

# **Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Atividade de Produção e Escoamento de Óleo e Gás do Pólo Pré-Sal da Bacia de Santos**

**Revisão 00**

**Novembro / 2011**



A **ASA LatinAmerica** é responsável pelo conteúdo do presente relatório incluindo: tecnologias, metodologias, especificações técnicas, desenhos, figuras, cópias, diagramas, fórmulas, modelos, amostras, e fluxogramas.

A utilização deste material deverá ser compatível com o escopo do projeto/trabalho contratado, fazendo-se expressa menção ao nome da **ASA LatinAmerica** como autora do estudo. Da mesma forma, quando a equipe técnica da **ASA** for incorporada na equipe técnica da empresa contratante, esta deverá ser mencionada, e referenciada, como: “consultores da **ASA LatinAmerica**”. Qualquer dúvida ou alteração desta conduta deverá ser discutida entre o cliente e a **ASA v.**

ASA (Applied Science Associates LatinAmerica), 2011. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Atividade de Produção e Escoamento de Óleo e Gás do Pólo Pré-Sal da Bacia de Santos. Relatório Técnico, Revisão 00 (21 de novembro de 2011). 172pp+Anexos.

## CONTROLE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
00	Documento Original	21/11/2011

	Original	Rev. 01	Rev. 02	Rev. 03	Rev. 04	Rev. 05	Rev. 06	Rev. 07	Rev. 08
<b>Data</b>	21/11/11								
<b>Elaboração</b>									
<b>Verificação</b>									
<b>Aprovação</b>									



## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	1
I INTRODUÇÃO .....	I-1
II MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO .....	II-1
II.1 DADOS DE ENTRADA .....	II-1
II.1.1 CAMPOS DE CORRENTE .....	II-2
II.1.2 CAMPOS DE VENTO .....	II-3
II.1.3 PONTOS DE RISCO E VOLUMES DE DERRAME .....	II-6
II.1.4 CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS UTILIZADOS.....	II-7
II.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES .....	II-9
II.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS .....	II-9
III RESULTADOS DA MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO .....	III-1
III.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS .....	III-1
III.1.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VOLUME PEQUENO ...	III-5
III.1.2 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VOLUME MÉDIO .....	III-25
III.1.3 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS – VOLUME PIOR CASO	III-46
III.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS .....	III-68
III.2.1 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS – VOLUME PEQUENO	III-70
III.2.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS – VOLUME MÉDIO .....	III-81
III.2.3 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS – VOLUME PIOR CASO	III-91
III.2.4 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS -	
SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS .....	III-102
III.3 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES	
METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS MAIS FREQUENTES	III-109
III.3.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS -	
SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS PARA AS CONDIÇÕES MAIS	
FREQUENTES.....	III-121
IV CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	IV-1
V BIBLIOGRAFIA .....	V-1
VI EQUIPE TÉCNICA .....	VI-1
ANEXO A - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS OILMAP .....	A-1
ANEXO B - DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR .....	B-1



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela II-1</b> - Coordenadas (SAD69) dos pontos de risco que delimitam o Pólo Pré-Sal.	II-6
<b>Tabela II-2</b> - Características do óleo para a sub-região do Bloco BM-S-8. ....	II-7
<b>Tabela II-3</b> - Características do óleo para a sub-região dos blocos BM-S-10 e BM-S-24. ....	II-8
<b>Tabela II-4</b> - Características do óleo para a sub-região do Bloco BM-S-11. ....	II-8
<b>Tabela II-5</b> - Características do óleo para a sub-região do Bloco BM-S-21. ....	II-8
<b>Tabela II-6</b> - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrame de óleo. ....	II-10
<b>Tabela III-1</b> - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários individuais. ....	III-2
<b>Tabela III-2</b> - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários integrados. ....	III-2
<b>Tabela III-3</b> - Menor distância com relação à costa. ....	III-3
<b>Tabela III-4</b> - Resumo dos resultados da modelagem probabilística para os pontos do Pólo Pré-Sal. ....	III-4
<b>Tabela III-5</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume pequeno (8 m <sup>3</sup> ) no Pólo Pré-Sal no período de verão. ....	III-23
<b>Tabela III-6</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume pequeno (8 m <sup>3</sup> ) no Pólo Pré-Sal no período de inverno. ....	III-25
<b>Tabela III-7</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume médio (200 m <sup>3</sup> ) no Pólo Pré-Sal no período de verão. ....	III-44
<b>Tabela III-8</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume médio (200 m <sup>3</sup> ) no Pólo Pré-Sal no período de inverno. ....	III-46
<b>Tabela III-9</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso no Pólo Pré-Sal no período de verão.	III-65
<b>Tabela III-10</b> - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso no Pólo Pré-Sal no período de inverno. ....	III-67

---

**Tabela III-11** - Resumo dos cenários determinísticos críticos simulados que apresentaram  
toque na costa..... III-68

**Tabela III-12** - Resumo dos cenários determinísticos críticos simulados que não  
apresentaram toque na costa. .... III-69

**Tabela III-12** - Resumo dos cenários determinísticos mais frequentes de verão e de  
inverno. .... III-109



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura I-1</b> - Localização dos pontos de risco e sub-regiões do Pólo Pré-Sal.....	I-1
<b>Figura II-1</b> - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo.....	II-3
<b>Figura II-2</b> - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de verão). .....	II-4
<b>Figura II-3</b> - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de inverno).....	II-5
<b>Figura III-1</b> - Cenário P1_BMS8_VER_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-5
<b>Figura III-2</b> - Cenário P2_BMS10_VER_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-6
<b>Figura III-3</b> - Cenário P3_BMS11_VER_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-7
<b>Figura III-4</b> - Cenário P4_BMS24_VER_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-8
<b>Figura III-5</b> - Cenário P5_BMS21_VER_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-9
<b>Figura III-6</b> - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos (8 m <sup>3</sup> ) durante os meses de verão (janeiro a março). .....	III-10
<b>Figura III-7</b> - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos (8 m <sup>3</sup> ) durante os meses de verão (janeiro a março). .....	III-11

- Figura III-8** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março)..... III-12
- Figura III-9** - Volume máximo de óleo ( $\text{m}^3$ ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março)..... III-13
- Figura III-10** - Cenário P1\_BMS8\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-14
- Figura III-11** - Cenário P2\_BMS10\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-15
- Figura III-12** - Cenário P3\_BMS11\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-16
- Figura III-13** - Cenário P4\_BMS24\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-17
- Figura III-14** - Cenário P5\_BMS21\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-18
- Figura III-15** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto)..... III-19
- Figura III-16** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto). III-20
- Figura III-17** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto). .... III-21

<b>Figura III-18</b> - Volume máximo de óleo ( $m^3$ ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 m^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto). .....	III-22
<b>Figura III-19</b> - Cenário P1_BMS8_VER_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200,0 m^3$ (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-26
<b>Figura III-20</b> - Cenário P2_BMS10_VER_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200,0 m^3$ (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-27
<b>Figura III-21</b> - Cenário P3_BMS11_VER_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200,0 m^3$ (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-28
<b>Figura III-22</b> - Cenário P4_BMS24_VER_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200,0 m^3$ (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-29
<b>Figura III-23</b> - Cenário P5_BMS21_VER_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de $200,0 m^3$ (instantâneo), após 30 dias de simulação. ....	III-30
<b>Figura III-24</b> - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo do Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 m^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).....	III-31
<b>Figura III-25</b> - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 m^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março). ....	III-32
<b>Figura III-26</b> - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 m^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março). ....	III-33
<b>Figura III-27</b> - Volume máximo de óleo ( $m^3$ ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 m^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março). ....	III-34

- Figura III-28** - Cenário P1\_BMS8\_INV\_200 Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-35
- Figura III-29** - Cenário P2\_BMS10\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-36
- Figura III-30** - Cenário P3\_BMS11\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-37
- Figura III-31** - Cenário P4\_BMS24\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-38
- Figura III-32** - Cenário P5\_BMS21\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação. .... III-39
- Figura III-33** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios (200 m<sup>3</sup>) durante os meses de inverno (junho a agosto). .... III-40
- Figura III-34** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios (200 m<sup>3</sup>) durante os meses de inverno (junho a agosto). .... III-41
- Figura III-35** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios (200 m<sup>3</sup>) durante os meses de inverno (junho a agosto). .... III-42
- Figura III-36** - Volume máximo de óleo (m<sup>3</sup>) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos (200 m<sup>3</sup>) durante os meses de inverno (junho a agosto). .... III-43
- Figura III-37** - Cenário P1\_BMS8\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os

meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. .... III-47

**Figura III-38** - Cenário P2\_BMS10\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. .... III-48

**Figura III-39** - Cenário P3\_BMS11\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. .... III-49

**Figura III-40** - Cenário P4\_BMS24\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. .... III-50

**Figura III-41** - Cenário P5\_BMS21\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. .... III-51

**Figura III-42** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março). .... III-52

**Figura III-43** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de verão (janeiro a março). .... III-53

**Figura III-44** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de verão (janeiro a março). III-54

**Figura III-45** - Volume máximo de óleo (m<sup>3</sup>) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de verão (janeiro a março). .... III-55

**Figura III-46** - Cenário P1\_BMS8\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. .... III-56

**Figura III-47** - Cenário P2\_BMS10\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os

meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. ....	III-57
<b>Figura III-48</b> - Cenário P3_BMS11_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. ....	III-58
<b>Figura III-49</b> - Cenário P4_BMS24_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. ....	III-59
<b>Figura III-50</b> - Cenário P5_BMS21_INV_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação. ....	III-60
<b>Figura III-51</b> - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto). ....	III-61
<b>Figura III-52</b> - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto). ....	III-62
<b>Figura III-53</b> - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto). ....	III-63
<b>Figura III-54</b> - Volume máximo de óleo (m <sup>3</sup> ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto). ....	III-64
<b>Figura III-55</b> - DET_P1_BMS8_VER_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.....	III-71
<b>Figura III-56</b> - Balanço de massa do cenário DET_P1_BMS8_VER_8.....	III-71
<b>Figura III-57</b> - DET_P2_BMS10_VER_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.....	III-72
<b>Figura III-58</b> - Balanço de massa do cenário DET_P2_BMS10_VER_8.....	III-72
<b>Figura III-59</b> - DET_P3_BMS11_VER_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.....	III-73
<b>Figura III-60</b> - Balanço de massa do cenário DET_P3_BMS11_VER_8.....	III-73

<b>Figura III-61</b> - DET_P4_BMS24_VER_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.....	III-74
<b>Figura III-62</b> - Balanço de massa do cenário DET_P4_BMS24_VER_8.....	III-74
<b>Figura III-63</b> - DET_P5_BMS21_VER_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.....	III-75
<b>Figura III-64</b> - Balanço de massa do cenário DET_P5_BMS21_VER_8.....	III-75
<b>Figura III-65</b> - DET_P1_BMS8_INV_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.....	III-76
<b>Figura III-66</b> - Balanço de massa do cenário DET_P1_BMS8_INV_8. ....	III-76
<b>Figura III-67</b> - DET_P2_BMS10_INV_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.....	III-77
<b>Figura III-68</b> - Balanço de massa do cenário DET_P2_BMS10_INV_8. ....	III-77
<b>Figura III-69</b> - DET_P3_BMS11_INV_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.....	III-78
<b>Figura III-70</b> - Balanço de massa do cenário DET_P3_BMS11_INV_8. ....	III-78
<b>Figura III-71</b> - DET_P4_BMS24_INV_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.....	III-79
<b>Figura III-72</b> - Balanço de massa do cenário DET_P4_BMS24_INV_8. ....	III-79
<b>Figura III-73</b> - DET_P5_BMS21_INV_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.....	III-80
<b>Figura III-74</b> - Balanço de massa do cenário DET_P5_BMS21_INV_8. ....	III-80
<b>Figura III-75</b> - DET_P1_BMS8_VER_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.....	III-81
<b>Figura III-76</b> - Balanço de massa do cenário DET_P1_BMS8_VER_200.....	III-82
<b>Figura III-77</b> - DET_P2_BMS10_VER_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-82
<b>Figura III-78</b> - Balanço de massa do cenário DET_P2_BMS10_VER_200.....	III-83
<b>Figura III-79</b> - DET_P3_BMS11_VER_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-83
<b>Figura III-80</b> - Balanço de massa do cenário DET_P3_BMS11_VER_200.....	III-84
<b>Figura III-81</b> - DET_P4_BMS24_VER_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-84

<b>Figura III-82</b> - Balanço de massa do cenário DET_P4_BMS24_VER_200.....	III-85
<b>Figura III-83</b> - DET_P5_BMS21_VER_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-85
<b>Figura III-84</b> - Balanço de massa do cenário DET_P5_BMS21_VER_200.....	III-86
<b>Figura III-85</b> - DET_P1_BMS8_INV_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.....	III-86
<b>Figura III-86</b> - Balanço de massa do cenário DET_P1_BMS8_INV_200.....	III-87
<b>Figura III-87</b> - DET_P2_BMS10_INV_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-87
<b>Figura III-88</b> - Balanço de massa do cenário DET_P2_BMS10_INV_200.....	III-88
<b>Figura III-89</b> - DET_P3_BMS11_INV_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-88
<b>Figura III-90</b> - Balanço de massa do cenário DET_P3_BMS11_INV_200.....	III-89
<b>Figura III-91</b> - DET_P4_BMS24_INV_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-89
<b>Figura III-92</b> - Balanço de massa do cenário DET_P4_BMS24_INV_200.....	III-90
<b>Figura III-93</b> - DET_P5_BMS21_INV_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m <sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-90
<b>Figura III-94</b> - Balanço de massa do cenário DET_P5_BMS21_INV_200.....	III-91
<b>Figura III-95</b> - DET_P1_BMS8_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-92
<b>Figura III-96</b> - Balanço de massa do cenário DET_P1_BMS8_VER_PC.....	III-92
<b>Figura III-97</b> - DET_P2_BMS10_VER_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-93
<b>Figura III-98</b> - Balanço de massa do cenário DET_P2_BMS10_VER_PC.....	III-93
<b>Figura III-99</b> - DET_P3_BMS11_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-94



<b>Figura III-100</b> - Balanço de massa do cenário DET_P3_BMS11_VER_PC.....	III-94
<b>Figura III-101</b> - DET_P4_BMS24_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-95
<b>Figura III-102</b> - Balanço de massa do cenário DET_P4_BMS24_VER_PC.....	III-95
<b>Figura III-103</b> - DET_P5_BMS21_VER_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão. ....	III-96
<b>Figura III-104</b> - Balanço de massa do cenário DET_P5_BMS21_VER_PC.....	III-96
<b>Figura III-105</b> - DET_P1_BMS8_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-97
<b>Figura III-106</b> - Balanço de massa do cenário DET_P1_BMS8_INV_PC.....	III-97
<b>Figura III-107</b> - DET_P2_BMS10_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-98
<b>Figura III-108</b> - Balanço de massa do cenário DET_P2_BMS10_INV_PC.....	III-98
<b>Figura III-109</b> - DET_P3_BMS11_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-99
<b>Figura III-110</b> - Balanço de massa do cenário DET_P3_BMS11_INV_PC.....	III-99
<b>Figura III-111</b> - DET_P4_BMS24_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-100
<b>Figura III-112</b> - Balanço de massa do cenário DET_P4_BMS24_INV_PC.....	III-100
<b>Figura III-113</b> - DET_P5_BMS21_INV_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. ....	III-101
<b>Figura III-114</b> - Balanço de massa do cenário DET_P5_BMS21_INV_PC.....	III-101
<b>Figura III-115</b> - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.....	III-103
<b>Figura III-116</b> - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso	

(afundamento de unidade), no verão, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.....	III-104
<b>Figura III-117</b> - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.....	III-105
<b>Figura III-118</b> - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.....	III-106
<b>Figura III-119</b> - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SW.....	III-107
<b>Figura III-120</b> - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SW.....	III-108
<b>Figura III-121</b> - DET_MF_P1_BMS8_VER_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.....	III-111
<b>Figura III-122</b> - Balanço de massa do cenário DET_MF_P1_BMS8_VER_PC. ....	III-111
<b>Figura III-123</b> - DET_MF_P2_BMS10_VER_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.....	III-112
<b>Figura III-124</b> - Balanço de massa do cenário DET_MF_P1_BMS10_VER_PC. ....	III-112
<b>Figura III-125</b> - DET_MF_P3_BMS11_VER_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.....	III-113
<b>Figura III-126</b> - Balanço de massa do cenário DET_MF_P3_BMS11_VER_PC. ....	III-113
<b>Figura III-127</b> - DET_MF_P4_BMS24_VER_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m <sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.....	III-114
<b>Figura III-128</b> - Balanço de massa do cenário DET_MF_P4_BMS24_VER_PC. ....	III-114

- Figura III-129** - DET\_MF\_P5\_BMS21\_VER\_PC Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão. .... III-115
- Figura III-130** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P5\_BMS21\_VER\_PC. .... III-115
- Figura III-131** - DET\_MF\_P1\_BMS8\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. .... III-116
- Figura III-132** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P1\_BMS8\_INV\_PC..... III-116
- Figura III-133** - DET\_MF\_P2\_BMS10\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. .... III-117
- Figura III-134** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P1\_BMS10\_INV\_PC..... III-117
- Figura III-135** - DET\_MF\_P3\_BMS11\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. .... III-118
- Figura III-136** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P3\_BMS11\_INV\_PC..... III-118
- Figura III-137** - DET\_MF\_P4\_BMS24\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. .... III-119
- Figura III-138** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P4\_BMS24\_INV\_PC..... III-119
- Figura III-139** - DET\_MF\_P5\_BMS21\_INV\_PC Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno. .... III-120
- Figura III-140** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P5\_BMS21\_INV\_PC..... III-120
- Figura III-141** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE..... III-122
- Figura III-142** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE. .... III-123
- Figura III-143** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente de pior

caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM-S-41. Direção Predominante:  
Corrente-SW; Vento-NE..... III-124

**Figura III-144** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de  
óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento  
de unidade), no inverno, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW;  
Vento-NE..... III-125

**Figura III-145** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de  
óleo em um instante intermediário da simulação determinística mais frequente de  
pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM-S-41.  
Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NW..... III-126

**Figura III-146** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de  
óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente de pior  
caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM-S-41. Direção Predominante:  
Corrente-SW; Vento-SW..... III-127

## RESUMO

Este relatório apresenta os resultados da modelagem numérica do transporte e dispersão de óleo decorrentes da atividade de produção e escoamento de óleo e gás do Pólo Pré-Sal da Bacia de Santos, a partir de simulações em um conjunto de cinco pontos de risco.

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

Foram conduzidas simulações probabilísticas para duas condições sazonais (verão e inverno), com o objetivo de determinar os intervalos de probabilidade da mancha atingir a área de estudo a partir de três classes de derrame, como definido na Resolução CONAMA nº 398/08: pequeno ( $8,0 \text{ m}^3$ ), médio ( $200,0 \text{ m}^3$ ) e pior caso ( $300.0000,0 \text{ m}^3$ , derramados ao longo de 24 horas, correspondente ao afundamento de unidade). O critério de parada adotado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento.

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos para cada cenário probabilístico, utilizando como critério o menor tempo de toque na costa. Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre as trajetórias das manchas simuladas e os padrões de circulação na região. Na costa sul-sudeste brasileira, o padrão de circulação superficial está relacionado à Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em oceano profundo, há predomínio da CB.

Em condições de verão, não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos de risco localizados nas sub-regiões dos blocos BM-S-21 (P5) e BM-S-24 (P4). Para o Bloco BM-S-11 (P3) apenas o cenário com volume de pior caso apresentou probabilidade de toque na costa. Em condições de inverno, observa-se que também não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos das sub-regiões dos blocos BM-S-21 e BM-S-24, além do Bloco BM-S-11.

Os resultados individuais das simulações probabilísticas por sub-região do Pólo Pré-Sal foram integrados por volume e mostram que, no verão, para o volume de pior caso, a probabilidade de toque se estende por, aproximadamente, 1.088,1 km entre os municípios de Peruíbe (SP) e Laguna (SC). Já no inverno, as simulações atingiram um trecho inferior a 410,5 km entre os municípios de Guarujá (SP) a Florianópolis (SC).

As maiores probabilidades de toque na costa foram calculadas para o período de inverno (24%), no Município de Iguape (SP). No verão a probabilidade de toque em toda sua extensão foi igual ou inferior a 10%. O menor tempo de toque na costa ocorreu na Ilha da Queimada Grande, pertencente ao Município de Itanhaém (SP), com 382 horas, durante o verão. No inverno, a Laje de Santos pertencente ao Município de Santos (SP), apresentou o menor tempo de toque (419 horas).

## I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte à PETROBRAS na elaboração dos estudos ambientais para a atividade de produção e escoamento de óleo e gás do Pólo Pré-Sal da Bacia de Santos, apresenta-se, neste estudo, a modelagem numérica da trajetória e intemperismo de derrames de óleo no mar. O Pólo Pré-Sal abrange um polígono cujos vértices serviram como fronteiras limites para a avaliação de potenciais derrames de óleo na região.

A Figura I-1 apresenta a localização das sub-regiões e dos pontos de risco do Pólo Pré-Sal, para a qual foram realizadas as simulações numéricas de potenciais acidentes com derrame de óleo.

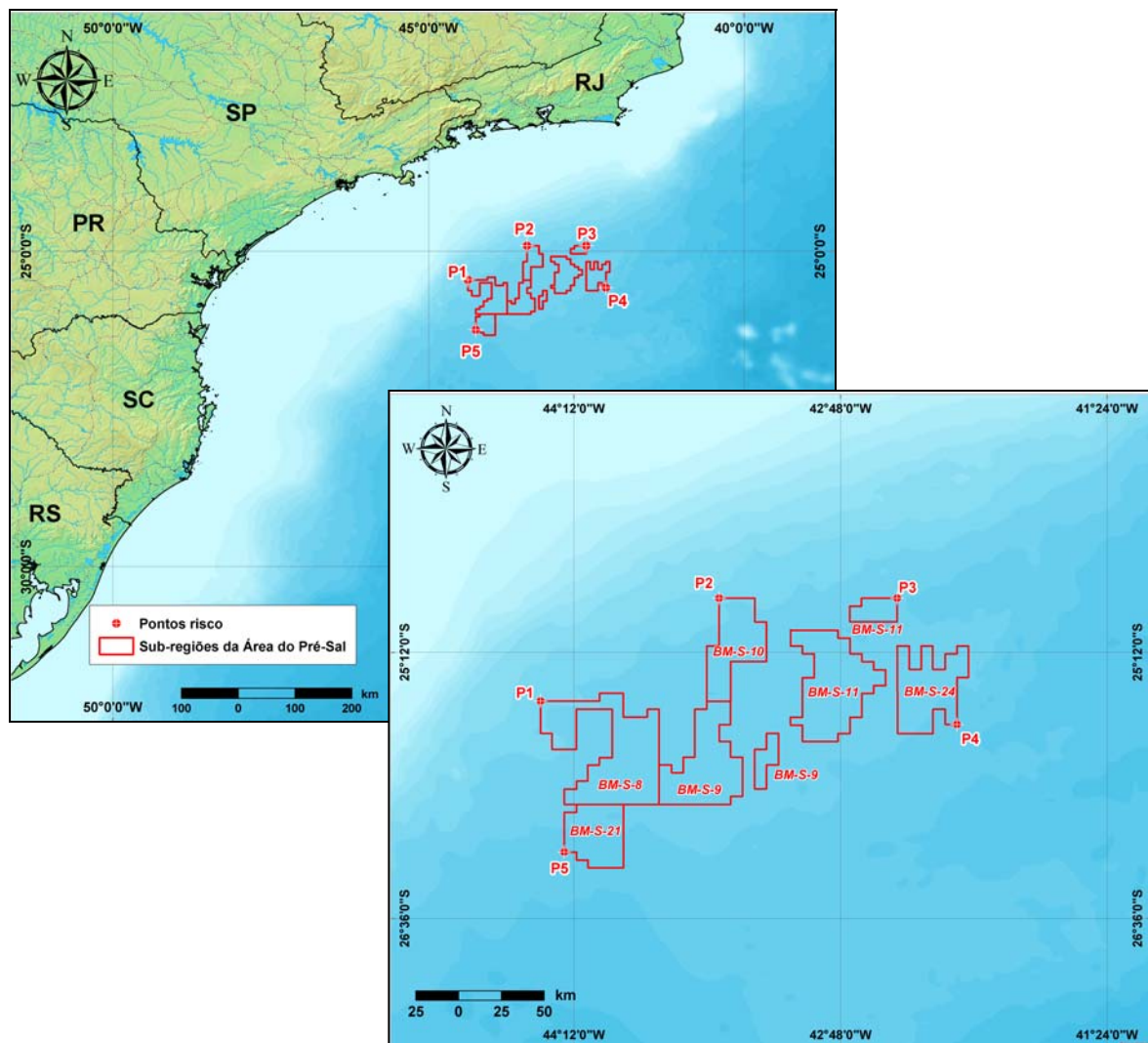


Figura I-1 - Localização dos pontos de risco e sub-regiões do Pólo Pré-Sal.

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

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

Para a modelagem de transporte do óleo foi considerando um campo de ventos variável no tempo e no espaço, baseado em dados de Reanálise dos modelos meteorológicos do NCEP/NCAR<sup>1</sup>.

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

As simulações de derrame de óleo consideraram: cinco pontos de risco; três volumes de derrame (pequeno, médio e pior caso) e duas condições sazonais (verão e inverno). Como critério de parada nas simulações de derrame de óleo utilizou-se o tempo de 30 dias após o final do vazamento.

A partir dos resultados das simulações probabilísticas, foram selecionados os cenários determinísticos críticos utilizando como critério o menor tempo de toque na costa. Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

A seguir, o Capítulo II descreve os cenários acidentais de óleo, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações probabilísticas e determinísticas (críticas e mais frequentes) são apresentados no Capítulo III. Por fim, o Capítulo IV apresenta as considerações finais para o

---

<sup>1</sup> *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) e *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), disponibilizados pelo Climate Diagnostics Center (CDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Obtido em <<http://www.esrl.noaa.gov/psd>>. Último acesso em 05 de janeiro de 2009.



presente estudo. A análise dos dados meteorológicos e oceanográficos relevantes aos estudos de modelagem, assim como a implementação da modelagem hidrodinâmica e sua avaliação, foi apresentada em ASA (2010a,b). Em complementação, no Anexo A apresenta-se a descrição do modelo OILMAP e no Anexo B, dos dados de reanálise do NCEP/NCAR.



## II MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO

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

### II.1 DADOS DE ENTRADA

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

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

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

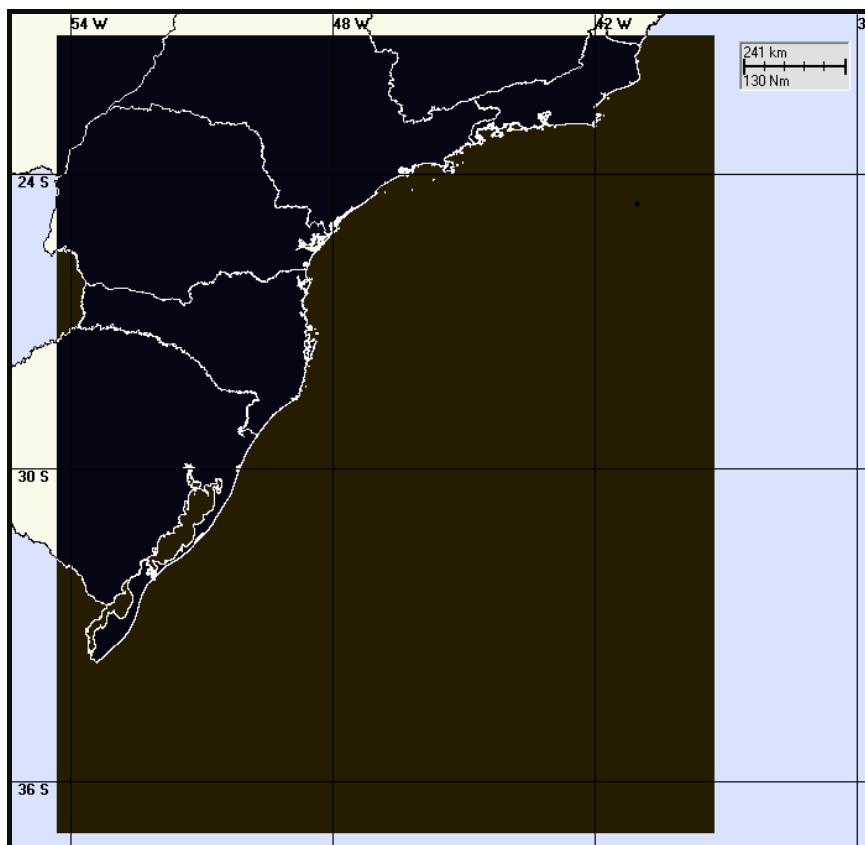
## II.1.1 Campos de Corrente

Os campos de corrente utilizados na modelagem do transporte e dispersão de óleo foram gerados a partir da modelagem hidrodinâmica apresentada em ASA (2010a,b) e informações complementares foram enviadas nas respostas aos Pareceres Técnicos CGPEG/DILIC/IBAMA nº 133/10, 294/10, 023/11, 055/11 e 086/11.

Ressalta-se que, conforme resposta ao Parecer Técnico nº 086/11, a PETROBRAS considera que a base hidrodinâmica utilizada tem capacidade de reproduzir de forma adequada a variabilidade dos campos de corrente na região de interesse, sendo suficientemente representativa para a modelagem probabilística do transporte de óleo a que se destina e para o planejamento de resposta a emergências. Entretanto, foi firmado o compromisso da PETROBRAS em investir no desenvolvimento da modelagem hidrodinâmica nas áreas oceânicas com as melhores técnicas existentes. Além de manter o CGPEG informado sobre as atividades em andamento, bem como o interesse em discutir critérios para a qualificação desta modelagem, de forma a ter uma nova base hidrodinâmica em agosto de 2012 que seja considerada apta para aplicação em modelagem de óleo na região S-SE, abrangendo as bacias de Campos, Santos e Espírito Santo.

Para avaliar a sazonalidade das forçantes ambientais nos padrões de circulação e transporte, foram definidos dois campos hidrodinâmicos representativos dos períodos típicos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto) de 1992. A justificativa para a escolha deste ano também é apresentada em ASA (2010a,b) e respostas aos pareceres técnicos associados.

Por fim, para as simulações de derrame de óleo foi definida uma grade *land-water* com dimensões de 1.000x1.000 pontos (Figura II-1), resolução suficiente para todos os cenários simulados.



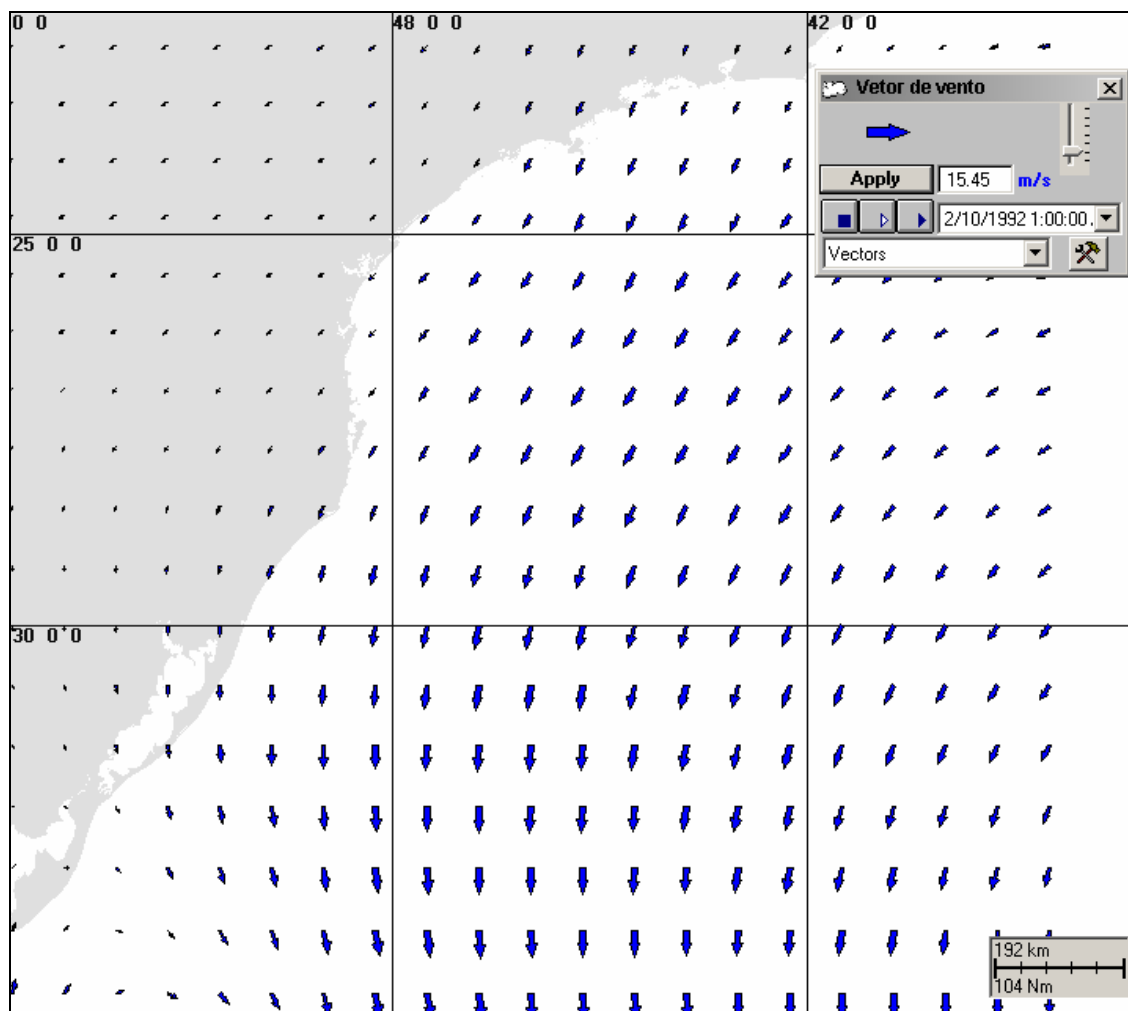
**Figura II-1** - Grade definindo os contornos de terra (grade land-water) para a modelagem de deriva de óleo.

### II.1.2 Campos de Vento

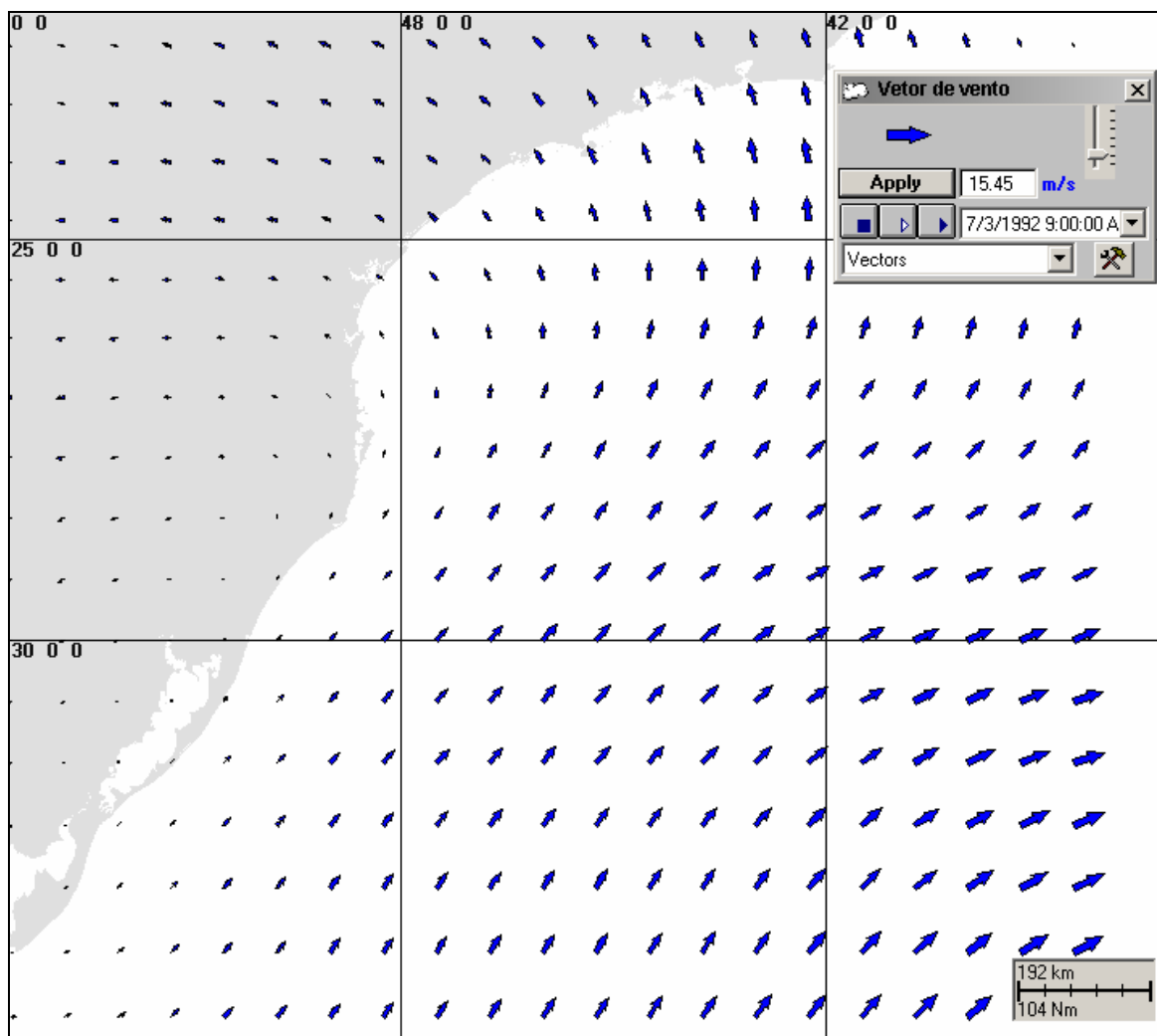
Na modelagem de deriva de óleo foi utilizado um conjunto de dados de vento variável no tempo e no espaço, proveniente de reanálise do NCEP/NCAR. Vale ressaltar que estes dados são resultados de simulações numéricas que utilizam o estado-da-arte em assimilação de dados em conjunto com a mais extensa base de dados disponível. Esta base de dados tem sido aprimorada e beneficiada pela inclusão de observações (coleta de dados) realizadas em diversos países. Maiores detalhes sobre os dados NCEP/NCAR são apresentados no Anexo A.

Os dados de reanálise do NCEP/NCAR têm originalmente uma resolução espacial de 2,5°; para o presente trabalho estes dados foram reinterpolados espacialmente resultando numa grade com resolução de 24 km.

As figuras abaixo ilustram exemplos de instantâneos do campo de vento resultante do tratamento acima descrito. A Figura II-2 ilustra um instante típico de verão, já a Figura II-3 ilustra a chegada de um sistema frontal à região, mais frequente no inverno.



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



**Figura II-3** - Instantâneo do campo de vento utilizado na modelagem de deriva de óleo apresentada neste estudo (condição típica de inverno).

Os dados utilizados são referentes ao período de 1<sup>o</sup> de janeiro a 31 de dezembro de 1992. Em ASA (2010a,b) são apresentadas análises dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente na região do estudo, a partir de uma série temporal extraída na região referente à posição latitude 25,7°S e longitude 43,1°W.

### II.1.3 Pontos de Risco e Volumes de Derrame

A posição geográfica dos pontos de risco foi definida de modo a representar as sub-regiões que compõem o Pólo Pré-Sal. A Tabela II-1 lista os pontos considerados na modelagem, suas coordenadas geográficas (*datum* SAD69) e a lâmina d'água local (em metros).

**Tabela II-1 - Coordenadas (SAD69) dos pontos de risco que delimitam o Pólo Pré-Sal.**

PONTOS	SUB-REGIÃO	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA* (m)
P1	BM-S-08	25°27'25,00"S	44°22'29,10"W	~ 1.900
P2	BM-S-10	24°54'53,80"S	43°26'13,80"W	~1.730
P3	BM-S-11	24°54'52,20"S	42°30'06,30"W	~2.160
P4	BM-S-24	25°34'50,30"S	42°11'15,50"W	~2.200
P5	BM-S-21	26°14'57,70"S	44°15'02,60"W	~2.400

Fonte: PETROBRAS.

\* Carta náutica DHN nº1.

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

- Pequeno: 8,0 m<sup>3</sup>;
- Médio: 200,0 m<sup>3</sup>;
- Pior caso: 300.000,0 m<sup>3</sup> (afundamento de FPSO).

O volume de pior caso utilizado nas simulações foi definido como o volume correspondente ao afundamento do FPSO de maior capacidade que irá atuar nas atividades nas Atividades de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Pólo Pré-Sal - Bacia de Santos.



Nas simulações com volume de pior caso, o derrame de todo o volume foi considerado contínuo ao longo de 24 horas (afundamento de unidade). Enquanto que, nas simulações realizadas com os volumes pequeno ( $8,0 \text{ m}^3$ ) e médio ( $200,0 \text{ m}^3$ ), considerou-se o vazamento de todo o volume de óleo instantaneamente, ou seja, no instante inicial da simulação.

#### II.1.4 Características dos Produtos Utilizados

Com base nas informações disponíveis para a área em estudo foram realizadas simulações com os óleos que ocorrem nas sub-regiões do Pólo Pré-Sal (ASA, 2009).

As características definidas para os óleos aqui denominados tipos BM-S-8, BM-S-10/BM-S-24, BM-S-11 e BM-S-21, adotadas nas simulações, são apresentadas nas Tabelas II-2 a II-5. As informações apresentadas foram fornecidas pela PETROBRAS, com o banco de dados da [ASA](#).

**Tabela II-2 - Características do óleo para a sub-região do Bloco BM-S-8.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	BM-S-8
Grau API	28,00
Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0,887
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	70,50
Tensão interfacial (din./cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (K)	400,00
Gradiente da curva de evaporação	640,00
Constante de evaporação A	7,20
Constante de evaporação B	11,80

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela II-3 - Características do óleo para a sub-região dos blocos BM-S-10 e BM-S-24.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	BM-S-10/BM-S-24
Grau API	28,00
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,887
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	61,35
Tensão interfacial (din./cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (K)	420,00
Gradiente da curva de evaporação	550,00
Constante de evaporação A	9,50
Constante de evaporação B	13,00

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela II-4 - Características do óleo para a sub-região do Bloco BM-S-11.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	BM-S-11
Grau API	28,00
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,887
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	57,20
Tensão interfacial (din./cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (K)	420,00
Gradiente da curva de evaporação	940,00
Constante de evaporação A	3,30
Constante de evaporação B	9,80

Fonte: PETROBRAS/ASA.

**Tabela II-5 - Características do óleo para a sub-região do Bloco BM-S-21.**

PARÂMETRO	VALOR
Nome do óleo	BM-S-21
Grau API	34,00
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,854
Viscosidade dinâmica (cP) a 25°C	33,00
Tensão interfacial (din./cm)	30,00
Ponto de ebulição inicial (K)	384,20
Gradiente da curva de evaporação	494,20
Constante de evaporação A	8,00
Constante de evaporação B	12,55

Fonte: PETROBRAS/ASA.

## **II.2 CRITÉRIOS DE PARADA ADOTADOS NAS SIMULAÇÕES**

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

Nos casos de derrames com volume de pior caso (afundamento da unidade ao longo de 24 horas), a duração das simulações foi de 31 dias. Enquanto que as simulações com derrames pequeno e médio (instantâneo) foram conduzidas por 30 dias.

## **II.3 RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS**

As simulações para a determinação da dispersão de óleo foram realizadas utilizando-se o modelo OILMAP no modo probabilístico. Neste modo é considerada a variabilidade das forçantes ambientais. Logo, as simulações de comportamento da mancha são realizadas através da variação das condições meteorológicas e oceanográficas, divididas em dois períodos correspondendo ao verão (janeiro a março) e ao inverno (junho a agosto).

Para que se pudesse incorporar a variabilidade dessas forçantes, foi realizada, com o modelo OILMAP, uma série de 500 simulações determinísticas para cada cenário probabilístico. O número de simulações é definido, através de testes, para incorporar as variabilidades das forçantes oceanográficas e meteorológicas da área de estudo, considerando os recursos computacionais disponíveis e o tempo para execução do trabalho.

A Tabela II-6 apresenta um resumo dos cenários simulados neste estudo de derrame de óleo para o Pólo Pré-Sal.

**Tabela II-6 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrame de óleo.**

CENÁRIOS	PRODUTO (PETRÓLEO)	VOLUME (m <sup>3</sup> )	DURAÇÃO DO DERRAME	TEMPO DE SIMULAÇÃO	ESTAÇÃO DO ANO
P1_BMS8_VER_8	BM-S-8	8,0	instantâneo	30 dias	Verão
P1_BMS8_VER_200	BM-S-8	200,0	instantâneo	30 dias	Verão
P1_BMS8_VER_PC	BM-S-8	300.000,0	24 horas	31 dias	Verão
P1_BMS8_INV_8	BM-S-8	8,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P1_BMS8_INV_200	BM-S-8	200,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P1_BMS8_INV_PC	BM-S-8	300.000,0	24 horas	31 dias	Inverno
P2_BMS10_VER_8	BM-S-10 / BM-S-24	8,0	instantâneo	30 dias	Verão
P2_BMS10_VER_200	BM-S-10 / BM-S-24	200,0	instantâneo	30 dias	Verão
P2_BMS10_VER_PC	BM-S-10 / BM-S-24	300.000,0	24 horas	31 dias	Verão
P2_BMS10_INV_8	BM-S-10 / BM-S-24	8,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P2_BMS10_INV_200	BM-S-10 / BM-S-24	200,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P2_BMS10_INV_PC	BM-S-10 / BM-S-24	300.000,0	24 horas	31 dias	Inverno
P3_BMS11_VER_11	BM-S-11	8,0	instantâneo	30 dias	Verão
P3_BMS11_VER_200	BM-S-11	200,0	instantâneo	30 dias	Verão
P3_BMS11_VER_PC	BM-S-11	300.000,0	24 horas	31 dias	Verão
P3_BMS11_INV_11	BM-S-11	8,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P3_BMS11_INV_200	BM-S-11	200,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P3_BMS11_INV_PC	BM-S-11	300.000,0	24 horas	31 dias	Inverno
P4_BMS24_VER_8	BM-S-10 / BM-S-24	8,0	instantâneo	30 dias	Verão
P4_BMS24_VER_200	BM-S-10 / BM-S-24	200,0	instantâneo	30 dias	Verão
P4_BMS24_VER_PC	BM-S-10 / BM-S-24	300.000,0	24 horas	31 dias	Verão
P4_BMS24_INV_8	BM-S-10 / BM-S-24	8,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P4_BMS24_INV_200	BM-S-10 / BM-S-24	200,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P4_BMS24_INV_PC	BM-S-10 / BM-S-24	300.000,0	24 horas	31 dias	Inverno
P5_BMS21_VER_8	BM-S-21	8,0	instantâneo	30 dias	Verão
P5_BMS21_VER_200	BM-S-21	200,0	instantâneo	30 dias	Verão
P5_BMS21_VER_PC	BM-S-21	300.000,0	24 horas	31 dias	Verão
P5_BMS21_INV_8	BM-S-21	8,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P5_BMS21_INV_200	BM-S-21	200,0	instantâneo	30 dias	Inverno
P5_BMS21_INV_PC	BM-S-21	300.000,0	24 horas	31 dias	Inverno

### **III RESULTADOS DA MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO**

Neste capítulo são apresentados os resultados das simulações probabilísticas, determinísticas críticas e determinísticas das condições mais frequentes para potenciais derrames de óleo no Pólo Pré-Sal.

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

#### **III.1 SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS**

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

A Tabela III-1 apresenta a extensão da costa com probabilidade de toque e referente aos cenários probabilísticos individuais simulados. A Tabela III-2 apresenta a extensão da costa com probabilidade de toque e referente aos cenários probabilísticos integrados. Para os cenários que não apresentaram toque na costa. A Tabela III-3 apresenta a menor distância da mancha com relação à mesma. Observa-se, nos resultados, que a maior extensão de costa atingida pelo óleo foi de, aproximadamente, 1.076,1 km, com derrame de pior caso (afundamento de unidade) para o Ponto 1 (BM-S-8) durante o período de verão.

**Tabela III-1 - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários individuais.**

CENÁRIO	EXTENSÃO DE TOQUE NA COSTA (km)
P1_BMS8_VER_8	1.040,5
P1_BMS8_VER_200	1.043,6
P1_BMS8_VER_PC	1.076,1
P1_BMS8_INV_8	308,3
P1_BMS8_INV_200	311,1
P1_BMS8_INV_PC	410,5
P2_BMS10_VER_8	322,0
P2_BMS10_VER_200	335,5
P2_BMS10_VER_PC	425,0
P2_BMS10_INV_8	75,8
P2_BMS10_INV_200	115,2
P2_BMS10_INV_PC	150,3
P3_BMS11_VER_PC	23,2

**Tabela III-2 - Extensão da costa com probabilidade de toque para os cenários integrados.**

CENÁRIO	EXTENSÃO DE TOQUE NA COSTA (km)
INTEGRADO_VER_8	1.043,6
INTEGRADO_VER_200	1.059,6
INTEGRADO_VER_PC	1.088,2
INTEGRADO_INV_8	308,3
INTEGRADO_INV_200	311,1
INTEGRADO_INV_PC	410,5

**Tabela III-3 - Menor distância com relação à costa.**

CENÁRIO	MENOR DISTÂNCIA DA COSTA (km)
P3_BMS11_VER_8	11,5 (Ilha Deserta - SC)
P3_BMS11_VER_200	6,5 (Ilha da Galé - SC)
P3_BMS11_INV_8	10,0 (Ilha do Castilho - SP)
P3_BMS11_INV_200	8,2 (Ilha do Bom Abrigo - SP)
P3_BMS11_INV_PC	2,0 (Ilha do Bom Abrigo, Ilha do Castilho - SP)
P4_BMS24_VER_8	196 (Florianópolis - SC)
P4_BMS24_VER_200	195 (Florianópolis - SC)
P4_BMS24_VER_PC	192 (Florianópolis - SC)
P4_BMS24_INV_8	143 (Florianópolis - SC)
P4_BMS24_INV_200	130 (Florianópolis - SC)
P4_BMS24_INV_PC	121 (Florianópolis - SC)
P5_BMS21_VER_8	28 (Ilha dos Lobos - SC)
P5_BMS21_VER_200	28 (Ilha dos Lobos - SC)
P5_BMS21_VER_PC	24 (Ilha dos Lobos - SC)
P5_BMS21_INV_8	18 (Paranaguá - PR)
P5_BMS21_INV_200	18 (Paranaguá - PR)
P5_BMS21_INV_PC	15 (Paranaguá - PR)

Na Tabela III-4 apresentam-se o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo e o tempo médio para o óleo atingir a costa, referente aos cenários probabilísticos. O menor tempo de toque calculado (382 horas - Ilha da Queimada Grande, Município de Itanhaém - SP) refere-se ao cenário de derrame de pior caso (afundamento de FPSO) para o Ponto 1 (BM-S-8), período de verão.

**Tabela III-4 - Resumo dos resultados da modelagem probabilística para os pontos do Pólo Pré-Sal.**

CENÁRIOS	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA (%)	MUNICÍPIO DE PRIMEIRO TOQUE
P1_BMS8_VER_8	390	622,2	15,3	Ilha de Queimada Grande, Itanhaém –SP
P1_BMS8_VER_200	390	618,0	14,5	Ilha de Queimada Grande, Itanhaém –SP
P1_BMS8_VER_PC	382	613,4	13,9	Ilha de Queimada Grande, Itanhaém –SP
P1_BMS8_INV_8	462	600,1	28,3	Ilha de Queimada Grande, Itanhaém –SP
P1_BMS8_INV_200	462	590,8	28,3	Ilha de Queimada Grande, Itanhaém –SP
P1_BMS8_INV_PC	419	609,1	38,3	Laje de Santos Santos - SP
P2_BMS10_VER_8	634	663,9	6,5	Ilha Deserta Florianópolis – SC
P2_BMS10_VER_200	634	666,5	4,2	Ilha Deserta Florianópolis – SC
P2_BMS10_VER_PC	634	683,2	8,2	Ilha Deserta Florianópolis – SC
P2_BMS10_INV_8	457	621,7	3,9	Laje de Santos Santos - SP
P2_BMS10_INV_200	460	616,2	5,7	Laje de Santos Santos - SP
P2_BMS10_INV_PC	457	651,3	7,9	Laje de Santos Santos - SP
P3_BMS11_VER_PC	734	738,2	1,2	Ilha da Galé Bombinhas - SC

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

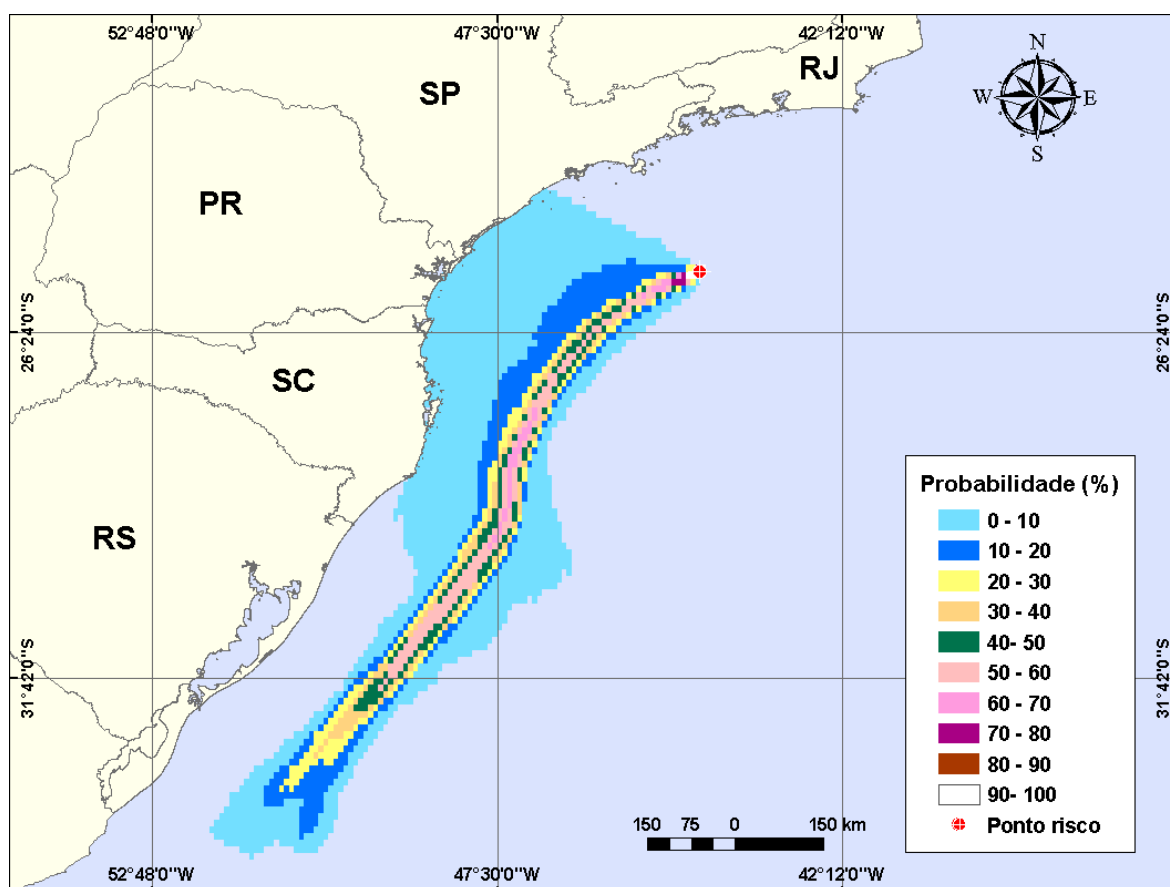
As ilustrações dos contornos de tempo correspondem ao tempo mínimo de deslocamento de óleo na água calculado (para cada posição da grade) entre todos os cenários determinísticos que compõem o cenário probabilístico. Nestas ilustrações são apresentados os tempos de 2, 6, 12, 36 e 60 horas após o início do derrame, selecionados de acordo com o tempo máximo para a disponibilização de recursos de contenção/limpeza no local da ocorrência da descarga especificados na Resolução do CONAMA nº 398/08 (Brasil, 2008). Para tempos superiores a estes, foram selecionados intervalos que melhor se adequaram à visualização da evolução dos derrames na área de estudo.

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

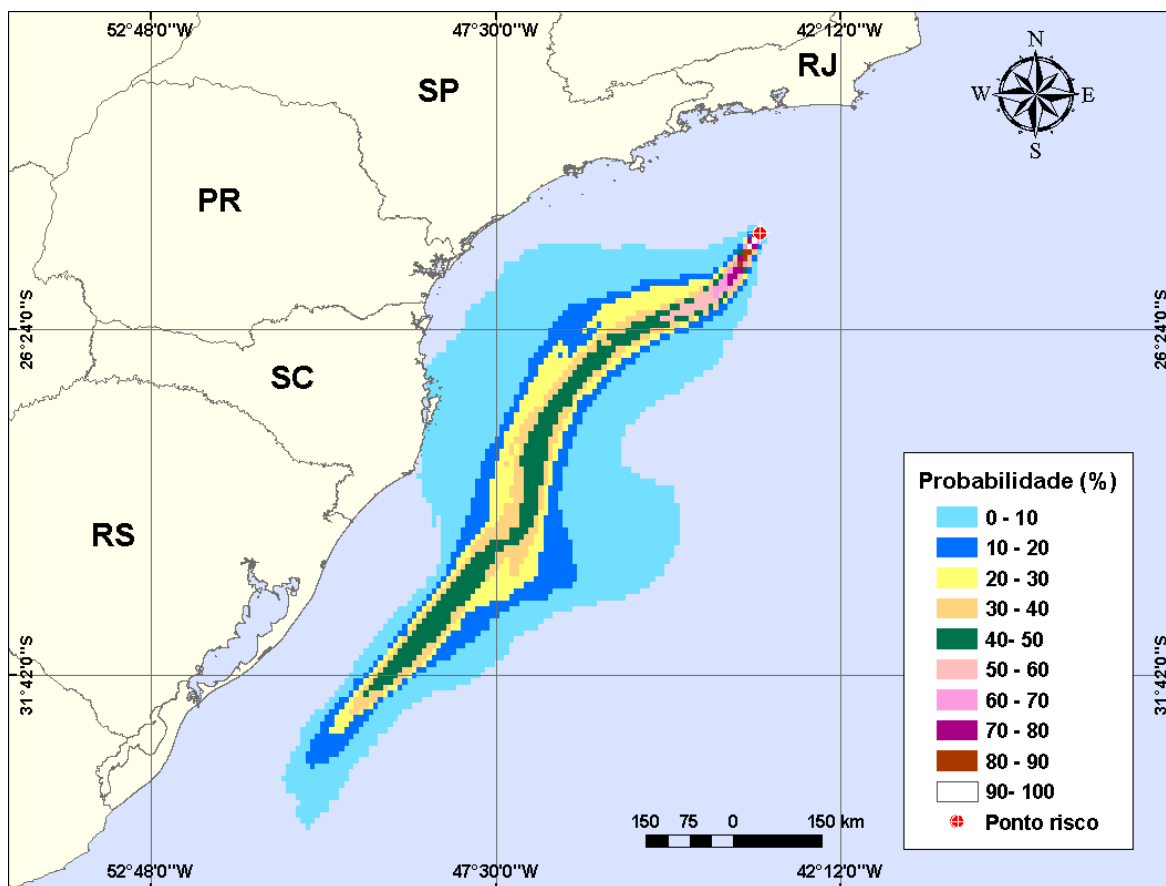


### III.1.1 Simulações Probabilísticas – Volume Pequeno

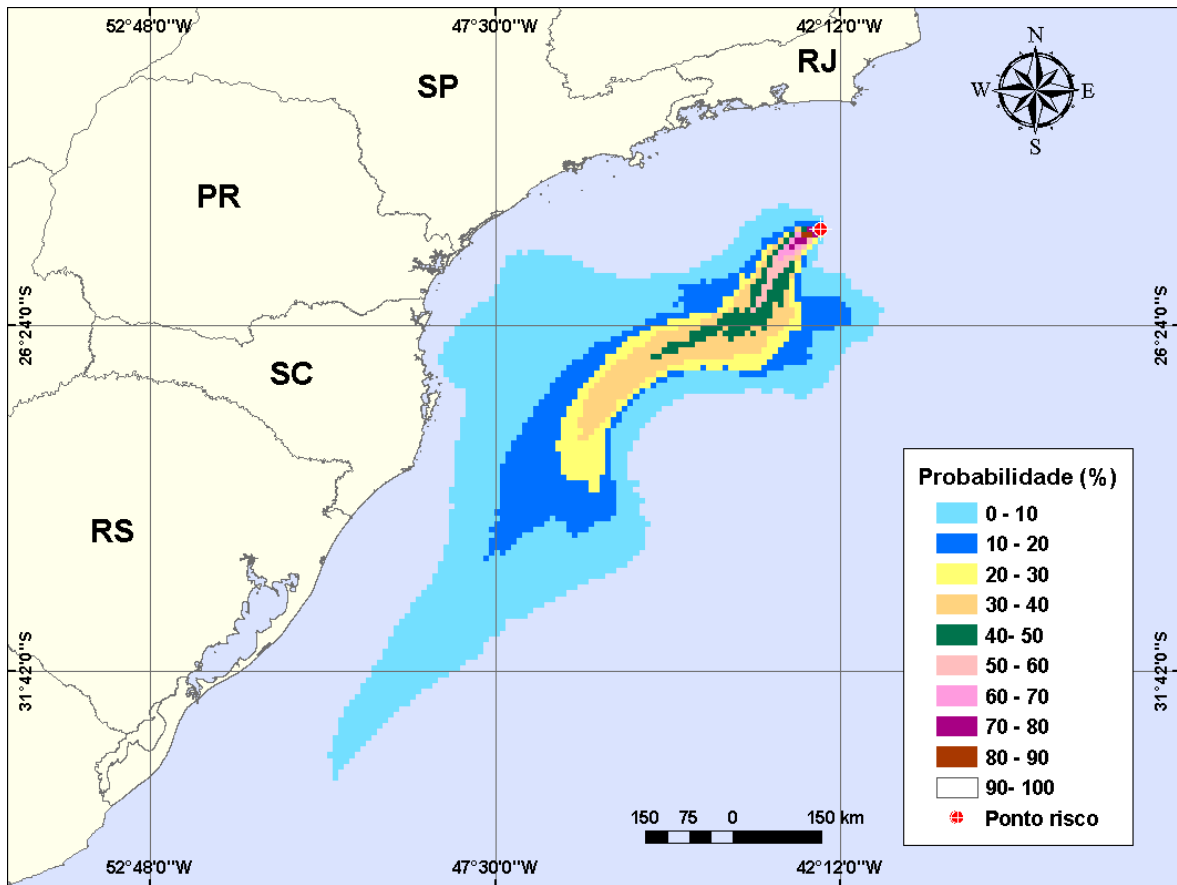
Nas Figuras III-1 a III-9 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas com derrame de volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ). A extensão de toque na costa variou de 322,0 km a 1.040,5 km, e a maior probabilidade de toque calculada não ultrapassou 10%.



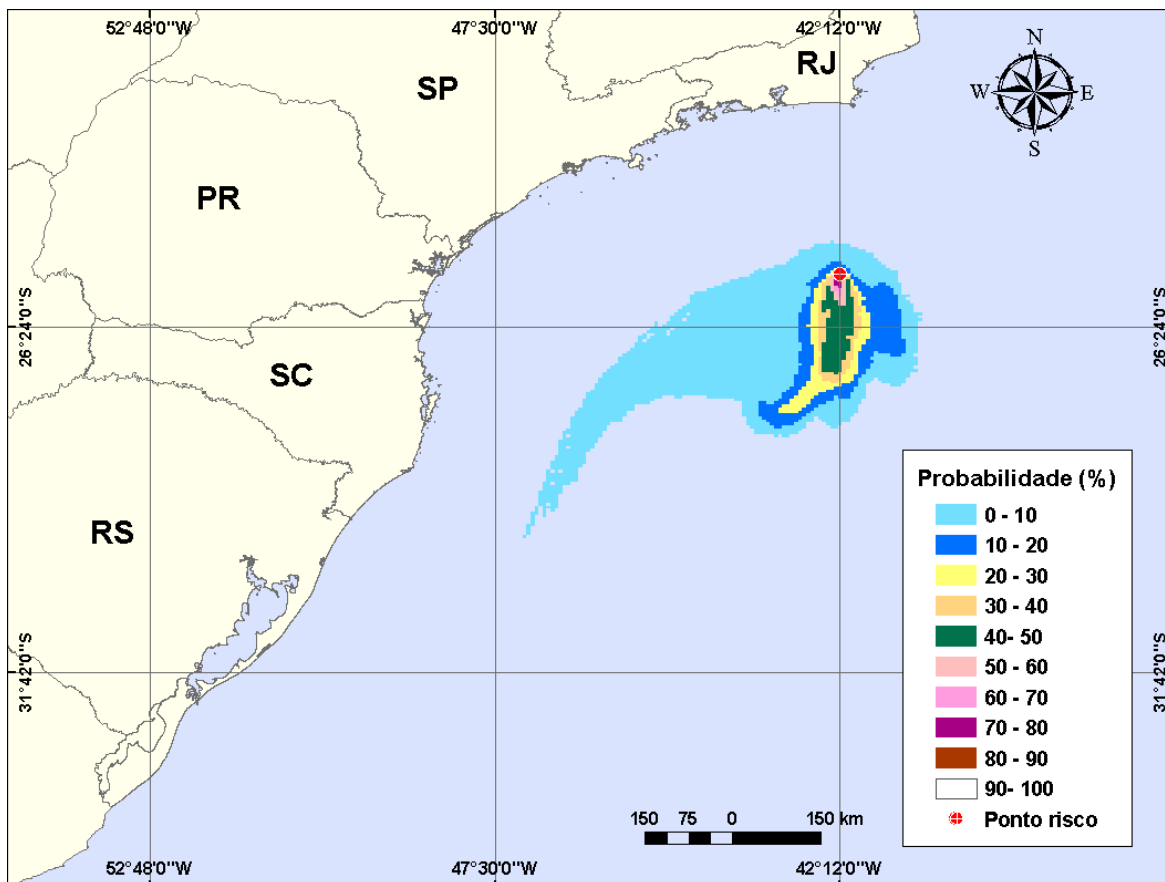
**Figura III-1** - Cenário P1\_BMS8\_VER\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação.



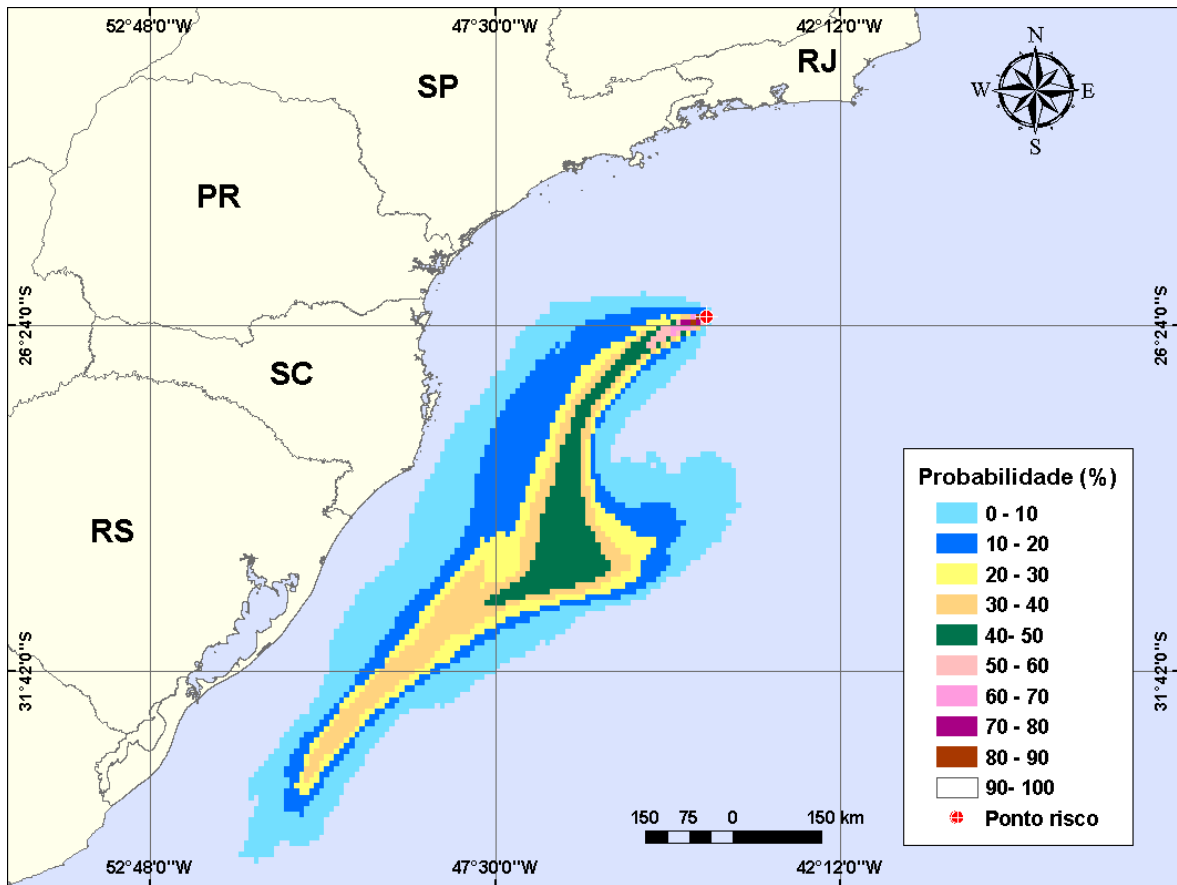
**Figura III-2** - Cenário P2\_BMS10\_VER\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



**Figura III-3** - Cenário P3\_BMS11\_VER\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

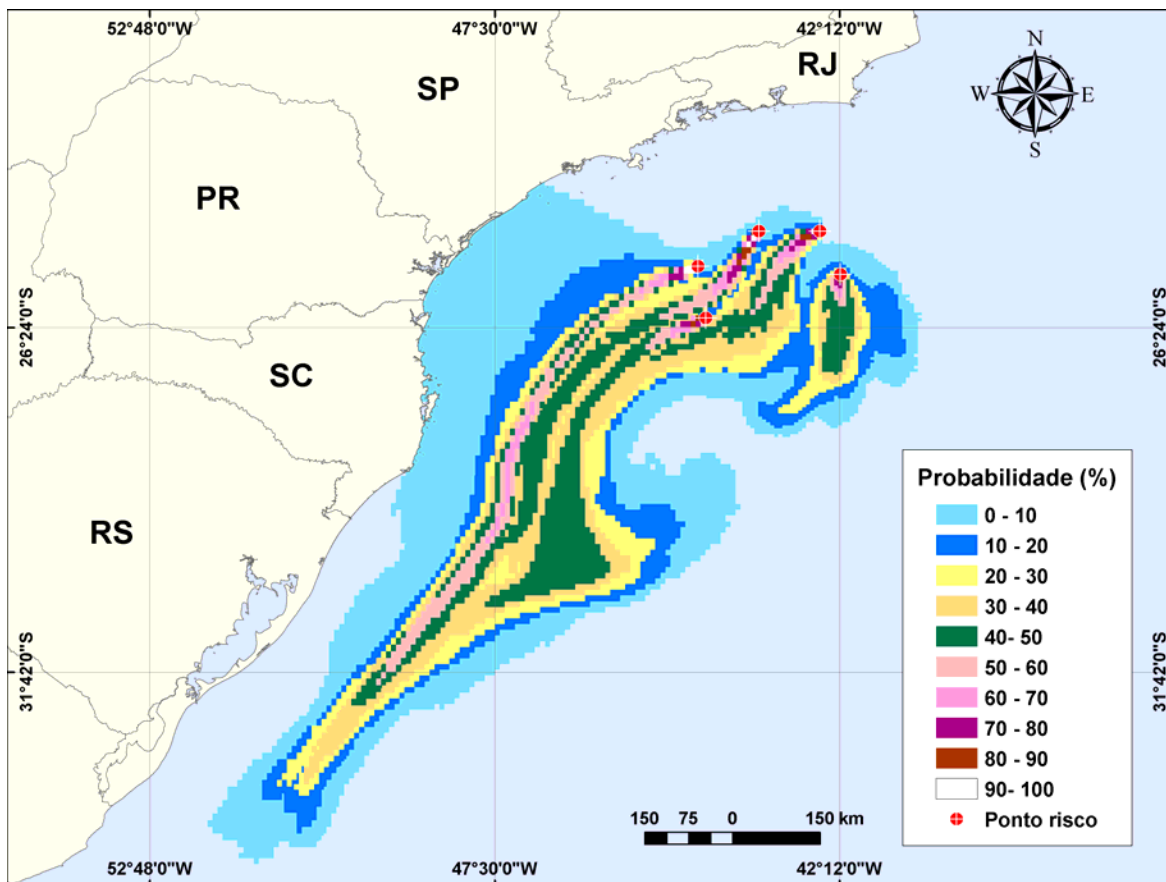


**Figura III-4 -** Cenário P4\_BMS24\_VER\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



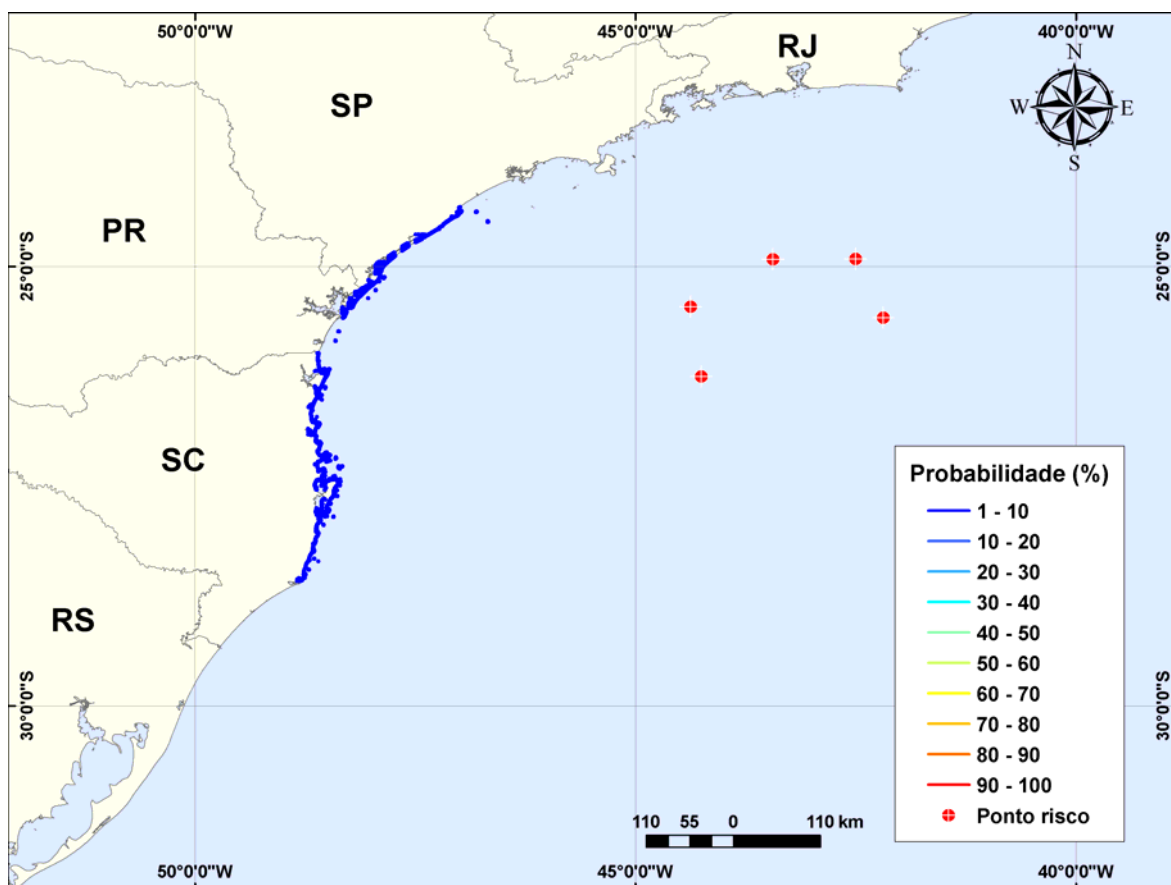
**Figura III-5** - Cenário P5\_BMS21\_VER\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo), após 30 dias de simulação.

A Figura III-6 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos cinco cenários apresentados nas Figuras III-1 a III-5, em condições de verão. A linha de costa com probabilidade de toque é apresentada em detalhe na Figura III-7.



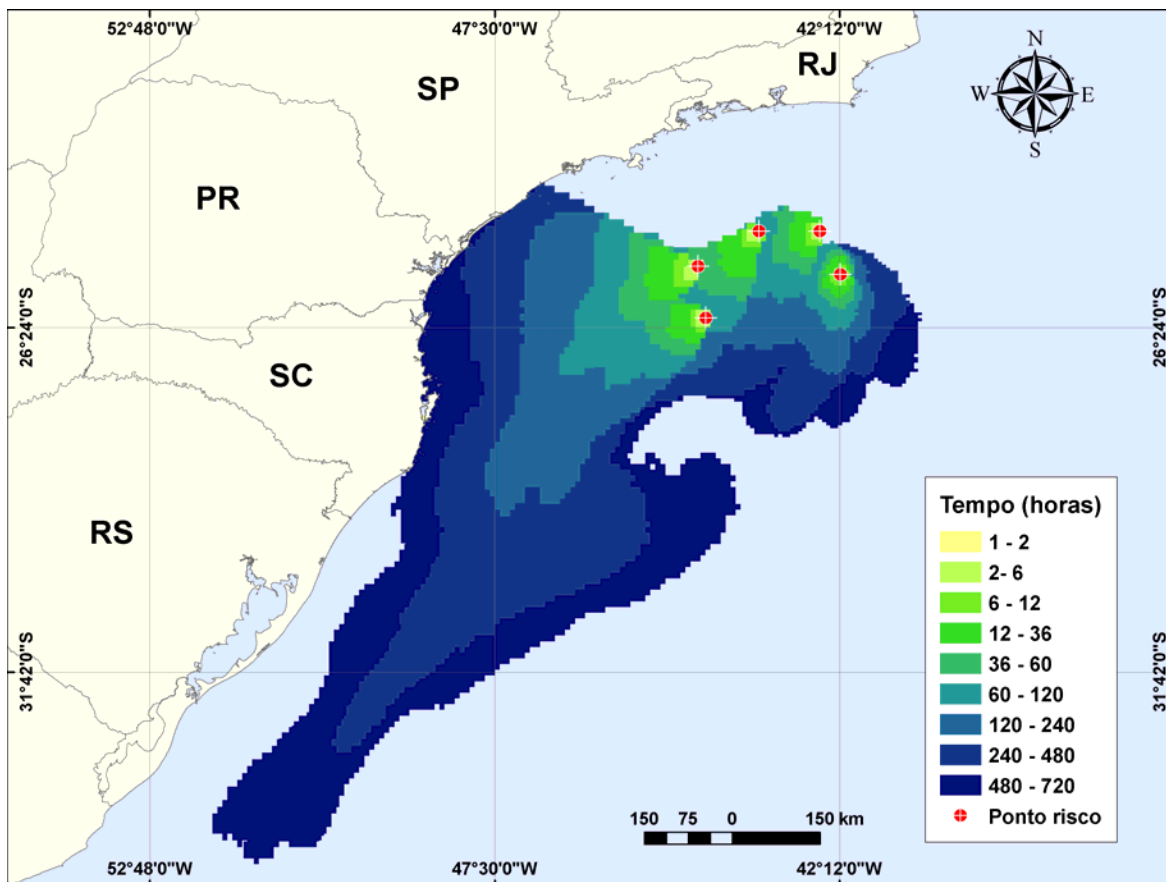
**Figura III-6** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-7 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos cinco cenários simulados com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por, aproximadamente, 1.043,6 km do município de Peruíbe (SP) até o de Laguna (SC). As maiores probabilidades de toque que ocorreram em todo o litoral atingido foram de 0-10%.



**Figura III-7** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

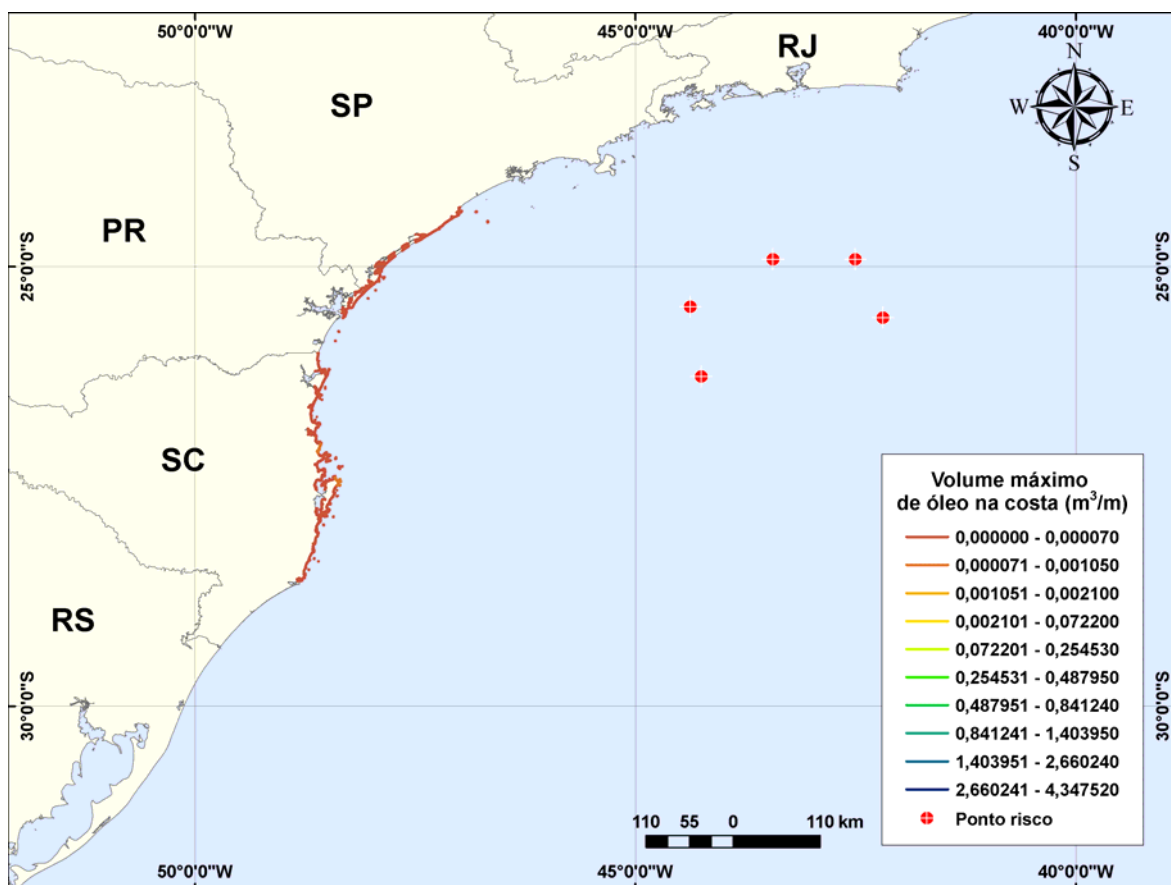
A Figura III-8 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os cinco cenários com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) simulados durante o verão.



**Figura III-8** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

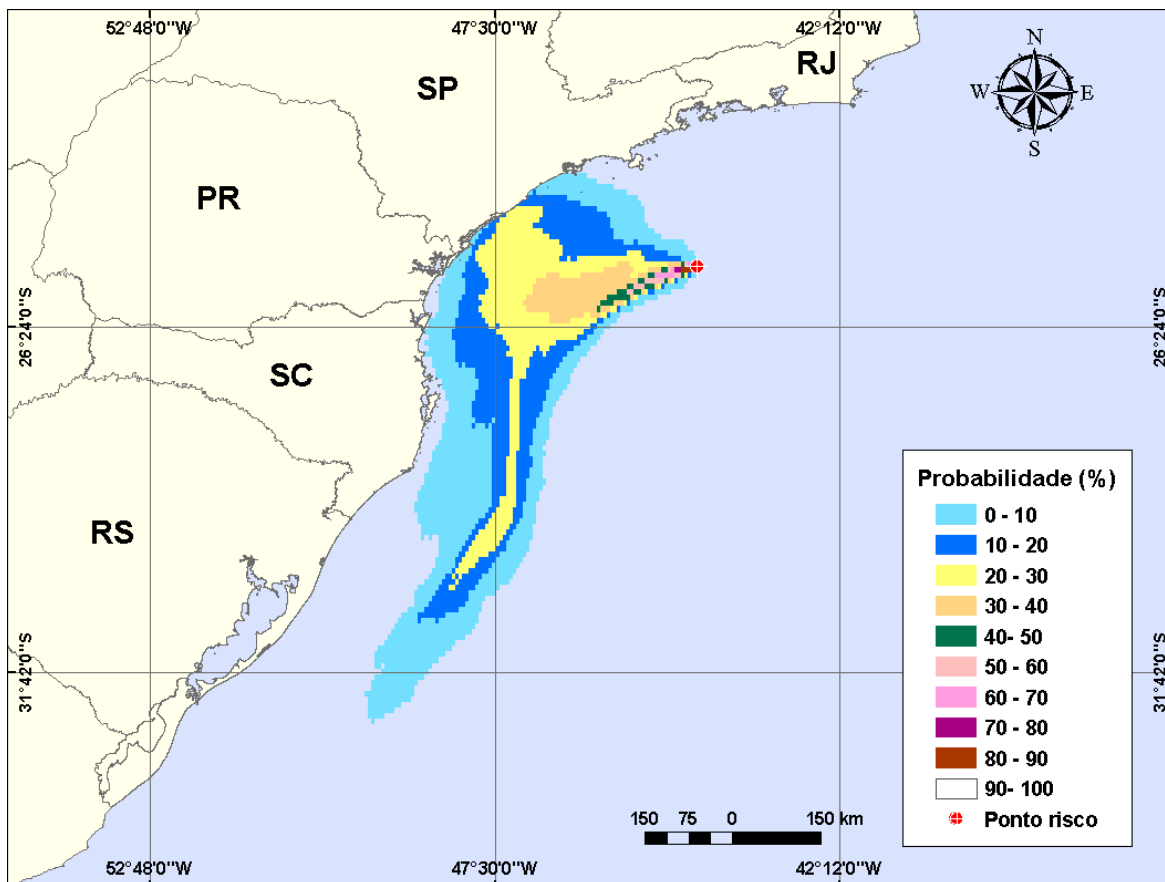
A Figura III-9 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa obtidas para cada um dos cinco cenários simulados com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que os maiores volumes ( $0,0001 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ocorreram no Município de Florianópolis (SC).



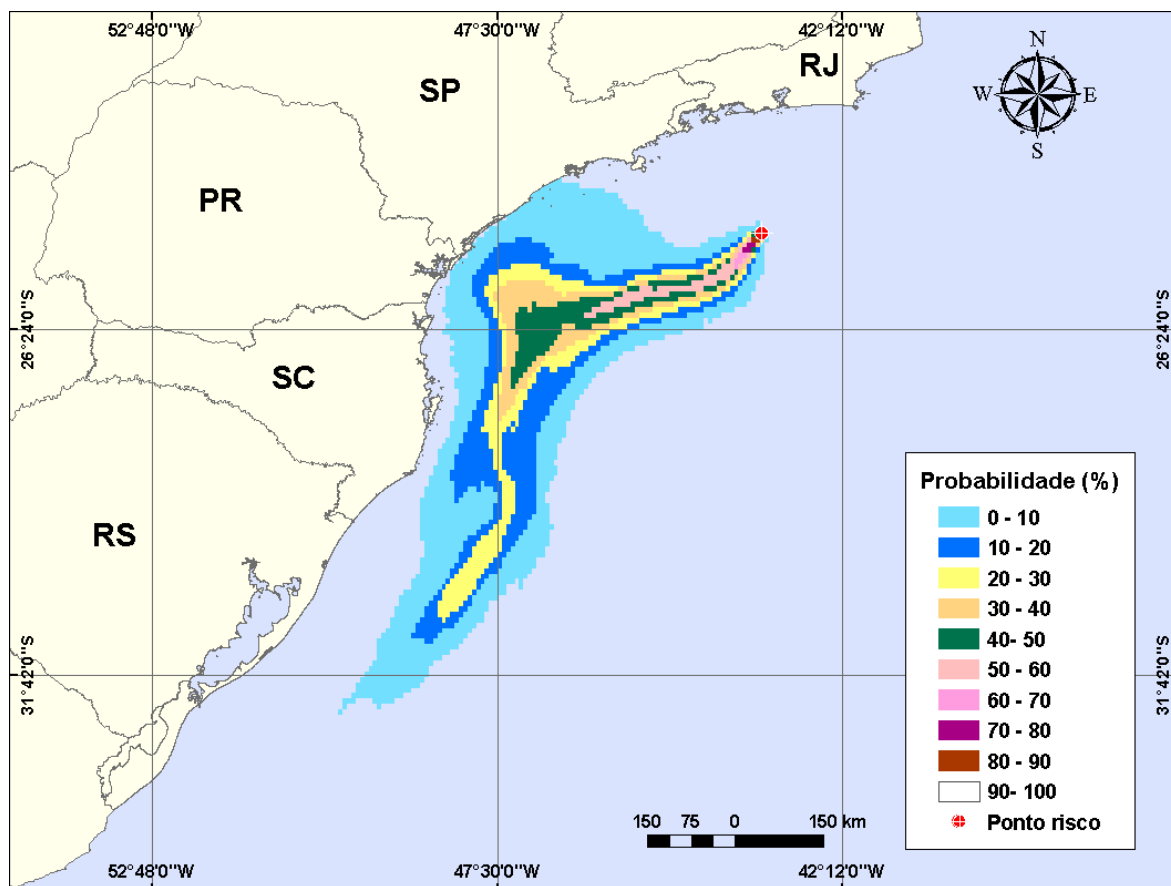


**Figura III-9** - Volume máximo de óleo ( $m^3$ ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 m^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

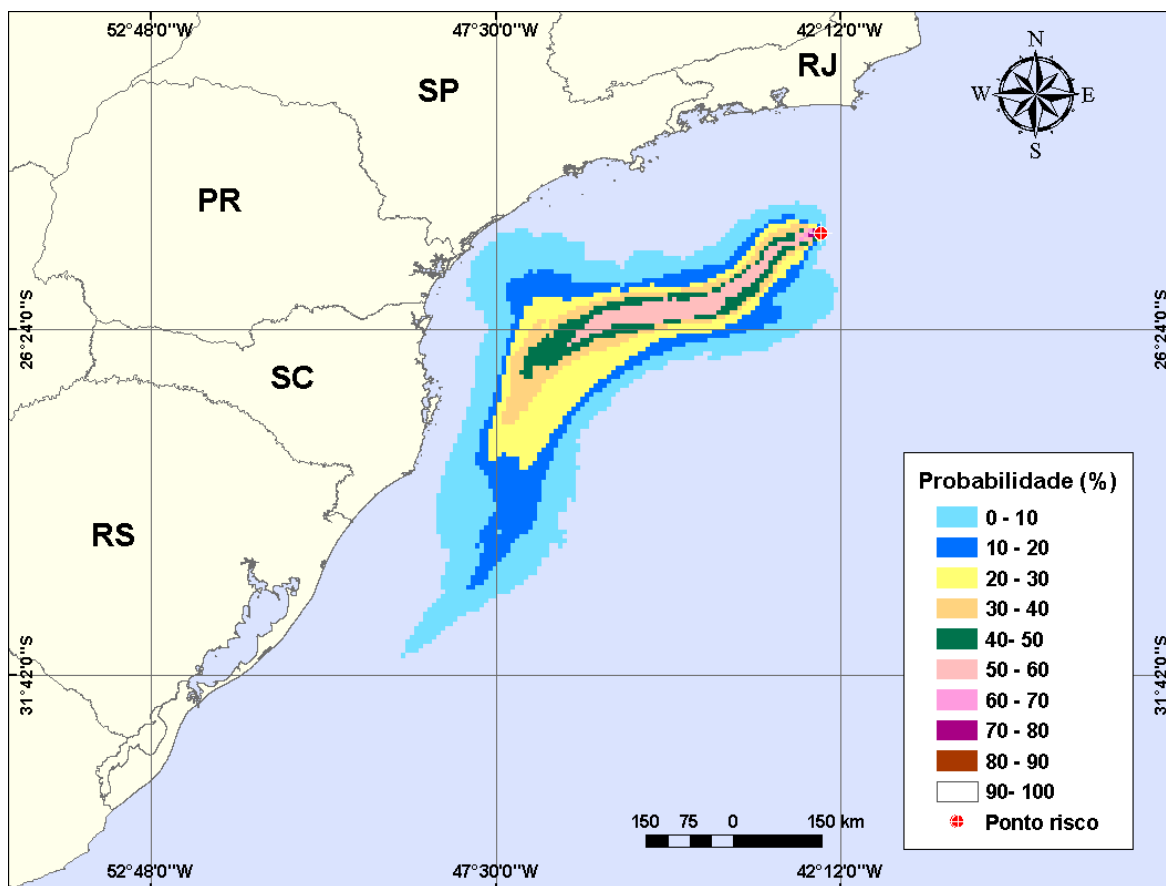
As Figuras III-10 a III-18 apresentam os resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo de volume pequeno na Área do Pré-Sal, durante os meses inverno. Os resultados são apresentados individualmente por sub-região e integrados para o Pólo Pré-Sal. A extensão de toque na costa variou de 75,8 km a 410,5 km, e a maior probabilidade de toque calculada não ultrapassou 13%.



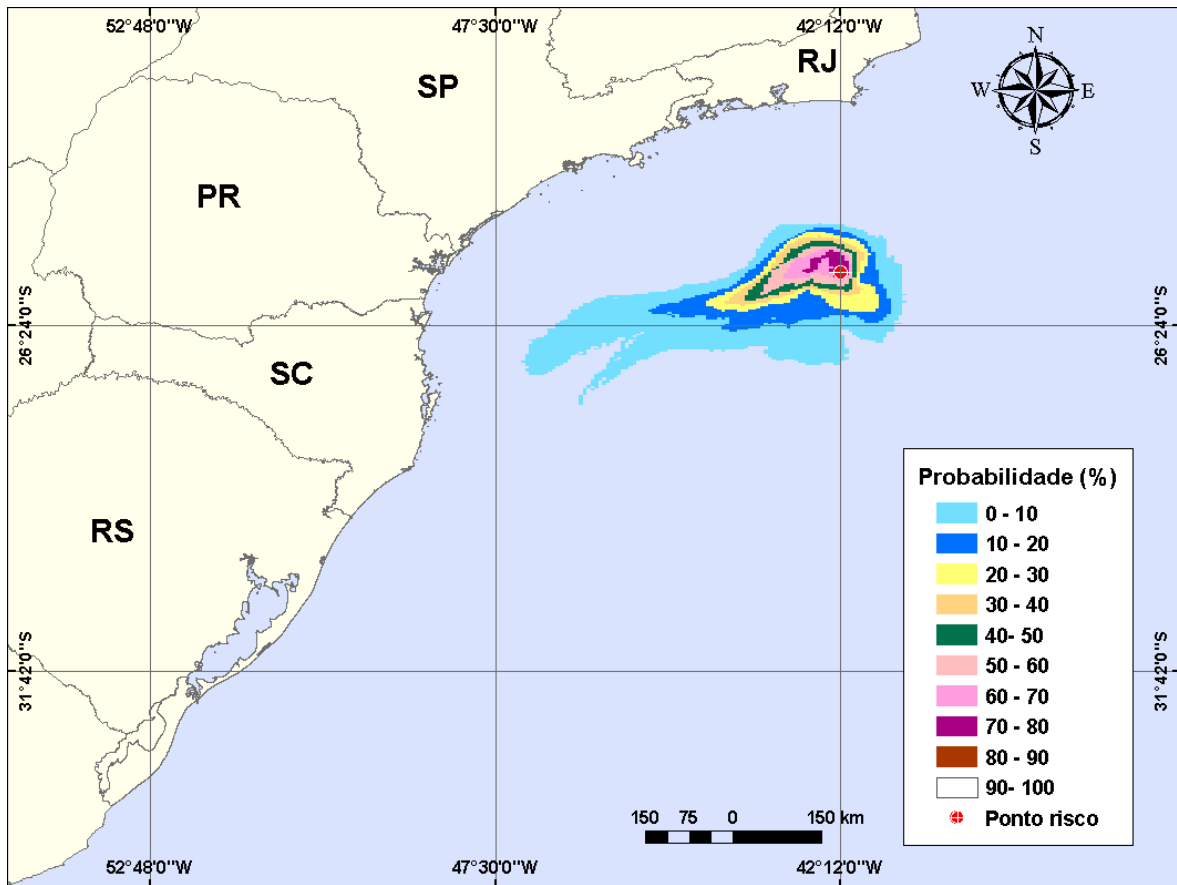
**Figura III-10** - Cenário P1\_BMS8\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



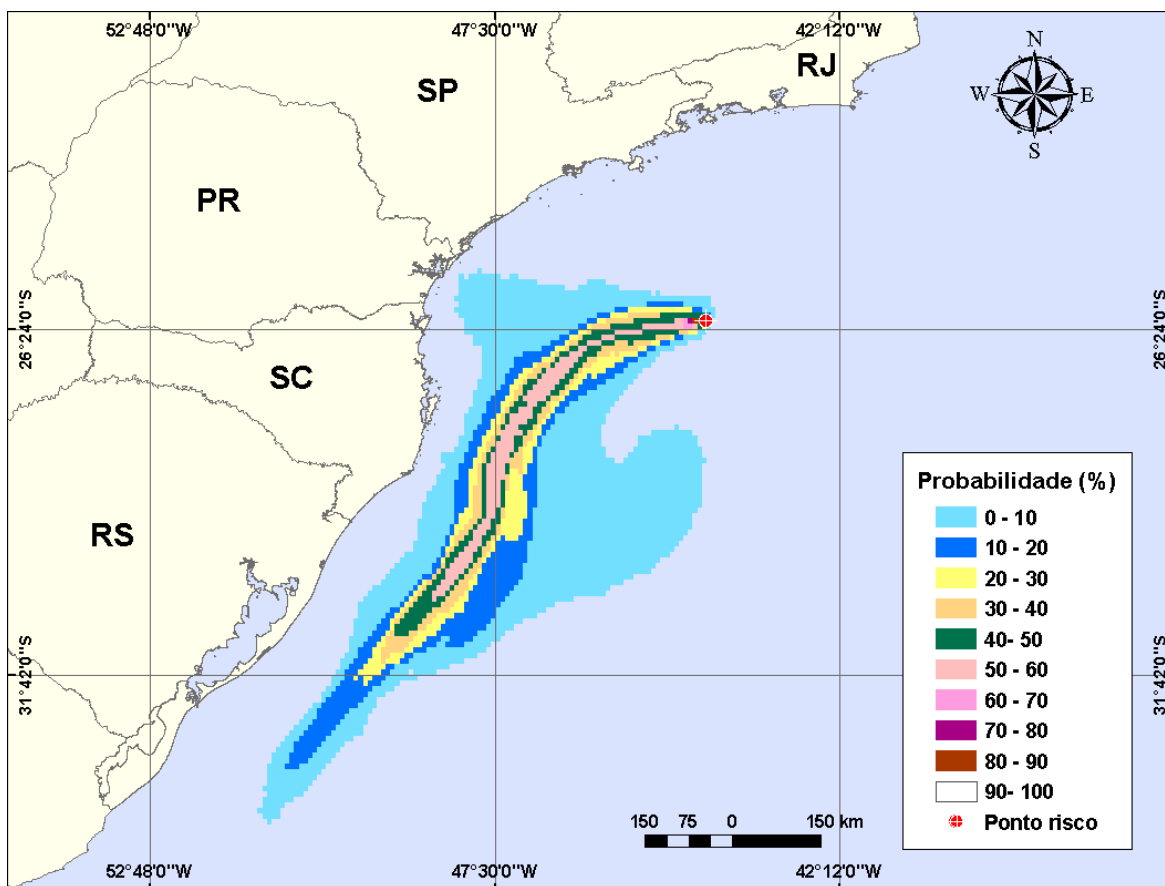
**Figura III-11** - Cenário P2\_BMS10\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



**Figura III-12** - Cenário P3\_BMS11\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

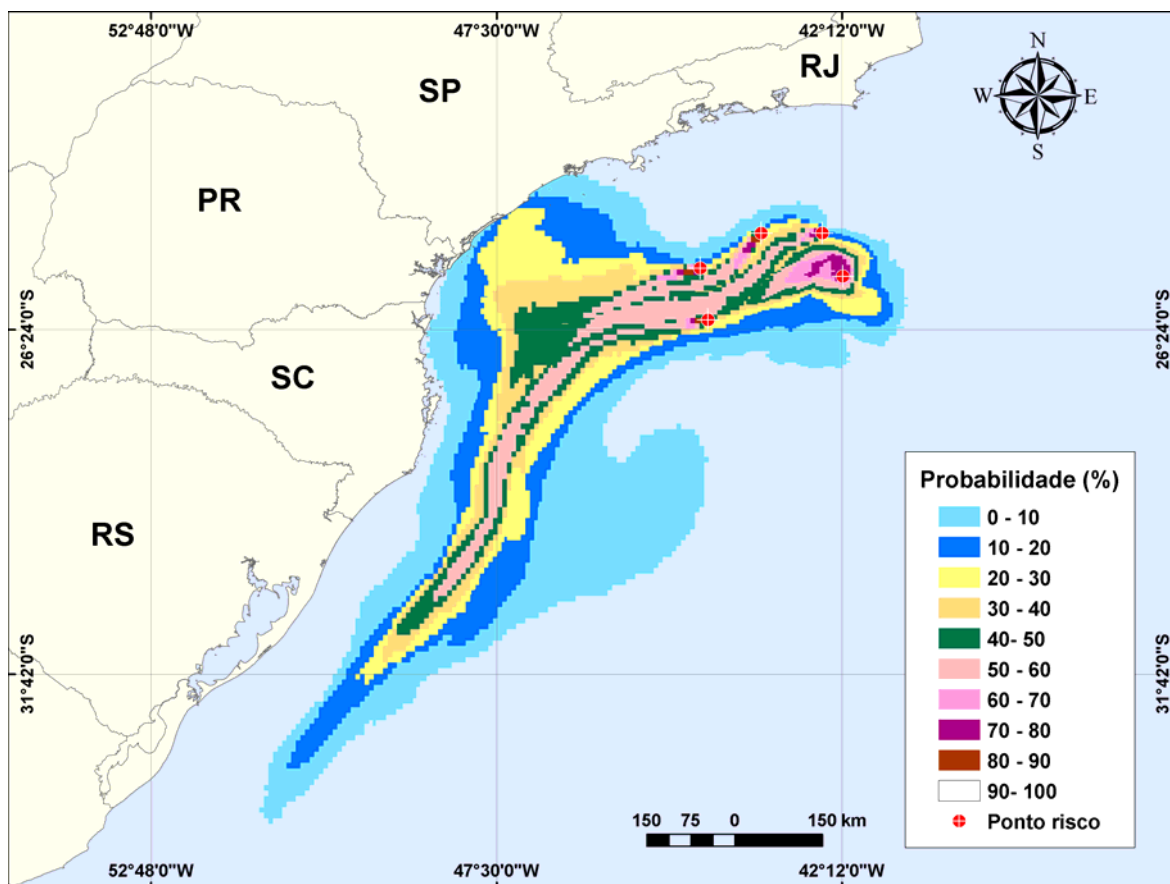


**Figura III-13** - Cenário P4\_BMS24\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



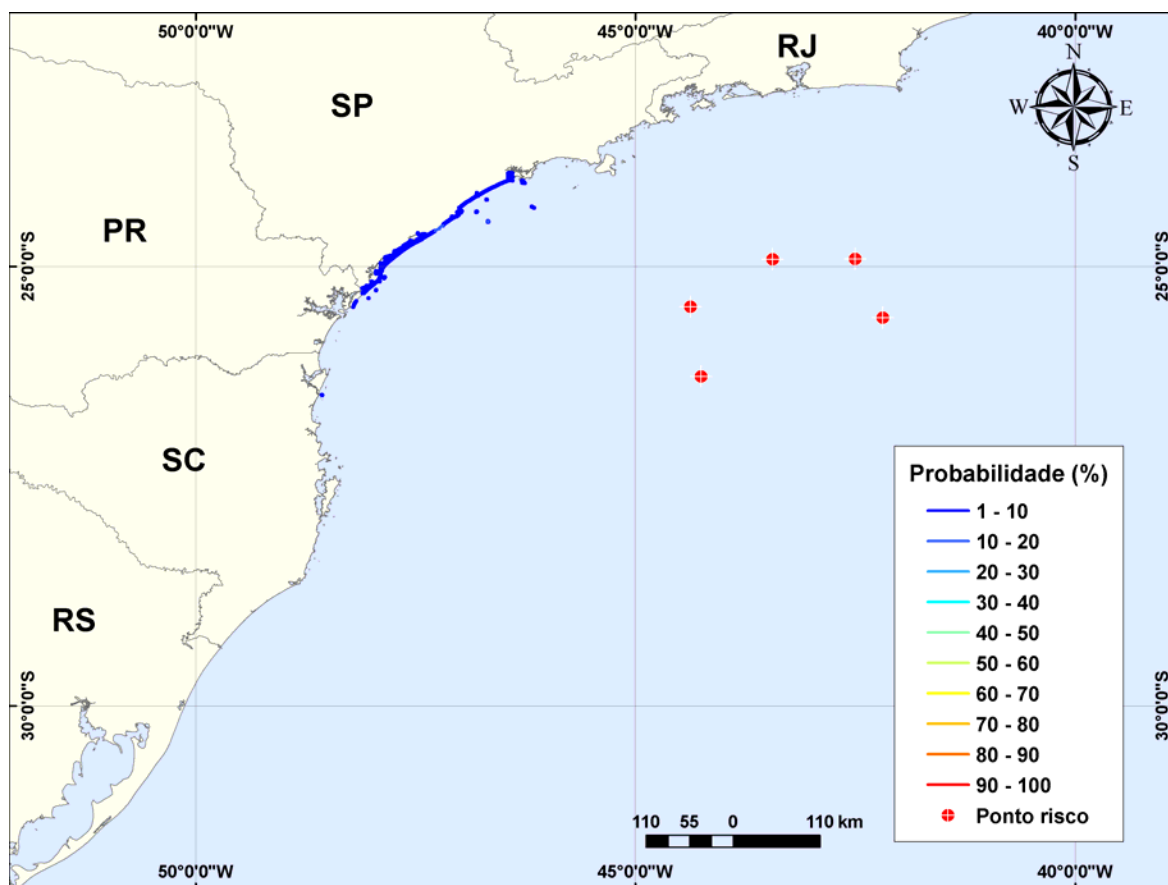
**Figura III-14** - Cenário P5\_BMS21\_INV\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

A Figura III-15 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos cinco cenários apresentados nas figuras acima, em condições de inverno. A linha de costa com probabilidade de toque é apresentada em detalhe na Figura III-16.



**Figura III-15** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto).

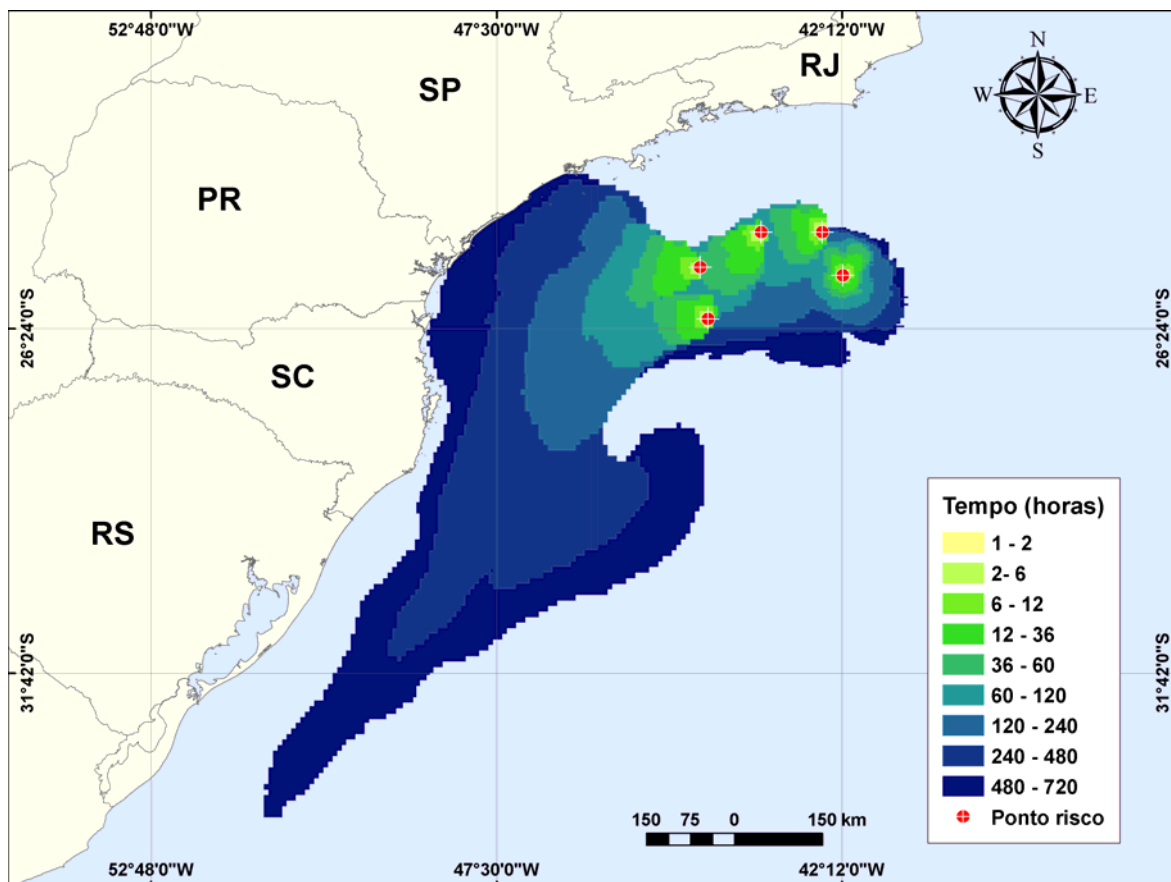
A Figura III-16 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos cinco cenários simulados com volume pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por 308 km do Município de Guarujá (SP) até o de Guaraqueçaba (PR). As maiores probabilidades de toque na costa (13%) ocorreram em Itanhaém – Ilha da Queimada Grande (SP).



**Figura III-16** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo durante os meses de inverno (junho a agosto).

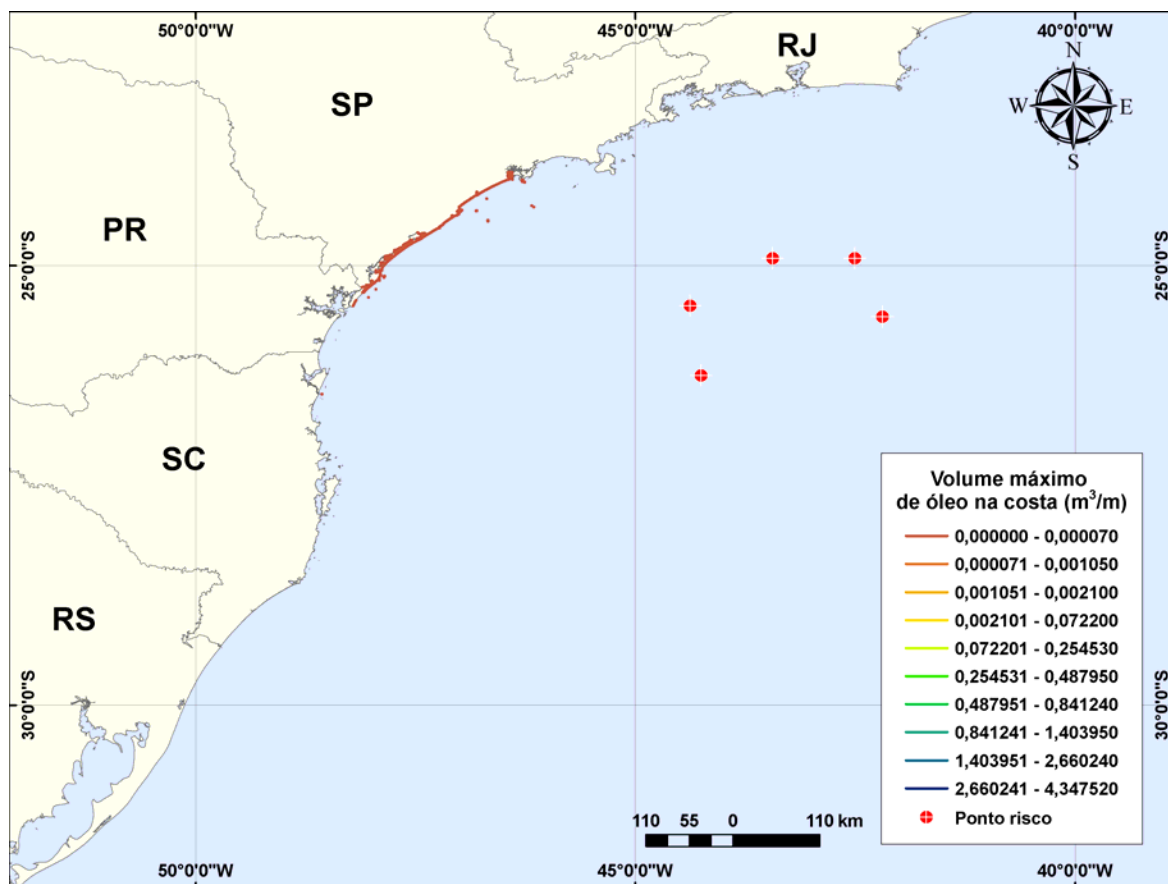
A Figura III-17 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os cinco cenários simulados durante o inverno.





**Figura III-17** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos ( $8 \text{ m}^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-18 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa obtidas para cada um dos cinco cenários simulados com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que os maiores volumes ( $0,0007 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ocorreram no Município de Itanhaém (SP).



**Figura III-18** - Volume máximo de óleo (m³) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos (8 m³) durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Tabela III-5 e a Tabela III-6 apresentam a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, respectivamente. Estas tabelas consideram a integração de todos os cenários simulados com volume pequeno (8 m³) em cada período sazonal. No verão, a Ilha da Queimada Grande, pertencente ao Município de Itanhaém (SP), destaca-se com o menor tempo de toque (390 horas). No inverno, o menor tempo de toque foi calculado para a Laje de Santos (462 horas), pertencente ao Município de Santos (SP).

**Tabela III-5 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) no Pólo Pré-Sal no período de verão.**

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA ( $\text{m}^3/\text{m}$ )
SP	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	1	390	0,000001
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	1	410	0,000001
	Peruíbe	1	430	0,000001
	Peruíbe - Ilha do Guaraú	1	450	0,000001
	Iguape	1	424	0,000002
	Ilha Comprida	3	499	0,000006
	Cananéia	3	480	0,000006
	Cananéia - Ilha do Cambriu	3	480	0,000010
	Cananéia - Ilha de Bom Abrigo	3	482	0,000010
	Cananéia - Ilha do Castilho	3	477	0,000006
	Cananéia - Ilha da Figueira	3	502	0,000004
PR	Paranaguá - Ilha do Mel	1	654	0,000002
	Paranaguá	1	654	0,000002
	Guaraqueçaba	3	506	0,000004
	Guaratuba	1	697	0,000000
	Matinhos - Ilhas Currais	2	667	0,000004
	Matinhos - Ilha Itacolomis	1	657	0,000003
	São Francisco do Sul - Ilhas Tamboretas	1	644	0,000010
SC	Araquari	1	681	0,000010
	Balneário Barra do Sul	1	654	0,000030
	Balneário Barra do Sul - Ilha Remédios	1	643	0,000030
	Balneário Camboriú	5	603	0,000090
	Barra Velha	1	607	0,000010
	Biguaçu	3	624	0,000002
	Bombinhas	7	593	0,000040
	Bombinhas - Ilha da Galé	7	589	0,000020
	Bombinhas - Ilha do Amendoim	7	595	0,000020
	Florianópolis	10	594	0,000100
	Florianópolis - Ilha Deserta	9	582	0,000030
	Florianópolis - Ilha do Arvoredo	9	592	0,000030
	Florianópolis - Ilha do Campeche	1	636	0,000002
	Florianópolis - Ilha do Xavier	3	623	0,000002
	Florianópolis - Ilha dos Moleques	3	637	0,000008
	Florianópolis - Ilha Irmã de Fora	3	645	0,000010
Florianópolis - Ilha Irmã do Meio	3	645	0,000010	

(continua)

**Tabela III-5** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) no Pólo Pré-Sal no período de verão (continuação).

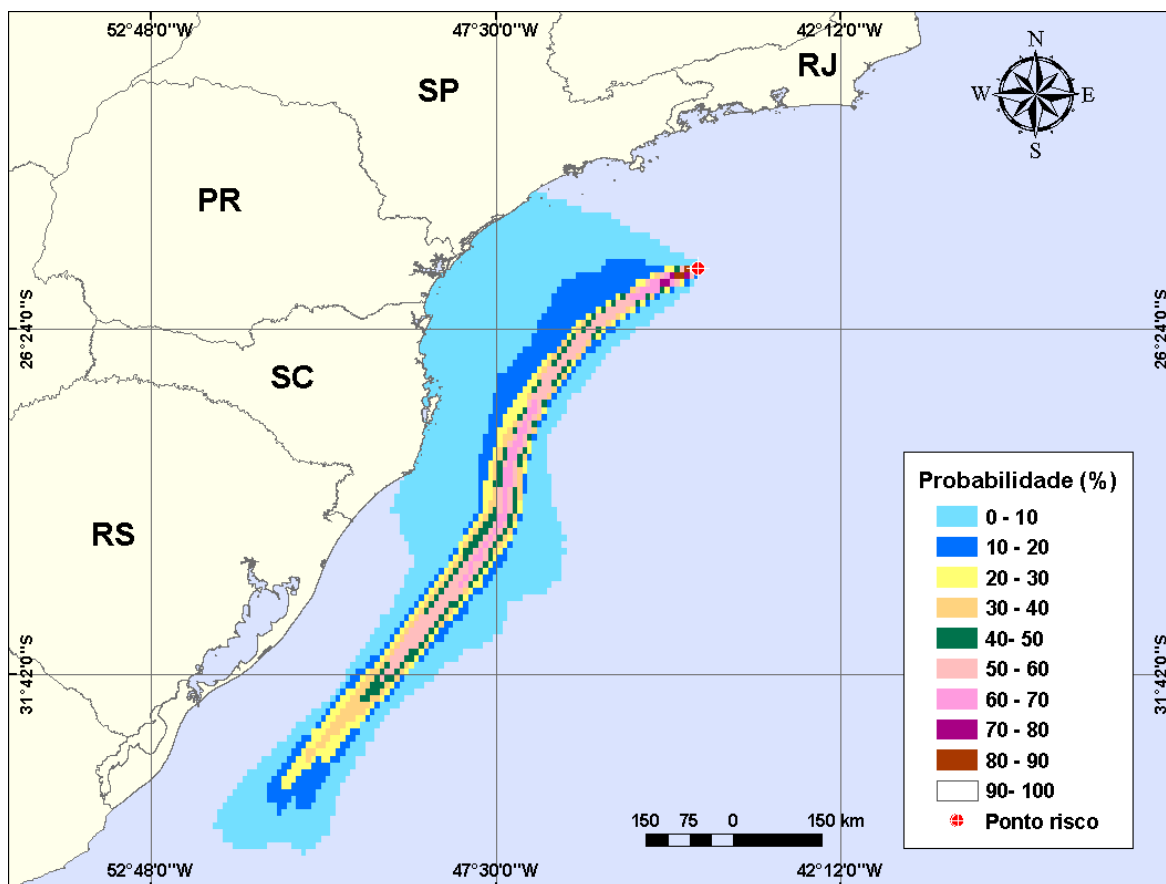
MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA ( $\text{m}^3/\text{m}$ )	
SC	Florianópolis - Ilhas das Aranhas	9	608	0,000100
	Garopaba	3	653	0,000020
	Governador Celso Ramos	9	609	0,000050
	Governador Celso Ramos - Ilha de Ganchos	6	609	0,000020
	Imbituba	3	653	0,000010
	Imbituba - Ilha das Araras	3	666	0,000008
	Imbituba - Ilha de Santana de Dentro	3	669	0,000010
	Imbituba - Ilha de Santana de Fora	3	669	0,000010
	Itajaí	4	595	0,000050
	Itapema	5	608	0,000090
	Itapoá	1	697	0,000001
	Laguna	3	666	0,000008
	Laguna - Ilha dos Lobos	1	671	0,000000
	Navegantes	2	595	0,000010
	Palhoça	3	655	0,000007
	Paulo Lopes	3	655	0,000020
	Paulo Lopes - Ilha de Coral	3	647	0,000008
	Penha	3	584	0,000040
	Piçarras	1	607	0,000010
	Piçarras - Ilha Fea	3	584	0,000040
	Piçarras - Ilhas Itacolomis	3	584	0,000040
	Porto Belo	5	593	0,000040
	São Francisco do Sul	1	644	0,000030
São Francisco do Sul - Ilha da Paz	1	644	0,000006	
São José	1	673	0,000001	
Tijucas	5	624	0,000040	

**Tabela III-6** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ) no Pólo Pré-Sal no período de inverno.

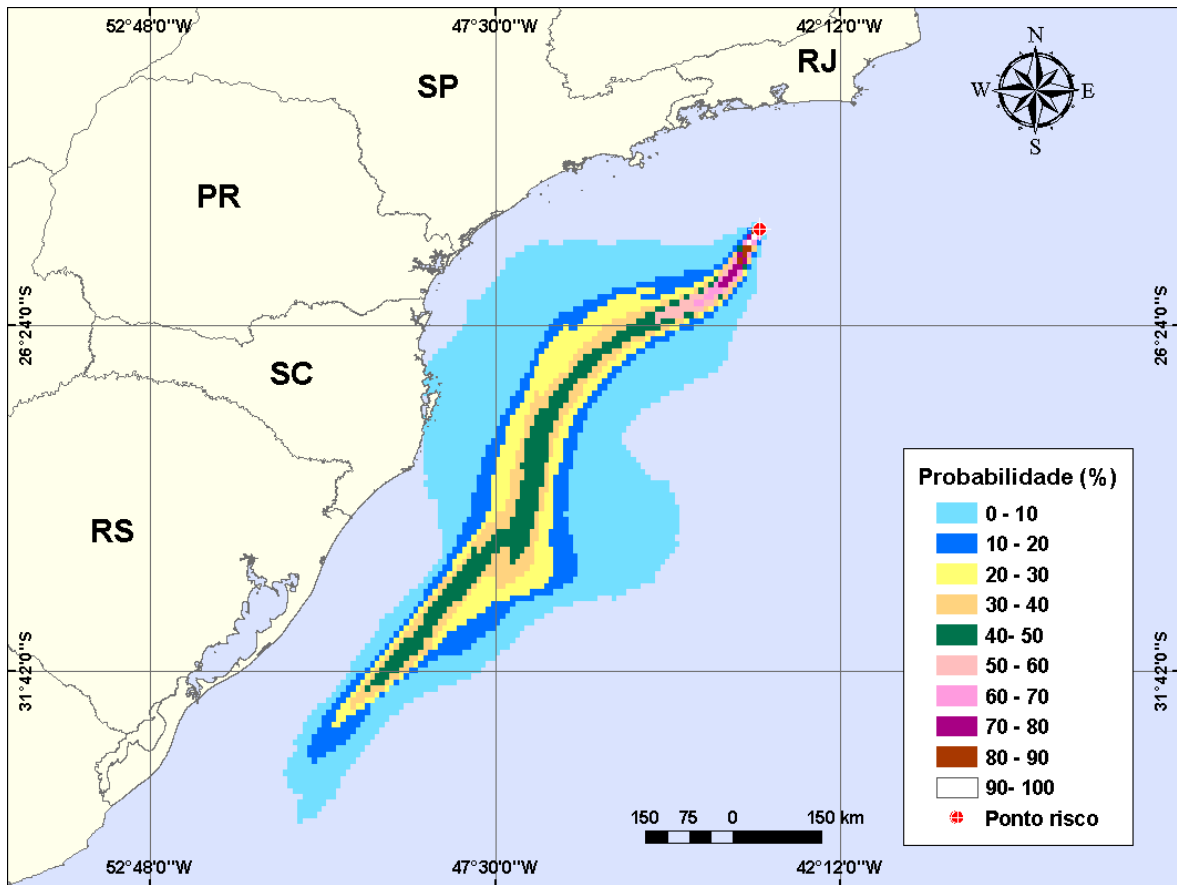
	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA ( $\text{m}^3/\text{m}$ )
SP	Santos - Laje de Santos	4	457	0,000010
	Guarujá	1	600	0,000001
	Guarujá - Ilha da Moela	1	600	0,000001
	São Vicente	1	644	0,000001
	Mongaguá	5	532	0,000070
	Praia Grande	4	538	0,000010
	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	13	462	0,000040
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	9	490	0,000030
	Itanhaém	7	541	0,000070
	Peruíbe	10	562	0,000050
	Peruíbe - Laje da Conceição	5	520	0,000010
	Peruíbe - Ilha do Guaraú	10	566	0,000050
	Iguape	11	557	0,000050
	Cananéia - Ilha do Castilho	1	594	0,000003
	Cananéia - Ilha de Bom Abrigo	1	610	0,000020
	Cananéia - Ilha da Figueira	1	613	0,000002
	Cananéia	1	615	0,000050
	Cananéia - Ilha do Cambriu	1	600	0,000050
Ilha Comprida	8	598	0,000040	
PR	Guaraqueçaba	1	691	0,000004
SC	Balneário Barra do Sul - Ilha Remédios	1	708	0,000001

### III.1.2 Simulações Probabilísticas – Volume Médio

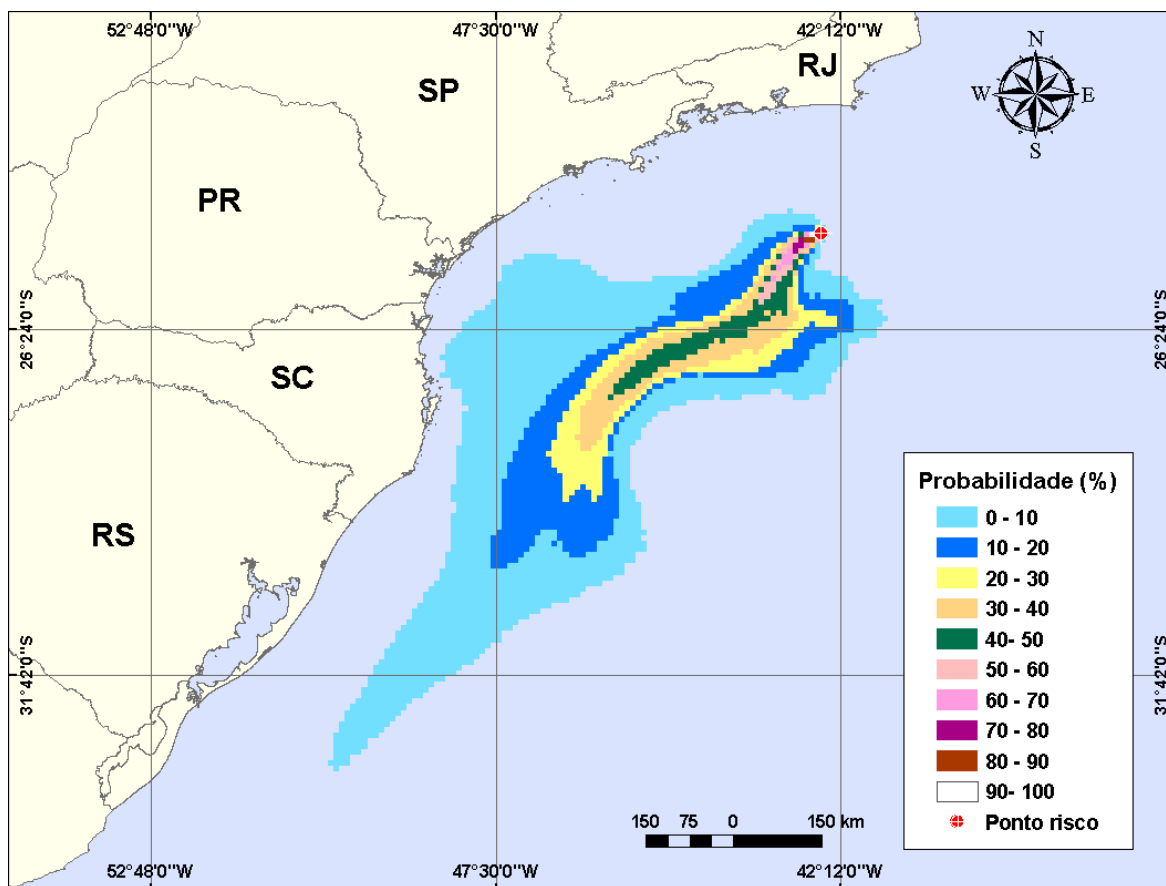
Nas Figuras III-19 a III-27 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas com derrame de volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ). A extensão de toque na costa variou de 335,5 km a 1.040,5 km, e a maior probabilidade de toque calculada não ultrapassou 10%.



**Figura III-19** - Cenário P1\_BMS8\_VER\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

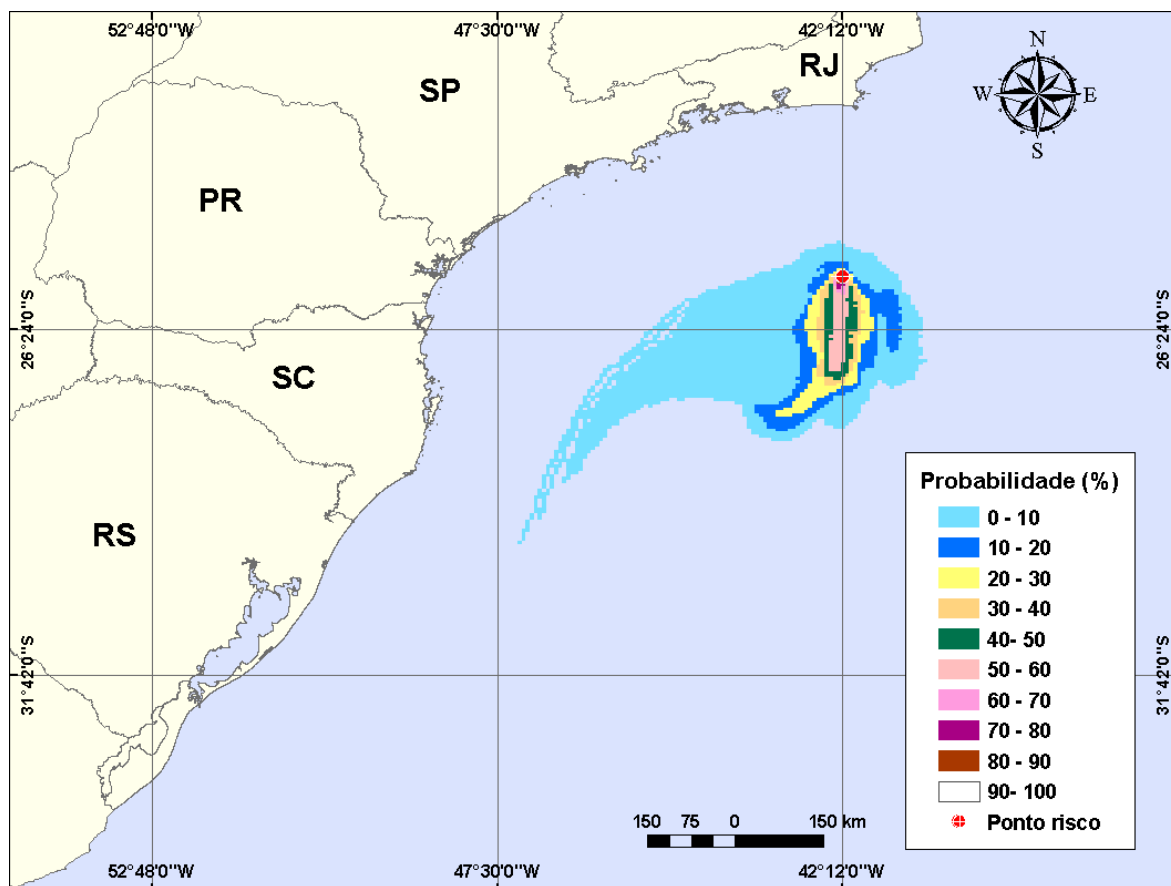


**Figura III-20** - Cenário P2\_BMS10\_VER\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

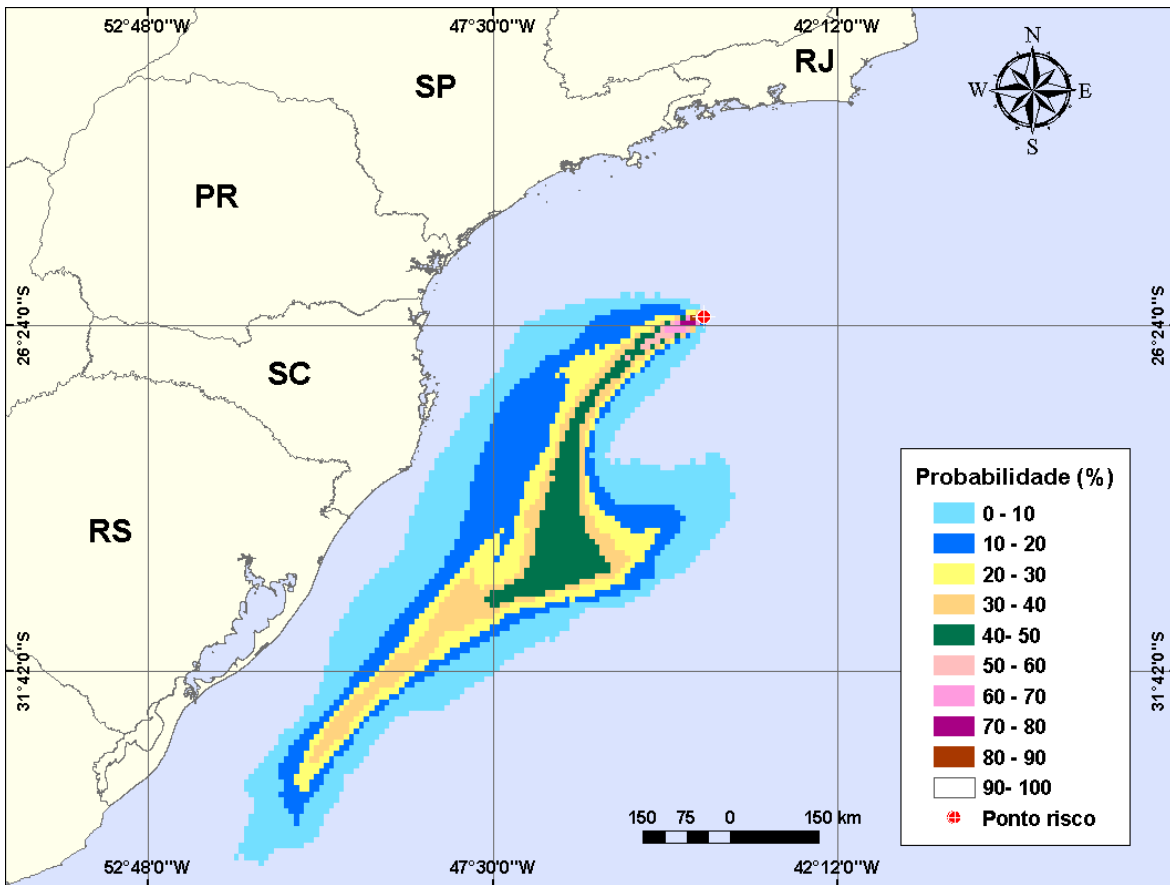


**Figura III-21** - Cenário P3\_BMS11\_VER\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



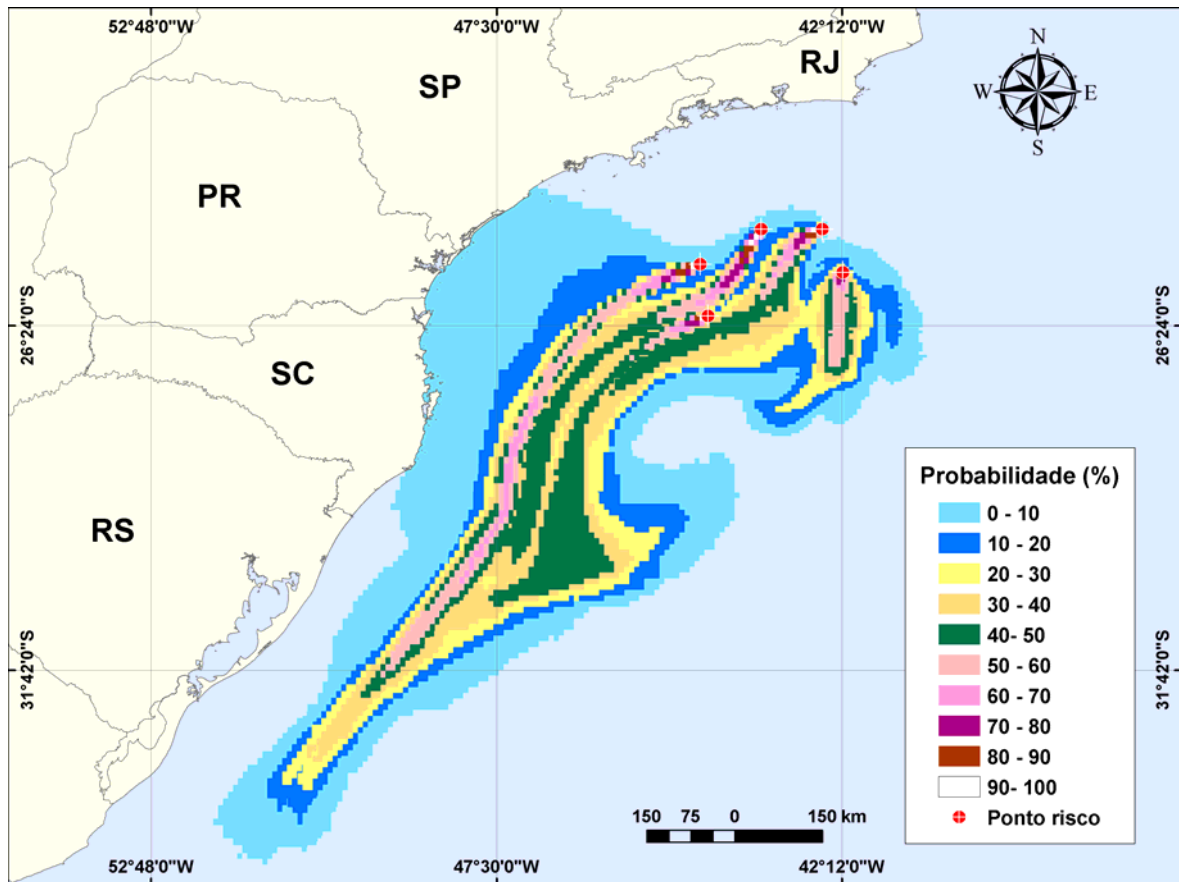


**Figura III-22 - Cenário P4\_BMS24\_VER\_200.** Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



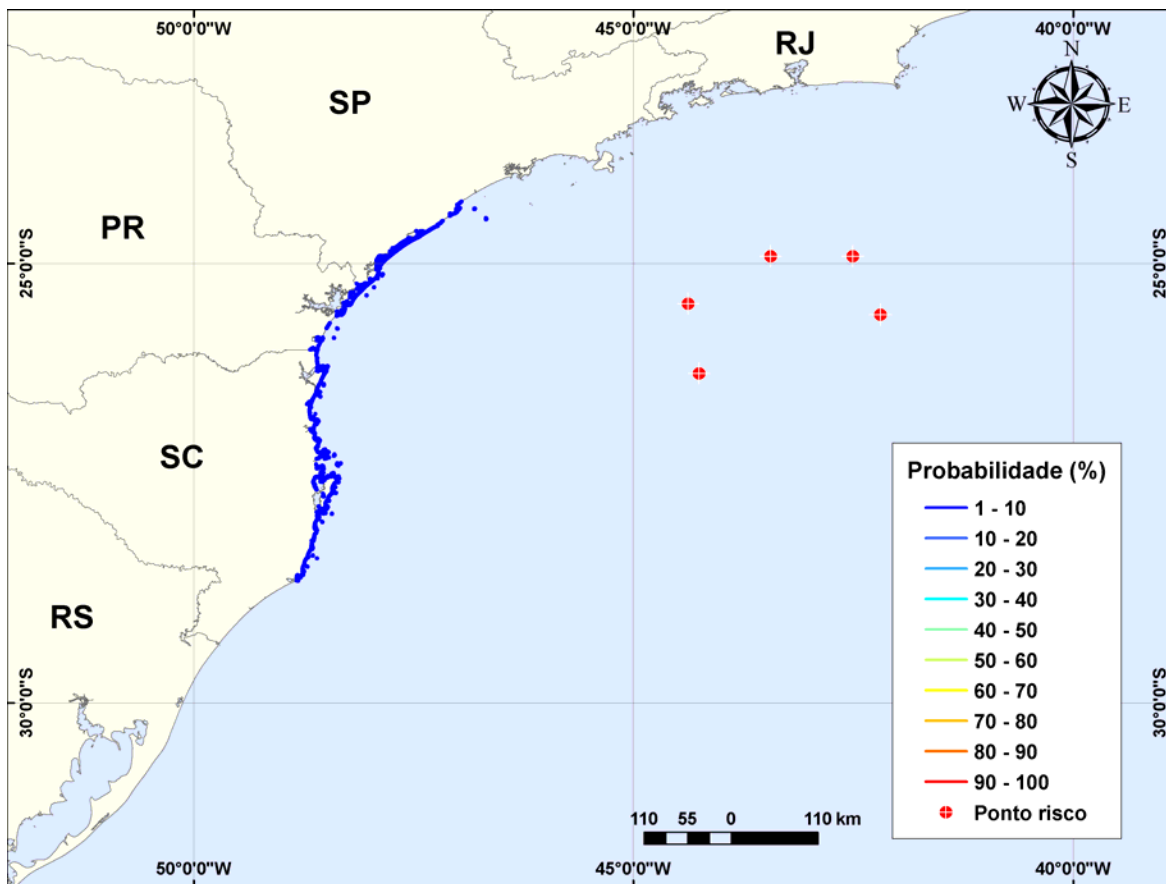
**Figura III-23** - Cenário P5\_BMS21\_VER\_8. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

A Figura III-24 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos cinco cenários apresentados nas figuras acima, em condições de verão. A linha de costa com probabilidade de toque é apresentada em detalhe na Figura III-25.



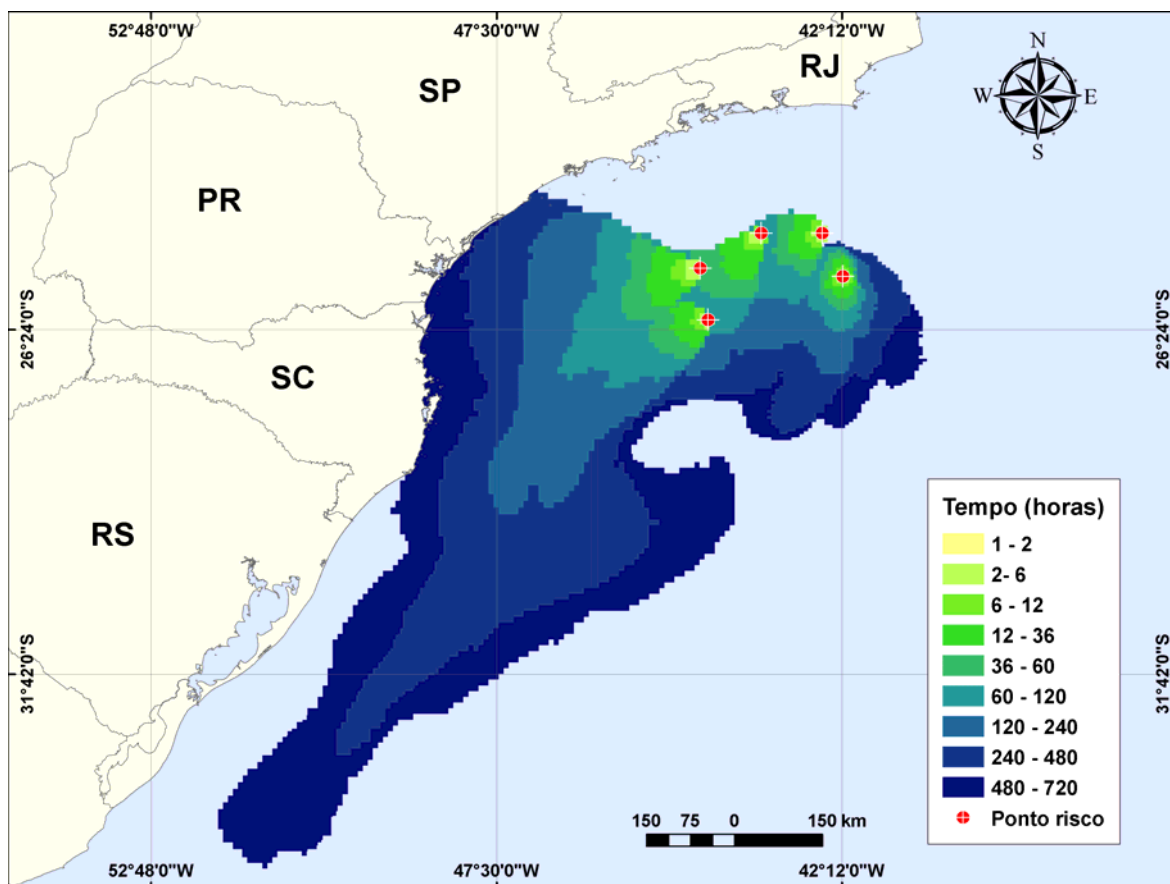
**Figura III-24 -** Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo do Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-25 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos cinco cenários simulados com volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por, aproximadamente, 1.059,6 km do Município de Itanhaém (SP) até o de Laguna (SC). As maiores probabilidades de toque que ocorreram em todo o litoral atingido foram de 9%.



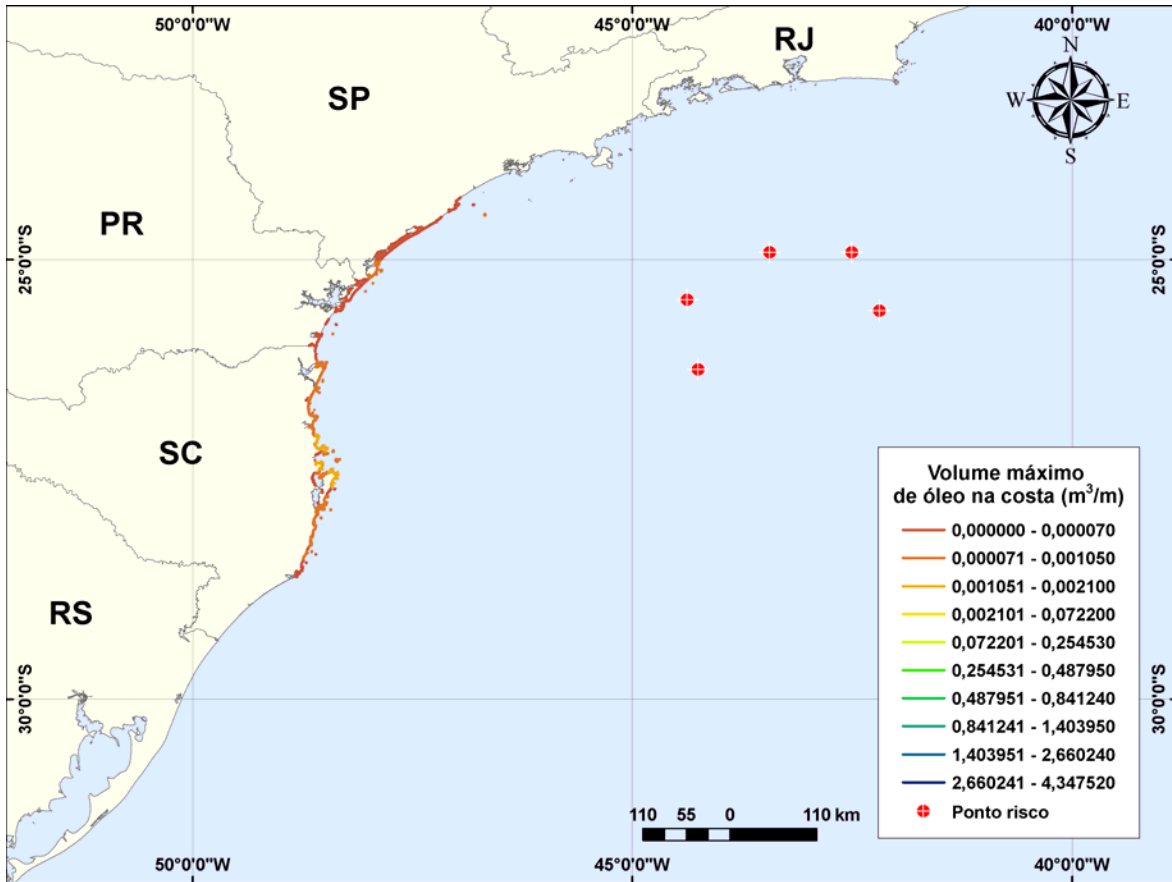
**Figura III-25** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-26 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os cinco cenários com volume médios ( $200 \text{ m}^3$ ) simulados durante o verão.



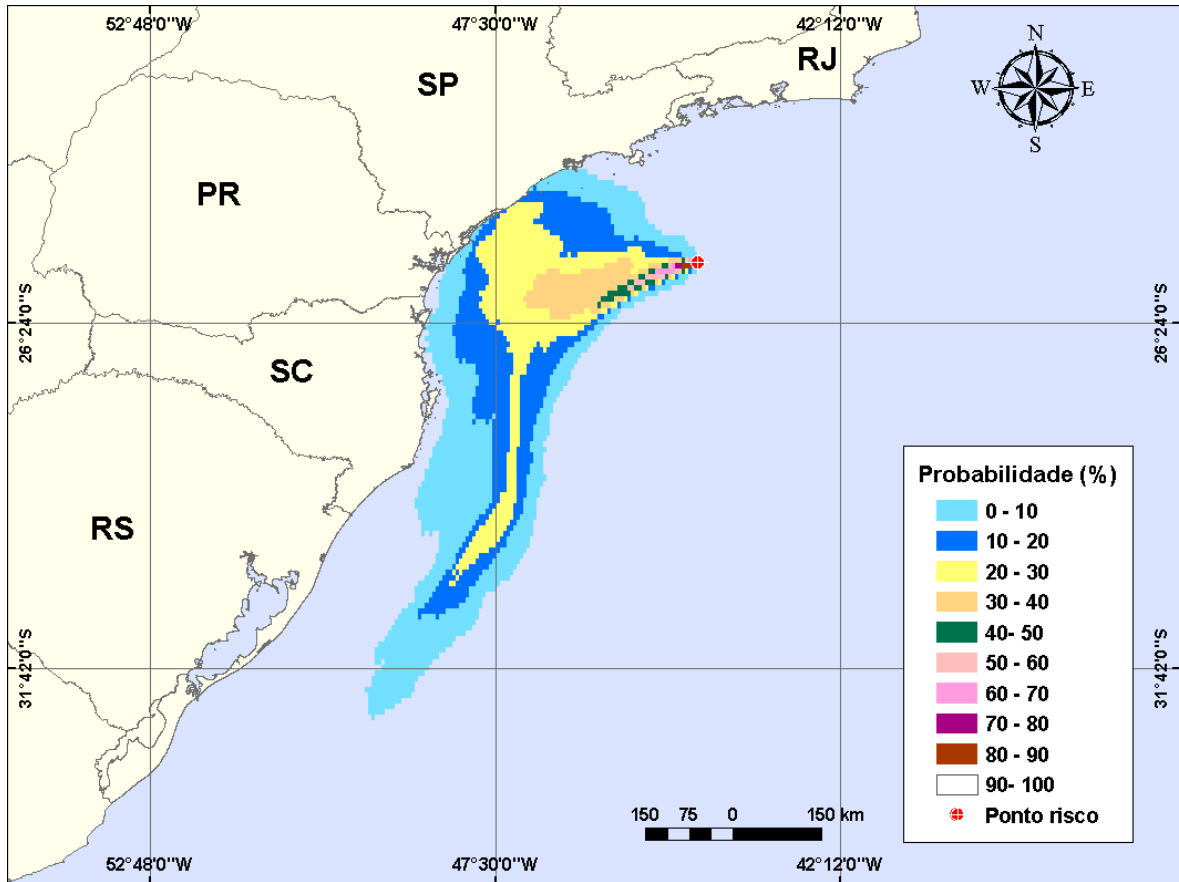
**Figura III-26** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 \text{ m}^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-27 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa para cada um dos cinco cenários simulados com volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que os maiores volumes ( $0,00209 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ocorreram no Município de Porto Belo (SC).

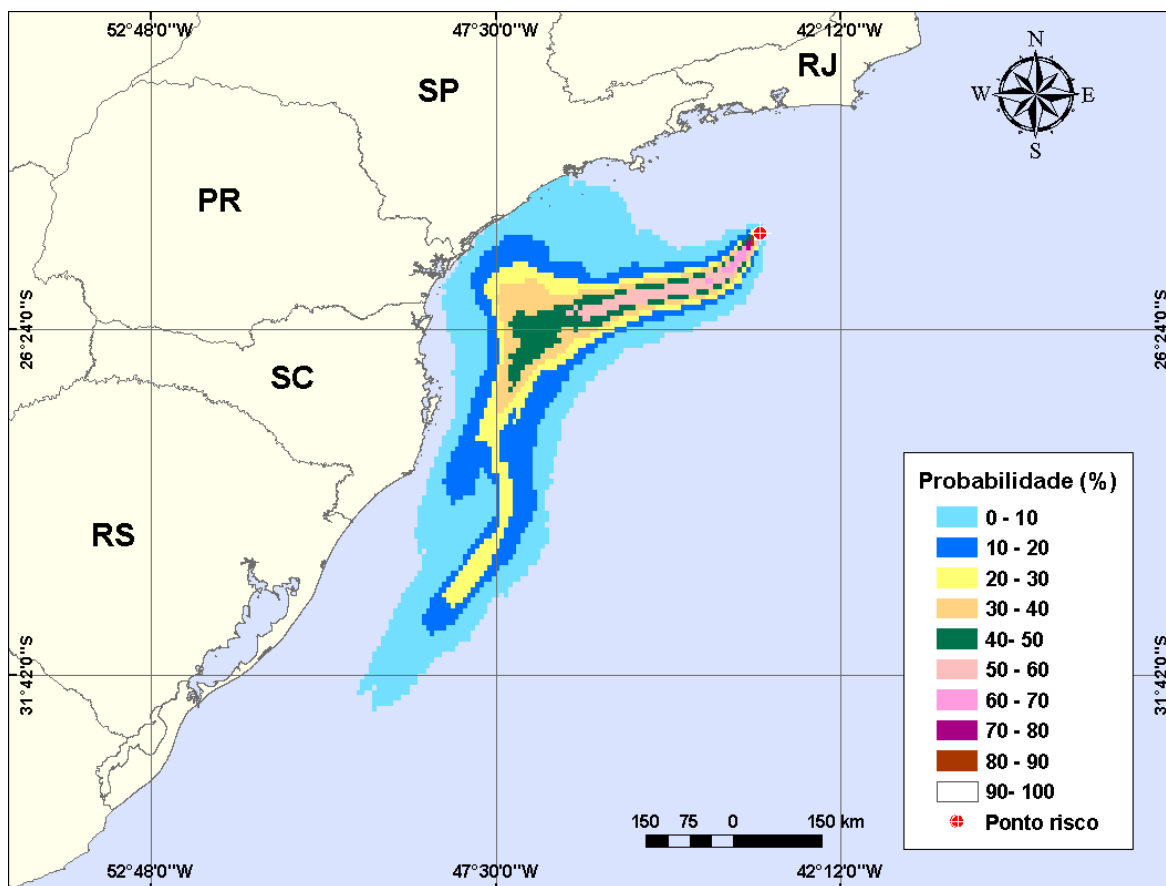


**Figura III-27** - Volume máximo de óleo ( $m^3$ ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 m^3$ ) durante os meses de verão (janeiro a março).

As Figuras III-28 a III-36 apresentam os resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo de volume médio no Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno. Os resultados são apresentados individualmente por sub-região e integrados para o Pólo Pré-Sal. A extensão de toque na costa variou de 115,2 km a 311,1 km, e a maior probabilidade de toque calculada não ultrapassou 14%.

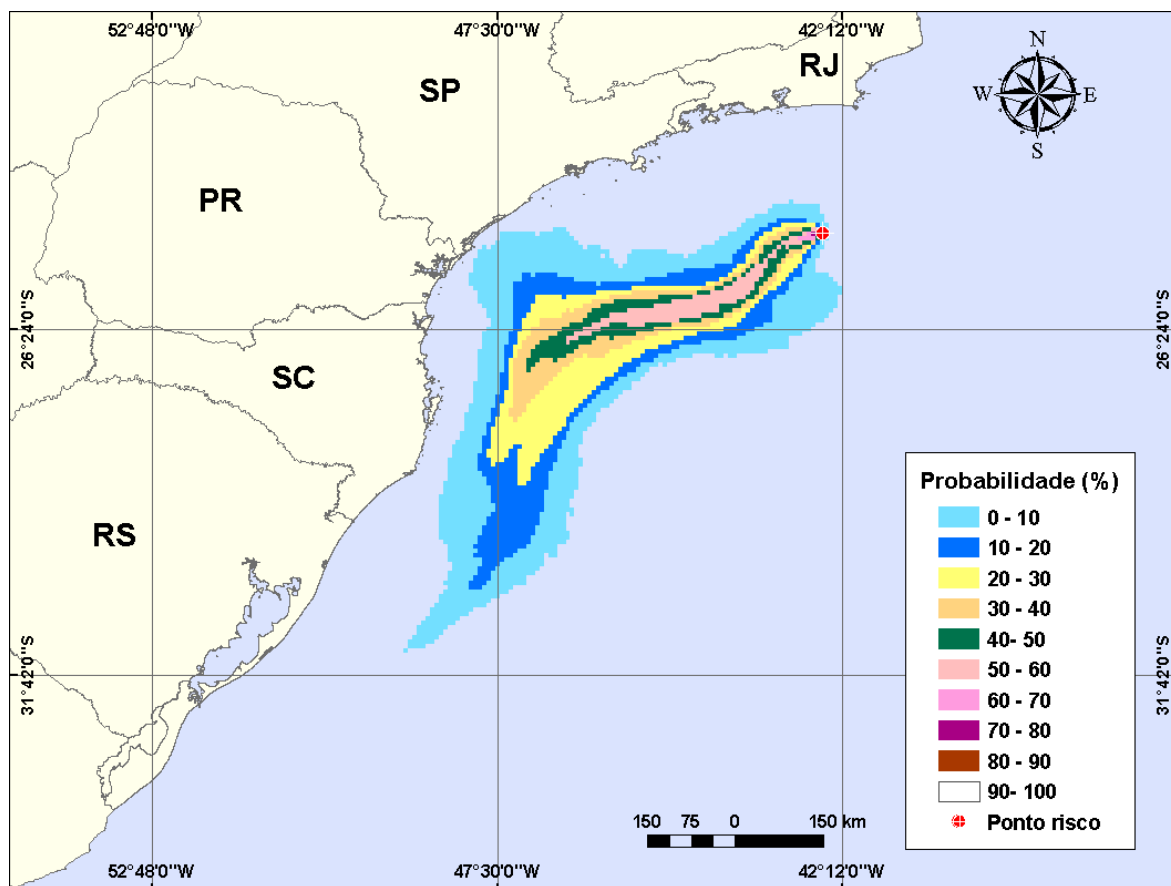


**Figura III-28** - Cenário P1\_BMS8\_INV\_200 Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

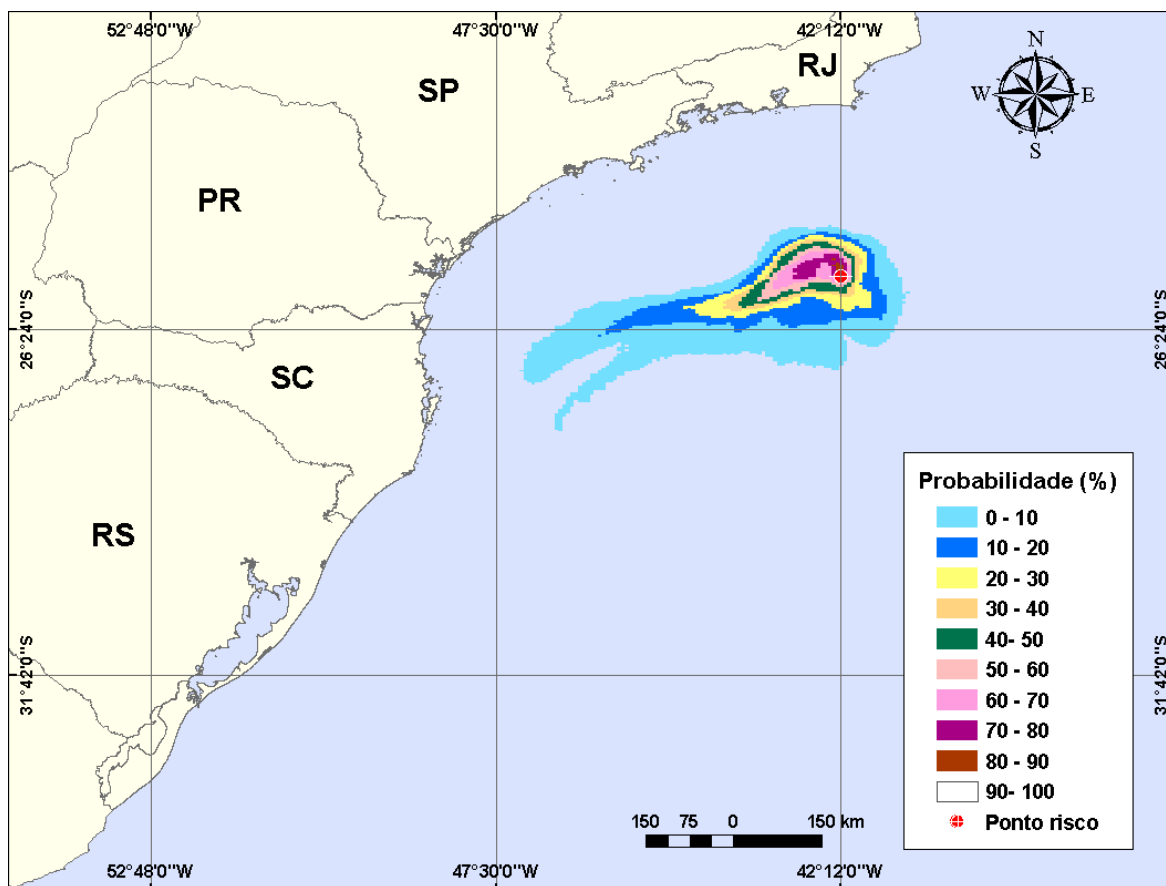


**Figura III-29** - Cenário P2\_BMS10\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

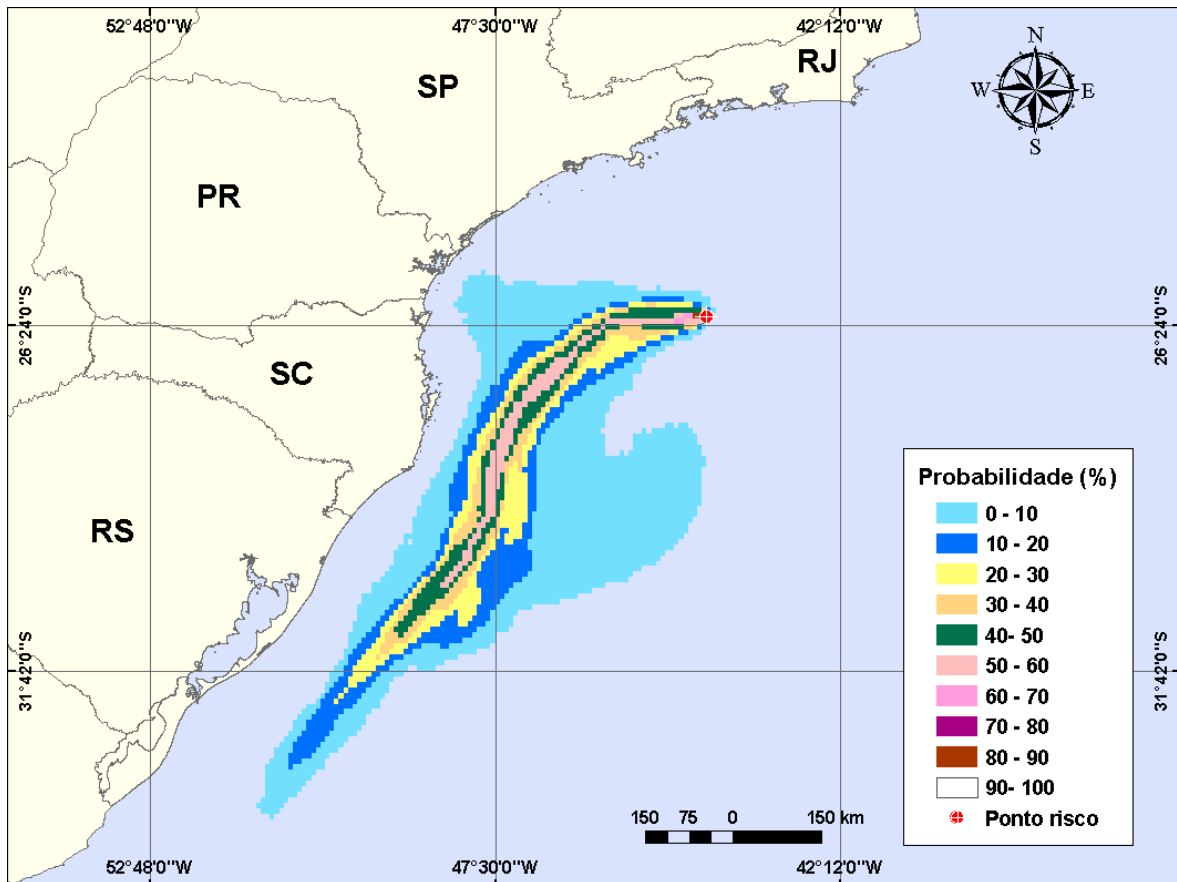




**Figura III-30** - Cenário P3\_BMS11\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

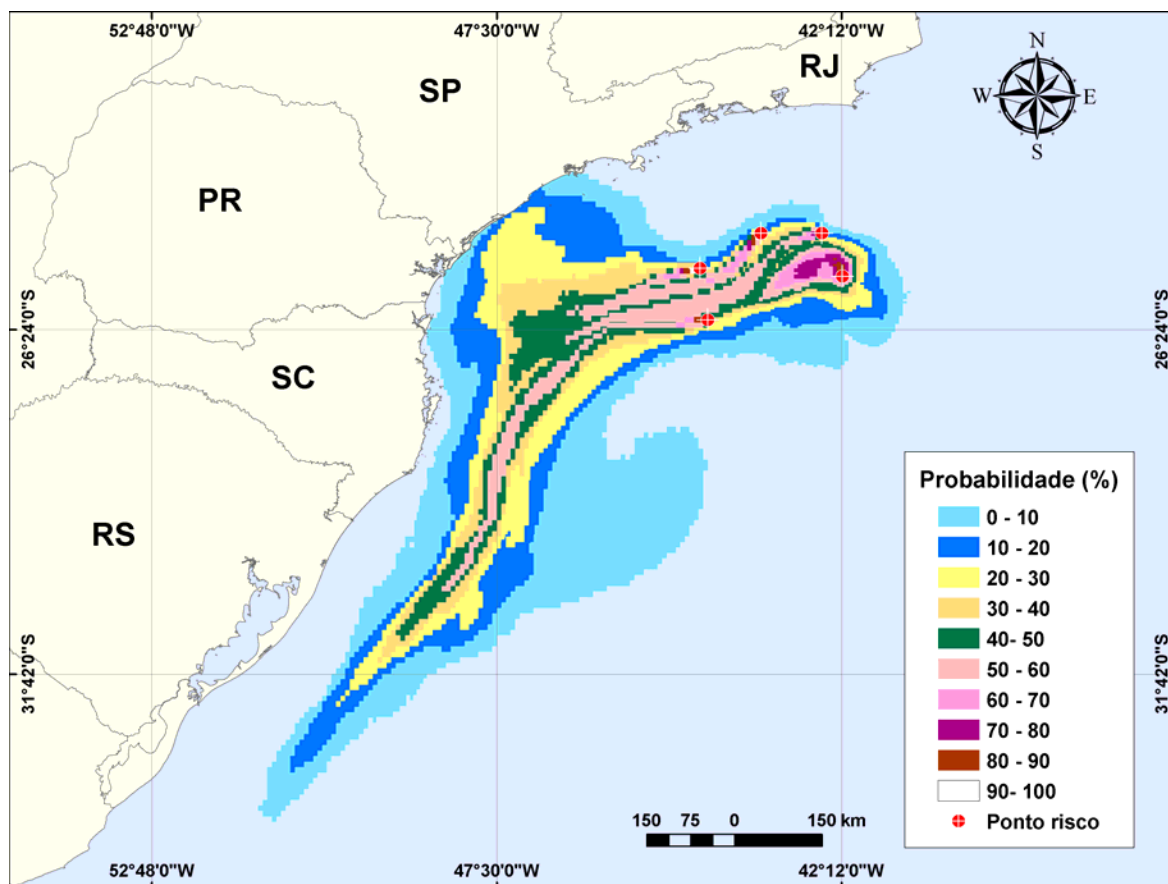


**Figura III-31** - Cenário P4\_BMS24\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.



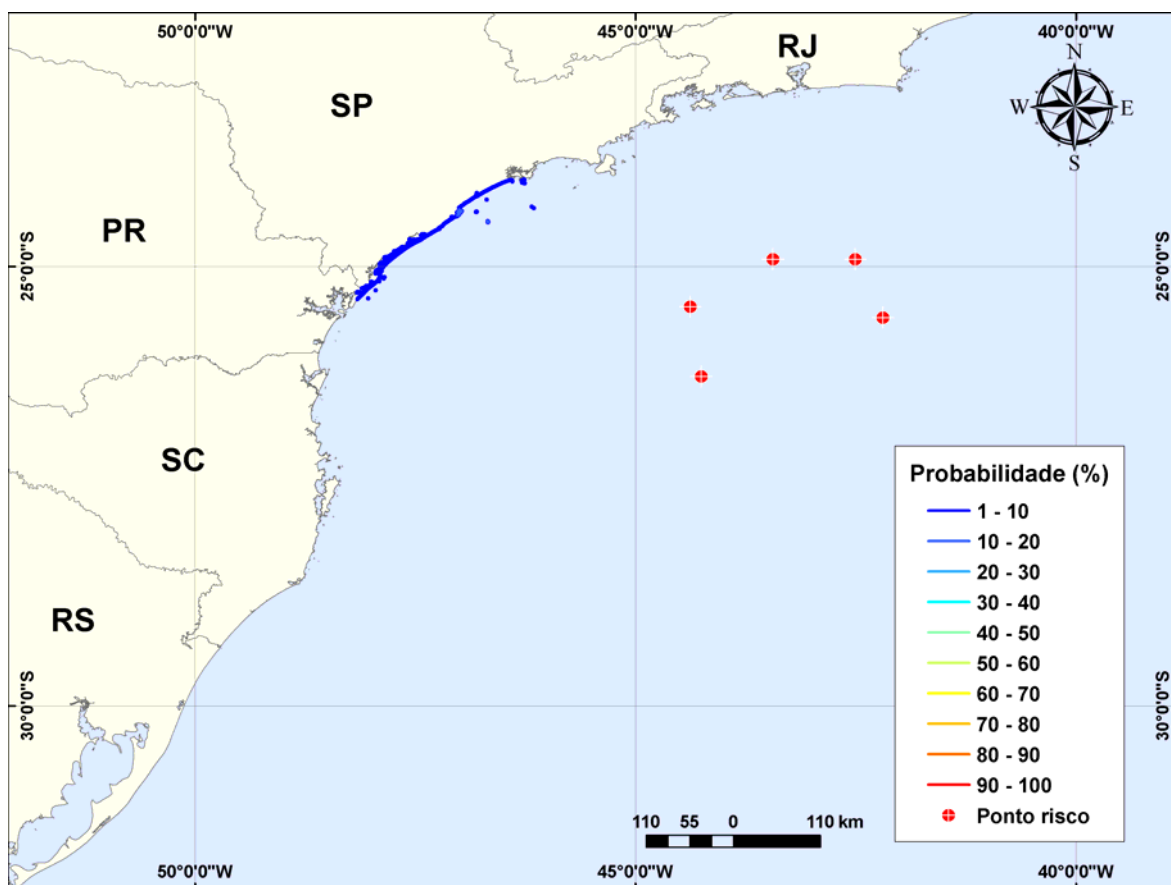
**Figura III-32** - Cenário P5\_BMS21\_INV\_200. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo), após 30 dias de simulação.

A Figura III-33 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos cinco cenários apresentados nas figuras acima, em condições de inverno. A linha de costa com probabilidade de toque é apresentada em detalhe na Figura III-16.



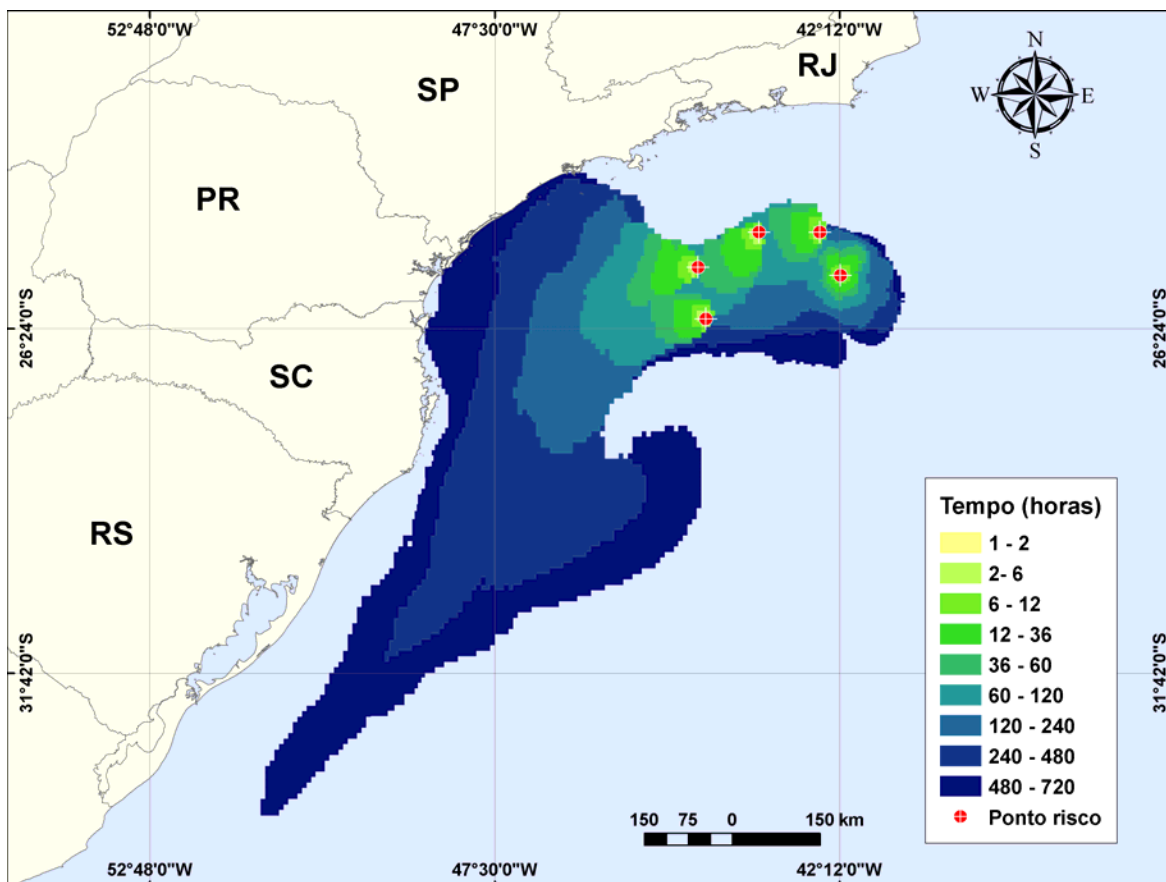
**Figura III-33** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 \text{ m}^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-34 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos cinco cenários simulados com volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por 311,1 km do Município de Guarujá (SP) até o de Guaraqueçaba (SC). As maiores probabilidades de toque na costa (14%) ocorreram em Itanhaém (SP).



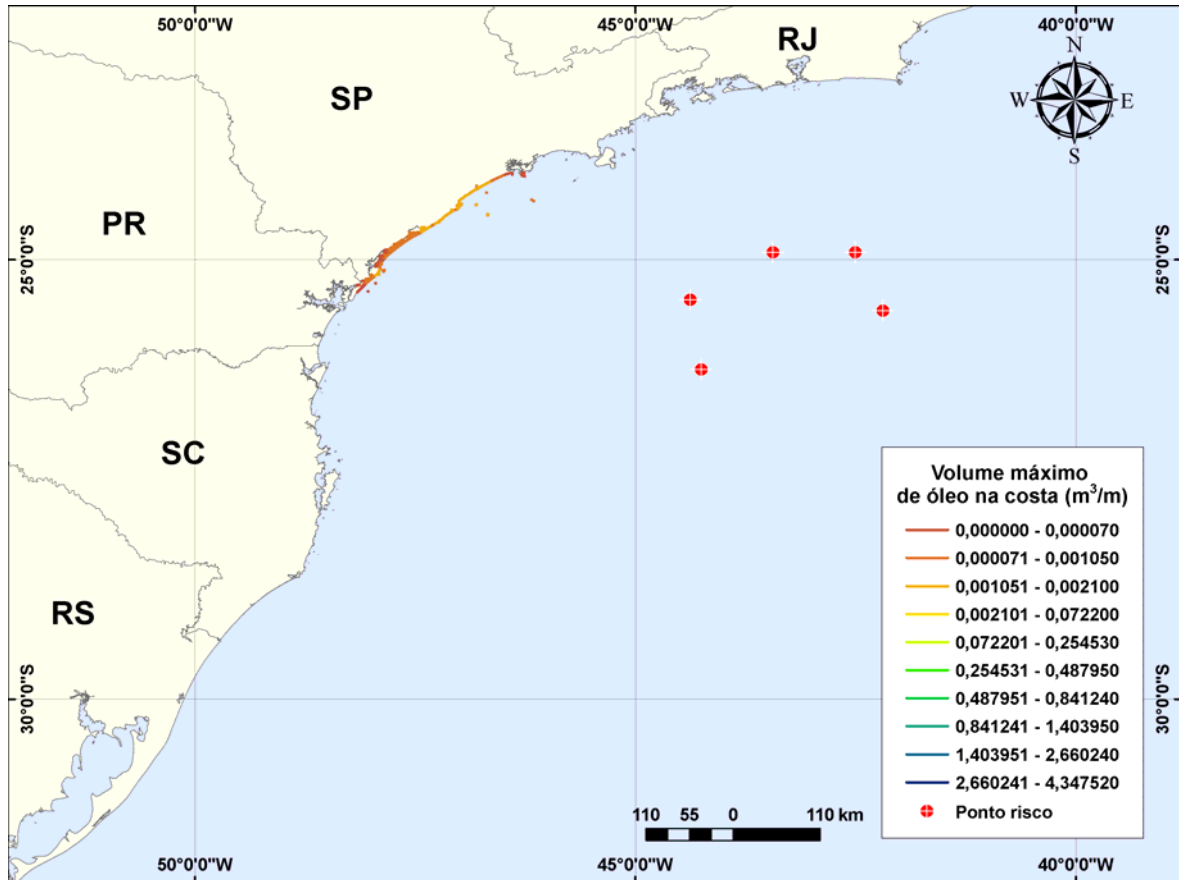
**Figura III-34** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios (200 m<sup>3</sup>) durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-35 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os cinco cenários simulados durante o inverno.



**Figura III-35** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo médios ( $200 \text{ m}^3$ ) durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-36 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa para cada um dos cinco cenários simulados com volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ) para o Pólo Pré-Sal, em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que os maiores volumes ( $0,00184 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ocorreram no Município de Peruíbe (SP).



**Figura III-36** - Volume máximo de óleo (m<sup>3</sup>) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo pequenos (200 m<sup>3</sup>) durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Tabela III-7 e a Tabela III-8 apresentam a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, respectivamente. Estas tabelas consideram a integração de todos os cenários simulados com volume médio (200 m<sup>3</sup>) em cada período sazonal. No verão, a Ilha da Queimada Grande, pertencente ao Município de Itanhaém (SP), destaca-se com o menor tempo de toque (390 horas). No inverno, o menor tempo de toque foi calculado também para a Ilha da Queimada Grande (462 horas).

**Tabela III-7 - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume médio (200 m<sup>3</sup>) no Pólo Pré-Sal no período de verão.**

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /m)
SP	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	1	390	0,00009
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	1	420	0,00001
	Peruíbe	1	426	0,00001
	Peruíbe - Ilha do Guaraú	1	448	0,00001
	Ilha Comprida	2	486	0,00024
	Iguape	1	443	0,00004
	Cananéia	3	482	0,00054
	Cananéia - Ilha do Cambriu	3	482	0,00054
	Cananéia - Ilha de Bom Abrigo	3	464	0,00054
	Cananéia - Ilha do Castilho	3	492	0,00012
	Cananéia - Ilha da Figueira	3	500	0,00008
PR	Guaraqueçaba	2	528	0,00007
	Pontal do Paraná	1	666	0,00001
	Paranaguá - Ilha do Mel	1	641	0,00002
	Matinhos - Ilhas Currais	1	633	0,00006
	Matinhos - Ilha Itacolomis	1	645	0,00008
	São Francisco do Sul - Ilhas Tamboretas	1	630	0,00019
	Guaraqueçaba	2	528	0,00007
SC	Araquari	1	659	0,00095
	Balneário Barra do Sul	1	641	0,00095
	Balneário Barra do Sul - Ilha Remédios	1	641	0,00061
	Balneário Camboriú	5	596	0,0012
	Barra Velha	1	595	0,00054
	Biguaçu	6	631	0,00036
	Bombinhas	6	598	0,00209
	Bombinhas - Ilha da Galé	6	585	0,00031
	Bombinhas - Ilha do Amendoim	6	600	0,00067
	Florianópolis	9	596	0,00158
	Florianópolis - Ilha Deserta	8	583	0,00068
	Florianópolis - Ilha do Arvoredo	8	583	0,00068
	Florianópolis - Ilha do Campeche	2	638	0,00017
	Florianópolis - Ilha do Xavier	3	629	0,00006

(continua)



**Tabela III-7-** Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume médio (200 m<sup>3</sup>) no Pólo Pré-Sal no período de verão (continuação).

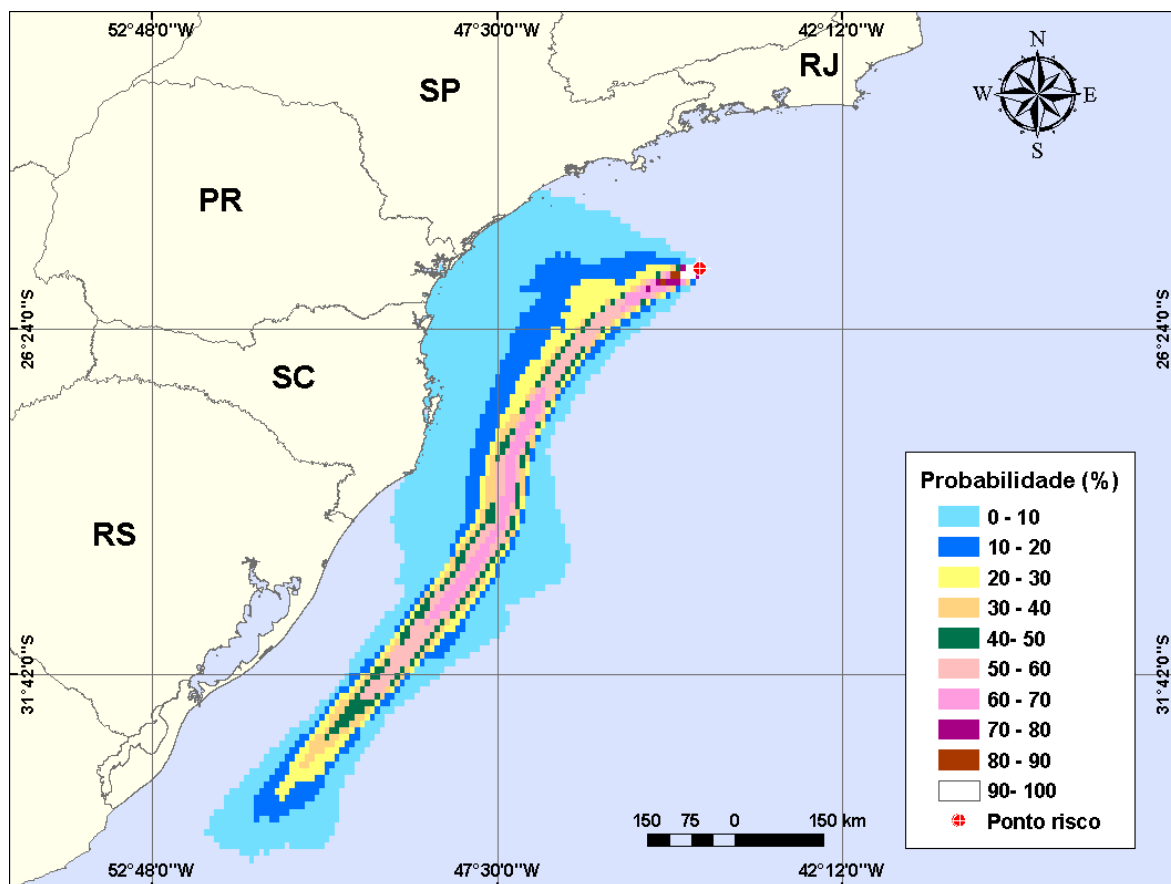
	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /m)
SC	Florianópolis - Ilha dos Moleques	3	628	0,00014
	Florianópolis - Ilha Irmã de Fora	3	639	0,00018
	Florianópolis - Ilha Irmã do Meio	3	639	0,00018
	Florianópolis - Ilhas das Aranhas	9	596	0,00123
	Garopaba	3	649	0,00063
	Governador Celso Ramos	8	603	0,00188
	Governador Celso Ramos - Ilha de Ganchos	8	616	0,00188
	Guaratuba	1	682	0,00002
	Imbituba	3	660	0,00063
	Imbituba - Ilha das Araras	2	669	0,00009
	Imbituba - Ilha de Santana de Dentro	2	667	0,00021
	Imbituba - Ilha de Santana de Fora	2	667	0,00021
	Itajaí	3	608	0,00055
	Itapema	5	596	0,00209
	Itapoá	1	673	0,00008
	Laguna	2	673	0,00008
	Laguna - Ilha dos Lobos	1	673	0,00003
	Matinhos	1	688	0,00001
	Navegantes	3	608	0,00055
	Palhoça	3	649	0,00033
	Paranaguá	1	641	0,00002
	Paulo Lopes	3	651	0,00063
	Paulo Lopes - Ilha de Coral	3	651	0,00033
	Penha	3	582	0,00074
	Piçarras	2	595	0,00054
	Piçarras - Ilha Fea	1	595	0,00054
	Piçarras - Ilhas Itacolomis	1	595	0,00054
	Porto Belo	6	598	0,00209
	São Francisco do Sul	1	636	0,00061
	São Francisco do Sul - Ilha da Paz	1	636	0,00035
São José	1	683	0,00002	
Tijucas	8	616	0,00188	

**Tabela III-8** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume médio (200 m<sup>3</sup>) no Pólo Pré-Sal no período de inverno.

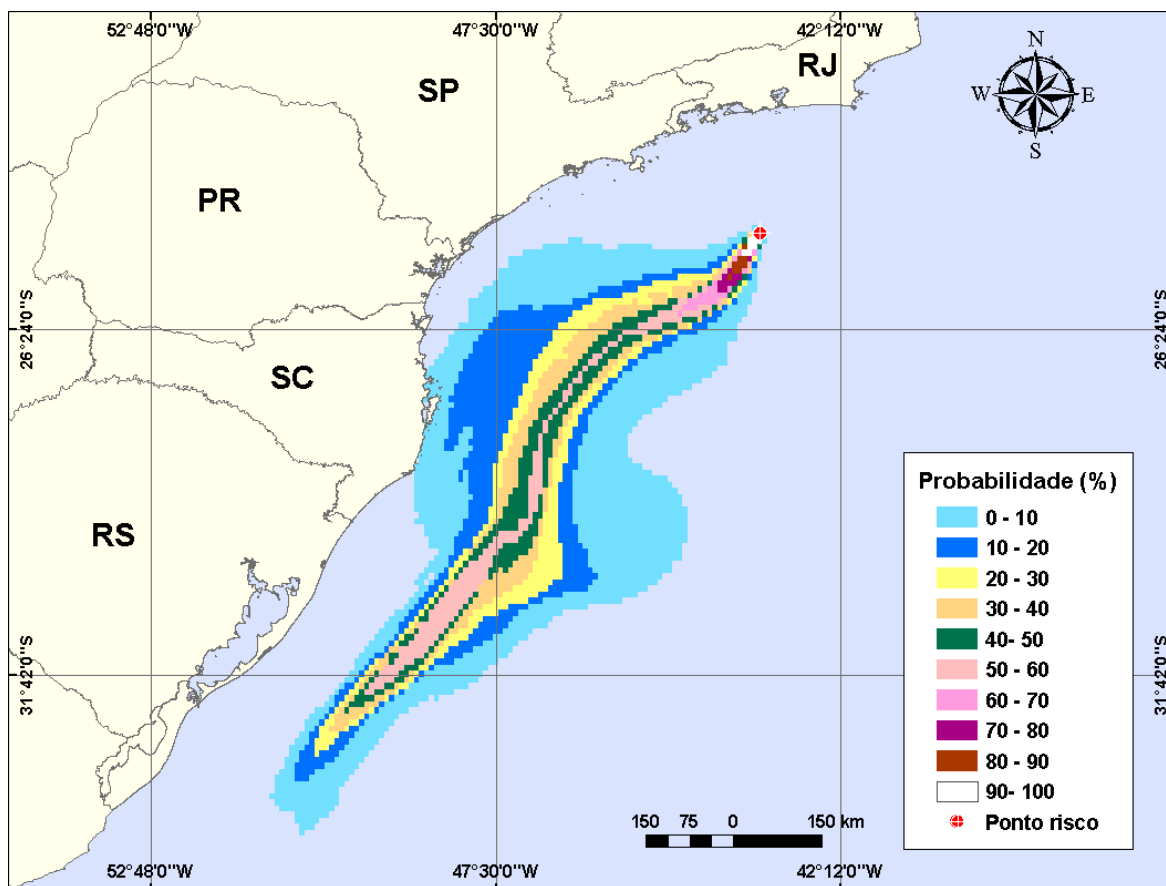
MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /m)
SP	Santos - Laje de Santos	1	460	0,00001
	Guarujá - Ilha da Moela	1	610	0,00001
	Guarujá	1	610	0,00001
	São Vicente	2	627	0,00003
	Praia Grande	6	528	0,00039
	Peruíbe - Laje da Conceição	7	525	0,0005
	Peruíbe - Ilha do Guaraú	12	560	0,00184
	Peruíbe	12	531	0,00184
	Mongaguá	7	548	0,00184
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	10	502	0,00106
	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	14	462	0,00127
	Itanhaém	9	548	0,00184
	Iguape	9	563	0,00174
	Cananéia - Ilha do Castilho	1	597	0,00006
	Cananéia - Ilha do Cambriu	2	615	0,00131
	Cananéia - Ilha de Bom Abrigo	3	598	0,00046
	Cananéia - Ilha da Figueira	1	626	0,00004
	Cananéia	1	626	0,00131
	Cananéia	1	626	0,00131
	Ilha Comprida	5	590	0,00119
PR	Guaraqueçaba	1	700	0,00014

### III.1.3 Simulações Probabilísticas – Volume Pior Caso

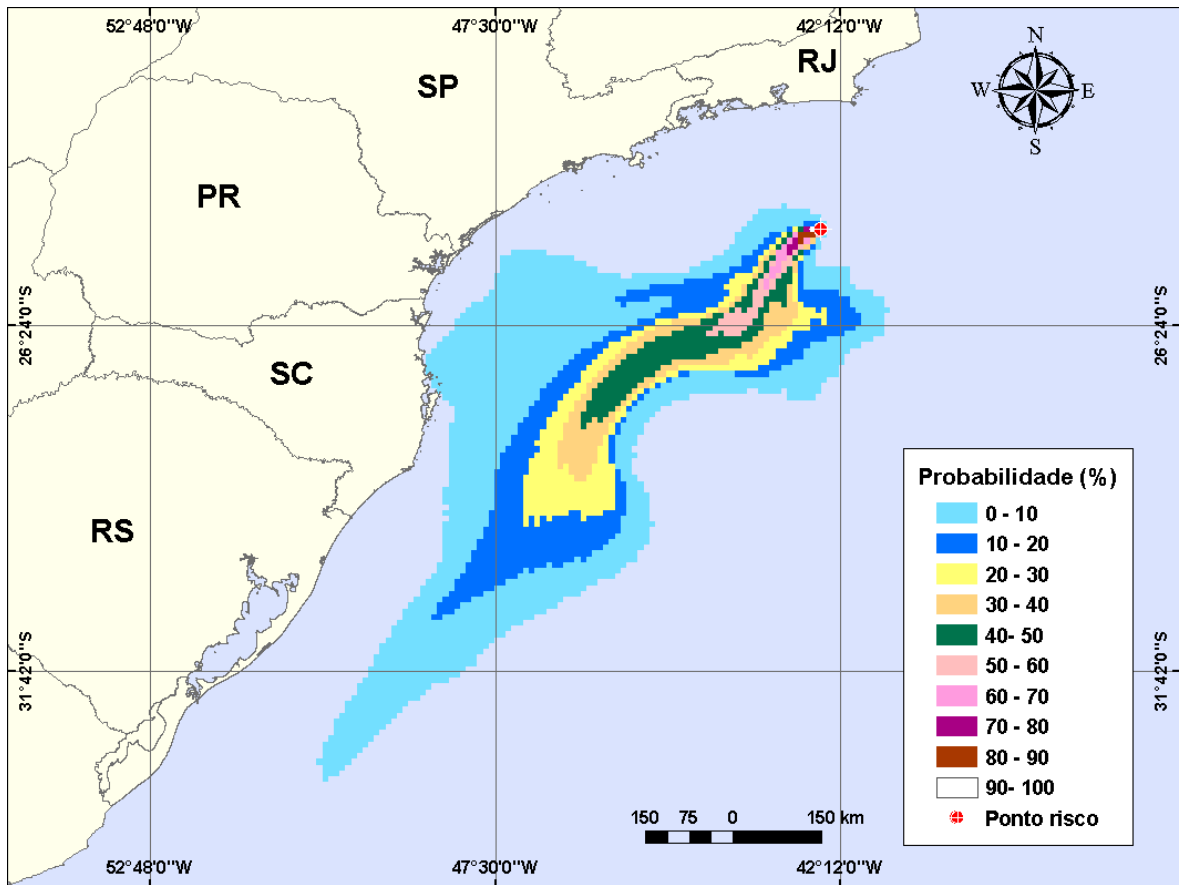
Nas Figuras III-37 a III-54 são apresentados os resultados das simulações probabilísticas com derrame de volume de pior caso. A extensão de toque na costa variou de 23,2 km a 1.076,1 km, e a maior probabilidade de toque calculada não ultrapassou 10%.



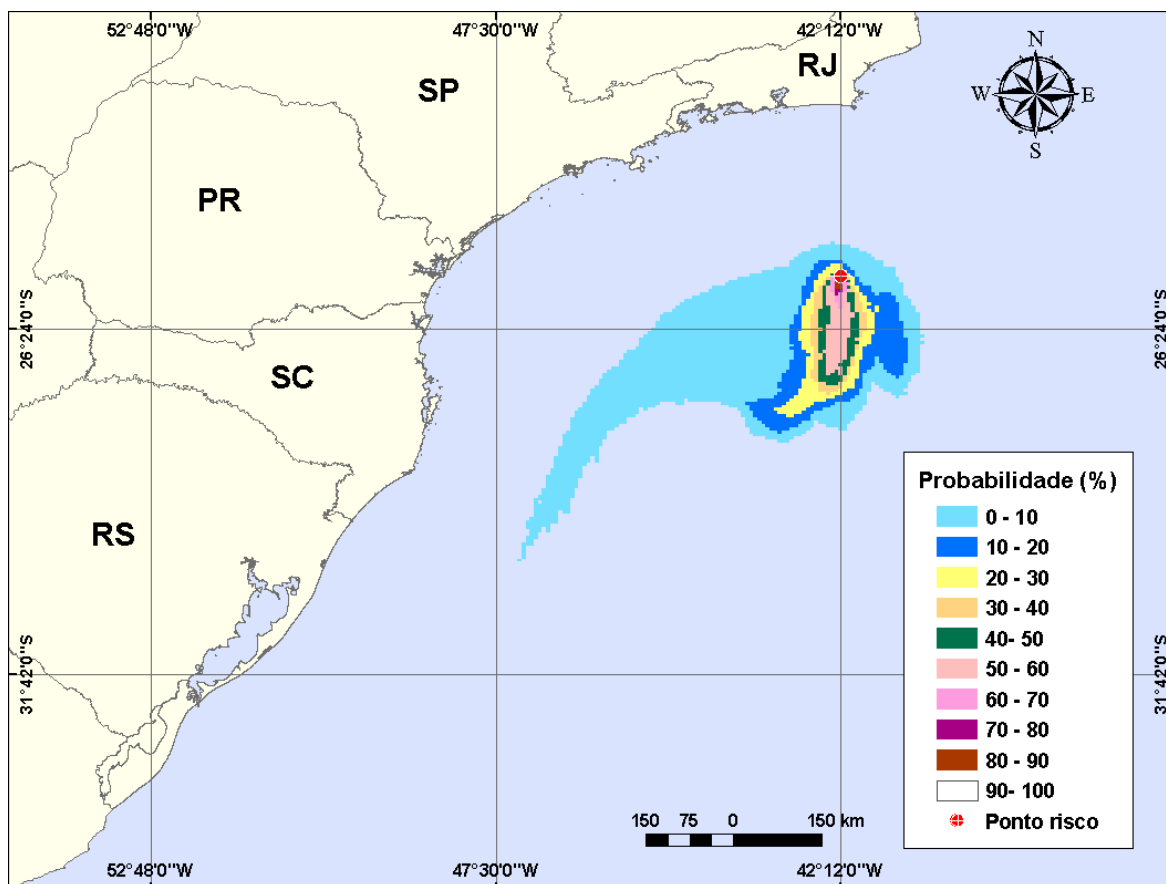
**Figura III-37 -** Cenário P1\_BMS8\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



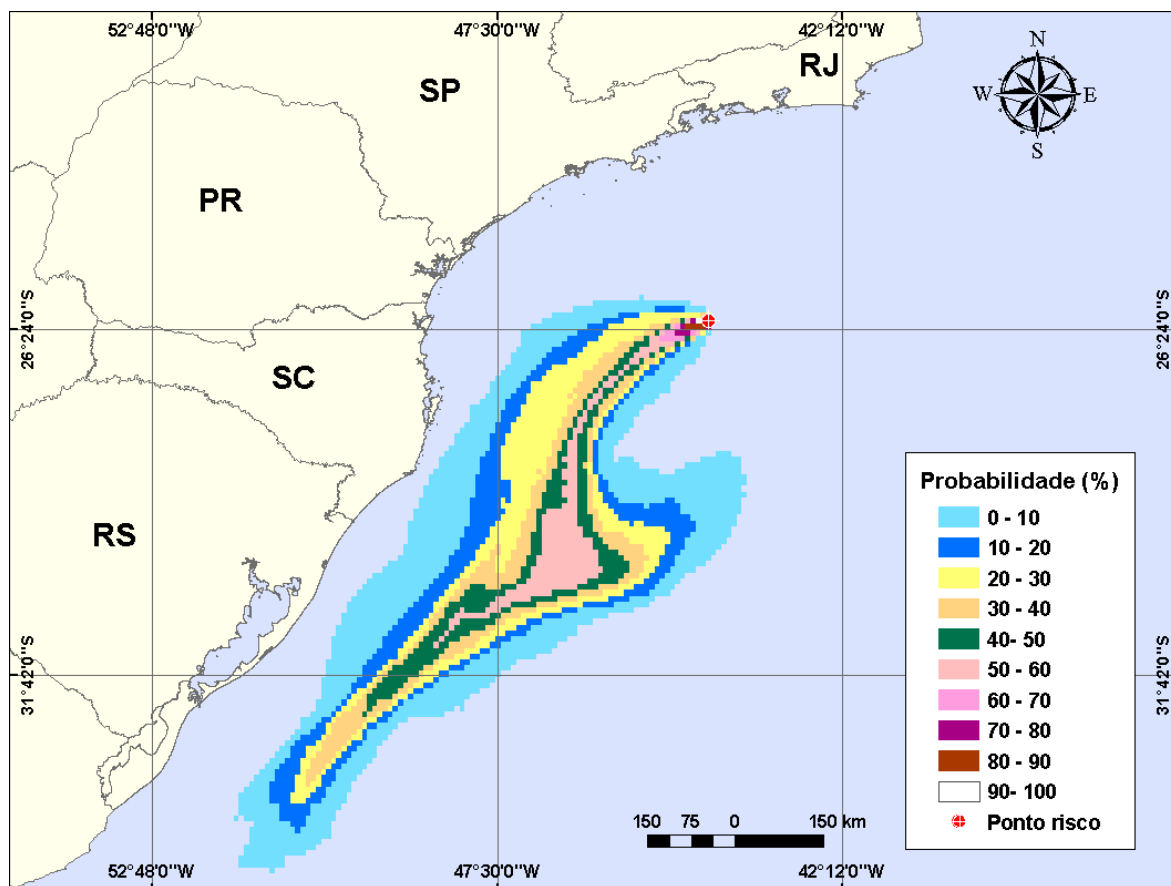
**Figura III-38** - Cenário P2\_BMS10\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



**Figura III-39** - Cenário P3\_BMS11\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.

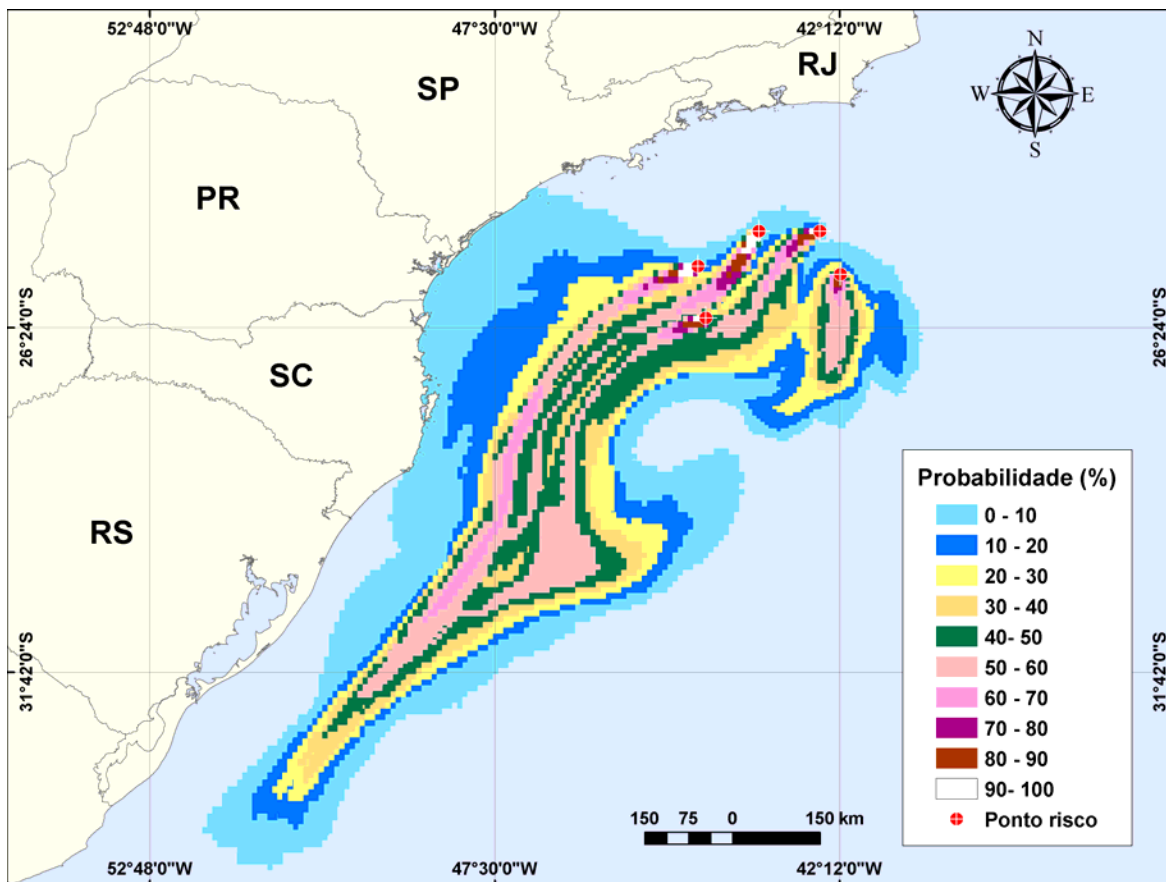


**Figura III-40** - Cenário P4\_BMS24\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



**Figura III-41** - Cenário P5\_BMS21\_VER\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de verão (janeiro a março), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.

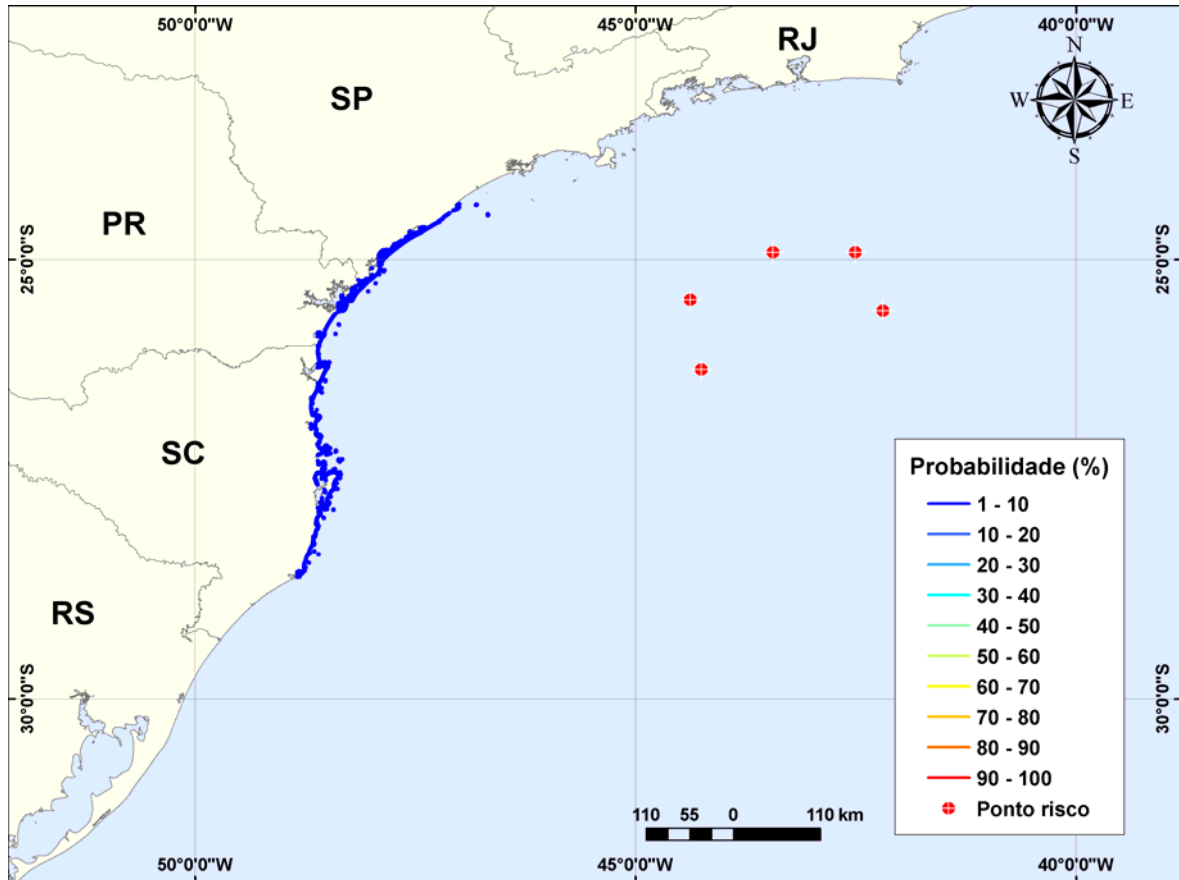
A Figura III-42 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos cinco cenários apresentados nas acima, em condições de verão. A linha de costa com probabilidade de toque é apresentada em detalhe na Figura III-43.



**Figura III-42** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de pior caso, durante os meses de verão (janeiro a março).

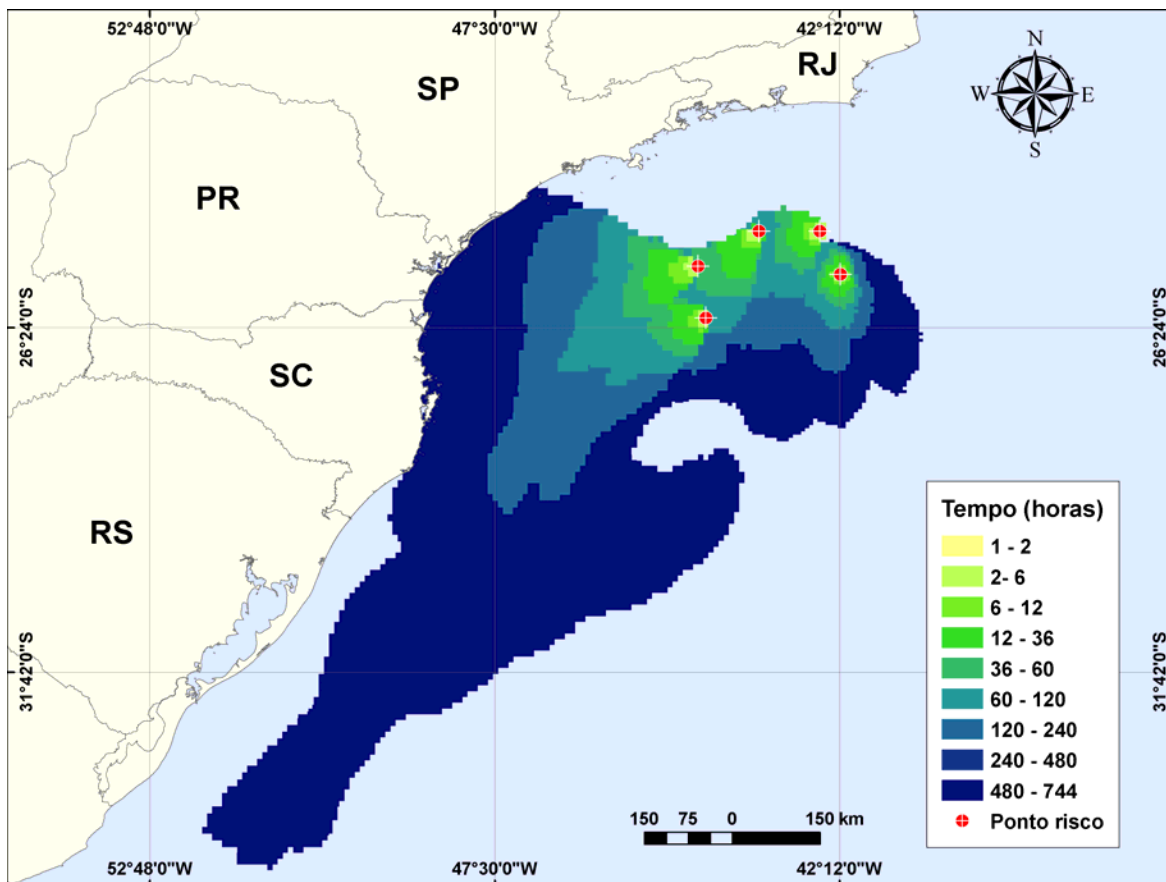
A Figura III-43 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos cinco cenários simulados com volume de pior caso para o Pólo Pré-Sal, em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por, aproximadamente, 1.888,2 km do Município de Peruíbe (SP) até o de Laguna (SC). As maiores probabilidades de toque que ocorreram em todo o litoral atingido foram de 10%.





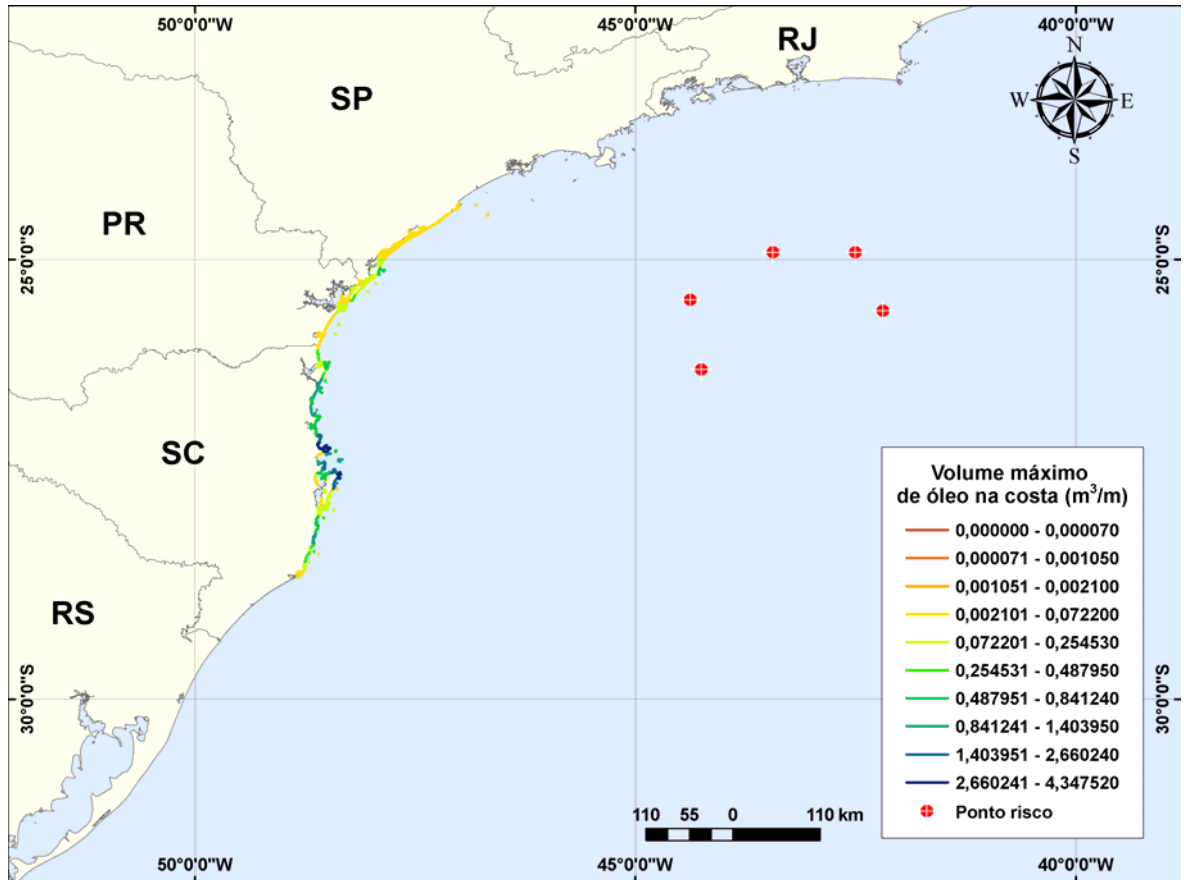
**Figura III-43** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-44 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os cinco cenários com volume de pior caso simulados durante o verão.



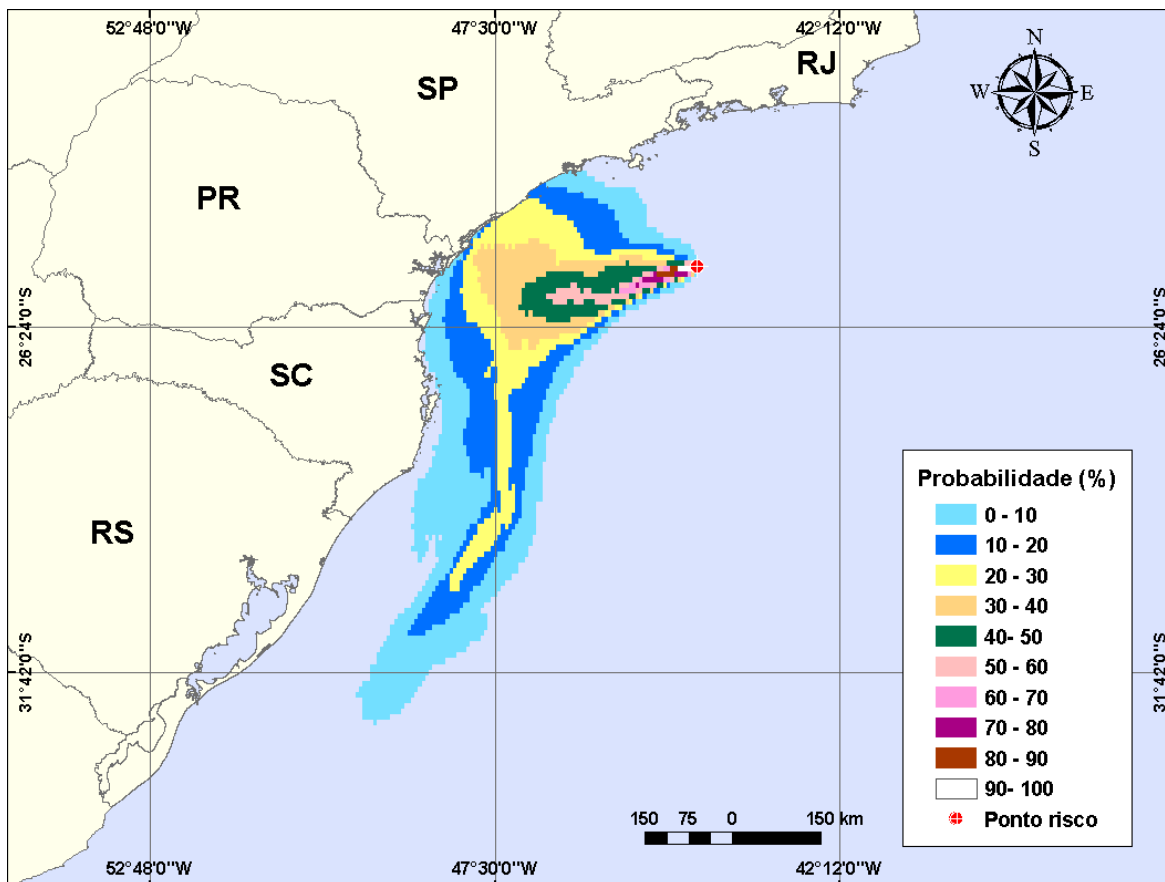
**Figura III-44** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de verão (janeiro a março).

A Figura III-45 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa para cada um dos cinco cenários simulados com volume de pior caso para o Pólo Pré-Sal, em condições de verão. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que os maiores volumes ( $4,347 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ocorreram no Município de Porto Belo (SC).

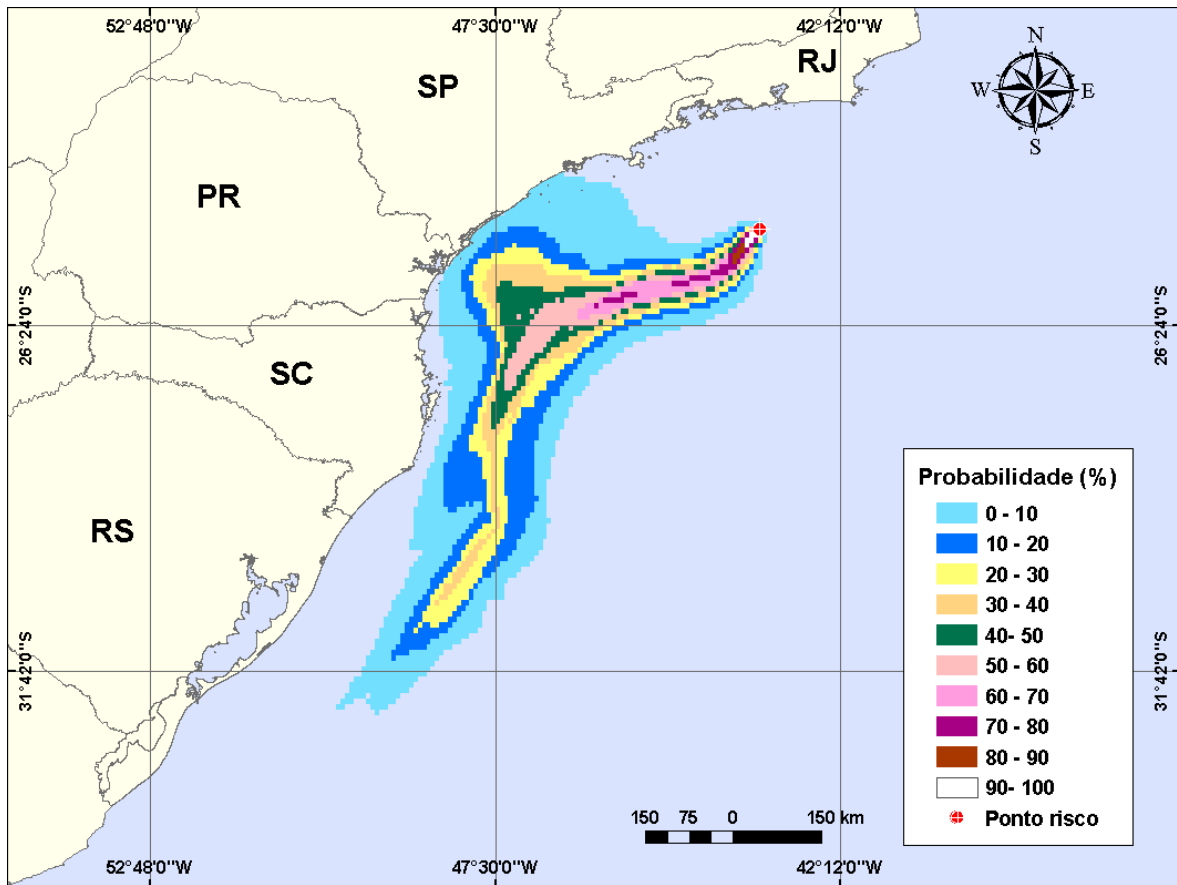


**Figura III-45** - Volume máximo de óleo ( $m^3$ ) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de verão (janeiro a março).

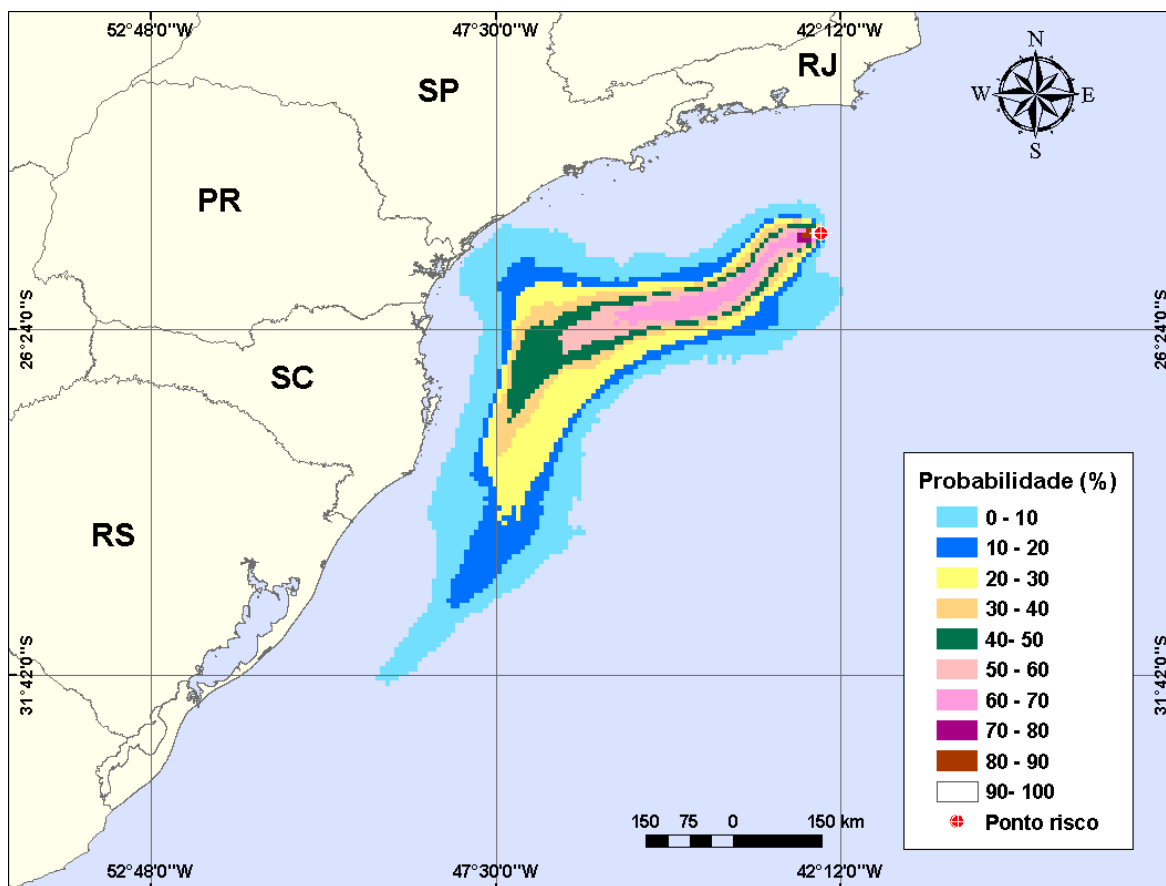
As Figuras III-46 a III-54 apresentam os resultados das simulações probabilísticas de derrame de óleo de pior caso no Pólo Pré-Sal, durante os meses inverno. Os resultados são apresentados individualmente por sub-região e integrados para o pólo. A extensão de toque na costa variou de 150,3 km a 410,5 km, e a maior probabilidade de toque calculada não ultrapassou 24%.



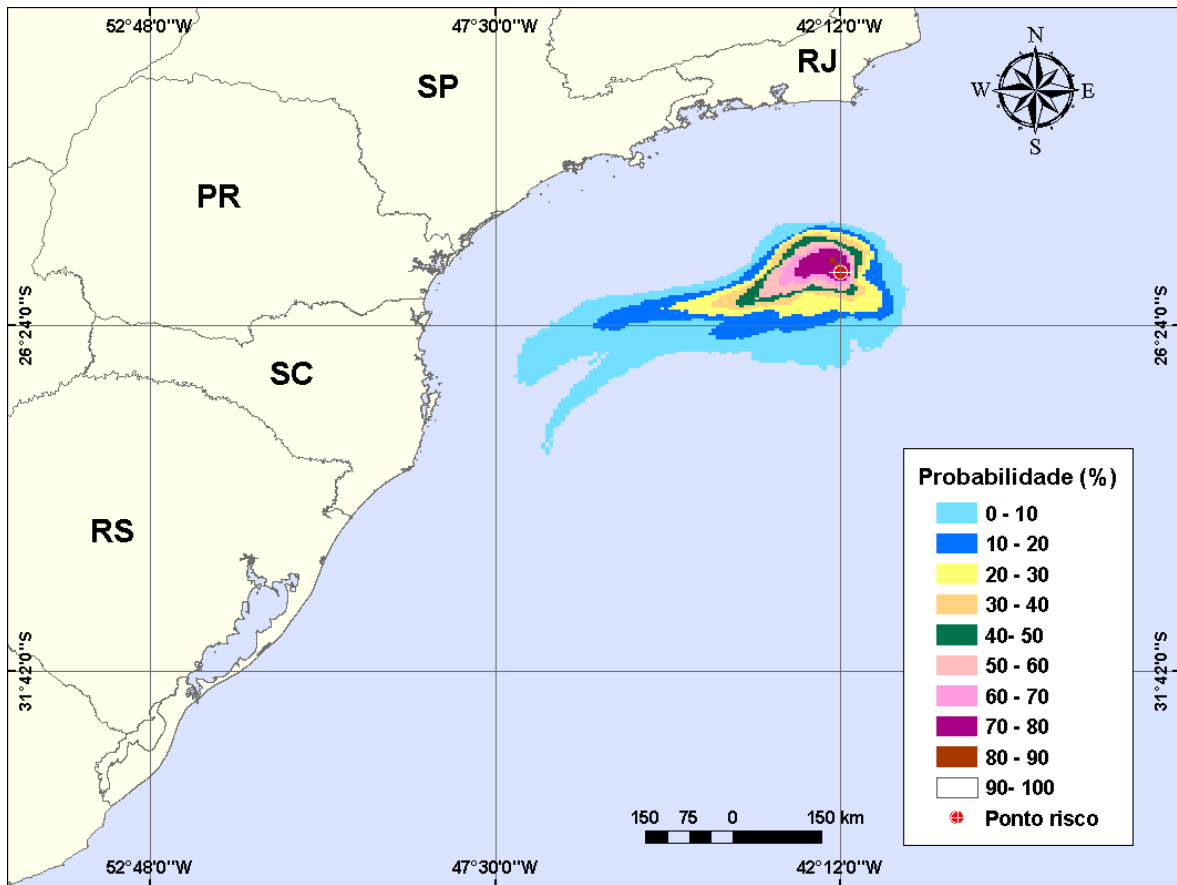
**Figura III-46** - Cenário P1\_BMS8\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-8, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



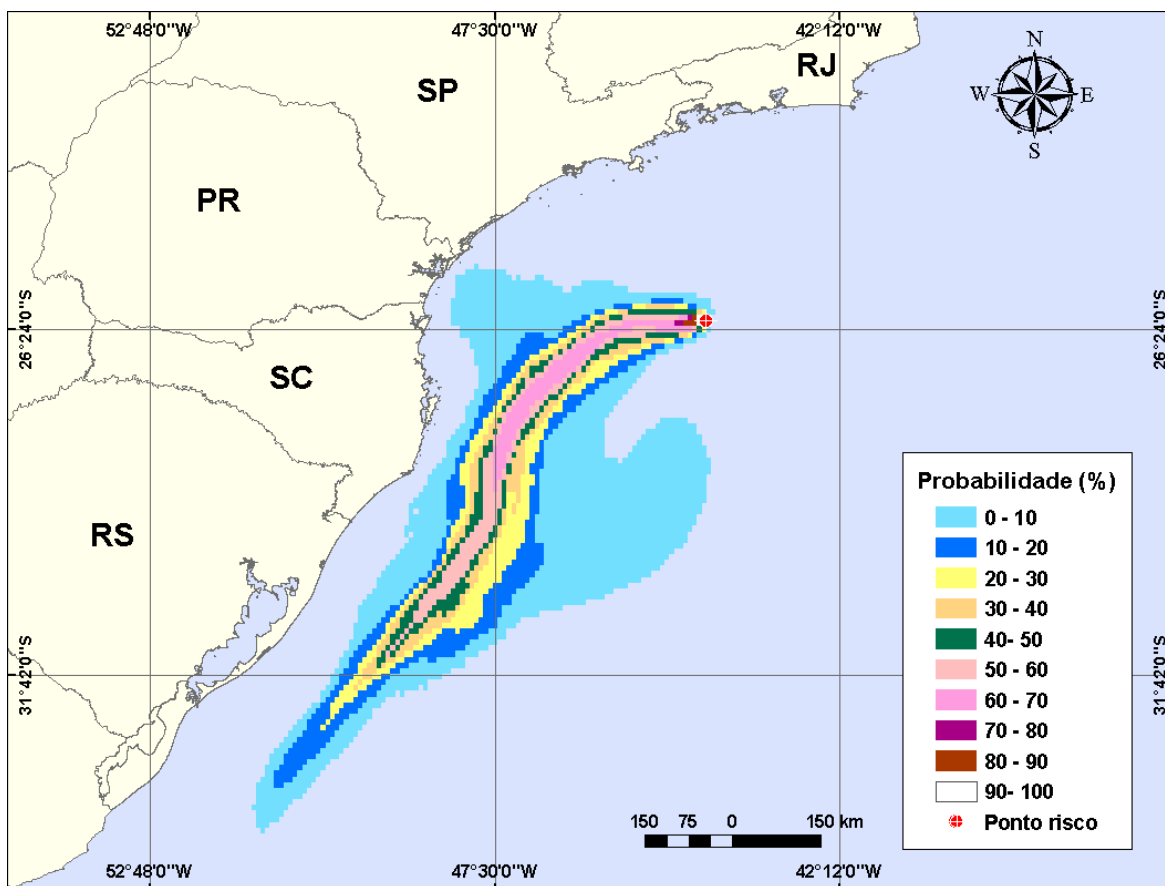
**Figura III-47 -** Cenário P2\_BMS10\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-10, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



**Figura III-48** - Cenário P3\_BMS11\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-11, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



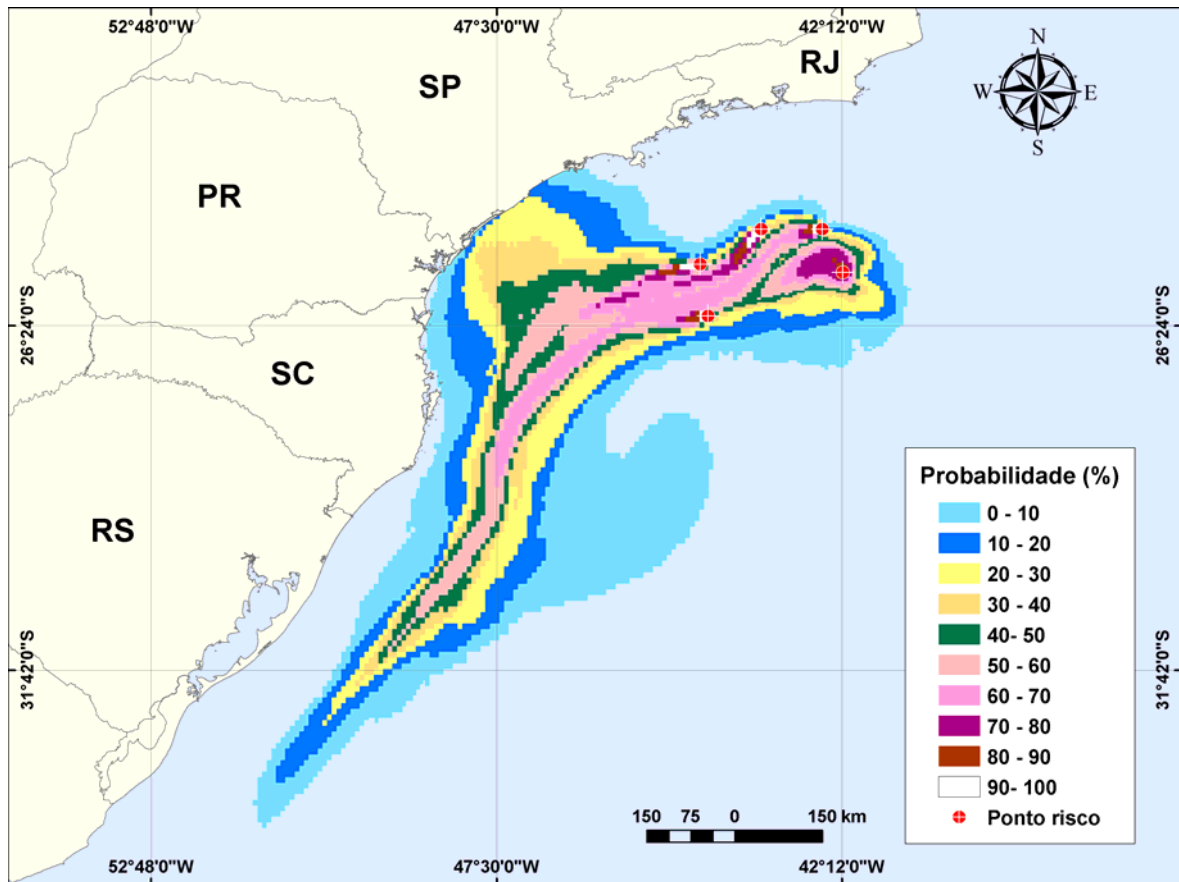
**Figura III-49** - Cenário P4\_BMS24\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-24, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.



**Figura III-50** - Cenário P5\_BMS21\_INV\_PC. Contornos de probabilidade de óleo na água para um acidente ocorrendo na sub-região do BM-S-21, Pólo Pré-Sal, durante os meses de inverno (junho a agosto), com derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas), após 31 dias de simulação.

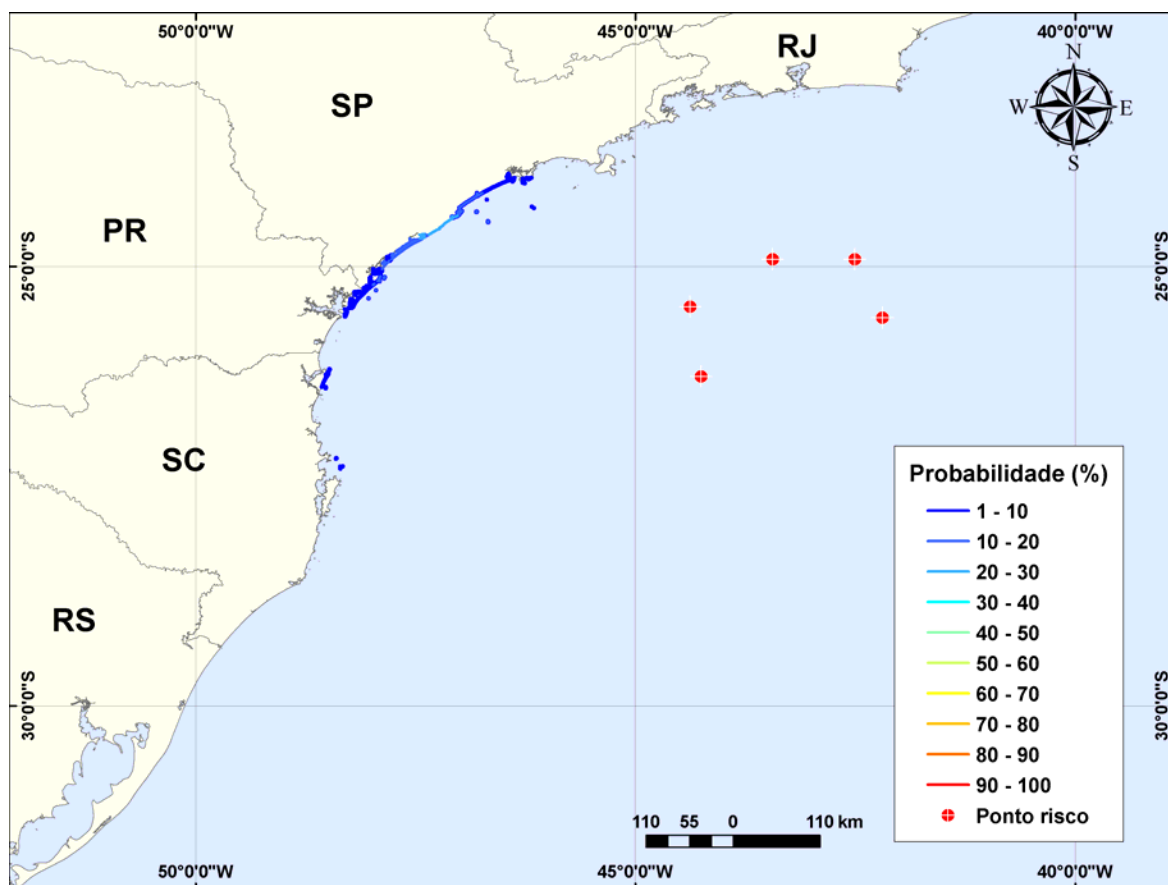
A Figura III-51 apresenta a área total com probabilidade de óleo na água, através da sobreposição dos contornos de probabilidade obtidos para cada um dos cinco cenários apresentados nas figuras acima, em condições de inverno. A linha de costa com probabilidade de toque é apresentada em detalhe na Figura III-52.





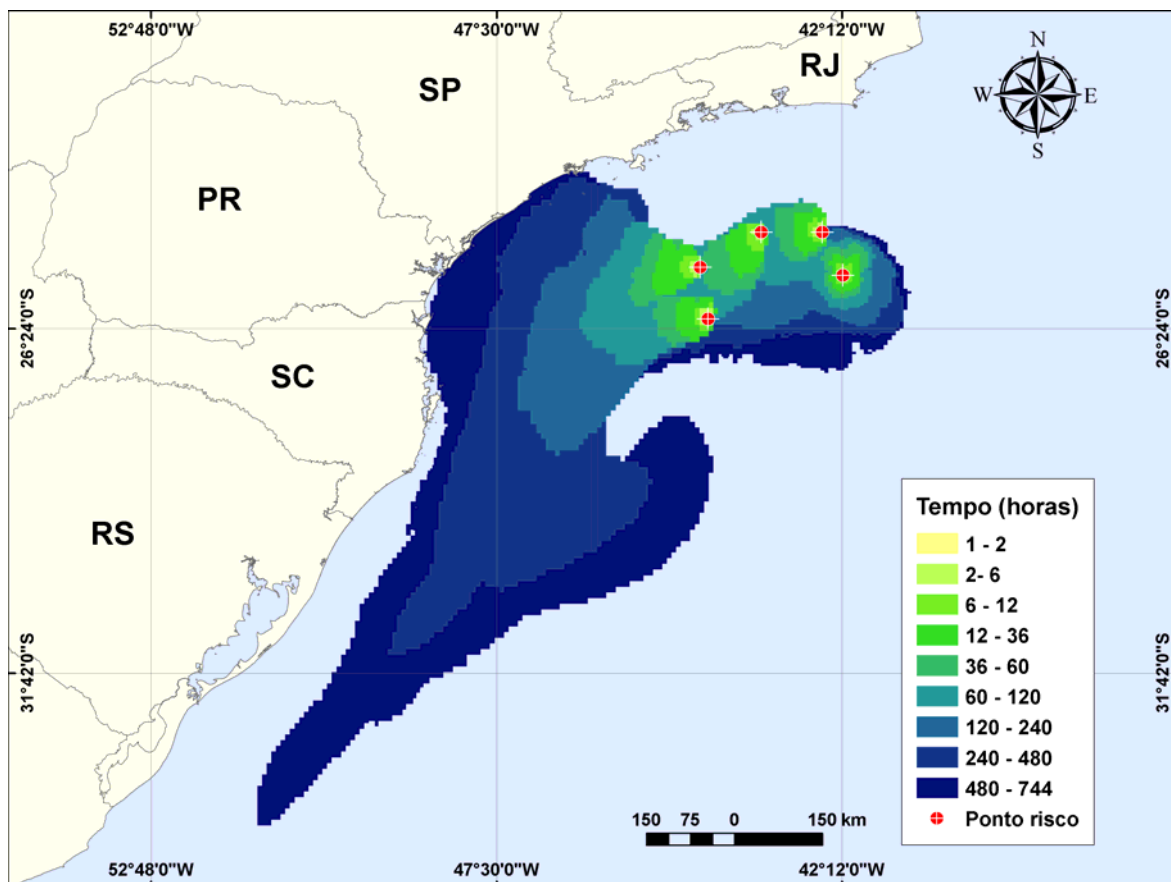
**Figura III-51** - Área total com probabilidade de óleo na água e toque na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-52 apresenta a região da linha de costa com probabilidade de toque, através da sobreposição dos resultados obtidos para cada uma dos cinco cenários simulados com volume de pior caso, para o Pólo Pré-Sal, em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que existe probabilidade de toque na costa em uma área que se estende por cerca de 410 km do Município de Guarujá (SP) até a Ilha do Arvoredo no Município de Florianópolis (SC). Ressalta-se que esta extensão não é contínua. As maiores probabilidades de toque na costa (24%) ocorreram em Iguape (SP).



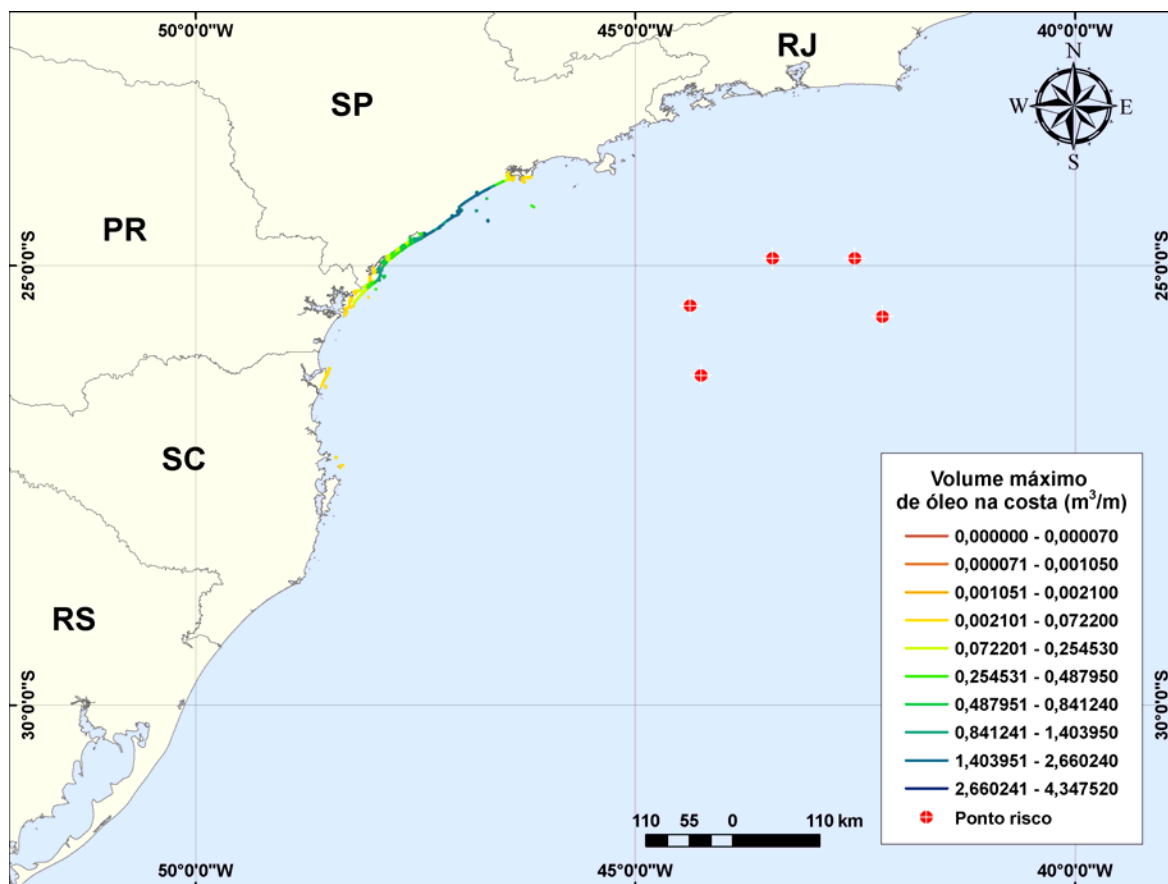
**Figura III-52** - Probabilidade de toque de óleo na linha de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-53 apresenta os contornos de tempo do deslocamento de óleo na água, através da sobreposição dos resultados obtidos para os cinco cenários simulados durante o inverno.



**Figura III-53** - Tempo de deslocamento de óleo na água para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Figura III-54 apresenta os volumes máximos de óleo por metro de costa, através da sobreposição dos volumes máximos de óleo na costa para cada um dos cinco cenários simulados com volume de pior caso para o Pólo Pré-Sal, em condições de inverno. Considerando todas as simulações realizadas, verificou-se que os maiores volumes ( $2,660 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ocorreram no Município de Itanhaém (SP).



**Figura III-54** - Volume máximo de óleo (m³) por metro de costa para o Pólo Pré-Sal, decorrente de derrames de óleo de pior caso durante os meses de inverno (junho a agosto).

A Tabela III-9 e a Tabela III-10 apresentam a probabilidade de toque, o tempo mínimo de toque na linha de costa e o volume máximo por metro de costa para os municípios com probabilidade de toque, durante os meses de verão e de inverno, respectivamente. Estas tabelas consideram a integração de todos os cenários simulados com volume de pior caso em cada período sazonal. No verão, a Ilha da Queimada Grande, pertencente ao Município de Itanhaém (SP), destaca-se com o menor tempo de toque (382 horas). No inverno, o menor tempo de toque foi calculado para a Laje de Santos (419 horas), pertencente ao Município de Santos (SP).

**Tabela III-9** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso no Pólo Pré-Sal no período de verão.

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /m)
SP	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	1	382	0,0122
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	1	414	0,00607
	Peruíbe	1	459	0,00604
	Iguape	1	420	0,02359
	Cananéia	3	487	0,67102
	Cananéia - Ilha do Cambriu	3	487	0,67102
	Cananéia - Ilha de Bom Abrigo	3	487	0,67102
	Cananéia - Ilha do Castilho	2	495	0,25453
	Cananéia - Ilha da Figueira	3	497	0,12424
	Ilha Comprida	3	429	0,18875
PR	São Francisco do Sul - Ilhas Tamboretas	3	643	0,30084
	Guaraqueçaba	3	509	0,28853
	Matinhos - Ilhas Currais	3	636	0,16448
	Paranaguá	3	659	0,15871
	Paranaguá - Ilha do Mel	3	659	0,15871
	Pontal do Paraná	2	668	0,10021
	Matinhos - Ilha Itacolomis	4	652	0,08809
	Guaratuba	1	687	0,07032
	Matinhos	1	673	0,04688
SC	Araquari	2	613	1,32715
	Balneário Barra do Sul	3	655	1,32715
	Balneário Barra do Sul - Ilha Remédios	3	655	0,94375
	Balneário Camboriú	7	602	2,01257
	Barra Velha	4	595	1,03937
	Biguaçu	8	638	0,5189
	Bombinhas	9	595	4,34752
	Bombinhas - Ilha da Galé	9	584	0,63974
	Bombinhas - Ilha do Amendoim	9	597	1,18726
	Florianópolis	10	598	2,74119
	Florianópolis - Ilha Deserta	9	590	1,06068
	Florianópolis - Ilha do Arvoredo	9	590	1,06068
	Florianópolis - Ilha do Campeche	3	657	0,12894
	Florianópolis - Ilha do Xavier	3	630	0,0527

(continua)

**Tabela III-9** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso no Pólo Pré-Sal no período de verão (continuação).

MUNICÍPIO		PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /m)
SC	Florianópolis - Ilha dos Moleques	5	639	0,1857
	Florianópolis - Ilha Irmã de Fora	3	644	0,21075
	Florianópolis - Ilha Irmã do Meio	3	644	0,21075
	Florianópolis - Ilhas das Aranhas	10	598	2,74119
	Garopaba	3	658	0,68176
	Governador Celso Ramos	9	610	2,50588
	Governador Celso Ramos - Ilha de Ganchos	9	610	2,50588
	Guaraqueçaba	3	509	0,28853
	Guaratuba	1	687	0,07032
	Imbituba	3	677	1,13561
	Imbituba - Ilha das Araras	3	677	0,32059
	Imbituba - Ilha de Santana de Dentro	3	677	0,32059
	Imbituba - Ilha de Santana de Fora	3	677	0,32059
	Itajaí	6	607	0,58165
	Itapema	8	602	4,34752
	Itapoá	2	679	0,41602
	Laguna	3	675	0,34322
	Laguna - Ilha dos Lobos	2	675	0,11614
	Matinhos	1	673	0,04688
	Matinhos - Ilha Itacolomis	4	652	0,08809
	Matinhos - Ilhas Currais	3	636	0,16448
	Navegantes	6	607	0,58165
	Palhoça	3	658	0,58964
	Paranaguá	3	659	0,15871
	Paranaguá - Ilha do Mel	3	659	0,15871
	Paulo Lopes	3	658	0,58964
	Paulo Lopes - Ilha de Coral	3	658	0,46177
	Penha	6	589	1,03937
	Piçarras	5	595	1,03937
	Piçarras - Ilha Fea	4	595	1,03937
	Piçarras - Ilhas Itacolomis	4	595	1,03937
	Pontal do Paraná	2	668	0,10021
	Porto Belo	8	595	4,34752
	São Francisco do Sul	4	641	0,94375
São Francisco do Sul - Ilha da Paz	4	653	0,68239	
São Francisco do Sul - Ilhas Tamboretas	3	643	0,30084	
São José	2	708	0,01755	
Tijucas	8	617	1,27518	

**Tabela III-10** - Lista de municípios com probabilidade de toque para os cenários de derrame de óleo com volume de pior caso no Pólo Pré-Sal no período de inverno.

	MUNICÍPIO	PROBABILIDADE DE OLEO NA COSTA (%)	TEMPO MINIMO DE TOQUE NA COSTA (horas)	MAXIMO VOLUME NA COSTA (m <sup>3</sup> /km)
SP	Santos - Laje de Santos	9	419	0,32431
	São Vicente	8	545	0,26746
	Praia Grande	9	535	1,10876
	Guarujá	2	603	0,01504
	Guarujá - Ilha da Moela	2	610	0,01504
	Itanhaém	15	548	2,66024
	Itanhaém - Ilha da Queimada Grande	18	466	1,60143
	Itanhaém - Ilha da Queimada Pequena	16	500	1,31362
	Peruíbe	23	539	2,57514
	Peruíbe - Ilha do Guaraú	19	557	2,33575
	Peruíbe - Laje da Conceição	10	526	0,65065
	Mongaguá	10	535	1,88968
	Cananéia - Ilha do Cambriu	19	601	1,40395
	Cananéia - Ilha de Bom Abrigo	19	601	0,74434
	Cananéia - Ilha do Castilho	12	618	0,2898
	Cananéia - Ilha da Figueira	12	613	0,06696
	Cananéia	13	608	1,40395
	Ilha Comprida	22	606	1,01325
Iguape	24	551	2,57514	
PR	Paranaguá	5	708	0,00738
	Guaraqueçaba	8	630	0,40753
	Paranaguá - Ilha do Mel	5	708	0,00738
	São Francisco do Sul - Ilhas Tamboretas	1	733	0,00743
SC	São Francisco do Sul	1	690	0,01485
	Florianópolis - Ilha do Arvoredo	1	715	0,00738
	Florianópolis - Ilha Deserta	1	715	0,00738
	Bombinhas - Ilha da Galé	1	734	0,00741
	São Francisco do Sul - Ilha da Paz	1	721	0,0074

### III.2 SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS

A análise dos resultados das simulações probabilísticas realizadas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Em cada período, de todas as 500 simulações realizadas para cada ponto de risco, foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram o menor tempo de toque na costa ou a menor distância com relação à costa. A Tabela III-11 apresenta um resumo dos cenários determinísticos críticos simulados que apresentaram toque na costa. Observa-se que o cenário de verão referente ao Ponto 1 (BM-S-8) para o volume de pior caso apresentou o menor tempo de chegada do óleo à costa, sendo de 382 horas. A Tabela III-12 apresenta um resumo dos cenários determinísticos críticos simulados que não apresentaram toque na costa.

**Tabela III-11** - Resumo dos cenários determinísticos críticos simulados que apresentaram toque na costa.

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	MUNICÍPIO DO PRIMEIRO TOQUE	VOLUME FINAL DE ÓLEO QUE CHEGA À COSTA (m <sup>3</sup> )
DET_P1_BMS8_VER_8	3/1/1992 -6:00 h	390	Ilha da Queimada Grande Itanhaém - SP	0,17
DET_P1_BMS8_VER_200	3/1/1992- 4:00 h	390	Ilha da Queimada Grande Itanhaém - SP	4,82
DET_P1_BMS8_VER_PC	3/1/1992 -2:00 h	382	Ilha da Queimada Grande Itanhaém - SP	9.721,0
DET_P1_BMS8_INV_8	19/7/1992 -5:00 h	457	Laje de Santos Santos - SP	3,59
DET_P1_BMS8_INV_200	19/7/1992 -4:00 h	460	Laje de Santos Santos - SP	103,0
DET_P1_BMS8_INV_PC	19/7/1992 - 14:00 h	419	Laje de Santos Santos - SP	104.880,0
DET_P2_BMS10_VER_8	8/1/1992 - 16:00 h	634	Ilha Deserta Florianópolis - SC	2,14
DET_P2_BMS10_VER_200	8/1/1992 - 11:00 h	634	Ilha Deserta Florianópolis - SC	4,82
DET_P2_BMS10_VER_PC	8/1/1992 - 20:00 h	734	Ilha Deserta Florianópolis - SC	69.916,0
DET_P2_BMS10_INV_8	15/7/1992 - 15:00 h	457	Laje de Santos Santos - SC	0,87
DET_P2_BMS10_INV_200	15/7/1992 - 7:00 h	460	Laje de Santos Santos - SC	29,0
DET_P2_BMS10_INV_PC	14/7/1992 -20:00 h	457	Laje de Santos Santos - SC	53.089,0
DET_P3_BMS11_VER_PC	5/1/1992 -6:00 h	734	Ilha da Galé Bombinhas - SC	46,0



**Tabela III-12 - Resumo dos cenários determinísticos críticos simulados que não apresentaram toque na costa.**

CENÁRIOS	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	MENOR DISTANCIA COM RELAÇÃO À COSTA (km)	MUNICÍPIO MAIS PRÓXIMO
DET_P3_BMS11_VER_8	5/1/1992 -6:00 h	11,5	Ilha Deserta Florianópolis - SC
DET_P3_BMS11_VER_200	5/1/1992 -6:00 h	6,5	Ilha da Galé Bombinhas – SC
DET_P3_BMS11_INV_8	21/07/1992 -19:00 h	10,0	Ilha do Castilho Cananéia – SP
DET_P3_BMS11_INV_200	21/07/1992 -19:00 h	8,2	Ilha do Bom Abrigo Cananéia – SP
DET_P3_BMS11_INV_PC	21/07/1992 -19:00 h	2,0	Ilha do Bom Abrigo Ilha do Castilho Cananéia – SP
DET_P4_BMS24_VER_8	04/01/1992 - 03:00 h	196	Florianópolis – SC
DET_P4_BMS24_VER_200	04/01/1992 - 03:00 h	195	Florianópolis – SC
DET_P4_BMS24_VER_PC	04/01/1992 - 03:00 h	192	Florianópolis – SC
DET_P4_BMS24_INV_8	16/07/1992 -02:00 h	143	Florianópolis – SC
DET_P4_BMS24_INV_200	16/07/1992 -02:00 h	130	Florianópolis – SC
DET_P4_BMS24_INV_PC	16/07/1992 -02:00 h	121	Florianópolis – SC
DET_P5_BMS21_VER_8	02/01/1992 - 23:00 h	28	Ilha dos Lobos Laguna – SC
DET_P5_BMS21_VER_200	02/01/1992 - 23:00 h	28	Ilha dos Lobos Laguna – SC
DET_P5_BMS21_VER_PC	02/01/1992 - 23:00 h	24	Ilha dos Lobos Laguna – SC
DET_P5_BMS21_INV_8	18/07/1992 - 15:00 h	18	Paranaguá – PR
DET_P5_BMS21_INV_200	18/07/1992 - 15:00 h	18	Paranaguá – PR
DET_P5_BMS21_INV_PC	18/07/1992 - 15:00 h	15	Paranaguá – PR

Os resultados das simulações determinísticas críticas são apresentados na forma de três figuras. Uma das figuras apresenta os contornos de espessura no instante do primeiro toque na linha de costa e a área varrida pela mancha ao longo dos 31 dias de simulação (ou ao longo de 30 dias). A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante o período de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha no instante de primeiro toque é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas.

A outra figura apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água) para as simulações determinísticas críticas.

Adicionalmente, são apresentadas figuras com as condições meteorológicas e oceanográficas atuantes nos cenários determinísticos críticos para o cenário que apresentou o menor tempo de toque na costa. Nestas, apresenta-se o campo de correntes apenas na região de influência das manchas de óleo.

### **III.2.1 Simulações Determinísticas – Volume Pequeno**

As Figuras III-55 a III-74 apresentam-se os resultados determinísticos críticos de verão e inverno para os derrames com volume pequeno ( $8 \text{ m}^3$ ). Analisando os gráficos de balanço de massa destas simulações, observa-se que a evaporação é o principal processo que atua na redução da massa de óleo na água.

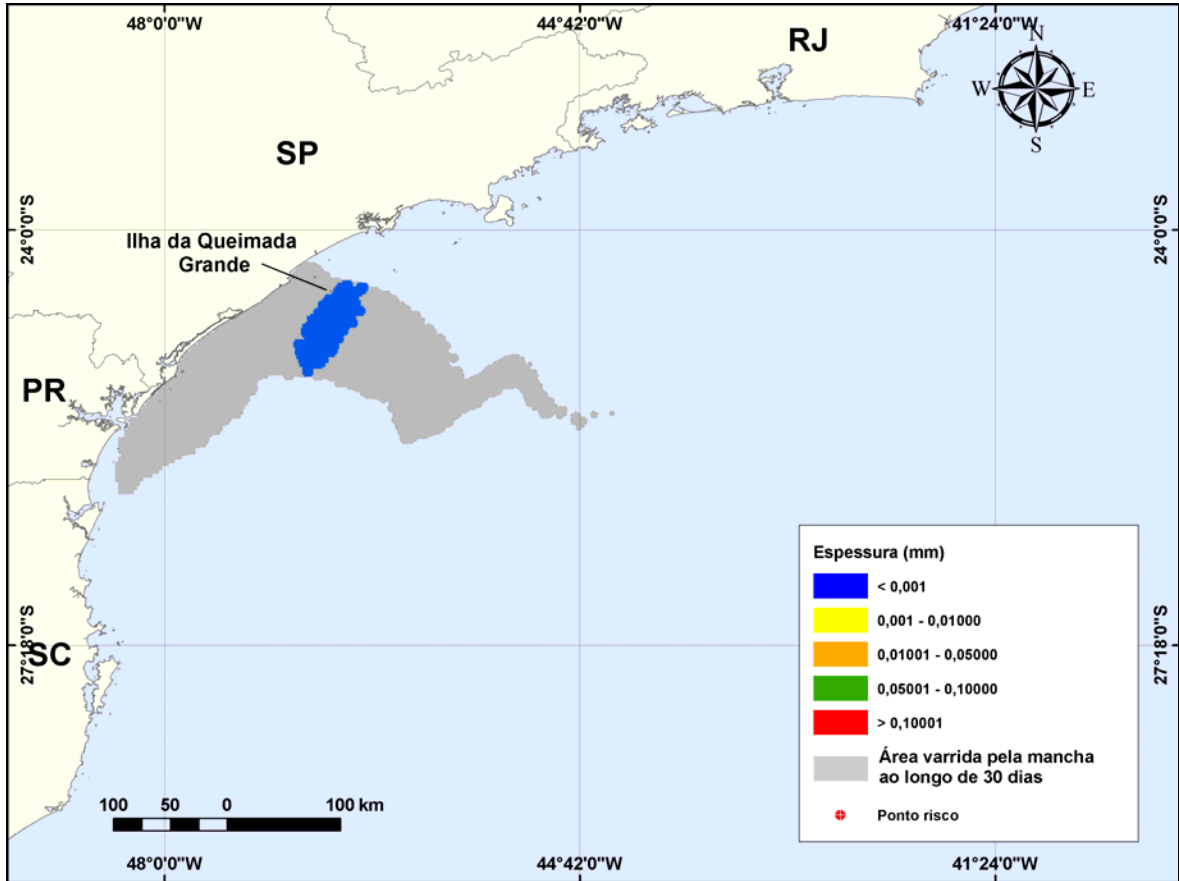


Figura III-55 - DET\_P1\_BMS8\_VER\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

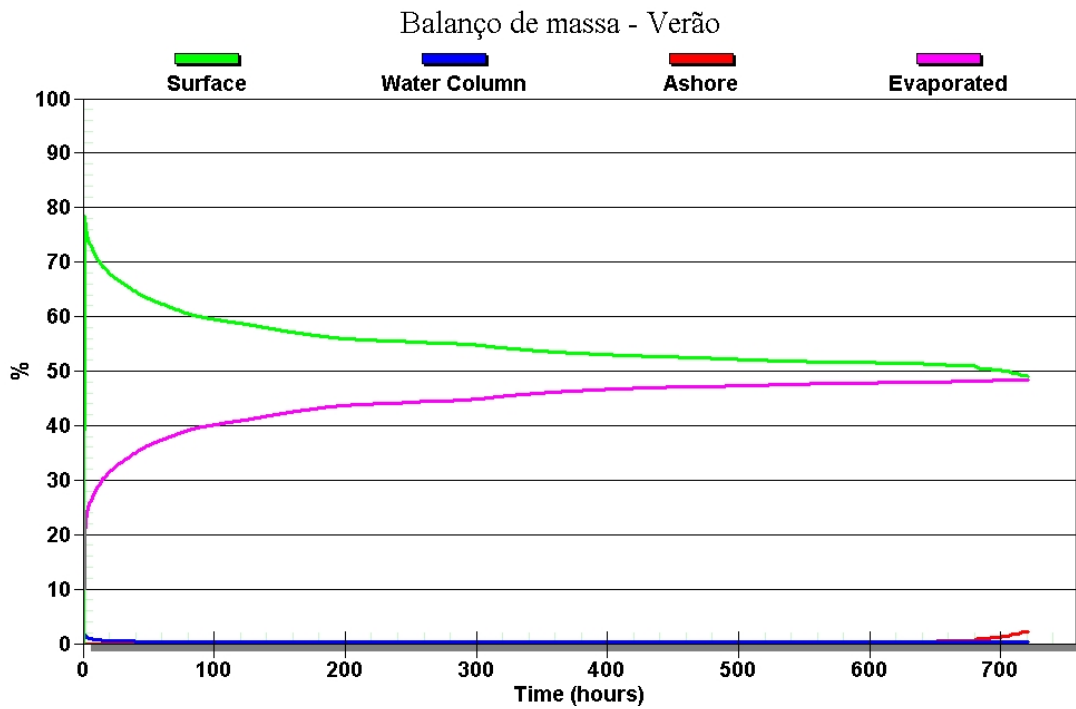
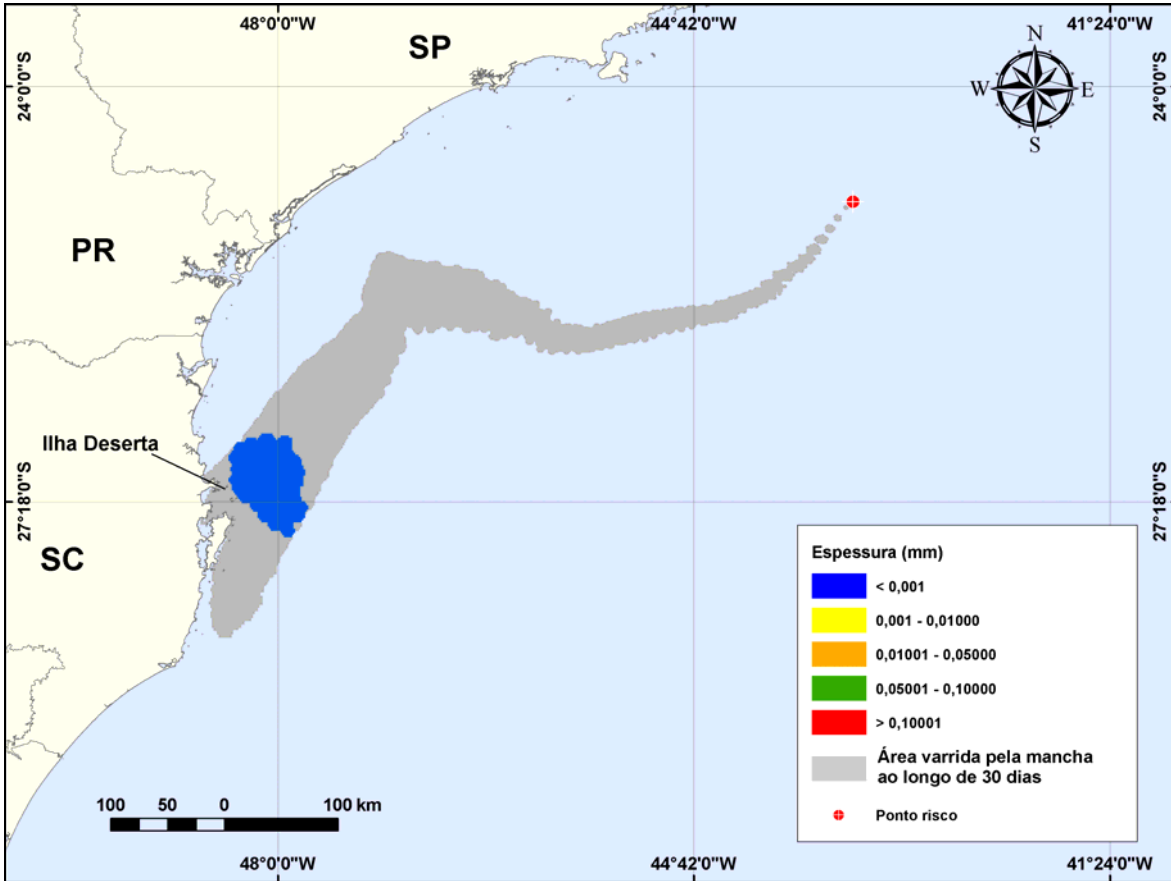
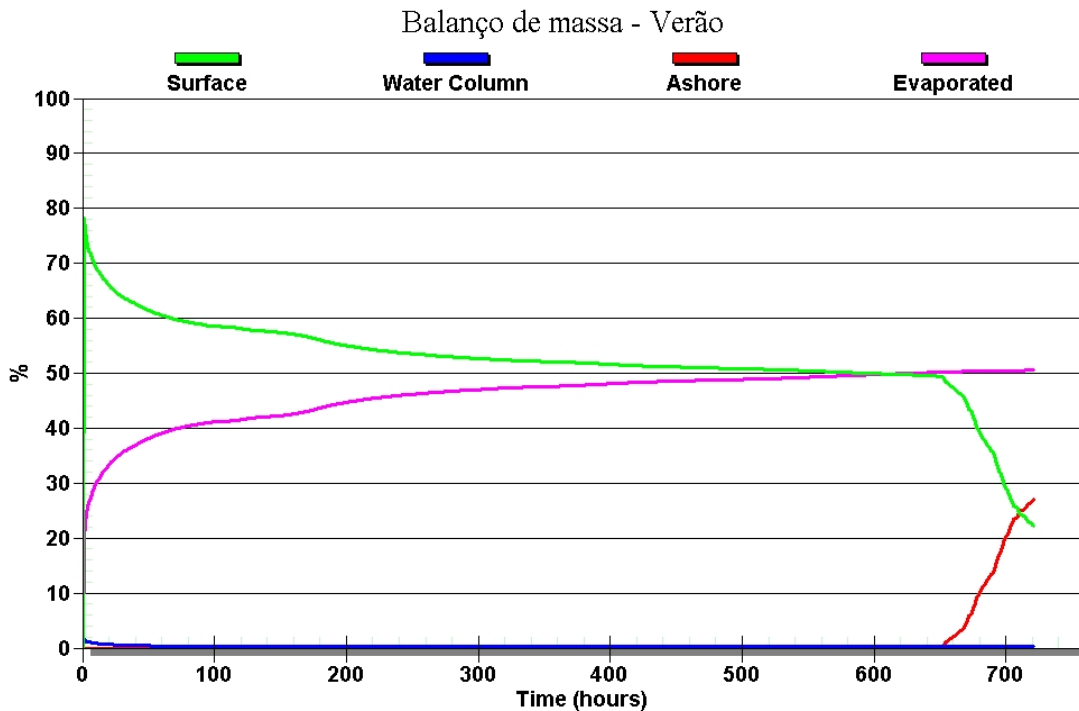


Figura III-56 - Balanço de massa do cenário DET\_P1\_BMS8\_VER\_8.



**Figura III-57 - DET\_P2\_BMS10\_VER\_8.** Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.



**Figura III-58 - Balanço de massa do cenário DET\_P2\_BMS10\_VER\_8.**

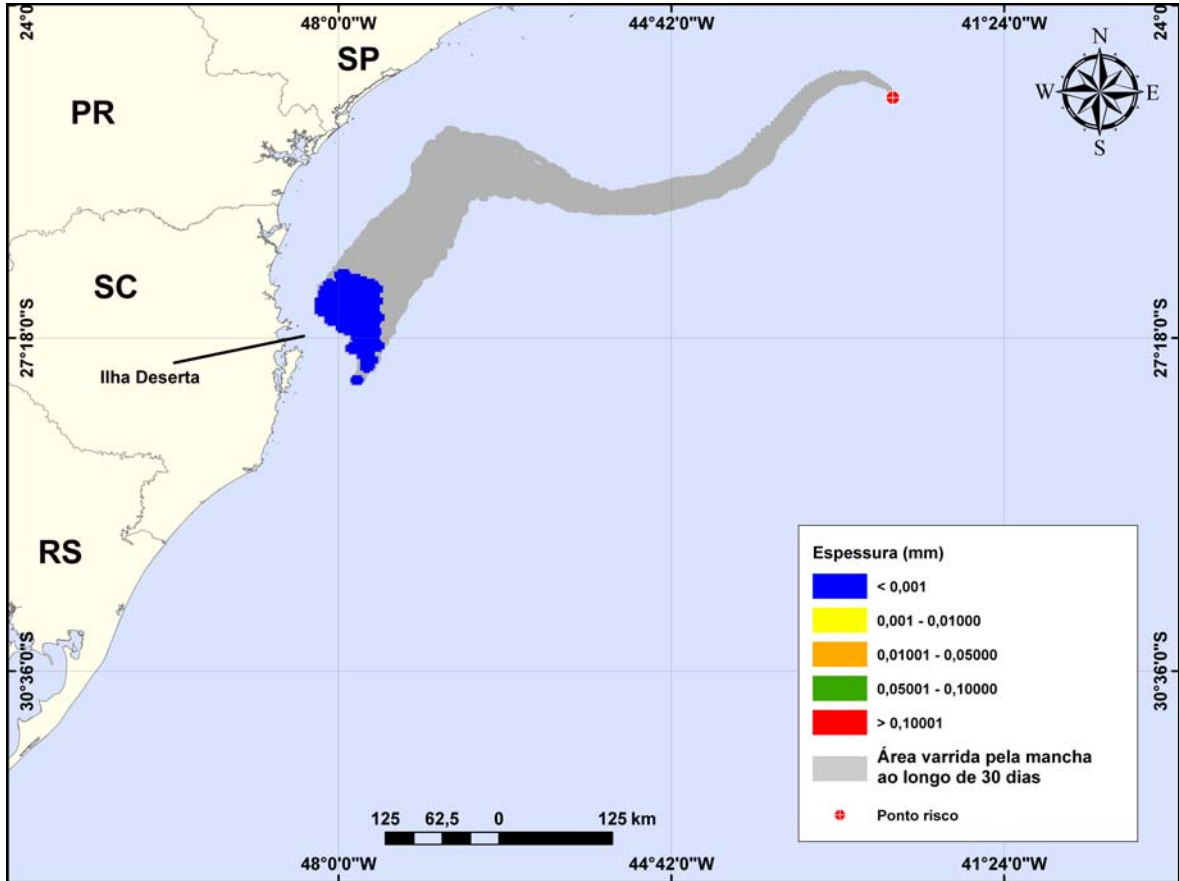


Figura III-59 - DET\_P3\_BMS11\_VER\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

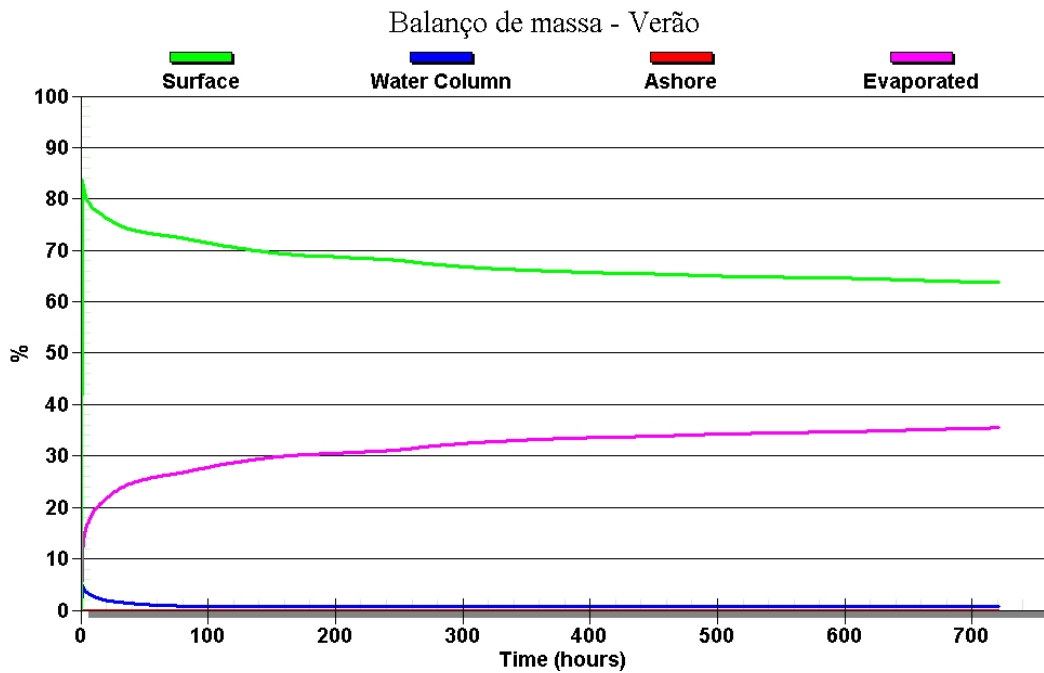


Figura III-60 - Balanço de massa do cenário DET\_P3\_BMS11\_VER\_8.

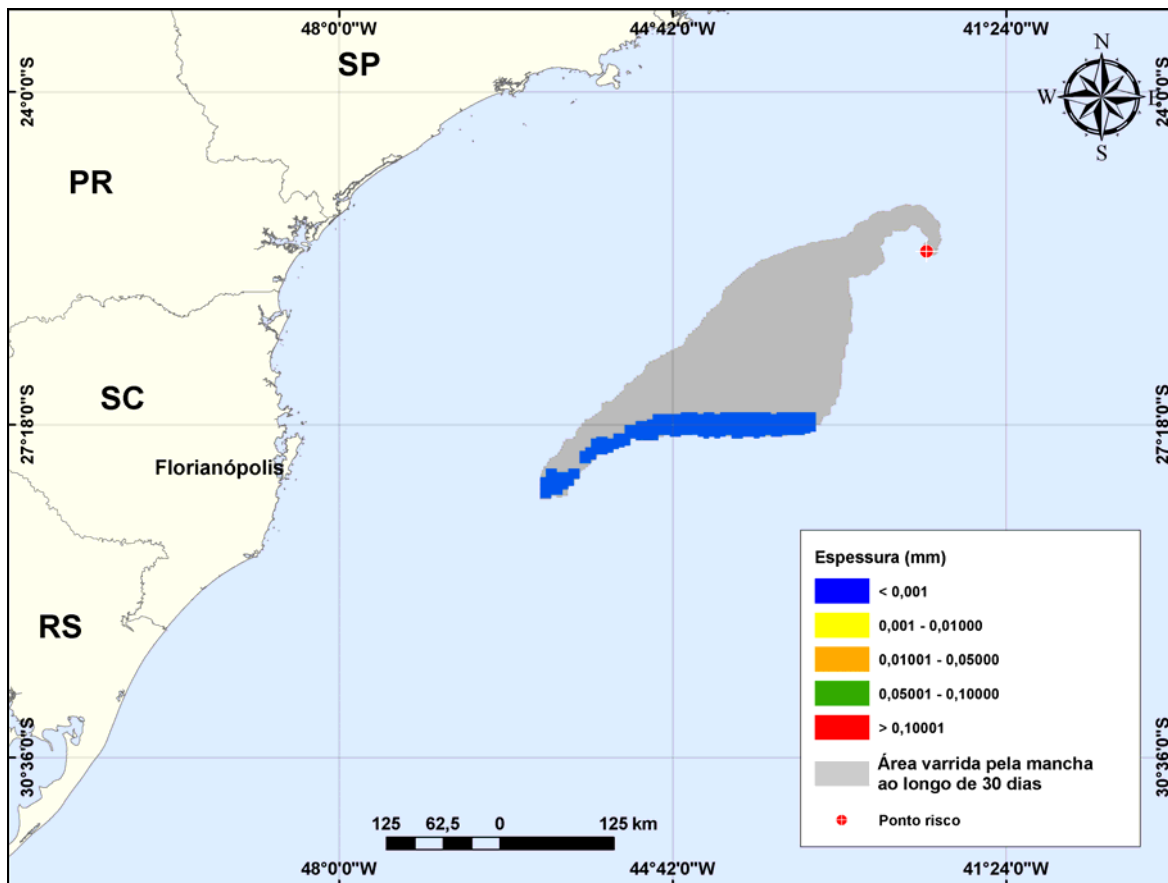


Figura III-61 - DET\_P4\_BMS24\_VER\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

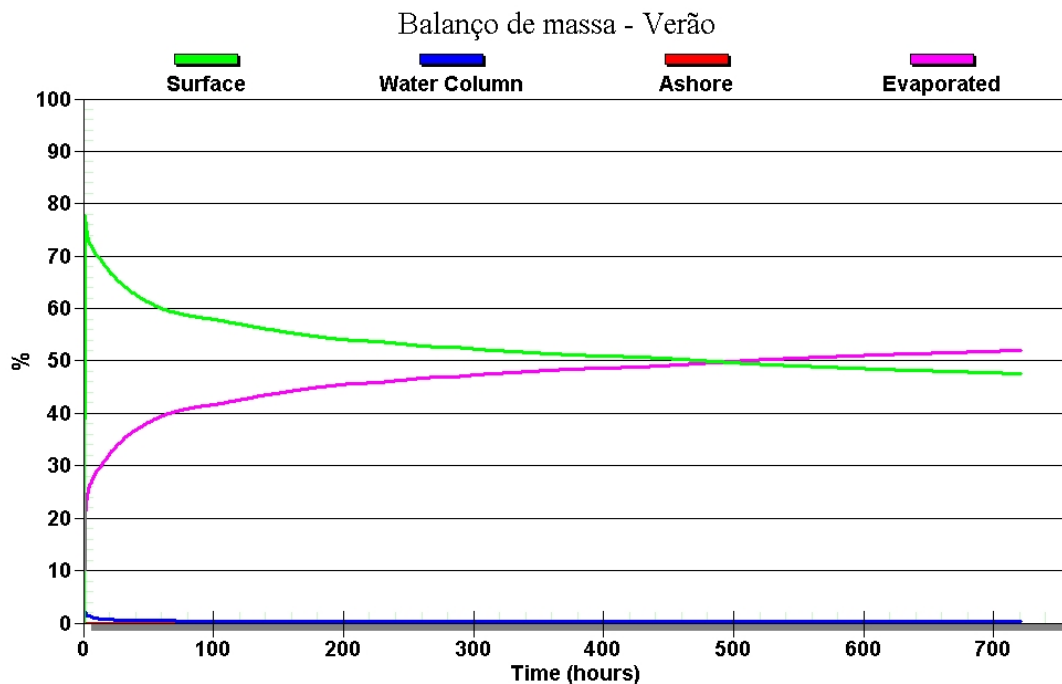


Figura III-62 - Balanço de massa do cenário DET\_P4\_BMS24\_VER\_8.

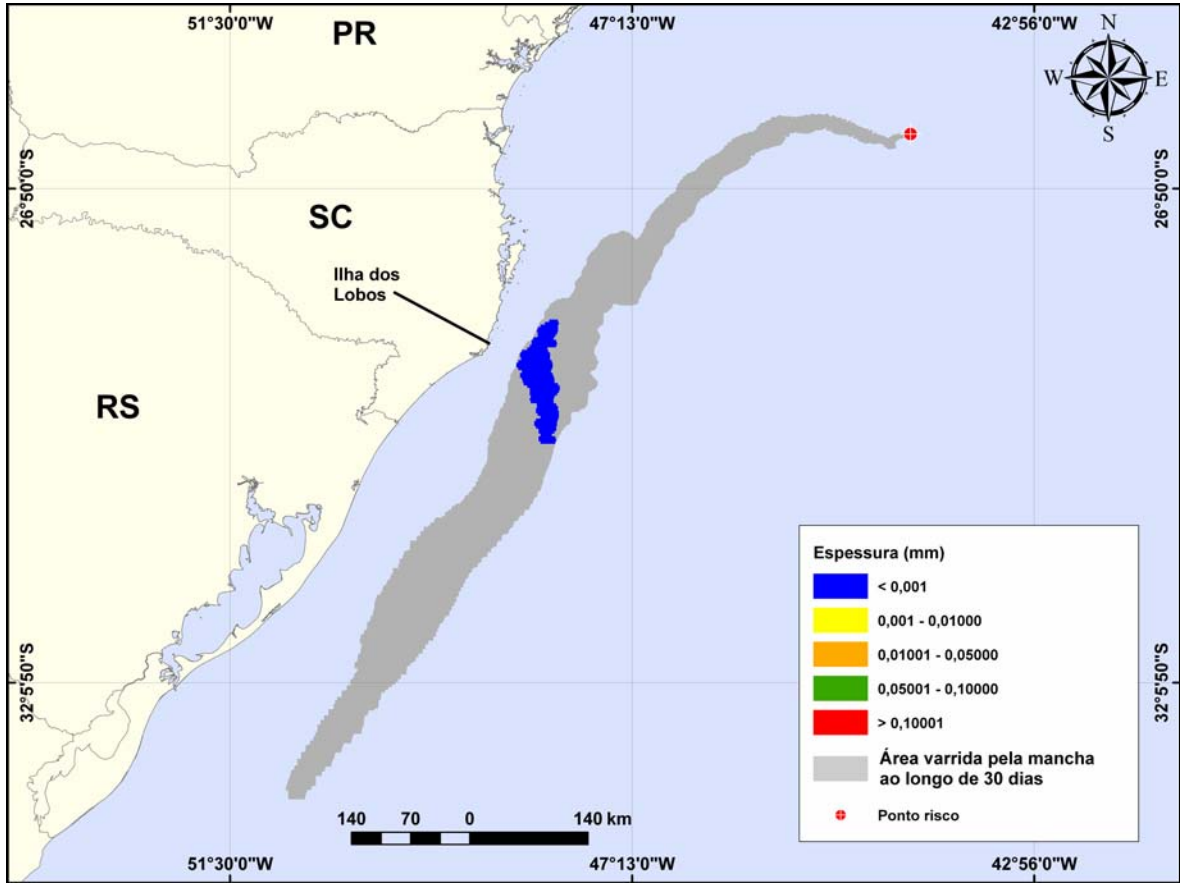


Figura III-63 - DET\_P5\_BMS21\_VER\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

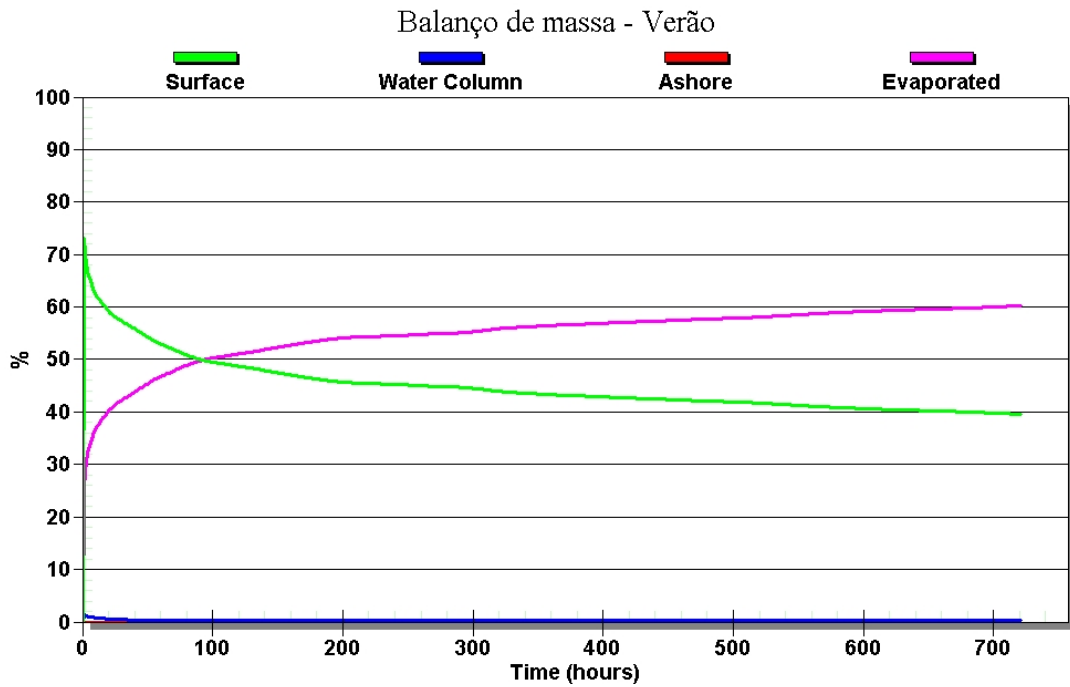
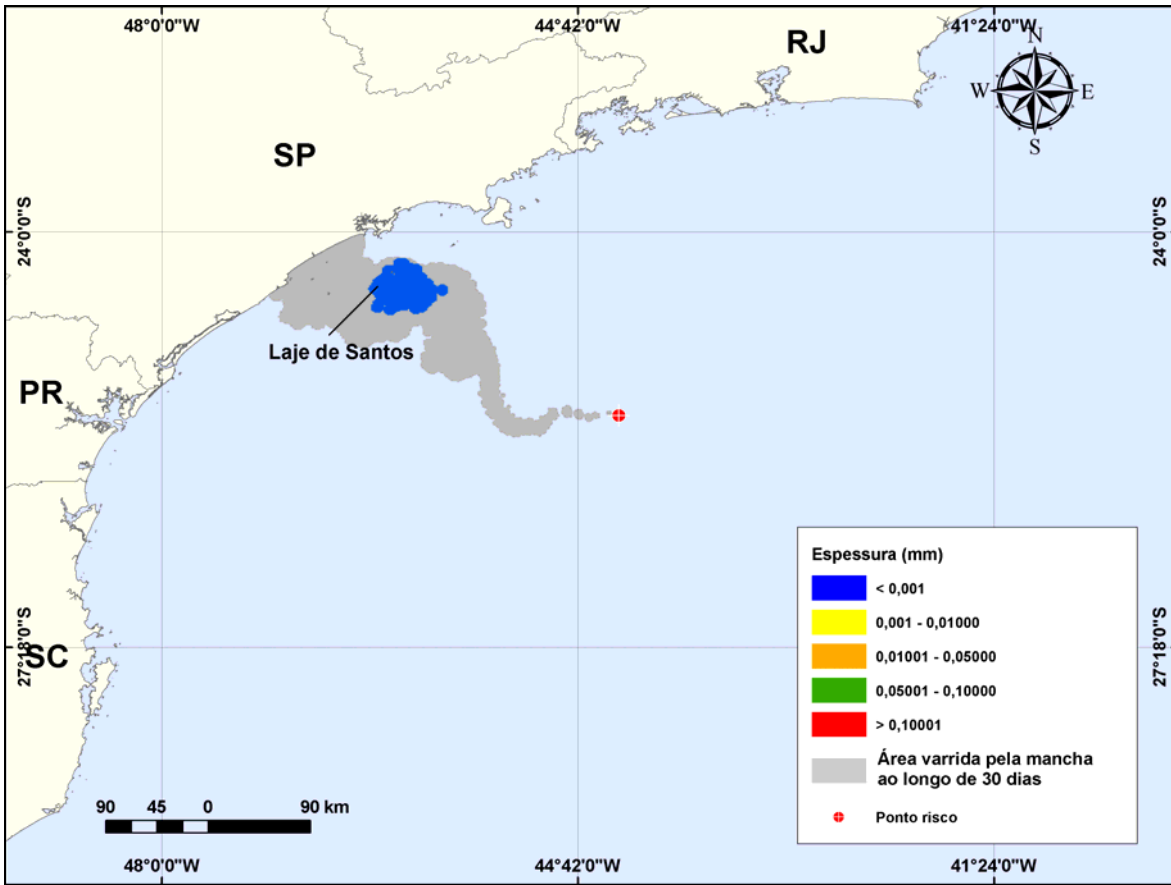
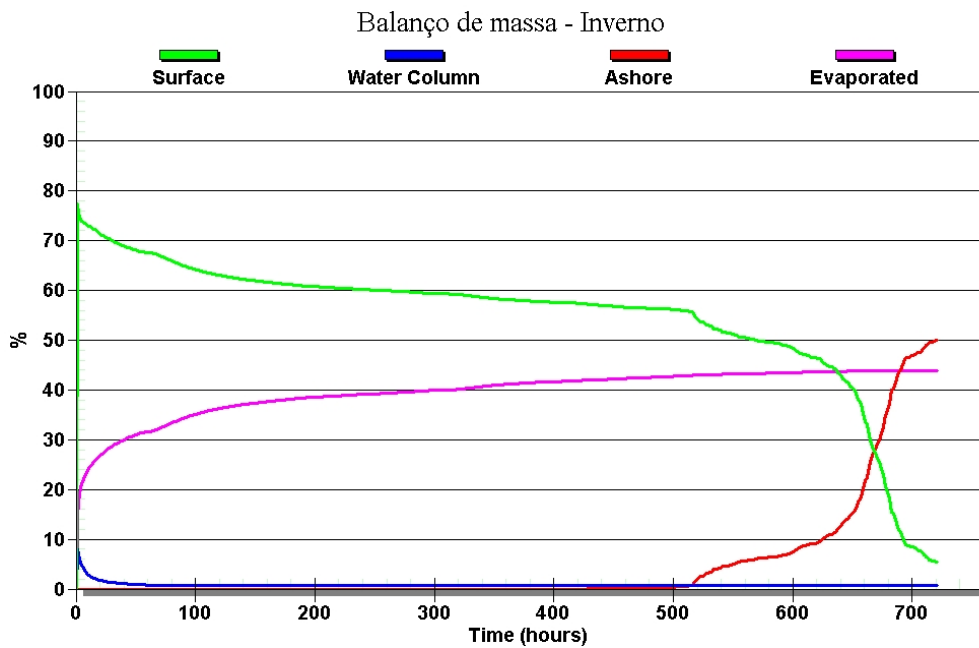


Figura III-64 - Balanço de massa do cenário DET\_P5\_BMS21\_VER\_8.



**Figura III-65 - DET\_P1\_BMS8\_INV\_8.** Cenário determinístico crítico para um derrame de  $8,0 \text{ m}^3$  (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.



**Figura III-66 - Balanço de massa do cenário DET\_P1\_BMS8\_INV\_8.**



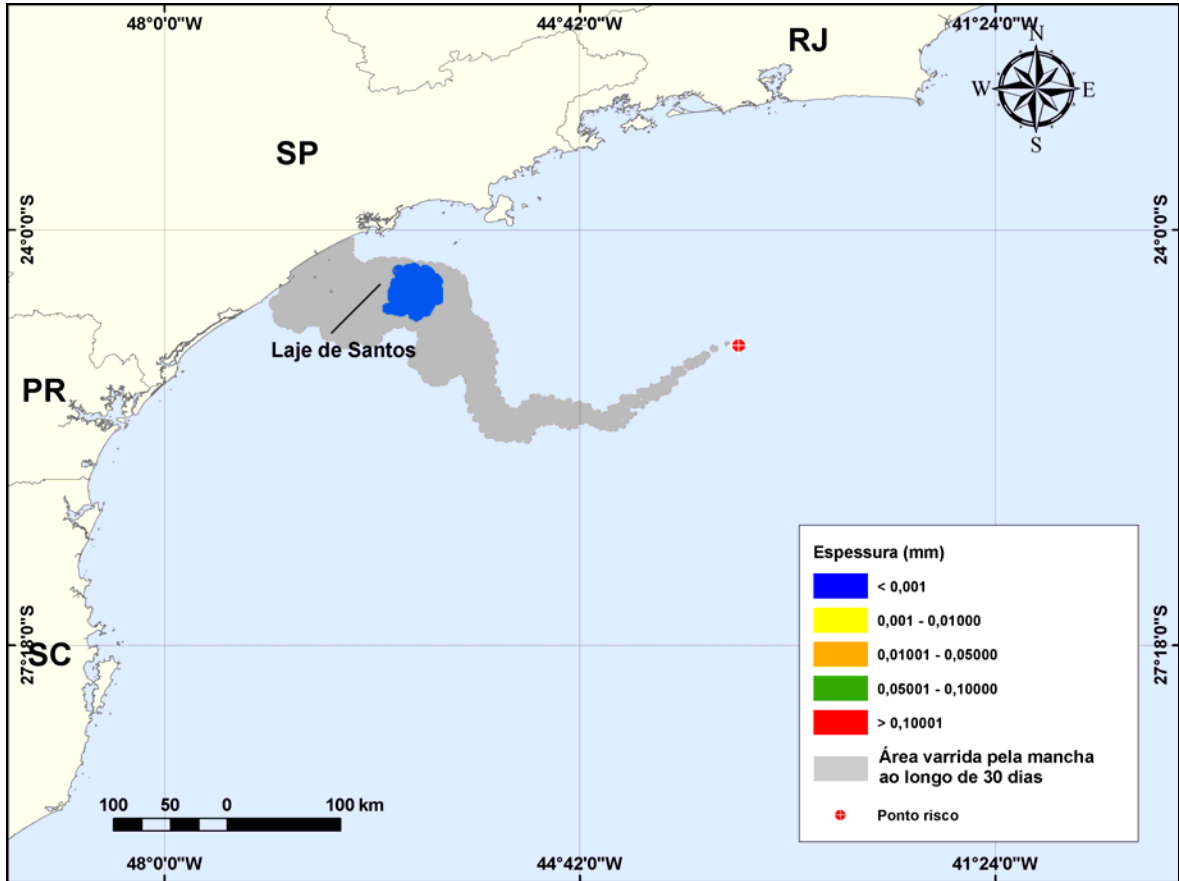


Figura III-67 - DET\_P2\_BMS10\_INV\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

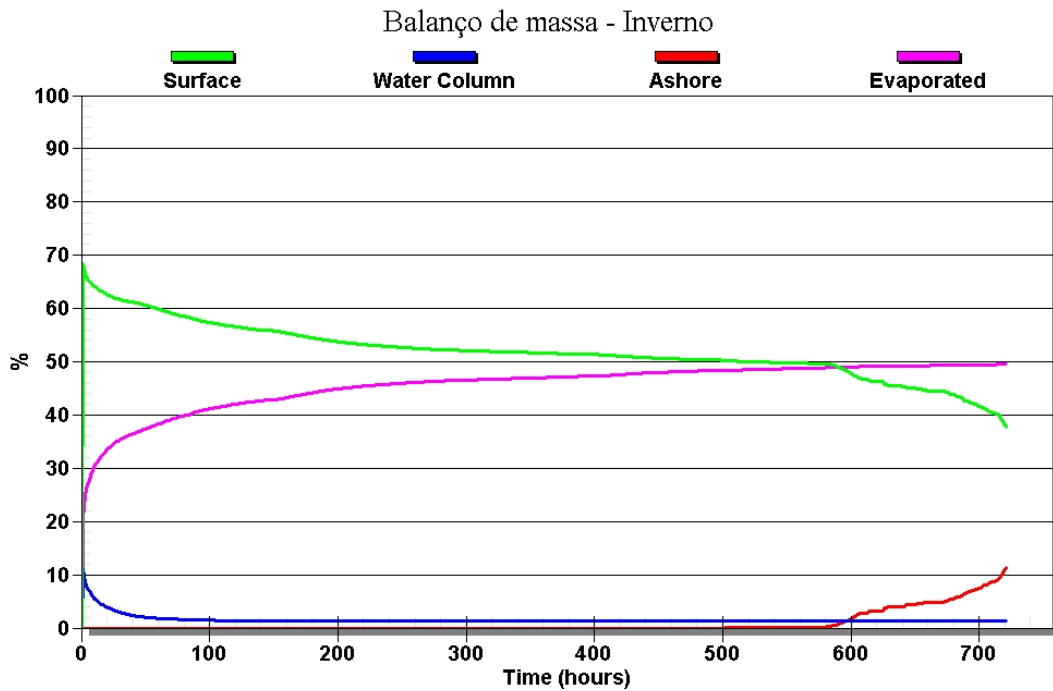


Figura III-68 - Balanço de massa do cenário DET\_P2\_BMS10\_INV\_8.

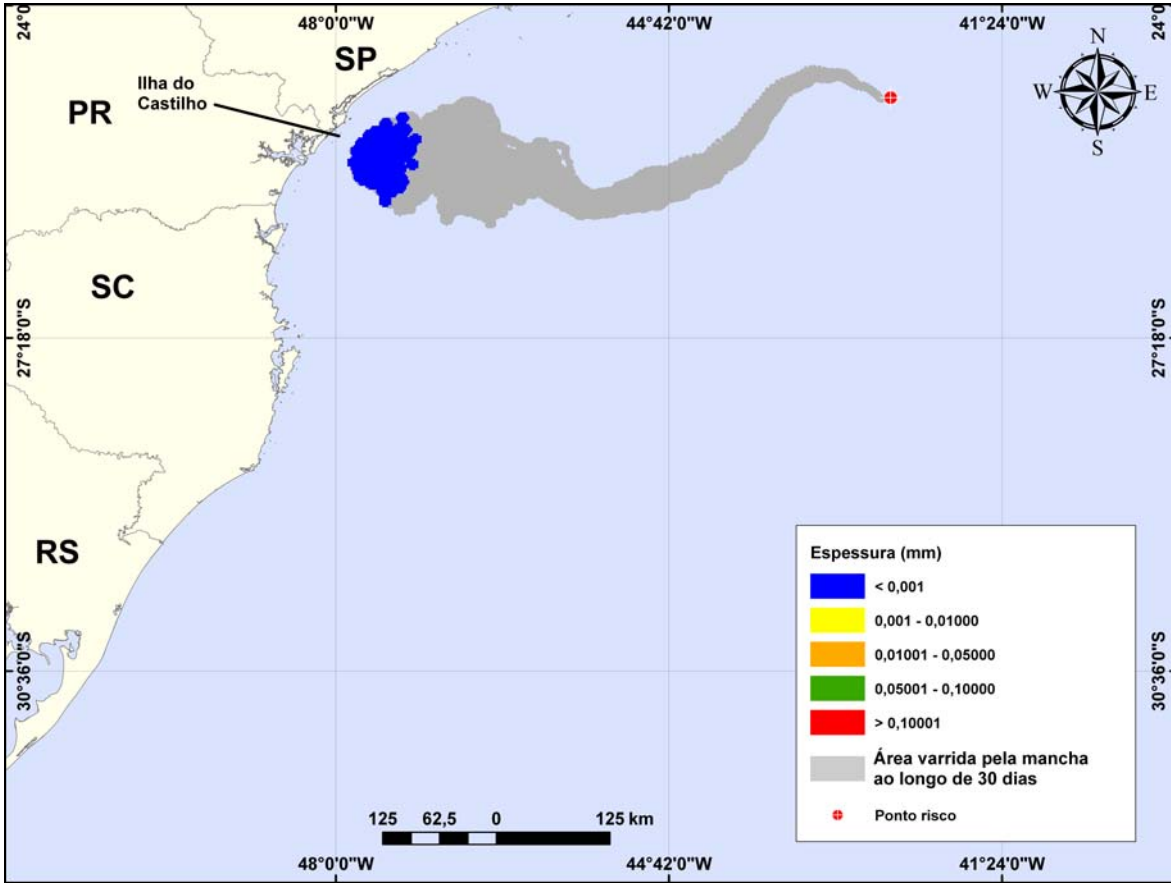


Figura III-69 - DET\_P3\_BMS11\_INV\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

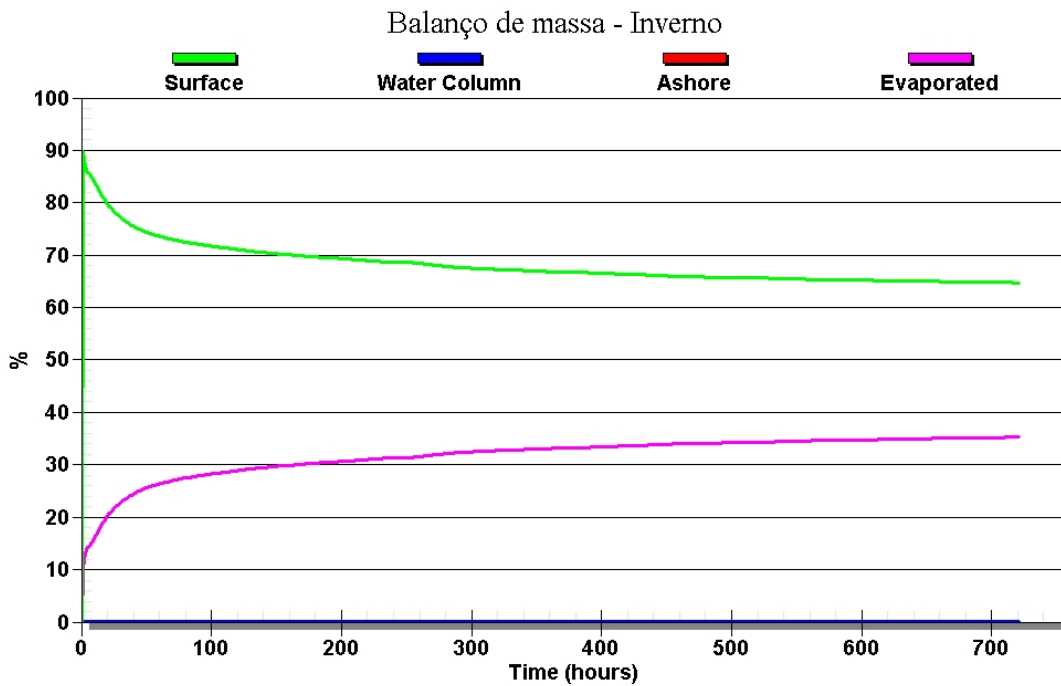


Figura III-70 - Balanço de massa do cenário DET\_P3\_BMS11\_INV\_8.

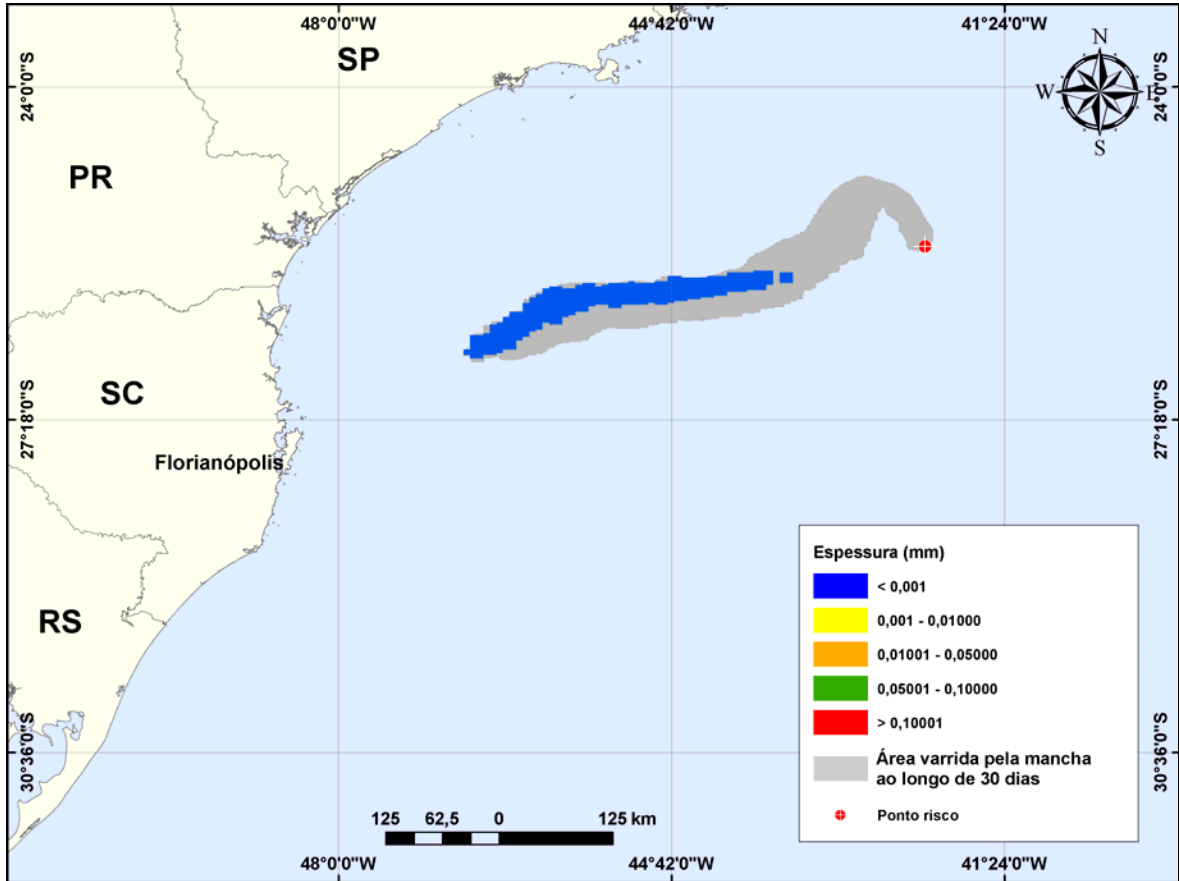


Figura III-71 - DET\_P4\_BMS24\_INV\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

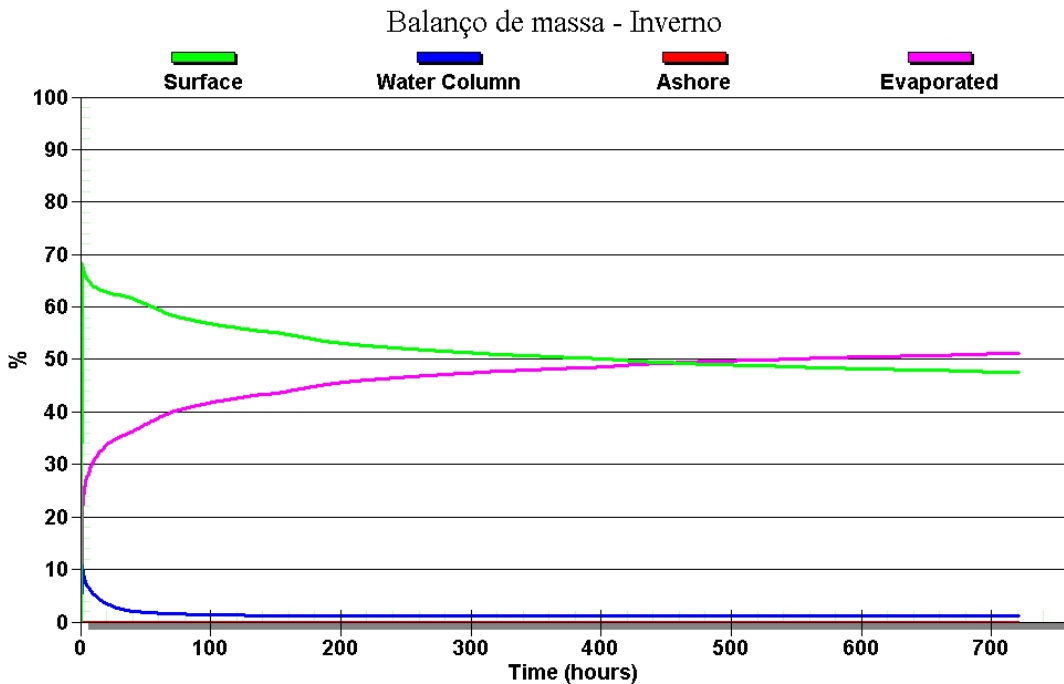


Figura III-72 - Balanço de massa do cenário DET\_P4\_BMS24\_INV\_8.

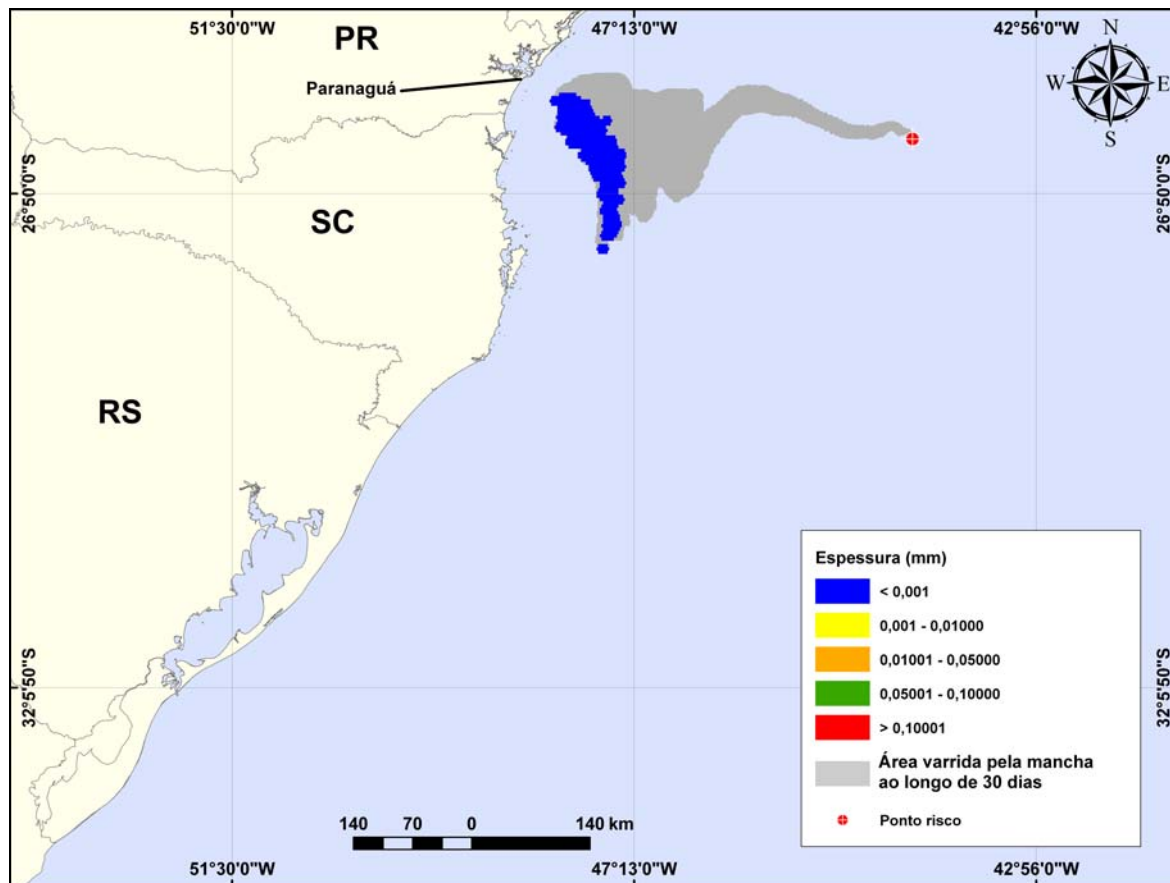


Figura III-73 - DET\_P5\_BMS21\_INV\_8. Cenário determinístico crítico para um derrame de 8,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

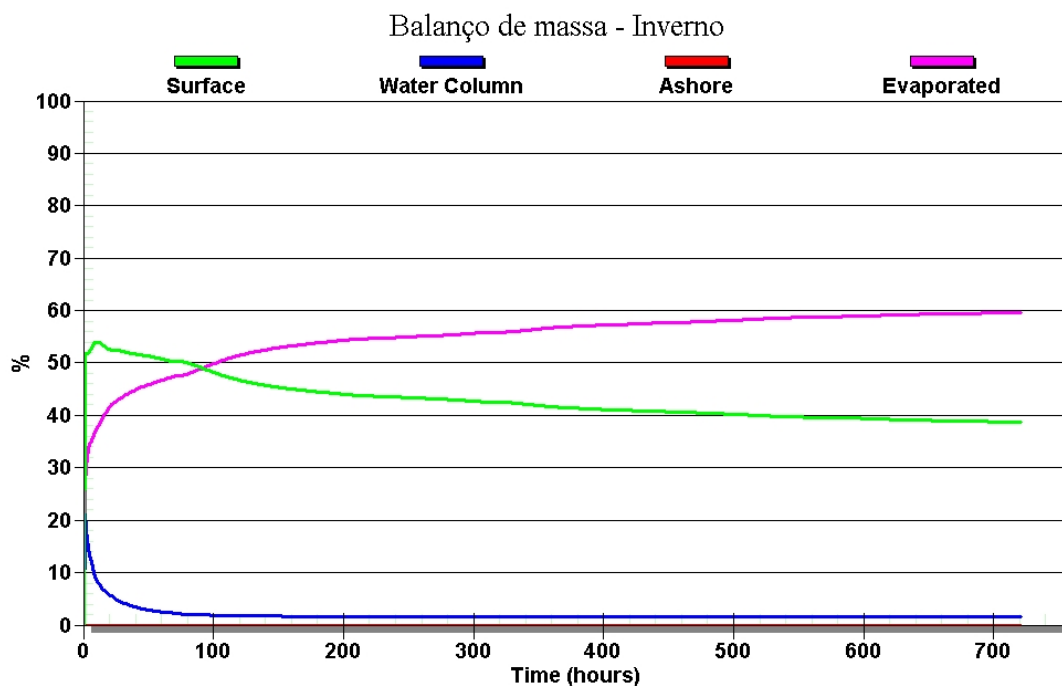


Figura III-74 - Balanço de massa do cenário DET\_P5\_BMS21\_INV\_8.

### III.2.2 Simulações Determinísticas – Volume Médio

As Figuras III-75 a III-94 apresentam-se os resultados determinísticos críticos de verão e inverno para os derrames com volume médio ( $200 \text{ m}^3$ ). Analisando os gráficos de balanço de massa destas simulações, observa-se que a evaporação é o principal processo que atua na redução da massa de óleo na água.

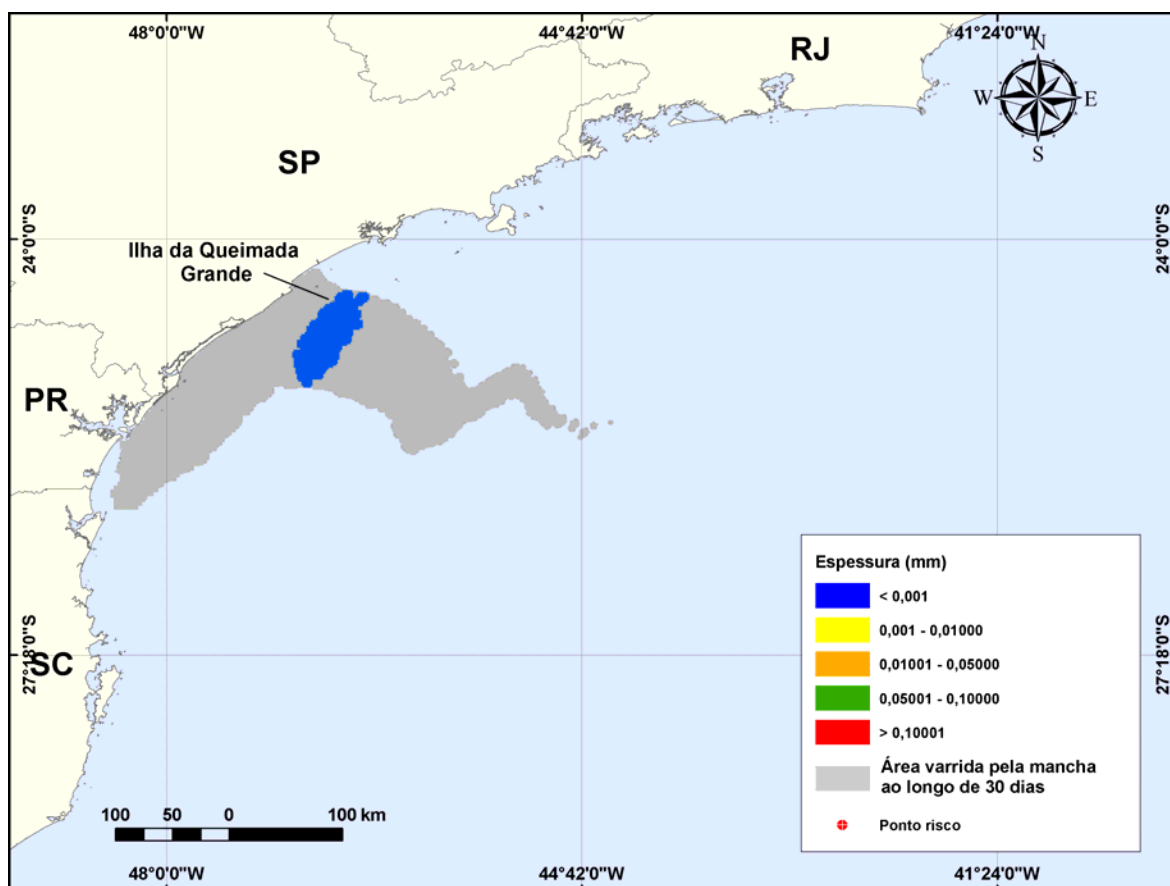


Figura III-75 - DET\_P1\_BMS8\_VER\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de  $200,0 \text{ m}^3$  (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

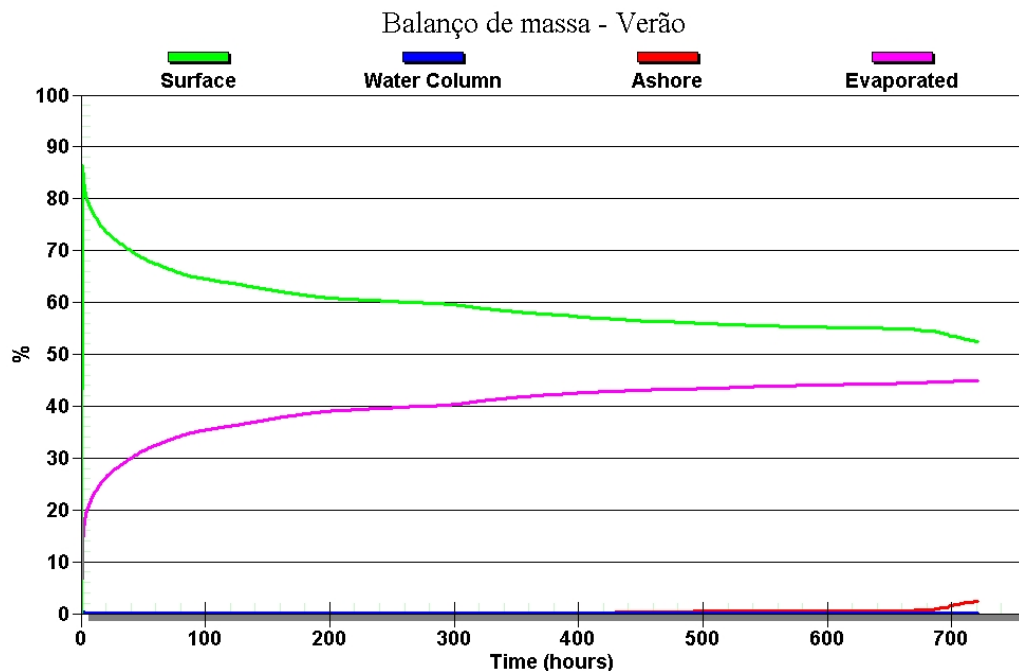


Figura III-76 - Balanço de massa do cenário DET\_P1\_BMS8\_VER\_200.

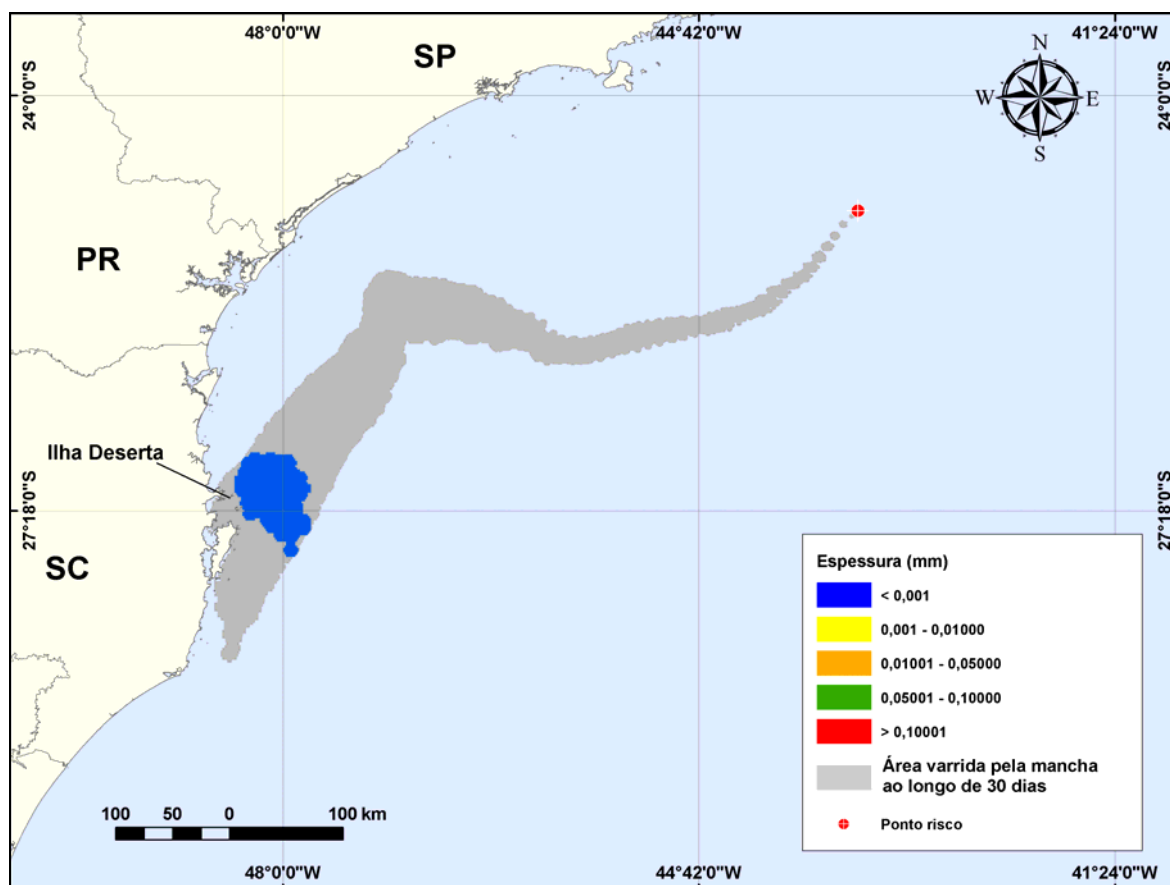


Figura III-77 - DET\_P2\_BMS10\_VER\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

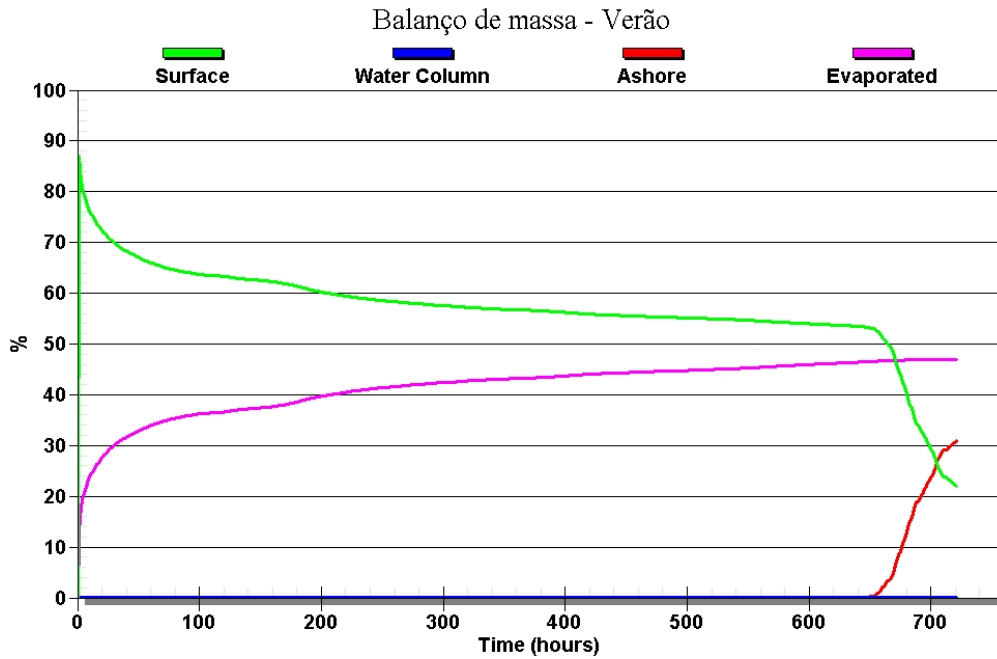


Figura III-78 - Balanço de massa do cenário DET\_P2\_BMS10\_VER\_200.

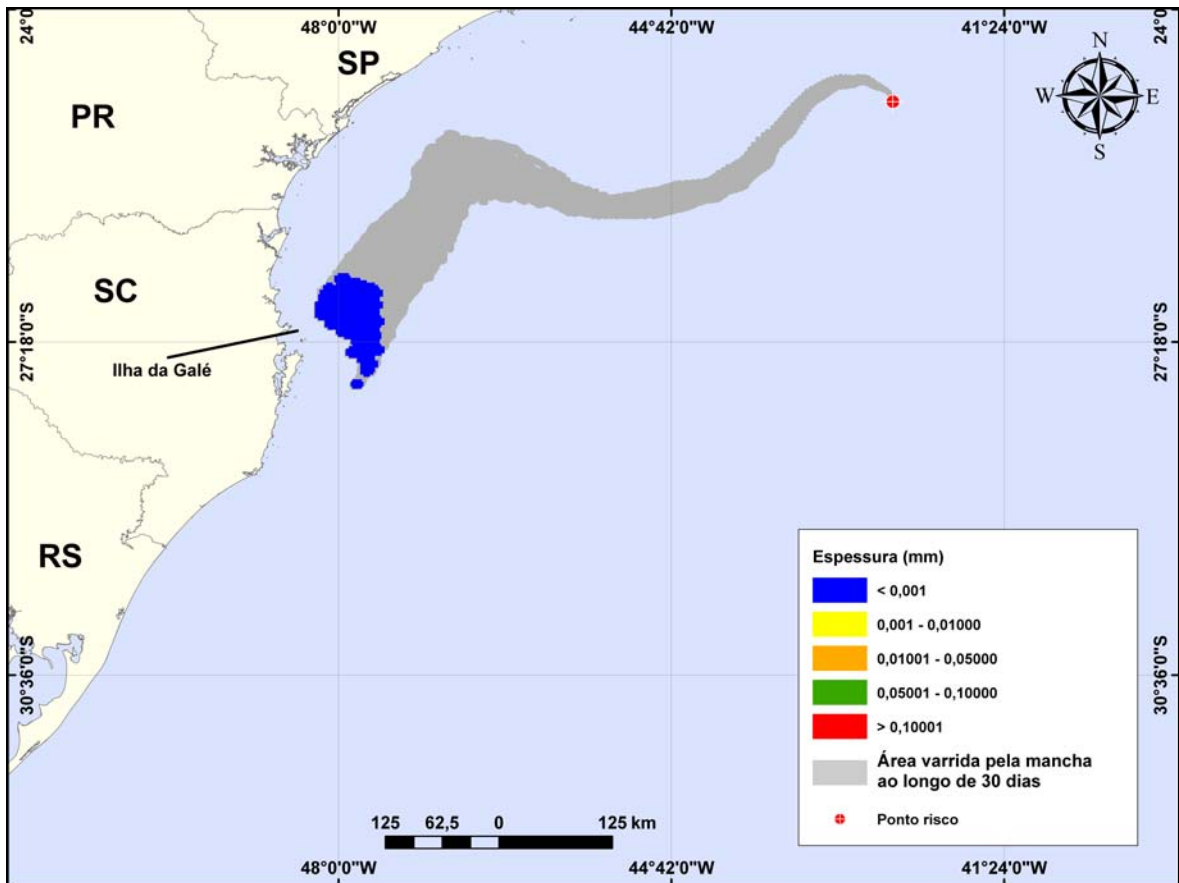


Figura III-79 - DET\_P3\_BMS11\_VER\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

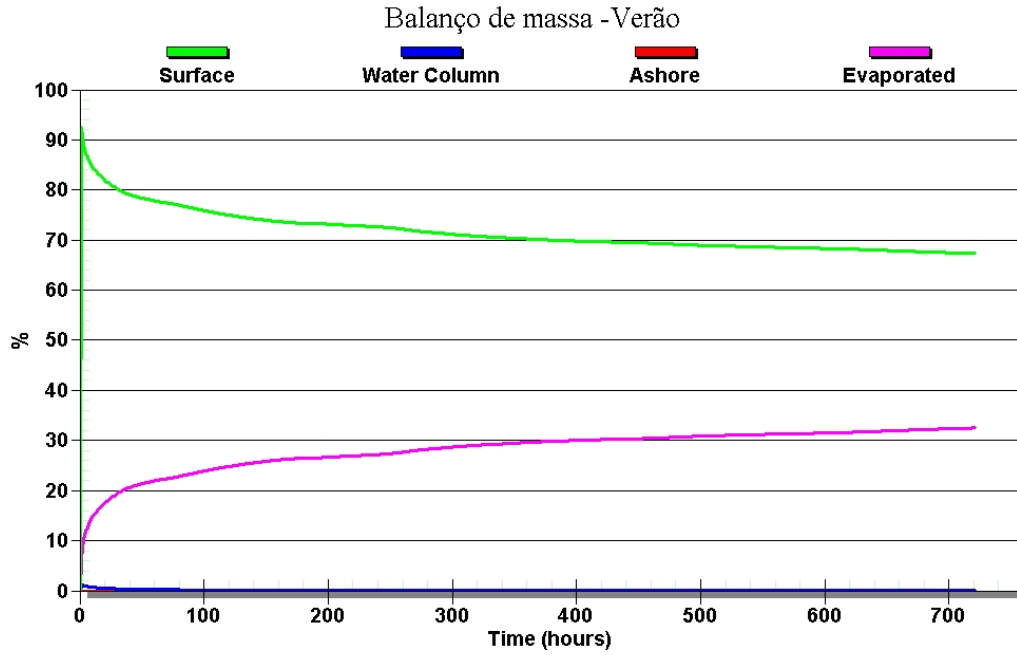


Figura III-80 - Balanço de massa do cenário DET\_P3\_BMS11\_VER\_200.

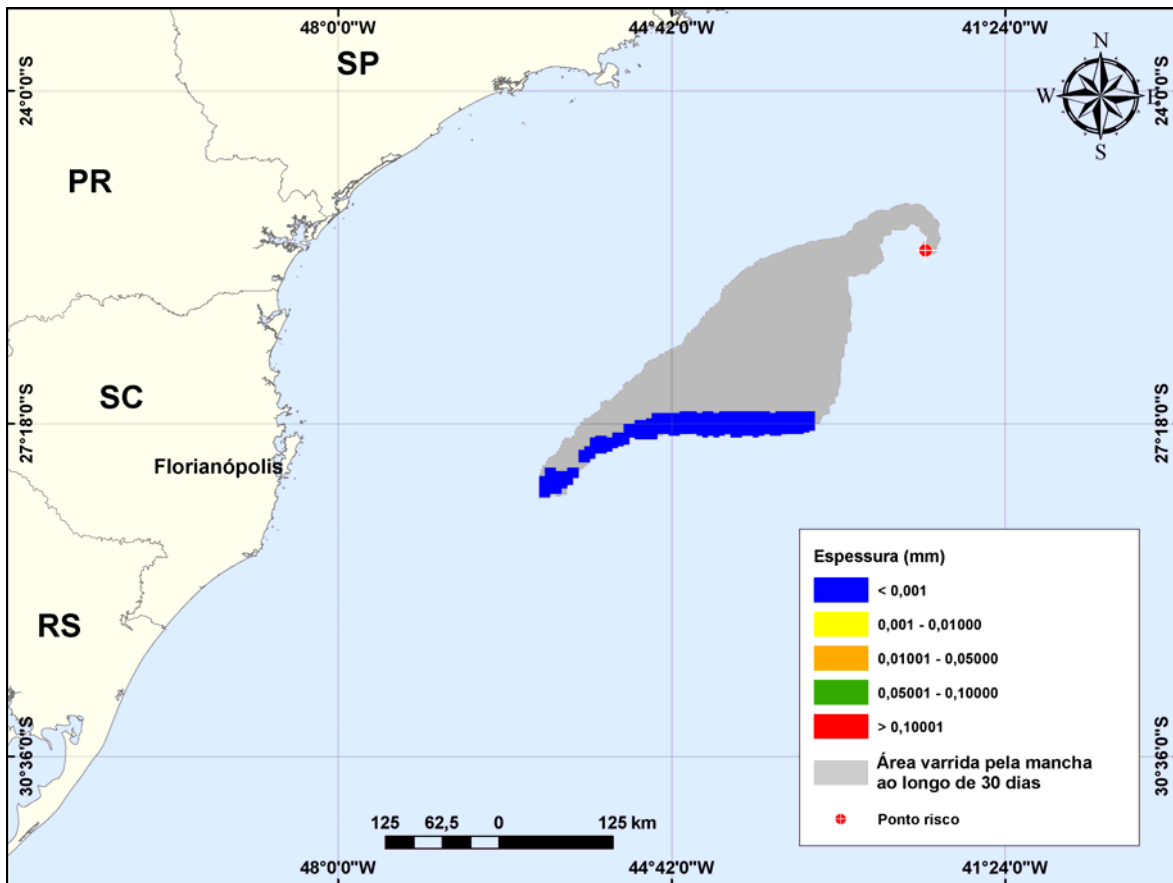


Figura III-81 - DET\_P4\_BMS24\_VER\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.



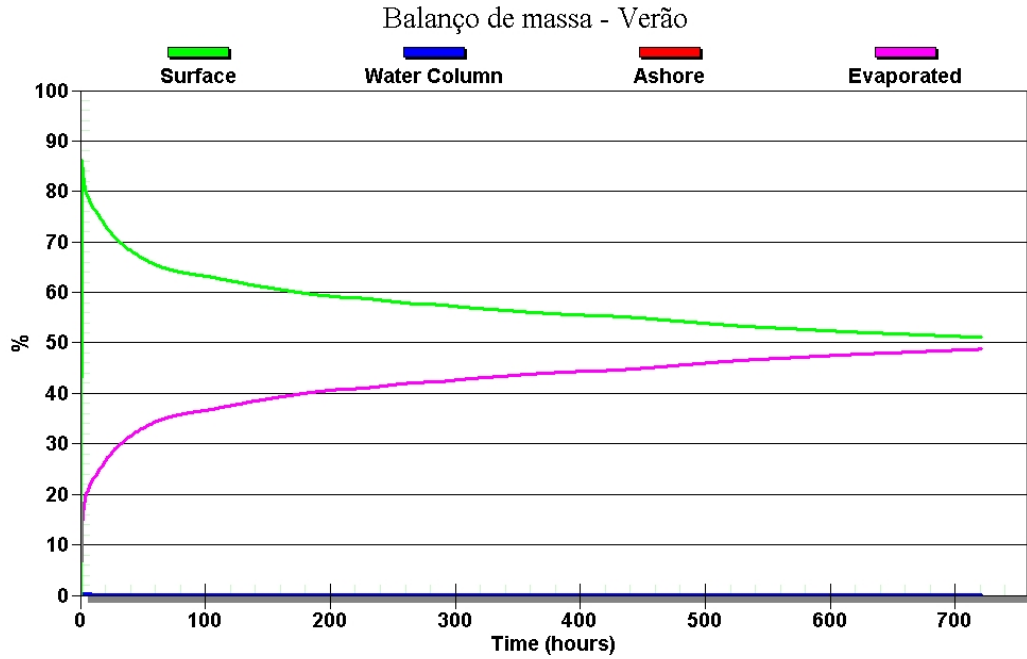


Figura III-82 - Balanço de massa do cenário DET\_P4\_BMS24\_VER\_200.

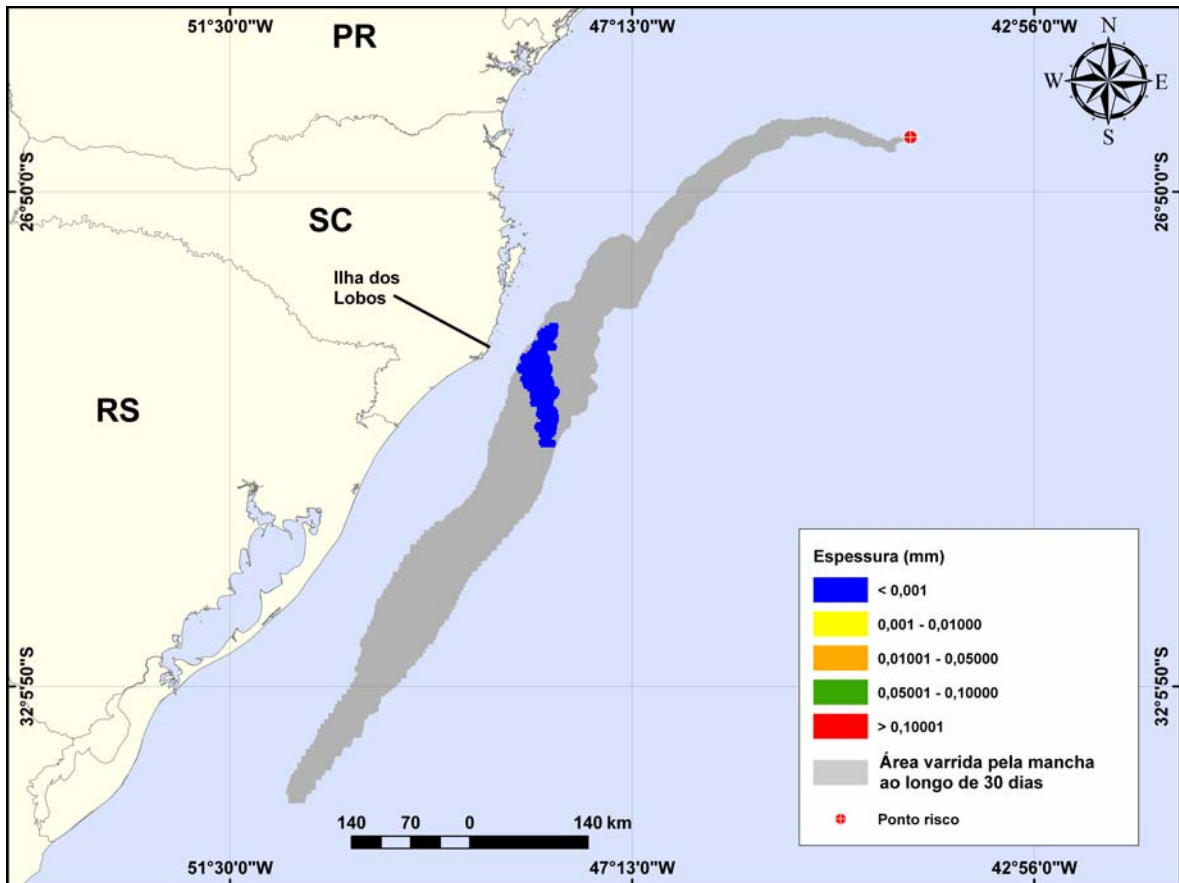


Figura III-83 - DET\_P5\_BMS21\_VER\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o verão.

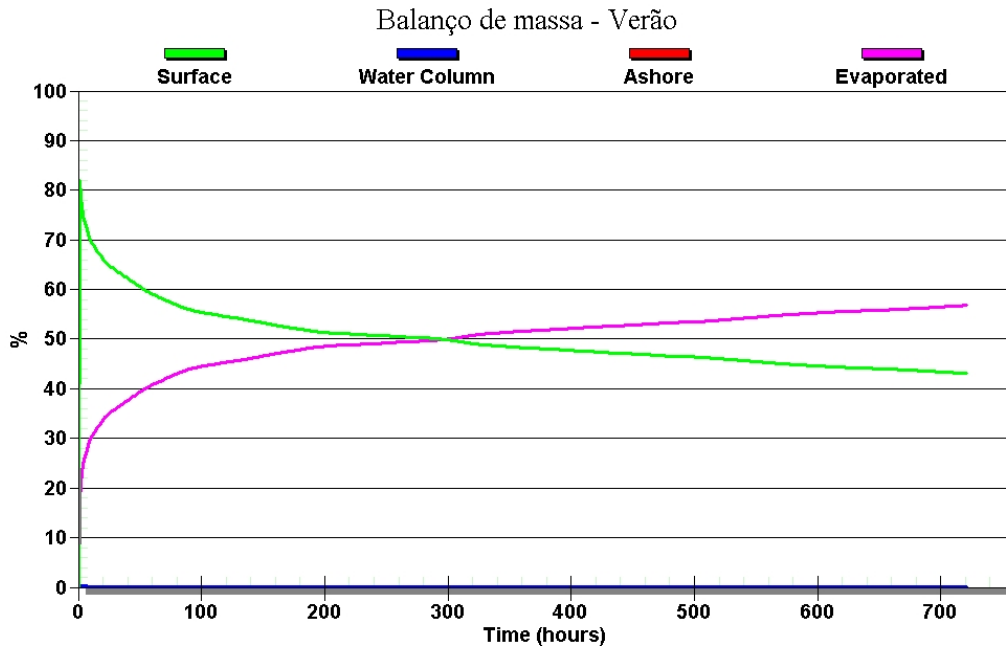


Figura III-84 - Balanço de massa do cenário DET\_P5\_BMS21\_VER\_200.

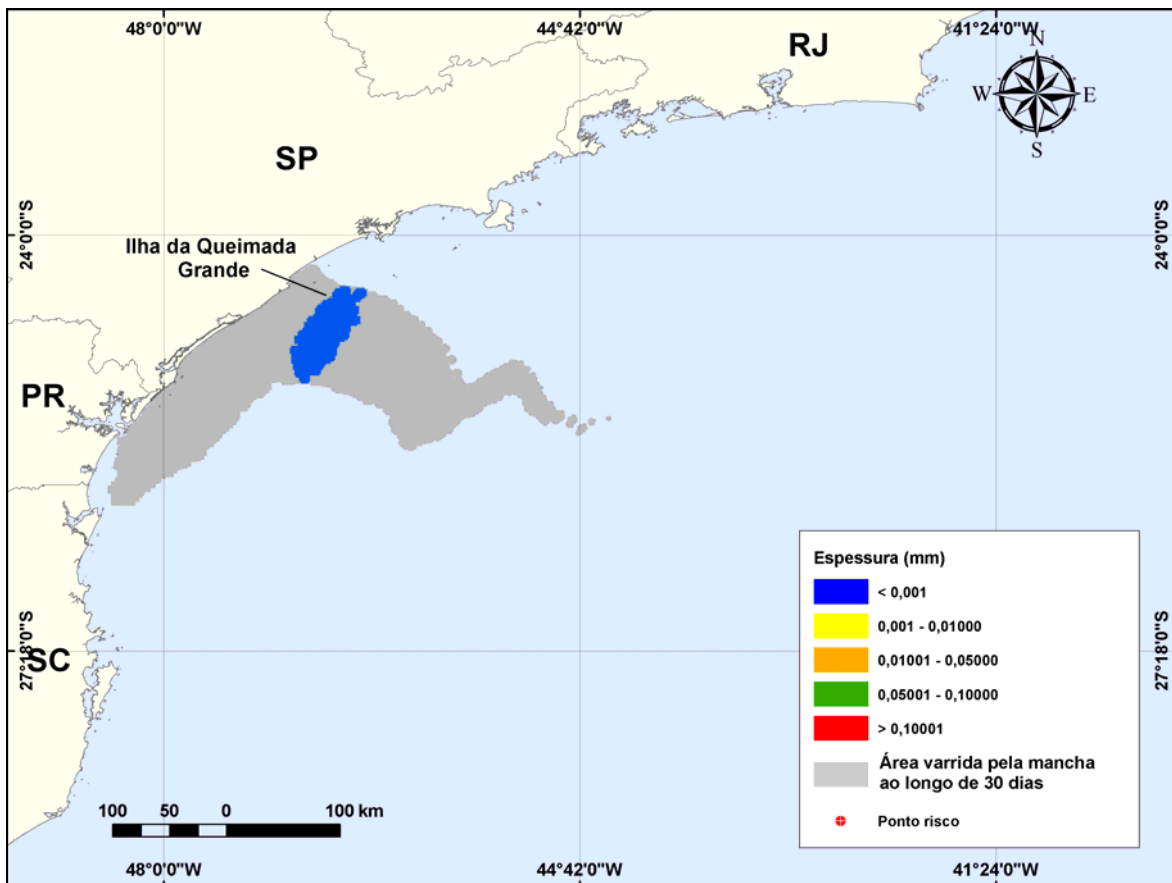


Figura III-85 - DET\_P1\_BMS8\_INV\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

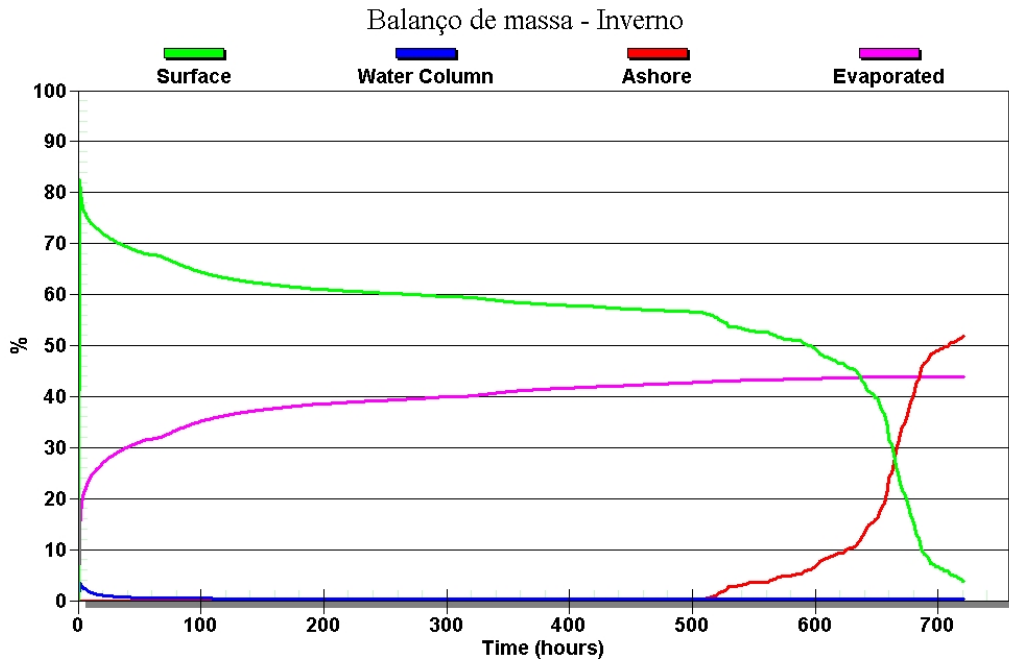


Figura III-86 - Balanço de massa do cenário DET\_P1\_BMS8\_INV\_200.

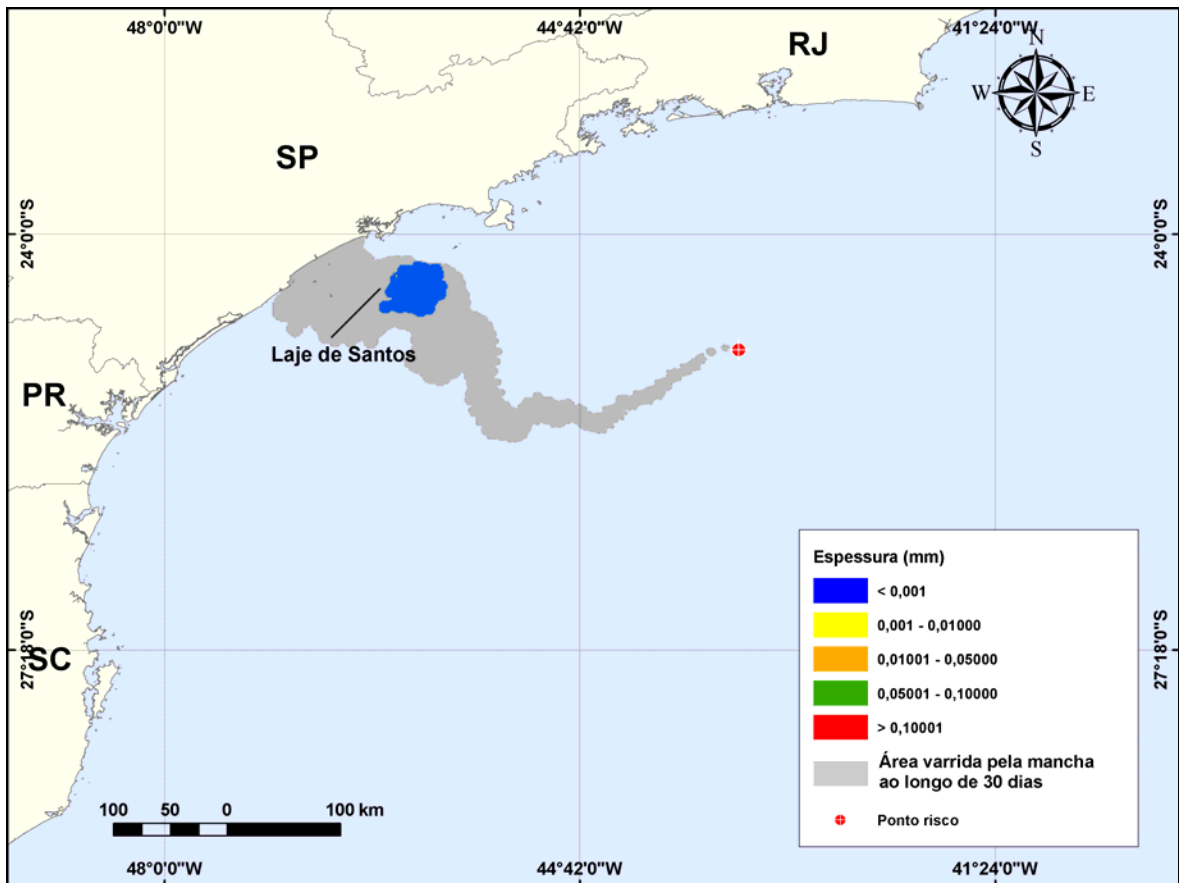


Figura III-87 - DET\_P2\_BMS10\_INV\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

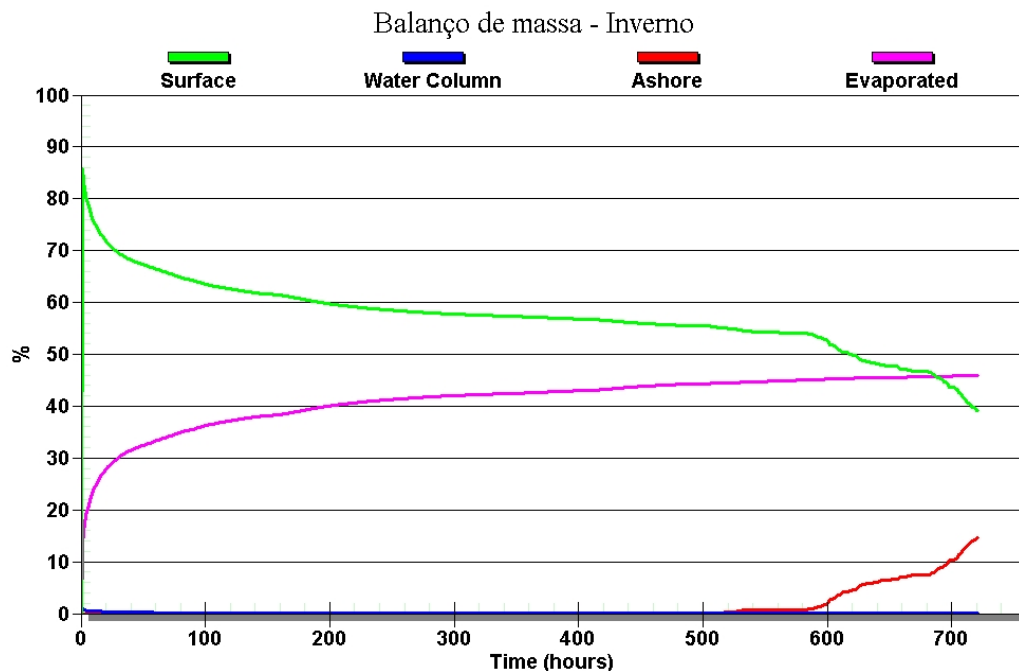


Figura III-88 - Balanço de massa do cenário DET\_P2\_BMS10\_INV\_200.

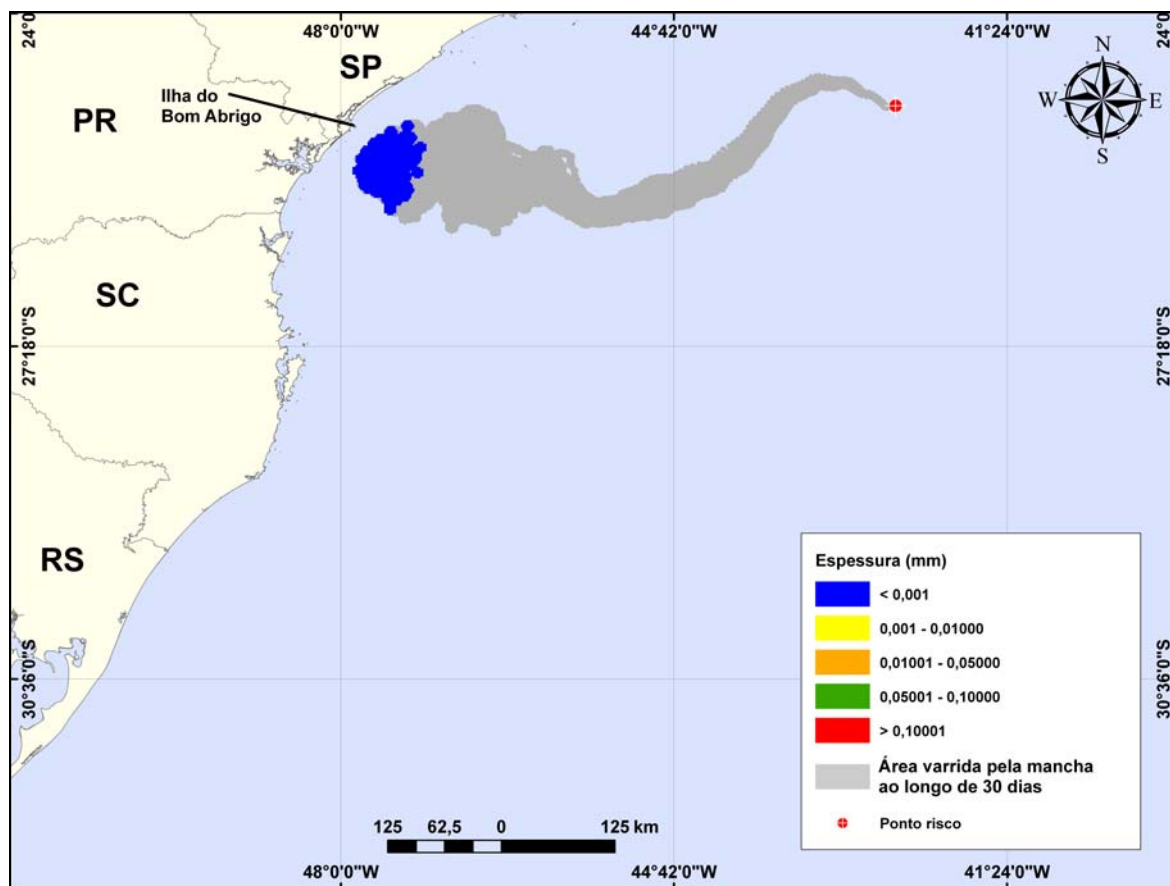


Figura III-89 - DET\_P3\_BMS11\_INV\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

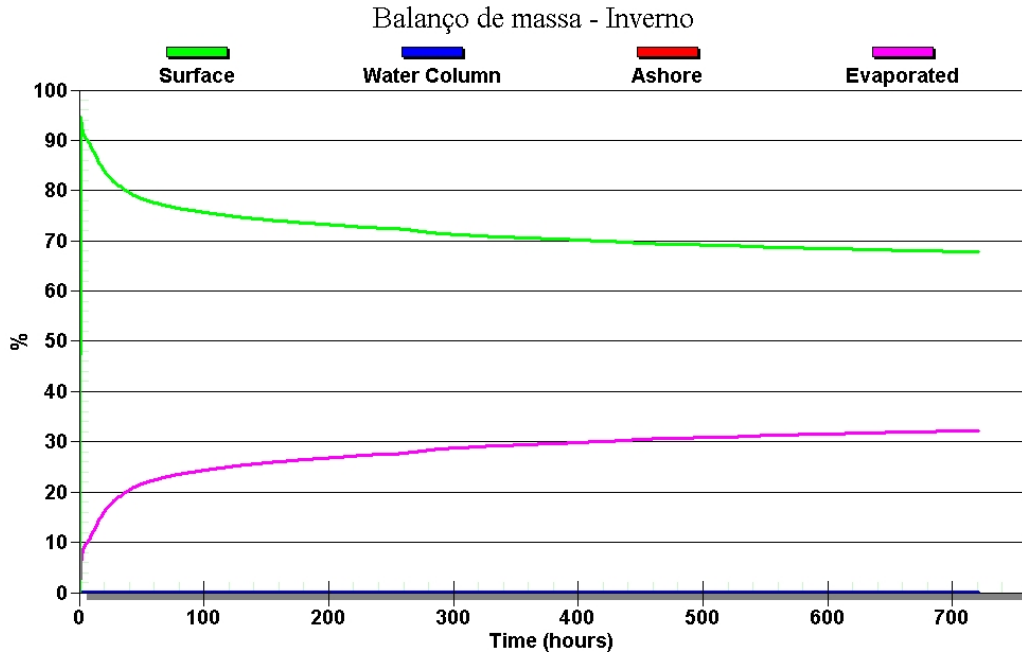


Figura III-90 - Balanço de massa do cenário DET\_P3\_BMS11\_INV\_200.

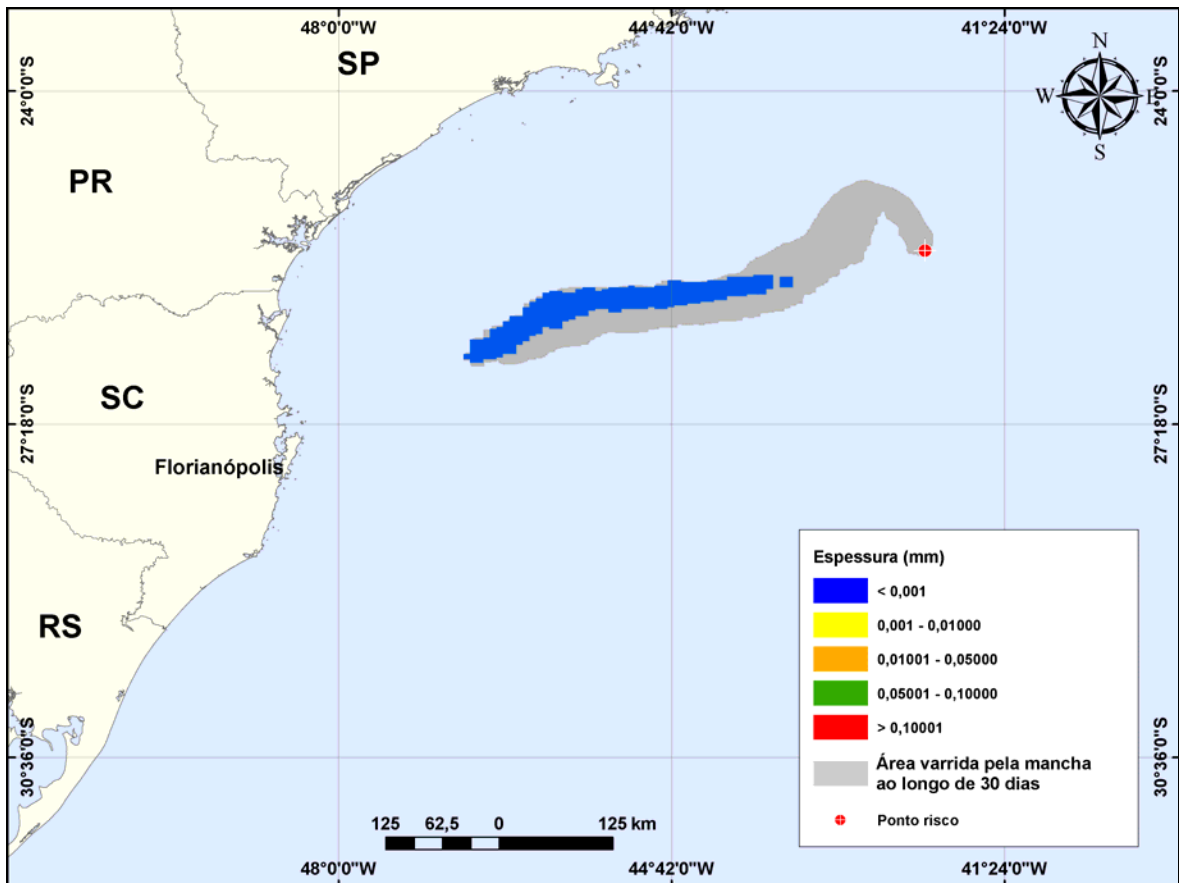


Figura III-91 - DET\_P4\_BMS24\_INV\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

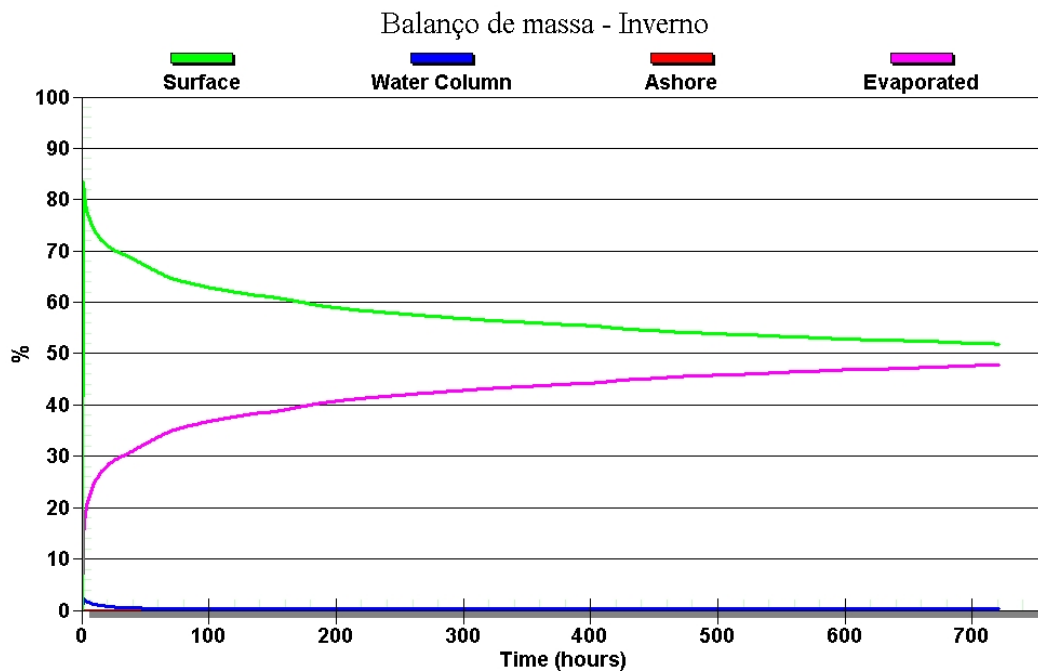


Figura III-92 - Balanço de massa do cenário DET\_P4\_BMS24\_INV\_200.

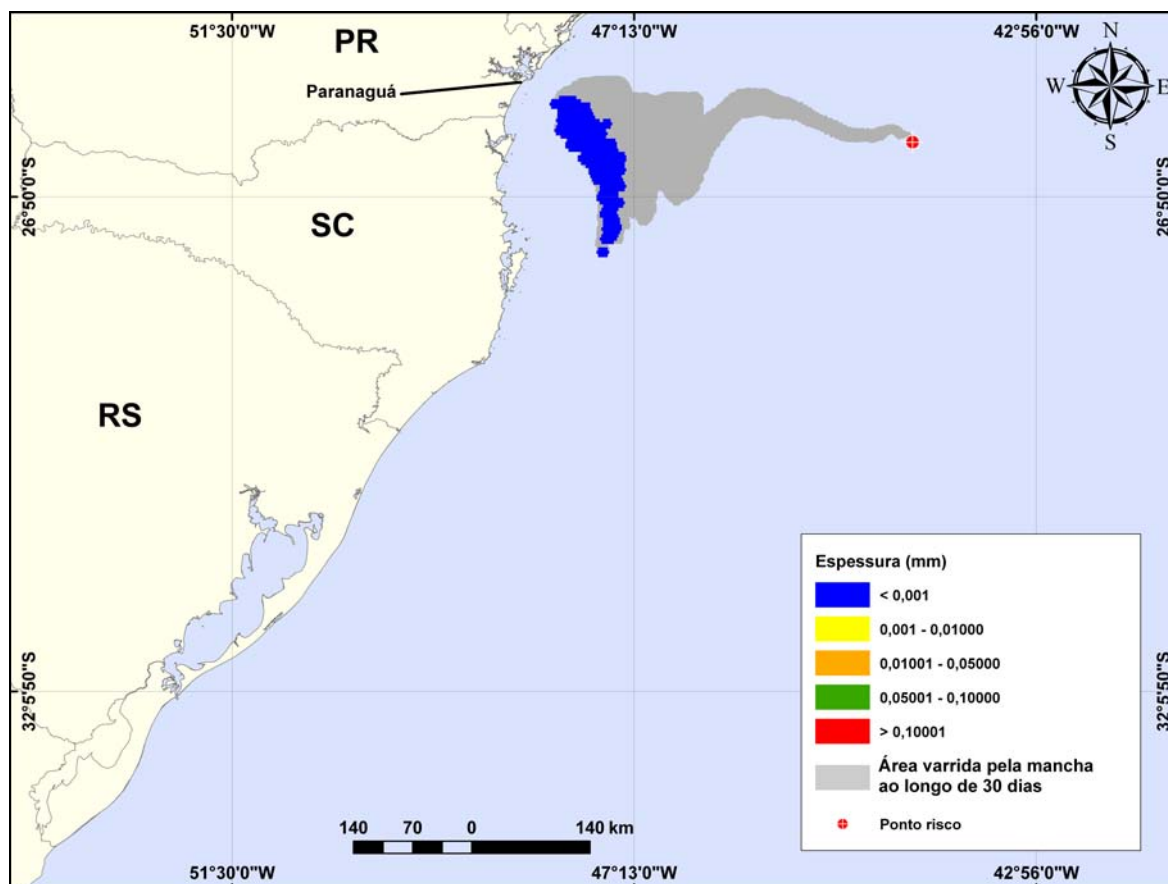


Figura III-93 - DET\_P5\_BMS21\_INV\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 200,0 m<sup>3</sup> (instantâneo, simulado por 30 dias) ocorrido durante o inverno.

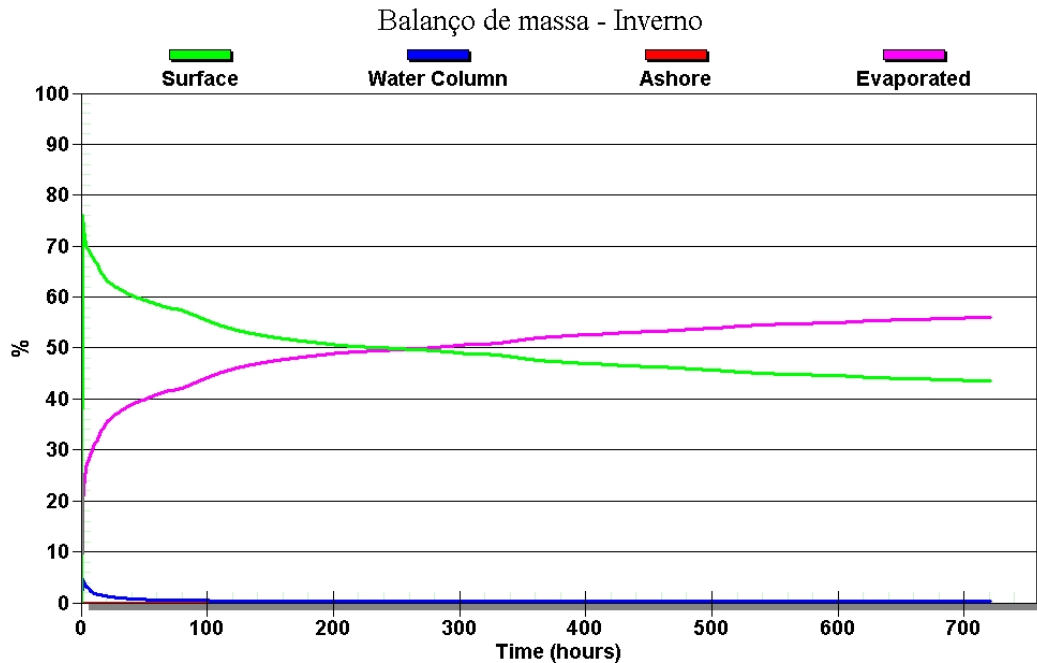
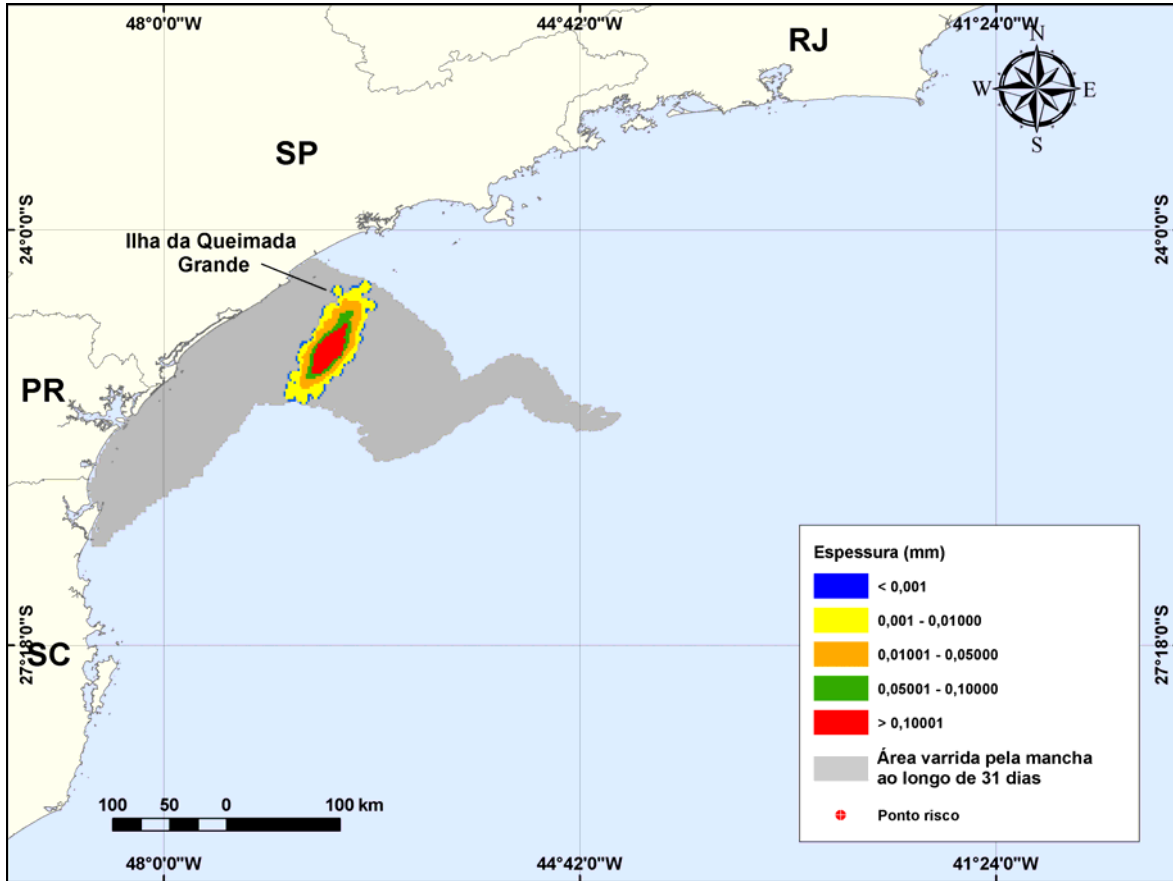


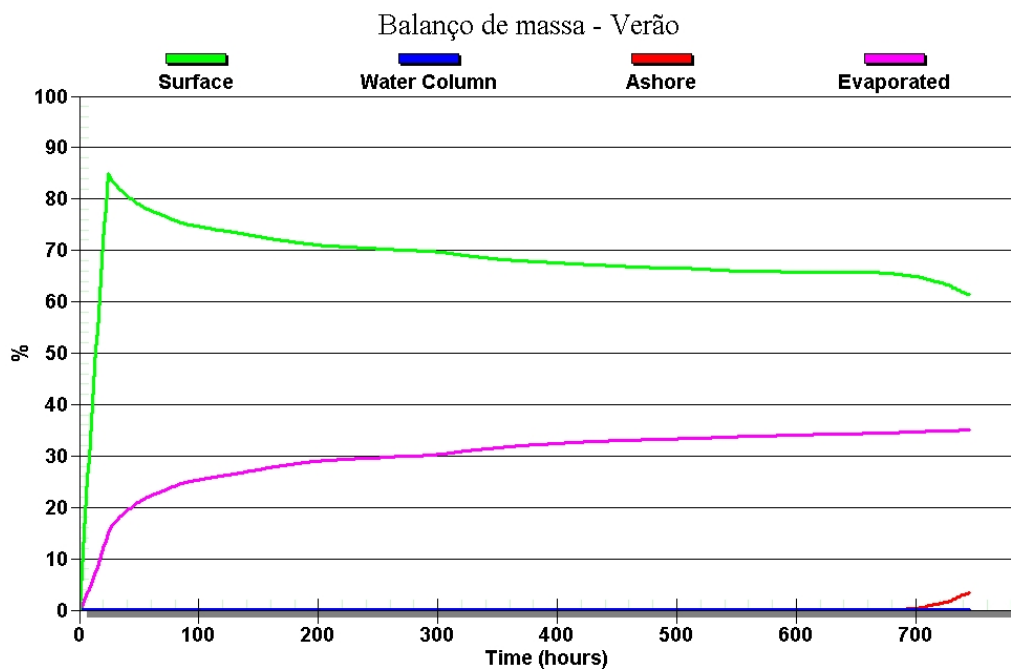
Figura III-94 - Balanço de massa do cenário DET\_P5\_BMS21\_INV\_200.

### III.2.3 Simulações Determinísticas – Volume Pior Caso

As Figuras III-95 a III-114 apresentam-se os resultados determinísticos críticos de verão e inverno para os derrames com volume de pior caso. Analisando os gráficos de balanço de massa destas simulações, observa-se que a evaporação é o principal processo que atua na redução da massa de óleo na água.

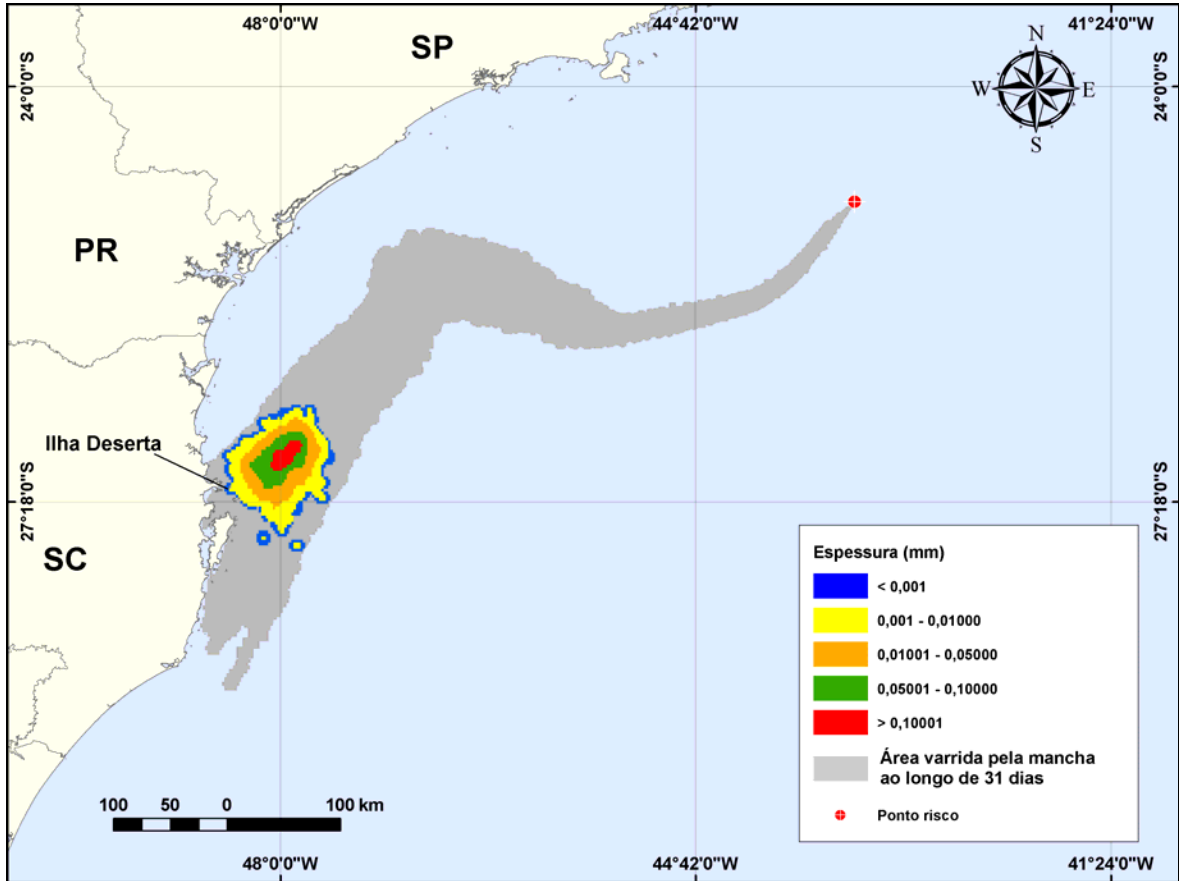


**Figura III-95 - DET\_P1\_BMS8\_VER\_PC.** Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.

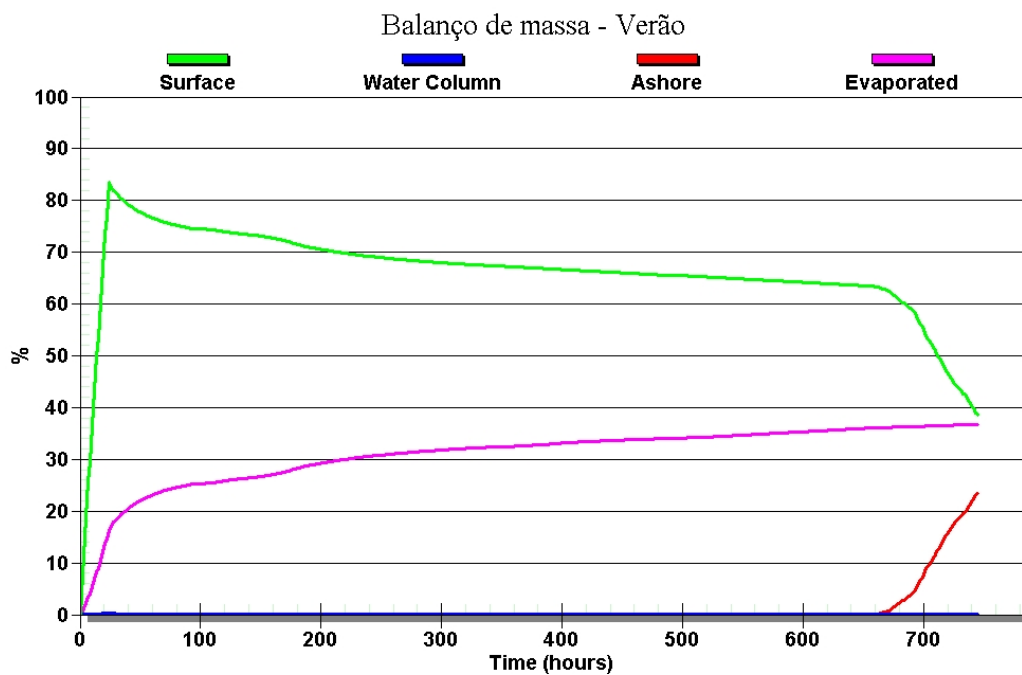


**Figura III-96 - Balanço de massa do cenário DET\_P1\_BMS8\_VER\_PC.**

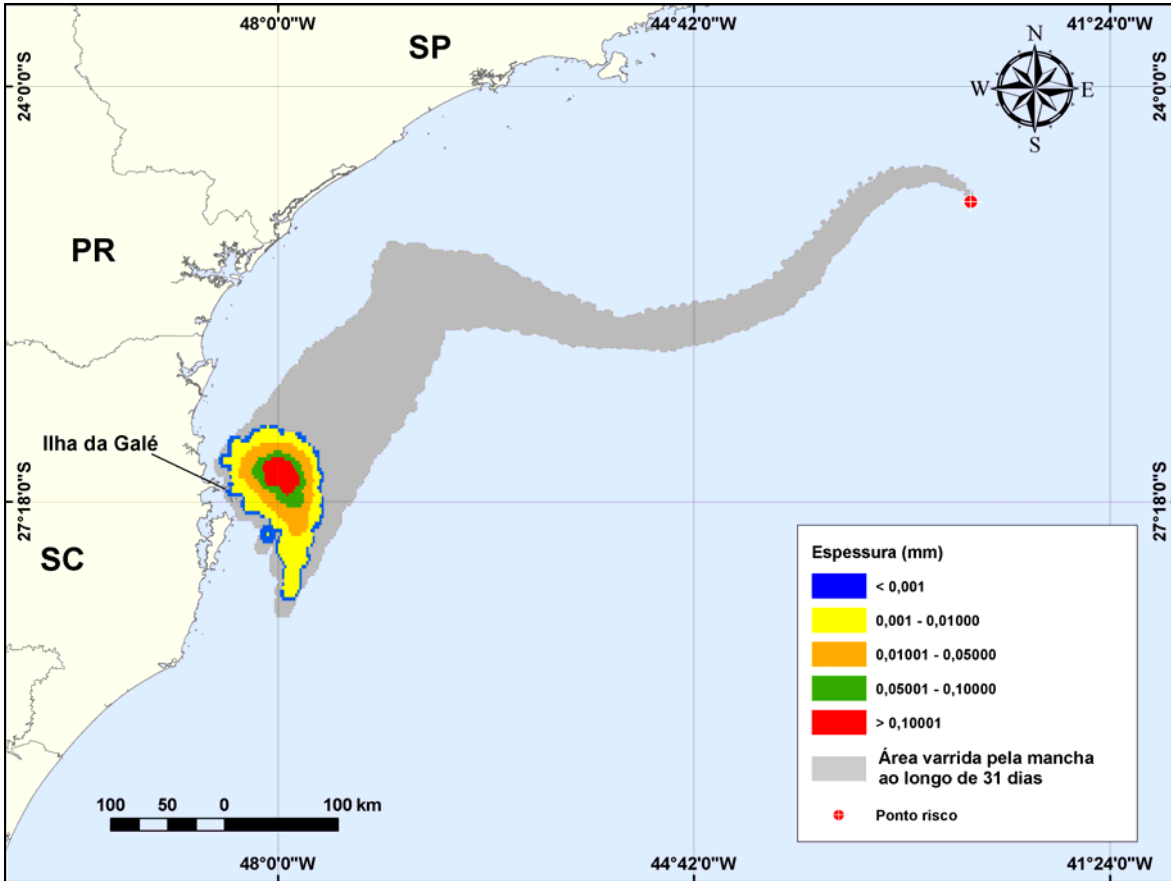




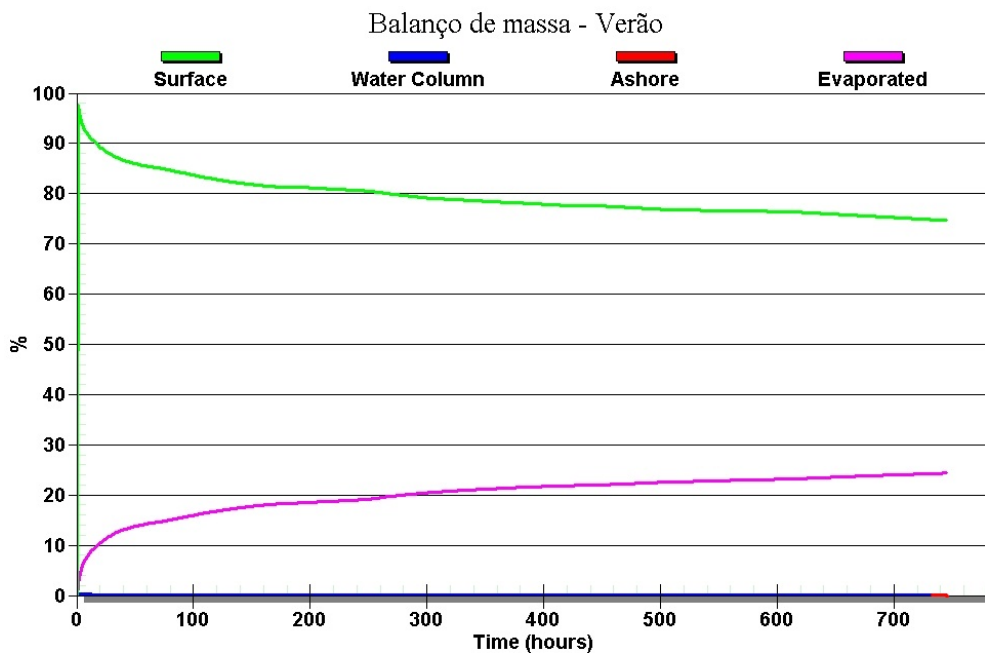
**Figura III-97** - DET\_P2\_BMS10\_VER\_200. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



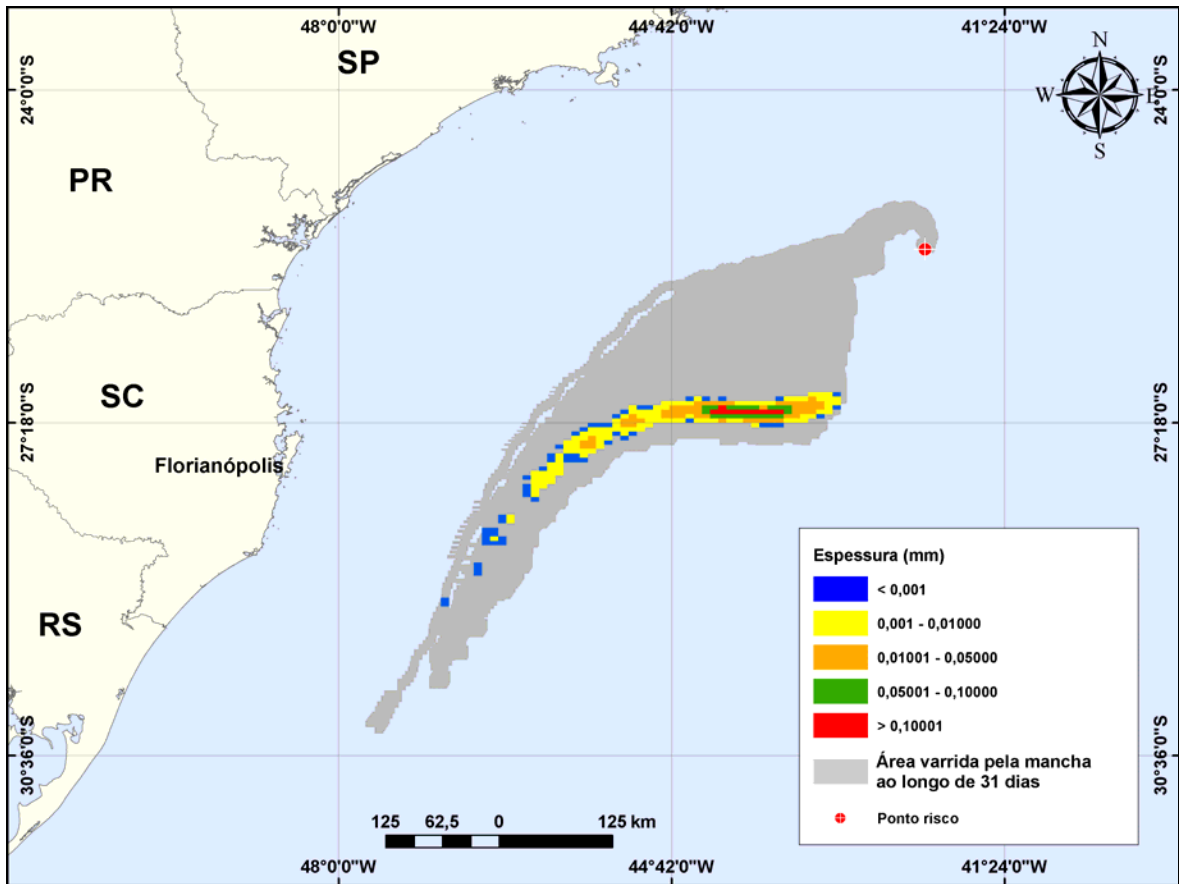
**Figura III-98** - Balanço de massa do cenário DET\_P2\_BMS10\_VER\_PC.



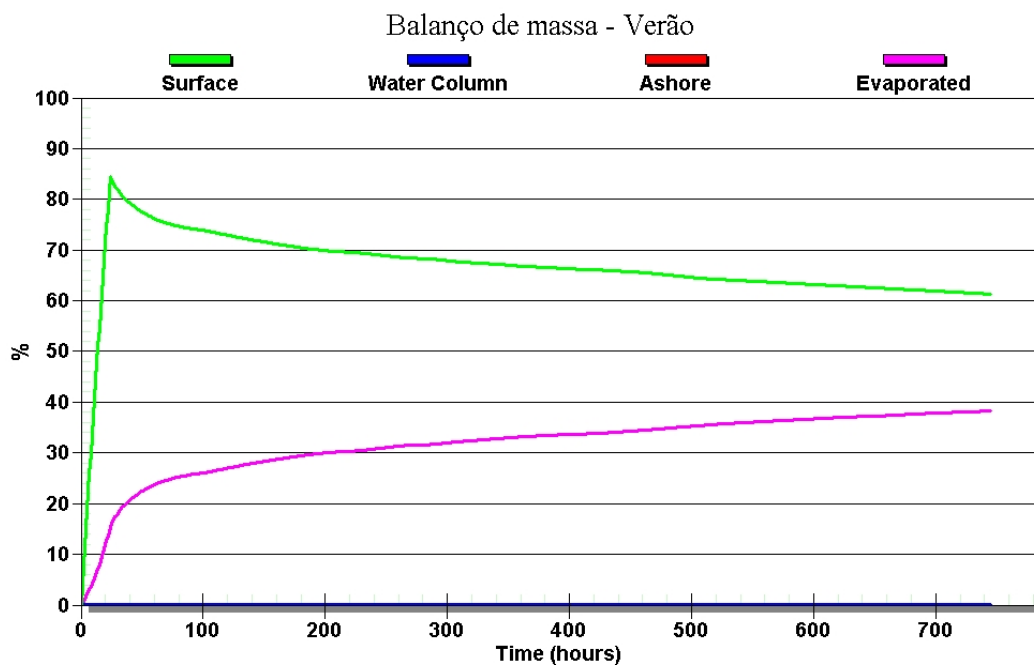
**Figura III-99** - DET\_P3\_BMS11\_VER\_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



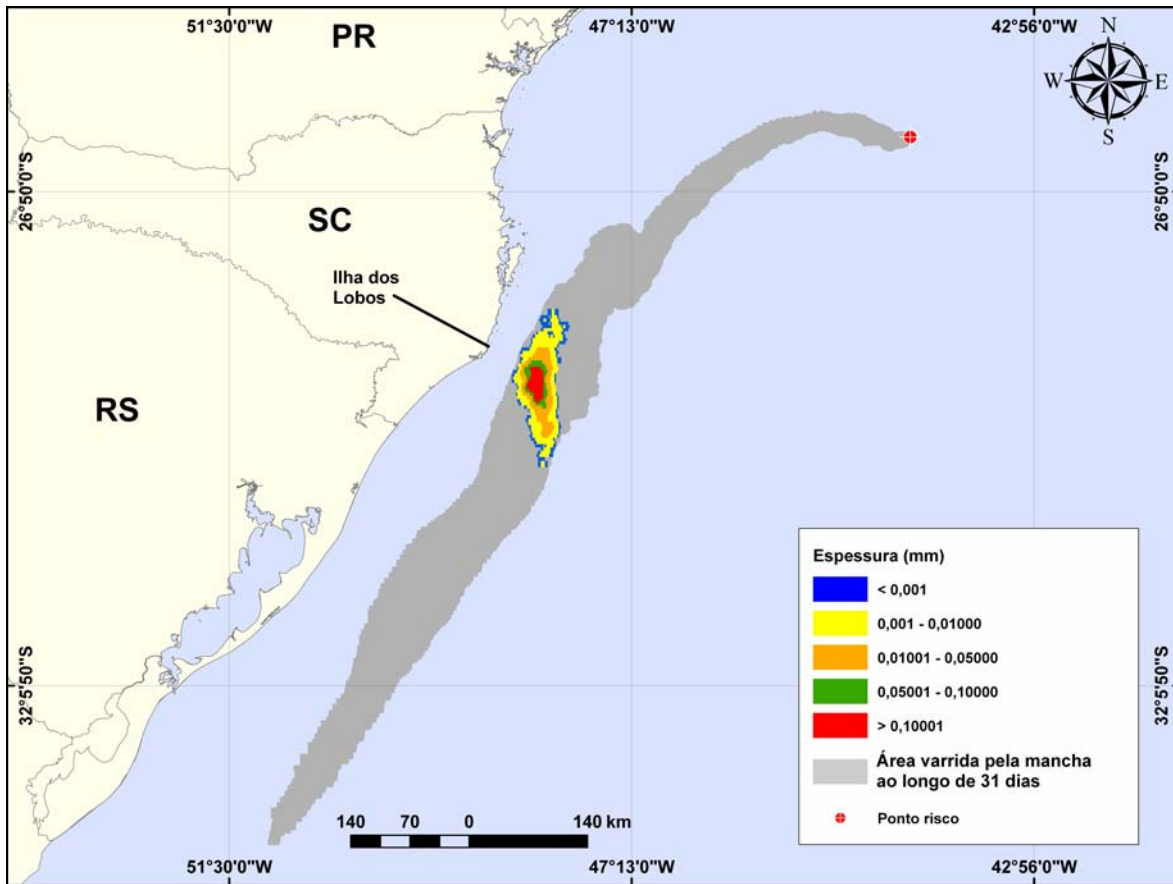
**Figura III-100** - Balanço de massa do cenário DET\_P3\_BMS11\_VER\_PC.



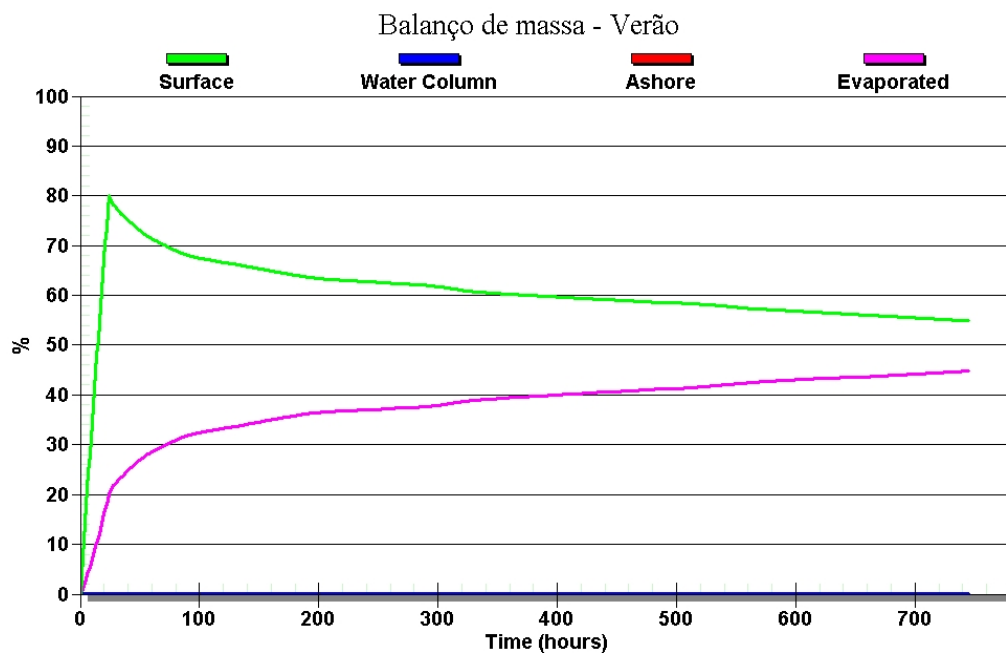
**Figura III-101 - DET\_P4\_BMS24\_VER\_PC.** Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



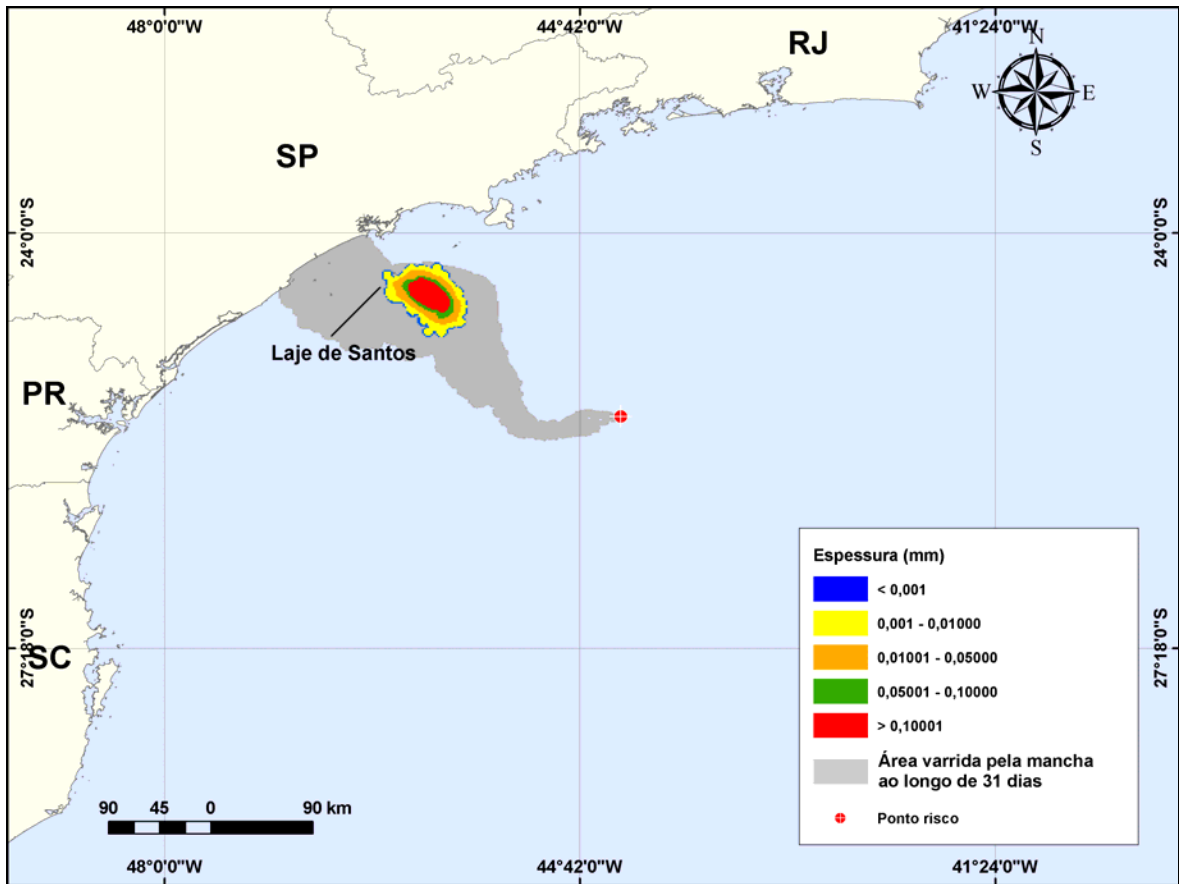
**Figura III-102 - Balanço de massa do cenário DET\_P4\_BMS24\_VER\_PC.**



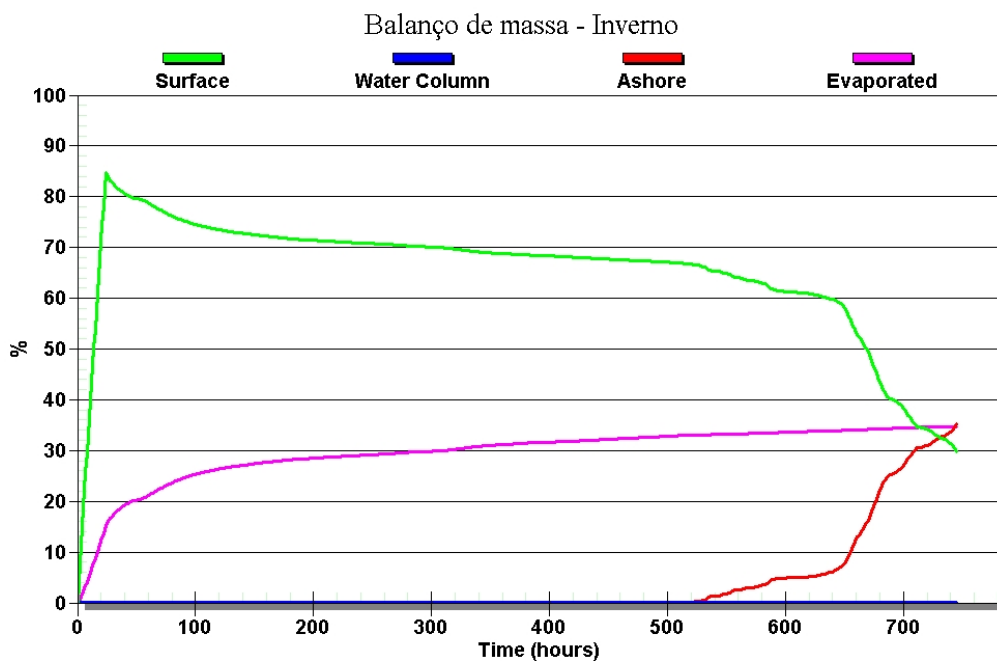
**Figura III-103** - DET\_P5\_BMS21\_VER\_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



**Figura III-104** - Balanço de massa do cenário DET\_P5\_BMS21\_VER\_PC.



**Figura III-105 - DET\_P1\_BMS8\_INV\_PC.** Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.



**Figura III-106 - Balanço de massa do cenário DET\_P1\_BMS8\_INV\_PC.**

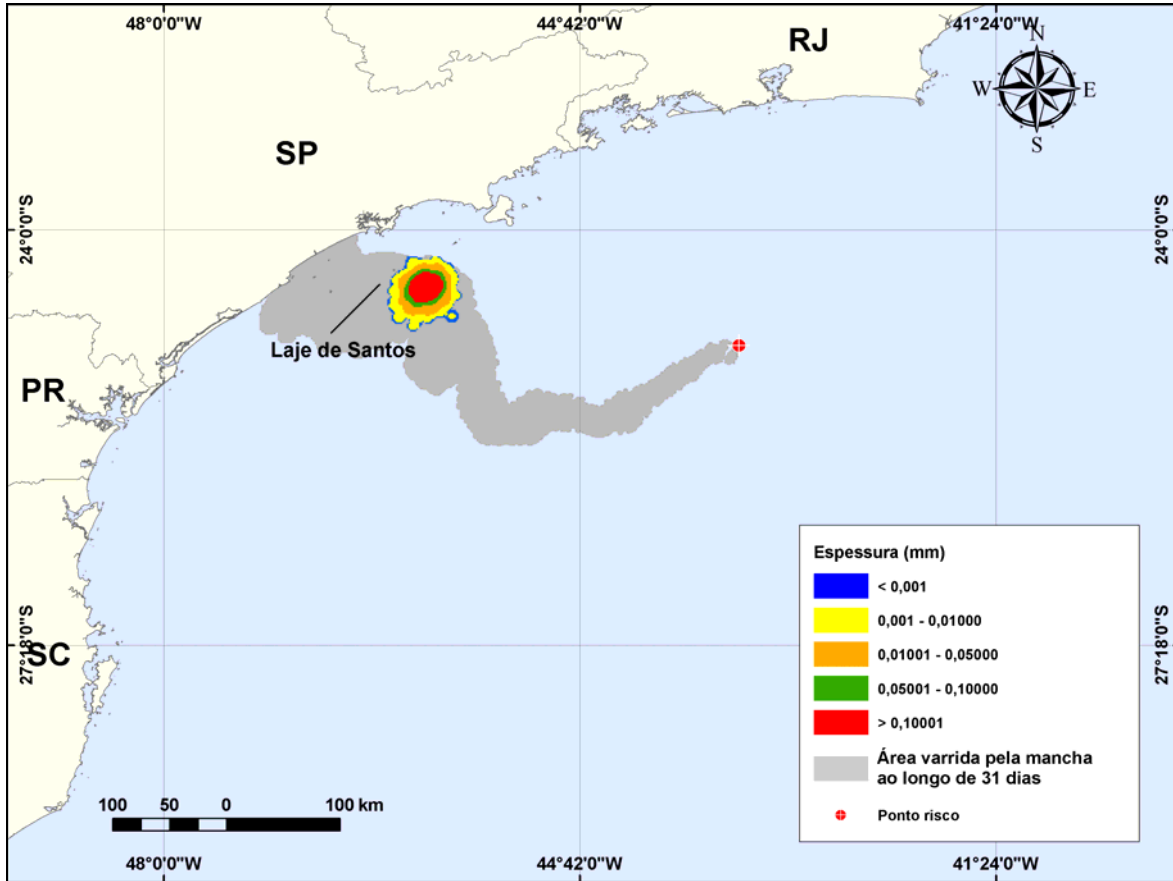


Figura III-107 - DET\_P2\_BMS10\_INV\_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.

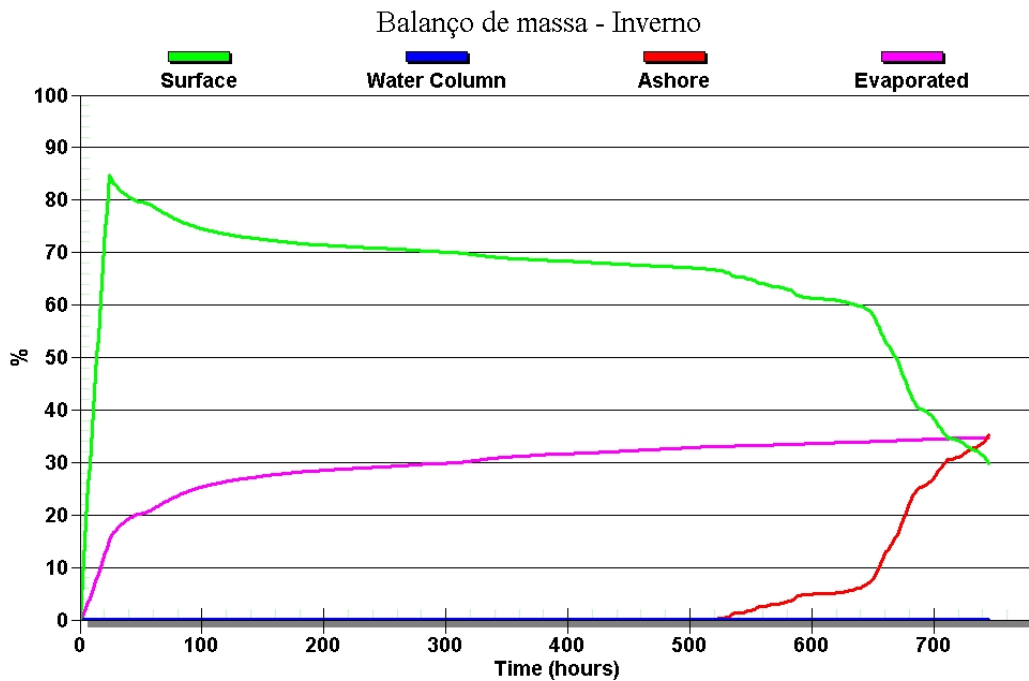
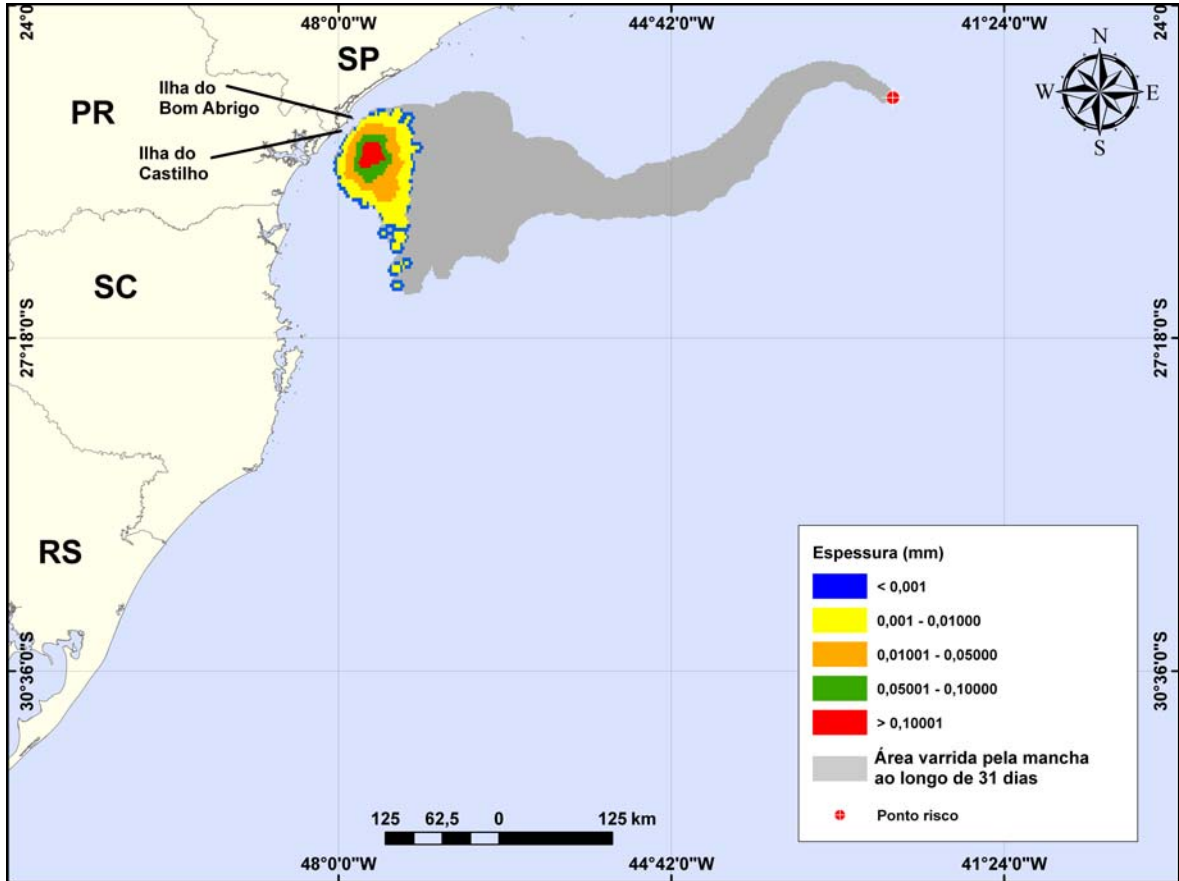
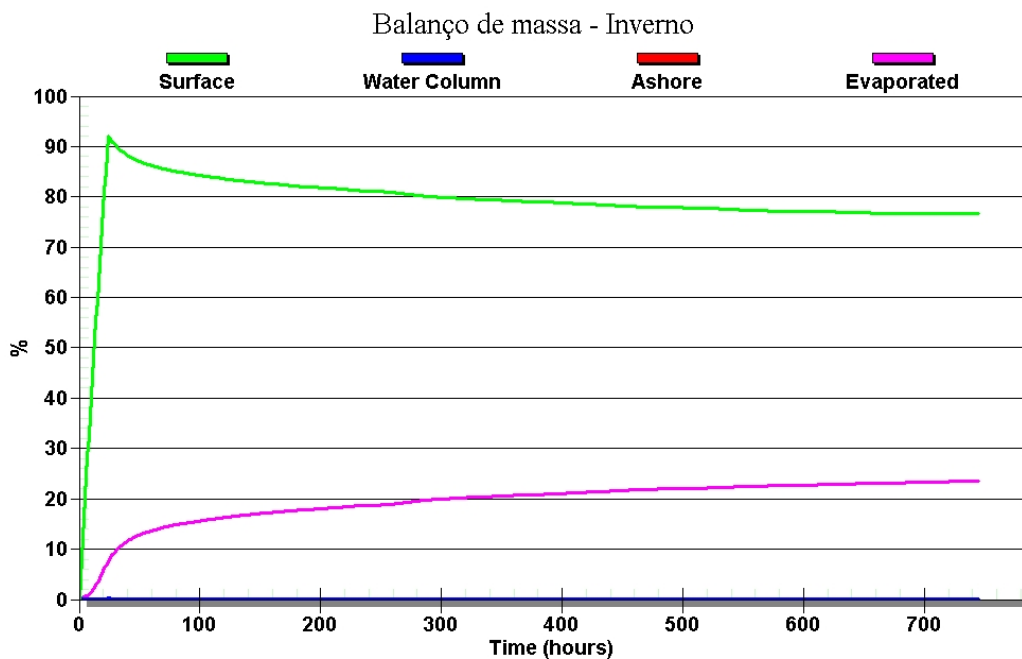


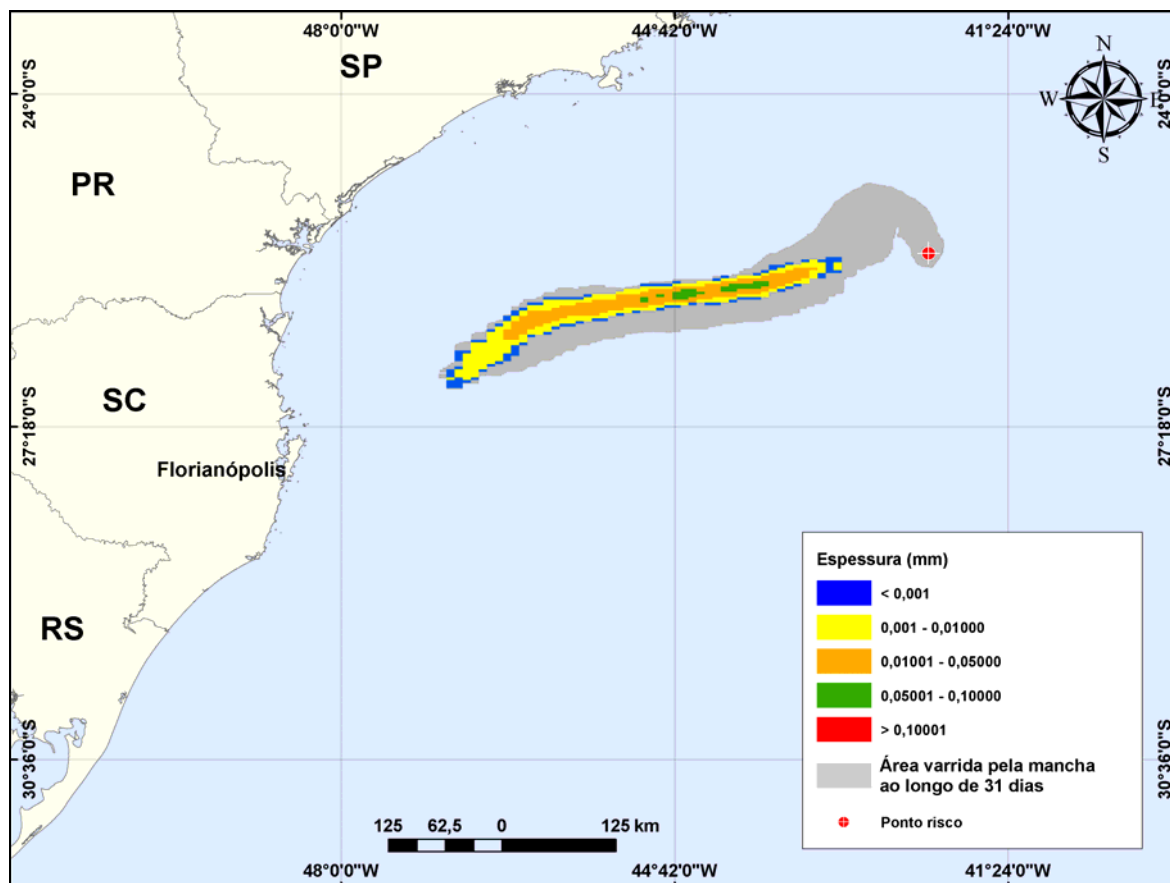
Figura III-108 - Balanco de massa do cenário DET\_P2\_BMS10\_INV\_PC.



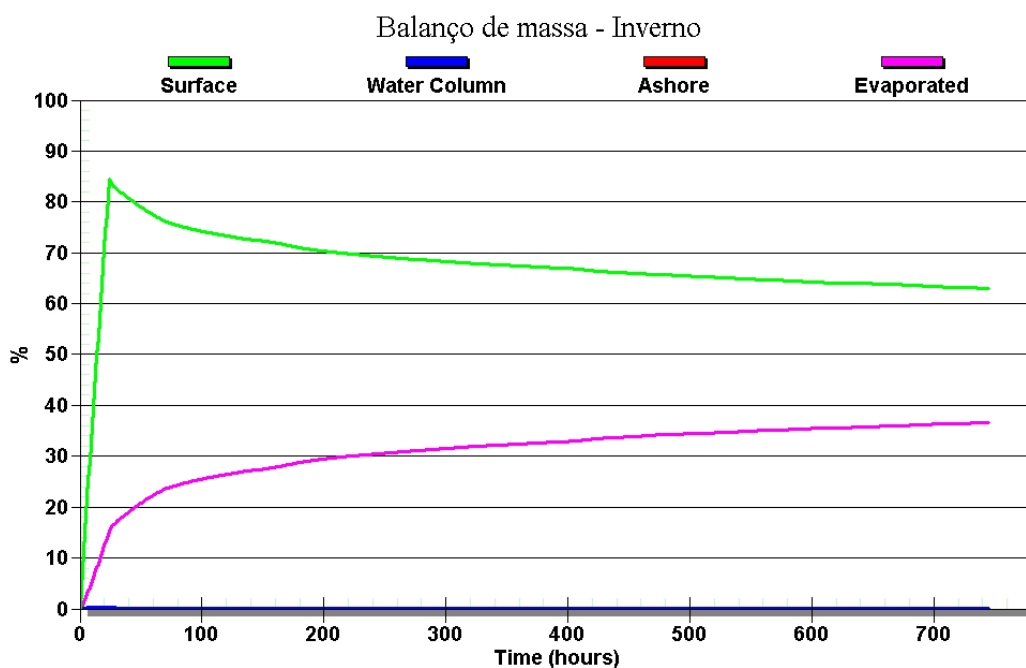
**Figura III-109** - DET\_P3\_BMS11\_INV\_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.



**Figura III-110** - Balanço de massa do cenário DET\_P3\_BMS11\_INV\_PC.

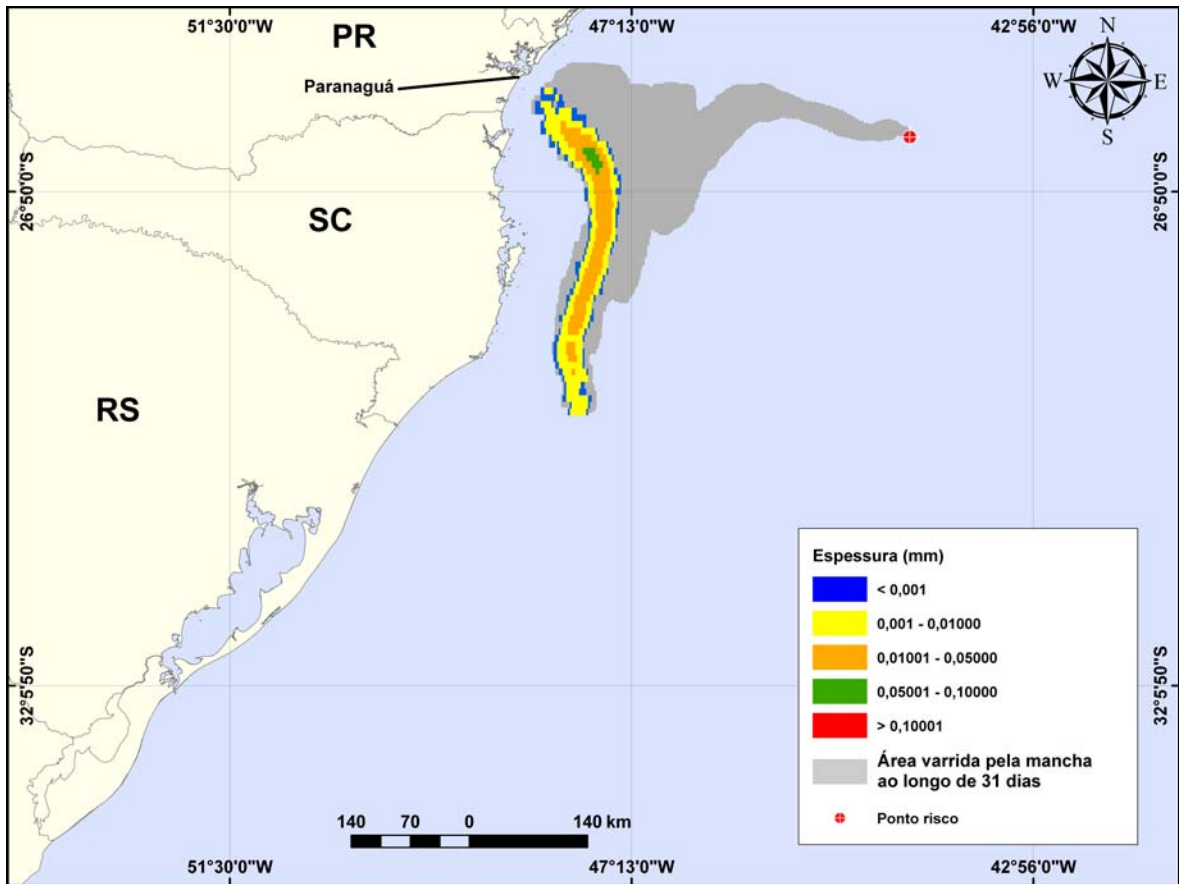


**Figura III-111** - DET\_P4\_BMS24\_INV\_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.

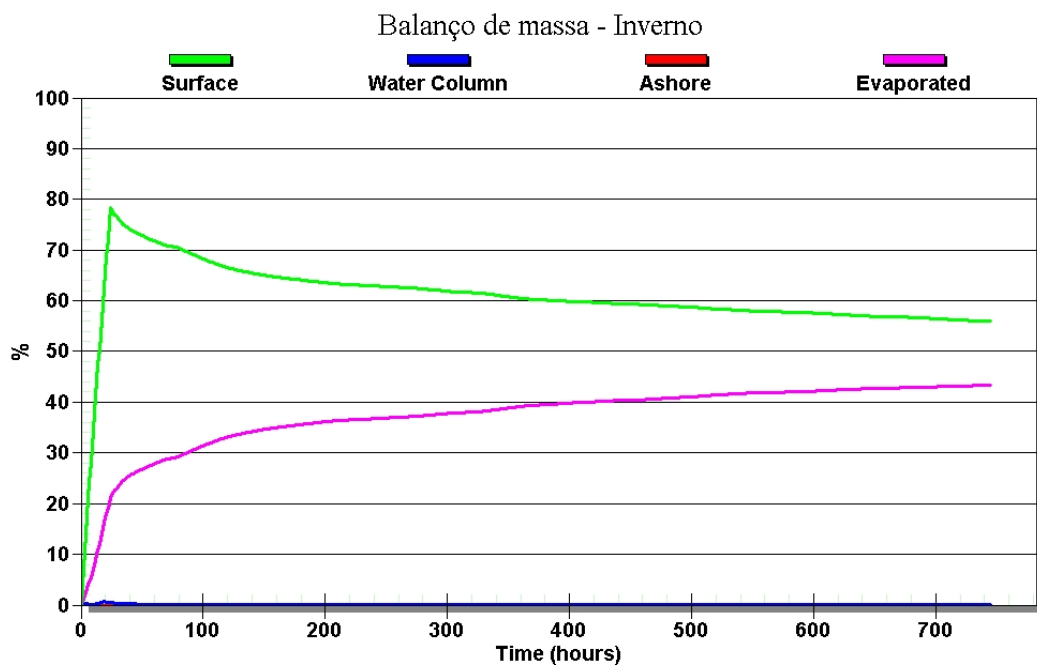


**Figura III-112** - Balanço de massa do cenário DET\_P4\_BMS24\_INV\_PC.





**Figura III-113** - DET\_P5\_BMS21\_INV\_PC. Cenário determinístico crítico para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.

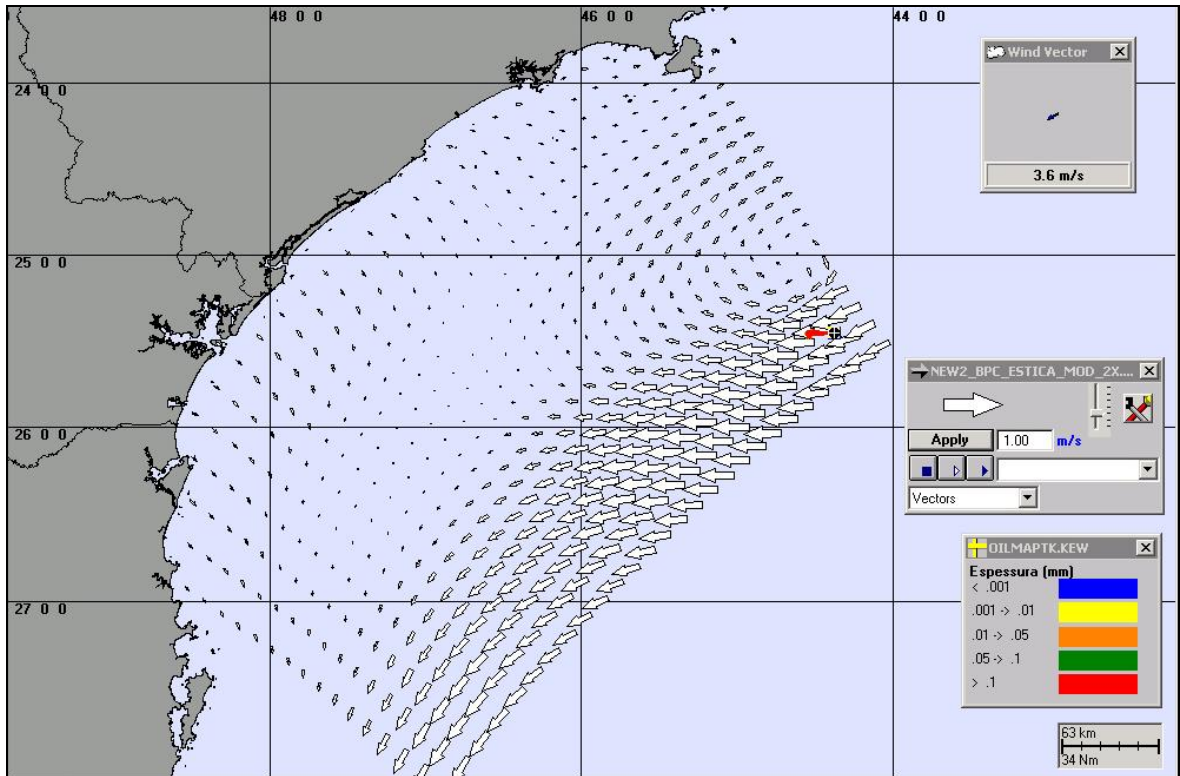


**Figura III-114** - Balanço de massa do cenário DET\_P5\_BMS21\_INV\_PC.

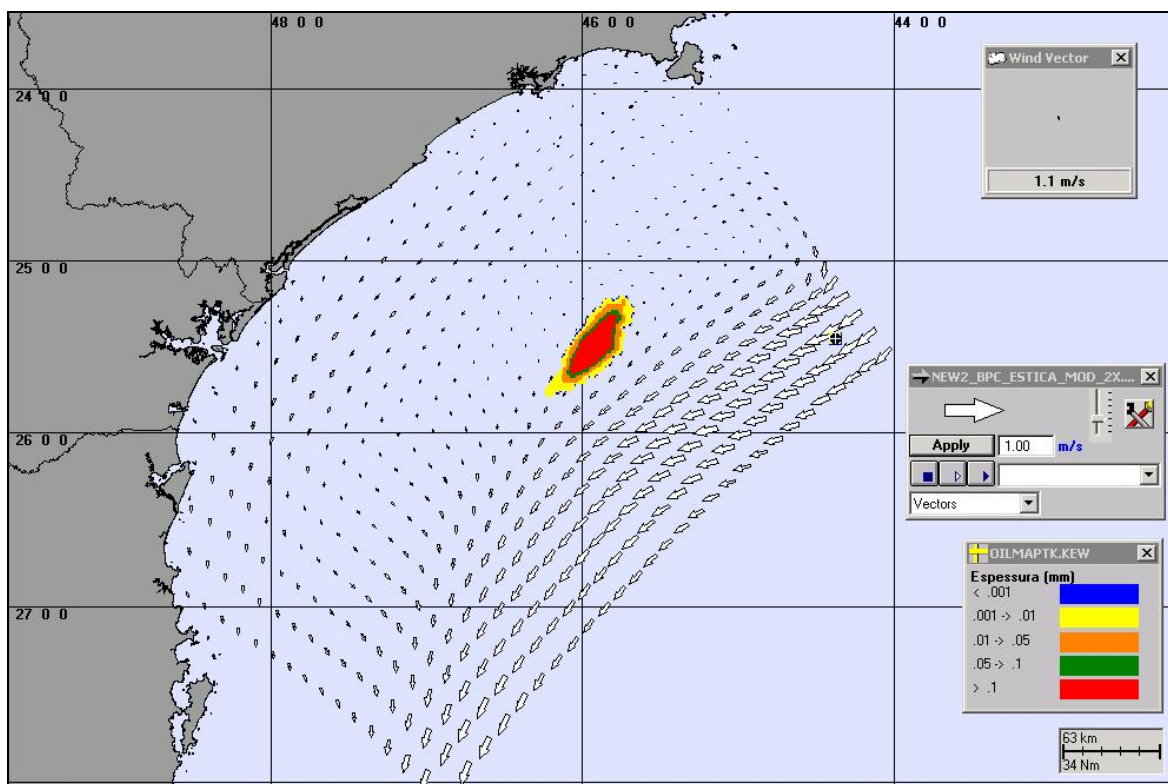
### ***III.2.4 Condições Meteorológicas e Oceanográficas - Simulações Determinísticas Críticas***

A seguir, são apresentadas figuras das condições meteorológicas e oceanográficas que atuam nos cenários determinísticos críticos e que propiciaram a chegada do óleo na costa. Como se trata de uma área geográfica são apresentadas figuras das condições meteorológicas e oceanográficas para os cenários que apresentaram menor tempo de toque na costa. Os cenários que apresentaram menor tempo de toque são referentes ao ponto P1 (BMS8) com volume de pior caso. Nestas, apresenta-se o campo de correntes apenas na região de influência das manchas de óleo.

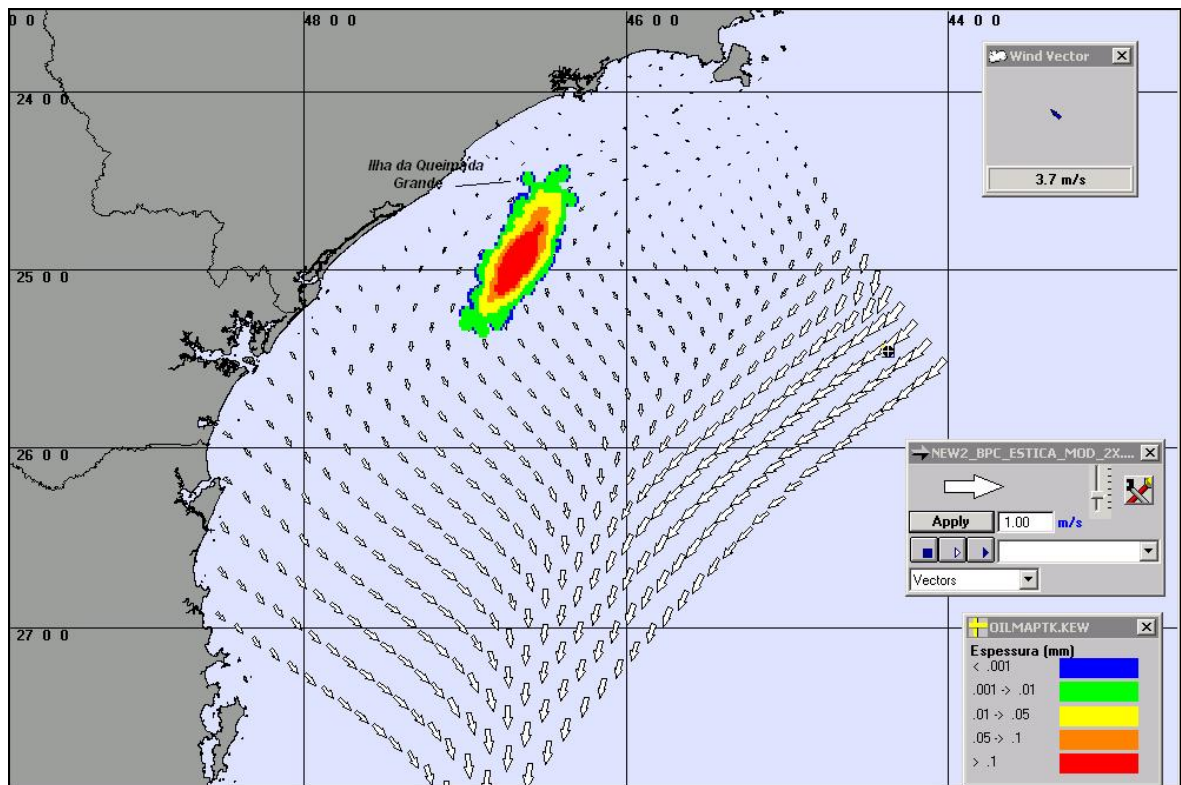
A Figura III-115 a Figura III-117 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes do cenário determinístico crítico de pior caso (afundamento de unidade), de verão, a partir do início do derrame até o instante de primeiro toque do óleo na costa, ocorrido na Ilha da Queimada Grande, no Município de Itanhaém (SP), aproximadamente, 382 horas após o início da simulação.



**Figura III-115** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

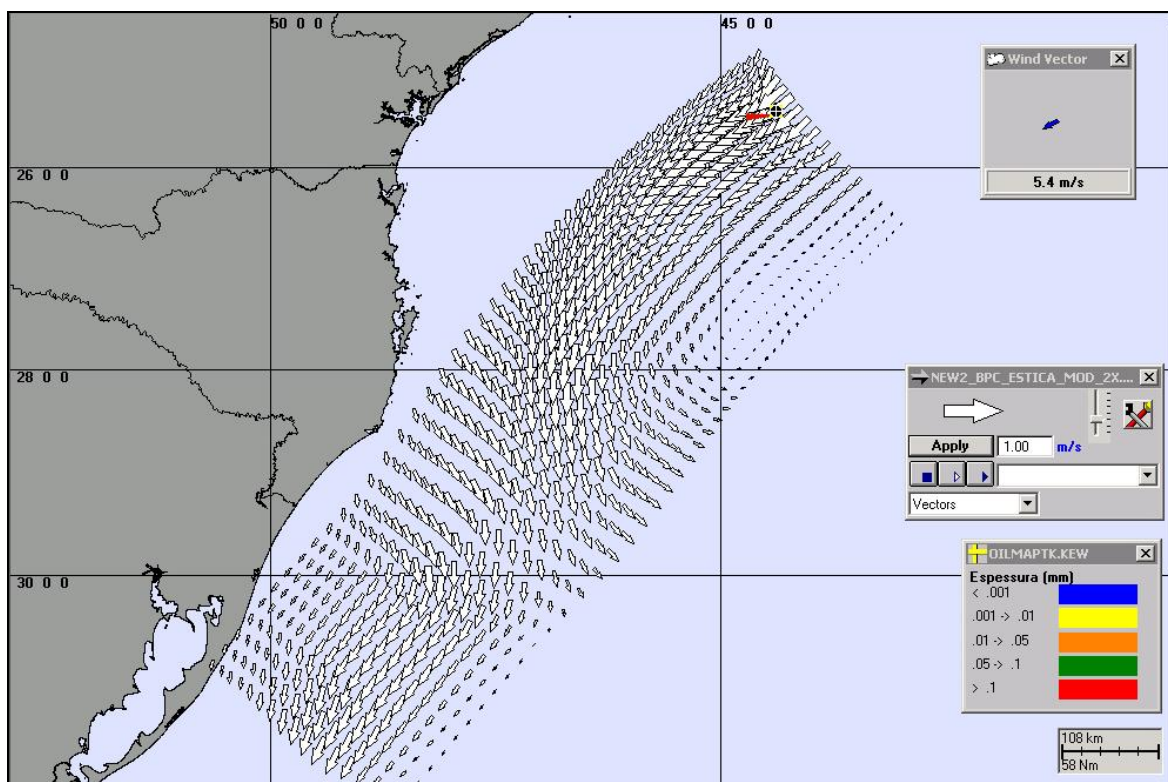


**Figura III-116** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

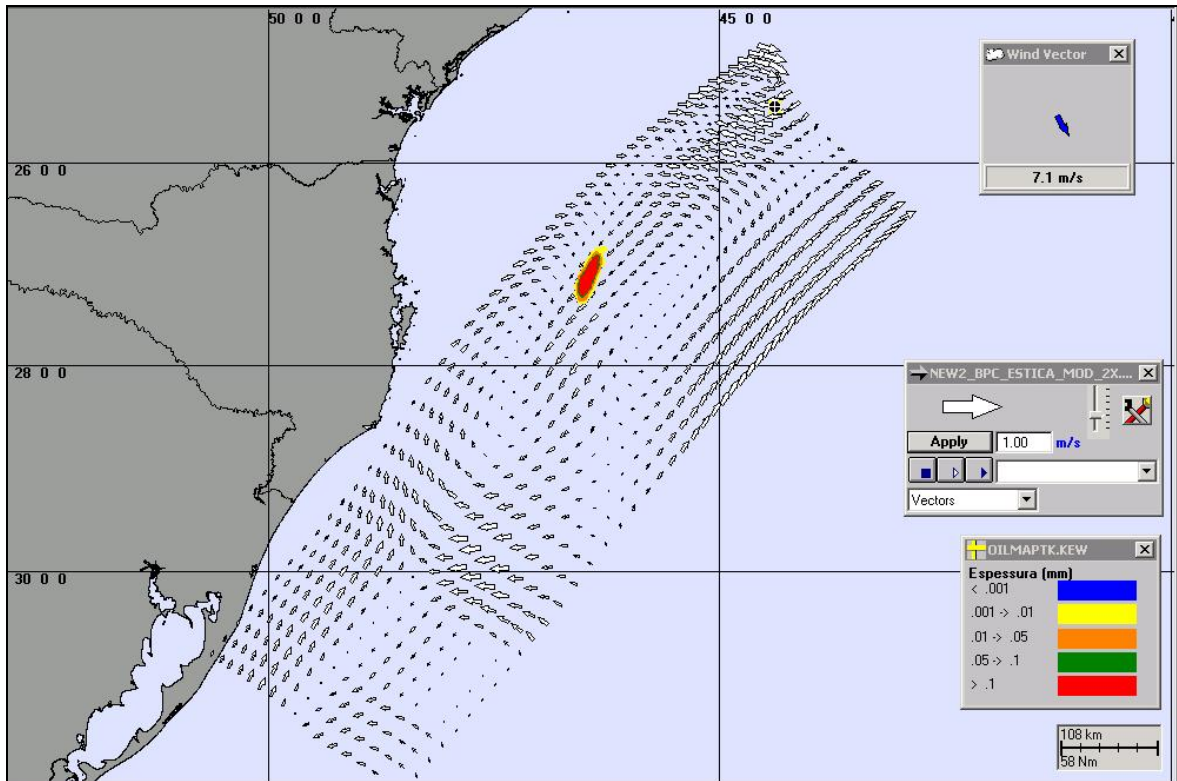


**Figura III-117** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.

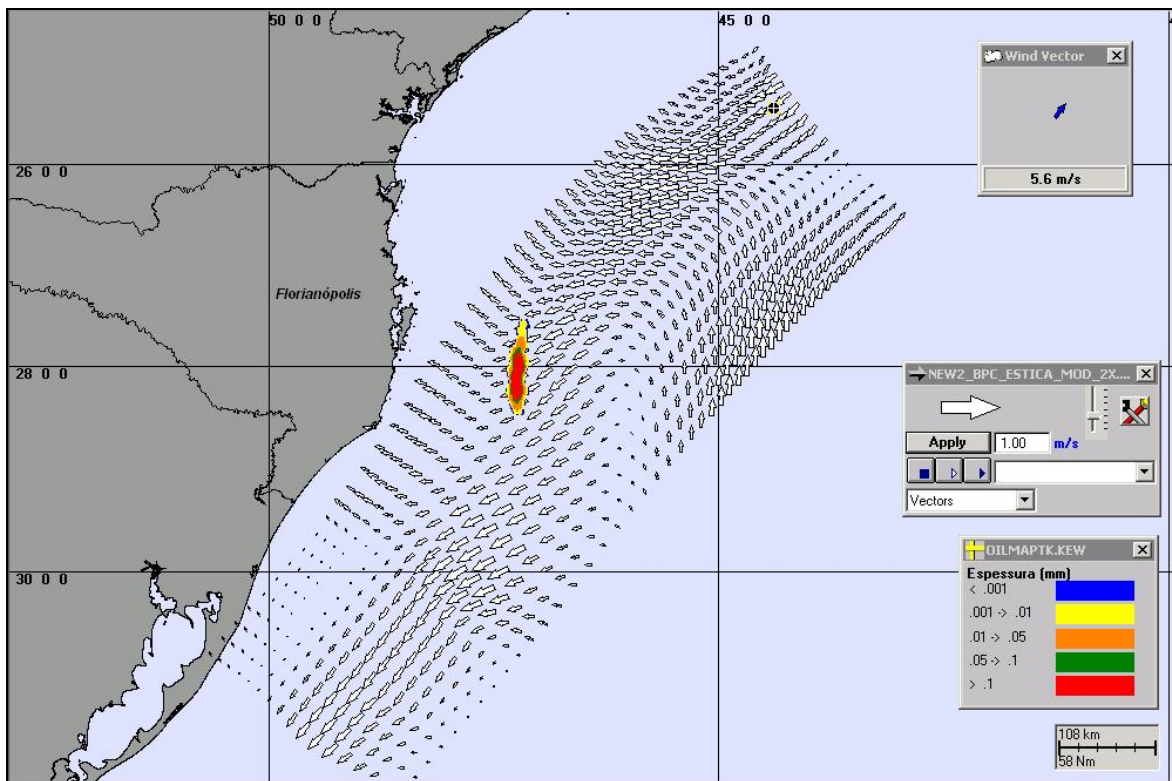
A Figura III-118 a Figura III-120 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes do cenário determinístico crítico de pior caso (afundamento de unidade), de inverno, a partir do início do derrame até o instante de primeiro toque do óleo na costa, ocorrido na Laje de Santos, no Município de Santos (SP), aproximadamente 419 horas após o início da simulação.



**Figura III-118** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SE.



**Figura III-119** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SW.



**Figura III-120** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de primeiro toque na costa da simulação determinística crítica de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM8. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SW



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

Os resultados das análises das informações de vento e correntes (ASA, 2010a,b) permitiram caracterizar e identificar as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes na região de estudo. Observou-se que, no verão os ventos mais frequentes são provenientes da direção NE e no inverno de NNE. No caso das correntes, observou-se que as direções mais frequentes são para sul, para ambos os períodos de verão e inverno.

Para estas condições (ventos e correntes mais frequentes) foram elaborados os cenários determinísticos cujo instante inicial corresponde a uma condição mais frequente no verão e uma no inverno, para os volumes de pior caso (afundamento de unidade). A Tabela III-13 apresenta um resumo dos cenários mais frequentes de verão e inverno.

**Tabela III-13** - Resumo dos cenários determinísticos mais frequentes de verão e de inverno.

CENÁRIO	DATA DE INÍCIO DA SIMULAÇÃO	MENOR DISTÂNCIA DA COSTA (km)	MUNICÍPIO MAIS PRÓXIMO
DET_MF_P1_BMS8_VER_PC	24/01/1992 - 00:00h	130	Florianópolis - SC
DET_MF_P2_BMS10_VER_PC	24/01/1992 - 00:00h	185	Florianópolis - SC
DET_MF_P3_BMS11_VER_PC	24/01/1992 - 00:00h	310	Florianópolis - SC
DET_MF_P4_BMS21_VER_PC	24/01/1992 - 00:00h	220	Florianópolis - SC
DET_MF_P5_BMS24_VER_PC	24/01/1992 - 00:00h	480	Florianópolis - SC
DET_MF_P1_BMS8_INV_PC	18/06/1992 - 08:00 h	105	Florianópolis - SC
DET_MF_P2_BMS10_INV_PC	18/06/1992 - 08:00 h	106	Florianópolis - SC
DET_MF_P3_BMS11_INV_PC	18/06/1992 - 08:00 h	180	Florianópolis - SC
DET_MF_P4_BMS21_INV_PC	18/06/1992 - 08:00 h	170	Florianópolis - SC
DET_MF_P5_BMS24_INV_PC	18/06/1992 - 08:00 h	610	São Francisco do Sul - SC

Os resultados gráficos apresentados, a seguir, seguem o mesmo padrão adotado nos cenários determinísticos críticos, onde são apresentadas três figuras. Uma das figuras apresenta os contornos de espessura no instante de menor distância da costa/primeiro toque e a área varrida pela mancha ao longo dos 31 dias de simulação. A cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante o período de duração da simulação e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha no instante de primeiro toque (ou de maior proximidade em relação à costa) é aquela representada pela escala de cores indicada nas legendas.

A outra figura apresenta um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água).

A seguir, as Figuras III-121 a III-140 apresentam os resultados determinísticos das condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes de verão, para os cenários com derrame por 24 horas e simulados por 31 dias (afundamento de unidade). Os gráficos de balanço de massa mostram que a evaporação foi o principal processo atuante na redução da massa de óleo.

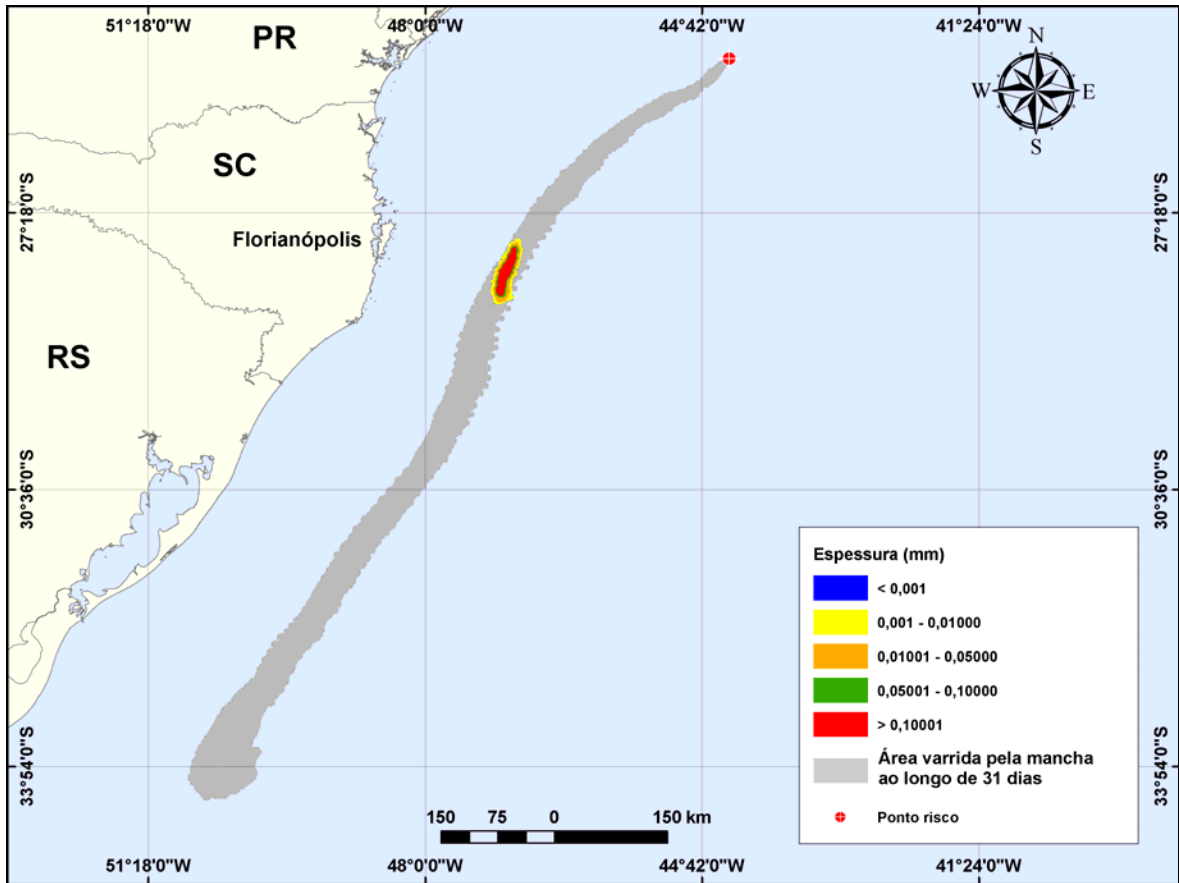


Figura III-121 - DET\_MF\_P1\_BMS8\_VER\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.

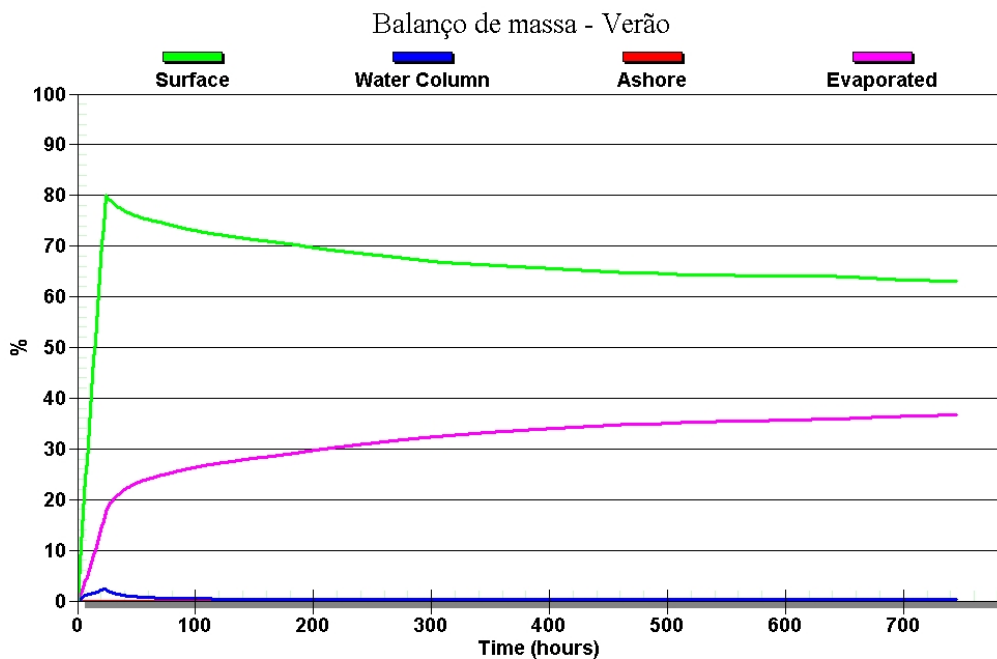
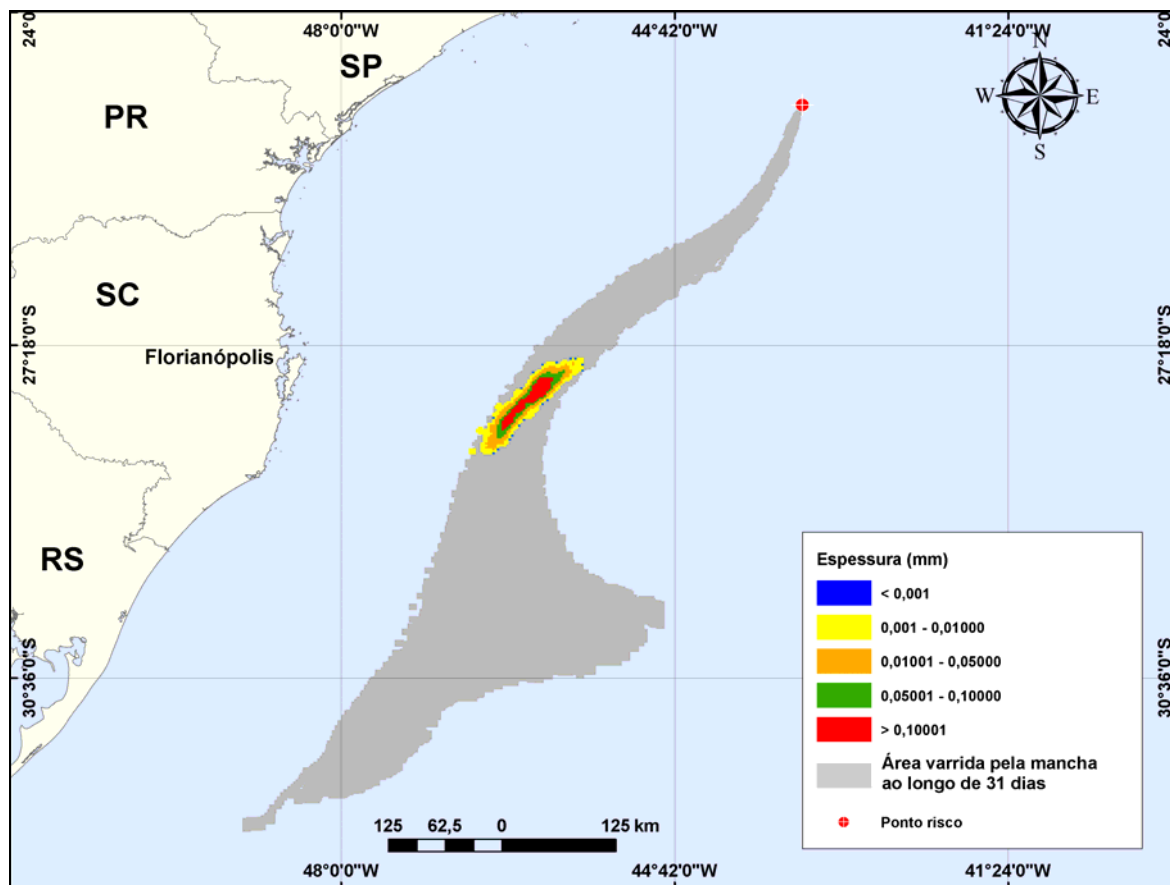
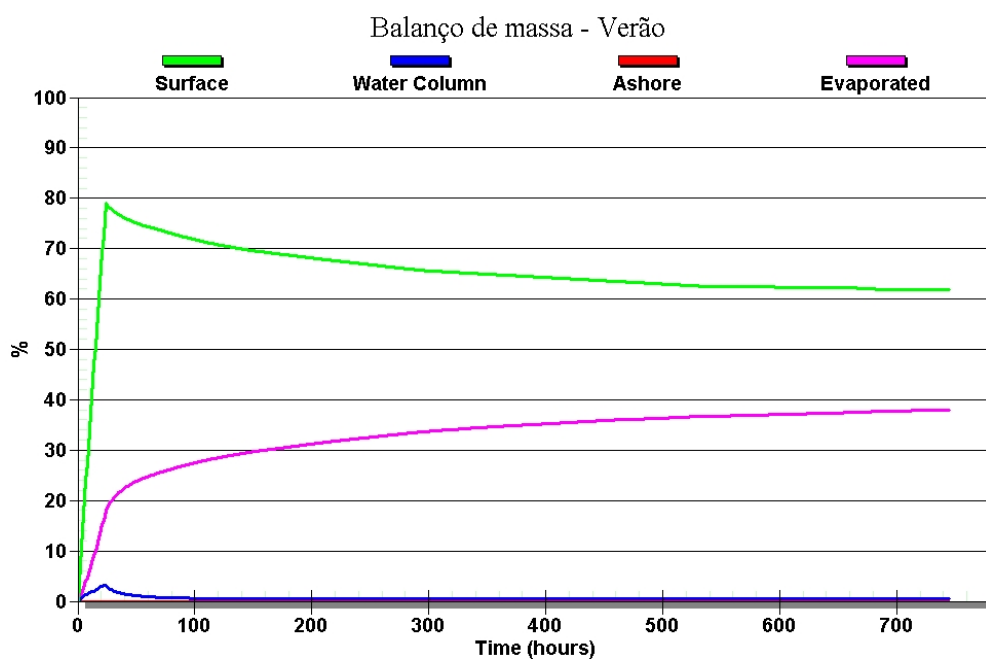


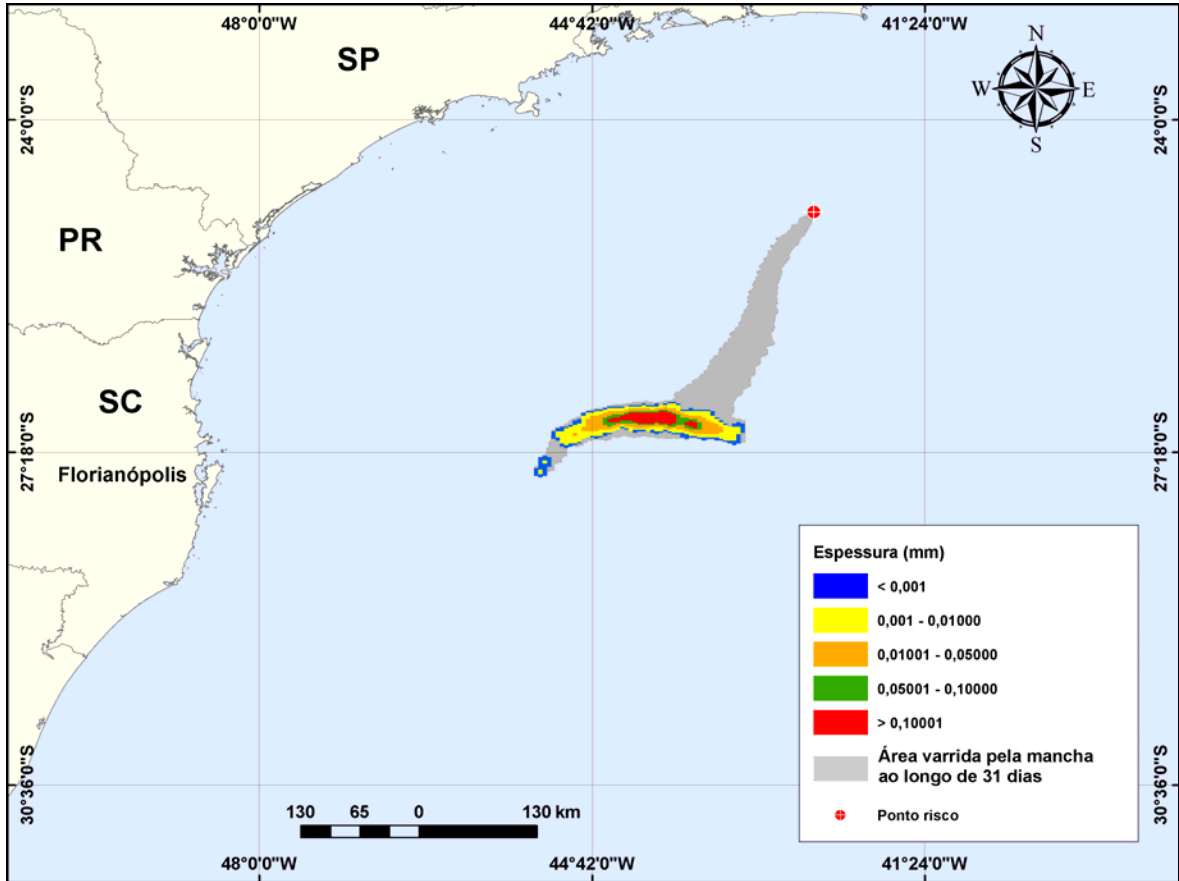
Figura III-122 - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P1\_BMS8\_VER\_PC.



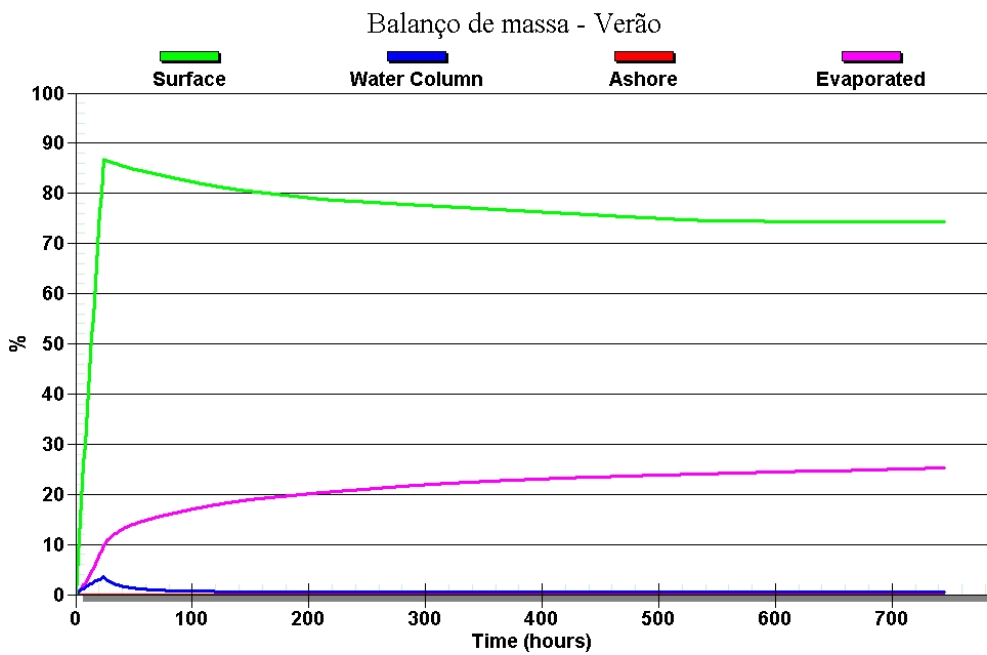
**Figura III-123 - DET\_MF\_P2\_BMS10\_VER\_PC.** Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



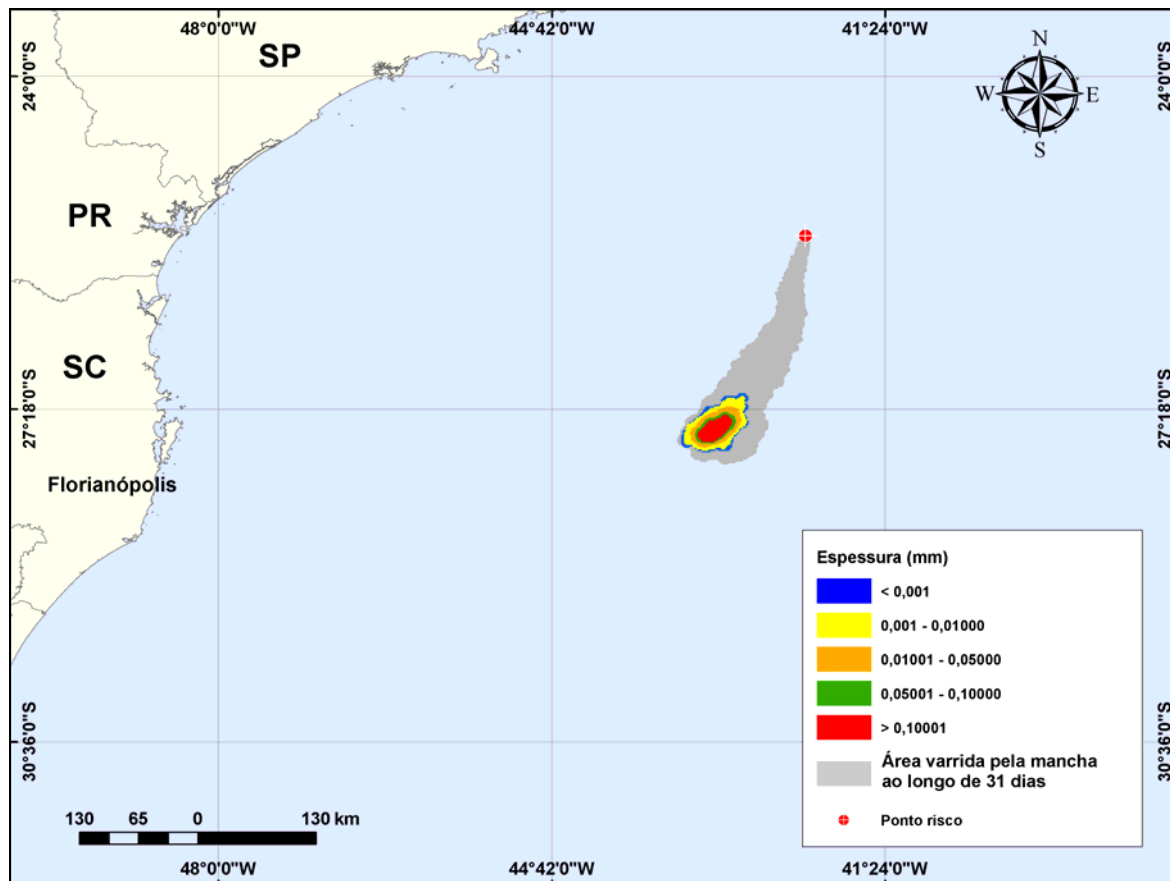
**Figura III-124 - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P1\_BMS10\_VER\_PC.**



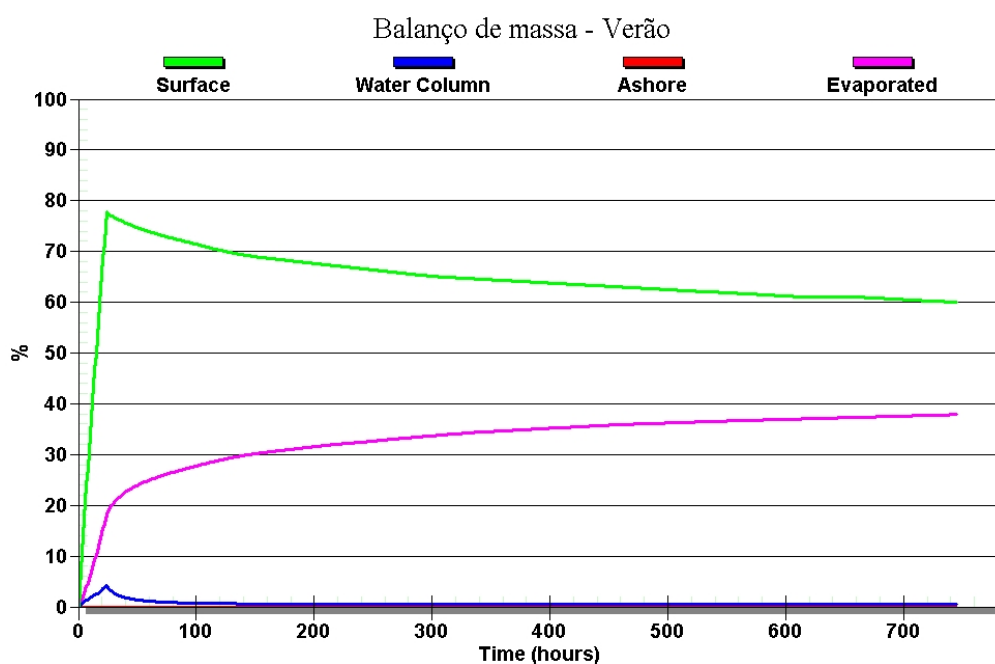
**Figura III-125 - DET\_MF\_P3\_BMS11\_VER\_PC.** Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



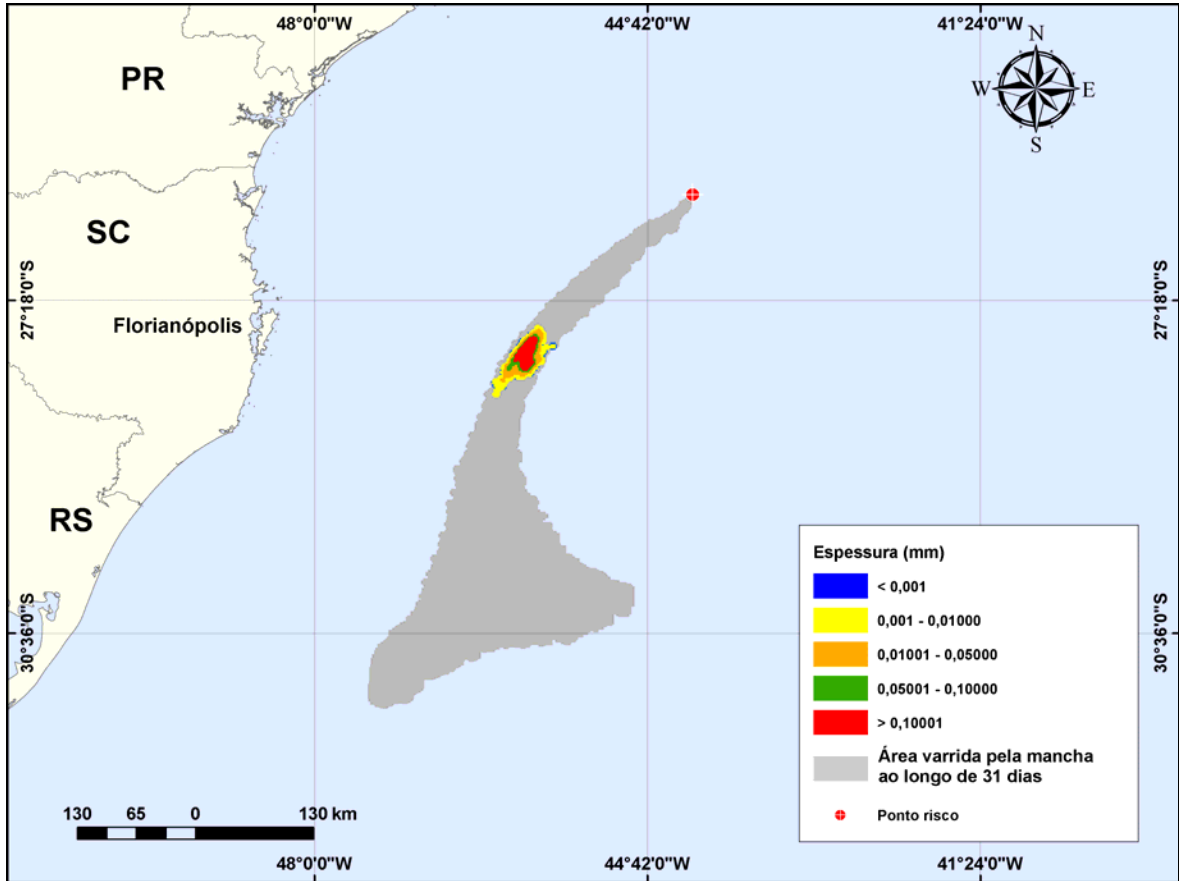
**Figura III-126 - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P3\_BMS11\_VER\_PC.**



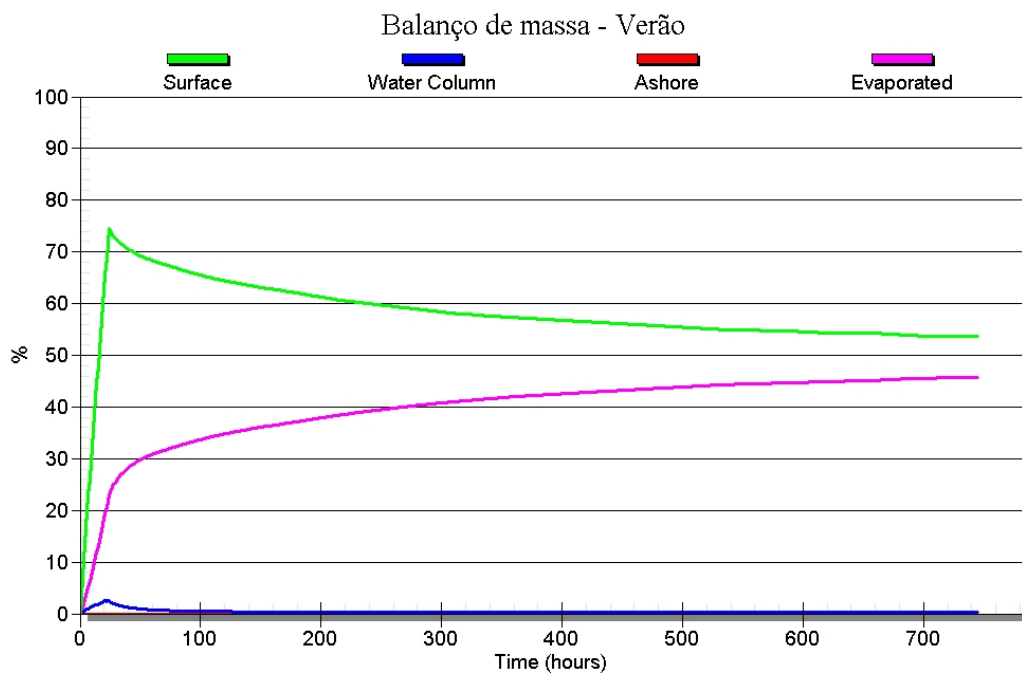
**Figura III-127 - DET\_MF\_P4\_BMS24\_VER\_PC.** Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



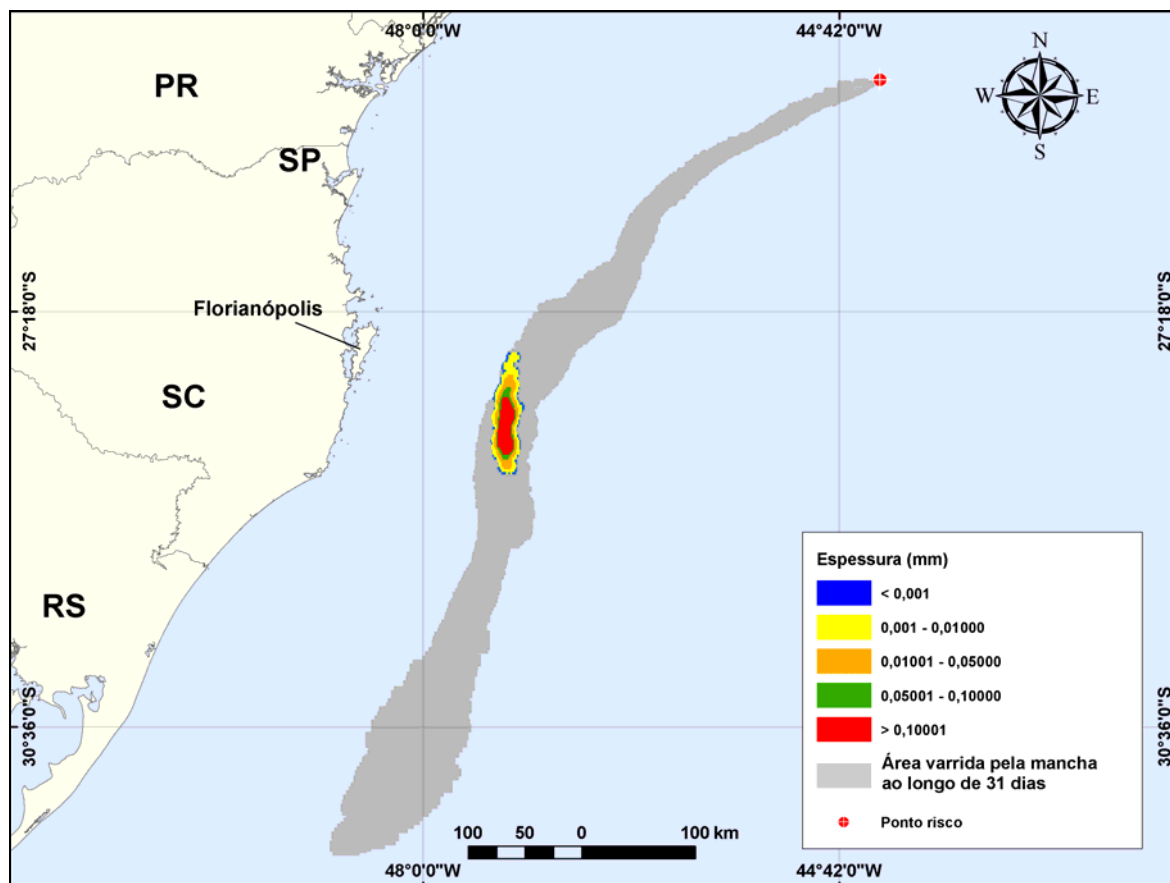
**Figura III-128 - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P4\_BMS24\_VER\_PC.**



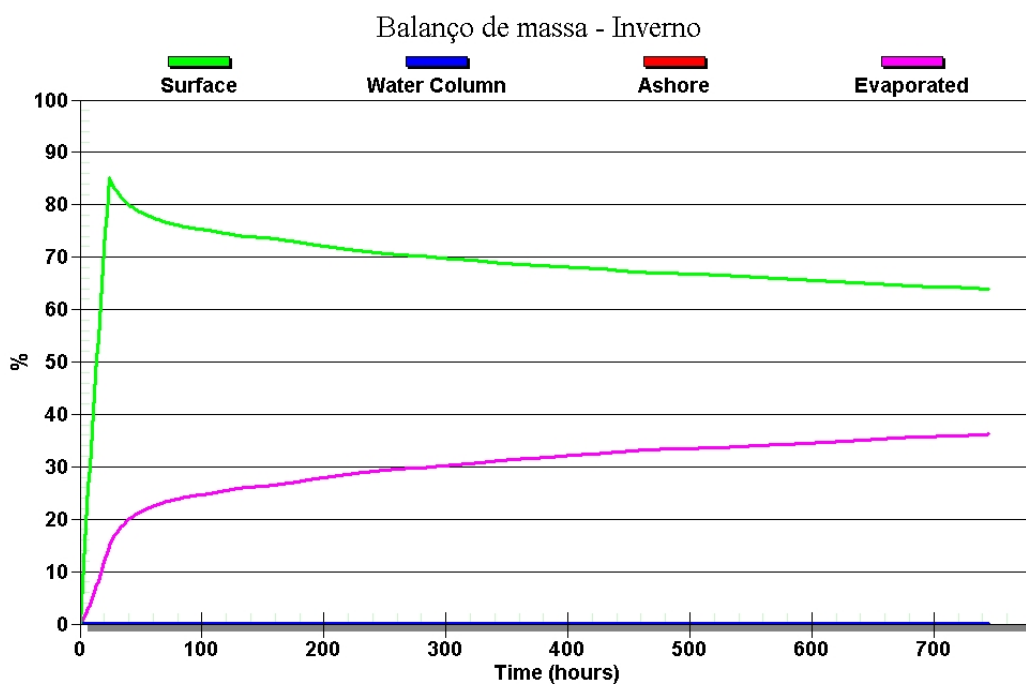
**Figura III-129** - DET\_MF\_P5\_BMS21\_VER\_PC Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o verão.



**Figura III-130** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P5\_BMS21\_VER\_PC.



**Figura III-131** - DET\_MF\_P1\_BMS8\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.



**Figura III-132** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P1\_BMS8\_INV\_PC.



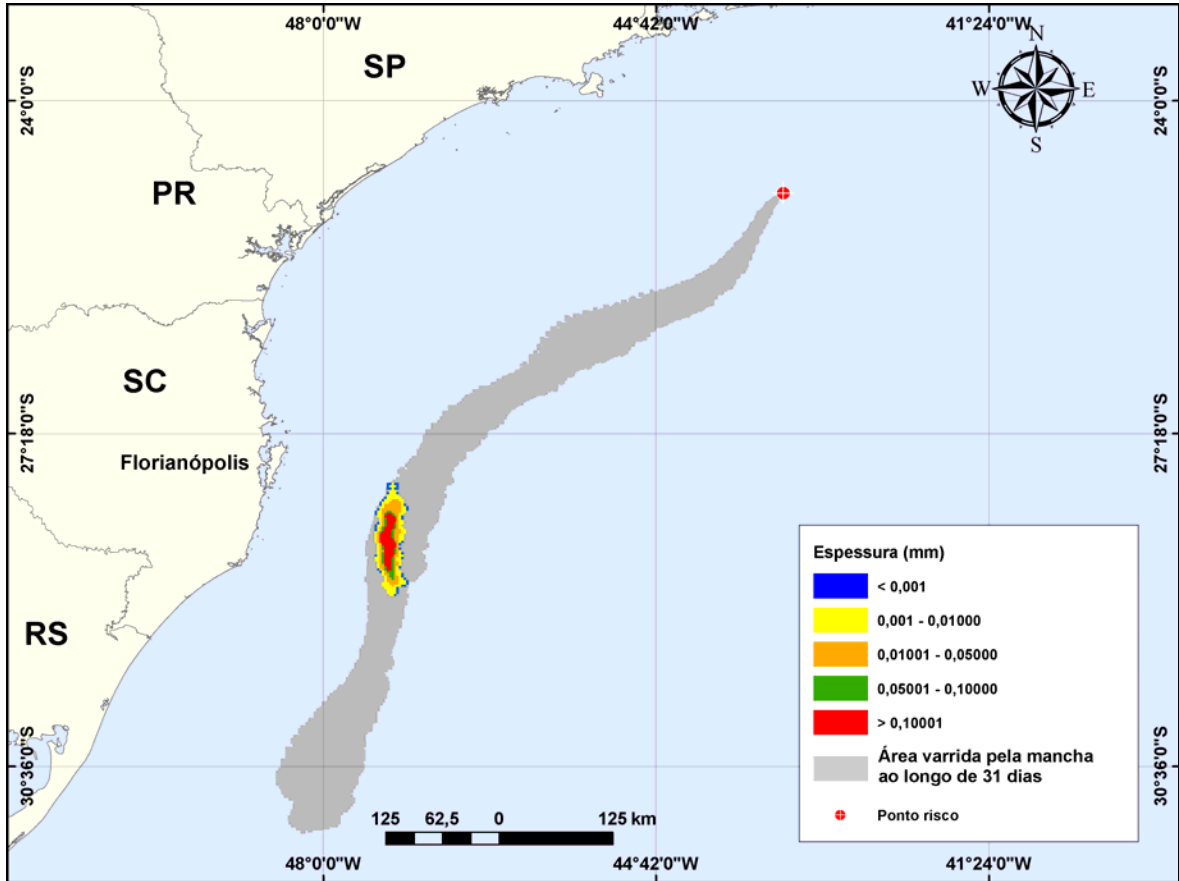


Figura III-133 - DET\_MF\_P2\_BMS10\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.

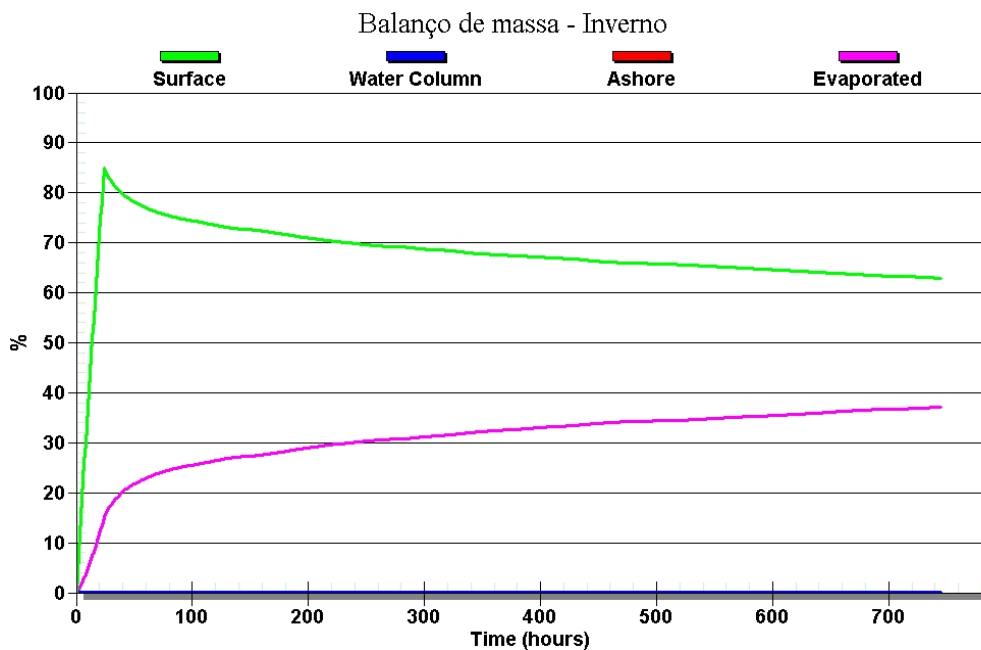
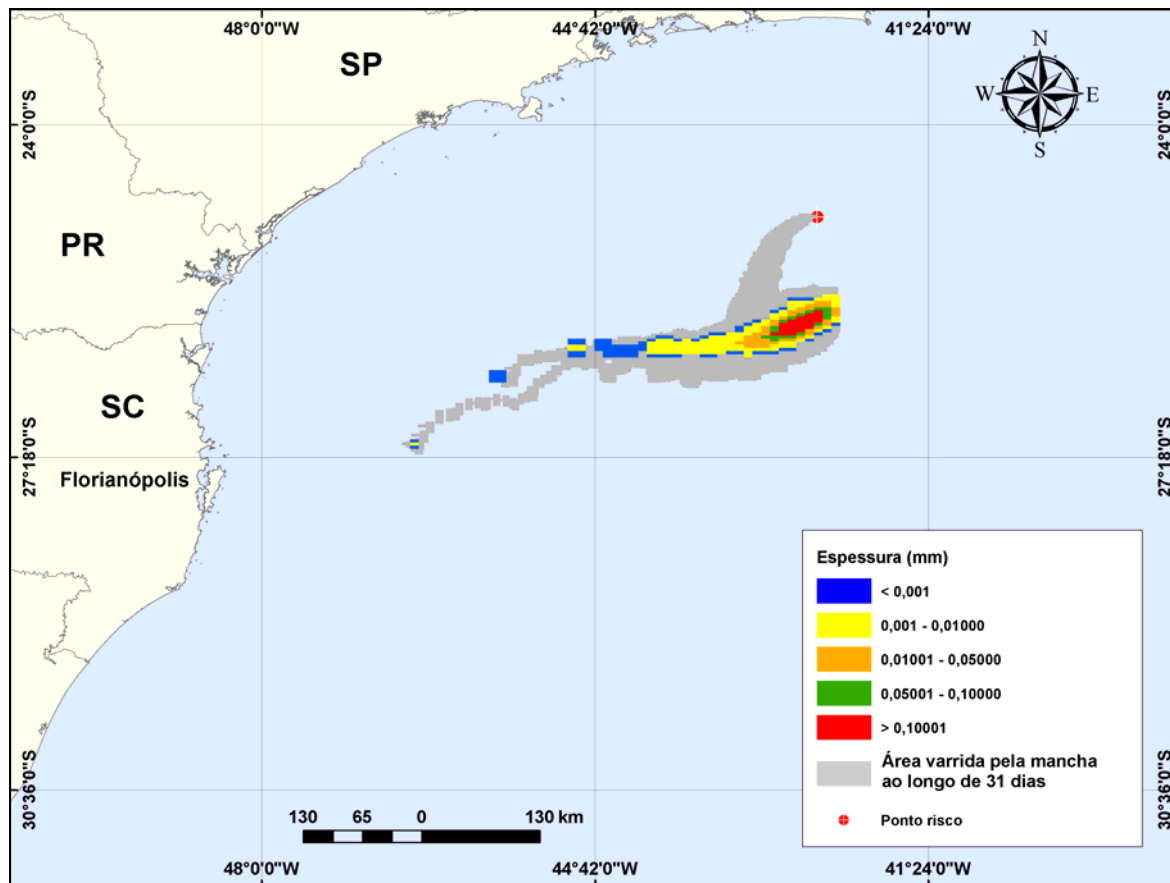
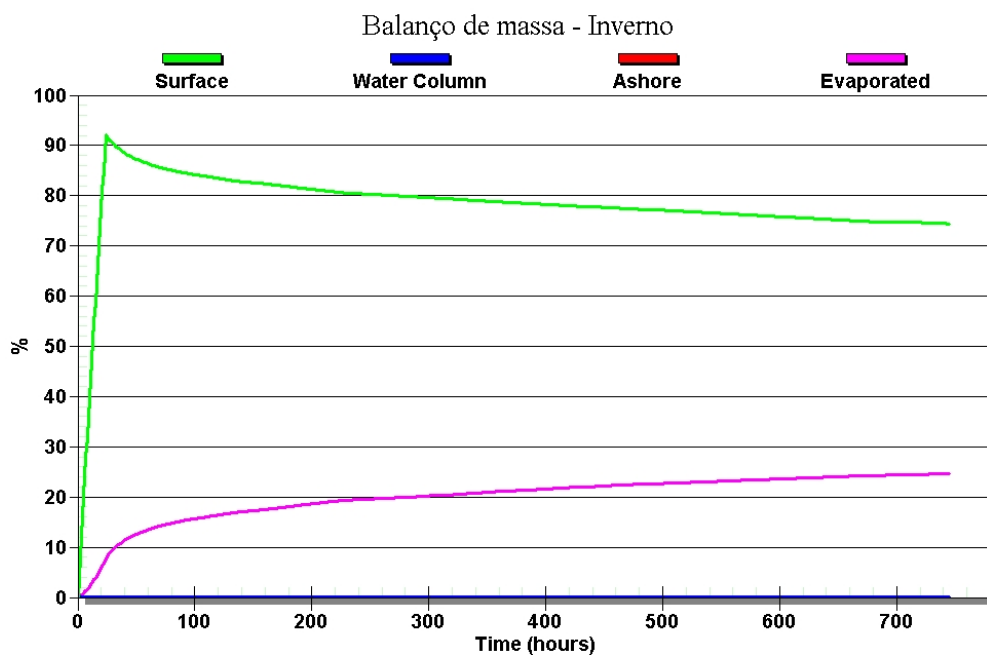


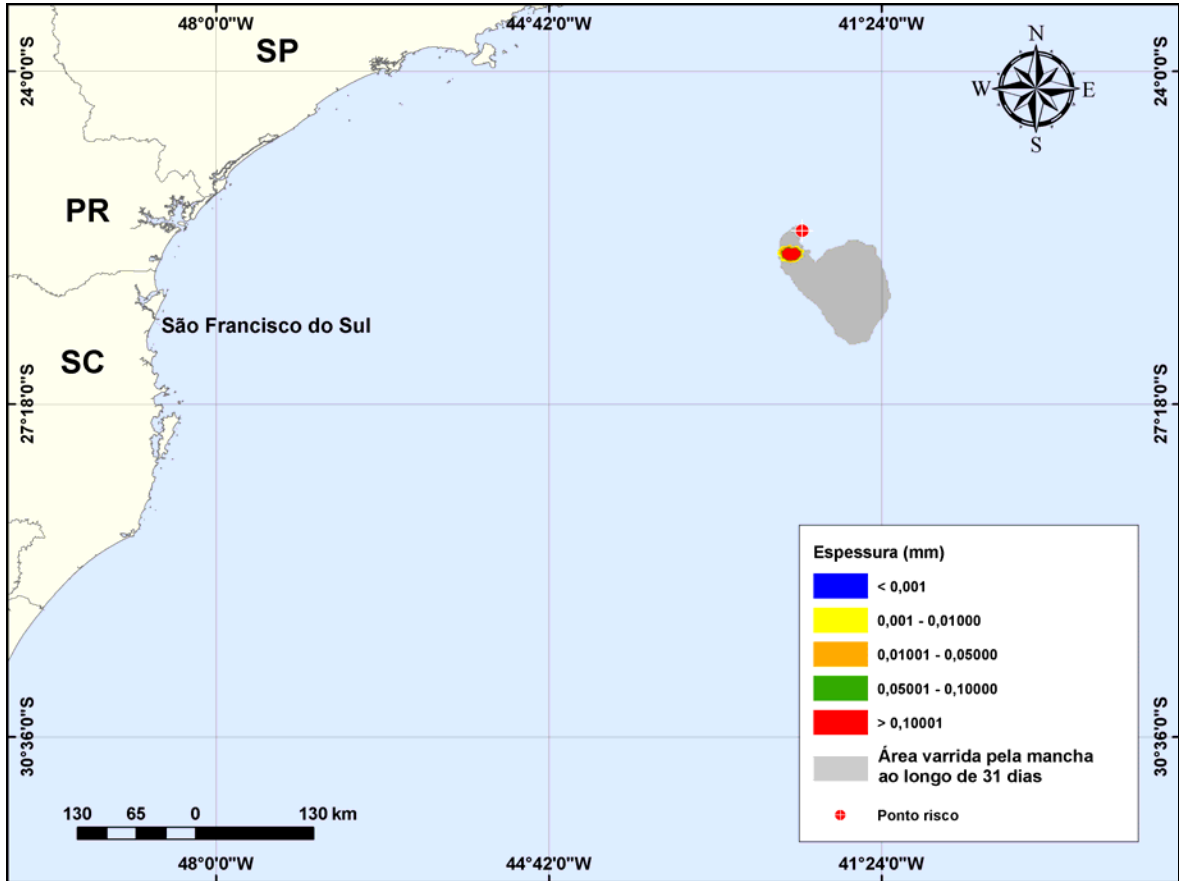
Figura III-134 - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P1\_BMS10\_INV\_PC.



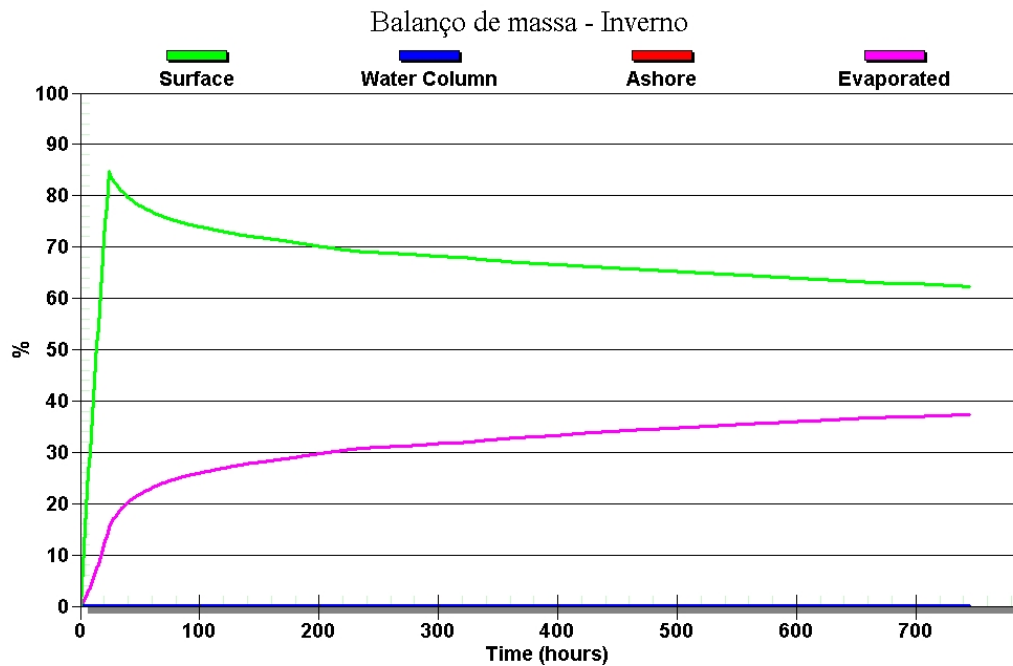
**Figura III-135** - DET\_MF\_P3\_BMS11\_INV\_PC. Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.



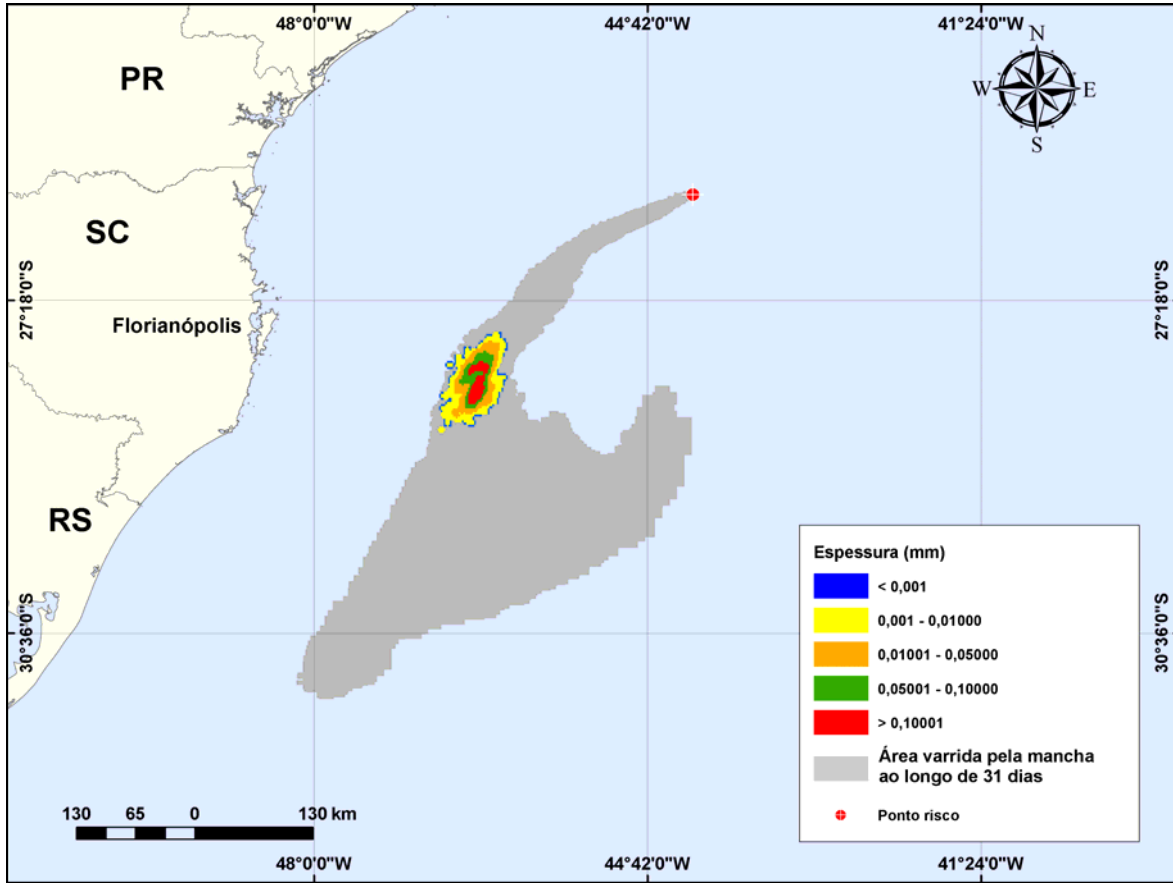
**Figura III-136** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P3\_BMS11\_INV\_PC.



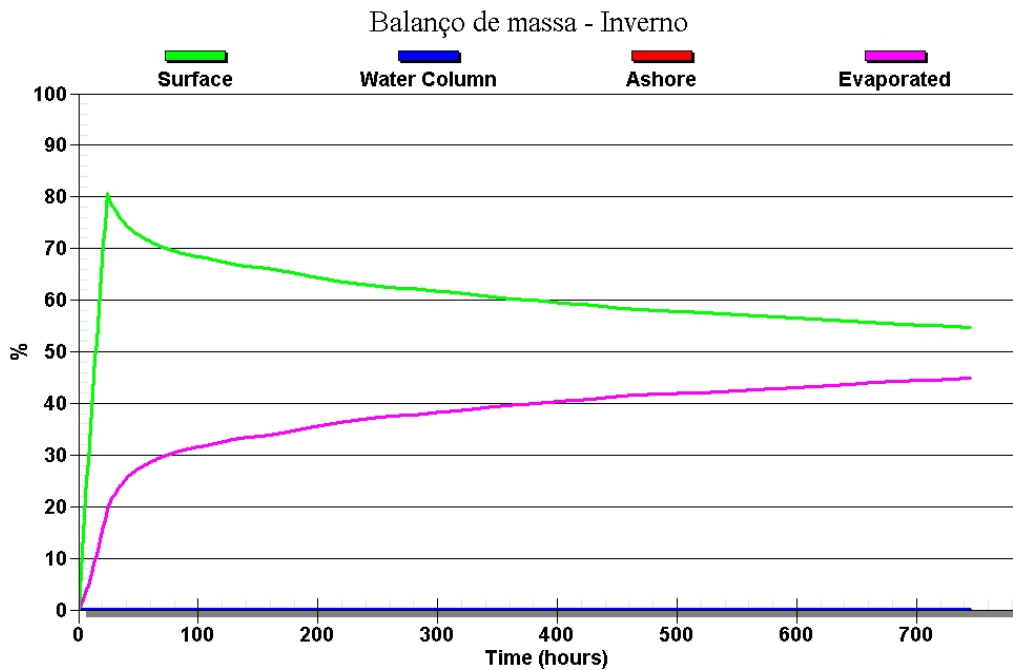
**Figura III-137 - DET\_MF\_P4\_BMS24\_INV\_PC.** Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.



**Figura III-138 - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P4\_BMS24\_INV\_PC.**



**Figura III-139** - DET\_MF\_P5\_BMS21\_INV\_PC Cenário determinístico mais frequente para um derrame de 300.000,0 m<sup>3</sup> (ao longo de 24 horas, simulado por 31 dias) ocorrido durante o inverno.

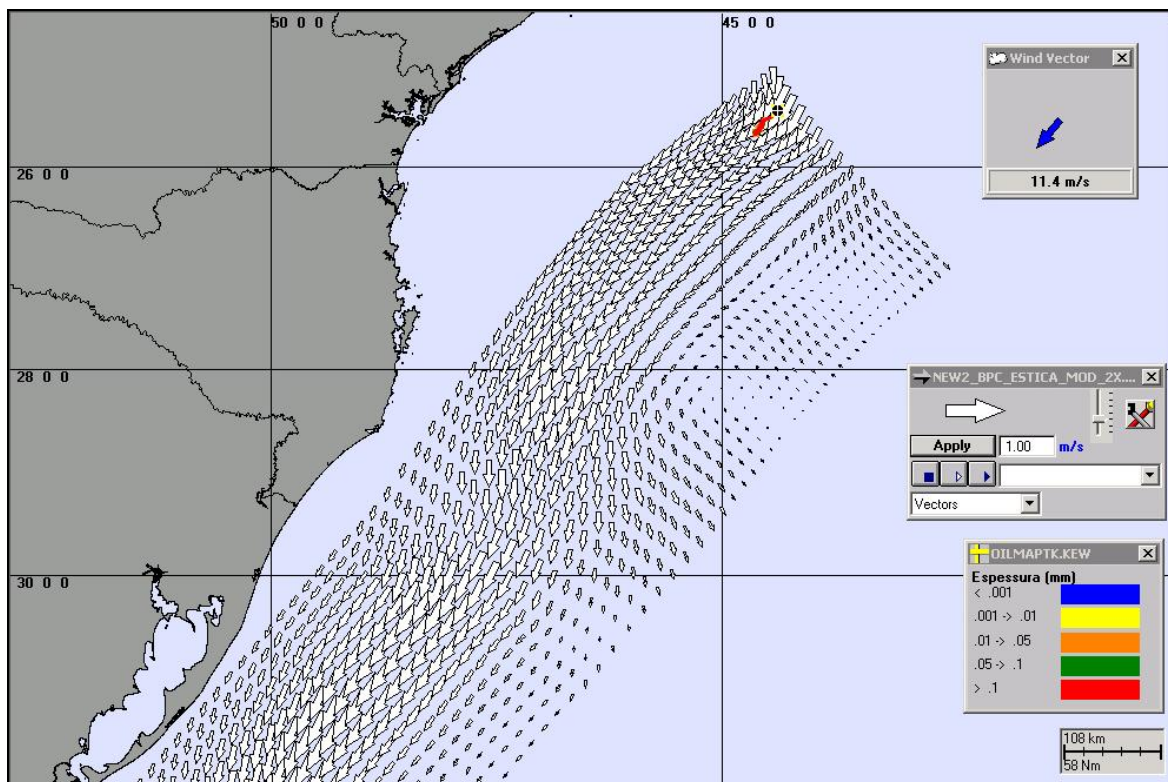


**Figura III-140** - Balanço de massa do cenário DET\_MF\_P5\_BMS21\_INV\_PC.

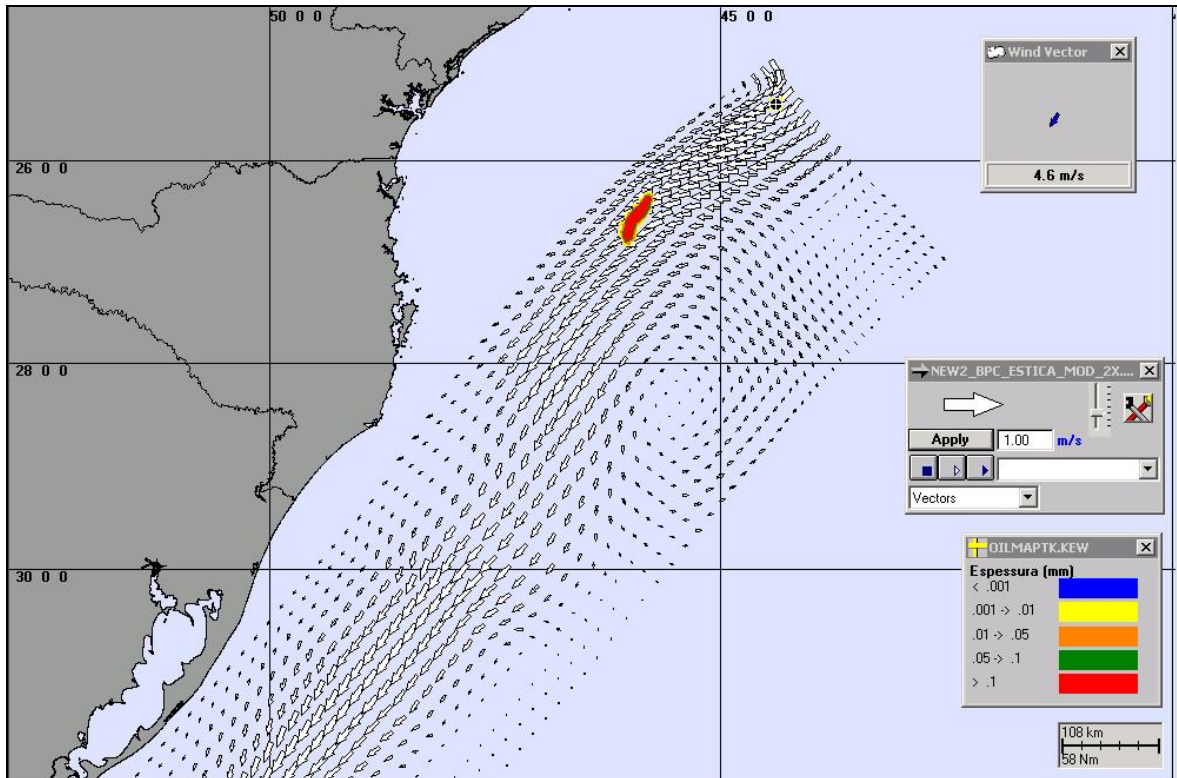
### ***III.3.1 Condições Meteorológicas e Oceanográficas - Simulações Determinísticas Para as Condições Mais Frequentes***

A seguir são apresentadas figuras das condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes que atuam nos cenários determinísticos. Como se trata de uma área geográfica e as condições meteorológicas e oceanográficas são semelhantes para todos os cenários simulados, serão apresentadas figuras das condições meteorológicas e oceanográficas para os cenários que apresentaram menor distância da costa. Os cenários que apresentaram menor distância da costa são referentes ao ponto P1 (BMS8) com volume de pior caso. Nestas, apresenta-se o campo de correntes apenas na região de influência das manchas de óleo.

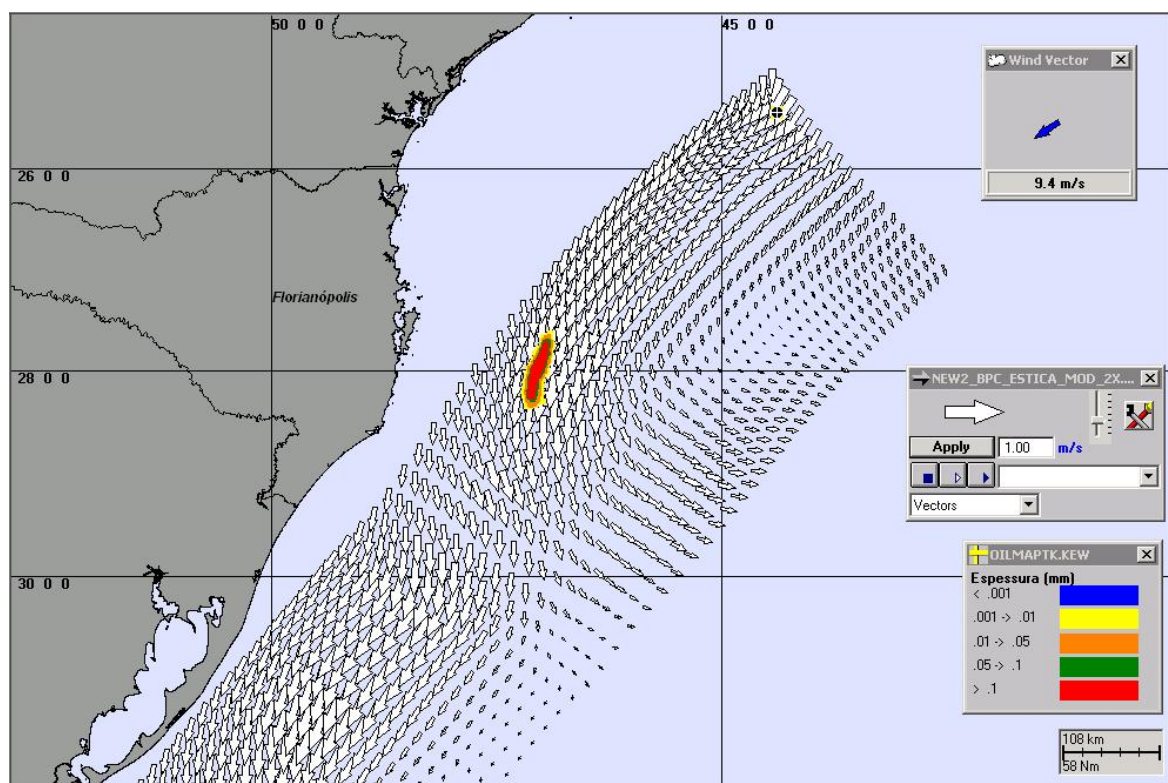
A Figura III-141 a Figura III-143 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes do cenário determinístico mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), de verão, a partir do início do derrame até o instante de maior proximidade da costa, ocorrido cerca de 120 horas após o início da simulação.



**Figura III-141** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.



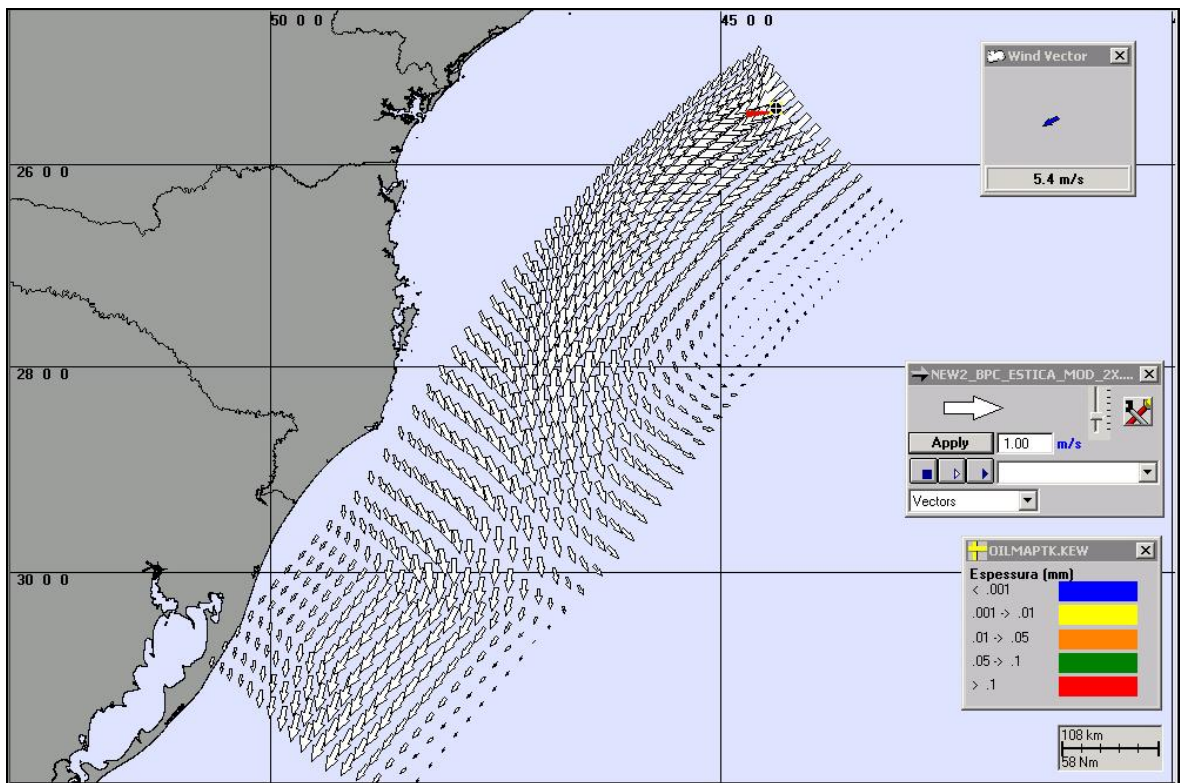
**Figura III-142** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.



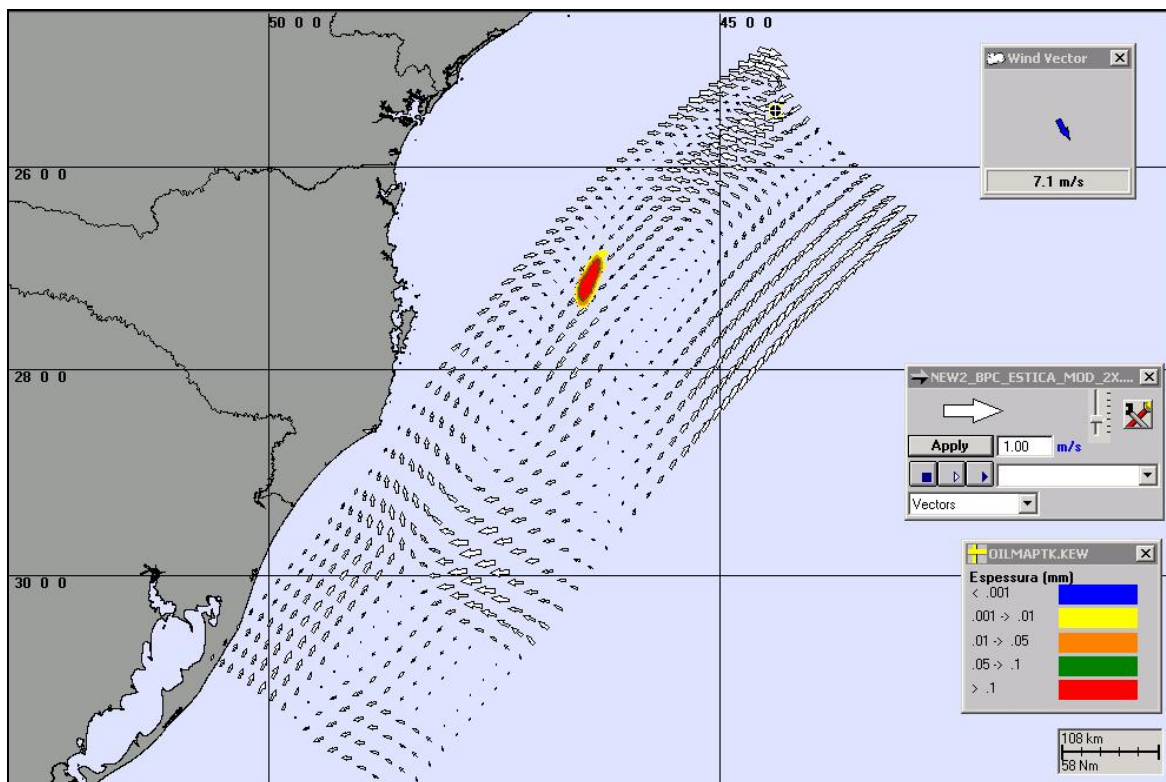
**Figura III-143** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no verão, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.

A Figura III-144 a Figura III-146 apresentam ilustrações das condições meteorológicas e oceanográficas para alguns instantes do cenário determinístico mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), de inverno, a partir do início do derrame até o instante de maior proximidade da costa, ocorrido 216 horas após o início da simulação.

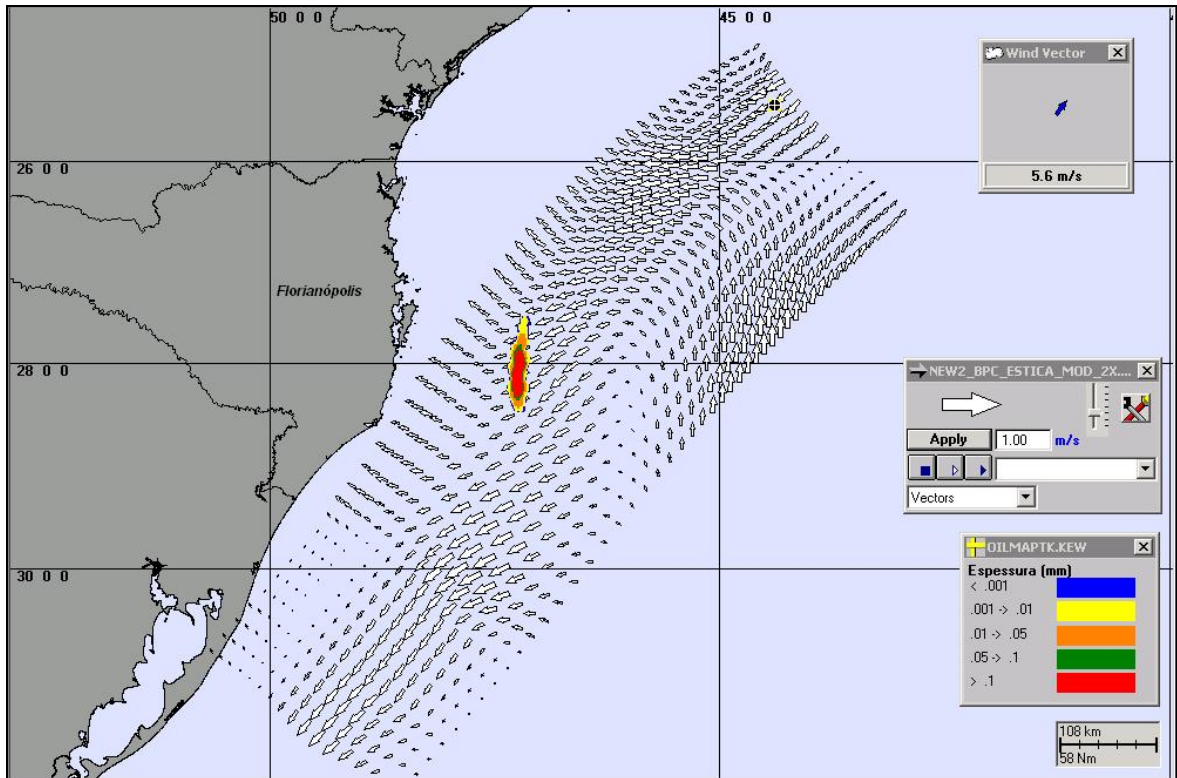




**Figura III-144** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no início da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NE.



**Figura III-145** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo em um instante intermediário da simulação determinística mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-NW.



**Figura III-146** - Condições meteorológicas e oceanográficas e espessuras da mancha de óleo no instante de maior proximidade da costa da simulação mais frequente de pior caso (afundamento de unidade), no inverno, Bloco BM-S-41. Direção Predominante: Corrente-SW; Vento-SW.



## IV CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste relatório são apresentados os estudos realizados para a determinação da trajetória e intemperismo de óleo decorrente de potenciais acidentes com derrame de petróleo no Pólo Pré-Sal, a partir de um conjunto de cinco pontos de risco.

Foram simulados cenários probabilísticos e determinísticos de derrames de óleo, considerando: 1) o maior volume correspondente ao afundamento do FPSO de maior capacidade que irá atuar nas atividades nas Atividades de Produção e Escoamento de Petróleo e Gás Natural no Pólo Pré-Sal - Bacia de Santos (300.000 m<sup>3</sup> derramados por 24 horas), calculado de acordo com a Resolução do CONAMA<sup>2</sup> nº 398/08 (Brasil, 2008); 2) condições sazonais de verão e inverno; e 3) características dos óleos que ocorrem em cada sub-região que compõe o Pólo Pré-Sal.

O critério de parada utilizado nas simulações foi o tempo de 30 dias após o final do vazamento, ou seja, as simulações de afundamento de unidade (derrame ao longo de 24 horas) foram de 31 dias. A partir dos resultados das simulações probabilísticas foram selecionados os cenários determinísticos críticos para condições de verão e inverno, utilizando como critério o menor tempo de chegada do óleo na costa. Adicionalmente, foram realizadas simulações determinísticas referentes às condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes.

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

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA LatinAmerica** para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (ASA, 2010a,b). Enquanto o campo de ventos foi baseado em dados de Reanálise dos modelos meteorológicos do NCEP/NCAR.

---

<sup>2</sup> Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Os resultados sobrepostos das simulações probabilísticas realizadas para os cinco pontos do Pólo Pré-Sal mostraram que, no verão, a probabilidade de toque se estende até uma região mais ao sul, num trecho de, aproximadamente, 1.888,2 km compreendido entre os municípios costeiros de Peruíbe (SP) e Laguna (SC). Já no inverno, as simulações alcançaram uma região um pouco mais ao norte, num trecho de, aproximadamente, 311,1 km do Guarujá (SP) até Guaraqueçaba (SC).

Em condições de verão, não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos de risco localizados nas sub-regiões dos blocos BM-S-21 e BM-S-24. Para o Bloco BM-S-11 apenas o cenário com volume de pior caso apresentou probabilidade de toque na costa. Em condições de inverno, observa-se que também não há probabilidade de toque na costa para os cenários simulados a partir dos pontos das sub-regiões dos blocos BM-S-21 e BM-S-24, além do Bloco BM-S-11.

As maiores probabilidades de toque na costa foram calculadas para o período de inverno (24%), no Município de Iguape (SP). No verão, a probabilidade de toque em toda sua extensão foi igual ou inferior a 10%. O menor tempo de toque na costa ocorreu na Ilha da Queimada Grande, pertencente ao Município de Itanhaém (SP), com 382 horas, durante o verão. No inverno, a Laje de Santos pertencente ao Município de Santos (SP), apresentou o menor tempo de toque (419 horas).

Os resultados das simulações dos cenários determinísticos críticos mostraram que o maior volume final de óleo que chega à costa foi de 69.916,0 m<sup>3</sup> para o verão e 104.880,0 m<sup>3</sup> para o inverno, volumes estes resultantes dos cenários de derrame a partir do ponto de risco localizado na sub-região do BM-S-10 e BM-S-8, respectivamente. Ainda com relação aos cenários determinísticos críticos, no geral, observa-se que a evaporação é o principal processo responsável pela redução da massa de óleo nas simulações realizadas.

Nos cenários determinísticos para as condições meteorológicas e oceanográficas mais frequentes, observa-se que não houve toque na costa tanto para o período de verão quanto para inverno. No verão, a menor distância da costa foi de, aproximadamente, 130 km do Município de Florianópolis (SC).

No inverno, a menor distância da costa foi de, aproximadamente, 105 km também do Município de Florianópolis (SC).

Em conclusão, este trabalho mostrou como a modelagem de derrames de óleo por área, considerando em cada ponto as hipóteses mais conservativas em relação ao tipo de óleo e volume de pior caso, fornece uma visão abrangente e integrada das possíveis trajetórias de óleo hipoteticamente derramados na região.

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





## V BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2009. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo no Mar para a Área do Pré-Sal, Bacia de Santos. Relatório Técnico, Revisão 00 (15 de junho de 2009). 98pp+Anexo.

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

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

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

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



## VI EQUIPE TÉCNICA

### *Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.*

<b>Profissional</b>	Ana Carolina R. Lammardo
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	325047
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Camila Cantagallo
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	2393696
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Eduardo Yassuda
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	060.184.738.5
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	94066
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Marco Antonio Corrêa
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	434236
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Pedro Fabiano M. Sarmiento
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1800416
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Vivian Martinho
<b>Empresa</b>	Applied Science Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	5057041
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

## ANEXO A - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS OILMAP

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## A.1 FORMULAÇÃO DO MODELO

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

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

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

onde

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

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

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

onde

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



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

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

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

onde

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

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

$C_1$  = fator de deriva (%).

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

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

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

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

onde

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

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

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

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

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

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

onde

$D_x$  = coeficiente de dispersão horizontal na direção Leste-Oeste (m<sup>2</sup>/s);

$D_y$  = coeficiente de dispersão horizontal na direção Norte-Sul (m<sup>2</sup>/s);

$\Delta t$  = passo de tempo (s);

$\gamma$  = número aleatório entre (-1) e (1).

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

O processo de espalhamento da mancha é representado pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980a,b, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa. O OILMAP modela apenas a mancha espessa que contém mais de 90% da massa associada à mancha. A taxa de mudança da área superficial para o espalhamento da mancha espessa (Mackay *et al.*, 1980a),  $\bar{A}_{tk}$  (m<sup>2</sup>/s), é definida por:

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

onde

$A_{tk}$  = área superficial da mancha (m<sup>2</sup>);

$K_1$  = taxa de espalhamento constante (s<sup>-1</sup>);

$V_m$  = volume da superfície da mancha (m<sup>3</sup>);

$t$  = tempo (s).

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

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

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

onde

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

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

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

$R_s$  = raio de uma partícula (m);

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

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

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

onde

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

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

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

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

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

onde

$T_0$  = ponto de ebulição inicial (K);

$T_G$  = gradiente da curva de destilação modificada;

$T$  = temperatura do ambiente (K);

$A, B$  = constantes adimensionais;

$\theta$  = exposição à evaporação.

A exposição à evaporação,  $\theta$ , é definida por:

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

onde

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

$A$  = área da mancha (m<sup>2</sup>);

$t$  = tempo (s);

$V_0$  = volume do derrame de óleo (m<sup>3</sup>).

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

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

$$T_B = T_0 + T_G F_v \quad (14)$$

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

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

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

onde

$P$  = pressão do vapor do óleo (atm);

$V$  = volume do óleo ( $m^3$ );

$R$  = constante universal dos gases;

$T$  = temperatura ambiente (K).

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

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

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

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

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

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

onde

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

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

$S$  = fração da superfície do mar coberta pelo óleo;

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

$d$  = diâmetro da partícula de óleo (m);

$\Delta d$  = intervalo de diâmetro da partícula de óleo (m).

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

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

onde

$\mu$  = viscosidade do óleo (cP);

$\rho$  = densidade do óleo ( $g/cm^3$ );

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

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

O diâmetro médio da partícula,  $d_{50}$  ( $\mu m$ ), é definido por:

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

onde

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

$\mu$  = viscosidade do óleo (cP);

$\rho$  = densidade do óleo ( $g/cm^3$ ).

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

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

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

A energia dissipada da onda,  $D_d$  ( $\text{J}/\text{m}^2$ ), é:

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

onde

$\rho_w$  = densidade da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m}/\text{s}^2$ );

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

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

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

onde

$U_w$  = velocidade do vento 10 m acima da superfície do mar ( $\text{m}/\text{s}$ );

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

$T_w$  = período de onda significativo (s).

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

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

onde

$A$  = área superficial da mancha ( $m^2$ );

$dt$  = passo de tempo (s);

$Q_d$  = taxa de entranhamento ( $kg\ m^{-2}\ s^{-1}$ ).

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

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

onde

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

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

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

onde

$d_i$  = diâmetro da gotícula (m);

$g$  = constante gravitacional ( $m/s^2$ );

$\rho_0$  = densidade do óleo ( $kg/m^3$ );

$\rho_w$  = densidade da água ( $kg/m^3$ );

$\nu_w$  = viscosidade da água ( $m^2/s$ ).

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

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

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

onde

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



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

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

onde

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

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

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

onde

$dt$  = passo de tempo (s).

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

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

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

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

onde

$U_w$  = velocidade do vento (m/s);

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

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

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

A viscosidade do óleo emulsificado,  $\mu$  (cP), é dada por:

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

onde

$\mu_0$  = viscosidade inicial do óleo (cP);

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

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

O efeito da evaporação na viscosidade,  $\mu$  (cP), é dada por:

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

onde

$\mu_0$  = viscosidade inicial do óleo (cP);

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

$F_v$  = fração evaporada da superfície da mancha.

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

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

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

onde

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

$A_s$  = área de uma partícula na superfície.

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

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

onde

$i$  = parâmetro do tipo de costa;

$\rho_0$  = densidade do óleo depositado ( $\text{kg/m}^3$ );

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

$W_i$  = largura do elemento de grade atingido pelo óleo;

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

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

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

onde

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

$t$  = tempo (dias);

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

## A.2 DADOS DE ENTRADA

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

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

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

### **A.3 BIBLIOGRAFIA**

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

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

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

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

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

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

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

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

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

OKUBO A. & R.V. OZMIDOV, 1970. Empirical dependence of the coefficient of horizontal turbulent diffusion on the ocean in the scale of the phenomenon in question. **Atmospheric and Ocean Physics**, 6(5): p. 534-536.

OKUBO, A., 1971. Oceanic diffusion diagrams. **Deep Sea Research**, v. 8, p. 789-802.

PEREIRA J.E.; E.A. YASSUDA & E. CAMPOS, 2005. Development of an operational metocean modelling system, with applications in South America. In: 9th International Conference on Estuarine and Coastal Modelling, 2005. Charleston, SC, USA.

REED M., E. GUNDLACH, & T. KANA, 1989. A coastal zone oil spill model: development and sensitivity studies, **Oil and Chemical Pollution**, Vol. 5, p. 411-449.

SPAULDING, M. L., E. HOWLETT, E. ANDERSON & K. JAYKO, 1992a. OILMAP a global approach to spill modeling. 15th Arctic and Marine Oil Spill Program, Technical Seminar, June 9-11, 1992, Edmonton, Alberta, Canada, p. 15-21.

SPAULDING M.L., E. HOWLETT, E. ANDERSON & K. JAYKO, 1992b. Oil spill software with a shell approach. **Sea Technology**, April 1992, p. 33-40.

STIVER W. & D. MACKAY, 1984. Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. **Environmental Science and Technology**, 18:834-840.

WHITICAR S., M. BOBRA, M. FINGAS, P. JOKUTY, P. LIUZZO, S. CALLAGHAN, S. ACKERMAN & J. CAO, 1992. A catalogue of crude oil and oil product properties 1992 (edition), Report #EE-144, Environment Canada, Ottawa, Canada.





## ANEXO B - DESCRIÇÃO DO NCEP/NCAR

Os dados atmosféricos de reanálise do NCEP/NCAR são resultados de simulações numéricas que utilizam o estado-da-arte em assimilação de dados em conjunto com a mais extensa base de dados disponível. Esta base de dados tem sido aprimorada e beneficiada pela inclusão de observações (coleta de dados) realizadas em diversos países. Tais simulações são realizadas no NCEP usando um modelo espectral de cobertura global de 28 níveis verticais. Este modelo numérico inclui parametrizações dos maiores processos físicos, a saber, convecção, precipitação de grande escala, convecção superficial, arrasto devido a ondas de gravidade, radiação de ciclo diurno e interação com nuvens, física das camadas limites, interação da hidrologia superficial e processos horizontais e verticais de difusão. Detalhes da dinâmica e da física incorporada ao modelo são descritos em NMC Development Division (1988), Kanamitsu (1989), e Kanamitsu *et al.* (1991).

Os dados utilizados nas análises apresentadas no presente estudo foram obtidos via endereço eletrônico (<http://www.esrl.noaa.gov/psd>). É importante salientar que a **ASA South America** mantém um sistema automatizado de “download” de arquivos do NCEP/NCAR (endereço acima) e que, portanto, por ser atualizado diariamente, possibilitando apenas definir a data do último acesso (05 de janeiro de 2009).

O NCEP utiliza como sistema de referência um geóide denominado “Spherical Earth” (comunicação pessoal: ESRL/PSD Data Management <[esrl.psd.data@noaa.gov](mailto:esrl.psd.data@noaa.gov)>). Este possui valores diferentes para os parâmetros semieixo maior e achatamento, quando comparado com os do WGS 84:

- Spherical earth: semieixo maior = 6.371.200 m / achatamento = 0;
- WGS 84: semieixo maior = 6.378.137 m / achatamento = 1/298,257223563.

Esta aproximação da forma da Terra à uma esfera (*i.e.* com semieixos iguais) é geralmente utilizada para a simplificação das transformações de coordenadas.

A diferença entre as temperaturas do ar no litoral durante o dia e a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) costeira induz pequenas células de circulação denominadas de brisas marítimas. No caso da reanálise do NCEP/NCAR (resolução espacial de 2,5° x 2,5°), ressalta-se que essas células

costeiras não são representadas, como consequência da resolução espacial do modelo.

## **B.1 BIBLIOGRAFIA**

KANAMITSU, M., 1989. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. *Weather and Forecasting*, 4, 335-342.

KANAMITSU, M., J.C. ALPERT, K.A. CAMPANA, P.M. CAPLAN, D.G. DEAVEN, M. IREDELL, B. KATZ, H.-L. PAN, J. SELA & G.H. WHITE, 1991. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. *Weather and Forecasting*, 6, 425-435.

NMC Development Division, 1988: Documentation of the research version of the NMC Medium-Range Forecasting Model. NMC Development Division, Camp Springs, MD, 504 pp.

