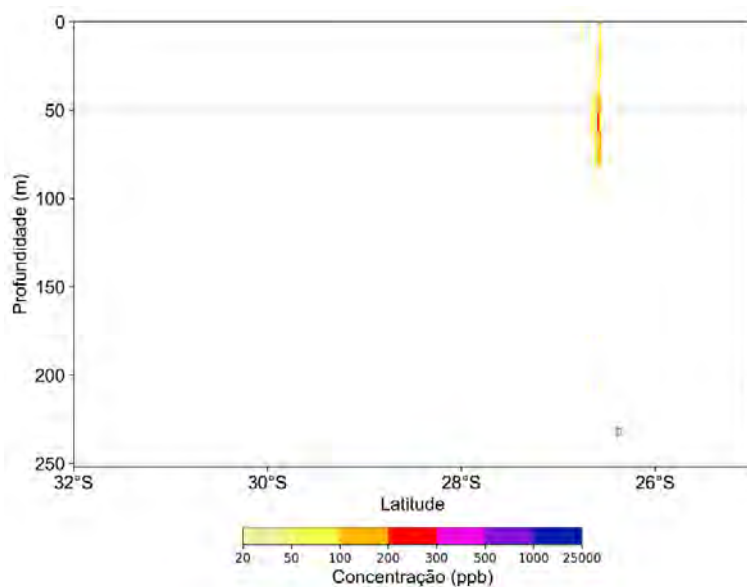
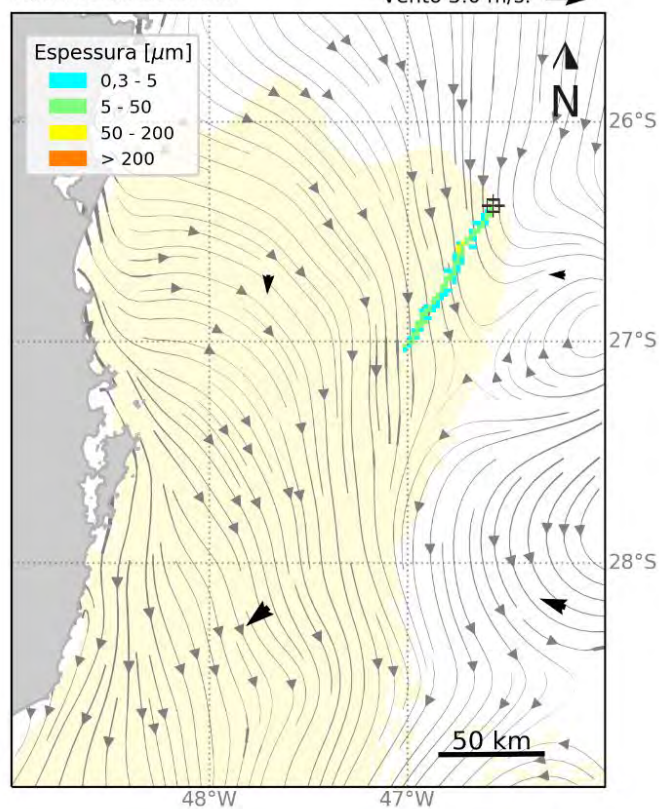


Figura 76: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 21-12-2013 02h

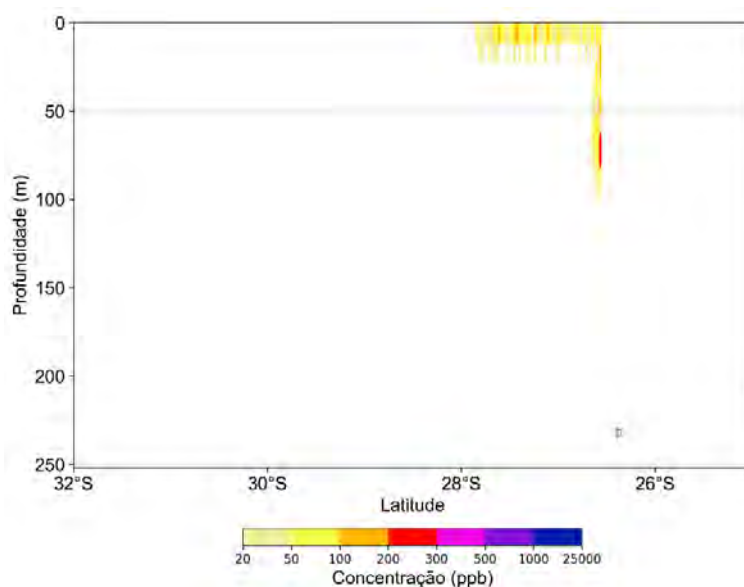
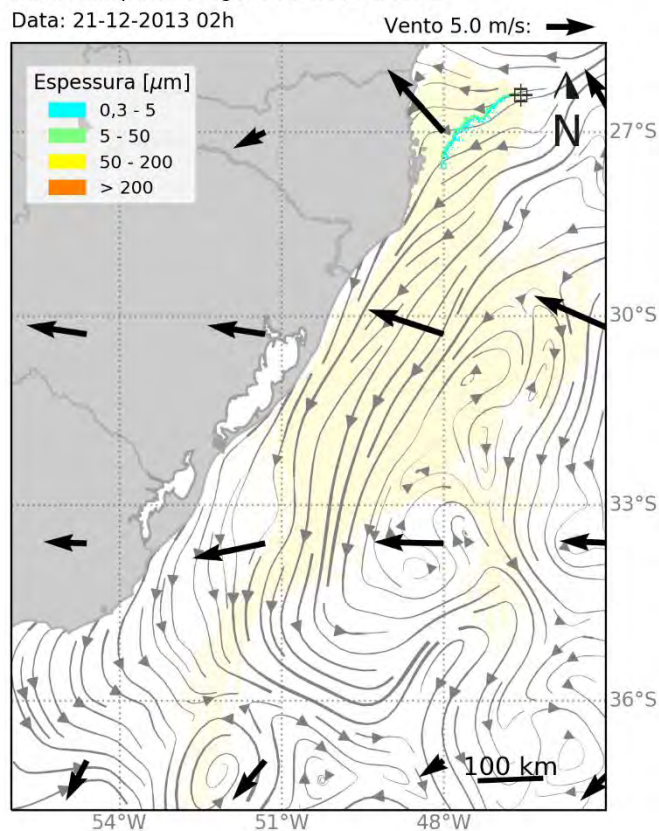


Figura 77: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.



**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 22-12-2013 17h

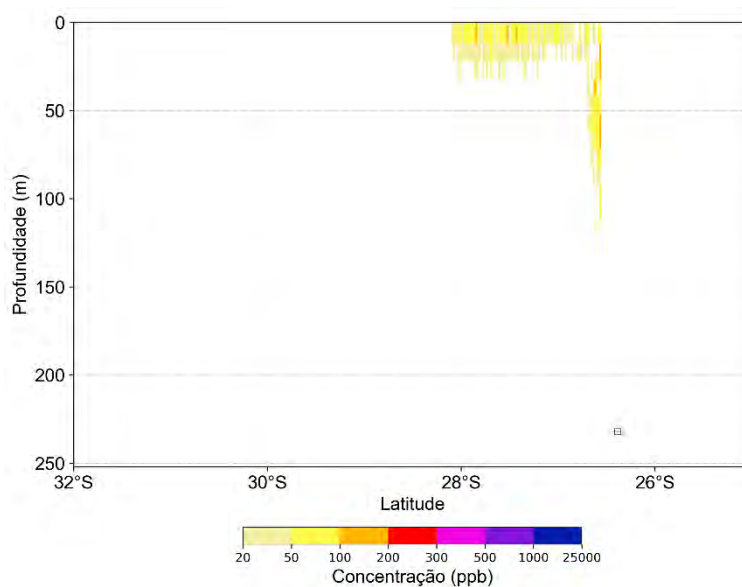
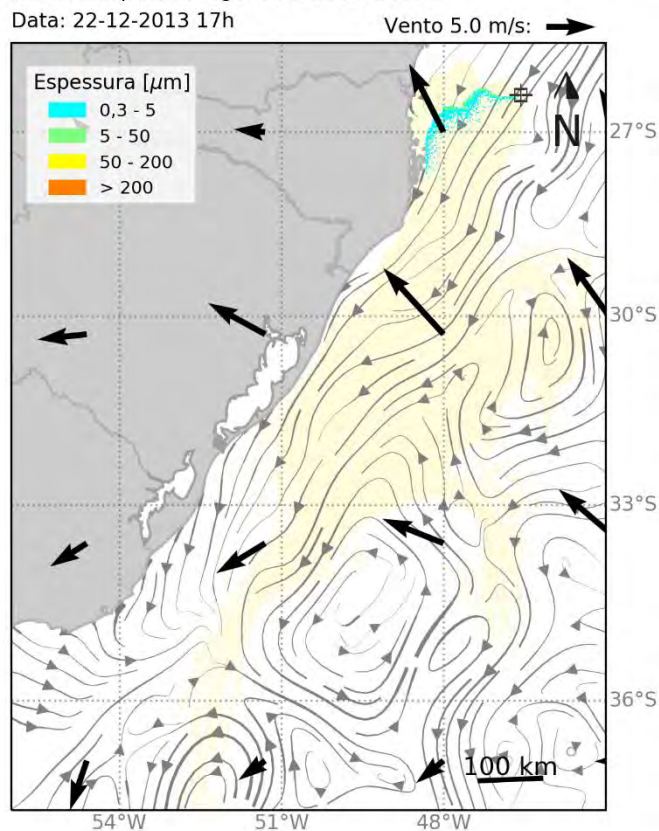


Figura 78: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 207 horas (primeiro toque na costa) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 28-12-2013 02h

Vento 5.0 m/s: →

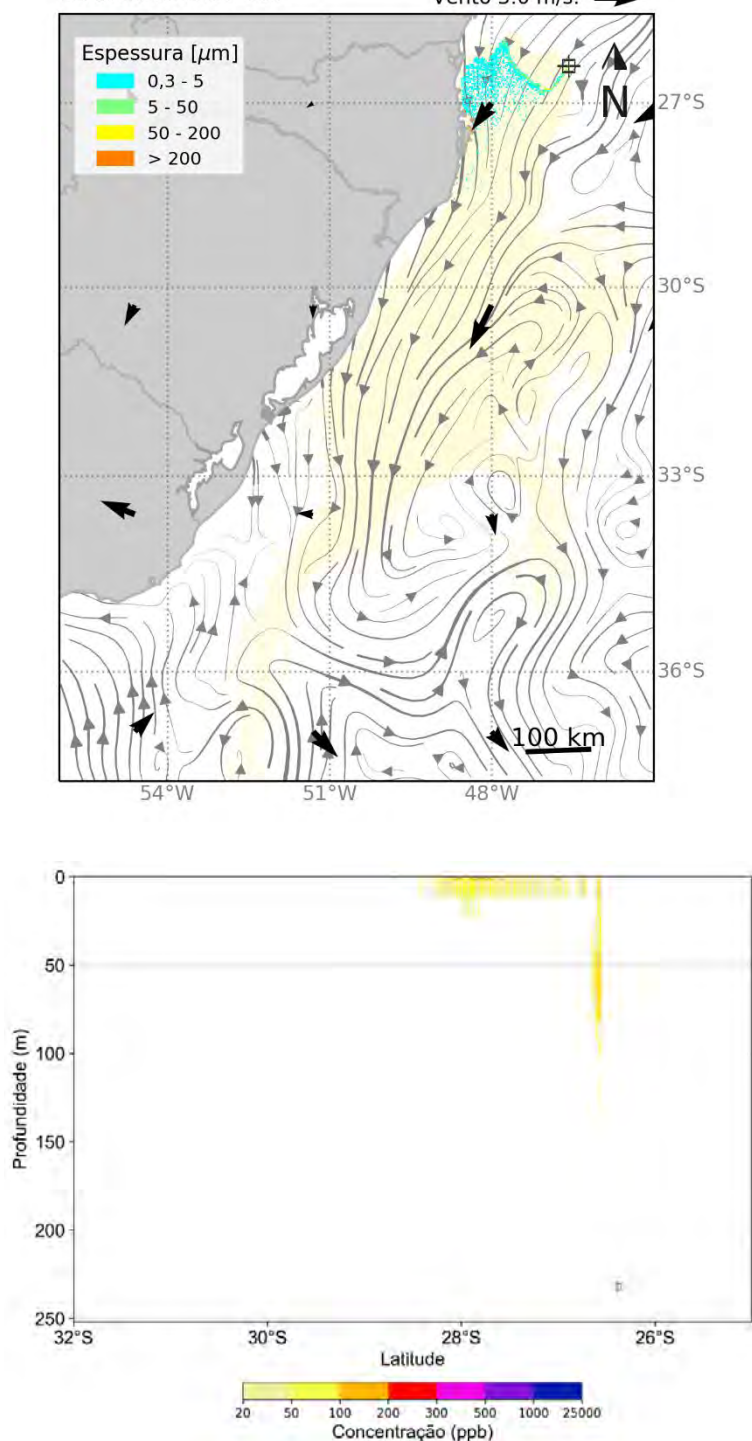


Figura 79: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 04-01-2014 02h

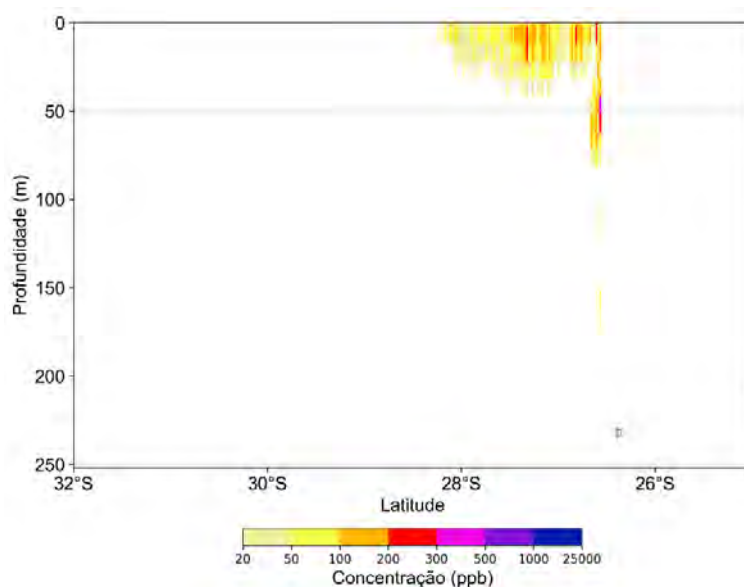
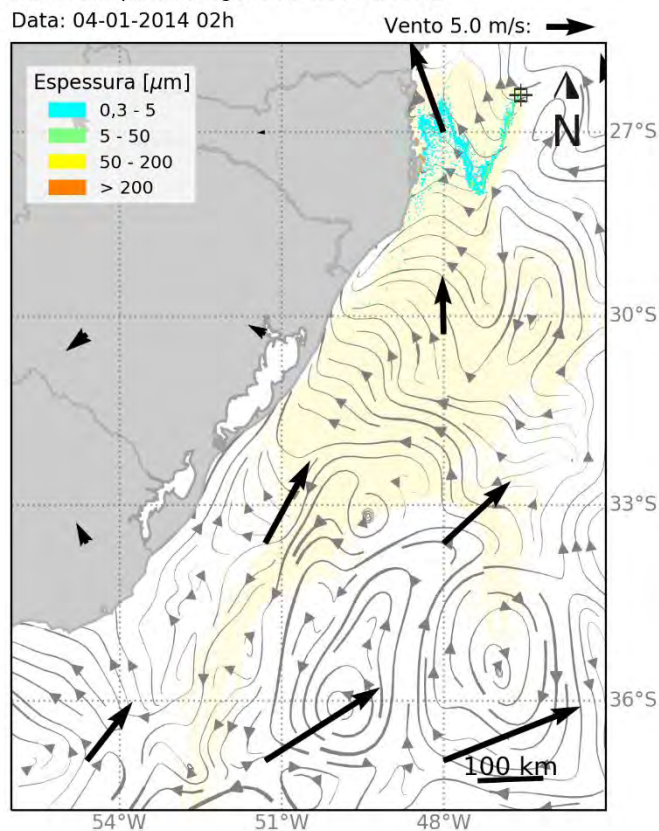


Figura 80: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.



**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 13-01-2014 02h

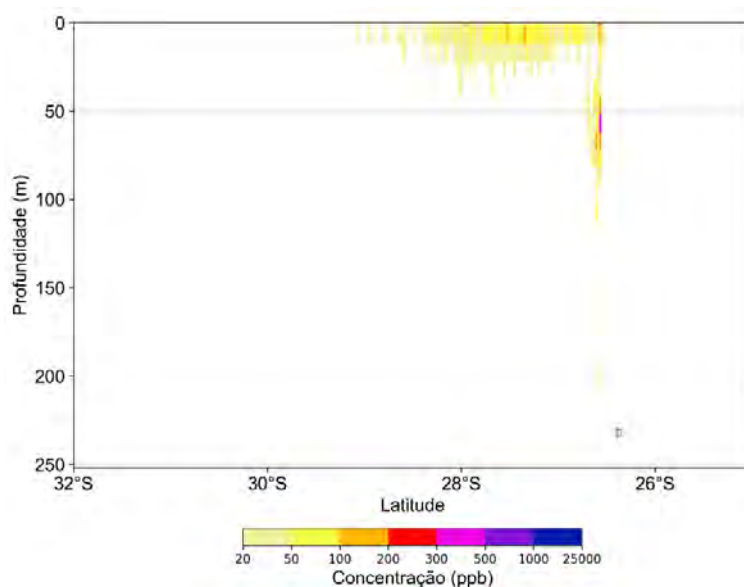
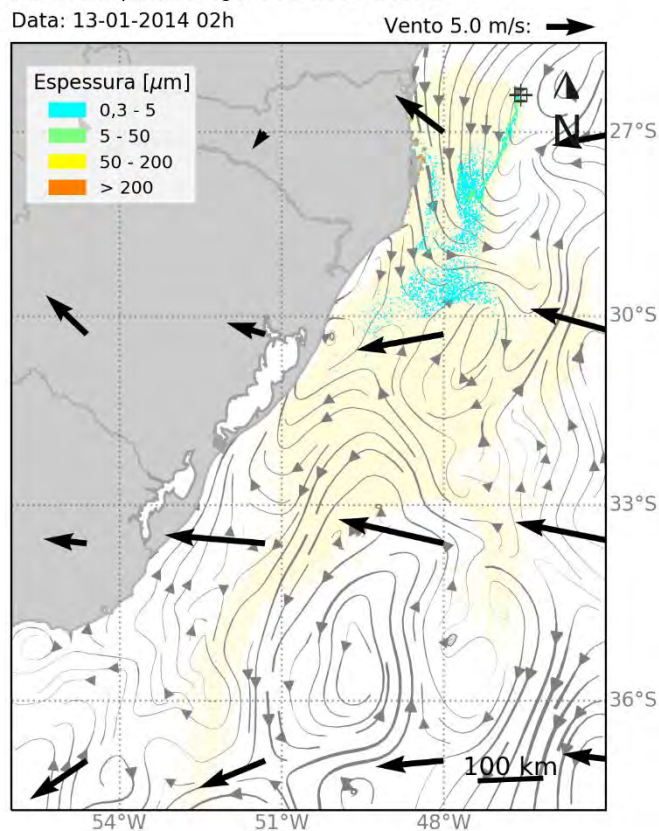


Figura 81: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 28-01-2014 02h

Vento 5.0 m/s: →

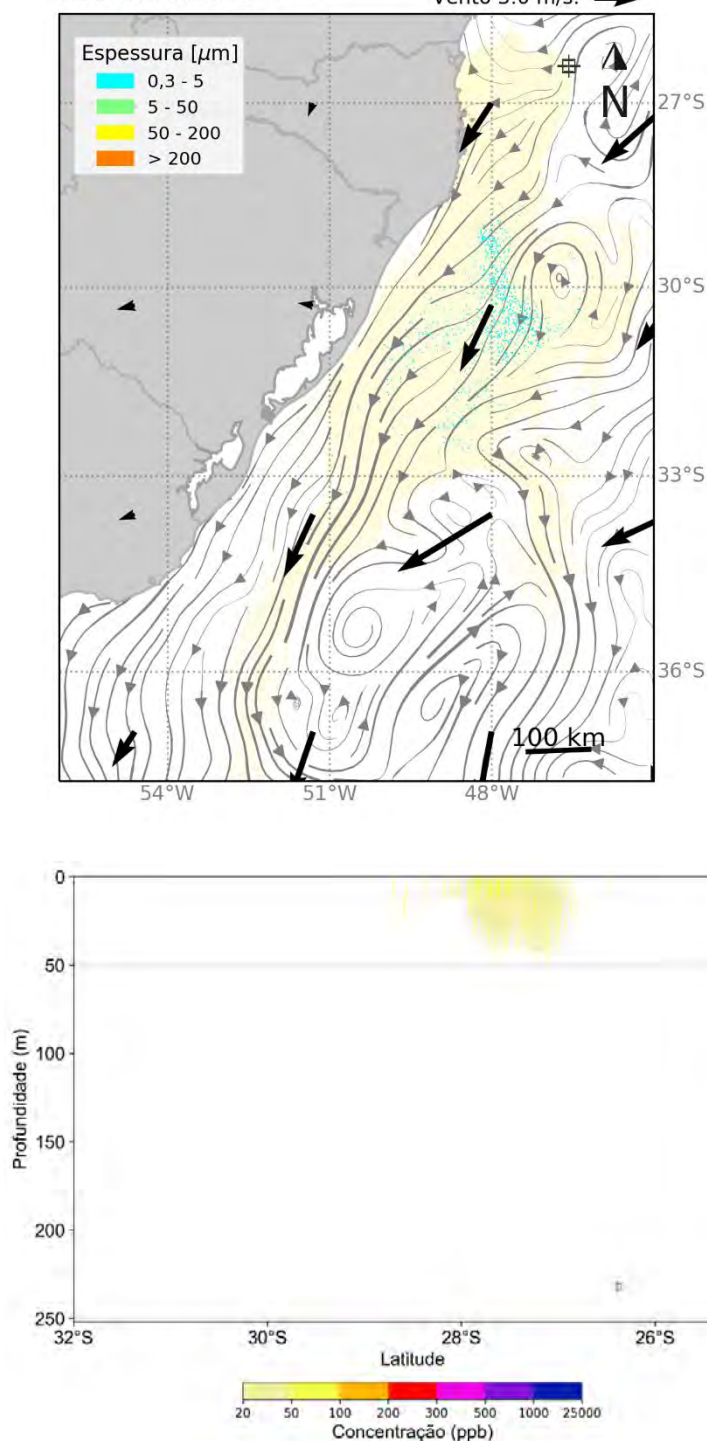


Figura 82: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 12-02-2014 02h

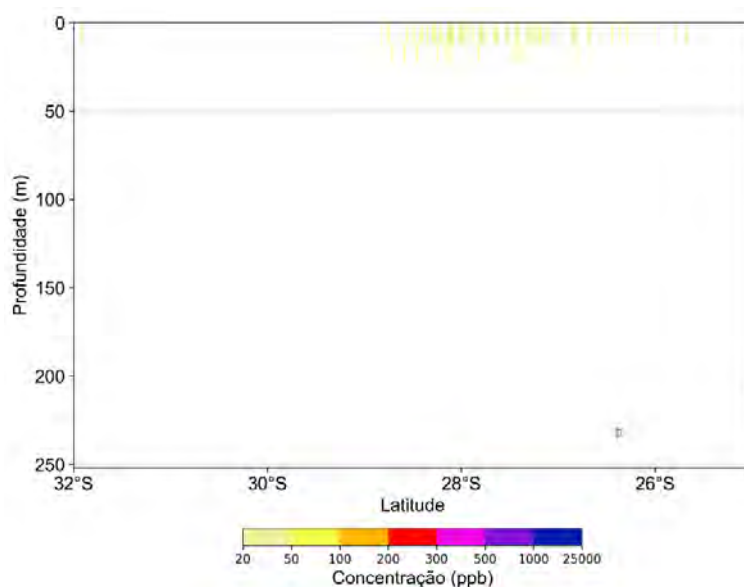
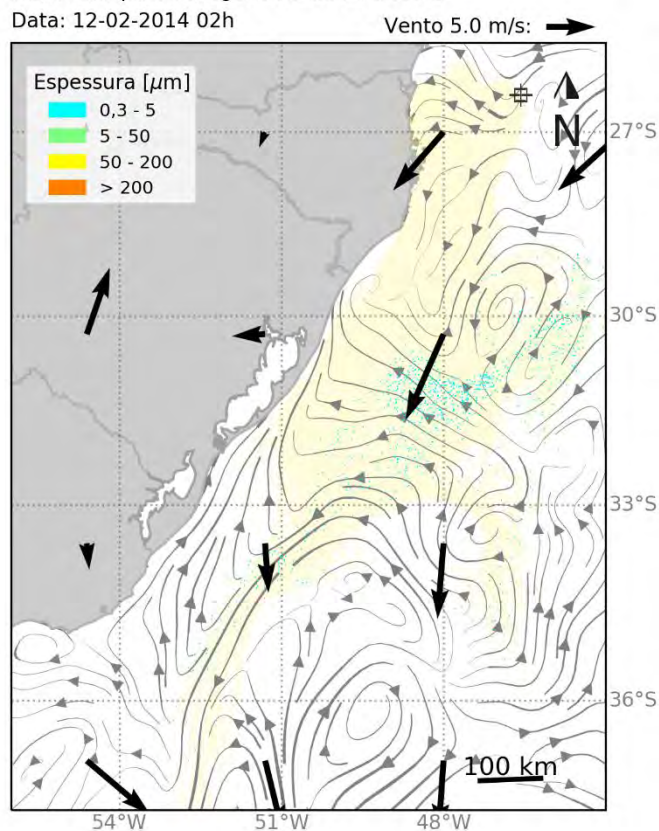


Figura 83: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219 m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 12-02-2014 02h

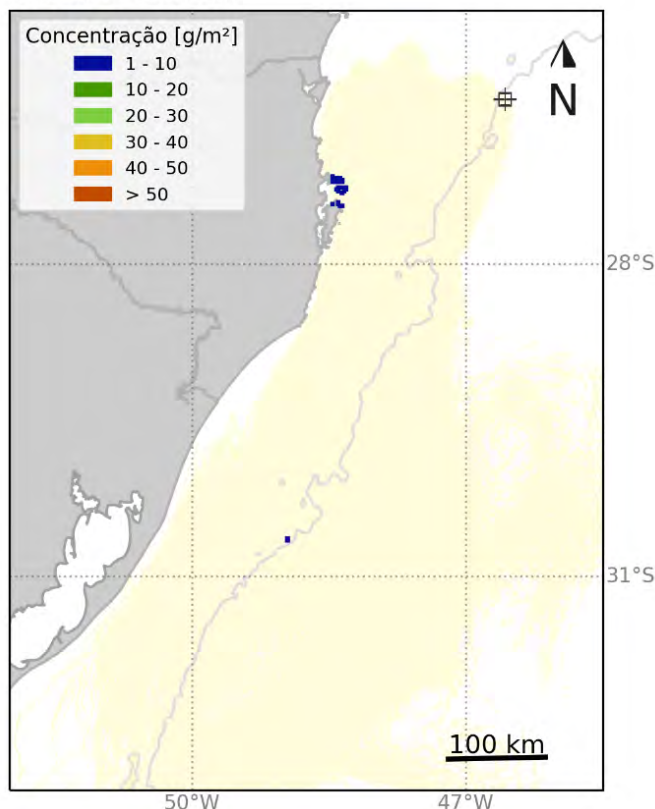


Figura 84: Concentração de óleo no sedimento após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento na simulação determinística em condição crítica de menor tempo de chegada de óleo na costa.

Vazamento de 41.219 m³.

Nas primeiras 60 horas, a deriva do óleo ocorre para sudoeste seguindo principalmente a direção das correntes. Após uma semana (168 horas), o óleo em superfície se aproxima da costa impulsionado pelos ventos de sudeste, alcançando a costa do município de Florianópolis –SC no 8º dia de simulação (207 horas). Após esse instante, é observado que o óleo deriva principalmente para oeste, devido aos ventos de sudeste/leste, e há aumento da área superficial. Em 504 horas, é observada a retomada da direção sudoeste/sul do óleo com o enfraquecimento dos ventos e a constância da corrente nessa direção. Ao final da simulação (1440 horas), a mancha de óleo em superfície se encontra esparsa frente ao estado Rio Grande do Sul.

Nas primeiras 12 horas, é possível observar o óleo na coluna d'água entre 0-150 m em concentrações acima do limiar de 20 ppb. A partir de 36 horas, mais regiões com concentrações acima do limiar de 20 ppb são observadas na coluna vertical a partir do ponto de

vazamento. Com a evolução da simulação, é observado um espalhamento horizontal do óleo em profundidades de até 50 m para regiões mais afastadas do ponto de vazamento. Após 45 dias (1080 horas), o óleo acima do limiar se restringe aos 50 metros mais rasos da coluna d'água e em concentrações abaixo de 100 ppb.

No fundo do mar, a concentração de óleo no sedimento foi inferior ao limiar de 10 g de óleo/m<sup>2</sup> no final da simulação, sendo registrada entre Florianópolis-SC e Bombinhas-SC.

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo e a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação.

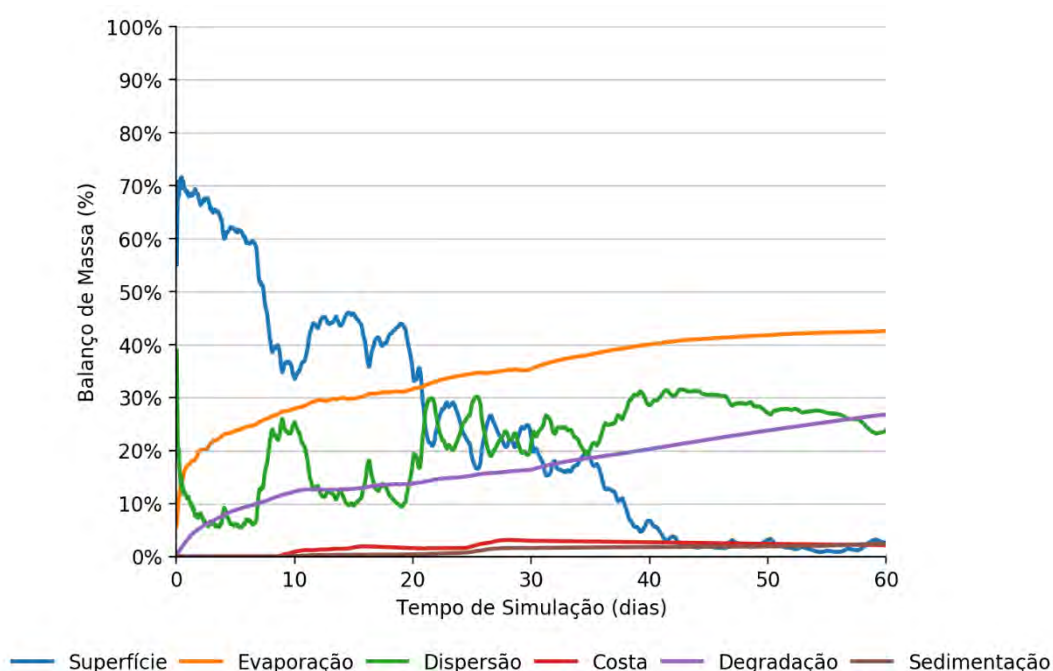


Figura 85: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tabela 24: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais e de massa de óleo em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (horas)	Superfície (%)	Evaporado (%)	Coluna d'água (%)	Degradado (%)	Costa (%)	Sedimento (%)
12	70,4	14,3	13,4	1,9	-	-
36	68,5	18,1	8,9	4,5	-	-
60	67,5	20,3	6,1	6,1	-	-
168	52,2	25,4	12,4	10,1	-	-

<sup>2</sup> Valor baseado em Long et al. (1995) considerando uma espessura de contaminação de 10 cm, densidade de sedimentos de 2,6 g/cm<sup>3</sup>.



207	39,7	26,9	22	11,4	< 0,05	< 0,05
336	43,9	29,9	11,8	12,7	1,4	0,3
504	25,5	32,3	26,2	14,1	1,5	0,4
720	22,2	35,3	21,5	16,4	2,9	1,6
1080	2,0	41,1	30,5	22,1	2,5	1,8
1440	2,0	42,6	24	26,8	2,1	2,5

É observado que grande parte do óleo ao final da simulação foi evaporada (~43%), enquanto 26% degradou e 24% ficou na coluna d'água. Ao final de 60 dias uma porcentagem equivalente a 2% ficou acumulada na costa, 2,5% no fundo marinho e 2% permaneceu o óleo em superfície.

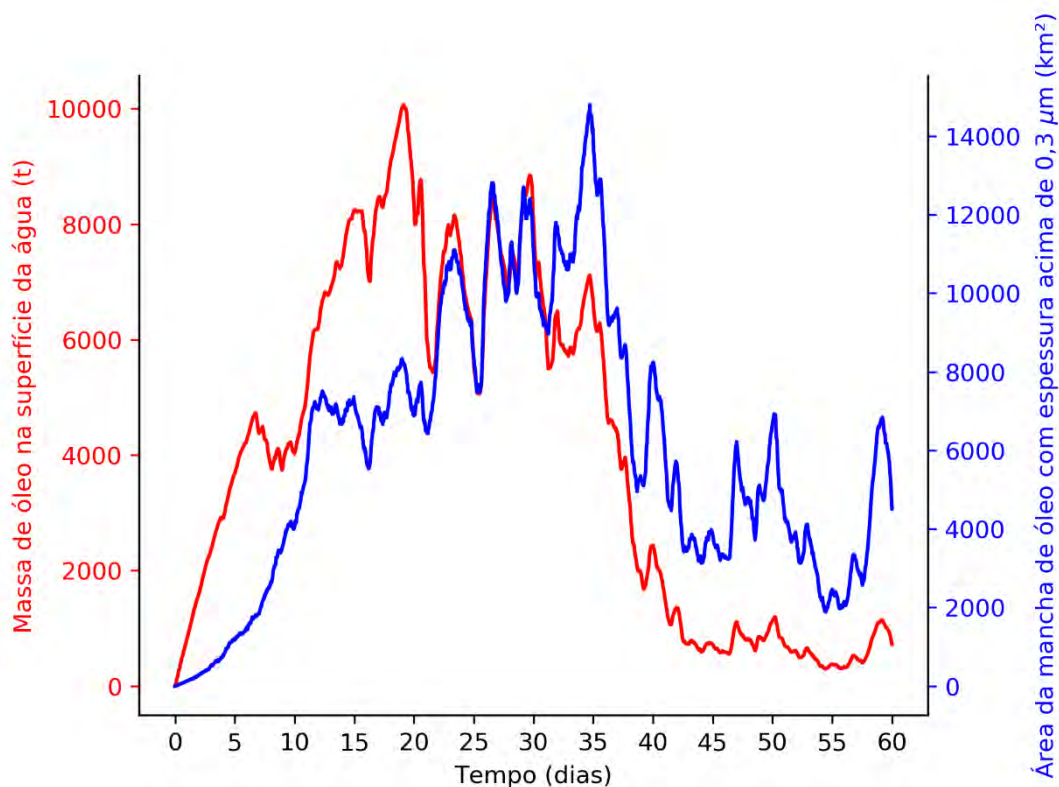


Figura 86: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tabela 25: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo de chegada.

Tempo (horas)	Área (km²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	64	423	29



36	188	1234	47
60	388	2026	72
168	1840	4387	48
207	3420	4113	242
336	6700	7377	12357
504	6480	6425	14230
720	11100	8012	14321
1080	3850	721	12546
1440	4510	726	10637

O gráfico da massa da mancha de óleo em superfície mostra um crescimento com oscilações até 20 dias e em seguida um decaimento até o final da simulação em função do término do vazamento e dos processos intempéricos. Já a área de óleo em superfície tem uma tendência de aumento ao longo de quase toda a simulação, com oscilações, tem um pico em torno de 35 dias e declina depois disso. Ao final da simulação restam 726 toneladas em superfície, ocupando uma área de 4.510 km<sup>2</sup>.

A espessura da mancha de óleo aumenta aos poucos até a chegada de óleo na costa, onde há um aumento de uma ordem de grandeza. Após esse instante e até o término do vazamento, em 30 dias, a espessura de óleo atinge o valor máximo. Com o fim do vazamento e os demais processos intempéricos há diminuição desse valor, finalizando a simulação em 10 mm.

### 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 de 19/11/2013 às 21h até 18/01/2014 às 21h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

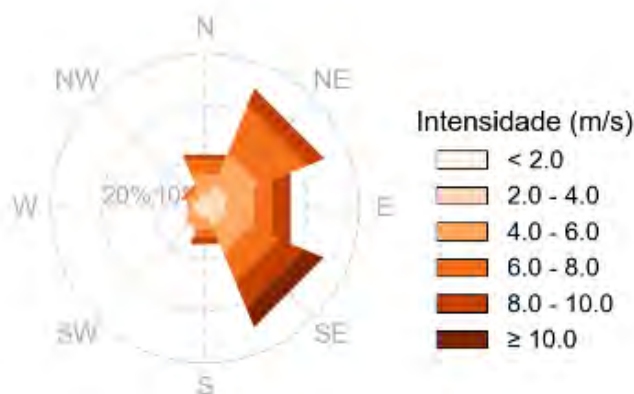


Figura 87: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 26: 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	11	15	15	14	12	10	7	8	6,4
2-4	31	55	46	38	12	16	28	24	17,3
4-6	56	98	86	85	37	32	12	26	30,0
6-8	48	143	54	87	25	7	4	14	26,5
8-10	16	47	53	79	21	-	-	1	15,1
>10	-	4	6	57	1	-	-	-	4,7
Freq. (%)	11,2	25,1	18,0	25,0	7,5	4,5	3,5	5,1	

Tabela 27: 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)
270	123	5,81	0,07	12,13	2,46



Figura 88: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de maior massa de óleo acumulada na costa.

Tabela 28: 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 -> Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
<0,1	1	-	1	-	1	3	2	2	2,0
0,1 - 0,2	-	-	-	1	24	37	11	-	14,8
0,2 - 0,3	-	-	-	1	65	149	17	-	47,0
0,3 - 0,4	-	-	-	-	29	98	2	-	26,1
0,4 - 0,5	-	-	-	-	5	36	1	-	8,5
>0,5	-	-	-	-	2	6	-	-	1,6
Freq. (%)	0,2	-	0,2	0,4	25,5	66,6	6,7	0,4	

Tabela 29: 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)
216	208	0,28	0,03	0,53	0,09

No período da simulação ocorre a predominância de ventos de nordeste e sudeste (ambos em torno de 25%) e com intensidades entre 4 e 6 m/s (30%). As informações de correntes mostram que a direção das correntes é principalmente para sudoeste (66,6%) e que as velocidades predominantes são de 0,2 a 0,3 m/s (47%).

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

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 20-11-2013 09h

Vento 5.0 m/s: →

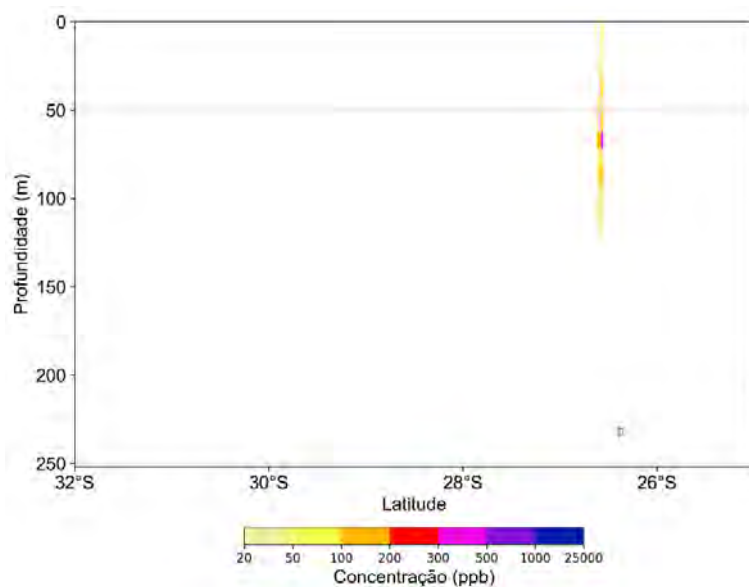
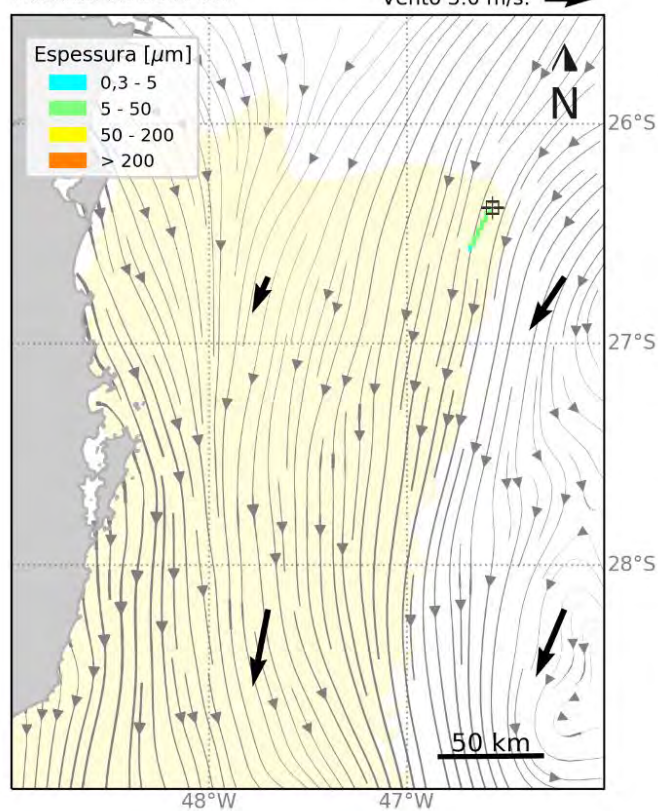


Figura 89: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 21-11-2013 09h

Vento 5.0 m/s: →

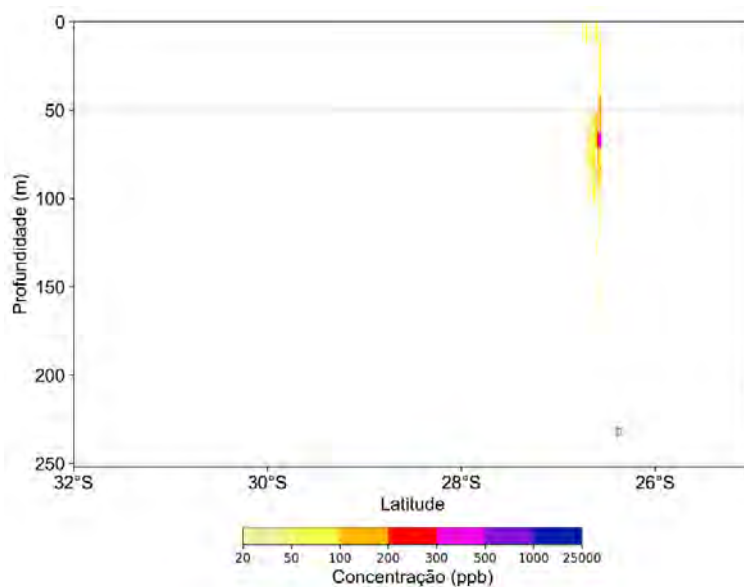
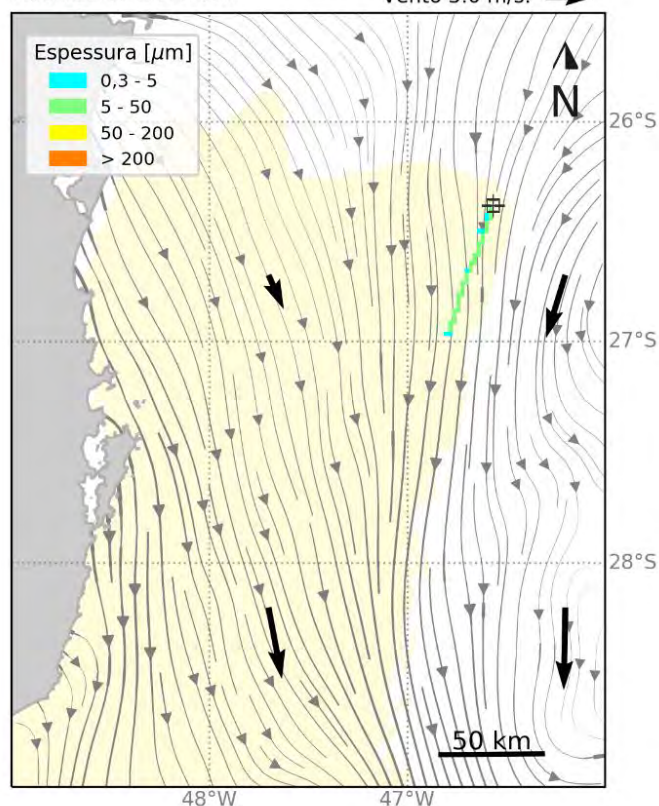


Figura 90: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m³.



**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 22-11-2013 09h

Vento 5.0 m/s: →

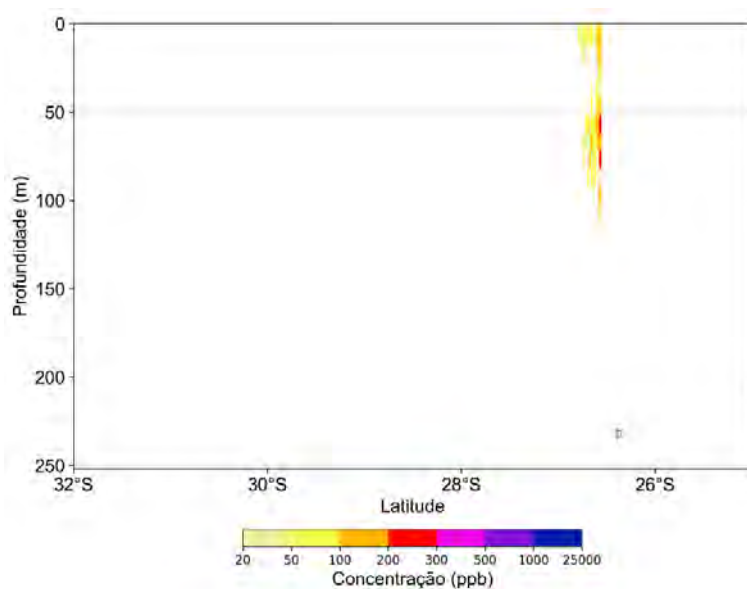
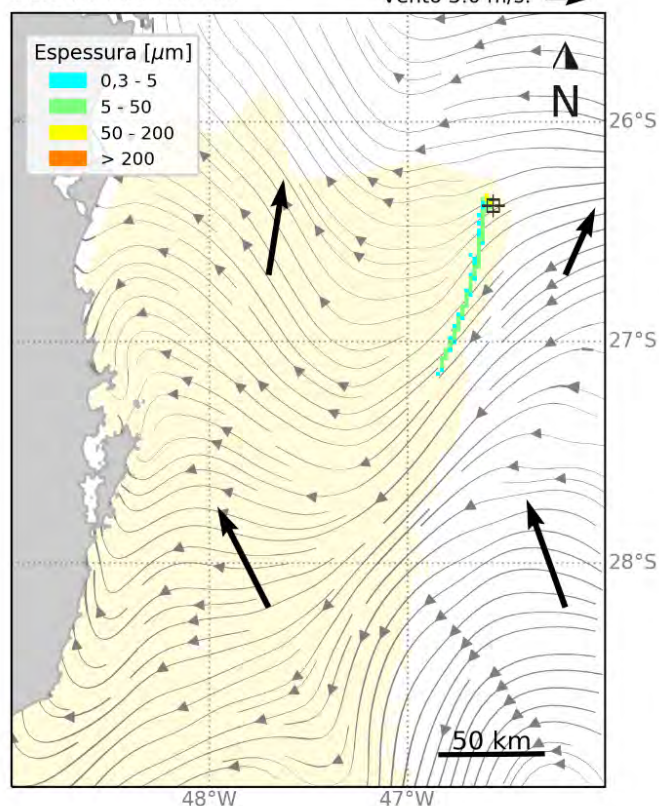


Figura 91: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m³.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 26-11-2013 21h

Vento 5.0 m/s: →

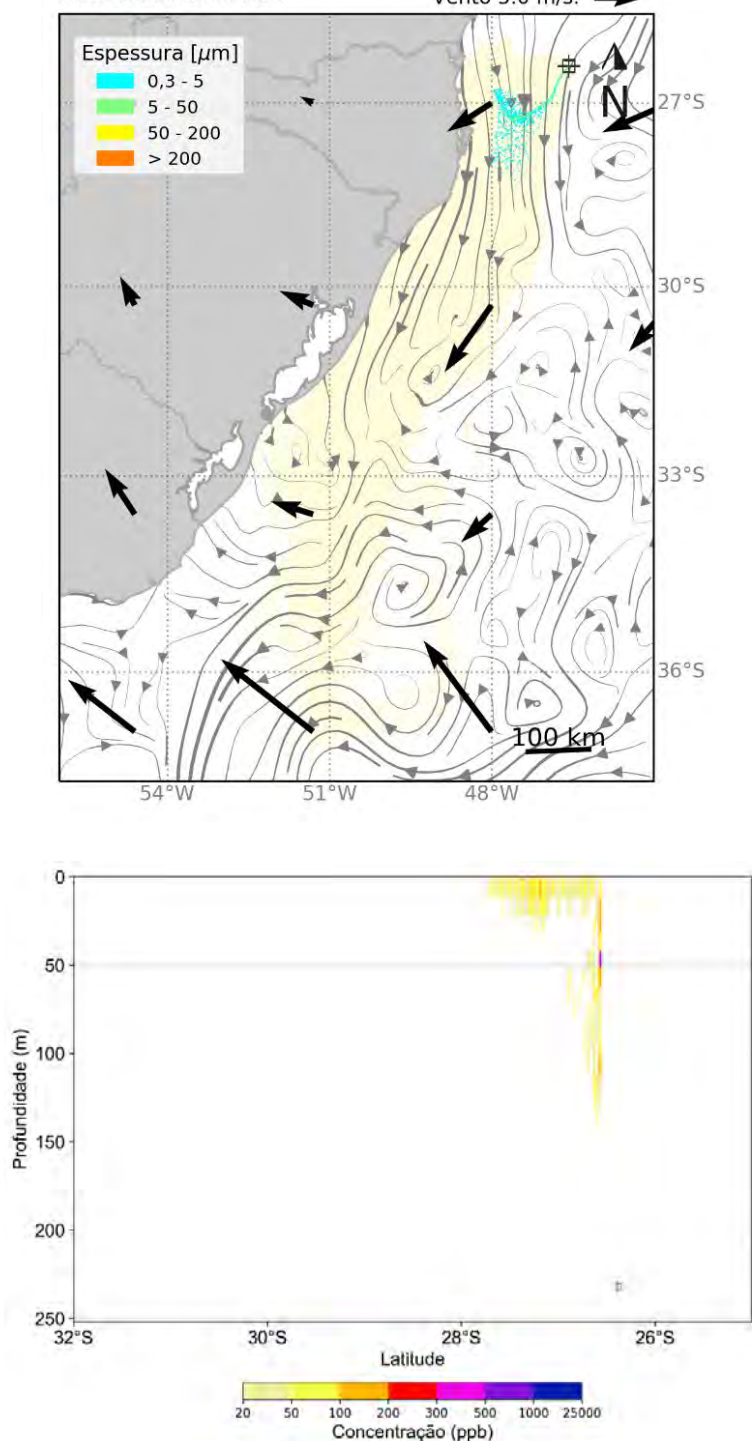


Figura 92: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 03-12-2013 21h

Vento 5.0 m/s: →

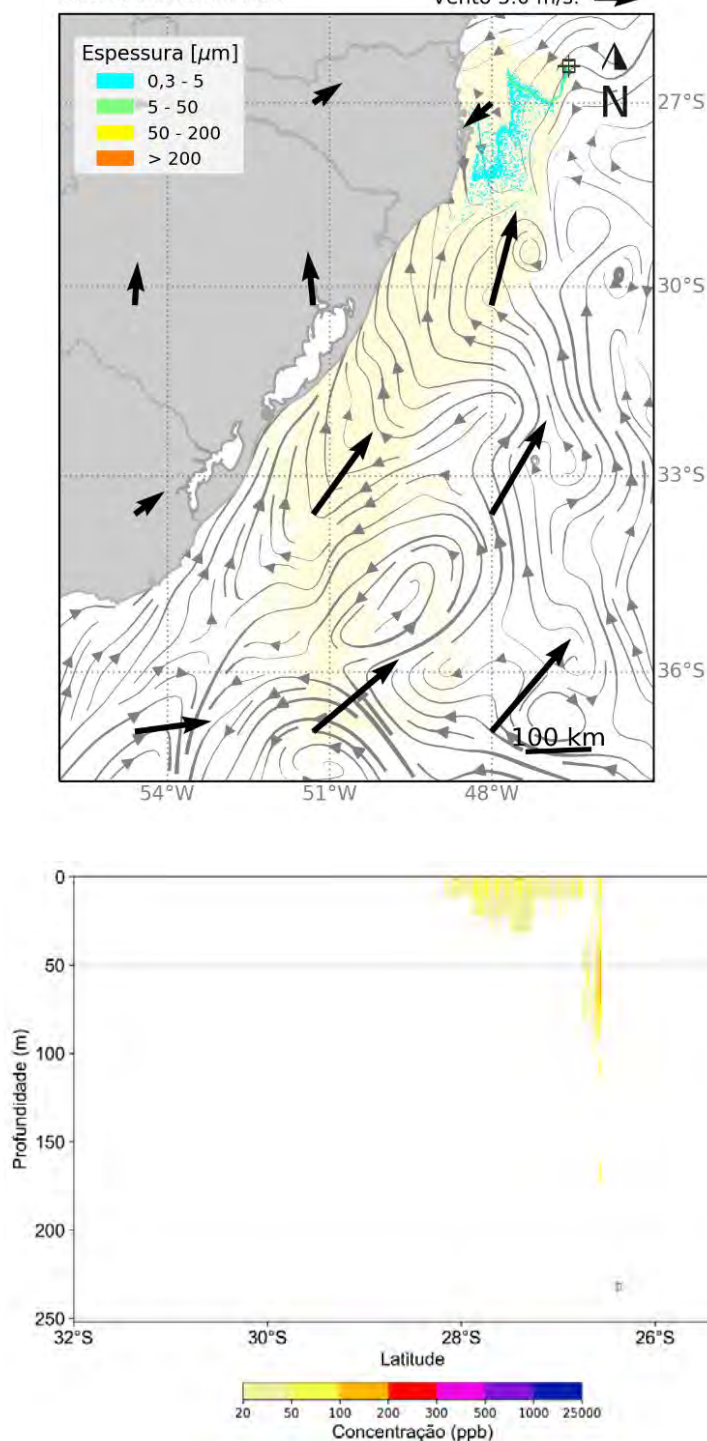


Figura 93: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m³.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 10-12-2013 21h

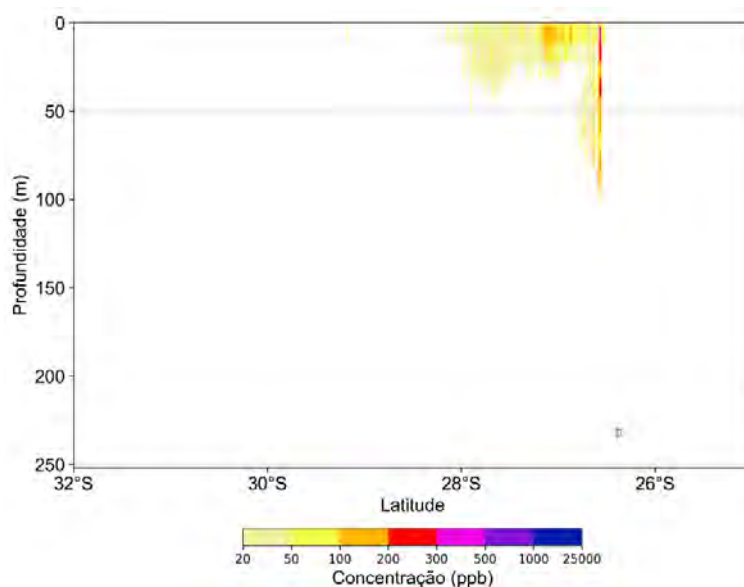
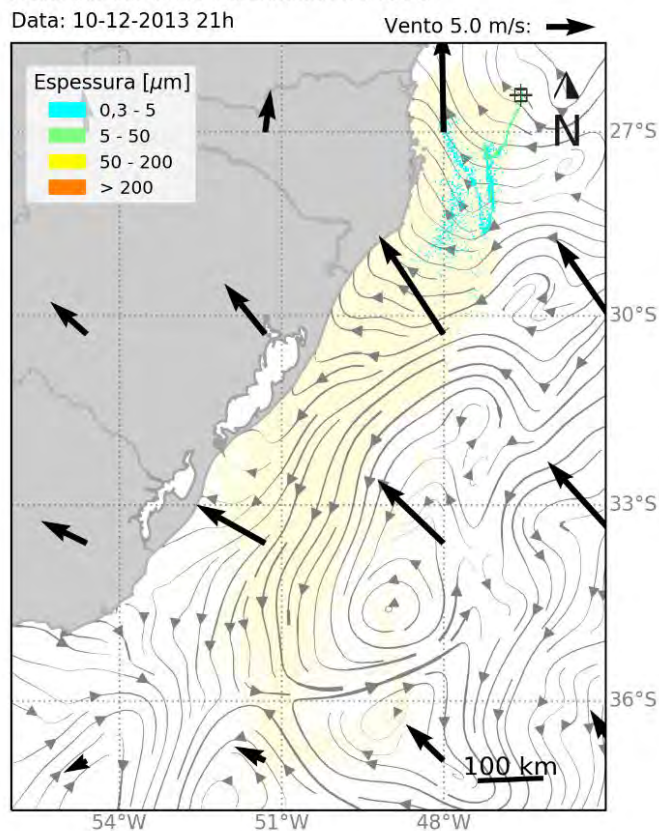


Figura 94: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m<sup>3</sup>.



**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 19-12-2013 21h

Vento 5.0 m/s: →

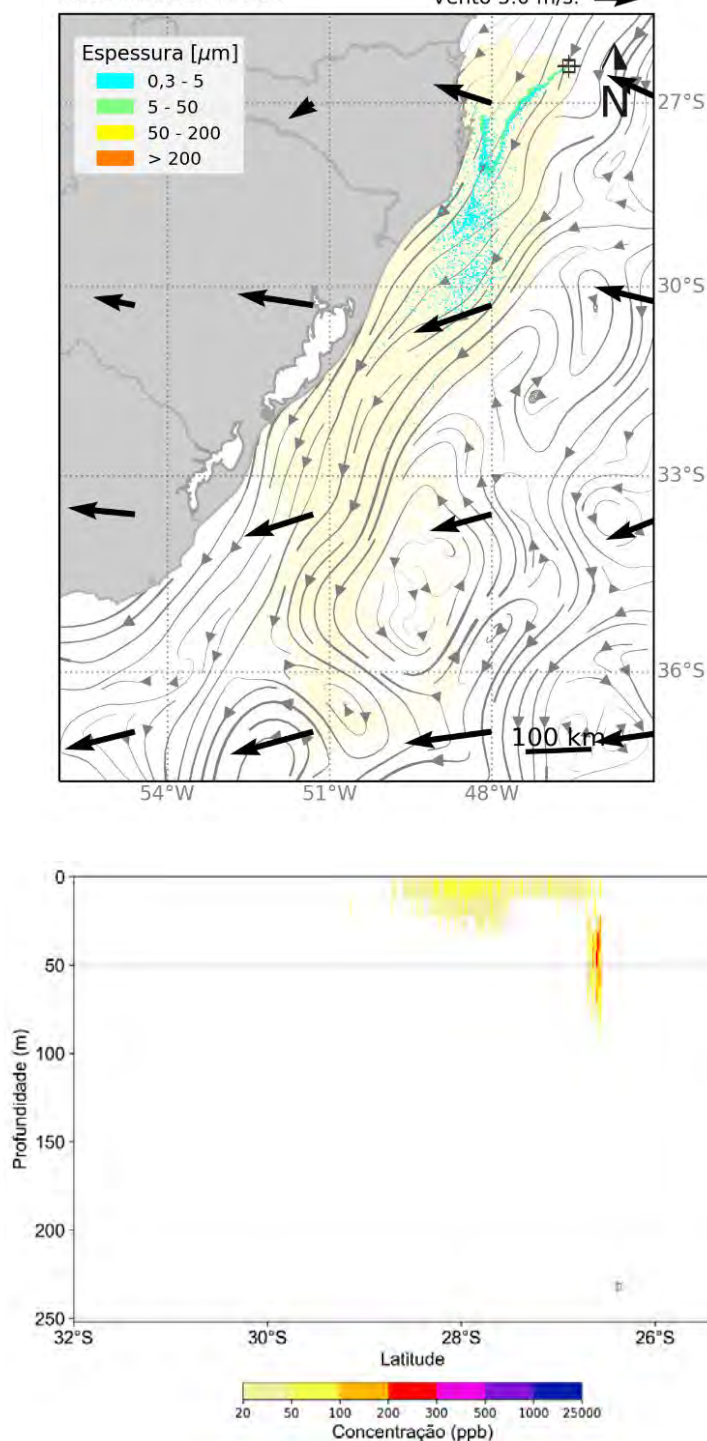


Figura 95: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m³.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 03-01-2014 21h

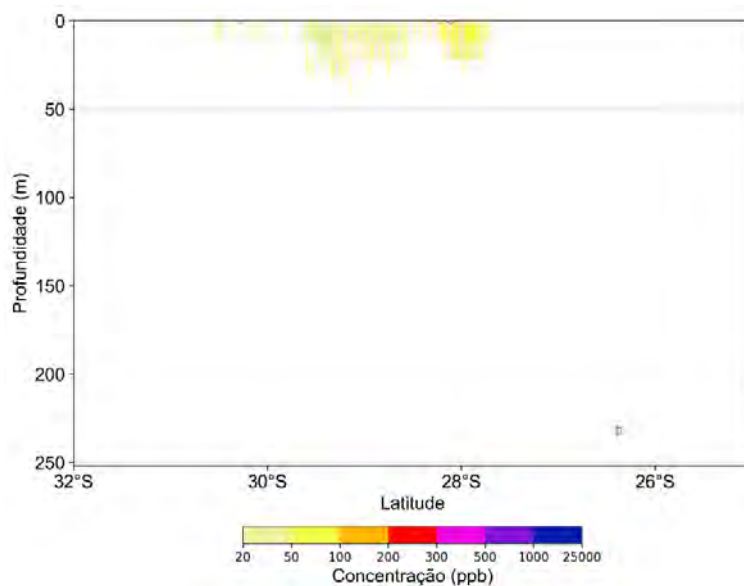
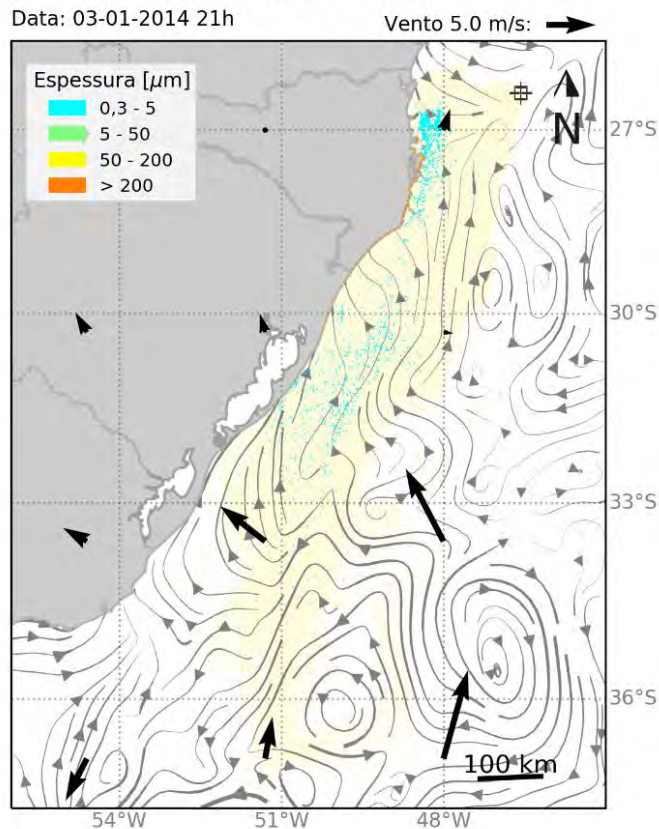


Figura 96: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 41.219m<sup>3</sup>.



**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 18-01-2014 21h

Vento 5.0 m/s: →

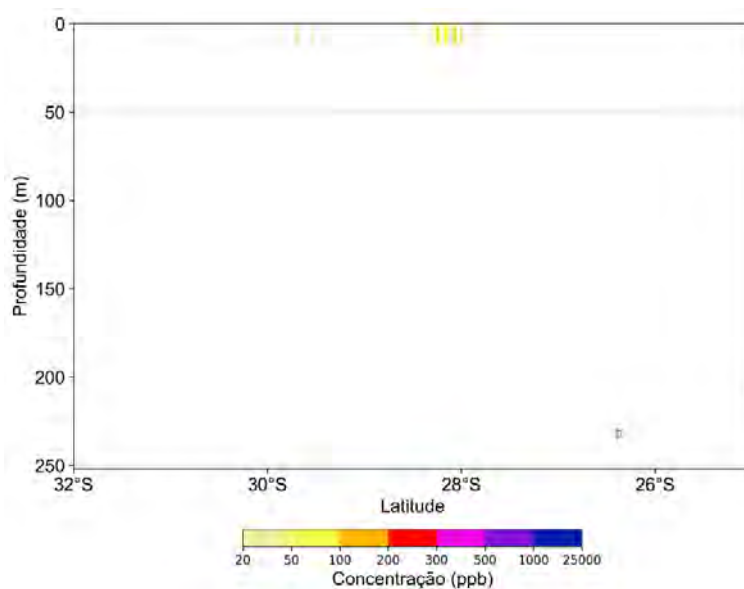
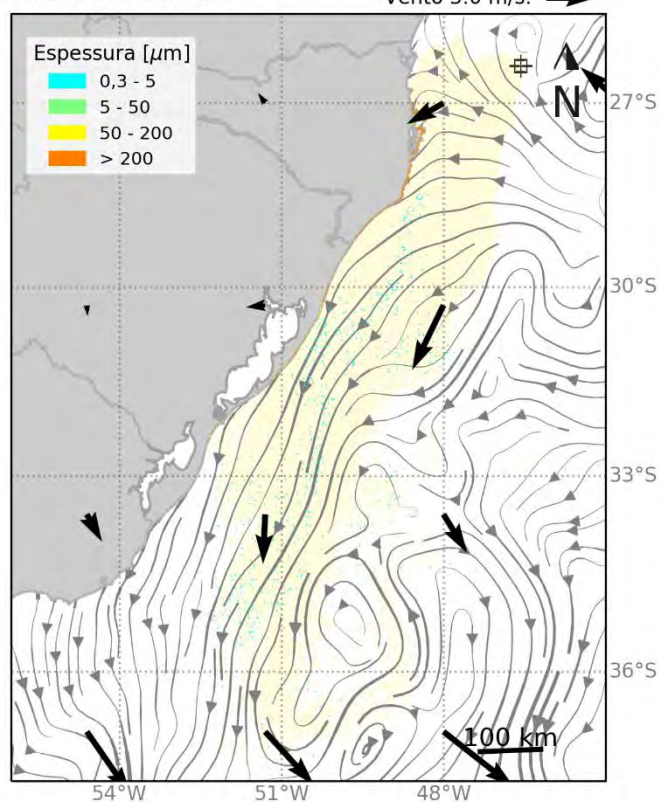


Figura 97: Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície.

Vazamento de 41.219m<sup>3</sup>.

**MODO DETERMINÍSTICO**

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 18-01-2014 21h

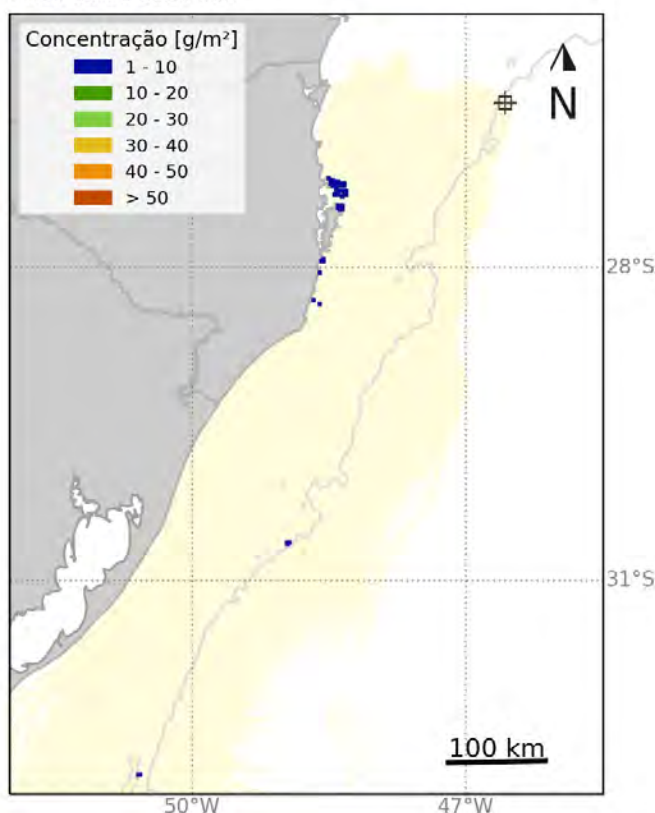


Figura 98: Concentração de óleo no sedimento após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento na simulação determinística em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Vazamento de 41.219 m³.

Nas primeiras 60 horas, a deriva do óleo ocorre para sudoeste seguindo principalmente a direção das correntes. Após uma semana (168 horas), o óleo em superfície se aproxima da costa impulsionado pelos ventos de leste, alcançando do estado de Santa Catarina entre 168 horas e 336 horas. Após esse instante até o fim da simulação, é observado que o óleo deriva principalmente para oeste, devido aos ventos de sudeste/leste, alcançando outras regiões do estado de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul.

Nas primeiras 12 horas, é possível observar o óleo na coluna d'água entre 0-150 m em concentrações acima do limiar de 20 ppb. A partir de 36 horas, mais regiões com concentrações acima do limiar de 20 ppb são observadas na coluna vertical a partir do ponto de vazamento. Com a evolução da simulação, é observado óleo até 50 m em regiões mais afastadas do ponto de vazamento. Após 45 dias (1080 horas), o óleo acima do limiar se restringe aos 50 metros mais rasos da coluna d'água e em concentrações abaixo de 300 ppb.

No fundo do mar, a concentração de óleo no sedimento foi inferior ao limiar de 10 g de óleo/m<sup>2</sup><sup>3</sup> no final da simulação, sendo registrada entre Imbituba-SC e Bombinhas-SC.

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo e a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação.

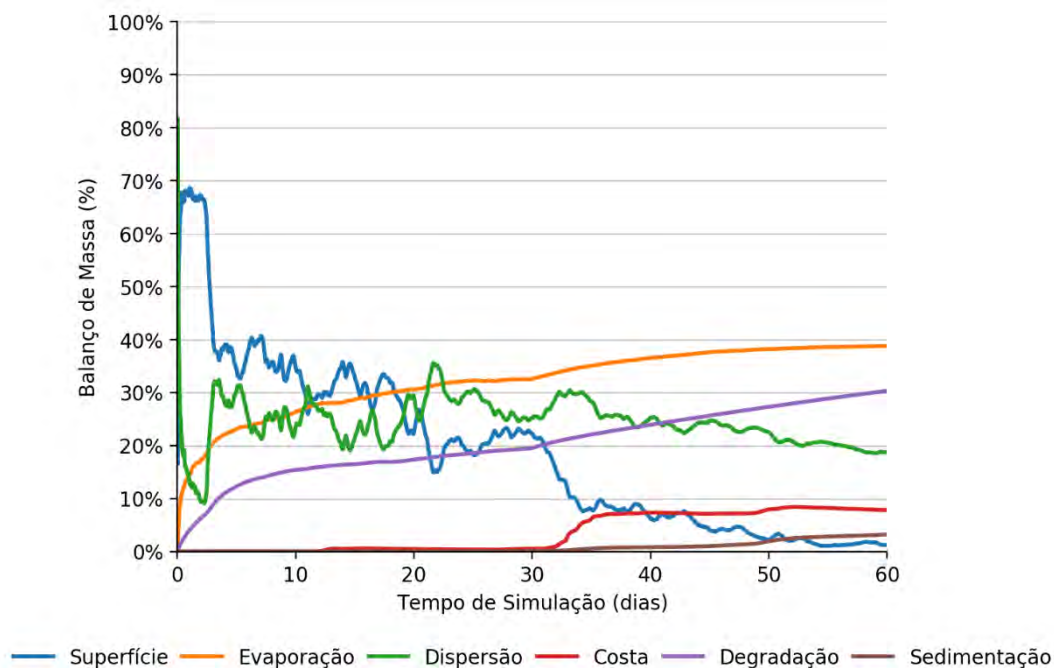


Figura 99: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa. Vazamento de 41.219m<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Valor baseado em Long et al. (1995) considerando uma espessura de contaminação de 10 cm, densidade de sedimentos de 2,6 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 30: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais de massa de óleo em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tempo (horas)	Superfície (%)	Evaporado (%)	Coluna d'água (%)	Degradado (%)	Costa (%)	Sedimento (%)
12	67,7	11,9	18,1	2,3	-	-
36	66,2	16,4	12,3	5,2	-	-
60	61,8	18,6	12,4	7,3	-	-
168	40,3	24,2	21,6	13,9	-	-
336	35,8	28,1	19,2	16,4	0,5	< 0,05
504	21,9	31	29,2	17,6	0,4	< 0,05
720	22,2	32,5	25,2	19,5	0,5	0,1
1080	4,0	37,6	24,7	25,6	7,1	1,0
1440	1,2	38,8	18,7	30,3	7,8	3,2

É observado que a evaporação retirou cerca de 39% do total de óleo, a degradação retirou 30% e 19% ficou na coluna d'água. Ao final de 60 dias uma porcentagem de 8% do total ficou acumulada na costa, 3% no fundo marinho e apenas 1,2% do volume total de óleo vazado permaneceu em superfície.

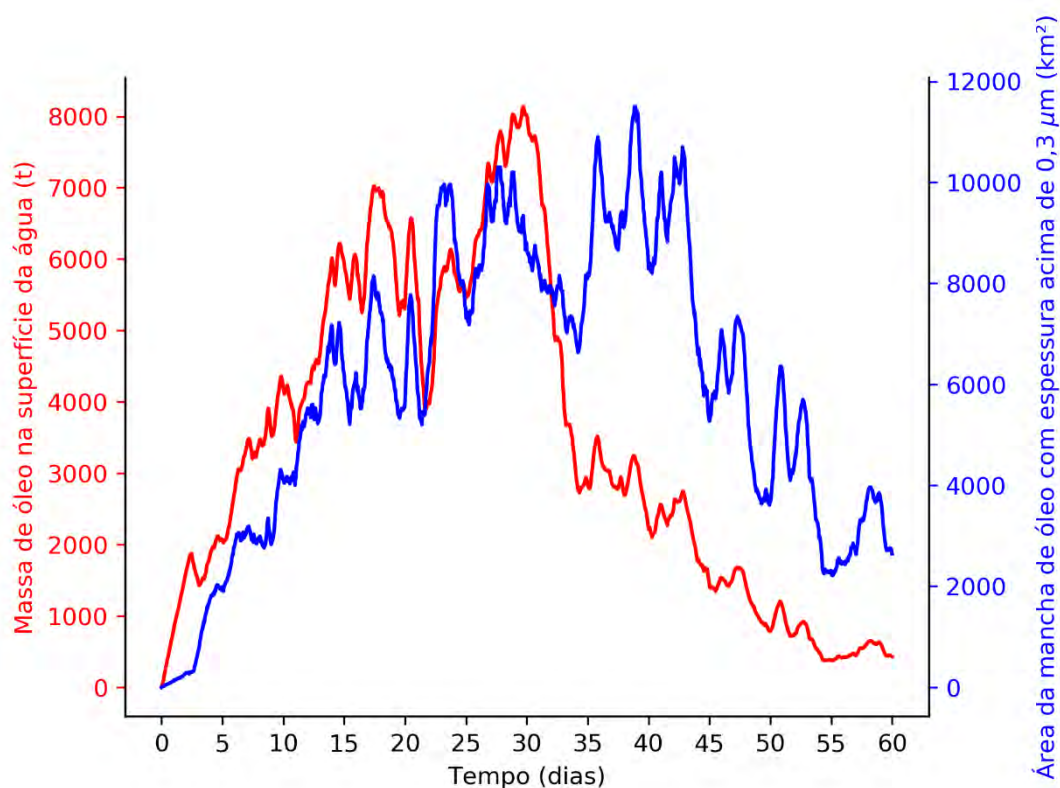


Figura 100: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tabela 31: Área superficial, massa de óleo e a espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de maior massa acumulada na costa.

Tempo (horas)	Área (km²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	64	406	29
36	184	1192	35
60	304	1854	157
168	3120	3388	37
336	7160	6012	4610
504	5990	5515	81
720	8640	8009	10478
1080	5270	1431	14347
1440	2640	426	13495

O gráfico da massa da mancha de óleo em superfície mostra um crescimento com oscilações até 30 dias e em seguida um decaimento até o final da simulação em função do término do vazamento em 30 dias e dos processos intempéricos. Já a área de óleo em superfície tem uma tendência de aumento ao longo de quase toda a simulação, com oscilações, e declina após 40 dias. Ao final da simulação ainda se observa 426 toneladas de óleo em superfície, ocupando uma área de 2.640 km<sup>2</sup>.

A espessura do óleo aumenta ao longo de quase toda simulação devido a chegada de óleo até o fim da simulação. O valor de espessura máximo (14 mm) é alcançado em 45 dias (1080 horas), com o valor de 13 mm ao final da simulação (1440 horas).

## 4. Conclusão

As simulações probabilísticas da modelagem de dispersão de óleo mostraram deriva do óleo preferencialmente para sudoeste, influenciadas pelo fluxo principal da Corrente do Brasil (CB) e pelos ventos de nordeste. As principais diferenças em relação aos dois períodos simulados para os vazamentos de pior caso são que, no Período 2, por apresentar uma maior variação da direção dos ventos e enfraquecimento da CB, a extensão da área de probabilidades acima de 30% na direção sudoeste é menor. Além disso, devido à maior incidência de frentes frias, no Período 2 são observadas maiores probabilidades a norte do ponto de vazamento.

No cenário de pior caso (*blowout*) do Ponto 1, houve toque na costa entre Peruíbe – SP e Rio Grande – RS, com probabilidade máxima de 47,8% em Florianópolis – SC. No Período 2, houve toque na costa de São Sebastião – SP até Laguna – SC e o valor máximo foi observado em Itanhaém – SP, de 12%. O tempo mínimo de chegada de óleo na costa foi observado em Florianópolis em ambos os cenários, sendo de 8,8 dias no Período 1 e de 14,8 dias no Período 2.

Para os vazamentos de pior caso (*blowout*) a partir do Ponto 2, no Período 1 houve toque na costa de Itanhaém – SP até Santa Vitória do Palmar – RS, com probabilidade máxima de 58,2% em Florianópolis – SC. No Período 2, houve toque na costa de São Sebastião – SP até Imbituba – SC e o valor máximo foi observado em Itanhaém – SP, de 21,4%. O tempo mínimo de chegada de óleo na costa foi observado em Florianópolis em ambos os cenários, sendo de 8,7 dias no Período 1 e de 14,4 dias no Período 2.

Considerando os dois pontos de vazamento e os dois períodos sazonais, há probabilidade de chegada de óleo em 74 Unidades de Conservação da região. As Unidades de Conservação de Florianópolis são as que apresentam em geral as maiores probabilidades e menores tempos, sobretudo no Período 1. A UC com maior probabilidade foi a REBIO Marinha do Arvoredo com probabilidade de 53% e 64%, respectivamente para os vazamentos dos Pontos 1 e 2, respectivamente. No Período 2, as maiores probabilidades são observadas na APA Marinha do Litoral Sul, com 31% e 35% para os Pontos 1 e 2.

As simulações determinísticas foram escolhidas com base nos resultados probabilísticos de pior caso. Foram selecionadas duas condições específicas, representativas de tempo mínimo e massa máxima de óleo na costa para a ocorrência de um vazamento de pior caso. Ambas as condições ocorreram para vazamentos a partir do Ponto 2 no Período 1.

Na simulação de tempo mínimo de chegada de óleo na costa, a deriva foi preferencialmente para sudoeste do ponto de vazamento junto com a Corrente do Brasil, no entanto ventos de leste e sudeste em parte da simulação aproximaram o óleo da costa. O primeiro tempo de



toque foi após 8 dias em Florianópolis-SC. Ao fim da simulação a quantidade na costa é equivalente a 2% do total vazado e se encontra na costa do estado de Santa Catarina.

Na simulação de massa máxima de óleo na costa, a deriva foi inicialmente para sudoeste junto com a CB e também houve presença de ventos de leste e principalmente sudeste empurrando o óleo em direção à costa, em maior frequência do que observado no cenário de menor tempo. O primeiro tempo de toque foi em torno de 11 dias em Florianópolis-SC. Ao fim da simulação, a quantidade na costa é equivalente a 8% do total vazado e se encontra na costa dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

## 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 gridas 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.
- APPOLINARIO, L. R.; TSCHOEKE, D.; PAIXÃO, R. V. S.; VENAS, T.; CALEGARIO, G.; LEOMIL, L.; SILVA, B. S.; THOMPSON, C. C.; THOMPSON, F. L. 2019. Metagenomics sheds light on the metabolic repertoire of oil-biodegrading microbes of the South Atlantic Ocean. Environmental Pollution. Vol. 249, pp. 295-304.
- 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.
- CARVALHO, J.L.B. 2003. 190 p. Modelagem e Análise do Lançamento de Efluentes Através de Emissários Submarinos. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- 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.
- 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.
- HAZEN, T.C.; PRINCE, R.C.; MAHMOUDI, 2016 - Marine Oil Biodegradation. Environmental Science & Technology. 2016, 50, 2121–2129. DOI: 10.1021/acs.est.5b03333.
- 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.
- 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.
- LEIRVIK, F.; MYRHAUG, J. L. 2009, Weathering properties of the Alvheim crude oils Kneler, Boa, Kameleon, and the Alvheim blend, SINTEF A11170.
- MCFARLIN, K. M., PRINCE, R.C., PERKINS, R., LEIGH, M.B., 2014 Biodegradation of Dispersed Oil in Arctic Seawater at -1°C. *PLoS ONE* 9(1): e84297. doi:10.1371/journal.pone.0084297 .
- 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-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acesso em 04 de janeiro de 2019.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). 2003. *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/10388>.
- 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.
- PRINCE, R. C., MCFARLIN, K. M., BUTLER, J. D., FEBBO, E. J. WANG, F.C.Y., NEDWED, T. J., 2013. *The primary biodegradation of dispersed crude oil in the sea*. *Chemosphere* 90 (2013) 521–526. Elsevier

- 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.
- SEELIGER, U., C. ODEBRECHT, J.P. CASTELLO, 1998: Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Ecoscientia.
- SOUZA, R.B.de and ROBINSON, I.S. 2004. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. Continental Shelf Research, 24: 241-262.
- THRIFT-VIVEROS, D. L., JONES R., BOUFADEL M. 2015., *Development of a New Oil Biodegradation Algorithm for NOAA’s Oil Spill Modelling Suite (GNOME/ADIOS)*, Proceedings of the Thirty-Eighth AMOP Technical Seminar, Environment Canada, Ottawa, ON, pp. 143-152, 2015.
- 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



Relatório Técnico [rev.01]

## Modelagem Hidrodinâmica

Bacias do Espírito Santo, Campos,  
Santos e Pelotas

---

Preparado por: Prooceano

### 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](http://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: 06 / 04 / 2020

---

Descrição: Atualização do relatório com base nos pareceres técnicos recentes

---

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

<b>1. Introdução .....</b>	<b>19</b>
<b>2. Modelo Numérico Utilizado.....</b>	<b>20</b>
<b>3. Domínio do Modelo .....</b>	<b>25</b>
<b>4. Condições Iniciais .....</b>	<b>27</b>
<b>5. Condições de Contorno .....</b>	<b>30</b>
5.1. Condição de Contorno de Fundo .....	30
5.2. Condição de Contorno de Superfície.....	32
5.3. Condição de Contorno Laterais .....	41
5.4. Maré.....	41
<b>6. Estabilização da Energia Cinética.....</b>	<b>51</b>
<b>7. Resultados .....</b>	<b>53</b>
7.1. Campos de corrente .....	54
7.2. Seções verticais.....	86
7.3. Rosas mensais de corrente .....	90
7.4. Processos de mesoescala .....	109
7.5. Considerações.....	111
<b>8. Avaliação do Modelo .....</b>	<b>112</b>
8.1. Maré.....	112
8.2. Temperatura da Superfície do Mar .....	117
8.3. Estrutura Termohalina .....	132
8.4. Correntes .....	152
8.5. Transporte de volume .....	163
<b>9. Considerações Finais.....</b>	<b>165</b>
<b>10. Bibliografia.....</b>	<b>165</b>

## Índice das imagens

Figura 1: Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico. ....	25
Figura 2: Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo e a linha branca mostra a linha de costa da região. ....	26
Figura 3: Campo de temperatura superficial do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS. ....	28
Figura 4: Campo de salinidade superficial do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS. ....	28
Figura 5: Campo de Elevação da Superfície Livre (m) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS. ....	29
Figura 6: Campo de Correntes superficiais (m/s) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS. ....	29
Figura 7: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada. ....	30
Figura 8: Batimetria da grade do modelo numérico ROMS. ....	31
Figura 9: Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	34
Figura 10: Campo médio dos dados de precipitação do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	35
Figura 11: Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	36
Figura 12: Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	37
Figura 13: Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	38
Figura 14: Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	39
Figura 15: Campo médio dos dados de vento do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior). ....	40

---

Figura 16: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2. Fonte: TPX08.....	42
Figura 17: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte: TPX08. ....	43
Figura 18: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte: TPX08.....	44
Figura 19: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte: TPX08. ....	45
Figura 20: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte: TPX08. ....	46
Figura 21: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte: TPX08.....	47
Figura 22: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte: TPX08. ....	48
Figura 23: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte: TPX08.....	49
Figura 24: Variação da energia cinética média em superfície ao longo da simulação. ....	52
Figura 25: Campo médio de circulação para o mês de janeiro. ....	55
Figura 26: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro. ....	55
Figura 27: Campo médio de circulação para o mês de março. ....	56
Figura 28: Campo médio de circulação para o mês de abril. ....	56
Figura 29: Campo médio de circulação para o mês de maio. ....	57
Figura 30: Campo médio de circulação para o mês de junho. ....	57
Figura 31: Campo médio de circulação para o mês de julho.....	58
Figura 32: Campo médio de circulação para o mês de agosto. ....	58
Figura 33: Campo médio de circulação para o mês de setembro. ....	59
Figura 34: Campo médio de circulação para o mês de outubro. ....	59
Figura 35: Campo médio de circulação para o mês de novembro. ....	60
Figura 36: Campo médio de circulação para o mês de dezembro. ....	60
Figura 37: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de janeiro. .....	62
Figura 38: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de fevereiro. ....	62
Figura 39: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de março. .....	63



---

Figura 40: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de abril. .	63
Figura 41: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de maio. 64	
Figura 42: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de junho. 64	
Figura 43: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de julho.. 65	
Figura 44: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de agosto. .....	65
Figura 45: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de setembro. ....	66
Figura 46: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de outubro. .....	66
Figura 47: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de novembro. ....	67
Figura 48: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de dezembro. ....	67
Figura 49: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de janeiro. .....	68
Figura 50: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de fevereiro. ....	68
Figura 51: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de março. .....	69
Figura 52: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de abril. .	69
Figura 53: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de maio. 70	
Figura 54: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de junho. 70	
Figura 55: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de julho.. 71	
Figura 56: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de agosto. .....	71
Figura 57: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de setembro. ....	72
Figura 58: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de outubro. .....	72

---

Figura 59: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de novembro. ....	73
Figura 60: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de dezembro. ....	73
Figura 61: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de janeiro. ....	74
Figura 62: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de fevereiro. ....	74
Figura 63: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de março. ....	75
Figura 64: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de abril. ....	75
Figura 65: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de maio. ....	76
Figura 66: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de junho. ....	76
Figura 67: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de julho. ....	77
Figura 68: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de agosto. ....	77
Figura 69: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de setembro. ....	78
Figura 70: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de outubro. ....	78
Figura 71: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de novembro. ....	79
Figura 72: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de dezembro. ....	79
Figura 73: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de janeiro. ....	80
Figura 74: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de fevereiro. ....	80

---

Figura 75: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de março.	81
Figura 76: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de abril.	81
Figura 77: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de maio.	82
Figura 78: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de junho.	82
Figura 79: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de julho.	83
Figura 80: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de agosto.	83
Figura 81: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de setembro.	84
Figura 82: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de outubro.	84
Figura 83: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de novembro.	85
Figura 84: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de dezembro.	85
Figura 85: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de janeiro a abril.	86
Figura 86: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de maio a agosto.	87
Figura 87: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de setembro a dezembro.	87
Figura 88: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Campos para os meses de janeiro a abril.	88
Figura 89: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Campos para os meses de maio a agosto.	88
Figura 90: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Campos para os meses de setembro a dezembro.	89

---

Figura 91: Pontos considerados para apresentação de análise de rosa de correntes e tabela conjunta de direção e intensidade. ....	90
Figura 92: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 1 na Bacia de Santos. ....	91
Figura 93: Rosas mensais de correntes em 200 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos. ....	92
Figura 94: Rosas de correntes em 500 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos. ....	93
Figura 95: Rosas mensais de correntes em 1.000 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos. ....	94
Figura 96: Rosas mensais de correntes em 2.000 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos. ....	95
Figura 97: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 2 na Bacia de Santos. ....	98
Figura 98: Rosas mensais de correntes em 200 metros de profundidade para o Ponto 2 na Bacia de Santos. ....	99
Figura 99: Rosas mensais de correntes em 500 metros de profundidade para Ponto 2 na Bacia de Santos. ....	100
Figura 100: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 3 na Bacia de Campos. ....	102
Figura 101: Rosas mensais de correntes em 200 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos. ....	103
Figura 102: Rosa mensais de correntes em 500 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos. ....	104
Figura 103: Rosa mensais de correntes em 1.000 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos. ....	105
Figura 104: Rosa mensais de correntes em 2.000 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos. ....	106
Figura 105: Campo de corrente do dia 15/05/2013. ....	109
Figura 106: Campo de corrente do dia 13/06/2013. ....	110
Figura 107: Campo de corrente do dia 01/12/2013. ....	110
Figura 108: Localização das estações maregráficas da FEMAR, utilizadas na avaliação da representação da maré no modelo. ....	113

Figura 109: Comparação para a estação de Vitória – ES. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).	114
Figura 110: Comparação para a estação de Fundeio 1 Norte – Oceânica . Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).	114
Figura 111: Comparação para a estação de Ilha da Moela. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).	115
Figura 112: Comparação para a estação de Santa Marta. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).	115
Figura 113: Comparação para a estação de Torres. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).	116
Figura 114: TSM média de janeiro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	118
Figura 115: TSM média de fevereiro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	119
Figura 116: TSM média de março (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	120
Figura 117: TSM média de abril (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	121
Figura 118: TSM média de maio (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	122
Figura 119: TSM média de junho (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	123
Figura 120: TSM média de julho (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	124
Figura 121: TSM média de agosto (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	125
Figura 122: TSM média de setembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo).	126

Figura 123: TSM média de outubro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo). .....	127
Figura 124: TSM média de novembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo). .....	128
Figura 125: TSM média de dezembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de <i>bias</i> (Dado – Modelo). .....	129
Figura 126: Série de TSM do OSTIA e do ROMS e do <i>bias</i> (dado – modelo) no Ponto 1, na Bacia de Santos. ....	131
Figura 127: Série de TSM do OSTIA e do ROMS e do <i>bias</i> (dado – modelo) no Ponto 2, na Bacia de Santos. ....	131
Figura 128: Série de TSM do OSTIA e do ROMS e do <i>bias</i> (dado – modelo) no Ponto 3, na Bacia de Campos. ....	132
Figura 129: Localização dos pontos de grade do ROMS utilizados para as comparações com o WOA. ....	134
Figura 130: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 1. ....	135
Figura 131: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 1. ....	136
Figura 132: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 2. ....	136
Figura 133: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 2. ....	137
Figura 134: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 3. ....	137
Figura 135: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 3. ....	138
Figura 136: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 4. ....	138
Figura 137: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 4. ....	139
Figura 138: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 5. ....	139



---

Figura 139: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 5.....	140
Figura 140: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 6. ....	140
Figura 141: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 6.....	141
Figura 142: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 7. ....	141
Figura 143: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 7.....	142
Figura 144: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 8. ....	142
Figura 145: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 8.....	143
Figura 146: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 9. ....	143
Figura 147: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 9.....	144
Figura 148: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 10. ....	144
Figura 149: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 10.....	145
Figura 150: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 11. ....	145
Figura 151: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 11.....	146
Figura 152: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 12. ....	146
Figura 153: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 12.....	147
Figura 154: Representação esquemática dos mecanismos de controle de flutuabilidade, <i>pitch</i> e <i>roll</i> do Seaglider. Adaptada de IROBOT (2012) em Boechat (2015). ....	148

Figura 155: Localização dos perfis de temperatura e salinidade coletados por <i>glider</i> nas proximidades da radial Maricá (pontos em preto), e pontos de grade do ROMS (pontos em vermelho) de onde foram extraídos os dados para comparação. ....	149
Figura 156: Faixa de ocorrência de 95% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) – acima – e <i>bias</i> médio anual – abaixo.....	152
Figura 157: Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita). ....	153
Figura 158: Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita). ....	154
Figura 159: Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita). ....	154
Figura 160: Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita). ....	154
Figura 161: Trajetória descrita pelo dor 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita). ....	155
Figura 162: Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita). ....	155
Figura 163: Trajetória descrita pelo derivador 07 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 07 e os resultados do ROMS (direita). ....	155
Figura 164: Trajetória descrita pelo derivador 08 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 08 e os resultados do ROMS (direita). ....	156
Figura 165: Trajetória descrita pelo derivador 09 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 09 e os resultados do ROMS (direita). ....	156
Figura 166: Trajetória descrita pelo derivador 10 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 10 e os resultados do ROMS (direita). ....	156
Figura 167: Trajetória descrita pelo derivador 11 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 11 e os resultados do ROMS (direita). ....	157
Figura 168: Trajetória descrita pelo derivador 12 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 12 e os resultados do ROMS (direita). ....	157
Figura 169: Trajetória descrita pelo derivador 13 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 13 e os resultados do ROMS (direita). ....	157

---

Figura 170: Trajetória descrita pelo derivador 14 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 14 e os resultados do ROMS (direita). .....	158
Figura 171: Trajetória descrita pelo derivador 15 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 15 e os resultados do ROMS (direita). .....	158
Figura 172: Trajetória descrita pelo derivador 16 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 16 e os resultados do ROMS (direita). .....	158
Figura 173: Trajetória descrita pelo derivador 17 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 17 e os resultados do ROMS (direita). .....	159
Figura 174: Trajetória descrita pelo derivador 18 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 18 e os resultados do ROMS (direita). .....	159
Figura 175: Trajetória descrita pelo derivador 19 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 19 e os resultados do ROMS (direita). .....	159
Figura 176: Trajetória descrita pelo derivador 20 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 20 e os resultados do ROMS (direita). .....	160
Figura 177: Trajetória descrita pelo derivador 21 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 21 e os resultados do ROMS (direita). .....	160
Figura 178: Trajetória descrita pelo derivador 22 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 22 e os resultados do ROMS (direita). .....	160
Figura 179: Trajetória descrita pelo derivador 23 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 23 e os resultados do ROMS (direita). .....	161
Figura 180: Trajetória descrita pelo derivador 24 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 24 e os resultados do ROMS (direita). .....	161
Figura 181: Trajetória descrita pelo derivador 25 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 25 e os resultados do ROMS (direita). .....	161

## Índice das tabelas

Tabela 1: Parâmetros e constantes utilizadas no modelo hidrodinâmico .....	24
Tabela 2: Lista das cartas náuticas digitalizadas.....	31
Tabela 3: Percentual de ocorrência sazonal de intensidade de correntes no Ponto 1 na Bacia de Santos.....	96
Tabela 4: Percentual (%) de ocorrência de intensidade de correntes no Ponto 2 na Bacia de Santos.....	101
Tabela 5: Percentual (%) de ocorrência de intensidade de correntes no Ponto 3 na Bacia de Campos.....	107
Tabela 6: Comparação estatística entre as séries maregráficas do modelo ROMS e da FEMAR. Apresentam-se os índices Erro Médio Absoluto (EMA) e coeficiente de correlação linear de Pearson (p). .....	117
Tabela 7: Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo. ....	132
Tabela 8: Valores de <i>bias</i> médio anual de temperatura e salinidade para os 12 pontos selecionados no domínio. ....	147
Tabela 9: Posição e datas iniciais e finais de cada derivador ao longo do período de comparação. ....	152
Tabela 10: Índice de Wilmot e bias da velocidade (m/s) das comparações modelo/derivadores. ....	163
Tabela 11: Estimativas para o transporte de volume e para a velocidade máxima da CB entre 21°S e 24°S. Sinais negativos representam a direção sul-sudoeste da corrente. Adaptada de Silveira (2007). ....	164

## Equipe técnica

---

**Nome: André Luis Santi Coimbra de Oliveira**

---

Registro no Conselho de Classe: -

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Felipe Lobo Mendes Soares**

---

Registro no Conselho de Classe: -

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Henery Ferreira Garção**

---

Registro no Conselho de Classe: -

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Gabriel Vieira de Carvalho**

---

Registro no Conselho de Classe: -

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Marcelo Montenegro Cabral**

---

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

---

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

---

Assinatura: 

---

## 1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica hidrodinâmica para a região das Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas para subsidiar estudos de dispersão de poluentes (e.g. óleo, cascalho, fluidos de perfuração, água de produção) no mar para os cenários acidentais de vazamento. Este estudo consiste na análise das características meteorológicas e simulações hidrodinâmicas da região, mais especificamente dos parâmetros capazes de afetar o comportamento de poluentes lançados/derramados.

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

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



## 2. Modelo Numérico Utilizado

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

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

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

As equações primitivas são discretizadas verticalmente sobre a variável topográfica utilizando coordenadas seguidoras de terreno “estiradas” (SONG; HAIDVOGEL, 1994). As coordenadas estiradas permitem o aumento da resolução em áreas de interesse, como na termoclina e nas camadas limites de fundo. A grade padrão utiliza diferenças finitas de segunda ordem, centradas em uma grade vertical irregular. Opções para grades de ordens maiores são disponíveis via uma reconstrução conservativa de derivadas verticais (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). Esta classe de modelo apresenta grande sensibilidade à topografia, resultando em erros do gradiente de pressão. Estes erros aumentam devido à divisão do termo do gradiente de pressão em um componente ao longo da coordenada sigma e uma correção hidrostática (para maiores detalhes,

veja Haidvogel & Beckmann, 1999). O algoritmo numérico no ROMS é desenvolvido para minimizar tais erros (SHCHEPETKIN & MCWILLIAMS, 2003).

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

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

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

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

A camada limite de interação ar-mar utilizada no ROMS, baseia-se na parametrização de Fairall *et al.* (1996). Esta foi adaptada do algoritmo do COARE (*Coupled Ocean-Atmosphere Response*

*Experiment*) para o cálculo de fluxos de *momentum* de superfície, calor sensível, e calor latente. Esta camada limite é utilizada para o acoplamento com modelos atmosféricos.

O ROMS possui um código altamente moderno e modular escrito em F90 e 95. Utiliza pré-processamento C para ativar as diversas opções físicas e numéricas. Muitos padrões de códigos têm sido estabelecidos para facilitar a leitura, manutenção e portabilidade do modelo. Todas as variáveis de estado do modelo são dinamicamente alocadas e passadas como argumento das rotinas computacionais.

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

Equação da continuidade:

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

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção zonal:

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

Equação da conservação da quantidade de movimento na direção meridional:

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

Equação da conservação de calor:

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

Equação da conservação de sal:

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

Equação de estado da água do mar:

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

Nestas equações  $D = H + \eta$  representa a altura da coluna d'água,  $U$  e  $V$  são os componentes zonal e meridional da velocidade, respectivamente,  $f$  é o parâmetro de Coriolis,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $\rho$  é a densidade,  $\rho_0$  é a densidade de referência,  $\rho'$  é a anomalia de densidade,  $\theta$  é a temperatura potencial,  $S$  é a salinidade,  $KM$  é o coeficiente de viscosidade cinemática vertical,  $KH$  é o coeficiente de difusão de calor vertical,  $\partial R / \partial z$  é o termo de fluxo de calor radiativo e  $\omega$  é a velocidade vertical transformada, correspondente à componente de velocidade normal às superfícies sigma. Essa transformação se dá segundo:

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

Todas as constantes e os parâmetros físicos utilizados no modelo hidrodinâmico são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e constantes utilizadas no modelo hidrodinâmico.

Parâmetro	Valor	Descrição
<b>TNU2 (m<sup>4</sup>/s)</b>	0,0	Operador bi-harmônico de difusão horizontal de traçadores
<b>VISC2 (m<sup>2</sup>/s)</b>	5,0	Coefficiente de viscosidade horizontal
<b>AKT_BAK (m<sup>2</sup>/s)</b>	1,0x10 <sup>-6</sup>	Coefficiente vertical de mistura para traçadores
<b>AKV_BAK (m<sup>2</sup>/s)</b>	1,0x10 <sup>-5</sup>	Coefficiente vertical de mistura de momentum
<b>AKK_BAK (m<sup>2</sup>/s)</b>	5,0x10 <sup>-6</sup>	Coefficiente vertical de mistura para energia cinética turbulenta
<b>AKP_BAK (m<sup>2</sup>/s)</b>	5,0x10 <sup>-6</sup>	Coefficiente vertical de mistura para campos estatísticos genéricos turbulentos
<b>RDRG2</b>	3,0x10 <sup>-3</sup>	Coefficiente quadrático de atrito com o fundo
<b>ZOS (m)</b>	2,0x10 <sup>-2</sup>	Rugosidade da superfície
<b>DT (s)</b>	300	Passo de tempo baroclínico
<b>NDTFAST (s)</b>	8,57	Passo de tempo barotrópico
<b>GAMMA2</b>	1	Parâmetro de deslizamento

### 3. Domínio do Modelo

Para simular a hidrodinâmica da região foi projetada uma grade numérica (Figura 1), que se estende de 39,0° S a 14,0° S, e 60,0° W a 25,0° W. O domínio da grade abrange a costa leste brasileira desde a metade do estado da Bahia até o final do Rio Grande do Sul. Além disso, ela se prolonga ainda mais ao sul, terminando logo após a cidade de Mar del Plata, na Argentina. A grade engloba a plataforma continental, o talude e parte das bacias oceânicas adjacentes.

A resolução da grade é de  $1/16^\circ$  ( $\sim 6$  km) e foi escolhida tanto para que as principais feições batimétricas e da linha de costa pudessem ser reproduzidas de forma satisfatória (Figura 2) como para permitir um desempenho computacional compatível. Essa escolha resultou em uma grade com 254.694 pontos em cada nível horizontal (camada sigma), com 30 níveis verticais (camadas sigma).

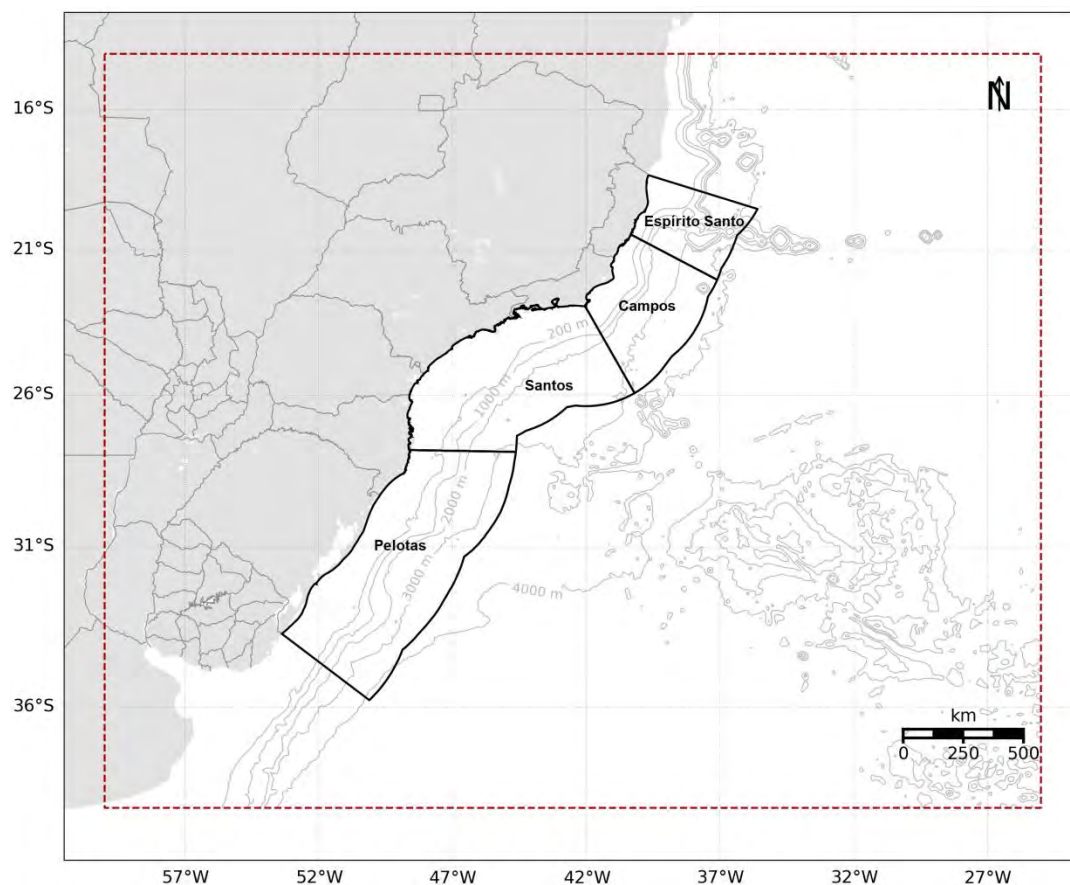


Figura 1: Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico.



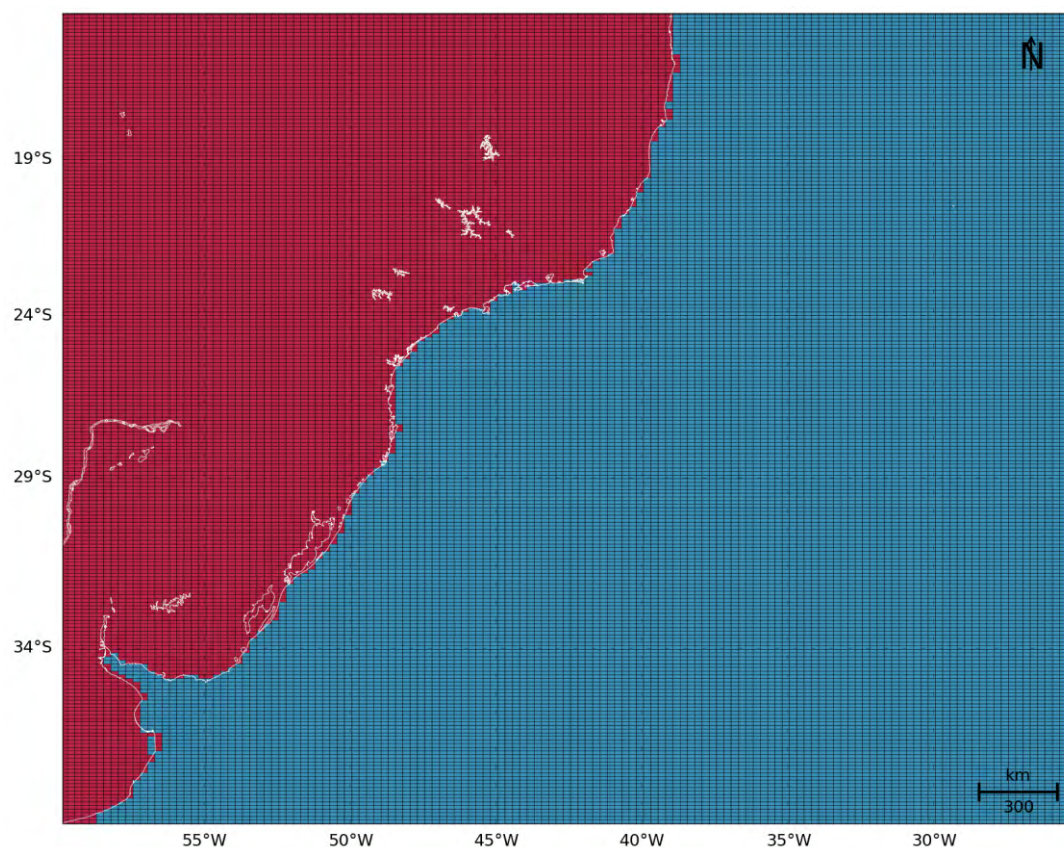


Figura 2: Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo e a linha branca mostra a linha de costa da região.



## 4. Condições Iniciais

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

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

O modelo foi inicializado com os resultados da simulação do Mercator, interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) da grade usada no ROMS, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região simulada (ROMS) em um modelo global (Mercator) em modo *offline*, ou seja, as condições de contorno usadas no modelo de menor área e maior resolução foram extraídas de um modelo de maior área e menor resolução rodado previamente. Exemplos dos campos iniciais com dados do Mercator fornecidos ao modelo são apresentados da Figura 3 à Figura 6.

O modelo foi configurado para simular as correntes da região no período entre janeiro de 2012 e janeiro de 2014.

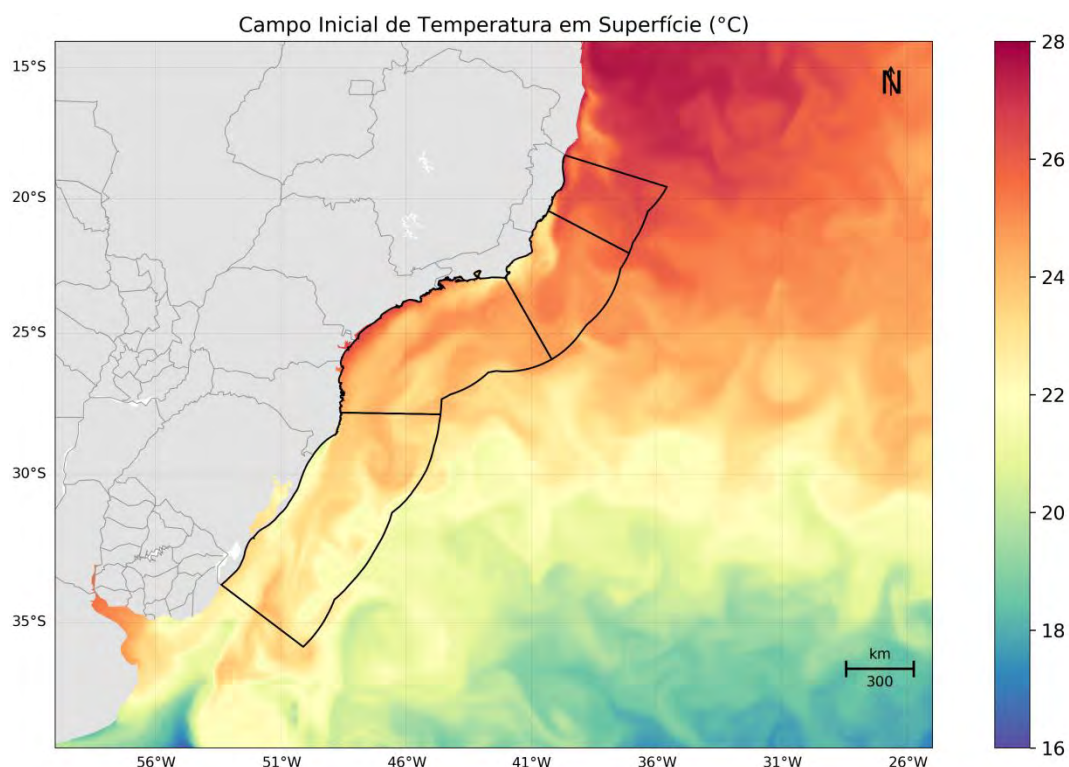


Figura 3: Campo de temperatura superficial do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

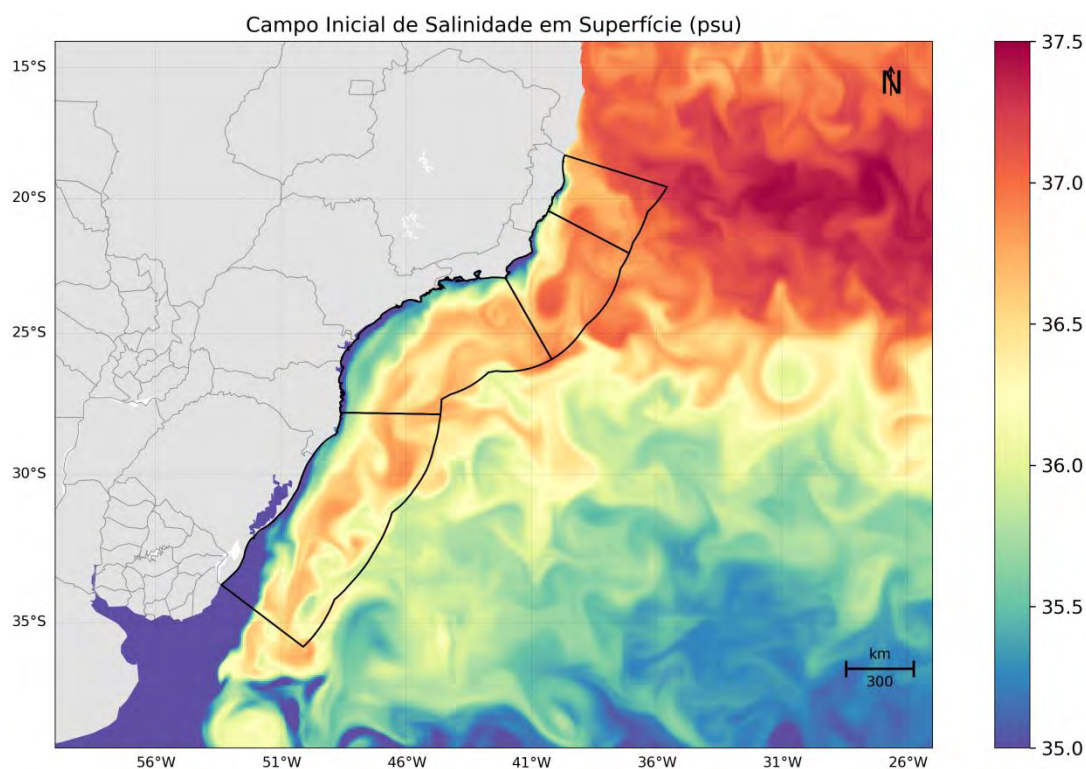


Figura 4: Campo de salinidade superficial do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

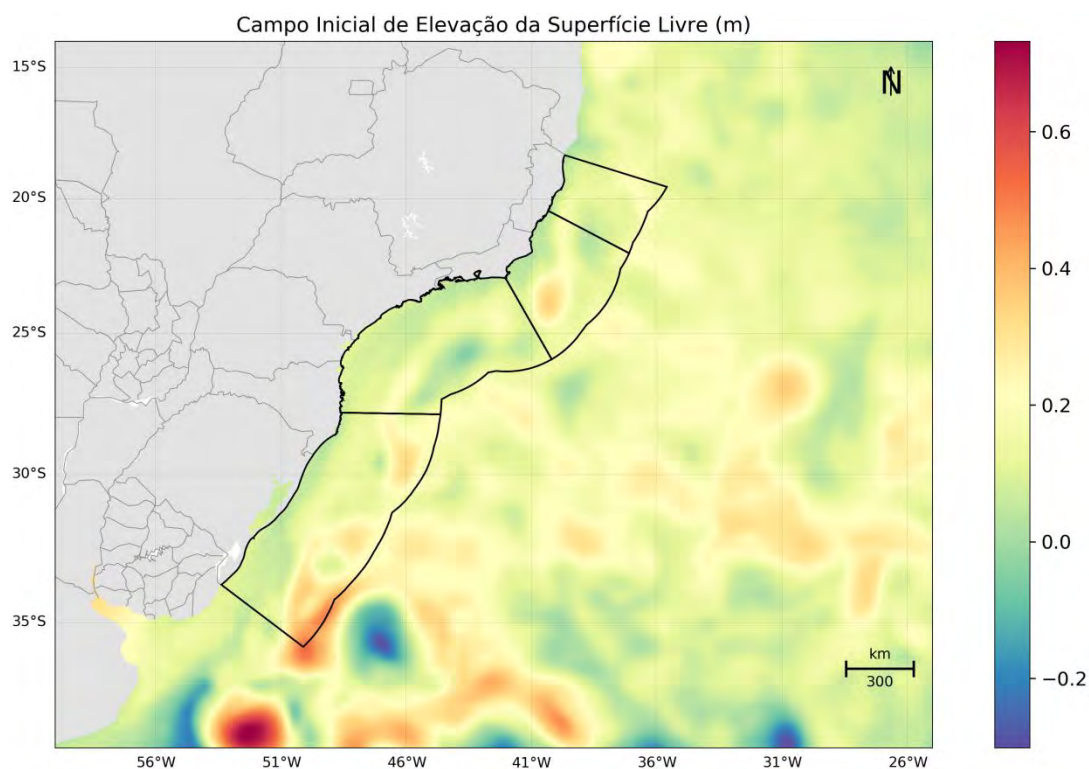


Figura 5: Campo de Elevação da Superfície Livre (m) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.

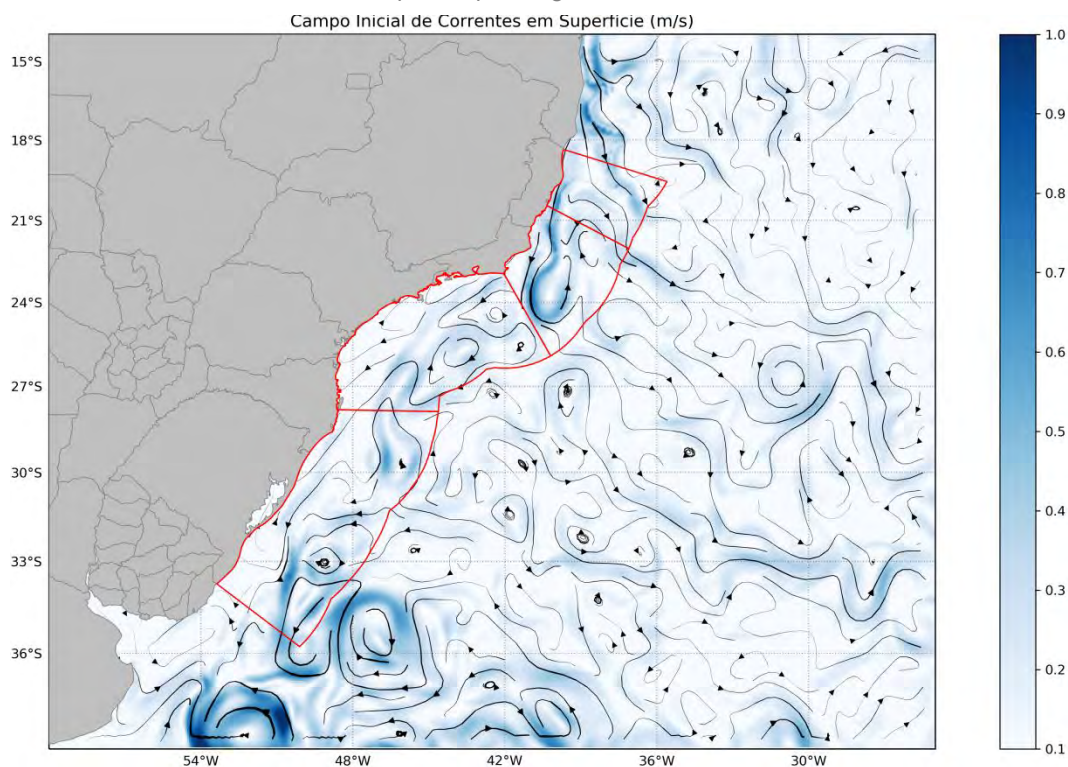


Figura 6: Campo de Correntes superficiais (m/s) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012 interpolado para a grade do ROMS.



## 5. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do ROMS, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura 7). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

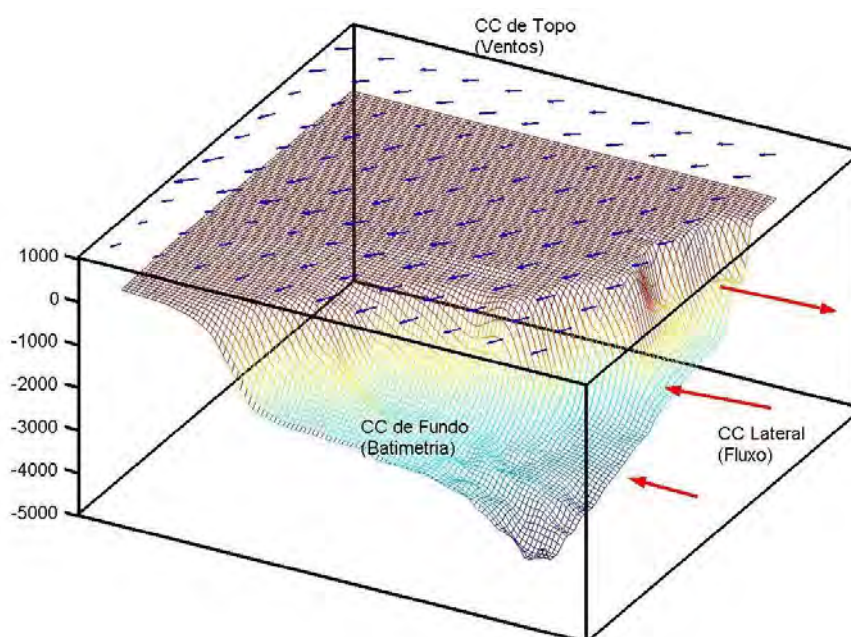


Figura 7: Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

### 5.1. Condição de Contorno de Fundo

Para a confecção da matriz de batimetria da grade do modelo, foram utilizados dados obtidos através de digitalização de cartas náuticas e da base global ETOPO1 (AMANTE & EAKINS, 2009). O ETOPO1 é um modelo global do relevo da superfície terrestre, com resolução espacial de 1 minuto de arco, que integra topografia e batimetria do oceano. As cartas náuticas digitalizadas (Tabela 2) foram obtidas através do site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Após interpolação cúbica, obteve-se a matriz de topografia do fundo para a grade utilizada no modelo hidrodinâmico (Figura 8).

Tabela 2: Lista das cartas náuticas digitalizadas.

Número	Região
<b>B1300</b>	Da Ponta de Cumuruxatiba ao Rio Doce
<b>B1400</b>	Do Rio Doce ao Cabo de São Tomé
<b>B1401</b>	Portos de Vitória e Tubarão
<b>B1410</b>	Área adjacente aos Portos de Vitória e Tubarão
<b>B1500</b>	Do Cabo de São Tomé ao Rio de Janeiro
<b>B1508</b>	Do Cabo Frio à Ponta Negra
<b>B1506</b>	Proximidades da Baía de Guanabara
<b>B1600</b>	Do Rio de Janeiro à Ilha de São Sebastião
<b>B1700</b>	Da Ilha de São Sebastião à Ilha do Bom Abrigo
<b>B1800</b>	Da Ilha do Bom Abrigo à Ilha do Arvoredo
<b>B1900</b>	Da Ilha do Arvoredo à Torres

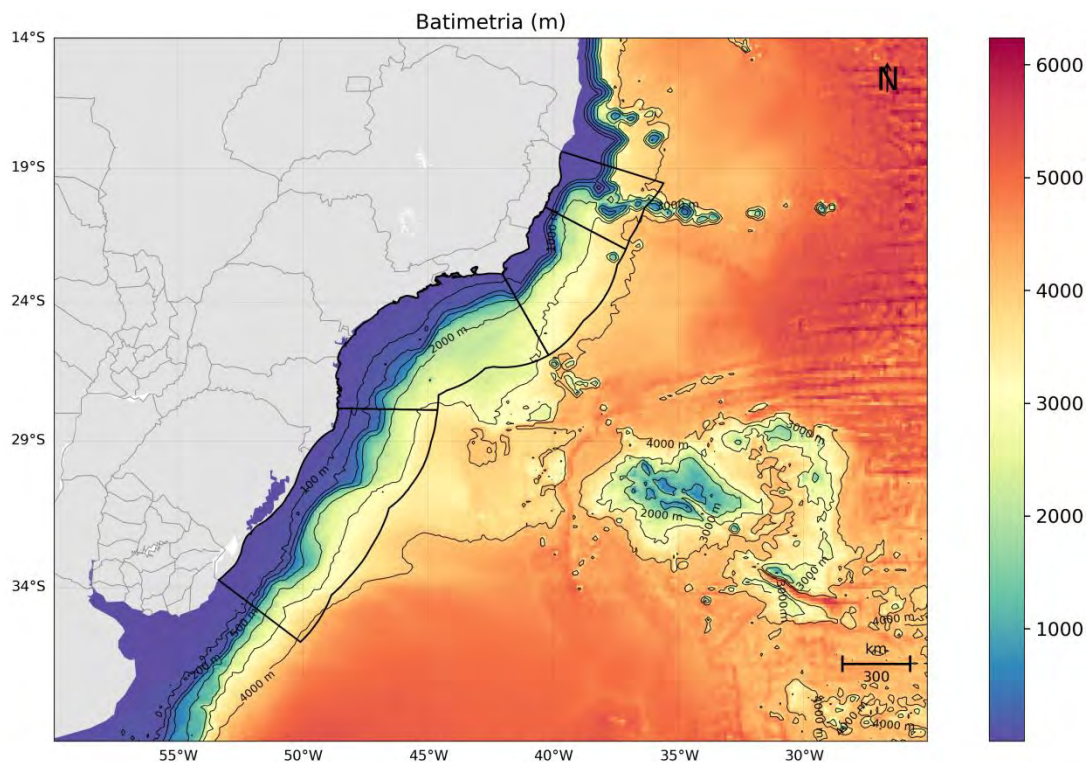


Figura 8: Batimetria da grade do modelo numérico ROMS.

## 5.2. Condição de Contorno de Superfície

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

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

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

Estes campos foram obtidos através do projeto ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e a primeira produzida como serviço operacional, com resolução temporal horária e espacial de 31 km em 137 níveis atmosféricos, desde a superfície a 0.01 hPa.

As Reanálises climáticas do ECMWF começaram com o FGGE na década de 1980, seguida pelo ERA-15, ERA-40 e mais recentemente pelo ERA-Interim. Atualmente, o ERA5 apresenta dados desde 2010 e planeja disponibilizar as reanálises a partir de 1950 no primeiro trimestre de 2019.

Esta base de dados foi utilizada por se tratar de uma reanálise que assimila dados meteoceanográficos de diversas fontes, apresenta resolução espacial e temporal compatíveis com a natureza do estudo, e disponibiliza informações de todas as oito variáveis meteorológicas necessárias para forçar o ROMS.

Como exemplo dos campos atmosféricos utilizados como condição de contorno de topo do modelo, da Figura 9 à Figura 15, são apresentados os campos médios de cada variável, calculados para o período sazonais identificados para a região: Período 1, de setembro a fevereiro, e Período 2, março a agosto. Essa divisão em dois cenários foi feita a partir da observação das informações de ventos e correntes da região das bacias.



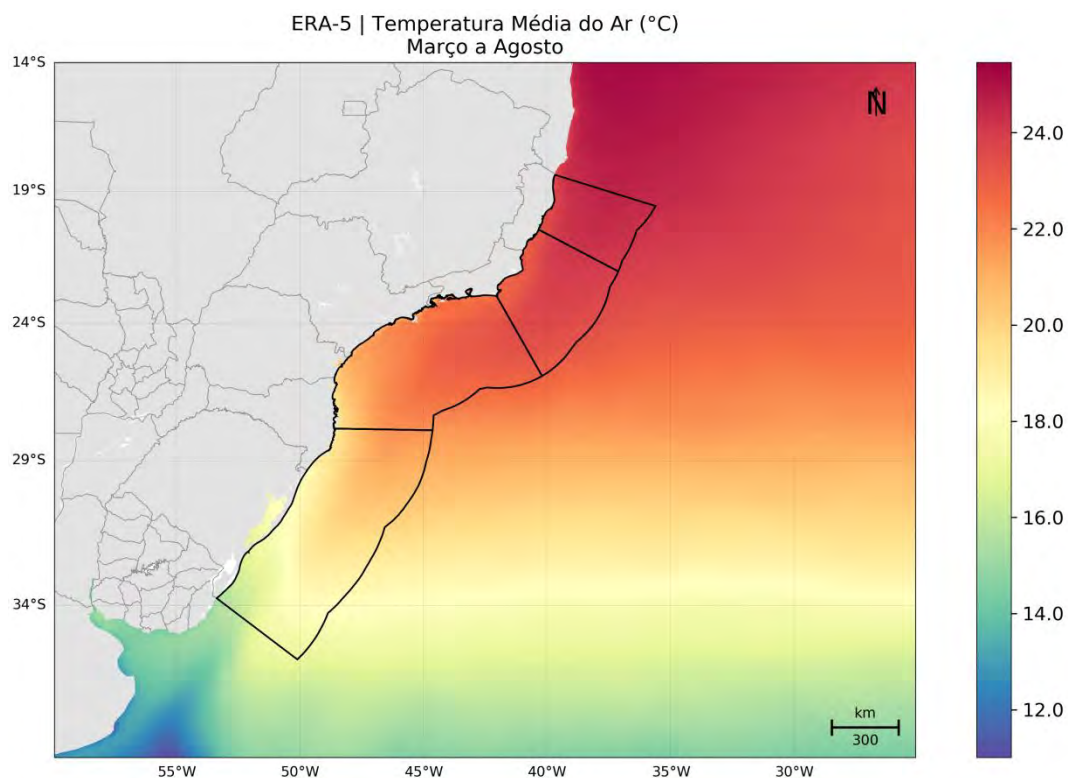
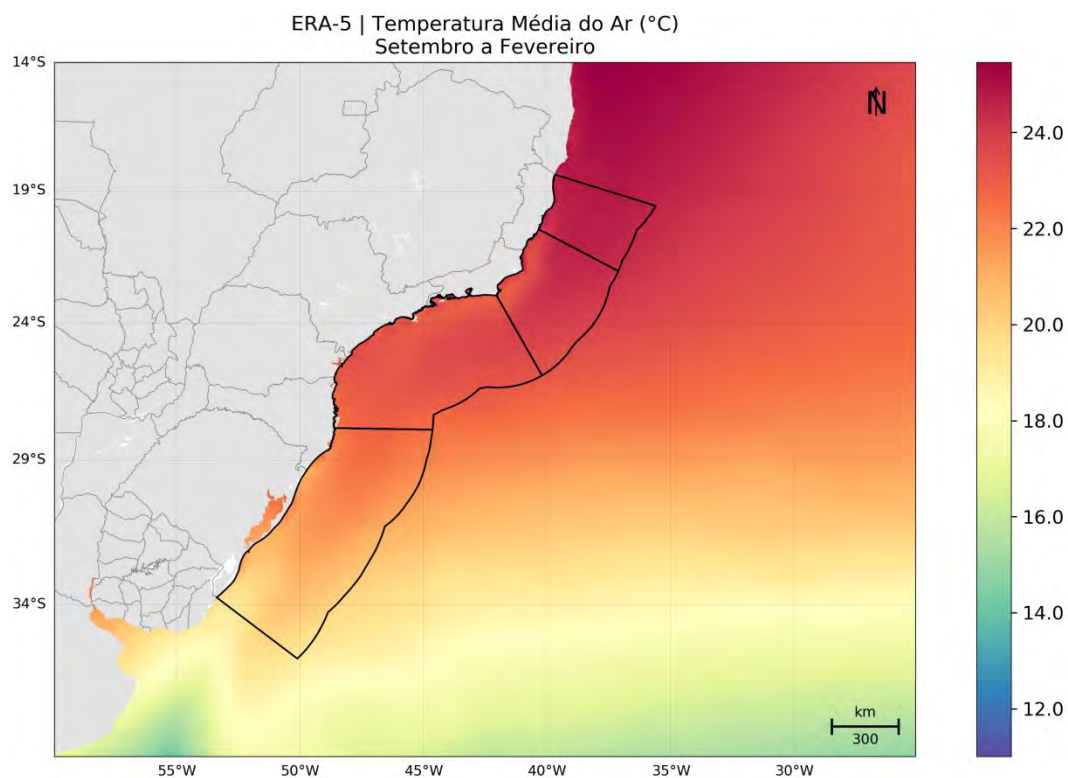


Figura 9: Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

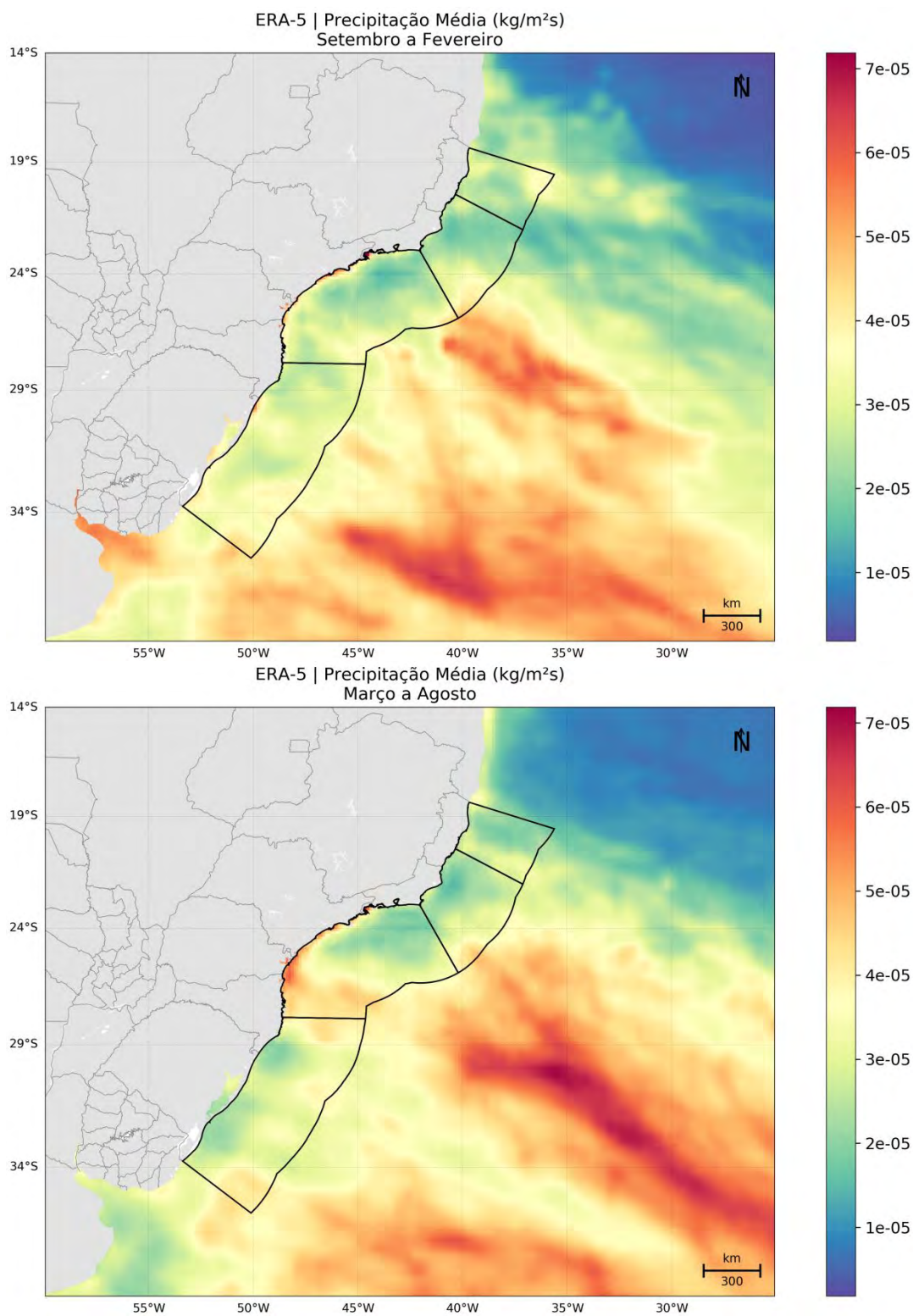


Figura 10: Campo médio dos dados de precipitação do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

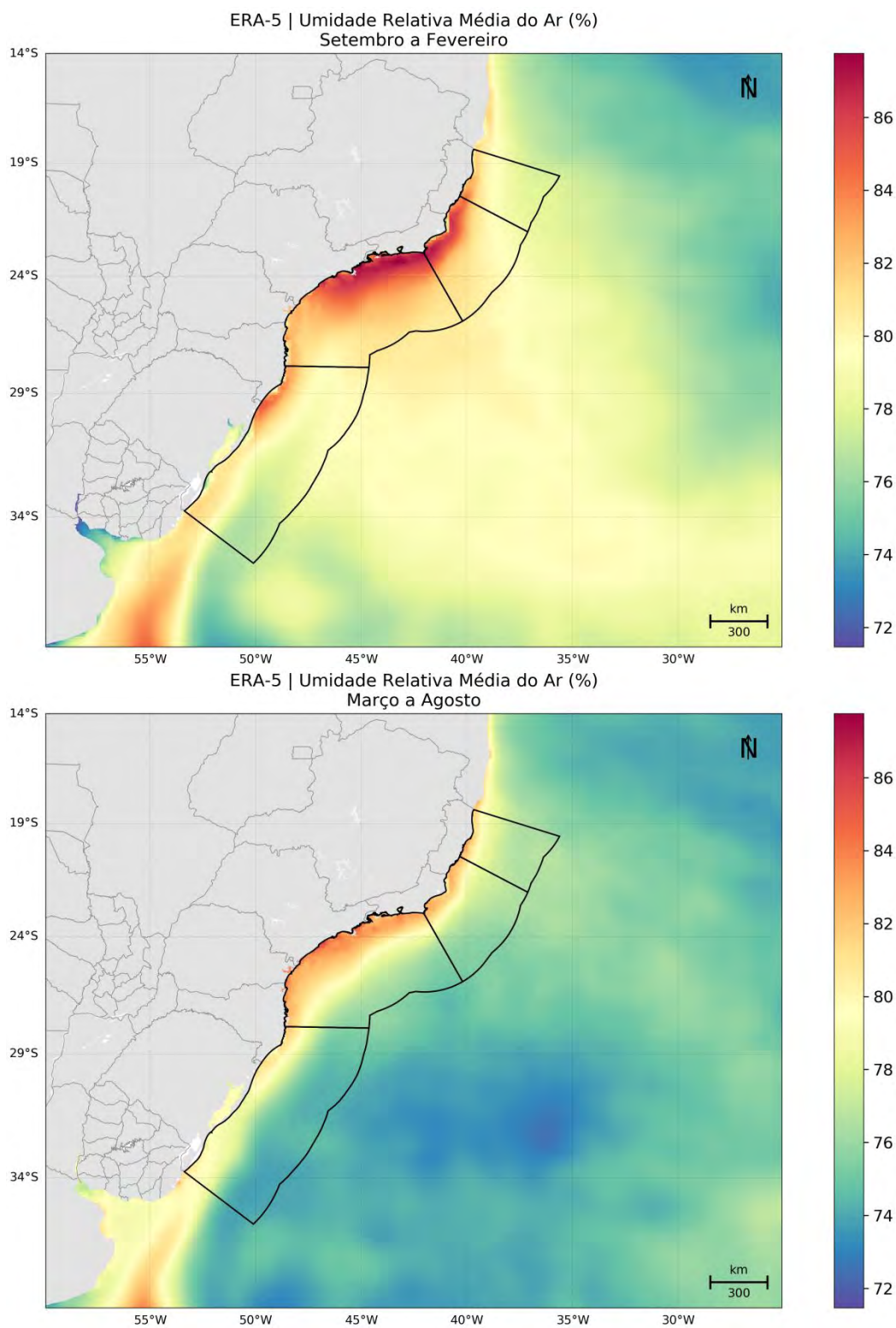


Figura 11: Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).



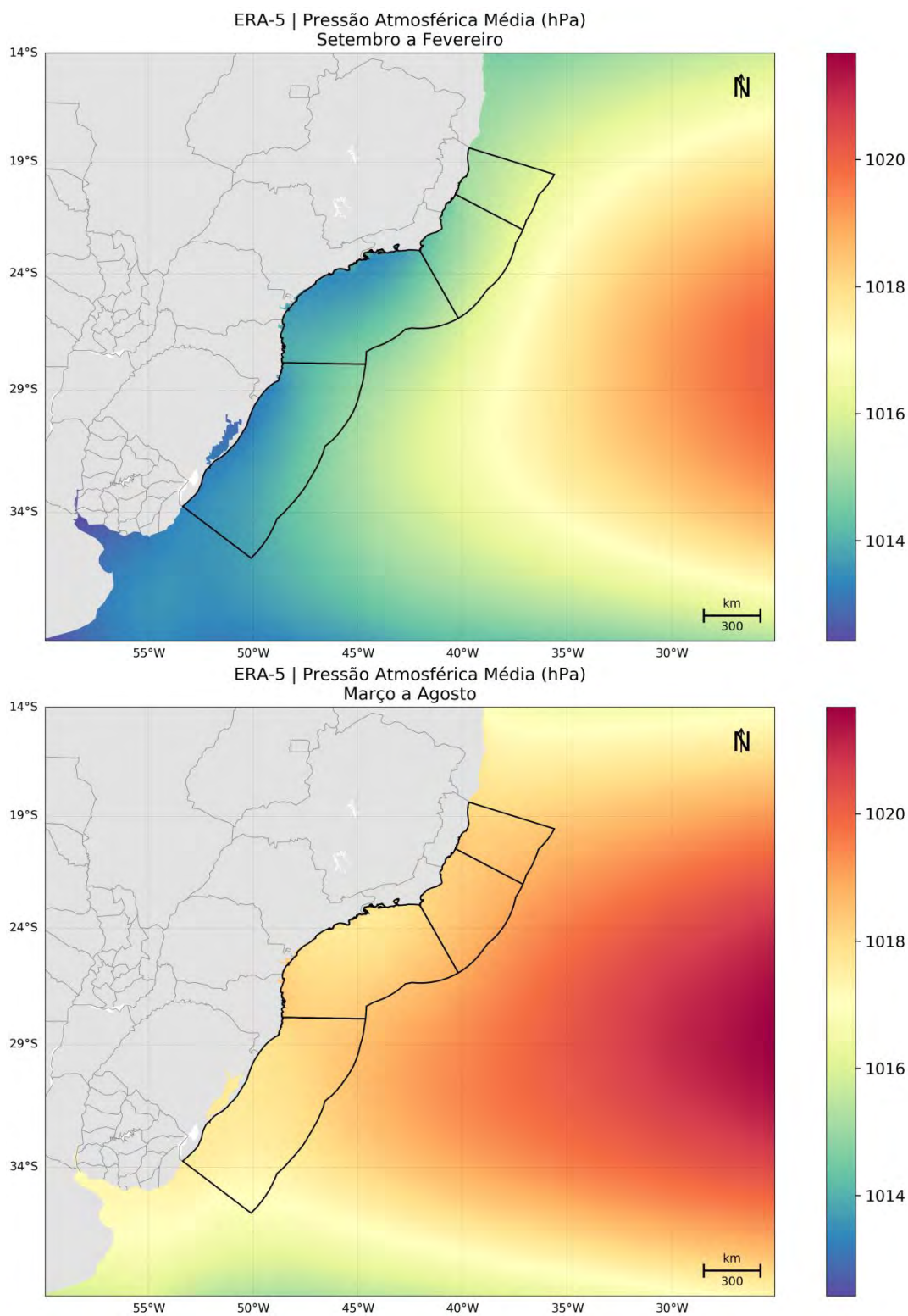


Figura 12: Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

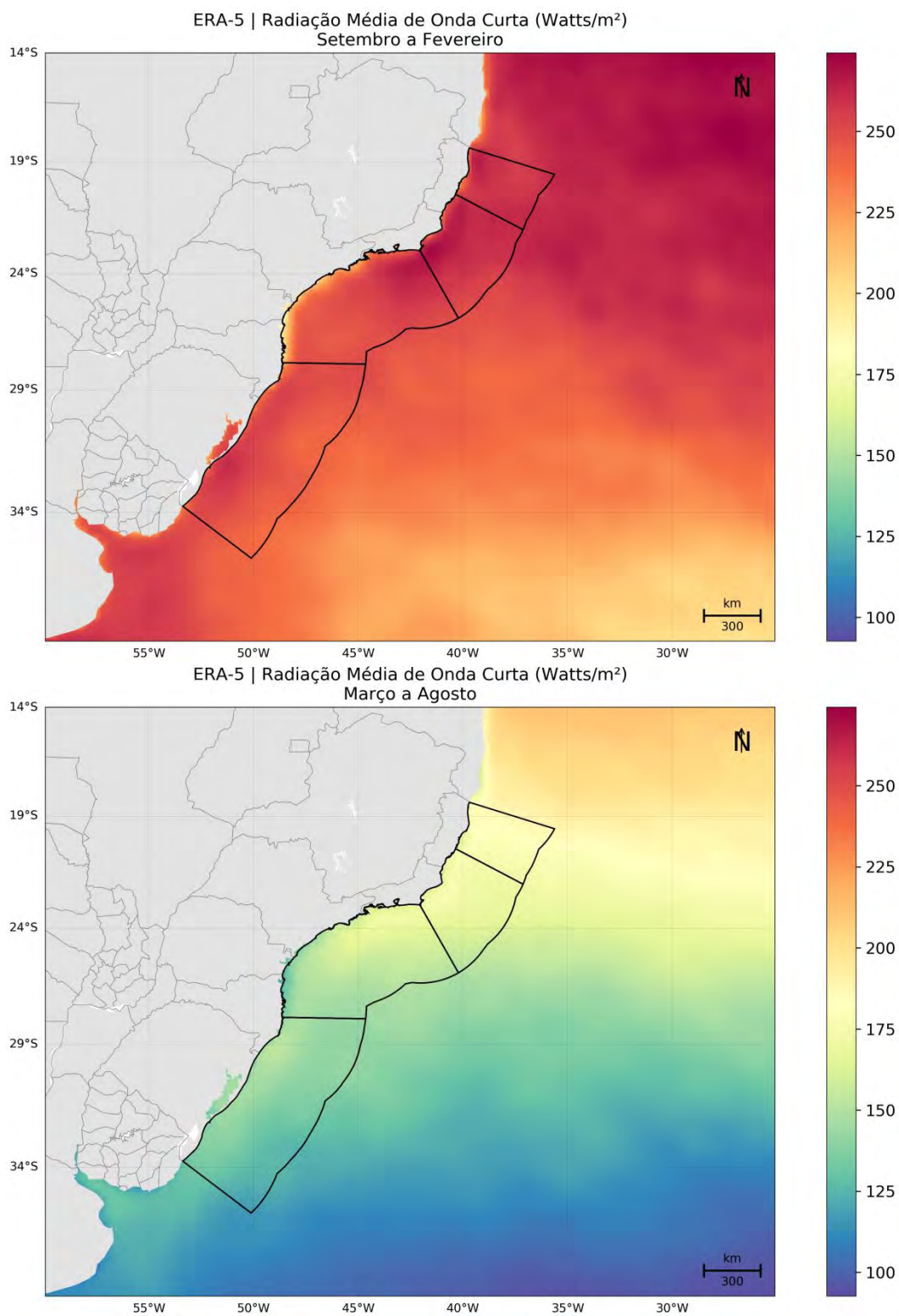


Figura 13: Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

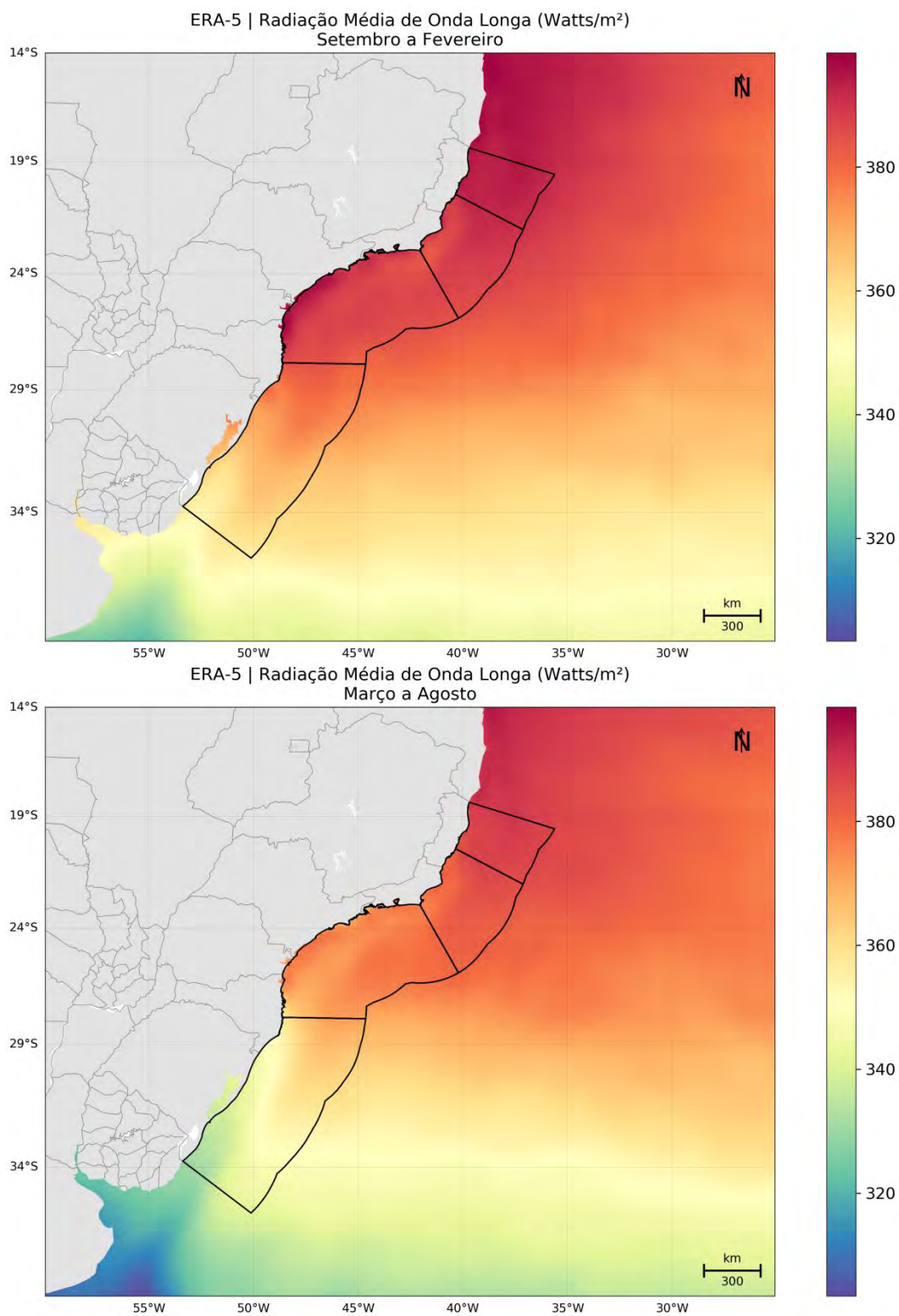


Figura 14: Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).



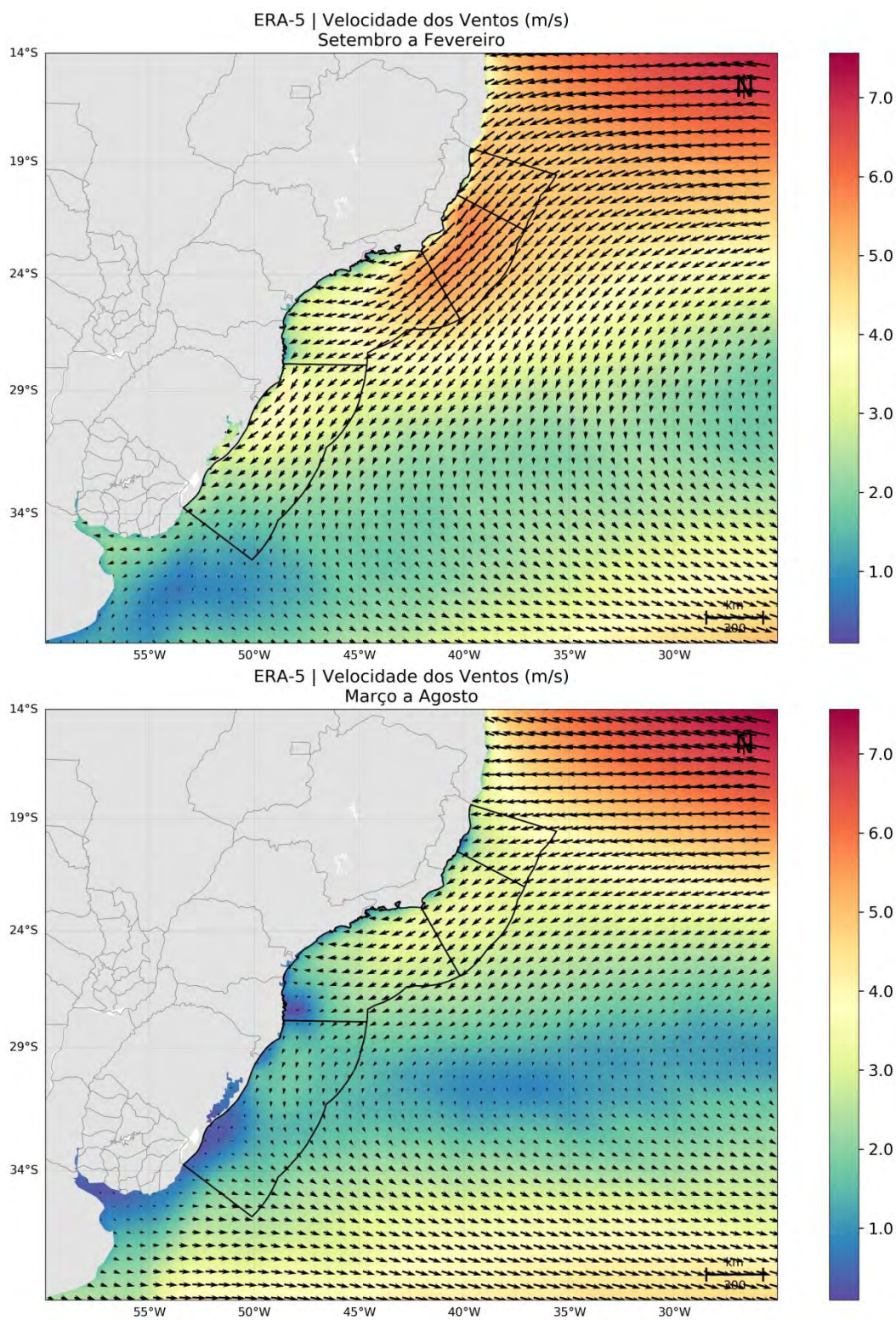


Figura 15: Campo médio dos dados de vento do ERA5 utilizados como forçante para o período 1 (superior) e para o período 2 (inferior).

### 5.3. Condição de Contorno Laterais

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

Por se tratar de um modelo regional, para as fronteiras abertas há a necessidade de se obter informações de regiões exteriores ao domínio do modelo. Uma vez que é impossível que se tenha séries temporais coletadas *in situ* de todos os parâmetros oceanográficos necessários para a modelagem ao longo de todo o contorno, a opção mais viável é a utilização de resultados de modelos globais. Nesse caso, foram utilizados os resultados do Mercator (temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e correntes) com resolução espacial de  $1/12^\circ$  e temporal de 1 dia. Para passar estas informações ao ROMS, os resultados do Mercator foram interpolados em seções verticais localizadas nas bordas do modelo. Assim, a cada dia simulado, o modelo faz a leitura destas informações no contorno, propagando-as para o interior do domínio.

A escolha da utilização dos resultados do modelo global Mercator como condições de contorno é baseada na capacidade de representação dos processos de mesoescala. Em Lellouche *et al.* (2019) é discutido a qualidade do sistema global Mercator utilizando avaliação das variáveis físicas do oceano com base nos resultados gerados para o ano de 2015. De uma forma geral, no que tange temperatura e salinidade, os resultados mostraram boa capacidade de representação dos sistemas de massas de água e os desvios (ou viés, do inglês *bias*) em comparação com observações *in situ* raramente excederam 0,5 K e 0,1 psu. Já para as correntes superficiais, as subestimações que ocorrem principalmente nas regiões de latitudes médias, alcançando valores de 20% de subestimação em regiões de correntes intensas. Tais resultados comparativos demonstra aptidão do uso desses dados de modelagem como condição de contorno do modelo regional.

### 5.4. Maré

Para simular o efeito da elevação do nível do mar no domínio de modelagem, foram utilizadas as constantes harmônicas do modelo global de marés TPX08 V1 (EGBERT; EROFEEVA, 2002). Este modelo possui resolução de  $1/30^\circ$  e utiliza dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

A seguir, da Figura 16 à Figura 23, são apresentados os campos de amplitude e fase das oito primeiras constantes harmônicas do TPX08 fornecidas ao modelo para o cálculo da elevação de maré, ressaltando que o ROMS utiliza apenas os dados nos contornos como forçante.

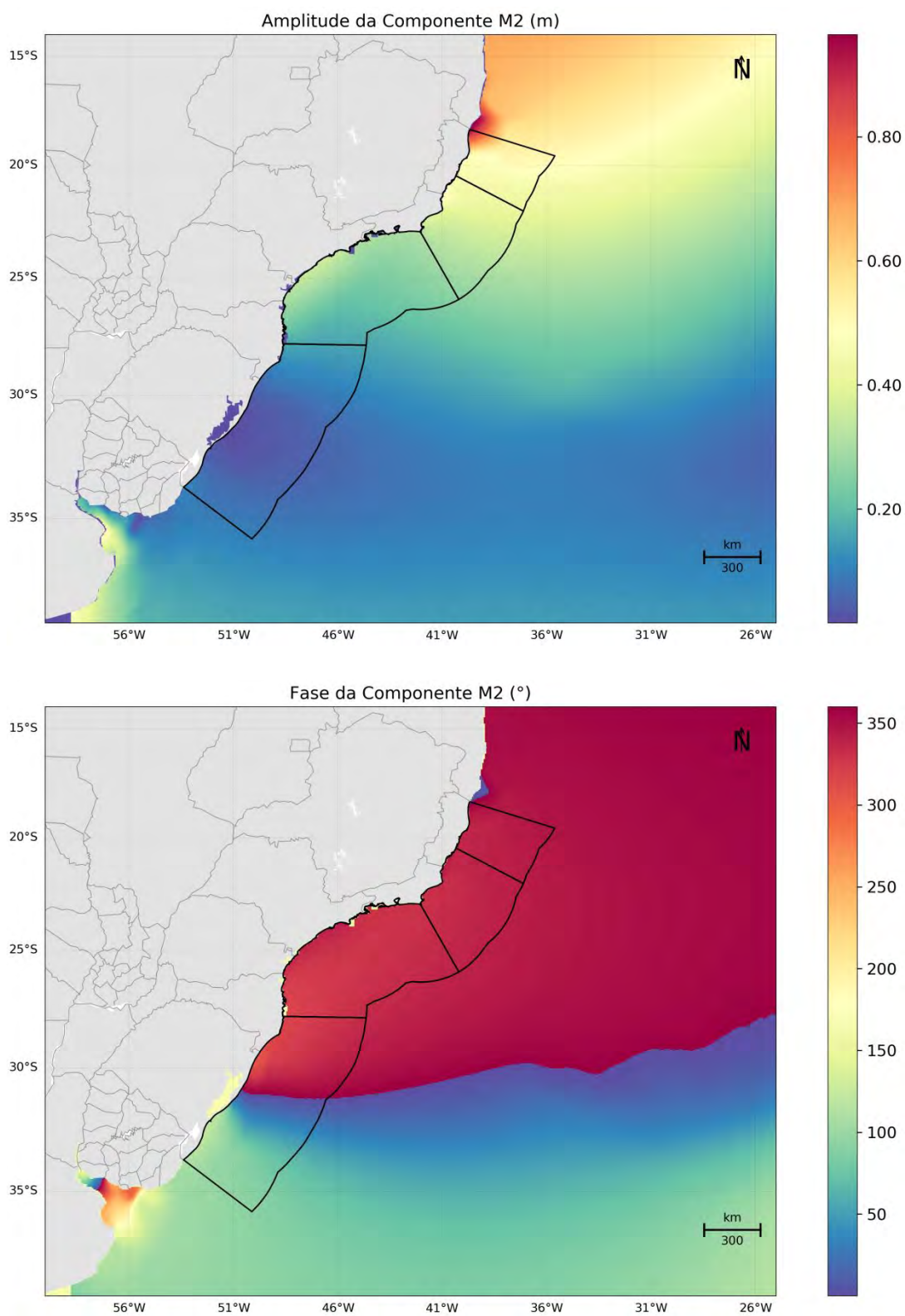


Figura 16: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2. Fonte: TPX08.



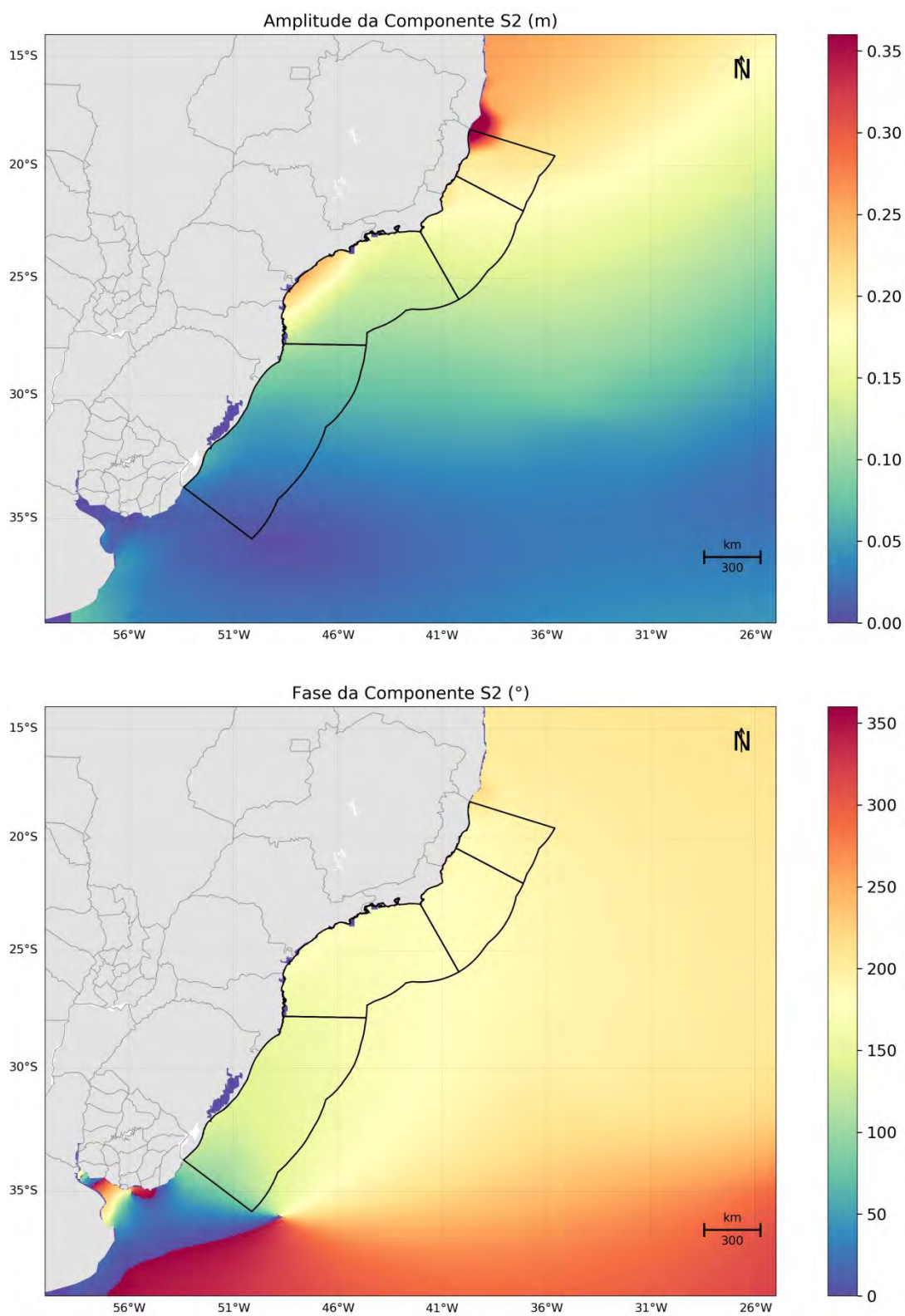


Figura 17: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte: TPX08.

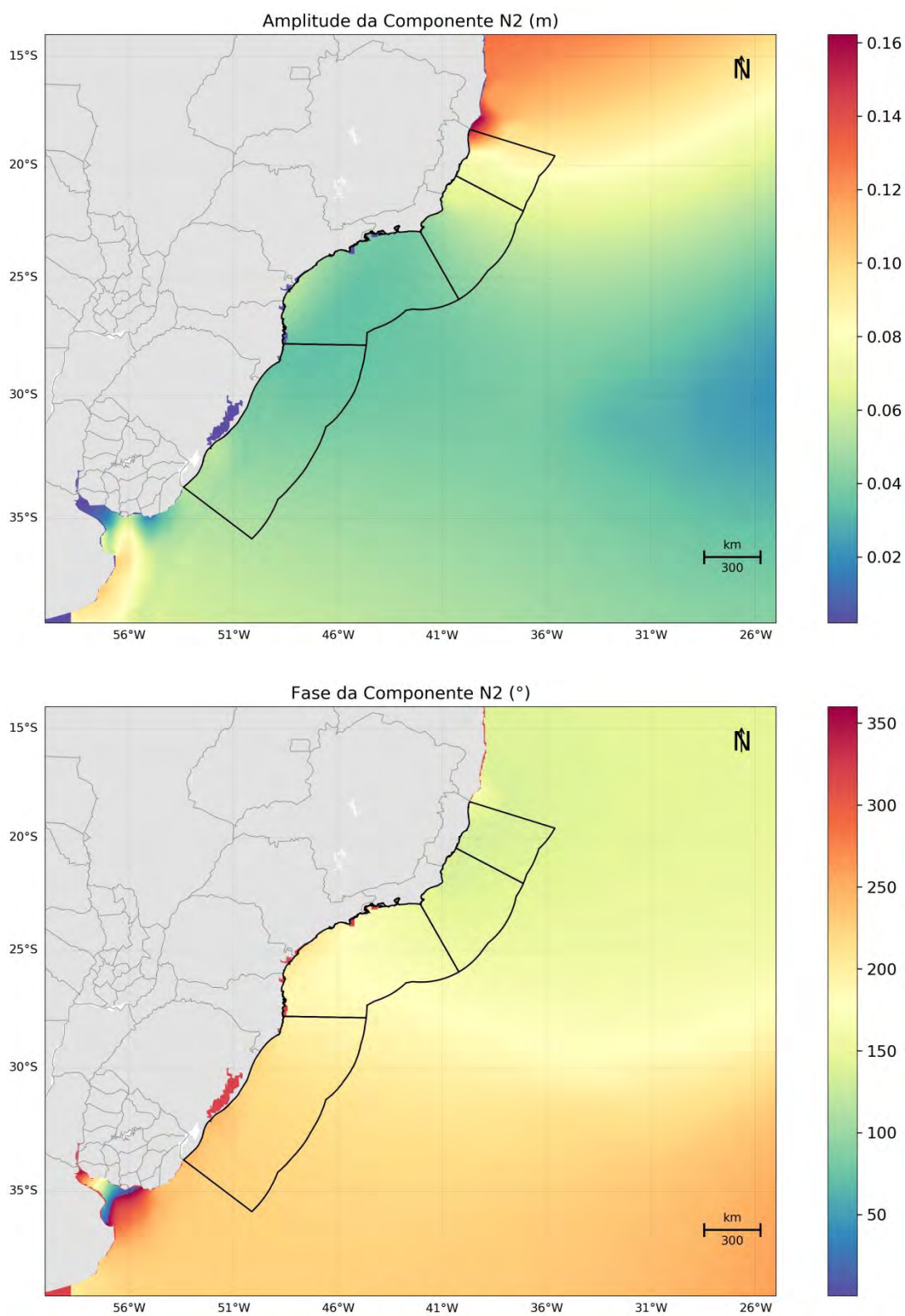


Figura 18: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte: TPX08.

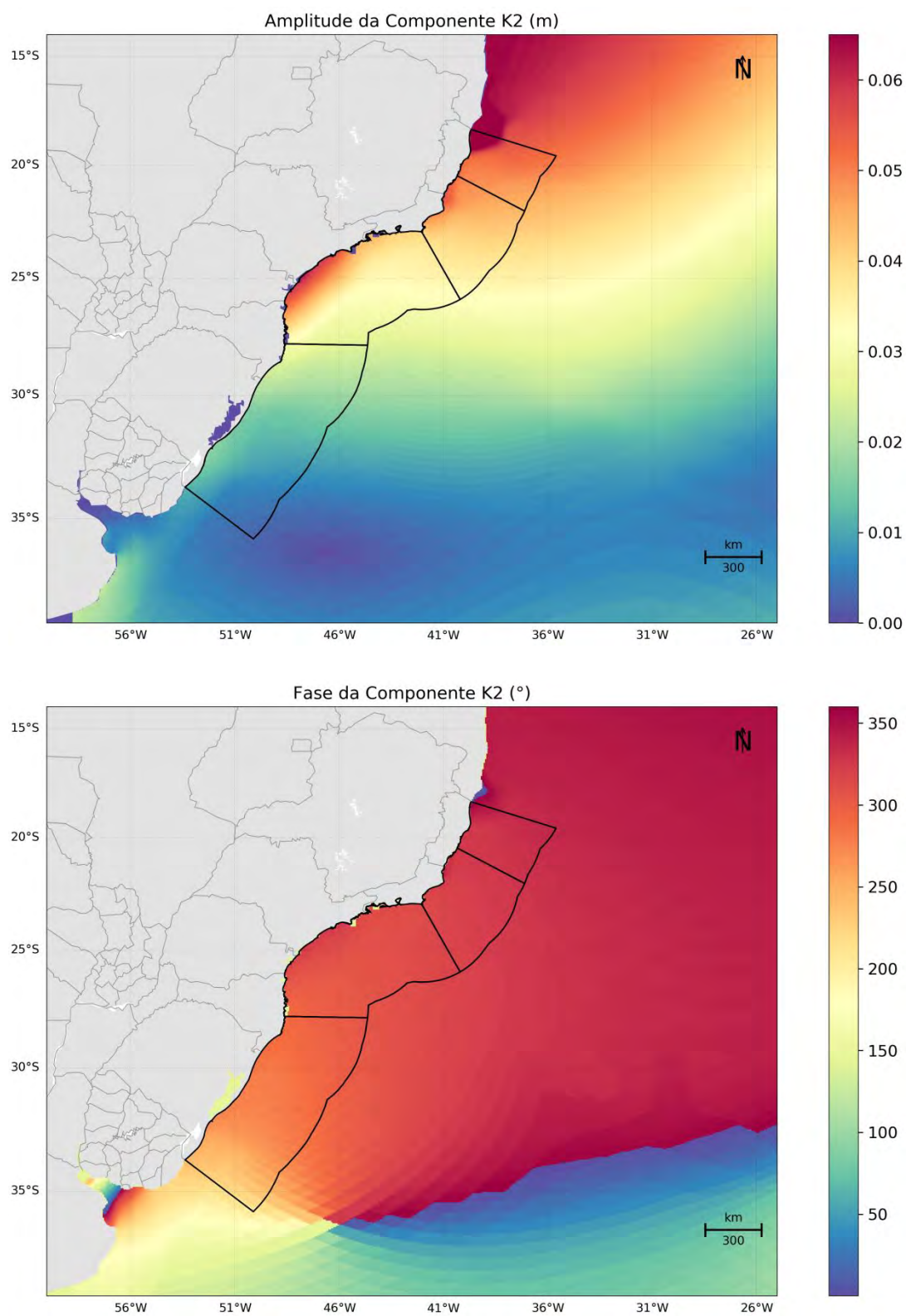


Figura 19: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte: TPX08.



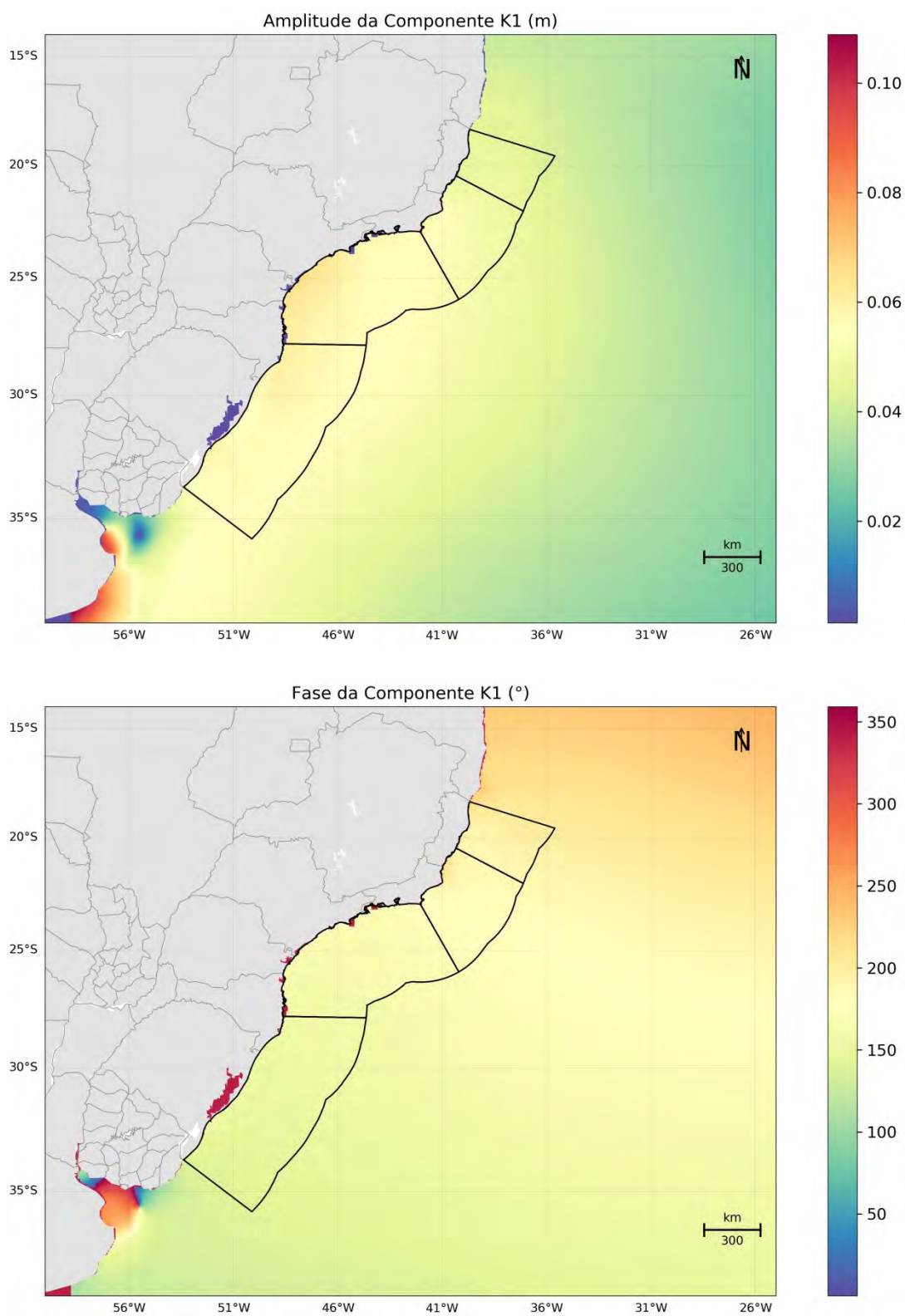


Figura 20: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte: TPX08.

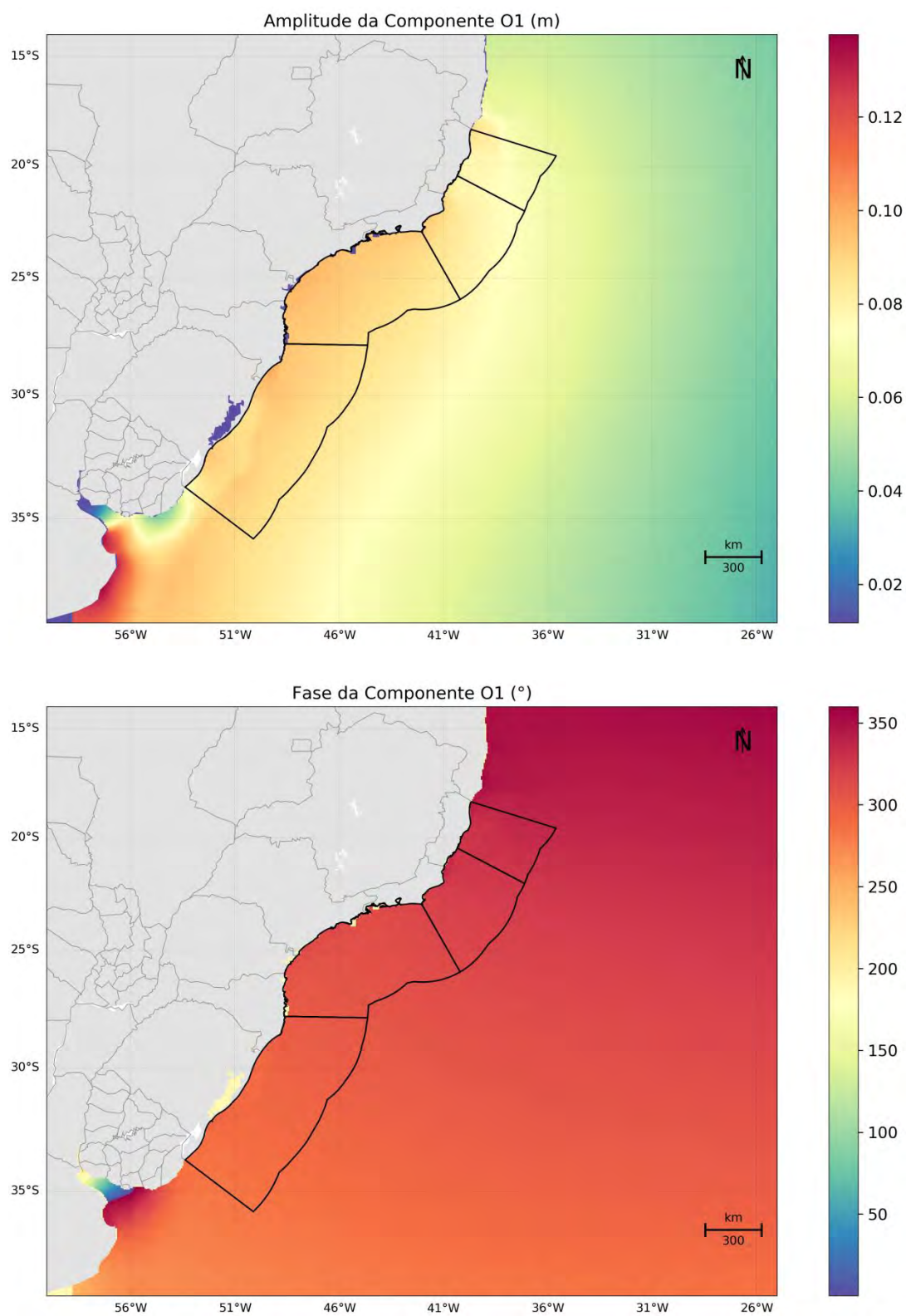


Figura 21: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte: TPX08.

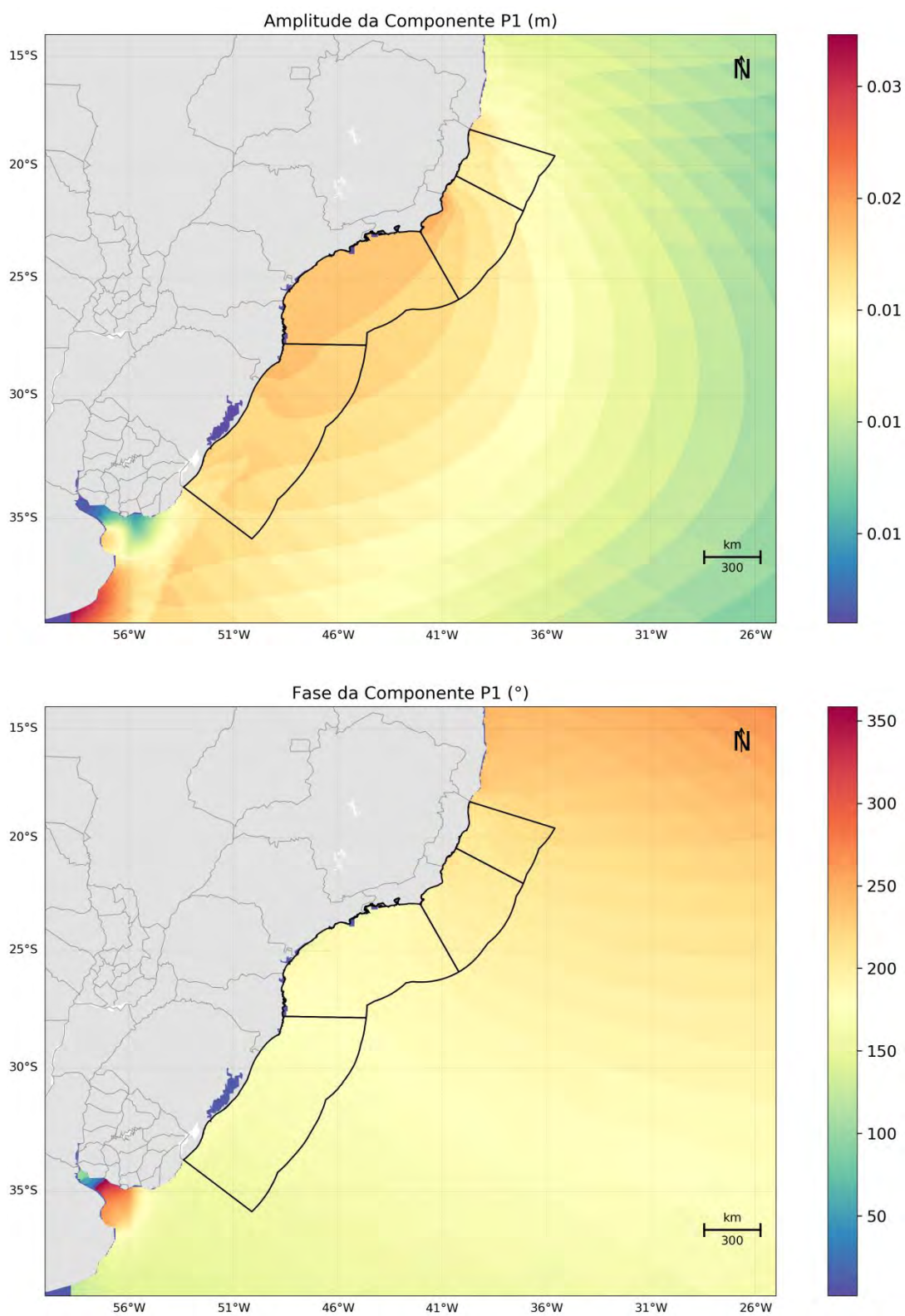


Figura 22: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte: TPX08.



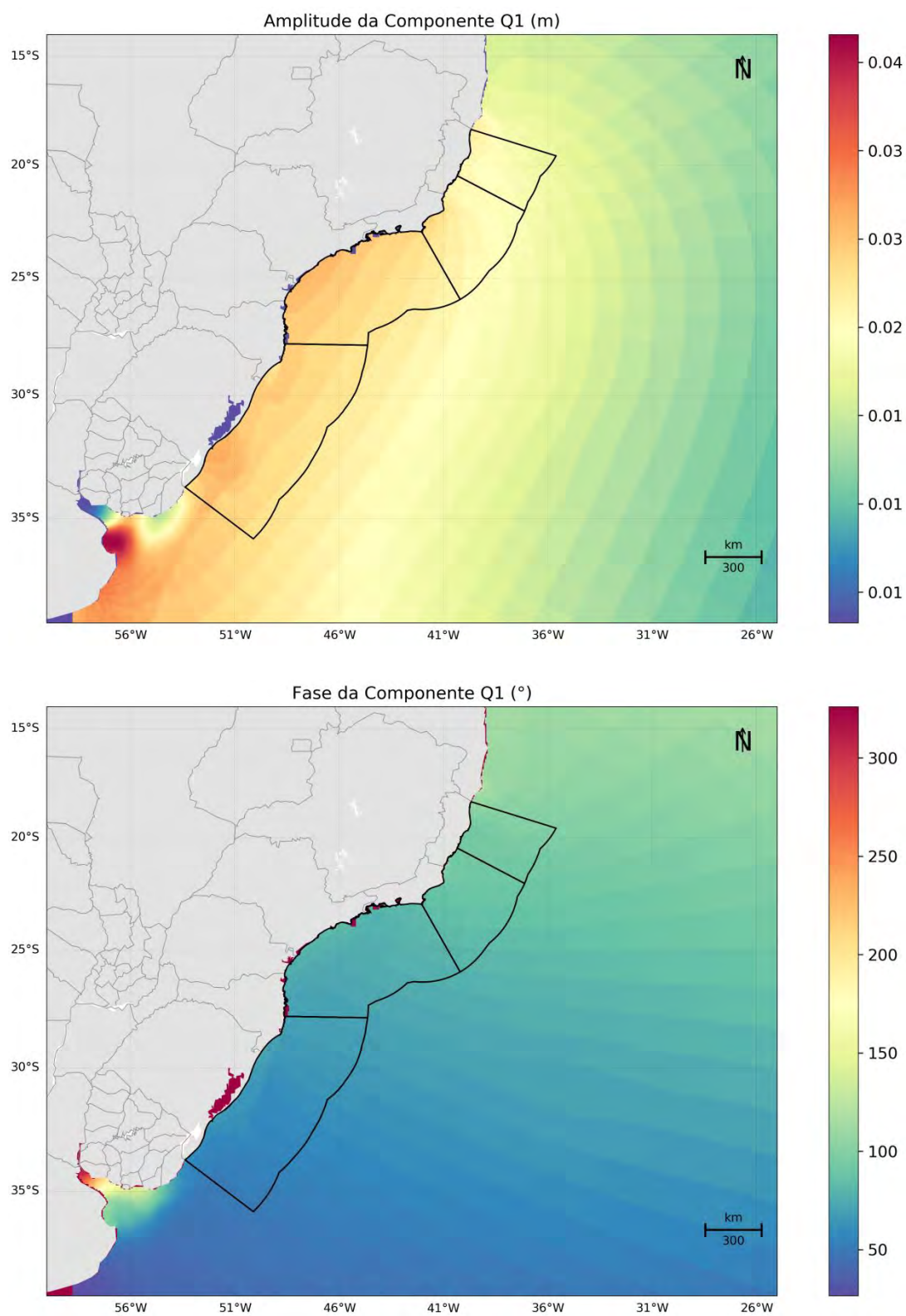


Figura 23: Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte: TPX08.

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

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

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

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

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

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

onde  $h_0$  é a profundidade local.

## 6. Estabilização da Energia Cinética

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

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

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

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

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

Consequentemente, não é necessário que o modelo seja integrado por certo período para atingir a estabilidade (*spin-up*), como demonstrado pelo gráfico da variação da energia cinética média do modelo ao longo da simulação (Figura 24).



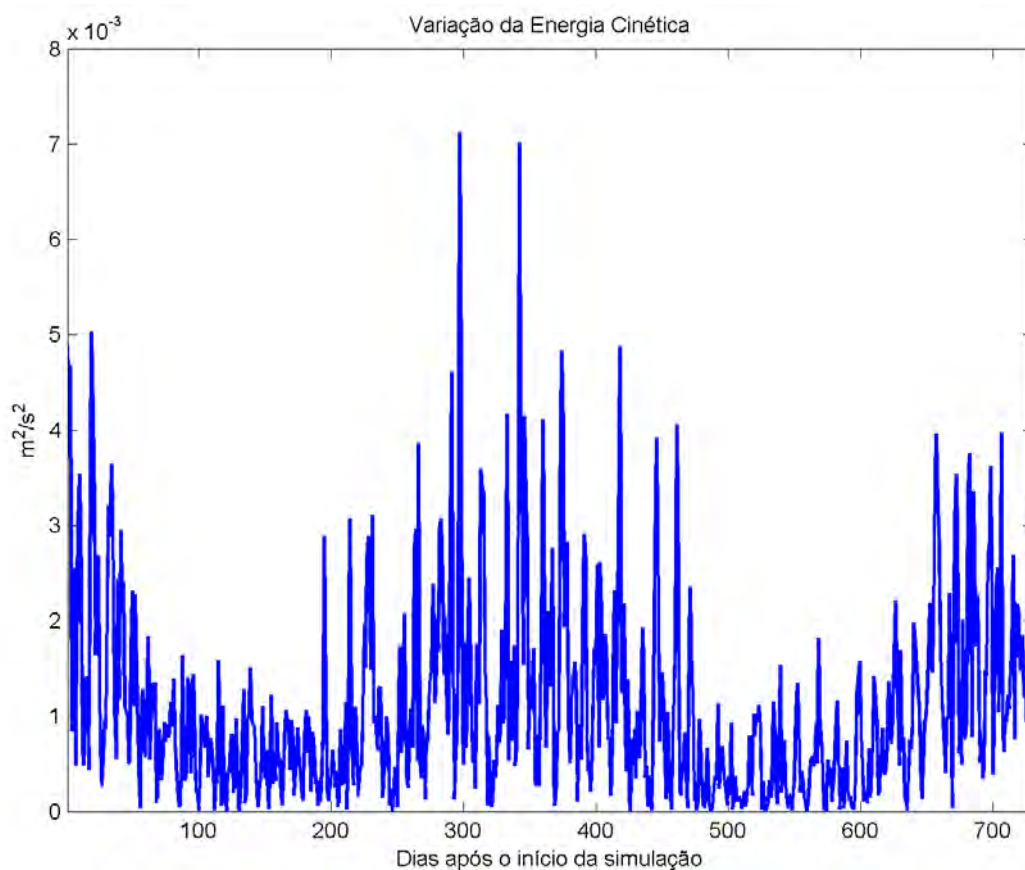


Figura 24: Variação da energia cinética média em superfície ao longo da simulação.

## 7. Resultados

Neste capítulo serão apresentados campos médios mensais, seções verticais e rosa de correntes obtidos a partir dos resultados do modelo. Objetiva-se apresentar os resultados da modelagem, assim como verificar se sua variabilidade sazonal está de acordo com o descrito na literatura especializada, constituindo assim mais uma forma de avaliação do modelo. Para além da análise sazonal, são apresentadas instantâneos do modelo no sentido de demonstrar a capacidade de representação da atividade de mesoescala e de reflexos no oceano de fenômenos meteorológicos como a passagem de sistemas frontais.

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

As correntes sobre a plataforma continental se encontram em um equilíbrio dinâmico com os ventos sobrejacentes e apresentam conhecida sazonalidade. Durante o predomínio do ASAS, os ventos paralelos a costa são responsáveis pelo transporte das correntes superficiais em direção ao mar aberto, resultando em um abaixamento do nível do mar junto a costa. Esse abaixamento do nível gera uma força de gradiente de pressão em direção à costa que, entrando em equilíbrio com a força de Coriolis, resulta em uma corrente paralela à costa e na mesma direção do vento, fluindo com sentido sul. Durante a passagem de frentes frias, esse equilíbrio se dá no sentido inverso e a corrente resultante é no sentido do vento, fluindo paralela à costa com sentido norte (CASTRO FILHO, 1990 *apud* CARVALHO, 2003). A maior frequência de passagem de frentes frias no período de inverno resulta em uma corrente costeira residual sobre a plataforma (a Corrente Costeira do Brasil, ou CCB), com direção nordeste, que transporta água mais fria e rica em nutrientes até a latitude 24°S (MENDONÇA *et al.*, 2016; SOUZA & ROBINSON, 2004). No verão o predomínio da influência do ASAS resulta em uma corrente residual com direção sul.

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

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

## 7.1. Campos de corrente

Os padrões descritos em literatura para a região oceânica e para a circulação sobre a plataforma podem ser bem observados nos campos médios mensais apresentados da Figura 25 a Figura 36. Para além dos campos superficiais, serão apresentados nos subitens seguintes os campos mensais para as profundidades de 200 m, 500 m, 1.000 m e 2.000 m.

Sobre a plataforma continental, os campos mensais indicam correntes com fluxo sudoeste nos meses de setembro a fevereiro. No período compreendido entre março e agosto, estas são menos intensas e há inversão do fluxo nos meses de junho e julho, devido à presença da Corrente Costeira.

## 7.1.1 Superfície

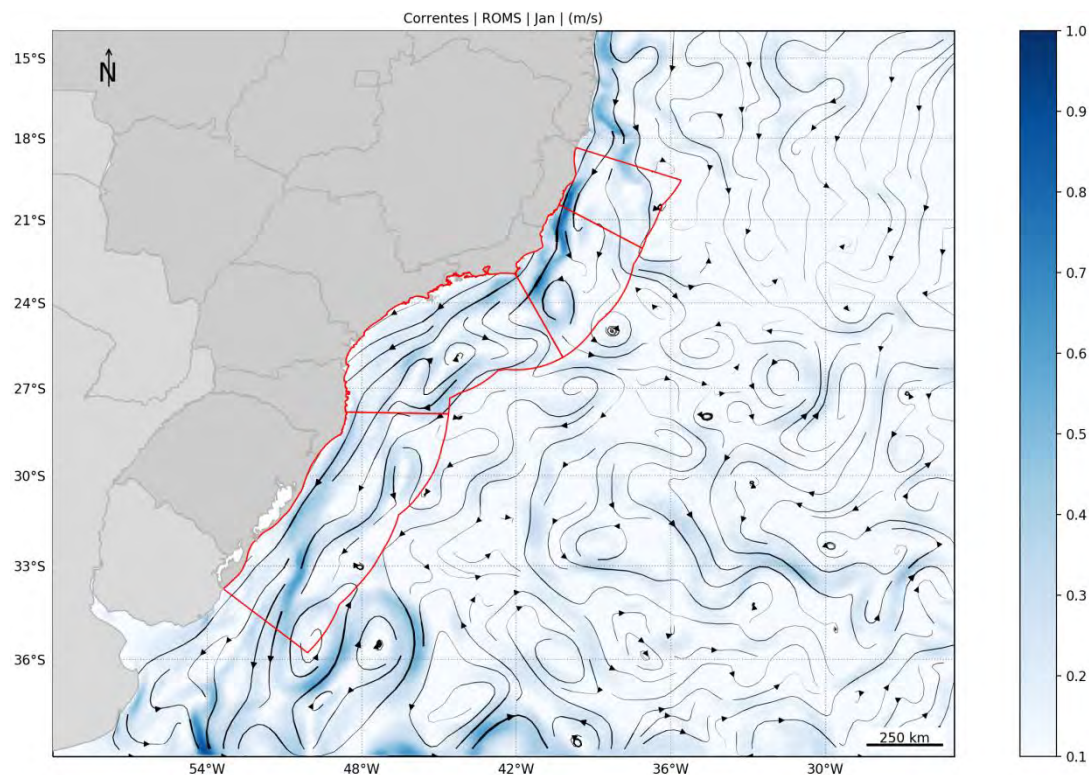


Figura 25: Campo médio de circulação para o mês de janeiro.

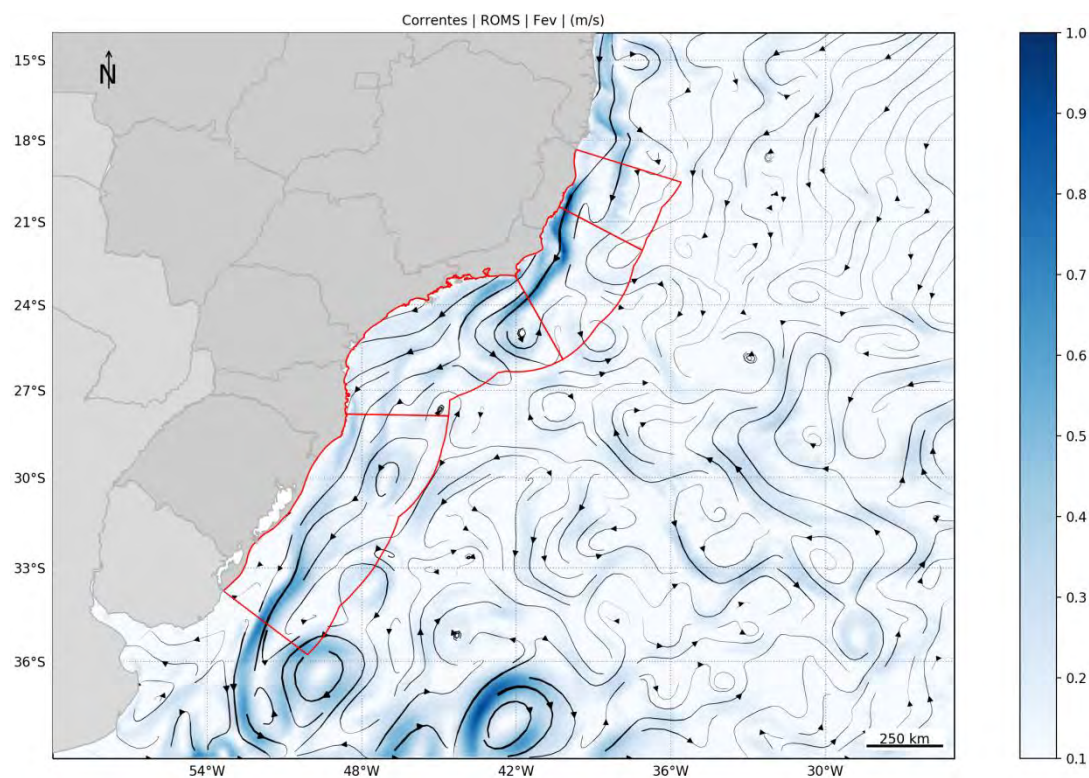


Figura 26: Campo médio de circulação para o mês de fevereiro.



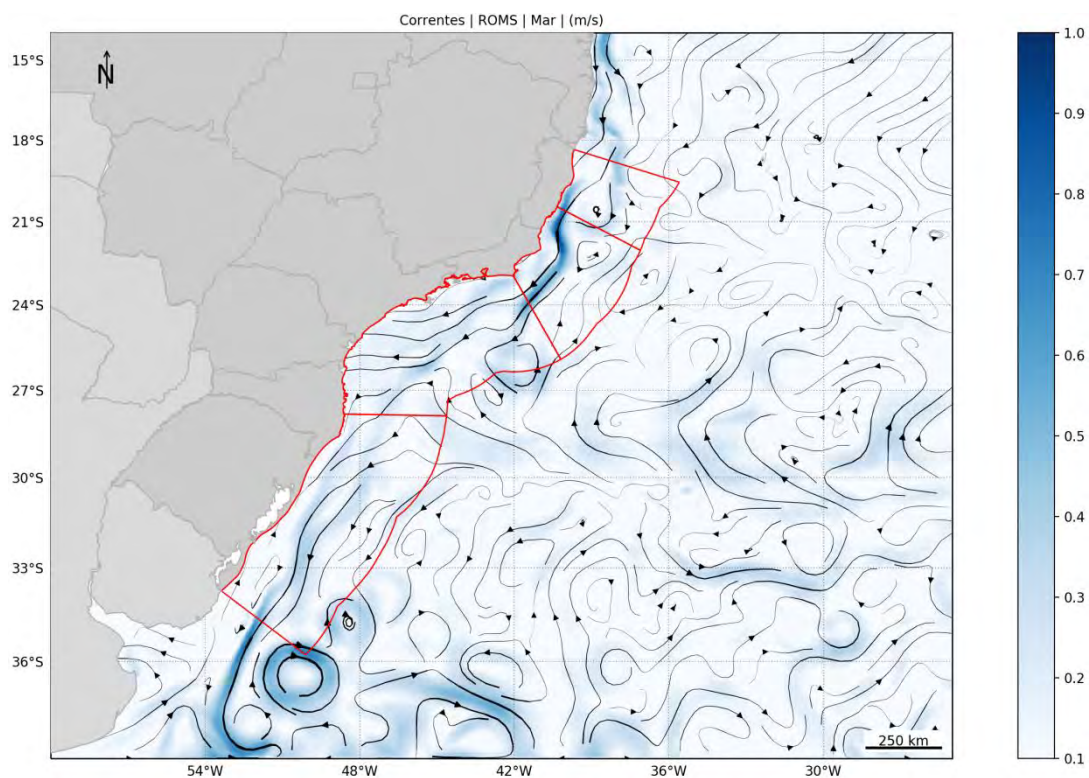


Figura 27: Campo médio de circulação para o mês de março.

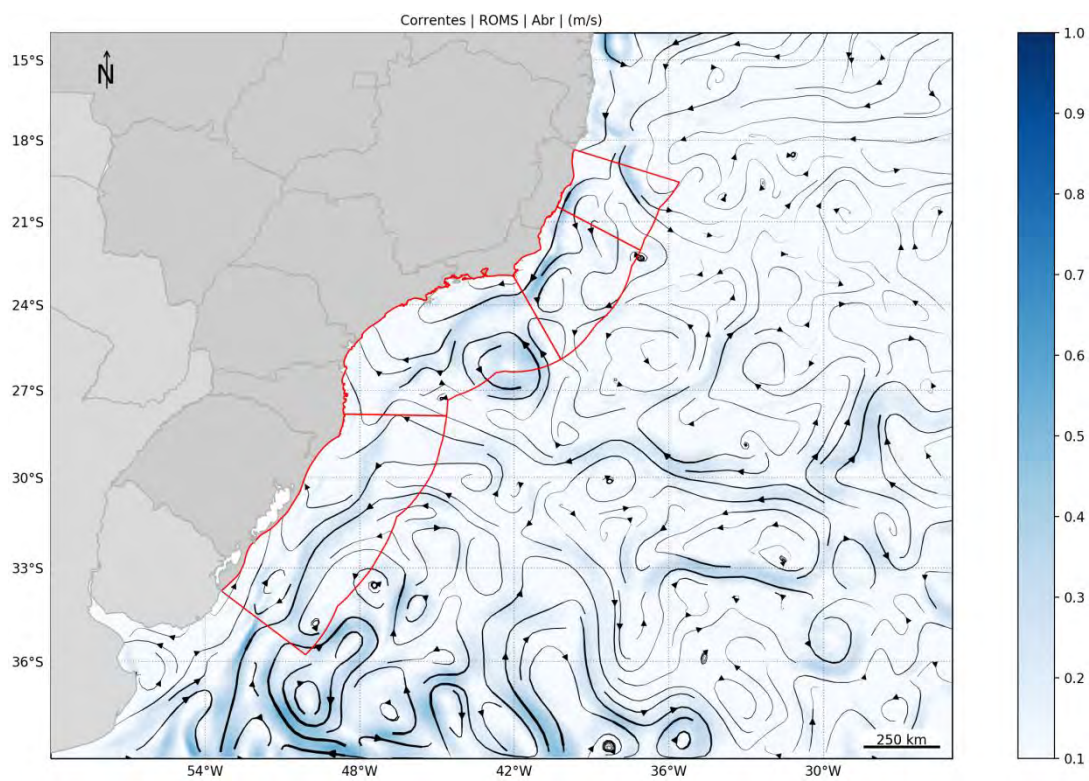


Figura 28: Campo médio de circulação para o mês de abril.

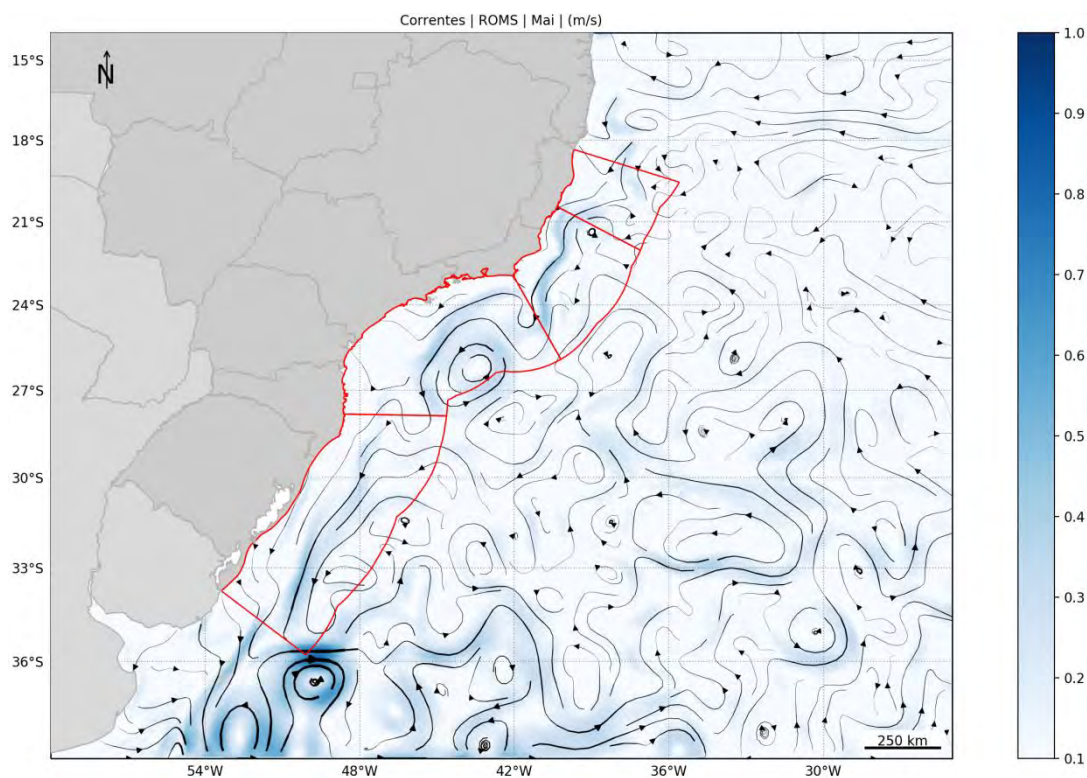


Figura 29: Campo médio de circulação para o mês de maio.

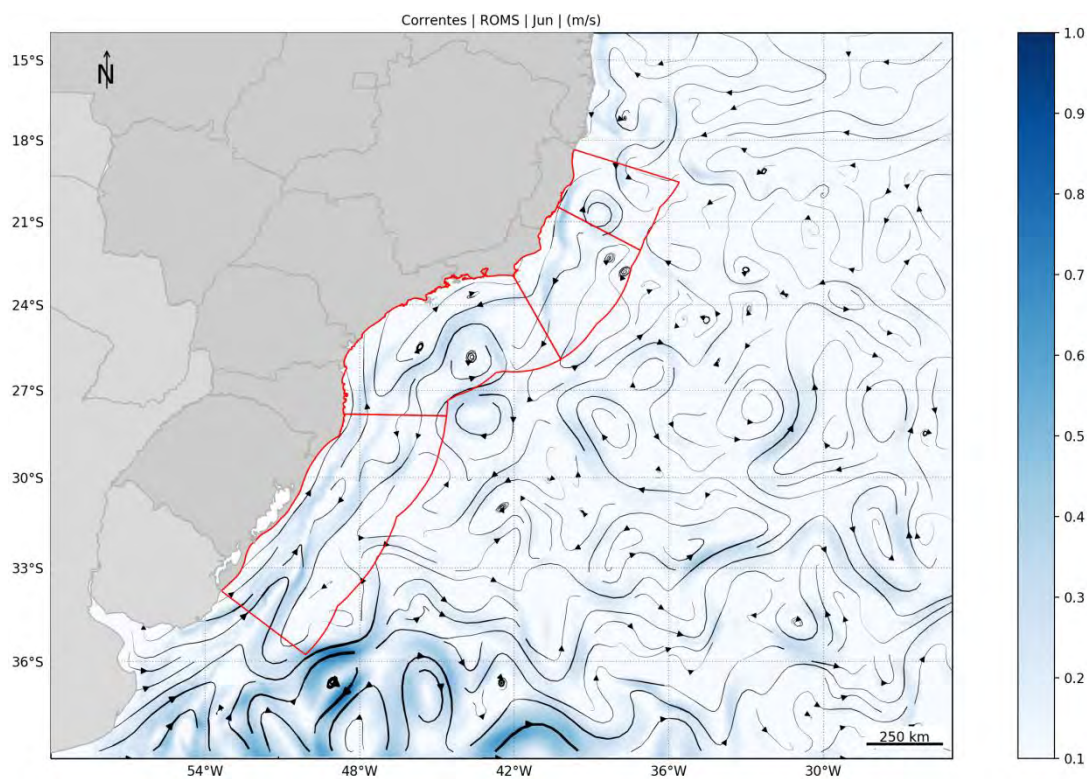


Figura 30: Campo médio de circulação para o mês de junho.



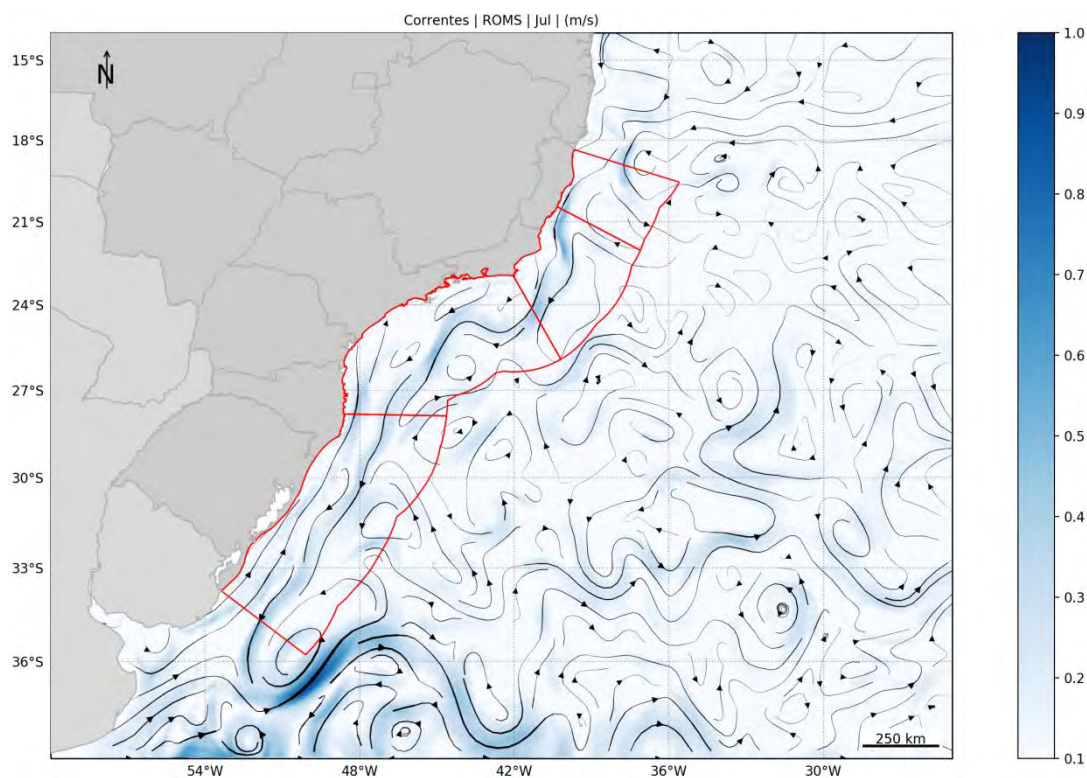


Figura 31: Campo médio de circulação para o mês de julho.

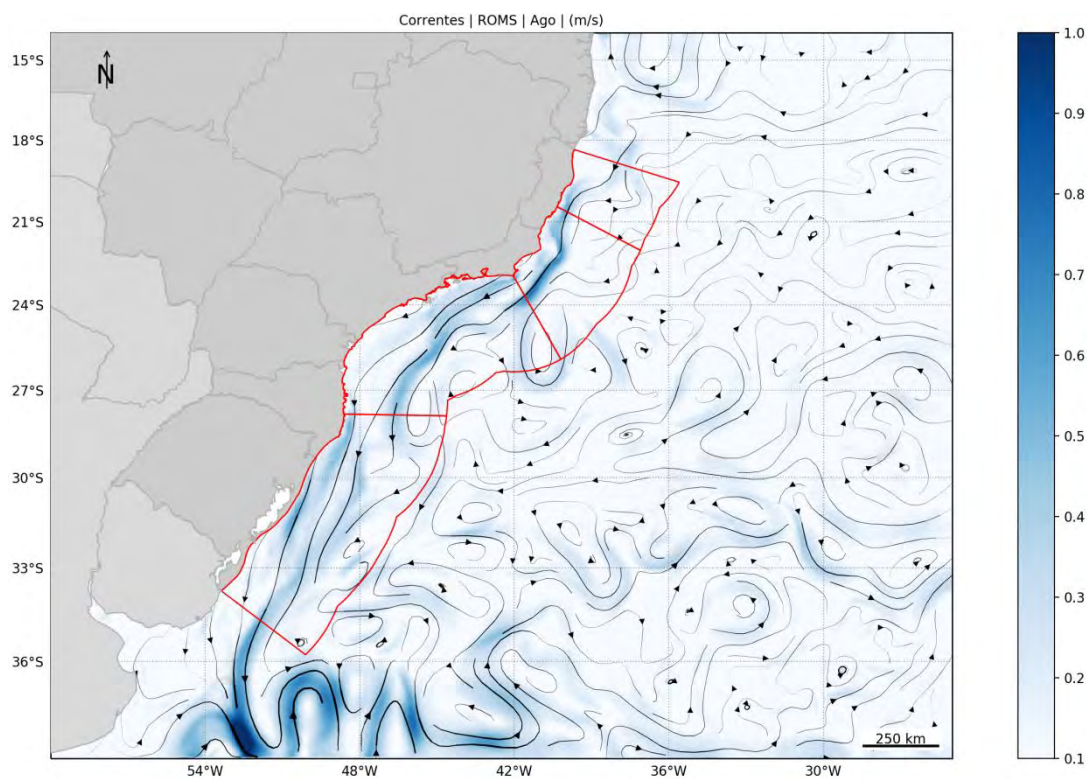


Figura 32: Campo médio de circulação para o mês de agosto.

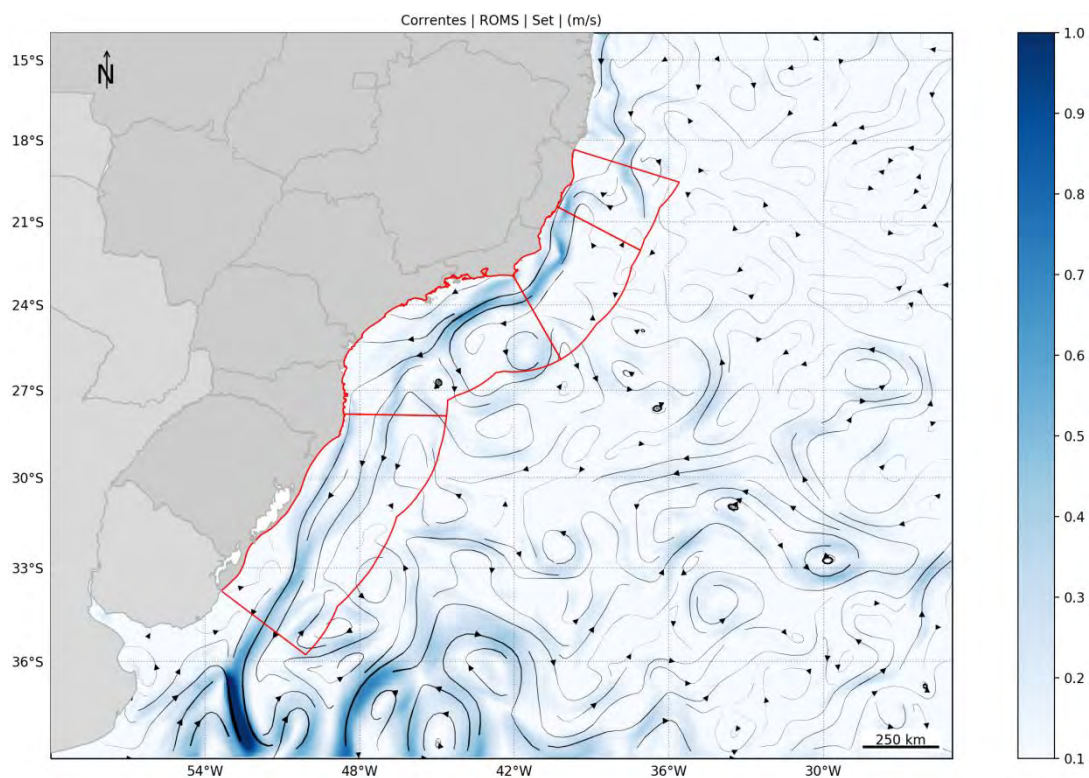


Figura 33: Campo médio de circulação para o mês de setembro.

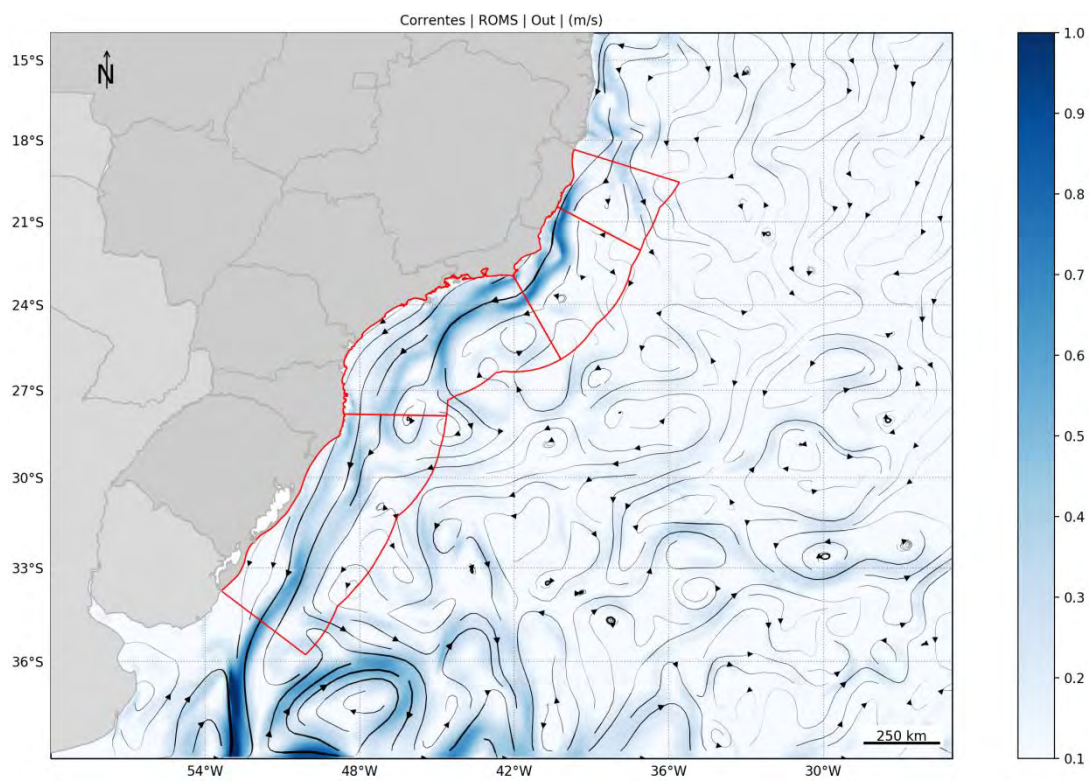


Figura 34: Campo médio de circulação para o mês de outubro.



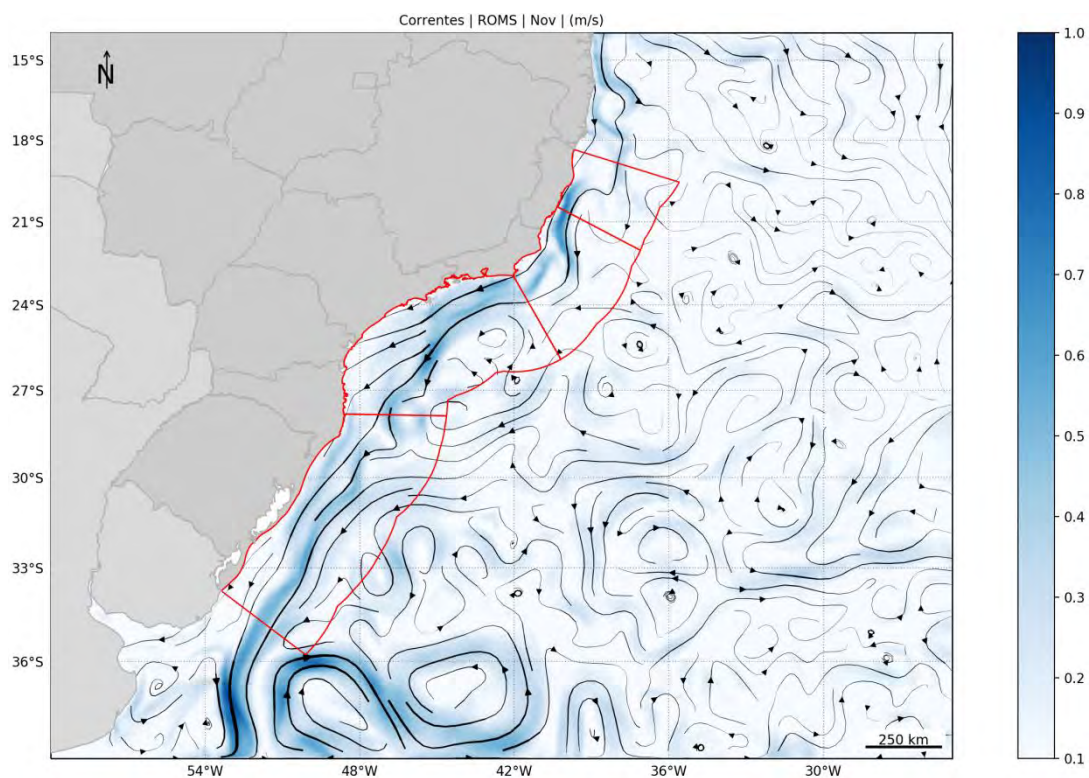


Figura 35: Campo médio de circulação para o mês de novembro.

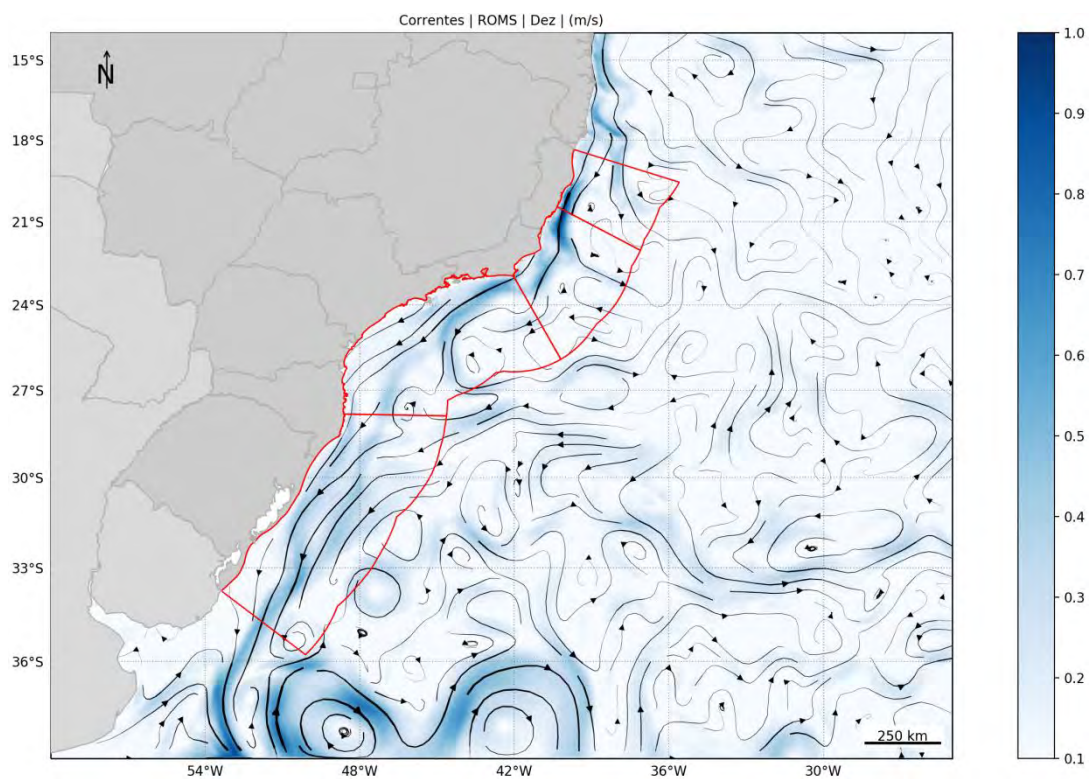


Figura 36: Campo médio de circulação para o mês de dezembro.



## 7.1.2 200 metros de profundidade

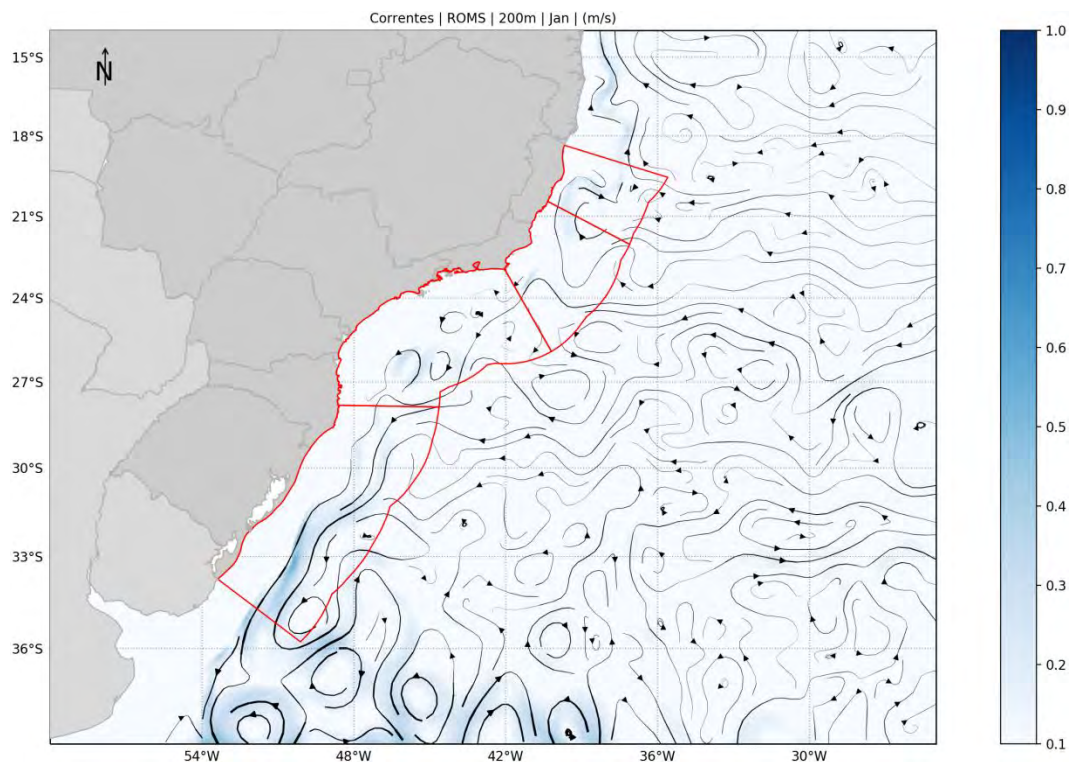


Figura 37: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de janeiro.

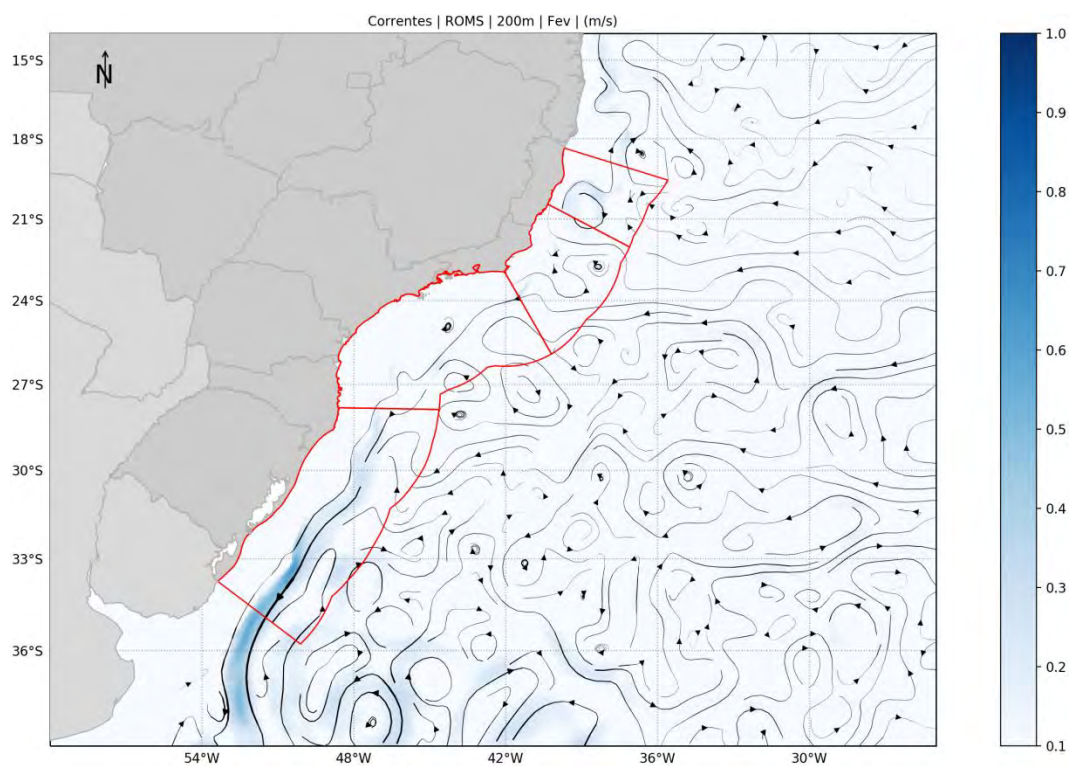


Figura 38: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de fevereiro.



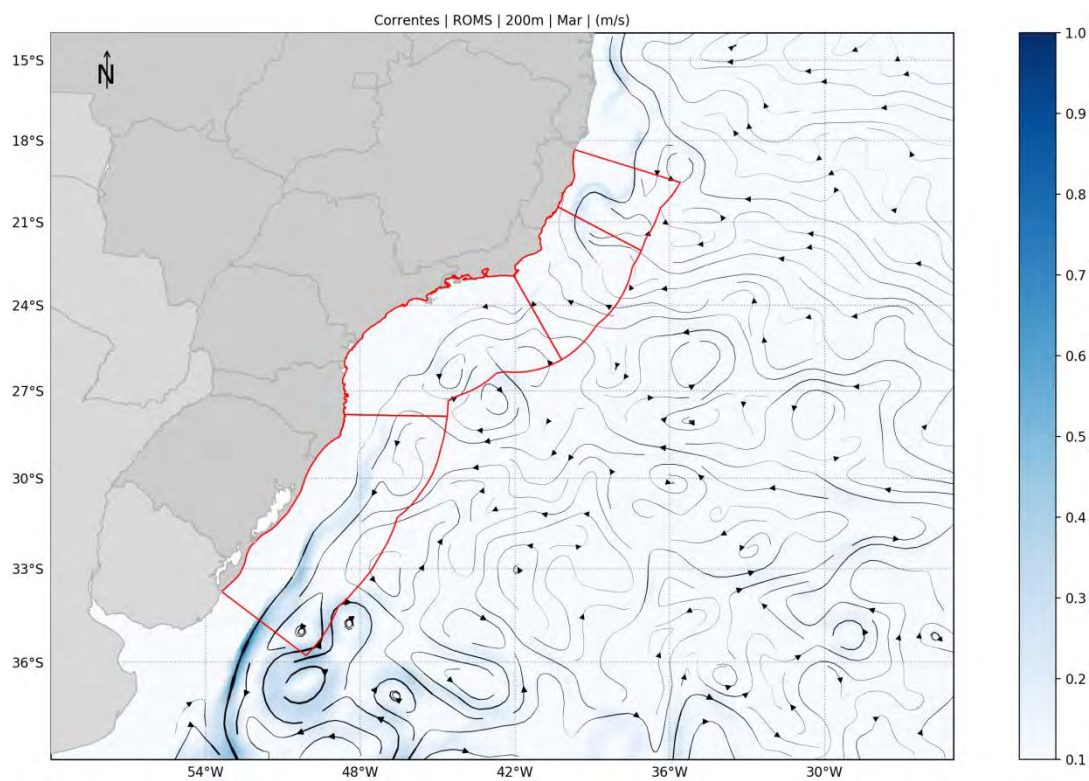


Figura 39: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de março.

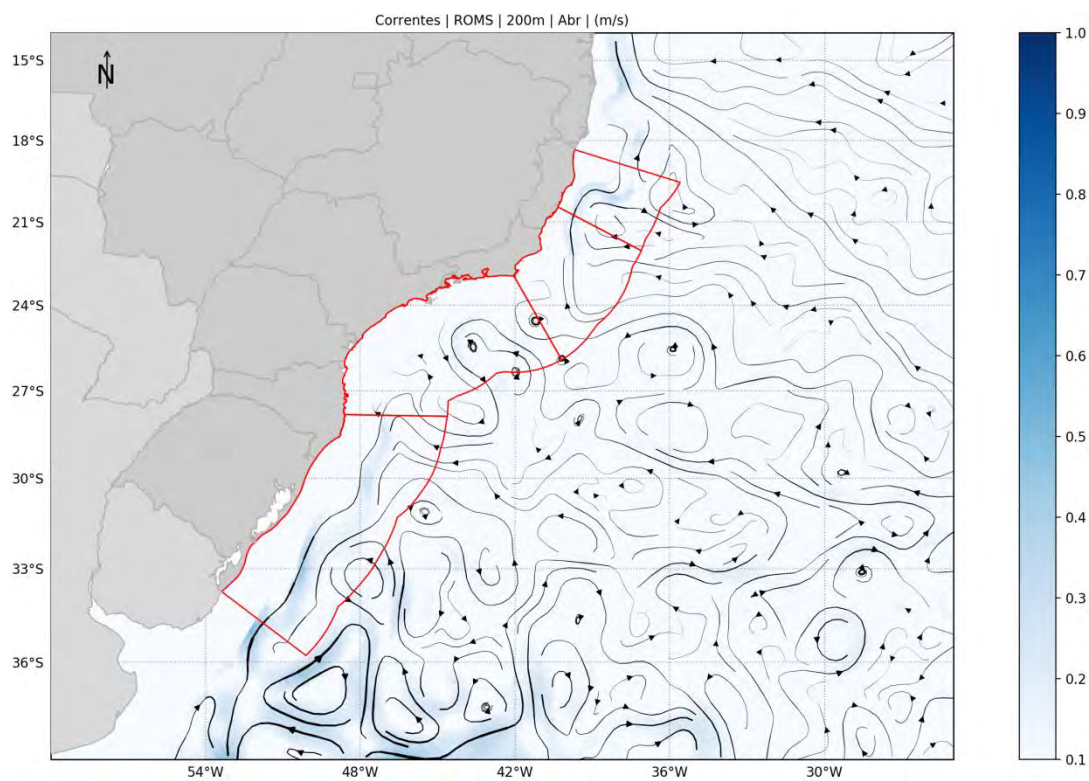


Figura 40: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de abril.



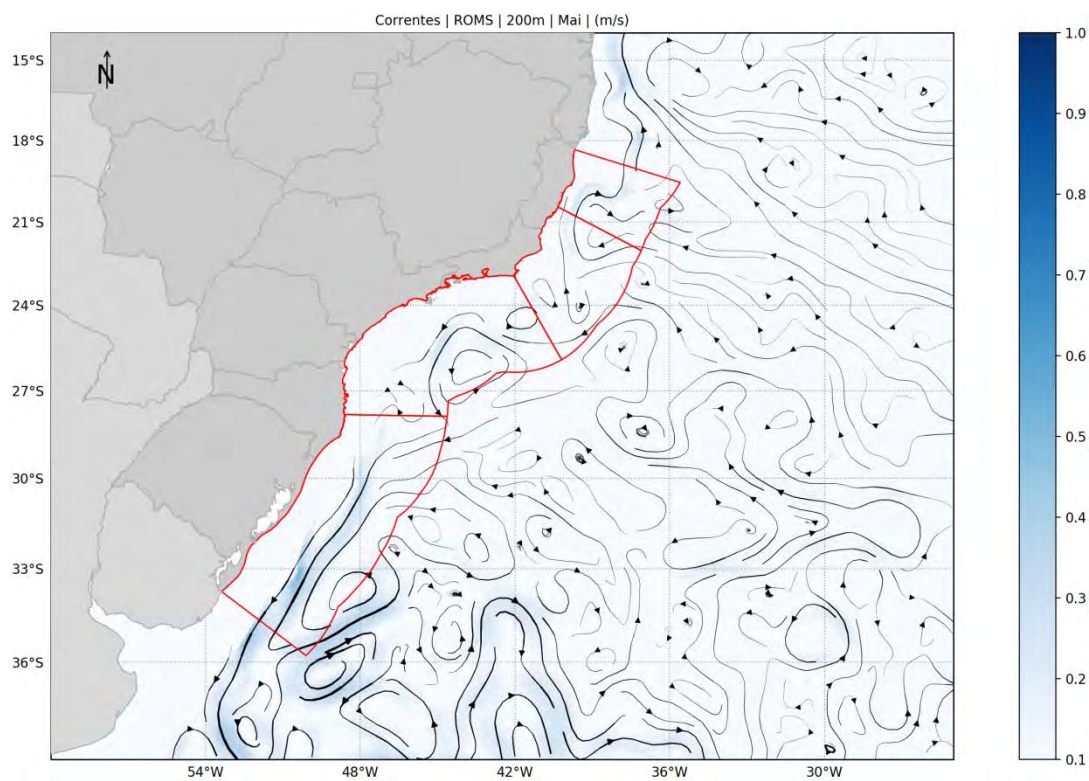


Figura 41: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de maio.

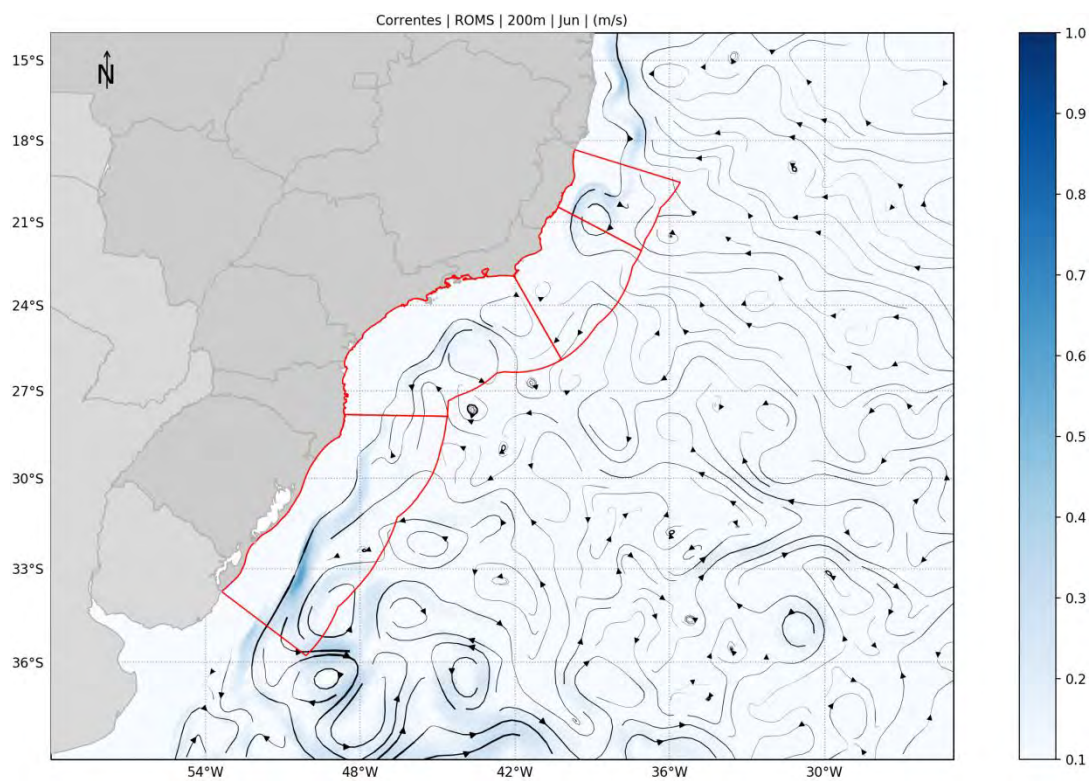


Figura 42: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de junho.

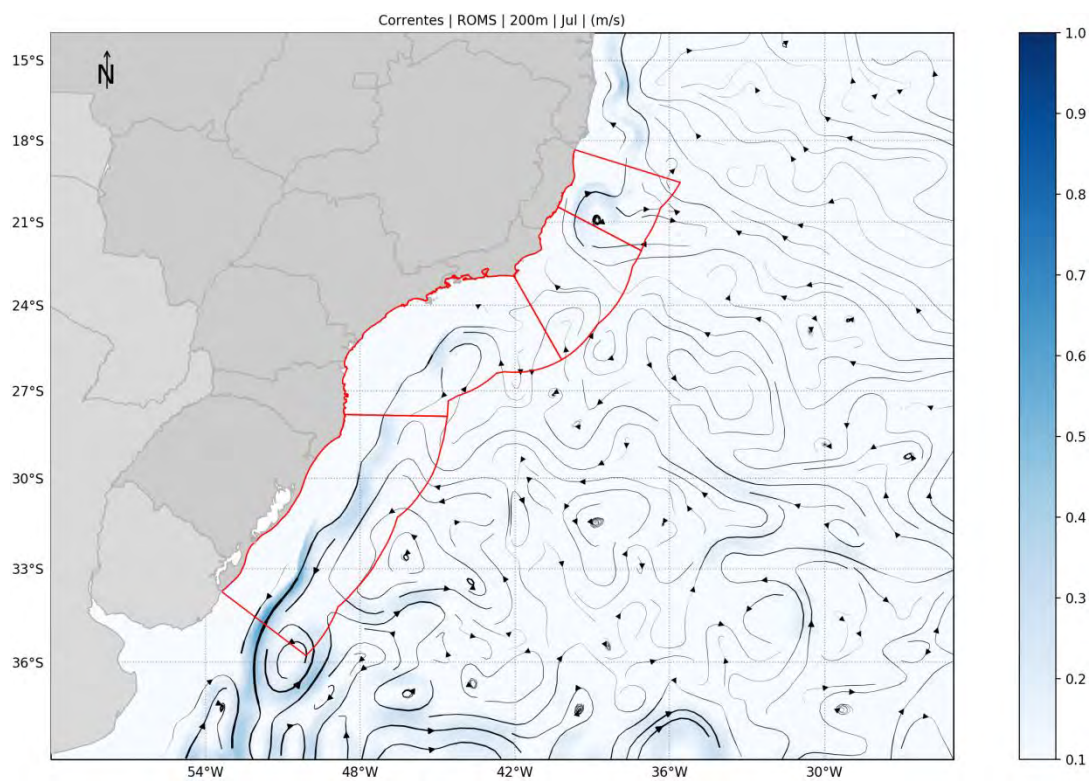


Figura 43: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de julho.

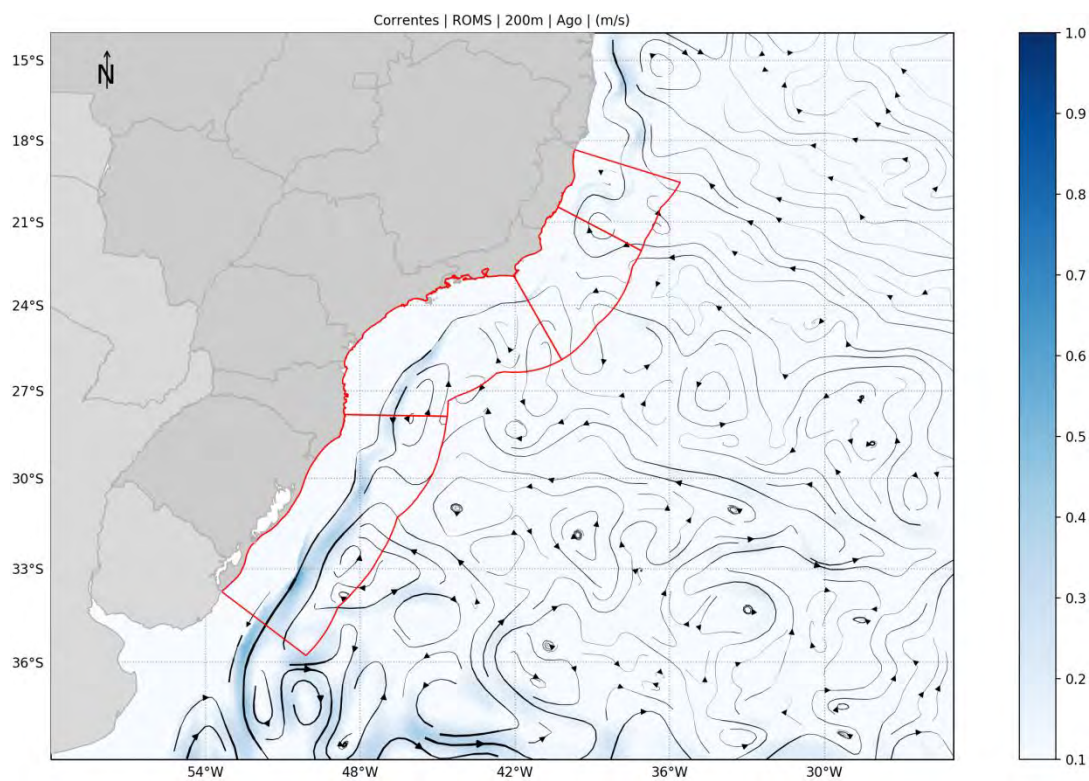


Figura 44: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de agosto.



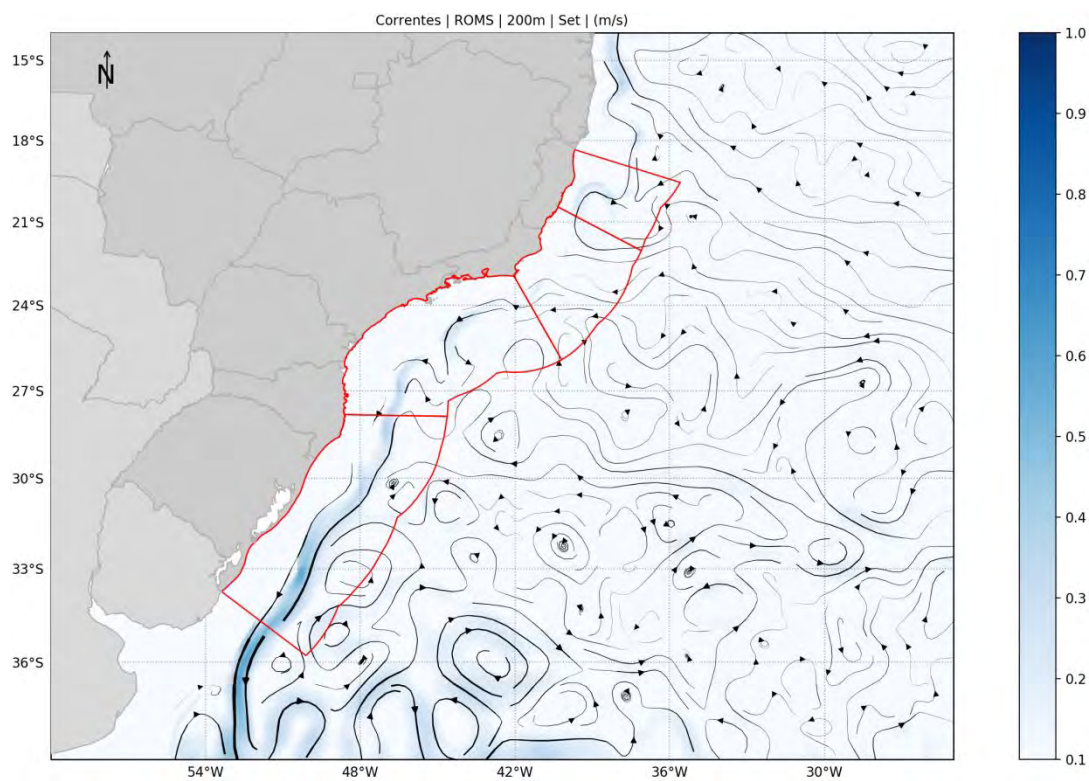


Figura 45: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de setembro.

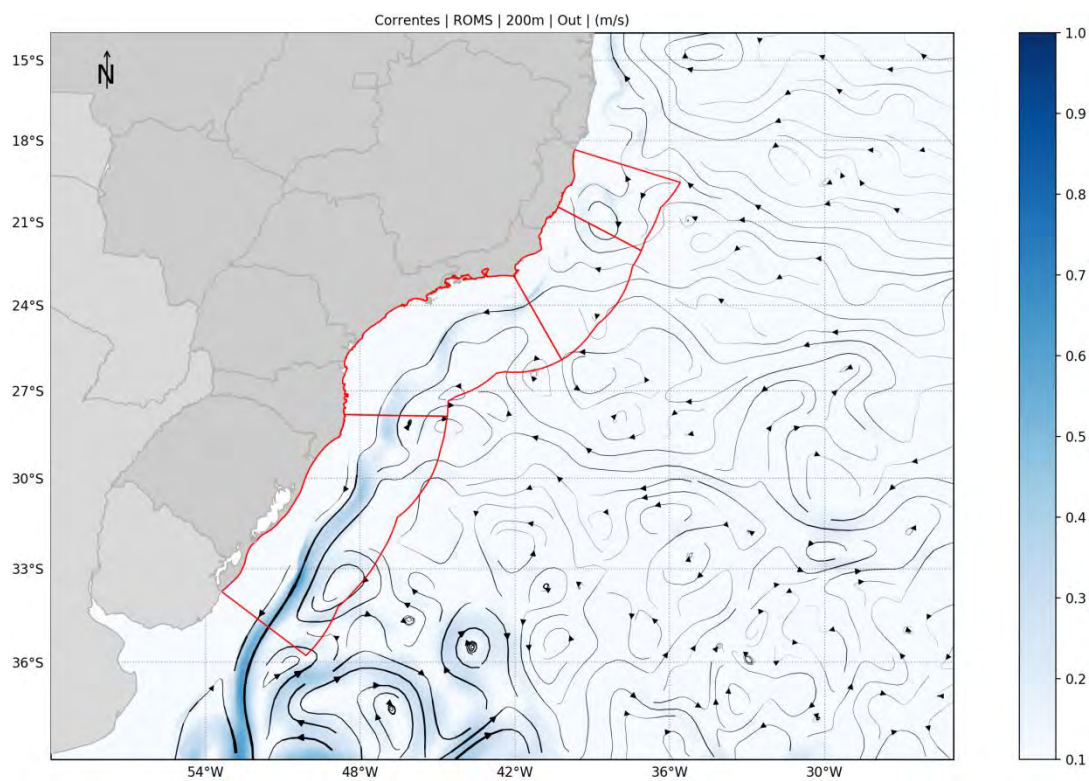


Figura 46: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de outubro.

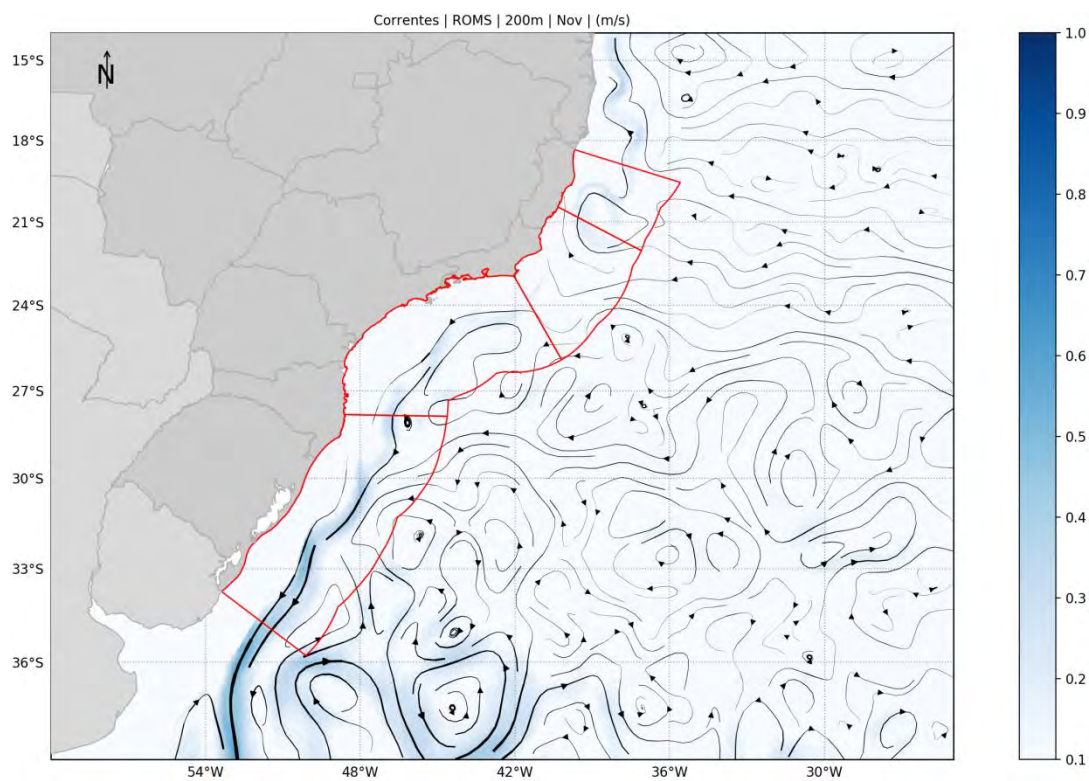


Figura 47: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de novembro.

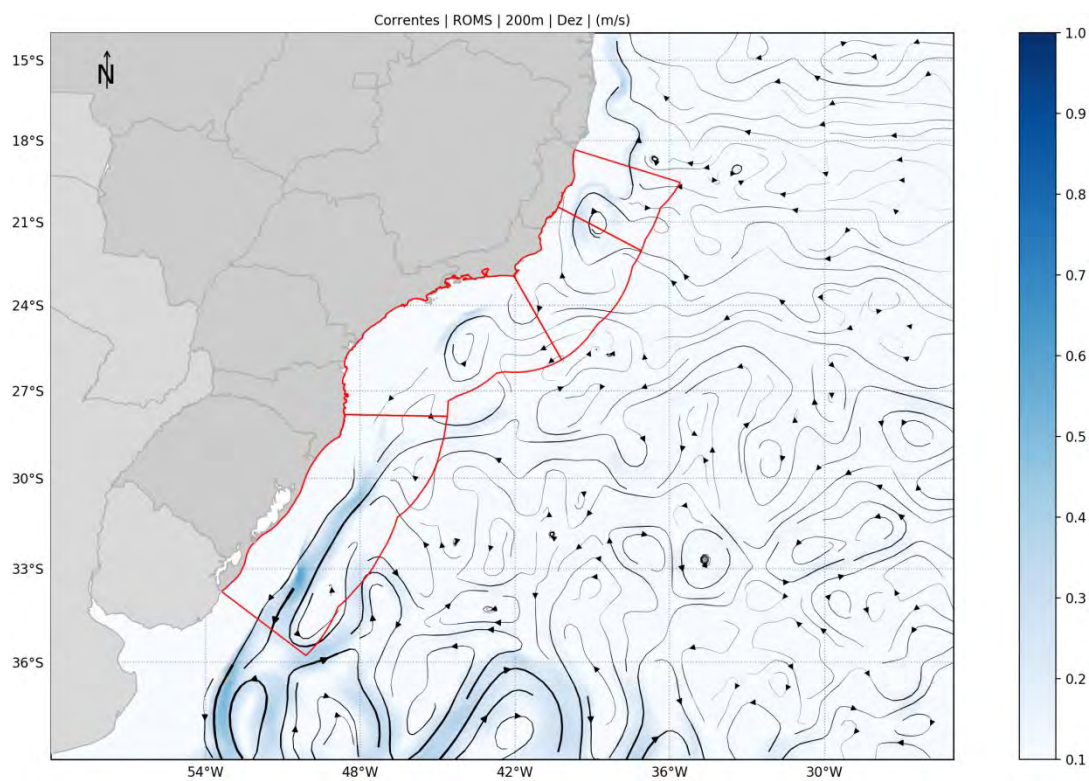


Figura 48: Campo médio de circulação em 200 metros de profundidade para o mês de dezembro.



### 7.1.3 500 metros de profundidade

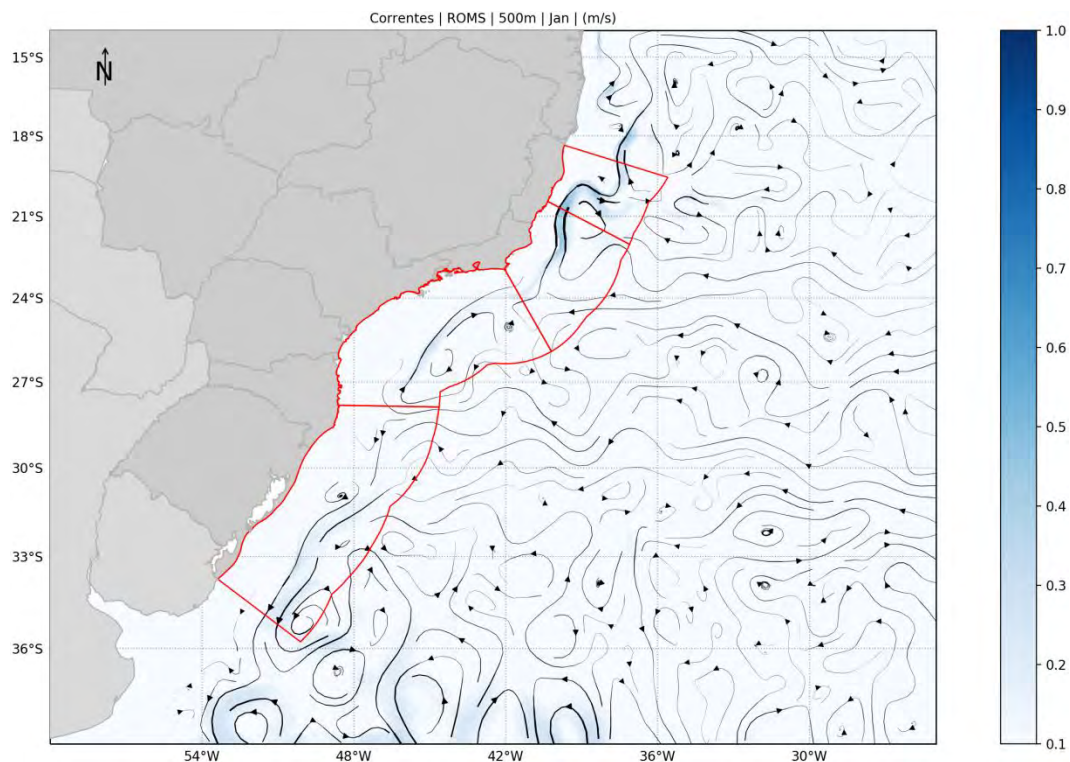


Figura 49: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de janeiro.

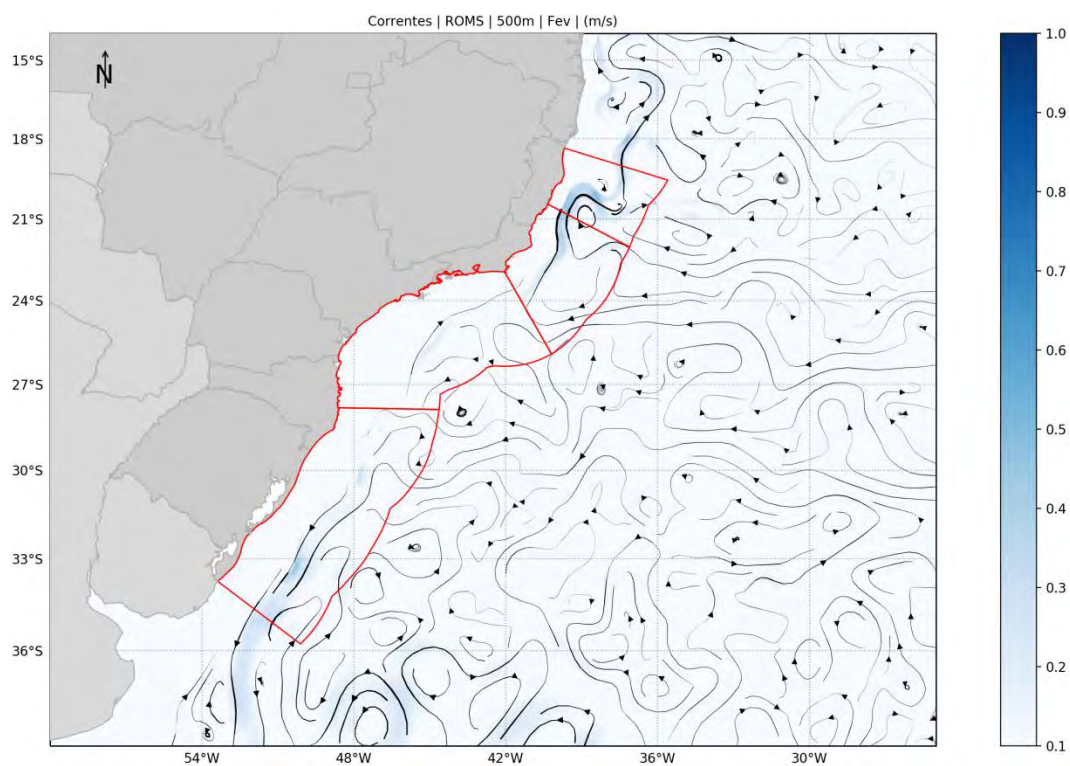


Figura 50: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de fevereiro.

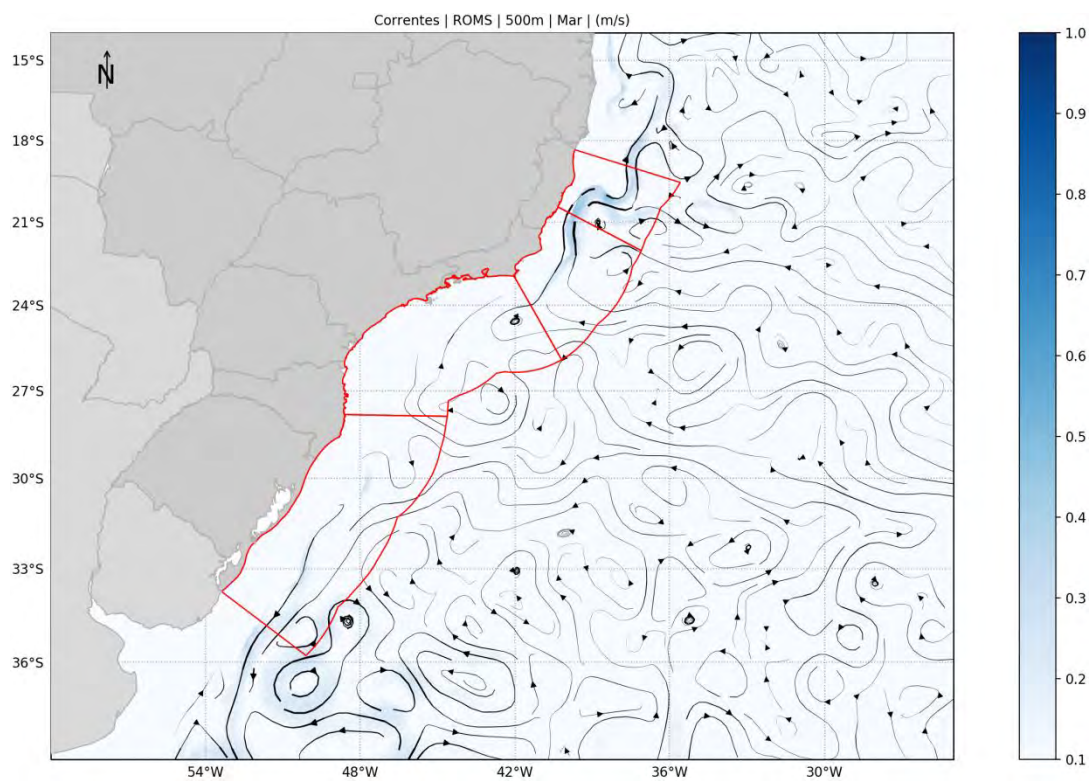


Figura 51: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de março.

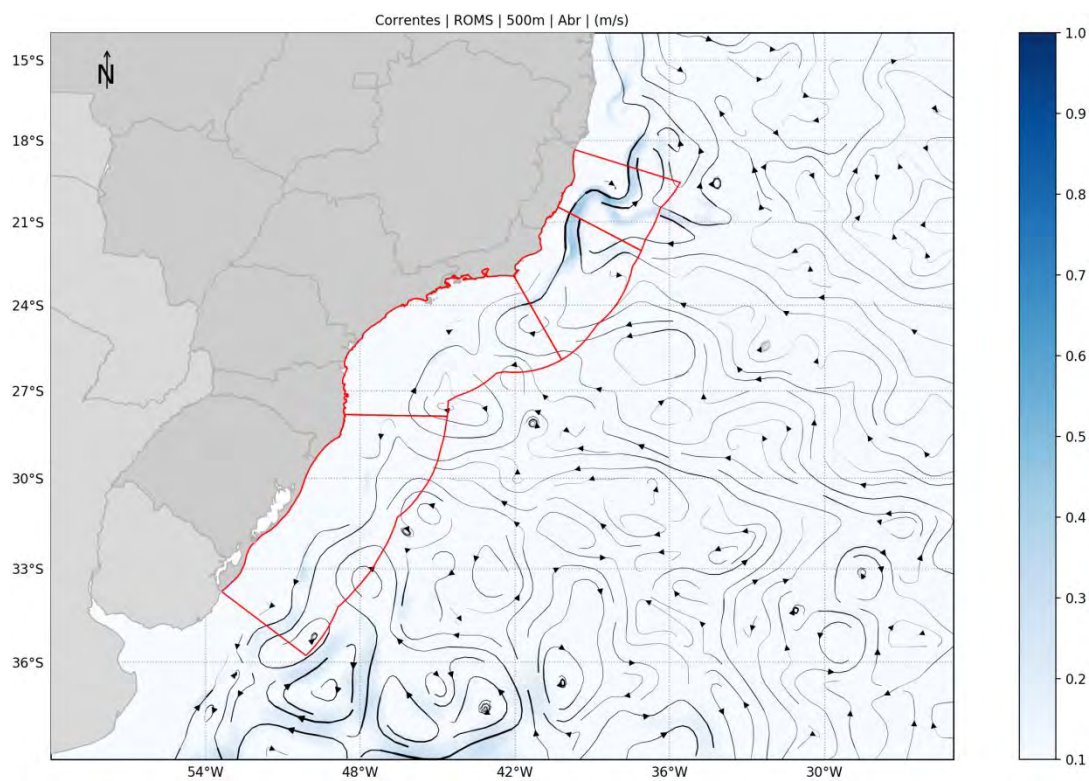


Figura 52: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de abril.



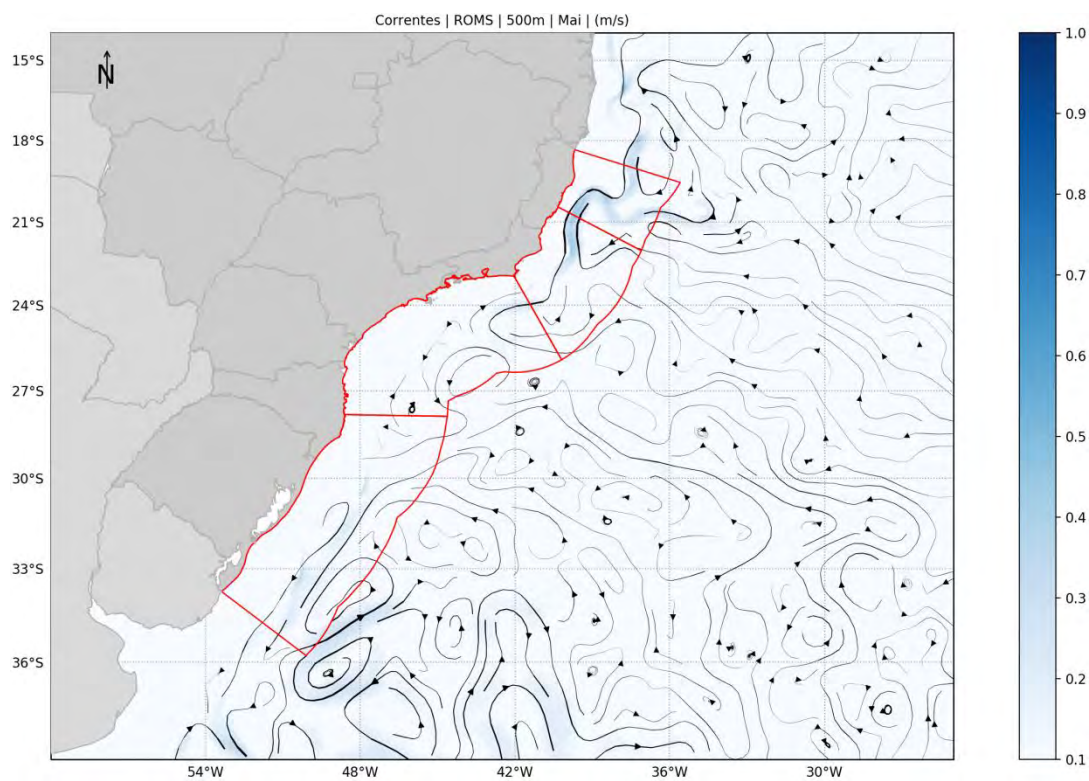


Figura 53: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de maio.

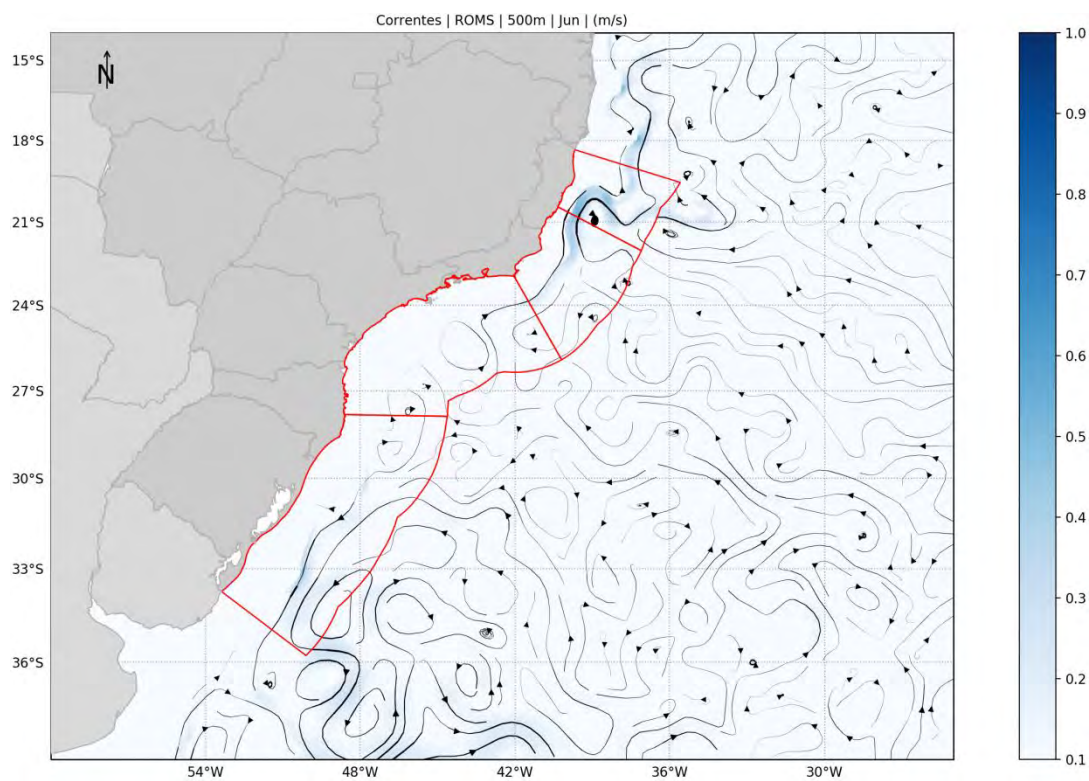


Figura 54: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de junho.

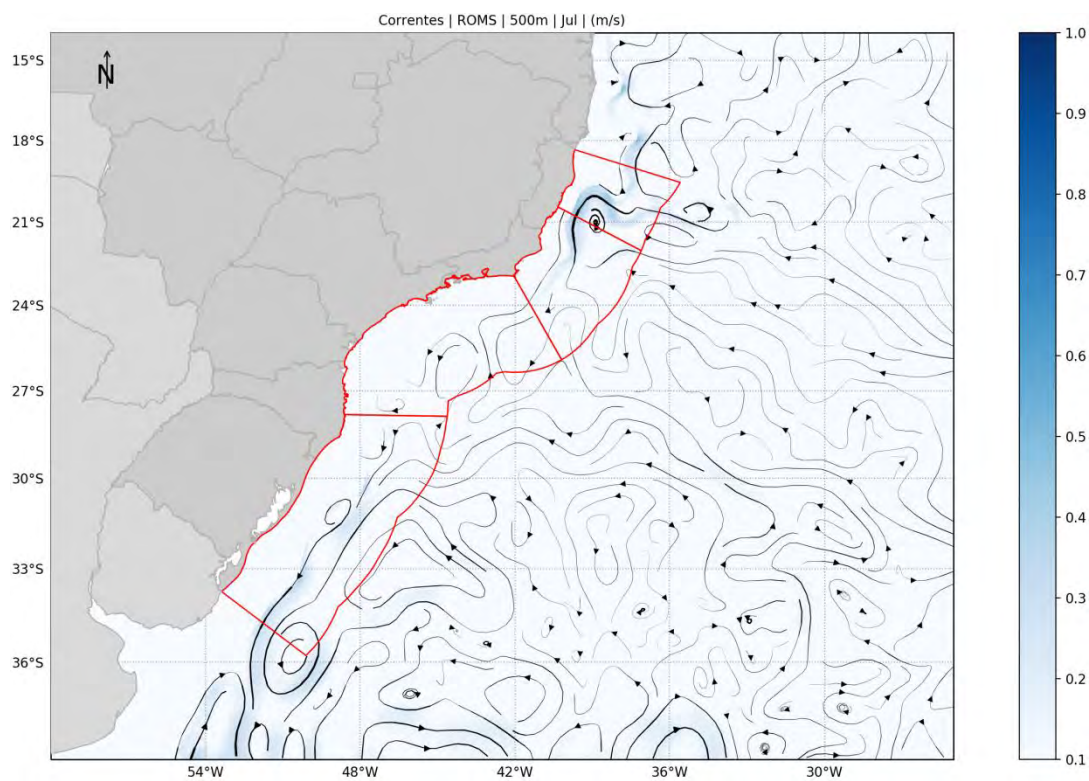


Figura 55: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de julho.

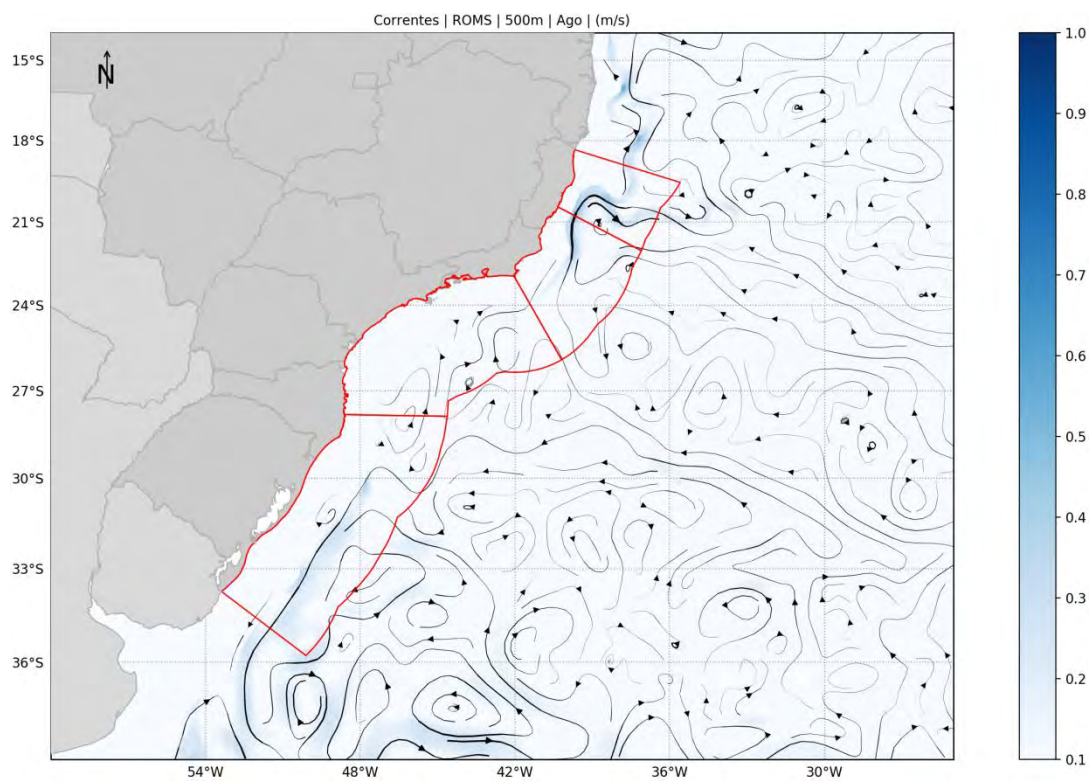


Figura 56: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de agosto.



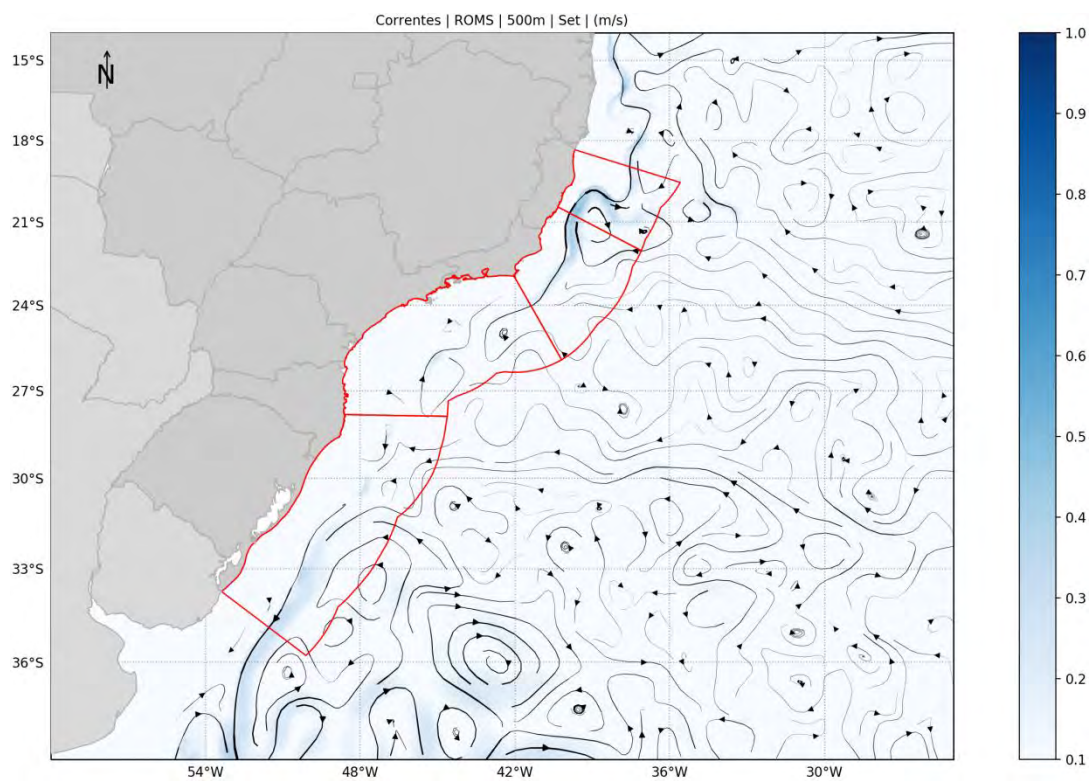


Figura 57: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de setembro.

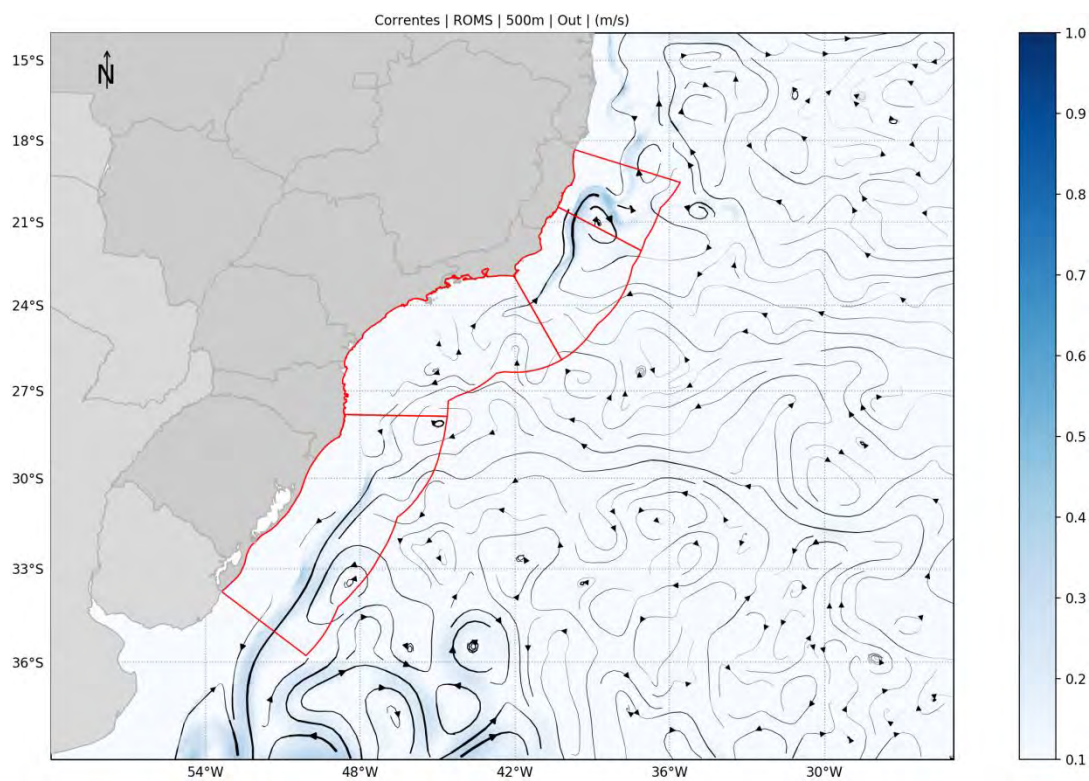


Figura 58: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de outubro.

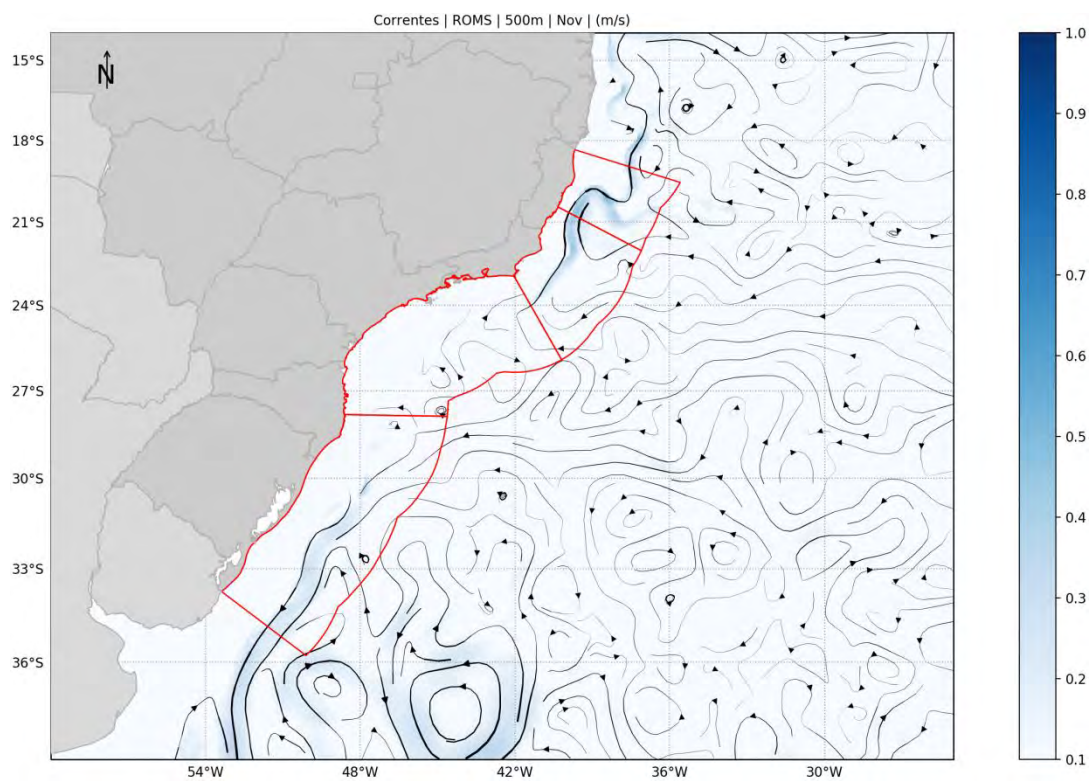


Figura 59: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de novembro.

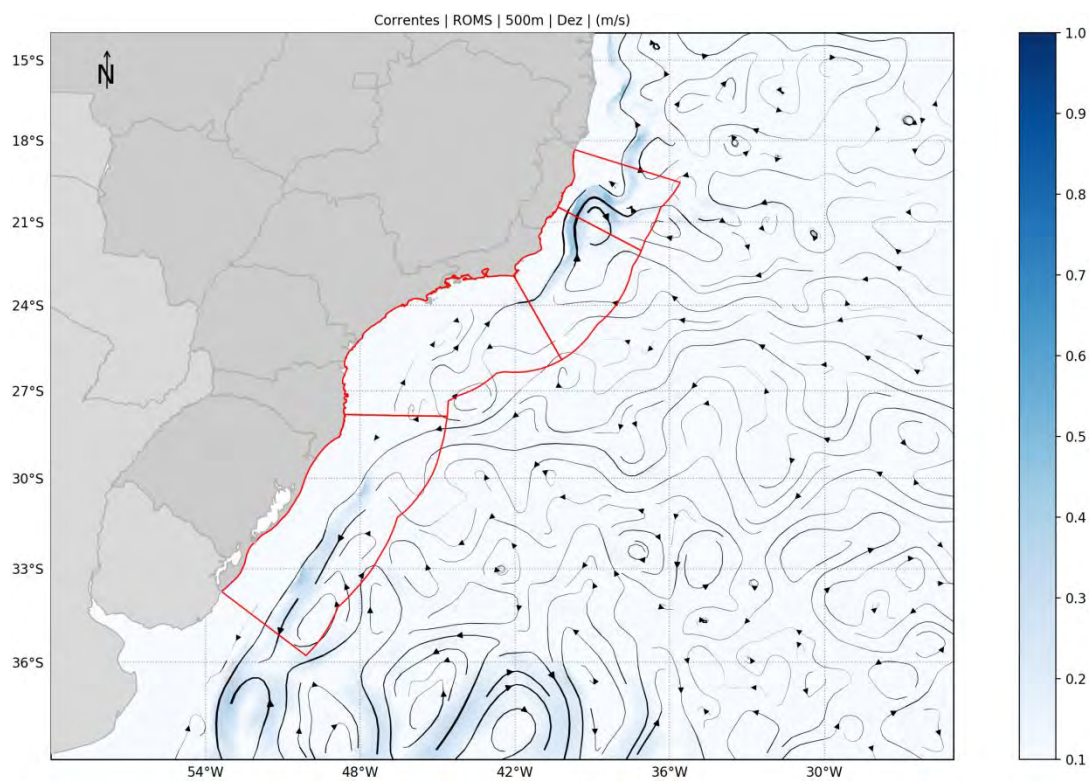


Figura 60: Campo médio de circulação em 500 metros de profundidade para o mês de dezembro.



#### 7.1.4 1.000 metros de profundidade:

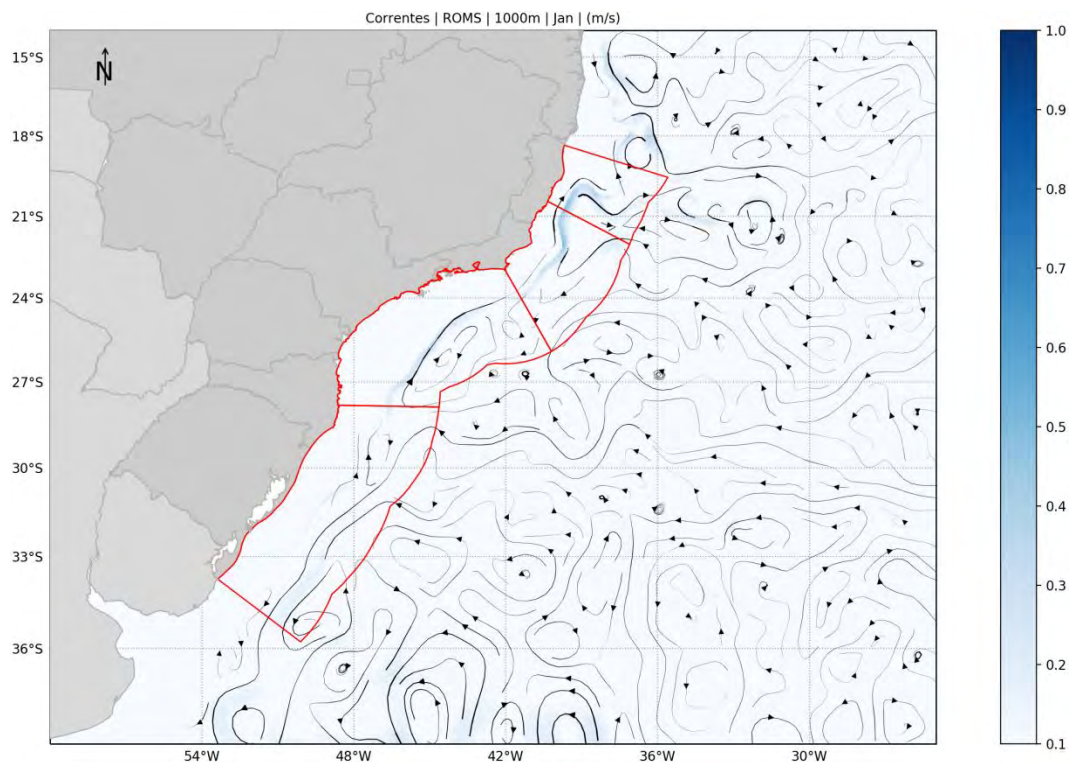


Figura 61: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de janeiro.

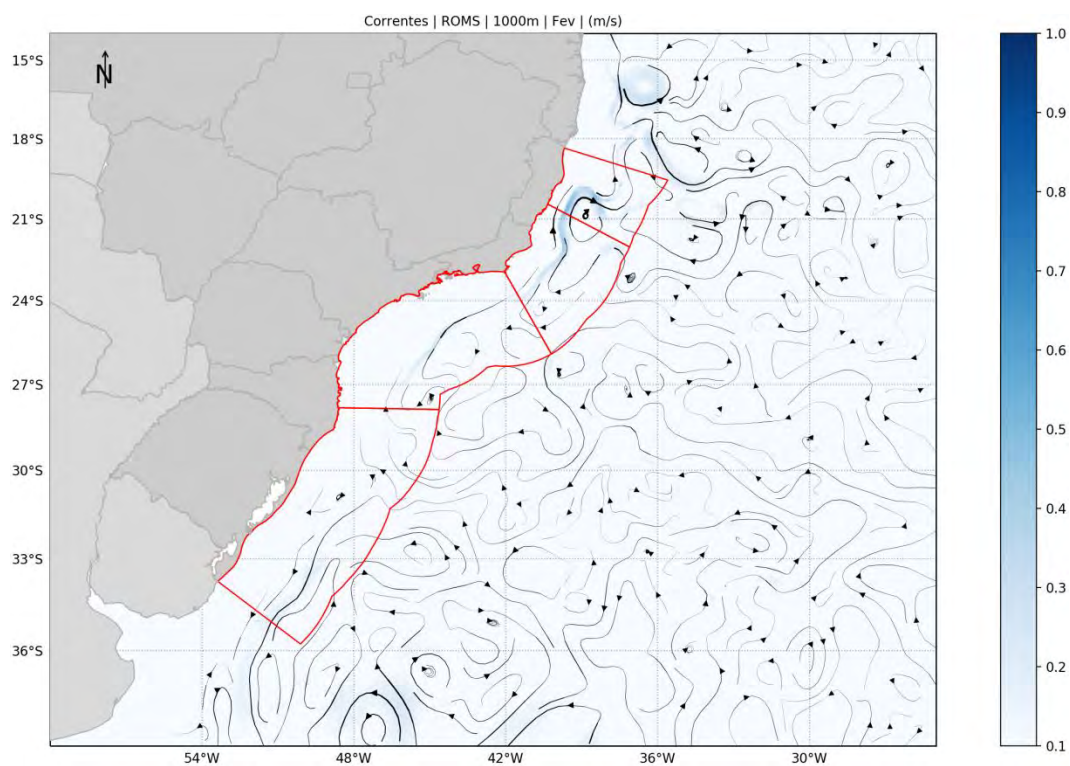


Figura 62: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de fevereiro.



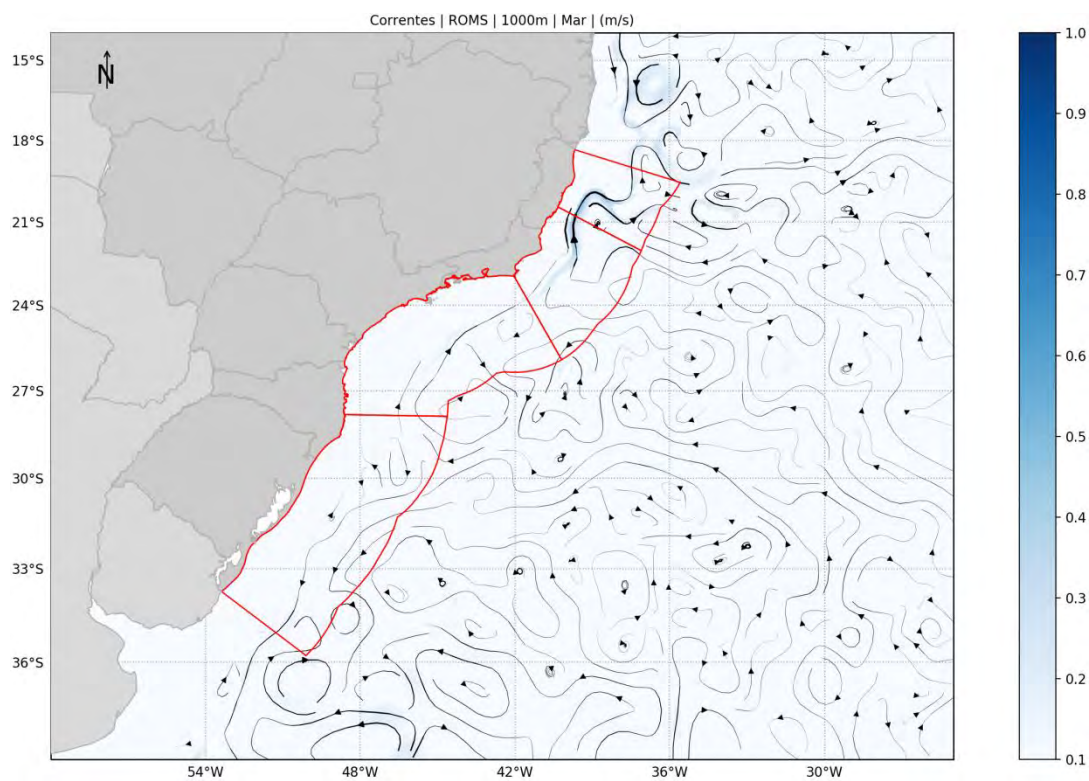


Figura 63: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de março.

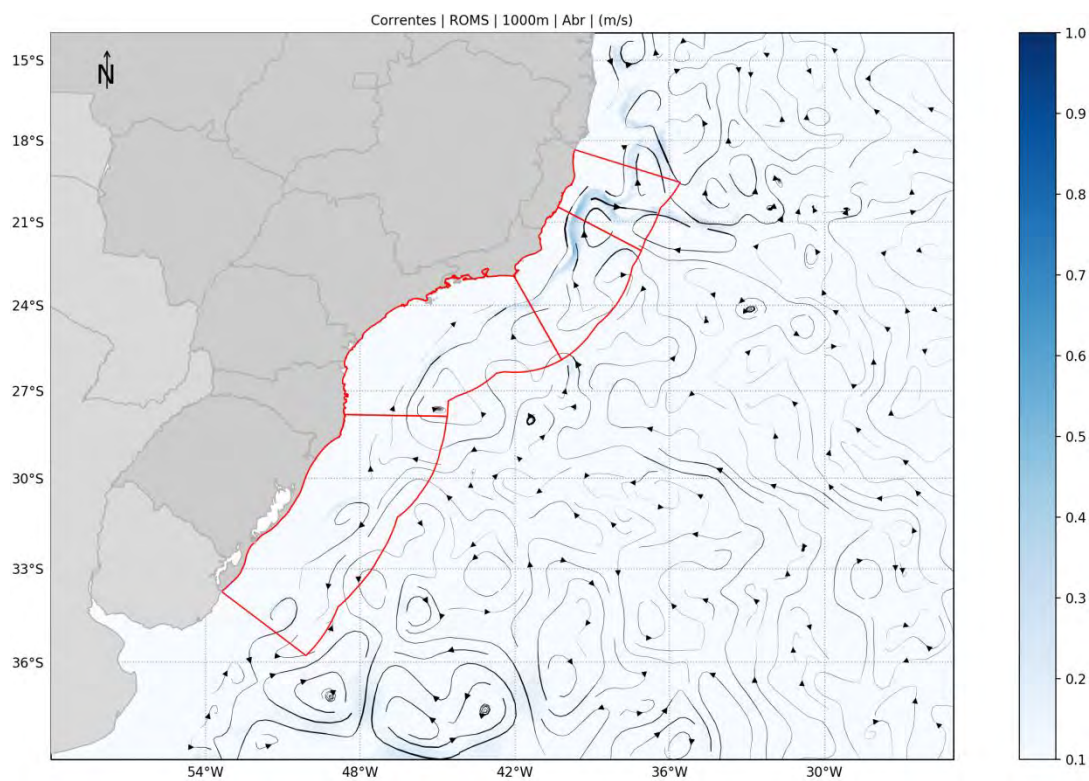


Figura 64: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de abril.

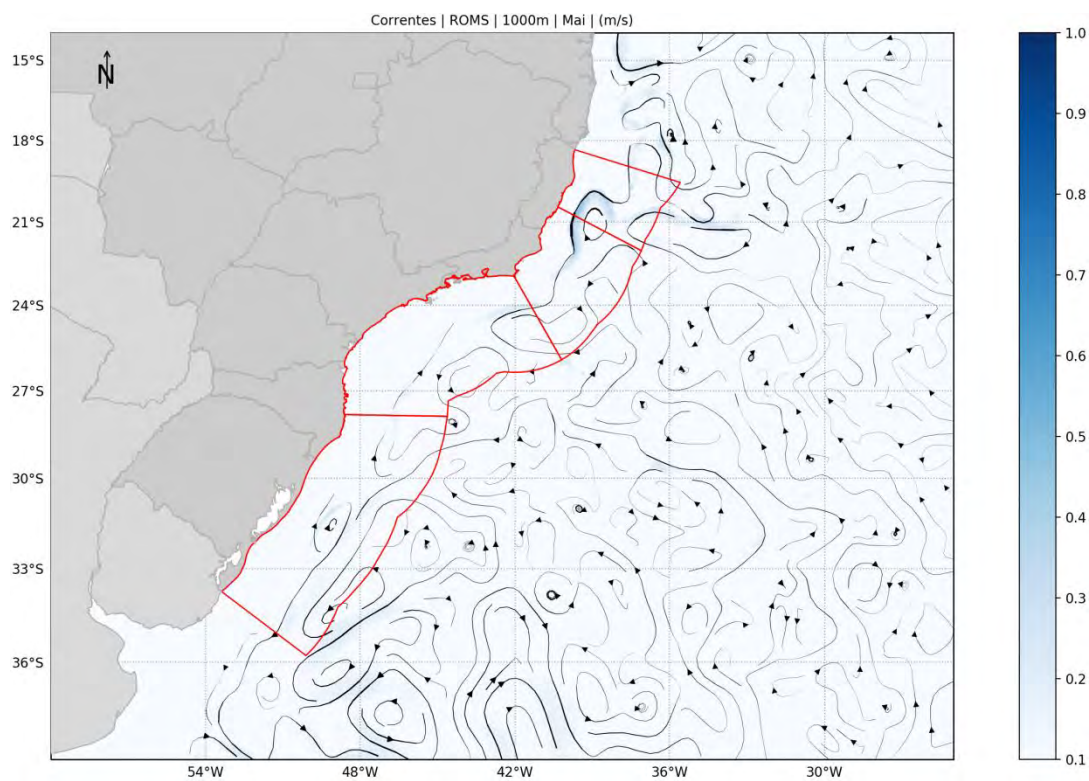


Figura 65: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de maio.

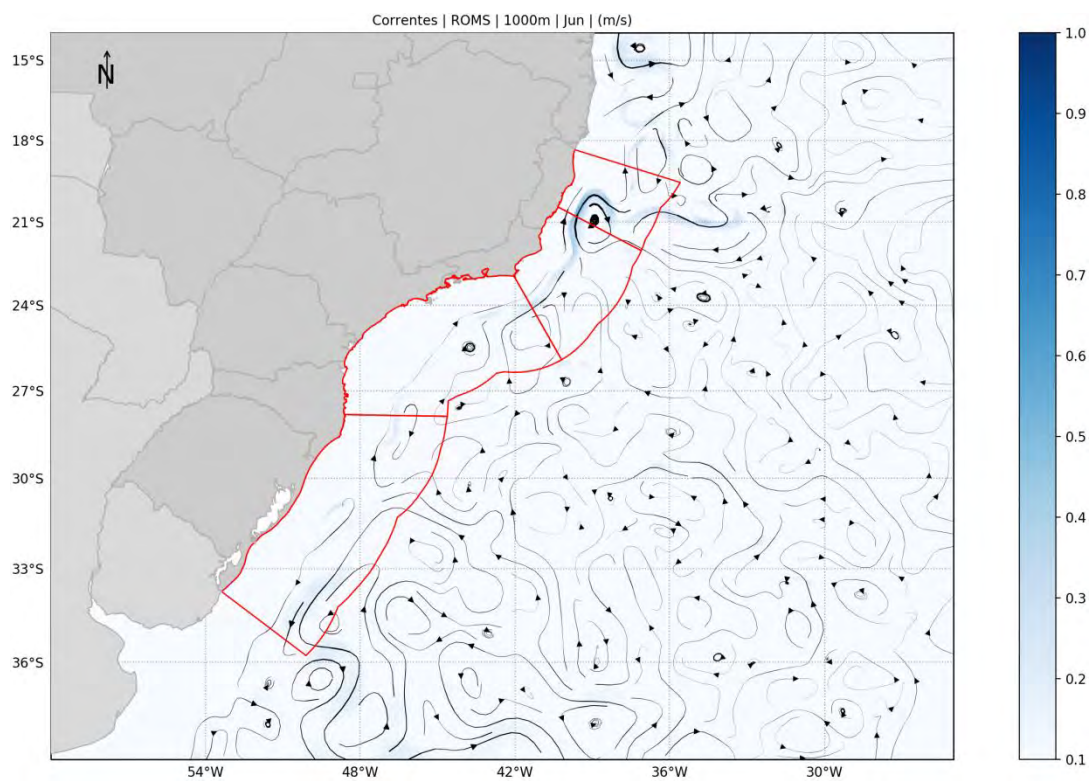


Figura 66: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de junho.



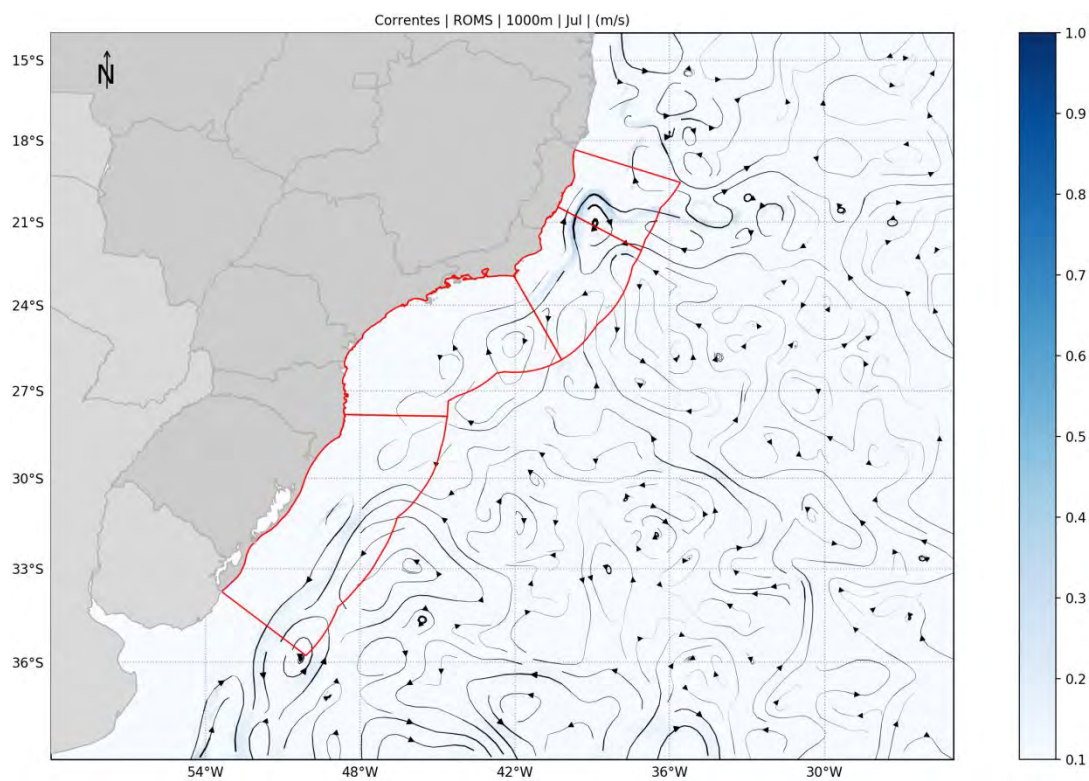


Figura 67: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de julho.

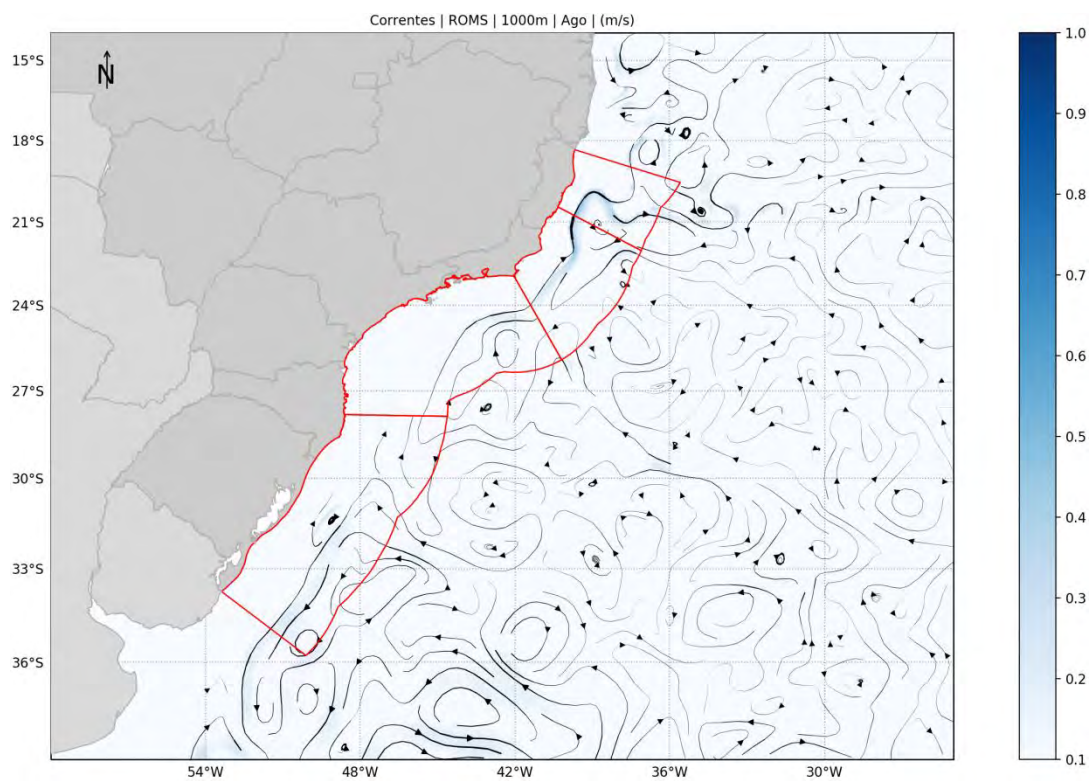


Figura 68: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de agosto.

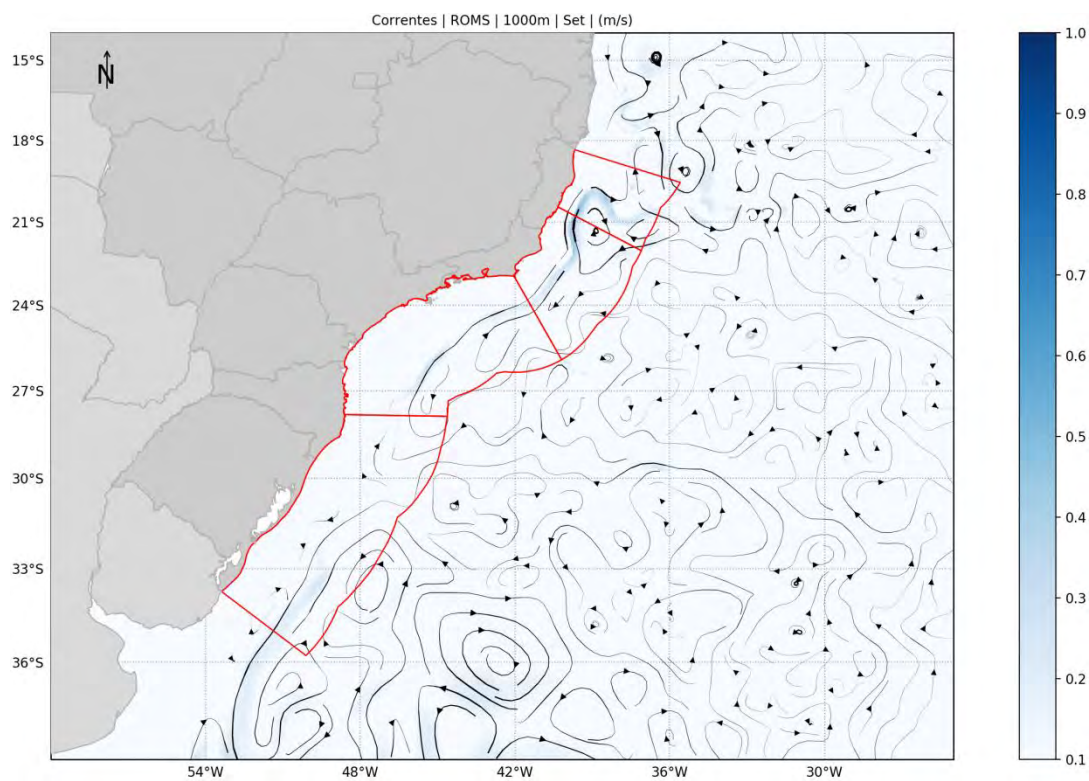


Figura 69: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de setembro.

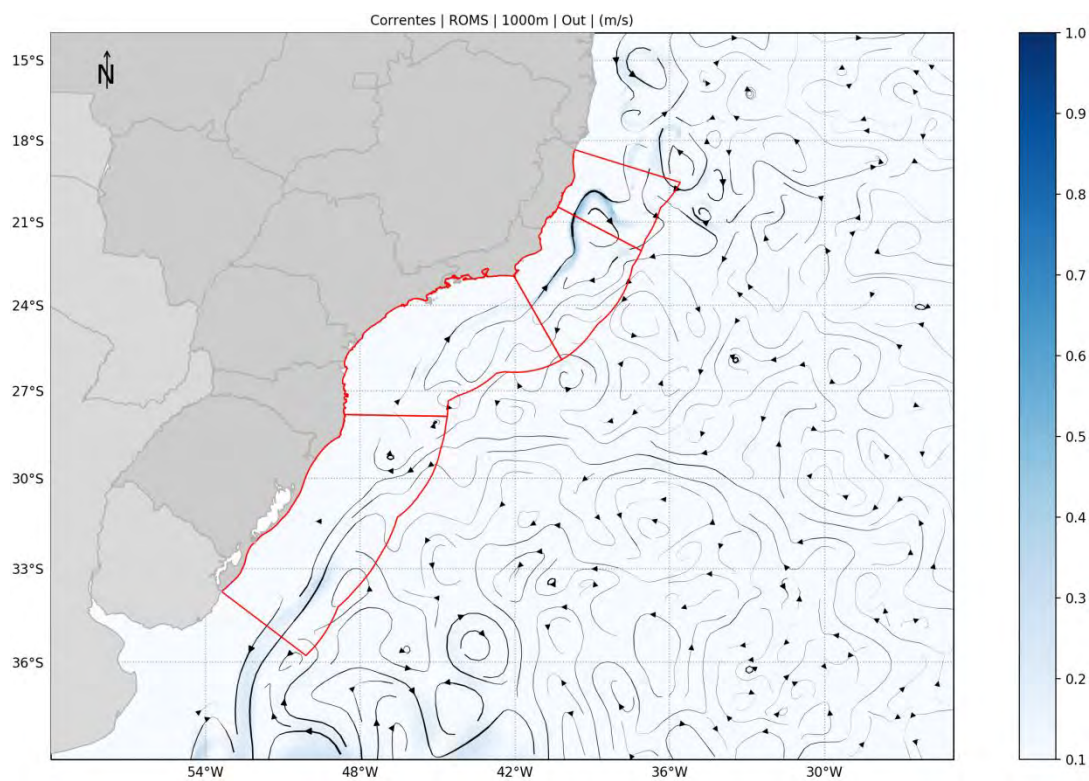


Figura 70: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de outubro.



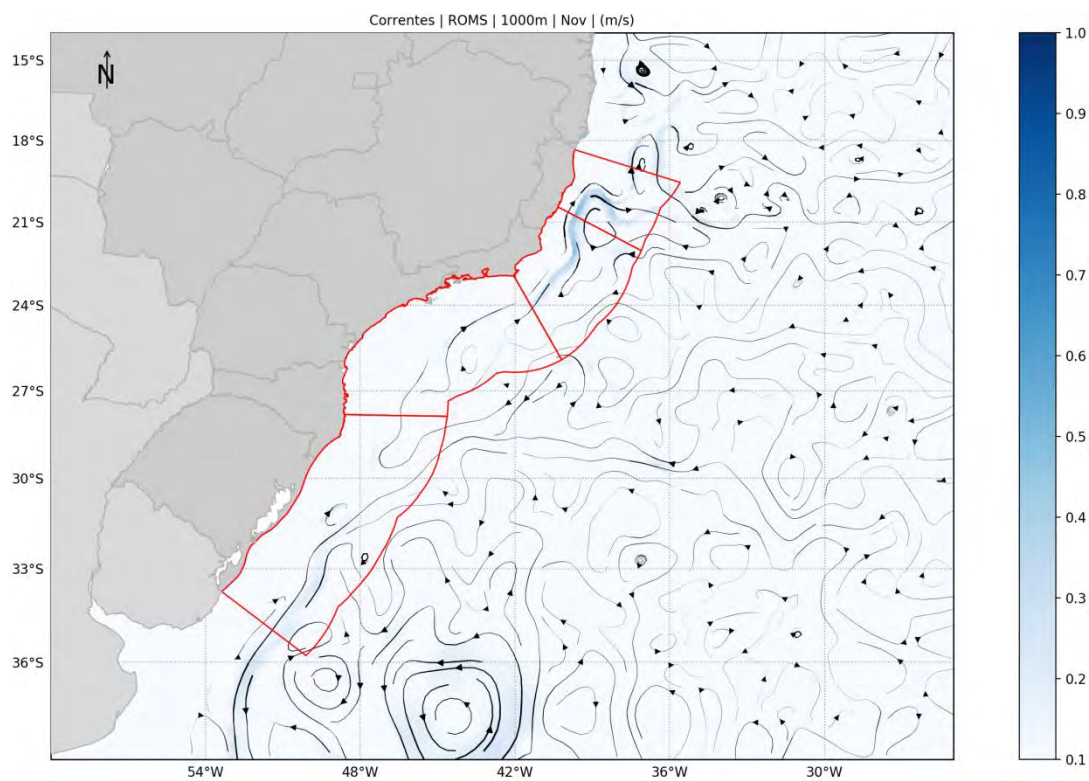


Figura 71: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de novembro.

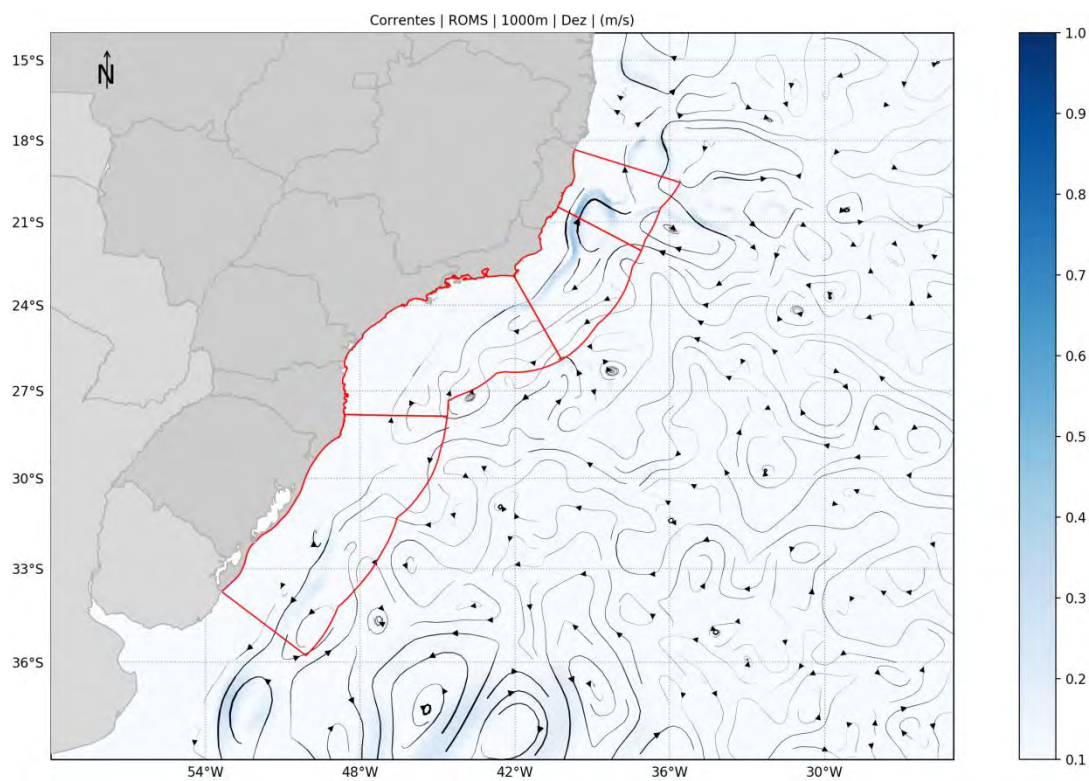


Figura 72: Campo médio de circulação em 1.000 metros de profundidade para o mês de dezembro.



### 7.1.5 2.000 metros de profundidade:

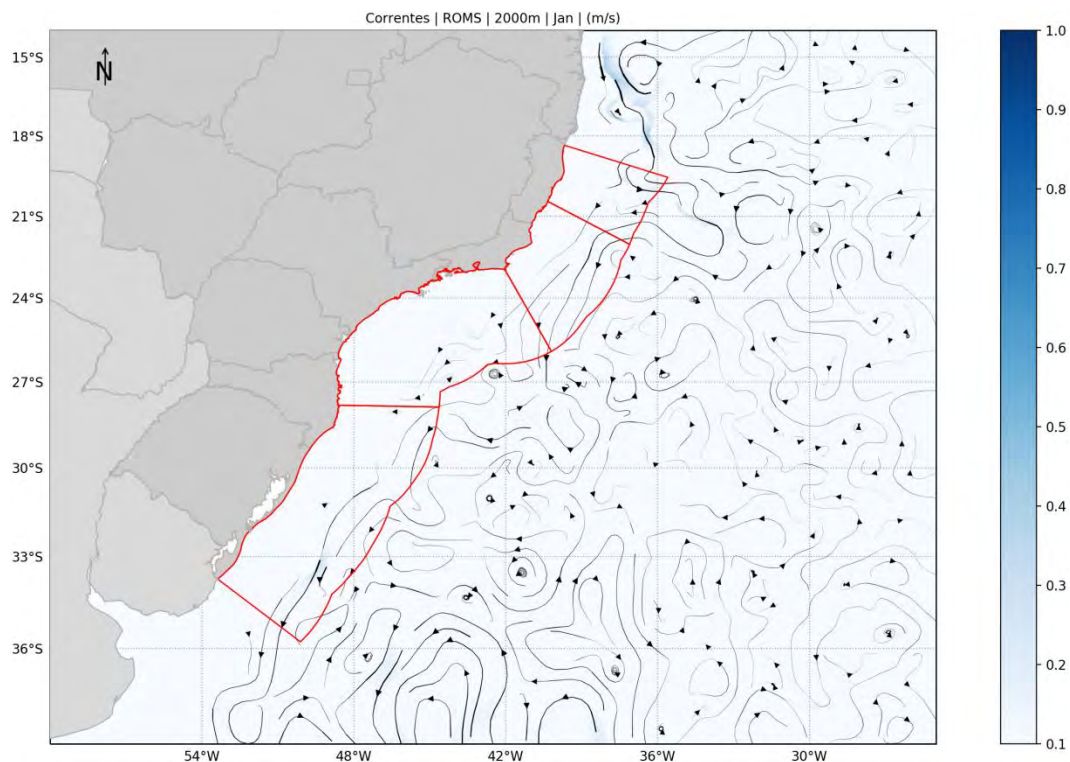


Figura 73: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de janeiro.

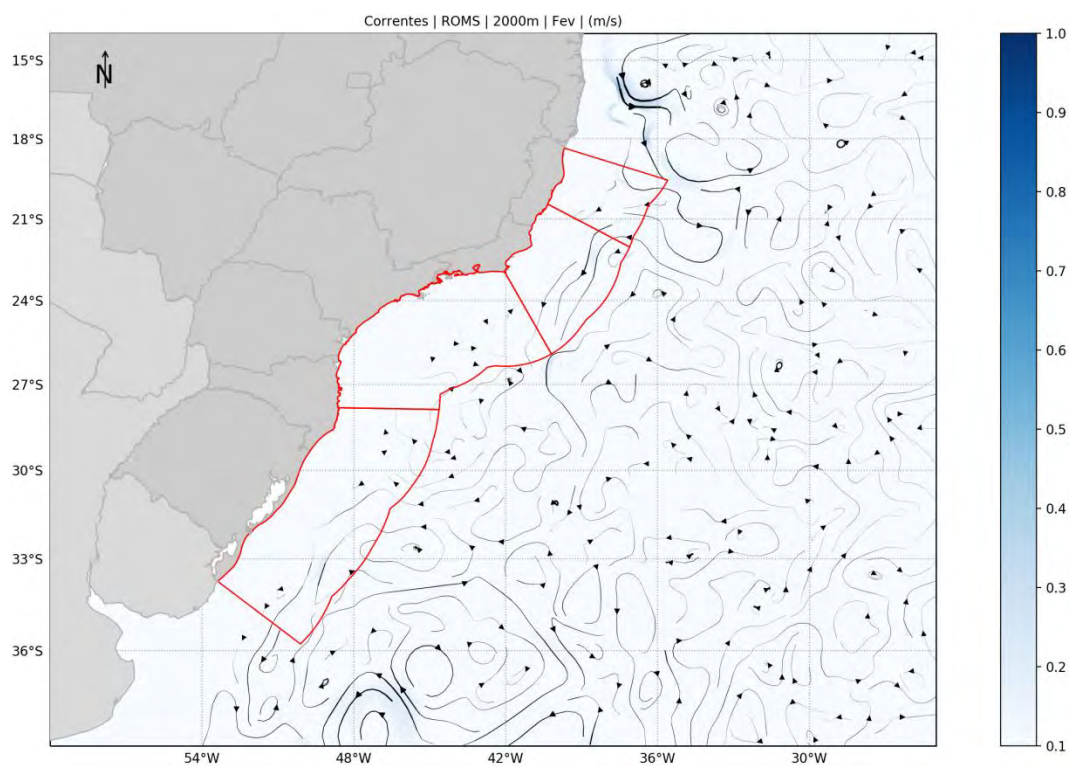


Figura 74: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de fevereiro.

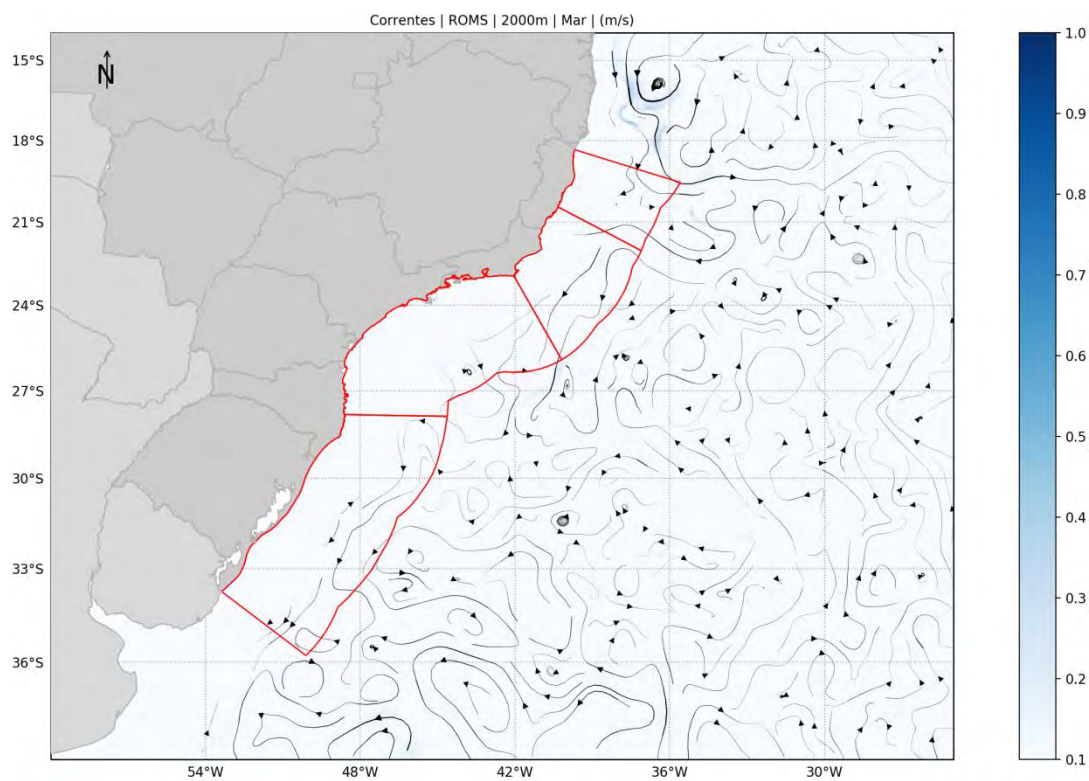


Figura 75: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de março.

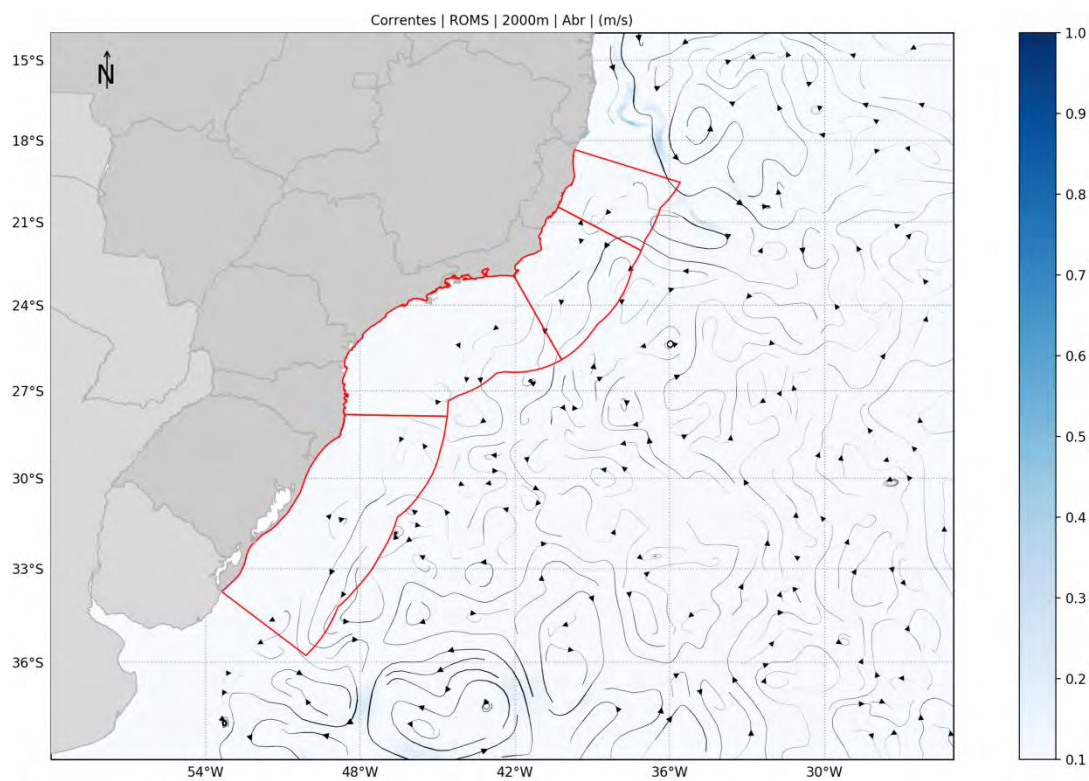


Figura 76: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de abril.



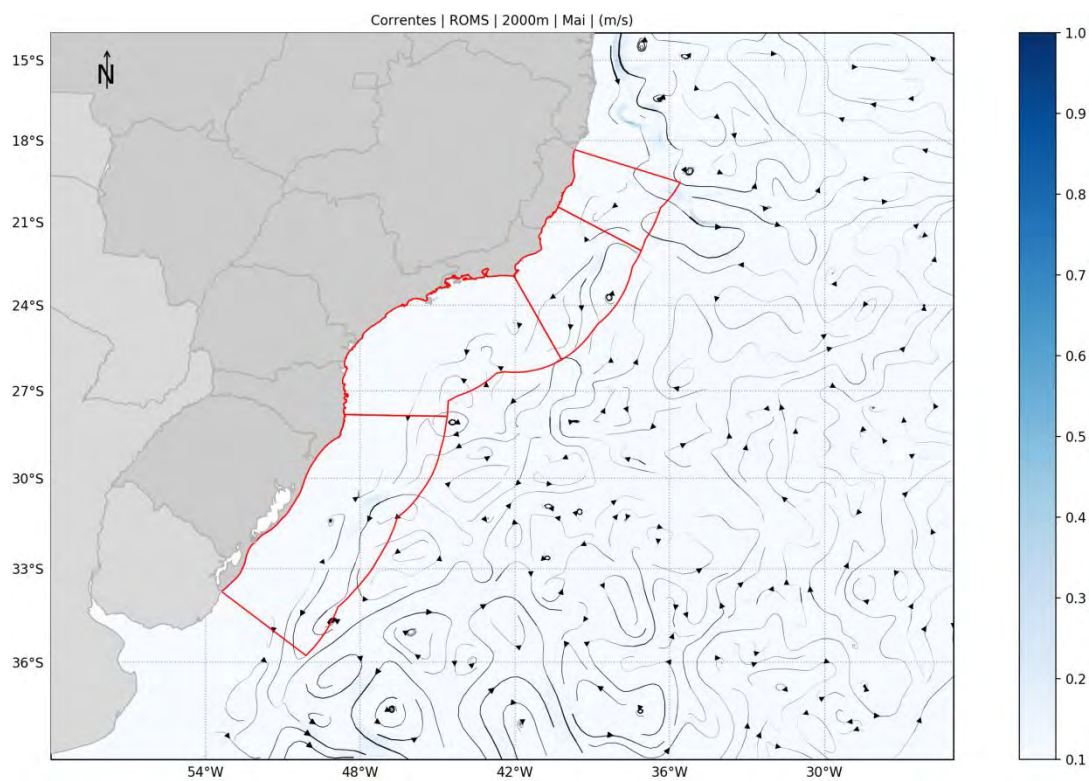


Figura 77: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de maio.

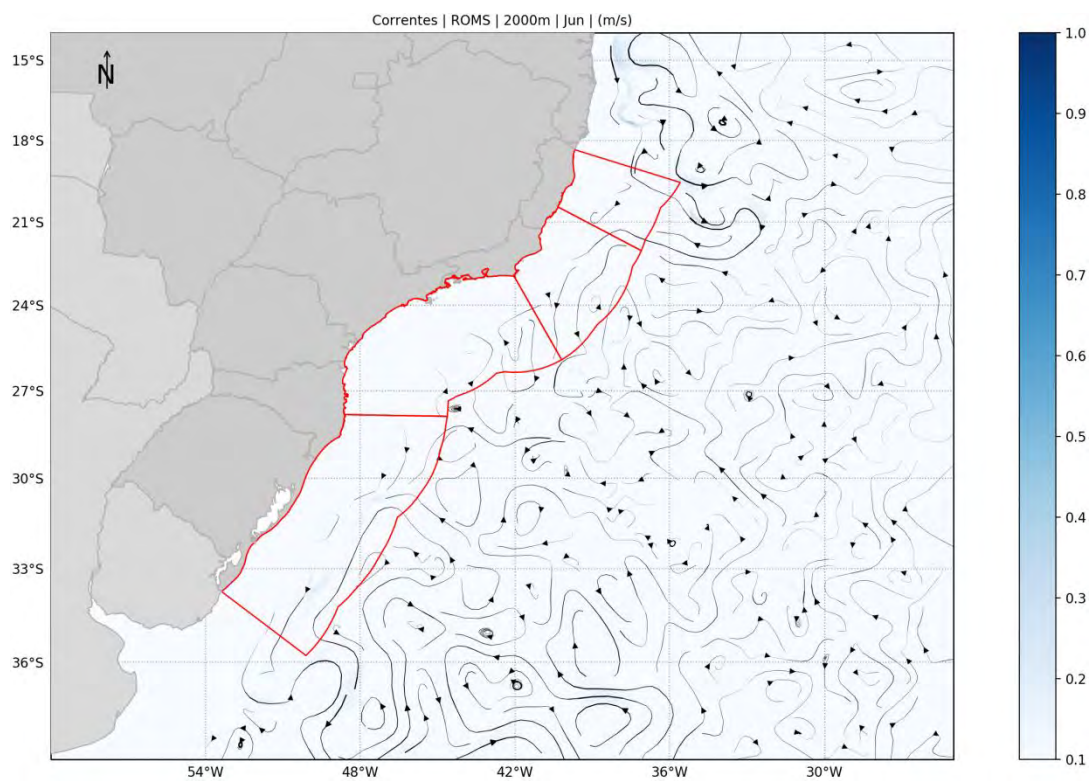


Figura 78: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de junho.

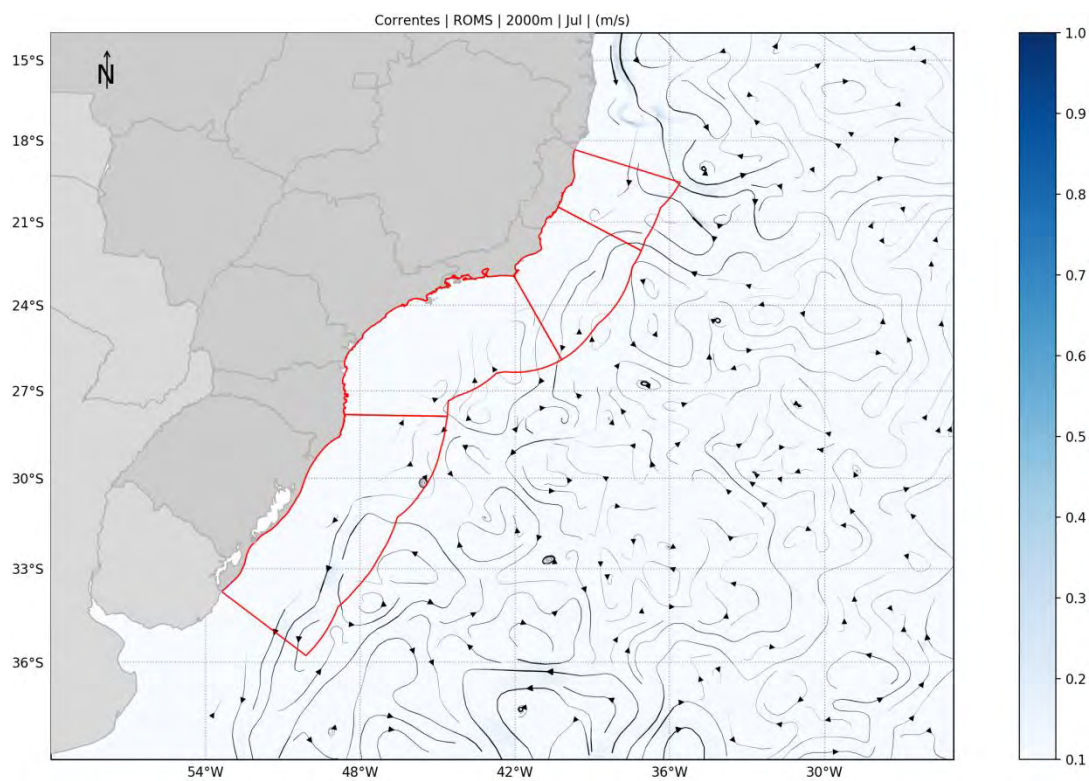


Figura 79: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de julho.

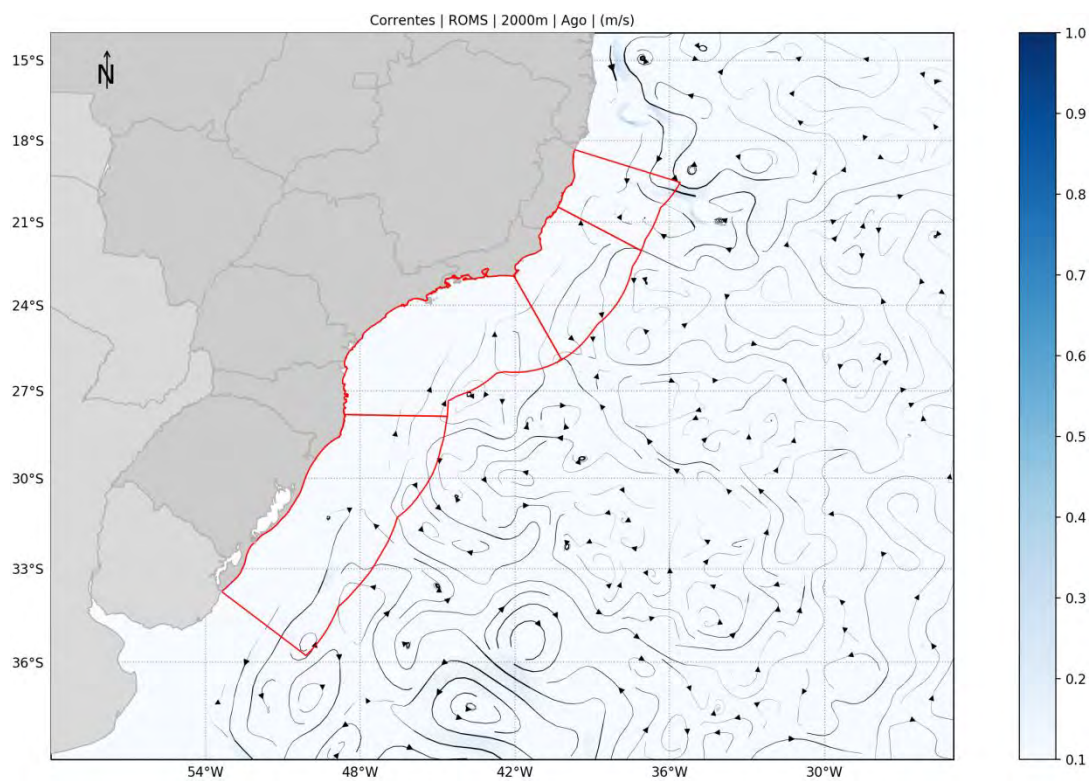


Figura 80: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de agosto.



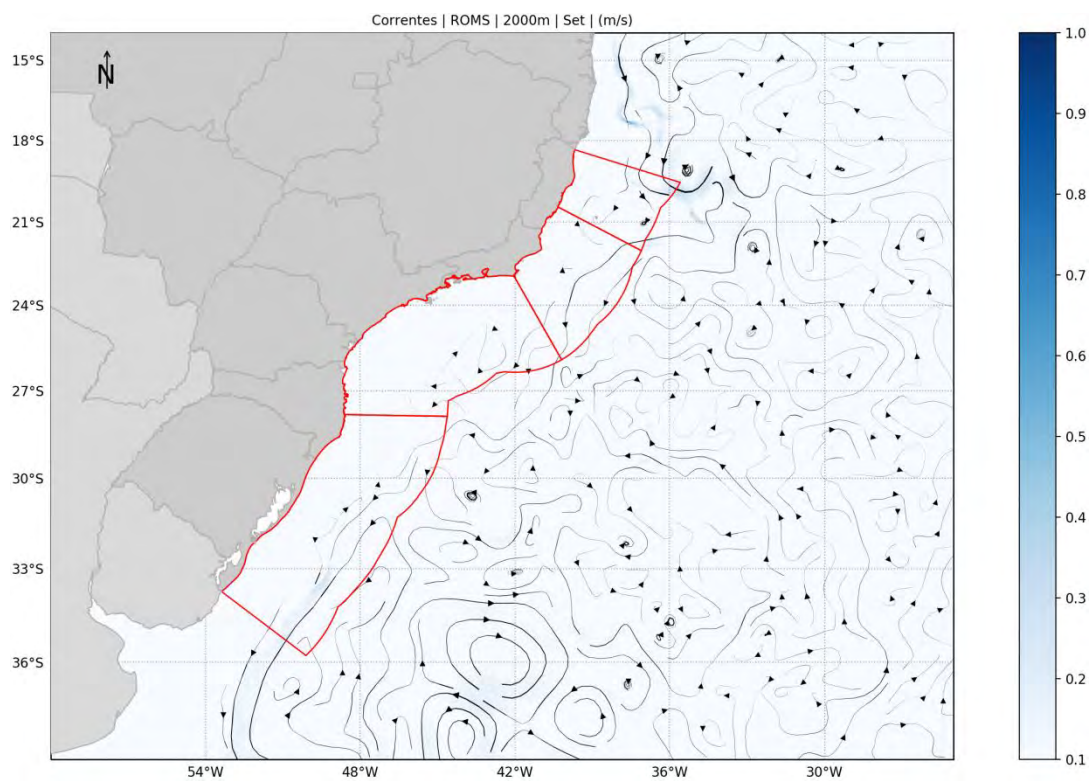


Figura 81: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de setembro.

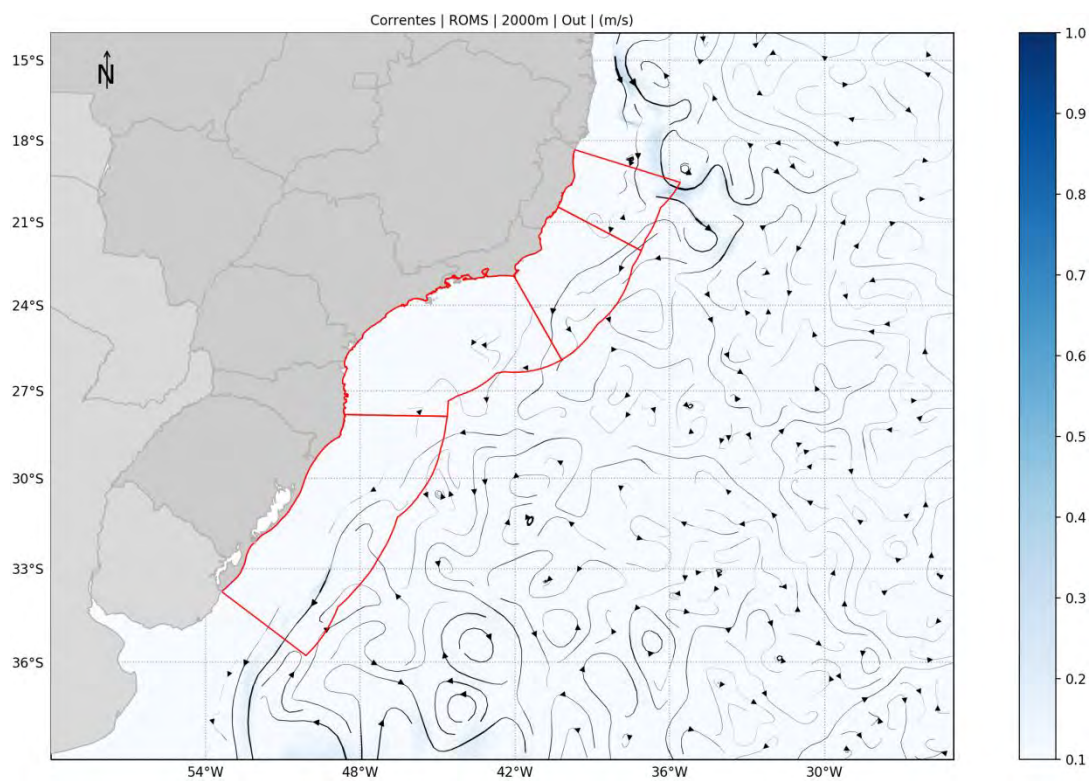


Figura 82: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de outubro.



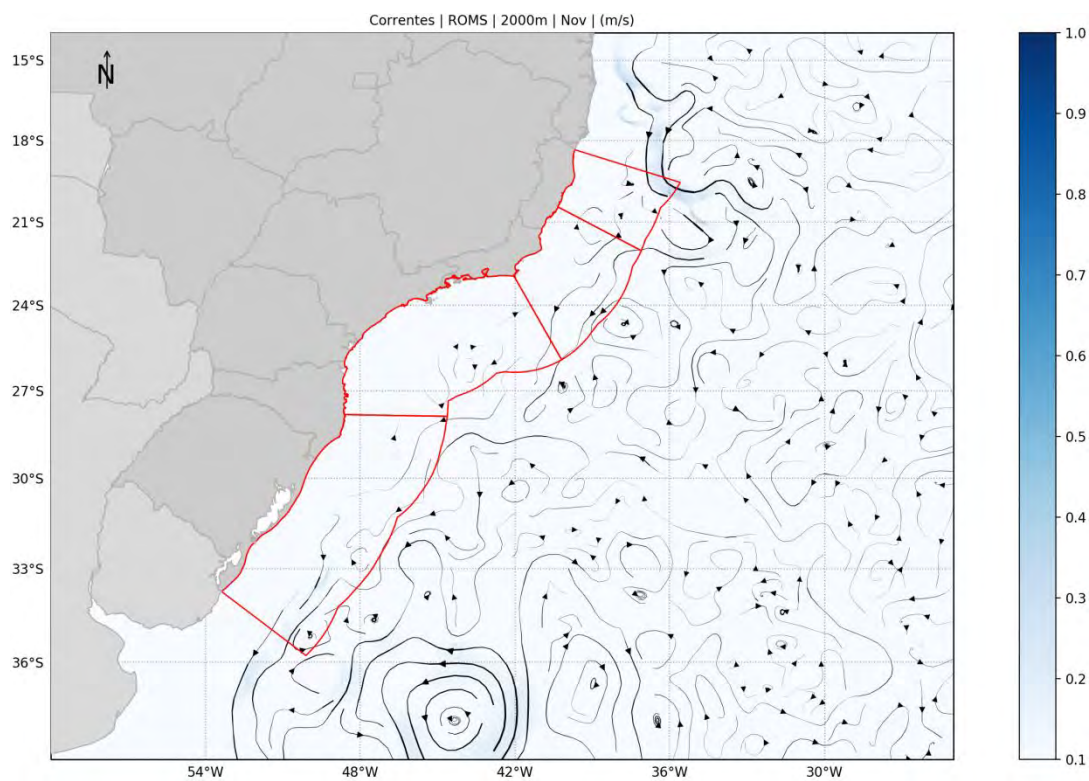


Figura 83: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de novembro.

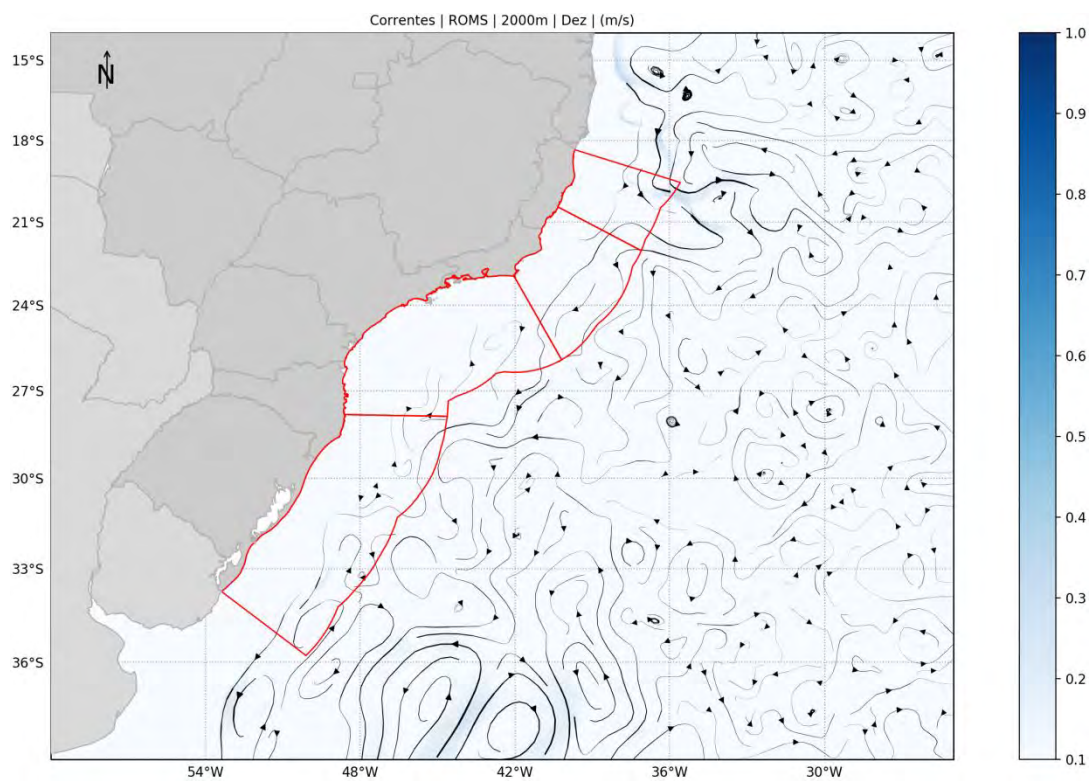


Figura 84: Campo médio de circulação em 2.000 metros de profundidade para o mês de dezembro.

## 7.2. Seções verticais

Em complementação aos campos mensais superficiais, a seguir, são apresentadas seções verticais mensais para duas radiais no domínio de modelagem, a primeira localizada na Bacia de Santos (fixada em longitude 42,33°W e estendendo de 23,64°S a 24,67°S) e a segunda na Bacia de Campos (fixada em latitude de 23,04°S e estendendo de longitude de 40,93°W a 40,45°W).

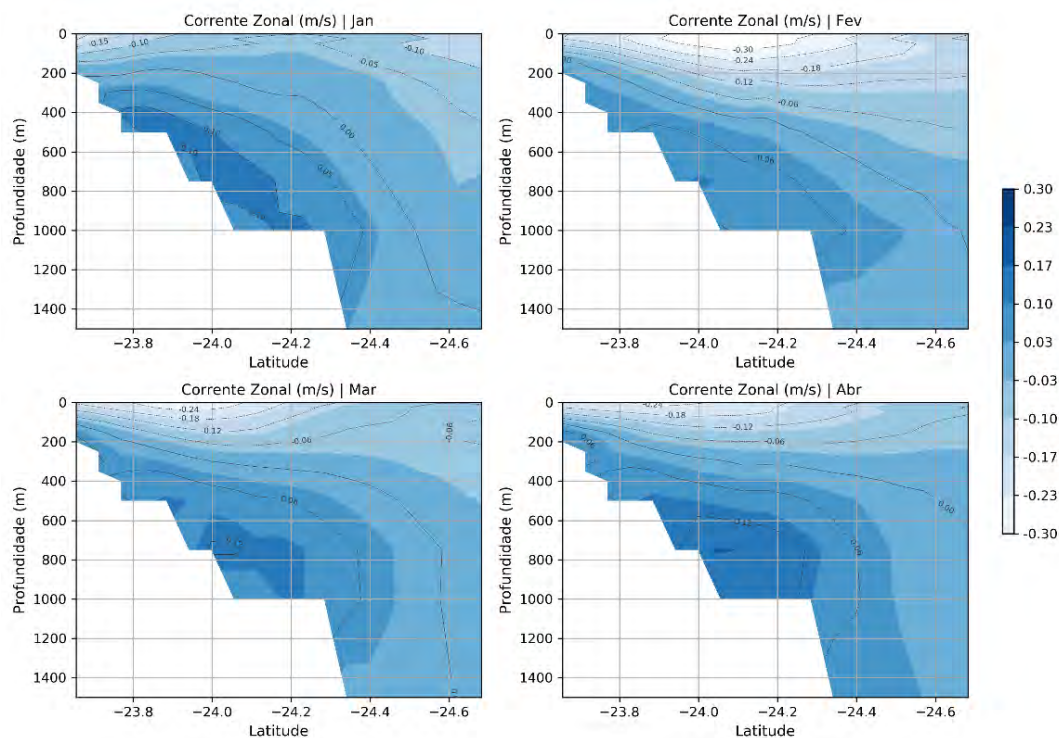


Figura 85: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de janeiro a abril.

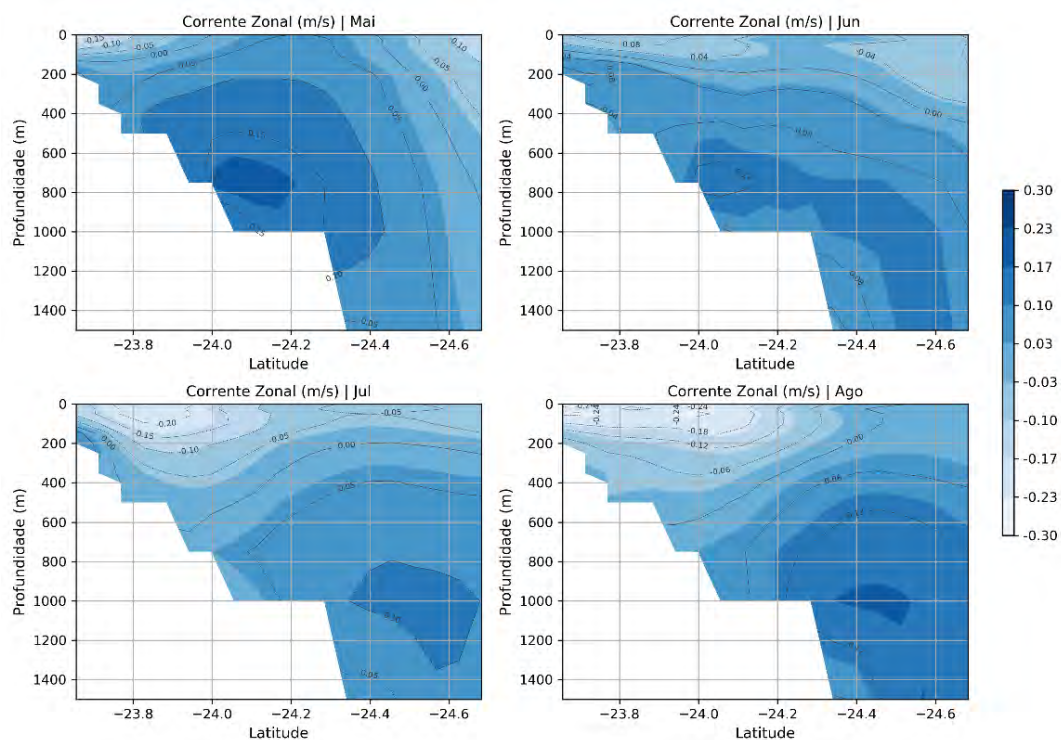


Figura 86: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de maio a agosto.

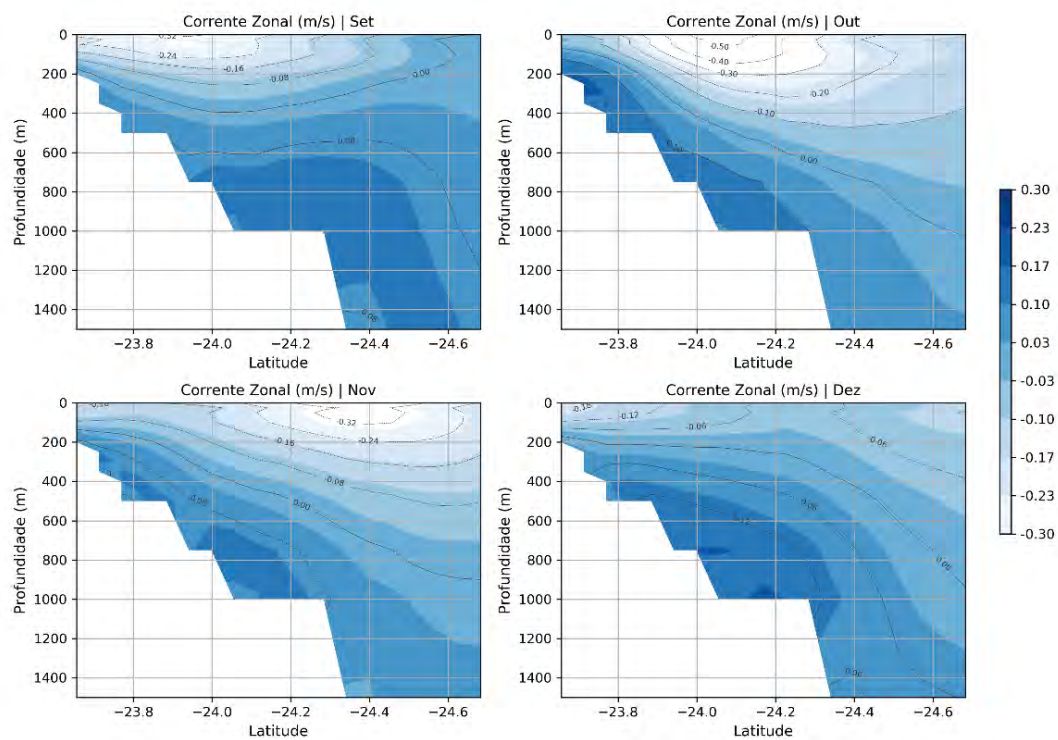


Figura 87: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Santos para os meses de setembro a dezembro.



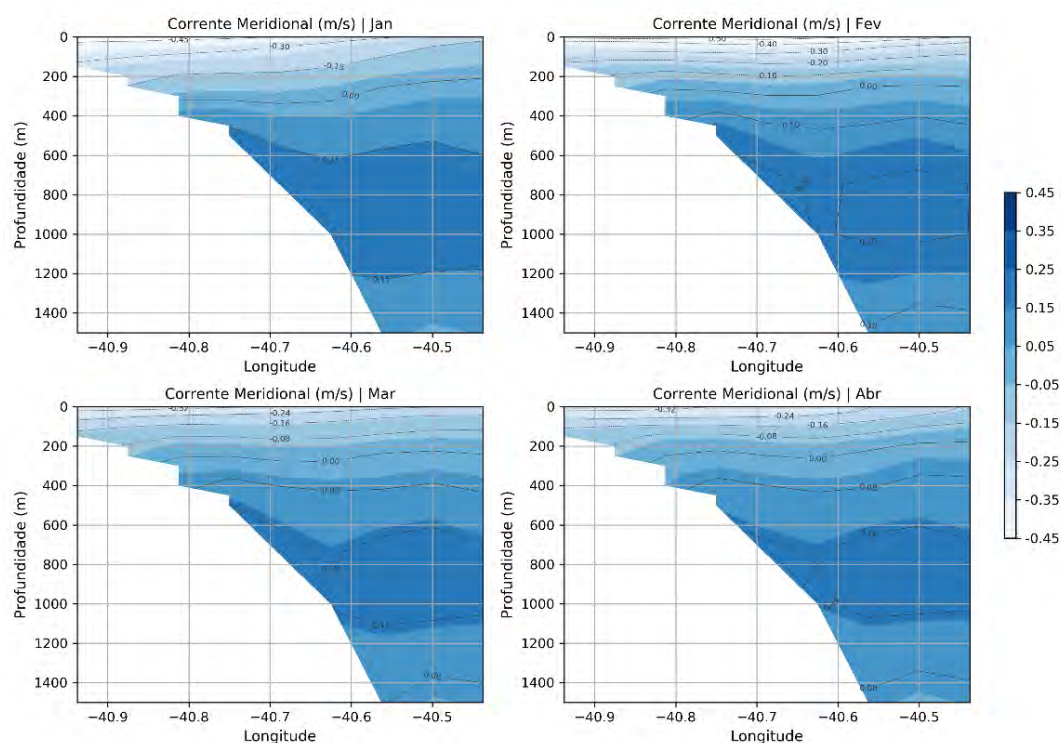


Figura 88: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Campos para os meses de janeiro a abril.

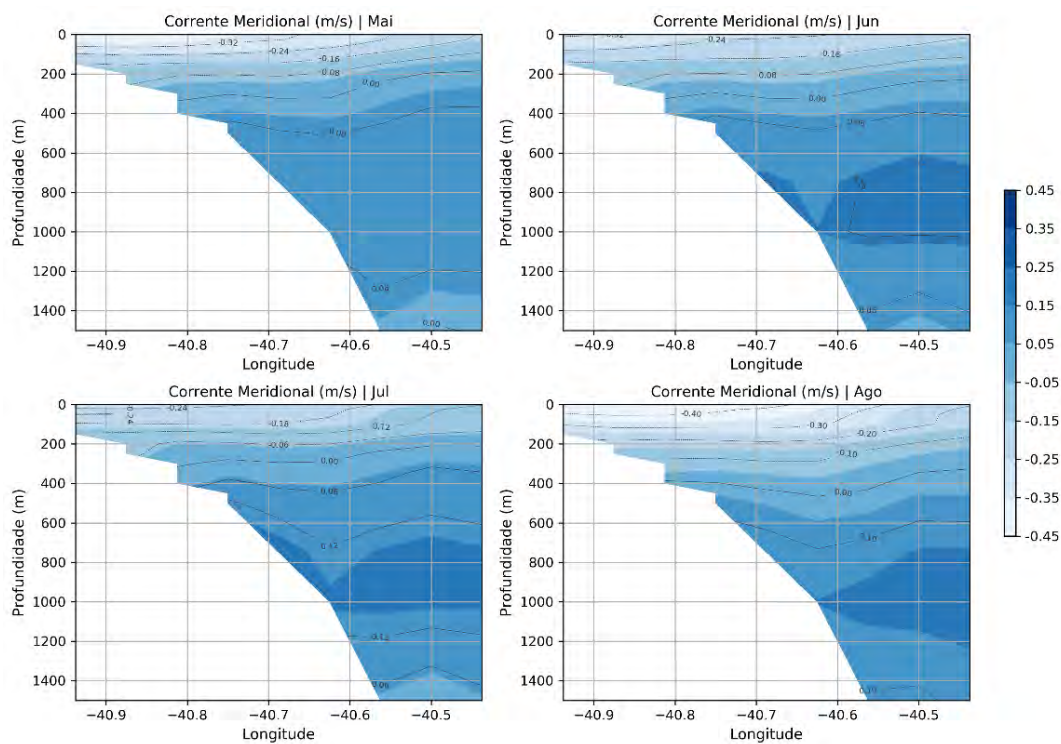


Figura 89: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Campos para os meses de maio a agosto.

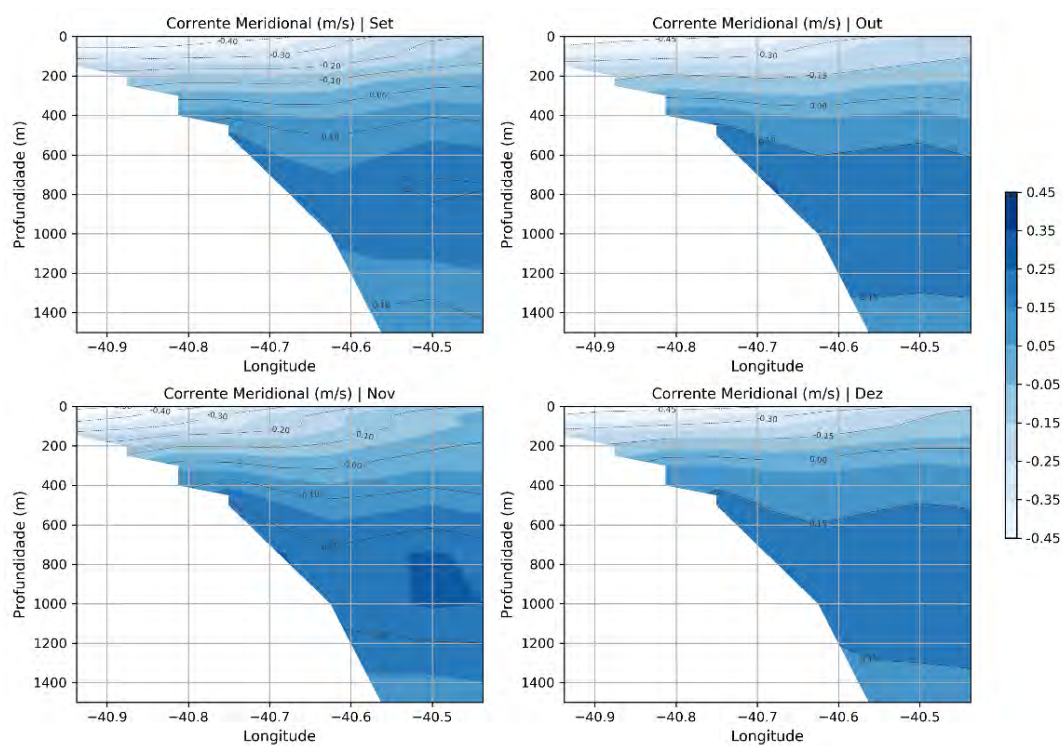


Figura 90: Seção vertical com velocidade zonal média para radial na Bacia de Campos para os meses de setembro a dezembro.



### 7.3. Rosas mensais de corrente

Ainda em adição aos resultados obtidos, a seguir são apresentadas as rosas de correntes mensais e tabelas de direção e intensidade em diferentes profundidades para três pontos do domínio de modelagem: Ponto 1 (~ 2.600 m) e Ponto 2 (~ 1.000 m) na Bacia de Santos; e o Ponto 3 (> 3.000 m) localizado na Bacia de Campos (Figura 91).

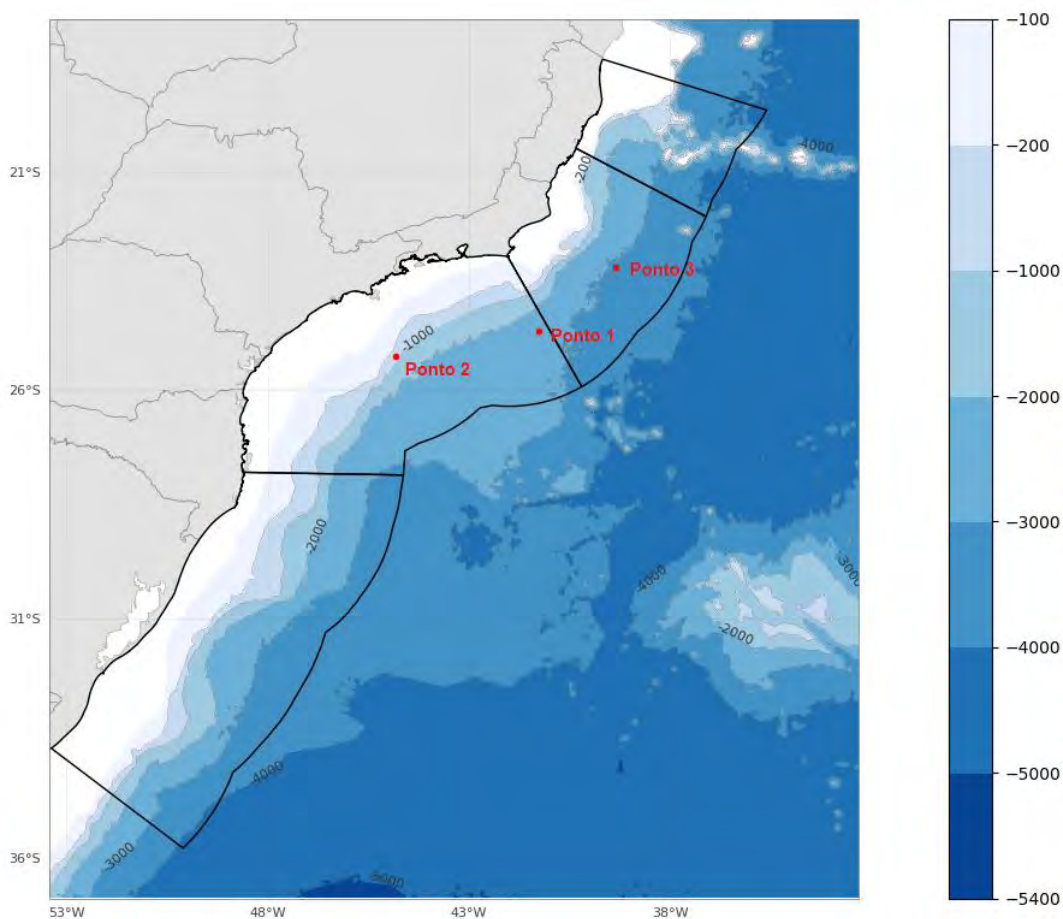


Figura 91: Pontos considerados para apresentação de análise de rosa de correntes e tabela conjunta de direção e intensidade.

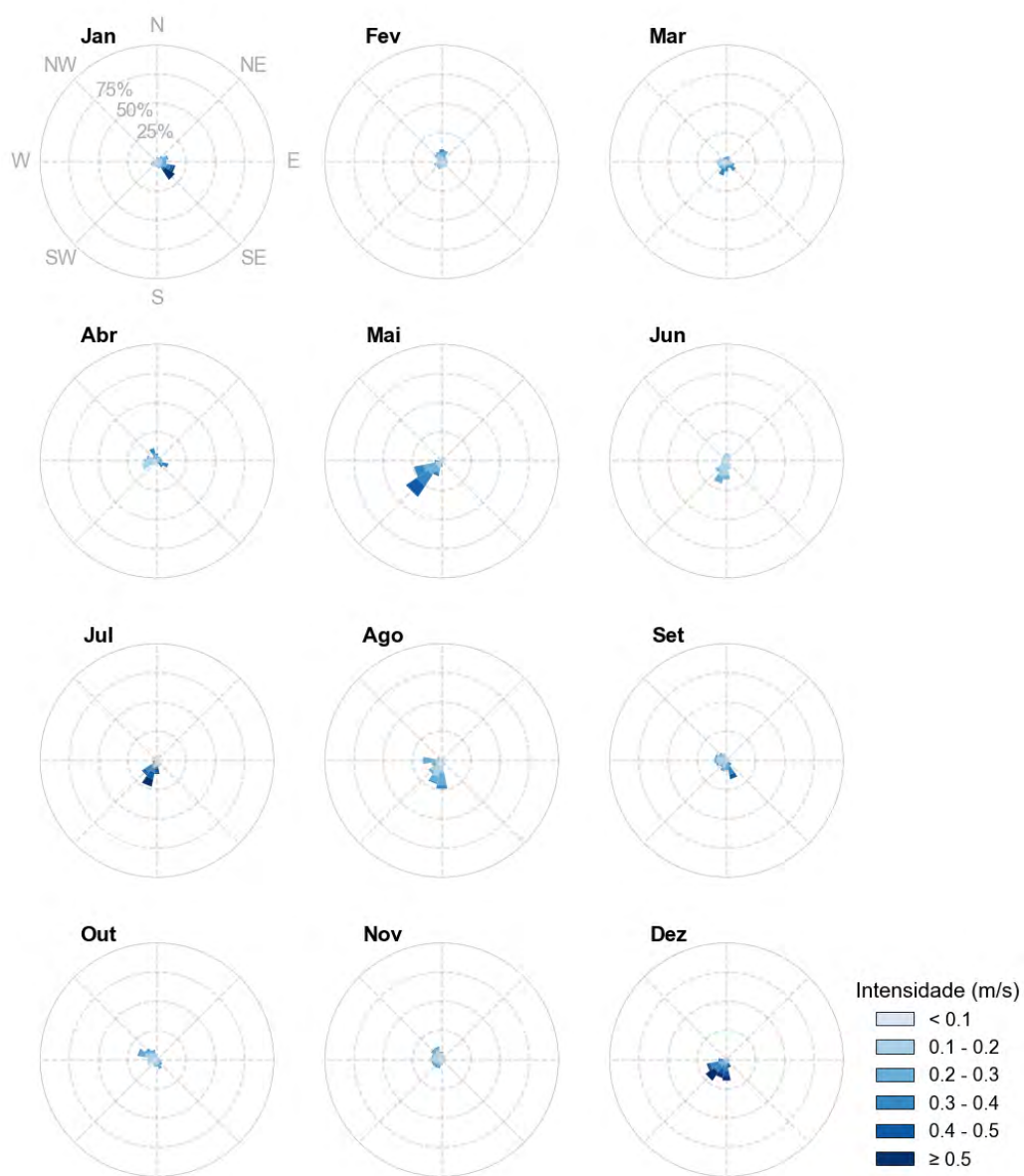


Figura 92: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 1 na Baía de Santos.

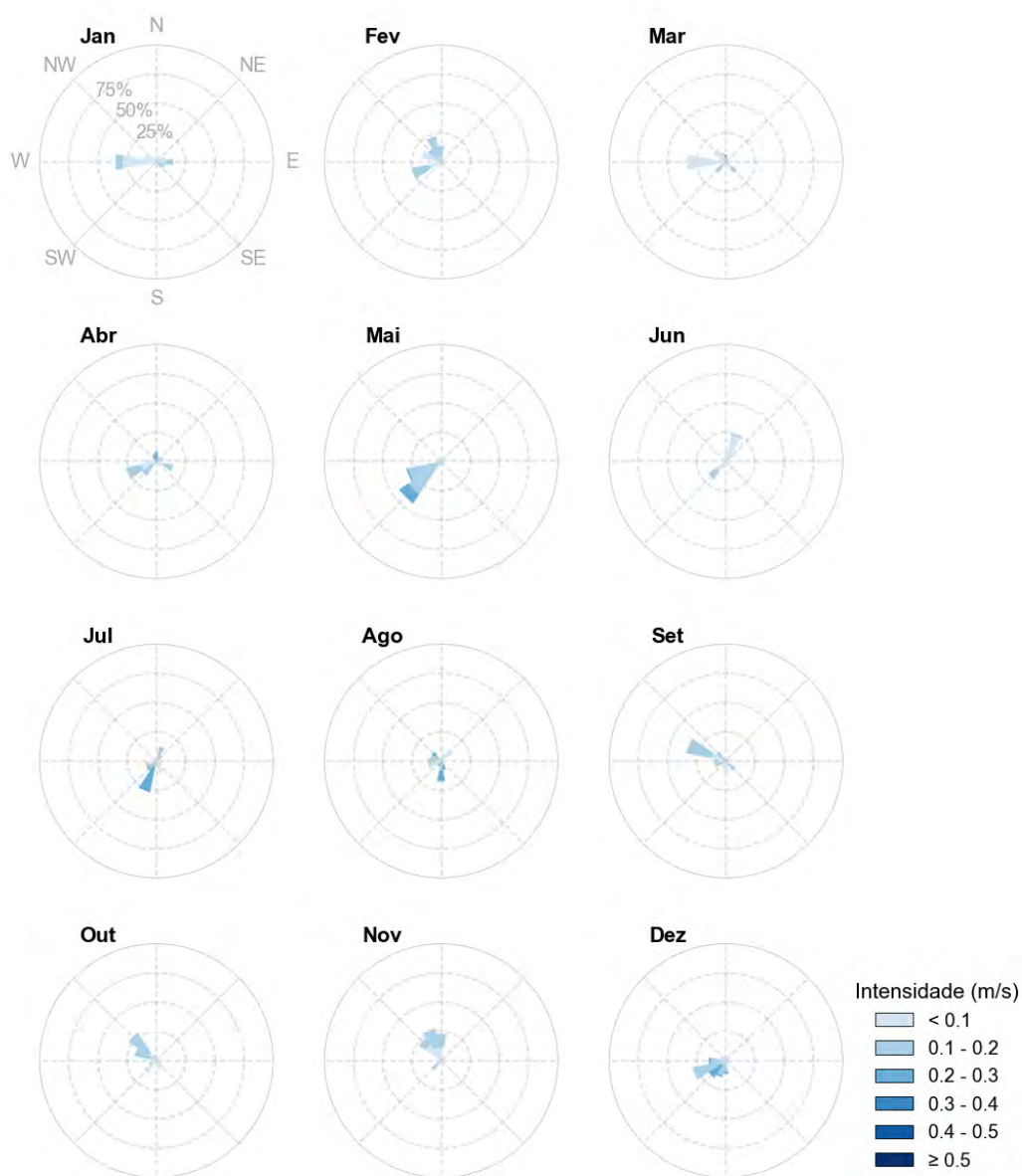


Figura 93: Rosas mensais de correntes em 200 metros de profundidade para o Ponto 1 na Baía de Santos.

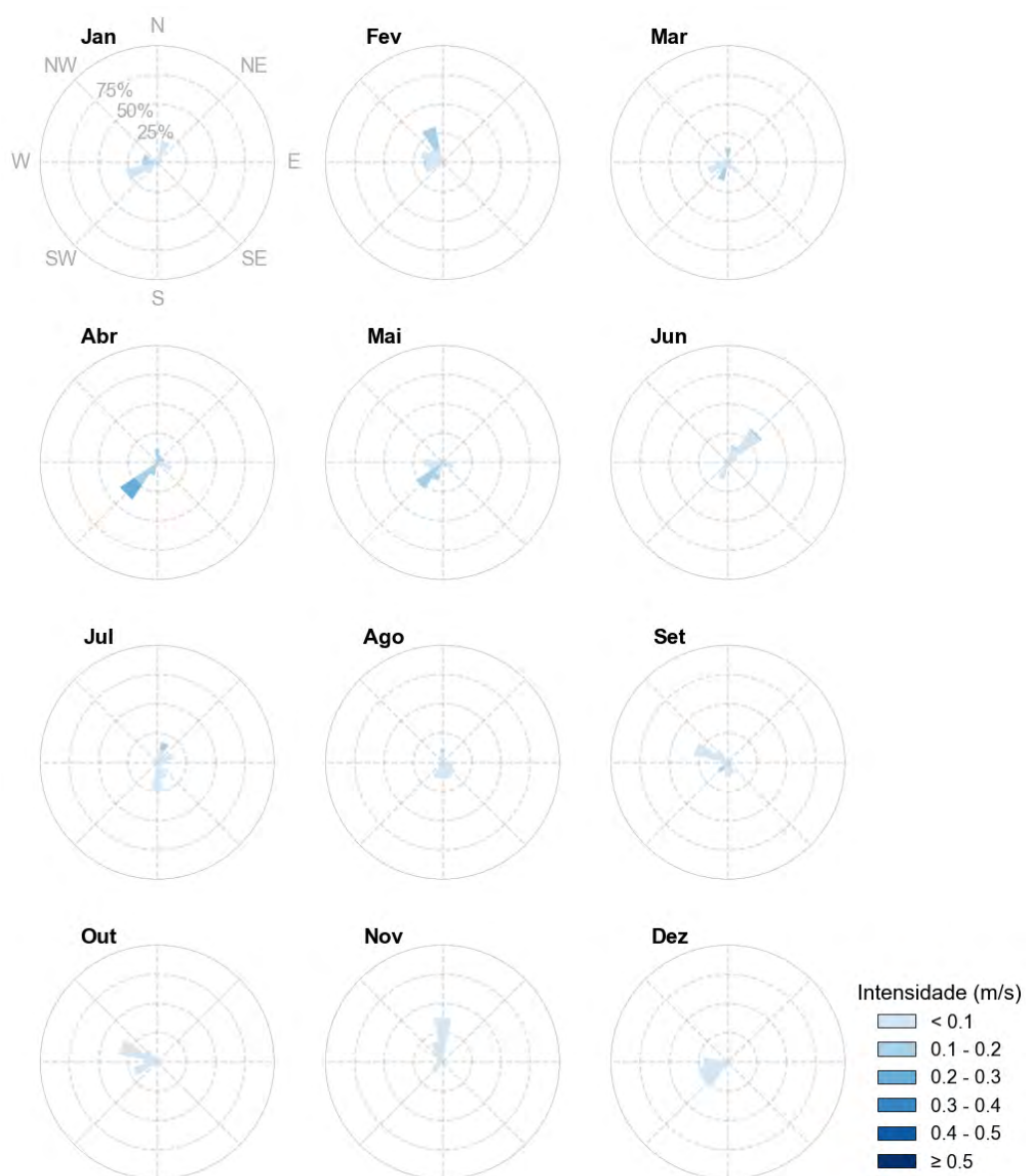


Figura 94: Rosas de correntes em 500 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos.

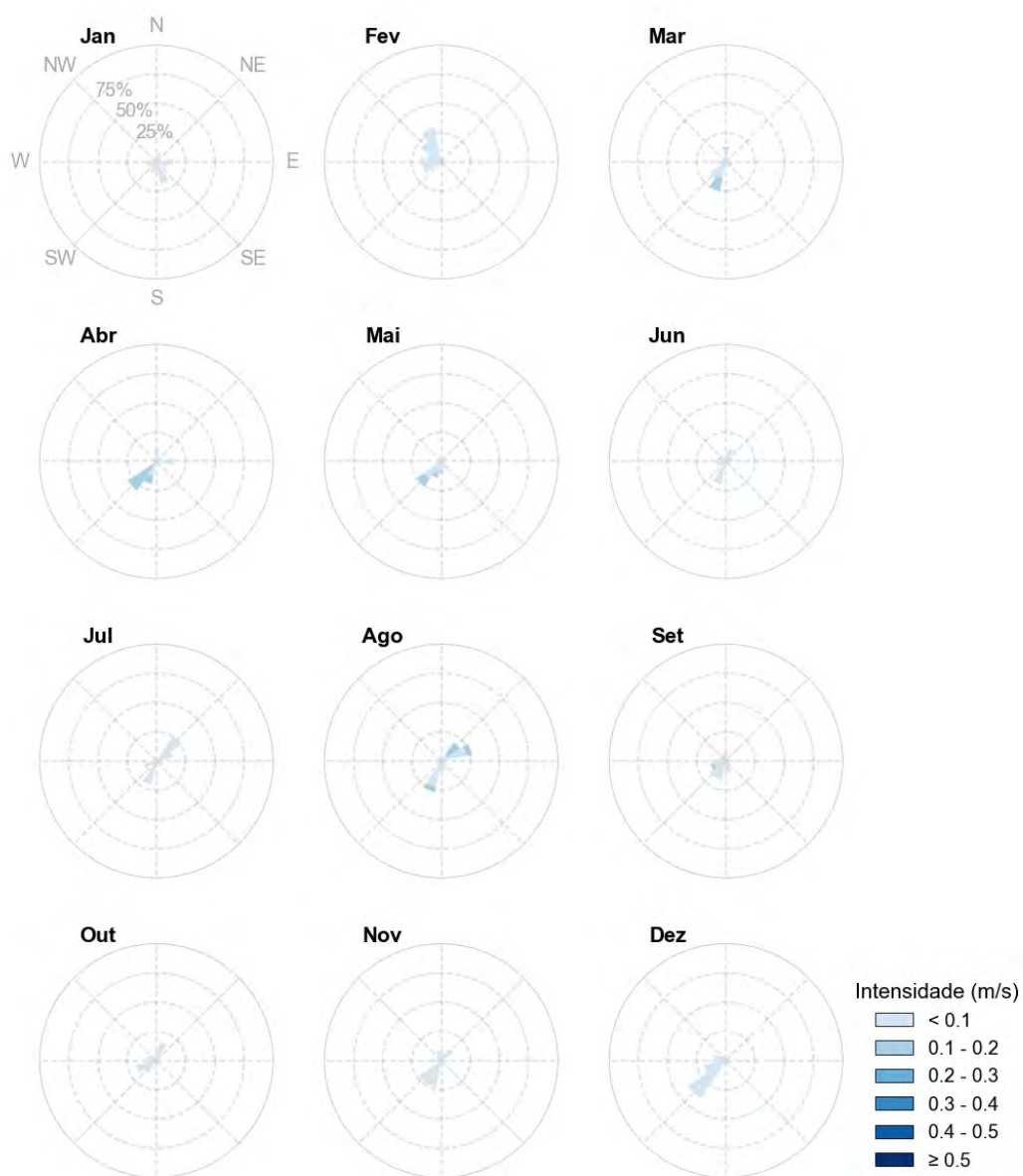


Figura 95: Rosas mensais de correntes em 1.000 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos.



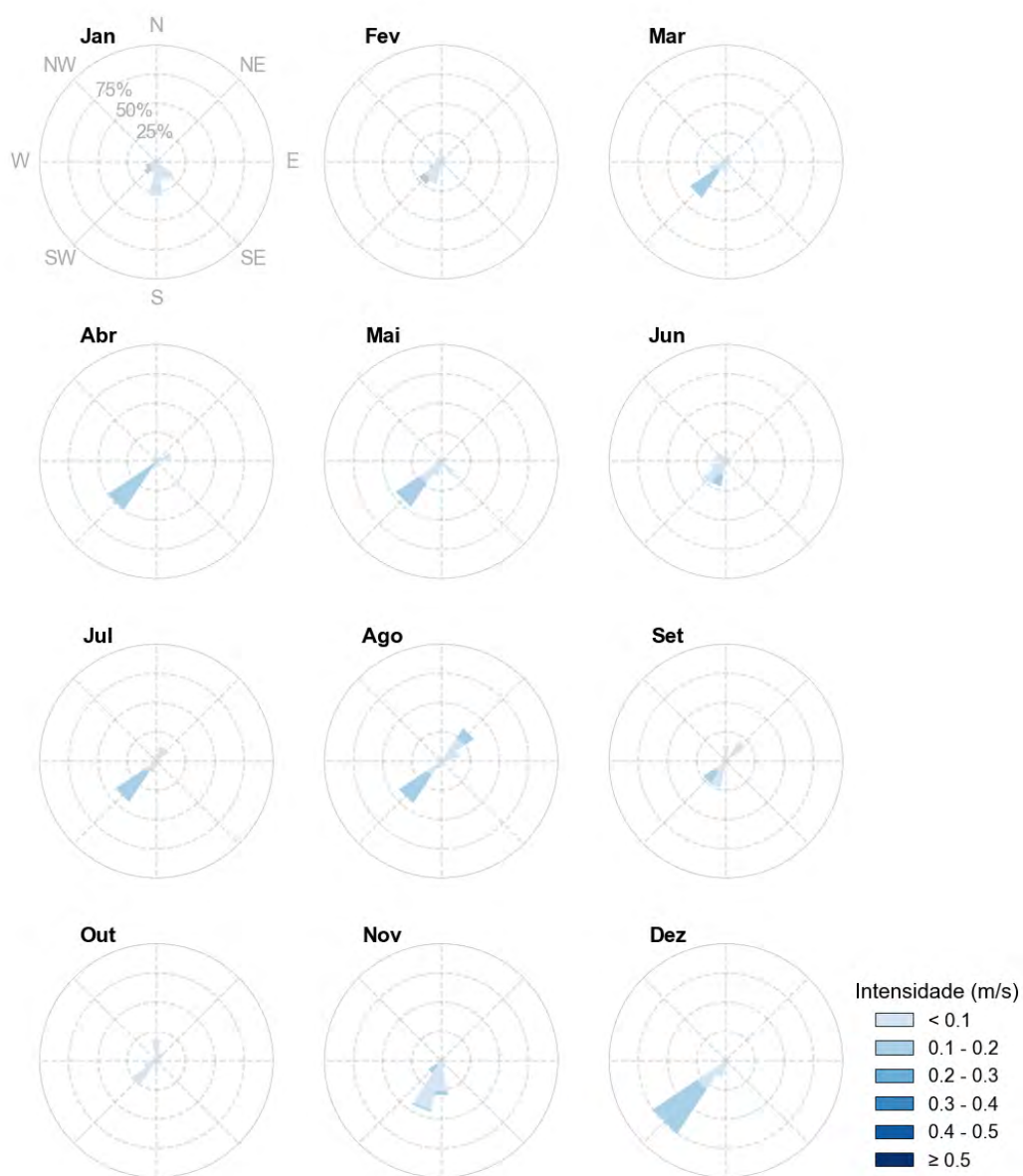


Figura 96: Rosas mensais de correntes em 2.000 metros de profundidade para o Ponto 1 na Bacia de Santos.

Tabela 3: Percentual de ocorrência sazonal de intensidade de correntes no Ponto 1 na Bacia de Santos.

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4- 0,5	> 0,5
Janeiro	Superfície	21,8	35,1	19,5	8,1	4,2	11,3
	200 m	75,8	24,2	-	-	-	-
	500 m	85,5	14,5	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	90,3	9,7	-	-	-	-
Fevereiro	Superfície	27,8	49,9	18,4	3,2	0,7	-
	200 m	40,4	59,7	-	-	-	-
	500 m	79,0	21,1	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	93,0	7,0	-	-	-	-
Março	Superfície	28,8	34,4	13,6	21,0	1,9	0,4
	200 m	74,2	22,6	3,2	-	-	-
	500 m	80,7	19,4	-	-	-	-
	1000 m	85,5	14,5	-	-	-	-
	2000 m	72,6	27,4	-	-	-	-
Abril	Superfície	17,9	42,1	23,8	14,7	1,5	-
	200 m	30,0	55,0	15,0	-	-	-
	500 m	21,7	63,3	15,0	-	-	-
	1000 m	63,3	36,7	-	-	-	-
	2000 m	50,0	50,0	-	-	-	-
Maio	Superfície	14,1	21,5	29,7	21,9	12,8	-
	200 m	22,6	66,1	11,3	-	-	-
	500 m	62,9	37,1	-	-	-	-
	1000 m	85,5	14,5	-	-	-	-
	2000 m	75,8	24,2	-	-	-	-
Junho	Superfície	32,8	51,7	14,4	1,1	-	-
	200 m	90,0	10,0	-	-	-	-
	500 m	96,7	3,3	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	90,0	10,0	-	-	-	-
Julho	Superfície	42,7	18,4	5,8	13,2	11,3	8,6
	200 m	43,6	32,3	24,2	-	-	-
	500 m	93,6	6,5	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	67,7	32,3	-	-	-	-

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4- 0,5	> 0,5
Agosto	Superfície	24,2	36,3	34,3	5,2	-	-
	200 m	51,6	25,8	22,6	-	-	-
	500 m	98,4	1,6	-	-	-	-
	1000 m	77,4	22,6	-	-	-	-
	2000 m	59,7	40,3	-	-	-	-
Setembro	Superfície	18,3	43,3	22,6	10,8	4,9	-
	200 m	50,0	50,0	-	-	-	-
	500 m	95,0	5,0	-	-	-	-
	1000 m	96,7	3,3	-	-	-	-
	2000 m	88,3	11,7	-	-	-	-
Outubro	Superfície	30,0	44,4	19,5	5,7	0,5	-
	200 m	59,7	40,3	-	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-
Novembro	Superfície	33,3	47,4	14,3	4,4	0,6	-
	200 m	51,7	48,3	-	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	86,7	13,3	-	-	-	-
Dezembro	Superfície	7,8	13,9	19,1	25,8	14,5	19,0
	200 m	24,6	57,4	18,0	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	54,1	45,9	-	-	-	-

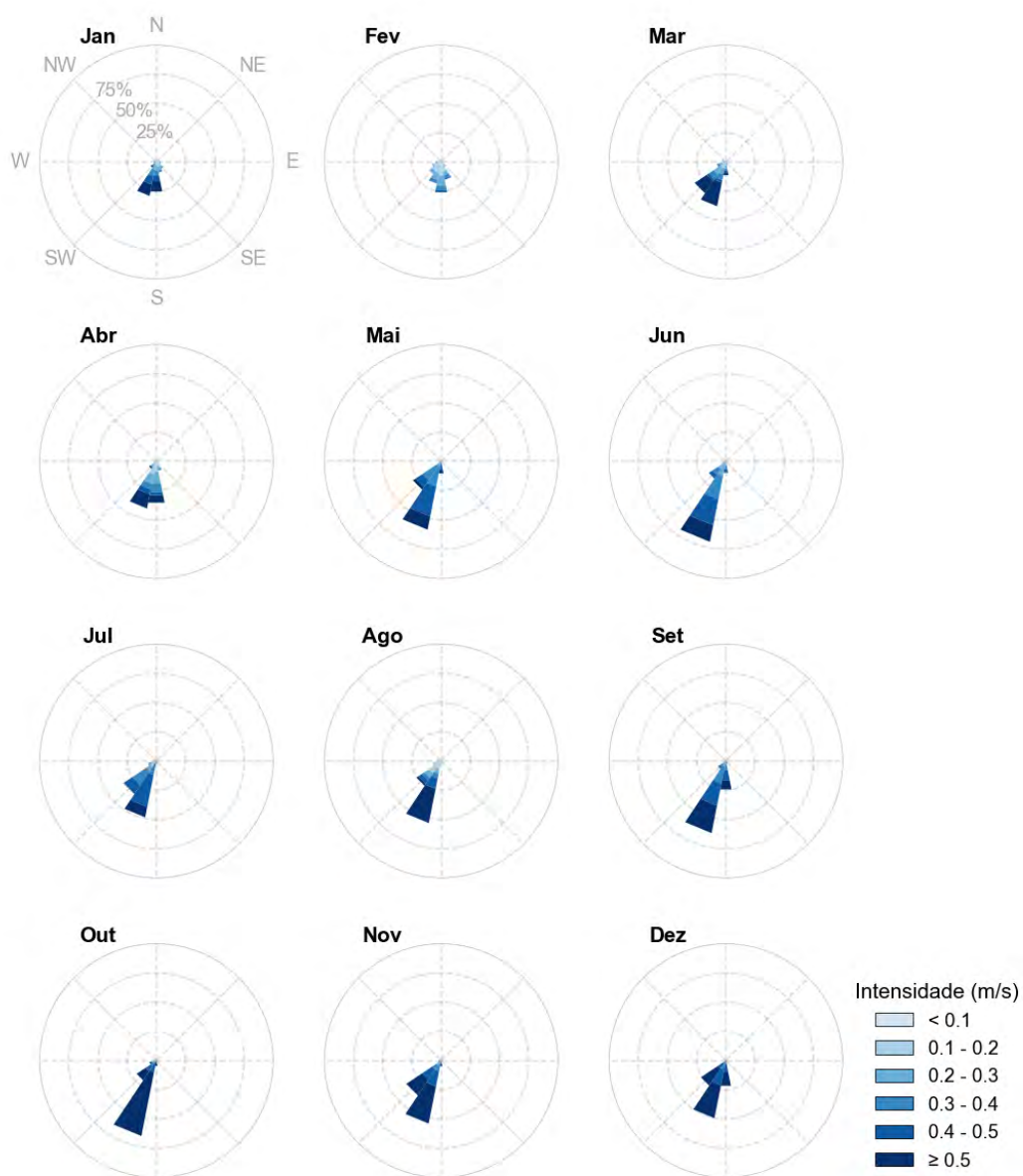


Figura 97: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 2 na Baía de Santos.

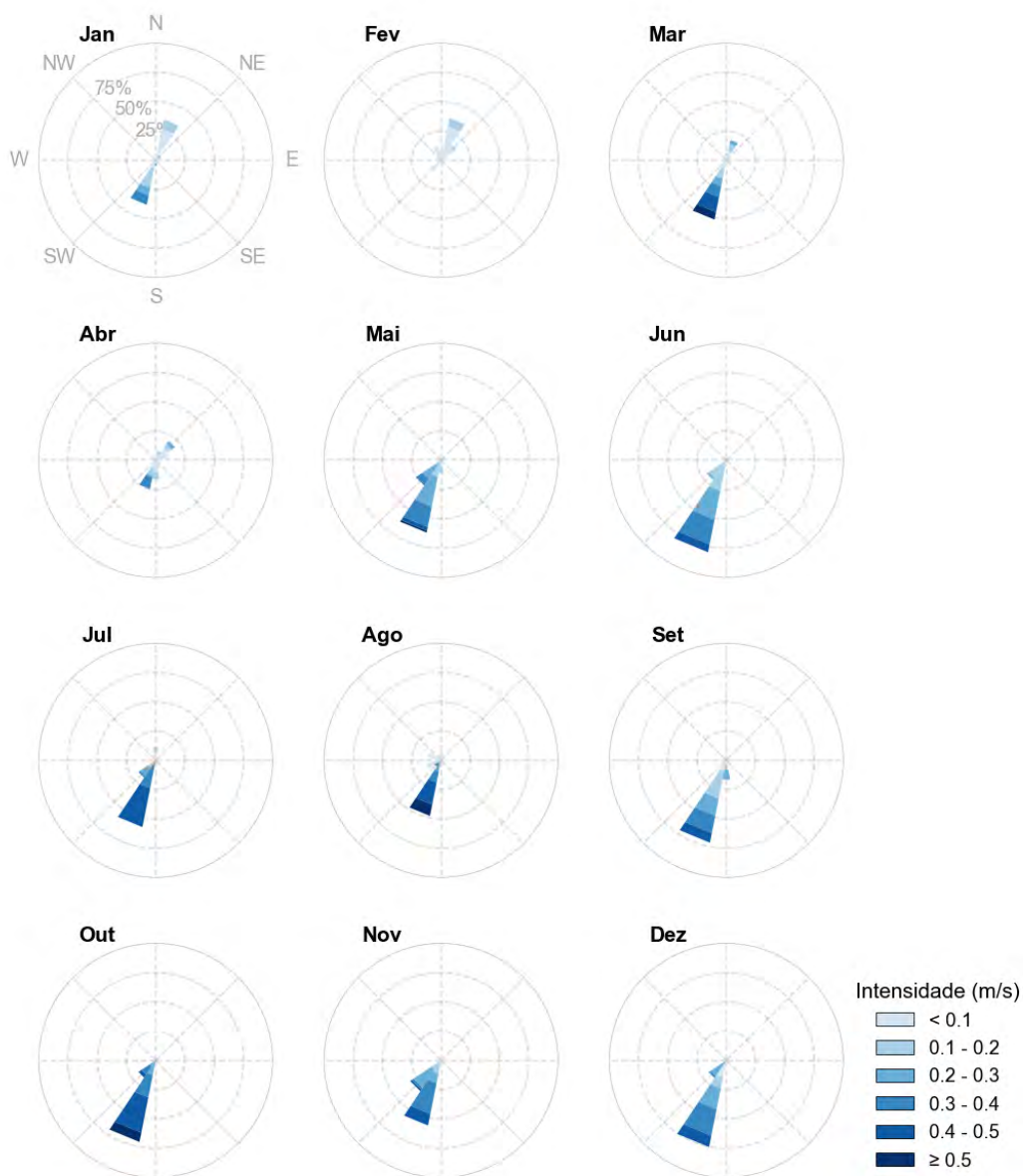


Figura 98: Rosas mensais de correntes em 200 metros de profundidade para o Ponto 2 na Bacia de Santos.



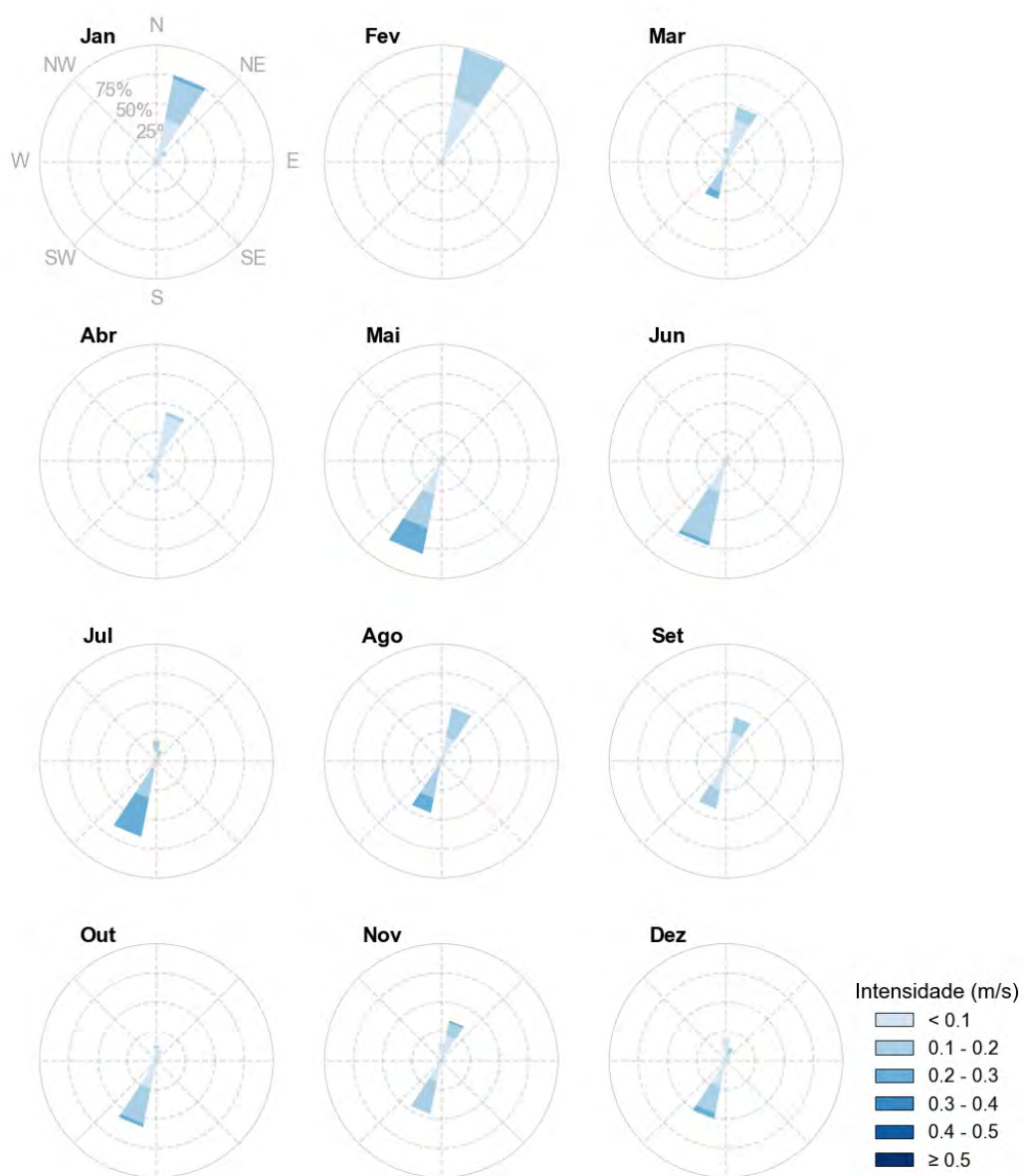


Figura 99: Rosas mensais de correntes em 500 metros de profundidade para Ponto 2 na Baía de Santos.

Tabela 4: Percentual (%) de ocorrência de intensidade de correntes no Ponto 2 na Bacia de Santos.

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	Superfície	11,7	22,2	16,7	14,8	14,0	20,6
	200 m	53,2	29,0	9,7	8,1	-	-
	500 m	58,1	38,7	3,2	-	-	-
Fevereiro	Superfície	20,9	40,6	25,4	9,9	2,8	0,3
	200 m	89,5	10,5	-	-	-	-
	500 m	56,1	43,9	-	-	-	-
Março	Superfície	5,2	18,7	20,4	13,8	6,6	35,2
	200 m	45,2	16,1	9,7	9,7	12,9	6,5
	500 m	61,3	32,3	6,5	-	-	-
Abril	Superfície	10,6	24,2	22,6	14,7	7,9	20,0
	200 m	63,3	21,7	5,0	10,0	-	-
	500 m	93,3	6,7	-	-	-	-
Maio	Superfície	0,3	1,1	8,6	35,0	37,6	17,5
	200 m	8,1	22,6	40,3	24,2	3,2	1,6
	500 m	48,4	29,0	22,6	-	-	-
Junho	Superfície	0,3	5,1	21,7	28,9	28,9	15,1
	200 m	5,0	40,0	26,7	21,7	6,7	-
	500 m	53,3	43,3	3,3	-	-	-
Julho	Superfície	6,2	11,6	9,5	25,8	37,0	10,0
	200 m	17,7	16,1	11,3	21,0	33,9	-
	500 m	24,2	41,9	33,9	-	-	-
Agosto	Superfície	12,5	26,8	9,3	7,0	12,8	31,7
	200 m	48,4	1,6	8,1	12,9	19,4	9,7
	500 m	32,3	54,8	12,9	-	-	-
Setembro	Superfície	0,8	3,6	9,9	22,9	30,4	32,4
	200 m	25,0	28,3	23,3	15,0	8,3	-
	500 m	70,0	30,0	-	-	-	-
Outubro	Superfície	0,3	2,6	5,2	6,6	15,3	70,0
	200 m	9,7	4,8	16,1	27,4	33,9	8,1
	500 m	64,5	32,3	3,2	-	-	-
Novembro	Superfície	0,8	3,2	8,1	12,1	25,8	50,0
	200 m	16,7	16,7	26,7	28,3	11,7	-
	500 m	58,3	40,0	1,7	-	-	-
Dezembro	Superfície	-	-	1,9	11,5	27,7	58,9
	200 m	23,0	9,8	32,8	24,6	9,8	-
	500 m	65,6	29,5	4,9	-	-	-

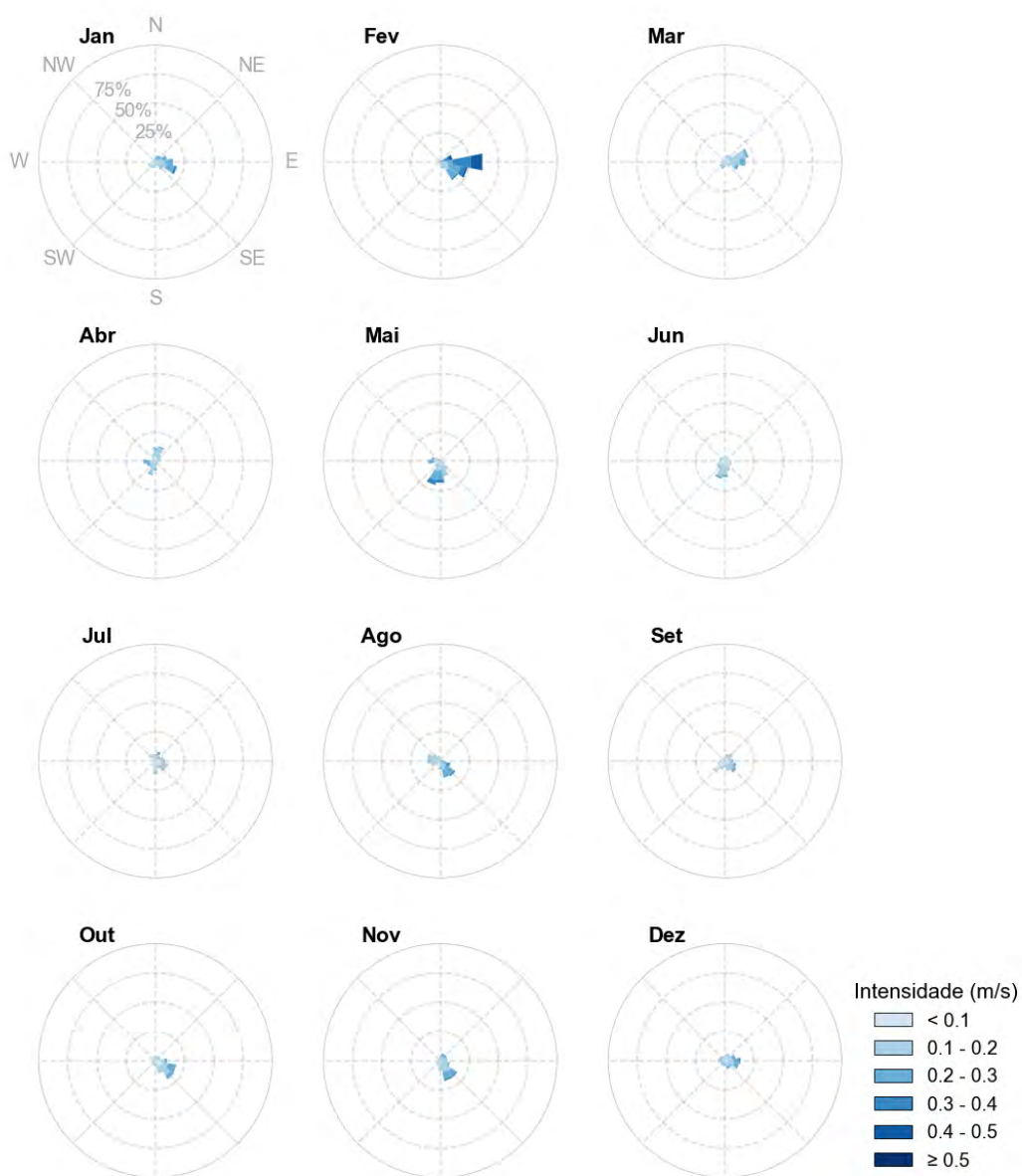


Figura 100: Rosas mensais de correntes em superfície para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

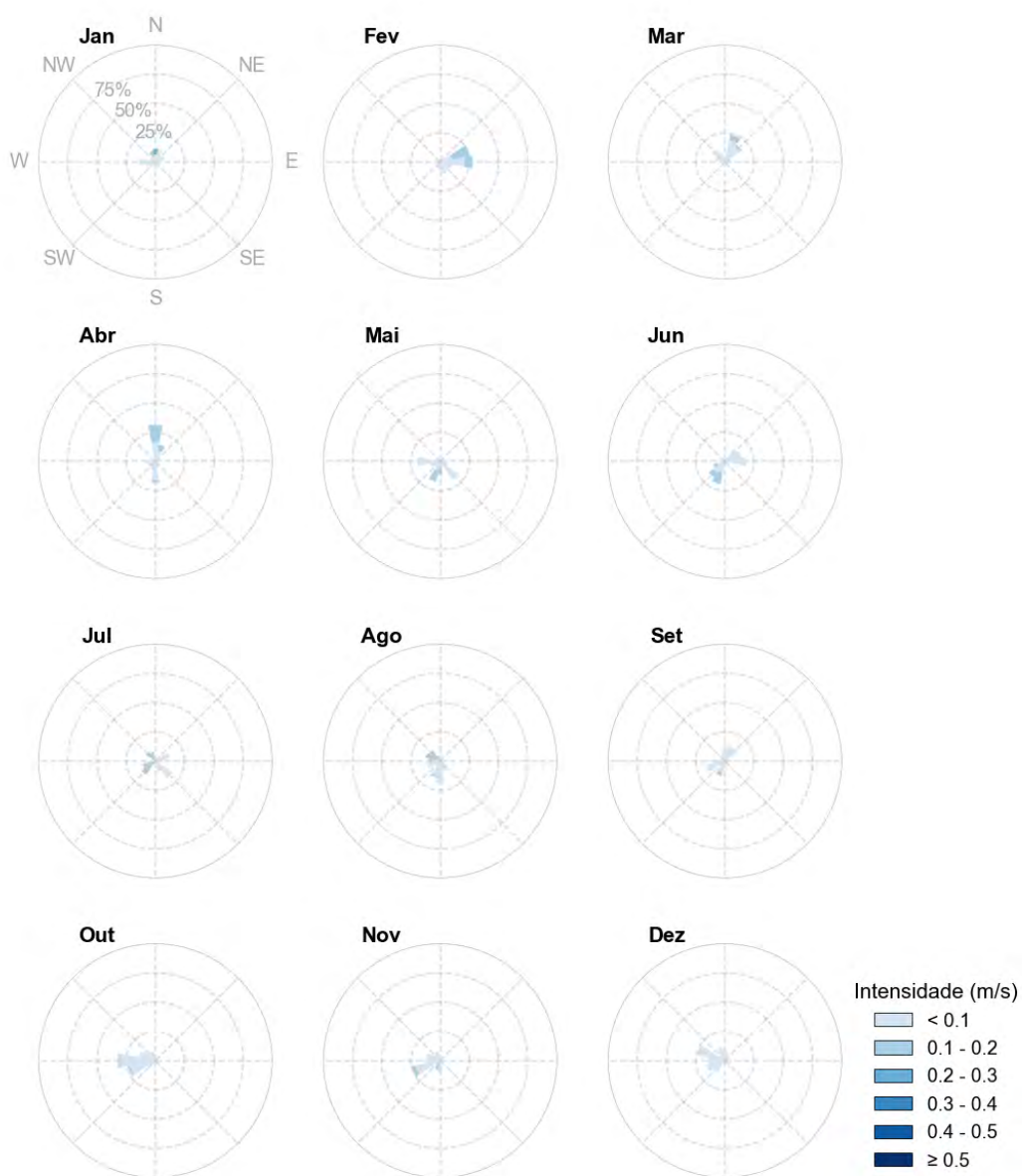


Figura 101: Rosas mensais de correntes em 200 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.



Figura 102: Rosa mensais de correntes em 500 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.



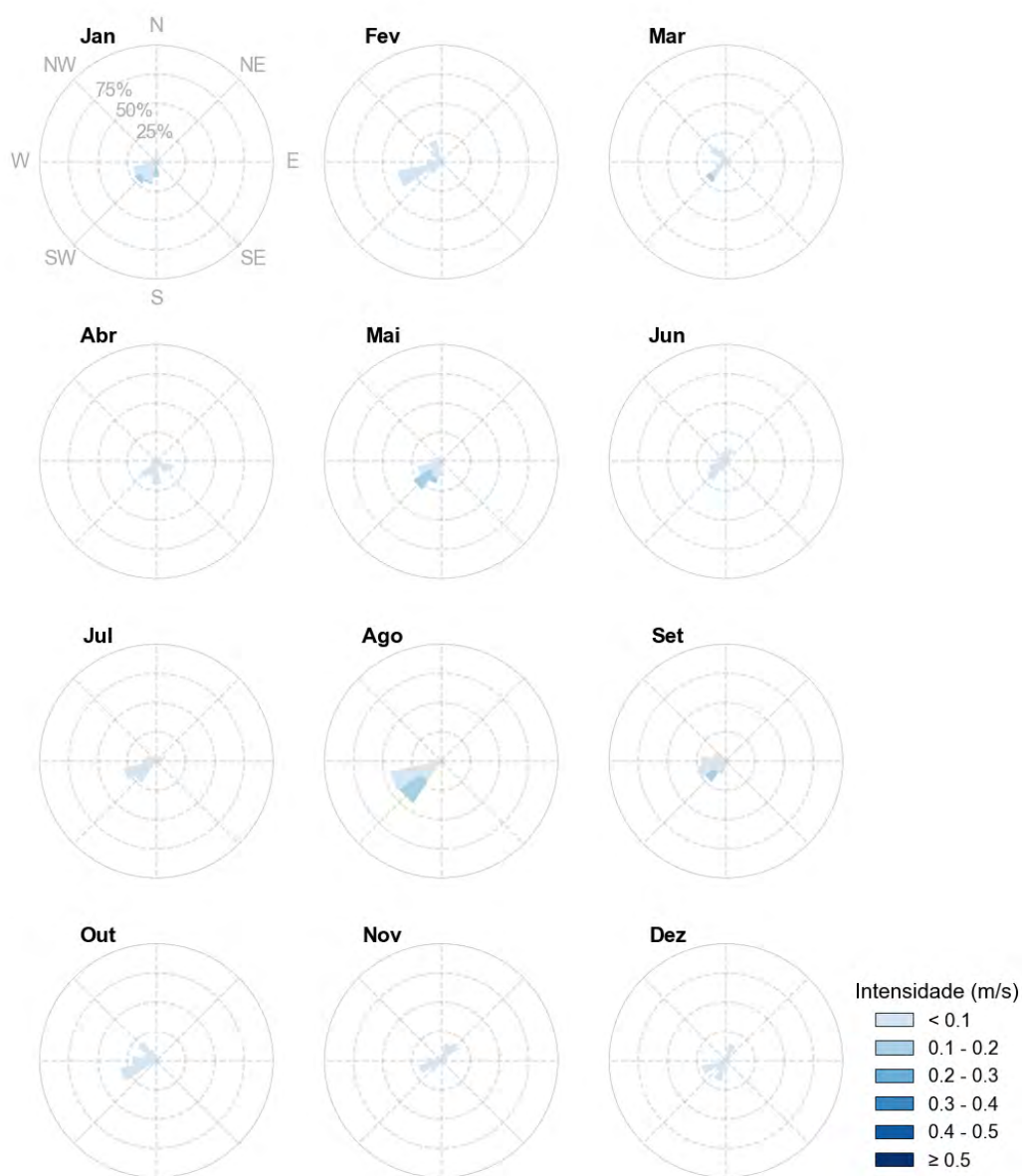


Figura 103: Rosa mensais de correntes em 1.000 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

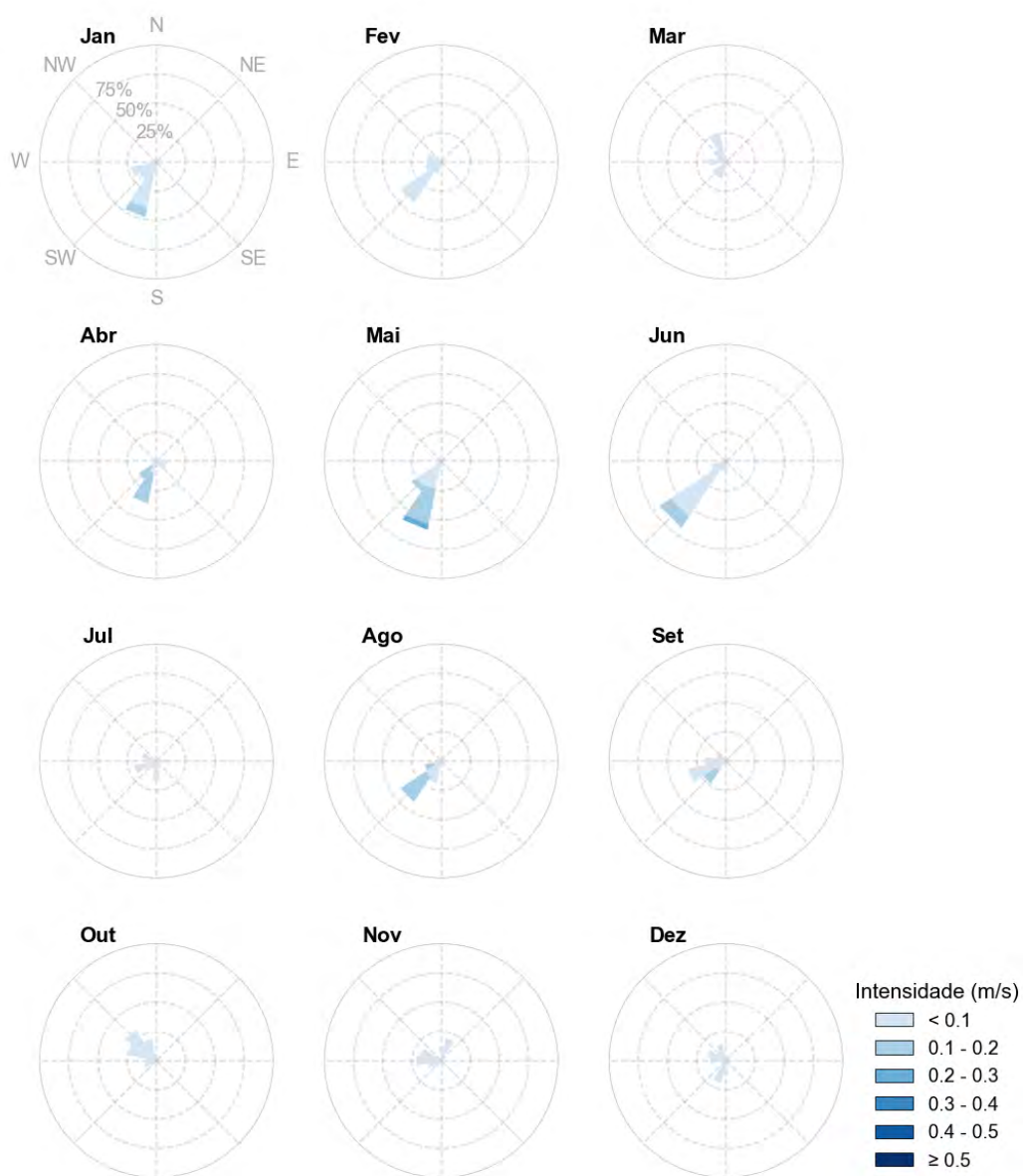


Figura 104: Rosa mensais de correntes em 2.000 metros de profundidade para o Ponto 3 na Bacia de Campos.

Tabela 5: Percentual (%) de ocorrência de intensidade de correntes no Ponto 3 na Bacia de Campos.

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	> 0,5
Janeiro	Superfície	24,8	45,5	24,5	4,7	0,5	-
	200 m	90,3	4,8	4,8	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	80,7	19,4	-	-	-	-
	2000 m	91,9	8,1	-	-	-	-
Fevereiro	Superfície	4,0	27,2	26,3	27,1	14,9	0,6
	200 m	77,2	22,8	-	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-
Março	Superfície	33,9	53,0	12,0	1,2	-	-
	200 m	88,7	11,3	-	-	-	-
	500 m	88,7	11,3	-	-	-	-
	1000 m	95,2	4,8	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-
Abril	Superfície	28,2	54,3	17,4	0,1	-	-
	200 m	73,3	26,7	-	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	58,3	41,7	-	-	-	-
Maio	Superfície	29,2	38,4	24,5	7,7	0,3	-
	200 m	82,3	17,7	-	-	-	-
	500 m	93,6	6,5	-	-	-	-
	1000 m	77,4	22,6	-	-	-	-
	2000 m	58,1	37,1	4,8	-	-	-
Junho	Superfície	54,2	37,6	7,8	0,4	-	-
	200 m	81,7	18,3	-	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	88,3	11,7	-	-	-	-
Julho	Superfície	46,1	45,0	7,7	0,8	0,4	-
	200 m	58,1	41,9	-	-	-	-
	500 m	87,1	12,9	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-

	Profundidade	Intensidade (m/s)					
		< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4- 0,5	> 0,5
Agosto	Superfície	11,3	57,9	24,9	5,8	0,1	-
	200 m	69,4	30,7	-	-	-	-
	500 m	82,3	17,7	-	-	-	-
	1000 m	77,4	22,6	-	-	-	-
	2000 m	64,5	35,5	-	-	-	-
Setembro	Superfície	53,9	35,4	9,9	0,8	-	-
	200 m	96,7	3,3	-	-	-	-
	500 m	93,3	6,7	-	-	-	-
	1000 m	90,0	10,0	-	-	-	-
	2000 m	86,7	13,3	-	-	-	-
Outubro	Superfície	46,2	37,9	14,3	1,6	-	-
	200 m	96,8	3,2	-	-	-	-
	500 m	100,0	-	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-
Novembro	Superfície	27,9	47,6	19,4	4,6	0,4	-
	200 m	88,3	11,7	-	-	-	-
	500 m	96,7	3,3	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-
Dezembro	Superfície	33,2	40,8	20,5	5,1	0,6	-
	200 m	100,0	-	-	-	-	-
	500 m	98,4	1,6	-	-	-	-
	1000 m	100,0	-	-	-	-	-
	2000 m	100,0	-	-	-	-	-

Na região do Ponto 1 são observados meandros e vórtices da corrente. Sazonalmente, observa-se que as intensidades da CB são maiores nos meses entre setembro e fevereiro. Em 500 metros de profundidade, o fluxo em latitudes a norte de 28°S, em média, tem sentido para nordeste, oposto ao observado para as profundidades menores, devido à presença da Contra Corrente Intermediária (CCI). Em 1.000 metros de profundidade, o padrão é semelhante ao observado em 500 metros, com a presença da CCI em latitudes a norte de 30°S. Nas maiores profundidades, as correntes ao largo do talude se tornam menos intensas.

O Ponto 2, por se localizar em região de menor profundidade, está sob influência do fluxo principal da CB. Devido a isso, apresenta maiores intensidades, com predominância em superfície acima de 0,4 m/s ao longo do ano. Neste ponto o fluxo da CB está mais organizado, resultando em maiores porcentagens de correntes na direção SSW até 200 metros de profundidade. Em 500 metros de profundidade, a direção varia ao longo do ano, ora com direção preferencial para NNE,

indicando a presença da CCI, ora com direção preferencial para SSO, ainda sob influência da CB.

O Ponto 3 se fora do fluxo principal da CB e, com isso, a direção preferencial das correntes em superfície é para ESE entre setembro e agosto e para S entre março e agosto, com intensidades predominantes entre 0,1 e 0,2 m/s. A partir de 200 metros, as intensidades mais frequentes são menores que 0,1 m/s. Com intensidades baixas, notadamente não é observado direções preferenciais ao longo do ano a partir dessa profundidade até 2.000 metros.

## 7.4. Processos de mesoescala

A seguir, de forma a ilustrar a representação dos processos de mesoescala, são apresentados resultados instantâneos do modelo (Figura 105, Figura 106 e Figura 107), que correspondem os campos de corrente superficial dos dias 15/05/2013, 13/06/2013 e 01/12/2013.

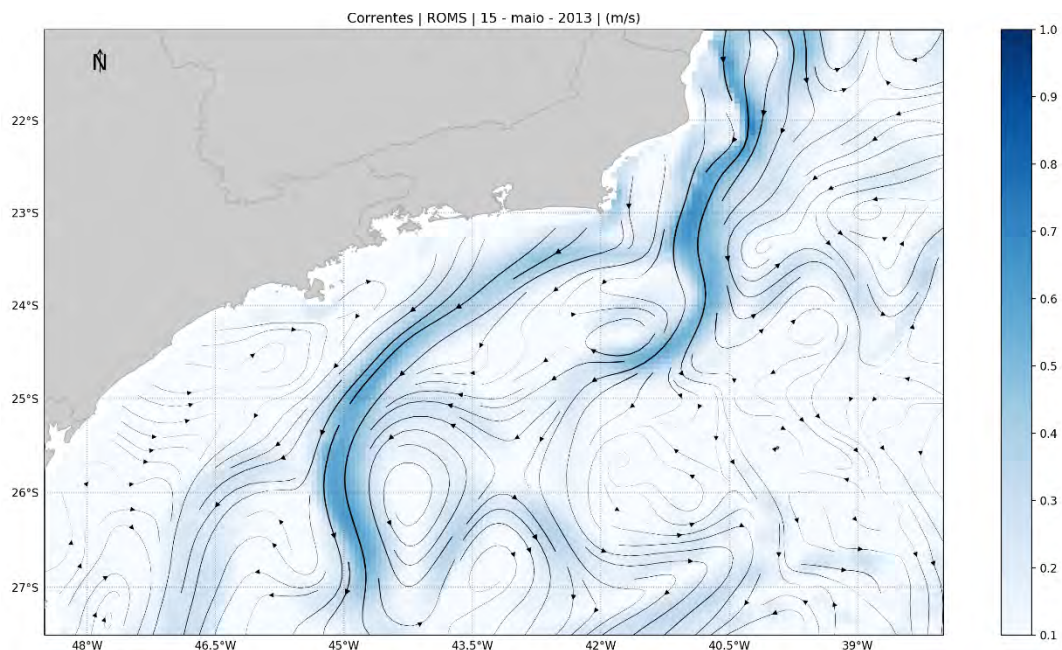


Figura 105: Campo de corrente do dia 15/05/2013.



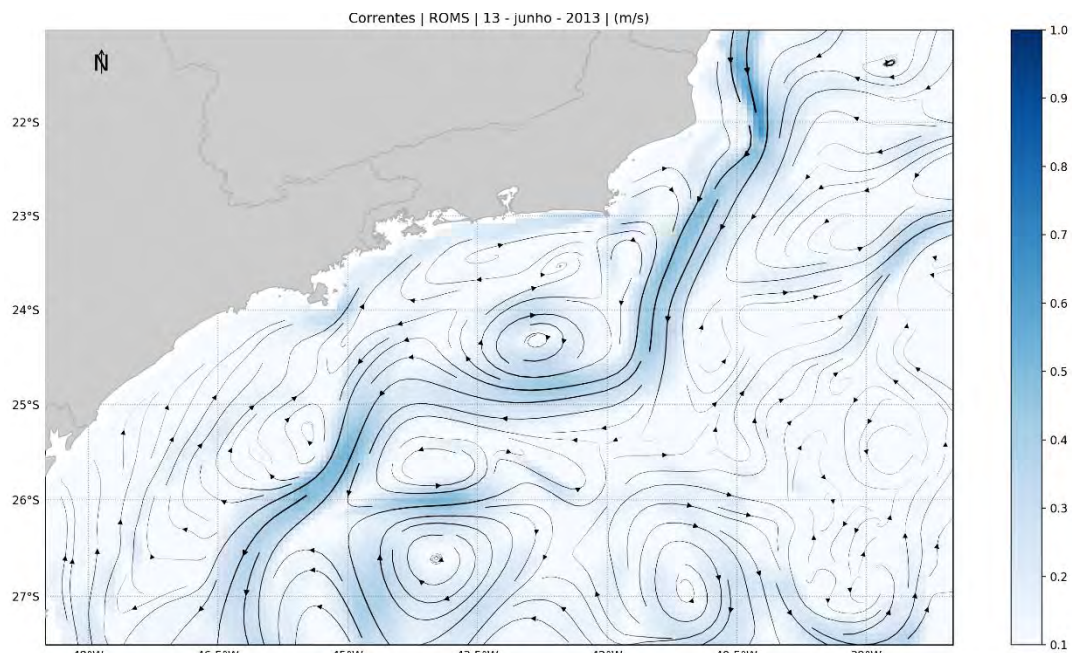


Figura 106: Campo de corrente do dia 13/06/2013.

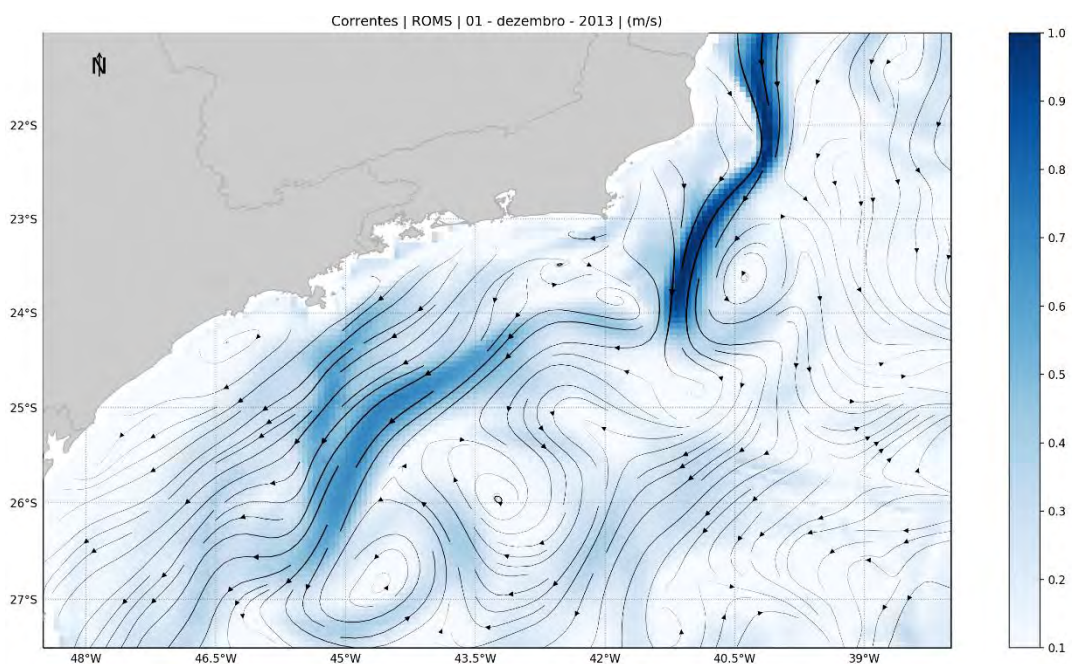


Figura 107: Campo de corrente do dia 01/12/2013.

Nota-se na Figura 105 a representação do Vórtice de Cabo Frio (VCF) pelo modelo, entre as latitudes 23,5°S e 25°S. Esta ocorrência do VCF em particular é descrita em Dos Santos *et al.* (2016) através de um transecto de dados de temperatura e salinidade obtidos por equipamento *glider* (descrito em mais detalhes no item 8.3) e dados de dois derivadores superficiais lagrangianos.

Na Figura 106 observa-se a corrente sobre a plataforma continental com sentido nordeste, exemplificando o efeito da passagem de um sistema frontal sobre a circulação oceânica. Ainda neste campo de corrente é possível observar o VCF mais a leste do que na Figura 105.

Na Figura 107, exemplifica-se o efeito do ASAS sobre a plataforma continental, onde podem ser observada a corrente fluindo com sentido sudoeste. Observa-se também a ocorrência de um vórtice anticiclônico na porção sul da Bacia de Campos, localizado na posição associada ao Vórtice do Cabo de São Tomé.

## 7.5. Considerações

Com todos os resultados apresentados, pode-se inferir que o modelo utilizado é capaz de representar feições de mesoescala na região de estudo, assim como o efeito da passagem de sistemas frontais nas correntes sobre a plataforma continental, como estão em conformidade com a literatura apresentada sobre os processos oceanográficos ocorrentes no domínio do modelo. Contudo, no item a seguir são apresentadas análises quantitativas com base em diferentes parâmetros e processos.

## 8. Avaliação do Modelo

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

A nomenclatura contemporânea para tal estudo é “avaliação”. Embora possa parecer um rótulo de pouca importância, os termos anteriormente utilizados para tal fim sempre foram controversos. A primeira nomenclatura “validação” foi substituída por “comparação histórica”, a qual foi complementada com o termo “garantia de qualidade”. A dificuldade em se definir um termo reside no fato de que as palavras “validação” e “garantia” trazem em si uma expectativa de positivo e negativo em relação aos resultados. O modelo poderia ser somente válido ou não válido, garantido ou não garantido. Nesse sentido, o termo “avaliação” torna-se mais adequado, uma vez que é neutro e pode abarcar uma gama maior de definições em termos de qualificação do modelo ou sistema (BECK, 2002).

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

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

A primeira pergunta pode ser respondida com o grande número de artigos publicados em revistas internacionais utilizando o ROMS para estudos de circulação oceânica em diversas escalas, nos mais variados corpos d’água.

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

### 8.1. Maré

Para comparar a elevação de maré calculada pelo modelo numérico com dados da região modelada foram escolhidas seis estações maregráficas (Vitória-ES, Fundeio 1 Norte-RJ, Ilha da Moela-SP, Farol de Santa Marta-SC e Torres-RS) da FEMAR (Figura 108) situadas ao longo do domínio de modelagem. Estas estações foram escolhidas por estarem em regiões bem distintas entre si no interior do domínio de modelagem, tanto em regiões oceânicas, quanto em regiões costeiras e compreendendo diferentes estados do Brasil.

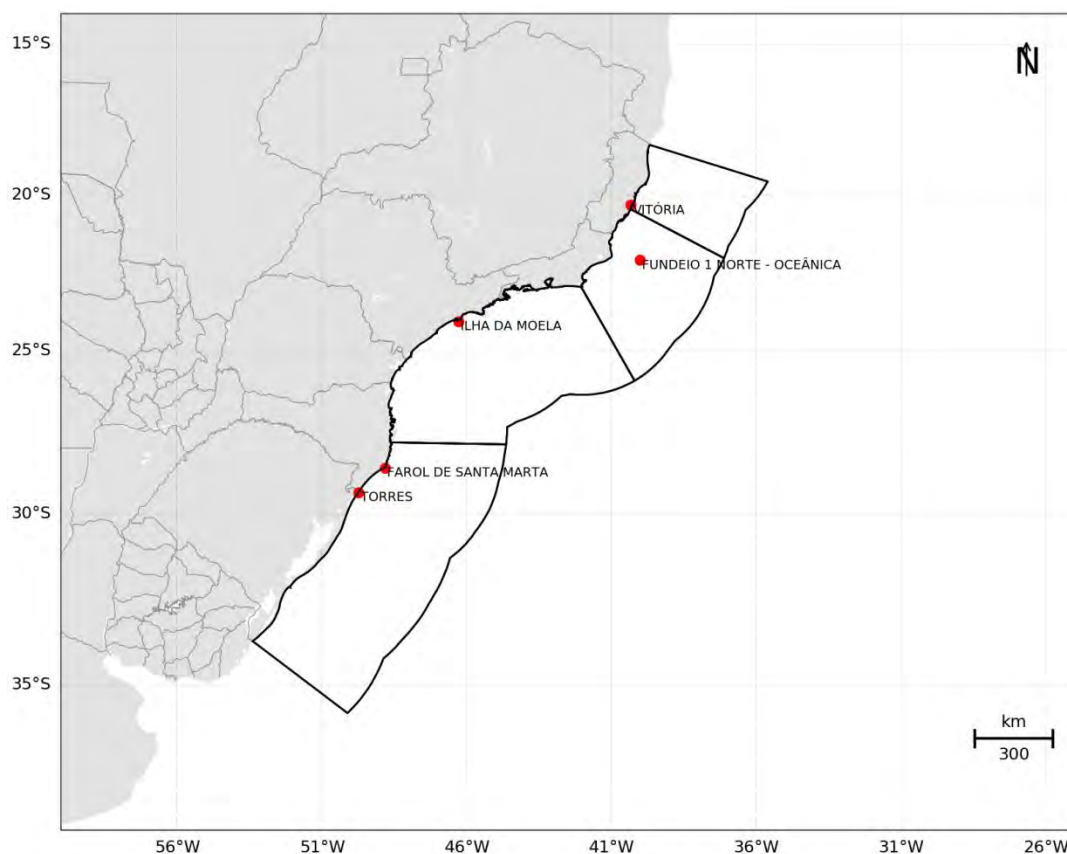


Figura 108: Localização das estações maregráficas da FEMAR, utilizadas na avaliação da representação da maré no modelo.

A partir das constantes harmônicas dessas estações foram realizadas previsões da elevação de maré para o período de simulação (janeiro de 2012 a janeiro de 2014). Séries de elevação do nível do mar nos pontos de grade mais próximos das estações foram obtidas e, a partir destas, foi realizada uma análise para se obter as mesmas constantes harmônicas utilizadas na reconstrução das séries da FEMAR e em seguida foram realizadas previsões da elevação da maré para o mesmo período. Da Figura 109 a Figura 113 as comparações são apresentadas para todo o período de modelagem.



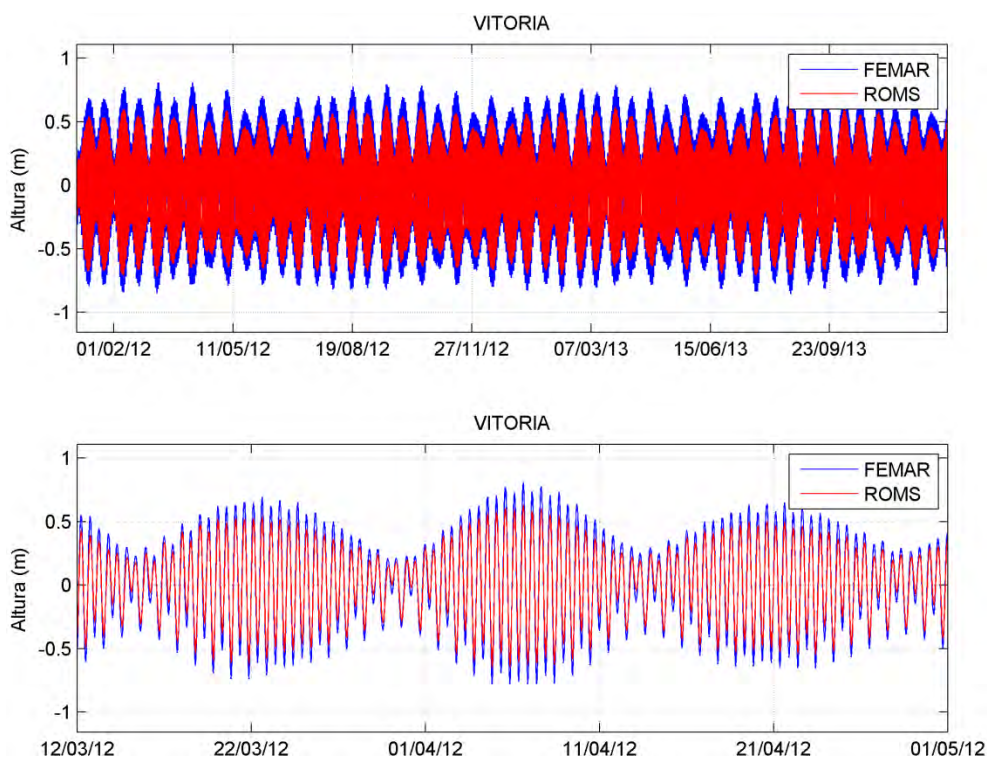


Figura 109: Comparação para a estação de Vitória – ES. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

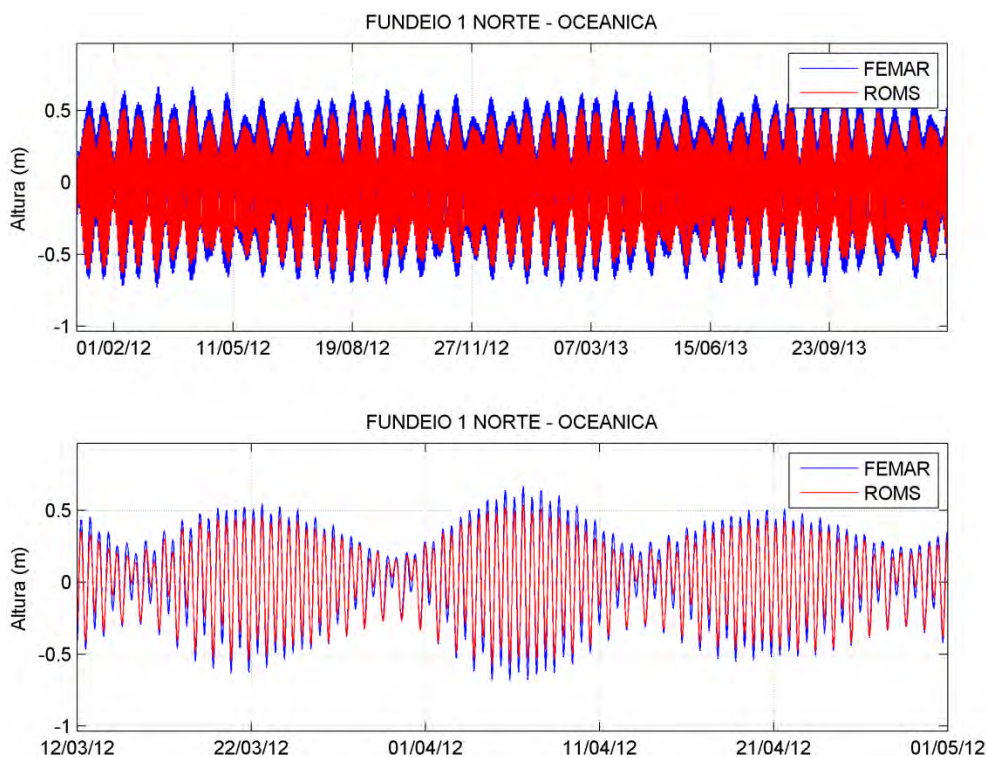


Figura 110: Comparação para a estação de Fundeio 1 Norte – Oceânica . Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).



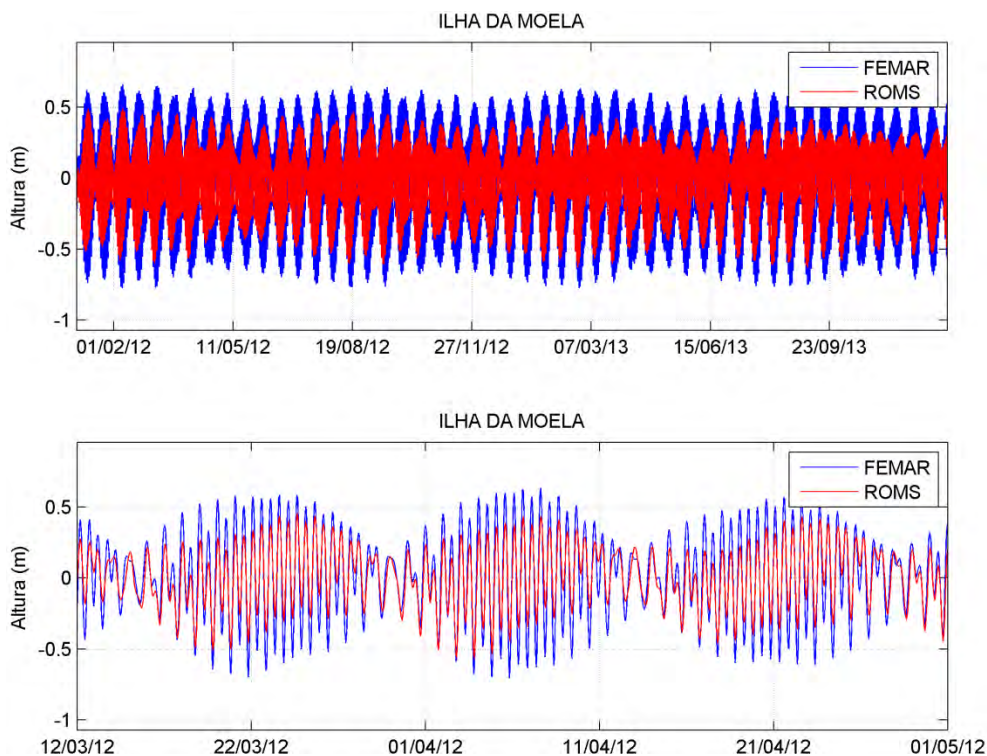


Figura 111: Comparação para a estação de Ilha da Moela. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

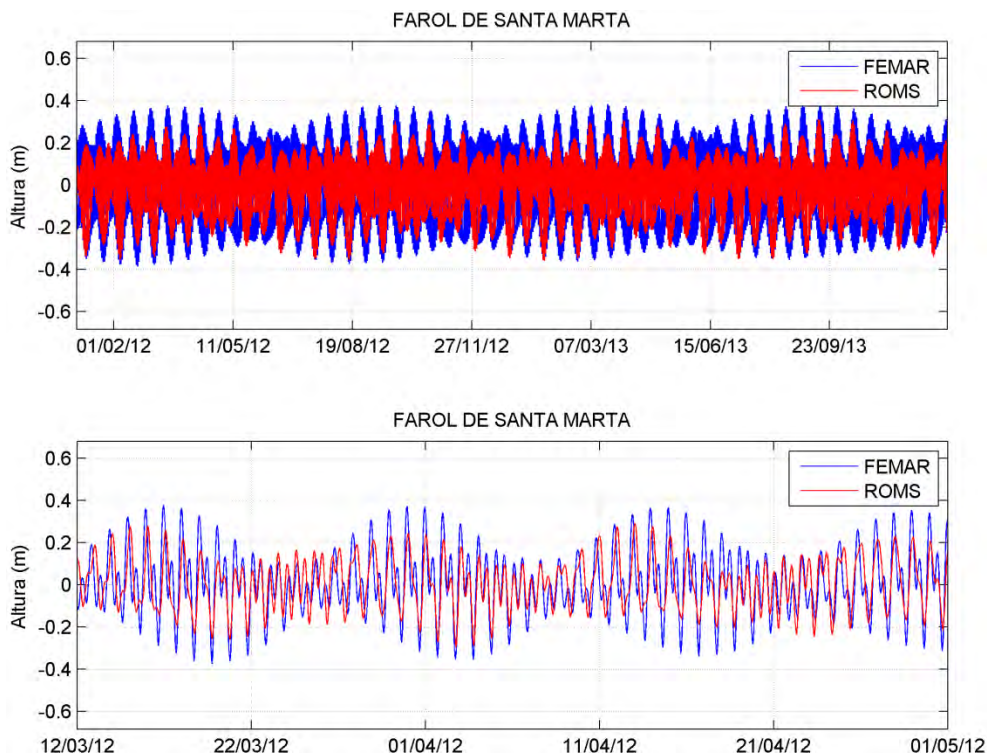


Figura 112: Comparação para a estação de Santa Marta. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

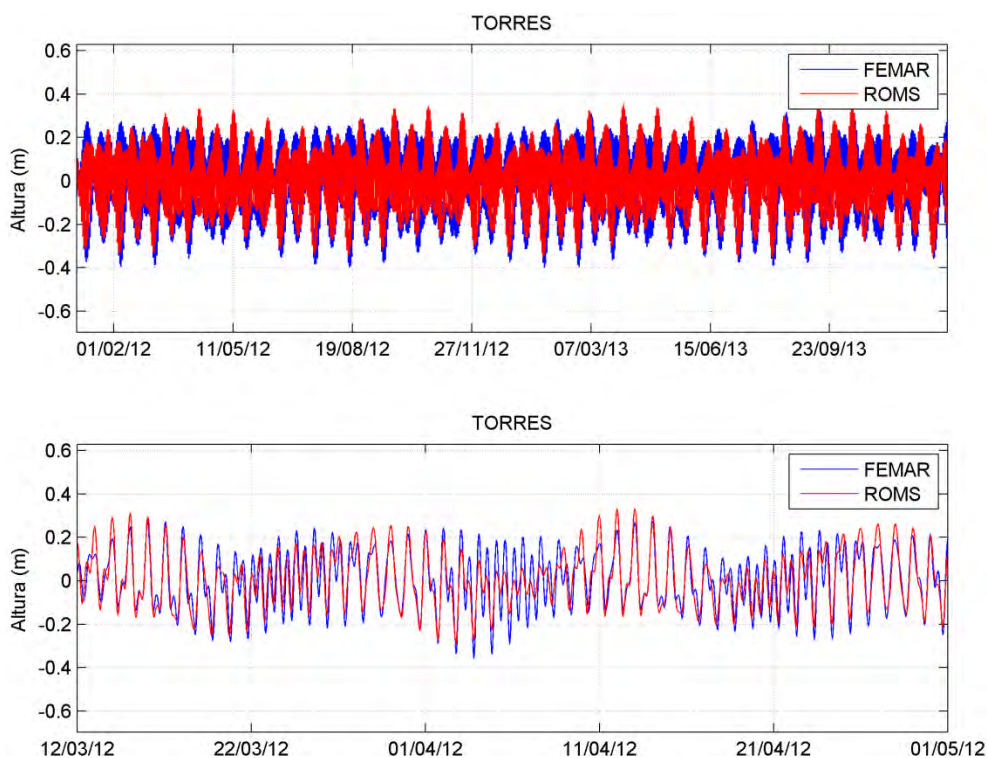


Figura 113: Comparação para a estação de Torres. Séries reconstituídas da FEMAR (azul) e do modelo ROMS (vermelha), para todo o período (acima) e em zoom (abaixo).

Para avaliar a capacidade de representação da amplitude e da fase da onda de maré pelo modelo são calculados o erro médio absoluto, “EMA”, (Eq. 1) e o coeficiente de correlação linear “p” (Eq.2), entre as séries reconstituídas. Foram utilizadas séries de dados de 730 dias, contemplando dois anos completos, com resolução horária.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (\text{Eq. 1})$$

$$p = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{var(x)*var(y)}} \quad (\text{Eq.2})$$

Onde “x” é a série maregráfica do modelo do modelo e “y” é a série da FEMAR. O erro médio (EMA) e o coeficiente de correlação linear (p) aplicados à série de maré indicam o desvio da amplitude e o desvio de fase, respectivamente, entre a onda de maré modelada e a reconstituída. Os índices calculados são apresentados na Tabela 6 para cada estação utilizada e para a média das estações. O EMA variou entre 0,05 (Vitória-ES e Torres-RS) e 0,11 (Ilha da Moela-SP) e o índice de correlação variou entre 0,7 (Farol de Santa Marta-SC) e 0,99 (Vitória-ES e Fundeio Norte-RJ). Os valores médios de EMA e p foram 0,09 e 0,88, respectivamente.

Tabela 6: Comparação estatística entre as séries maregráficas do modelo ROMS e da FEMAR. Apresentam-se os índices Erro Médio Absoluto (EMA) e coeficiente de correlação linear de Pearson (p).

Estação	EMA (m)	p
Vitória	0,05	0,99
Fundeio Norte	0,07	0,99
Ilha da Moela	0,11	0,92
Farol de Santa Marta	0,08	0,70
Torres	0,05	0,86
<b>Média</b>	<b>0,09</b>	<b>0,88</b>

A representação da amplitude com erro médio absoluto de aproximadamente 10 centímetros é considerada satisfatória para um modelo com essa dimensão de domínio e resolução, considerando que as estações são em sua maioria costeiras e que as estações mais próximas da área de estudo foram as que apresentaram menor EMA (5 cm e 7 cm). O índice de correlação linear variando de 0,7 a 0,99 demonstra que as séries apresentam correlação de forte a muito forte e, portanto, a representação da fase da maré pode ser considerada satisfatória.

## 8.2. Temperatura da Superfície do Mar

Da Figura 114 à Figura 125 são apresentadas as médias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) obtidas do ROMS para o período de janeiro de 2012 a janeiro de 2014, e as médias mensais da TSM obtida de dados satelitais disponibilizados pelo NCOF (*National Center for Ocean Forecast*) através do produto OSTIA (*Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis*) para o mesmo período. Este produto abrange todo o globo e possui alta resolução (~6 km). O produto é oferecido diariamente, sendo resultado da combinação de diversos sensores infravermelhos e micro-ondas, além de dados *in situ* por meio de processo de Análise Objetiva. Este produto tem oferecido dados acurados de TSM, com um erro médio quadrático menor que 0,6°C, em alta resolução e disponibilizados em tempo quase real (STARK *et al.* 2007).

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

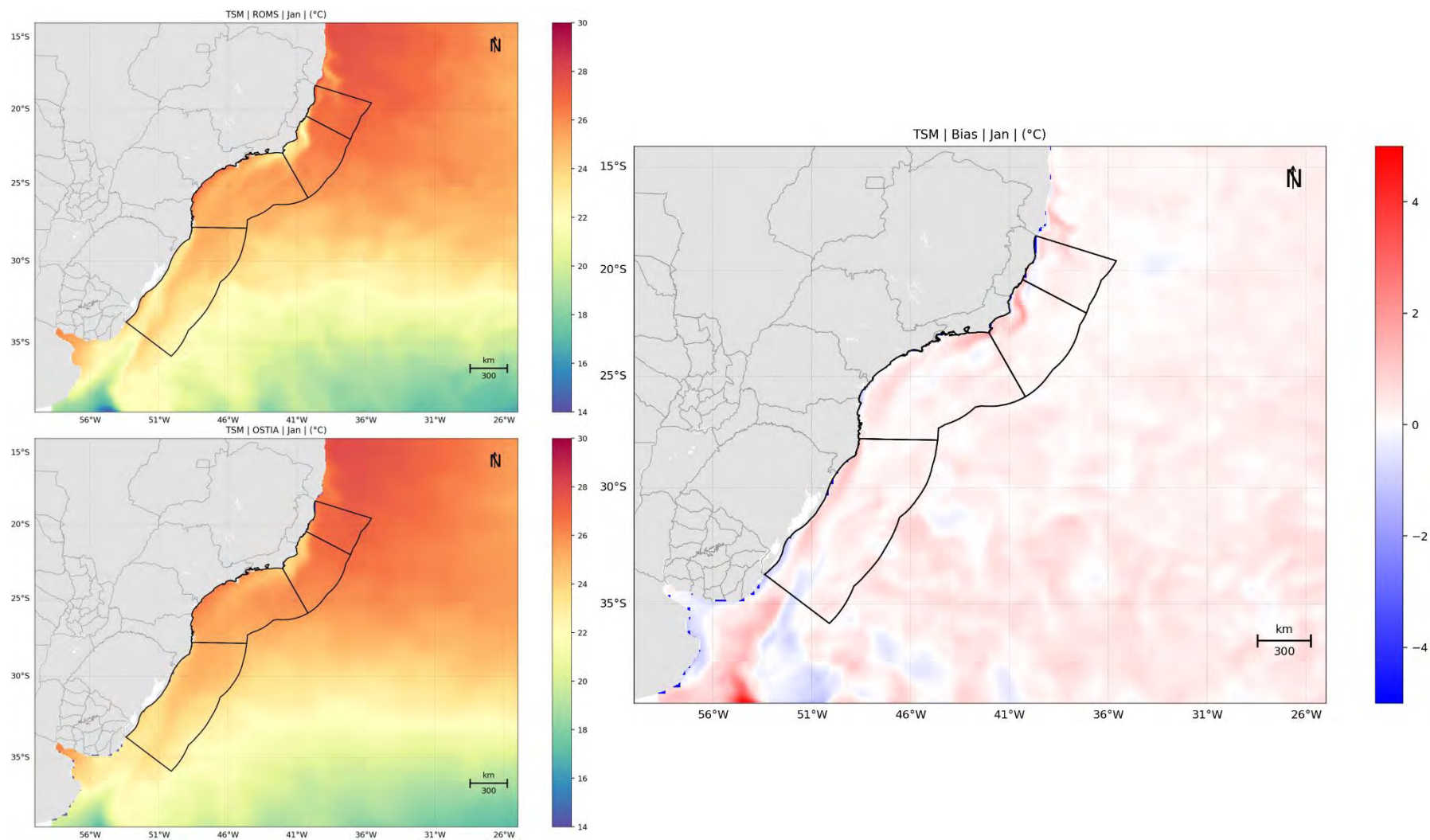


Figura 114: TSM média de janeiro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).



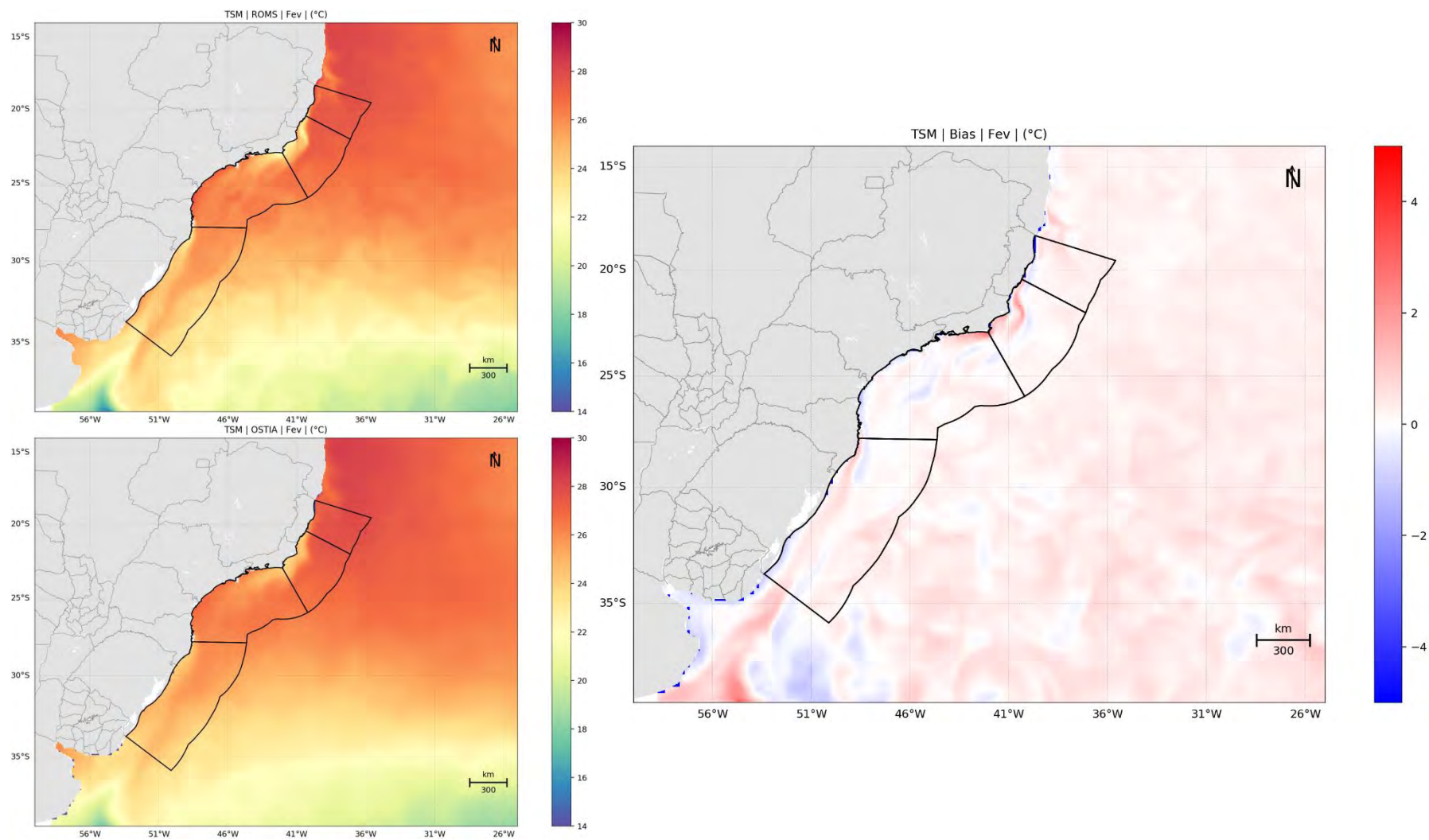


Figura 115: TSM média de fevereiro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).



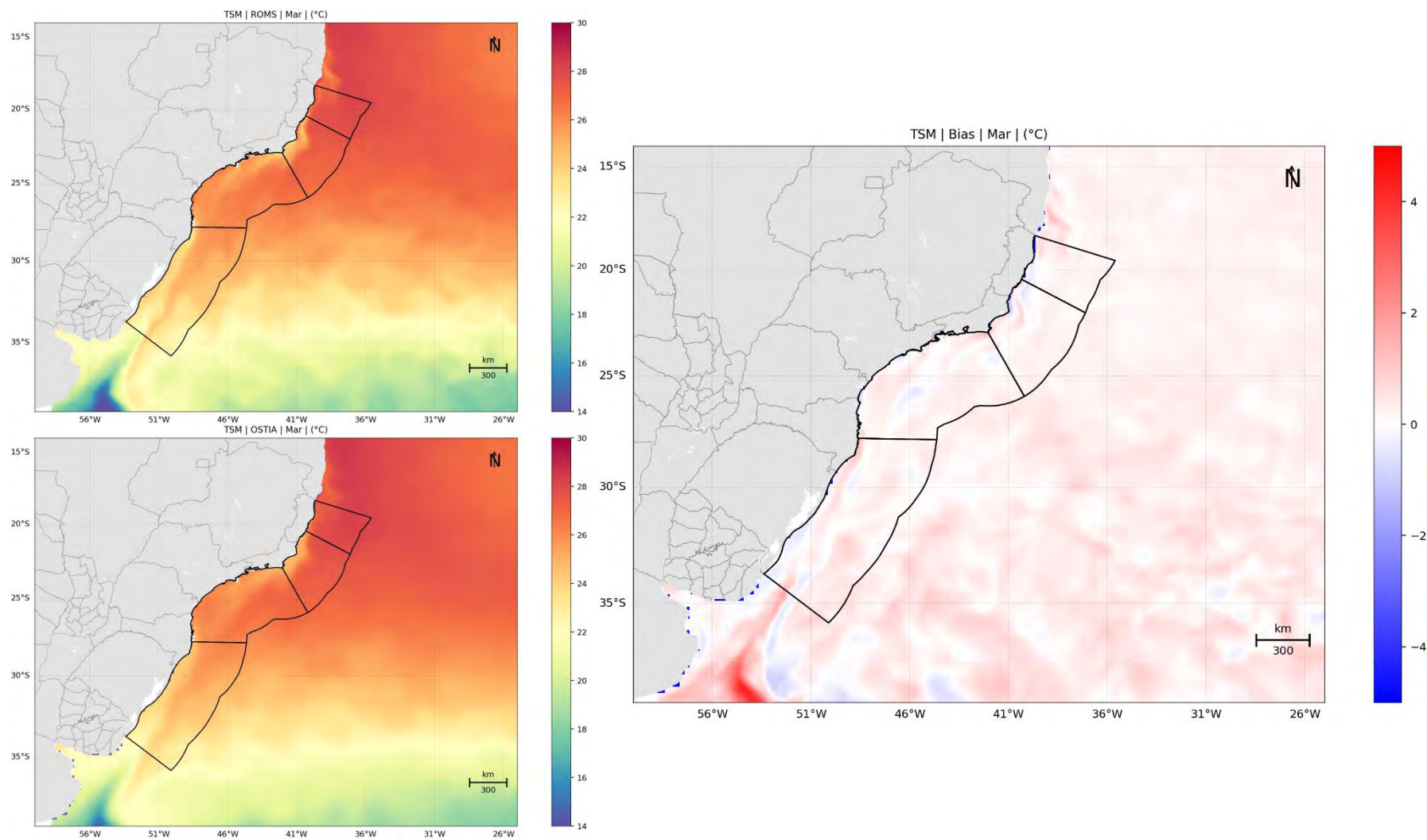


Figura 116: TSM média de março (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).

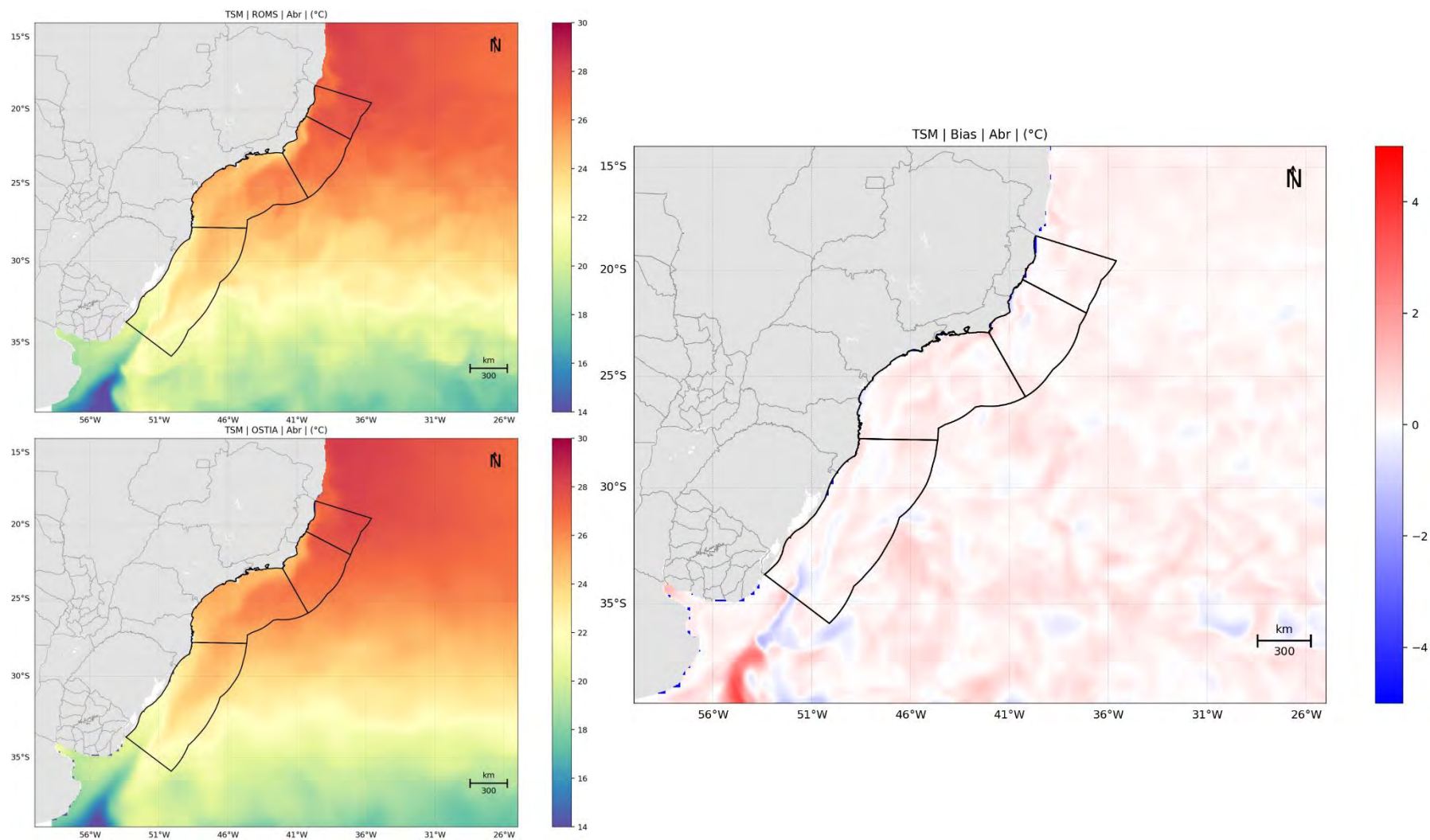


Figura 117: TSM média de abril (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).

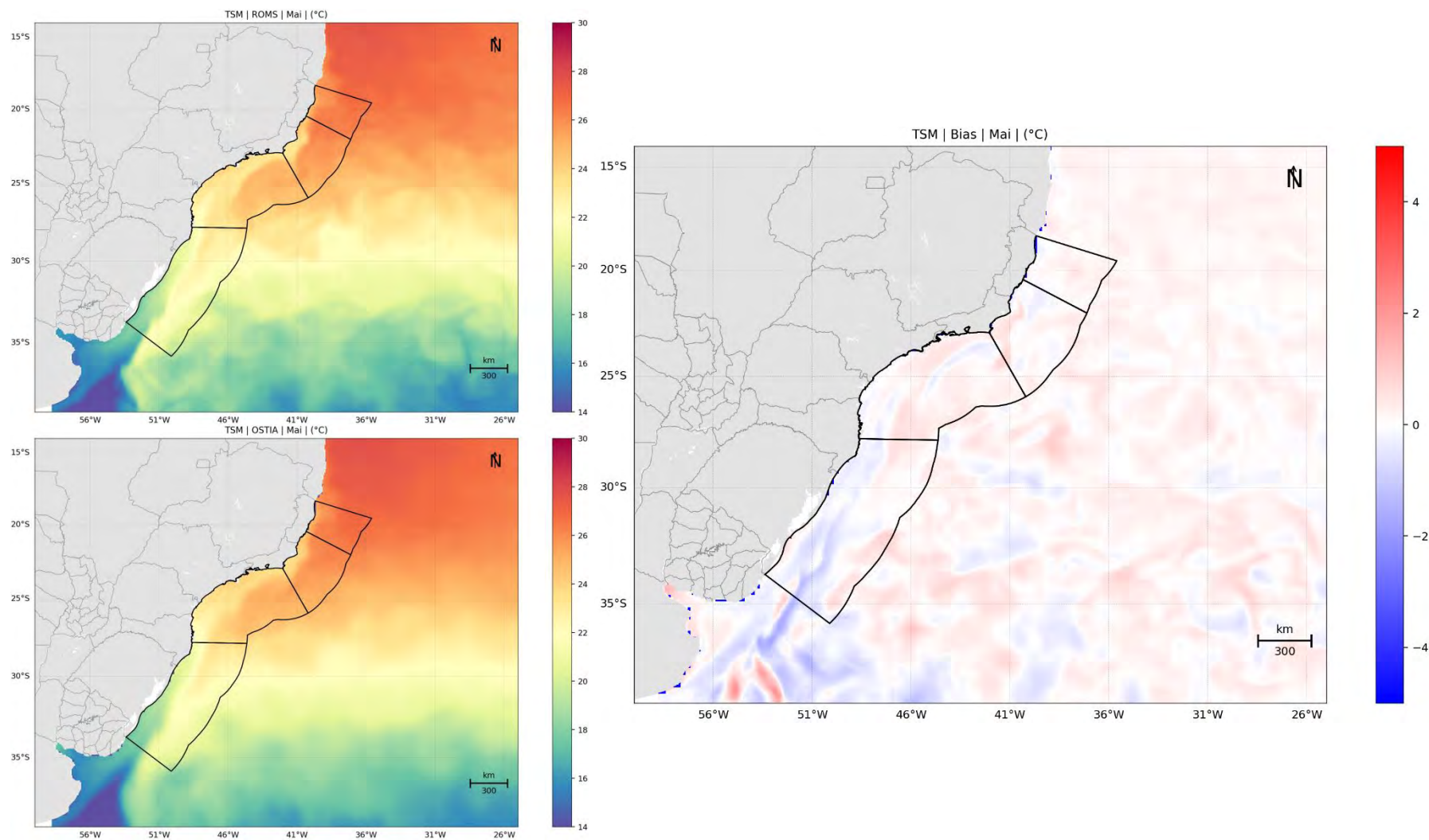


Figura 118: TSM média de maio (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).



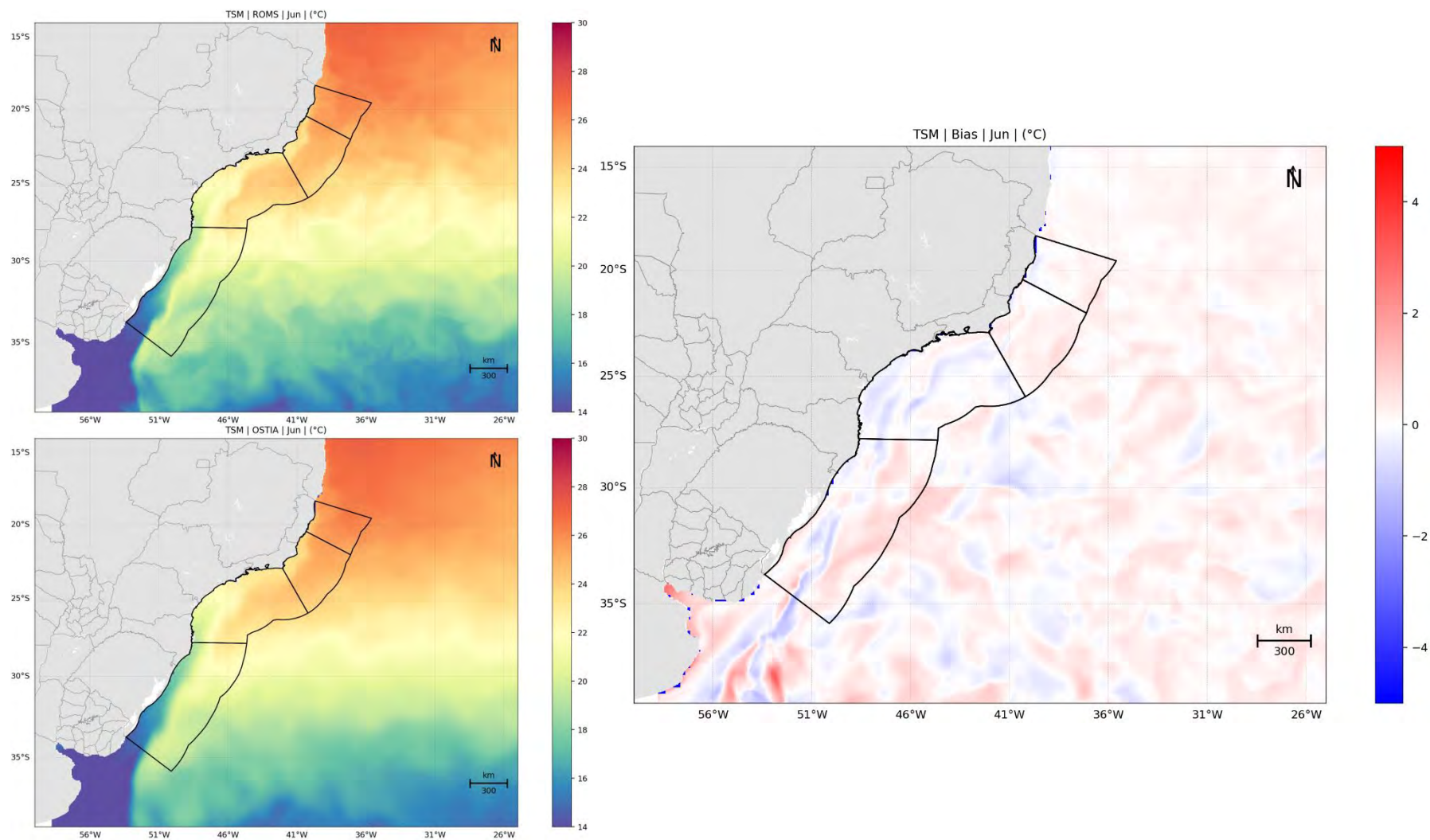


Figura 119: TSM média de junho (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).

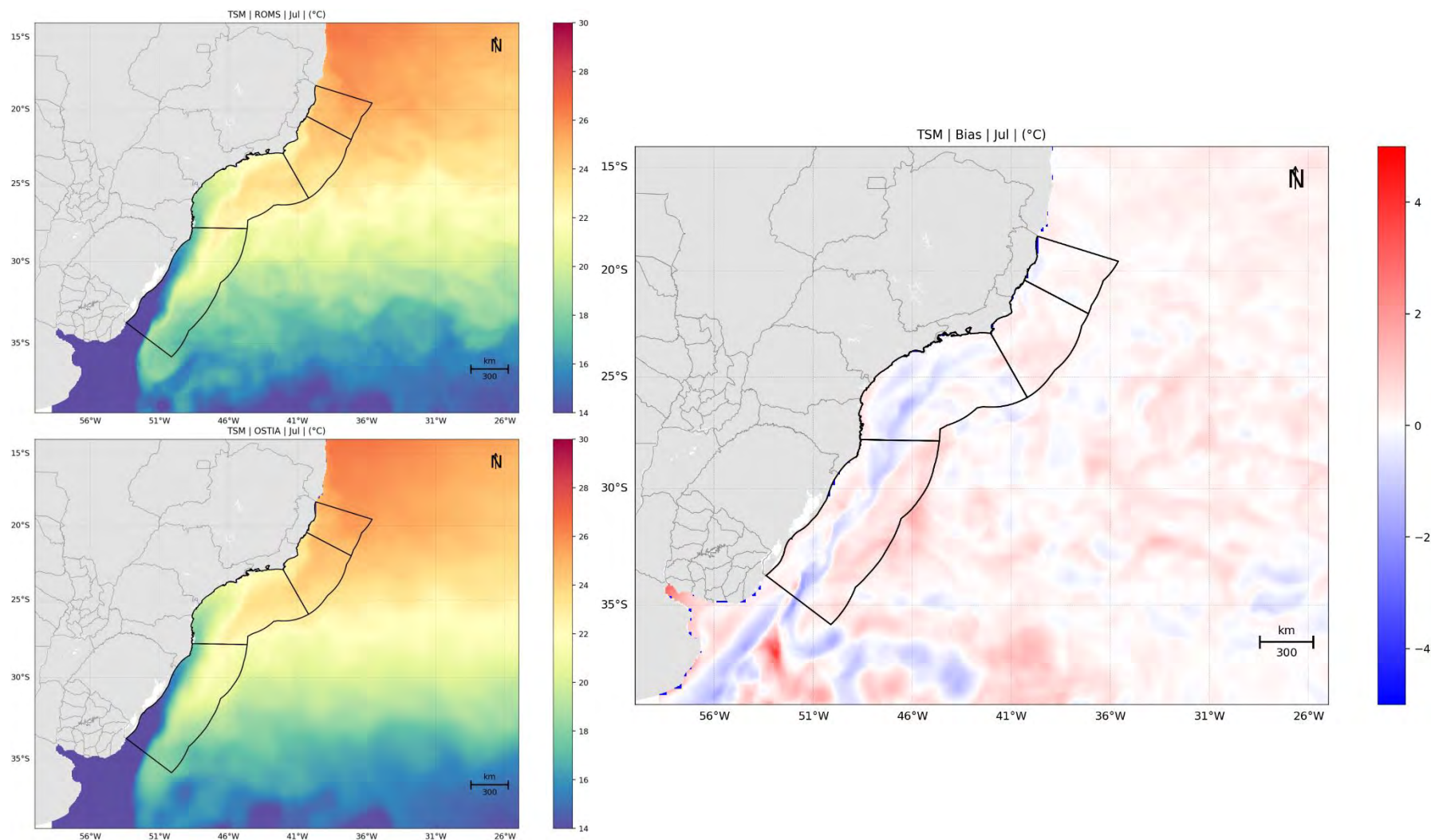


Figura 120: TSM média de julho (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).



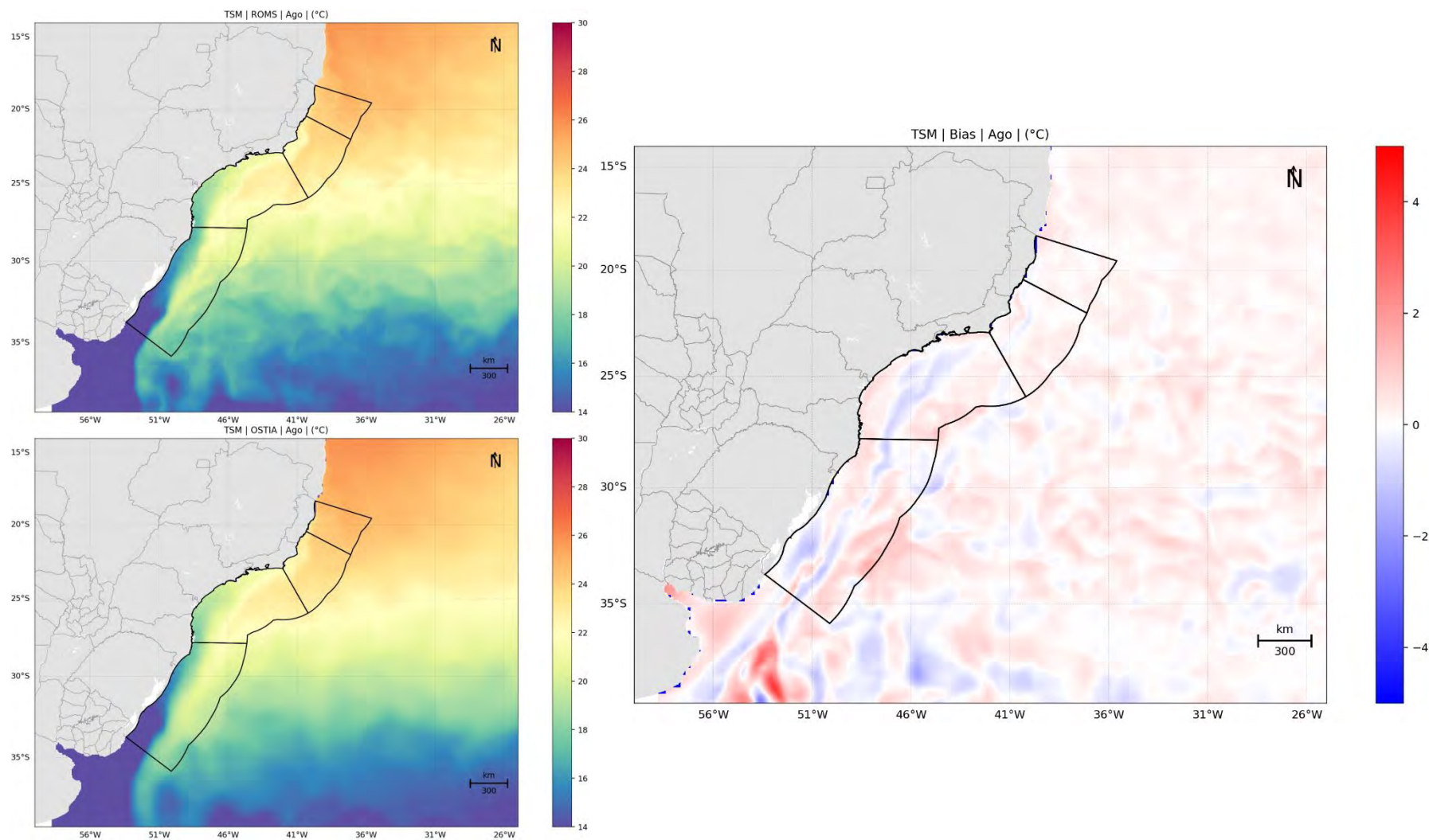


Figura 121: TSM média de agosto (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).

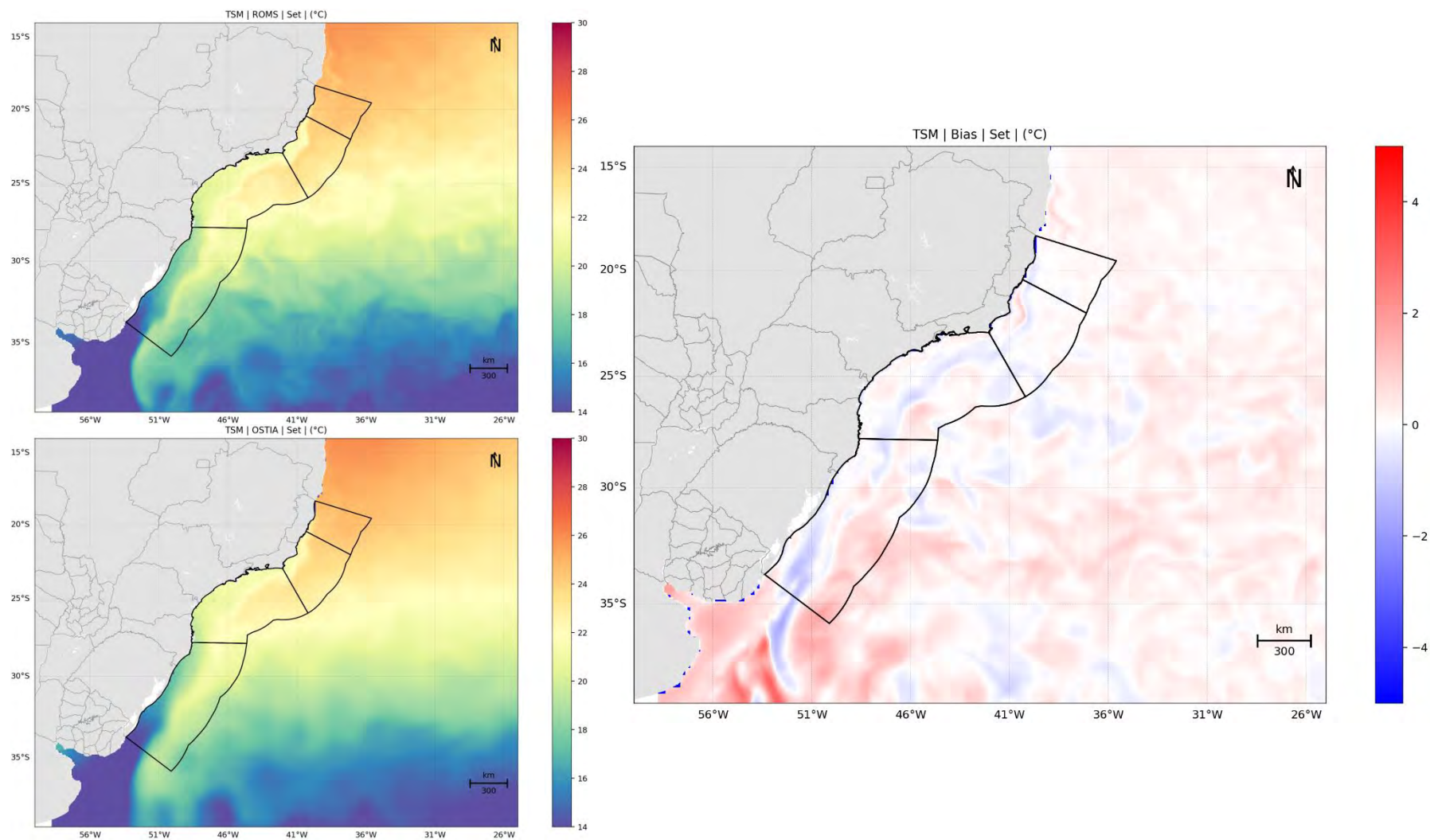


Figura 122: TSM média de setembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).

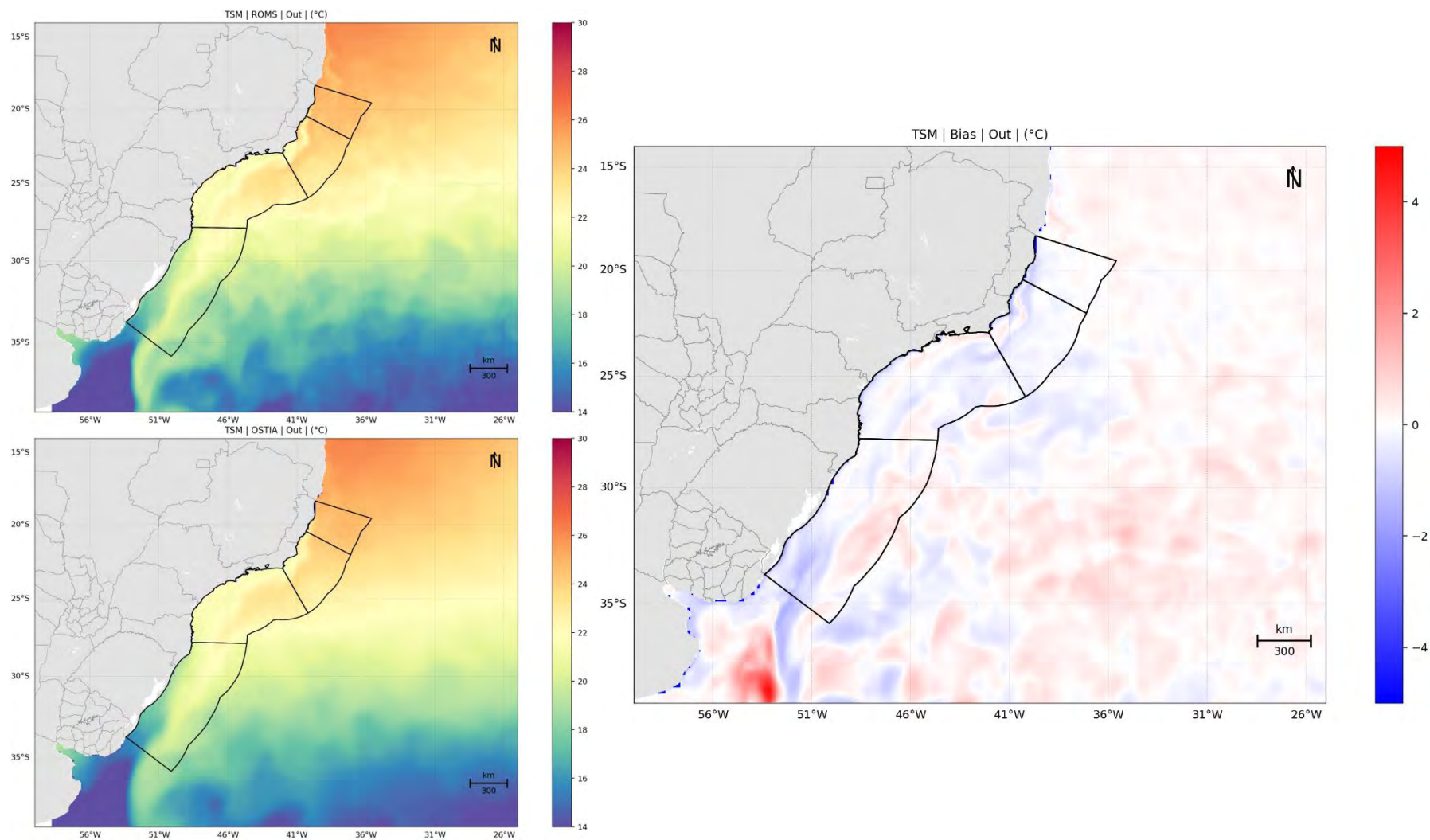


Figura 123: TSM média de outubro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).



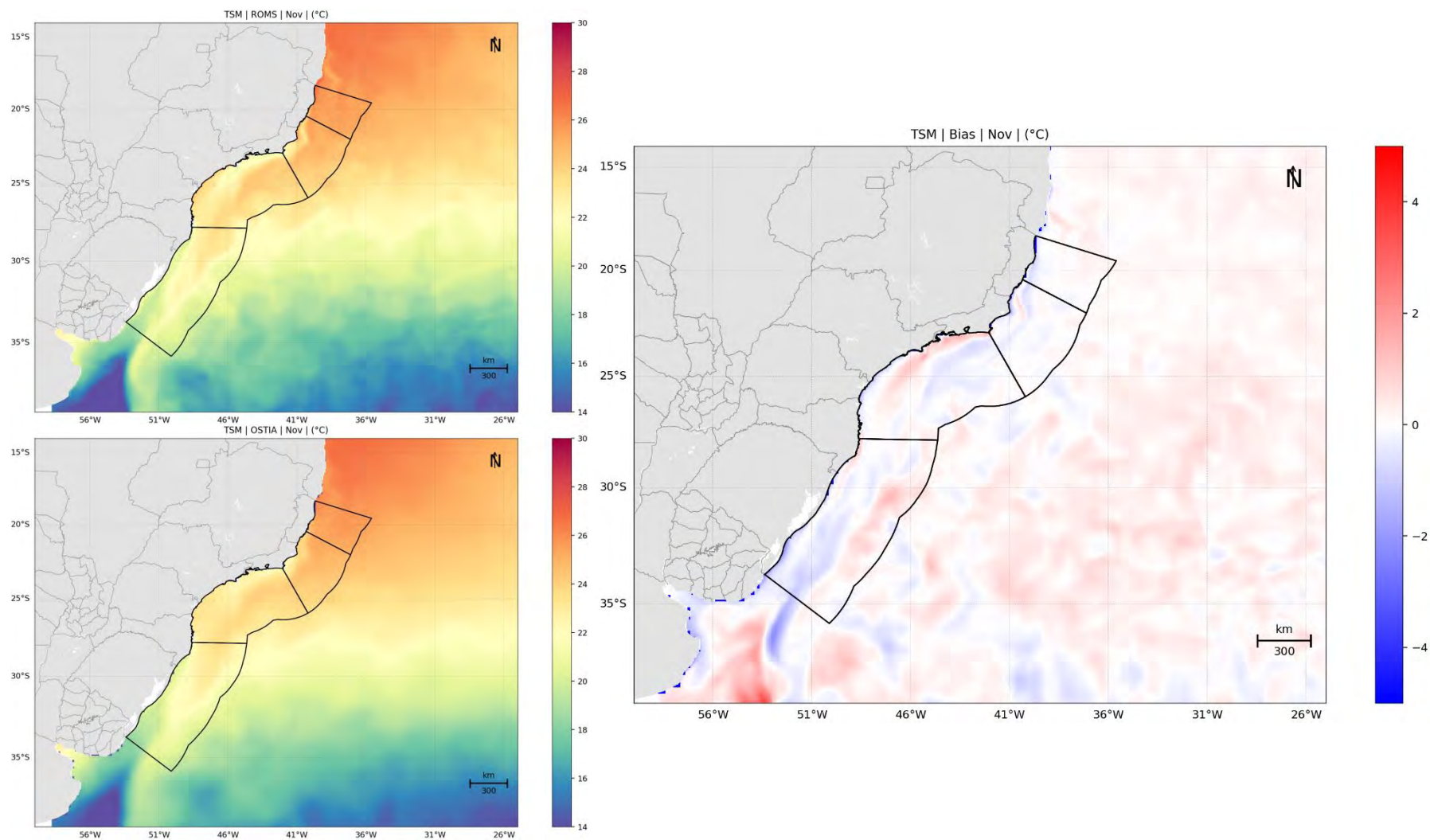


Figura 124: TSM média de novembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).

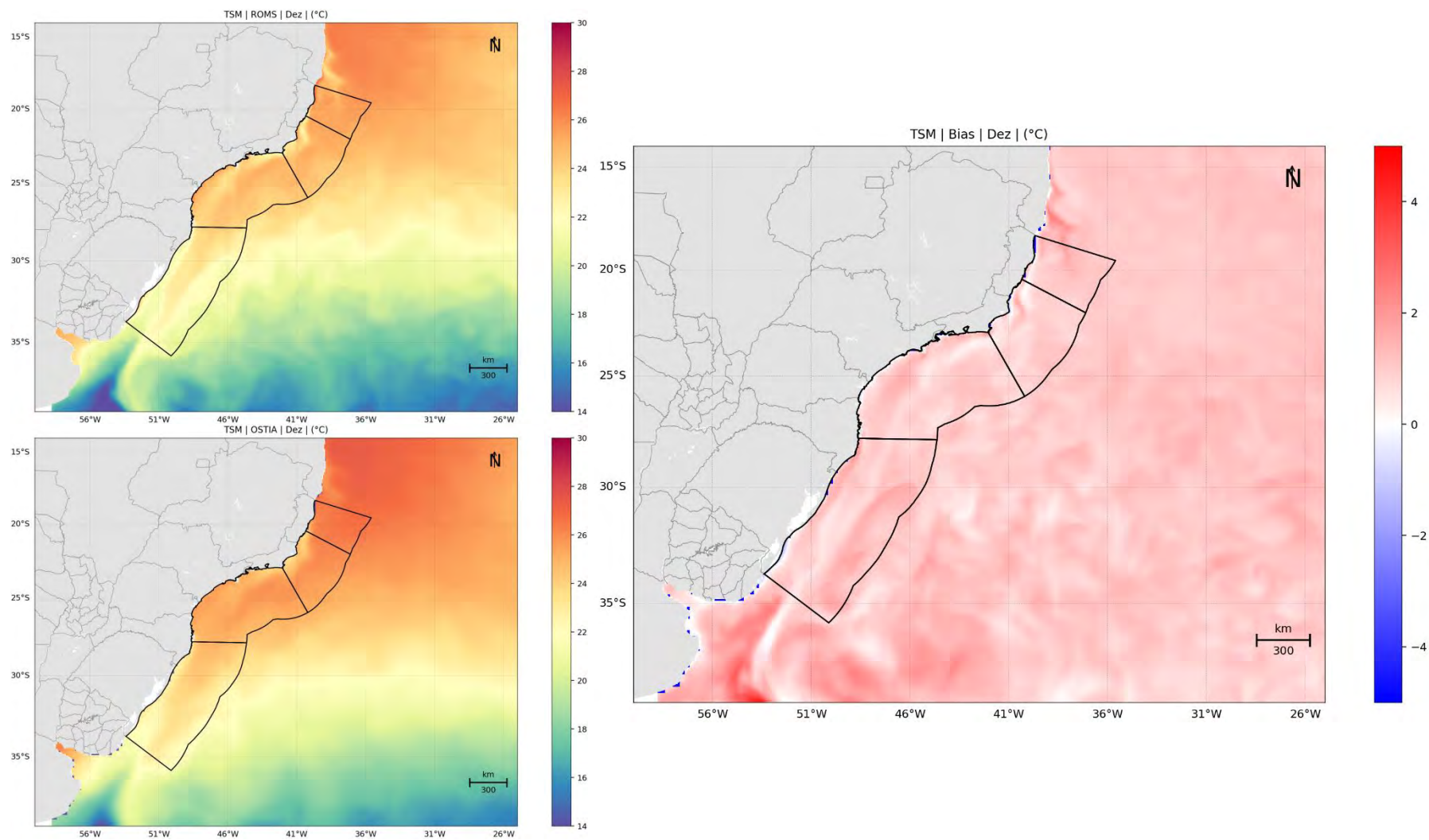


Figura 125: TSM média de dezembro (à esquerda) dos resultados obtidos do ROMS (superior) e os dados do OSTIA (inferior) e o campo de *bias* (Dado – Modelo).



Em geral, verifica-se que os padrões da TSM foram bem representados pelo ROMS. A boa representação do campo de temperatura superficial do modelo é um excelente indicador da capacidade do modelo em representar a dinâmica da região, visto que a distribuição espacial da temperatura é influenciada pela advecção das correntes.

Devido à maior resolução, verifica-se que o modelo apresenta maior detalhamento nas feições e uma melhor representação de feições costeiras como por exemplo a ressurgência que ocorre na região de Campos e Arraial do Cabo (RJ). Destaca-se a boa representação da sazonalidade da TSM e a representação da intrusão de água mais fria pela plataforma continental nos meses de inverno. Esta intrusão demonstra a capacidade do modelo de representar a Corrente Costeira do Brasil (CCB) que, através de sucessivos pulsos forçados principalmente pela passagem de sistemas frontais (frentes frias), gera uma corrente residual, sazonal, com direção nordeste, que transporta água fria e rica em nutrientes desde 38°S até 24°S (MENDONÇA et al. 2016; SOUZA & ROBINSON, 2004).

No que tange o *bias*, observa-se que entre dezembro e abril há uma baixa ( $<1^{\circ}\text{C}$ ) subestimação do modelo nas bacias de estudo, enquanto entre os meses de maio e agosto há variações de  $1^{\circ}\text{C}$  entre subestimação e superestimação nas bacias de Pelotas e de Santos. Nos meses seguintes, setembro a novembro, essas variações de sub e superestimação se estendem até as bacias de Campos e do Espírito Santo, com valores entre  $-1^{\circ}\text{C}$  e  $+1^{\circ}\text{C}$ .

Para além dos campos de TSM, foram feitas análises de *bias* considerando três pontos distintos e apresentados na Figura 91. Os valores mínimos, médios e máximos do *bias* em cada um são apresentados na Tabela 7.

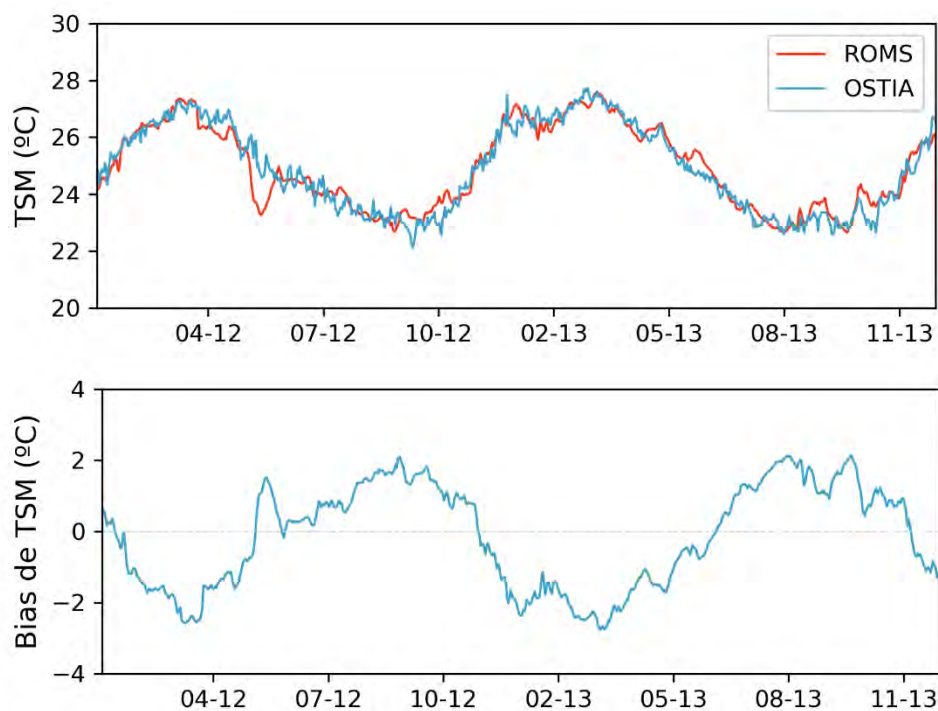


Figura 126: Série de TSM do OSTIA e do ROMS e do *bias* (dado – modelo) no Ponto 1, na Bacia de Santos.

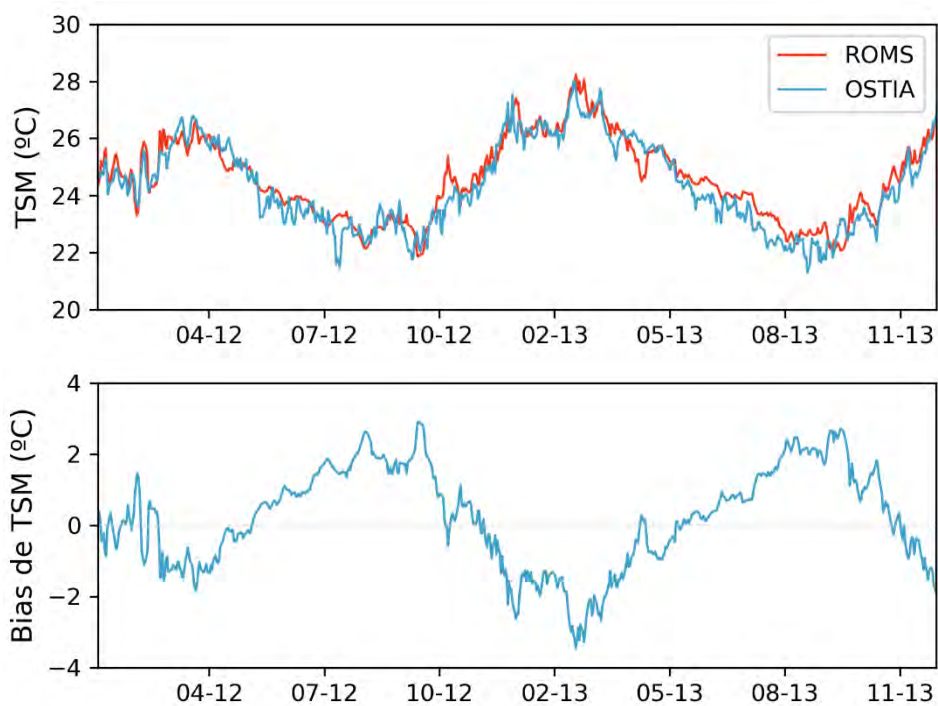


Figura 127: Série de TSM do OSTIA e do ROMS e do *bias* (dado – modelo) no Ponto 2, na Bacia de Santos.

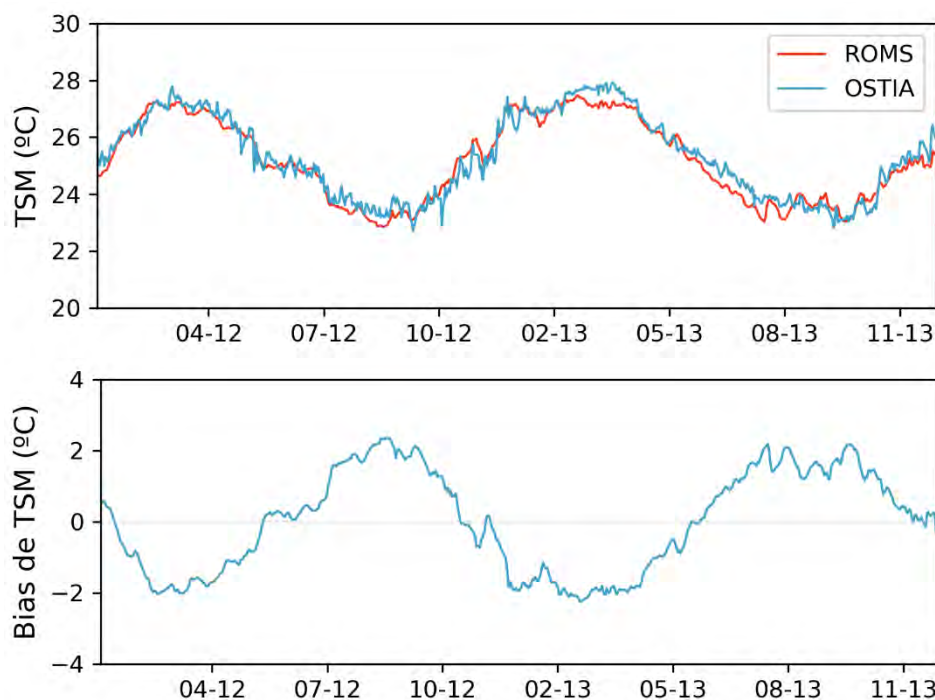


Figura 128: Série de TSM do OSTIA e do ROMS e do *bias* (dado – modelo) no Ponto 3, na Bacia de Campos.

Tabela 7: Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo.

Ponto	Mínimo	Médio	Máximo
1 – Bacia de Santos	-2,77	-0,11	2,13
2 – Bacia de Santos	-3,45	0,21	2,92
3 – Bacia de Campos	-2,25	0,01	2,36

De forma geral, observa-se que há uma variação sazonal do *bias*. Para o Ponto 1 se observa que a TSM é subestimada pelo modelo entre junho e novembro e superestimada entre dezembro e maio, conforme observado nos campos superficiais mensais. A variação do bias fica principalmente entre -2°C e +2°C, com média de -0,1°C. Esta variação é coerente se considerarmos as variações de *bias* do modelo usado como condição inicial e condição de contorno (LELLOUCHE *et al.*, 2019).

Para o Ponto 2, também localizado na Bacia de Santos, a variação do *bias* é um pouco maior e a média é positiva, de 0,21 °C. No entanto, o comportamento sazonal é semelhante. Já para o ponto localizado na Bacia de Campos, os valores mínimo e máximo são antagonicamente parecidos, resultando em uma média de *bias* menor que nos outros dois pontos, 0,01°C.

### 8.3. Estrutura Termohalina

Para avaliar a representação da estrutura vertical de temperatura e salinidade, na região de interesse, foram utilizados os dados da climatologia WOA13 V2 (*World Ocean Atlas 13 version 2*) do *National Oceanographic Data Center* (NODC).

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA13 consistem da análise objetiva dos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos, em navios de pesquisa e de oportunidade. Esta análise objetiva utiliza dados irregularmente espaçados, gerando uma grade global regularmente espaçada, disponível em 5°, 1° e 0,25°. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 102 profundidades padrão, desde a superfície até 5.500 m de profundidade. Temporalmente, esta climatologia consiste na média realizada para o período compreendido entre os anos de 1773 e 2013, mas principalmente a partir de 1955. Os dados da climatologia WOA13 podem ser obtidos através da sua página na internet (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>). Maiores informações sobre a bases climatológicas do WOA13 podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2013) e Zweng *et al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos para 12 pontos distribuídos ao longo das bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas, conforme apresentado na Figura 129. Os 12 pontos foram distribuídos de forma a cobrir a plataforma continental, talude e bacia oceânica de cada uma das bacias sedimentares. A grade de 1° do WOA13-V2 foi escolhida para que a quantidade de observações utilizada na geração da média climatológica fosse mais significativa, aumentando a confiabilidade da faixa de variabilidade das variáveis analisadas.

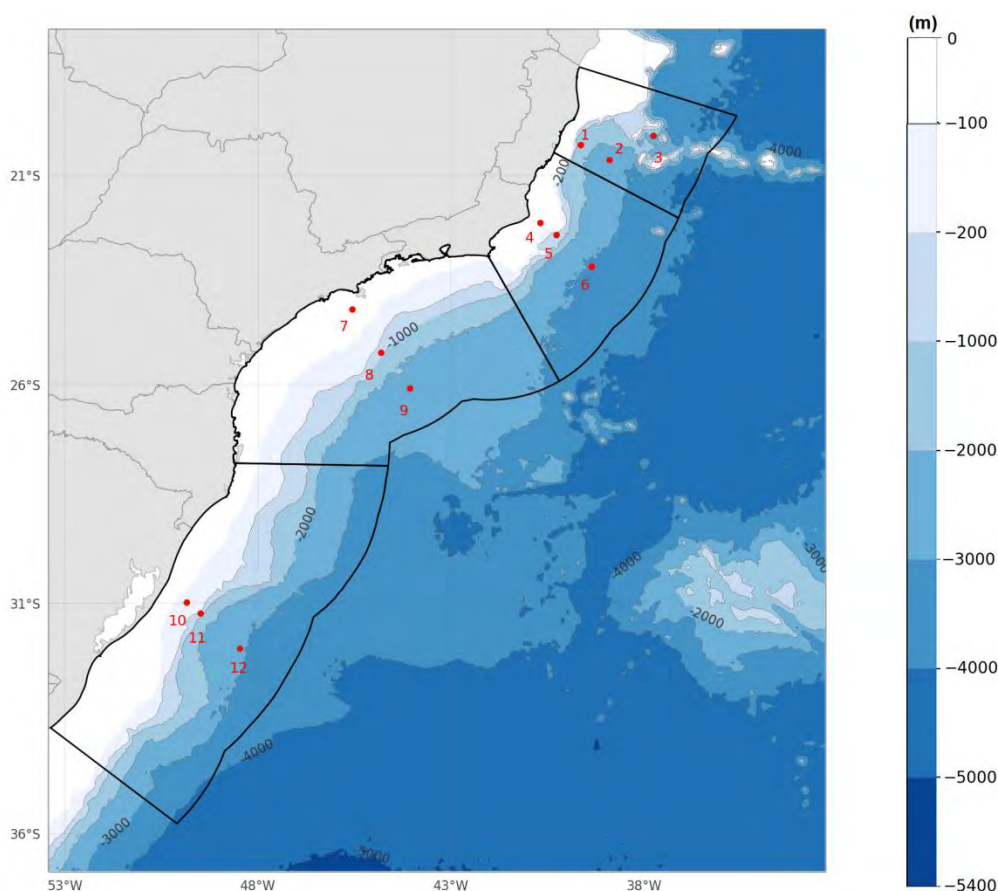


Figura 129: Localização dos pontos de grade do ROMS utilizados para as comparações com o WOA.

Abaixo, da Figura 130 a Figura 153, apresenta-se o número de observações para cada um dos pontos de grade do WOA13 V2 ao longo da coluna d'água, e as faixas de ocorrência<sup>1</sup> 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 ao longo de todo domínio e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água as faixas de ocorrência são muito similares. Os valores de *bias* médios de salinidade e temperatura não indicam uma clara tendência do modelo, com pontos com subestimação como pontos com superestimação, contudo, sempre com valores pequenos ( $\pm 1^\circ\text{C}$  e  $\pm 0,2$  psu). Com essa compatibilidade de valores, mostra-se que houve uma boa representação da posição média das massas d'água no domínio de modelagem.

<sup>1</sup> 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.



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 1/16°.

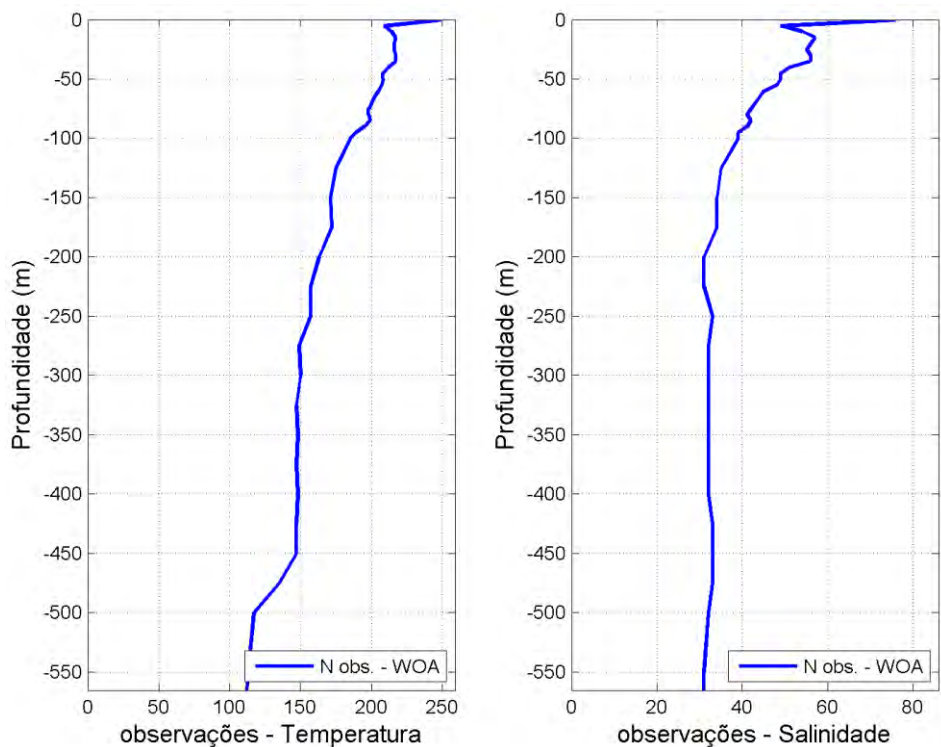


Figura 130: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 1.

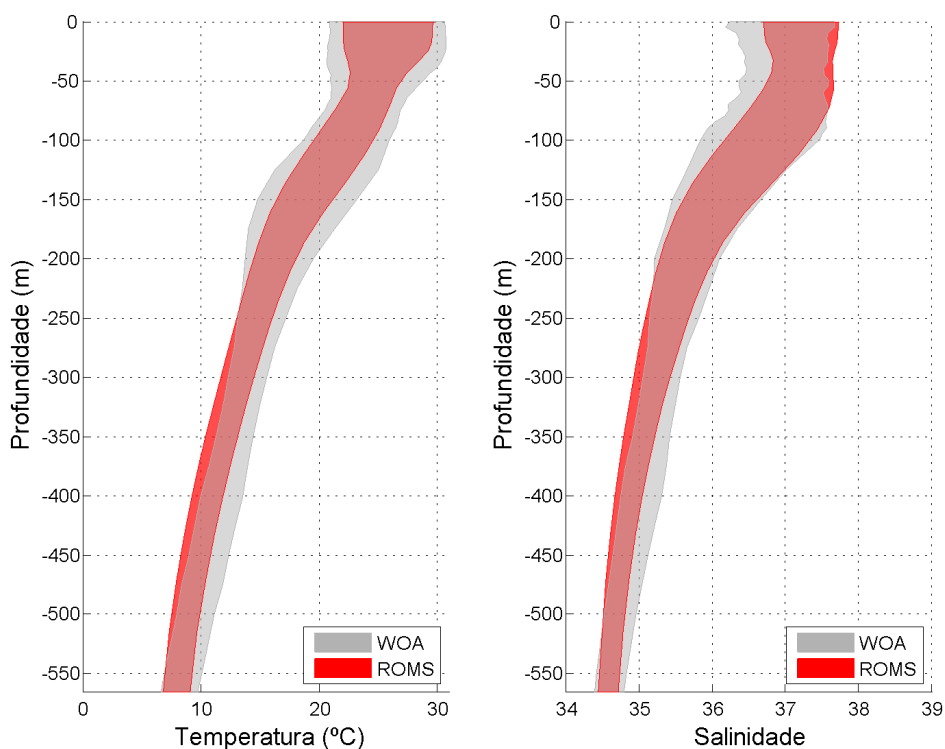


Figura 131: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 1.

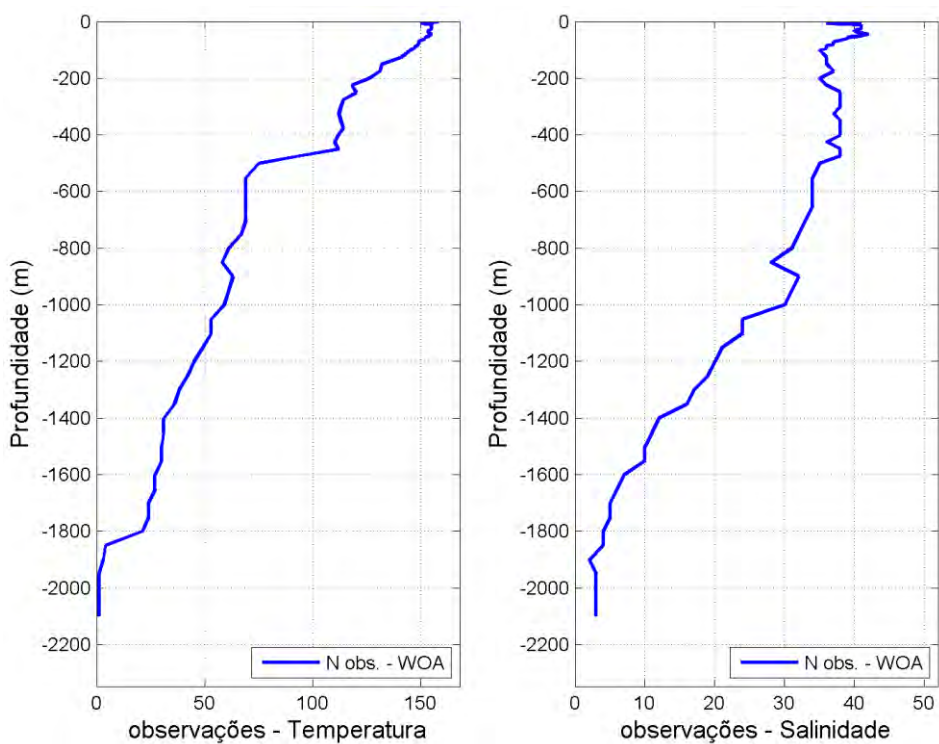


Figura 132: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 2.

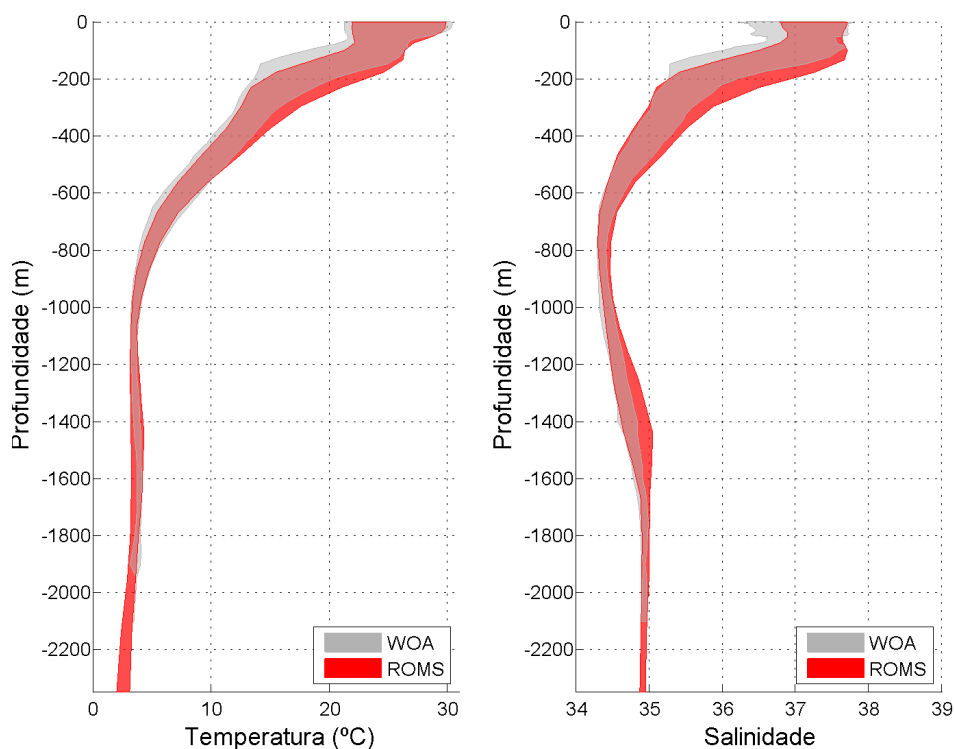


Figura 133: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 2.

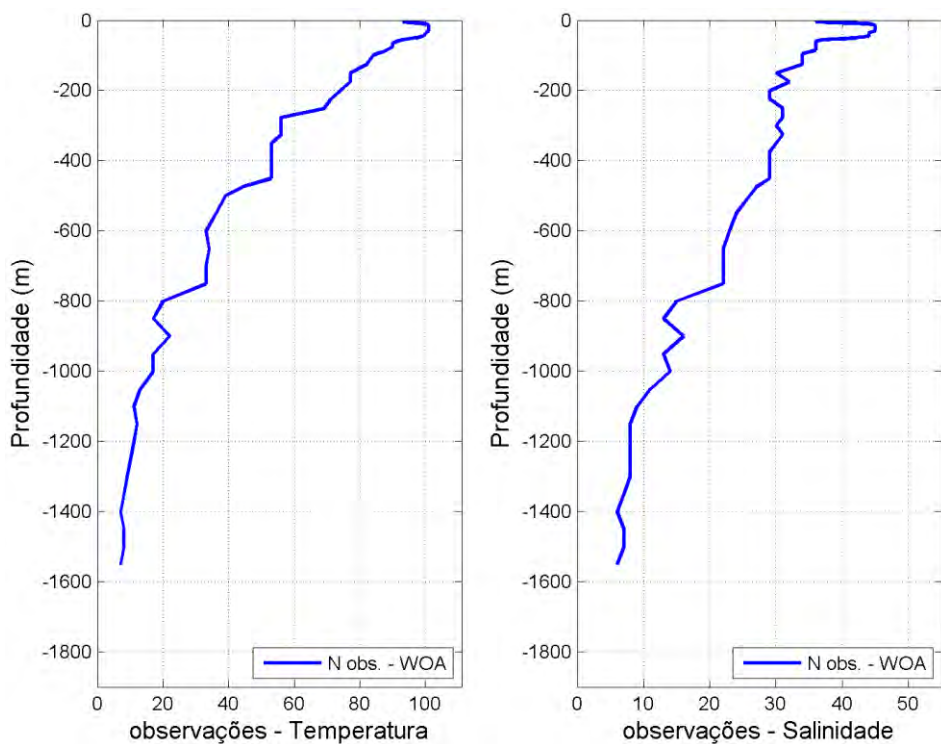


Figura 134: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 3.

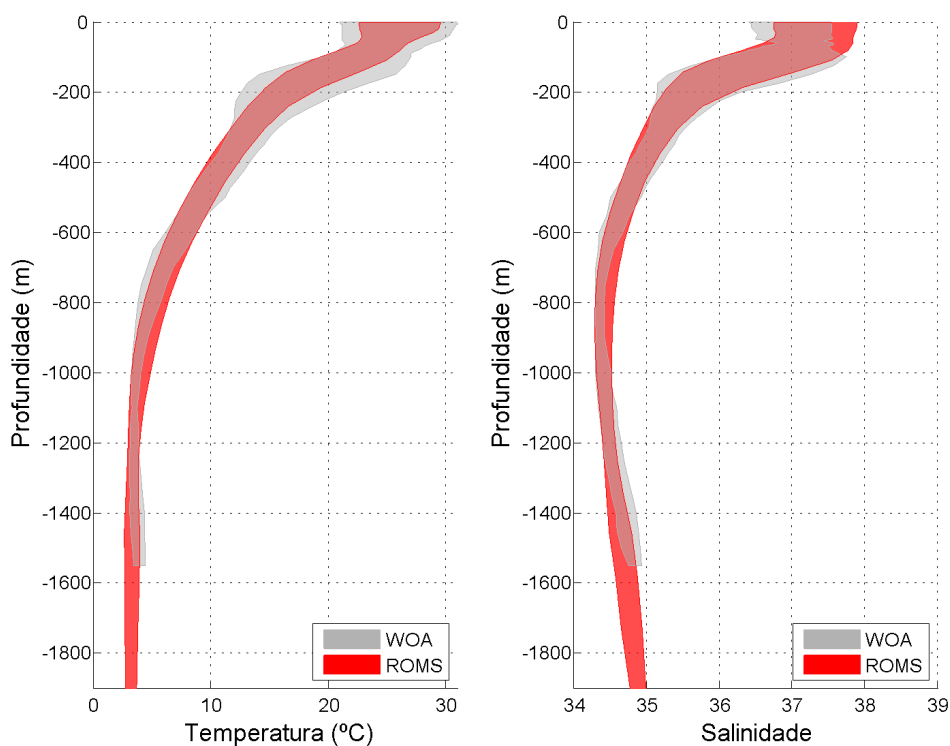


Figura 135: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 3.

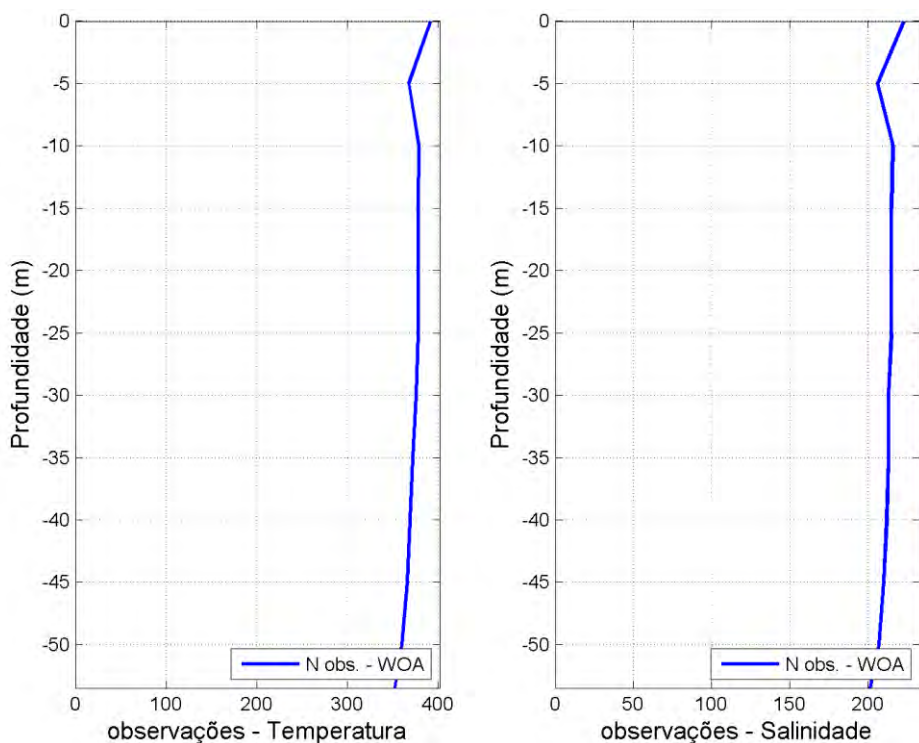


Figura 136: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 4.

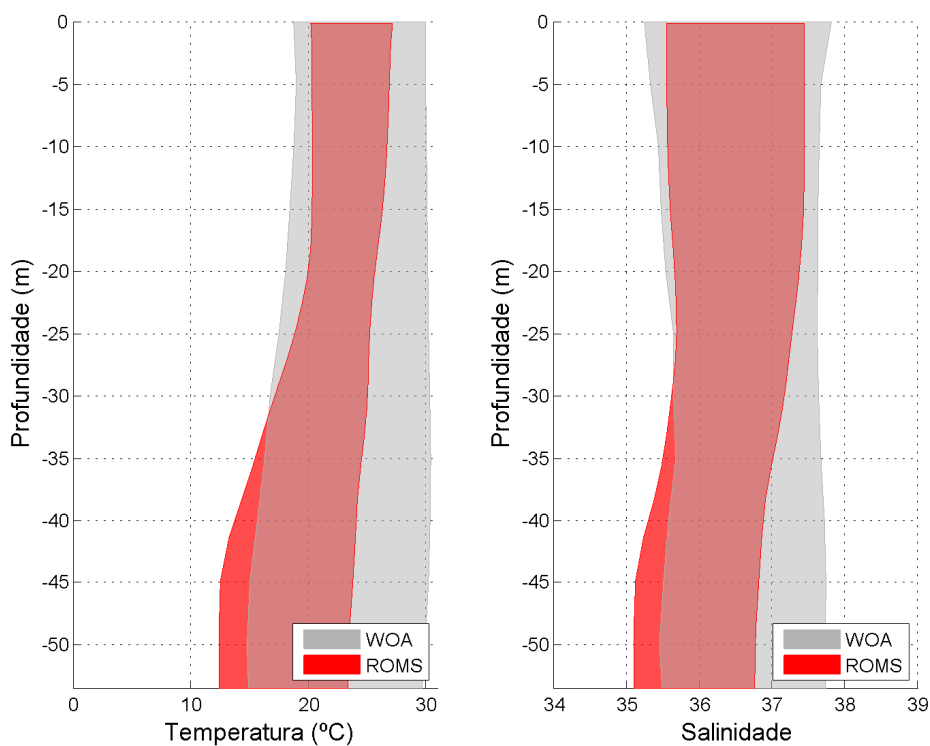


Figura 137: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 4.

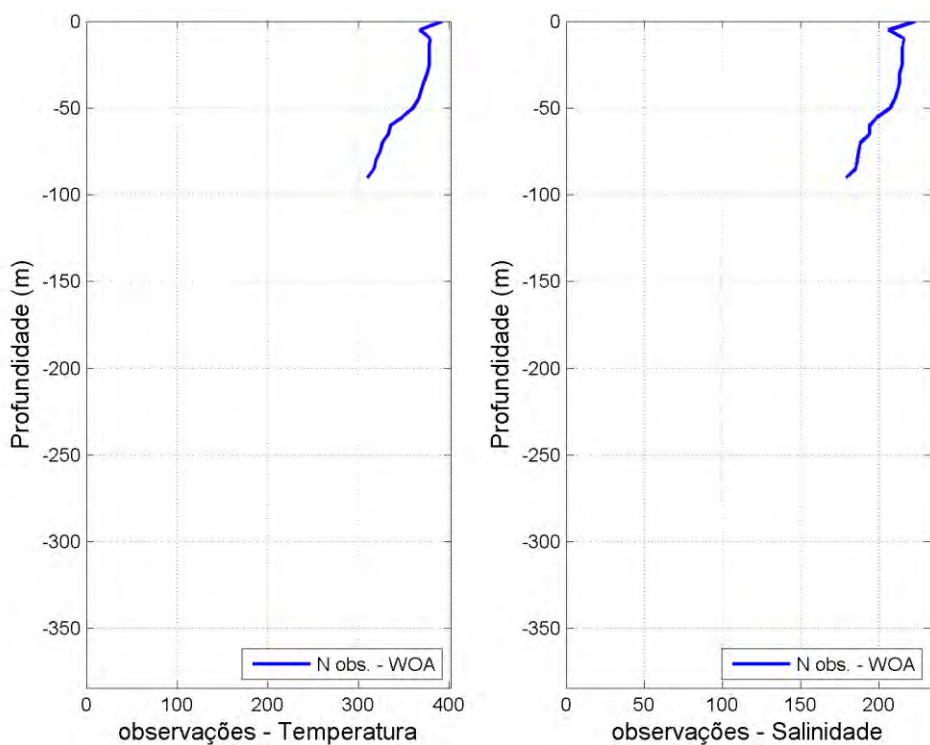


Figura 138: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 5.



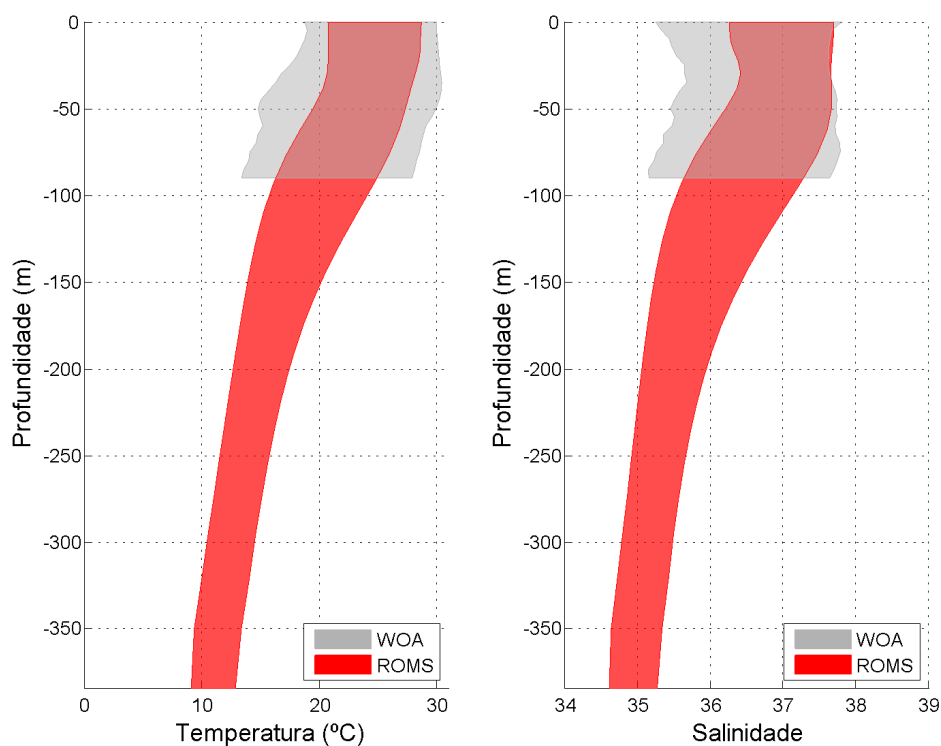


Figura 139: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 5.

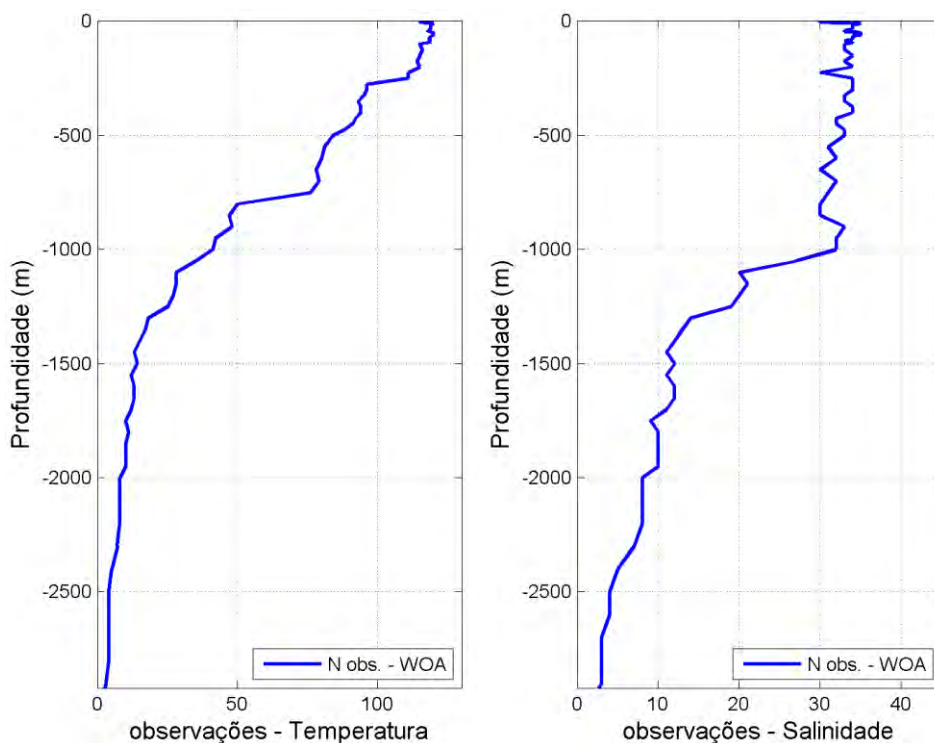


Figura 140: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 6.

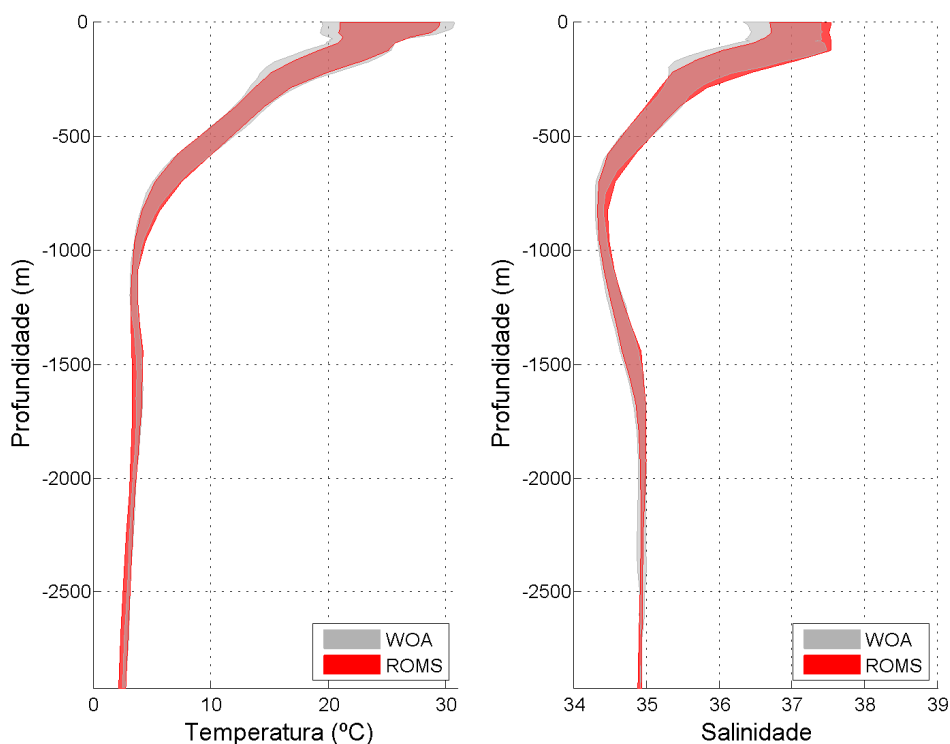


Figura 141: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 6.

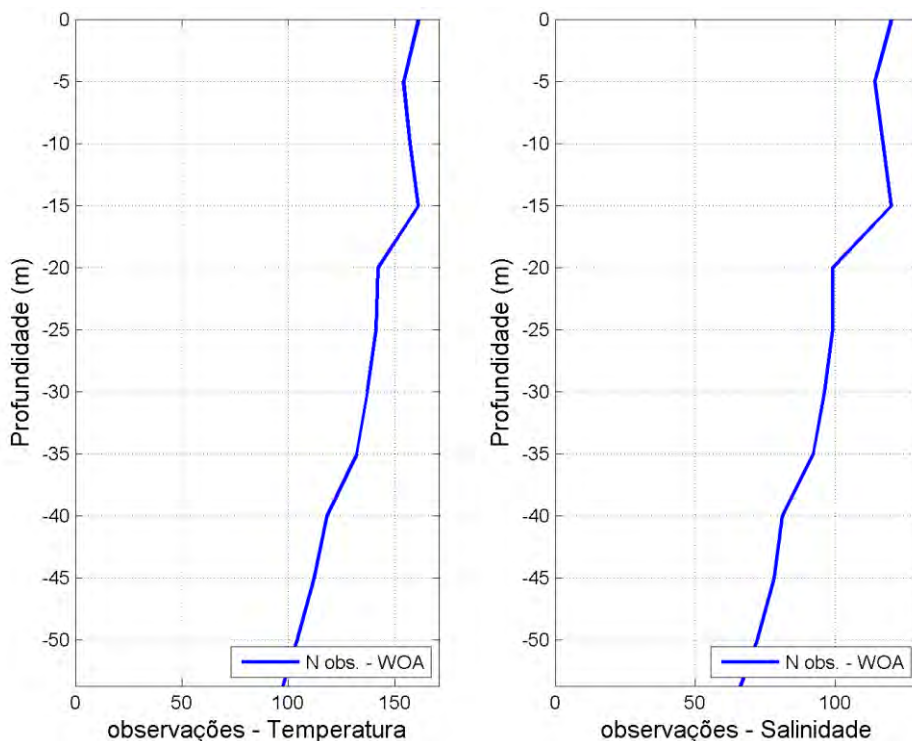


Figura 142: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 7.

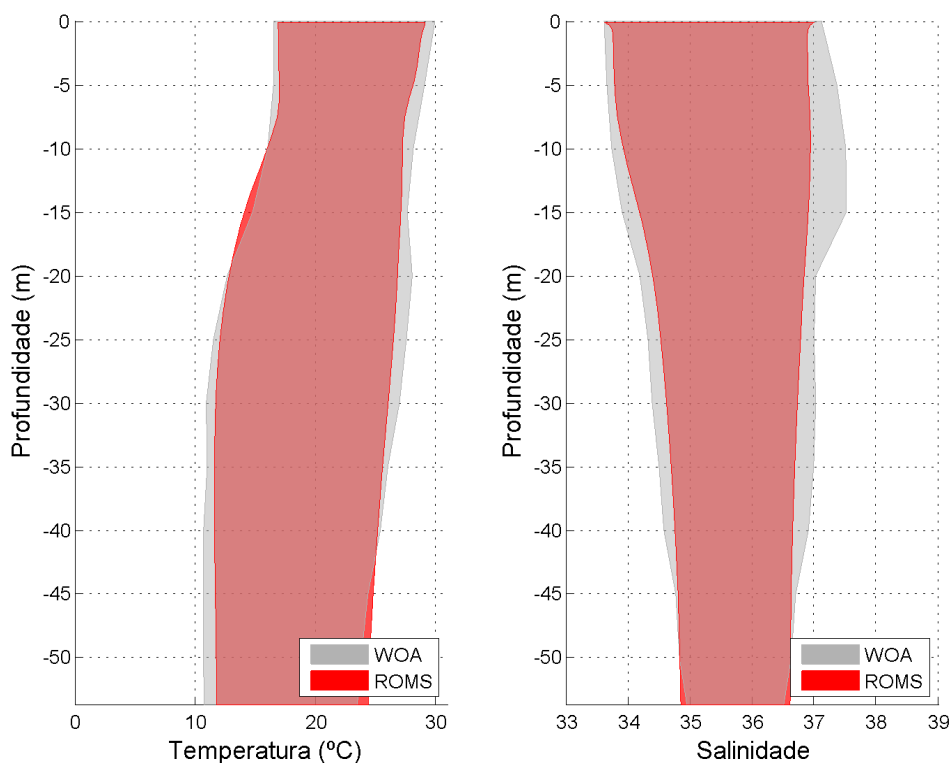


Figura 143: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 7.

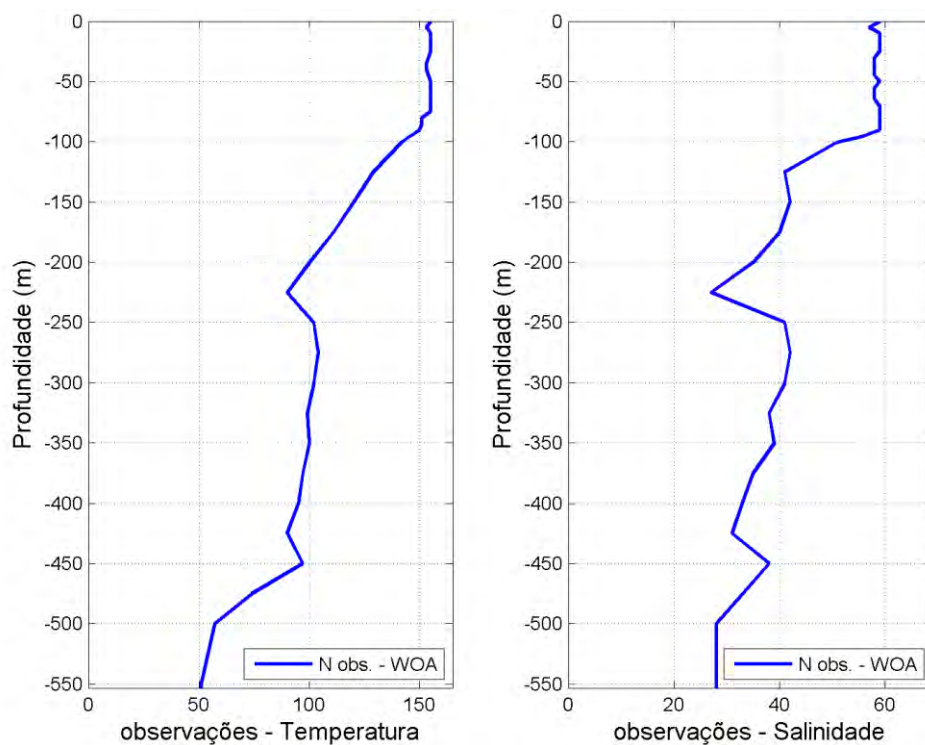


Figura 144: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 8.

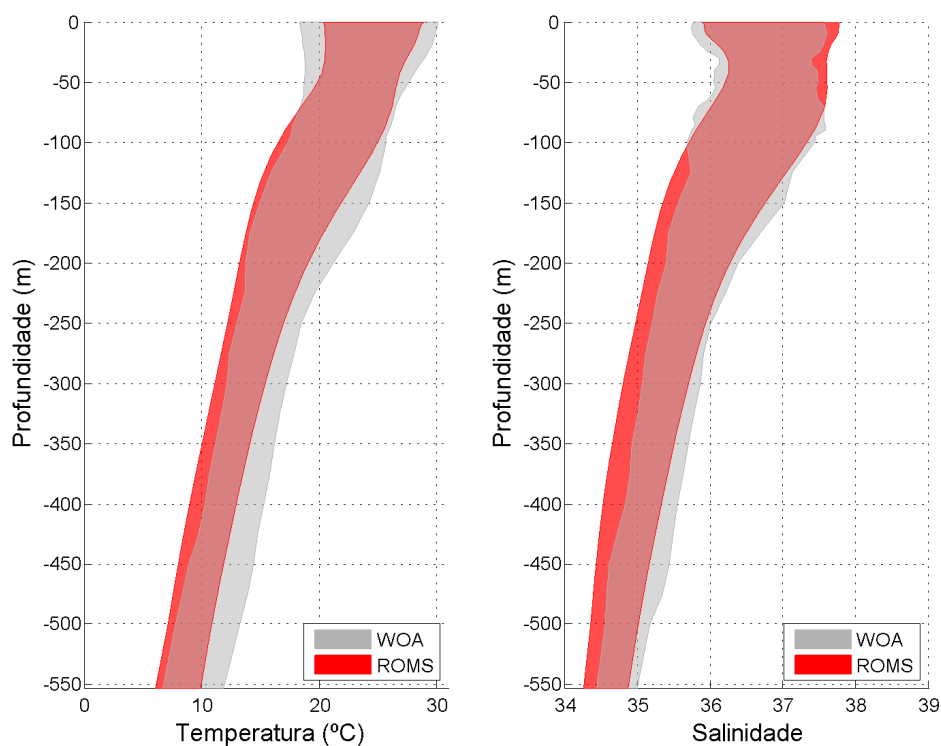


Figura 145: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 8.

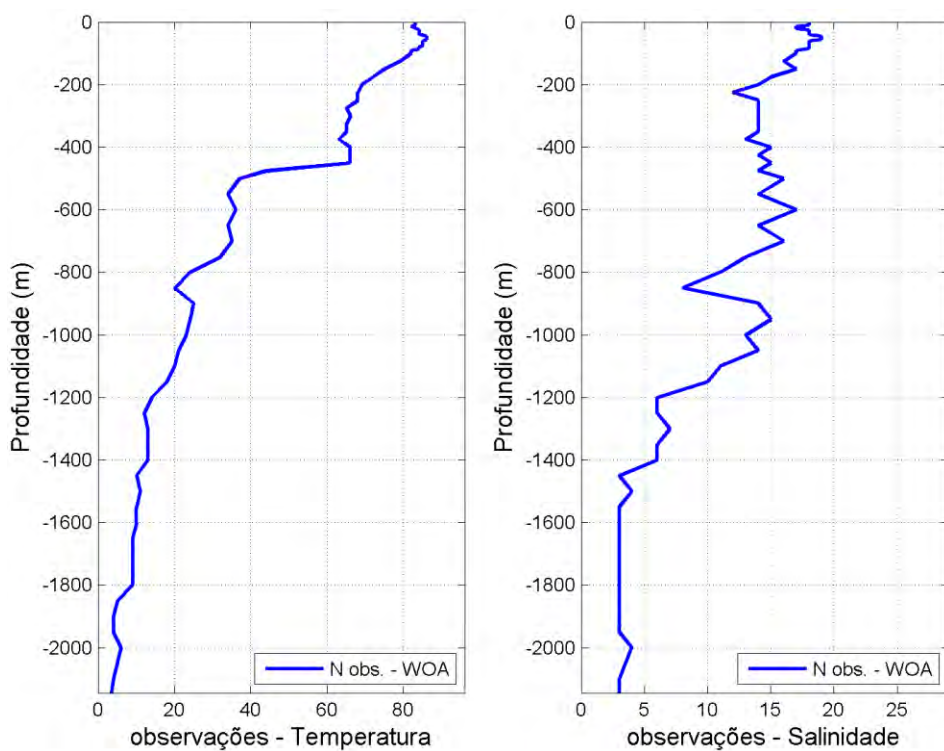


Figura 146: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 9.

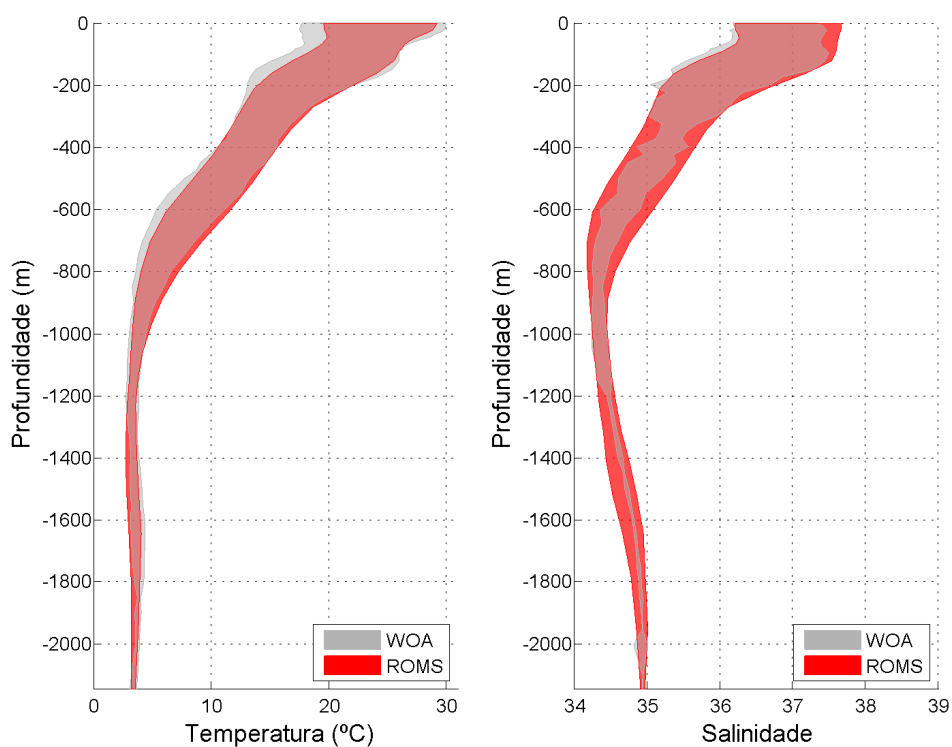


Figura 147: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 9.

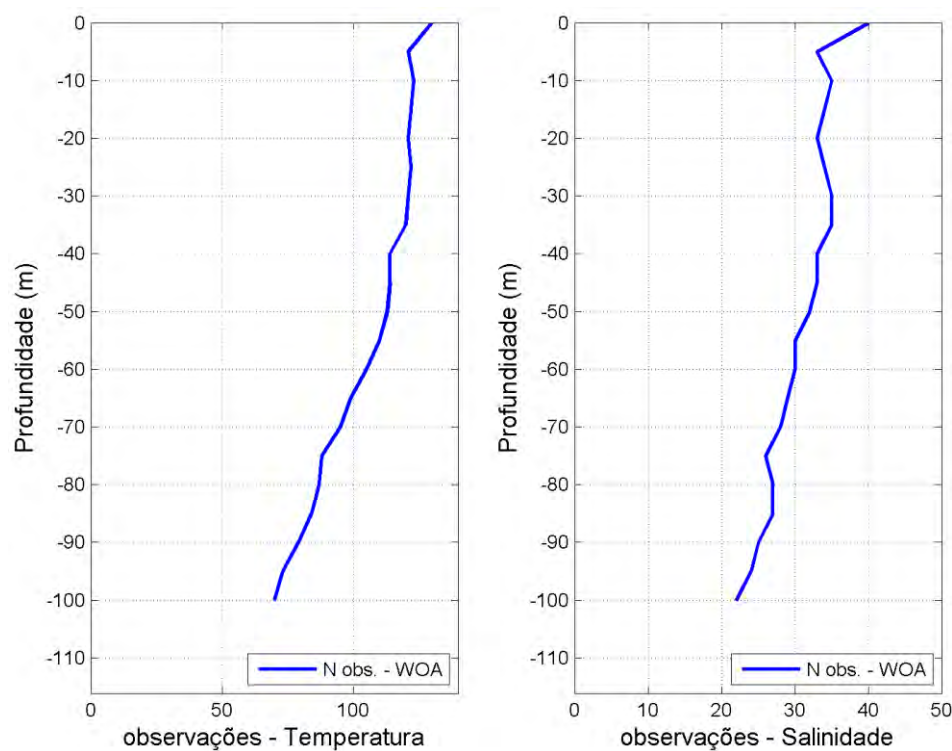


Figura 148: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 10.



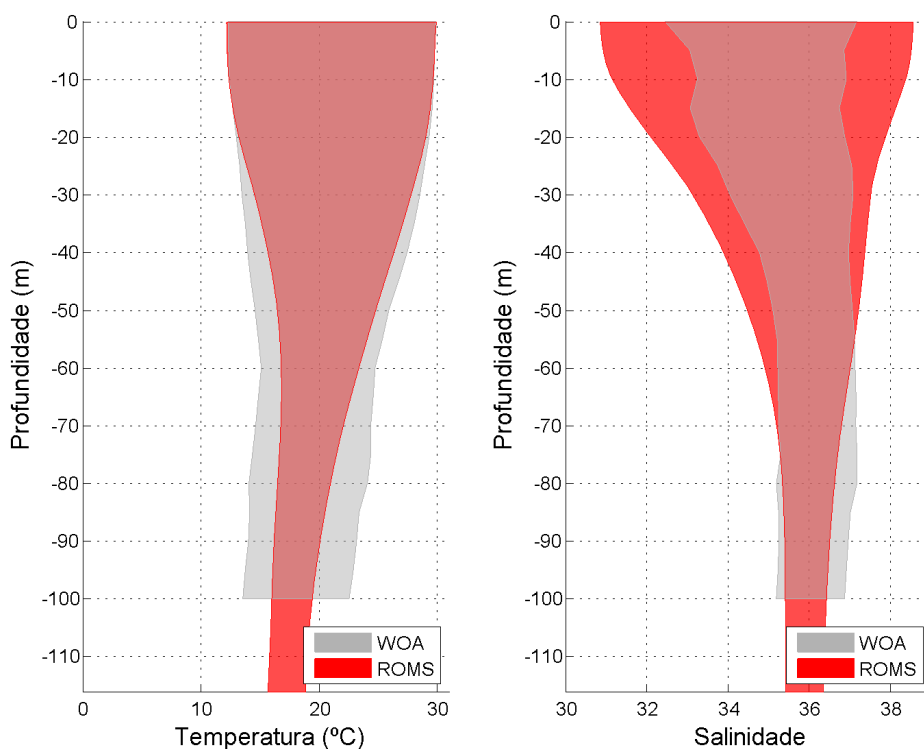


Figura 149: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 10.

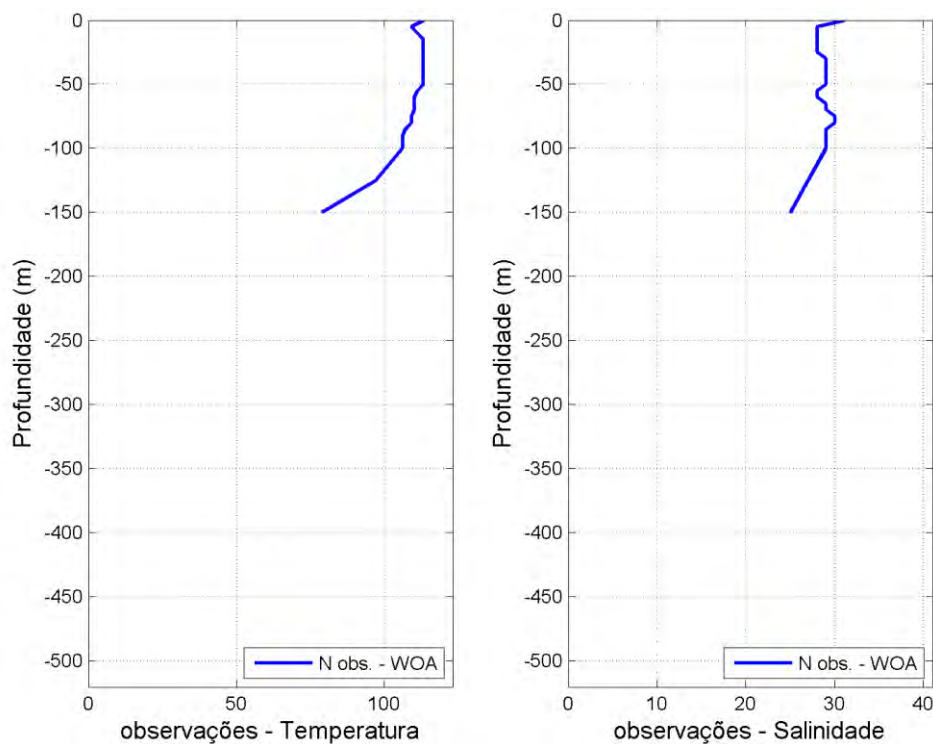


Figura 150: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 11.

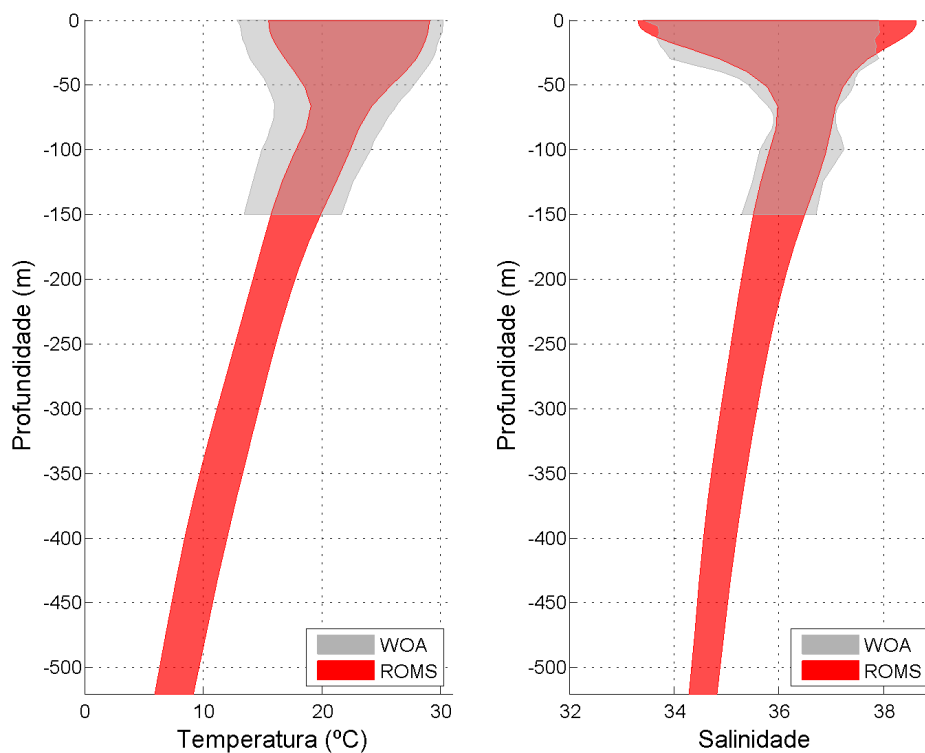


Figura 151: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 11.

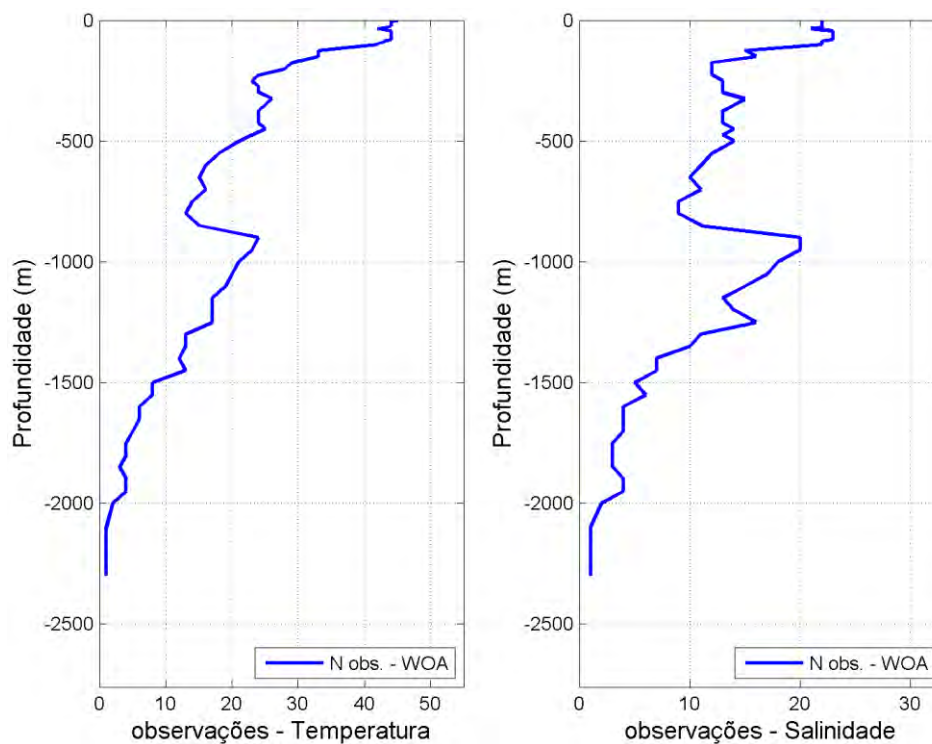


Figura 152: Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13 V2 ao longo das profundidades, para o ponto 12.

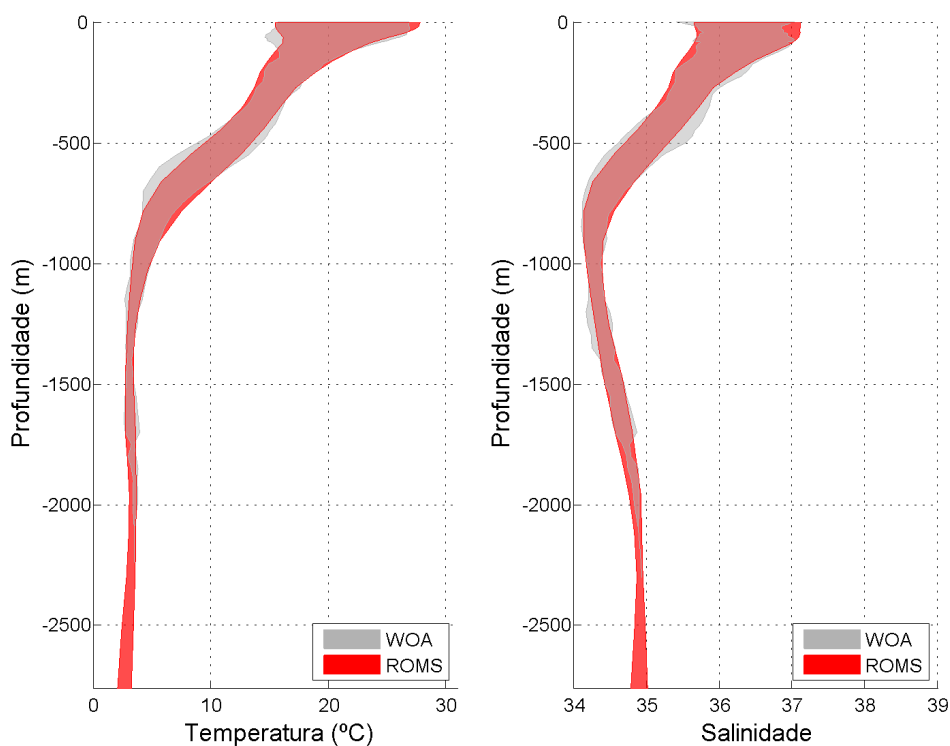


Figura 153: Faixa de ocorrência de 99,7% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) para o ponto 12.

Tabela 8: Valores de *bias* médio anual de temperatura e salinidade para os 12 pontos selecionados no domínio.

Ponto	Bias de temperatura (°C)	Bias de salinidade
1	0,40	-0,07
2	-0,41	-0,12
3	0,24	-0,04
4	2,46	0,28
5	-0,55	-0,29
6	-0,07	-0,07
7	0,01	0,07
8	0,72	0,04
9	-0,28	-0,05
10	0,03	0,20
11	-0,59	-0,11
12	-0,07	-0,002

Para avaliar estatisticamente a distribuição vertical de temperatura e salinidade, foram usados também perfis de temperatura e salinidade obtidos por gliders do Projeto Azul. Esse projeto

consistiu num sistema de observação oceânica para a Bacia de Santos nos moldes de sistemas similares ao redor do mundo e é fruto de uma parceria entre a BG BRASIL (atualmente SHELL), a PROOCEANO e a COPPE/UFRJ. Com esse intuito, ele utilizou uma sofisticada tecnologia de coleta, disponibilização de dados em tempo real, computadores de alto desempenho e uma equipe multidisciplinar.

*Gliders* são veículos autônomos submersíveis, relativamente pequenos, programáveis, reutilizáveis e com capacidade de acoplar múltiplos sensores (Figura 154). Esses equipamentos representam uma evolução no campo da oceanografia operacional, visto que permitem a obtenção em tempo quase real, contínua e persistente mesmo em condições de tempo muito ruins, de dados oceanográficos.

O glider pode operar de 50 a 1.000 m de profundidade e realiza, em média, oito perfis por dia, com autonomia de bateria para permanecer aproximadamente quatro meses operando. Através da sua hidrodinâmica e do controle de *roll*, *pitch* e flutuabilidade, o equipamento maneja sua trajetória na água - com limitações associadas à intensidade da corrente - como um planador, avançando até 6 km por mergulho e permitindo que o “piloto” em terra programe trajetórias ou até mesmo *moorings* virtuais (Figura 154).

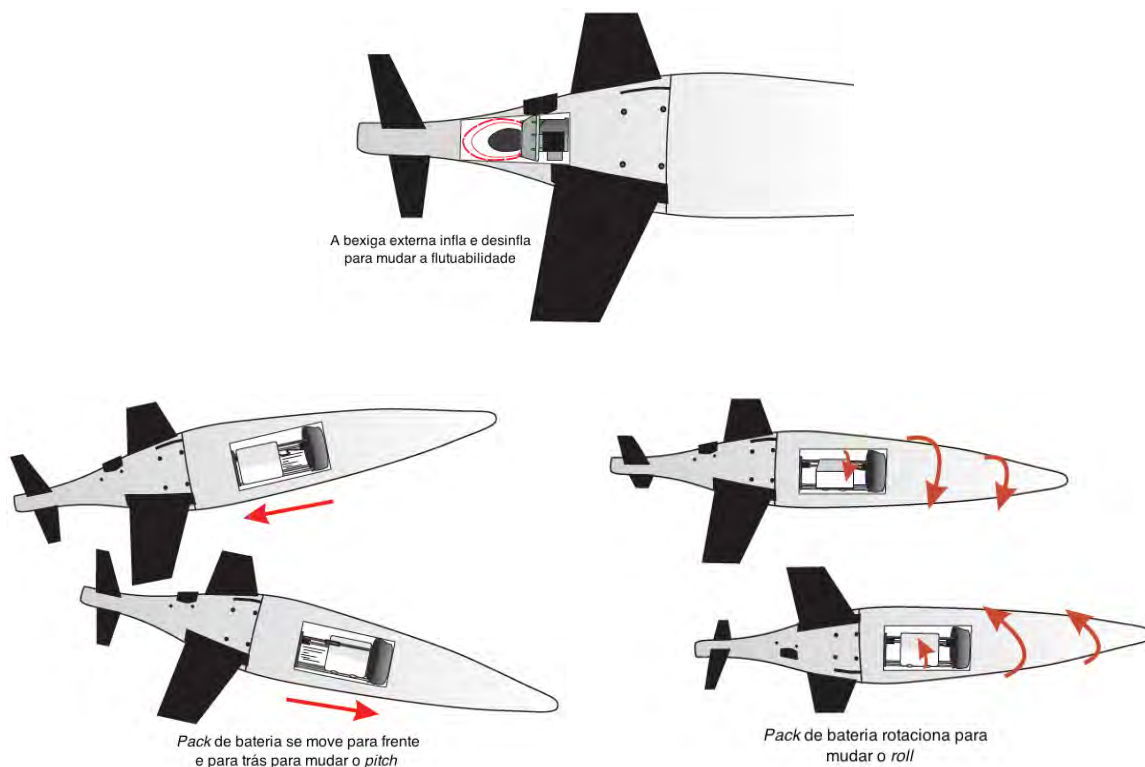


Figura 154: Representação esquemática dos mecanismos de controle de flutuabilidade, *pitch* e *roll* do Seaglider. Adaptada de IROBOT (2012) em Boechat (2015).

Os dados utilizados foram extraídos de uma área próxima da radial denominada Maricá (Figura 155). Essa área foi escolhida para que a quantidade de observações utilizada na geração das médias e dos desvios padrão fosse mais significativa, aumentando a confiabilidade da faixa de variabilidade das variáveis analisadas.

Para o período no qual o modelo foi integrado, ao todo, foram coletados 2018 perfis de temperatura e salinidade no entorno da radial Maricá. As comparações estatísticas foram feitas com 9 pontos do ROMS extraídos em um polígono próximo da área da radial Maricá.

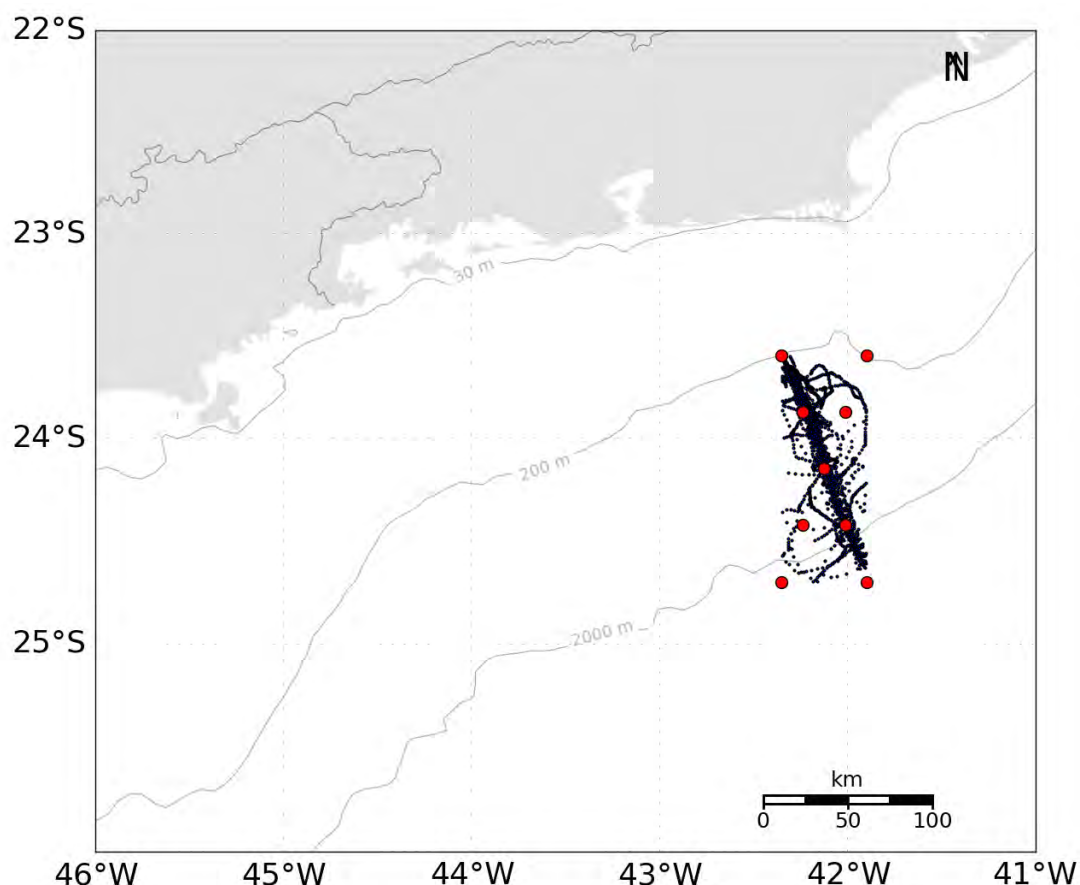


Figura 155: Localização dos perfis de temperatura e salinidade coletados por *glider* nas proximidades da radial Maricá (pontos em preto), e pontos de grade do ROMS (pontos em vermelho) de onde foram extraídos os dados para comparação.

Na Figura 156, apresentam-se as faixas de ocorrência<sup>2</sup> das observações de temperatura e salinidade obtidas no modelo (vermelho) e nos dados dos *gliders* (cinza). Pode-se observar que o modelo representou muito bem a estrutura vertical termohalina da região e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água as faixas de ocorrência são muito similares. Os valores de

<sup>2</sup> Considerando que estas variáveis seguem uma distribuição normal, esta faixa é calculada para abranger 95% das ocorrências, e, portanto, seus limites representam 2 vezes o desvio padrão ao redor da média.



*bias* médios foram negativos em praticamente toda a coluna d'água, indicando uma superestimação pelo modelo. Os valores mínimos, de  $-2,6^{\circ}\text{C}$  e  $-0,47$  psu, ocorrem na região de maior variabilidade na coluna d'água, a termoclina e na haloclina. Contudo, nas outras partes da coluna d'água os valores desses parâmetros foram mais próximos do observado, ocasionando valores médios de  $-0,85^{\circ}\text{C}$  e  $-0,19$  psu.

Esta comparação é um indicativo de que houve uma boa representação da posição média das massas d'água na região do bloco.

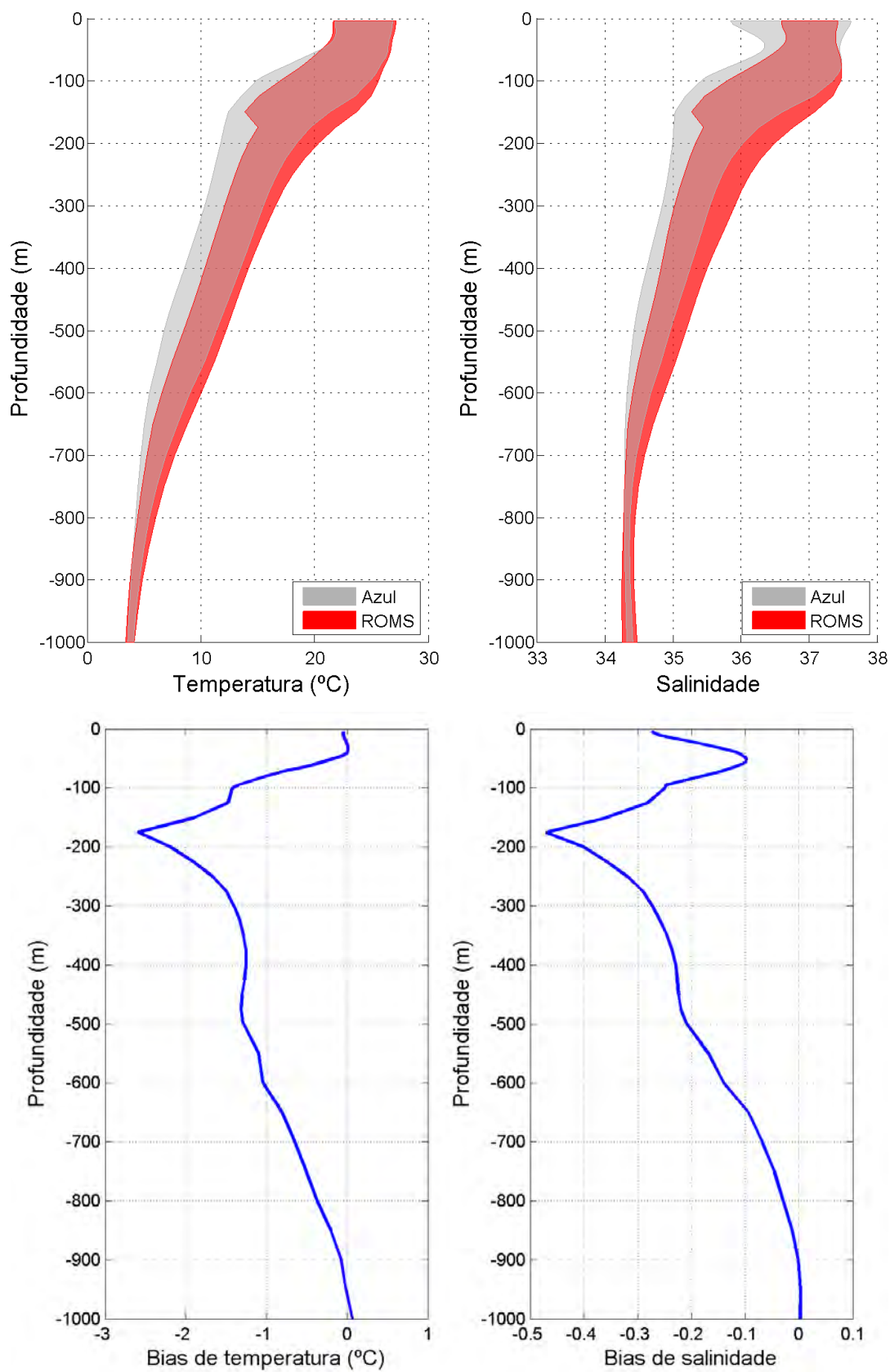


Figura 156: Faixa de ocorrência de 95% das observações de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (faixa cinza) e pelo modelo ROMS (faixa vermelha) – acima – e *bias* médio anual – abaixo.

## 8.4. Correntes

Para comparação das correntes, foram utilizados dados de derivadores lagrangianos de superfície do Projeto AZUL. Esse projeto consistiu num sistema de observação oceânica para a Baía de Santos nos moldes de sistemas similares ao redor do mundo e é fruto de uma parceria entre a BG BRASIL, a PROOCEANO e a COPPE/UFRJ. Com esse intuito, ele prevê a utilização de uma sofisticada tecnologia de coleta, disponibilização de dados em tempo real, computadores de alto desempenho e uma equipe multidisciplinar. Dentre as atividades propostas pelo projeto, ocorreu o lançamento mensal de três derivadores do tipo SVP na Baía de Santos, entre março de 2013 e julho de 2015. Para o presente estudo, foram considerados os derivadores cuja trajetória está contida no domínio espacial e temporal da modelagem e que efetuaram transmissões por um período superior a duas semanas. Nesse contexto, 25 derivadores aparecem como relevantes para a comparação. A Tabela 9 agrupa as coordenadas do primeiro e último ponto onde cada derivador é encontrado no domínio espacial e temporal.

Tabela 9: Posição e datas iniciais e finais de cada derivador ao longo do período de comparação.

Derivador	Data Inicial	Longitude (°W)	Latitude (°S)	Data Final	Longitude (°W)	Latitude (°S)
1	05/03/2013	42,51	23,65	12/04/2013	48,56	30,86
2	05/03/2013	41,61	24,32	08/04/2013	45,96	27,92
3	05/03/2013	42,05	23,94	14/05/2013	45,76	25,01
4	26/03/2013	40,92	23,01	11/10/2013	44,09	27,30
5	14/05/2013	42,15	24,01	11/12/2013	52,25	36,56
6	14/05/2013	41,98	24,52	15/09/2013	41,88	29,12
7	01/10/2013	42,15	24,01	12/10/2014	45,17	35,38
8	15/06/2013	42,19	24,01	09/05/2014	40,44	36,89
9	25/10/2013	42,18	24,04	30/08/2014	28,19	39,00
10	20/07/2013	42,18	23,96	17/08/2013	42,34	22,94
11	28/08/2013	42,19	24,00	24/08/2014	48,77	32,90
12	15/06/2013	42,17	24,01	29/08/2013	47,04	24,48
13	15/06/2013	42,19	24,01	31/10/2013	45,47	26,37
14	25/10/2013	42,18	24,04	23/07/2014	40,16	32,02
15	01/10/2013	42,15	24,01	18/07/2014	36,76	33,72
16	28/08/2013	42,19	24,00	28/04/2014	49,82	36,25
17	28/11/2013	42,16	24,02	11/09/2014	33,87	33,23
18	25/10/2013	42,18	24,04	14/11/2013	44,21	24,04
19	20/07/2013	42,19	23,95	21/04/2014	42,89	35,45

20	01/10/2013	42,15	24,00	02/04/2014	51,92	32,02
21	28/11/2013	42,16	24,01	01/06/2014	40,45	35,05
22	19/12/2013	42,15	24,01	14/04/2015	32,41	33,84
23	14/01/2014	42,16	24,00	28/06/2014	43,73	37,84
24	19/12/2013	42,15	24,01	30/01/2015	33,29	37,16
25	28/11/2013	42,16	24,01	10/04/2014	50,93	39,00

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

Para fins de comparação foram usados os dados de velocidade dos derivadores, espaçados de 2h, no período em que estes permaneceram no domínio de modelagem, e a velocidade das correntes nos pontos de grade mais próximos da posição do derivador e no mesmo instante temporal.

A seguir, da Figura 157 a Figura 181 são apresentadas as trajetórias descritas pelos 30 derivadores, durante o período no qual estes permaneceram dentro do domínio de modelagem e as comparações entre as componentes zonais e meridionais das correntes medidas pelos derivadores, e calculadas pelo ROMS.

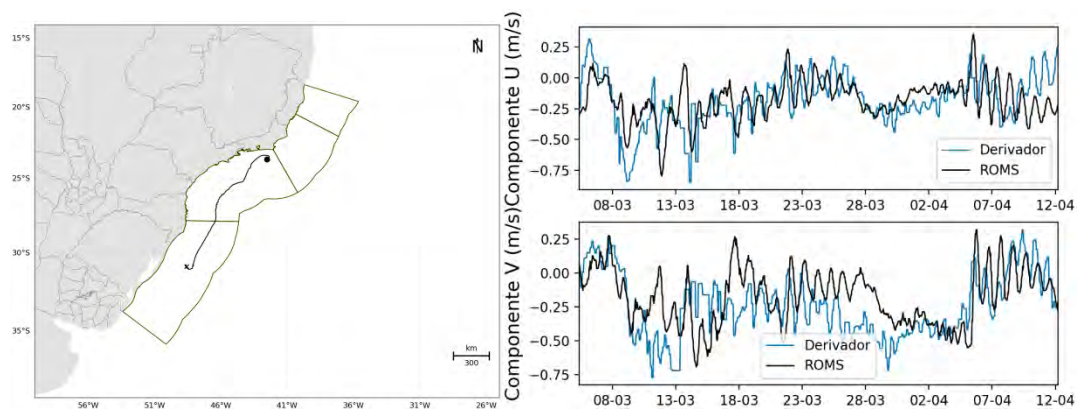


Figura 157: Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).

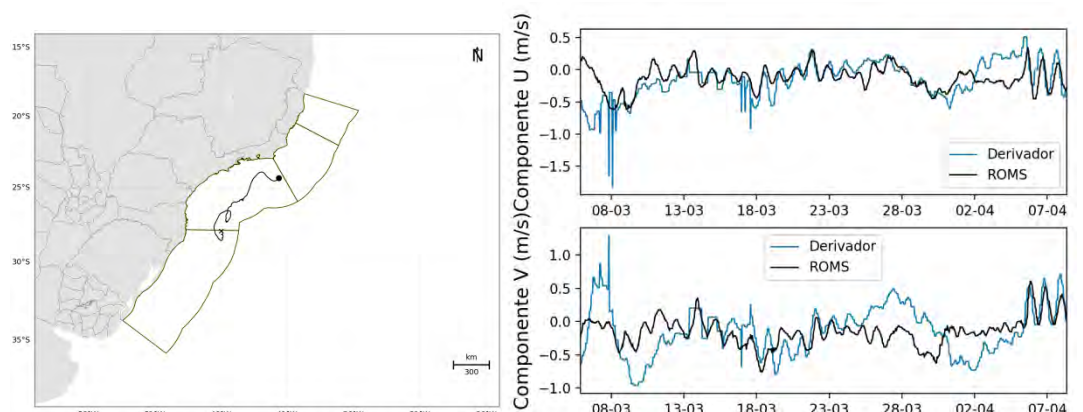


Figura 158: Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita).

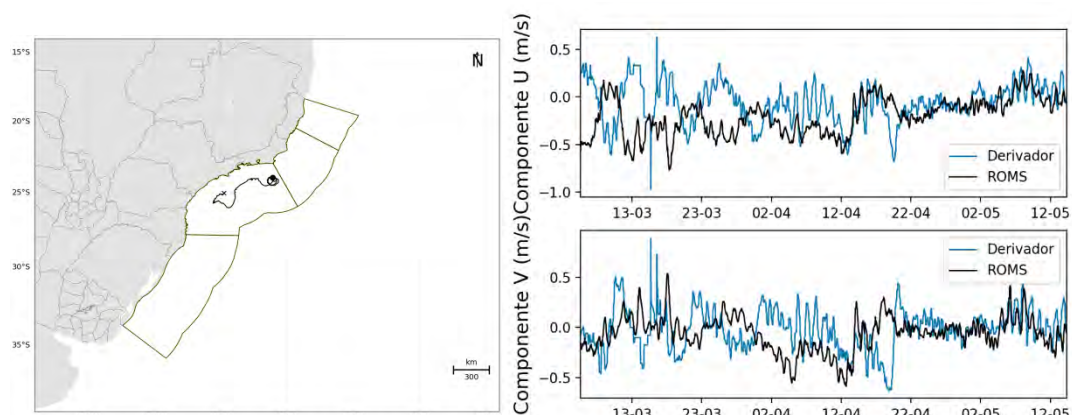


Figura 159: Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).

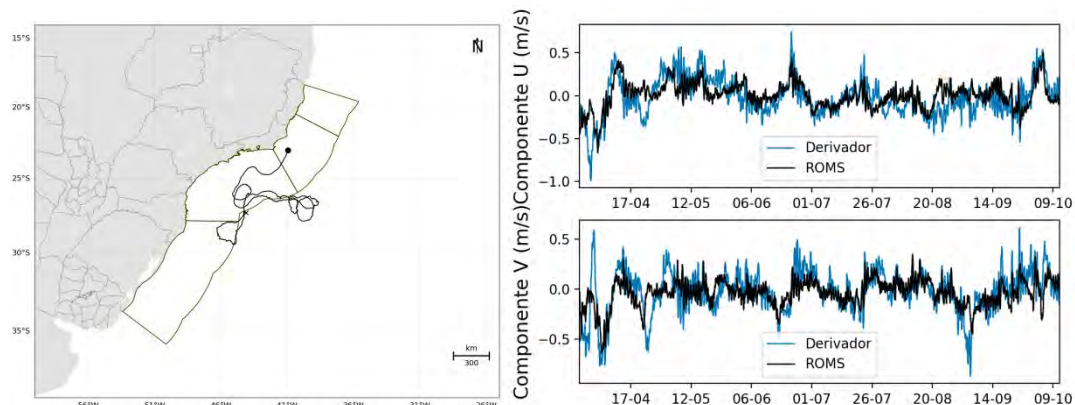


Figura 160: Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).



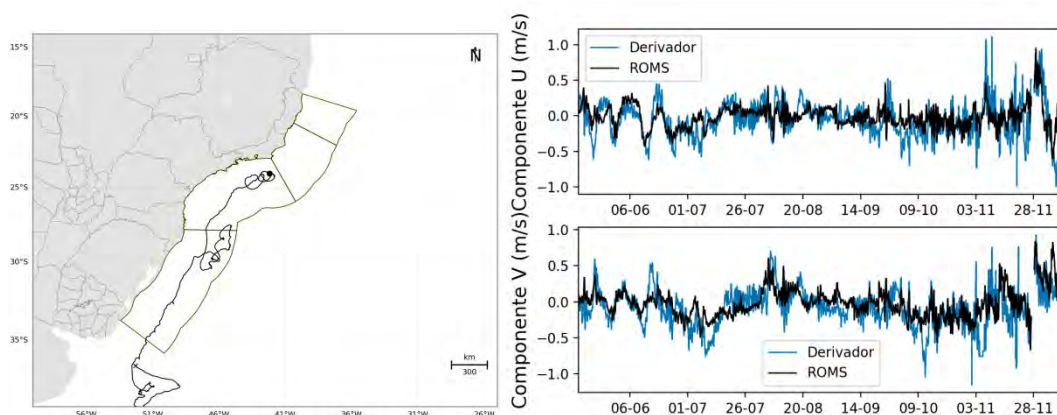


Figura 161: Trajetória descrita pelo dor 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).

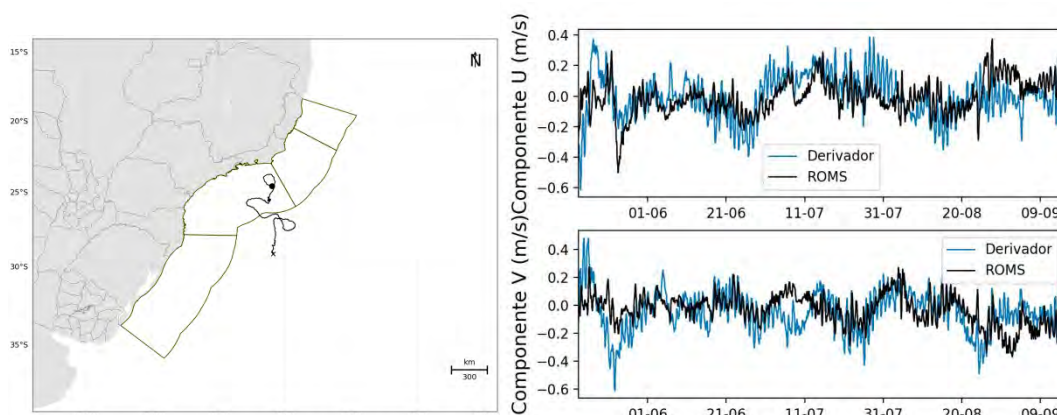


Figura 162: Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).

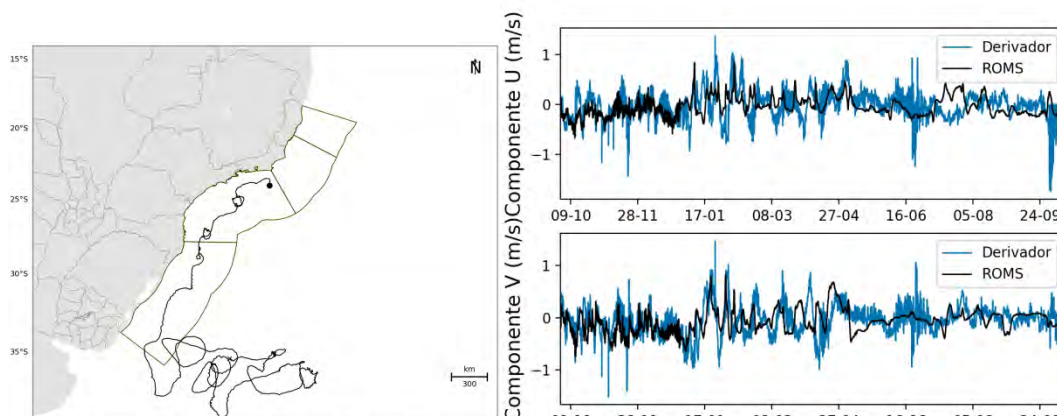


Figura 163: Trajetória descrita pelo derivador 07 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 07 e os resultados do ROMS (direita).

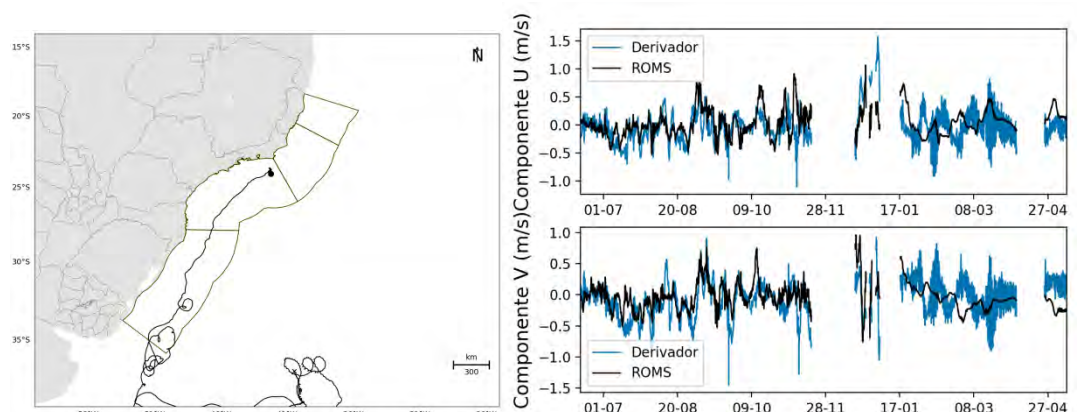


Figura 164: Trajetória descrita pelo derivador 08 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 08 e os resultados do ROMS (direita).

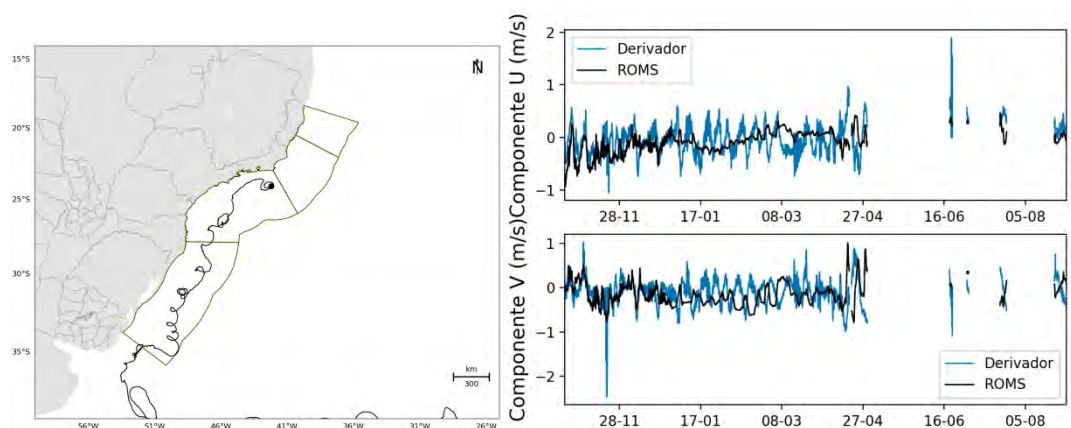


Figura 165: Trajetória descrita pelo derivador 09 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 09 e os resultados do ROMS (direita).

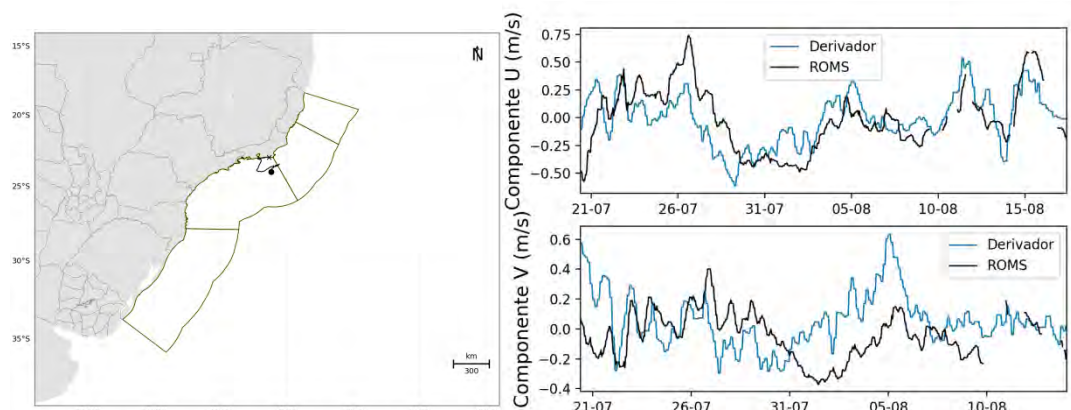


Figura 166: Trajetória descrita pelo derivador 10 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 10 e os resultados do ROMS (direita).

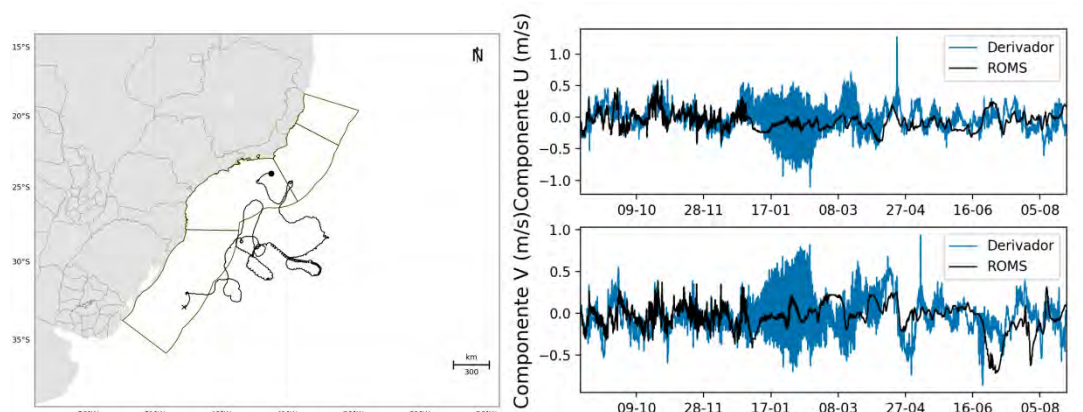


Figura 167: Trajetória descrita pelo derivador 11 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 11 e os resultados do ROMS (direita).

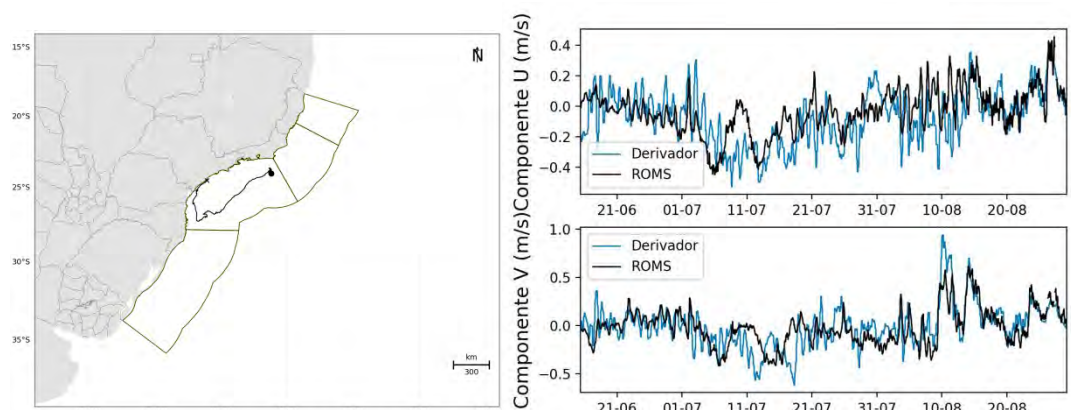


Figura 168: Trajetória descrita pelo derivador 12 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 12 e os resultados do ROMS (direita).

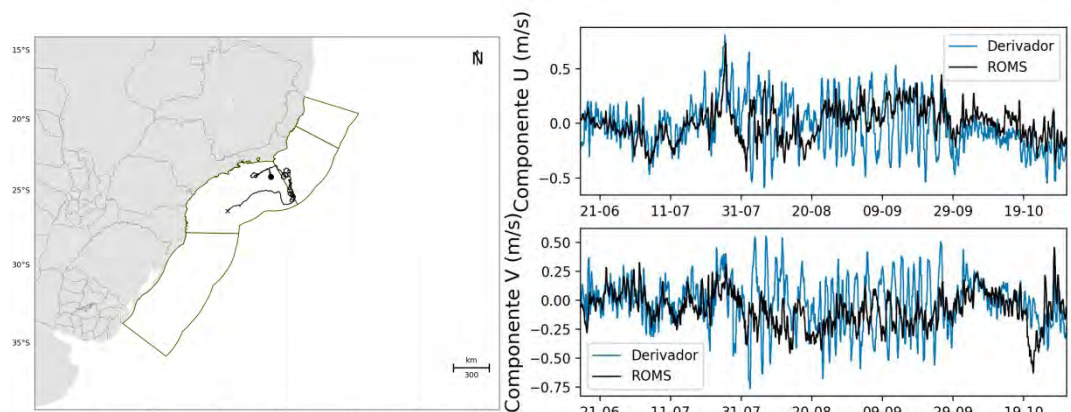


Figura 169: Trajetória descrita pelo derivador 13 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 13 e os resultados do ROMS (direita).



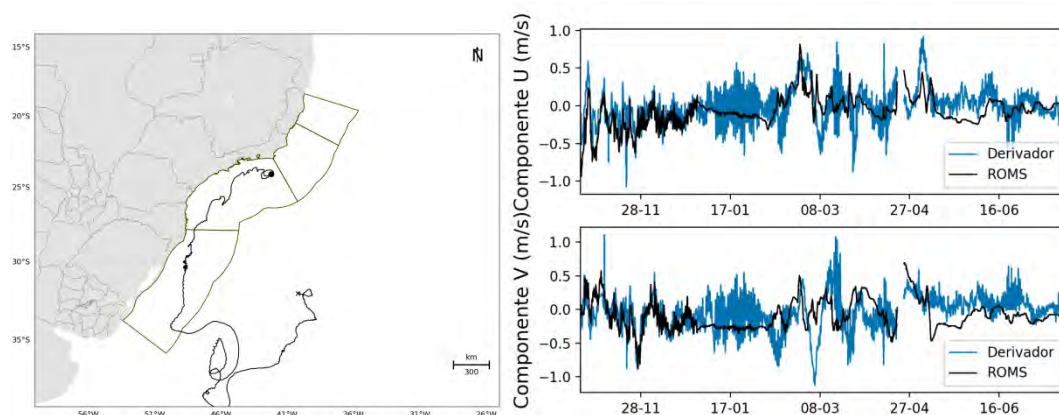


Figura 170: Trajetória descrita pelo derivador 14 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 14 e os resultados do ROMS (direita).

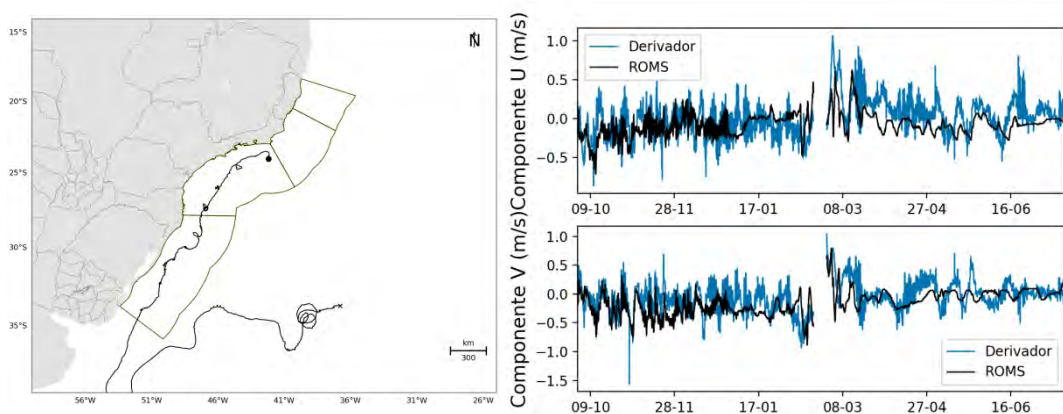


Figura 171: Trajetória descrita pelo derivador 15 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 15 e os resultados do ROMS (direita).

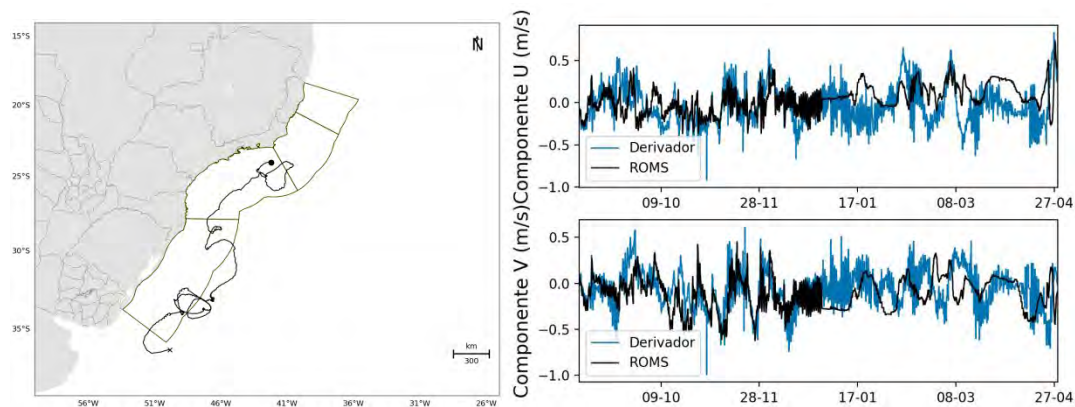


Figura 172: Trajetória descrita pelo derivador 16 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 16 e os resultados do ROMS (direita).

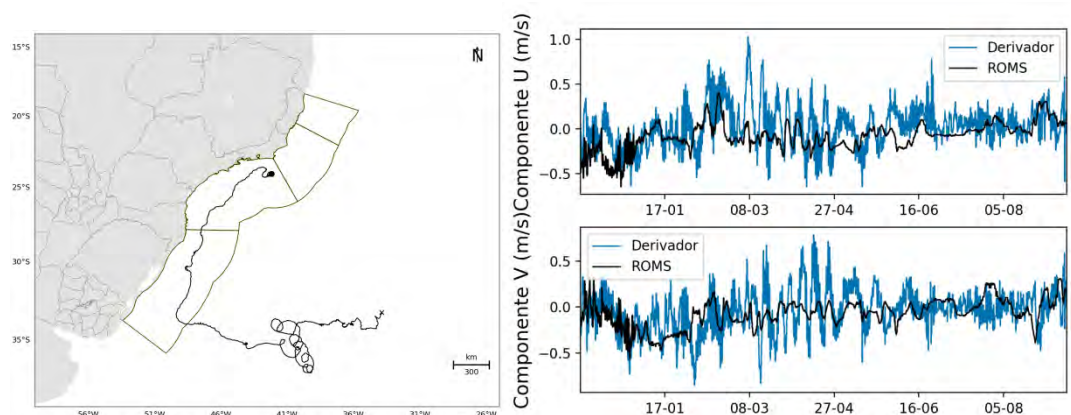


Figura 173: Trajetória descrita pelo derivador 17 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 17 e os resultados do ROMS (direita).

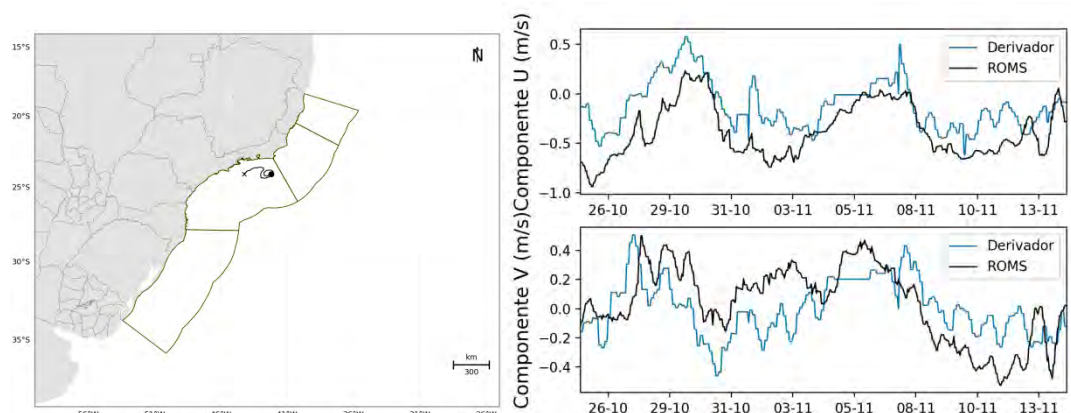


Figura 174: Trajetória descrita pelo derivador 18 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 18 e os resultados do ROMS (direita).

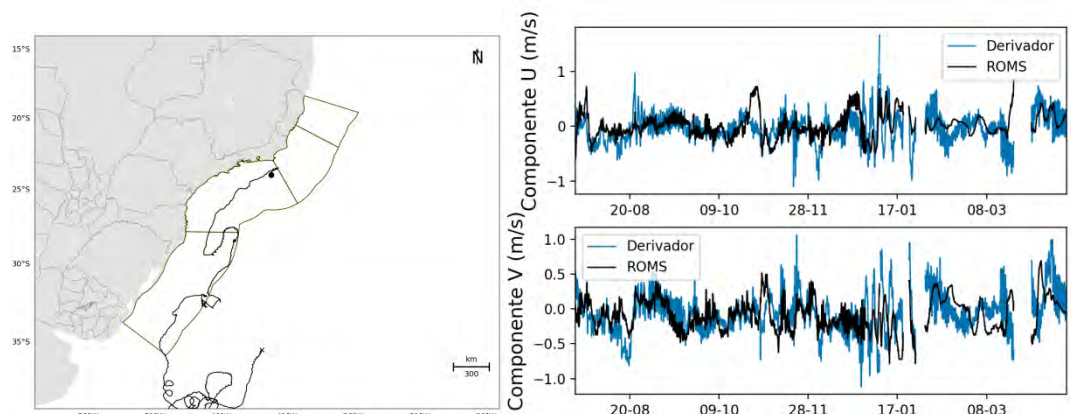


Figura 175: Trajetória descrita pelo derivador 19 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 19 e os resultados do ROMS (direita).



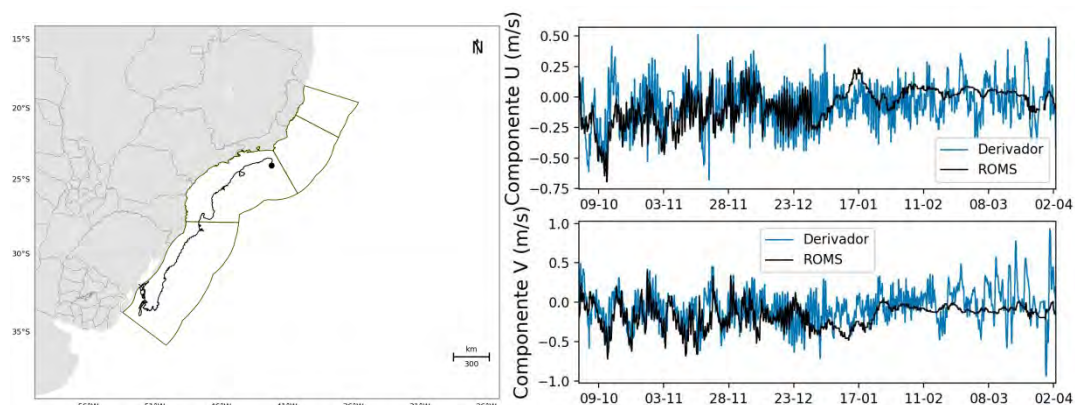


Figura 176: Trajetória descrita pelo derivador 20 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 20 e os resultados do ROMS (direita).

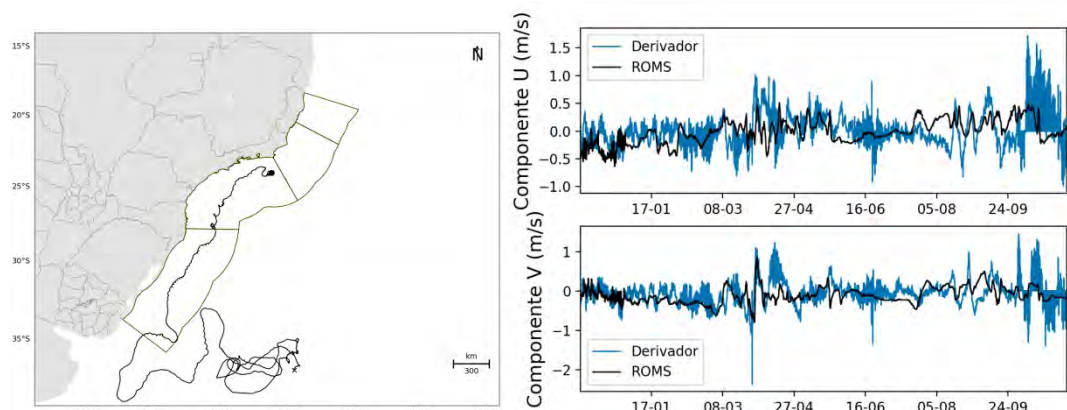


Figura 177: Trajetória descrita pelo derivador 21 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 21 e os resultados do ROMS (direita).

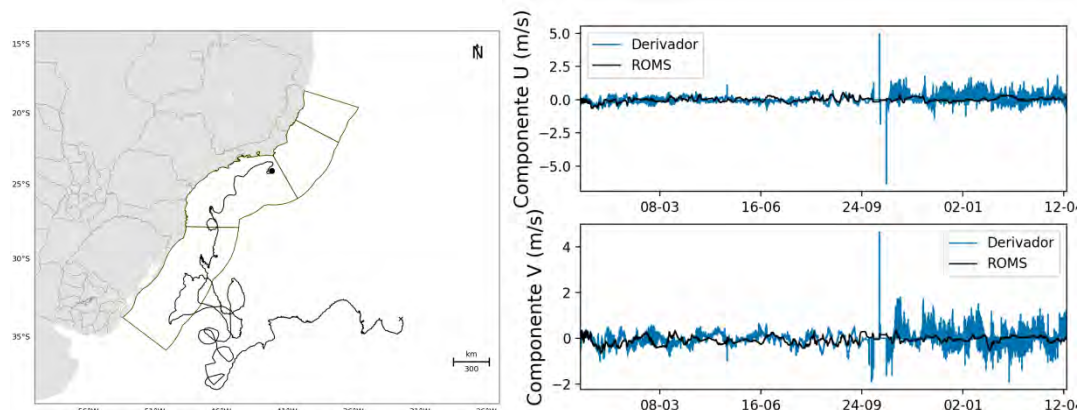


Figura 178: Trajetória descrita pelo derivador 22 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 22 e os resultados do ROMS (direita).

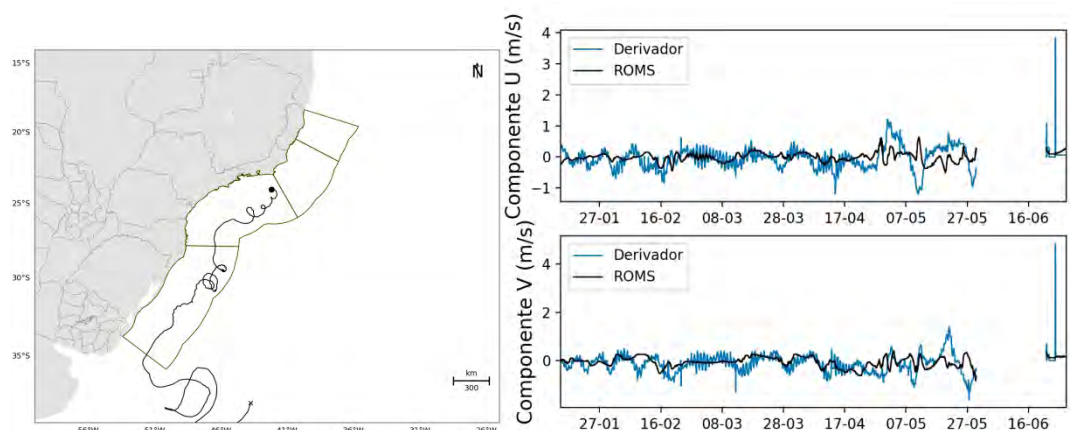


Figura 179: Trajetória descrita pelo derivador 23 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 23 e os resultados do ROMS (direita).

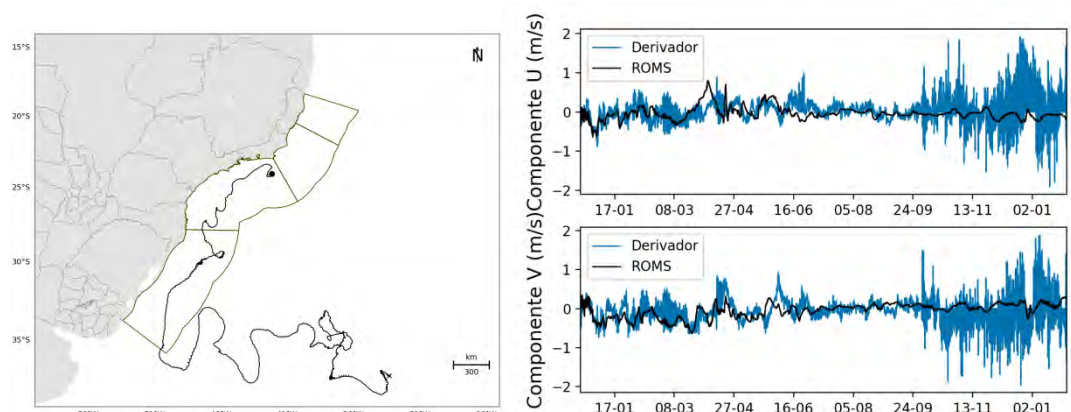


Figura 180: Trajetória descrita pelo derivador 24 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 24 e os resultados do ROMS (direita).

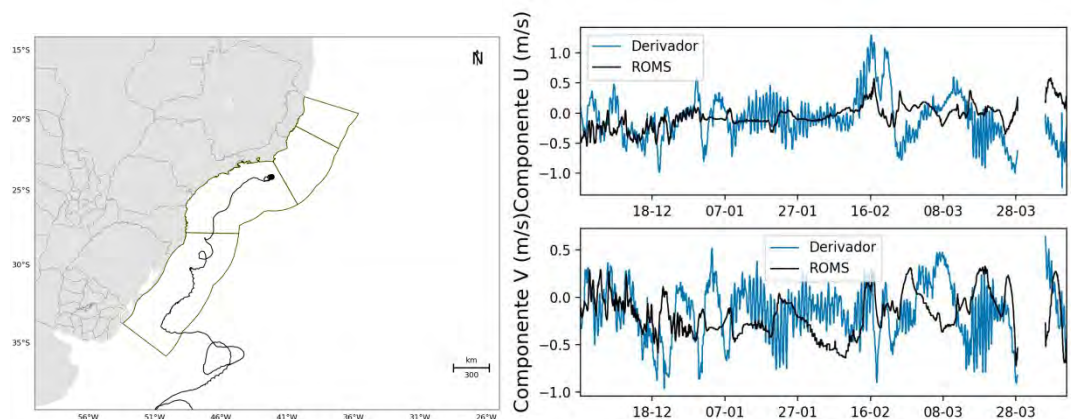


Figura 181: Trajetória descrita pelo derivador 25 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 25 e os resultados do ROMS (direita).

Através dos gráficos comparativos pode-se observar que os resultados do ROMS apresentaram uma boa aproximação com os dados medidos pelos derivadores, tanto nas amplitudes das oscilações quanto na fase. A fim de quantificar as comparações apresentadas, foi feita uma análise estatística calculando o índice de Wilmot. O valor médio do índice de Wilmot (1982) para cada componente das correntes é apresentado na Tabela 10.



Tabela 10: Índice de Wilmot e bias da velocidade (m/s) das comparações modelo/derivadores.

Deriva- dor	d comp. zonal	d comp. meridio- nal	bias vel.	Deriva-dor	d comp. zonal	d comp. meridio- nal	bias vel.
1	0,86	0,85	0,07	14	0,83	0,77	0,03
2	0,81	0,73	0,14	15	0,82	0,81	0,05
3	0,69	0,76	-0,03	16	0,81	0,82	0,04
4	0,89	0,88	0,09	17	0,81	0,82	0,07
5	0,85	0,85	0,11	18	0,82	0,85	-0,18
6	0,90	0,90	0,05	19	0,75	0,75	0,05
7	0,74	0,75	0,07	20	0,88	0,81	0,02
8	0,74	0,77	0,08	21	0,71	0,75	0,03
9	0,74	0,65	0,03	22	0,65	0,68	0,06
10	0,87	0,78	-0,02	23	0,62	0,64	0,22
11	0,82	0,79	0,08	24	0,74	0,76	0,05
12	0,89	0,90	0,04	25	0,75	0,77	0,09
13	0,81	0,79	0,08				
<b>Média</b>		<b>d componente zonal</b>	<b>0,79</b>	<b>d componente meridional</b>	<b>0,79</b>	<b>Bias velocidade</b>	<b>0,05</b>

De forma geral, quando avaliada a média de todos os derivadores, as velocidades apresentadas pelo modelo foram menores que as observadas pelos derivadores. Porém, ressalta-se a média do *bias* foi de 0,05 m/s, valor dentro da oscilação de *bias* observada nesta região para o modelo global utilizado como condição inicial, conforme apresentado em Lellouche *et al.* (2019). As médias de cada derivador se mantiveram dentro ou próximo desta faixa (-0,1 m/s a +0,1 m/s).

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

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

## 8.5. Transporte de volume

A fim de avaliar as correntes em termos de transporte, foram selecionadas duas radiais, uma na Bacia de Campos (23,04°S – 40,93°W a 40,45°W) e outra na Bacia de Santos (23,64°S a 24,67°S

– 42,33°W). A profundidade de referência utilizada foi de 500 m, com radiais limitadas entre as isóbatas de 200 e 2000 m. Os valores obtidos foram comparados com a literatura (SILVEIRA, 2007).

Para a radial na Bacia de Campos, o transporte máximo obtido foi de -8,9 Sv e médio de  $-3,2 \pm 2,2$  Sv. Para a radial na Bacia de Santos, o transporte máximo obtido foi de -14,2 Sv e médio de  $-3,7 \pm 4,18$  Sv – o alto desvio padrão indica grande variabilidade na região, com maior tendência a inversões da corrente (transporte positivo), o que é esperado nessa localização da Bacia de Santos, com frequente interferência do Vórtice de Cabo Frio. Os valores observados estão coerentes com a literatura (Tabela 11).

Tabela 11: Estimativas para o transporte de volume e para a velocidade máxima da CB entre 21°S e 24°S. Sinais negativos representam a direção sul-sudoeste da corrente. Adaptada de Silveira (2007).

Latitude	Prof. referência (m)	Transporte (Sv)	Velocidade (m s <sup>-1</sup> )	Referência
21°S	600	-9.4	-	Schmid <i>et al.</i> (1995)
21°S	numérico	-6.7	-0.83	Silveira <i>et al.</i> (2005)
21°S	numérico	-7.9	-0.6	Silveira <i>et al.</i> (2005)
21°40'S	500	-4.4	-0.61	Evans <i>et al.</i> (1983)
22°S	600	-5.2	-0.55	Signorini (1978)
22°S	fundeio	-5,5±2,6	-	Lima (1997)
22°S	numérico	-7.1	< -0,55	Lima (1997)
23°S	600	-6	-0.7	Signorini (1978)
23°S	550	-2,2/-2,7	-0.49	Miranda & Castro Filho (1979)
23°S	Pegasus	-11	-0.5	Evans & Signorini (1985)
23°S	Pegasus	-6	-0.7	Garfield (1990)
23°S	600/1300	-10,1/10,9	-	Stramma (1989)
23°S	fundeio	-1.3	-0.28	Muller <i>et al.</i> (1998)
23°30'S	600	-9.4	-0.55	Signorini (1978)
24°S	1300	-7.5	-0.25	Fisher (1964)
24°S	600	-7.5	-0.57	Signorini (1978)
24°S	500/1000	-4,1/-7,8	-0.31	Evans <i>et al.</i> (1983)
24°S	600/1300	-9,4/-10,1	-	Stramma (1989)
24°S	750/900	-7,3/-8,8	-	Campos <i>et al.</i> (1995)



## 9. Considerações Finais

Com base nos resultados apresentados e nas avaliações feitas com base em diferentes processos e parâmetros oceanográficos, o modelo mostra capacidade de representação dos padrões oceanográficos da região e se apresenta apto para subsidiar modelagens de transporte e dispersão de poluentes no mar.

As diferenças apresentadas entre dados medidos no domínio e os resultados da modelagem, na ordem de magnitude que estão, tanto para temperatura e salinidade como para as velocidades, são totalmente aceitáveis na comunidade científica e representam os processos oceanográficos da região. O estudo de Paiva *et al.* (2012), por exemplo, buscou a validação da base hidrodinâmica à luz dos processos e fenômenos oceanográficos. Por mais que os resultados em Paiva *et al.* (2012) de TSM média, por exemplo, tenha apresentado valores de 1°C a 2°C mais elevada do que a climatologia, os processos na região considerada foram bem representados.

Para além disso, é de conhecimento que modelos numéricos de circulação do oceano geram resultados que são aproximações do estado real e possuem limitações e erros inerentes ao método. Destes pode-se citar, por exemplo, erro de truncamento, erro de aproximação e parametrização de processos físicos não resolvíveis. Todas essas fontes contribuem para divergências entre o estado real e o simulado do oceano e possuem grau de incerteza que é inerente da modelagem.

## 10. 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.
- BECK, B., 2002: Model evaluation and performance. In Encyclopedia of Environmetrics, Eds. A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- BOECHAT, A.C.R. 2015. Análise de Dados Oceanográficos Oriundos do Projeto Azul Obtidos em uma Radial no Norte da Bacia de Santos. Dissertação de Mestrado. UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro-RJ. 127 p.
- BOWDEN, K.F. 1983. Physical oceanography of coastal waters. John Wiley, NY, 302 p.
- CARVALHO, J.L.B. 2003. 190 p. Modelagem e Análise do Lançamento de Efluentes Através de Emissários Submarinos. Tese (Doutorado em Engenharia Oceânica). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

- CHAPMAN, D. C., 1985: Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1060–1075.
- DOS SANTOS, F. A.; DE OLIVEIRA, A. L. S. C.; SOARES, F. L. M.; CARVALHO, G. V.; SÃO TIAGO, P. M.; SANTOS, N. G.; GARÇÃO, H. F.; PIMENTEL, F. P.; BOECHAT, A. C.; MARIANO, L. S.; BERGMAN, C.; RINALDI, F. L.; MIRANDA, T. C.; CABRAL, M. M.; DA CRUZ, L. M. M.; PELLEGRINI, J. A. C.; ASSAD, L. P. F.; LANDAU, L.; FRAGOSO, M. R. 2016. Projeto Azul: operational oceanography in an active oil and gas area southeastern Brazil. In: Liu Y, Kerker H, Weisberg RH (eds) *Coastal ocean observing systems*, 1st edn. Elsevier, London, pp 99–116. doi: 10.1016/
- EGBERT, G.D., EROFEEVA, S. Y, 2002: Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 19(2), 183-204.
- FAIRALL, C.W., E.F. BRADLEY, D.P. ROGERS, J.B. EDSON and G.S. YOUNG, 1996: Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment, *J. Geophys. Res.*, 101, 3747-3764.
- FLATHER, R.A., 1976. A tidal model of the North-West European continental shelf. *Mém. Soc. R. Soc. Liège* 9, 141–164.
- HAIDVOGEL, D. B. and A. BECKMANN, 1999: *Numerical Ocean Circulation Modeling*. Imperial College Press.
- HAIDVOGEL, D. B., H. G. ARANGO, K. HEDSTRON, A. BECKMAN, P. MALANOTTE-RIZZOLI, and A. F. SCHEPETK (2000), Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates, *Dyn. Atmos. Oceans*, 32, 239-281.
- HAIDVOGEL, D. B., H. ARANGO, W. P. BUDGELL, B. D. CORNUELLE, E. CURCHISTER, E. DI LORENZO, K. FENNEL, W. R. GEYER, A. J. HERMANN, L. LANEROLLE, J. LEVIN, J. C. McWILLIAMS, A. J. MILLER, A. M. MOORE, T. M. POWELL, A. F. SCHEPETKIN, C. R. SHERWOOD, R. P. SIGNELL, J. C. WARNER, and J. WILKIN, 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *Journal of Computational Physics*, 227, 3595-3624.
- HANSEN, D. V.; POULAIN, P. M. Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, v. 13, n. 4, p. 900–910, 1996.
- IROBOT. IROBOT® 1KA Seaglider™ User's Guide. Revision C. 444. p. 2012. Disponível em <[http://doga.ogs.trieste.it/sire/glider/manuali\\_seaglider/Seaglider%20User%20Guide%20-%20Rev.%20C.pdf](http://doga.ogs.trieste.it/sire/glider/manuali_seaglider/Seaglider%20User%20Guide%20-%20Rev.%20C.pdf)>. Acessado em 17 de maio de 2014.
- LARGE, W. G., J. C. McWILLIAMS, and S. C. DONEY, 1994: Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Rev. Geophys.*, 32, 363-403.

- LARNICOL, G., GUINEHUT S., RIO M.H., DREVILLON M., FAUGÈRE Y., HERNANDEZ F. (2006). The global observed ocean products of the French Mercator project. 15 years of radar altimetry symposium, Venice.
- LELLOUCHE, J-M.; LEGALLOUDE, O.; REGNIER, C.; LEVIER, B.; GREINER, E.; DREVILLON, M. . 2019. Quality Information Document: For Global Sea Physical Analysis and Forecasting Product GLOBAL\_ANALYSIS\_FORECAST\_ PHY\_001\_024. Marine Environment Monitoring Service: issue 2.1.
- LOCARNINI, R. A., A. V. MISHONOV, J. I. ANTONOV, T. P. BOYER, H. E. GARCIA, O. K. BARANOVA, M. M. ZWENG, AND D. R. JOHNSON, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- LIU, W. T., K.B. KATSAROS, and J.A. BUSINGER, 1979: Bulk parameterization of the air-sea exchange of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface, J. Atmos. Sci., 36, 1722-1735.
- MARCHESIELLO, P., J.C. McWILLIAMS, and A. SCHNEPETER, 2003: Equilibrium structure and dynamics of the California Current System, J. Phys. Oceanogr., 33, 753-783.
- MELLOR, G. L.; YAMADA, T., 1982: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851-875.
- 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.
- PAIVA, A. M., GABIOUX, M., Costa, V. S., Oliveira, B. F. 2012. B ASE HIDRODINAMICA SSE. Remo – Rede de Modelagem e Observação Oceânica. COPPE/UFRJ.
- PELIZ, A., J. DUBERT, D. B. HAIDVOGEL, 2003: Subinertial Response of a Density-Driven Eastern Boundary Poleward Current to Wind Forcing, J. Phys. Oceanogr., 33, 1633-1650.
- PETERSON, R. G.; STRAMMA, L., 1991: Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. Progress in Oceanography, v. 26, p. 1–73.
- SEELIGER, U., C. ODEBRECHT, J.P. CASTELLO, 1998: Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Ecoscientia.
- SCHNEPETER, A. F., and J. C. McWILLIAMS (1998), Quasi-monotone advection schemes based on explicit locally adaptive dissipation, Monthly Weather Review, 126, 1541-1580.

- SHCHEPETKIN, A. F., and J. C. McWILLIANS (2003), A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate, J. Geophys. Res., 108(C3), 3090, doi:10.1029/2001JC001047.
- SHCHEPETKIN, A. F., and J. C. McWILLIANS (2005), The Regional Ocean Modeling System: A split-explicit, free-surface, topography following coordinates ocean model, Ocean Modelling, 9, 347-404.
- SILVEIRA, I. C. A. 2007. 160p. O Sistema Corrente do Brasil na Bacia de Campos, RJ. Tese (Doutorado em Oceanografia Física), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SONG, Y. and D. B. HAIDVOGEL, 1994: A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. J. Comp. Phys., 115(1), 228-244.
- SOUZA, R.B.de and ROBINSON, I.S. 2004. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. Continental Shelf Research, 24: 241-262
- STARK, J. D. CRAIG J. DONLON, MATTHEW J. MARTIN and McCULLOCH, 2007, OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system., Oceans '07 IEEE Aberdeen, conference proceedings. Marine challenges: coastline to deep sea. Aberdeen, Scotland.IEEE.
- STYLES, R. and S.M. GLENN, 2000: Modeling stratified wave and current bottom boundary layers in the continental shelf. J. of Geophys. Res., 105, 24119-24139.
- UMLAUF, L., H. BUCHARD, 2003: A generic length-scale equation for geophysical turbulence models. J. Marine Res., 61, 235-265.
- WARNER, J.C., C.R. SHERWOOD, H.G. ARANGO, and R.P. SIGNELL, 2005: Performance of four Turbulence Closure Methods Implemented using a Generic Length Scale Method. Ocean Modelling, 8, 81-113.
- WILMOT, C. J., 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin American Meteorological Society. Vol. 63, No. 11, pp. 1309-1313.
- ZWENG, M.M., J.R. REAGAN, J.I. ANTONOV, R.A. LOCARNINI, A.V. MISHONOV, T.P. BOYER, H.E. GARCIA, O.K. BARANOVA, D.R. JOHNSON, D. SEIDOV, M.M. BIDDLE, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 74, 39 pp.

## ANEXO II – Descrição do Modelo de Transporte de Óleo





Relatório Técnico [rev.02]

## Modelo de Dispersão de Óleo

### Descrição do modelo OSCAR

---

Preparado por: Prooceano

#### **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](http://www.prooceano.com.br)

© PROOCEANO 2019

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: 22 / 06 / 2020

---

Descrição: Adição do coeficiente do vento na Tabela 4

---

Responsável: Henery Garção

---

Empresa: Prooceano

---

---

### Revisão nº 02

---

Data: 07 / 07 / 2020

---

Descrição: Adição da Tabela 2

---

Responsável: Flávia Pozzi Pimentel

---

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

---

<b>1. Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Processos Físico-Químicos do Óleo .....</b>	<b>10</b>
2.1. Advecção .....	10
2.2. Espalhamento .....	11
2.3. Evaporação.....	12
2.4. Dispersão natural.....	13
2.5. Emulsificação.....	14
2.6. Dissolução .....	15
2.7. Degradação .....	16
2.8. Sedimentação .....	18
<b>3. Propriedades físicas do óleo.....</b>	<b>19</b>
<b>4. Concentração na coluna d'água .....</b>	<b>21</b>
<b>5. Óleo na costa .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Massa Máxima de Óleo na Costa .....</b>	<b>24</b>
<b>7. <i>Blowout</i> submerso .....</b>	<b>24</b>
<b>8. Resumo dos parâmetros físicos e numéricos .....</b>	<b>27</b>
<b>9. Bibliografia .....</b>	<b>29</b>



## Índice das imagens

---

Figura 1: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001). .....	9
Figura 2: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001). .....	17
Figura 3: Esquema geral de plumas de <i>blowout</i> de óleo em profundidade. Adaptado de Lindersen (2013). .....	24
Figura 4: Ilustração de uma simulação de <i>blowout</i> no fundo oceânico com o OSCAR. O mapa mostra a distribuição de partículas representando o óleo em superfície (círculos em cinza) e as partículas representando o óleo na coluna d'água (pontos pretos e marrons). .....	26

## Índice das tabelas

---

Tabela 1: Equações de regressão para estimativa dos parâmetros Koc e Kow para diferentes componentes químicos. Fonte: Reed, 2001. ....	19
Tabela 2: Capacidades máximas de retenção (mm) e taxas de remoção de óleo (por dia), para três classes de óleo e vários tipos de linha de costa. ....	23
Tabela 3: Parâmetros físicos e químicos utilizados no modelo de óleo. ....	27
Tabela 4: Constantes físicas utilizadas no modelo de óleo. ....	28

## Equipe técnica

---

**Nome: Flávia Pozzi Pimentel**

---

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Livia Sant'Angelo Mariano**


---

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Henery Ferreira Garção**

---

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

---

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

---

Assinatura: 

---

---

**Nome: Marcelo Montenegro Cabral**

---

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

---

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

---

Assinatura: 

---

# 1. Introdução

O presente relatório apresenta o modelo computacional OSCAR utilizado em estudos de dispersão de óleo tanto em regiões *offshore* como para corpos d'água interiores. O OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), modelo desenvolvido pela SINTEF, é capaz de avaliar a evolução de óleo na superfície da água, ao longo de costas, na coluna d'água e no sedimento. Os principais componentes do sistema OSCAR são um modelo de intemperismo, um modelo de trajetória em três dimensões e um modelo de combate a vazamentos acidentais (REED, 2001; REED *et al.*, 2004).

Na Figura 1 é apresentado um esquema ilustrativo das três principais etapas no processo da simulação: os dados de entrada (características do vazamento e condições ambientais), os processos realizados em diferentes intervalos de tempo (intemperismo atuante no óleo) e os resultados (balanço de massa do óleo, distribuição geográfica e propriedades).

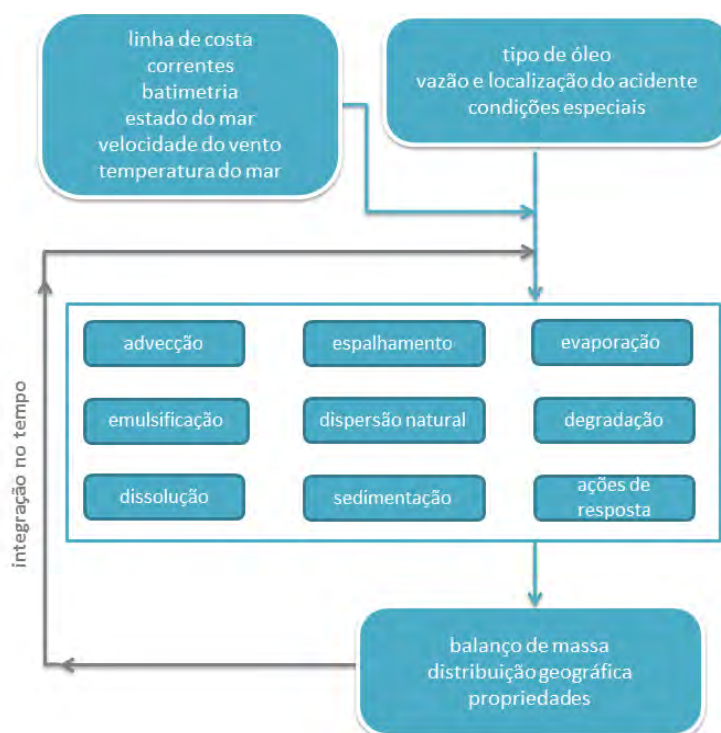


Figura 1: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).

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

## 2. Processos Físico-Químicos do Óleo

O modelo OSCAR utiliza a aproximação de multicomponentes. Tal metodologia consiste na especificação de um número de componentes individuais ou pseudo-componentes para representação da massa de óleo. Cada componente é associado com um conjunto de parâmetros que governam os processos de transformação do óleo.

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

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

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

### 2.1. Advecção

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

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

onde  $R$  é um número aleatório entre -1 e 1,  $K$  é o coeficiente de dispersão turbulenta, estimado para as direções horizontais e verticais, e  $t$  o tempo.

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

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

para  $K$  em  $\text{cm}^2/\text{s}$  e  $t$  em segundos.



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

$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2Kz) \quad 1-3$$

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

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

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

onde,

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

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

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

O **coeficiente de arrasto do vento** na deriva superficial do óleo utilizada neste estudo foi **3,5% da intensidade do vento**.

## 2.2. Espalhamento

O espalhamento do óleo na superfície do mar envolve diversas interações entre forças e processos, e alguns estudos (FAY, 1969 *apud* REED, 2001, HOULT, 1972; FANNELØP & WALDMAN, 1972 *apud* REED, 2001) já mostraram que o espalhamento passivo do óleo ocorre devido às forças da gravidade, momento e viscosidade. Para a representação do espalhamento transversal de uma mancha de vazamento contínuo, é utilizada neste modelo uma equação unidimensional:

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

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

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

### 2.3. Evaporação

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

$$dm_i / dt = K_e P_i A M_i F_i / (RT) \quad 1-5$$

onde  $m_i$  é a massa associada ao  $i$ -ésimo componente do vazamento;  $t$  é o tempo (s);  $K_e$  é o coeficiente de transferência de massa evaporada (m/s);  $T$  é a temperatura (K);  $P_i$  é a pressão de vapor para o  $i$ -ésimo componente (atm);  $A$  é a área da mancha de óleo (m<sup>2</sup>);  $M_i$  é o peso molecular da  $i$ -ésimo componente (g/mol);  $F_i$  é a fração molar do  $i$ -ésimo componente remanescente na mancha; e  $R$  é a constante universal dos gases, 8,206 x 10<sup>-5</sup> atm-m<sup>3</sup>/mol-K.

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

$$K_e = C_d U(t) \quad 1-6$$

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

$$C_d = \left( \frac{U^*}{U(t)} \right)^2 \quad 1-7$$

em que

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

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

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

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

## 2.4. Dispersão natural

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

$$Q_{di} = C^* D^{0,57} S F d_i^{0,7} \Delta d \quad 1-8$$

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

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

$$C^* = 4450 \nu^{-0,4} \quad 1-9$$

onde  $\nu$  é a viscosidade cinemática do óleo (m<sup>2</sup>/s). A energia dissipada da quebra da onda  $D$ , é aproximadamente:

$$D = 0,0034 \rho_w g H_b^2 \quad 1-10$$

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

$$F = 3 \cdot 10^{-6} U(t)^{3,5} \quad 1-11$$

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

$$d_0 = \frac{C_0 \nu^{0,34}}{\sqrt{e}} \quad 1-12$$

sendo  $\nu$  é a viscosidade cinemática do óleo ( $\text{m}^2/\text{s}$ );  $e$  é a taxa de dissipação de energia (geralmente  $1000 \text{ J/m}^3\text{s}$ );  $C_0$  é, aproximadamente, 500 para o menor tamanho de partícula e 3400 para o maior tamanho de partícula. As gotículas são divididas em intervalos entre os tamanhos, mínimo e máximo, encontrados.

## 2.5. Emulsificação

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

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

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

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

$$t_{ref} = C t_{lab} \quad 1-14$$

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

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

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

## 2.6. Dissolução

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

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad 1-16$$

onde  $K_d$  é o coeficiente de transferência de massa por difusão (m/s);  $A$  é a área superficial da mancha de óleo (m<sup>2</sup>);  $F_i$  é a fração molar do componente  $i$  remanescente na mancha;  $S_i$  é a solubilidade do componente  $i$  (g/m<sup>3</sup>, ppm); e  $C_i$  é a concentração ambiente do componente  $i$  (g/m<sup>3</sup>).

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

$$K_d = Sh_i D_i / L \quad 1-17$$

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



$$Sh_i = 0,578 Re^{0,5} Sc_i^{0,33} \quad 1-18$$

onde  $Re$  é o número de Reynolds;  $Sc_i$  é o número de Schmidt;  $U_{rel}$  é a velocidade relativa entre o óleo e a água (m/s);  $L$  é a extensão da mancha (m);  $\nu_w$  é a viscosidade cinemática da água ( $\sim 8,9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $25^\circ\text{C}$ ) e  $D_i$  a difusividade molecular do componente  $i$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

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

$$Sh = 2 + 0,347 Re^{0,62} Sc_i^{0,31i} \quad 1-19$$

## 2.7. Degradação

O cálculo da degradação do óleo no modelo OSCAR é feita através da soma da transformação de cada componente do óleo por diferentes formas de degradação. A Figura 2 mostra o esquema de transformação dos componentes considerados no modelo OSCAR.

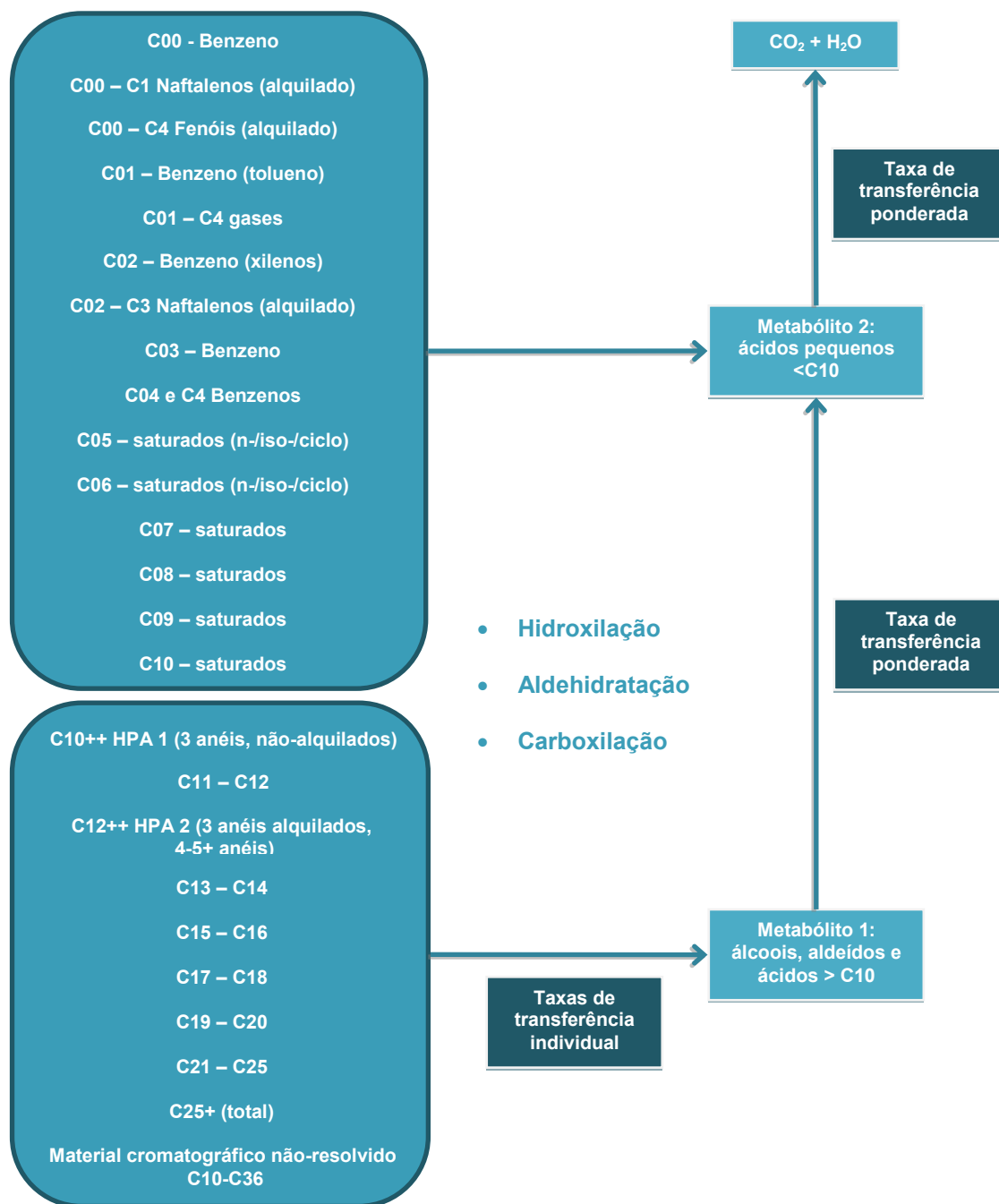


Figura 2: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).

## 2.8. Sedimentação

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

A relação entre a concentração de equilíbrio de um poluente na fase aquosa ( $C_w$ ) e a concentração de equilíbrio na fase sólida ( $C_s$ ) pode ser obtida a uma determinada temperatura. Existem várias teorias que descrevem as isotermas de adsorção, tais como as isotermas de Langmuir (Equação 1-20) e de Freundlich (Equação 1-21) (REED, 2001).

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

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

Segundo Reed (2001), em ambiente aquático, o valor da fase aquosa do poluente,  $C_w$ , é geralmente baixo, e em consequência, o termo  $n$  na equação 1-21 é geralmente igual a 1 e o termo  $K_1 C_w$  na equação 1-20 é muito menor do que 1. Dessa forma, as equações podem ser reduzidas a uma equação linear

$$C_s = K_p C_w C_{ss} \quad 1-22$$

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

$$K_{oc} = \frac{K_p}{f_{oc}} \quad 1-23$$

então  $K_{oc}$  torna-se independente de sorventes. Somado a isso, o coeficiente de partição baseado no carbono orgânico apresenta ótima correlação tanto com  $K_{ow}$  (coeficiente de partição octanol/água) como com a solubilidade em água ( $S$ ) (Equações 1-24 e 1-25, respectivamente).

$$\log K_{oc} = A \log K_{ow} + B \quad 1-24$$

$$\log K_{oc} = a \log S + b \quad 1-25$$

Assim, é possível determinar  $K_{oc}$  tanto do valor de  $K_{ow}$  como da solubilidade, sendo que as constantes de correlação ( $A$ ,  $B$ ,  $a$  e  $b$ ) são normalmente dependentes da estrutura do composto. A Tabela 1 mostra algumas equações de correlação entre  $K_{oc}$ ,  $K_{ow}$  e  $S$  usados no modelo.

Tabela 1: Equações de regressão para estimativa dos parâmetros  $K_{oc}$  e  $K_{ow}$  para diferentes componentes químicos. Fonte: Reed, 2001.

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

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

### 3. Propriedades físicas do óleo

As principais propriedades do óleo utilizadas pelo modelo são a densidade e a viscosidade do óleo. Essas propriedades variam de acordo com curvas obtidas em laboratório em função da

fração de óleo evaporado. A seguir são apresentadas as equações das curvas obtidas em laboratório para os cálculos das propriedades do óleo (JOHANSEN, 1991 *apud* REED, 2001):

$$\text{Densidade (g/L)} \quad \rho_0 = a_p + b_p f \quad 1-1$$

$$\text{Viscosidade (cP)} \quad \mu_0 = e^{(a\mu + b\mu f)} \quad 1-2$$

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

$$\rho(t) = \frac{W(t)\rho_w + [100 - W(t)]\rho_0(t)}{100} \quad 1-3$$

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

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

$$\mu(t) = \mu_0(t) e^{\frac{aW(t)}{100 - bW(t)}} \quad 1-4$$

onde  $a$  e  $b$  são constantes empíricas.



## 4. Concentração na coluna d'água

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

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

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

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

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

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

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

Enquanto os modelos Eulerianos calculam diretamente os valores das concentrações, os modelos de partículas calculam a distribuição espacial de massa do contaminante representada

por uma nuvem de partículas, sendo cada partícula uma representação discreta de uma parcela da massa total do contaminante no ambiente.

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

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

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

## 5. Óleo na costa

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

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

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

O volume máximo de óleo,  $V_{\max}$  ( $m^3$ ), quando há o encontro da mancha de óleo com a linha de costa, pode ser expresso como:

$$V_{\max} = \delta_i L W_i \quad 5-1$$

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

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

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

$$\Delta m = m_i (1 - \exp[-r_i \Delta t]) \quad 1-2$$

Onde  $\Delta m$  é a massa removida no passo de tempo  $\Delta t$ ,  $m_i$  é a massa na célula de costa  $i$ , e  $r_i$  é a taxa de remoção de por tipo de costa  $i$ .

Na Tabela 2 são apresentadas as capacidades máximas de retenção e taxas de remoção do óleo do modelo para vários tipos de linha de costa.

Tabela 2: Capacidades máximas de retenção (mm) e taxas de remoção de óleo (por dia), para três classes de óleo e vários tipos de linha de costa.

	Manguezal / Barra de Rio Vegetada	Areia	Areia / Cascalho	Rocha protegida	Rocha exposta	Estrutura Artificial
Capacidade máxima de retenção (mm)						
$\mu < 30$ cP	70	30	70	5	5	1
$\mu < 2000$ cP	70	25	40	15	15	2
$\mu > 2000$ cP	70	20	30	20	20	5
Taxas de remoção de óleo (por dia)						
$\mu < 30$ cP	0,001	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
$\mu < 2000$ cP	0,001	0,01	0,005	0,01	0,1	0,1
$\mu > 2000$ cP	0,001	0,01	0,005	0,01	0,1	0,1

## 6. Massa Máxima de Óleo na Costa

Para obter a massa máxima de óleo na costa, os elementos de grade são monitorados ao longo de toda a simulação. São armazenadas as informações de massa máxima de óleo que atingiram **cada elemento de grade** ao longo das  $n$  simulações. Ao final, têm-se um mapa das massas máximas por ponto de grade ou célula de costa que atingiram os elementos de grade que representam a costa.

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

## 7. *Blowout* submerso

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

De maneira geral os modelos de *blowout* submerso levam em consideram três diferentes fases: A fase de jato, a fase de pluma e uma fase passiva com velocidade vertical controlada pelo tamanho das gotículas de óleo, conforme ilustrado na Figura 4.

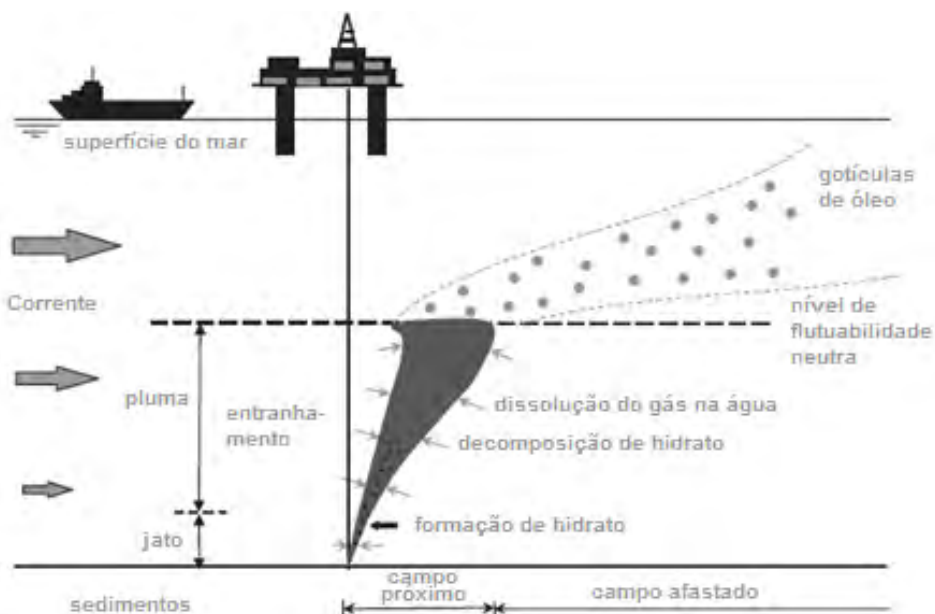


Figura 3: Esquema geral de plumas de *blowout* de óleo em profundidade. Adaptado de Lindersen (2013).

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

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

Na fase de pluma, as gotículas e bolhas de diversos tamanhos se movem em conjunto como uma mistura integral. Nesta fase, a dissolução dos gases, a formação de hidratos e o estranhamento de água do ambiente têm papel dominante na densidade da pluma, que por sua vez, controla o movimento vertical da pluma. Nesta fase, os tamanhos das gotículas e bolhas não afetam de maneira significativa o movimento da pluma. Aspectos importantes da fase de pluma em águas profundas, considerados no Plume3D são:

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

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

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



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

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

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

O acoplamento do Plume3D com o modelo de partículas lagrangiano do OSCAR permite um mapeamento tridimensional das partículas em cada instante e, consequentemente, o cálculo das concentrações de óleo na coluna d'água e espessuras de óleo em superfície, conforme ilustrado na Figura 5.

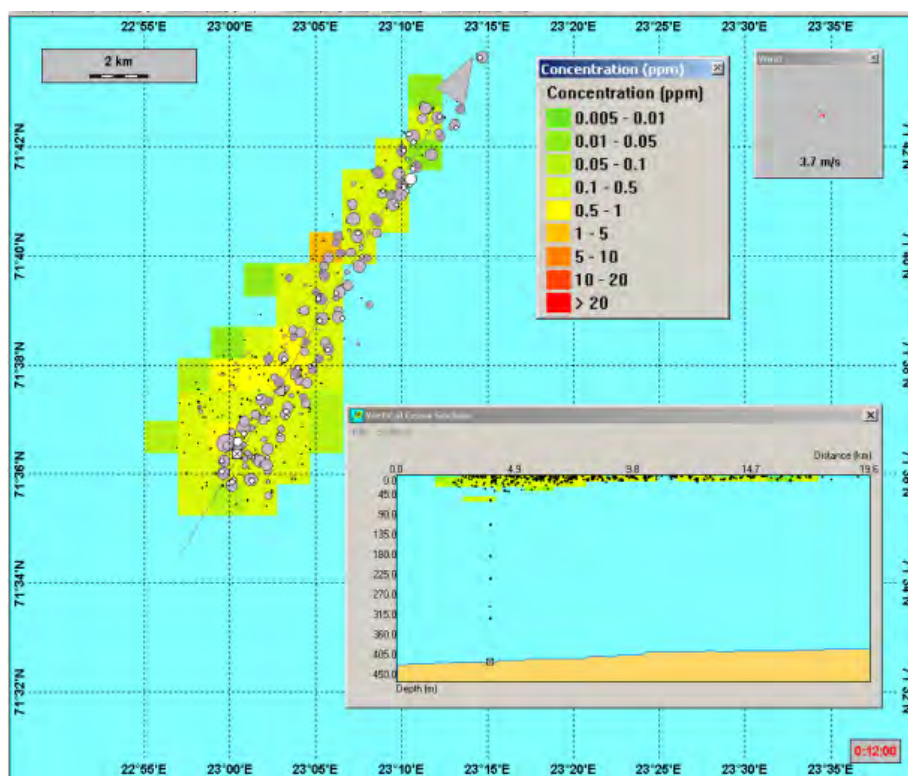


Figura 4: Ilustração de uma simulação de *blowout* no fundo oceânico com o OSCAR. O mapa mostra a distribuição de partículas representando o óleo em superfície (círculos em cinza) e as partículas representando o óleo na coluna d'água (pontos pretos e marrons).

## 8. Resumo dos parâmetros físicos e numéricos

Os parâmetros físicos utilizados no modelo de dispersão de óleo são apresentados na Tabela 3 enquanto as constantes são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3: Parâmetros físicos e químicos utilizados no modelo de óleo.

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

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

Tabela 4: Constantes físicas utilizadas no modelo de óleo.

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

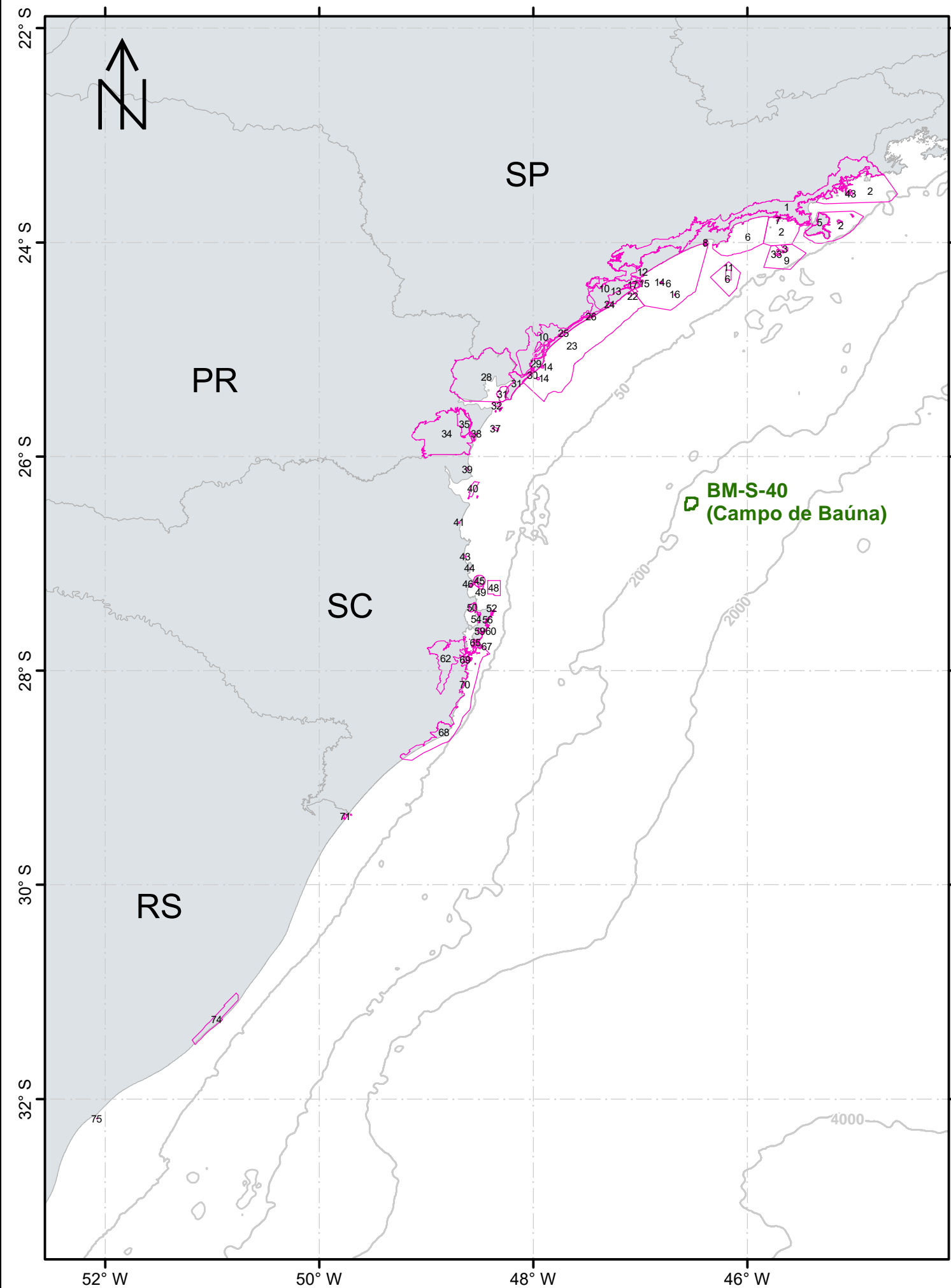
## 9. Bibliografia

- ANDRADE, R.C., 2006 Uma Nova Abordagem para a Solução Numérica de Problemas de Advecção e Difusão Multidimensional, em Corpos de Água Naturais. Tese de doutorado do Programa de Engenharia Oceânica – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica – COPPE/UFRJ.
- BOWDEN, K.F. 1983. Physical oceanography of coastal waters. John Wiley, NY, 302 p.
- BRANDVIK, P., JOHANSEN, Ø., LEIRVIK, F., FAROOQ, U. and DALING, P. (2012). Droplet breakup in sub-surface oil releases - Part 1: Experimental study of droplet breakup and effectiveness of dispersant injection, Submitted to Marine Pollution Bulletin October 2012 .
- DELVIGNE, G. A. L.; SWEENEY, C. E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.
- ETKIN, D.S., FRENCH-MCCAY, D.; MICHEL, J. 2007. Review of the State-of-the-Art on Modeling Interactions between Spilled Oil and Shorelines for the Development of Algorithms for Oil Spill Risk Analysis Modeling. Available from BOEM Environmental Division, Branch of Environmental Sciences. OCS Study MMS 2007-063. 161 p.
- FISCHER, H. B.; LIST, E. J.; KOH, R. C. Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N.,1979. Mixing in Inland and Coastal Waters., Academic Press, New York,1979
- HOULT, D. P. Oil spreading on the sea. Annual Review of Fluid Mechanics, p. 341-367, 1972.
- JOHANSEN, Ø. 2000. DeepBlow – A Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts. Spill Science & Technology Bulletin. Vol. 6, No. 2: 103 – 111.
- JOHANSEN, Ø. and DURGUT, I. (2006). Implementation of the near-field module in theERMS model, Technical report, SINTEF.
- JONG, K, 2004 A Comparison of Four Particle Models. A Comparison of DemWaq, DREAM, GNOME, and SIMPAR. Ministeriere Van Verkeer en Waterstraat.
- LINDERSEN, P, J, B, 2013. Modelling of Subsurface Releases of Oil and Gas. Master's Thesis. Norwegian University of Science and Technology. Department of Chemical Engineering. Trondheim, Norway.
- MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON. 1980. Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.
- REED, M. 2001. Technical Description and Verification Tests of OSCAR 2000, a Multi-Component 3-Dimensional Oil Spill Contingency And Response Model. SINTEF Report. 52p.

- REED, M., AAMO, O. M., DOWNING, K. (1996): Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System. Proceedings of the 1996 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, pp.689-726.
- REED, M.; DALING, P.; LEWIS, A.; DITLEVSEN, M. K.; BRØRS, B.; CLARK, J.; AURAND, D. 2004. Modelling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters. Environmental Modelling & Software, v. 19, p. 681-690.
- REED, M. 2000; SINGSAAS, I.; DALING, P.S; FAKNES, L; BRAKSTAD, O.G.; HETLAND, B. A.; HOKSTAD, J. 2000. Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000. In: 2001 International Oil Spill Conference. Computer Technology and Oil Spills. SINTEF Report. pp.1083-1091.
- REED, M.; JOHANSEN, Ø.; BRANDVIK, P. J.; DALING, P.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. 1999. Oil Spill Modelling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. Spill Science and Technology Bulletin, 5 (1): pp 3-16.
- SEBASTIÃO, P.; SOARES, C. G. 1995. Modeling the Fate of Oil Spills at Sea. Spill Science and Technology Bulletin, 2 (2): pp 121-131.



ANEXO III - Mapa com Unidades de Conservação consideradas no estudo

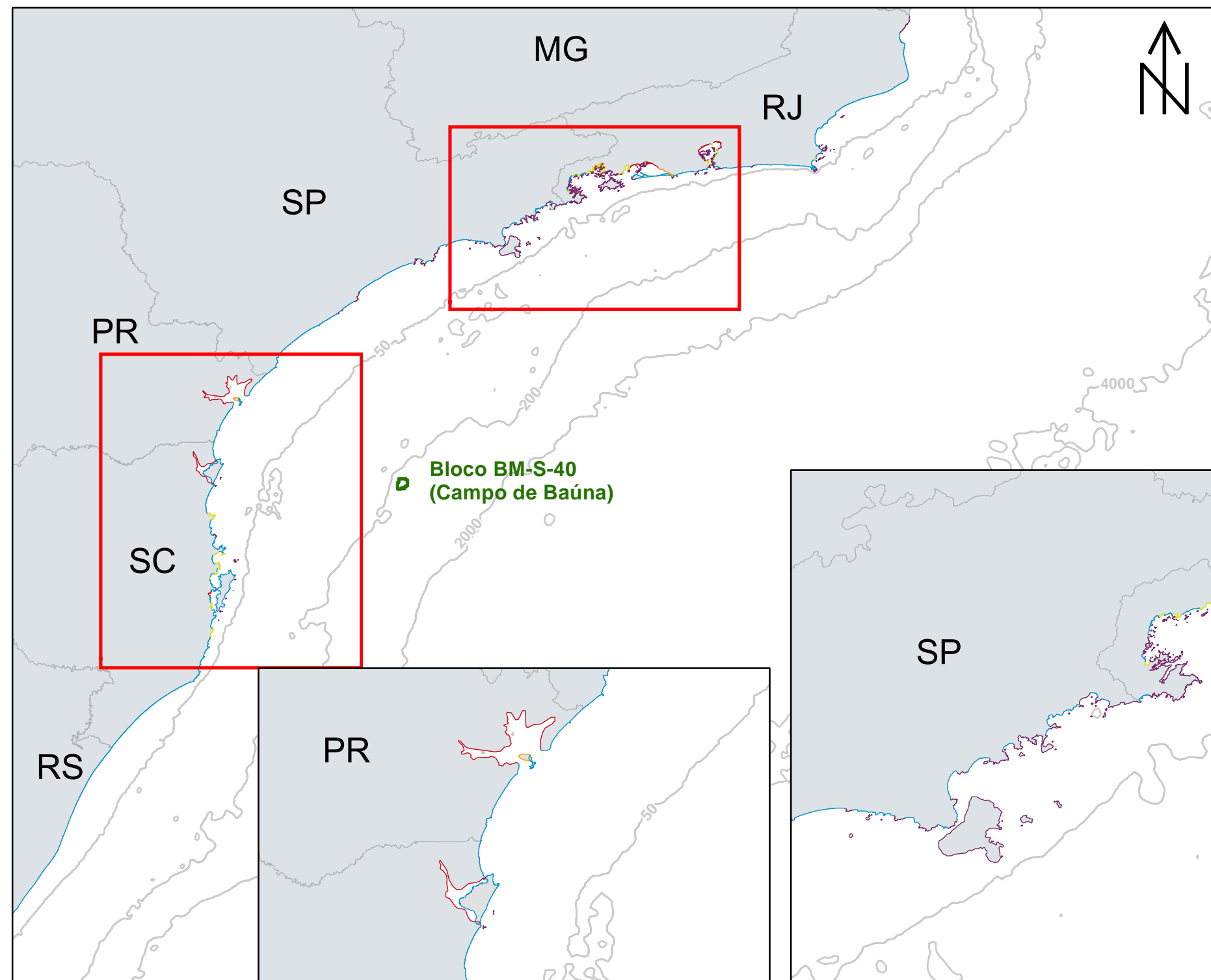


BM-S-40 (Campo de Baúna)

Nº	Unidade de Conservação	Nº	Unidade de Conservação
1	PE da Serra do Mar	39	RPPN Fazenda Palmital
2	APA Marinha do Litoral Norte	40	PE Acarai
3	ESEC Tupinambás	41	PNM Caminho do Peabiru
4	PE da Ilha Anchieta	42	PNM do Atalaia
5	PE de Ilhabela	43	RPPN Aroeira Vermelha
6	APA Marinha do Litoral Centro	44	APA Costa Brava
7	APA Alcatrazes	45	ARIE Costeira de Zimbros
8	PE Xixová-Japuí	46	PNM Costeira de Zimbros
9	RVS do Arquipélago de Alcatrazes	47	RPPN Morro dos Zimbros
10	APA de Cananéia-Iguapé-Peruíbe	48	REBIO Marinha do Arvoredo
11	PE Marinho da Laje de Santos	49	PM Morro dos Macacos
12	PNM Restinga do Guaraú	50	APA Anhatomirim
13	ESEC Juréia-Itatins	51	PNM Lagoa do Jacaré das Dunas do Santinho
14	ESEC dos Tupiniquins	52	AT Dunas dos Ingleses
15	RVS das Ilhas do Abrigo e Guararitama	53	AT Dunas do Santinho
16	ARIE Ilhas Queimada Grande e Queimada Pequena	54	ESEC de Carijós
17	PE do Itinguçu	55	RPPN Morro das Aranhas
18	PNM dos Manguezais do Rio Preto	56	PE do Rio Vermelho
19	PNM do Bougainville	57	MN da Galheta
20	RDS da Barra do Una	58	PNM da Galheta
21	PNM do Vilão	59	PNM do Maciço da Costeira
22	RDS Barra do Una (Setor Marinho)	60	PNM das Dunas da Lagoa da Conceição
23	APA Marinha do Litoral Sul	61	AT da Lagoinha Pequena
24	PE do Prelado	62	PE da Serra do Tabuleiro
25	APA Ilha Comprida	63	AT Dunas do Campeche
26	ARIE do Guará	64	AT da Lagoa da Chica
27	ARIE da Ilha Comprida	65	MN da Lagoa do Peri
28	APA de Guaraqueçaba	66	PNM da Lagoa do Peri
29	PE da Ilha do Cardoso	67	PNM da Lagoinha do Leste
30	RESEX Ilha do Tumba	68	APA da Baleia Franca
31	PARNA do Superagui	69	APA do Entorno Costeiro
32	ESEC da Ilha do Mel	70	REBIO Praia do Rosa
33	PE da Ilha do Mel	71	PE de Itapeva
34	APA de Guaratuba	72	RVS Ilha dos Lobos
35	PARNA de Saint-Hilaire/Lange	73	PE da Guarita
36	PNM do Rio Perequê	74	PARNA da Lagoa do Peixe
37	PARNA Marinho das Ilhas dos Currais	75	RDS do Molhe Leste
38	PE do Rio da Onega		

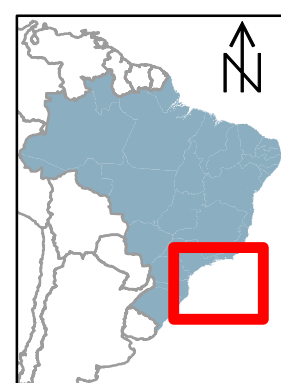
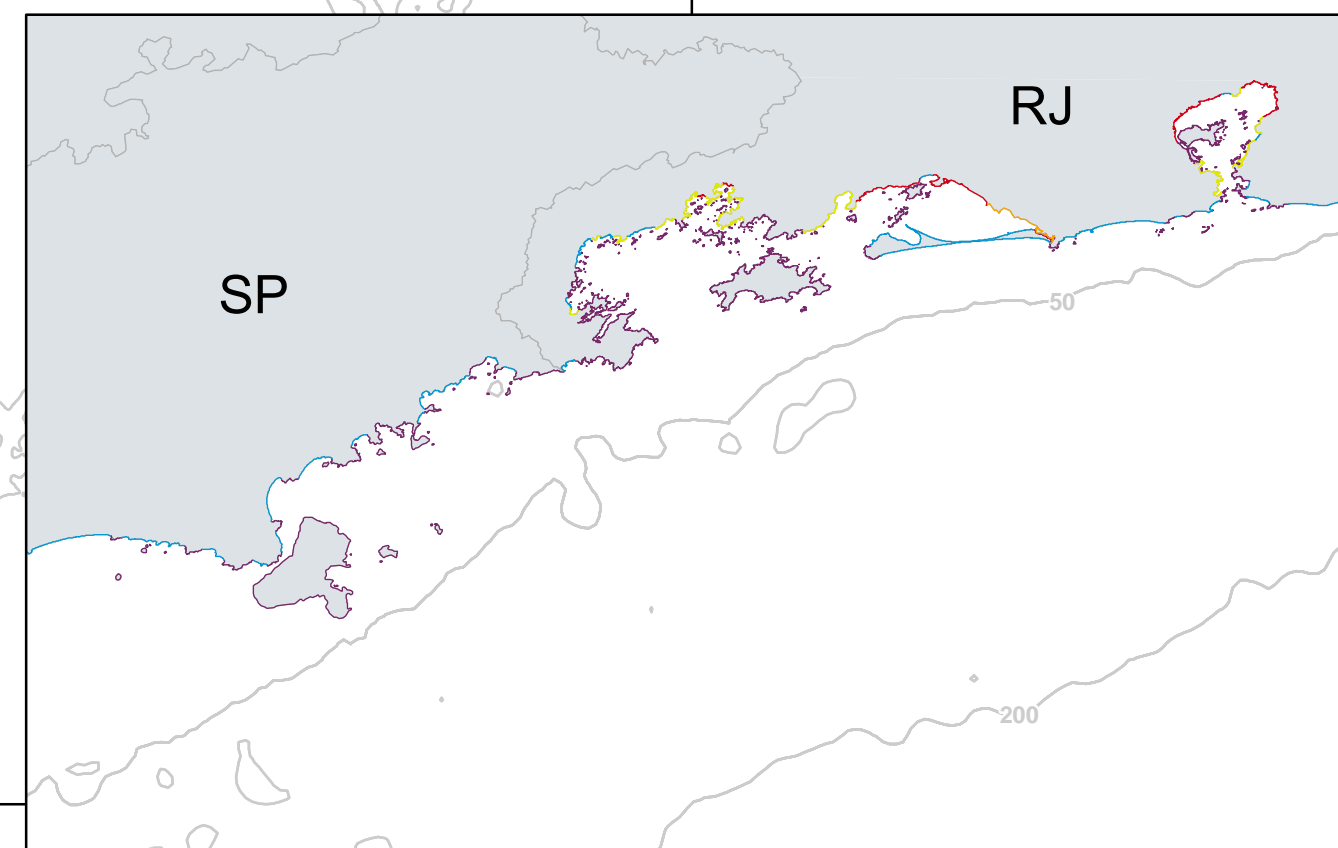
EMPRESA:		CLIENTE:	
EMPREENDIMENTO: Atividade de Perfuração Marítima na Acumulação de Patola, no Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna)		Número de Referência:	
PROJETO: Relatório Técnico de Modelagem de Transporte de Óleo		ÁREA: BACIA DE SANTOS	
TÍTULO: Unidades de Conservação da região do estudo de modelagem de dispersão de óleo do Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna)   Acumulação de Patola.			
Sist. de Coord.: SIRGAS 2000	EXEC.: Flávia Pimentel / Henery Garção / Livia Mariano	VERIF.: Marcelo Cabral	APROV.: Marcelo Cabral
ESCALA: 1:5,000,000 	REV.: 00	DESC.: Emissão Original	FOLHA: 01
DATA: 31/07/2020	Ass:	N.º PROOCEANO_MO_2020	



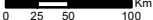

ANEXO IV - Mapa com Detalhamento de linha de costa utilizado para a definição da grade do modelo do OSCAR



### Tipos de costa

- Costão rochoso
- Praia arenosa
- Estrutura artificial abrigada
- Planície de maré
- Manguezal / Marisma / Barra de rio vegetada
- Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna)



EMPRESA: 		CLIENTE: 	
EMPREENDIMENTO:Atividade de Perfuração Marítima na Acumulação de Patola, no Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna)		Número de Referência:	
PROJETO:Relatório Técnico de Modelagem de Transporte de Óleo		ÁREA: BACIA DE SANTOS	
TÍTULO: Detalhamento da linha de costa considerada na modelagem de dispersão de óleo no Bloco BM-S-40 (Campo Baúna)   Acumulação de Patola.			
Sist. de Coord.: SIRGAS 2000	EXEC.:Flávia Pimentel / Henery Garção / Livia Mariano	VERIF.: Marcelo Cabral	APROV.: Marcelo Cabra
ESCALA: 1:6,000,000 	REV.: 00	DESC.: Emissão Original	FOLHA: 01
DATA: 31/07/2020	Ass: 	N.º PROOCEANO_MO_2020	

## **MODELAGEM DA DISPERSÃO DE CASCALHO E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO**



# Modelagem de Cascalho e Fluido de Perfuração

Bloco BM-S-40 (Campo de Baúna) -  
Acumulação de Patola / Bacia de Santos

**RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]**

31 DE MAIO DE 2021

**Preparado para:**

Karooon Energy

**Preparado por:**

Ana Carolina Rochinha Boechat

Henery Ferreira Garção

Marcelo Montenegro Cabral

**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](http://www.prooceano.com.br)

© PROOCEANO 2021

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

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

## Controle de revisão

---

### Revisão nº 01

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

---

### Revisão nº 02

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

---

### Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

---

### Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

---

### Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

---

---

## Equipe técnica


---

**Ana Carolina Rochinha Boechat**

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 4961307

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: 

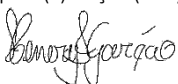
---

**Henery Ferreira Garção**

Registro no Conselho de Classe: -

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: 

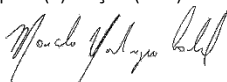
---

**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

1. Introdução.....	5
2. Modelagem Hidrodinâmica .....	7
3. Modelagem de Cascalho e Fluido de Perfuração .....	7
3.1. Características do Descarte.....	7
3.2. Estratégias de Modelagem.....	10
3.3. Resultados .....	17
4. Conclusão.....	42
5. Bibliografia .....	43
6. Anexos.....	45

## 1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica da dispersão de cascalho e fluido de perfuração a serem descartados durante as atividades de perfuração do poço Patola 1. Este poço está contido na acumulação de Patola do bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), na Bacia de Santos.

A localização do ponto de descarte é apresentada na Figura 1 e na Tabela 1.

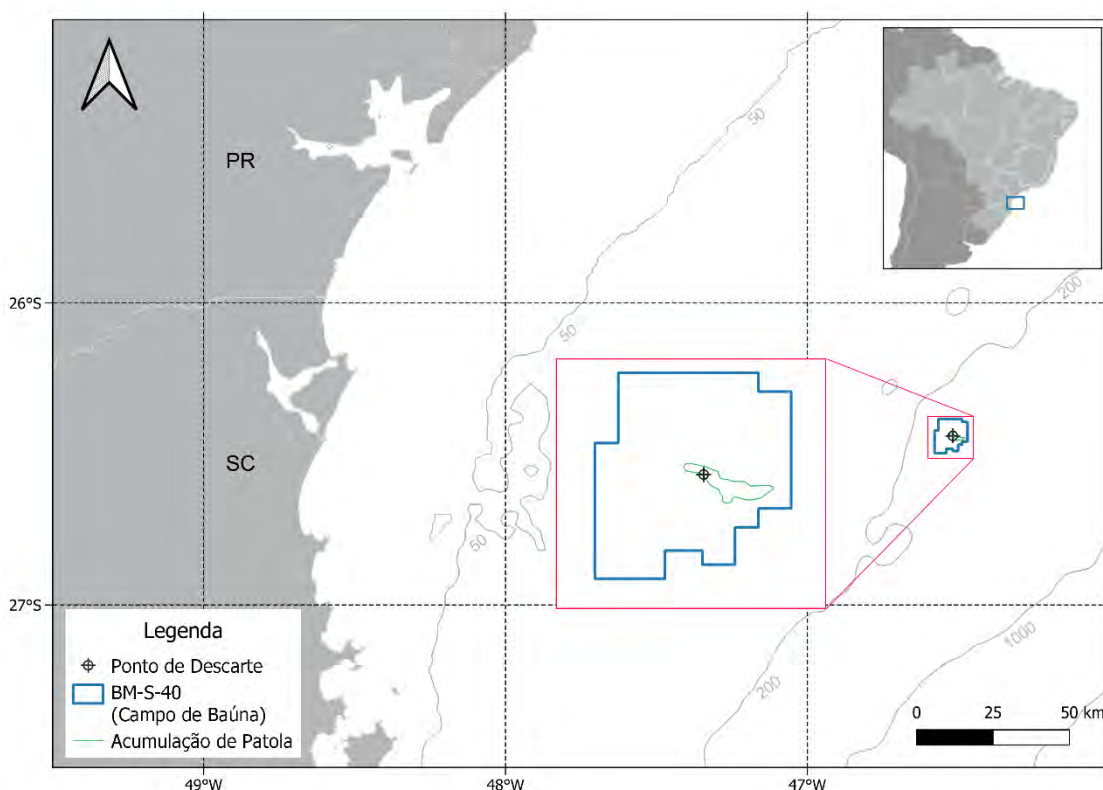


Figura 1: Localização do poço Patola 1, considerado como ponto de descarte de cascalho e fluido de perfuração, em relação à acumulação de Patola do bloco BM-S-40 (Campo de Baúna).

Tabela 1: Coordenadas do ponto de descarte considerado na modelagem (*Datum* SIRGAS2000).

Poço	Latitude	Longitude	Profundidade Local (m)
Patola 1	26°26'23,82" S	46°31'4,68" W	271

As simulações da dispersão de cascalho e fluido de perfuração no mar foram feitas com o **DREAM/ParTrack** (*Dose-Related Exposure Assessment Model*), modelo desenvolvido pela SINTEF (<http://www.sintef.no/>) (REED & HETLAND, 2002) para o cálculo do transporte de fluidos no mar. Dois tipos de simulações foram conduzidos neste estudo: probabilísticas e determinísticas.



Como forçantes meteo-oceanográficas foram utilizados os campos de correntes, temperatura e salinidade do mar da base hidrodinâmica desenvolvida pela PROOCEANO com o modelo **ROMS** (*Regional Ocean Modeling System*) (HAIDVOGEL *et al.*, 2008). Foram também utilizados os campos de ventos provenientes do **ERA-5**, última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) (HENNERMANN, 2017), para manter coerência com os dados utilizados na modelagem hidrodinâmica.

A modelagem hidrodinâmica é descrita no relatório da Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo, realizado pela PROOCEANO para este mesmo processo de licenciamento.

## 2. Modelagem Hidrodinâmica

Este item é apresentado no relatório da Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo, realizado pela PROOCEANO para este mesmo processo de licenciamento.

## 3. Modelagem de Cascalho e Fluido de Perfuração

### 3.1. Características do Descarte

Os projetos de poço preveem a perfuração em três seções. Na primeira etapa da perfuração, referente às duas primeiras seções, não será utilizado riser e o descarte de cascalho e fluido de perfuração aderido ocorre do fundo. Na segunda etapa, que abrange a última seção (III), o riser será instalado, com o descarte ocorrendo em superfície. Não há previsão de descarte de fluido excedente em nenhuma das seções. As informações a respeito dos projetos de perfuração são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características principais dos projetos de perfuração do poço Patola 1.

Características	I	II	III
Diâmetro da seção com fator de alargamento (pol.)	40,3	18,8	13,0
Volume de cascalho descartado (m <sup>3</sup> )	49,4	141,2	108,2
Volume de fluido de perfuração (m <sup>3</sup> )	163	476	30
Tempo de descarte (h)	5	52	162
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	42,5	11,9	0,9
Local de Descarte	fundo	fundo	superfície
Volume de fluido excedente (m <sup>3</sup> )	-	-	-
Tempo de descarte do fluido excedente (h)	-	-	-
Vazão do fluido excedente (m <sup>3</sup> /h)	-	-	-
Base dos fluidos	água	água	sintética

Para as simulações de dispersão do material, além das informações sobre o projeto do poço, são também necessárias as densidades de cascalho e fluido de perfuração, e no caso dos fluidos especificamente, qual a fração de seus componentes líquidos e sólidos (Tabela 3).

Tabela 3: Densidades para o cascalho e fluido de perfuração e frações dos componentes sólidos e líquidos do fluido de perfuração para o poço Patola 1.

Propriedades do Cascalho e dos Fluidos de Perfuração	I	II	III
<b>Cascalho</b>			
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	2600	2600	2600
<b>Fluido de Perfuração</b>			
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	1055	1139	1139
Fração dos sólidos no fluido	4%	10%	8%
Dens. dos sólidos no fluido (kg/m <sup>3</sup> )	2500	2163	3482
Fração dos líquidos no fluido	96%	90%	92%
Dens. dos líquidos no fluido (kg/m <sup>3</sup> )	1000	1025	935

A distribuição granulométrica dos sólidos é intrínseca ao local, sendo dependente das condições da perfuração, características geológicas e formulação dos fluidos utilizados (BRANDSMA & SMITH, 1999). Na ausência de dados específicos para a locação dos poços, que só estarão disponíveis após a perfuração, recorreu-se a distribuições granulométricas amplamente utilizadas pela comunidade científica, como as sugeridas por Brandsma & Smith (1999).

Segundo os autores, essas distribuições foram obtidas a partir de experimentos e publicações no meio científico (*e.g.* DAMES & MOORE, 1978; O'REILLY *et al.*, 1989; BRANDSMA, 1993), o que as confere um grande grau de confiabilidade, tendo sido empregadas inclusive no MAPEM (Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima), projeto desenvolvido por iniciativa dos Centros de Pesquisa das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em parceria com a Indústria Brasileira de Óleo e Gás, representada pelo IBP (TOLDO & AYUP- ZOUAIN, 2004).

Dependendo da base do fluido, aquosa ou sintética, há mudança também na sua distribuição granulométrica, uma vez que os componentes sólidos presentes nas bases aquosas são mais finos quando comparados aos componentes sólidos de bases sintéticas.

Conhecendo a profundidade na qual o efluente será descartado e a velocidade de queda de cada partícula, é possível avaliar o tempo de chegada das partículas ao assoalho oceânico. Essa estimativa, em uma aproximação linear, pode ser realizada pela divisão da distância a ser percorrida (profundidade) pela velocidade de queda de cada classe de grão. Maiores detalhes sobre como a velocidade e o tempo de queda das partículas sólidas é calculada pelo modelo são apresentados no ANEXO I.

O cálculo da velocidade e tempo de deposição das partículas foi realizado para o cascalho e para os sólidos do fluido de perfuração, apresentados a seguir da Tabela 4 à Tabela 8. Os cálculos que apresentaram valores equivalentes foram apresentados na mesma tabela. As densidades especificadas são referentes somente à fração sólida (Tabela 3).

Tabela 4: Velocidade e tempo de deposição estimada para as classes de **cascalho das seções I e II** (seções sem riser e fluido base aquosa).

Classe	Diâmetro (µm)	Fração (%)	Densidade (kg/m³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (dias)
1	1067 - 3603	24%	2600	2,65E-01	<1
2	635 - 1067	19%	2600	1,27E-01	<1
3	232 - 635	20%	2600	6,03E-02	<1
4	117 - 232	12%	2600	1,65E-02	<1
5	45 - 117	3%	2600	4,84E-03	<1
6	14 - 45	6%	2600	6,84E-04	<1
7	4 - 14	8%	2600	6,53E-05	<1
8	1 - 4	8%	2600	5,24E-06	2

Tabela 5: Velocidade e tempo de deposição estimada para as classes de **sólidos do fluido de perfuração da seção I** (seção sem riser e fluido base aquosa).

Classe	Diâmetro (µm)	Fração (%)	Densidade (kg/m³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (dias)
1	1067 - 3603	24%	2500	2,56E-01	<1
2	635 - 1067	19%	2500	1,21E-01	<1
3	232 - 635	20%	2500	5,75E-02	<1
4	117 - 232	12%	2500	1,55E-02	<1
5	45 - 117	3%	2500	4,53E-03	<1
6	14 - 45	6%	2500	6,41E-04	<1
7	4 - 14	8%	2500	6,12E-05	<1
8	1 - 4	8%	2500	4,90E-06	2

Tabela 6: Velocidade e tempo de deposição estimada para as classes de **sólidos do fluido de perfuração da seção II** (seção sem riser e fluido base aquosa).

Classe	Diâmetro (µm)	Fração (%)	Densidade (kg/m³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (dias)
1	1067 - 3603	24%	2163	2,23E-01	<1
2	635 - 1067	19%	2163	1,03E-01	<1
3	232 - 635	20%	2163	4,74E-02	<1
4	117 - 232	12%	2163	1,23E-02	<1
5	45 - 117	3%	2163	3,50E-03	<1
6	14 - 45	6%	2163	4,94E-04	<1
7	4 - 14	8%	2163	4,72E-05	<1
8	1 - 4	8%	2163	3,78E-06	3

Tabela 7: Velocidade e tempo de deposição estimada para as classes de **cascalho da seção III** (seção com *riser* e fluido base sintética).

Classe	Diâmetro (µm)	Fração (%)	Densidade (kg/m³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (dias)
1	23561 - 33942	16%	2600	1,05E+00	<1
2	19094 - 23561	17%	2600	9,05E-01	<1
3	15098 - 19094	17%	2600	8,10E-01	<1
4	12599 - 15098	16%	2600	7,30E-01	<1
5	10309 - 12599	13%	2600	6,64E-01	<1
6	8529 - 10309	9%	2600	6,02E-01	<1
7	6923 - 8529	6%	2600	5,45E-01	<1
8	5490 - 6923	3%	2600	4,88E-01	<1
9	4229 - 5490	2%	2600	4,32E-01	<1
10	3846 - 4229	1%	2600	3,94E-01	<1

Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimada para as classes de **sólidos do fluido de perfuração da seção III** (seção com *riser* e fluido base sintética).

Classe	Diâmetro (µm)	Fração (%)	Densidade (kg/m³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (dias)
1	23561 - 33942	16%	3482	1,31E+00	<1
2	19094 - 23561	17%	3482	1,13E+00	<1
3	15098 - 19094	17%	3482	1,01E+00	<1
4	12599 - 15098	16%	3482	9,12E-01	<1
5	10309 - 12599	13%	3482	8,29E-01	<1
6	8529 - 10309	9%	3482	7,52E-01	<1
7	6923 - 8529	6%	3482	6,81E-01	<1
8	5490 - 6923	3%	3482	6,10E-01	<1
9	4229 - 5490	2%	3482	5,39E-01	<1
10	3846 - 4229	1%	3482	4,93E-01	<1

## 3.2. Estratégias de Modelagem

### 3.2.1 Limiar de Monitoramento

#### 3.2.1.1 Pilhas de Deposição

O estudo de Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004) apresenta uma revisão bibliográfica (KRANZ, 1974; MAURER *et al.*, 1981; BELLCHAMBERS & RICHARDSON, 1995; CHANDRASEKARA & FRID, 1998; HOLTHAUS *et al.*, 2003) dos limites mínimos de espessura para os quais são identificados efeitos nocivos em diversos grupos e espécies de organismos bentônicos. São considerados quatro efeitos críticos para análise: mortalidade, redução do crescimento da espécie, redução do assentamento larval e mudanças na composição faunística.



Dos trabalhos analisados, o estudo de Holthaus *et al.* (2003) estima a espessura mínima para a qual o soterramento não seria considerado nocivo à comunidade bentônica com base na análise de curvas SSD (*Species Sensitivity Distribution*). Os valores obtidos são os seguintes:

- Para sedimentos exógenos (não-nativos): 0,96 cm;
- Para sedimentos endógenos (nativos): 0,65 cm.

Com base nessa análise, é ainda sugerido no estudo de Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004) que o limite em que já não são sentidos efeitos nocivos seja de 0,5 cm, podendo este ser utilizado como limiar para estudos de modelagem de cascalho e fluidos de perfuração.

Baseado nas referências bibliográficas apresentadas acima, percebe-se que o limiar de 0,1 cm (1 mm) seria conservador o suficiente para a representação e estimativa das pilhas de deposição formadas no assoalho marinho. Entretanto, de maneira geral, os Termos de Referência elaborados pela CGPEG/DILIC/IBAMA para modelagens de cascalho e fluido de perfuração, normalmente, exigem que as pilhas de deposição sejam monitoradas até o limiar de 0,01 mm. Dessa forma, visando atender ao que usualmente é solicitado, os resultados serão apresentados considerando o limiar de **0,01 mm**, sendo sempre comparados com o que foi obtido para 1 mm.

### 3.2.1.2 Sólidos em Suspensão

Embora sedimentos, e seus efeitos na transparência da água e na turbidez, sejam componentes inerentes de sistemas aquáticos, é conhecido através da literatura científica que há um aumento do risco de sobrevivência e bem-estar de organismos aquáticos quando níveis de concentração de sólidos ultrapassam os níveis de *background*. A perspectiva sobre os efeitos potenciais dos sedimentos nos sistemas aquáticos pode ser obtida em literaturas mundiais, como por exemplo, Birtwell (1999).

Em estuários e áreas costeiras, a concentração natural de partículas na água do mar – MPS (Material Particulado em Suspensão) - pode passar de 400 ppm. Em oceano aberto, as concentrações típicas são mais baixas, geralmente < 20 mg/L. Particularmente em sistemas aquáticos com concentrações naturais relativamente baixas de sedimentos em suspensão (< 10 mg/L), um aumento nas concentrações de MPS pode levar a mudanças ecológicas.

Buscando mapear os impactos potenciais de uma perspectiva mais conservadora, o limiar de 5 ppm para concentração de sólidos em suspensão foi utilizado nesse trabalho, baseado em padrões internacionais, como Smit *et al.* (2006) que revisou diversos estudos conduzidos para identificar o efeito do descarte de cascalho em organismos nectônicos.

De acordo com esses estudos, o limiar mais baixo no qual organismos estão sujeitos a mudanças significativas, em descartes com fluido de base aquosa, foi de 10 mg/L (~10 ppm). Embora esse limiar leve em conta resultados de descartes de fluidos de base aquosa, é importante notar que essa abordagem é viável, uma vez que esses fluidos são compostos também por sólidos e são os que permanecem por mais tempo em suspensão no ambiente. Além disso, para impactos relacionados ao aumento de partículas na coluna d'água, o DREAM opera com o CENO (Concentração de Efeito

Não Observado) de 10 ppm para cascalho. Estes limites de efeitos são globais e foram derivados de curvas DSE (Distribuição de Sensibilidade de Espécies – do inglês SSD) (SMIT *et al.*, 2006). Para tal, os limites de efeito incluem todos os tipos de organismos aquáticos incluindo microalgas, organismos filtradores e copépodes.

Valores de limiares em torno de 10 ppm para MPS em corpos d'água são muito comuns em regulamentações ambientais internacionais. Geralmente, os impactos ambientais devem ser julgados considerando o aumento de sedimentos em suspensão relacionados aos níveis de *background*. Como exemplo, o Conselho Canadense de Ministros Ambientais e Recursos (CCREM) forneceram diretrizes para sólidos totais em suspensão (BIRTWELL, 1999). Recomenda-se que os sólidos em suspensão não ultrapassem mais do que 10 mg/L (~10 ppm) do nível de *background*, quando este é menor que 100 mg/L. Sólidos em suspensão não devem exceder 10% das concentrações de background quando estas são maiores que 100 mg/L.

Uma vez que não há medidas *in situ* de sólidos em suspensão para definir os níveis de *background*, foi escolhido um limiar de monitoramento mais conservador, de **5 ppm**.

### 3.2.2 Parâmetros das Simulações

As simulações numéricas apresentadas neste estudo foram realizadas com o DREAM/ParTrack, modelo numérico descrito em detalhes no ANEXO I. Simulações nos modos probabilístico e determinístico foram realizadas para avaliar a dispersão do material descartado no meio.

Nesse contexto, a modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário. Cabe à simulação probabilística averiguar o comportamento da dispersão sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença do contaminante em cada região de domínio do modelo. A Figura 2 ilustra como que um resultado probabilístico (d) pode ser calculado a partir de *n* casos determinísticos (a, b e c).

Os resultados probabilísticos são de grande importância, pois ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração, quanto as regiões com maior probabilidade de serem afetadas por tal descarte.

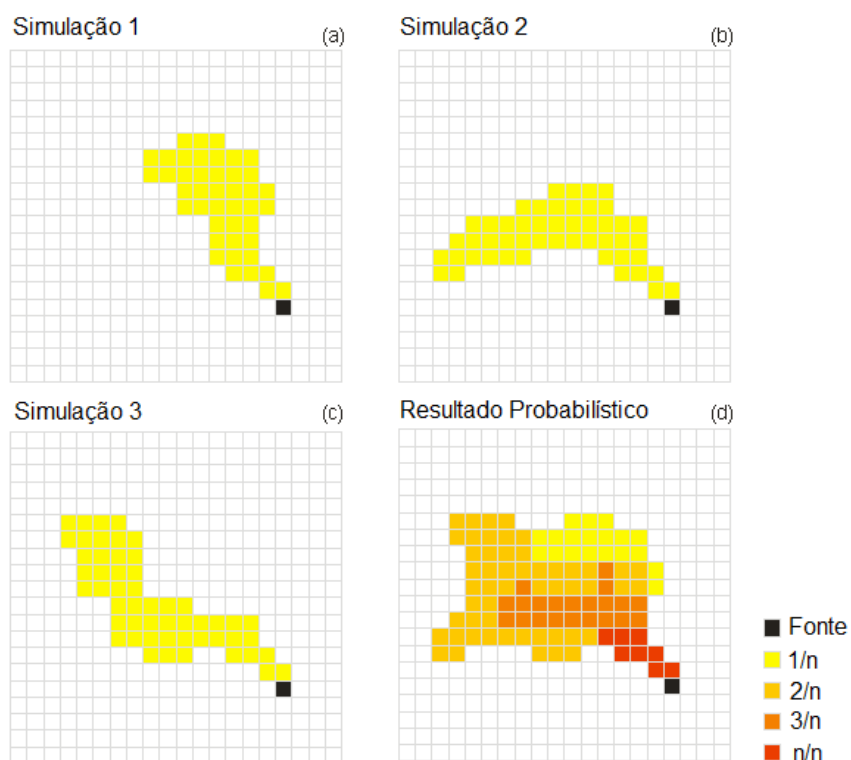


Figura 2: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte (d) a partir de  $n$  casos determinísticos (a, b e c).

Mesmo com o advento dos modelos numéricos de simulação de cascalho e fluido de perfuração, todos ainda são limitados a simulações determinísticas, ao contrário dos modelos numéricos de dispersão de óleo, que apresentam análises em cenários probabilísticos. Dessa forma, foi proposta pela PROOCEANO, a aplicação de uma metodologia que consiste em simular um determinado número de casos determinísticos no DREAM/ParTRack e após a obtenção desses resultados, extrair qual seria a probabilidade de ocorrência do constituinte para cada ponto de grade.

A aplicação desta metodologia consome um maior tempo para processamento e pós-processamento dos dados, em comparação com os modelos probabilísticos de óleo. Esse tempo é variável e dependente da quantidade de cenários determinísticos simulados e do tempo de duração de cada descarte. A metodologia a ser empregada deve ser suficiente para captar a variabilidade ambiental e, ao mesmo tempo, ser viável – a preparação manual de um número muito alto de simulações determinísticas seria inviável.

Para este estudo, foi proposta a delimitação de 1 ano de análise, coincidente com os dados hidrodinâmicos utilizados. A separação sazonal foi a mesma aplicada pela PROOCEANO na modelagem de dispersão de óleo realizada para este mesmo processo de licenciamento. Conforme exposto, a partir da observação das informações de ventos e correntes, são identificadas duas condições sazonais:

- **Período 1: de setembro a fevereiro**, com ventos de NE, e correntes de SSW com maiores intensidades;
- **Período 2: de março a agosto**, com ventos de NE e maior ocorrência nas demais direções, e correntes de SSW com menores intensidades e maior ocorrência nas demais direções.

O intervalo entre o início de cada simulação foi de 4 dias, resultando em **41 simulações no Período 1 e 44 simulações no Período 2**, no total de 85 simulações.

Para a estimativa do tempo de simulação, é necessário o conhecimento do tempo total gasto para o descarte de todo o material e, ainda, do tempo ao qual este material estará sujeito à deposição no ambiente. O tempo de simulação deve ser suficiente para que a maior parte do material descartado seja depositada no fundo marinho. Estima-se que o **tempo total de descarte** de todas as seções será **de ~9 dias** (219 h - Tabela 2).

Em relação à análise do tempo de deposição (Tabela 4 à Tabela 8), é preciso cuidado especial com aqueles que demandam maiores períodos. No caso deste projeto, o maior tempo de deposição foi de 3 dias, referente aos sólidos do fluido de perfuração da seção II. A seção III descartada logo após tem previsão de descarte de quase 7 dias (162 h), tempo suficiente para a deposição de todo o material da seção II. Dessa forma, estipulou-se um **tempo de simulação de 11 dias** - acréscimo de 2 dias após o término do descarte. Este período é suficiente para o depósito de 100% de todo o material descartado.

A Figura 3 apresenta, de maneira esquemática, todas as simulações que foram realizadas para ambos os períodos sazonais. Nota-se que as simulações abrangem todo o ano de dados disponíveis (2013).

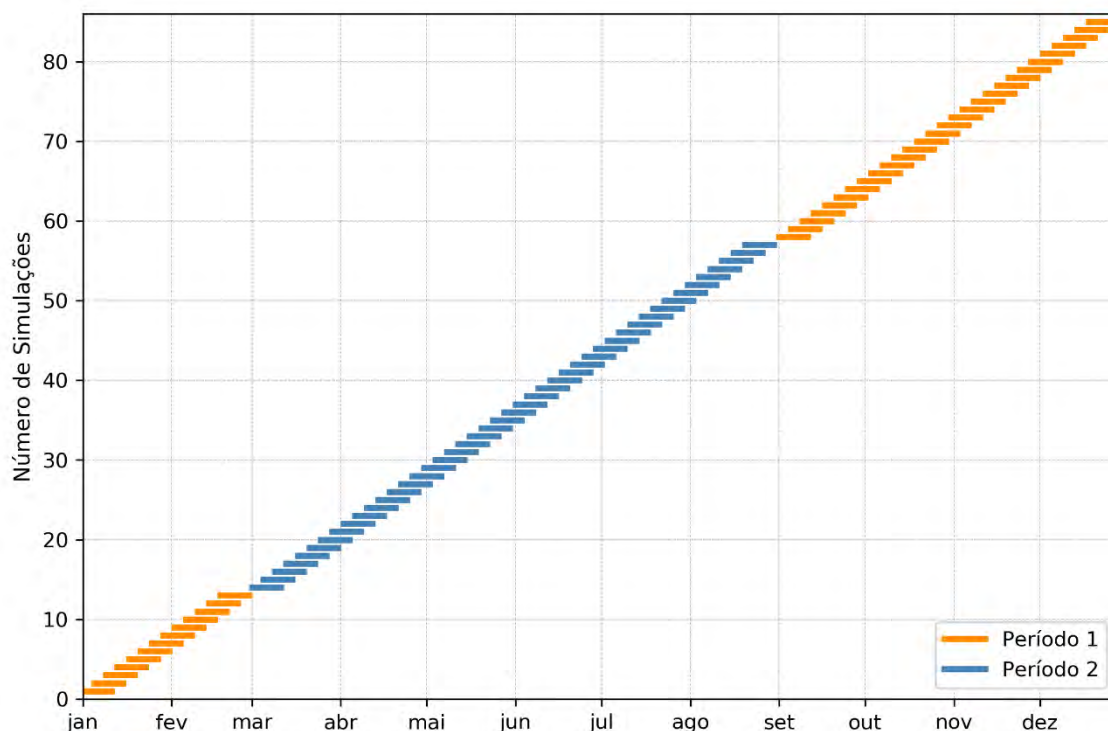


Figura 3: Número de simulações realizadas durante o ano de 2013 para o poço Patola 1. Cada barra colorida reflete uma simulação distinta com duração de 11 dias, espaçadas a cada 4 dias. Em laranja, são apresentadas as 41 simulações determinísticas realizadas para o Período 1 e, em azul, as 44 simulações realizadas para o Período 2.

O maior impacto causado pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração é o acúmulo de sólidos no fundo marinho. Os sólidos em suspensão na coluna d'água configuram um impacto mais efêmero. Além disso, uma modelagem probabilística para os sólidos em suspensão demanda diferentes configurações da modelagem com enfoque nos resultados de espessura: domínio de grade diferente (item 3.2.3) e maior refinamento temporal. Para a apresentação dos resultados probabilísticos dos sólidos em suspensão, seria necessário configurar o dobro de simulações.

Dessa forma, levando em conta a importância dos resultados e o tempo de projeto/custo computacional, a modelagem probabilística foi restrita às pilhas de deposição. A apresentação dos sólidos em suspensão ficou restrita ao modo determinístico.

Para a escolha dos cenários determinísticos a serem apresentados, foram considerados dois critérios: **espessura máxima** e **distância máxima da fonte**. Dessa forma, dentre todos os cenários determinísticos obtidos, independente do cenário sazonal, foram escolhidos dois casos distintos, aquele em que foi obtido o valor máximo de espessura no fundo, e o que obteve a maior distância da fonte, considerando o limiar mais conservador (0,01 mm).

A Tabela 9 apresenta um resumo das principais informações discutidas neste item.



Tabela 9: Resumo das principais características e parâmetros das simulações.

Características e parâmetros das simulações		
Forçantes meteoceanográficas	ano do dados	2013
	Período 1	setembro a fevereiro
Separação sazonal	Período 2	março a agosto
	Período 1	41
Número de simulações no modo probabilístico	Período 2	44
	-	11 dias
Duração da simulação	-	11 dias
	-	11 dias
Passo de tempo	-	11 dias
	-	11 dias
Output dos resultados	-	11 dias
	-	11 dias

### 3.2.3 Descrição da Grade

Em estudos de modelagem, a relação entre a resolução da grade projetada e a escala do fenômeno estudado é vital na obtenção de bons resultados. Para este estudo, foram utilizadas duas grades distintas, uma para as pilhas de deposição e outra para os sólidos em suspensão.

Os limites da grade escolhida para as pilhas de deposição (espessura) são 46°34'W - 46°28'W e 26°30'S - 26°23'S, com uma matriz de 680x813 células na direção zonal e meridional e resolução horizontal de 15 m. Já, para os sólidos em suspensão (concentração), os limites da grade são 46°34'W - 46°30'W e 26°29'S - 26°25'S, com uma matriz de 212x294 células e resolução horizontal de 30 m.

Para fins de modelagem, foi considerada uma profundidade uniforme em todo o domínio da grade, correspondente à profundidade da lâmina d'água local (271 m). Para a grade de sólidos em suspensão, foi considerada uma resolução vertical de 15 m.

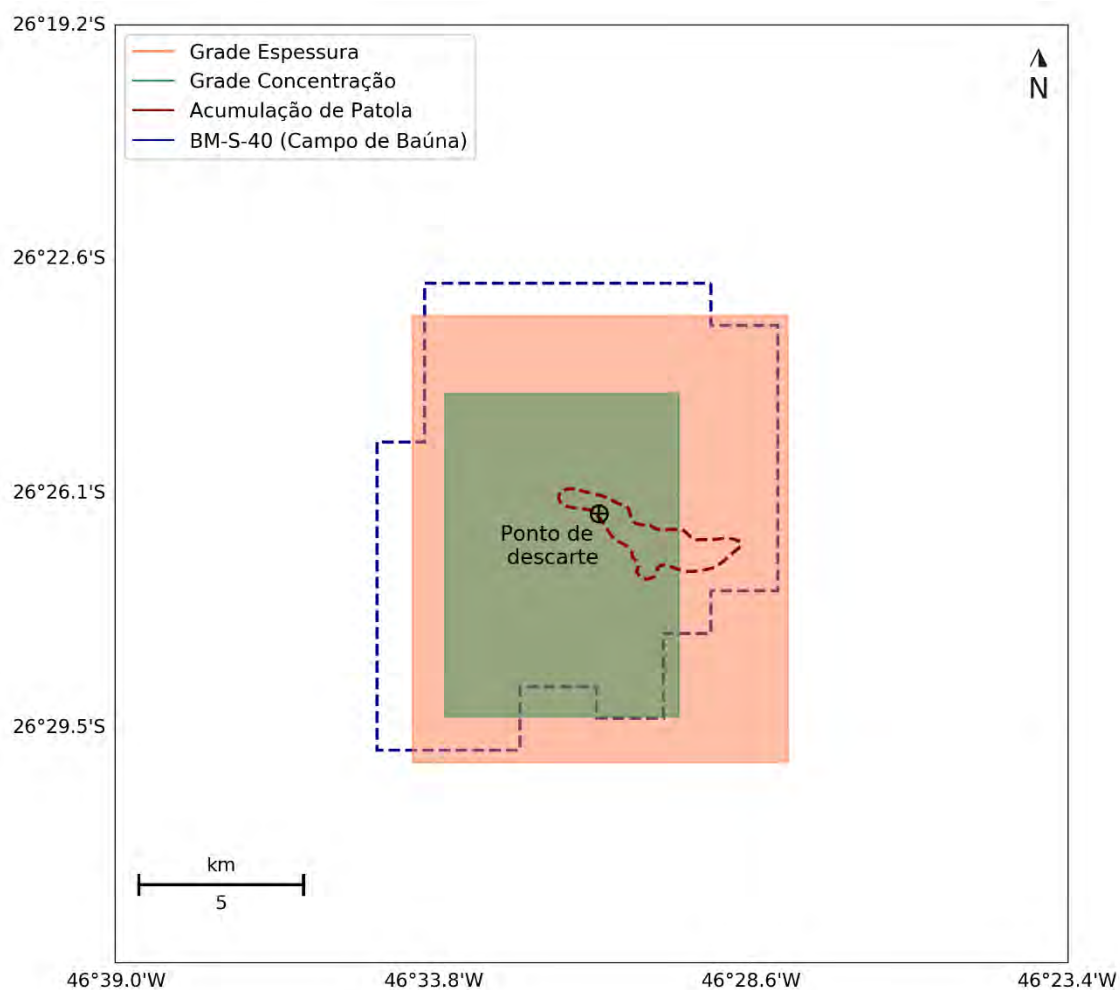


Figura 4: Domínios das grades utilizadas nas modelagens.

### 3.3. Resultados

A seguir, serão apresentados os principais resultados das simulações de dispersão de cascalho e fluido de perfuração para todos os diferentes cenários considerados, nos modos probabilístico e determinístico. A Tabela 10 apresenta um resumo da apresentação desses resultados.

Tabela 10: Resumo da apresentação dos resultados.

Modo	Tipo de Resultado	Cenário
Probabilístico	Pilhas de deposição	Período 1
		Período 2
Determinístico	Pilhas de deposição	Espessura máxima acima de 0,01 mm
		Distância máxima das espessuras acima de 0,01 mm
	Sólidos em suspensão	Espessura máxima acima de 0,01 mm
		Distância máxima das espessuras acima de 0,01 mm

### 3.3.1 Modo Probabilístico

Na abordagem probabilística são realizadas diversas simulações determinísticas, abrangendo diferentes cenários meteoceanográficos (correntes, ventos, temperatura e salinidade do mar). Os mapas probabilísticos apresentados a seguir são resultados de:

- **Espessura máxima:** para cada ponto de grade é extraído o valor máximo de espessura possível de ser obtido naquele ponto, decorrente do descarte das seções previstas em cada projeto de poço;
- **Probabilidade de presença:** indica o percentual de simulações determinísticas nas quais as espessuras no fundo marinho excederam determinado limiar.

Os resultados são apresentados com base nos limiares de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm.

#### 3.3.1.1 Período 1 (Setembro a Fevereiro)

As rosas de corrente em profundidade obtidas para o Período 1 são apresentadas na Figura 5.

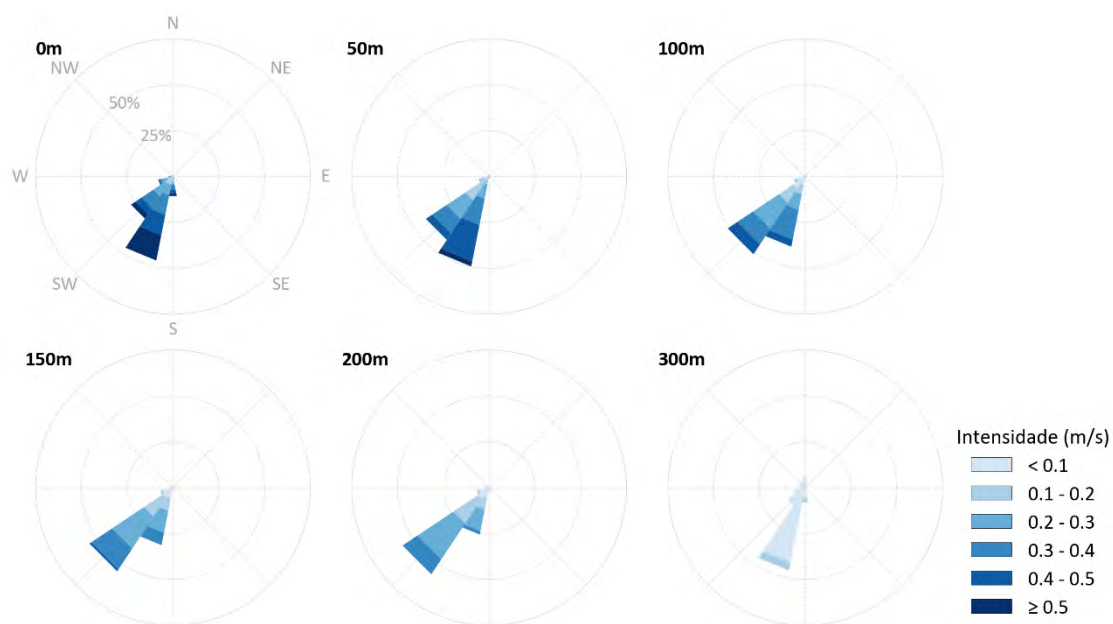


Figura 5: Rosa de corrente em profundidade para o Período 1.

A Figura 6 apresenta os mapas de espessura máxima obtidos a partir da integração das seções sem riser (fluido base aquosa e descarte do fundo) e com riser (fluido base sintética e descarte de superfície). Por sua vez, a Figura 7 apresenta a espessura máxima resultante da integração do descarte de todas as seções.

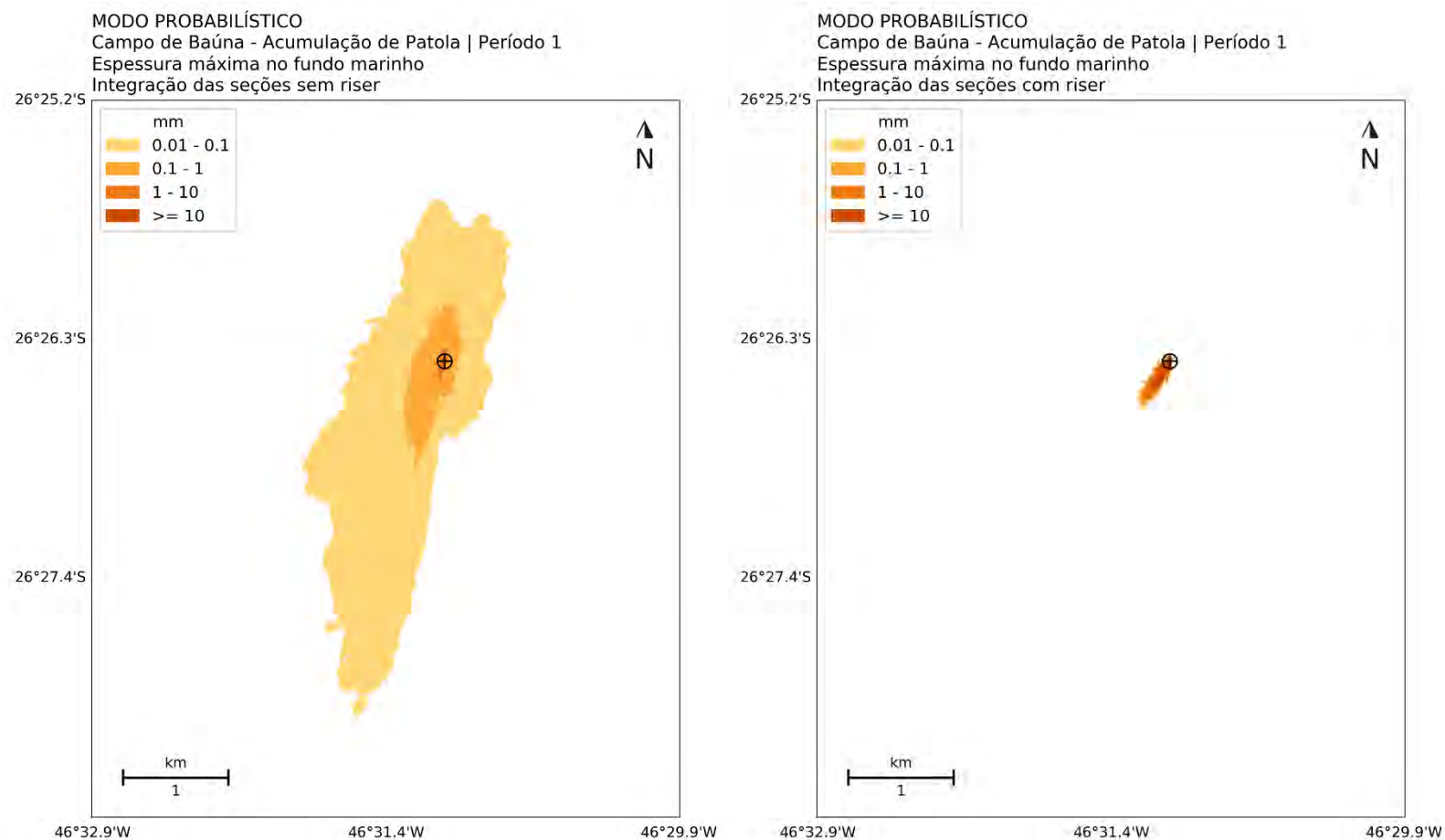


Figura 6: Espessura máxima no fundo marinho resultante da integração das seções sem riser (I e II) e com riser (III), considerando todas as 41 simulações determinísticas do Período 1. *Datum* SIRGAS2000.



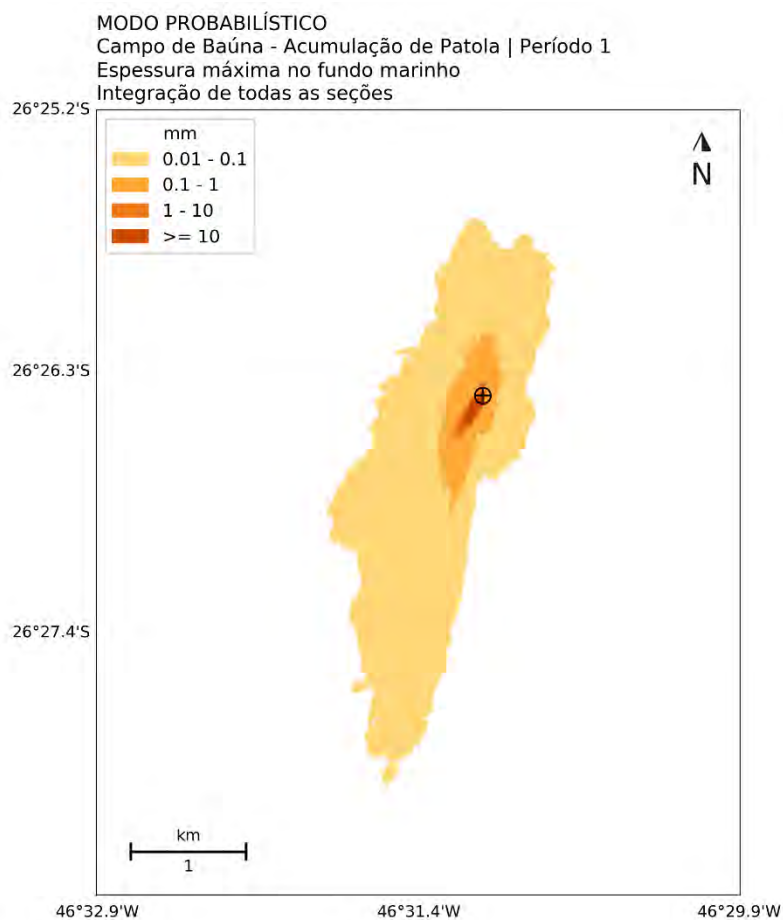


Figura 7: Espessura máxima no fundo marinho resultante da integração de todas as seções (I a III), considerando todas as 41 simulações determinísticas do Período 1. Datum SIRGAS2000.

Da Figura 8 à Figura 9 são apresentados os mapas de probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm.

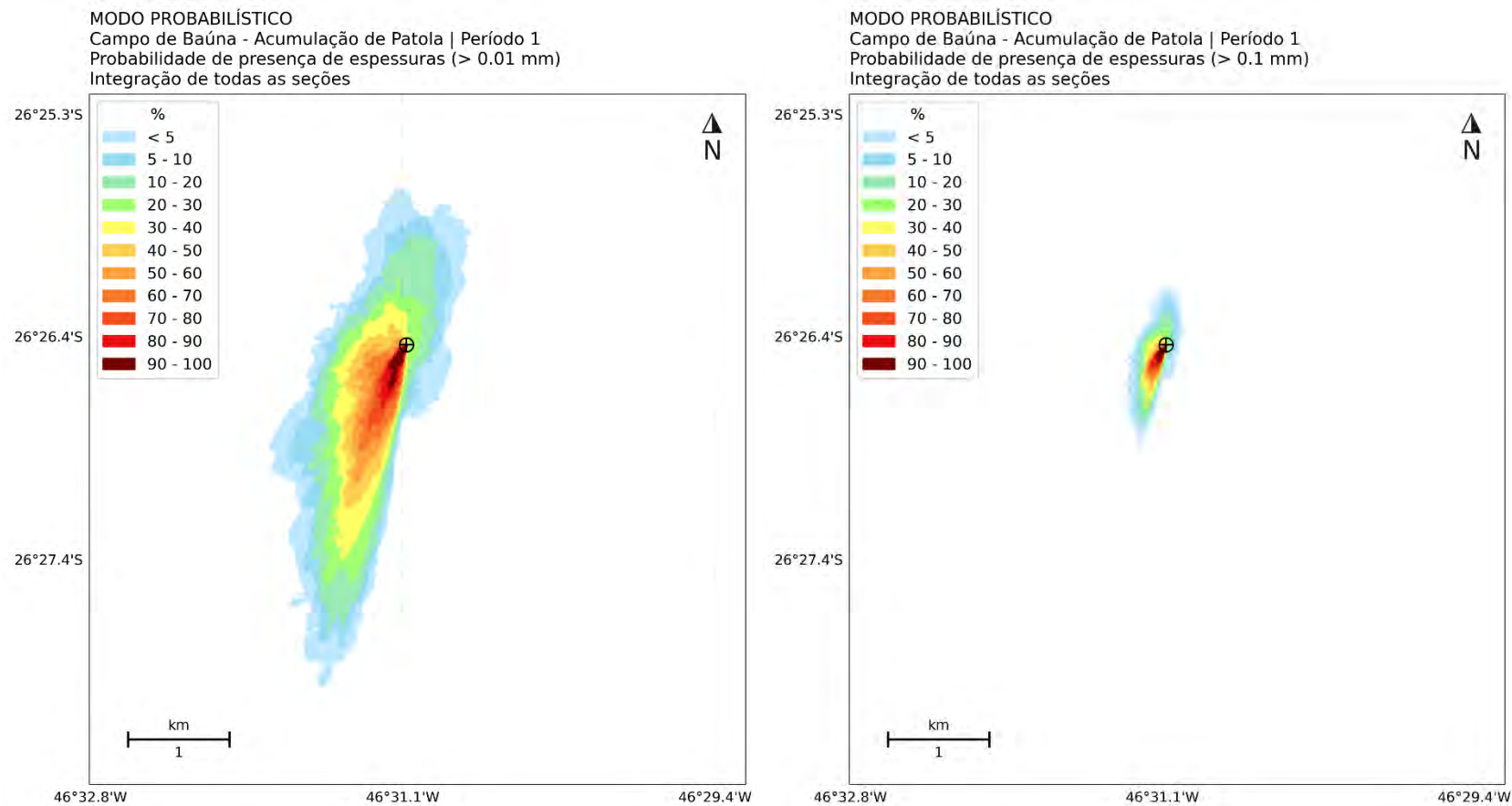


Figura 8: Probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho acima de 0,01 mm e 0,1 mm, resultante da integração de todas as seções (I a III), considerando todas as 41 simulações determinísticas do Período 1. Datum SIRGAS2000.

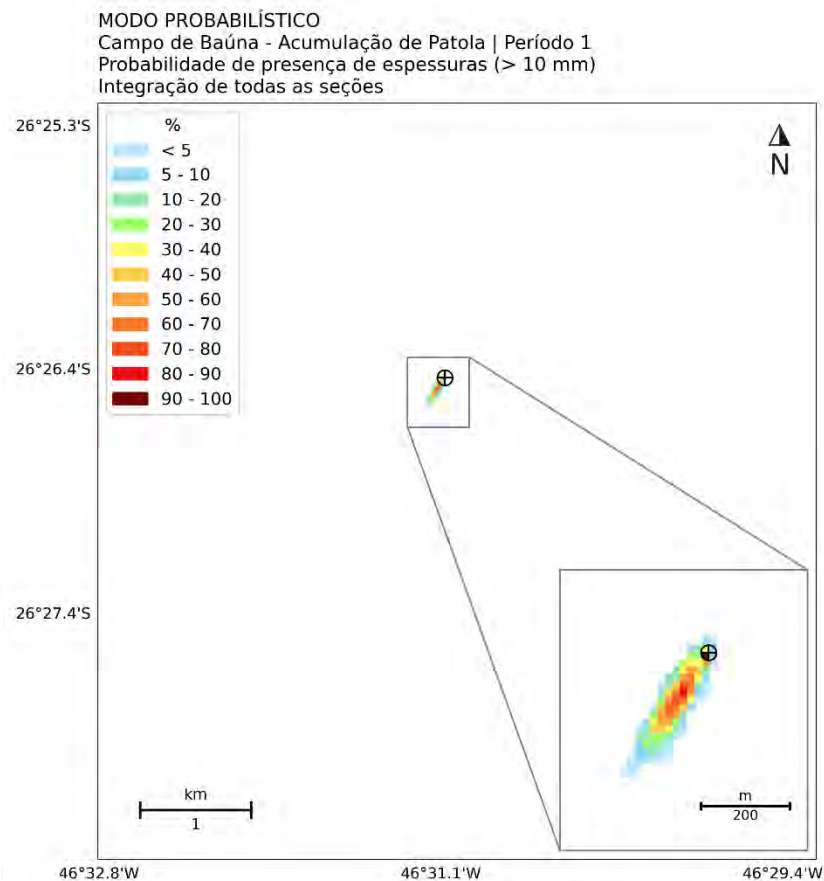
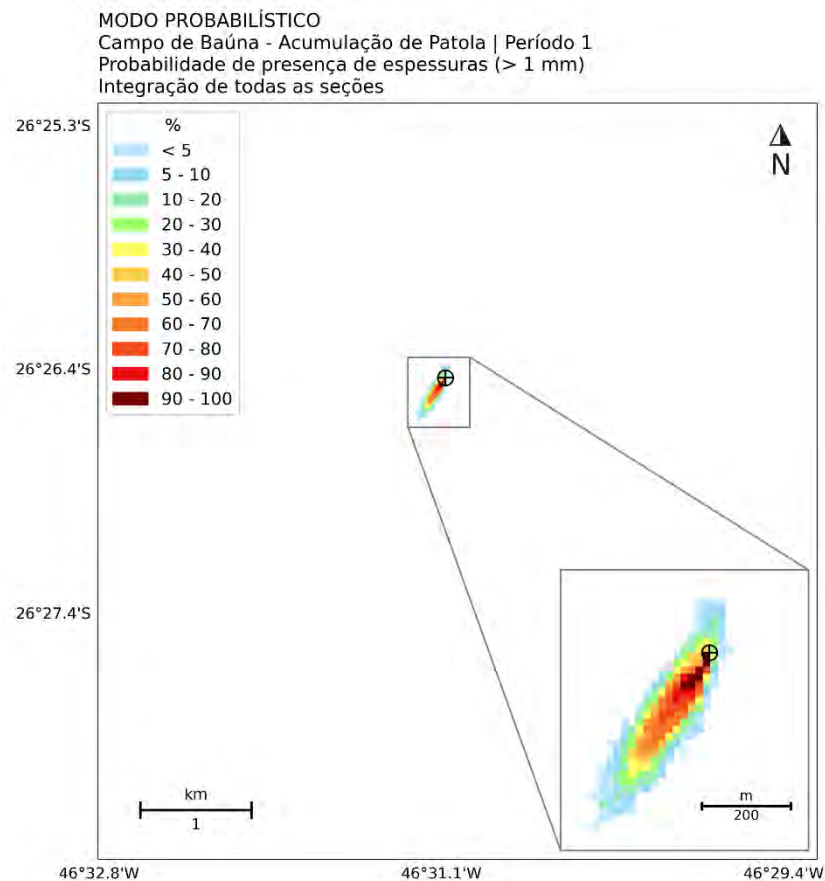


Figura 9: Probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho acima de 1 mm e 10 mm, resultante da integração de todas as seções (I a III), considerando todas as 41 simulações determinísticas do Período 1. Datum SIRGAS2000.

### 3.3.1.2 Período 2 (Março a Agosto)

As rosas de corrente em profundidade obtidas para o Período 2 são apresentadas na Figura 10.

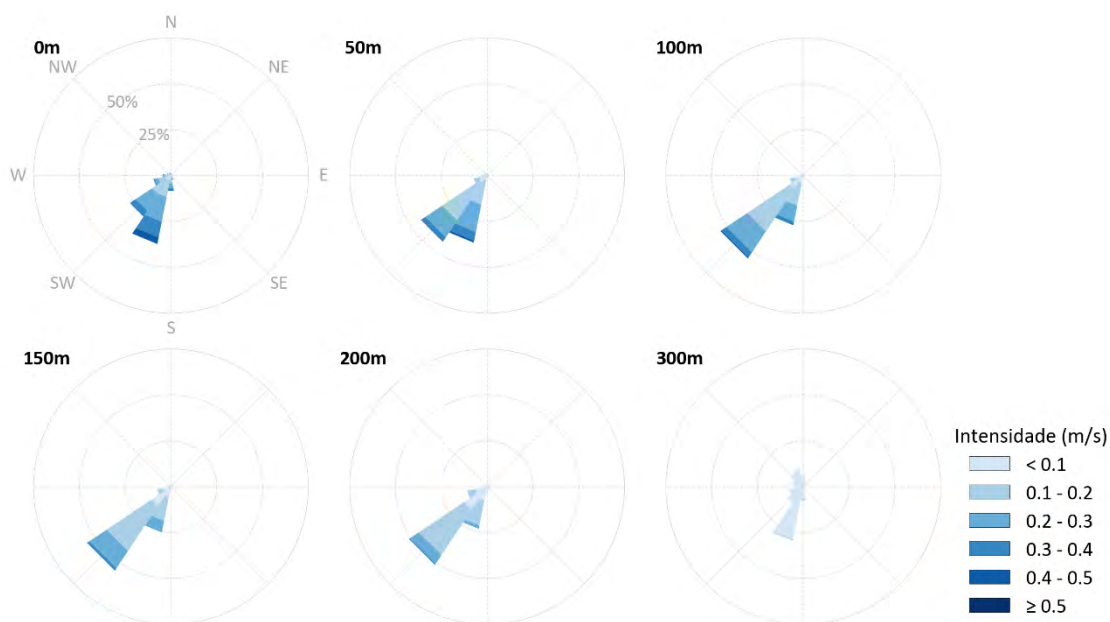


Figura 10: Rosa de corrente em profundidade para o Período 2.

A Figura 11 apresenta os mapas de espessura máxima obtidos a partir da integração das seções sem riser (fluido base aquosa e descarte do fundo) e com riser (fluido base sintética e descarte de superfície). Por sua vez, a Figura 12 apresenta a espessura máxima resultante da integração do descarte de todas as seções.

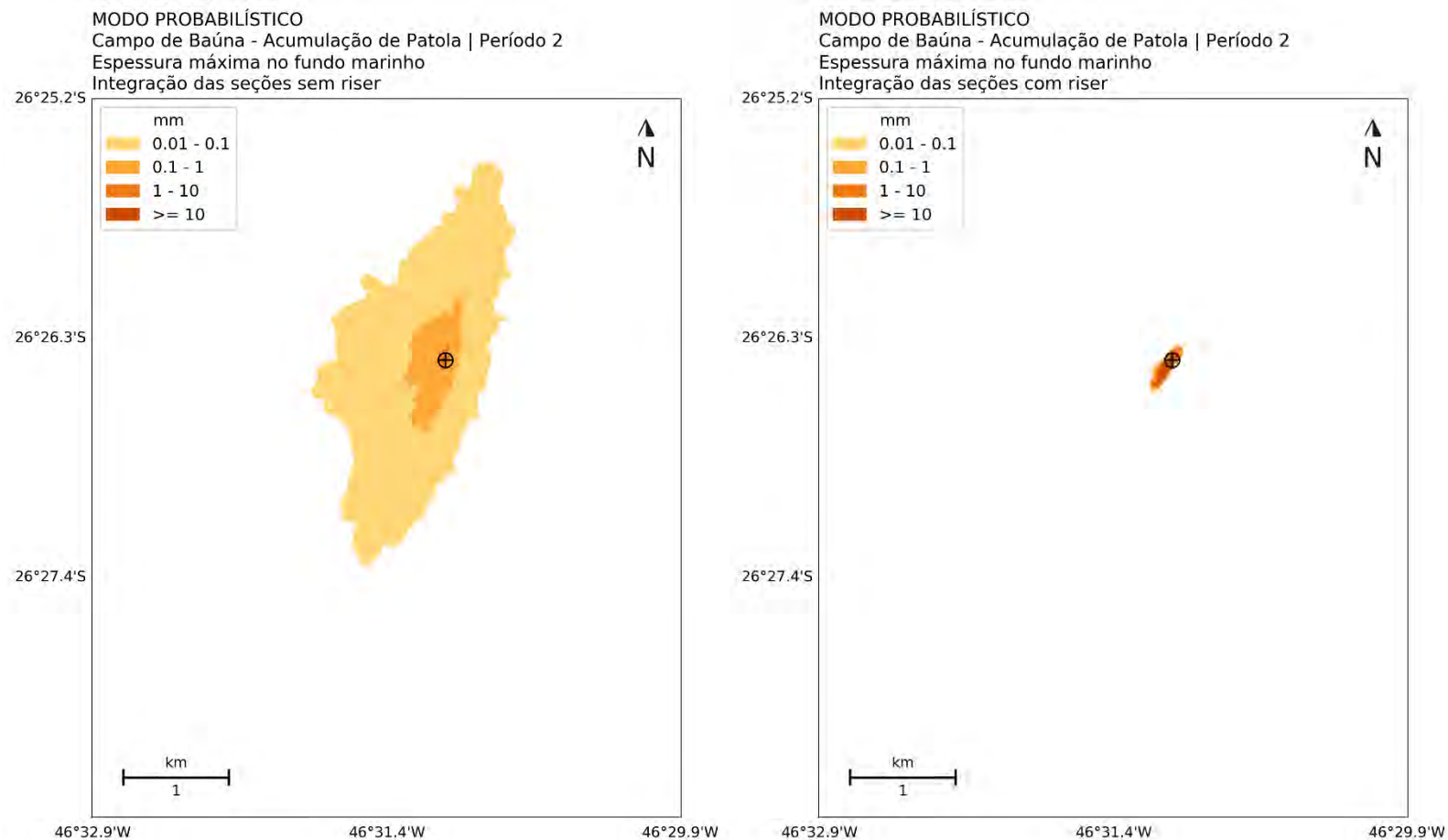


Figura 11: Espessura máxima no fundo marinho resultante da integração das seções sem riser (I e II) e com riser (III), considerando todas as 44 simulações determinísticas do Período 2. *Datum* SIRGAS2000.



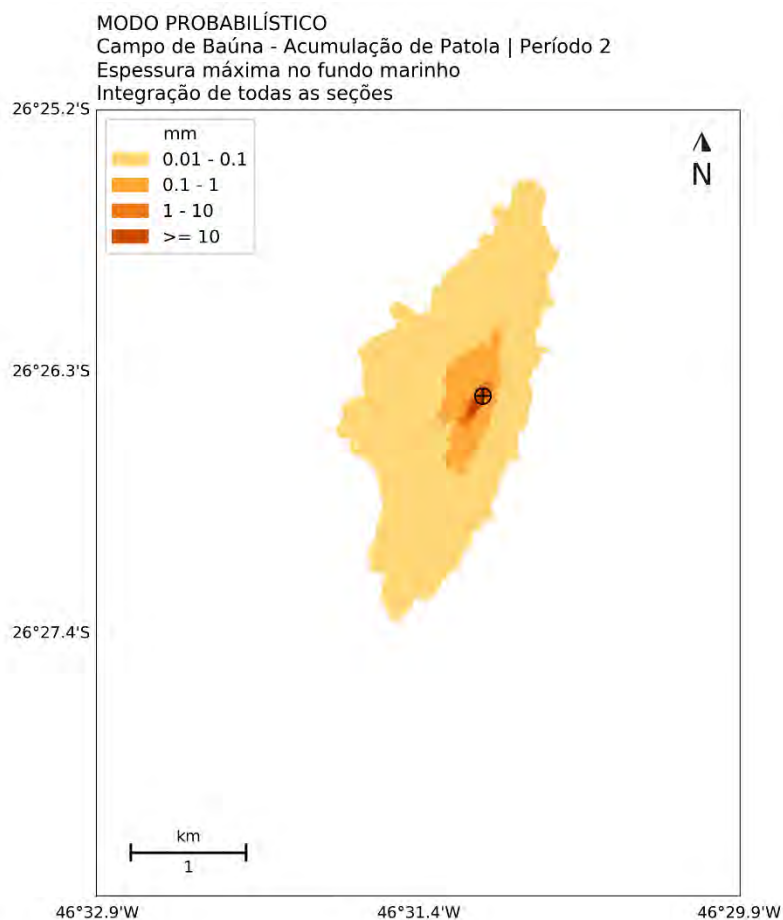


Figura 12: Espessura máxima no fundo marinho resultante da integração de todas as seções (I a III), considerando todas as 44 simulações determinísticas do Período 2. Datum SIRGAS2000.

Da Figura 13 à Figura 14 são apresentados os mapas de probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm.

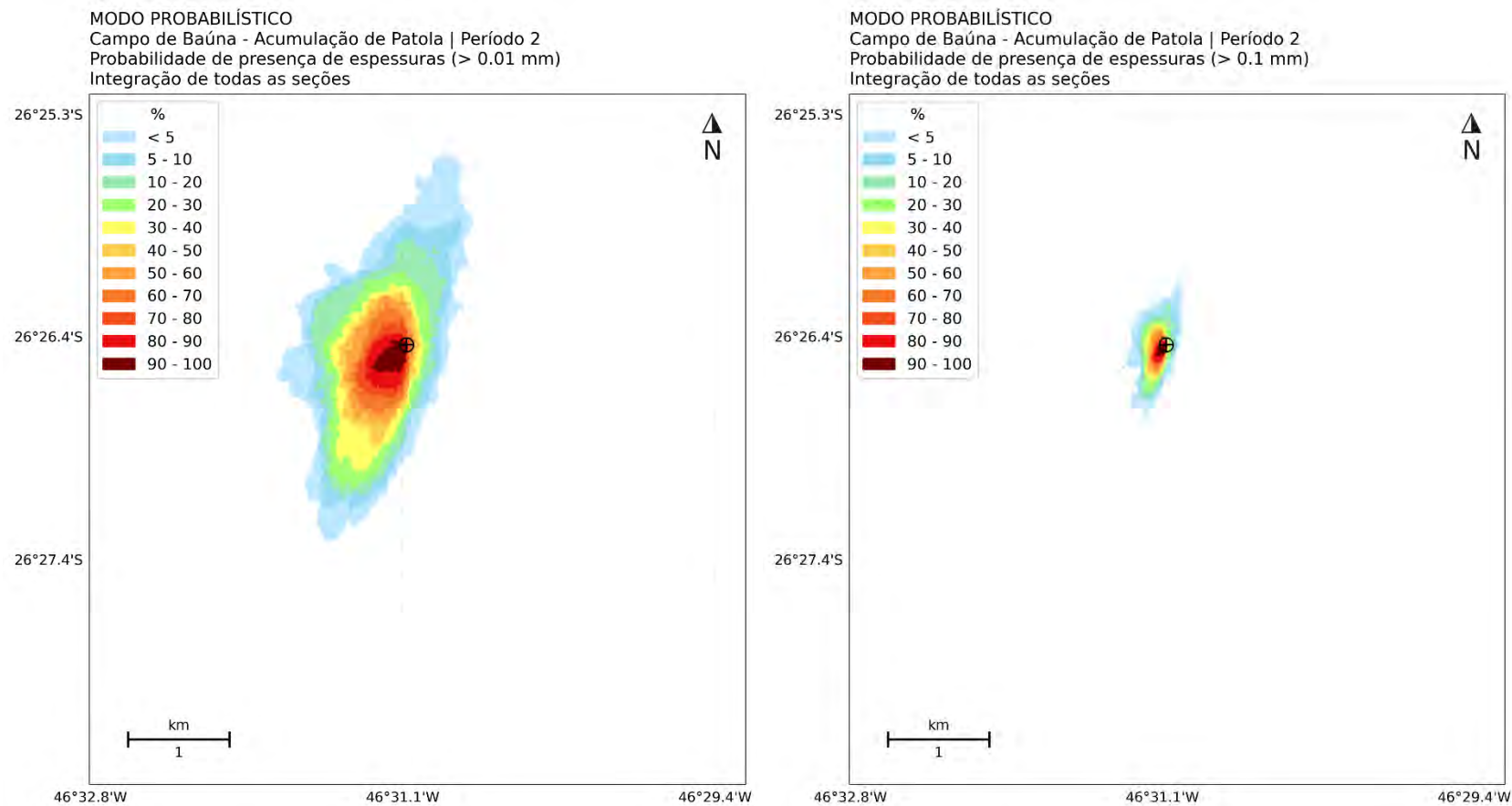


Figura 13: Probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho acima de 0,01 mm e 0,1 mm, resultante da integração de todas as seções (I a III), considerando todas as 44 simulações determinísticas do Período 2. *Datum* SIRGAS2000.

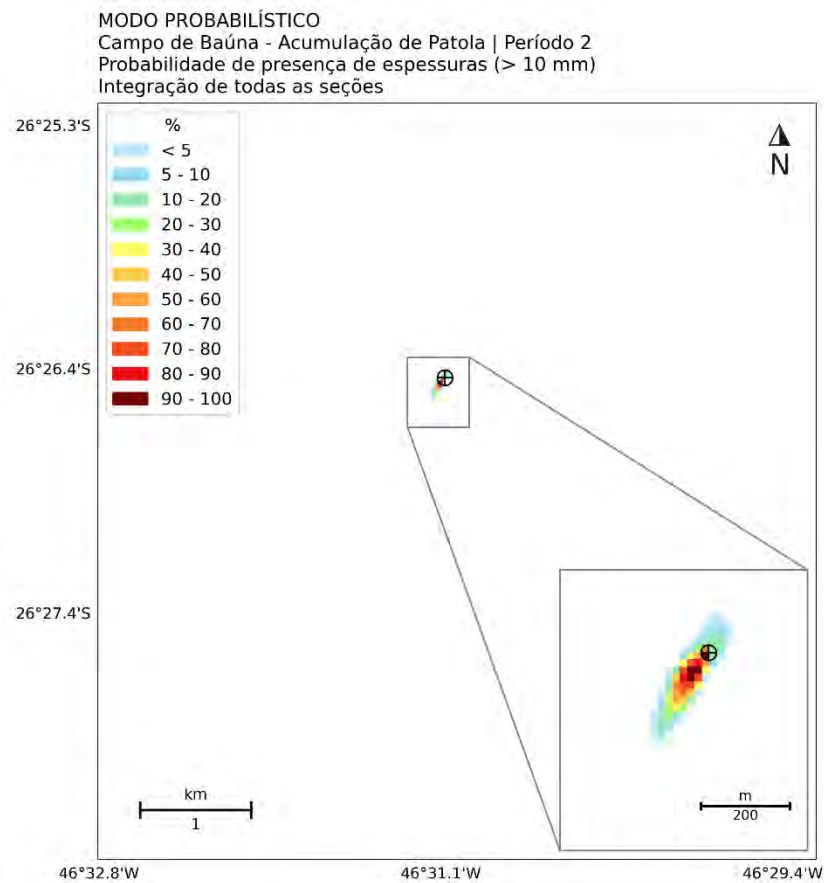
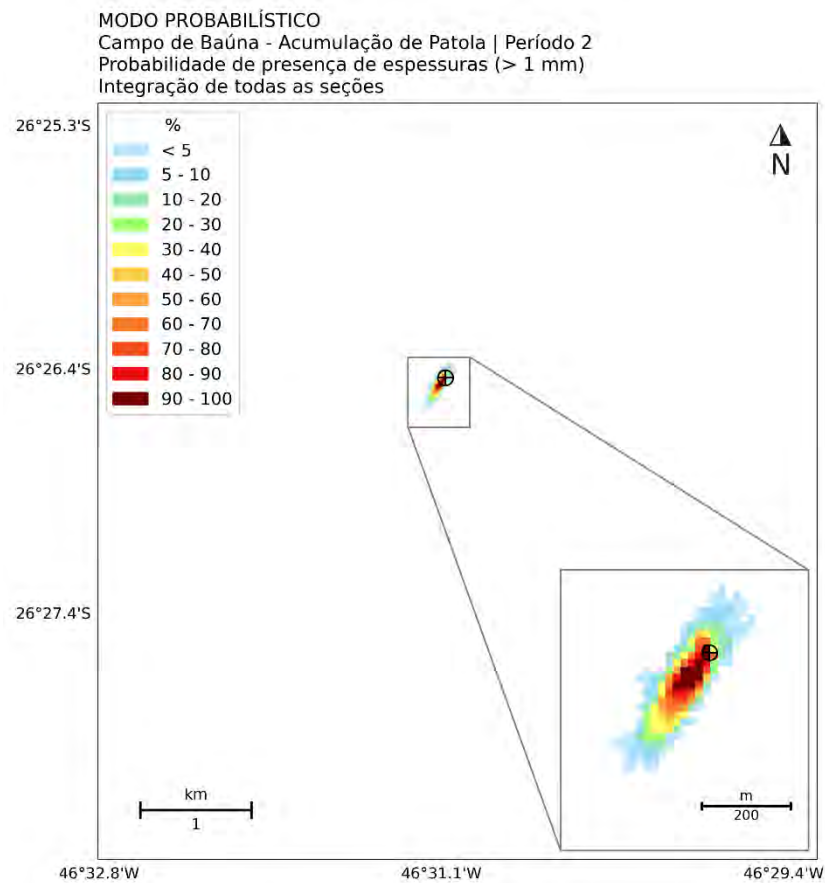


Figura 14: Probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho acima de 1 mm e 10 mm, resultante da integração de todas as seções (I a III), considerando todas as 44 simulações determinísticas do Período 2. Datum SIRGAS2000.

### 3.3.1.3 Resumo dos Resultados Probabilísticos

Os principais resultados probabilísticos obtidos são expostos na Tabela 11.

Os resultados probabilísticos apresentados indicam maior probabilidade de presença de espessuras no fundo marinho na direção SW em ambos os períodos sazonais. Nota-se também mais baixas probabilidades para NE. Esta disposição está de acordo com as correntes de fundo (Figura 5 e Figura 10), sendo estas as mais atuantes na dispersão do material. As pilhas de deposição atingem maiores distâncias para SW durante o Período 1, devido a correntes de fundo mais intensas nesse período. Porém, é no Período 2 que as pilhas atingem maiores distâncias para NE, também em função das correntes de fundo.

As seções sem riser são responsáveis pelas maiores distâncias relativas aos poços e maiores áreas, quando se analisa espessuras acima de 0,01 mm. Para maiores espessuras, acima de 1 mm, as seções com riser passam a ter maior significância. Isso ocorre, pois, as seções sem riser são também compostas por fluidos de perfuração de base aquosa, com partículas sólidas mais finas, enquanto as seções com riser são compostas por fluidos de base sintética, compostos por partículas mais grosseiras. Partículas finas são mais facilmente carregadas pelas correntes. Dessa forma, as seções com fluidos de base sintética são responsáveis por ocuparem áreas com maiores espessuras e mais próximas ao local de descarte, enquanto as seções com fluidos de base aquosa ocupam áreas com menores espessuras, mas capazes de alcançar maiores distâncias.

As seções sem riser são responsáveis pelo maior valor de espessura obtido, sendo este próximo ao poço. Apesar de apresentarem predominantemente partículas mais finas, essas seções são descartadas próximas ao assoalho marinho e uma parcela do material é rapidamente depositado. Enquanto o material descartado pelas seções com riser percorrem toda a coluna d'água até sua deposição, sendo influenciados pelas correntes atuantes em profundidade.

O Período 1 foi responsável pela maior distância alcançada (3,1 km) e pelo maior valor de espessura máxima (2.375 mm - 2,4 m). Além disso, este cenário apresentou maior espalhamento da pilha de deposição em diferentes direções, apresentando a maior área para concentrações acima de 0,01 mm (3,6 km<sup>2</sup>).

Conforme descrito no item 3.2.1.1 (Limiar de Monitoramento - Pilhas de Deposição), a comunidade bentônica está mais suscetível a impacto quando sujeita a espessuras acima de 1 mm. As espessuras acima de 1 mm são observadas até 410 m, ocupando uma área de 0,05 km<sup>2</sup>, durante o Período 1. Já, para o Período 2, espessuras acima de 1 mm são observadas até 280 m, ocupando uma área de 0,04 km<sup>2</sup>. Espessuras acima de 10 mm são observadas até 290 m, no Período 1, e até 190 m, no Período 2. Durante o Período 1, a espessura máxima obtida foi de 2.375 mm (2,4 m), enquanto no Período 2, de 2.306 mm (2,3 m).

Tabela 11: Área impactada, distância máxima e espessura máxima das pilhas de deposição obtidas no modo probabilístico para o Período 1 e Período 2.

Período 1						
Espessura (mm)	Integração das seções sem riser		Integração das seções com riser		Integração de todas as seções	
	Área (km²)	Distância Máxima (km)	Área (km²)	Distância Máxima (km)	Área (km²)	Distância Máxima (km)
>= 0,01	3,6	3,10	0,06	0,44	3,6	3,10
>= 0,1	0,4	0,93	0,06	0,44	0,4	0,93
>= 1	0,02	0,20	0,04	0,41	0,05	0,41
>= 10	0,001	0,03	0,02	0,29	0,02	0,29
<b>Espessura Máxima</b>		2.160 mm		401 mm		2.375 mm
Período 2						
Espessura (mm)	Integração das seções sem riser		Integração das seções com riser		Integração de todas as seções	
	Área (km²)	Distância Máxima (km)	Área (km²)	Distância Máxima (km)	Área (km²)	Distância Máxima (km)
>= 0,01	2,97	1,86	0,05	0,30	2,97	1,86
>= 0,1	0,34	0,64	0,05	0,30	0,34	0,64
>= 1	0,01	0,14	0,04	0,27	0,04	0,28
>= 10	0,001	0,04	0,02	0,19	0,02	0,19
<b>Espessura Máxima</b>		2.163 mm		380 mm		2.306 mm



### 3.3.2 Modo Determinístico

Conforme discutido anteriormente, são apresentados resultados determinísticos para as pilhas de deposição e para os sólidos em suspensão. Os critérios usados para seleção dos cenários foram em função da espessura máxima e da distância máxima das pilhas de deposição, visto que:

- O cenário de espessura máxima de depósitos no fundo tende a ocorrer no período de correntes mais fracas, o que restringe a pluma de concentrações de sólidos em suspensão a menores distâncias em relação ao descarte e resulta nas maiores concentrações de sólidos em suspensão.
- O cenário de distância máxima de depósitos no fundo tende a ocorrer no período de correntes mais intensas, o que faz com que a pluma de concentrações de sólidos em suspensão atinja maiores distâncias em relação ao descarte e apresente as menores concentrações.

O impacto na coluna d'água é apresentado através da concentração máxima de sólidos que permanece em suspensão durante e após o descarte. Os resultados são apresentados considerando todos os descartes realizados. O limiar monitorado foi de 5 ppm, conforme descrito no item 3.2.1.2 (Limiar de Monitoramento - Sólidos em Suspensão).

Com o objetivo de determinar a área de influência da pluma de sólidos em suspensão, foi extraída a concentração máxima que a pluma pode obter para cada ponto de grade, analisando todos os tempos de simulação. Ou seja, para cada passo de tempo da simulação, registrou-se o valor máximo de concentração em cada ponto de grade, e ao final de todo o período, extraiu-se a máxima de todas as máximas obtidas.

As simulações realizadas não consideraram intervalos entre o descarte de uma seção e outra, o que torna o resultado obtido mais conservador, pois leva em consideração alguma possível sobreposição de plumas em uma mesma simulação.

A Tabela 12 apresenta a data inicial das simulações selecionadas para cada um desses casos determinísticos, ambos ocorreram no Período 1. Na Figura 15 e na Figura 19 são apresentadas as rosas de correntes em profundidade obtidas.

Tabela 12: Data inicial das simulações obtidas para os casos determinísticos selecionados.

Cenário Determinístico	Início da Simulação
Espessura máxima acima de 0,01 mm	02-dez-2013
Distância máxima das espessuras acima de 0,01 mm	01-set-2013

#### 3.3.2.1 Cenário de Espessura Máxima

A Figura 15 apresenta as rosas de corrente em profundidade para o cenário determinístico selecionado de espessura máxima.

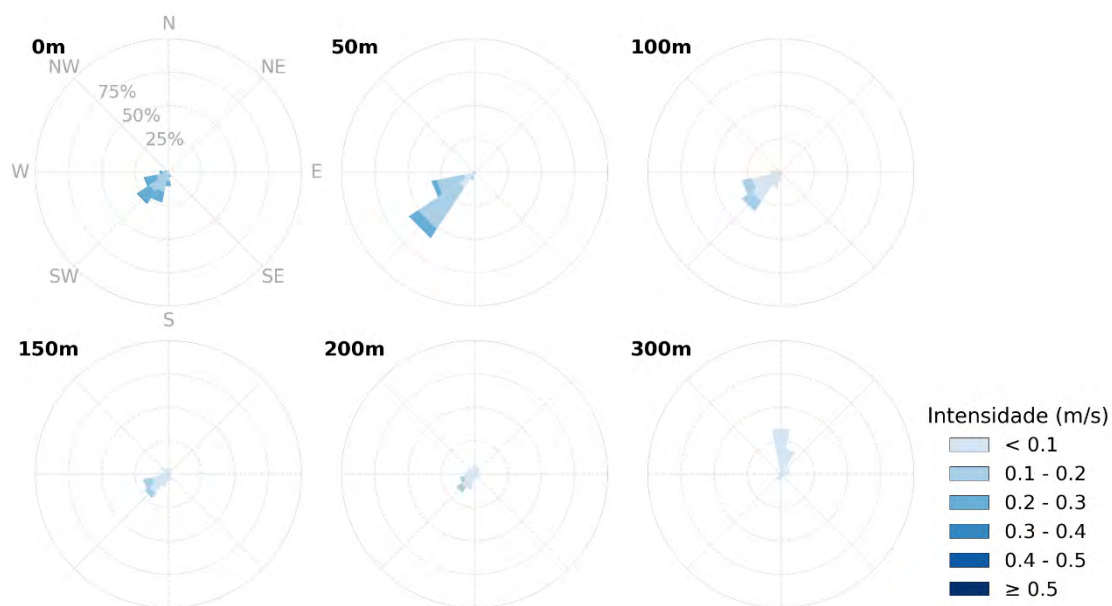


Figura 15: Rosa de corrente em profundidade para o cenário determinístico de espessura máxima.

### 3.3.2.1.1 Pilhas de Deposição

A Figura 16 apresenta o mapa de espessura obtido pela integração de todas as seções descartadas para o cenário determinístico de espessura máxima.

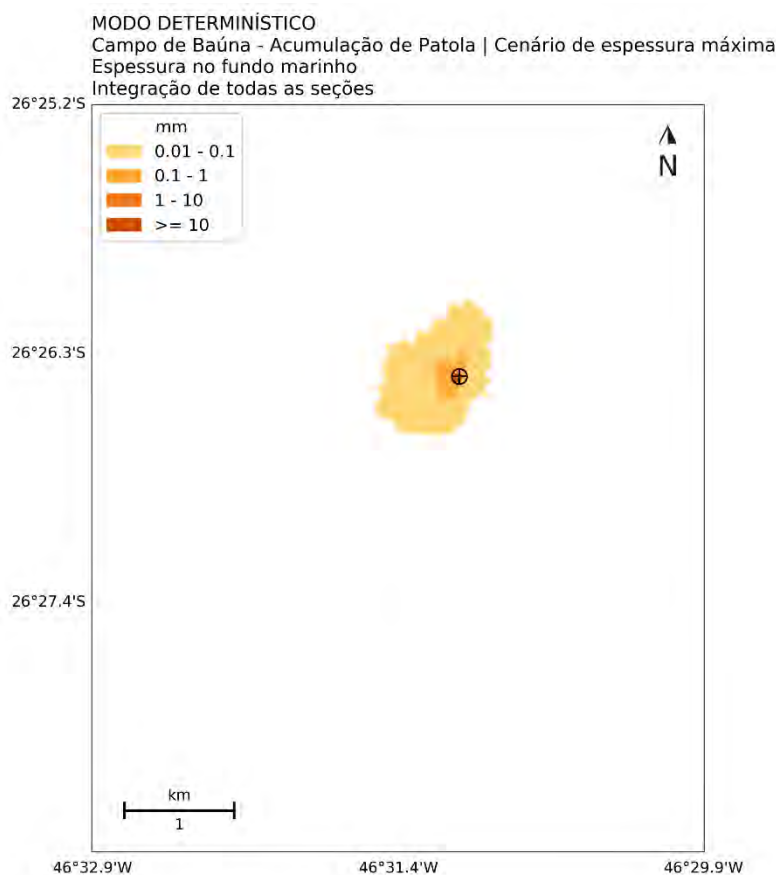


Figura 16: Espessura no fundo marinho resultante da integração de todas as seções (I a III), para a simulação determinística de espessura máxima. Datum SIRGAS2000.

### 3.3.2.1.2 Sólidos em Suspensão

A Figura 17 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água, respectivamente, na visão em planta (máxima no tempo e em profundidade) e em perfil (máxima no tempo e em latitude), para o cenário determinístico de espessura máxima. Este resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo. O objetivo desta análise é definir a área impactada e quais foram as máximas distâncias e concentrações obtidas durante toda a simulação. De forma a complementar este resultado, é exposto na Figura 18 o tempo de exposição do ambiente a concentrações acima de 5 ppm.

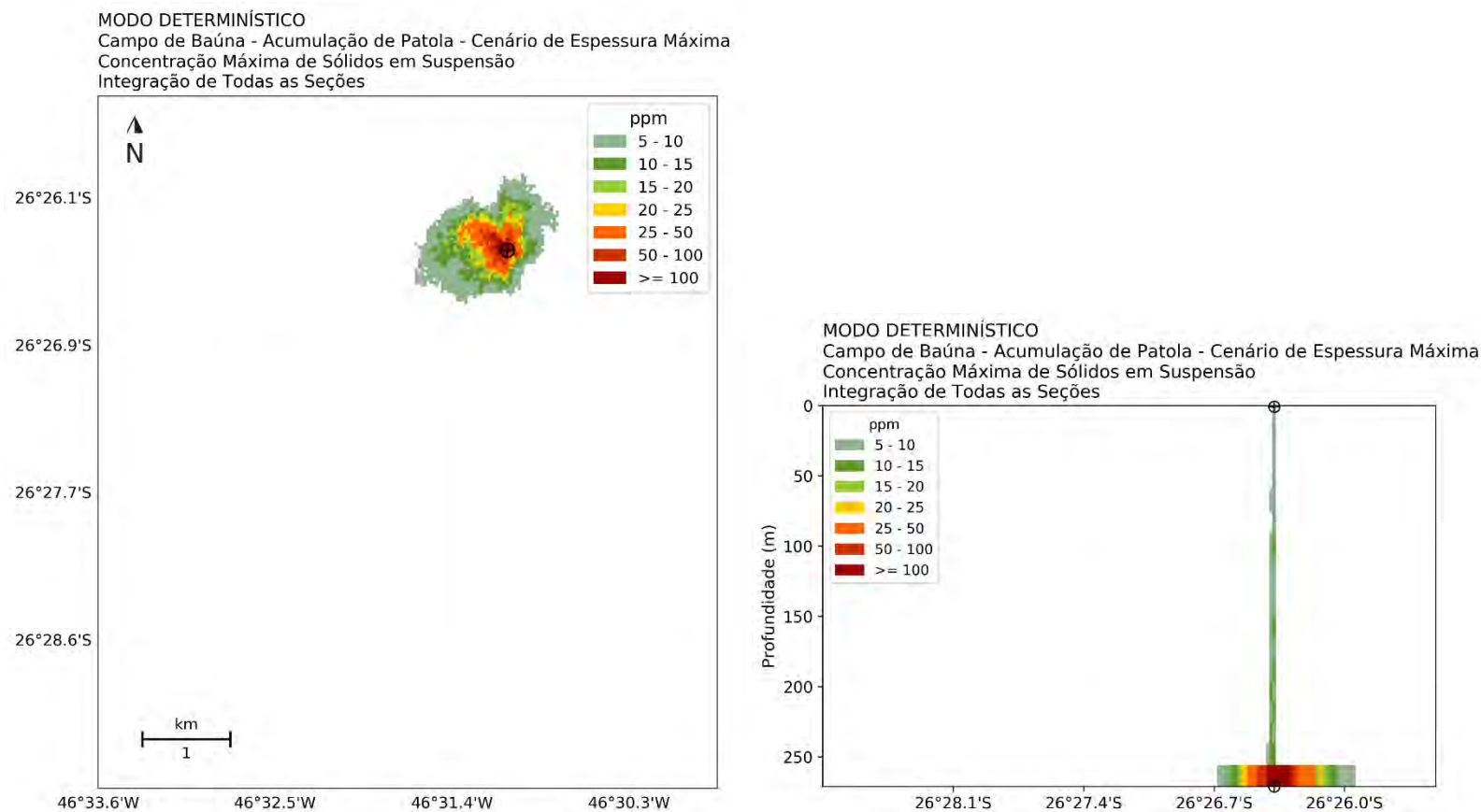


Figura 17: Concentração máxima de sólidos em suspensão no tempo e em profundidade (painel à esquerda) e no tempo e em latitude (painel à direita) resultantes da integração de todas as seções (I a III), para a simulação determinística de espessura máxima. *Datum* SIRGAS2000.

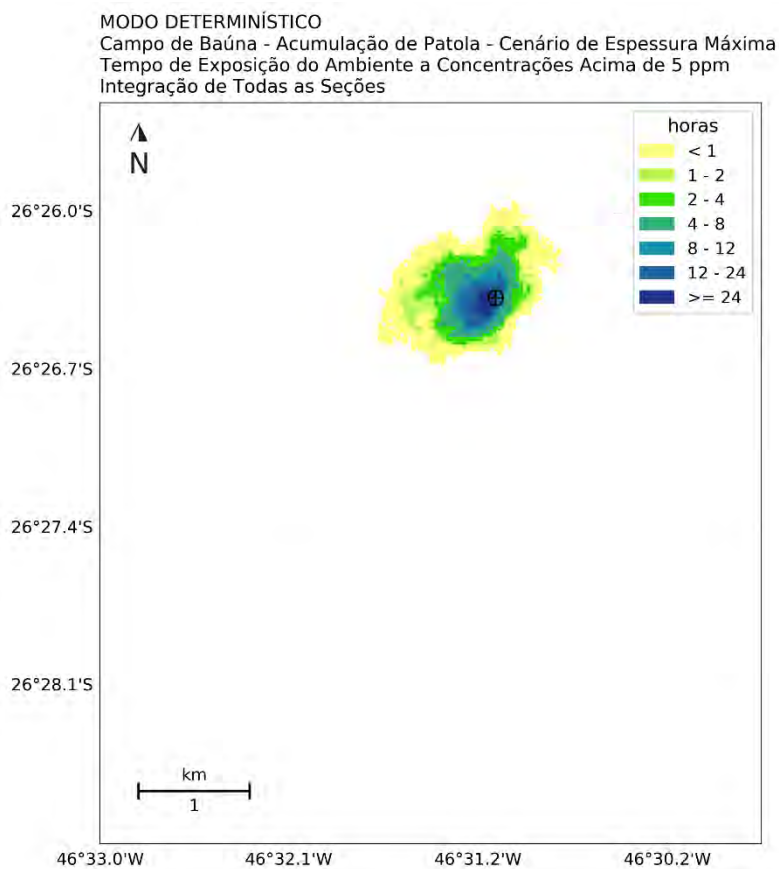


Figura 18: Tempo de exposição do ambiente a concentrações de sólidos em suspensão acima de 5 ppm resultante da integração de todas as seções (I a III), para a simulação determinística de espessura máxima. Datum SIRGAS2000.

### 3.3.2.2 Cenário de Distância Máxima

A Figura 19 apresenta as rosas de corrente em profundidade para o cenário determinístico selecionado de distância máxima.



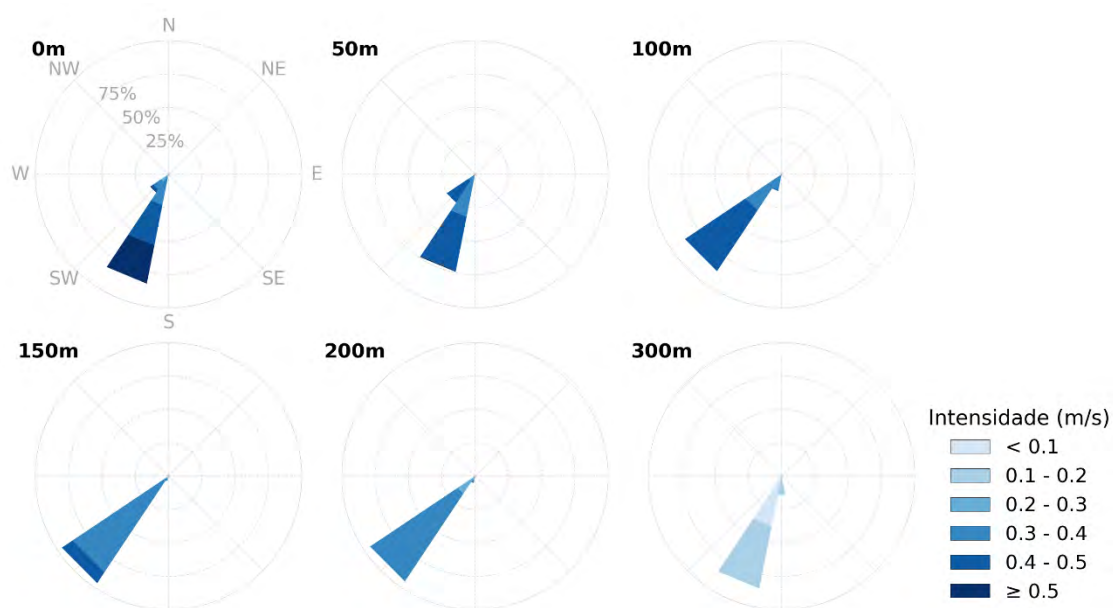


Figura 19: Rosa de corrente em profundidade para o cenário determinístico de distância máxima.

#### 3.3.2.2.1 Pilhas de Deposição

A Figura 20 apresenta o mapa de espessura obtido pela integração de todas as seções descartadas para o cenário determinístico de espessura máxima.

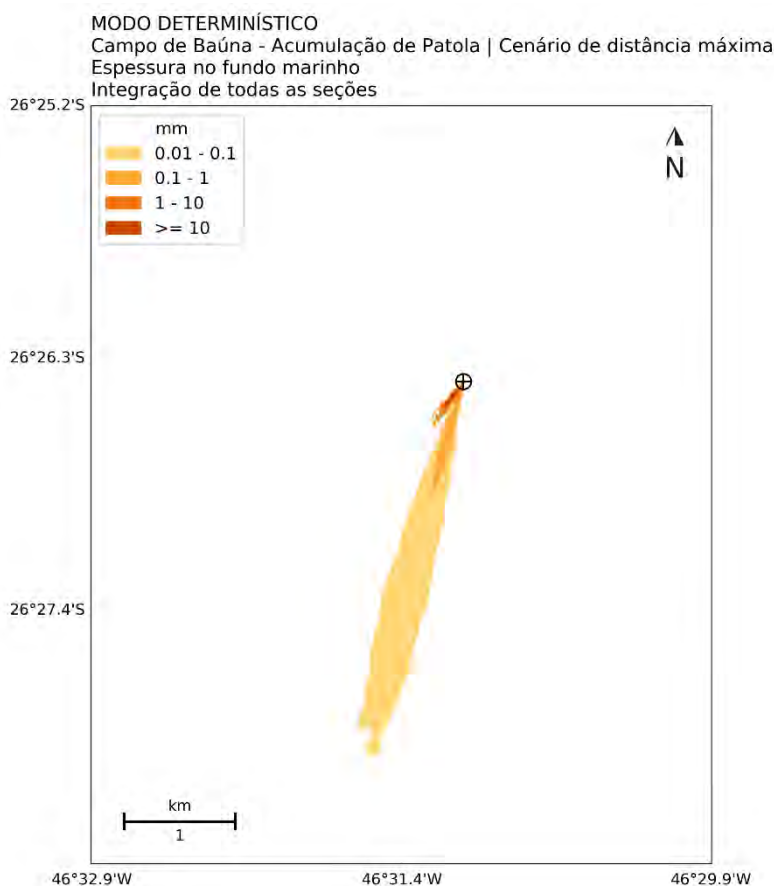


Figura 20: Espessura no fundo marinho resultante da integração de todas as seções (I a III), para a simulação determinística de distância máxima. Datum SIRGAS2000.

### 3.3.2.2.2 Sólidos em Suspensão

A Figura 21 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão na coluna d'água, respectivamente, na visão em planta (máxima no tempo e em profundidade) e em perfil (máxima no tempo e em latitude), para o cenário determinístico de espessura máxima. Este resultado não corresponde a um instantâneo, mas sim à integração no tempo. O objetivo desta análise é definir a área impactada e quais foram as máximas distâncias e concentrações obtidas durante toda a simulação. De forma a complementar este resultado, é exposto na Figura 22 o tempo de exposição do ambiente a concentrações acima de 5 ppm.

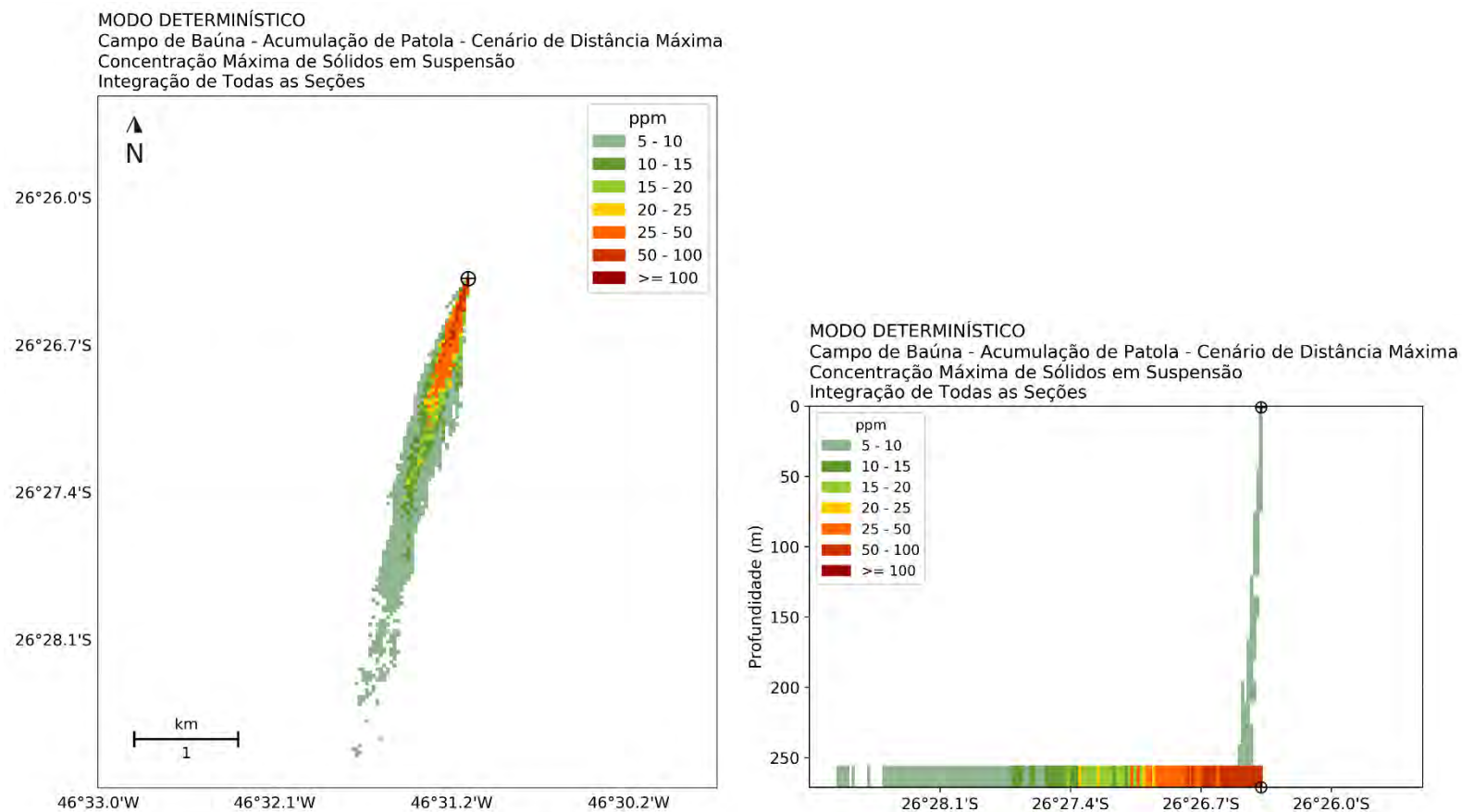


Figura 21: Concentração máxima de sólidos em suspensão no tempo e em profundidade (painel à esquerda) e no tempo e em latitude (painel à direita) resultantes da integração de todas as seções (I a III), para a simulação determinística de distância máxima. Datum SIRGAS2000.

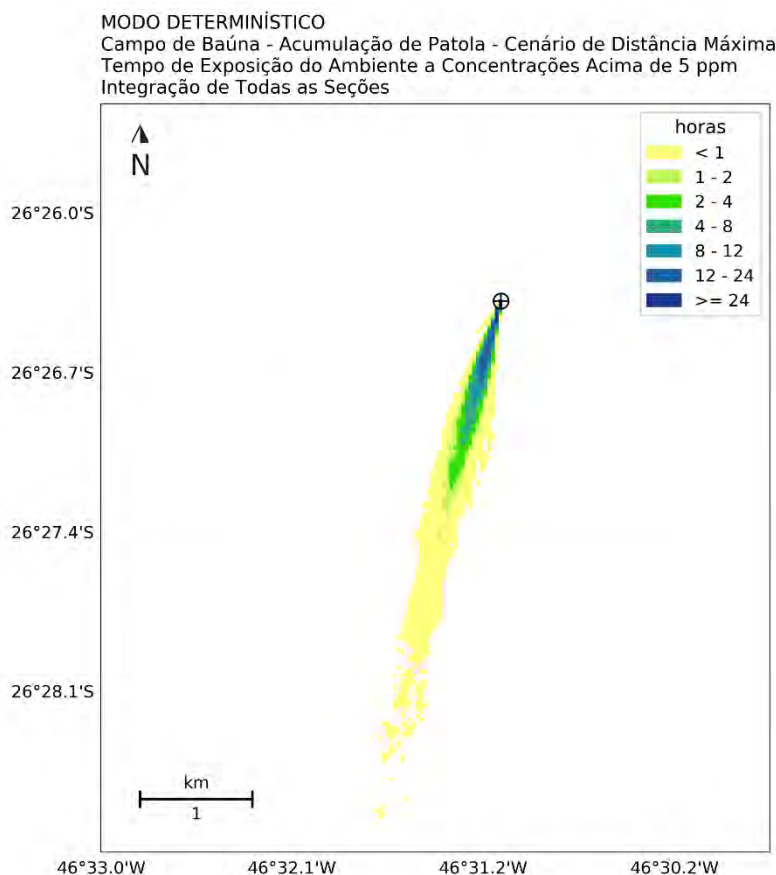


Figura 22: Tempo de exposição do ambiente a concentrações de sólidos em suspensão acima de 5 ppm resultante da integração de todas as seções (I a III), para a simulação determinística de distância máxima. Datum SIRGAS2000.

### 3.3.2.3 Resumo dos Resultados Determinísticos

A Tabela 13 e a Tabela 14 apresentam os principais resultados determinísticos obtidos para os cenários de espessura e distância máxima.

Os cenários determinísticos selecionados apresentaram correntes de fundo condizentes com o esperado, com correntes mais intensas nos cenários de distância máxima e correntes mais fracas nos cenários de espessura máxima. Estes cenários, por serem extremos, usualmente representam baixa probabilidade de ocorrência.

Em termos de direção, as pilhas de deposição apresentaram comportamento similar aos sólidos em suspensão, seguindo o padrão das correntes de fundo (Figura 15 e Figura 19). No cenário de espessura máxima, a dispersão variou entre NE e SW, já no cenário de distância máxima, a direção foi preferencial para SW.

A espessura máxima obtida foi de 2.375 mm (2,4 m), no cenário de espessura máxima, e de 2.036 mm (2 m), no cenário de distância máxima. A distância máxima alcançada para espessuras acima de 0,01 mm foi de 720 m, no cenário de espessura máxima, e de 60 m para espessuras acima de 1 mm.

No cenário de distância máxima, essas distâncias foram de 3,1 km (espessuras acima de 0,01 mm) e 360 m (espessuras acima de 1 mm).

Para a concentração de sólidos em suspensão na coluna d'água, os cenários determinísticos de espessura máxima apresentaram maiores valores de concentração, enquanto os cenários selecionados de distância máxima obtiveram as maiores distâncias.

A concentração máxima de sólidos em suspensão observada foi de 412,5 ppm, no cenário de espessura máxima, e de 87,7 ppm, no cenário de distância máxima. Valores mais altos são restritos a maiores profundidades, próximo ao fundo marinho, e a distâncias inferiores a 210 m do ponto de descarte. Na coluna d'água, as concentrações são limitadas ao local de descarte, visto que o material é rapidamente depositado.

A permanência dos sólidos em suspensão trata-se de uma condição efêmera e limitada ao período de atividade da perfuração. O tempo de exposição máximo em um mesmo ponto de grade a concentrações acima de 5 ppm foi de 57 h, no cenário de espessura máxima, e de 32 h 30 min no cenário de distância máxima. Concentrações acima de 5 ppm foram observadas até 1 km (cenário de espessura máxima) e 4,3 km (cenário de distância máxima). Já, concentrações acima de 10 ppm, foram observadas até 800 m e 2,5 km, respectivamente.

Tabela 13: Resultados obtidos no modo determinístico para as pilhas de deposição (espessura no fundo marinho), para os cenários de espessura e distância máximas.

Espessura (mm)	Cenário de Espessura Máxima		Cenário de Distância Máxima	
	Área (km²)	Distância Máxima (km)	Área (km²)	Distância Máxima (km)
>= 0,01	0,7	0,72	0,8	3,1
>= 0,1	0,07	0,25	0,07	0,92
>= 1	0,007	0,06	0,02	0,36
>= 10	0,003	0,04	0,006	0,23
<b>Espessura Máxima</b>		2.375 mm		2.036 mm



Tabela 14: Resultados obtidos no modo determinístico para os **sólidos em suspensão** (concentração e tempo de exposição do ambiente a concentrações superiores a 5 ppm), para os cenários de espessura e distância máximas.

Concentração (ppm)	Cenário de Espessura Máxima	Cenário de Distância Máxima
	Distância Máxima (km)	Distância Máxima (km)
>= 5	1,0	4,3
>= 10	0,80	2,5
>= 15	0,65	2,0
>= 20	0,56	1,9
>= 25	0,53	1,3
>= 50	0,34	0,78
>= 100	0,21	-
<b>Concentração Máxima</b>	412,5 ppm	87,7 ppm
Tempo de Exposição (horas)	Cenário de Espessura Máxima	Cenário de Distância Máxima
	Distância Máxima (km)	Distância Máxima (km)
< 1	1,0	4,3
>= 1	0,80	2,0
>= 2	0,65	1,6
>= 4	0,52	1,2
>= 8	0,39	0,89
>= 12	0,32	0,67
>= 24	0,20	0,17
<b>Tempo de Exposição Máximo</b>	57,0 horas	32,5 horas

## 4. Conclusão

Simulações numéricas com o modelo DREAM/ParTrack foram realizadas para avaliar a dispersão do material sólido, composto por cascalho e fluidos de perfuração, a serem descartados ao mar, oriundos da atividade de perfuração do poço Patola 1, contido na acumulação de Patola do bloco BM-S-40 (Campo de Baúna), na Bacia de Santos.

Como forçantes hidrodinâmicas, foram utilizados os resultados de correntes, temperatura e salinidade do mar obtidos pela PROOCEANO com o modelo ROMS, entre janeiro e dezembro de 2013. Os dados de vento, por sua vez, foram obtidos da base de dados de reanálises do ERA-5, para o mesmo período em questão.

Os resultados do modo probabilístico foram divididos em dois cenários distintos: Período 1, de setembro a fevereiro; e Período 2, de março a agosto, com 41 e 44 simulações, respectivamente, espaçadas a cada 4 dias. Estes resultados foram focados nas pilhas de deposição formadas no assoalho marinho, por ser este o principal impacto resultante desta atividade. As espessuras foram expostas com base no limiar mais conservador considerado, de 0,01 mm, entretanto os resultados obtidos para 1 mm foram ressaltados, pois acredita-se que espessuras inferiores a este limiar não impactem a comunidade bentônica local.

Devido a maior influência das correntes de fundo, as maiores probabilidades de presença no fundo marinho foram no sentido SW em ambos os períodos sazonais, com mais baixas probabilidades a NE. O Período 1 obteve o maior espalhamento das pilhas de deposição (3,6 km<sup>2</sup>), maior distância (3,1 km) e maior espessura (2.375 mm - 2,4 m), para espessuras acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a distância máxima foi de 410 m, também no Período 1.

Cenários determinísticos foram selecionados de forma a exemplificar o comportamento do material descartado em determinadas condições meteoceanográficas, focando não somente nas pilhas de deposição formadas, mas também na pluma de sólidos em suspensão. Para tal, foram selecionadas duas simulações determinísticas: a que registrou o maior valor de espessura em todo domínio da modelagem e aquela na qual a pilha de deposição alcançou maior distância do poço em questão.

Seguindo o padrão já apresentado nos resultados probabilísticos, os cenários determinísticos de espessura e distância máxima ocorreram ambos no Período 1. A concentração máxima de sólidos em suspensão observada foi de 412,5 ppm restrita a uma distância inferior a 210 m do poço. A distância máxima alcançada foi de 4,3 km, para concentrações acima de 5 ppm, e de 2,5 km, para concentrações acima de 10 ppm. Pela análise do tempo de exposição a concentrações acima de 5 ppm, nota-se que este impacto é efêmero e com período inferior a 3 dias, sendo o valor máximo de 57 h.

## 5. Bibliografia

- BELLCHAMBERS, L.M. & A.M.M. RICHARDSON, 1995. The effect of substrate disturbance and burial depth on the venerid clam, *Katelysis scalarina* (Lamark, 1818). J. Shellfish Res. 14, 41-44.
- BIRTWELL, I.A., 1999. Effects of sediments on fish and their Habitat. Fisheries and Oceans Canada. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 99/139.
- BRANDSMA, M.; SMITH, J. 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model - Report and User Guide. In: Relatório EPR.29PR.99. Production Operations Division. Exxon Production Research Company. Houston, Texas.
- BRANDSMA, M.G. 1993. Computer Simulations of Oily Cuttings Discharges in the North Sea. Volume 1 & 2 Project Report, Final Report Dated June 1993.
- CHANDRASEKARA, W.U. & C.L.J. FRID, 1998. A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two gastropod species, *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Littorina littorea* Linnaeus), after burial in sediment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 221: 1991-207.
- DAMES; MOORE. Drilling Fluid Dispersion and Biological Effects Study for the Lower Cook Inlet C.O.S.T. Well. In: Report prepared for Atlantic Richfield Company, Volume 102, Record 946 of USEPA Rulemaking Record for the Offshore Effluent Limitations Guidelines, 1978.
- HAIDVOGEL, D. B., H. ARANGO, W. P. BUDGELL, B. D. CORNUELLE, E. CURCHISTER, E. DI LORENZO, K. FENNEL, W. R. GEYER, A. J. HERMANN, L. LANEROLLE, J. LEVIN, J. C. McWILLIAMS, A. J. MILLER, A. M. MOORE, T. M. POWELL, A. F. SHCHEPETKIN, C. R. SHERWOOD, R. P. SIGNELL, J. C. WARNER, and J. WILKIN, 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. Journal of Computational Physics, 227, 3595-3624.
- HENNERMANN, K. ERA5 Data Documentation. Disponível em:  
<https://software.ecmwf.int/wiki/display/CKB/ERA5+data+documentation> Acessado em 20/09/2017.
- HOLTHAUS, K.I.E., J.E. TAMIS, M.G.D. SMIT, R.G. JAK, 2003. SSD approach applied to three types of Sediment Disturbances related to Drilling Discharges. TNO Report DRAFT November 2003.
- KJEILEN-EILERTSEN, G.; TRANNUM, H.; JAK, R. G.; SMIT, M. G. D.; NEFF, J.; DURELL, G. Literature report on burial: derivation of PNEC as componente in the MEMW model tool. In: ERMS Report no. 9B. 2004.
- KRANZ, P.M. The anastrophic burial of bivalves and its paleoecological significance. Journal of Geology, v. 82, p. 237-265. 1974.

- MAURER, D.; KECK, R.T.; TINSMAN, J.C.; LEATHEM, W.A. Vertical migration and mortality of benthos in dredged material: Part II: Crustacea. Mar. Environ. Res., v. 5, p. 301-317. 1981.
- O'REILLY, J.E., SAUER, T.C., AYERS, R.C. JR., BRANDSMA, M.G., MEEK, R. 1989. Field Verification of the OOC Mud Discharge Model. In: Drilling Fluids. F.R. Engelhart, J.P. Ray, A.H. Gillam, Eds., Elsevier Applied Science. Nova Iorque. Pp 647-665.
- REED, M.; HETLAND, B. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical Description of Physical-Chemical Fate Components. In: SPE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS EXPLORATION AND PRODUCTION. Kuala Lumpur, Malaysia. 2002.
- SMIT, M. G. D.; HOLTHAUS, K. I. E.; KAAG, N. B. H. M.; JAK, R. G. The derivation of a PNEC-water for weighting agents in drilling mud. EMRS Report no. 6. 2006.
- TOLDO, E. E. JR.; AYOUP-ZOUAIN, R. N. MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima, Águas Profundas, Publicação CECO-IG-UFRGS, Porto Alegre. 2004.

## 6. Anexos

ANEXO I    Descrição do modelo de dispersão de sólidos

---

ANEXO II    Cadastro Técnico Federal da equipe técnica

---



---

- ANEXO I -

Descrição do Modelo de Dispersão de Sólidos

---

# Modelo de Dispersão de Sólidos

## Descrição do Modelo DREAM/ParTrack

---

**RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]**

---

**Preparado por:**

Prooceano

---

### 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](http://www.prooceano.com.br)

© PROOCEANO 2021

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

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

---

## Controle de revisão

**Revisão nº 01**

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

**Revisão nº 02**

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

**Revisão nº 03**

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

**Revisão nº 04**

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

**Revisão nº 05**

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

## Equipe técnica


---

**Ana Carolina Rochinha Boechat**

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 4961307

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: **Henery Ferreira Garção**

Registro no Conselho de Classe: -

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: **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

1. Introdução.....	5
2. Descrição do Modelo.....	7
2.1. Equações de Conservação.....	9
2.2. Velocidade de Deposição das Partículas Sólidas .....	12
3. Bibliografia .....	14



## 1. Introdução

O processo dispersivo do efluente, neste caso cascalho + fluido de perfuração, possui três diferentes fases, apresentadas na Figura 1 e detalhadas abaixo.

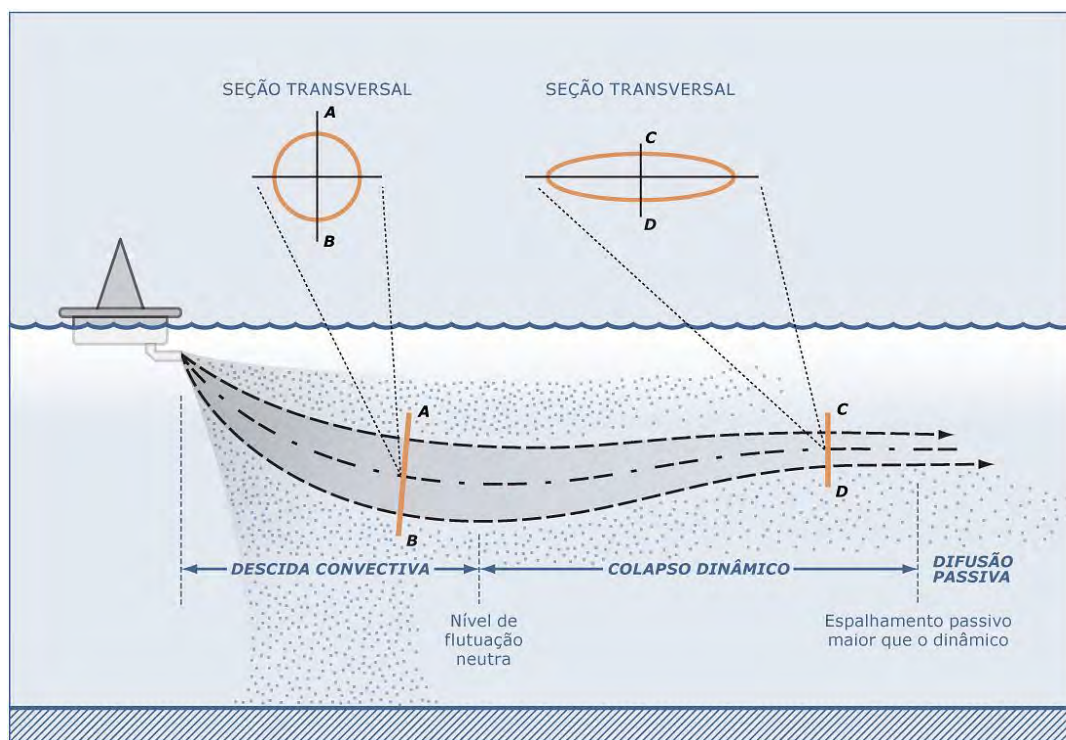


Figura 1: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).

A primeira fase, denominada **fase de jato**, corresponde à diluição inicial do efluente, onde as forças de empuxo, quantidade de movimento do efluente e os efeitos dinâmicos das correntes locais, resultam em uma rápida mistura e diluição do efluente no corpo d'água receptor. Esta fase ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte. A fase termina quando o efluente descartado encontra uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou se estabiliza em um nível de flutuação neutra. Finda esta primeira etapa, inicia-se a fase de **colapso dinâmico**, onde o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido, ainda, a sua diferença de densidade em relação ao meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Tanto a fase de jato quanto a de colapso dinâmico descrevem a **fase dinâmica, ou campo próximo**.

Ao final da fase de colapso dinâmico, tem início a terceira e última fase, denominada de **dispersão passiva, ou campo afastado**, em que o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. Partículas minerais,

como cascalho e materiais pesados, podem se desprender da pluma dependendo da velocidade de deposição e da taxa de entranhamento da água na pluma.

## 2. Descrição do Modelo

O modelo computacional escolhido para esse estudo foi o **DREAM/ParTrack**, desenvolvido pela SINTEF.

O **DREAM** (*Dose-Related Exposure Assessment Model*) é um modelo de partículas lagrangianas tridimensional desenvolvido para avaliação das consequências de descartes de diversos tipos de efluente no ambiente marinho, tanto na coluna d'água quanto no leito oceânico.

O modelo **ParTrack** é um submodelo do DREAM adequado para simulação de descartes de cascalho e fluidos de perfuração e avaliação dos efeitos desses descartes no leito oceânico.

**DREAM/ParTrack** possui um modelo de campo próximo com acoplamento dinâmico com um modelo tridimensional de partículas que permite a representação de substâncias na superfície da água, dissolvidas na coluna d'água, em gotículas ou partículas sólidas dispersas na coluna d'água.

As descargas de cascalho e fluido de perfuração têm densidades que são bastante mais altas do que a água do mar. Por isso, um modelo de campo próximo é incluído na modelagem para representação do movimento descendente da pluma. O domínio do modelo de campo próximo está limitado pela região onde a densidade da pluma se iguala com a densidade do ambiente. A partir desse ponto, os processos de transporte e mistura passam a ser governados por um modelo de campo afastado.

O modelo de campo próximo é governado pelas correntes oceânicas e pelas variações verticais de salinidade e temperatura (estratificação). A combinação desses fatores fará com que a pluma se estabiliza em uma determinada profundidade. As partículas minerais (cascalhos, sólidos dos fluidos de perfuração) podem sair da pluma dependendo de suas velocidades de sedimentação e da taxa de entranhamento da água na pluma. Os detalhes mais específicos do modelo de campo próximo para ser encontrados em Johansen (2000, 2006).

A Figura 2 ilustra o comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM para um descarte a aproximadamente 5 m de profundidade.

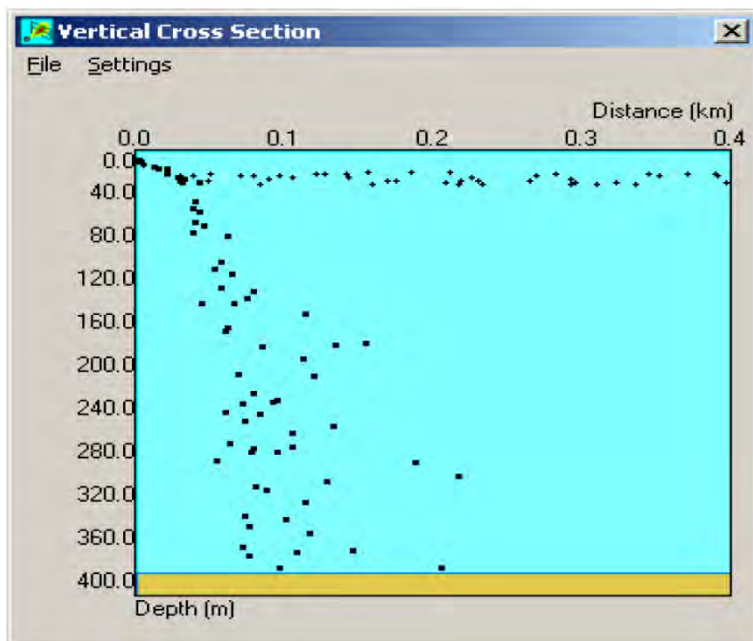


Figura 2: Exemplo do comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM.

Observa-se que a profundidade de aprisionamento da pluma é em torno de 20 m de profundidade. Nesta profundidade, a pluma submersa se separa em duas partes, uma parte se espalha horizontalmente na profundidade de aprisionamento. Esta parte consiste nos componentes que estão dissolvidos na pluma ou nas partículas sólidas que têm velocidades de sedimentação desprezíveis. A outra parte da descarga afunda mais rapidamente em direção ao fundo do oceano. Esta parte consiste dos materiais mais grosseiros, como por exemplo, cascalhos ou partículas sólidas de maiores dimensões.

A formulação numérica do modelo de campo próximo (Plume3D) é baseada nas formulações de Koh & Chang (1973). Em relação à dispersão passiva, emprega-se um método lagrangiano descrito em Reed & Hetland (2002).

O movimento de uma pluma é regido por equações de conservação de massa e volume, *momentum*, flutuabilidade e partículas sólidas, sal e entalpia. O termo pluma refere-se ao material descartado na coluna d'água, sob ação dos regimes de jato, colapso dinâmico, ou dispersão passiva.

Nas **fases dinâmicas (jato e colapso dinâmico)**, as variações dessas quantidades ocorrem ao longo do eixo no qual a pluma se direciona (centro de massa da pluma). Sendo, portanto, as taxas de mudanças descritas como derivadas em relação a esse eixo.

As equações de conservação que governam o movimento são descritas a seguir (item 2.1), bem como uma breve descrição do cálculo da velocidade de deposição das partículas sólidas pelo modelo (item

## 2.1. Equações de Conservação

### 2.1.1 Massa

$$\frac{d}{ds}(\rho Q) = E\rho_a - \sum_i S_i \rho_i \quad (1)$$

onde  $Q$  é a vazão,  $\rho$  a densidade do efluente,  $\rho_a$  é a densidade do ambiente,  $ds$  é a variação do comprimento do eixo,  $E$  o entranhamento,  $\rho_i$  é a densidade do  $i$ -ésimo constituinte ao longo do eixo do jato e  $S_i$  a taxa de variação de volume deste elemento.

### 2.1.2 Momentum (Quantidade de Movimento)

A taxa de variação da quantidade de movimento ao longo do eixo do jato é representada pelo fluxo de flutuabilidade mais o entranhamento de quantidade de movimento do ambiente, menos o somatório da taxa de quantidade de movimento de cada constituinte que passa pelo jato, mais a força de arrasto:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q U) = \pi b^2 g (\rho - \rho_a) J + E \rho_a U_a - \sum_i (S_i \rho_i U) + F_D \quad (2)$$

Sendo  $g$  a aceleração da gravidade,  $J$  é o vetor unitário na direção vertical,  $U_a$  é a velocidade das correntes ambientais,  $F_D$  é a força de arrasto e  $b$  é o raio do jato.

### 2.1.3 Flutuabilidade

Representada pela taxa de entranhamento do fluido ambiente devido ao empuxo menos o somatório das taxas de saída de constituintes do jato:

$$\frac{d}{ds}(Q(\rho_a(0) - \rho)) = E(\rho_a(0) - \rho_a) - \sum_i S_i(\rho_a(0) - \rho_i) \quad (3)$$

### 2.1.4 Partículas sólidas

$$\frac{dP_i}{ds} = -S_i \quad (4)$$

### 2.1.5 Temperatura

$$\frac{d}{ds}(Q(T_d - T_a)) = E(T_d - T_a) \quad (5)$$

$T_d$  e  $T_a$  sendo a temperatura do efluente e do ambiente, respectivamente.

### 2.1.6 Salinidade

$$\frac{d}{ds}(Q(S_d - S_a)) = E(S_d - S_a) \quad (6)$$

$S_d$  e  $S_a$  sendo a salinidade do efluente e do ambiente, respectivamente.



### 2.1.7 Fluxo de volume

$$Q = \pi b^2 |\vec{U}| \quad (7)$$

$b$  sendo o raio da seção transversal da pluma e  $U$  a velocidade da pluma.

Como já citado, uma vez terminada a fase dinâmica da pluma tem início a fase de dispersão passiva. O esquema de dispersão utilizado nesta etapa é um modelo lagrangiano, descrito em Reed & Hetland (2002). Segundo os autores, o modelo DREAM é baseado na equação geral de transporte:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \vec{V} \times \vec{\nabla} C_i = \vec{\nabla} \times D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ji} C_i \quad (8)$$

onde  $C_i$  é a concentração do  $i^o$  componente químico liberado;  $t$  é o tempo;  $\vec{V}$  é o vetor de transporte advectivo;  $\vec{\nabla}$  é o operador gradiente; e  $D_k$  é o coeficiente de dispersão turbulenta em  $k =$  direções  $x$ ,  $y$  e  $z$ . Os termos  $r_j$  representam as variações dos processos físico-químicos.

Os termos referentes à degradação,  $r_{ij}$ , controlam a degradação de subprodutos, como a transferência de massa de um componente para outro. Desta forma, as mudanças nas propriedades toxicológicas permanecem retidas no modelo.

Concentrações dos componentes do fluido na coluna d'água são calculadas a partir da distribuição de pseudopartículas Lagrangianas no tempo e espaço. Cada partícula matemática representa, conceitualmente, uma nuvem Gaussiana de componentes dissolvidos, gotículas, ou partículas em decantação. Os campos de concentração são constituídos a partir da superposição de todas essas nuvens. Cada nuvem consiste em um elipsoide com uma partícula em seu centro, e semieixos definidos como uma função de tempo da partícula. A distribuição teórica da massa dentro do elipsoide é Gaussiana, com seus desvios padrões nas direções  $x$ ,  $y$  e  $z$  (CSANADY, 1973 apud REED & HETLAND, 2002):

$$\sigma_i = \sqrt{2k_i t} \quad (9)$$

$$C = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (10)$$

onde  $x$ ,  $y$ ,  $z$  são as coordenadas do ponto de interesse;  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  são as coordenadas do centro de massa da nuvem;  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_y^2$ ,  $\sigma_z^2$  são as variâncias e  $m$  a massa.

Cada um desses elipsoides geralmente contribui em massa para muitas células no campo de concentração; e elipsoides vizinhos geralmente se sobrepõem espacialmente. Então, uma determinada célula do campo de concentração contém uma concentração resultante da presença de múltiplas nuvens de partículas próximas. Esse esquema remove grande parte da dependência do campo de concentração calculado sobre o número de partículas e a resolução da grade.

Os processos físico-químicos que regem o comportamento do efluente são:

### 2.1.8 Advecção e Dispersão

A advecção é calculada a partir da sobreposição de uma velocidade média local a uma componente turbulenta escolhida aleatoriamente. Geralmente, essa velocidade média local é a soma das componentes climatológicas, de maré e geradas pelos ventos e ondas (Stokes). Essas componentes especificadas são então interpoladas e somadas à componente turbulenta. A partir desse somatório, é calculada a advecção na coluna d'água. A componente turbulenta ( $w'$ ) é expressa como:

$$w' = R\sqrt{6k/\Delta t} \quad (11)$$

onde  $R$  é um número aleatório entre -1 e 1 e  $k$  é o coeficiente de dispersão turbulenta estimado para as direções horizontais e verticais.

O coeficiente de dispersão horizontal pode ser aproximado a partir de dados obtidos em estudos de dispersão de corantes, como os de Okubo (1971, 1974 *apud* REED & HETLAND, 2002) e revisados posteriormente por Bowden (1983 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$K_x = 0,0027t^{1,34} \quad (12)$$

para  $K$  em  $\text{cm}^2/\text{s}$  e  $t$  em segundos.

O coeficiente de difusão turbulenta vertical acima da picnoclina é relacionado às condições de onda, segundo Ichiye (1967 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2kz) \quad (13)$$

sendo  $H$  a altura da onda,  $T$  o período de onda e  $k$  o número da onda.

Abaixo da profundidade da picnoclina,  $K_z$  é assumido como uma constante de valor  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$  (KULLENBERG, 1982 *apud* REED & HETLAND, 2002). Na ausência da picnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

O deslocamento vertical das partículas é calculado a partir da sobreposição de uma velocidade turbulenta aleatória a uma velocidade ascendente (ou descendente). As velocidades verticais diferenciais são calculadas usando a média harmônica de dois extremos, uma vez que o coeficiente de arrasto é uma função do número de Reynolds (JOHANSEN, 2000 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$w_{rise} = 1/(w_1^{-1} + w_2^{-1}), \text{ solução combinada} \quad (14)$$

$$w_1 = d^2 g' / 18\nu, \text{ (para número de Reynolds} < 1000), \text{ e} \quad (15)$$

$$w_2 = \sqrt{3d/|g'|}, \text{ (para número de Reynolds} > 1000) \quad (16)$$

Onde:

$g' = g(\rho_\alpha - \rho_0) / \rho_\alpha$ ,  $g$  é a aceleração gravitacional e  $\nu$  a viscosidade cinemática da água ( $\sim 1 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s).

### 2.1.9 Dissolução

A dissolução é dependente da fração molar de cada componente presente no efluente. A concentração ambiental também é um fator importante, principalmente próximo ao local de descarte/vazamento. A equação que governa a dissolução do componente  $i$  é:

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad (17)$$

onde,  $K_d$  é o coeficiente de transferência de massa por dissolução, em m/s;  $A$  a área superficial do efluente, em m<sup>2</sup>;  $F_i$  a fração molar do componente  $i$  remanescente no efluente;  $S_i$  a solubilidade do componente  $i$ , em g/m<sup>3</sup>, ppm; e  $C_i$  a concentração ambiente do componente  $i$ , em g/m<sup>3</sup>.

### 2.1.10 Adsorção

A adsorção desempenha um papel importante no transporte e destino dos poluentes no ambiente aquático. Ela determina a extensão do particionamento de um poluente entre a fase de particulado em suspensão e a fase dissolvida, modulando, desta forma, os efeitos tóxicos e a taxa de remoção da coluna d'água para os sedimentos.

## 2.2. Velocidade de Deposição das Partículas Sólidas

No modelo DREAM, as velocidades de deposição das partículas são divididas em dois regimes: o regime de Stokes e o regime do arrasto constante (RYE et al., 2008). As velocidades de deposição dentro do regime de Stokes, para partículas de menor tamanho, são dadas pela seguinte equação:

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (18)$$

$$g' = g(\rho_{particula} - \rho_{agua}) / \rho_{agua} \quad (19)$$

onde  $W_1$  é a velocidade laminar de afundamento de Stokes para uma partícula;  $d$  é o diâmetro da partícula;  $g'$  é a gravidade reduzida, expressa pela equação (19);  $g$  é a gravidade padrão;  $\rho$  é a densidade da partícula ou da água do mar;  $\nu$  é a viscosidade cinemática ( $1,358 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s, em uma água com 10°C).

A segunda contribuição para a deposição das partículas é o regime de arrasto constante com fricção dominante, para partículas maiores. Uma expressão geral para essa velocidade de queda pode ser derivada a partir do balanço entre as forças de flutuação e de arrasto que atuam na partícula (HU & KINTNER, 1955 apud RYE et al., 2008), calculada da seguinte forma:

$$W_2 = \sqrt{\frac{4dg'}{3C_D}} \quad (20)$$

O coeficiente de arrasto  $C_D$ , nesta equação, é uma função do Número de Reynolds ( $Re = W_2 d / \nu$ ). Dessa forma, dois regimes assintóticos são identificados, o regime de Stokes e o regime de arrasto constante.

→ Regime de Stokes ( $Re < 1$ ):

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (21)$$

→ Regime de arrasto constante ( $Re < 1000$ ):

$$W_2 = K \sqrt{4dg'} \quad (22)$$

onde  $K$  é uma constante empírica adimensional. Para valores intermediários do Número de Reynolds ( $1 < Re < 1000$ ), uma equação de interpolação para a velocidade de deposição total  $W$  da partícula pode ser utilizada, da seguinte forma:

$$W = \frac{1}{\left( \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} \right)} \quad (23)$$

A constante empírica  $K$  é escolhida de forma que a correspondência seja alcançada entre a velocidade de deposição dominada pela fricção. Essa equação considera as partículas como não esféricas e, portanto, com velocidades de deposição menor que as partículas esféricas.

### 3. Bibliografia

- BRANDSMA, M.; SMITH, J. 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model - Report and User Guide. In: Relatório EPR.29PR.99. Production Operations Division. Exxon Production Research Company. Houston, Texas.
- JOHANSEN, Ø. (2000): "DeepBlow – a Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts". Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 6, No. 2, pp 103 – 111.
- JOHANSEN, Ø. and DURGUT, I. 2006. Implementation of the near-field module in theERMS model, Technical report, SINTEF.
- KOH, R. C. Y.; CHANG, Y. 1973. Mathematical Model for Barge Ocean Disposal of Wastes, Relatório EPA-6602-73-029, U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon.
- REED, M. & HETLAND, B. 2002. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical Description of Physical-Chemical Fate Components. SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Kuala Lumpur, Malaysia, March 2002.
- RYE, H.; REED, M.; FROST, T.; SMIT, M.; DURGUT, I.; JOHANSEN, O.; DITLEVSEN, M. Development of a numerical model for calculating exposure to toxic and nontoxic stressors in the water column and sediment from drilling discharges. Integrated Environmental Assessment and Management, v. 4, n. 2, pp. 194-203. 2008.

---

- ANEXO II -

Cadastro Técnico Federal da Equipe Técnica

---





Ministério do Meio Ambiente  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
4961307	19/04/2021	19/04/2021	19/07/2021

**Dados básicos:**

CPF: 125.696.837-44  
Nome: ANA CAROLINA ROCHINHA BOECHAT

**Endereço:**

logradouro: RUA BARÃO DE ICARAÍ  
N.º: 14 Complemento: APTO 501  
Bairro: FLAMENGO Município: RIO DE JANEIRO  
CEP: 22250-110 UF: RJ

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	94Q7DVES7UFG73A2
------------------------------	------------------



Ministério do Meio Ambiente  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
3790998	19/04/2021	19/04/2021	19/07/2021

**Dados básicos:**

CPF: 116.991.707-03  
Nome: HENERY FERREIRA GARÇÃO

**Endereço:**

logradouro: RUA JORNALISTA ANTONIO RODRIGUES DA COSTA  
N.º: 17 Complemento: QUADRA 230  
Bairro: ITAIPU Município: NITEROI  
CEP: 24342-400 UF: RJ

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	MWDK3MV1EWKHG1SH
------------------------------	------------------



Ministério do Meio Ambiente  
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis  
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL  
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



<b>Registro n.º</b>	<b>Data da consulta:</b>	<b>CR emitido em:</b>	<b>CR válido até:</b>
5621594	19/04/2021	19/04/2021	19/07/2021

**Dados básicos:**

CPF: 890.313.184-34

Nome: MARCELO MONTENEGRO CABRAL

**Endereço:**

logradouro: RUA EUCLIDES DA CUNHA

N.º: 255

Complemento: 507-2

Bairro: SÃO CRISTÓVÃO

Município: RIO DE JANEIRO

CEP: 20940-060

UF: RJ

**Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA**

<b>Código CBO</b>	<b>Ocupação</b>	<b>Área de Atividade</b>
2142-40	Engenheiro Civil (Hidráulica)	Prestar consultoria, assistência e assessoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

<b>Chave de autenticação</b>	G3P4CUFT9WEVZHRL
------------------------------	------------------