



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE  
INSTITUTO OCEANOGRÁFICO  
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E  
GEOLÓGICA**

**ANGELO TEIXEIRA LEMOS**

**MODELAGEM NUMÉRICA COMO FERRAMENTA DE  
DETERMINAÇÃO DE UMA ZONA DE EXCLUSÃO PARA AS  
ATIVIDADES DE EXPLORAÇÃO E PRODUÇÃO (E&P) DE  
PETRÓLEO NA REGIÃO DO BANCO DE ABROLHOS**

Dissertação apresentada à  
Comissão de Pós-Graduação  
do Curso de Oceanografia  
Física, Química e Geológica -  
FURG, para obtenção do grau  
de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Ivan Dias Soares

Rio Grande, Fevereiro de 2009

## RESUMO

O presente estudo teve por objetivo realizar modelagens de diferentes cenários de derramamentos de óleo em blocos de petróleo já existentes (BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418) e em outros três cenários aonde não há blocos (CT-1, CT-2 e CT-3) em áreas adjacentes ao Banco de Abrolhos, a fim de se determinar uma zona de exclusão para as atividades de Pesquisa e Desenvolvimento de petróleo na região. Foram realizadas simulações de 30 dias de derramamento de óleo leve e intermediário através do grau API (*American Petroleum Institute*), utilizando como ferramenta o modelo OSCAR, sendo alimentado com dados hidrodinâmicos simulados pelo modelo POM e dados de vento sinótico simulados pelo modelo ETA, o qual foi alimentado com dados de reanálise do NCEP. Os períodos abordados foram o inverno e o verão do ano de 1989 e os resultados foram discutidos em termos das variações de intensidade e direção do espalhamento causado pelo vento sinótico de cada estação, assim como pelos processos de meso-escala e pela maré. O efeito causado pela maré foi analisado através da comparação de simulações com e sem maré. Apenas o bloco ES-M-418 e o CT-1 não ofereceram nenhum risco de contaminação. Os blocos com resultados mais críticos de contaminação do óleo às áreas de proteção são os blocos BM-CUM-1 e BM-CUM-2 da Bacia de Cumuruxatiba nas simulações com óleo leve (BM-CUM-1 no inverno e BM-CUM-2 no verão) e intermediário (verão para ambos), onde em todos os cenários analisados o óleo atingiu alguma área de preservação. Segundo os dados diferenciais entre verão e inverno com simulações com óleo leve e intermediário, o pior período sazonal para ocorrência de um derramamento de óleo foi no verão com a utilização de óleo intermediário. Concluiu-se que a maré influenciou fortemente nos resultados probabilísticos de destino do óleo nos cenários de derramamento. Muitos fatores mostraram influenciar nesse destino do espalhamento do óleo com a ausência dos processos supra-inerciais, como a localização geográfica do derramamento, o tipo do óleo utilizado nas simulações, os ventos predominantes e o comportamento da maré na região. A ausência da maré nos dados hidrodinâmicos não permitiu encontrar os cenários de pior caso de derramamento em simulações nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2 e J-M-259, principalmente no verão e utilização de óleo intermediário, subestimando os cenários reais de derramamento. A zona de exclusão englobou todos os blocos e cenários teóricos onde o óleo atingiu alguma

área de preservação ambiental e, portanto, se estendeu desde os limites sul da Bacia do Jequitinhonha (aproximadamente 16°S, englobando o bloco J-M-259) até os limites norte da Bacia do Espírito Santo (aproximadamente 19° 15'S).

## ABSTRACT

This study presents a comparative analysis of several theoretical oil spill scenarios occurring in the vicinity of the Abrolhos Bank, a preservation area located off the Brazilian east coast. The main objective is to establish a zone of exclusion for oil production activities in the region. The following petroleum blocks were considered in the study: BM-CUM-1, BM-CUM-2, JM-259 and ES-M-418, as well as three other blocks: CT-1 CT-2 and CT-3. The probabilistic oil spill simulations were carried out for 30 days and considered two types of oil: low API type and intermediate API type. The simulations were performed by the OSCAR model which was fed by synoptic wind data and hydrodynamic data simulated by the POM model. Two distinct seasonal scenarios were studied: the austral winter and the austral summer of 1989 and the results were discussed in terms of seasonal variability caused by the winter/summer winds and differences in mesoscale instabilities. The effect caused by tidal currents were analysed through the comparison between simulations with and without the tides. Only the block ES-M-418 and CT-1 offers no risk of contamination. The blocks with results more critical by oil contamination in the areas of protection were BM-CUM-1 e BM-CUM-2 from Cumuruxatiba Basin in the simulations with light oil (BM-CUM-1 on winter and BM-CUM-2 on summer) and intermediate oil (summer to both), whereas in all the scenarios analyzed the oil reached some area of preservation. The differential data between summer and winter with simulation with light and intermediate oil showed that the worse seasonal period to occur an oil spill was the summer with the use of intermediate oil. It was concluded that the tide strongly influenced the probabilistic results of fate of oil in the spill scenarios. Many factors have influenced these fate of the spreading of oil in the absence of supra-inertial processes, such as the location of the spill, the type of oil used in the simulations, the behavior of the prevailing winds and tides in the region. The tide absence in the hydrodynamic data did not found the worst case scenarios of the spill in simulations in blocks BM-CUM-1, BM-CUM-1 and J-M-259, mainly in summer with use of intermediate oil, underestimating the real scenarios of spill. The exclusion zone covered all blocks and theoretical scenarios where the oil have reached some areas of environmental preservation and, so, extending itself from the southern limits of Jequitinhonha Basin (approximately 16°S, covering the block J-M-259) to the northern limits of the Basin of Espírito Santo (approximately 19°15'S).

## AGRADECIMENTOS

- Certamente essa é uma das partes desse trabalho que eu estava muito ansioso em escrever. Sem essas pessoas aqui citadas essa dissertação não teria saído.
- Meu primeiro agradecimento é a Deus. Sem Ele nada disso seria possível, e só eu e Ele sabemos o quão foi difícil chegar até aqui. Mas valeu muito a pena.
- Meu segundo agradecimento sem dúvidas vai para minha família. Sem todos eles e a confiança que depositam em quem eu sou e no que eu posso me tornar, esse trabalho não chegaria nem a começar.
- Meu terceiro agradecimento vai ao meu orientador Ivan Dias Soares e ao LENOC/FURG, por ter aceitado me orientar e por toda ajuda que me ofereceu, com o máximo de paciência. Por todo o incentivo à ciência, pelas ajudas financeiras nos cursos e viagens através da ATLANTIS. E é claro, pelo bom humor de sempre.
- Agradeço enormemente a Isabel Machado e Gilberto Griep, pela força e incentivo moral que me passaram assim que cheguei a Rio Grande, e a todas as experiências compartilhadas durante as viagens e cursos.
- Agradeço ao PRH-27/ANP pelo apoio financeiro ao longo desses dois anos, sem o qual certamente esse trabalho não seria possível.
- Gostaria de agradecer ao meu co-orientador Renato David Ghisolfi, por todos os ensinamentos sobre o OSCAR e modelagem de derramamento de óleo, e pela disponibilização dos novos computadores (ele sabe o desespero que fiquei para que eles chegassem logo) durante os meses que passei em Vitória. Obrigado pela força.
- Agradeço a Mark Reed e Ben Hetland da SINTEF, por todas as conversas e apoio científico na utilização do modelo OSCAR.
- Gostaria muito de agradecer a aos professores do Curso de Pós-graduação, certamente os ensinamentos e experiências que obtive com os precursores da oceanografia no Brasil ficarão guardados comigo pelo resto da vida.
- Gostaria de agradecer ao SACC, pelo apoio financeiro disponibilizado para a realização do curso sobre processos físicos no Chile, onde os ensinamentos obtidos ajudarão muito na minha vida profissional.
- E por fim, e não menos importante, a todos os amigos que fiz aqui na universidade, e com absoluta certeza muitas delas serão amizades para sempre, quem sabe profissionais um dia.

*“Conta certa lenda que estavam duas crianças patinando num lago congelado.  
Era uma tarde nublada e fria e as crianças brincavam despreocupadas.  
De repente, o gelo se quebrou e uma delas caiu, ficando presa na fenda que formou.  
A outra, vendo seu amiguinho preso e congelado, tirou um dos patins  
E começou a golpear o gelo com todas as suas forças,  
Conseguindo por fim quebrá-lo e libertar o amigo.  
Quando os bombeiros chegaram e viram o que havia acontecido,  
Perguntaram ao menino: - Como você conseguiu fazer isso ?  
É impossível que tenha conseguido quebrar o gelo,  
sendo tão pequeno e com mãos tão frágeis !  
Nesse instante, um ancião que passava pelo local, comentou:  
- Eu sei como ele conseguiu.  
Todos perguntaram:  
- Pode nos dizer como ?!  
- É simples - respondeu o velho. – Não havia ninguém ao seu redor,  
Para lhe dizer que não seria capaz.”*

(Albert Einstein)

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Introdução.....	15
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Justificativa.....	18
1.4 Antecedentes da modelagem de derramamento de óleo.....	19
<b>CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDOS.....</b>	<b>29</b>
2.1 As bacias do Espírito Santo, Jequitinhonha e Cumuruxatiba.....	30
2.2 Clima e regime de ventos.....	31
2.3 Aspectos oceanográficos.....	33
2.4 O Parque Nacional Marinho de Abrolhos.....	38
2.5 Aspectos geológicos.....	39
<b>CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO PETRÓLEO.....</b>	<b>45</b>
3.1 Hidrocarbonetos de petróleo.....	46
3.2 Composição.....	46
3.3 Propriedades físicas.....	48
3.3.1 Massa específica, densidade e grau API.....	48
3.3.2 Viscosidade.....	49
3.3.3 Ponto de fluidez ou “ <i>pour point</i> ”.....	50
3.3.4 Volatilidade.....	50
3.3.5 Ponto de ignição.....	51
3.3.6 Solubilidade.....	51
3.3.7 Tensão superficial.....	52
3.4 O comportamento do petróleo no mar.....	52
3.4.1 Processos intempéricos.....	52
3.4.1.1 Espalhamento.....	53
3.4.1.2 Evaporação.....	56
3.4.1.3 Dissolução.....	56

3.4.1.4 Dispersão natural.....	57
3.4.1.5 Emulsificação.....	57
3.4.1.6 Sedimentação.....	60
3.4.1.7 Foto-oxidação.....	61
3.4.1.8 Biodegradação.....	62
<b>CAPÍTULO 4: A MODELAGEM COMO SUPORTE AOS INSTRUMENTOS DA POLÍTICA DO MEIO AMBIENTE.....</b>	<b>63</b>
4.1 Os aspectos da legislação ambiental industrial.....	64
4.2 A legislação ambiental da indústria do petróleo.....	64
4.3 A legislação ambiental voltada ao derramamento de petróleo.....	66
4.4 O modelo hidrodinâmico POM ( <i>Princeton Ocean Model</i> ).....	69
4.5 A Modelagem numérica de derramamentos de óleo.....	70
4.6 O modelo de derramamento de óleo OSCAR ( <i>Oil Spill Contingency and Response</i> ).....	71
<b>CAPÍTULO 5: METODOLOGIA.....</b>	<b>76</b>
5.1 Fluxograma de etapas metodológico.....	77
5.2 A implementação do modelo POM na área de estudos.....	77
5.3 A importação de dados no modelo OSCAR.....	78
5.4 Os parâmetros ambientais das simulações do OSCAR.....	81
5.5 As estratégias de modelagem.....	82
<b>CAPÍTULO 6: RESULTADOS.....</b>	<b>90</b>
6.1 Interpolações e padrões hidrodinâmico de verão e inverno.....	92
6.2 Blocos licenciados e não licenciados pela ANP.....	99
6.2.1 Período sazonal de verão.....	99
6.2.1.1 Presença de processos supra-inerciais.....	99
6.2.1.1.1 Simulações com óleo leve.....	99
6.2.1.1.2 Simulações com óleo intermediário.....	100
6.2.1.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário.....	104
6.2.1.2 Ausência de processos supra-inerciais.....	106



6.2.1.2.1 Simulações com óleo leve.....	106
6.2.1.2.2 Simulações com óleo intermediário.....	107
6.2.1.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário.....	110
6.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais.....	111
6.2.1.3.1 Simulações com óleo leve.....	111
6.2.1.3.2 Simulações com óleo intermediário.....	112
6.2.2 Período sazonal de inverno.....	113
6.2.2.1 Presença de processos supra-inerciais.....	113
6.2.2.1.1 Simulações com óleo leve.....	113
6.2.2.1.2 Simulações com óleo intermediário.....	114
6.2.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário.....	119
6.2.2.2 Ausência de processos supra-inerciais.....	121
6.2.2.2.1 Simulações com óleo leve.....	121
6.2.2.2.2 Simulações com óleo intermediário.....	121
6.2.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário.....	124
6.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais.....	125
6.2.2.3.1 Simulações com óleo leve.....	125
6.2.2.3.2 Simulações com óleo intermediário.....	126
6.3 Análise comparativa entre simulações de verão e inverno.....	127
6.3.1 Simulações com óleo leve.....	127
6.3.2 Simulações com óleo intermediário.....	128
6.4 A Zona de Exclusão.....	130
<b>CAPÍTULO 7: DISCUSSÕES.....</b>	<b>132</b>
7.1 Interpolações e padrões hidrodinâmicos de verão e inverno.....	134
7.2 Período sazonal de verão.....	135
7.2.1 Presença de processos supra-inerciais.....	135

7.2.1.1 Simulações com óleo leve.....	135
7.2.1.2 Simulações com óleo intermediário.....	136
7.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e Intermediário.....	137
7.2.2 Ausência de processos supra-inerciais.....	139
7.2.2.1 Simulações com óleo leve.....	139
7.2.2.2 Simulações com óleo intermediário.....	139
7.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e Intermediário.....	140
7.2.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais.....	141
7.2.3.1 Simulações com óleo leve.....	141
7.2.3.2 Simulações com óleo intermediário.....	144
7.3 Período sazonal de inverno.....	144
7.3.1 Presença de processos supra-inerciais.....	144
7.3.1.1 Simulações com óleo leve.....	144
7.3.1.2 Simulações com óleo intermediário.....	145
7.3.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e Intermediário.....	146
7.3.2 Ausência de processos supra-inerciais.....	148
7.3.2.1 Simulações com óleo leve.....	148
7.3.2.2 Simulações com óleo intermediário.....	148
7.3.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e Intermediário.....	149
7.3.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais.....	151
7.3.3.1 Simulações com óleo leve.....	151
7.3.3.2 Simulações com óleo intermediário.....	153
7.4 Análise comparativa entre simulações de verão e inverno.....	154
7.4.1 Simulações com óleo leve.....	155
7.4.2 Simulações com óleo intermediário.....	156
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSÃO.....</b>	<b>159</b>
<b>CAPÍTULO 9: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>164</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> - Bacias do Espírito Santo, Cumuruxatiba e Jequitinhonha.....	30
<b>Figura 2.2</b> - Representação do Giro Subtropical do Atlântico Sul.....	34
<b>Figura 2.3</b> - Campo de velocidade sinótico a 10m de profundidade na região de estudos	36
<b>Figura 2.4</b> - Região do Banco de Abrolhos.....	38
<b>Figura 2.5</b> - Feições geológicas da área de estudo.....	40
<b>Figura 2.6</b> - Detalhamento do Arquipélago de Abrolhos.....	41
<b>Figura 2.7a</b> - Imagem LANDSAT TM de inverno do Arquipélago de Abrolhos.....	43
<b>Figura 2.7b</b> - Imagem LANDSAT TM de verão do Arquipélago de Abrolhos.....	44
<b>Figura 3.1</b> - Representação esquemática do comportamento do óleo.....	54
<b>Figura 3.2</b> - Formação de emulsão água-óleo.....	58
<b>Figura 3.3</b> - Emulsão água-óleo semelhante a um “mousse de chocolate”.....	58
<b>Figura 3.4</b> - Microfotografia epi-fluorescente de aglomerados de óleo com minerais.....	61
<b>Figura 4.1</b> - Fluxograma de processamento do modelo de dispersão de óleo OSCAR....	74
<b>Figura 5.1</b> - Fluxograma das etapas metodológicas.....	77
<b>Figura 5.2</b> - Batimetria da grade curvilínea simulada pelo modelo POM.....	78
<b>Figura 5.3</b> - Grade numérica utilizada no modelo OSCAR para a realização das simulações	79
<b>Figura 5.4</b> - Diagrama representativo de profundidade utilizados no modelo OSCAR	80
<b>Figura 5.5</b> - Localização dos pontos de simulação de derramamento de óleo.....	84
<b>Figura 5.6</b> - Composição padrão dos óleo Aquila e Belayim importados do OSCAR.....	86
<b>Figura 5.7</b> - Diagrama dos cenários de simulação de derramamento na área de estudos	89
<b>Figura 6.1</b> - Padrão de circulação superficial de verão na área de estudos.....	93
<b>Figura 6.2</b> - Padrão de circulação superficial de inverno na área de estudos.....	94
<b>Figura 6.3</b> - Padrão de circulação superficial filtrado de verão na área de estudos.....	95
<b>Figura 6.4</b> - Padrão de circulação superficial filtrado de inverno na área de estudos.....	96
<b>Figura 6.5</b> - Padrão de circulação atmosférica superficial de verão na área de estudos...	97
<b>Figura 6.6</b> - Padrão de circulação atmosférica superficial de inverno na área de estudos	98

<b>Figura 6.7</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos blocos licenciados pela ANP.....	102
<b>Figura 6.8</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos não licenciados.....	103
<b>Figura 6.9</b> - Balanço de massa médio do óleo superficial das simulações probabilísticas de 80 dias de derramamento.....	106
<b>Figura 6.10</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas com aplicação de filtro para remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos licenciados pela ANP.....	109
<b>Figura 6.11</b> - Balanço de massa médio do óleo superficial das simulações probabilísticas de 80 dias de derramamento de óleo.....	111
<b>Figura 6.12</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno, mostrando a probabilidade de chegada do óleo superficial nos cenários de derramamento nos blocos licenciados pela ANP.....	117
<b>Figura 6.13</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno, mostrando a probabilidade de chegada do óleo superficial nos cenários de derramamento nos cenários teóricos.....	118
<b>Figura 6.14</b> - Balanço de massa médio do óleo superficial das simulações probabilísticas..	120
<b>Figura 6.15</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas com aplicação de filtro para remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos licenciados pela ANP.....	123
<b>Figura 6.16</b> - Balanço de massa médio do óleo superficial das simulações probabilísticas	124
<b>Figura 6.17</b> - Localização da área de estudos com a delimitação da zona de exclusão.....	130
<b>Figura 7.1</b> - Padrão esquemático de circulação em 20 metros de profundidade.....	134
<b>Figura 7.2</b> - Profundidade e distribuição das componentes de velocidade $u$ e $v$ superficial no sistema cartesiano para cada ponto analisado.....	143
<b>Figura 7.3</b> - Padrão de circulação superficial filtrado de inverno no dia 30/05/89.....	151
<b>Figura 7.4</b> - Principais processos oceanográficos influenciando no destino do óleo na região de estudos.....	153
<b>Figura 7.5</b> : Padrão de circulação superficial de inverno nos dias 13/07/89.....	158

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Classificação dos tipos de óleo.....	49
<b>Tabela 3.2</b> - Propriedades físicas dos tipos de óleo.....	52
<b>Tabela 5.1</b> - Localização dos pontos de simulação de derramamento de óleo.....	83
<b>Tabela 6.1</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	99
<b>Tabela 6.2</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	101
<b>Tabela 6.3</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	104
<b>Tabela 6.4</b> - Resultados de 80 simulações com dados hidrodinâmicos filtrados com remoção de processos supra-inerciais nos derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo leve em 30 dias no verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418.....	107
<b>Tabela 6.5</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	107
<b>Tabela 6.6</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	110
<b>Tabela 6.7</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	112
<b>Tabela 6.8</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	113
<b>Tabela 6.9</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	114

<b>Tabela 6.10</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	115
<b>Tabela 6.11</b> - Resultados diferencias de 80 simulações probabilísticas de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	119
<b>Tabela 6.12</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	121
<b>Tabela 6.13</b> - Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	122
<b>Tabela 6.14</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	125
<b>Tabela 6.15</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	126
<b>Tabela 6.16</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418.....	127
<b>Tabela 6.17</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas nos cenários de verão e inverno com derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo leve durante 30 dias nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3.....	128
<b>Tabela 6.18</b> - Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas nos cenários de verão e inverno com derramamento de 192 m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> de óleo intermediário durante 30 dias nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3....	129
<b>Tabela 7.1</b> - Blocos licenciados pela ANP que ofereceram riscos de contaminação às áreas de proteção ambiental.....	157
<b>Tabela 8.1</b> - Blocos licenciados pela ANP que ofereceram riscos.....	163

# **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

*1.1 Introdução*

*1.2 Objetivos*

*1.2.1 Objetivo geral*

*1.2.2 Objetivos específicos*

*1.3 Justificativa*

*1.4 Antecedentes da modelagem de derramamento de óleo*

## 1.1 Introdução

O petróleo é a principal fonte de energia do planeta, movendo uma indústria presente em todos os setores da sociedade. O petróleo não é usado somente como fonte de energia, existe uma ampla gama de produtos derivados do seu refino e tratamento, utilizados por toda a sociedade em diversas atividades.

Derramamentos de petróleo no meio marinho e costeiro estão entre os impactos sócio-ambientais mais graves e danosos existentes na atualidade. A indústria do petróleo é a atividade que apresenta o maior risco de acidentes ambientais com derramamentos em todas as suas etapas de atividades, desde a perfuração até a distribuição (SILVA, 1996).

Os grandes acidentes com derramamento de óleo atraem a atenção de toda a sociedade e da mídia, sendo classificados como acidentes crônicos, de alto impacto sócio-ambiental e de grandes proporções, que ocorrem geralmente com petroleiros e plataformas de petróleo. Porém, existem os chamados derramamentos agudos, de pequeno volume, que ocorrem corriqueiramente. Este último tipo de derramamento também merece bastante atenção, pois geralmente ocorre em problemas nas tubulações, nos estaleiros, e em processos de carga e descarga do petróleo e seus derivados. Diferentes zonas contaminadas por petróleo possuem diferentes características de cenário, dependendo das propriedades dos poluentes, condições hidrodinâmicas, e uma variedade de características físicas, químicas, biológicas e dos processos de interação entre eles (POURVAKHSHOURI *et al.*, 2005). Dentre as características mais relevantes a mais significativa é o tipo de óleo, pois quanto mais pesado ele for mais problemático será o impacto causado por ele, devido a sua alta viscosidade, uma característica mais pronunciada em águas frias e durante os meses de inverno (ANSELL *et al.*, 2001).

A questão da poluição por óleo nos oceanos, incluindo os estuários, está relacionada a dois aspectos potencialmente opostos da atividade humana: por um lado existe a poluição resultante de atividades empreendidas com o intuito de atender às necessidades da sociedade - a extração, o transporte, e o uso do petróleo como fonte de energia - e por outro há um forte anseio na preservação dos recursos vivos marinhos (KAMPEL E AMARAL, 2001).



Um derrame de óleo pode gerar uma série de impactos sobre os organismos, ecossistemas e nas atividades costeiras, prejudicando a recreatividade como banho de praia, mergulho, pescaria, e gerando contestações por parte da população, do comércio (hotéis, restaurantes, turismo, etc.), do governo local, de indústrias que usam recursos do mar e outros setores da sociedade que se utilizam do ambiente afetado (KHANNA E BARUA, 2001).

O equilíbrio sustentável entre as atividades da indústria do petróleo com os aspectos ambientais é o principal objetivo dos pesquisadores e empresários que buscam soluções plausíveis e adequadas para uma maior exploração do recurso, sem degradar o meio ambiente.

Nesse sentido, uma poderosa ferramenta disponível para a comunidade científica com a finalidade de conciliar os caminhos entre exploração e preservação é a modelagem de derramamentos de óleo. Um grande número desses modelos está sendo usado pela comunidade científica atualmente. Esses modelos vão desde simples determinações de trajetórias ou monitoramento de partículas, até modelos tridimensionais de trajetórias de óleo que incluem em suas simulações ações de resposta, processos biológicos, etc. (REED *et al.*, 1999). A modelagem de derramamento de óleo define a área de influência indireta da atividade de petróleo, na qual se baseia todo o diagnóstico ambiental, bem como define cenários através das simulações, permitindo a elaboração de estratégias necessárias ao atendimento emergencial de acidentes que envolvam derramamento de óleo no mar, no contexto do plano de emergência individual. Constitui, segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2003), como uma ferramenta fundamental na elaboração do estudo e da gestão das atividades de exploração e produção.

É nesse contexto que o presente trabalho se baseia, na modelagem de cenários de derramamentos de óleo em blocos de petróleo licenciados e não licenciados pela ANP (Agência Nacional do Petróleo) em áreas adjacentes ao Banco de Abrolhos, forçados por dados hidrodinâmicos do modelo POM (*Princeton Ocean Model*), a fim de se determinar uma zona de exclusão para as atividades de Exploração e Produção (E&P) de petróleo na região. A região do Banco de Abrolhos e adjacências apresenta-se como uma área de extrema sensibilidade a acidentes ambientais, devido à presença de uma rica fauna e flora marinha presentes na região (site oficial

do Ministério do Meio Ambiente – [www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)). O modelo de derramamento de óleo a ser utilizado neste estudo é o OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response*), um modelo da Fundação de Pesquisa Científica e Industrial do Instituto de Tecnologia da Noruega (*SINTEF Applied Chemistry*) de amplo uso a nível mundial para estudos referentes a suporte a ações de resposta a derramamentos de óleo, avaliação de logística e estratégias de resposta a esses derramamentos, análise de risco e avaliação de impactos (REED *et al.*, 1999). A aplicação desse modelo requer dois conjuntos de informações básicas: 1 - informações sobre forçantes ambientais (hidrodinâmica e regime de ventos) e 2 - dados físico-químicos do óleo.

O trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 1 são apresentados, além dessa introdução, os objetivos, as justificativas e os antecedentes da modelagem de derramamento de óleo no mar; no Capítulo 2 é feita uma análise geral da área de estudo, a região costeira do Espírito Santo e sul da Bahia, com suas características geológicas, biológicas, oceanográficas, meteorológicas, e uma abordagem sobre o Parque Nacional Marinho de Abrolhos; as características físico-químicas do petróleo são apresentadas no Capítulo 3; os aspectos da legislação ambiental e as descrições dos modelos POM e OSCAR são mostrados no Capítulo 4, enquanto que a metodologia é descrita no Capítulo 5; os resultados e discussões são apresentados no Capítulo 6 e, por fim, a conclusão e as referências bibliográficas são mostradas nos Capítulos 7 e 8 respectivamente.

## 1.2 Objetivos

*1.2.1 Objetivo Geral:* Determinar uma zona de exclusão para as atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo na região do Banco de Abrolhos e adjacências.

### *1.2.2 Objetivos Específicos:*

- Implementar o modelo OSCAR para a região de estudo, analisando a distribuição sazonal de correntes simuladas pelo modelo POM;

- Determinar quais dos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418 leiloados pela ANP e os blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3 oferecem riscos de contaminação para áreas de preservação ambiental do ecossistema de Abrolhos e Área de Proteção Ambiental (APA) Ponta das Baleias.
- Verificar os efeitos das correntes de alta frequência (banda supra-inercial) no espalhamento do óleo na área de estudos.
- Analisar a diferença do grau de impacto ambiental às áreas de preservação de uma mancha de óleo leve e intermediário através da modelagem numérica de derramamento.

### 1.3 Justificativa

Nos dias atuais, o petróleo é o recurso natural que melhor personifica o debate entre preservação do meio ambiente e a exploração do recurso natural. A indústria do petróleo trabalha com riscos potenciais, em todos os seus segmentos, seja no *upstream* (exploração), *midstream* (produção) ou *downstream* (transporte, logística e distribuição). No entanto, os registros indicam que o maior índice de acidentes no setor petrolífero ocorre durante o transporte de cargas, merecendo atenção redobrada nesse setor, principalmente na produção *offshore*.

Vazamentos de petróleo no mar prejudicam de forma intensa e duradoura a vida marinha, desde o fitoplâncton até as aves. As manchas de óleo impedem ou diminuem a entrada de luz no mar, o que prejudica a fotossíntese, e o óleo também impregna as penas das aves, matando-as por hipotermia, destrói as vias respiratórias dos mamíferos, interfere nos quimio-receptores de animais migratórios, deixando-os desorientados, afeta as atividades de quem vive da pesca e do turismo, promovendo, de modo geral, perdas irreparáveis (CARDOSO, 2005).

Segundo dados do IBAMA apresentados no Guia de Licenciamento Ambiental das Atividades de Perfuração de Óleo e Gás - 4<sup>o</sup> Rodada de Licitações, se ocorrer um derramamento de óleo no Bloco Marítimo Cumuruxatiba-3 (BM-CUM-3) as correntes de nordeste podem levar o óleo na direção do Parque Nacional (PARNA) Marinho de Abrolhos e APA Estadual da Ponta das Baleias/Abrolhos. O bloco mencionado

possui extrema proximidade à Abrolhos e a APA Caraiva/Trancoso. As demais rodadas de licitações que por ventura ocorrerão, estão oferecendo blocos exploratórios situados cada vez mais próximos à região de proteção ambiental. Outros blocos, localizados na Bacia do Jequitinhonha e na Bacia do Espírito Santo, também possuem indícios de oferecerem riscos ao PARNA de Abrolhos caso ocorra um eventual derramamento de petróleo.

No entanto, a maior parte dos estudos hidrodinâmicos feitos na região não levam em consideração as correntes de alta frequência, como a maré, brisa e movimentos inerciais.

Os resultados aqui apresentados mostram que essas correntes podem causar um espalhamento considerável do óleo.

O conjunto formado pelos bancos de Royal-Charlotte e Abrolhos são os mais ricos recifes de corais do Brasil, e são significativamente diferentes daqueles descritos na literatura tanto em termos de morfologia das estruturas recifais quanto ao tipo de sedimento do fundo, e aos principais organismos construtores (LEÃO, 1999).

Segundo o site oficial do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos ([www.abrolhos.com.br](http://www.abrolhos.com.br)), o banco apresenta uma grande diversidade de fauna marinha, com inúmeras espécies de peixes, moluscos, corais, esponjas, etc. Para a fauna terrestre destacam-se as aves que se reproduzem nas ilhas: atobás (*Sula leucogaster*), trinta-réis (*Anous stolidus*), fragata (*Fregata magnificens*) e a grazina (*Phaethon aethereus*). A baleia Jubarte (*Megaptera novaeangliae*) e as tartarugas marinhas também procuram o parque para se reproduzirem.

#### *1.4 Antecedentes da modelagem de derramamento de óleo*

Fay (1969), que foi um dos precursores no estudo da fluidodinâmica de derrames de petróleo, caracterizou o comportamento de uma mancha de petróleo a partir das forças que atuam no espalhamento da mesma dividindo o fenômeno em três regimes, gravitacional-inercial, gravitacional-viscoso e viscoso-tensão superficial. Assim, derivou a partir da análise de ordens de grandeza, correlações para derrames de volume constante com formas idealizadas. Estas correlações

permitiram avaliar, em função do tempo transcorrido a partir de produzido o derramamento, o tamanho de manchas unidimensionais ou circulares (modelo axi-simétrico) se espalhando em águas totalmente calmas. Estas correlações foram deduzidas separadamente para cada um dos regimes de espalhamento mencionados, fazendo-se um balanço entre as forças predominantes em cada fase. Posteriormente, Fay (1971) revisou as fórmulas de espalhamento e acrescentou coeficientes obtidos empiricamente que melhoraram a capacidade preditiva das correlações obtidas em seu trabalho inicial.

Fannelop e Waldman (1971) fizeram um estudo teórico do espalhamento sob os regimes inercial e viscoso, integrando na espessura da mancha as equações da conservação da massa e quantidade de movimento na forma bi-dimensional ( $2D_{YZ}$ ) e utilizando uma correlação aproximada para avaliar a tensão de cisalhamento da camada limite de água sobre o óleo. O regime de espalhamento em tensão superficial é equacionado aproximadamente, fazendo-se um balanço de forças na borda da mancha e utilizando a mesma correlação para a tensão de cisalhante na interface. Os resultados são utilizados para avaliar de forma teórica os coeficientes para as correlações, obtendo boas aproximações com aqueles obtidos em Fay (1971) exceto para o regime de espalhamento em tensão superficial, onde o erro é um pouco maior.

Hoult (1972) levou em conta as correntes advectivas propondo que o espalhamento do óleo pode ser visto como composto de duas partes: a advecção devida às correntes e os ventos e a tendência natural do óleo a se espalhar em águas calmas. No mesmo trabalho, o autor reformulou as equações de Fay (1971) e as desenvolveu através de soluções de similaridade das equações do movimento aplicadas a mancha de óleo.

Buckamster (1973) apresentou um modelo apenas considerando o espalhamento gravitacional-viscoso. O autor apresentou uma solução analítica por séries e uma solução numérica. Esta solução, similar à de Hoult (1972) e diferentemente da apresentada por Fay (1971), não deixou parâmetros livres a serem ajustados empiricamente.

DiPietro e colaboradores (1978) fizeram um estudo teórico bi-dimensional do espalhamento unidirecional da expansão de uma mancha de óleo sob os três regimes de espalhamento. O modelo se baseou na resolução das equações do

movimento aplicadas à mancha de óleo, acopladas com as equações da camada limite da água através de um método de perturbação e solução por similaridade, utilizando como parâmetro de perturbação a relação entre a espessura da mancha e sua largura. O fato de considerar este parâmetro pequeno levantou a hipótese de que os vetores normais às superfícies da mancha são verticais. Esta hipótese foi considerada na maioria dos modelos.

Hess e Kerr (1979) apresentaram um modelo para o espalhamento do óleo devido à gravidade e ao transporte causado pelas correntes e ventos de uma mancha de óleo derramada no mar. Este modelo utilizou as equações de conservação da massa e quantidade de movimento aplicadas às manchas de óleo integradas na direção vertical. Além disso, o modelo considerou o espalhamento sob os três regimes, já que levou em conta todas as forças atuantes sobre a mancha, gravidade, tensão superficial, inércia e viscosidade.

Foda e Cox (1980) estudaram o espalhamento unidirecional de uma mancha de óleo considerando apenas o regime de espalhamento em tensão superficial através de uma solução de similaridade, resolvendo numericamente as equações ordinárias resultantes.

Benqué e colaboradores (1982) apresentaram um modelo bi-dimensional para regime gravitacional-viscoso. O modelo é similar ao apresentado por Hess e Kerr (1979), porém não considerou as forças inerciais e de tensão superficial. Pelo fato dos termos convectivos não serem considerados, as equações do movimento mostraram-se simplificadas, já que estas resultaram de um balanço entre as tensões devidas às correntes, aos ventos e as forças gravitacionais. Logo, as velocidades foram isoladas das equações do movimento e substituídas na equação da conservação da massa, resultando em uma única equação para o cálculo da espessura da mancha de petróleo.

Shen e Yapa (1988) utilizaram as correlações de Fay (1971) em superposição com um algoritmo de Parcelas Discretas Lagrangeanas (*Lagrangian Discrete-Parcel Algorithm*) para avaliar a advecção e o espalhamento. Este modelo também considerou derrames contínuos e instantâneos, levando em conta a difusão turbulenta horizontal através de um procedimento de caminho aleatório, evaporação, diluição e deposição na costa. O modelo tem demonstrado ser preciso no cálculo da trajetória e com baixo custo computacional.

Venkatesh (1988) apresentou o modelo do *Serviço Canadense de Atmosfera e Meio Ambiente (AES Oil Spill Model)*, baseado em uma equação de convecção-difusão de espécies.

Cuesta e colaboradores (1990) utilizaram o modelo de Benqué e colaboradores (1982) melhorando as condições de contorno para quantificar, dispersão e acumulação do óleo sobre a linha de costa e permitiu a saída de massa do domínio de cálculo. Na avaliação das velocidades de transporte foram consideradas as correntes de maré, correntes residuais e os ventos no local. Além disso, o modelo levou em consideração a evaporação, através de um modelo de decaimento logarítmico apresentado por Stiver e Mackay (1984) e foi implementado em coordenadas generalizadas, para facilitar o tratamento das geometrias. O modelo foi testado e comparado com valores observados do derrame do petroleiro Amoco Cadiz, mostrando bons resultados.

Após a revisão do desenvolvimento de códigos e teorias sobre os modelos de derramamento de óleo e suas inovações, serão abordados a seguir os exemplos de aplicações de alguns modelos de derramamento de óleo, como o ADIOS, o GNOME, o OILMAP e o OSCAR. De forma geral, os modelos de derramamento de óleo podem ser probabilísticos e/ou determinísticos. Os primeiros fornecem cenários de probabilidade de uma determinada característica especificada pelo usuário como, por exemplo, a probabilidade de chegada de óleo na costa. A probabilidade é calculada com base na compilação dos resultados de uma série de simulações determinísticas, inicializadas em datas determinadas dentro do período de tempo de interesse da simulação. Os modelos probabilísticos têm a capacidade de considerar a variabilidade das forçantes ambientais por meio da variação aleatória do momento de início do derramamento dentro do período dos dados de entrada, como ventos e correntes.

Os modelos determinísticos são realizados para a análise de um determinado cenário em específico como, por exemplo, o que resultou em maior volume de óleo na costa a partir de resultados de modelos probabilísticos. Em modelos determinísticos podem ser incorporadas estratégias de resposta a derramamentos, devido a simularem um cenário único.

Segundo Lehr e colaboradores (2002), o modelo ADIOS (*Automated Data Inquiry for Oil Spills*), que foi desenvolvido por pesquisadores norte-americanos, é um dos

modelos de derramamento de óleo mais utilizados no mundo, contendo até 1.000 tipos de óleos e produtos combinados com processos ambientais em seu banco de dados (LEHR *et al*, 1994). Os primeiros autores, que são responsáveis por melhorias dos códigos das primeiras versões do modelo, desenvolveram o modelo como sendo capaz de interagir com quatro processos de intemperismo (evaporação, espalhamento, dispersão vertical do óleo na coluna d'água e emulsificação), com aspectos ambientais (correntes, ondas, ventos, etc.) e de processos de limpeza e recolhimento. Assim, ambos os grupos de autores afirmaram que os mais importantes aspectos dos modelos de derramamento de óleo são os que representam eficientemente as análises ambientais em seus códigos, e o ADIOS se enquadra nessa classificação.

Devido ao modelo ADIOS vir provido de técnicas de limpeza e recolhimento de óleo derramado, Etkin (1990) analisou os resultados desse modelo para os processos de limpeza e recolhimento bem como os custos associados a tais processos. O autor concluiu que os resultados de custos relacionados a limpeza e recolhimento de óleo derramado é bem representado pelo modelo ADIOS, e que ele fornece uma boa premissa da quantidade de recursos financeiros que o poluidor irá gastar para recuperar o meio ambiente em caso de derrame, levando-se em consideração o ambiente que ele ocorre.

Segundo Beegle-Krause (1998), o modelo GNOME (*General NOAA Oil spill Modeling Environment*) foi designado para ser um modelo de trajetória usado em três diferentes formas: Padrão, Saída SIG (Sistema de Informação Geográfica) e o Diagnóstico. O modelo imprime as trajetórias do óleo na tela com o auxílio de ferramentas SIG, além de proporcionar imagens lagrangeanas do movimento do óleo. As duas primeiras formas do modelo incorporaram informações hidrográficas regionais conjuntas com mapas, correntes oceânicas e parâmetros físico-ambientais do modelo, incluindo tópicos de ajuda.

O modelo GNOME foi aplicado por Mearns e colaboradores (2001) para avaliar a trajetória e espalhamento ao longo do tempo de um derramamento de óleo próximo a costa numa região sob influência da Corrente da Califórnia, no oeste dos Estados Unidos. O trabalho visou mostrar os efeitos do derramamento sobre a comunidade biológica e distinguir, em diferentes passos de tempo, os efeitos do óleo sobre cada grupo biológico. Em resumo, o trabalho conseguiu concluir que a região costeira da



Califórnia é bastante sensível a um derramamento de óleo nos padrões testados, devido à rica fauna e flora da região costeira analisada, e que o modelo serviu para evidenciar preventivamente o tempo e concentração do óleo quando ele atinge tais regiões.

Um dos modelos de derramamento de óleo mais empregados pela comunidade científica do setor é o OILMAP. O modelo foi designado para simplificar a interação dos usuários com o conjunto sofisticado de ferramentas de modelagem de óleo (JAYKO E HOWLETT, 2002), além de proporcionar melhor inserção de dados físico-ambientais e químicos do óleo (ANDERSON, 1998). O modelo permitiu, através de uma interface simplificada, a inserção da localização geográfica, dados de entrada (ventos, correntes, ondas, dados do óleo) e visualização de dados de saída.

O sistema OILMAP incluiu os seguintes modelos: um modelo de trajetória e transformações (*trajectory and fates*) para o óleo de superfície e sub-superfície, um modelo de resposta a derramamento de óleo, modelos probabilísticos, e um modelo receptor que através do método inverso localizou a origem do derramamento a partir de informações da posição da mancha (CAMPOS E YASSUDA, 1997). O modelo de trajetória e transformações previu o transporte e a degradação do óleo a partir de derramamentos instantâneos e contínuos. As estimativas demonstraram a localização e concentração do óleo de superfície e sub-superfície versus o tempo. O modelo estimou a variação temporal da cobertura de área, espessura da mancha, e viscosidade do óleo. Os processos de transformações biogeoquímicas no modelo incluíram dispersão, evaporação, entranhamento (ou arrastamento) e dispersão natural (por suspensão e emulsificação).

López e colaboradores (2006) utilizaram o OILMAP para realizar uma série de simulações de derramamento de óleo cru em um local na Plataforma de Casablanca (Tarragona, Espanha), considerando 51 toneladas de óleo e um vento de  $1 \text{ m.s}^{-1}$ . O modelo mostrou com as simulações que os hidrocarbonetos não atingiram a costa mesmo num período de 54h, e que o mesmo teve 39.2% de seu volume evaporado, e que o óleo remanescente aumentou de viscosidade.

López e colaboradores (2007) também realizaram diferentes simulações de derramamentos de óleo no porto de Ibiza (Ilhas Baleares, Espanha) utilizando 12.500 litros de óleo diesel, correntes típicas da área e vento de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  na direção oeste. Os autores consideraram o modelo adequado para a região e condições

aplicadas, além de informarem que ações de remediação e utilização do plano de contingência da região devem ser feitas rápidas e eficientemente, a fim de não permitirem que o óleo atinja a região costeira próxima ao porto.

O OILMAP também foi utilizado por Anderson e Atkinson (1996) como modelo de trajetória de derramamento de óleo forçado por dados de estações de vento em tempo real em Rhode Island (EUA). As estações meteorológicas cobriram uma ampla área costeira dos Estados Unidos, e serviram de base para forçar o óleo. O modelo, o qual foi licenciado pela empresa ASA (*Applied Science Associates*) dos Estados Unidos, foi implementado com dados de vento tratados para poderem ser inseridos no modelo em formato compatível e, assim, prever a trajetória e destino do óleo. O uso do modelo em uma operação local com uma coleção de dados de vento proporcionou resultados satisfatórios com precisão de cenários de derramamento de óleo na costa nordeste dos Estados Unidos, permitindo dessa forma um melhor preparo das equipes de contenção e remoção em caso de acidente.

Clem (2007) também utilizou o OILMAP em sua tese de doutorado para demonstrar como o comportamento do óleo reagiu com a entrada de dados de vento e correntes de modelos numéricos da *Naval Oceanographic Office, Fleet Numerical Meteorology* e do *Oceanography Center* no Estreito de Hormuz (Golfo Persa). O autor observou que ventos com menos de  $5 \text{ m.s}^{-1}$  no Estreito não afetaram o deslocamento de uma mancha de óleo em uma situação em que a corrente foi de  $10\text{-}15 \text{ cm.s}^{-1}$ , e que dados de maré juntamente com dados de corrente determinaram melhor o destino do óleo nessa região do que somente dados meteorológicos.

O modelo OSCAR foi desenvolvido especificamente para auxiliar nas tomadas de decisão relacionadas a ações de resposta e contingência de derramamentos de óleo. Como consequências ambientais são componentes importantes para esse tipo de decisão, o modelo permitiu avaliar os potenciais efeitos de derramamentos na coluna de água, na superfície, nos sedimentos e na linha de costa.

Reed e colaboradores (1999) usaram o modelo OSCAR para avaliar o derramamento de óleo em uma região *offshore* da Namíbia. Nesse estudo os pesquisadores utilizaram como cenários poços localizados a 180, 290 e 100 km da costa mais próxima, implementando o modelo com dados de vento, correntes e marés próprias da região, e supondo um derrame de  $11.000 \text{ barris.dia}^{-1}$  de óleo cru

leve (em 10 dias) e  $150\text{m}^3$  de óleo diesel. O cenário utilizando óleo diesel demonstrou que o óleo é rapidamente dispersado naturalmente, sempre em condições de ventos fracos, não oferecendo riscos às comunidades biológicas ou à costa. No primeiro cenário de derrame, com óleo cru leve, o modelo mostrou que o recolhimento mecânico reduziu (e em alguns casos eliminou) as consequências ambientais nos cenários de pior caso. A aplicação de dispersante na superfície também reduziu os riscos potenciais.

Daling e Strom (1999) realizaram testes laboratoriais para verificar os processos de intemperismo do óleo no mar, e compararam os resultados de análises de campo com os dados obtidos do modelo OSCAR. O resultado foi bastante satisfatório, com uma boa margem de correlação em todos os processos analisados e presentes no modelo, mostrando a sua eficiência para os processos físico-químico-ambientais.

Diversos testes foram realizados para demonstrar a eficiência do modelo OSCAR, dentre eles, e um dos mais importantes, foi o relacionado com às ações de resposta a um derramamento de óleo, decorrente dos custos que tais operações requerem. Nesse contexto que Reed e colaboradores (1995) elaboraram um estudo em que simularam um derramamento pequeno ( $<500\text{m}^3$ ) e utilizaram cenários de equipamentos disponíveis (diferentes modelos e taxas de recolhimento), tempo de mobilização, óleo cru tipo A e B, pessoal disponível e diferentes condições ambientais. Nesses testes os autores analisaram estatisticamente os resultados obtidos, e comprovaram, segundo os cenários realizados, que o modelo OSCAR é bem adaptado a unir os modelos de destino e concentração do óleo com medidas de resposta ao derramamento, sendo capaz de simular situações reais de combate ao derrame.

Aamo e colaboradores (1997) realizaram 48 diferentes simulações com o modelo OSCAR para avaliar seus aspectos de sensibilidade ambiental, focando em parâmetros que afetaram direta ou indiretamente os processos ambientais. As principais conclusões dos autores apontaram que o número de partículas utilizadas no modelo teve pouca influência no balanço de massa final, e que em águas calmas a eficácia das operações de recolhimento afetou fracamente a quantidade total de óleo recolhido, já em águas de regiões com velocidade de vento maiores, a quantidade total de óleo recolhido foi fortemente em função da eficácia. Os autores concluíram também que a quantidade de óleo que é quimicamente dispersada por

helicópteros foi mais dependente do retardamento devido às viagens de reabastecimento do que sobre a própria eficácia do dispersante.

Reed e colaboradores (2004) também avaliaram a aplicação de dispersantes em manchas de óleo em águas rasas na baía de Matagorda, Texas, usando diferentes cenários de derramamento. Eles observaram que o modelo funcionou corretamente, principalmente na interação óleo-sedimento, e que o OSCAR foi capaz de simular a aplicação de dispersantes mesmo em áreas próximas à costa, as quais costumam ter maior sensibilidade.

Pimentel (2007) também utilizou o modelo OSCAR com a finalidade de analisar estratégias de resposta a derramamentos de óleo no Campo de Golfinho (ES - Brasil). Em seu trabalho, a autora utilizou dados de correntes e ventos referentes aos meses de verão de 1998 (Janeiro a Março), gerados com o modelo *SINMOD* e fornecidos pela SINTEF (Fundação de Pesquisa Científica e Industrial do Instituto de Tecnologia da Noruega), e o óleo utilizado (27.5 °API) já se encontrava no banco de dados do modelo de óleo. Os volumes de derrame utilizados foram 350.000 m<sup>3</sup> e 15.000 m<sup>3</sup>, sendo que o primeiro valor correspondente ao volume de derramamento de pior caso da unidade FPSO Capixaba, segundo o Estudo de Impacto Ambiental do Campo de Golfinho (EIA, 2005). No estudo de caso apresentado pela autora para um derramamento de 350.000 m<sup>3</sup>, a estratégia de retenção e recolhimento apresentou-se ineficiente, mesmo com aumento de 50% da estrutura de resposta prevista na legislação. Este resultado permitiu uma visão geral da magnitude dos prejuízos ambientais e socioeconômicos que um derramamento de grande volume poderia causar na região.

O modelo OSCAR também foi utilizado por Pinheiro (2006) para avaliar um estudo de caso de derramamento de óleo na Bacia de Camamu-Almada a partir de uma unidade FPSO, com um volume de vazamento de 20.200 m<sup>3</sup>. Em sua conclusão, a autora informou que o modelo OSCAR apresentou resultados eficientes para as empresas petrolíferas na questão de derramamentos de óleo, e que a costa brasileira necessita cada vez mais de estudos referentes à modelagem de óleo para incrementar e aprimorar planos de contingência.

Cirano (2002) mostrou em seu trabalho a importância de modelos de circulação hidrodinâmica regionais como forte ferramenta para o entendimento da circulação superficial local de uma determinada região. O autor informou também que tais

modelos, como o POM, se corretamente utilizado, podem representam corretamente os movimentos do mar, e que seus dados podem servir de base de entrada para qualquer modelo de derramamento de óleo.

No Brasil a utilização de modelos de derramamento de óleo já vem sendo feita por empresas e universidades de forma abrangente nas últimas décadas. Os dois modelos aplicados no Brasil são o OILMAP (licenciado pela ASA - *Applied Science Associates*) e o OSCAR (licenciado pela SINTEF *Applied Chemistry*), este último com maior abrangência nas universidades e centros de pesquisas do país. Ambos os modelos são utilizados pela PETROBRAS para a modelagem de cenários de derramamento de óleo nas bacias marítimas da costa brasileira.

## ***CAPÍTULO 2: ÁREA DE ESTUDOS***

*2.1 As bacias do Espírito Santo, Jequitinhonha e Cumuruxatiba*

*2.2 Clima e regime de ventos*

*2.3 Aspectos oceanográficos*

*2.4 O Parque Nacional Marinho de Abrolhos*

*2.5 Aspectos geológicos*

## 2.1 As bacias do Espírito Santo, Jequitinhonha e Cumuruxatiba

As bacias do Espírito Santo, Jequitinhonha e Cumuruxatiba possuem uma localização estratégica na plataforma continental leste brasileira (Figura 2.1).

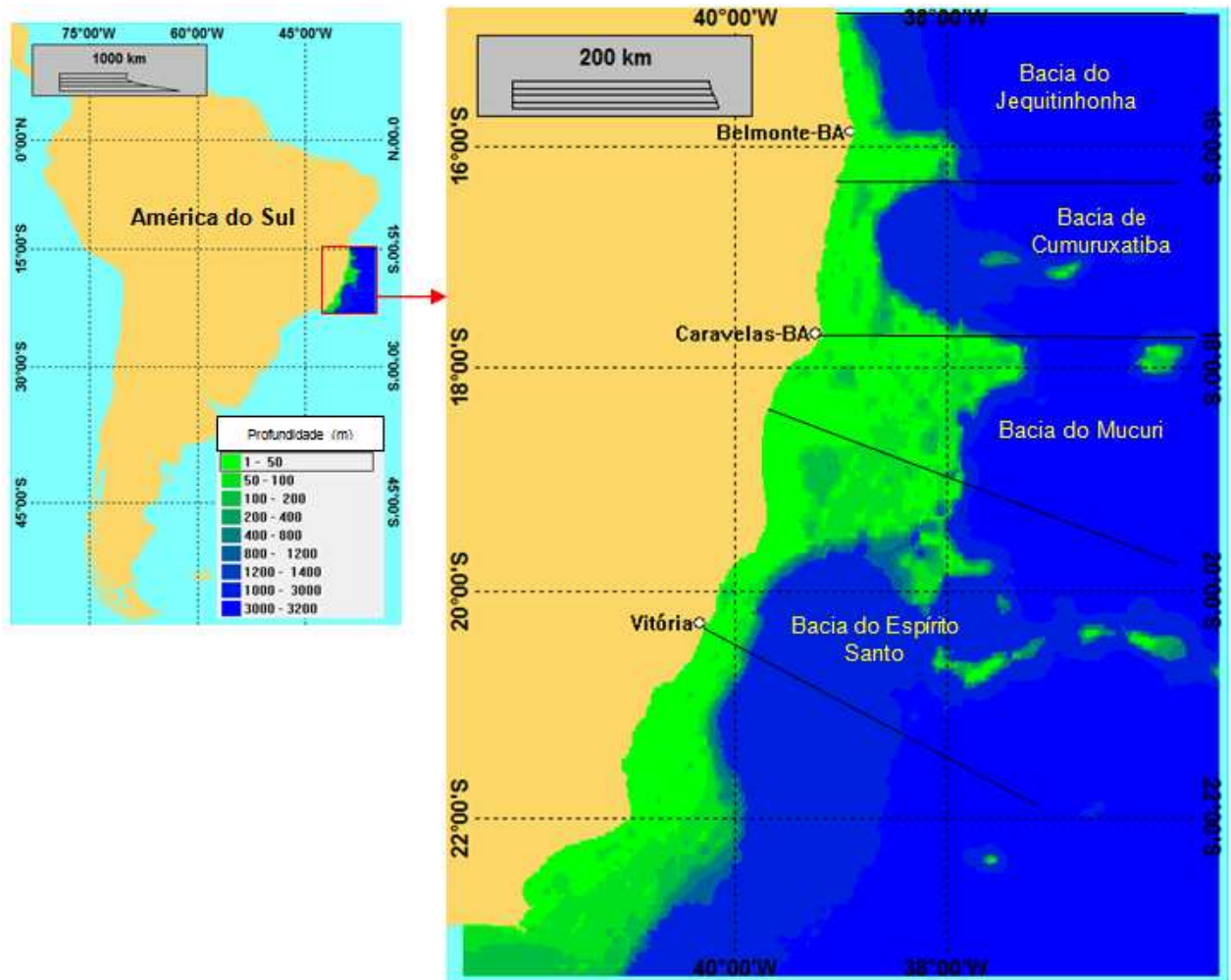


Figura 2.1: Bacias do Espírito Santo, Cumuruxatiba e Jequitinhonha. Fonte: OSCAR e Agência Nacional do Petróleo (ANP).

As três regiões são caracterizadas por uma complexa estrutura geológica, com a presença de cadeias vulcânicas (Cadeia Vitória-Trindade na bacia do Espírito Santo), bancos (Banco de Abrolhos na bacia de Cumuruxatiba e Royal-Charlotte na bacia de Jequitinhonha) e montes submarinos (Hot Spur).

As bacias de Jequitinhonha e de Cumuruxatiba são chamadas de novas fronteiras exploratórias de petróleo e gás, e por tais motivos são alvo de intensos estudos

sócio-ambientais. Essas duas regiões apresentam características bastante similares em relação à geologia, atividades econômicas e biodiversidade, sendo esta última a principal característica da região que a distingue de todas as demais bacias oceânicas.

## 2.2 *Clima e regime de ventos.*

O clima no litoral capixaba e sul baiano pode ser classificado como pseudo-equatorial, com chuvas tropicais de verão e com a estação mais seca no outono e inverno podendo, contudo, por efeito de frentes frias apresentar altos níveis pluviométricos que aumentariam o regime de chuvas nessas épocas (KOPPEN, 1948).

O Espírito Santo apresenta significativas variações em seu relevo, resultando em fortes gradientes de temperatura entre regiões costeiras e montanhosas (PEZZOPANE *et al.*, 2004). As temperaturas médias mensais apresentam grande variabilidade espacial e temporal no Estado. A região com temperaturas mais amenas no Estado coincide com a Serra do Caparaó (região sudoeste) e região serrana central, enquanto que a porção com temperaturas mais elevadas corresponde à região norte do Estado. Entre os meses de novembro e abril, quase todo o norte do Estado, a região litorânea e a parte hidrográfica do rio Itapemirim (sul do Estado) apresentam temperatura média mensal acima de 24°C. No período de inverno (junho, julho e agosto), a área central do Estado apresenta temperatura média mensal entre 16°C e 22°C.

A região do Jequitinhonha e de Cumuruxatiba apresenta um clima úmido, com inverno e verão bem marcados. O inverno, de maio a setembro, é caracterizado por temperaturas menos elevadas (máximas em torno de 20°C) e menores índices de precipitação e evaporação, embora seja o período de maior ocorrência de tempestades e ressacas. O verão, de outubro a abril, apresenta temperaturas mais elevadas (máximas em torno de 30°C) e os maiores índices de precipitação e evaporação observados, segundo o RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) de atividade de perfuração no bloco BM-J-2 bloco (2006).



No Atlântico Sul, o sistema de alta pressão (SAP) localizado em torno de 30°S é de grande importância para o clima da América do Sul (BASTOS E FERREIRA, 2005). O SAP afeta o clima do Brasil tanto no inverno como no verão, gerando um fluxo atmosférico sinótico de direção predominantemente nordeste sobre a região de plataforma sudeste do Brasil, afetando o Espírito Santo e sul da Bahia. No inverno, o SAP inibe a entrada de frentes e causa inversão térmica e concentração de poluentes nos principais centros urbanos das regiões sudeste e sul. A localização e a intensidade do SAP oscilam sazonalmente (juntamente com a oscilação da Zona de Convergência Intertropical - ZCIT), afetando diretamente a magnitude e a direção dos ventos que atuam na região do Espírito Santo e adjacências (CASTRO E MIRANDA, 1998).

Assim, os ventos mais frequentes são de Leste (E) a Nordeste (NE), oriundos desse sistema meteorológico, mas que podem ser cessados com a chegada de sistemas de correntes atmosféricas de Sul, Oeste e Leste (TOFFOLI, 2006). Os primeiros são representados pela entrada de anticiclone polar, com ventos dos quadrantes sul e sudeste; os segundos ocorrem de meados de primavera a meados de outono, com a entrada de ventos de oeste a noroeste, trazidos por linhas de instabilidade tropicais e, os últimos, mais frequentes no inverno e outono, são devido às ondas de leste, que provocam ventos do mesmo quadrante (NIMER, 1989). Segundo Fragozo (2004) os ventos leste e nordeste estão diretamente associados à ressurgência costeira que ocorre de forma endêmica entre o litoral do Espírito Santo e Cabo Frio-RJ.

Detalhadamente na região do Banco de Abrolhos, Teixeira e colaboradores (2005) concluíram que a velocidade média dos ventos para a região é de 4,25 m.s<sup>-1</sup>, sendo que a maior velocidade observada foi de 13,40 m.s<sup>-1</sup>. Segundo os autores, as maiores velocidades estiveram associadas aos ventos de nordeste e leste, superiores a 8,80 m.s<sup>-1</sup>. Os ventos do quadrante nordeste na região representam 23,82%, de leste representam 16,7%, enquanto que de sudeste e sul representam 13,3% e 16,5% respectivamente das ocorrências avaliadas. Os autores concluíram que houve uma tendência de diminuição das velocidades médias ao longo de 3 anos, principalmente dos quadrantes norte e nordeste (relacionados a tempo estável e normalmente mais fortes) e, conseqüentemente, o aumento da freqüência dos ventos de sul e sudeste (relacionados a sistemas frontais de tempo instável).

Os sistemas frontais afetam a circulação superficial da região, principalmente na plataforma interna, onde as correntes podem mudar de direção, sofrendo rotação anticiclônica (CASTRO E MIRANDA, 1998). A passagem de uma frente fria nesta região normalmente caracteriza-se por queda de temperatura do ar, zonas de instabilidade na interface do oceano (ou continente) com a atmosfera (associadas à precipitação) e alteração na direção dos ventos.

### *2.3 Aspectos oceanográficos*

Os padrões de ondas na costa do Espírito Santo e sul da Bahia ainda não são totalmente conhecidos, sendo os dados existentes obtidos nas proximidades de portos e plataformas de petróleo por ocasião de suas construções. O padrão de ventos nessa região gera ondas oriundas de dois quadrantes principalmente, nordeste/leste e sudeste/leste, com predominância do primeiro, o que corresponde ao sistema de ventos predominante encontrados nesta área. As ondas do setor sul, embora sejam menos freqüentes, são muito mais fortes. A altura significativa das ondas para o litoral pouco ultrapassa 1,5m, sendo as alturas de 0,9 e 0,6m as mais freqüentes. O período freqüentemente encontra-se em torno de 5 a 6,5s, não ultrapassando 9,5s (ALBINO, 1999).

No Banco de Abrolhos a altura significativa média das ondas é de 0,4m com período de 5s (TEIXEIRA *et al.*, 2005). O clima de ondas na região é determinado quase que exclusivamente pelo vento local. Os autores verificaram que tanto a altura quanto o período das ondas apresentaram uma tendência de aumento ao longo de 3 anos de monitoramento, equivalente a uma taxa linear de aproximadamente 0,02m e 0,08 s por mês.

A Corrente do Brasil é a corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul (Figura 2.2) que se origina em aproximadamente 10°S, na região onde o ramo mais ao sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) se bifurca formando também a Corrente Norte do Brasil (STRAMMA E ENGLAND, 1999).

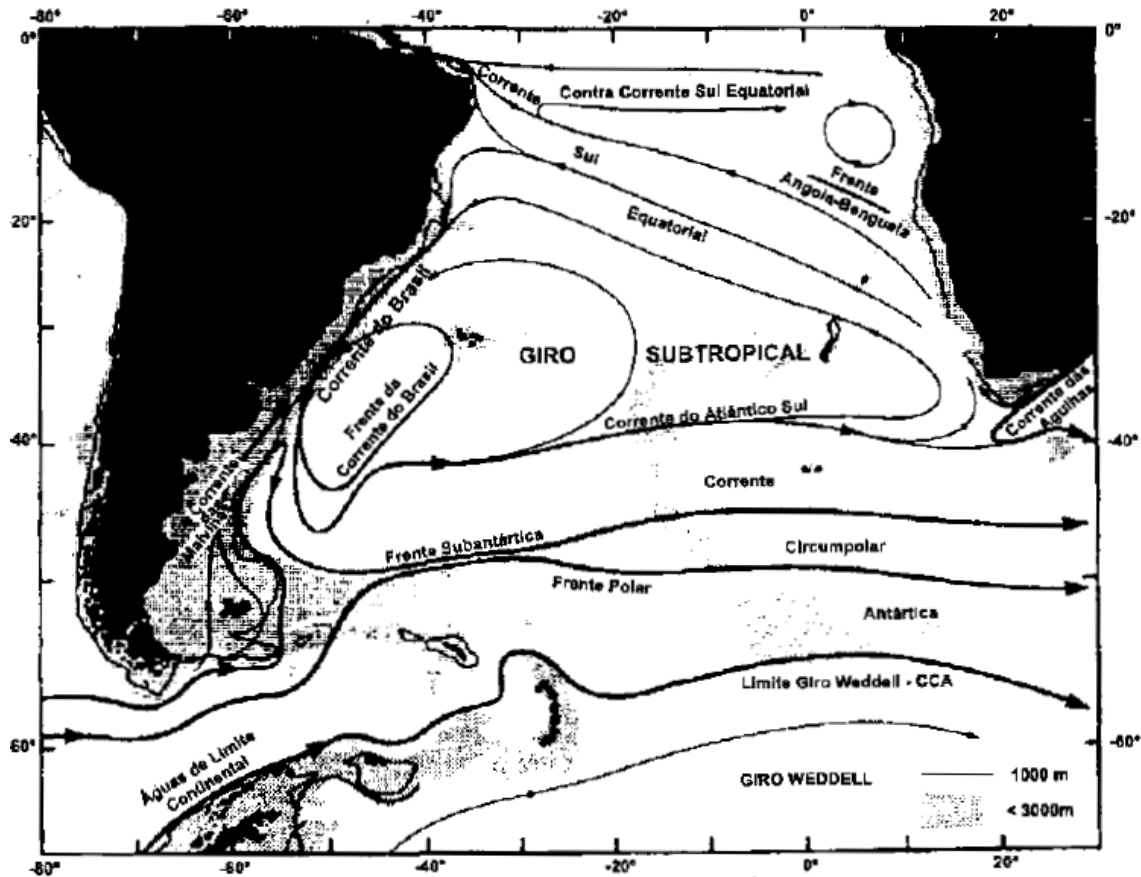


Figura 2.2: Representação do Giro Subtropical do Atlântico Sul. Fonte: Silveira e colaboradores (2000).

Nessa região de contorno oeste do Atlântico Sul diferentes autores informaram sobre a Bifurcação da Corrente Sul Equatorial (BiCSE) com a formação da Corrente do Brasil. Stramma e England (1999) mostraram com médias anuais que a bifurcação ocorre aproximadamente em 15°S, nos primeiros 150 metros de profundidade, porém Rodrigues e colaboradores (2006) mostraram que a BiCSE ocorre em 14°S com dados de médias anuais, na mesma profundidade e, por fim, Soutelino (2008) mostrou com dados sinóticos e médias de verão que a BiCSE nos primeiros 150 metros ocorre em 10°S. Após a bifurcação, a Corrente do Brasil flui para o sul ao longo da região de quebra de plataforma, até atingir a área da Convergência Subtropical (entre 33°S e 38°S), onde conflui com a Corrente das Malvinas e se separa da costa (SILVEIRA *et al.*, 2000). Segundo Silveira e colaboradores (2008) a Corrente do Brasil tem uma máxima velocidade superficial variando entre 0.4 e 0.7 m.s<sup>-1</sup> e uma largura de aproximadamente 100 - 120 km, associada à presença da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Tropical

(AT). A ACAS foi descrita primeiramente por Wüst (1935) e Defant (1941), e consiste numa massa d'água formada por subducção na Convergência Subtropical, e subsequente espalhamento ao longo da superfície de densidade adequada a seu ajustamento hidrostático (SVERDRUP *et al.*, 1942). A AT foi descrita primeiramente por Emilson (1961) como parte da massa de água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, a qual é transportada para o sul pela Corrente do Brasil, podendo atingir transporte de massa de 5 a 10 Sv nos primeiros 500m de profundidade (SILVEIRA *et al.*, 2000). Abaixo dos 500m existe uma mudança de sentido do fluxo hidrodinâmico, direcionado para norte-nordeste com a Corrente de Contorno Oeste Intermediário (CCOI) (BOEBEL *et al.*, 1999). A CCOI transporta a Água Intermediária Antártica (AIA), com aproximadamente 2 - 4 Sv entre 800 e 100m de profundidade, atingindo velocidades máximas de  $0.3 \text{ m.s}^{-1}$  (SCHMID *et al.*, 1995).

Na plataforma externa ocorre a mistura entre a AT (aproximadamente 36.5 de salinidade e  $20.5^{\circ}\text{C}$  de temperatura - SIGNORINI *et al.*, 1989) e a ACAS, enquanto que a plataforma interna é dominada na superfície por água costeira, bem misturada pela maré, e no fundo, perto da costa, pode ser dominada pela ACAS, principalmente no verão (CASTRO E MIRANDA, 1998).

O sistema de correntes superficiais associados à Corrente do Brasil até 10 metros de profundidade é bastante complexo no norte do Espírito Santo e sul da Bahia, com a presença de vórtices e meandros devido à presença do Banco de Abrolhos e Royal Charlotte (Figura 2.3).

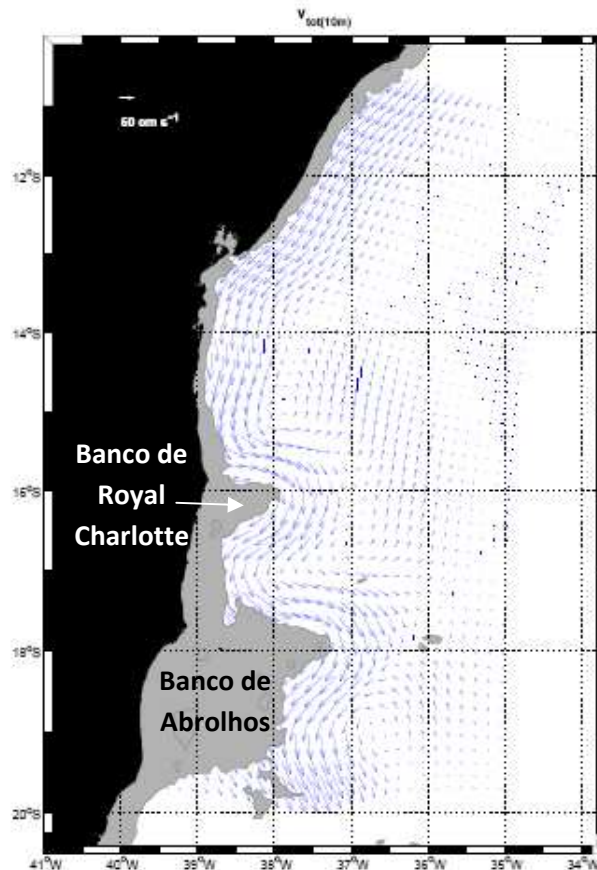


Figura 2.3: Campo de velocidade sinótico a 10m de profundidade derivado de dados de ADCP ao largo da plataforma leste brasileira no período de verão. Fonte: Soutelino (2008).

A cadeia Vitória-Trindade representa uma feição de origem vulcânica que tem influência na hidrodinâmica oceânica, determinando uma variabilidade espacial e temporal do movimento da Corrente do Brasil. Segundo Evans e colaboradores (1985), através de dados batitermométricos e hidrográficos, mostraram que a corrente fluiu continuamente um uma passagem da cadeia localizada mais próxima à costa, com transporte geostrófico de aproximadamente 4 Sv.

A costa capixaba também engloba o Giro de Vitória, um vórtice ciclônico formado na porção sul do Banco de Abrolhos (SCHIMID *et al.*, 1995) que está associado à presença da Corrente do Brasil. Os autores utilizaram imagens termais dos dias julianos 31 e 32 de 1991 e identificaram uma forte ressurgência causada pelos ventos de nordeste, e concluíram que tal fenômeno levou a formação de um meandro que resultou no vórtice ciclônico de Vitória e migrou para nordeste.

Gaeta e colaboradores (1999) realizaram um estudo biológico sobre o Vórtice de Vitória, analisando a biomassa e a produtividade através de imagens de satélite, dados hidrográficos, nutrientes e clorofila-a. Os autores concluíram que o vórtice é uma feição semi-permanente e representa uma estrutura que pode estar ligada aos efeitos da topografia no fluxo da Corrente do Brasil, tendo importante papel biológico na região.

Segundo Costa (2007), em seus dados sinóticos hidrodinâmicos de campo anual não há nenhuma manifestação do Vórtice de Vitória, o que mostrou que essa feição não representa uma estrutura permanente nos dados climatológicos. Porém, o autor realizou estudos sazonais e mensais para análise de ocorrência do vórtice, e observou que a estrutura se fez presente somente durante a estação do outono. Desta forma, o autor conclui que o Vórtice de Vitória não é uma estrutura permanente no Embaiamento de Tubarão, e que ocorre apenas em alguns meses do ano, mais especificamente em Março e Abril com maior recorrência.

Segundo Mesquita (1997), a costa do Espírito Santo e adjacências é influenciada por dois pontos anfidrômicos, um localizado à 32°S e 45°W com giro ciclônico e o outro a 30°S e 25°W, com giro anticiclônico.

Através da modelagem numérica, Lemos (2006) evidenciou a influência marcante da profundidade nas elevações e velocidade de maré nas regiões sobre a plataforma continental, onde as profundidades são menores e a força de fricção é maior. A batimetria e linha de costa principalmente da região de São Tomé-RJ (próxima a 22°S e 41°W), Banco de Abrolhos e sul da Bahia (entre 18°S e 19°S de latitude e 39°W e 40°W de longitude) representam regiões de atraso da propagação da fase e amplitude da onda de maré. Por outro lado, como a plataforma na região central do Espírito Santo é estreita, foi onde foram encontradas as menores velocidades de maré na plataforma continental do Estado.

Segundo a Diretoria de Hidrografia e Navegação - DHN em 2004, o litoral capixaba é classificado como sendo de micromaré (<2m), devido à amplitude variar entre 1,40m e 1,60m. Já no sul da Bahia, a maré é classificada como meso-maré (entre 2 e 4 metros de amplitude), segundo dados da DHN, com as amplitudes variando de 2,1m e 3,2m. Especificamente em Abrolhos, as médias de preamares de sizígia e quadratura são de 2,45m e 1,79m respectivamente, enquanto que as médias de baixa-mares de sizígia e quadratura são de 0,22m e 0,88m, respectivamente para

níveis acima do nível do mar, segundo dados da Fundação de Estudos do Mar (FEMAR).

#### 2.4 O Parque Nacional Marinho de Abrolhos

Os recifes de Abrolhos, localizados no sul da Bahia, são os maiores e os mais ricos recifes de corais do Brasil, e são significativamente diferentes dos modelos recifais descritos na literatura (LEÃO, 1999). Essas diferenças dizem respeito à morfologia das estruturas recifais, ao tipo de sedimento do fundo, e aos seus principais organismos construtores. O complexo abrange corais, ilhas vulcânicas, bancos rasos e canais, estando localizado entre as latitudes de 17°20'S e 18°10'S e longitudes de 38°35'W e 39°20'W (Figura 2.4).

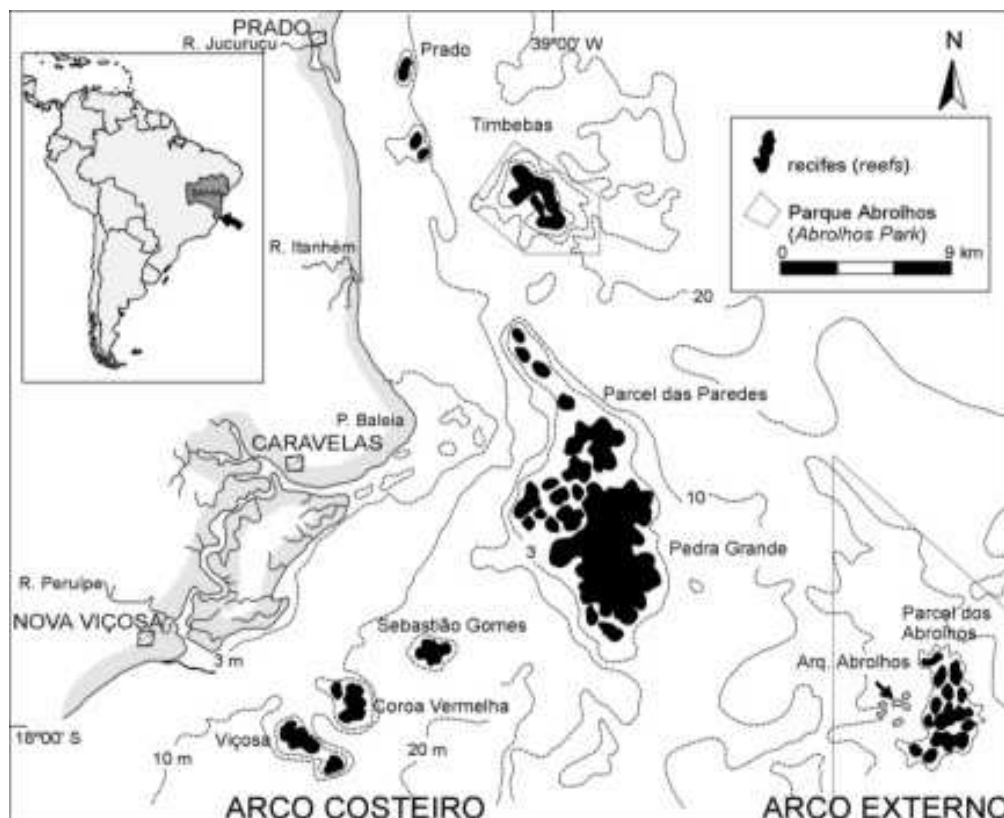


Figura 2.4: Região do Banco de Abrolhos mostrando a área do Parque (polígonos contínuos), o arco costeiro e externo e os recifes marinhos. Fonte: Site oficial do PARNA de Abrolhos.

Segundo o site oficial do PARNA de Abrolhos, os recifes distribuem-se em dois arcos ocupando uma área de aproximadamente 6.000km<sup>2</sup>. A estrutura básica é o chapeirão, pináculo coralino com forma de cogumelo. No arco costeiro, os topos de chapeirões adjacentes coalescem lateralmente formando bancos recifais com extensão de 1 a até 20 km em formas variadas. Estes bancos recifais não apresentam as mesmas zonas morfológicas descritas para os recifes do oceano Atlântico Norte.

Nas bordas dos arcos crescem crostas algais semelhantes às descritas nos recifes do oceano Pacífico. O arco externo abrange recifes em franja bordejando as ilhas vulcânicas do arquipélago de Abrolhos e chapeirões isolados. Corais, mileporas e algas coralinas são os principais organismos construtores dos recifes.

Segundo Leão (1999), o número de espécies de corais é quatro vezes menor que o número de espécies descritas para os recifes do Atlântico Norte, e muitas delas são espécies endêmicas, arcaicas, isoladas de uma fauna de idade Terciária a qual se tornou resistente ao stress provocado pela turbidez periódica das águas brasileiras. Em contraste com a predominância de sedimentação carbonática na maioria dos recifes dos mares tropicais, os recifes costeiros de Abrolhos estão circundados por sedimentos lamosos com 40 a 70% de areias quartzosas e minerais de argilas.

O PARNA de Abrolhos foi criado pelo Decreto nº 88.218 de 06/04/1986 após várias reuniões e manifestações de políticos na década de 1970 e princípio dos anos 80 ficando, no entanto, desprovido de planejamento até 1991. A unidade era anteriormente uma área de pesca onde ocorria grande número de naufrágios devido às dificuldades de navegação entre os corais existentes no arquipélago.

### *2.5 Aspectos geológicos*

Os principais aspectos geológicos característicos da região compreendem o Banco de Abrolhos e a Cadeia Vitória-Trindade (Figura 2.5), apresentando forte influência na distribuição da biota e hidrodinâmica local.



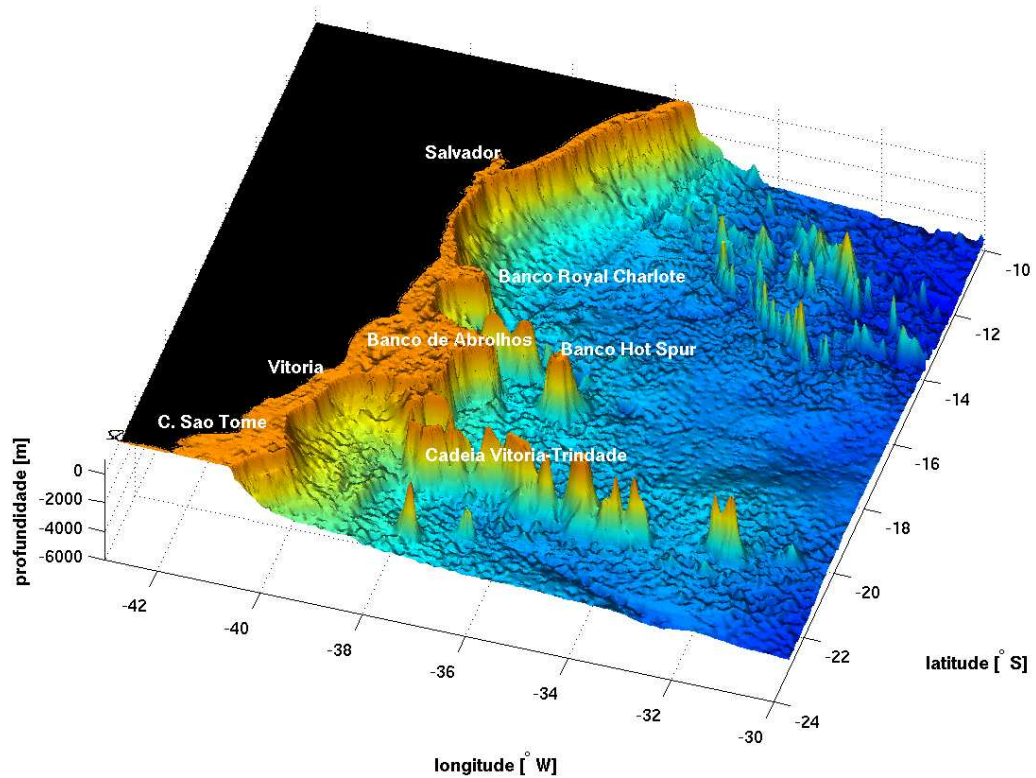


Figura 2.5: Feições geológicas da área de estudo mostrando a presença do Banco de Abrolhos, Banco de Royal Charlotte e a Cadeia Vitória-Trindade. Fonte: Soutelino (2008).

Cinco ilhas formam o arquipélago de Abrolhos (Figura 2.6). Santa Bárbara é a maior ilha, tem aproximadamente 1 km de comprimento (leste-oeste), 300m de largura e 35m de altitude. A oeste dessa ilha, separada por um canal de cerca de 4m de profundidade, está a ilha Redonda, que tem cerca de 400m de diâmetro e 36m de altitude. A ilha Siriba tem 300m de comprimento (leste-oeste), 100m de largura e 16m de altitude, e está localizada a sul da ilha Redonda, separada por um canal com menos de 4m de profundidade. A ilha mais ao sul do arquipélago é a ilha Sueste, com cerca de 500m de comprimento, 200m de largura e 15m de altitude.



Figura 2.6: Detalhamento do Arquipélago de Abrolhos com destaque para as cinco ilhas que formam o Parque Nacional Marinho. Fonte: [www.riogrande.com.br](http://www.riogrande.com.br).

A região de Abrolhos é caracterizada por uma forte interação dinâmica entre depósitos sedimentares siliciclásticos e carbonáticos, permitindo a coexistência de um sistema recifal com uma sedimentação terrígena ativa, caracterizando o Parque como um Sítio Geológico.

As ilhas de Abrolhos são afloramentos de um alto estrutural chamado de Alto de Santa Bárbara (ASMUS E PORTO, 1972), e de acordo com Fisher e colaboradores (1974) e Ponte e Asmus (1976), os seus estratos sedimentares pertencem a um sistema deposicional de talude, de idade do Cretáceo Superior à Terciário Inferior.

Os tipos litológicos que afloram nas ilhas sugerem a ocorrência de uma fase transgressiva seguida de uma regressão. Este evento pode ser uma pequena oscilação da Seqüência Marinha Regressiva, definida por Chang e colaboradores (1991), a qual caracterizou uma fase de evolução das bacias marginais brasileiras. Os diques de basalto se originaram de uma intrusão vulcânica Terciária (CORDANI, 1970), uma acreção à plataforma que foi responsável pela formação do Banco de Abrolhos (ASMUS, 1970). Todas essas intrusões basálticas e alcalinas que ocorreram nas bacias marginais brasileiras estão relacionadas ao vulcanismo da Bacia do Paraná (Formação Serra Geral), ou podem ser um evento tardio da margem leste dessa bacia cratônica (ASMUS E GUAZELLI, 1981).

Em Abrolhos a produção de sedimento carbonático a partir dos organismos recifais gerou uma transição de fácies sedimentares que é caracterizada atualmente pela dominância de sedimentos siliciclásticos na zona costeira (areias quartzosas), e sedimentos carbonáticos recifais no restante da região (material biogênico dominante), sendo criada uma faixa intermediária de sedimentos mistos entre os arcos recifais e os sedimentos de costa.

A concentração de sedimento em suspensão em áreas recifais é bastante danosa ao meio biótico, podendo afetar os recifes de corais fotossintética, física e quimicamente (ROGERS, 1990). Além disso, altos níveis de sedimentação nos ambientes recifais podem causar nos organismos vivos asfixia, abrasão, sombreamento e afetar o recrutamento do coral (HUBBARD, 1997). O sedimento em suspensão pode ser oriundo de diversas fontes, como ressuspensão do fundo, aporte de rios, derretimento de geleiras, remoção da areia de praias pela turbulência causada pelas ondas, etc. (PAYNE *et al.*, 2003). Esse material em suspensão pode formar aglomerados com partículas de óleo que sofreram dispersão através de interações químicas e processos de adsorção, formando flocos e migrando para o sedimento.

A taxa de sedimentação na região costeira próxima ao Banco de Abrolhos pode atingir níveis de  $225 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  no inverno (SEGAL *et al.*, 2003). Tal informação, segundo Leão (1999), é devido ao aumento do desflorestamento e da indústria da celulosa no sul do Estado da Bahia. Porém, os sedimentos da pluma do rio Jequitinhonha podem ser transportados para o sul, atingindo eventualmente os

recifes de corais (LEÃO *et al.*, 1988), cujo transporte é influenciado pela Corrente do Brasil fluindo para o sul.

Utilizando amostragens de sedimentos, análises radiométricas, análises mineralógicas e o processamento de imagens de satélites, Segal e colaboradores (2008) mostraram os potenciais impactos de frentes polares sobre os processos de sedimentação nos recifes de corais dos Abrolhos. Os autores observaram um fluxo de sedimentação durante o período de verão (Novembro de 1999 até Janeiro de 2000) de  $5 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , enquanto que para o período de inverno (Maio de 2000 até Julho de 2000) foram encontrados valores de  $10 \text{ mg.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (Figura 2.7a e 2.7b). Os autores informaram que duas principais condições ambientais estiveram associadas aos processos de sedimentação na região do Banco de Abrolhos: o padrão anual de chuvas que determinou a carga sedimentar dos rios e a erosão costeira da região, e a frequência, trajetória e intensidade das frentes polares que se deslocam ao longo da costa brasileira, as quais induziram turbulência na superfície do mar.



Figura 2.7a: Locais dos recifes de corais no Arquipélago de Abrolhos. (A) Imagem LANDSAT TM de inverno de composição colorida 1B2G3R. Fonte: Segal e colaboradores (2008).



Figura 2.7b: Locais dos recifes de corais no Arquipélago de Abrolhos. (B) Imagem LANDSAT TM de verão de composição colorida 1B2G3R. Fonte: Segal e colaboradores (2008).

# **CAPÍTULO 3: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO PETRÓLEO**

## *3.1 Hidrocarbonetos de petróleo*

## *3.2 Composição*

## *3.3 Propriedades físicas*

### *3.3.1 Massa específica, densidade e grau API*

### *3.3.2 Viscosidade*

### *3.3.3 Ponto de fluidez ou “pour point”*

### *3.3.4 Volatilidade*

### *3.3.5 Ponto de ignição*

### *3.3.6 Solubilidade*

### *3.3.7 Tensão superficial*

## *3.4 O comportamento do petróleo no mar*

### *3.4.1 Processos intempéricos*

#### *3.4.1.1 Espalhamento*

#### *3.4.1.2 Evaporação*

#### *3.4.1.3 Dissolução*

#### *3.4.1.4 Dispersão natural*

#### *3.4.1.5 Emulsificação*

#### *3.4.1.6 Sedimentação*

#### *3.4.1.7 Foto-oxidação*

#### *3.4.1.8 Biodegradação*

### *3.1 Hidrocarbonetos de petróleo*

Apresenta-se a seguir uma breve descrição da complexidade das propriedades físico-químicas do petróleo. Essa complexidade faz com que a modelagem da deriva das manchas de óleo na água do mar seja muito difícil, uma vez que o comportamento das manchas seja dependente das especificações exatas da maioria dessas características para o modelo de óleo.

### *3.2 Composição*

Óleo é geralmente um termo que descreve uma ampla variedade de substâncias naturais de plantas, animais, ou origem mineral, bem como de substâncias sintéticas (FINGAS, 2001). O petróleo possui uma composição variada, cada tipo de produto de óleo ou petróleo cru tem certamente características ou propriedades únicas possuindo, segundo Milanelli (1994), cerca de 200 a 300 componentes químicos, dos quais 50 a 98 desses são de hidrocarbonetos (PIOVESAN, 2006). Essas características influenciam no comportamento do óleo quando ele é derramado, determinam seus efeitos nos organismos vivos e no meio ambiente, além de influenciar diretamente também nas operações de limpeza.

Os óleos crus são misturas de componentes de hidrocarbonetos que vão desde pequenos compostos voláteis até compostos grandes não voláteis. Essa mistura de compostos varia de acordo com a formação geológica da área na qual o óleo é encontrado, dependendo fortemente da rocha geradora. A rocha geradora é aquela que se formou, cronológica e estruturalmente, com características de granulação muito fina, rica em matéria orgânica (CORRÊA, 2003).

Os hidrocarbonetos são formados por átomos de carbono e hidrogênio, os quais são os principais elementos do óleo. Os óleos também possuem uma variedade considerável de enxofre (0 a 10% do petróleo), ácidos graxos (gorduras) (até 5% do total), nitrogênio, oxigênio, e vários sais minerais, bem como metais traços e níquel, vanádio, urânio, ferro, cobre e cromo (BÍCEGO, 1988). A estrutura dos hidrocarbonetos encontrados nos óleos divide-se basicamente em saturados,

olefinos, aromáticos e compostos polares. Os componentes do óleo do grupo dos saturados consistem primariamente de alcanos, os quais são compostos de hidrogênio e carbono com o máximo de número de átomos de hidrogênio ao redor de cada átomo de carbono. Exemplos desse grupo são os metanos, etanos, propanos, butanos e os hexanos, alguns sendo gases na temperatura ambiente (metano, propano, butano), outros líquidos (pentano), e outros sólidos (compostos com no mínimo 16 carbonos e com mais de 34 hidrogênios). Esses compostos são relativamente pouco tóxicos aos organismos vivos, sendo biodegradados por uma variedade de microorganismos (GERLACH, 1976), entretanto eles possuem efeitos anestésicos e narcotizantes (EVANS E RICE, 1974).

O grupo dos saturados também inclui os ciclo-alcanos (toxicidade intermediária entre os saturados e os aromáticos), os quais são compostos constituídos dos mesmos carbonos e hidrogênios, porém com os átomos de carbono unidos em anéis ou ciclos (FINGAS, 2001). As olefinas, ou compostos insaturados, representam outro grupo de compostos que contém menos átomos de hidrogênio do que o máximo possível. Olefinas têm pelo menos uma dupla ligação carbono-carbono que desloca dois átomos de hidrogênio. Quantidades consideráveis de olefinas são encontradas somente em produtos refinados. Os compostos aromáticos incluem pelo menos 1 anel benzênico de 6 carbonos. Três duplas ligações carbono-carbono circundam o anel e adicionam estabilidade ao composto, devido aos anéis benzênicos serem muito persistentes no ambiente e terem severos efeitos tóxicos e carcinogênicos. A proporção de aromáticos no petróleo (bem como dos outros componentes) varia extremamente, dependendo da região de origem. Segundo Carvalho (1970), o petróleo das Américas é constituído basicamente por parafinas, tendo características de óleo pesado, enquanto que no Leste Europeu o petróleo é quase que 100 % composto por saturados. As parafinas são derivadas do petróleo formadas por uma mistura de hidrocarbonetos saturados de alto peso molecular. Os compostos aromáticos mais conhecidos são os do grupo BTEX, benzeno, tolueno, etil-benzeno e xileno, os quais são os menores e mais voláteis compostos encontrados no óleo. Já os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são compostos consistindo de pelo menos 2 anéis benzênicos, e formam cerca de 0 a 60% da composição dos óleos.



Os compostos polares são aqueles que têm uma significativa mudança molecular como resultado da incorporação de moléculas tais como enxofre, nitrogênio ou oxigênio que fornecem polaridade a molécula final. Na indústria do petróleo esses compostos são chamados de resinas, menores compostos polares, e os asfaltenos, maiores compostos polares (FINGAS, 2001).

### 3.3 Propriedades físicas

#### 3.3.1 Massa específica, densidade e Grau API.

A massa específica é a massa (peso) de um dado volume de óleo, tipicamente expressa em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g.cm}^{-3}$ ). Essa propriedade é usada na indústria do petróleo para definir óleos crus como leve ou pesado. A massa específica também é importante porque indica se um tipo particular de óleo irá flutuar ou afundar na coluna d'água. Como a massa específica da água pura é de  $1.0 \text{ g.cm}^{-3}$  em  $15^\circ\text{C}$  e a massa específica da maioria dos óleos fica na faixa de 0.7 a  $0.99 \text{ g.cm}^{-3}$ , esses óleos irão flutuar sobre a água (FINGAS, 2001). Como a massa específica da água do mar é  $1.03 \text{ g.cm}^{-3}$ , mesmo os óleos pesados flutuarão também. Porém, a massa específica do óleo aumenta com o tempo, devido à perda dos componentes mais leves (voláteis) e a formação de emulsões. Assim, predizer se um determinado óleo irá flutuar ou afundar na coluna d'água deve levar em consideração por quanto tempo o óleo está no ambiente. Caso o óleo permaneça muito tempo no mar a evaporação tenderá a aumentar devido à superfície livre de contato do óleo com o ar se expandir, os compostos pesados remanescentes aumentam a densidade o óleo, fazendo com que ele afunde.

A densidade do óleo consiste na relação entre sua massa específica e a massa específica da água a  $15^\circ\text{C}$ . A densidade da maioria dos óleos crus e refinados varia entre 0.78 e 1.00 (CLARK E BROWN, 1977).

Outra escala relacionada à gravidade foi implementada pela *American Petroleum Institute* (API), chamada de grau API. O grau API é baseado na densidade da água

pura, a qual tem um valor de grau API atribuído de 10°. Óleos com menor densidade possuem maior grau API, o qual é escalado de 10 até 50° API.

$$\text{Grau API} = \left[ \frac{141.5}{(\text{densidade em } 15.5^{\circ}\text{C})} \right] - 131.5 \quad \text{Equação 1}$$

A Tabela 3.1 ilustra a classificação dos óleos quanto ao seu grau API, segundo a ITOF - *The International Tankers Owner Pollution Federation* (1986).

Tabela 3.1: Classificação dos tipos de óleo. Fonte: ITOF (1986).

Grupo	Densidade	API	Composição	Meia-vida	Persistência
I	< 0.8	> 45	Leve	~ 24h	1 – 2 dias
II	0.8 a 0.85	35 a 45	Leve	~ 48h	3 – 4 dias
III	0.85 a 0.95	17.5 a 35	Pesado	~ 72h	6 – 7 dias
IV	< 0.95	< 17.5	Pesado	~ 162h	> 7 dias

Na Tabela 3.1 meia-vida é a quantidade de tempo necessária para o decaimento do óleo se reduzir pela metade, e a persistência indica por quanto tempo o óleo permanecerá no ambiente marinho logo após um derramamento.

### 3.3.2 Viscosidade.

Viscosidade é a resistência ao fluxo de um fluido. Quanto menor for a viscosidade de um líquido, melhor ele fluirá. A viscosidade do óleo é amplamente determinada pela quantidade de frações leves e pesadas que ele contém. Os óleos que possuem em sua maioria componentes leves (compostos saturados) e uma pequena porcentagem de asfaltenos terão uma baixa viscosidade.

Assim como outras propriedades físicas, a viscosidade é influenciada pela temperatura, ou seja, em uma baixa temperatura o óleo tenderá a ser mais viscoso. Para a maioria dos óleos, a viscosidade varia como uma função logarítmica da temperatura. Em termos de limpeza, a viscosidade pode afetar o comportamento do óleo. Óleos viscosos demoram maior tempo para se espalharem, não penetram no solo rapidamente, e afetam a eficiência de bombas e recolhedores do óleo. A viscosidade é expressa por unidades de *Poise* ou *centiPoise* (mPA.s).

### 3.3.3 Ponto de Fluidez ou “Pour Point”

O ponto de fluidez de um óleo é a temperatura na qual o óleo deixa de fluir naturalmente, definindo, assim, a temperatura em que o óleo passa a fluir de forma mais lenta do que a natural. Essa propriedade dos óleos é bastante relevante, pois em locais de clima frio o ponto de fluidez é menor do que em regiões de clima quente, porque o frio faz com que o óleo deixe de fluir em temperaturas mais altas. Também em regiões frias, muitos produtos refinados pesados que possuem altas temperaturas associadas aos pontos de fluidez, devem ser aquecidos durante o transporte e bombeio (CETESB, 2003). Geralmente óleos leves e menos viscosos apresentam ponto de fluidez mais baixo, ou seja, esses óleos que quimicamente fluem com maior facilidade necessitam serem resfriados em temperaturas baixas para poderem deixar de fluir.

Essa propriedade é altamente dependente da temperatura do ar e da água no local de derramamento, pois determinará se o óleo irá se espalhar com maior ou menor facilidade.

### 3.3.4 Volatilidade

A volatilidade de um óleo é caracterizada por sua destilação. Conforme a temperatura de um óleo aumenta, diferentes componentes atingem seu ponto de ebulição. As características de destilação são expressas pela proporção do óleo original destilado a uma dada temperatura.

A volatilidade é uma das propriedades mais importantes de um óleo, e a primeira a ocorrer logo após um derramamento. Os componentes de menor peso molecular, com até 4 átomos de carbono, metano, etano, propano e butano, são extremamente voláteis, e se perdem facilmente para a atmosfera. Quanto mais leve for o óleo (maioria de componentes de baixo peso molecular) mais rapidamente ele irá volatilizar. Essa propriedade é extremamente importante para as equipes que irão remover o óleo derramado no meio ambiente, pois se o óleo for muito volátil a equipe terá menos custos operacionais para remover a pouca quantidade remanescente que permanecerá no ambiente (componentes mais pesados).

### *3.3.5 Ponto de Ignição*

O ponto de ignição de um óleo é a temperatura na qual o produto irá ignizar (pegar fogo) em contato com uma fonte ignizadora. De qualquer forma, o ponto de ignição é um fator de segurança altamente importante durante operações de limpeza. Óleos leves e produtos refinados podem ignizar facilmente, enquanto que óleos pesados e/ou intemperizados não causam sérios riscos de incêndio.

### *3.3.6 Solubilidade*

Solubilidade na água (solvente) é a medida de quanto do óleo (soluto) irá se dissolver na coluna d'água. A solubilidade do óleo na água é extremamente baixa (geralmente menos do que 100ppm - equivalente a aproximadamente a um grama de açúcar dissolvido em um copo d'água). A importância de se conhecer a solubilidade de um óleo refere-se a sua toxicidade. Frações solúveis são geralmente tóxicas à vida selvagem, especialmente em altas concentrações.

### 3.3.7 Tensão Superficial

Tensão superficial é a força de atração ou repulsão entre as moléculas superficiais do óleo e da água. Juntamente com a viscosidade, a tensão superficial é uma indicação da rapidez na qual o óleo será espalhado sobre a água. Quanto menor a tensão superficial com a água, maior será o espalhamento. A Tabela 3.2 apresenta um resumo dos óleos e suas principais propriedades físicas.

Tabela 3.2: Propriedades físicas dos tipos de óleo. Fonte: FINGAS (2001).

Propriedade	Unidade	Gasolina	Diesel	Óleo cru leve	Óleo cru pesado	Óleo combustível intermediário	Óleo pesado	Óleo cru emulsificado
Viscosidade a 15°C	mPa.s	0.5	2	5 a 50	50 a 50.000	1000 a 15.000	10.000 a 50.000	20.000 a 100.000
Densidade a 15°C	g.mL <sup>-1</sup>	0.72	0.84	0.78 a 0.88	0.88 a 1.00	0.94 a 0.99	0.96 a 1.04	0.95 a 1.0
Ponto de ignição	°C	-35	45	-30 a 30	-30 a 60	80 100	> 100	> 80
Solubilidade em água	ppm	200	40	10 a 50	5 a 30	10 a 30	1 a 5	-
Ponto de fluidez	°C	Não relevante	-35 a 1	-40 a 30	-40 a 30	-10 a 10	5 a 20	>50
Grau API	-	65	35	30 a 50	10 a 30	10 a 20	5 a 15	10 a 15
Tensão superficial a 15°C	Mn/m	27	27	10 a 30	15 a 30	25 a 30	25 a 35	Não relevante

## 3.4 O comportamento do petróleo no mar

### 3.4.1 Processos intempéricos

O petróleo possui características físicas e químicas próprias, naturais do combustível fóssil. Porém essas propriedades são modificadas quando o petróleo entra em

contato com a água do mar. Este tema específico é bastante relevante para as equipes de emergência, pois conhecer os processos modificadores do óleo no mar irá ajudar no sucesso das operações de contingência.

O termo intemperismo geralmente é aplicado às rochas, aos processos de desgaste e degradação por agentes naturais, mas também pode ser aplicado a qualquer outra substância, como o petróleo. O intemperismo do petróleo se constitui na gama de processos modificadores do óleo, tanto quanto à sua composição quanto à toxicidade. Esses processos ocorrem simultaneamente, dependendo fortemente do tipo de óleo em questão.

Os processos que ocorrem logo após um derramamento de óleo no mar irão determinar como o óleo deverá ser removido da água e quais serão os seus efeitos sobre o meio ambiente. Por exemplo, se um óleo evapora rapidamente, a limpeza será menos intensa, mas os hidrocarbonetos no óleo entrarão na atmosfera e irão causar poluição atmosférica. Uma mancha de óleo pode ser carregada pelo vento e pelas correntes para áreas de proteção ambiental, colônias de pássaros, recifes de corais, praias, etc.

Segundo Fingas (2001), a evaporação é o principal processo de intemperismo quando o óleo atinge o oceano, pois é o que ocorre primeiramente e influencia fortemente no destino do óleo remanescente. O segundo processo mais importante segundo o autor é a emulsificação da água com óleo, pois a emulsão torna o óleo mais denso, além de aumentar consideravelmente o volume do óleo derramado ao longo do tempo, dificultando o trabalho das equipes de combate.

Os principais processos discutidos na seqüência serão o espalhamento, a evaporação, a dissolução, a dispersão natural, a emulsificação, a sedimentação, a foto-oxidação e a biodegradação.

#### *3.4.1.1 Espalhamento*

Logo após o óleo ser derramado na água ele tende a formar uma mancha sobre a superfície, inicialmente em forma circular. O espalhamento se dá de forma horizontal originando a mancha de óleo, a partir dos efeitos de gravidade, inércia, fricção,

viscosidade e tensão superficial (CETESB, 2003). A viscosidade do óleo se opõe a essas forças. Com o passar do tempo, o efeito da gravidade sobre o óleo diminui, mas a força de tensão superficial continua a espalhar o óleo. A transição entre essas forças ocorre nas primeiras 4 horas após o derramamento (FINGAS, 2001).

O comportamento de diferentes tipos de óleos em relação ao espalhamento é mostrado na Figura 3.1. Produtos mais leves, como a gasolina e o diesel, evaporam quase que completamente em intervalos de 24 a 96 horas, respectivamente, enquanto que óleo de maior densidade como o óleo pesado e a emulsão óleo-água praticamente não são afetados pelo processo de espalhamento e evaporação, não diminuindo seu volume nos béqueres e praticamente inalterados na sua forma após 96 horas.

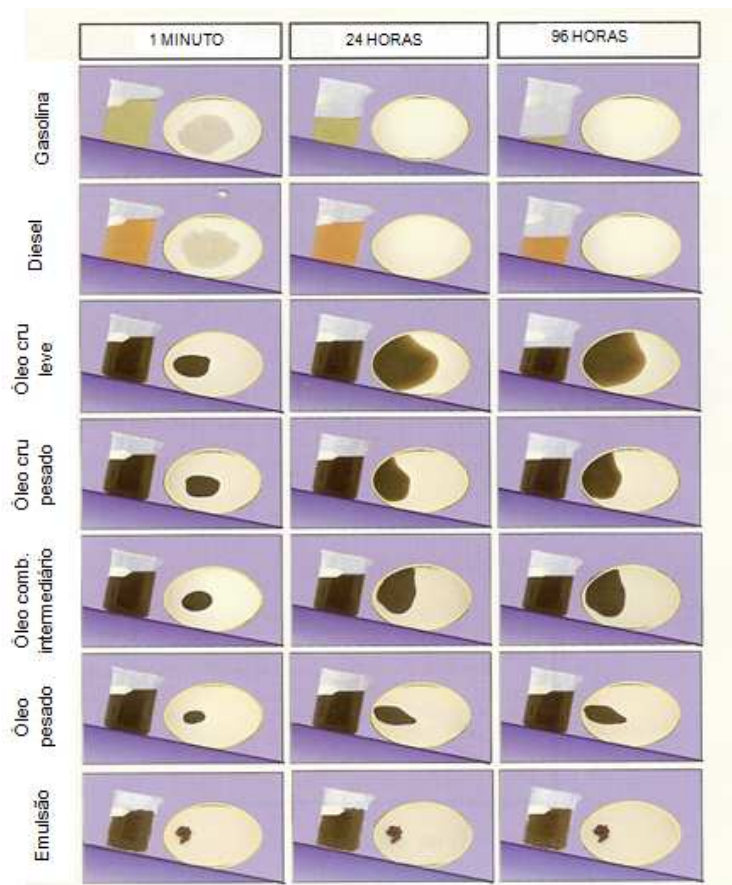


Figura 3.1: Representação esquemática do comportamento do óleo de diferentes densidades, partindo do mais leve (gasolina) até o mais denso (emulsão), mostrando os efeitos da evaporação (volume nos beakers - à esquerda) e do espalhamento (área da mancha na Placa de Petri - à direita). Fonte: FINGAS (2001).

Na presença de vento e correntes os processos de espalhamento serão acelerados. A mancha de óleo tenderá a se alongar na direção do vento e da corrente, ou na direção resultante das duas forçantes, e formará filamentos alongados nessa direção. Uma mancha de óleo freqüentemente quebra-se sobre o mar em pedaços ou em outros filamentos devido a influência de ondas ou zonas de convergência ou divergência. Assim, o óleo tende a se concentrar na crista da onda devido à força de gravidade.

Convergências de pequena escala ocorrem freqüentemente na superfície dos oceanos e águas costeiras, geralmente de forma linear paralela à direção do vento, ao longo das células de Langmuir (CL) (COOLING, 2001), onde existem sistemas locais de recirculação ocorrendo geralmente nos primeiros 10 metros de profundidade.

As CL contribuem no espalhamento de materiais, no caso óleo, pois os processos convectivos associados aos processos advectivos geram maior turbulência no ambiente marinho, facilitando o espalhamento do óleo. Outros autores, como Lehr e Simecek-beatty (2000) também associam as CL aos processos de espalhamento, juntamente com a dispersão de partículas na coluna d'água e o transporte do centro de massa da mancha de óleo.

A tendência natural do óleo é espalhar-se sendo forçado pelas correntes e pelo vento, porém, a proximidade do óleo à costa e a velocidade do vento irão determinar quais forçantes exercem principal papel no espalhamento. Caso a mancha de óleo esteja próxima à costa e a velocidade do vento for menor do que  $10 \text{ km.h}^{-1}$ , a mancha será forçada principalmente pelas correntes superficiais com um fator de 3% da velocidade do vento acima da superfície. Porém, se a velocidade do vento for maior do que  $20 \text{ km.h}^{-1}$  e a mancha estiver em águas fora da plataforma continental, o vento será a forçante principal do movimento da mancha e determinará o seu deslocamento (FINGAS, 2001).



### 3.4.1.2 Evaporação

A evaporação é o processo natural mais importante em um derramamento de óleo. Ele tem o maior efeito sobre a quantidade remanescente de óleo sobre a água após o vazamento.

A taxa na qual um óleo irá evaporar depende fortemente de sua composição química e da temperatura ambiente onde ocorreu o incidente. A radiação solar produz aumento na temperatura da água, aumentando o processo evaporativo. A evaporação prossegue mesmo sob condições instáveis (tempo nublado) e até mesmo a noite, embora a uma taxa reduzida. A evaporação também afeta a toxicidade do óleo, uma vez que muitos dos compostos leves do óleo ( $C_1$  à  $C_8$ ) que se evaporam são considerados mais tóxicos, por serem mais biodisponíveis. Esses componentes se evaporam nas primeiras horas após o vazamento (CETESB, 2003).

Óleos que apresentam em sua composição predominância de componentes pesados (com moléculas mais complexas) podem permanecer na superfície da água por várias semanas até um ano após o óleo ter sido lançado no ambiente (FINGAS, 2001). O comportamento de diferentes tipos de óleos em relação à evaporação foi mostrado na Figura 3.1.

As propriedades de um óleo podem mudar significativamente ao longo do processo de evaporação. Se aproximadamente 40% de um óleo evapora, sua viscosidade pode aumentar até mil vezes, sua densidade pode aumentar em até 10% e seu ponto de ignição em até 400% (CETESB, 2003).

### 3.4.1.3 Dissolução

Através do processo de dissolução muitos dos componentes solúveis do óleo são perdidos para a água abaixo da mancha. Esses componentes são os aromáticos de baixo peso molecular e os compostos polares, caracterizados como resinas. Somente uma pequena parcela do óleo derramado é dissolvida na coluna d'água, geralmente em torno de 2 a 5% do óleo derramado, e quanto mais agitado o mar estiver melhor será a dissolução (CETESB, 2003).

A importância da dissolução reside no fato de que os compostos dissolvidos são extremamente tóxicos aos peixes e à vida marinha. Gasolina, diesel e óleos crus leves são geralmente os maiores causadores de aumento de toxicidade no meio aquático em um derramamento. As maiores concentrações de compostos tóxicos do óleo são encontradas próximas a subsuperfície, logo abaixo da mancha de óleo, portanto a ameaça desses compostos a vida aquática na coluna d'água é localizada e de curta duração devido às perdas evaporativas (FINGAS, 2001).

#### *3.4.1.4 Dispersão Natural*

A dispersão natural ocorre quando pequenas partículas do óleo chamadas “*droplets*” são transferidas para dentro da coluna d'água pela ação de ondas ou da turbulência. Pequenas partículas de óleo (menor do que 20  $\mu\text{m}$  ou 0.020 mm) são relativamente estáveis na água e permanecerão no ambiente por um longo tempo. Partículas formadas pelo processo de dispersão que possuem dimensão maior do que 0,1 mm em diâmetro tendem a se agrupar e permanecerem próximas à superfície, já partículas menores do que esse valor tendem a se dispersar mais facilmente na coluna d'água (CETESB, 2003).

Dependendo das condições físico-químicas do óleo e da hidrodinâmica, a dispersão natural pode ser insignificante (FINGAS, 2001). Óleos pesados não dispersam naturalmente em qualquer tipo de condição, já os óleos leves como gasolina e diesel possuem maior facilidade de dispersão. Em 30 anos de monitoramento de derramamentos de óleo nos oceanos feito por pesquisadores noruegueses, aqueles incidentes onde o óleo foi dispersado naturalmente teve ocorrência de alta hidrodinâmica marinha.

#### *3.4.1.5 Emulsificação*

Emulsificação é o processo no qual um líquido é disperso dentro de outro na forma de pequenas partículas. Partículas de água podem permanecer dentro de uma camada de óleo em uma forma estável e o material resultante é completamente

diferente. A emulsão óleo-água muda as características e as propriedades do óleo derramado substancialmente, chegando a englobar em sua formação cerca de 50 a 80% de água, expandindo o volume do óleo de 2 a 5 vezes do volume original (FINGAS *et al.*, 2003). Segundo Fingas e colaboradores (1999), a densidade do óleo emulsificado também é alterada, podendo atingir níveis de 1,03, enquanto o óleo natural chegaria a densidades menores do que 0,08.

A emulsão água-óleo é também chamada de “*mousse*” ou “*mousse de chocolate*”, devido à sua aparência (Figuras 3.2 e 3.3).



Figura 3.2: Formação de emulsão água-óleo. Fonte: FINGAS (2001).

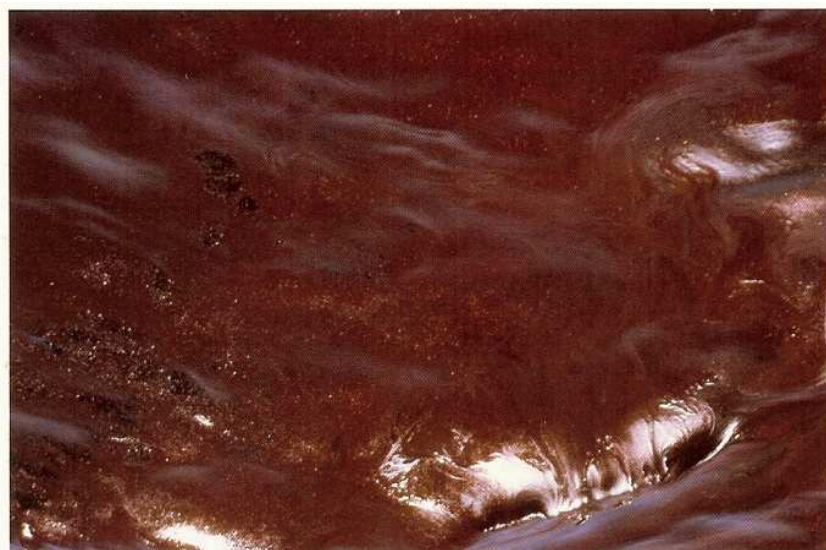


Figura 3.3: Emulsão água-óleo semelhante a um “*mousse de chocolate*”. Fonte: FINGAS (2001).

O mecanismo de formação da emulsão não é totalmente bem conhecido, mas ele provavelmente começa com a hidrodinâmica forçando a entrada de pequenas parcelas de água, de tamanho aproximado de 10 a 25  $\mu\text{m}$ , para dentro do óleo. Se o óleo for pouco viscoso, então essas pequenas partículas não sairão do óleo rapidamente, já se o óleo for muito viscoso, as partículas não conseguirão entrar no óleo (FINGAS, 2001).

Os asfaltenos (compostos químicos orgânicos de maior peso molecular e maior ponto de ebulição) e as resinas presentes no óleo interagem com as partículas de água e se estabilizam. Dependendo da quantidade de asfaltenos e resinas, bem como de compostos aromáticos, uma emulsão será formada. A evaporação tem um papel importante na formação de uma emulsão, pois ela diminui a quantidade de compostos aromáticos de baixo peso molecular e aumenta a viscosidade até um valor crítico, favorecendo a emulsificação.

A emulsão tem a coloração meio marrom avermelhado, sendo levemente sólida. Devido a sua alta viscosidade e seu caráter viscoso, as emulsões não se espalham facilmente e tendem a permanecer no sedimento ou na costa. A emulsão pode permanecer no ambiente, geralmente no sedimento, por semanas ou até meses. A viscosidade do óleo pode aumentar em até 1000 vezes do valor original, dependendo do tipo de emulsão formada (FINGAS, 2001).

Os aumentos de volume e viscosidade dificultam bastante as operações de limpeza e remoção. Óleo emulsificado é difícil ou impossível de dispersar, para recolher com recolhedores (*skimmers*) ou para queimar.

A formação de emulsificação também muda o destino do óleo. Tem sido notado que quando o óleo forma emulsões estáveis ou meso-estáveis, a evaporação diminui consideravelmente, a biodegradação também diminui, e a dissolução de componentes solúveis a partir do óleo cessa quando a emulsificação é formada (CETESB, 2003).

#### 3.4.1.6 Sedimentação

A sedimentação é o processo pelo qual o óleo é depositado no fundo do corpo d'água. A sedimentação ocorre quando as partículas de óleo atingem uma densidade maior do que a da água após a interação com material mineral na coluna d'água, ou quando a emulsificação atinge níveis de densidade maiores do que da água ao redor. Essas interações geralmente ocorrem com maior intensidade quando há maior quantidade de material em suspensão, geralmente próximo à costa ou na desembocadura de algum rio ou laguna.

Uma vez que o óleo encontra-se depositado no sedimento, uma fina camada de sedimentos minerais e orgânicos o cobrirá lentamente. Geralmente uma pequena parcela do óleo derramado vai parar no sedimento. Segundo estudos realizados cerca de aproximadamente 10% do óleo total é depositado no fundo (FINGAS, 2001).

A sedimentação é um processo muito importante em águas rasas, condições de mar agitado onde parte do sedimento é constantemente ressuspenso.

Segundo Boehm (1987), a taxa de sedimentação do óleo é fortemente influenciada pela concentração de sedimentos em suspensão na região de derramamento do óleo. Segundo o autor, para concentrações entre  $1-10\text{mg.L}^{-1}$  nenhum transporte substancial de partículas associadas ao óleo migram para o sedimento. Em ambientes com níveis de  $10-100\text{mg.L}^{-1}$  de sedimentos em suspensão, consideráveis taxas de transporte de sedimento para o leito marinho podem ocorrer na presença de turbulência, já níveis maiores do que  $100\text{mg.L}^{-1}$  ocorre transporte massivo de óleo adsorvido pelo sedimento para o leito marinho. Nesses dois últimos casos, a adsorção de partículas de óleo em material em suspensão pode proporcionar um eficiente mecanismo de sedimentação do volume de óleo derramado. Demais autores, como Owens (1999) provaram em laboratório que a formação de aglomerados óleo-mineral aumenta a dispersão do óleo derramado e reduz eficientemente as propriedades adesivas do óleo residual. Floch e colaboradores (2002) também analisaram e mostraram que muitos conglomerados de óleo e minerais podem ocorrer próximo às regiões costeiras, inclusive com os minerais determinando a forma do conglomerado (Figura 3.4).

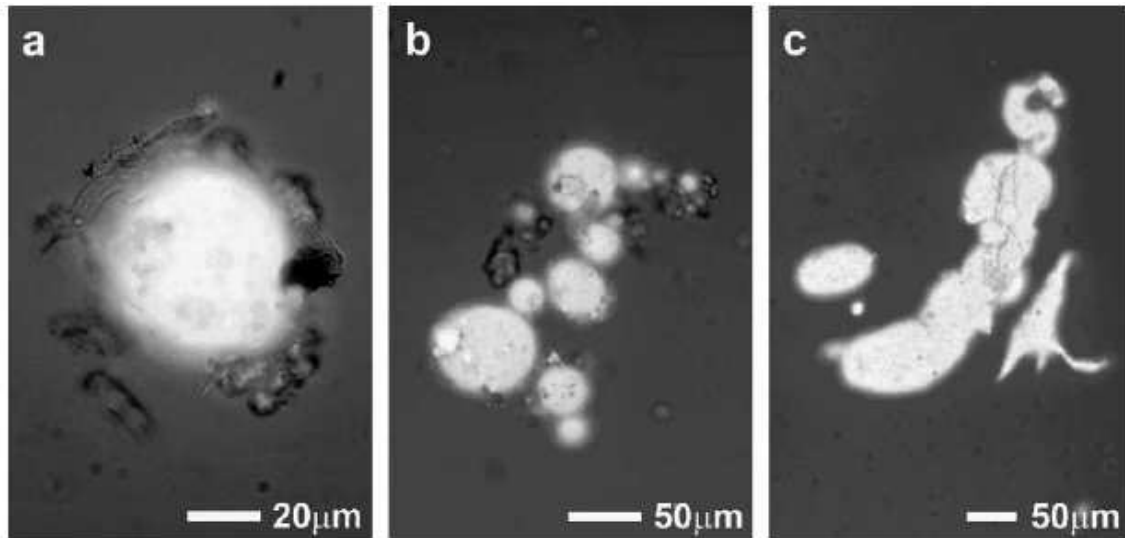


Figura 3.4: Microfotografia epi-fluorescente de aglomerados de óleo com minerais. As cores claras que imitem iluminação representam o óleo. (a) Agregação de uma partícula de óleo cercada por partículas minerais. (b) múltiplas partículas agregadas às partículas minerais. (c) agregação com partículas minerais dentro das partículas de óleo determinando a forma do conglomerado. Fonte: Floch e colaboradores (2002).

#### 3.4.1.7 Foto-oxidação

A foto-oxidação pode mudar a composição do óleo. Esse processo de intemperismo gera uma variedade de compostos oxigenados como compostos sulfúricos, ácidos carboxílicos, aldeídos, ésteres, fenóis, etc., todos de alta polaridade, contribuindo para a solubilidade e desaparecimento da mancha de óleo no mar (FLOCH *et al.*, 2002). Os compostos mencionados são consideravelmente mais tóxicos e mais solúveis na água (CETESB, 2003), porém são mais susceptíveis as ações de degradação fotolítica, permanecendo por menos tempo no ambiente.

De uma maneira geral a foto-oxidação desempenha um papel menos importante quando comparado aos demais processos de intemperização. Geralmente esse processo é limitado às altas latitudes, onde há pouca luz solar, especialmente durante inverno.

#### 3.4.1.8 Biodegradação

Biodegradação de óleo é um dos mais importantes processos envolvidos no intemperismo e remoção do petróleo do meio marinho, principalmente se as características químicas do óleo forem basicamente de compostos não voláteis (VENOSA E ZHU, 2003).

Um amplo número de organismos é capaz de degradar os hidrocarbonetos de petróleo. Muitas espécies de bactérias, fungos e leveduras metabolizam petróleo como uma fonte energética de alimentação. Os hidrocarbonetos metabolizados pelos organismos são geralmente convertidos em compostos oxidados, os quais podem ser degradados e solúveis, ou podem acumular no óleo remanescente. A toxicidade aquática associada aos processos de biodegradação é, às vezes, maior do que aquela encontrada nos compostos solúveis do petróleo (FINGAS, 2001).

Após um derramamento de óleo, a população de microorganismos aumenta em função da fonte de alimento. A taxa pela qual o óleo é biodegradado está diretamente ligada à disponibilidade de oxigênio, nutrientes e temperatura. O oxigênio aparentemente não se traduz como um problema para a maioria dos ambientes marinhos, especialmente porque este se encontra em abundância nesse meio (coluna d'água, água de superfície, superfície do sedimento). A dificuldade ocorre quando o óleo atinge a subsuperfície do sedimento, região com deficiência de oxigênio, onde microorganismos degradam o óleo a uma taxa reduzida.

O processo de biodegradação é um processo lento em águas frias. O tempo para se degradar o mesmo volume de óleo quando a temperatura da água está a 14°C é quatro vezes maior do que se o mesmo estivesse a 18°C (LEBLANC, 1990). A dependência de nutrientes refere-se, principalmente, a disponibilidade de fósforo e nitrogênio. A taxa de biodegradação de hidrocarbonetos ocorre preferencialmente na seguinte ordem: alcanos normais, alcanos ramificados, aromáticos e cicloalcanos (CETESB, 2003). Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, incluindo aqueles com 5 e 6 anéis, sofrem também biodegradação. Tanto hidrocarbonetos aromáticos quanto parafínicos são susceptíveis a oxidação microbiológica. Hidrocarbonetos aromáticos dinucleares são eliminados por biodegradação, enquanto que os mononucleares são perdidos principalmente por evaporação (FINGAS, 2001).

## **CAPÍTULO 4: A MODELAGEM COMO SUPORTE AOS INSTRUMENTOS DA POLÍTICA DO MEIO AMBIENTE**

*4.1 Os aspectos da legislação ambiental industrial*

*4.2 A legislação ambiental da indústria do petróleo*

*4.3 A legislação ambiental voltada ao derramamento de petróleo*

*4.4 O modelo hidrodinâmico POM (Princeton Ocean Model)*

*4.5 A Modelagem numérica de derramamentos de óleo*

*4.6 O modelo de derramamento de óleo OSCAR (Oil Spill Contingency and Response)*



#### *4.1 Os aspectos da legislação ambiental industrial.*

Toda atividade industrial é regida por uma legislação vigente, a qual tem por objetivo tornar os processos industriais legais perante a lei, à sociedade e ao meio ambiente. A população mundial vive, desde muitas décadas, uma necessidade crescente de aumento de produtividade em suas atividades, muitas vezes consumindo recursos naturais em excesso. As indústrias de modo geral, a até duas décadas atrás, não se importavam com os aspectos ecológicos em torno do parque industrial, despejando todo tipo de resíduos no ambiente sem qualquer tratamento ou investimento para essa finalidade.

A partir da década de 90 que os aspectos ambientais foram levados em consideração pelas indústrias, devido à obrigatoriedade do cumprimento de uma série de leis ambientais que, caso não fossem cumpridas, a indústria seria multada e encerrava suas atividades. As empresas foram obrigadas a seguir uma série de instrumentos de gestão ambiental, criterizadas conforme o tipo de atividade desenvolvida, como implantar suas instalações seguindo o zoneamento de uso do solo, estabelecer padrões de qualidade ambiental, licenciar ambientalmente suas atividades, ter estudos de impacto ambiental (EIA-RIMA) e a realizar auditorias ambientais, dentre outros (CETESB, 2003).

É neste contexto que surge o direito ambiental, ou seja, uma série de obrigações ambientais a serem realizadas pelas indústrias a fim de preservarem o meio ambiente.

Atualmente existem aproximadamente 11 mil leis federais, das quais cerca de 150 relacionadas ao meio ambiente. Decretos ambientais totalizam em torno de 350, e 393 resoluções CONAMA estão diretamente relacionadas às questões ambientais (ZURITA E RODRIGUES, 2008).

#### *4.2 A legislação ambiental da indústria do petróleo.*

A Lei do Petróleo (Lei 9.478/97) representou a confirmação da abertura do mercado brasileiro de petróleo às companhias internacionais, sendo iniciado em 1975 com os

contratos de risco. Essa Lei teve como função regular as atividades relativas ao monopólio do petróleo, além de dispor sobre os objetivos da política energética nacional. Além disso, a lei criou o CNPE (Conselho Nacional de Políticas Energéticas) e a ANP (Agência Nacional do Petróleo). A CNPE é um órgão de assessoramento da Presidência da República com a atribuição de elaborar propostas para assegurar o abastecimento interno e o aproveitamento racional dos recursos energéticos. Já a ANP, que após ser criada foi implementada pelo Decreto nº 2.455 de 14 de janeiro de 1998, teve por finalidade exercer as funções de órgão regulador e fiscalizador das atividades referentes ao petróleo e ao gás natural no país. A ANP ficou responsável pela estruturação do setor petrolífero, através do controle sobre as práticas concorrenciais e o seu estímulo, até o fim da cadeia produtiva.

O licenciamento das atividades de petróleo é executado pela Coordenação Geral de Licenciamento de Petróleo e Gás (CGPEG), instalada na Superintendência do IBAMA no Rio de Janeiro. O CGPEG dividiu as atividades de petróleo relacionadas ao meio ambiente em três classes. Segundo o site oficial da CGPEG, a classe I compreende estudos e levantamentos em profundidades inferiores a 50m ou em áreas de alta sensibilidade ambiental onde existem ecossistemas ecologicamente importantes, tais como recifes de corais, bancos de algas calcárias, estuários e alta atividade pesqueira artesanal. A classe II compreende estudos e levantamentos em profundidade entre 50 e 200m, em área com baixa intensidade de pesca artesanal e ausência de ecossistemas sensíveis. A classe III compreende levantamentos em profundidade superior a 200m e/ou em áreas com baixa intensidade de pesca artesanal e ausência de ecossistemas sensíveis.

Diferentemente do licenciamento ambiental para atividades industriais gerais, os empreendimentos relacionados ao petróleo e gás devem passar por um procedimento dividido em quatro fases, conforme é apresentado no Artigo 5º da Resolução nº 23 do CONAMA, a saber (MONTEIRO E LEITE, 2003): a) Licença Prévia para Perfuração, a qual autoriza a atividade de perfuração, devendo o empreendedor apresentar o Relatório de Controle Ambiental (RCA) das atividades e a delimitação da área de atuação pretendida; b) Licença Prévia de Produção para Pesquisa, que autoriza a produção e viabilidade econômica da jazida, obrigando a empresa concessionária a providenciar o Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA); c)

Licença de Instalação, requerida após a aprovação do EIA (Estudo de Impacto Ambiental) ou RAA (Relatório de Avaliação Ambiental), sendo responsável pela autorização da instalação de unidades e sistemas necessários à produção e ao escoamento; d) Licença de Operação, que autoriza, após a aprovação do Projeto de Controle Ambiental (PCA), o início da operação do empreendimento ou das unidades das instalações e sistemas integrantes da atividade na área de interesse.

Na expedição das quatro espécies de licenças descritas, o órgão ambiental competente poderá utilizar instrumentos patrocinados pelo empreendedor ou concessionário, como o EIA e o respectivo RIMA (Relatório de Impacto Ambiental, de acordo com as diretrizes gerais fixadas pela Resolução nº 001/86 do CONAMA), Relatório de Controle Ambiental (contém a descrição da atividade de perfuração, riscos ambientais, identificação dos impactos e medidas mitigadoras), Estudo de Viabilidade Ambiental (compreende o plano de desenvolvimento da produção para a pesquisa pretendida, com avaliação ambiental e indicação das medidas de controle a serem adotadas), Relatório de Avaliação Ambiental (traz o diagnóstico ambiental da área onde já se encontra implantada a atividade, descrição dos novos empreendimentos ou ampliações, identificação e avaliação do impacto ambiental e medidas mitigadoras a serem adotadas, considerando a introdução de outros empreendimentos) e Projeto de Controle Ambiental (contém os projetos executivos de minimização dos impactos ambientais avaliados nas fases de Licença Prévia para Perfuração, Licença Prévia de Produção para Pesquisa e Licença de Instalação).

#### *4.3 A legislação ambiental voltada ao derramamento de petróleo.*

Segundo Bethlem e colaboradores (2002), a modelagem de derramamento de óleo define a área de influência indireta da atividade, na qual se baseia todo o diagnóstico ambiental, bem como define cenários através das simulações, permitindo a elaboração de estratégias necessárias ao atendimento emergencial de acidentes que envolvam derramamento de óleo no mar, no contexto do Plano de Emergência Individual. Constitui, dessa maneira, uma ferramenta fundamental na elaboração do estudo e da gestão ambiental das atividades de exploração e produção.

A modelagem de derramamento de óleo no mar segue o escopo desenvolvido pelo ELPN/IBAMA (Escritório de Licenciamento de Atividades do Petróleo e Nuclear), atual CGPEG, estabelecendo critérios técnicos para consolidar as diretrizes da modelagem.

Segundo o CGPEG, é obrigação do empreendedor apresentar a modelagem do derramamento de óleo para delimitação da Área de Influência Indireta (AII) da atividade, bem como realizar a coleta de dados para calibrar e validar os modelos. Porém, a maior dificuldade encontrada pelos empreendedores é a falta de uma base de dados meteorológicos e oceanográficos consistente para as diversas bacias sedimentares marinhas. Um segundo problema enfrentado em decorrência do licenciamento atual é a falta de padronização dos modelos aplicados, e sua validação para as condições ambientais da costa brasileira (BETHLEM *et al*, 2002).

Atualmente, dentro do escopo do licenciamento ambiental, se utiliza esta ferramenta computacional como diretriz para avaliação dos possíveis impactos das atividades petrolíferas, em acordo com os dados apresentados no Diagnóstico Ambiental do Meio Físico, como orientação das estratégias de resposta do Plano de Emergência Individual. O Modelo de Termo de Referência relaciona as premissas básicas para a elaboração das simulações a serem incorporadas nos estudos para licenciamento.

As principais informações que devem constar no Relatório de Impacto Ambiental em relação às simulações de derramamento de óleo são as análises probabilísticas (considerando as condições sazonais), e a determinística crítica, se referindo aos piores cenários possíveis (em relação à chegada do óleo na costa), também levando em consideração as condições sazonais.

As informações referentes aos parâmetros ambientais e propriedades físico-químicas do óleo também devem ser informadas no documento. Nas áreas situadas fora da plataforma continental, a simulação deve englobar dados de vento e de corrente oceânica. Já em áreas onde sejam simulados cenários de derramamento de óleo sobre a plataforma continental e em águas rasas (profundidades menores do que 60m), a modelagem deverá abranger, além dos dados de vento e correntes costeiras, parâmetros de ondas e correntes de maré.

Em relação ao óleo utilizado nas simulações, o empreendedor deverá justificar a utilização de determinado tipo de óleo nos cenários de derramamento. Em relação

ao volume de óleo derramado, as modelagens deverão utilizar cenários de descarga de pior caso, conforme consta na Seção 2.2.1 do Anexo II da Resolução CONAMA 398/2008. O RIMA (Relatório de Impacto Ambiental) deverá conter os piores cenários de simulação, com uma previsão de tempo e concentração de óleo na costa. Outras informações importantes referentes aos cenários de derramamento de óleo devem constar nos documentos finais, conforme rege a Resolução CONAMA 398/2008, como a grade numérica utilizada no modelo, com informações de cotas batimétricas referenciadas, tipo de interpolação de dados utilizada e a exibição de mapas e figuras representativas para a região. As descrições das forçantes ambientais também devem constar no documento, como dados meteorológicos, oceanográficos e referentes às características do óleo. Deve ser informado o domínio e condições de contorno utilizadas, além da descrição de equações do modelo numérico utilizado no derramamento de óleo.

A determinação da área de influência indireta da atividade é feita a partir da simulação dos piores cenários para o toque de óleo na costa e de acordo com a análise probabilística de séries temporais de dados meteorológicos e oceanográficos. Quanto aos aspectos inerentes às atividades petrolíferas no mar, o CGPEG subdivide os ecossistemas da plataforma continental em águas rasas (entre zero e 60m de profundidade), intermediárias (entre 60 e 200m de profundidade) e profundas (profundidades maiores do que 200m), baseando-se no clima de ondas da costa brasileira.

Atenção especial deve ser dada às áreas consideradas muito sensíveis, como o Banco de Abrolhos (sul da Bahia), Parcel Manuel Luís (costa do Maranhão), Pesqueiros da Costa do Nordeste, e outros santuários da biodiversidade da costa brasileira. Nestes locais as modelagens ainda são problemáticas, visto que existem dificuldades em estabelecer os limites, em especial para feições submersas e, desta forma, determinar os reais impactos dos derramamentos de óleo.

Atendendo as diretrizes da Resolução CONAMA (RC) nº 398 de 11 de Junho de 2008, o Plano de Emergência Individual deve ser elaborado considerando, dentre outras informações, a probabilidade do óleo atingir determinadas áreas e a sensibilidade destas ao óleo. De acordo com esta Resolução, uma das maneiras de se determinar as áreas passíveis de serem atingidas é a utilização de modelos de transporte e dispersão de óleo. Neste caso, a RC 398 estabelece que a simulação

deva considerar o volume de derramamento correspondente à descarga de pior caso.

O cálculo do volume do derramamento correspondente à descarga de pior caso para plataformas de produção e tanques (navios FPO e FPSO - escopo do presente trabalho) deve ser realizado com base na produção dessas estações, bem como a soma total da capacidade máxima de estocagem, supondo um derramamento diário sem ações de resposta de combate, durante 30 dias de perda do controle do poço. Segundo a RC 398, caso a perda de controle do poço não comprometa a estocagem da plataforma, deverá ser utilizado apenas o volume relativo ao descontrole multiplicado por 30 dias. No entanto, uma análise técnica comprobatória deva justificar o não comprometimento da estocagem na estação de produção.

#### 4.4 O modelo hidrodinâmico POM (*Princeton Ocean Model*)

O modelo hidrodinâmico POM possui estrutura tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas escritas na forma de fluxo, sob as aproximações de *Boussinesq* e hidrotástica (BLUMBERG E MELLOR, 1987). Este modelo permite a utilização de grades curvilíneas de coordenadas  $\sigma$  na vertical, escalonada de acordo com a profundidade local, e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de ordem 2.5 (MELLOR E YAMADA, 1982). O modelo possui três componentes de velocidade de fluxo, temperatura e salinidade, assim como energia cinética turbulenta e mistura turbulenta (KAWASE, 1998). Além disso, o POM integra as equações primitivas de Reynolds discretizadas por diferenças finitas segundo o método *Leapfrog*.

O uso de coordenadas  $\sigma$  facilita a representação da estrutura vertical do sistema costeiro com morfologia de fundo irregular, como o da área de estudo (Bacia do Espírito Santo, Cumuruxatiba e Jequitinhonha). O fechamento turbulento de ordem 2.5 utiliza os resultados das equações da energia cinética turbulenta e da escala de comprimento, bem como a turbulência no cálculo dos coeficientes cinemáticos, tanto de viscosidade quanto de difusão turbulenta de calor e sal na vertical. Esses cálculos são efetuados com base em equações empíricas que utilizam constantes estabelecidas em experimentos de laboratório e em observações de campo. Com o

fechamento turbulento de ordem 2.5, o modelo reproduz de maneira mais realística as camadas de Ekman de superfície e de fundo (BLUMBERG E MELLOR, 1987).

Além dos aspectos específicos acima mencionados, o modelo adota soluções largamente utilizadas na literatura, como gradeamento do tipo *C* de *Arakawa* e métodos de integração diferentes na horizontal e na vertical - integração horizontal e temporal explícita e vertical implícita. O modelo apresenta uma superfície livre e dois intervalos de tempo distintos, um para o modo de oscilação externo e outro para os internos. O modo externo (barotrópico) é bidimensional e usa um intervalo de tempo menor, baseado na condição de estabilidade computacional de *Courant-Friedrichs-Levy* (CFL). Os modos internos (baroclínicos) são tridimensionais e usam um intervalo de tempo mais longo (MELLOR E YAMADA, 1982).

#### *4.5 A modelagem numérica de derramamentos de óleo no mar.*

Um grande número de modelos de derramamento de óleo está em uso no mundo hoje. Eles compreendem ferramentas poderosas nos planos de emergência dos derrames de óleo. Estes vão na capacidade de simples trajetórias, ou modelos de monitoramento de partículas, até modelos de trajetória de destino tri-dimensionais que incluem simulações com ações de resposta e estimacão de efeitos biológicos (REED et al., 1999). Dois modelos contendo os mesmo algoritmos podem dar resultados bastante diferentes com os mesmos dados de entrada. A implementação do algoritmo é crucial para o seu desempenho, e a interação deste com outros códigos, por exemplo, aqueles referentes ao espalhamento, evaporação, emulsificação, dispersão, etc., vão garantir a eficácia do modelo. Os algoritmos referentes aos processos de intemperismo do óleo no mar são as principais características do modelo que o faz eficiente e realístico aos cenários. Atualmente a comunidade científica interessada na modelagem de derramamentos de óleo tem obtido conhecimento cada vez mais detalhado desses processos, criando códigos cada vez mais aprimorados. O crescente poder computacional continuará melhorando a interpretação e funcionamento dos códigos de processos ambientais, permitindo maior detalhamento das características físicas e químicas do óleo no

ambiente, juntamente com um melhor acoplamento de dados oceanográfico e meteorológicos.

Basicamente os modelos de derramamento de óleo possuem três principais etapas no processo de simulação: a entrada de dados (tipo de óleo, taxa de derramamento, localização, condições especiais, linha de costa, correntes, batimetria, estado do mar, velocidade do vento, temperatura do mar, gelo, etc.), os processos de compilação e execução dos dados em diferentes intervalos de tempo (advecção, espalhamento, dissolução, emulsificação, evaporação, etc.) e a saída (balanço de massa do óleo, distribuição geográfica e propriedades) (REED, et al., 1999).

#### *4.6 O modelo de derramamento de óleo OSCAR (Oil Spill Contingency and Response)*

O modelo OSCAR (*Oil Spill Contingency And Response*) é um modelo amplamente usado em planos de contingência para análise de um cenário pré- derramamento de óleo, quantificação de destino da mancha, simulação de processos de intemperismo, análise de potenciais conseqüências ambientais e eficiência de diversos métodos de combate ao óleo derramado (incluindo o uso de dispersantes) (DALING *et al.* 2002). Estes mesmos autores realizaram vários testes e fizeram uma revisão dos dados atuais referentes ao uso de dispersantes no Mar do Norte para derramamentos de óleo, a fim de poderem dar melhor suporte a esta ferramenta no modelo OSCAR. O desenvolvido do modelo também objetivou auxiliar nas tomadas de decisão relacionadas a resposta e contingência de derramamentos de óleo. Como as conseqüências ambientais são componentes importantes para esse tipo de decisão, o modelo permite avaliar os potenciais efeitos de derramamentos na coluna de água, na superfície, nos sedimentos e na linha de costa.

Os componentes chaves do modelo são o banco de dados de óleo, a trajetória tri-dimensional de destino da mancha (superfície e coluna d'água) (REED et al., 1995), os principais processos de intemperismo ambiental (evaporação, advecção, dissolução, emulsificação, espalhamento, degradação, sedimentação, coluna d'água, linha de costa e ações de resposta) (AAMO *et al.*, 1993), o modelo de destino de compostos químicos, o modelo de combate ao derramamento de óleo e o



modelo de exposição para peixes e ictioplâncton (REED et al., 1995), aves e mamíferos marinhos (DOWNING E REED, 1996).

O modelo OSCAR é um modelo de código fechado, isento de alterações do código fonte. Desta forma, a única forma de interação do modelo com o usuário é através de janelas gráficas onde dados referentes ao derramamento podem ser informados. Muitos parâmetros de entrada podem ser alterados e/ou importados para dentro do modelo, como o fluxo de correntes, o regime de ventos, o perfil vertical de temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido, o número de partículas sólidas e dissolvidas, a temperatura da água e do ar, a taxa de vazamento do óleo, a composição padrão do óleo, dados referentes ao sedimento em suspensão, etc. O usuário pode, ao final das simulações probabilísticas e determinísticas, visualizar uma grande quantidade de mapas referentes ao resultado das simulações. Os mapas determinísticos podem ser visualizados de forma 3-D no eixo x-y-z de forma lagrangeana, podendo informar a quantidade de óleo que vai para fundo marinho, a viscosidade do óleo, a quantidade de água misturada ao óleo, a concentração do óleo, o diâmetro de partículas, a concentração de óleo na linha de costa e a espessura da mancha de óleo, além do balanço de massa com os principais processos de intemperismo e as variações temporais de direção e intensidade do vento atuante sobre o local de derramamento.

Já os mapas probabilísticos informam resultados eulerianos para a superfície (probabilidade, toneladas de óleo, mínimo tempo de chegada, máximo tempo de exposição, a massa de óleo emulsificado, a espessura do óleo, a quantidade de água aderida ao óleo, a espessura), para a coluna d'água (probabilidade de ocorrência de óleo, tonelagem de óleo na costa, mínimo tempo de chegada do óleo, profundidade de mistura, tempo de chegada do óleo, máximo tempo de exposição, etc.), na linha de costa (idem a superfície). Além disso, através da ferramenta Área em Função do Tempo, é possível estabelecer áreas prioritárias para proteção onde é informada a quantidade de óleo que atingiu a área durante o período simulado. Nesse caso é possível visualizar e analisar separadamente todos os mapas explicados acima.

O modelo OSCAR trabalha com intervalos de tempo de cálculos dos resultados finais (tanto dados referentes aos processos de intemperismo atuantes sobre a mancha de óleo quanto sobre as ações de combate), onde o valor padrão utilizado é

10 minutos. Tanto esse como outros parâmetros, tais como o fator do vento induzindo corrente (3.5% como valor padrão) e o tempo de gravação de saída dos dados em arquivos de texto de 2 em 2 horas (passo de tempo de escrita) são passíveis de alteração pelo usuário. A grade utilizada nas simulações numéricas é construída no próprio modelo OSCAR de forma regular sendo possível definir a área de abrangência e o número de células no plano x-y.

A linha de costa utilizada pelo modelo possui resolução de 1 km, sendo importada da *Agência de Mapeamento de Defesa dos EUA*. Já a batimetria é definida no modelo através do *SeaTopo 6.2*, o qual cobre uma área que se estende de 72 °S até 72 °N, numa resolução de 3 a 10 km. Esse conjunto de dados é baseado na combinação de dados altimétricos de satélite com os dados coletados por navios (REED, 2001).

Através dos dados de velocidade do vento ( $U$ ), profundidade da coluna d'água ( $d$ ) e a aceleração da gravidade ( $g$ ), o modelo OSCAR é capaz de estimar a altura significativa ( $H$ ) e o período ( $F$ ) da onda, segundo as Equações 2 e 3 presentes no *U.S. Army Corps of Engineers Shore Protection Manual*.

$$\frac{gH}{U_A^2} = 0.283 \tanh \left[ 0.530 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{0.00565 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[ 0.530 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad \text{Equação 2}$$

$$\frac{gT}{U_A} = 7.54 \tanh \left[ 0.833 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{0.0379 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[ 0.833 \left( \frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad \text{Equação 3}$$

O óleo derramado no mar se comporta de forma circular de acordo com o movimento das ondas que passam pelas partículas. O diâmetro do círculo é maior na superfície e diminui com a profundidade, porém em águas rasas as partículas se movimentam de forma elíptica com maior intensidade à medida que a amplitude das ondas aumenta. Esse processo implica em um acréscimo de velocidade no destino

das partículas, principalmente em águas de plataforma continental e costeiras (WONG E STEWART, 2003).

No contexto apresentado acima com as informações referentes ao OSCAR, se resume o funcionamento do fluxo computacional do modelo OSCAR através do diagrama da Figura 4.1.

De acordo com o diagrama deve-se informar o tipo e composição do óleo, condições de vazamento (taxa, localização, profundidade, temperatura e salinidade) e as condições de implementação do modelo, isto é, número de partículas, grade de simulação, níveis de profundidade, fator do vento, etc. À essas informações devem ser implementados no modelo dados da dinâmica meteoceanográfica, batimétricos, do estado do mar e o contorno de linha de costa.

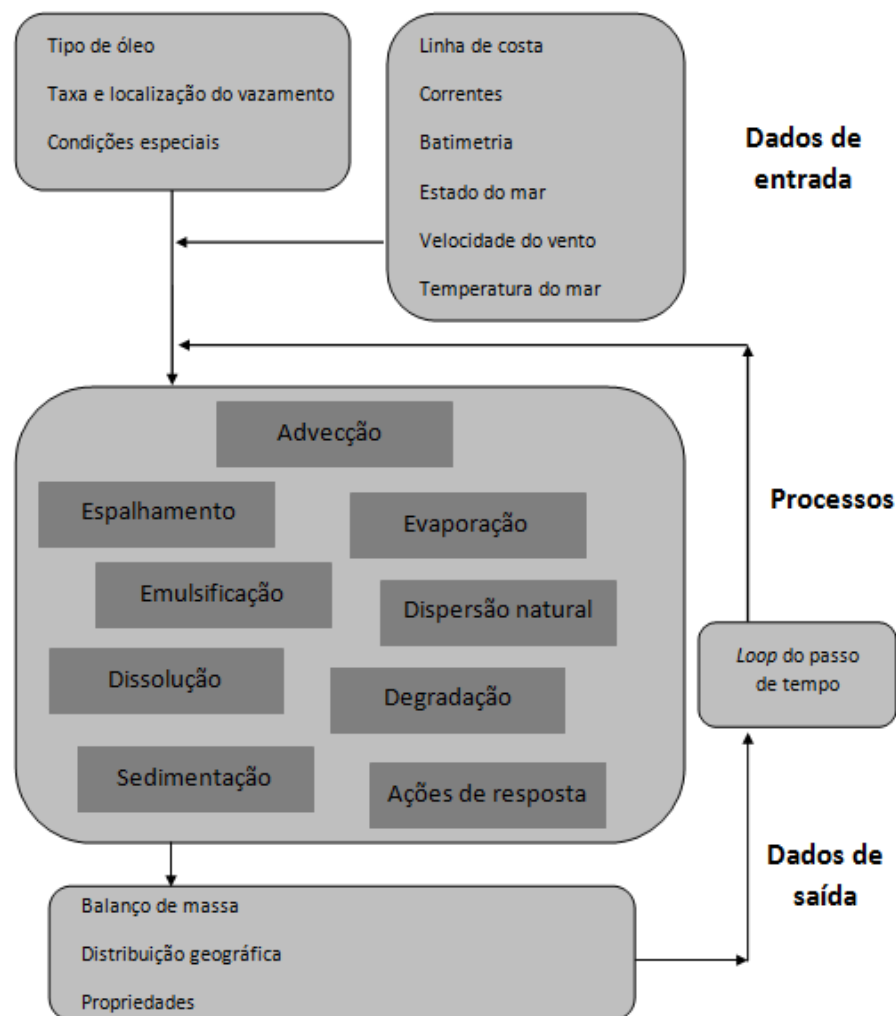


Figura 4.1: Fluxograma de processamento do modelo de dispersão de óleo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).

A etapa processamento refere-se a execução de uma série de algoritmos referentes aos principais processos de intemperismo, como advecção, espalhamento, evaporação, emulsificação, dispersão natural, dissolução, degradação e sedimentação, além de realizar cálculos referentes às ações de combate ao derramamento. Uma vez finalizado o processamento, os resultados podem ser visualizados via balanço de massa e mapas bi-dimensionais.

## **CAPÍTULO 5: METODOLOGIA**

*5.1 Fluxograma de etapas metodológicas*

*5.2 A implementação do modelo POM na área de estudos*

*5.3 A importação de dados no modelo OSCAR*

*5.4 Os parâmetros ambientais das simulações do OSCAR*

*5.5 As estratégias de modelagem*

### 5.1 Fluxograma de etapas metodológicas

A seqüência de passos desenvolvidos na metodologia do presente trabalho resume-se no fluxograma da Figura 5.1.

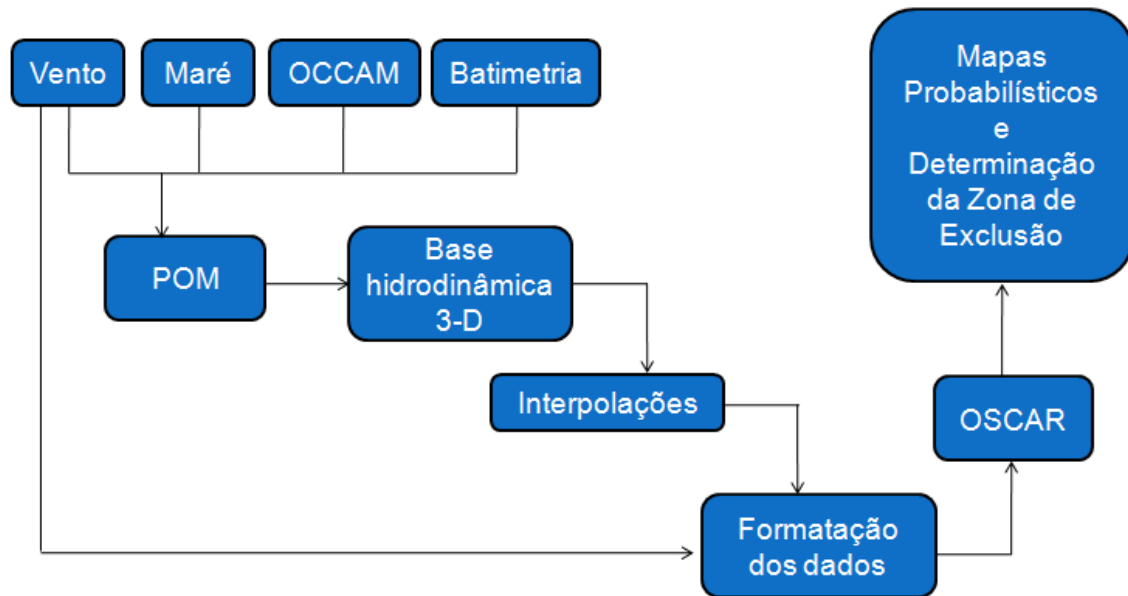


Figura 5.1: Fluxograma das etapas metodológicas.

#### 5.1 A implementação do modelo POM na área de estudos

O modelo POM foi implementado para a área de estudos pelo Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande - LENOC/FURG em dois períodos sazonais de 90 dias de verão e inverno, iniciando no dia 20/12/1988 e 20/05/1989 respectivamente.

O modelo incorporou dados de vento do SOMAR Meteorologia produzidos pelo modelo ETA alimentado com dados de reanálise do NCEP/NCAR (*National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research*) com resolução temporal de 6 horas, as cinco principais componentes harmônicas de maré ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $N_2$ ,  $K_2$  e  $O_1$ ) importadas do FES95.2 e a Corrente do Brasil, em uma grade numérica de 200x300 pontos com resolução espacial de  $\frac{1}{4}$  de grau,

aproximadamente 28 km, e vertical com 11 níveis sigma. O campo termohalino inicial foi derivado do modelo global OCCAM (*Ocean Circulation and Climate Advanced Modeling Project*) com resolução de  $\frac{1}{4}$  de grau. A Figura 5.2 mostra a batimetria da região da grade numérica curvilínea implementada pelo modelo POM.

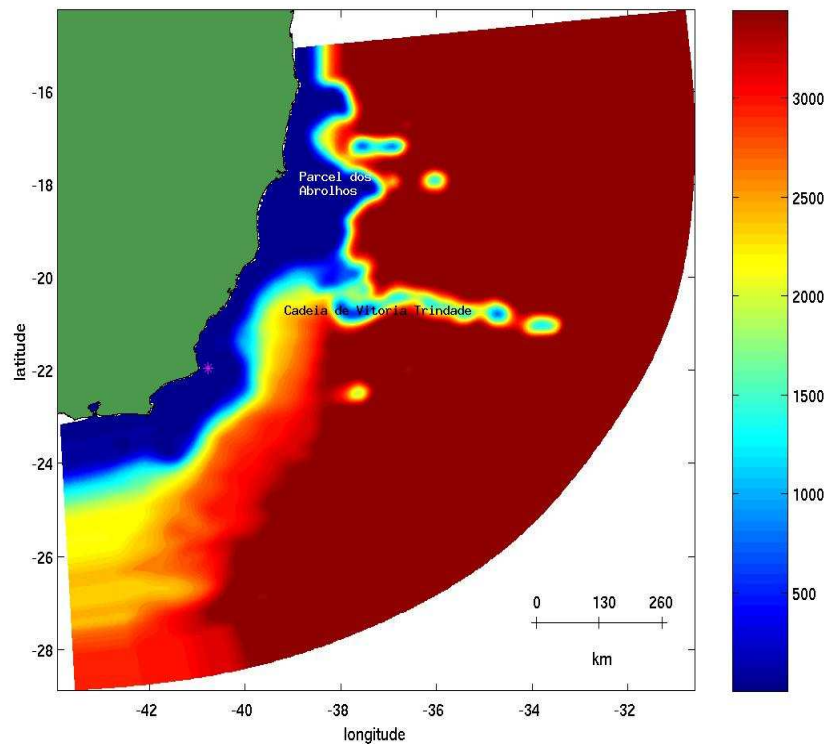


Figura 5.2: Batimetria da grade curvilínea simulada pelo modelo POM.

## 5.2 A importação de dados no modelo OSCAR

As séries temporais de dados hidrodinâmicos e eólicos foram importadas pelo modelo OSCAR a fim de funcionarem como as principais forçantes nos cenários de derramamento de óleo. Os dados de vento incorporados ao modelo OSCAR são os mesmos usados como forçante externa no modelo POM, implementado pelo LENOC/FURG, possuindo a mesma distribuição espacial sem a necessidade de interpolação.

Os dados de vento necessitaram ser rearranjados em arquivos específicos para poderem ser importados pelo OSCAR. O rearranjo consistiu em separá-los em

função da data (6 em 6 horas a partir do dia 30/12/1988) e das componentes  $u$  e  $v$  do movimento. Cada arquivo de conjunto de dados de vento foi relacionado a um arquivo de importação (".imp"), o qual funciona como um direcionador dos arquivos de dados de cada série temporal, sendo desta forma importado pelo modelo OSCAR.

Os dados hidrodinâmicos resultantes das simulações realizados pelo modelo POM foram interpolados tanto na horizontal quanto na vertical antes de serem importados pelo modelo OSCAR. No primeiro caso foi utilizada a interpolação cúbica (ou trilinear) e, no segundo caso foi utilizada a interpolação linear. Assim, no plano x-y os dados hidrodinâmicos da grade original com 200x300 pontos do modelo POM foram rearranjados em uma grade numérica de 91x91 pontos, com resolução de  $1/10$  de grau (aproximadamente 10 km), com limites espaciais de 23°S a 14°S e 43°W a 34°W, como mostra a Figura 5.3.

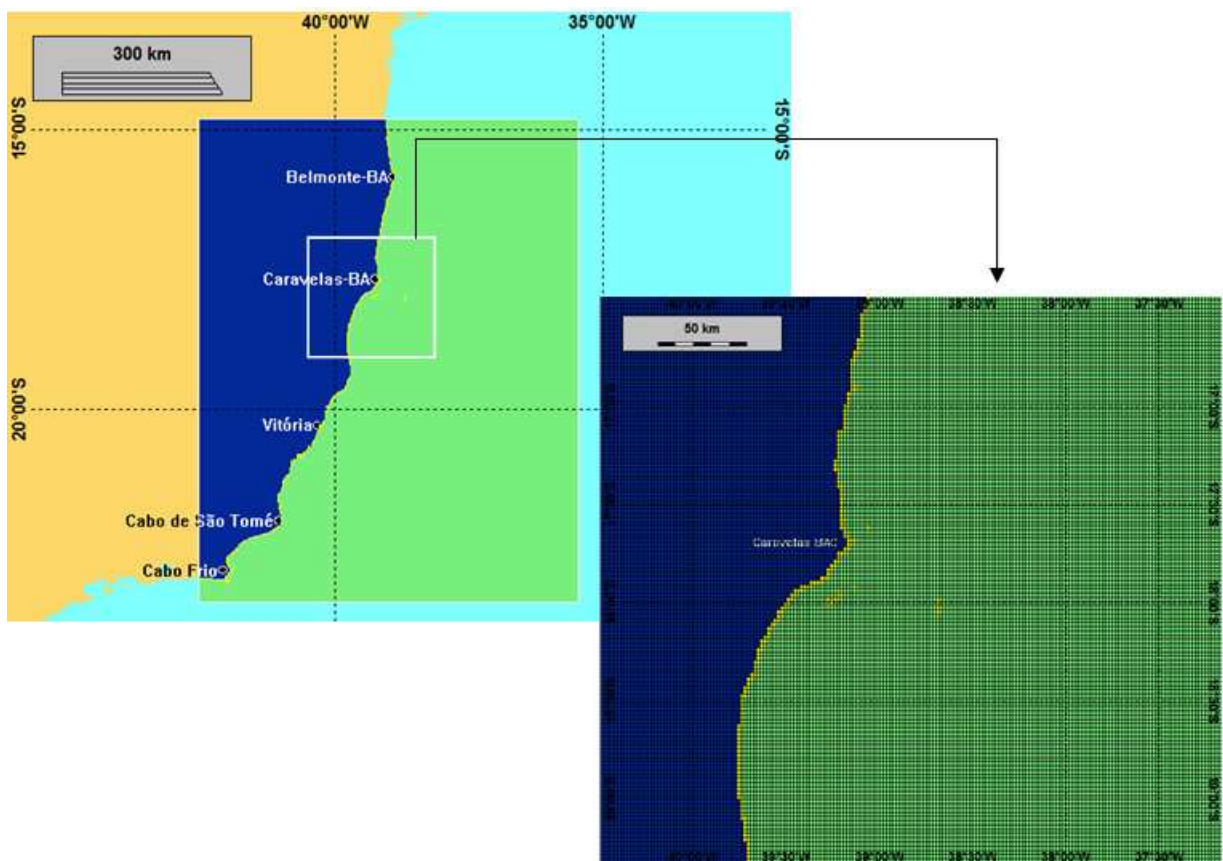


Figura 5.3: Grade numérica utilizada no modelo OSCAR para a realização das simulações. As cores azul, amarela e verde representam o continente, sedimentos costeiros (areia) e a água, respectivamente. Em destaque a região costeira de Caravelas - BA.



Na vertical, os dados hidrodinâmicos foram transformados de coordenadas  $\sigma$  para coordenadas  $z$  e, assim, interpolados de forma linear em quatro níveis. Os níveis de profundidade escolhidos foram: 5 metros, 20 metros, 80 metros e 300 metros, sendo níveis representativos para derramamentos superficiais de óleo segundo pesquisadores noruegueses da SINTEF.

Os quatro níveis  $z$  de dados hidrodinâmicos escolhidos representam toda coluna d'água, conforme a Figura 5.4.

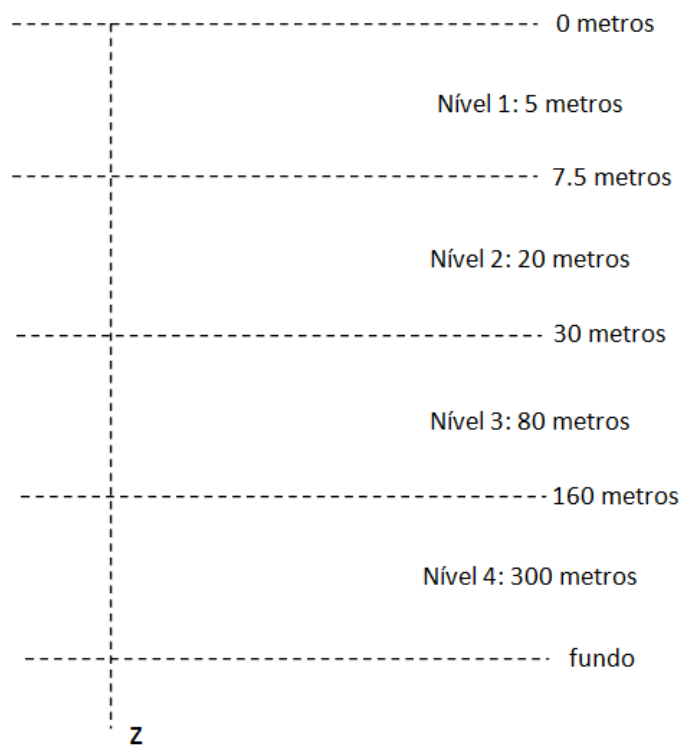


Figura 5.4: Diagrama representativo dos níveis de profundidade utilizados no modelo OSCAR.

Os níveis escolhidos funcionam como camadas de um cubo no modelo OSCAR. Os dados hidrodinâmicos referentes ao 1º nível, 5 metros, são dados representativos desde a superfície até o topo do nível abaixo, ou seja, 7.5 metros, e assim por diante, até o 4º nível ser representativo até o fundo batimétrico do local.

O conjunto total de dados (data, localização dos pontos de grade e componentes  $u$  e  $v$  da velocidade, organizados por dia e por nível de profundidade) foi organizado em apenas um arquivo de extensão CDL (*Common Data Language*), transformado para o formato NetCDF (*Network Common Data Form*) e, finalmente, importado para dentro do OSCAR.

Os dados hidrodinâmicos que foram importados pelo modelo OSCAR também foram filtrados a fim de constituírem em uma nova base de dados. Para tanto, esses dados foram submetidos a um filtro de 40 horas para a remoção de processos de escala supra-inerciais, removendo-se, por exemplo, a maré como forçante do sistema. Desta forma, esse novo conjunto de dados foi importado pelo modelo OSCAR da mesma maneira com que os dados originais foram importados, tanto na vertical quanto na horizontal, conforme mostrado anteriormente. Essa análise é viável visto que muitos estudos ambientais, tanto no Brasil quanto no mundo, utilizam o resultado de simulações de derramamento de óleo forçados por uma hidrodinâmica resultante de modelos globais de circulação superficial e profunda, os quais não incorporam a maré como forçante do modelo.

### *5.3 Parâmetros ambientais das simulações do OSCAR*

Os parâmetros ambientais são importantes no destino do óleo e nos processos de intemperismo associados, influenciando fortemente em estratégias de contenção e recolhimento bem como na elaboração de estudos ambientais.

Os principais parâmetros ambientais a serem considerados são a temperatura do ar e da água, a salinidade, a concentração de sedimento em suspensão, a porcentagem da velocidade do vento induzindo corrente superficial e a taxa de oxigênio dissolvido.

A temperatura do ar de verão e inverno foi obtida no site do CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com um valor médio climatológico de 26°C e 22°C respectivamente, medidos na região costeira mais próxima da área de estudo. Os dados de temperatura e salinidade da coluna d'água até 300 metros foram obtidos do conjunto de banco de dados do *WOCE Global Data Resource (World Ocean Circulation Experiment)*. Estudos feitos por Teixeira e colaboradores (2005) próximo ao Banco de Abrolhos demonstraram que em média a região possui uma taxa de 10mg.L<sup>-1</sup> de concentração de sedimentos em suspensão. Esse parâmetro é fundamental visto que é um dos principais causadores da sedimentação do óleo no leito marinho (BOEHM, 1987). A taxa de oxigênio dissolvido, segundo pesquisadores

noruegueses, ainda não é relevante para as simulações do OSCAR na versão 4.0 utilizada, sendo usado um valor padrão no modelo de  $10\text{mg.L}^{-1}$ .

#### *5.4 As estratégias de modelagem*

A modelagem de derramamento de óleo visando a delimitação de uma zona de exclusão para as atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo próximo ao Banco de Abrolhos envolveu quatro etapas:

- 1a - escolha dos locais de derramamento;
- 2a - os tipos de óleo utilizados nas simulações;
- 3a - o volume e taxa do derramamento utilizados;
- 4a - os parâmetros ambientais.

Os blocos onde as simulações foram implementadas foram escolhidos seguindo três critérios:

- 1b - proximidade ao Banco de Abrolhos;
- 2b - localização próxima da quebra de plataforma;
- 3b - abrangência das três bacias sedimentares marinhas.

Essas profundidades próximas da quebra de plataforma foram escolhidas visando a proximidade à Corrente do Brasil, na zona de plataforma externa e talude, onde as velocidades superficiais da corrente são maiores, podendo levar o óleo para áreas mais distantes.

Essas profundidades também foram escolhidas porque são locais onde se encontram grandes poços de produção de petróleo segundo o site oficial da ANP (Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis), ou seja, na plataforma continental externa e talude. Os blocos leiloados até a 9ª rodada de licitações que estão enquadrados nesses critérios foram utilizados nas simulações.

A partir dessa premissa, foram escolhidos 4 (quatro) blocos onde as simulações foram realizadas, estando distribuídos na Bacia do Espírito Santo (1 bloco), na Bacia de Cumuruxatiba (2 blocos) e na Bacia de Jequitinhonha (1 bloco). Além destes,

foram acrescentados mais 3 (três) pontos de derramamento de óleo, chamados de blocos não licenciados (CT's), onde não há nenhum bloco de petróleo (Figura 6.4). A adição destes pontos resultará numa maior precisão na determinação da área de exclusão da atividade de petróleo na região.

As regiões de proteção ambiental na área de estudo são as duas áreas do Parque Nacional Marinho de Abrolhos (polígono menor sendo a Zona de Amortecimento 2 e o polígono médio sendo a Zona de Amortecimento 1) e a Área de Proteção Ambiental Ponta das Baleias (polígono maior), marcados na Figura 5.5.

A Tabela 5.1 mostra as principais características dos locais de simulação de derramamento de óleo especificadas na Figura 6.4.

Tabela 5.1: Localização dos pontos de simulação de derramamento de óleo.

Bloco e CT	Bacia	Latitude	Longitude	Profundidade (metros)
BM-CUM-1	Cumuruxatiba	-17°00'00"	-38°41'15"	104
BM-CUM-2	Cumuruxatiba	-17°32'30"	-38°15'00"	86
J-M-259	Jequitinhonha	-16°15'00"	-37°52'00"	1.179
ES-M-418	Espírito Santo	-19°30'00"	-38°45'00"	69
CT-1	Jequitinhonha	-16°11'00"	-38°30'00"	33
CT-2	Mucuri	-18°11'30"	-37°38'30"	69
CT-3	Espírito Santo	-19°01'00"	-37°52'00"	61

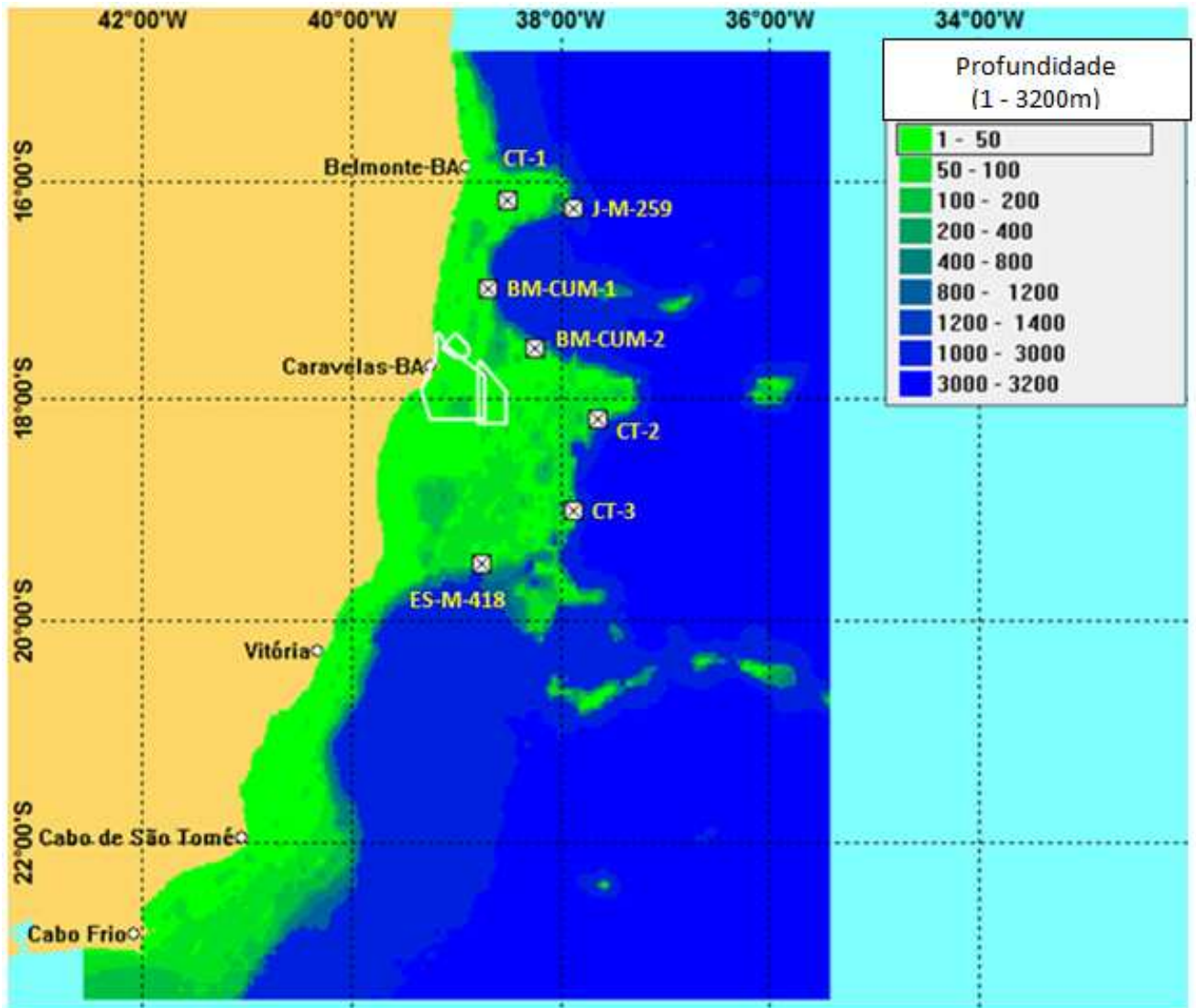


Figura 5.5: Localização dos pontos de simulação de derramamento de óleo. Em verde os níveis batimétricos da região até 3.200 metros segundo o *SeaTopo6.2*. Em branco destacam-se a APA Ponta das Baleias (polígono maior) e o PARNA de Abrolhos (polígono médio - Zona de Amortecimento 1; polígono menor - Zona de Amortecimento 2).

Como muitas dessas regiões são consideradas como novas fronteiras exploratórias de petróleo, não se sabe ao certo qual o tipo de óleo presente nessas bacias, não sendo possível estimar um grau API fixo para o óleo da região. Dessa forma, as simulações nos locais escolhidos serão feitas utilizando dois tipos diferentes de óleo: óleo leve (grau API > 30) e óleo intermediário (grau API entre 22 e 30). Esses valores estão de acordo com a ONIP (Organização Nacional da Indústria do Petróleo). O modelo OSCAR possui um banco de dados com 354 tipos de óleo com seus respectivos grau API, os quais podem ter suas composições alteradas

manualmente. Foram extraídos para as simulações numéricas os óleos Aquila (35.67864 °API) e Belayim (27.61391 °API), leve e intermediário respectivamente, com suas composições padrões mantidas de acordo com o grau API de cada um. A composição padrão desses dois óleos é mostrada na Figura 5.6.

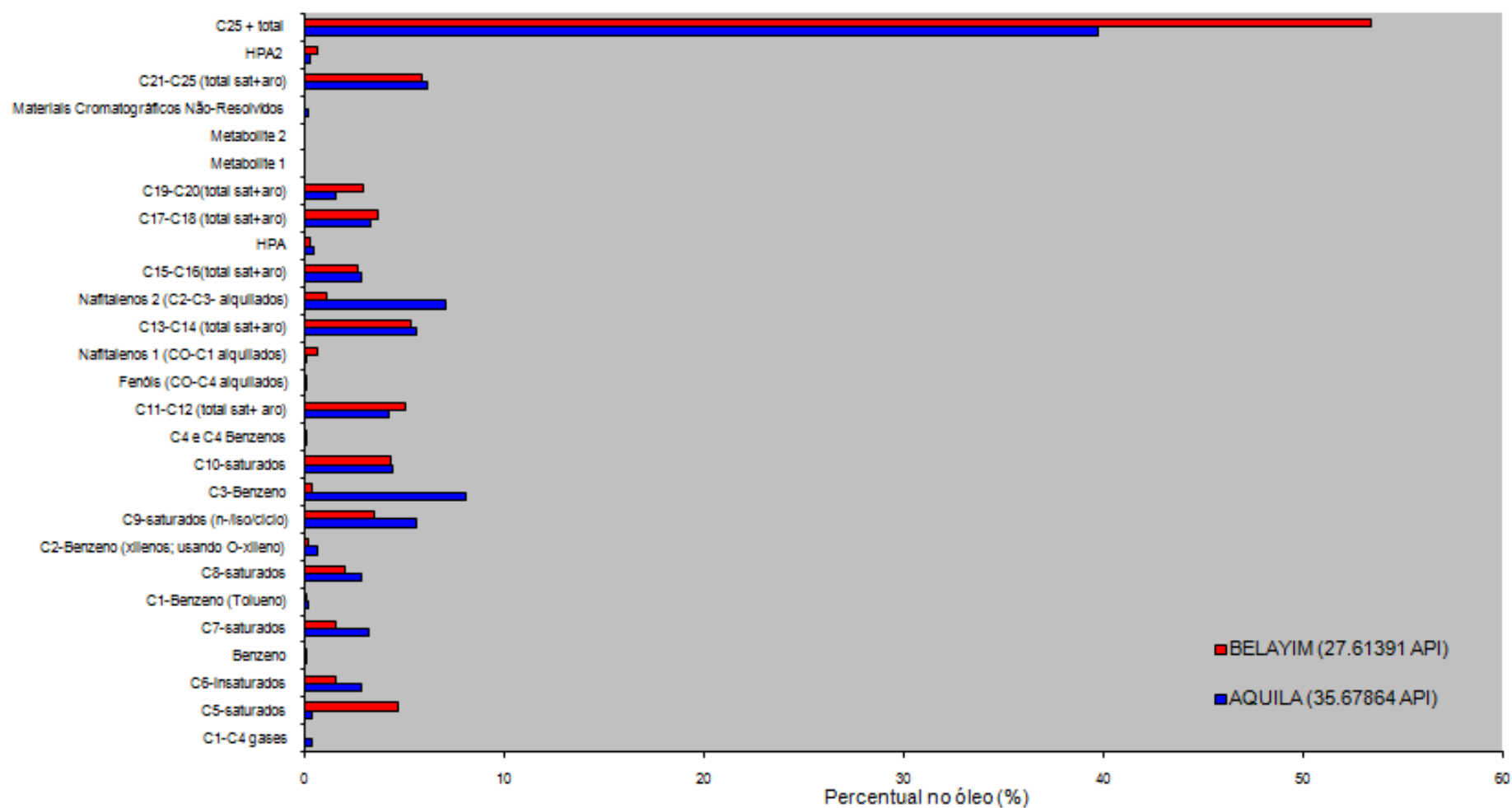


Figura 5.6: Composição padrão dos óleo Aquila e Belayim importados do banco de dados do modelo OSCAR para as simulações de derramamento de óleo.

Como nesses blocos licenciados e não licenciados escolhidos ainda não existe nenhum tipo de produção de petróleo, não é possível afirmar com certeza qual seria o volume de óleo possível derramado em cada ponto. Porém, como esses blocos localizam-se em zonas de plataforma média, externa e talude, pode-se fazer uma estimativa de valor a partir de uma plataforma em produção localizada próxima à área de estudo. Assim, foi utilizada a vazão de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de derramamento de óleo, valor este presente no Relatório de Impacto Ambiental de produção do bloco BM-J-2, localizado na Bacia do Jequitinhonha. O volume corresponde a aproximadamente 5 mil toneladas de óleo derramado continuamente durante 30 dias, seguindo a legislação de cenários de pior caso da Resolução CONAMA 398/2008, sendo um valor plausível e possível de ocorrer em caso de atividades de produção nos demais locais de derramamento no presente estudo.

A determinação da zona de exclusão e das áreas de risco foi feita a partir da análise de 5 (cinco) resultados de campos probabilísticos das simulações numéricas de derramamento de óleo:

- 1c - Probabilidade de ocorrência superficial do óleo (%);
- 2c - Toneladas por célula de grade de  $10 \text{ km}^2$ ;
- 3c - Mínimo tempo de chegada do óleo superficial (dias);
- 4c - Tempo de exposição (dias);
- 5c - Profundidade máxima de mistura (metros).

Esses resultados foram tabelados em cenários de verão e inverno, com e sem os efeitos supra-inerciais, utilizando os dois tipos de óleo já mencionados.

A probabilidade percentual de ocorrência do óleo na superfície representa a área na qual o petróleo estará presente ao longo dos 30 dias de simulação de cada cenário. Um total de 80 simulações foram realizadas para cada um dos períodos (verão e inverno) de 80 dias de dados meteoceanográficos disponíveis. O segundo parâmetro representa a quantidade de óleo, em toneladas, presente em cada célula de grade do modelo OSCAR, ou seja,  $10 \text{ km}^2$ . Esse valor é altamente dependente do tipo de óleo derramado, quanto mais leve for o óleo menor será a quantidade encontrada na área de derramamento. O mínimo tempo de chegada do óleo estima a área de abrangência do óleo em função do tempo (dias), ou seja, o modelo é capaz de prever as áreas onde o óleo chegará primeiro em caso de derramamento. Essa informação é altamente



importante principalmente para as equipes de combate a um acidente de óleo no mar, pois tais dados informarão as áreas prioritárias onde as estruturas de contenção e remoção devem ser colocadas. O tempo de exposição do óleo superficial (dias) informa o tempo que ele irá permanecer numa determinada área até ser intemperizado para a atmosfera, coluna d'água, sedimento, decaimento, etc. E por fim, a profundidade máxima de mistura (metros) informa até qual nível de profundidade o óleo será encontrado na coluna d'água.

A Figura 5.7 mostra os distintos cenários de derramamento de óleo na região de estudos, abrangendo as bacias do Espírito Santo, Cumuruxatiba, Jequitinhonha e os blocos não licenciados, onde em cada simulação com óleo leve e intermediário nos blocos licenciados pela ANP (BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418) foram utilizados dados hidrodinâmicos com a presença e ausência de processos supra-inerciais. Desta forma, totalizando 44 cenários de derramamento.

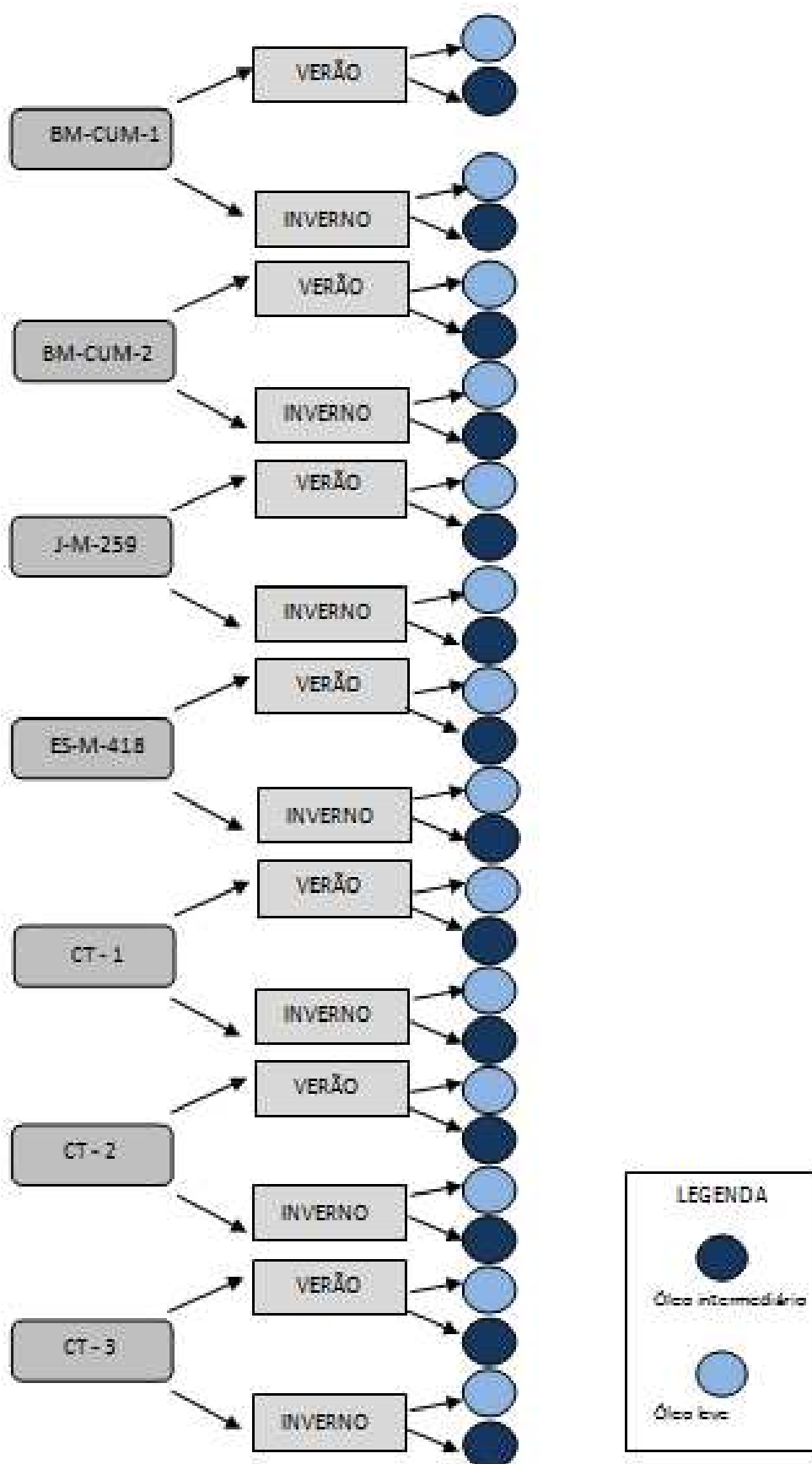


Figura 5.7: Diagrama dos cenários de simulação de derramamento de óleo na área de estudos, totalizando 44 diferentes cenários (verde escuro e claro).

## **CAPÍTULO 6: RESULTADOS**

### *6.1 Interpolações e padrões hidrodinâmicos de verão e inverno*

### *6.2 Blocos licenciados e não licenciados pela ANP*

#### *6.2.1 Período sazonal de verão*

##### *6.2.1.1 Presença de processos supra-inerciais*

###### *6.2.1.1.1 Simulações com óleo leve*

###### *6.2.1.1.2 Simulações com óleo intermediário*

###### *6.2.1.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *6.2.1.2 Ausência de processos supra-inerciais*

###### *6.2.1.2.1 Simulações com óleo leve*

###### *6.2.1.2.2 Simulações com óleo intermediário*

###### *6.2.1.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *6.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais*

###### *6.2.1.3.1 Simulações com óleo leve*

###### *6.2.1.3.2 Simulações com óleo intermediário*

#### *6.2.2 Período sazonal de inverno*

##### *6.2.2.1 Presença de processos supra-inerciais*

###### *6.2.2.1.1 Simulações com óleo leve*

###### *6.2.2.1.2 Simulações com óleo intermediário*

###### *6.2.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *6.2.2.2 Ausência de processos supra-inerciais*

###### *6.2.2.2.1 Simulações com óleo leve*

###### *6.2.2.2.2 Simulações com óleo intermediário*

###### *6.2.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *6.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais*

###### *6.2.2.3.1 Simulações com óleo leve*

###### *6.2.2.3.2 Simulações com óleo intermediário*

### *6.3 Análise comparativa entre simulações de verão e inverno*

#### *6.3.1 Simulações com óleo leve*

#### *6.3.2 Simulações com óleo intermediário*

### *6.4 A Zona de Exclusão*

### *6.1 Interpolações e padrões hidrodinâmicos de verão e inverno*

Os resultados hidrodinâmicos de verão do modelo POM mostraram um fluxo mais intenso e contínuo associado à Corrente do Brasil ao largo da zona de quebra de plataforma, com velocidades em torno de 0.5 e 1 m.s<sup>-1</sup> (Figuras 6.1 e 6.2). Esse fator pareceu ser determinante no destino final do óleo derramado nesta área. A Corrente do Brasil e as instabilidades presentes na plataforma externa como vórtices e meandros carregaram o óleo para zonas mais distantes da origem do derramamento, causando maior espalhamento e, conseqüentemente, maiores danos nesse período sazonal.

Os dados hidrodinâmicos de verão e inverno filtrados para a retirada de fenômenos supra-inerciais são mostrados nas Figuras 6.3 e 6.4, respectivamente. Observou-se que as correntes de maré foram removidas, principalmente nas regiões com profundidades inferiores a isóbata de 200 metros. Por outro lado, as instabilidades associadas à Corrente do Brasil visíveis nos dados interpolados (Figuras 6.1 e 6.2) continuaram presentes nesse novo conjunto de dados sem os fenômenos de alta freqüência.

As Figuras 6.5 e 6.6 apresentam os dados de vento utilizados nesse estudo para os períodos de verão e inverno, respectivamente. As principais diferenças sazonais encontradas referem-se à freqüência de passagem de frentes frias pela região (maior ocorrência de frentes no período de inverno segundo os dados temporais de 6 em 6 horas visualizados no modelo OSCAR), com intensidade podendo atingir de 10 a 15 m.s<sup>-1</sup> no período de inverno.

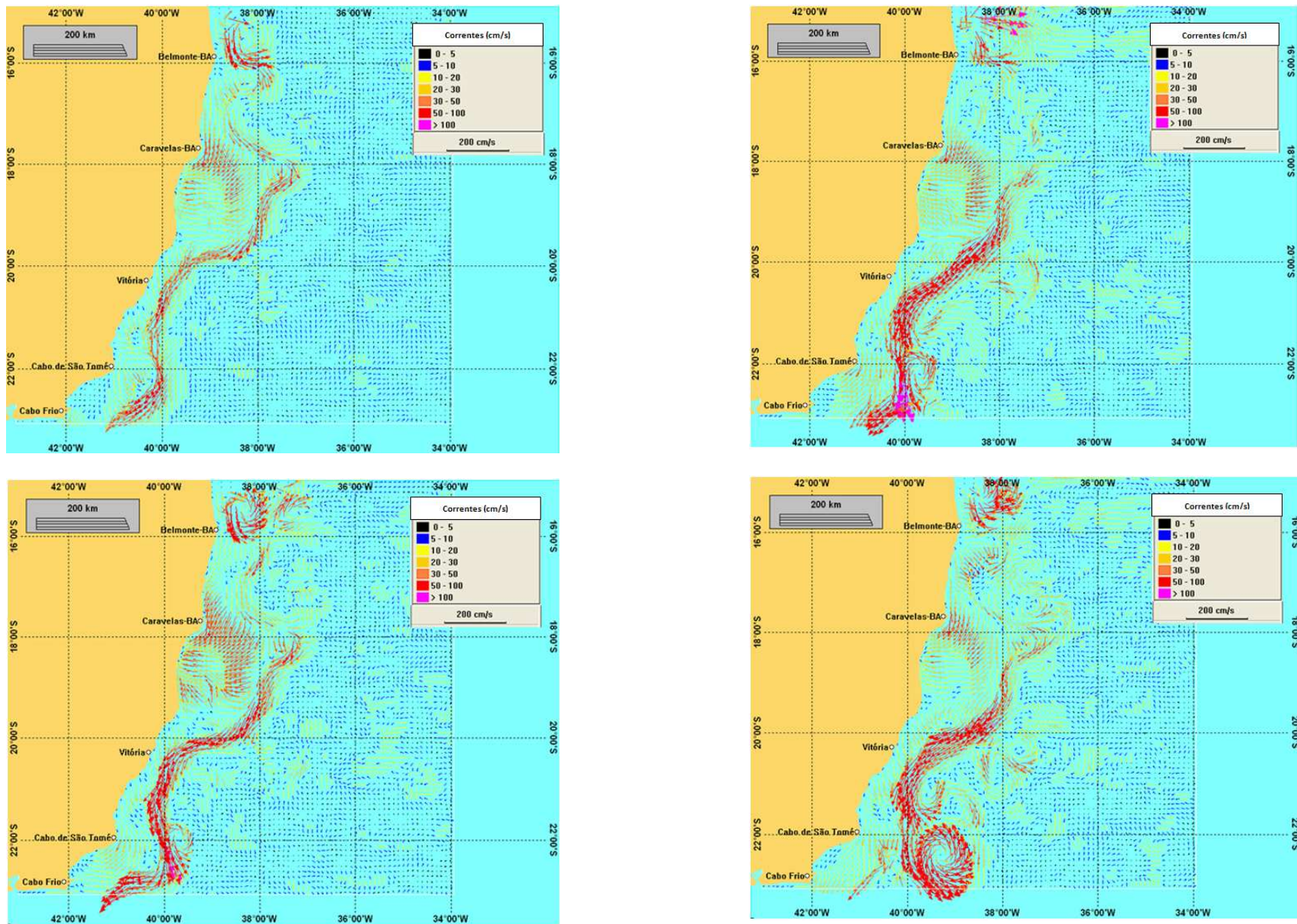


Figura 6.1: Padrão de circulação superficial de verão nos dias 30/12/88 (canto superior esquerdo), 14/01/89 (canto inferior esquerdo), 29/01/89 (canto superior direito) e 13/02/89 (canto inferior direito).

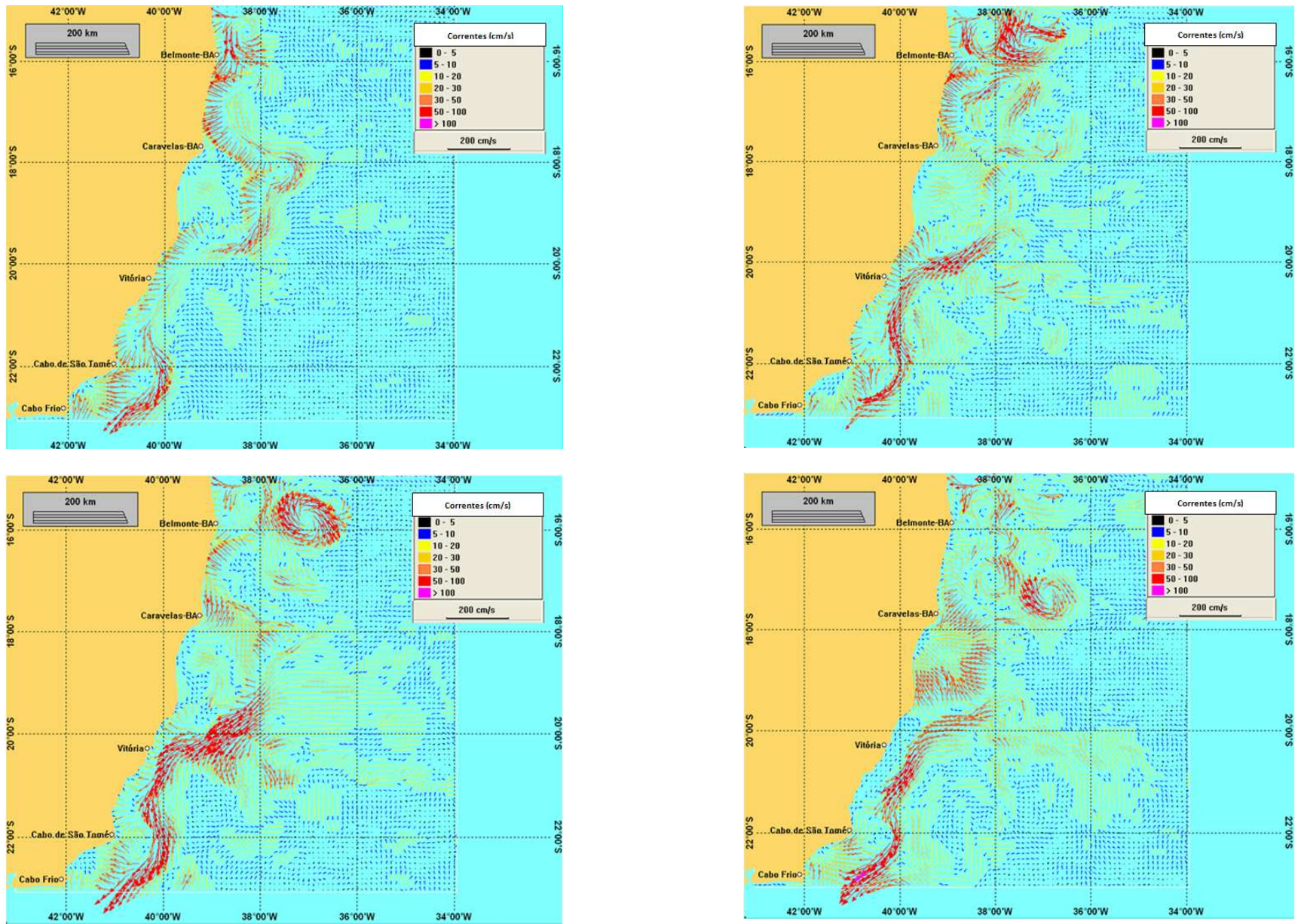


Figura 6.2: Padrão de circulação superficial de inverno nos dias 30/05/89 (canto superior esquerdo), 14/06/89 (canto inferior esquerdo), 29/06/89 (canto superior direito) e 13/07/89 (canto inferior direito).

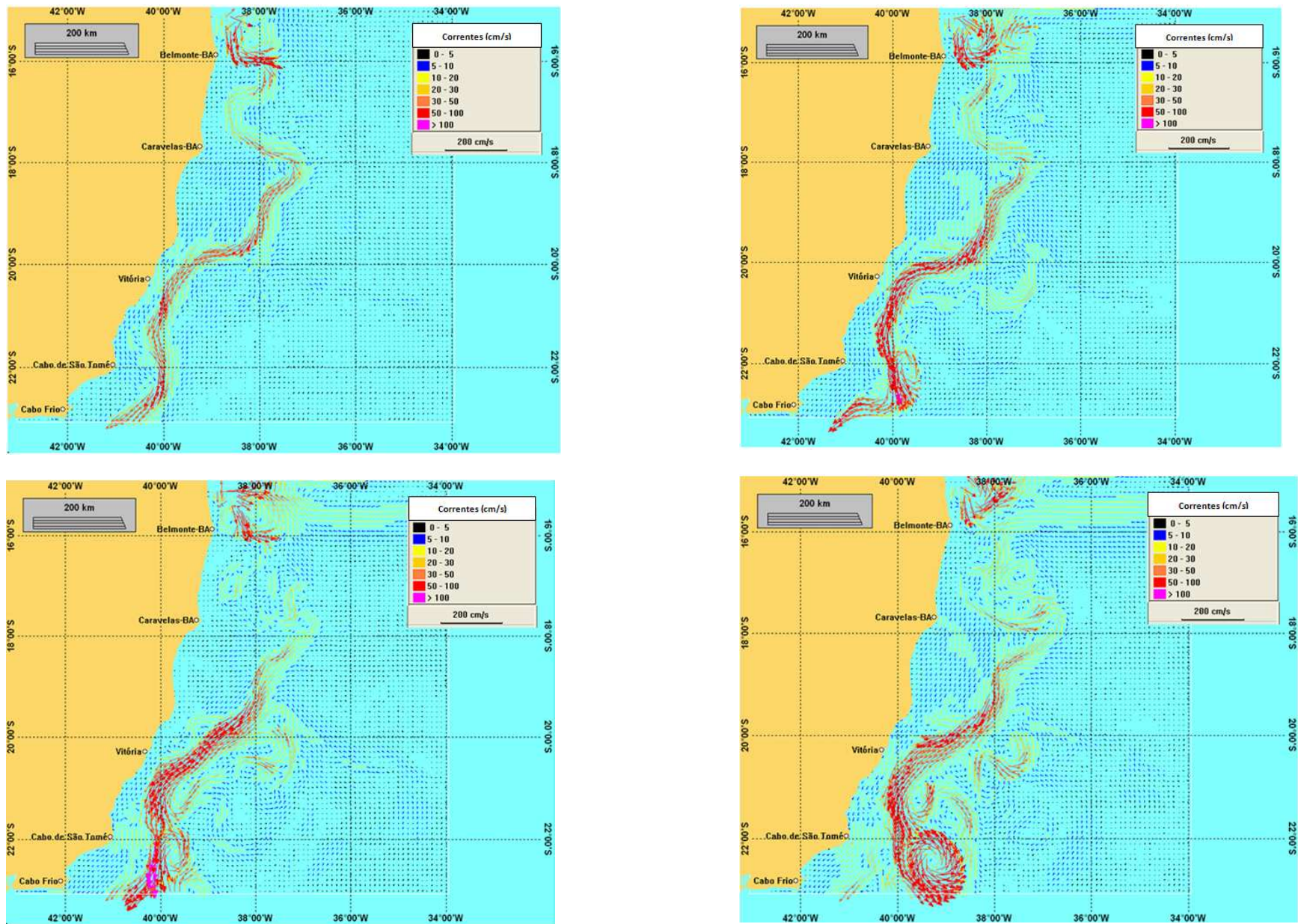


Figura 6.3: Padrão de circulação superficial filtrado de verão nos dias 30/12/88 (canto superior esquerdo), 14/01/89 (canto inferior esquerdo), 29/01/89 (canto superior direito) e 13/02/89 (canto inferior direito).



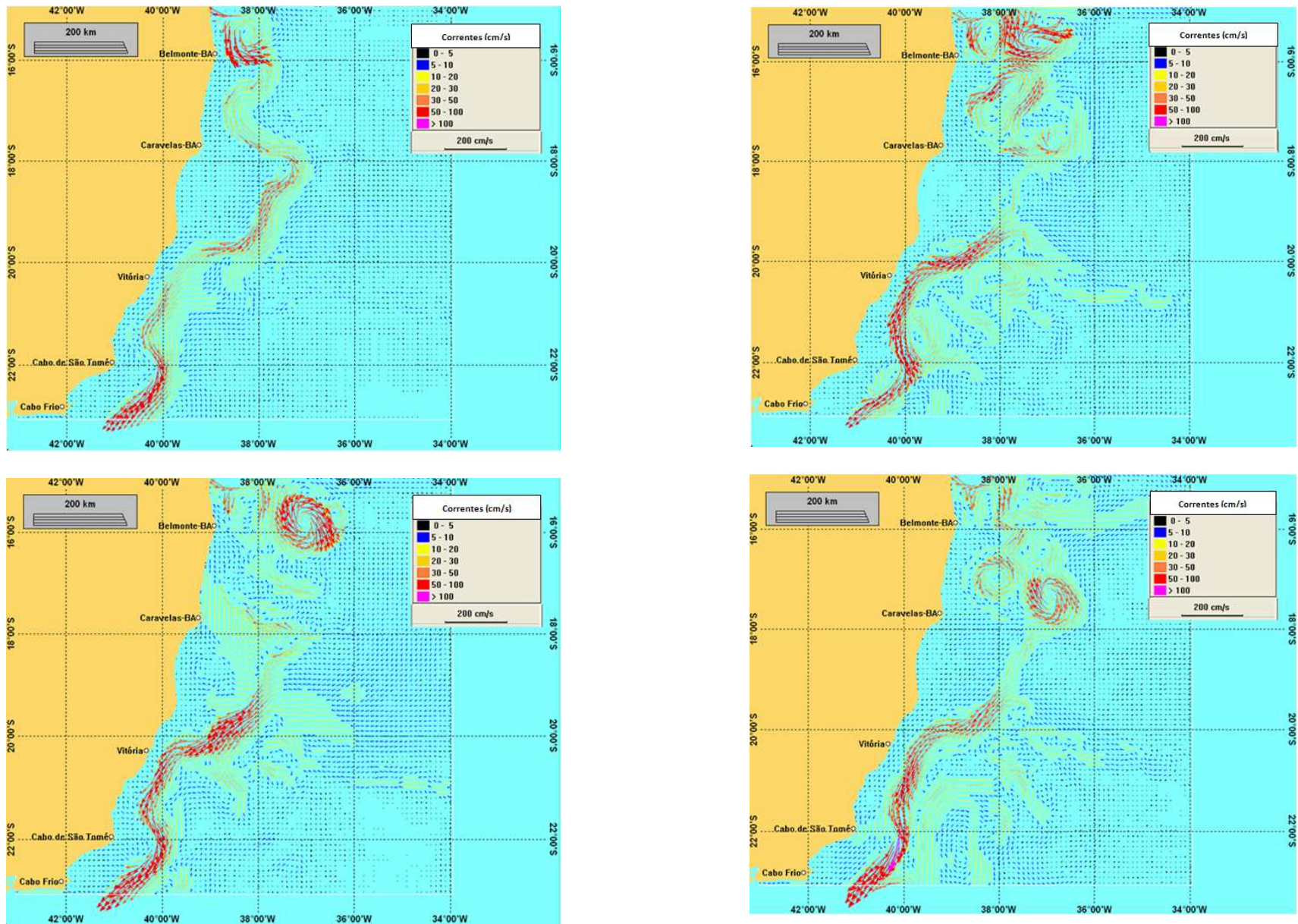


Figura 6.4: Padrão de circulação superficial filtrado de inverno nos dias 30/05/89 (canto superior esquerdo), 14/06/89 (canto inferior esquerdo), 29/06/89 (canto superior direito) e 13/07/89 (canto inferior direito).

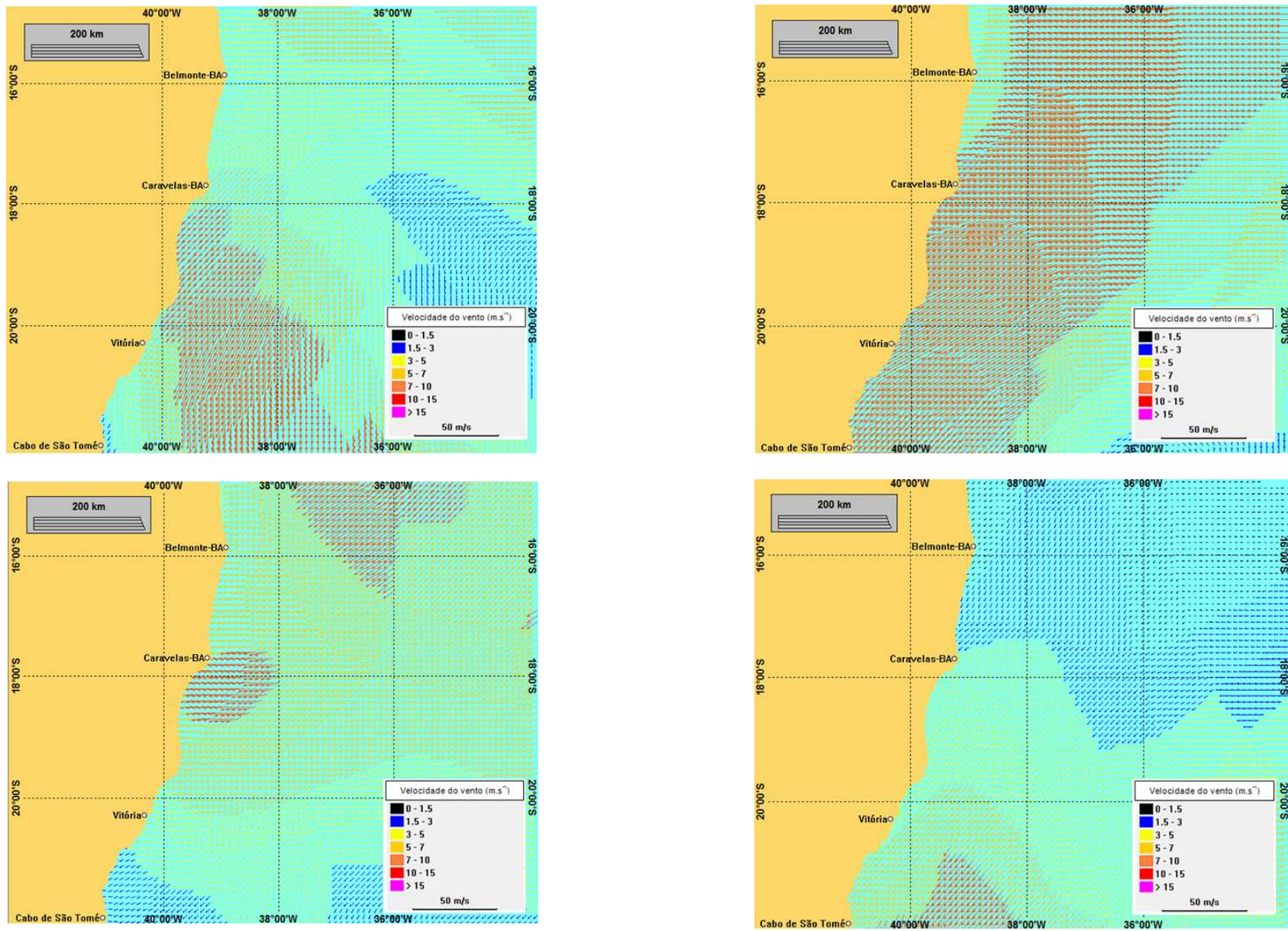


Figura 6.5: Padrão de circulação atmosférica superficial de verão nos dias 30/12/88 (canto superior esquerdo), 14/01/89 (canto inferior esquerdo), 29/01/89 (canto superior direito) e 13/02/89 (canto inferior direito).

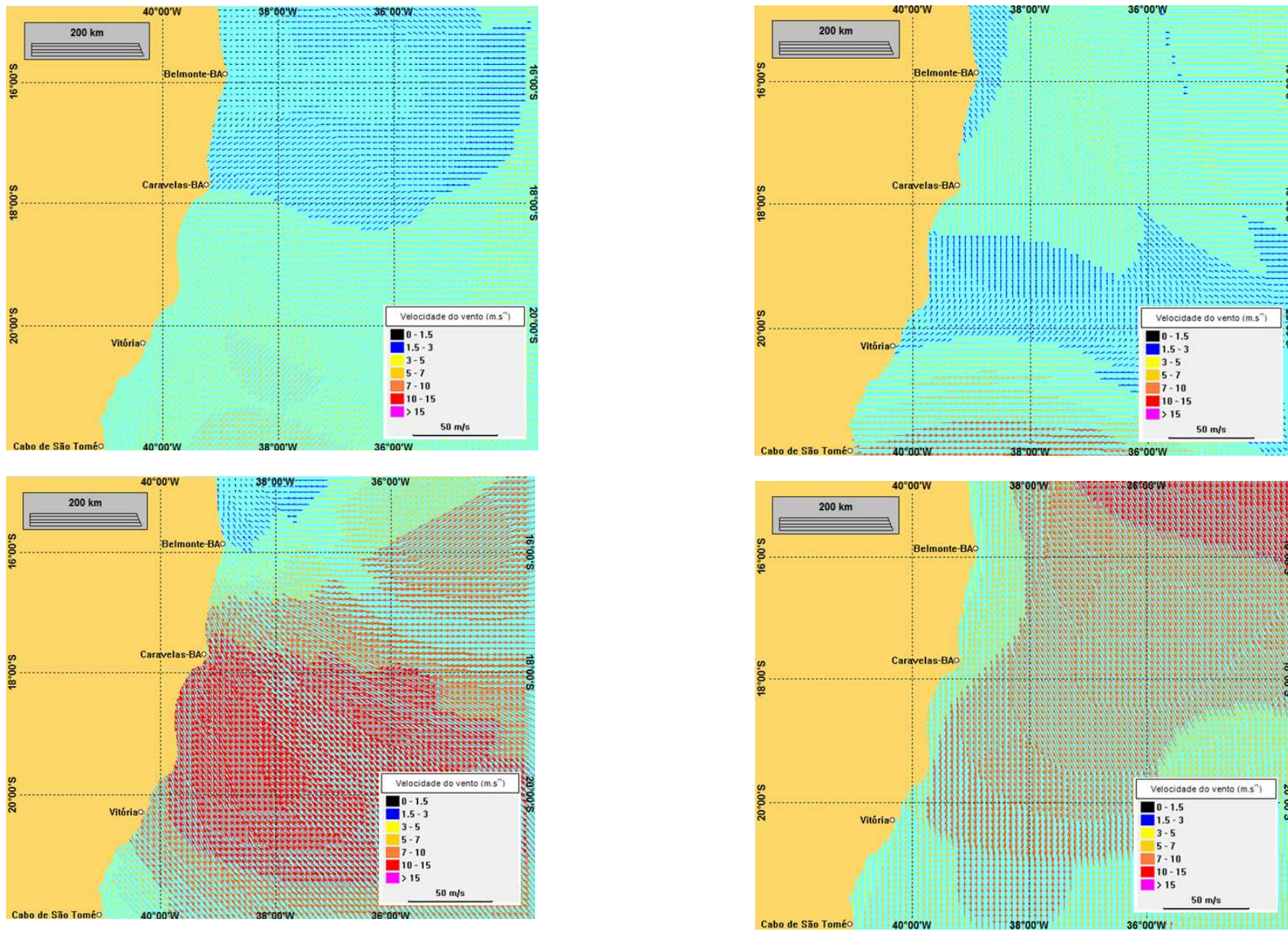


Figura 6.6: Padrão de circulação atmosférica superficial de inverno nos dias 30/05/89 (canto superior esquerdo), 14/06/89 (canto inferior esquerdo), 29/06/89 (canto superior direito) e 13/07/89 (canto inferior direito).

## 6.2 Blocos licenciados e não licenciados pela ANP

Os blocos licenciados pela ANP da Bacia de Cumuruxatiba (BM-CUM-1 e BM-CUM-2), Bacia do Jequitinhonha (J-M-259) e da Bacia do Espírito Santo foram analisados juntamente com blocos não licenciados (CT-1, CT-2 e CT-3). A análise consistiu primeiramente na separação das informações, onde foram realizadas análises comparativas e individuais referentes aos períodos sazonais de verão e inverno, presença e ausência de processos supra-inerciais e utilização de óleo leve e intermediário nas simulações.

### 6.2.1 Período sazonal de verão

#### 6.2.1.1 Presença de processos supra-inerciais

##### 6.2.1.1.1 Simulações com óleo leve

Os resultados probabilísticos de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3 são mostrados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	20	20	-	5	70	40
	BM-CUM-2	30	5	50	50	5	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-

Tabela 6.1 (cont.): Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	20	20	-	5	70	40
	BM-CUM-2	30	5	50	50	5	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	1.0	3.0	-	1.0	3.0	3.0
	BM-CUM-2	3.0	0.5	3.0	3.0	0.1	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	4	4	-	14	2	4
	BM-CUM-2	4	10	2	4	14	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	-	1	1	2
	BM-CUM-2	1	1	1	2	1	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-

#### 6.2.1.1.2 Simulações com óleo intermediário

Os resultados probabilísticos de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e nos blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3 são mostrados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	40	70	5	30	90	90
	BM-CUM-2	40	10	80	60	20	5
	J-M-259	5	-	5	5	5	5
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	5.0	5.0	0.3	5.0	5.0	5.0
	BM-CUM-2	3.0	3.0	10.0	10.0	1.0	0.1
	J-M-259	0.3	-	0.5	0.3	0.1	0.1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	4	4	25	25	2	2
	BM-CUM-2	4	7	2	2	7	7
	J-M-259	25	-	14	14	25	25
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	2	2	1	2	4	4
	BM-CUM-2	4	2	2	4	2	1
	J-M-259	1	-	1	1	1	1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	51.4	49.3	0.6	51.5	51.5	51.2
	BM-CUM-2	51.5	29.1	51.5	51.5	1.4	0.6
	J-M-259	2.0	-	2.0	2.0	2.0	2.0
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-

Devido aos cenários de simulação com óleo intermediário terem apresentado os resultados mais críticos em comparação com as simulações com óleo leve, as Figuras 6.7 e 6.8 mostram os dados probabilísticos de chegada do óleo superficial referentes aos cenários de derramamento com a utilização do óleo mais denso (Tabela 6.2). Como observado na Figura 6.7, os locais de derramamento na Bacia de Cumuruxatiba (BM-CUM-1 e BM-CUM-2) estão a norte/nordeste e, portanto, mais próximos ao Banco de Abrolhos e adjacências.

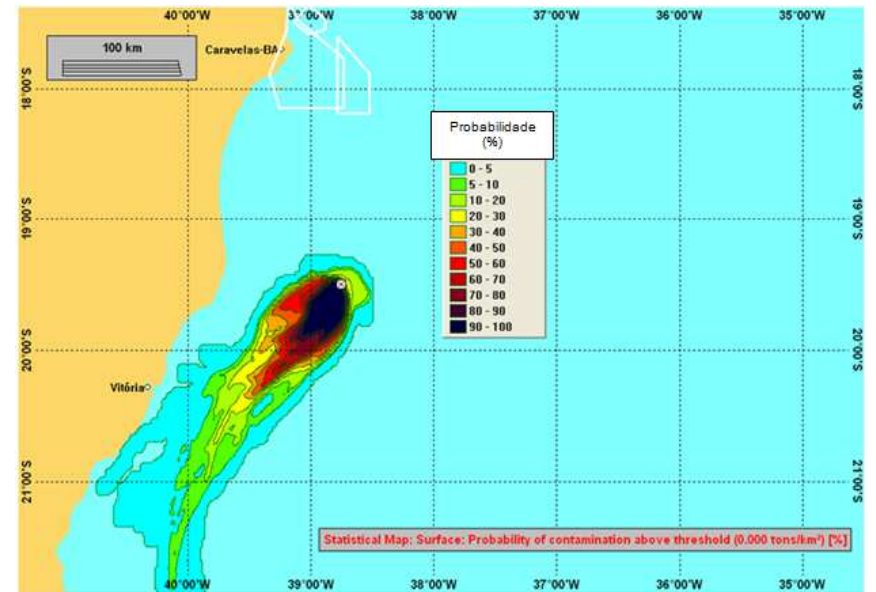
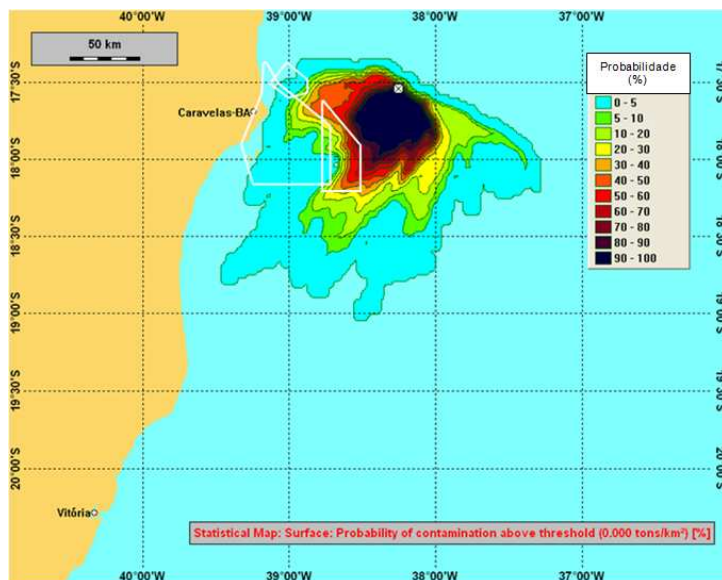
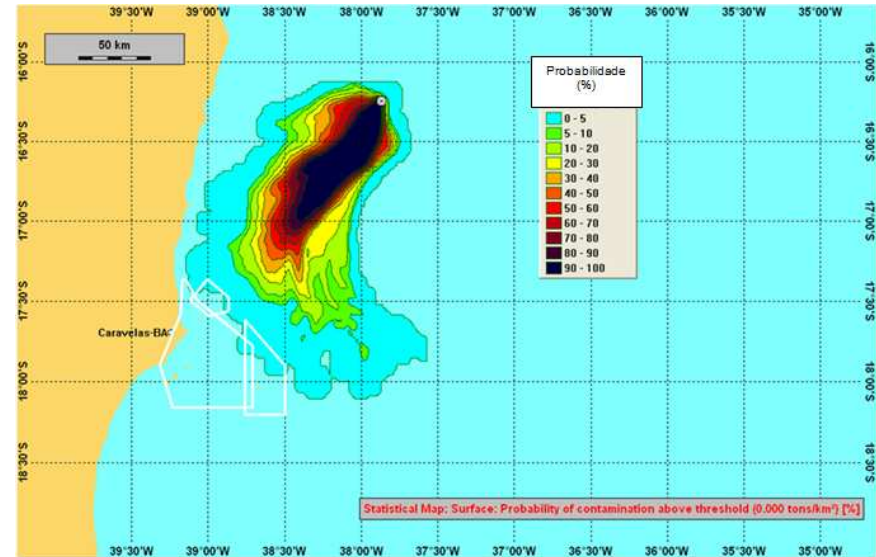
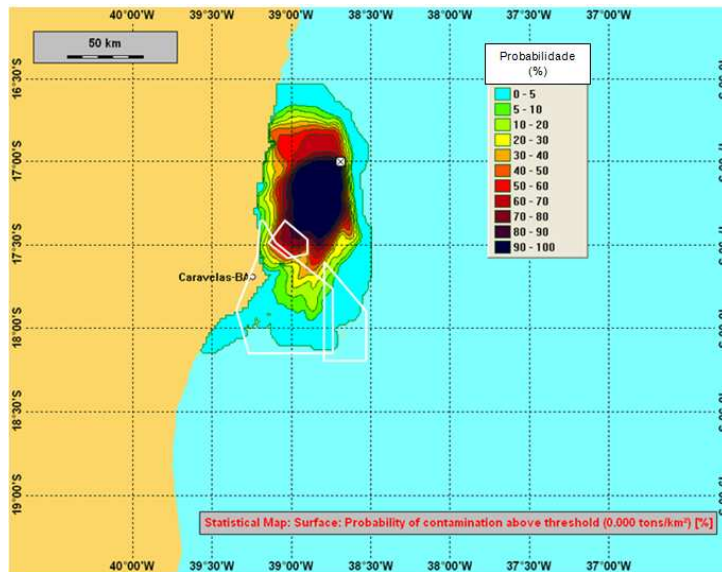


Figura 6.7: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos licenciados BM-CUM-1 (canto superior esquerdo), BM-CUM-2 (canto inferior esquerdo), J-M-259 (canto superior direito) e ES-M-259 (canto inferior direito). As áreas em branco representam o PARNA de Abrolhos (dois polígonos menores) e a APA da Ponta das Baleias (polígono maior) e o local de derramamento está assinalado por um x.

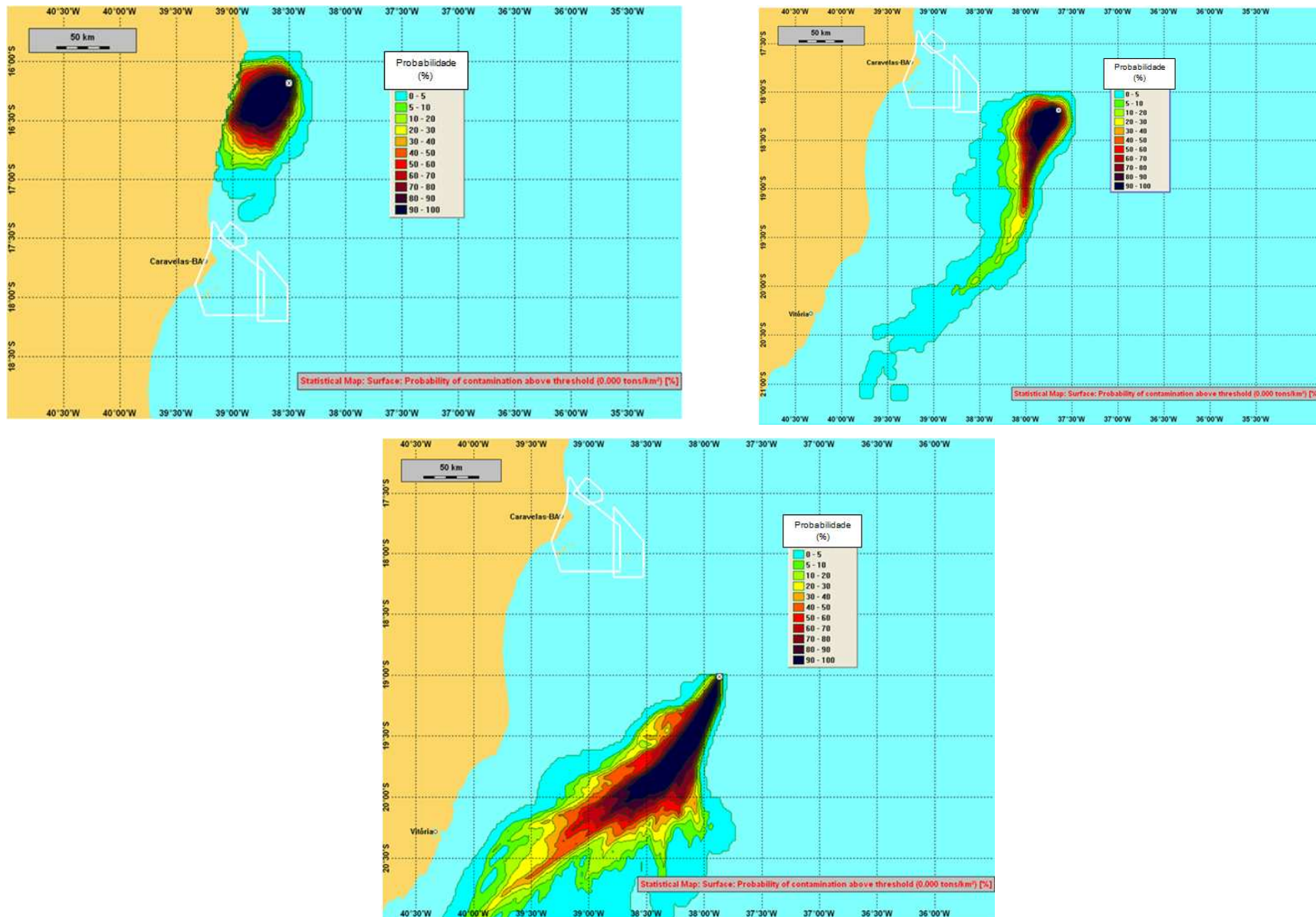


Figura 6.8: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos não licenciados CT-1 (canto superior esquerdo), CT-2 (canto superior direito), CT-3 (centro inferior). As áreas em branco representam o PARNA de Abrolhos (dois polígonos menores) e a APA da Ponta das Baleias (polígono maior) e o local de derramamento está assinalado por um x.



### 6.2.1.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário

A Tabela 6.3 mostra os resultados diferenciais no período de verão entre os dados dos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  com óleo leve e intermediário da Tabela 6.1 e Tabela 6.2, respectivamente, nos blocos licenciados pela ANP e nos blocos não licenciados (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com óleo intermediário e leve apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.3: Resultados diferenciais de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e nos blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área, porção e diferença entre óleo leve e intermediário ( $\Delta$ ) nos cenários de verão com a presença de processos supra-inerciais					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	20	50	5	25	20	50
	BM-CUM-2	10	5	30	10	15	5
	J-M-259	5	-	5	5	5	5
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	4.0	2.0	0.3	4.0	2.0	2.0
	BM-CUM-2	1.0	2.5	7.0	7.0	0.9	0.1
	J-M-259	0.3	-	0.5	0.3	0.1	0.1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	-	-	25	11	-	2
	BM-CUM-2	-	3	-	2	7	7
	J-M-259	25	-	14	14	25	25
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com óleo leve					
		Pior cenário com óleo intermediário					

Tabela 6.3 (cont.): Resultados diferenças de 80 simulações probabilísticas de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área, porção e diferença entre óleo leve e intermediário ( $\Delta$ ) nos cenários de verão com a presença de processos supra-inerciais					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	1	1	3	2
	BM-CUM-2	3	1	1	2	1	1
	J-M-259	1	-	1	1	1	1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	49.9	47.7	0.6	39.3	4.4	16.8
	BM-CUM-2	49.9	28.4	0.5	19.6	1.3	0.6
	J-M-259	2.0	-	2.0	2.0	2.0	2.0
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com óleo leve					
		Pior cenário com óleo intermediário					

A Figura 6.9 mostra o balanço de massa percentual da média de dois processos de intemperismo (evaporação e sedimentação) e do óleo superficial dos resultados probabilísticos de 80 simulações de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita) na região de estudos. Esses dados serviram de suporte para a análise da influência dos processos de intemperismo no destino de uma mancha de óleo.

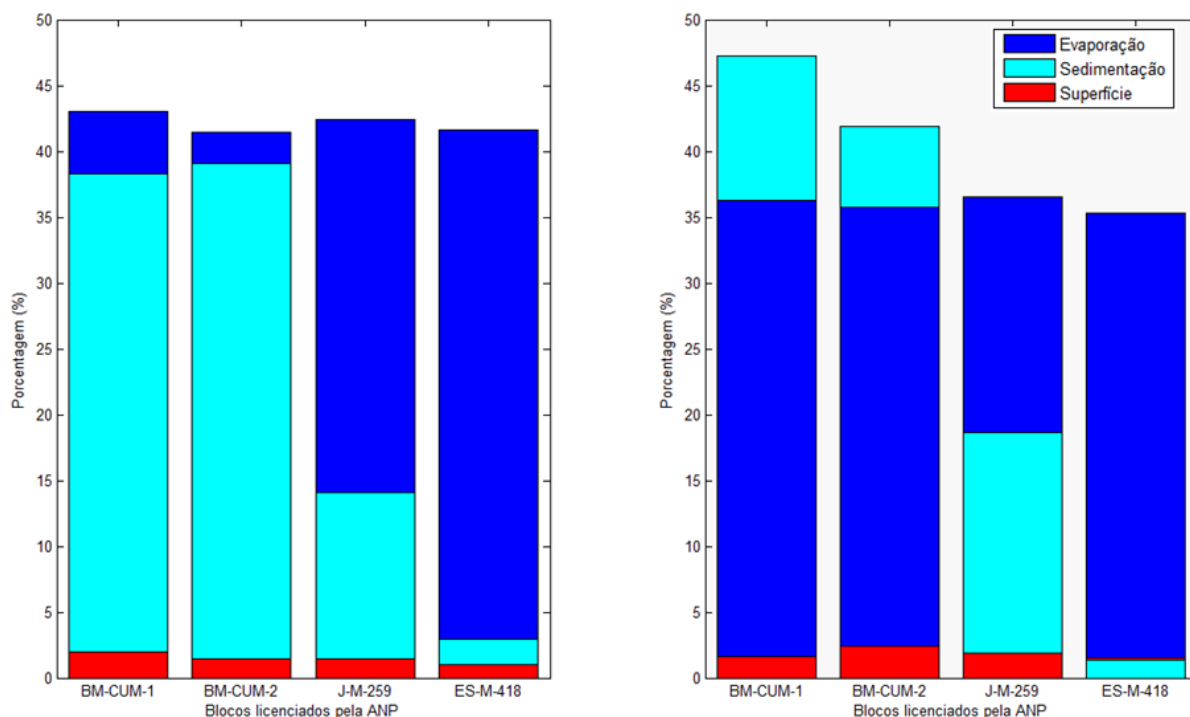


Figura 6.9: Balanço de massa médio de dois processos de intemperismo (evaporação e sedimentação) e do óleo superficial das simulações probabilísticas de 80 dias de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita).

### 6.2.1.2 Ausência de processos supra-inerciais

#### 6.2.1.2.1 Simulações com óleo leve

Os resultados probabilísticos com aplicação de um filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418 são mostrados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	10	-	-	30	20
	BM-CUM-2	40	5	50	50	5	5
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10 \text{ km}^2$	BM-CUM-1	1.0	3.0	-	-	3.0	3.0
	BM-CUM-2	3.0	1.0	5.0	5.0	0.3	0.1
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	7	7	-	-	4	7
	BM-CUM-2	4	7	4	4	10	20
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	-	-	2	1
	BM-CUM-2	2	1	1	2	1	1
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	0.2	0.8	-	-	5.5	0.7
	BM-CUM-2	35.4	2.0	50.3	51.4	2.0	2.0
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-

### 6.2.1.2.2 Simulações com óleo intermediário

Os resultados probabilísticos com aplicação de um filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418 são mostrados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	30	40	5	10	80	70
	BM-CUM-2	40	10	70	50	10	5
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-

Tabela 6.5 (cont.): Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	5.0	5.0	0.1	3.0	5.0	5.0
	BM-CUM-2	5.0	0.5	5.0	5.0	0.5	0.3
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	4	4	25	20	2	4
	BM-CUM-2	4	7	2	7	7	14
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	2	2	1	1	4	4
	BM-CUM-2	4	2	2	2	2	1
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	49.3	44.4	2.0	51.5	51.5	41.3
	BM-CUM-2	50.4	1.9	51.5	51.5	1.9	0.3
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-

A Figura 6.10 mostra os resultados probabilísticos de chegada do óleo intermediário derramado superficialmente no período de verão na área de estudos.

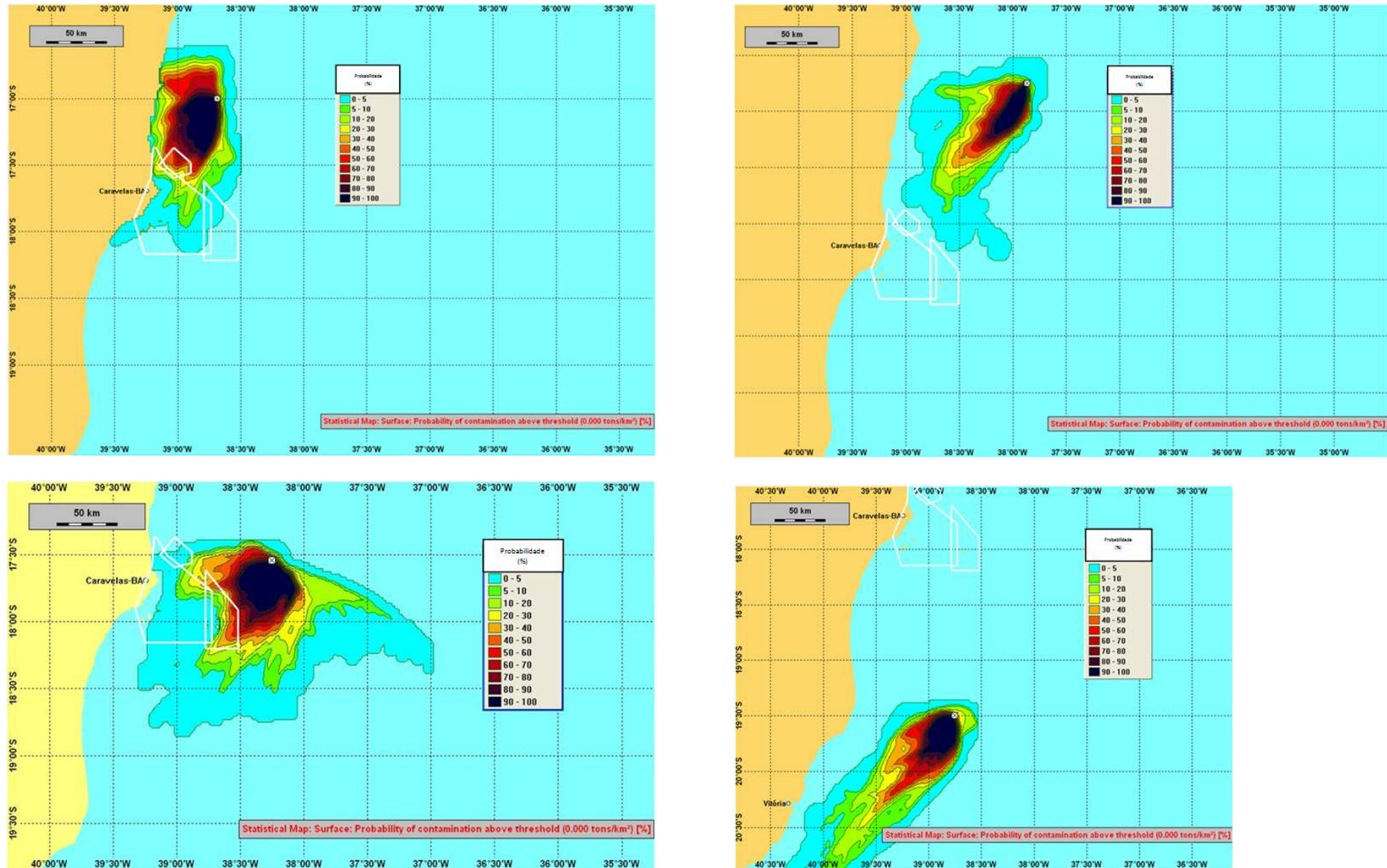


Figura 6.10: Resultados de 80 simulações probabilísticas com aplicação de filtro para remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos licenciados BM-CUM-1 (canto superior esquerdo), BM-CUM-2 (canto inferior esquerdo), J-M-259 (canto superior direito) e ES-M-259 (canto inferior direito). As áreas em branco representam o PARNA de Abrolhos (dois polígonos menores) e a APA da Ponta das Baleias (polígono maior) e o local de derramamento está assinalado por um x.

### 6.2.1.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário

A Tabela 6.6 mostra os dados comparativos entre cenários de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo leve e intermediário com a aplicação de um filtro de alta freqüência para a remoção de processos supra-inerciais nos resultados das simulações numéricas nos blocos licenciados pela ANP (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com óleo intermediário e leve apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.6: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área, porção e diferença entre óleo leve e intermediário ( $\Delta$ ) nos cenários de verão com a ausência de processos supra-inerciais					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	20	30	5	10	50	50
	BM-CUM-2	-	5	20	-	5	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de 10km <sup>2</sup>	BM-CUM-1	4.0	2.0	0.1	3.0	2.0	2.0
	BM-CUM-2	2.0	0.5	-	-	0.2	0.1
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	3	3	25	20	2	3
	BM-CUM-2	-	-	2	3	3	6
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	1	1	2	3
	BM-CUM-2	2	1	1	-	1	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	49.1	43.6	2.0	51.5	46	40.6
	BM-CUM-2	15	0.1	1.2	0.1	0.1	1.7
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com óleo leve					
		Pior cenário com óleo intermediário					

A Figura 6.11 mostra o balanço de massa percentual da média de dois processos de intemperismo (evaporação e sedimentação) e do óleo superficial dos resultados probabilísticas de 80 simulações de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita) na região de estudos.

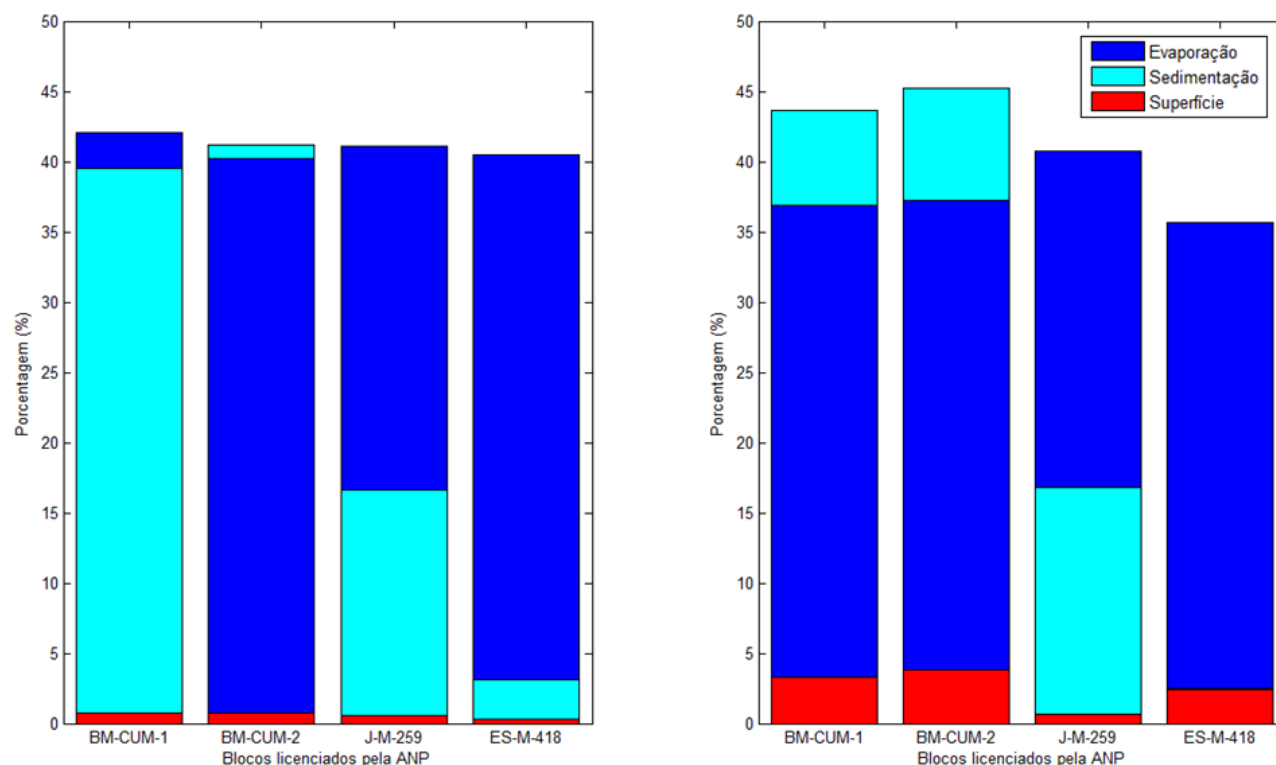


Figura 6.11: Balanço de massa médio de dois processos de intemperismo (evaporação e evaporação) e do óleo superficial das simulações probabilísticas de 80 dias de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita).

### 6.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais

#### 6.2.1.3.1 Simulações com óleo leve

As diferenças entre a hidrodinâmica padrão resultante do modelo POM e a aplicação do filtro de alta frequência nas simulações com óleo leve no período de verão são mostradas na Tabela 6.7 (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações



com ausência e presença de processos supra-inerciais apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.7: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área, porção e diferença entre presença e ausência ( $\Delta$ ) de processos supra-inerciais nas simulações com óleo leve.					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	10	-	5	40	20
	BM-CUM-2	10	-	-	-	-	5
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10 \text{ km}^2$	BM-CUM-1	-	-	-	1.0	-	-
	BM-CUM-2	-	0.5	2.0	2.0	0.2	0.1
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	3	3	-	14	2	3
	BM-CUM-2	-	3	2	-	4	20
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	-	-	-	1	1	1
	BM-CUM-2	1	-	-	-	-	1
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	1.3	0.8	-	12.2	41.6	33.7
	BM-CUM-2	33.8	1.3	0.7	19.5	1.9	2
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com a presença de processos supra-inerciais					
		Pior cenário com a ausência de processos supra-inerciais					

### 6.2.1.3.2 Simulações com óleo intermediário

As diferenças entre a hidrodinâmica padrão resultante do modelo POM e a aplicação do filtro de alta frequência nas simulações com óleo intermediário são mostradas na Tabela 6.8 (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com ausência e presença de processos supra-inerciais apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.8: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o verão nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área, porção e diferença entre presença e ausência ( $\Delta$ ) de processos supra-inerciais nas simulações com óleo intermediário					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	30	-	20	10	20
	BM-CUM-2	-	-	10	10	10	-
	J-M-259	5	-	5	5	5	5
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	-	-	0.2	2.0	-	-
	BM-CUM-2	2.0	2.5	5.0	5.0	0.5	0.3
	J-M-259	0.3	-	0.5	0.3	0.1	0.1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	-	-	-	5	-	2
	BM-CUM-2	-	-	-	5	-	7
	J-M-259	25	-	14	14	25	25
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	-	-	-	1	-	-
	BM-CUM-2	-	-	-	2	-	-
	J-M-259	1	-	1	1	1	1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	1.1	4.9	2.0	-	-	10.1
	BM-CUM-2	1.1	27.2	-	-	0.5	0.3
	J-M-259	2.0	-	2.0	2.0	2.0	2.0
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com a presença de processos supra-inerciais					
		Pior cenário com a ausência de processos supra-inerciais					

## 6.2.2 Período sazonal de inverno

### 6.2.2.1 Presença de processos supra-inerciais

#### 6.2.2.1.1 Simulações com óleo leve

Os resultados probabilísticos de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3 são mostrados na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	20	30	5	20	40	40
	BM-CUM-2	-	-	5	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	3.0	3.0	0.1	3.0	3.0	3.0
	BM-CUM-2	-	-	0.1	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	10	10	25	10	4	10
	BM-CUM-2	-	-	25	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	1	1	2	2
	BM-CUM-2	-	-	1	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	21.1	27	2	29.1	51.1	49.8
	BM-CUM-2	-	-	2	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-

#### 6.2.2.1.2 Simulações com óleo intermediário

Os resultados probabilísticos de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-

259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3 são mostrados na Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	30	20	5	30	40	40
	BM-CUM-2	-	-	5	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	5	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	5	-	-	-
	CT-3	20	5	30	20	5	5
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	3.0	3.0	3.0	5.0	5.0	5.0
	BM-CUM-2	-	-	3.0	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	0.3	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	0.1	-	-	-
	CT-3	3.0	1.0	3.0	3.0	0.1	0.1
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	4	4	10	4	2	7
	BM-CUM-2	-	-	20	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	25	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	14	-	-	-
	CT-3	4	7	2	4	20	20
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	2	2	1	2	2	2
	BM-CUM-2	-	-	1	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	1	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	1	-	-	-
	CT-3	1	1	1	1	1	1
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	51.1	14.8	2	51.5	51.5	51.5
	BM-CUM-2	-	-	32.6	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	2	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	0.6	-	-	-
	CT-3	12.6	14.9	31.9	15.6	0.6	0.6

As Figuras 6.12 e 6.13 mostram os dados probabilísticos de chegada do óleo superficial referentes aos cenários de pior caso de derramamento com a presença dos processos supra-inerciais no período de inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-

M-259 e ES-M-418 e nos blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3, respectivamente, encontrados nas simulações com a utilização de óleo intermediário (Tabela 6.10).

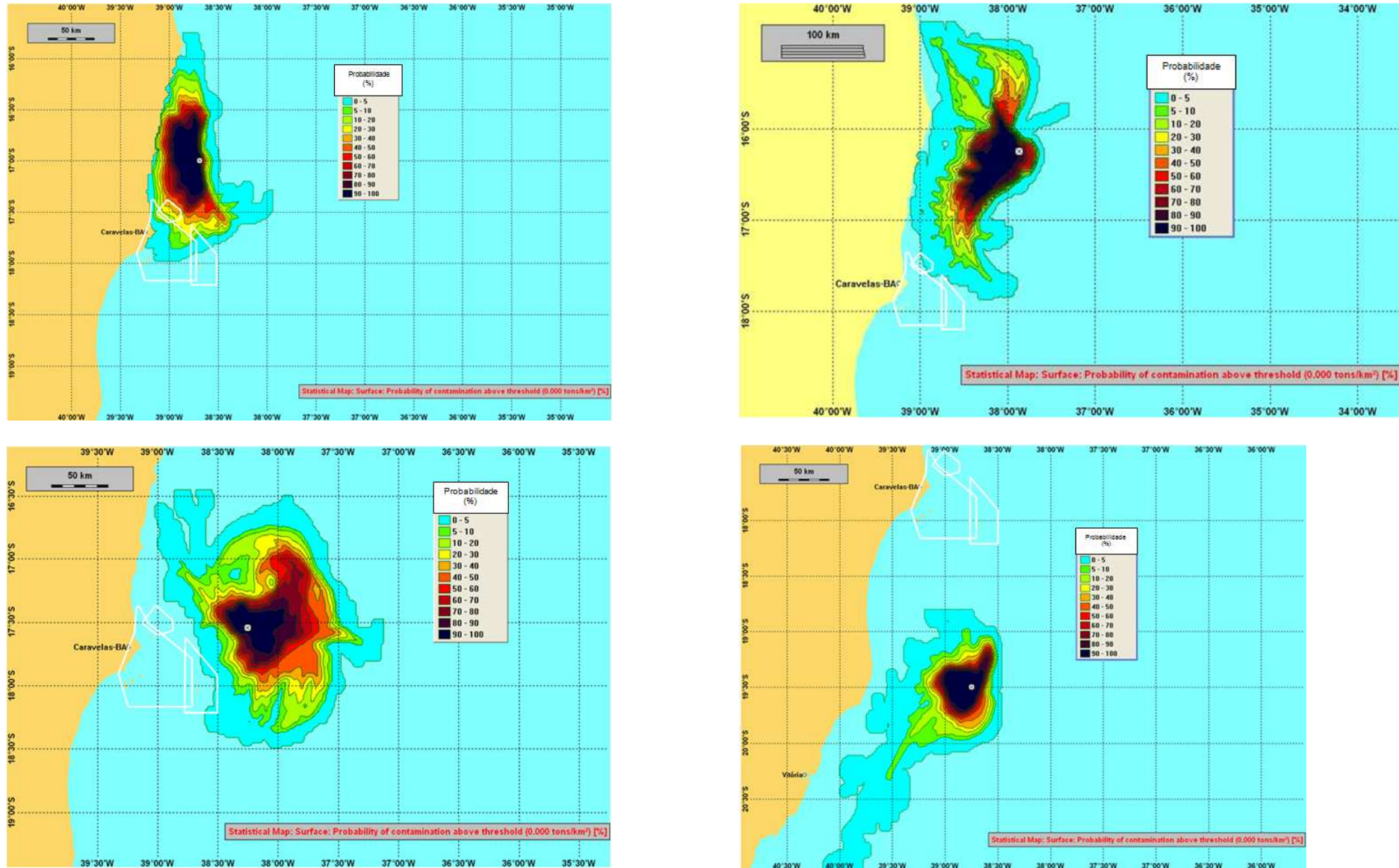


Figura 6.12: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno, mostrando a probabilidade de chegada do óleo superficial nos cenários de derramamento nos blocos licenciados BM-CUM-1 (canto superior esquerdo), BM-CUM-2 (canto inferior esquerdo), J-M-259 (canto superior direito) e ES-M-259 (canto inferior direito). As áreas em branco representam o PARNA de Abrolhos (dois polígonos menores) e a APA da Ponta das Baleias (polígono maior) e o local de derramamento está assinalado por um x.

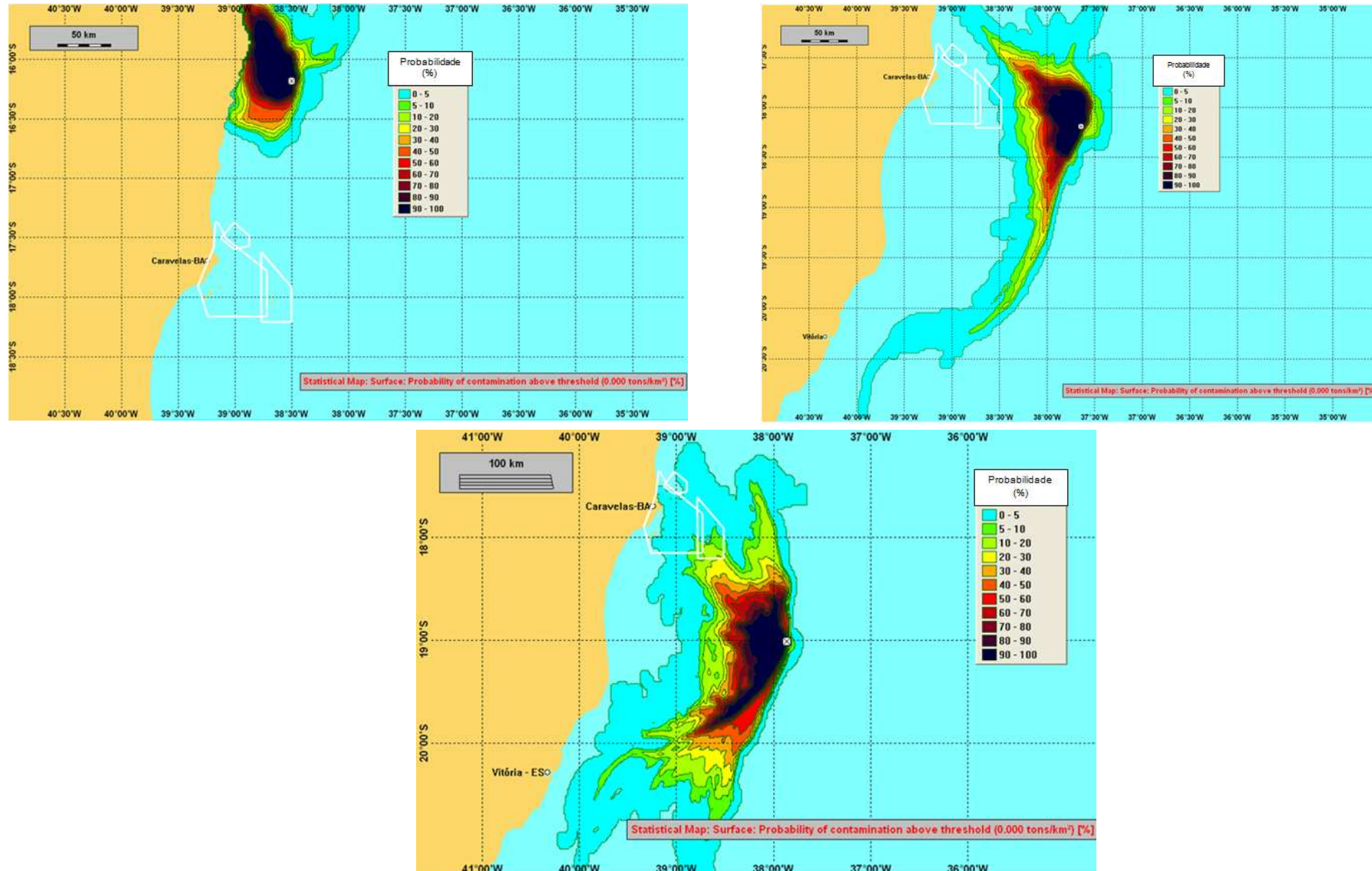


Figura 6.13: Resultados de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno, mostrando a probabilidade de chegada do óleo superficial nos cenários de derramamento nos blocos não licenciados CT-1 (canto superior esquerdo), CT-2 (canto superior direito) e CT-3 (meio inferior). As áreas em branco representam o PARNA de Abrolhos (dois polígonos menores) e a APA da Ponta das Baleias (polígono maior) e o local de derramamento está assinalado por um x.

### 6.2.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário

A Tabela 6.11 mostra os resultados probabilísticos diferenciais do período de inverno entre os dados dos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  com óleo leve e intermediário, referentes às Tabela 6.9 e 6.10, respectivamente (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com óleo intermediário e leve apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.11: Resultados diferenciais de 80 simulações probabilísticas de derramamento de  $192 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$  de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área, porção e diferença entre óleo leve e intermediário ( $\Delta$ ) nos cenários de inverno com a presença de processos supra-inerciais					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	10	-	10	-	-
	BM-CUM-2	-	-	-	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	5	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	5	-	-	-
	CT-3	20	5	30	20	5	5
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	-	-	2.9	2.0	2.0	2.0
	BM-CUM-2	-	-	2.9	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	0.3	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	0.1	-	-	-
	CT-3	3.0	1.0	3.0	3.0	0.1	0.1
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	6	6	15	6	2	3
	BM-CUM-2	-	-	5	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	25	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	14	-	-	-
	CT-3	4	7	2	4	20	20
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	-	1	-	-
	BM-CUM-2	-	-	-	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	1	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	1	-	-	-
	CT-3	1	1	1	1	1	1
		Pior cenário com óleo leve					
		Pior cenário com óleo intermediário					



Tabela 6.11 (cont.): Resultados diferenças de 80 simulações probabilísticas de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área, porção e diferença entre óleo leve e intermediário ( $\Delta$ ) nos cenários de inverno com a presença de processos supra-inerciais					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	30.0	12.2	-	22.4	0.4	1.7
	BM-CUM-2	-	-	30.6	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	2	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	0.6	-	-	-
	CT-3	12.6	14.9	31.9	15.6	0.6	0.6
		Pior cenário com óleo leve					
		Pior cenário com óleo intermediário					

A Figura 6.14 mostra o balanço de massa percentual da média de dois processos de intemperismo (evaporação e sedimentação) e do óleo superficial dos resultados probabilísticos de 80 simulações de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita) na região de estudos.

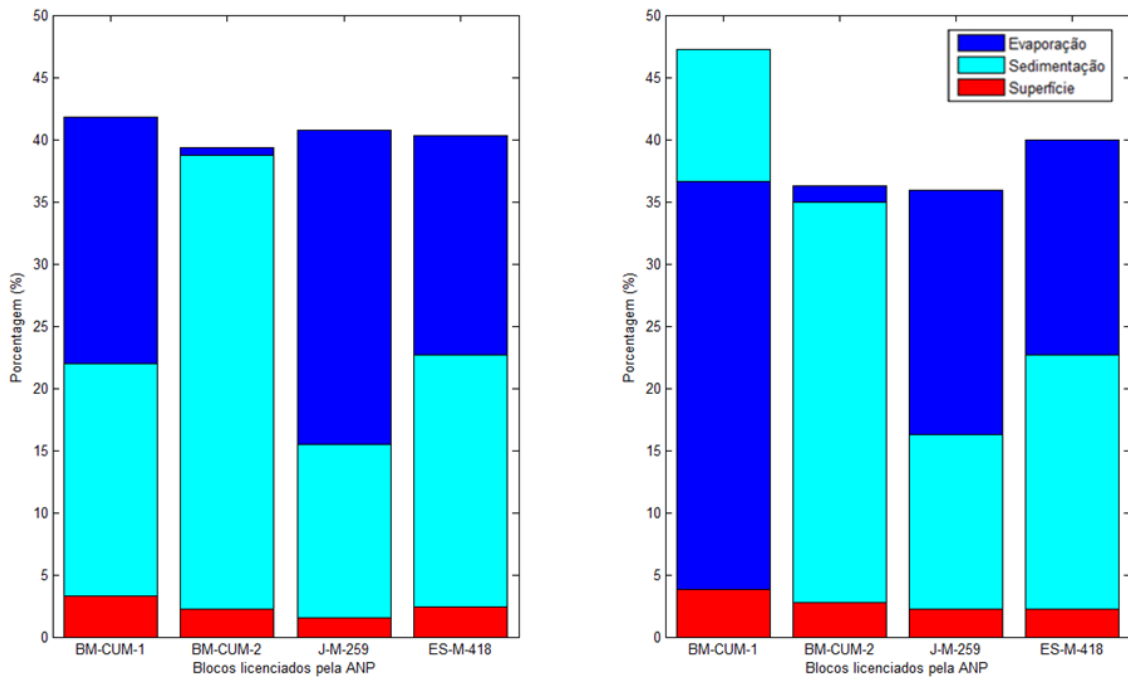


Figura 6.14: Balanço de massa médio de dois processos de intemperismo (evaporação e sedimentação) e do óleo superficial das simulações probabilísticas de 80 dias de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita).

### 6.2.2.2 Ausência de processos supra-inerciais

#### 6.2.2.2.1 Simulações com óleo leve

Os resultados probabilísticos com aplicação de um filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418 são mostrados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	20	-	-	30	20
	BM-CUM-2	5	-	5	5	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10 \text{ km}^2$	BM-CUM-1	3.0	3.0	-	-	5.0	5.0
	BM-CUM-2	0.1	-	1.0	1.0	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	10	10	-	-	10	10
	BM-CUM-2	20	-	14	14	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	2	-	-	2	1
	BM-CUM-2	1	-	1	1	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	13.3	12.5	-	-	50.5	29.9
	BM-CUM-2	1.6	-	0.5	24.7	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-

#### 6.2.2.2.2 Simulações com óleo intermediário

Os resultados probabilísticos com aplicação de um filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$

de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418 são mostrados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13: Resultados de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que o óleo não chegou àquela região especificada.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área e porção					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste	Oeste	Leste	Oeste	Leste	Oeste
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	5	5	-	5	30	20
	BM-CUM-2	5	-	5	5	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	1.0	1.0	-	3.0	3.0	3.0
	BM-CUM-2	0.1	-	3.0	1.0	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	14	14	-	14	4	10
	BM-CUM-2	25	-	20	25	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	-	1	2	1
	BM-CUM-2	1	-	1	1	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	2.3	1.7	-	20.3	51.3	7.1
	BM-CUM-2	0.6	-	27.6	8.8	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-

A Figura 6.15 mostra os dados probabilísticos de chegada do óleo superficial referentes aos cenários de pior caso de derramamento com a ausência dos processos supra-inerciais no período de inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418, encontrados nas simulações com a utilização de óleo intermediário (Tabela 6.13).

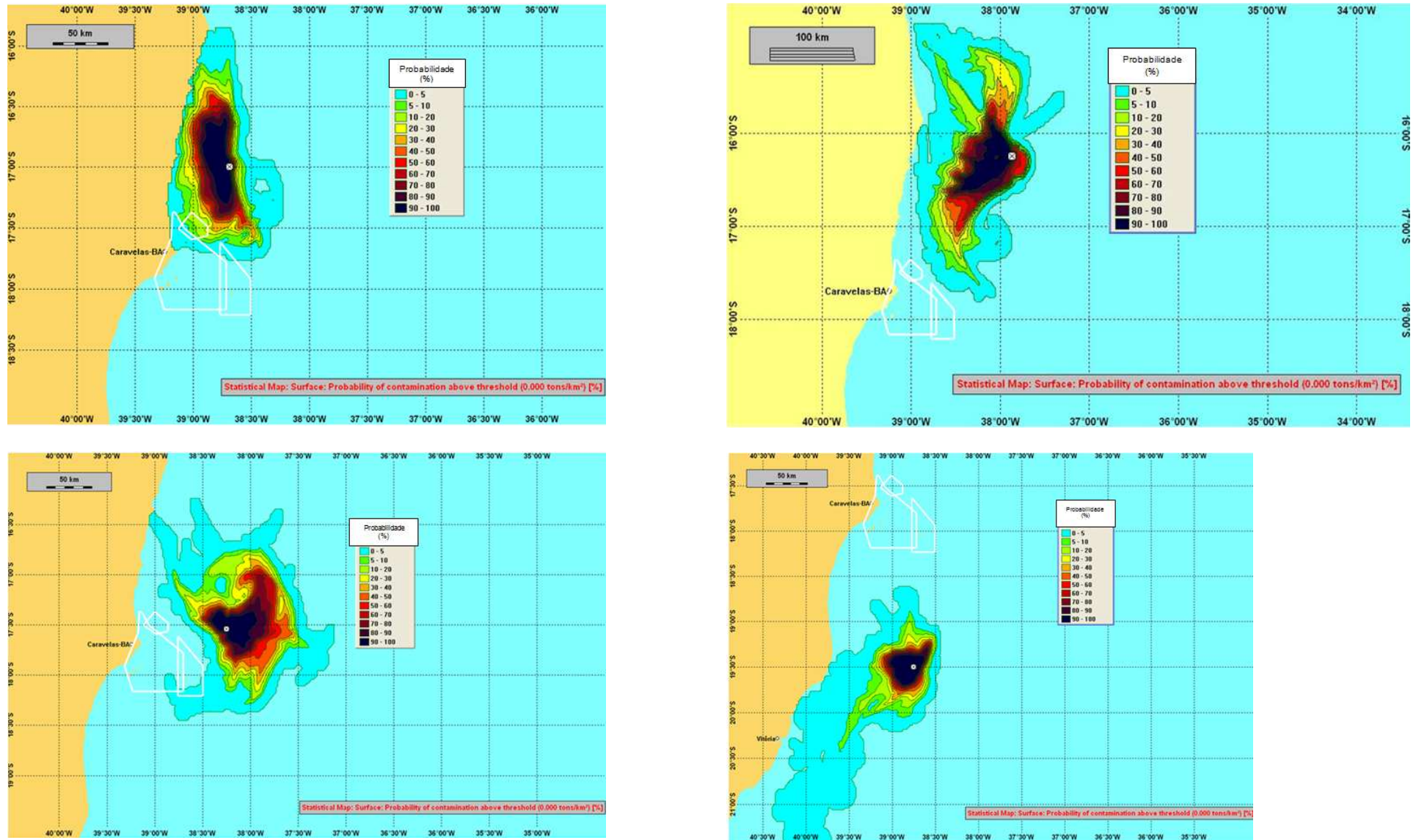


Figura 6.15: Resultados de 80 simulações probabilísticas com aplicação de filtro para remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno, mostrando a probabilidade de chegada do óleo em superfície nos cenários de derramamento nos blocos licenciados BM-CUM-1 (canto superior esquerdo), BM-CUM-2 (canto inferior esquerdo), J-M-259 (canto superior direito) e ES-M-259 (canto inferior direito). As áreas em branco representam o PARNA de Abrolhos (dois polígonos menores) e a APA da Ponta das Baleias (polígono maior) e o local de derramamento está assinalado por um x.

A Figura 6.16 mostra o balanço de massa percentual da média de dois processos de intemperismo (evaporação e sedimentação) e do óleo superficial dos resultados probabilísticos de 80 simulações de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita) na região de estudos.

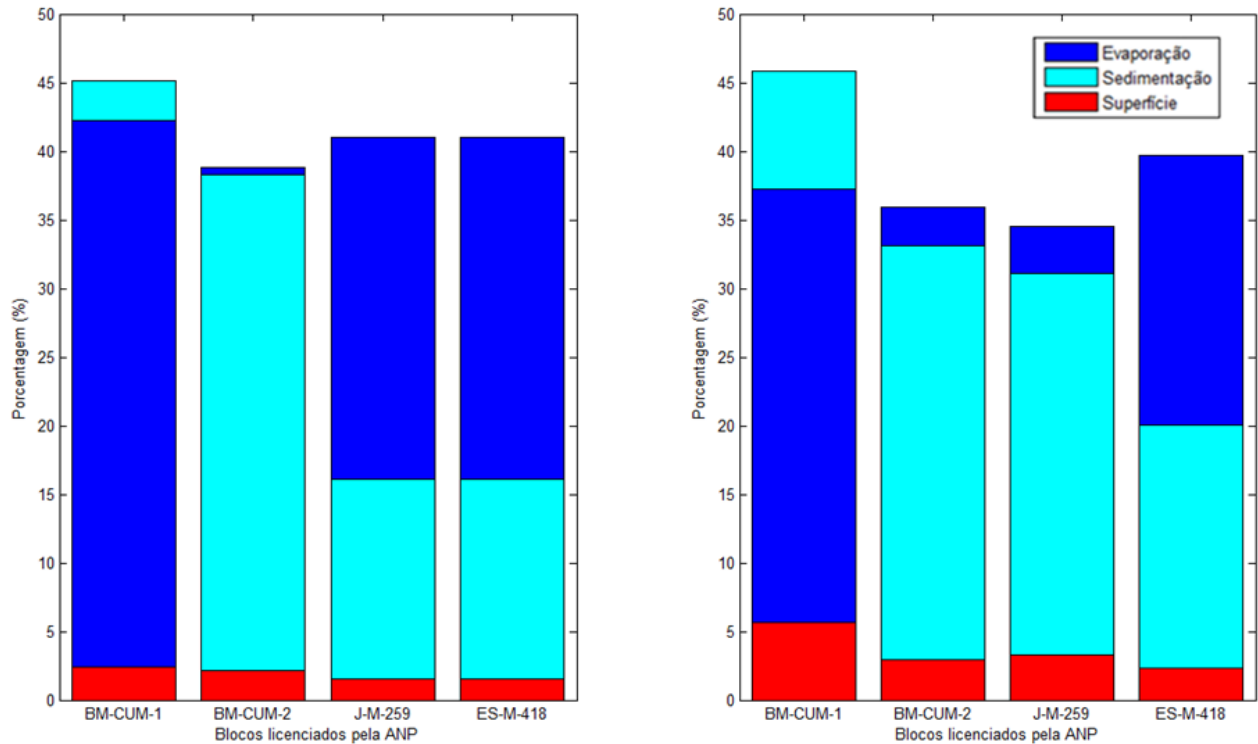


Figura 6.16: Balanço de massa médio de dois processos de intemperismo (evaporação e evaporação) e do óleo superficial das simulações probabilísticas de 80 dias de derramamento de óleo leve (esquerda) e intermediário (direita).

#### 6.2.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário

A Tabela 6.14 mostra os dados comparativos entre cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve e óleo intermediário com a aplicação de um filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos resultados das simulações numéricas nos blocos licenciados pela ANP (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com óleo intermediário e leve apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.14: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve e intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área, porção e diferença entre óleo leve e intermediário ( $\Delta$ ) nos cenários de inverno com a ausência de processos supra-inerciais					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	5	15	-	5	-	-
	BM-CUM-2	-	-	-	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	2.0	2.0	-	3.0	2.0	2.0
	BM-CUM-2	-	-	2.0	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	4	4	-	14	6	-
	BM-CUM-2	5	-	6	9	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	-	1	-	1	-	-
	BM-CUM-2	-	-	-	-	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	11	10.8	-	20.3	0.8	22.8
	BM-CUM-2	1	-	27.1	15.9	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com óleo leve					
		Pior cenário com óleo intermediário					

### 6.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais

#### 6.2.2.3.1 Simulações com óleo leve

As diferenças entre a hidrodinâmica padrão resultante do modelo POM e a aplicação do filtro de alta frequência nas simulações com óleo leve nos blocos licenciados pela ANP para o período de inverno são mostradas na Tabela 6.15 (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com ausência e presença dos processos supra-inerciais apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.15: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo leve durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área, porção e diferença entre presença e ausência ( $\Delta$ ) de processos supra-inerciais nas simulações com óleo leve.					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	10	5	20	10	20
	BM-CUM-2	5	-	-	5	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de 10km <sup>2</sup>	BM-CUM-1	-	-	0.1	3.0	2.0	2.0
	BM-CUM-2	0.1	-	0.9	1.0	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	-	-	25	10	6	-
	BM-CUM-2	20	-	9	14	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	-	1	1	1	-	1
	BM-CUM-2	1	-	-	1	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	7.8	14.5	2	29.1	0.6	19.9
	BM-CUM-2	1.6	-	1.5	24.7	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com a presença de processos supra-inerciais					
		Pior cenário com a ausência de processos supra-inerciais					

### 6.2.2.3.2 Simulações com óleo intermediário

As diferenças entre a hidrodinâmica padrão resultante do modelo POM e a aplicação do filtro de alta frequência nas simulações com óleo intermediário para o período de inverno são mostradas na Tabela 6.16 (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações com ausência e presença dos processos supra-inerciais apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.16: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas com e sem aplicação de filtro de alta frequência para a remoção de processos supra-inerciais nos cenários de derramamento de 192 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> de óleo intermediário durante 30 dias durante o inverno nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e ES-M-418. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos e Blocos da ANP		Área, porção e diferença entre presença e ausência ( $\Delta$ ) de processos supra-inerciais nas simulações com óleo intermediário.					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	25	15	5	25	10	20
	BM-CUM-2	5	-	-	5	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	5	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de 10km <sup>2</sup>	BM-CUM-1	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0
	BM-CUM-2	0.1	-	-	1.0	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	0.3	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	10	10	10	10	2	3
	BM-CUM-2	25	-	-	25	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	25	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	1	1	1	1	-	1
	BM-CUM-2	1	-	-	1	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	1	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	48.8	13.1	2	31.2	0.2	44.4
	BM-CUM-2	0.6	-	5	8.8	-	-
	J-M-259	-	-	-	-	2	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário com a presença de processos supra-inerciais					
		Pior cenário com a ausência de processos supra-inerciais					

### 6.3 Análise comparativa entre simulações de verão e inverno

#### 6.3.1 Simulações com óleo leve

As diferenças nos resultados das simulações probabilísticas realizadas com óleo leve nos períodos sazonais de verão e inverno são mostradas na Tabela 6.17 (as cores pretas e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações de inverno e verão apresentaram os piores cenários, respectivamente).



Tabela 6.17: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas nos cenários de verão e inverno com derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo leve durante 30 dias nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área, porção e diferença entre verão e inverno ( $\Delta$ ) nas simulações com óleo leve.					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	-	10	5	15	30	-
	BM-CUM-2	30	5	45	50	5	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	2.0	-	0.1	2.0	-	-
	BM-CUM-2	3.0	0.5	2.9	3.0	0.1	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	6	6	25	4	2	6
	BM-CUM-2	4	10	23	4	14	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	-	-	1	-	1	-
	BM-CUM-2	1	1	-	2	1	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	19.6	25.4	2	16.9	4	15.4
	BM-CUM-2	1.6	0.7	49	31.9	0.1	-
	J-M-259	-	-	-	-	-	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	-	-	-	-
	CT-3	-	-	-	-	-	-
		Pior cenário no período de verão					
		Pior cenário no período de inverno					

### 6.3.2 Simulações com óleo intermediário

As diferenças entre os períodos sazonais de verão e inverno com a utilização de óleo intermediário nas simulações numéricas são mostradas na Tabela 6.18 (as cores pretas

e azuis indicaram as áreas e porções onde as simulações de inverno e verão apresentaram os piores cenários, respectivamente).

Tabela 6.18: Resultados comparativos de 80 simulações probabilísticas nos cenários de verão e inverno com derramamento de  $192 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  de óleo intermediário durante 30 dias nos blocos licenciados BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, ES-M-418 e blocos não licenciados CT-1, CT-2 e CT-3. A ausência de dados indica que os valores referentes aos dois óleos são iguais.

Dados Probabilísticos, Blocos da ANP e blocos não licenciados		Área, porção e diferença entre verão e inverno ( $\Delta$ ) nas simulações com óleo intermediário.					
		Área de Proteção Ambiental		Zona de Amortecimento 1		Zona de Amortecimento 2	
		Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )	Leste ( $\Delta$ )	Oeste ( $\Delta$ )
Probabilidade Máxima Superficial de Ocorrência (%)	BM-CUM-1	10	50	-	-	50	50
	BM-CUM-2	40	10	75	60	20	5
	J-M-259	5	-	5	5	-	5
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	5	-	-	-
	CT-3	20	5	30	20	5	5
Tonelagem Máxima por Célula de $10\text{km}^2$	BM-CUM-1	2.0	2.0	2.7	-	-	-
	BM-CUM-2	3.0	3.0	7.0	10.0	1.0	0.1
	J-M-259	0.3	-	0.5	0.3	0.2	-
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	0.1	-	-	-
	CT-3	3.0	1.0	3.0	3.0	0.1	0.1
Tempo Mínimo de Chegada (dias)	BM-CUM-1	-	-	15	21	-	5
	BM-CUM-2	4	7	18	2	7	7
	J-M-259	25	-	14	14	-	25
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	14	-	-	-
	CT-3	4	7	2	4	20	20
Máximo Tempo de Exposição Atmosférica (dias)	BM-CUM-1	-	-	-	-	2	2
	BM-CUM-2	4	2	1	4	2	1
	J-M-259	1	-	1	1	-	1
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	1	-	-	-
	CT-3	1	1	1	1	1	1
Profundidade de Mistura (m)	BM-CUM-1	0.3	34.5	0.4	-	-	0.3
	BM-CUM-2	51.5	29.1	18.9	51.5	1.4	0.6
	J-M-259	2.0	-	2.0	2.0	-	2.0
	ES-M-418	-	-	-	-	-	-
	CT-1	-	-	-	-	-	-
	CT-2	-	-	0.6	-	-	-
	CT-3	12.6	14.9	31.9	15.6	0.6	0.6
		Pior cenário no período de verão					
		Pior cenário no período de inverno					

#### 6.4 A Zona de Exclusão

Segundo os cenários probabilísticos de derramamento de óleo leve e intermediário no período de verão e inverno, pôde-se delimitar uma área de exclusão para as atividades de Exploração e Produção (E&P) de petróleo próximo ao Banco de Abrolhos e adjacências. Os blocos licenciados ou não licenciados pela ANP em que o óleo atingiu alguma porção das áreas de proteção, mesmo em pequenos valores probabilísticos, compõem a área de exclusão onde, preferencialmente, não deva haver nenhuma atividade ligada à indústria do petróleo que ofereça riscos de derramamento de óleo.

A Figura 6.17 mostra a região de estudos com a zona de exclusão segundo os cenários probabilísticos das simulações do modelo OSCAR com os parâmetros ambientais fornecidos e as estratégias de modelagem.

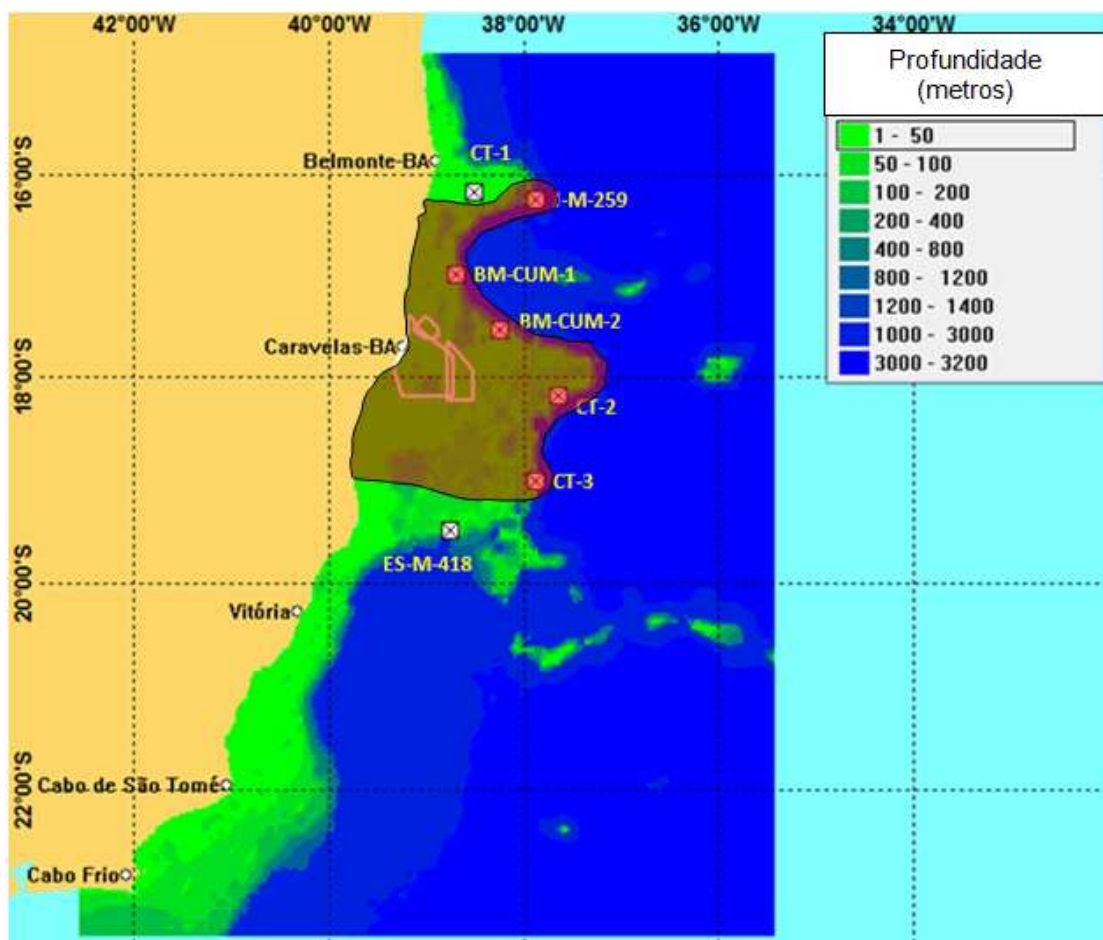


Figura 6.17: Localização da área de estudos com níveis batimétricos até 3.200 metros, os blocos licenciados pela ANP e os blocos não licenciados. A região em vermelho representa a Zona de Exclusão, e os polígonos em branco representam a APA Ponta das Baleias (polígono maior) e o PARNA de Abrolhos (polígono médio - Zona de Amortecimento 1; polígono menor - Zona de Amortecimento 2).

A Zona de Exclusão delimitada no presente estudo abrangeu as três bacias marítimas presentes na região, toda a Bacia de Cumuruxatiba, a porção norte da Bacia do Espírito Santo e a porção sul da Bacia do Jequitinhonha. O limite leste da Zona de Exclusão é a região de quebra de plataforma, pois como mostraram os dados hidrodinâmicos do modelo POM (Figuras 6.1 e 6.2), as correntes superficiais em águas profundas são relativamente mais fracas do que a Corrente do Brasil e as correntes de maré sobre a plataforma continental, influenciando pouco no espalhamento do óleo superficial. O limite oeste da Zona de exclusão é a região costeira, pois mesmo em águas da plataforma interna e média as velocidades residuais das correntes de maré podem levar o óleo tanto para sul quanto para o norte (resultados das simulações do bloco não licenciado CT-1), ou seja, em cenários de maior volume de derramamento o óleo pode atingir as áreas de proteção.

A Zona de Exclusão significou, segundo o presente estudo, como uma área onde preferencialmente não deva haver nenhuma atividade da indústria do petróleo onde derramamentos de óleo possam ocorrer. Caso alguma exploração ou produção seja desenvolvida nessa área, o máximo de precaução deve ser aplicado, onde se sugere que as próprias empresas encarregadas de conter um derramamento de óleo instalem equipes altamente eficientes e equipamentos modernos nas plataformas marítimas dessa área, aumentando as probabilidades de contenção e remoção do óleo.

## **CAPÍTULO 7: DISCUSSÕES**

### *7.1 Interpolações e padrões hidrodinâmicos de verão e inverno*

#### *7.2 Período sazonal de verão*

##### *7.2.1 Presença de processos supra-inerciais*

*7.2.1.1 Simulações com óleo leve*

*7.2.1.2 Simulações com óleo intermediário*

*7.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *7.2.2 Ausência de processos supra-inerciais*

*7.2.2.1 Simulações com óleo leve*

*7.2.2.2 Simulações com óleo intermediário*

*7.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *7.2.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais*

*7.2.3.1 Simulações com óleo leve*

*7.2.3.2 Simulações com óleo intermediário*

#### *7.3 Período sazonal de inverno*

##### *7.3.1 Presença de processos supra-inerciais*

*7.3.1.1 Simulações com óleo leve*

*7.3.1.2 Simulações com óleo intermediário*

*7.3.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *7.3.2 Ausência de processos supra-inerciais*

*7.3.2.1 Simulações com óleo leve*

*7.3.2.2 Simulações com óleo intermediário*

*7.3.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

##### *7.3.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais*

*7.3.3.1 Simulações com óleo leve*

*7.3.3.2 Simulações com óleo intermediário*

#### *7.4 Análise comparativa entre simulações de verão e inverno*

*7.4.1 Simulações com óleo leve*

*7.4.2 Simulações com óleo intermediário*

### 7.1 Interpolações e padrões hidrodinâmicos de verão e inverno

Os dados interpolados referentes ao período de inverno mostraram que o padrão hidrodinâmico apresentou um enfraquecimento da Corrente do Brasil ao largo da zona de quebra de plataforma em comparação com o período de verão, período no qual ao norte de 18°S observou-se a formação do vórtice de Ilhéus, como também observado por Soutelino (2008) (Figura 7.1).

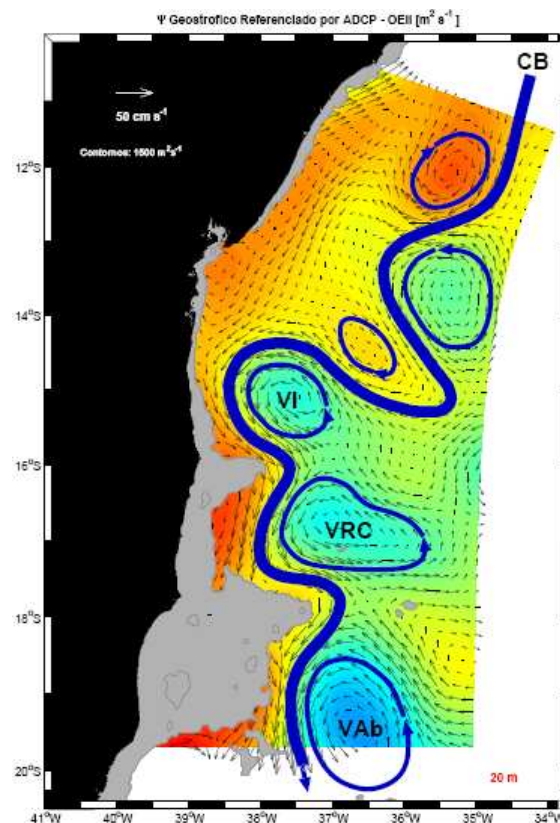


Figura 7.1: Padrão esquemático de circulação em 20 metros de profundidade a partir de dados de ADCP sobreposto ao campo geostrófico em um período de verão. Em destaque a Corrente do Brasil (CB), o Vórtice de Ilhéus (VI), o Vórtice de Royal Charlotte (VRC) e o Vórtice de Abrolhos (VAb). Fonte: Soutelino (2008).

As instabilidades encontradas nessa porção norte associadas à Corrente do Brasil foram menos intensas do que no período de inverno, apesar do Banco de Royal Charlotte ter proporcionado a formação de vórtices e meandros próximos à quebra de plataforma e talude. Ao sul de 18°S observou-se uma marcante continuidade da Corrente do Brasil até o sul do Estado do Espírito Santo, em torno de 22°S, onde iniciou-se a formação do

vórtice de São Tomé, feição anticiclônica associada à descontinuidade da quebra de plataforma.

O padrão de ventos na região de estudos também foi analisado por demais autores. O trabalho desenvolvido por Souza e colaboradores (2007) mostrou uma maior intensidade de ventos no período de inverno na região do Banco de Abrolhos com os dados do SOMAR Meteorologia obtidos através do modelo ETA, o qual foi forçado por dados de re-análise do NCEP/NCAR, atingindo até  $8 \text{ m.s}^{-1}$  no mês de Julho.

Segundo os dados de vento de Lessa e Cirano (2006) obtidos através de estação meteorológica costeira no sul da Bahia (intervalo de amostragem de  $\frac{1}{2}$  de hora a partir de Janeiro de 2001) e registros climatológicos (intervalo temporal de 3 horas a partir de 1957 até 1997), os ventos na região do Banco de Abrolhos são predominantemente do quadrante nordeste (30% de ocorrência), seguidos pelo quadrante leste (24% de ocorrência) e sudeste (14% de ocorrência) e, por fim, pelos quadrantes sul e norte, com 14% e 12% de ocorrência, respectivamente. Segundo os autores, as passagens de frentes frias, referentes aos ventos dos quadrantes sudeste, sul e sudoeste, ocorrem preferencialmente durante o outono e início do inverno, com mais de 42% dos registros sendo encontrados entre Abril e Julho (máximo de 52% dos registros em Maio).

## *7.2 Período sazonal de verão*

### *7.2.1 Presença de processos supra-inerciais*

#### *7.2.1.1 Simulações com óleo leve*

Os dados mostraram que com a utilização de óleo leve nas simulações de verão com a presença de processos supra-inerciais os locais de derramamento mais críticos são dos blocos da Bacia de Cumuruxatiba, onde existiu até 70% (BM-CUM-1) de probabilidade do óleo superficial ter atingido a área do Banco de Abrolhos na porção leste da Zona de Amortecimento 2. Os blocos dessa bacia também mostraram os piores cenários referentes à tonelagem de óleo por célula de  $10 \text{ km}^2$  (atingindo o máximo de 3.0 toneladas), tempo mínimo de chegada do óleo superficial às áreas de proteção (2 dias



nas porções leste das Zonas de Amortecimento 1 e 2 nos derramamentos nos blocos BM-CUM-2 e BM-CUM-1 respectivamente) e, máximo tempo de exposição atmosférica do óleo (atingindo 2 dias nas porções oeste das Zonas de Amortecimento 1 e 2 nos cenários de derramamento nos blocos BM-CUM-2 e BM-CUM-1, respectivamente). Nesses blocos o óleo também atingiu a máxima profundidade de mistura, onde preencheu quase toda a coluna d'água nas simulações no bloco BM-CUM-1 (47.1 metros de camada de mistura do óleo na porção leste da Zona de Amortecimento 2). Nenhum resultado probabilístico de chegada do óleo nas áreas de proteção ambiental foi encontrado para as simulações nos blocos da Bacia do Jequitinhonha, Bacia do Espírito Santo e para os blocos não licenciados.

#### *7.2.1.2 Simulações com óleo intermediário*

Os piores cenários de derramamento com óleo intermediário no período de verão com a presença de processos supra-inerciais ocorreram novamente nos blocos da Bacia de Cumuruxatiba. Nesses blocos, o óleo atingiu 90% de probabilidade de atingir o Banco de Abrolhos em derramamentos no bloco BM-CUM-1, além da maioria das probabilidades de óleo superficial encontradas estarem acima de 50% nos cenários de derramamento nos blocos da Bacia de Cumuruxatiba. A maior tonelagem encontrada por célula de 10km<sup>2</sup> foi referente ao derramamento no bloco BM-CUM-2, atingindo o máximo de 10 toneladas de óleo na Zona de Amortecimento 1. Nas duas zonas que representam o Banco de Abrolhos o óleo derramado pôde atingi-las em até 2 dias nos cenários de derramamento nos blocos de Cumuruxatiba. O óleo também permaneceu superficialmente por mais tempo nas áreas de proteção ambiental nos cenários de derramamento nos blocos desta bacia, permanecendo por até 4 dias na superfície nas duas zonas de amortecimento. O cenário de verão com o óleo intermediário também mostrou que o bloco J-M-259 ofereceu risco de contaminação às áreas de proteção ambiental. Os valores encontrados foram menores se comparados com os blocos da Bacia de Cumuruxatiba, porém deve-se ressaltar que se presumivelmente nenhum óleo deva atingir as áreas de proteção ambiental, então a região da Bacia do Jequitinhonha, onde encontra-se o bloco J-M-259, deva ser considerada como uma região de risco ao

ecossistema de Abrolhos. Nenhum risco de contaminação foi encontrado para o bloco ES-M-418 da Bacia do Espírito Santo e nem para os blocos não licenciados.

Nessas simulações observou-se o sentido preferencial do óleo derramado, fluindo para o sul seguindo principalmente a Corrente do Brasil próximo ao largo da zona de quebra de plataforma. O vento nordeste/leste também exerceu influência no óleo derramado, influenciando no sentido da mancha para os quadrantes sul/sudoeste. Os resultados probabilísticos de derramamento nos blocos não licenciados confirmaram os dados das Tabelas 6.1 e 6.2, onde nenhum óleo atingiu as áreas de proteção ambiental.

### *7.2.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

A análise comparativa mostrou a diferença quantitativa entre os dados das simulações com os dois tipos de óleos, e estabeleceu em quais áreas e porções eles apresentaram os piores cenários no período de verão.

Os resultados comparativos mostraram que as simulações que usaram óleo intermediário apresentaram os cenários de pior caso. A diferença de probabilidade máxima superficial entre óleo leve e intermediário atingiu o valor máximo de 50% entre as simulações com os dois tipos de óleo na porção oeste da Área de Proteção Ambiental, onde a cor preta indicou que o pior cenário de simulação foi a que utilizou óleo intermediário. A diferença quantitativa de toneladas também mostrou dados significativos de no máximo 4 toneladas por célula de 10 km<sup>2</sup> a mais nas simulações com óleo intermediário do que com simulações com óleo leve. A diferença no tempo mínimo de chegada do óleo superficial também foi acentuada, onde nas simulações em que foi utilizado óleo intermediário o petróleo atingiu os blocos J-M-259 e BM-CUM-1 em 14 e 25 dias de antecedência respectivamente, em comparação com as simulações que utilizaram óleo leve. Esses valores reforçaram a confirmação de que os cenários de pior caso no período de verão foram os que utilizaram óleo mais denso nas simulações.

O óleo leve tendeu a evaporar-se mais rapidamente devido as elevadas temperaturas do ar no período de verão, onde o óleo deixou o ambiente marinho com maior facilidade e, portanto, deixou de atingir áreas mais distantes como as áreas de proteção ambiental. Aproximadamente 43% do total do óleo leve derramado nos blocos licenciados pela ANP evaporaram, enquanto que 36% do total do óleo intermediário evaporou segundo a

Figura 6.9. O óleo intermediário possui compostos de maior peso molecular, oferecendo maior resistência à evaporação, permanecendo portanto por mais tempo no ambiente marinho, atingindo regiões mais distantes com maior facilidade devido ao arraste imposto pelo vento e correntes superficiais, explicando, dessa forma, como o óleo intermediário foi encontrado com maior frequência no Banco de Abrolhos e na APA Ponta das Baleias.

As diferenças entre os tipos de óleo nos cenários de derramamento no mar são importantes principalmente nos aspectos ecológicos. Os recifes de corais, por serem ecossistemas de alta sensibilidade ambiental, podem sofrer diversos danos, dependendo da localização. Recifes localizados próximos da franja do infralitoral, em regiões de alta energia (elevado hidrodinamismo), exibem menor susceptibilidade do que recifes localizados em águas calmas. Nestes últimos, o tempo de permanência do óleo pode atingir longos períodos. Em recifes de águas mais profundas, entretanto, a grande agitação da água pode favorecer a deposição do óleo para o fundo, podendo vir a atingi-los. Recifes infralitorais de águas calmas raramente são atingidos quando se trata de derrames de óleo do tipo pesado (RPI, 1978).

Óleos leves por apresentarem maior quantidade de frações tóxicas solúveis, exibem elevado perigo aos recifes de corais de águas rasas, já óleos mais pesados dificilmente entram em contato com corais das regiões do sublitoral (RPI, 1978).

Águas com altas temperaturas, necessárias ao desenvolvimento de corais, asseguram um rápido crescimento de microorganismos capazes de degradar hidrocarbonetos. Entretanto, a natureza calcária formadora do esqueleto desses animais é um fator agravante, pois nesse substrato o petróleo adere e é absorvido. Dentro deste contexto, o óleo pareceu persistir nestes ambientes por longos períodos, apesar das condições de temperatura serem favoráveis aos processos de biodegradação. Os próprios efeitos do óleo podem ser maiores em ambientes tropicais (águas com temperaturas mais elevadas), onde o produto é geralmente mais solúvel. O aumento na concentração das frações hidrossolúveis leva muitos organismos a uma rápida incorporação do contaminante (API, 1985).

Gundlach e Hayes (1987) indicaram a necessidade de estudos mais detalhados para determinar a vulnerabilidade dos recifes de coral aos impactos por petróleo. Baseados em considerações dos danos biológicos potenciais, estes mesmos autores classificaram

os recifes de coral como medianamente (recifes localizados em maiores profundidades) a altamente sensíveis (recifes de águas rasas). O fato dos recifes de coral necessitar de muita luz para seu desenvolvimento os torna mais vulneráveis aos derrames de óleo, uma vez que o recobrimento afeta diretamente a incidência luminosa sobre os corais.

## *7.2.2 Ausência de processos supra-inerciais*

### *7.2.2.1 Simulações com óleo leve*

Os dados mostraram que o óleo leve derramado atingiu as áreas de proteção ambiental somente nas simulações de vazamento nos blocos licenciados BM-CUM-1 e BM-CUM-2 da Bacia de Cumuruxatiba. O óleo atingiu 50% de probabilidade de atingir o Banco de Abrolhos na Zona de Amortecimento 1, causando uma mistura que atingiu toda a coluna d'água (50.3 e 51.4m) em alguns locais no cenário mais crítico de vazamento no bloco BM-CUM-2. Os blocos da Bacia do Jequitinhonha e da Bacia do Espírito Santo não ofereceram nenhum risco de contaminação às áreas de proteção ambiental com a utilização de óleo leve sem os processos supra-inerciais.

### *7.2.2.2 Simulações com óleo intermediário*

Através dos dados das simulações com óleo intermediário observou-se que o pior cenário de derramamento com a utilização de óleo intermediário foi no bloco BM-CUM-1 da Bacia de Cumuruxatiba. Nesse bloco, as probabilidades do óleo superficial atingir as áreas de proteção ambiental foram de 70% e 80%, nas porções oeste e leste da Zona de Amortecimento 2, respectivamente. Nessa área o óleo chegou a ocupar toda a coluna d'água em alguns locais, atingindo o sedimento em profundidades maiores do que 50 metros.

O bloco BM-CUM-2 apresentou o maior risco para a Zona de Amortecimento 1, com probabilidades do óleo superficial atingir a Zona de Amortecimento 1 em 70 e 50% nas porções leste e oeste, respectivamente.

Os resultados probabilísticos mostraram o óleo seguindo preferencialmente para o sul se aproximando da costa. Os piores cenários observados, referentes aos blocos da Bacia de Cumuruxatiba, mostraram ainda que o óleo intermediário possuiu uma tendência de aproximação da costa (derramamentos no bloco BM-CUM-1), enquanto que o resultado final do bloco BM-CUM-2 mostrou dois caminhos preferenciais: sobre a plataforma continental e ao largo da zona de quebra de plataforma, acompanhando a Corrente do Brasil.

### *7.2.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

Os dados comparativos das simulações numéricas com os dois tipos de óleo e a aplicação de um filtro de alta frequência mostraram os piores cenários para os derramamentos com óleo intermediário. Os vazamentos com esse óleo no bloco BM-CUM-1 da Bacia de Cumuruxatiba chegaram a ter 50% a mais de chances de atingir as áreas de proteção ambiental (Zona de Amortecimento 2) superficialmente do que os vazamentos com óleo leve. O bloco também mostrou o pior cenário dentre os analisados, com as simulações com óleo intermediário chegando a atingir até 4 toneladas a mais em cada célula de 10 óleo leve.

Diferenças acentuadas também foram verificadas em relação à profundidade máxima de mistura do óleo. Os cenários de simulações com o óleo intermediário atingiram profundidades muito maiores do que as simulações com óleo leve, preenchendo em certos locais toda a coluna d'água (porção oeste da Zona de Amortecimento 1 e 2). Esta diferença foi verificada devido às características físico-químicas do óleo intermediário, o qual por ser mais denso do que o óleo leve afunda com maior facilidade, e fica menos suscetível à evaporação. Segundo a Figura 6.11, aproximadamente 45% do óleo intermediário total derramado nos blocos BM-CUM-1 e BM-CUM-2 tendeu a afundar para o sedimento, enquanto que 31% do óleo leve afundou. Outra explicação para a presença desta diferença diz respeito à filtragem dos processos supra-inerciais, onde foram removidos, dentre outros fatores, os efeitos da maré e as correntes associadas, diminuindo as instabilidades baroclínicas da coluna d'água e, por conseqüência, com menos turbulência associada à maré sobre a plataforma continental o óleo leve

permaneceu por mais tempo nas primeiras camadas superficiais, ficando mais suscetível às condições atmosféricas.

As correntes de maré são processos fundamentais para a ressuspensão de sedimento e mistura da coluna d'água sobre a plataforma continental, atingindo até  $5 \text{ m.s}^{-1}$  em águas costeiras de profundidades baixas (STEWART, 2006), podendo influenciar fortemente na sedimentação do óleo. As marés barotrópicas e baroclínicas podem causar mistura na coluna d'água, gerando um importante impacto sobre a produção biológica devido ao fluxo ascendente de nutrientes das camadas abaixo da zona eufótica (PEREIRA *et al.*, 2005).

De maneira geral, as simulações com a filtragem de processos supra-inerciais mostraram, novamente, os piores cenários nos vazamentos com óleo intermediário, onde se destacou principalmente as diferenças marcantes entre as simulações com óleo leve e intermediário. O primeiro, devido à ausência dos processos supra-inerciais, principalmente a maré, permaneceu nas primeiras camadas de profundidade, pouco espalhou-se em relação ao óleo intermediário (diferenças de 50% em toda Zona de Amortecimento 2 e 30% na porção oeste da APA, nos cenários de derramamento no bloco BM-CUM-1) e atingiu a porção oeste da Zona de Amortecimento 2 com 6 dias de atraso em comparação com as simulações que utilizaram óleo intermediário.

### *7.2.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais*

#### *7.2.3.1 Simulações com óleo leve*

Observou-se nos dados das simulações com óleo leve que não existiu um único padrão de pior caso nos resultados com a presença ou ausência dos processos supra-inerciais na hidrodinâmica da região de estudos com derramamentos com óleo leve.

As simulações mostraram que os resultados de derramamento no bloco BM-CUM-1 apresentaram os piores cenários com a presença dos processos supra-inerciais, enquanto que os resultados de derramamento no bloco BM-CUM-2 apresentaram os piores cenários com a ausência dos processos supra-inerciais. Segundo os dados da

Tabela 6.7, as simulações que utilizaram dados hidrodinâmicos com a ausência dos processos supra-inerciais mostraram que o óleo leve permaneceu por mais tempo no ambiente (1 dia a mais na porção leste da APA e oeste da Zona de Amortecimento 2 com derramamentos no bloco BM-CUM-2) em relação as simulações que tiveram a presença dos processos supra-inerciais e, com isso, o óleo teve mais tempo de residência onde pôde penetrar em profundidades maiores, principalmente nas simulações de derramamento realizadas no bloco BM-CUM-2 (33.8m de profundidade a mais em comparação com as simulações com a presença dos processos supra-inerciais). Estes resultados são devidos, provavelmente, à localização geográfica dos dois blocos e do sentido das elipses de maré na região (nordeste/sudoeste - Lemos, 2006) (Figura 7.2).

Segundo o estudo de Lemos (2006) as componentes  $u$  e  $v$  da velocidade das correntes de maré na região próxima ao Banco de Abrolhos seguem a forma de uma elipse de direcionamento nordeste/sudoeste em profundidades até 1.000m. Assim, como o bloco BM-CUM-1 localiza-se ao norte das áreas de proteção ambiental, as elipses de maré combinadas com os ventos predominantemente nordestes da região tenderam a direcionar o óleo para essas áreas sobre a plataforma continental, onde gerou os piores cenários com a presença dos processos supra-inerciais. Em situação diferente, devido ao bloco BM-CUM-2 localizar-se a leste/nordeste das áreas de proteção, as elipses de maré e os ventos tenderiam a direcionar o óleo para sul das áreas de proteção ambiental, e a presença da Corrente do Brasil ao largo da quebra de plataforma favorecia tal direcionamento. Porém, sem as elipses de maré (ausência dos processos supra-inerciais) o direcionamento para o sul do óleo derramado no bloco BM-CUM-2 diminuiu de intensidade e, assim, o óleo penetrou sobre a plataforma continental forçado principalmente pelo vento, e atingiu as áreas de proteção ambiental, gerando os piores cenários com a ausência dos processos supra-inerciais.

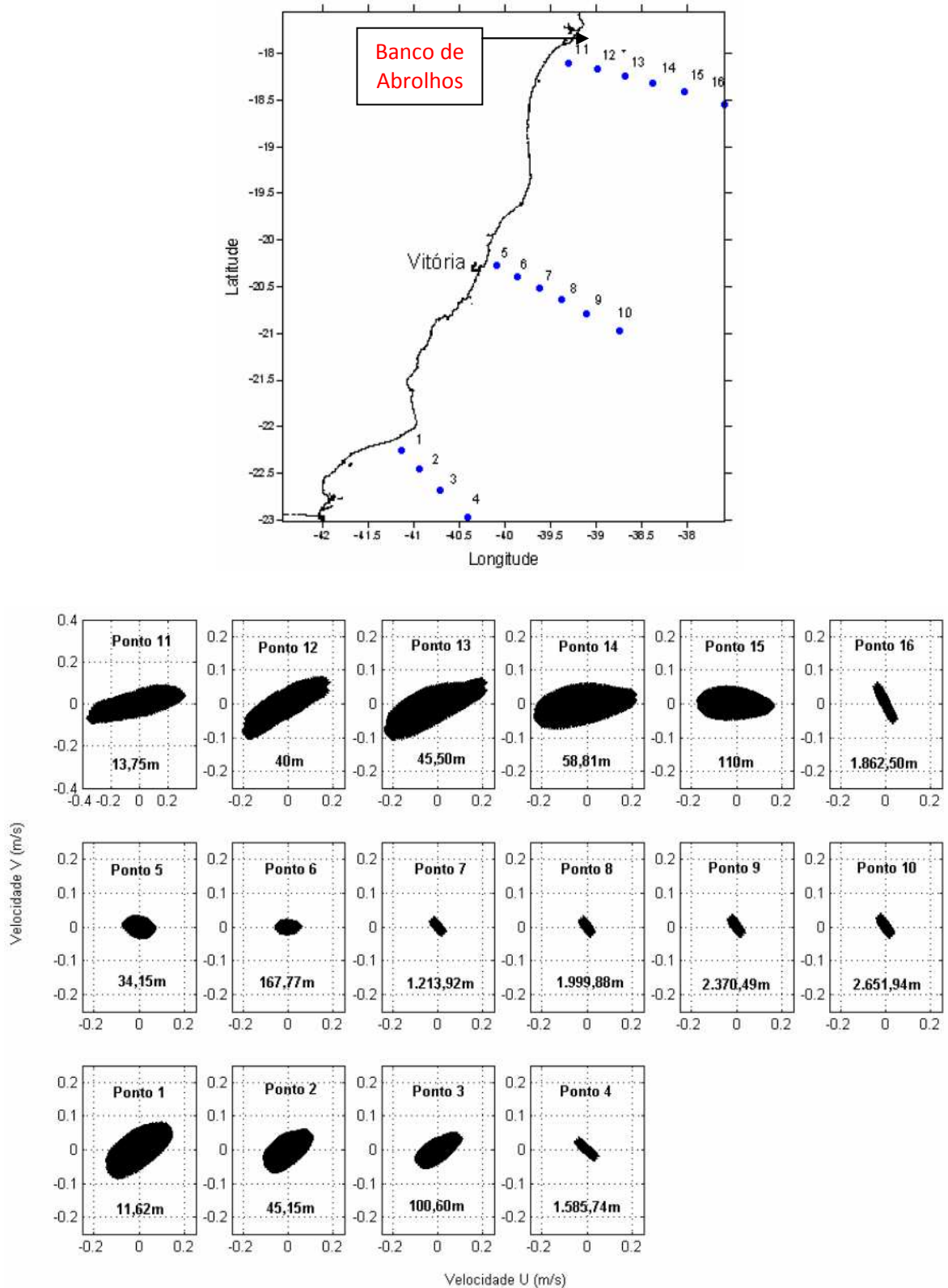


Figura 7.2: Profundidade e distribuição das componentes de velocidade  $u$  e  $v$  superficial no sistema cartesiano para cada ponto analisado. Observou-se o direcionamento nordeste e sudoeste para os pontos localizados até os 1.000m de profundidade (1, 2, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15), e direcionamento noroeste e sudeste para os pontos em profundidade acima de 1.000m (4, 7, 8, 9, 10, 16). Fonte: Lemos (2006).



### *7.2.3.2 Simulações com óleo intermediário*

Os resultados com óleo intermediário mostraram um padrão distinto em relação aos resultados com óleo leve. As análises mostraram que, os cenários de derramamento com óleo intermediário permaneceram como os cenários de maior risco.

Esse resultado encontrado mostrou que o óleo intermediário, por ser constituído predominantemente de componentes de alta viscosidade e peso molecular (menos sujeito à evaporação do que o óleo leve), apresentou os cenários mais críticos de derramamento com a presença de processos supra-inerciais nos blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2 e J-M-259, onde a energia hidrodinâmica de processos turbulentos de pequena escala temporal espalharam o óleo superficial para uma área maior (atingiu 30 e 20% a mais de probabilidade de atingir as porções oeste da Área de Proteção Ambiental e Zona de Amortecimento 1 em comparação às simulações com a ausência de processos supra-inerciais nas simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1). Assim, presumiu-se que a utilização de dados hidrodinâmicos sem os processos associados às marés nas simulações de derramamento de óleo intermediário no período de verão não irá permitir encontrar os piores cenários de risco ambiental na região, visto que esses cenários críticos só foram encontrados com a presença dos processos supra-inerciais, desta forma, subestimando os cenários reais de derramamento.

## *7.3 Período sazonal de inverno*

### *7.3.1 Presença de processos supra-inerciais*

#### *7.3.1.1 Simulações com óleo leve*

Os dados mostraram que, com a utilização do óleo leve nas simulações de inverno com a presença dos processos supra-inerciais os únicos locais críticos de derramamento foram os blocos da Bacia de Cumuruxatiba, devido à alta proximidade ao Banco de Abrolhos e APA Ponta das Baleias, principalmente nas simulações de vazamento

realizadas no bloco BM-CUM-1, onde existiu até 40% de chances do óleo superficial atingir a área do Banco de Abrolhos através da Zona de Amortecimento 2. Esse bloco também mostrou o pior cenário referente à tonelagem de óleo presente por célula de 10 km<sup>2</sup> (atingindo o máximo de 3.0 toneladas em alguns locais nas porções da Área de Proteção Ambiental e da Zona de Amortecimento 2), ao tempo mínimo de chegada do óleo superficial às áreas de proteção (atingiu a porção leste da Zona de Amortecimento 2 depois de 4 dias de início do derramamento) e ao máximo tempo de exposição atmosférica do óleo (2 dias de exposição superficial em alguns locais nas porções da Zona de Amortecimento 2).

O bloco BM-CUM-1 também mostrou os piores resultados referentes à profundidade máxima de mistura, onde o óleo ultrapassou os 20m de profundidade em quase todas as áreas, e chegou a atingir toda a coluna d'água em alguns locais das porções leste e oeste da Zona de Amortecimento 2 (profundidades próximas a 50m). O bloco BM-CUM-2 apresentou resultados críticos somente na porção leste da Zona de Amortecimento 2, onde mesmo com resultados menos expressivos em relação aos do bloco BM-CUM-1, o óleo superficial atingiu a área de proteção com 5% de probabilidade nesse cenário.

Nenhum resultado probabilístico de chegada do óleo superficial nas áreas de proteção ambiental foi encontrado para as simulações de derramamento nos blocos da Bacia do Jequitinhonha, Bacia do Espírito Santo e para os blocos não licenciados.

#### *7.3.1.2 Simulações com óleo intermediário*

Os dados mostraram resultados mais críticos com a utilização do óleo intermediário do que com a utilização do óleo leve nas simulações de derramamento no período de inverno (o óleo atingiu as áreas de proteção em mais locais de origem de derramamento - bloco J-M-259 e blocos não licenciados CT-2 e CT-3), onde os locais que ofereceram mais riscos foram principalmente o bloco BM-CUM-1 da Bacia de Cumuruxatiba e o bloco não licenciado CT-3, seguidos pelo bloco BM-CUM-2 e bloco não licenciado CT-2. O bloco BM-CUM-1 mostrou o pior cenário das simulações com o óleo superficial atingindo 40% de probabilidade de atingir a Zona de Amortecimento 2. Valor similar foi encontrado nas simulações de derramamento no CT-3, onde o óleo atingiu 30% de probabilidade de atingir a porção leste da Zona de Amortecimento 1. Altos valores

referentes à tonelagem de óleo por célula de 10 km<sup>2</sup> foram encontrados nas simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 (atingindo o máximo de 5.0 toneladas em alguns locais na porção oeste da Zona de Amortecimento 1 e em todas as porções da Zona de Amortecimento 2) e no CT-3 (atingindo o máximo de 3.0 toneladas em alguns locais na Zona de Amortecimento 1 e na porção leste da Área de Proteção Ambiental). Nas simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 o tempo mínimo de chegada do óleo superficial nas porções leste da Zona de Amortecimento 2 e Área de Proteção Ambiental foi de 2 e 4 dias, respectivamente.

O bloco não licenciado CT-3 também mostrou dados críticos referentes ao mínimo tempo de chegada do óleo superficial, onde o petróleo atingiu a porção leste da Zona de Amortecimento 1 em 2 dias, e a porção leste da Área de Proteção Ambiental em 4 dias.

A camada de mistura do óleo preencheu quase toda a coluna d'água (aproximadamente 51.5m na plataforma interior) na Zona de Amortecimento 2, na porção leste da Área de Proteção Ambiental e na porção oeste da Zona de Amortecimento 1 nos cenários de derramamento no bloco BM-CUM-1. Nas simulações no bloco não licenciado CT-3 o óleo não chegou a preencher toda a coluna d'água, ficando restrito em aproximadamente 15m de profundidade em alguns locais da Área de Proteção Ambiental e na porção oeste da Zona de Amortecimento 1. Porém, na porção leste da Zona de Amortecimento 1 o óleo preencheu grande parte da coluna d'água, atingindo 31.9m de profundidade.

Os dados de derramamento referentes aos blocos BM-CUM-2 e CT-2 são menos expressivos comparados aos demais locais simulados, oferecendo menor risco do óleo atingir as áreas de proteção ambiental. Nenhum resultado probabilístico de chegada do óleo superficial nas áreas de proteção foi encontrado para as simulações de derramamento nos blocos da Bacia do Jequitinhonha, Bacia do Espírito Santo e para o bloco não licenciado CT-1.

### *7.3.1.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

Os resultados comparativos mostraram que as simulações que usaram óleo intermediário apresentaram os cenários de pior caso. As propriedades físico-químicas desse óleo justificaram esses resultados, onde sua maior densidade e viscosidade em

comparação com óleo leve implicaram em menores taxas de evaporação, permitindo que o óleo permanecesse por mais tempo no ambiente e, conseqüentemente, por mais tempo sujeito ao arraste do vento e correntes superficiais. A Figura 6.14 confirma essa informação, onde aproximadamente 40% do total de óleo leve derramado evaporou em média das 80 simulações probabilísticas, enquanto que aproximadamente 36% do total de óleo intermediário evaporou.

A diferença de probabilidade máxima superficial nas simulações com os dois tipos de óleos não atingiu um valor alto, como por exemplo, as simulações no bloco BM-CUM-1, onde os cenários de derramamento com óleo intermediário tiveram 10% a mais de probabilidade do óleo superficial atingir a porção leste da Área de Proteção Ambiental e oeste da Zona de Amortecimento 1 em comparação com as simulações com óleo leve. Entretanto, a tonelagem máxima por célula de 10km<sup>2</sup> atingiu diferenças maiores entre os dois tipos de óleos. A Tabela 6.11 mostrou que, em toda Zona de Amortecimento 2 e porções leste e oeste da Zona de Amortecimento 1 as simulações de derramamento com óleo intermediário no bloco BM-CUM-1 chegaram a preencher, respectivamente, 2.9, 2.0 e 2.0 toneladas a mais em algumas células de 10km<sup>2</sup> em comparação com as simulações que utilizaram óleo leve.

Os dados comparativos referentes ao tempo mínimo de chegada do óleo superficial mostraram que nas simulações que utilizaram óleo intermediário o petróleo atingiu as áreas de proteção em menor tempo, como mostraram as simulações no bloco BM-CUM-1 da Tabela 6.11, onde o óleo atingiu toda a Área de Proteção Ambiental e a porção oeste da Zona de Amortecimento 1 com 6 dias de antecedência do que as simulações com óleo leve.

Em relação ao tempo máximo de exposição atmosférica os resultados mostraram que todas as simulações que utilizaram óleo intermediário o petróleo permaneceu 1 dia a mais no ambiente. A Figura 6.14 explica essa informação, onde a média das 80 simulações mostraram que o óleo intermediário superficial permaneceu em contato com a atmosférica em maior quantidade do que o óleo leve.

As simulações de derramamento com óleo leve nos blocos não licenciados não mostraram nenhum risco de contaminação às áreas de proteção ambiental, porém, com a utilização de óleo intermediário, os blocos não licenciados CT-2 e CT-3 apresentam riscos significativos em todas as áreas de preservação, principalmente na Área de

Proteção Ambiental e Zona de Amortecimento 1, por serem áreas mais próximas do local de origem do derramamento. O bloco ES-M-418 não apresentou nenhum risco de contaminação às áreas de proteção ambiental com a utilização de ambos os óleos.

### *7.3.2 Ausência de processos supra-inerciais*

#### *7.3.2.1 Simulações com óleo leve*

Os dados das simulações com óleo leve e ausência dos processos supra-inerciais mostraram os piores cenários de derramamento nos blocos da Bacia de Cumuruxatiba, principalmente no bloco BM-CUM-1. Nesse bloco o derramamento com óleo leve apenas não atingiu a Zona de Amortecimento 1, por se encontrar mais distante em comparação com as demais áreas de proteção. Os cenários mostraram que o óleo superficial atingiu a porção leste da Zona de Amortecimento 2 com máximo de 30% de probabilidade. As simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 apresentaram os piores cenários nessa área (devido à proximidade), onde o óleo leve atingiu em alguns locais 5.0 toneladas por célula de 10km<sup>2</sup> e uma profundidade máxima de mistura de até 50.5m em alguns locais da porção leste.

Os cenários de derramamento no bloco BM-CUM-2 apresentaram riscos somente na Zona de Amortecimento 1 e na porção leste da Área de Proteção Ambiental. Os cenários de simulações nos blocos da Bacia do Jequitinhonha (J-M-259) e do Espírito Santo (ES-M-418) não apresentaram nenhum risco de contaminação às áreas de proteção nas simulações com óleo leve na ausência de processos supra-inerciais.

#### *7.3.2.2 Simulações com óleo intermediário*

Os resultados das simulações com óleo intermediário com a ausência dos processos supra-inerciais mostraram os piores cenários referentes aos blocos da Bacia de Cumuruxatiba, principalmente nos cenários de derramamento no bloco BM-CUM-1. As simulações nesse bloco apresentaram os resultados mais críticos, onde o óleo

intermediário superficial atingiu 30% de probabilidade de atingir a porção leste da Zona de Amortecimento 2, onde o óleo chegou em apenas 4 dias após o início do derramamento. Os piores resultados referentes à profundidade máxima de mistura também foram com as simulações nesse bloco, aonde o óleo chegou a preencher quase toda a coluna d'água em 51.3 e 20.3m em alguns locais, na porção leste da Zona de Amortecimento 2 e na porção oeste da Zona de Amortecimento 1, respectivamente.

### *7.3.2.3 Análise comparativa entre simulações com óleo leve e intermediário*

Os dados comparativos mostraram que as simulações probabilísticas com dados hidrodinâmicos filtrados de inverno apresentaram os piores cenários com a utilização de óleo leve nas simulações. As principais diferenças foram encontradas na Área de Proteção Ambiental, onde derramamentos com óleo leve no bloco BM-CUM-1 atingiram a área com 5 e 15% a mais de probabilidade e 2.0 toneladas a mais por célula de 10km<sup>2</sup> em comparação com as simulações com óleo intermediário, nas porções leste e oeste respectivamente. Os piores cenários com a utilização de óleo intermediário nas simulações foram encontrados principalmente na porção oeste da Zona de Amortecimento 1, nas simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1.

Estes resultados foram encontrados devido à ausência dos processos supra-inerciais (incluindo a maré) e também ao padrão hidrodinâmico do período de inverno. A remoção da maré, como um dos processos de mistura turbulenta e instabilidades na zona de plataforma média e interior, implicou no aumento da importância da forçante do vento no destino do óleo sobre a plataforma continental, e como a densidade do óleo leve é inferior em relação ao óleo intermediário, o primeiro tendeu a se espalhar para áreas mais distantes. No inverno, como as temperaturas do ar são mais baixas, o óleo leve sofreu menos evaporação e permaneceu por mais tempo no ambiente, favorecendo em seu espalhamento (comparação entre as Figuras 6.9 e 6.14). Em contrapartida, presumiu-se que, o óleo intermediário por ser mais denso e viscoso, foi menos impulsionado pelo vento em comparação com o óleo leve, sendo espalhado para distâncias menores.

Presumiu-se que os processos de emulsificação também se tornaram mais importantes em temperaturas mais baixas e com óleos mais viscosos, dessa forma o óleo

intermediário mostrou maior tendência de formar parcelas de emulsões água-óleo. As Figuras 6.9 e 6.14 mostraram o processo sedimentação (o qual é diretamente ligado ao processo de emulsificação), onde o óleo intermediário vai para o sedimento em maior quantidade (aproximadamente 45% e 42% para os blocos BM-CUM-1 e BM-CUM-2) do que o óleo leve (aproximadamente 38% e 39% para os blocos BM-CUM-1 e BM-CUM-2). Essas emulsões, por serem mais densas que a água ao redor, afundaram e se depositaram no sedimento, retirando o óleo intermediário das camadas superficiais da coluna d'água.

Os piores cenários de derramamento com óleo intermediário ocorreram na porção oeste da Zona de Amortecimento 1, principalmente devido à hidrodinâmica sem os efeitos supra-inerciais. Como mostra a Figura 7.3, o padrão hidrodinâmico de inverno no dia 30/05/1985 sem os efeitos supra-inerciais mostrou as maiores velocidades de correntes superficiais referentes à Corrente do Brasil ao largo da zona de quebra de plataforma. Desta forma, com a ausência de fenômenos de alta frequência a Corrente do Brasil exerceu maior arraste sobre óleos intermediários (mais densos e viscosos do que óleos leves) derramados no mar do que o vento. Como a porção oeste da Zona de Amortecimento 1 encontra-se mais *offshore* dentre todas as áreas de proteção ambiental, a Corrente do Brasil impulsionou maior arraste sobre o óleo intermediário para essa porção, determinando o pior cenário.

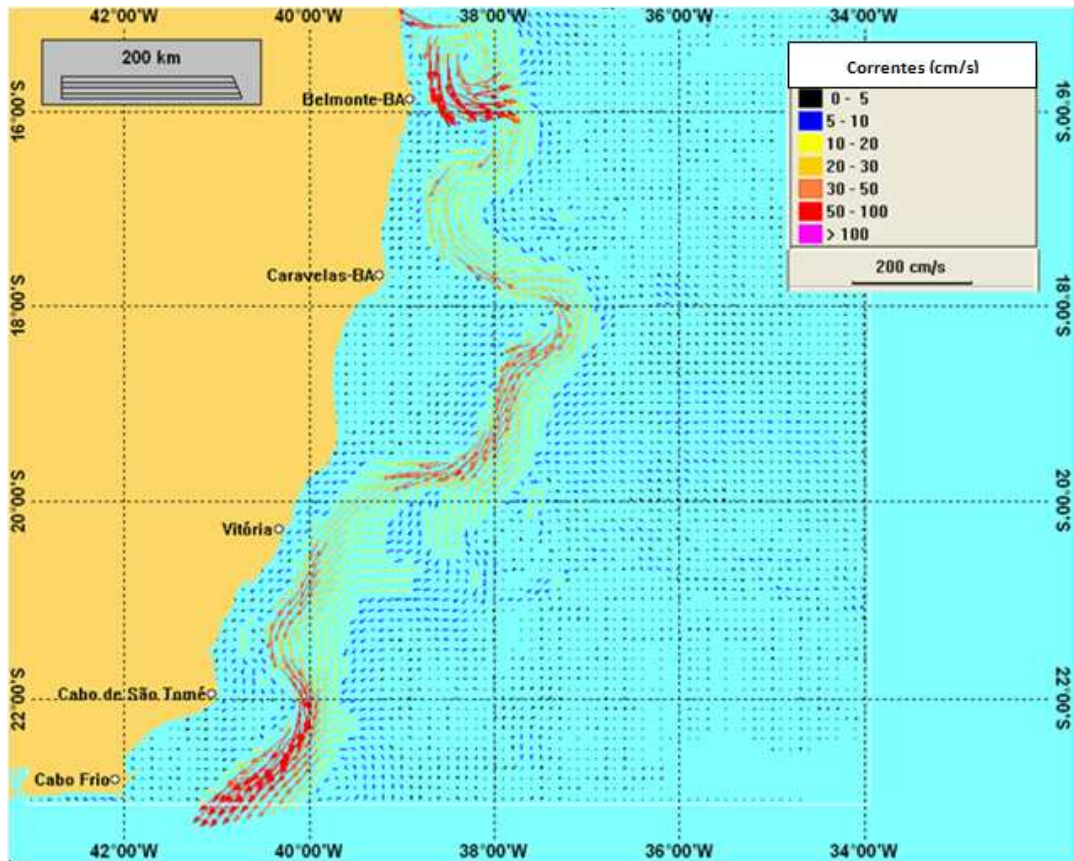


Figura 7.3. Padrão de circulação superficial filtrada de inverno no dia 30/05/89.

### 7.3.3 Análise comparativa entre simulações com presença e ausência de processos supra-inerciais

#### 7.3.3.1 Simulações com óleo leve

Observou-se nos resultados que não existiu nenhum padrão dominante nos resultados das simulações de derramamento de óleo leve com a presença ou ausência dos efeitos supra-inerciais na hidrodinâmica da região de estudos no período de inverno.

Contudo, os resultados comparativos das simulações mostraram que os resultados de derramamento no bloco BM-CUM-1 apresentaram, de maneira geral, os piores cenários com a presença dos processos supra-inerciais, enquanto que os resultados de derramamento no bloco BM-CUM-2 apresentaram os piores cenários com a ausência dos processos supra-inerciais. Estes resultados são devidos, provavelmente, à



localização geográfica dos dois blocos e do sentido nordeste/sudoeste das elipses de maré na região (LEMOS, 2006).

Seguindo o mesmo padrão já mencionado, segundo o estudo de Lemos (2006) as componentes  $u$  e  $v$  da velocidade das correntes de maré na região próxima ao Banco de Abrolhos seguem a forma de uma elipse de direcionamento nordeste/sudoeste em profundidades até 1.000m. Assim, como o bloco BM-CUM-1 localiza-se ao norte das áreas de proteção ambiental, as elipses de maré combinadas com os ventos predominantemente nordestes da região formaram uma resultante que direcionou o óleo para essas áreas sobre a plataforma continental, onde gerou os piores cenários com a presença dos processos supra-inerciais.

Em situação contrária, o bloco BM-CUM-2 localiza-se a leste/nordeste das áreas de proteção e, assim, as elipses de maré influenciadas pelo vento nordeste/leste da região, o vórtice de Abrolhos e a Corrente do Brasil ao largo da quebra de plataforma tenderiam a afastar o óleo das áreas de proteção ambiental, direcionando-o para o sul/sudoeste. Porém, com a ausência dos processos supra-inerciais, o direcionamento do óleo derramado no bloco BM-CUM-2 para esses quadrantes diminuiu de intensidade e, portanto, o óleo penetrou sobre a plataforma continental impulsionado principalmente pelo vento nordeste/leste, e atingiu as áreas de proteção ambiental gerando os piores cenários com a ausência dos processos supra-inerciais. A interação esquemática dos principais processos oceanográficos e o padrão de ventos na região são mostrados na Figura 7.4.

Os dados diferenciais referentes à probabilidade do óleo superficial apresentaram pequenas diferenças, onde as simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 que utilizaram os fenômenos de alta frequência apresentaram 20% a mais de probabilidade do óleo superficial atingir as porções oeste da Zona de Amortecimento 1 e 2.

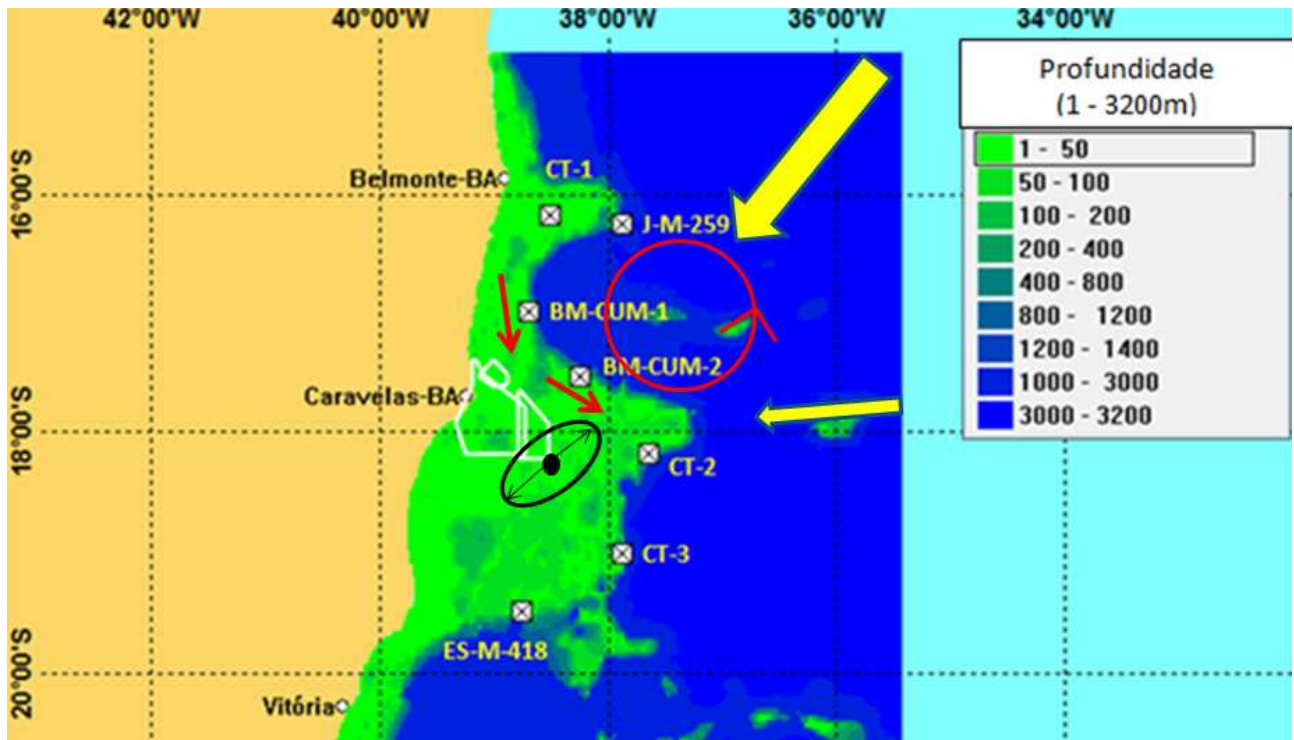


Figura 7.4: Principais processos oceanográficos influenciando no destino do óleo na região de estudos. As setas vermelhas indicam a Corrente do Brasil, o círculo vermelho representa o Vórtice de Abrolhos, a elipse em preto indica o comportamento da maré naquela região e as setas amarelas indicam a direção e intensidade dos ventos padrões. Em verde é representada a batimetria e o x representa o ponto de derramamento nos blocos escolhidos.

As diferenças encontradas nos dados de máxima profundidade de mistura do óleo atingiram altos valores, onde o óleo preencheu aproximadamente 20 e 30m a mais de coluna d'água nas simulações com a presença dos processos supra-inerciais nas simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 nas porções oeste da Zona de Amortecimento 1 e 2.

### 7.3.3.2 Simulações com óleo intermediário

Os resultados com a utilização de óleo intermediário seguiram o mesmo padrão dos dados encontrados com o óleo leve, com a predominância de piores cenários com a presença de processos supra-inerciais nas simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 e com a ausência de processos supra-inerciais nas simulações no bloco BM-CUM-2.

Entretanto, os dados com a utilização de óleo intermediário apresentaram valores maiores, principalmente referentes à probabilidade máxima superficial de ocorrência do óleo e da profundidade máxima de mistura, em relação aos dados com utilização de óleo leve.

As probabilidades do óleo superficial atingir as porções oeste das Zonas de Amortecimento 1 e 2 e a porção leste da Área de Proteção Ambiental foram 20% maiores do que nos cenários sem os processos supra-inerciais, nas simulações realizados no bloco BM-CUM-1.

Essas diferenças encontradas nos dados com ausência e presença dos processos supra-inerciais nas simulações com o óleo intermediário foram maiores em comparação com as simulações com óleo leve devido principalmente às propriedades físico-químicas do óleo mais denso. A importância do papel dos fenômenos de alta frequência como forçantes nos derramamentos de petróleo é maior em óleos mais densos, pois a maré, por proporcionar maior energia de mistura e turbulência sobre a plataforma continental do que em áreas oceânicas, misturou o óleo denso na coluna d'água mais rapidamente do que o óleo leve (maiores diferenças encontradas na porção leste da Área de Proteção Ambiental - 48.8m - e na porção oeste da Zona de Amortecimento 2 - 44.4m). Desta forma, presumiu-se que na presença da maré o óleo leve tendeu a se dissolver mais superficialmente, aumentando a superfície livre de contato com a atmosfera e evaporando mais rapidamente.

A ausência da maré nas simulações com óleo mais denso causou as maiores diferenças devido também ao arraste do vento. Nos cenários de ausência de processos supra-inerciais, o vento teve papel menos importante no arraste superficial do óleo de maior viscosidade sobre a plataforma continental, onde as correntes de maré teriam maior energia para transportar o óleo mais denso.

#### *7.4 Análise comparativa entre simulações de verão e inverno*

A análise comparativa sazonal mostrou as principais diferenças entre as simulações de verão e inverno que utilizaram óleo leve e intermediário, a fim de se identificar quais os piores cenários possíveis das simulações numéricas de derramamento de óleo nos dois períodos sazonais.

#### 7.4.1 Simulações com óleo leve

Os resultados comparativos mostraram que as simulações de derramamento com a utilização de óleo leve foram distintas entre os períodos de verão e inverno. Observou-se que os derramamentos simulados no bloco BM-CUM-1 tiveram, de modo geral, os piores cenários no período de inverno, enquanto que no período de verão os piores cenários foram aqueles com origem no bloco BM-CUM-2. Essas diferenças encontradas foram em função, além da origem geográfica do derramamento, dos padrões hidrodinâmicos de verão e inverno e das características físico-químicas do óleo leve.

A Corrente do Brasil mostrou uma maior intensificação iniciando-se em aproximadamente 18°S ao largo da zona de quebra de plataforma, principalmente no período de verão. Desta forma, a Corrente do Brasil exerceu maior influência no transporte do óleo derramado no bloco BM-CUM-2 por encontra-se mais ao sul (próximo a 18°S) em relação ao bloco BM-CUM-1. Assim, os piores cenários de derramamento de óleo leve foram encontrados no verão em vazamentos no bloco BM-CUM-2, onde o óleo superficial atingiu as porções leste e oeste da Zona de Amortecimento 1 com 45 e 50% a mais de probabilidade, respectivamente, em comparação com as simulações de inverno.

Durante o inverno, a Corrente do Brasil foi menos intensa e com maiores instabilidades de vórtices e meandros, principalmente acima de 18°S. Esse padrão hidrodinâmico é desfavorável à aproximação do óleo para as áreas de proteção ambiental, as quais encontram-se ao sul e sudoeste em relação aos blocos da Bacia de Cumuruxatiba e, assim, o óleo leve derramado no bloco BM-CUM-2 não atingiu essas áreas nas simulações de inverno. As simulações de derramamento realizadas no bloco BM-CUM-1 mostraram que o óleo leve atingiu as áreas de proteção ambiental, onde a possível explicação é que o óleo menos denso apresentou menos evaporação no inverno do que no verão devido às diferenças de temperatura do ar (ficando por mais tempo sujeito ao arraste do vento e correntes superficiais). Outra explicação diz respeito à localização geográfica, pois o bloco BM-CUM-1 localiza-se mais próximo das áreas de proteção ambiental em comparação com o bloco BM-CUM-2. Os dados de derramamento no período de inverno no bloco BM-CUM-1 mostraram que o óleo leve superficial atingiu as porções leste e oeste da Zona de Amortecimento 1 com 5 e 15% a mais de probabilidade do que no período de verão, respectivamente.

O óleo atingiu a coluna d'água em todas as áreas de preservação, onde as simulações de derramamento no bloco BM-CUM-1 mostraram os piores resultados no inverno em comparação com o verão, com o óleo leve atingindo uma profundidade de mistura de 25.4 e 19.6m a mais nas porções oeste e leste da Área de Proteção Ambiental, respectivamente. Já os resultados de derramamento no bloco BM-CUM-2, se destacaram os cenários mais críticos na Zona de Amortecimento 1, onde o óleo superficial teve 50 e 45% a mais de probabilidade de atingir a área no período de verão nas porções oeste e leste, respectivamente, e onde foram encontradas as maiores profundidades de mistura (49 e 31.9m a mais no período de verão nas porções leste e oeste, respectivamente).

#### *7.4.2 Simulações com óleo intermediário*

Os resultados comparativos mostraram que as simulações com óleo intermediário apresentaram os cenários mais críticos no período de verão nos blocos licenciados pela ANP e no período de inverno nos blocos não licenciados. Essas diferenças foram encontradas principalmente em função da origem geográfica do derramamento e dos padrões hidrodinâmicos de verão e inverno, além das características físico-químicas do óleo intermediário.

Os resultados de derramamento de óleo intermediário no bloco J-M-259 da Bacia do Jequitinhonha mostraram que apenas nos cenários de verão com utilização de óleo mais denso é que o petróleo atingiu todas as áreas de proteção ambiental. O mesmo padrão de resultados das simulações também foi encontrado nos cenários de derramamento nos blocos da Bacia de Cumuruxatiba (BM-CUM-1 e BM-CUM-2), atingindo as áreas de proteção ambiental principalmente no verão. Os piores cenários foram observados na Zona de Amortecimento 1 nos derramamentos no bloco BM-CUM-2, onde as probabilidades do óleo intermediário atingir as porções leste e oeste foram 60 e 75% a mais no período de verão, respectivamente. As maiores diferenças de profundidade de mistura do óleo na coluna d'água em derramamentos nesse bloco foram encontradas na porção leste e oeste (51.5m a mais de profundidade no período de verão) da Área de Proteção Ambiental e Zona de Amortecimento 1, respectivamente.

Esses resultados foram encontrados devido ao fator combinado de duas características: a Corrente do Brasil torna-se mais intensa no verão (espalhando o óleo para os quadrantes sul e sudoeste com maior intensidade) e onde o óleo intermediário evapora-se menos em relação ao óleo leve, permitindo-o que permaneça por mais tempo na superfície e seja transportado pela Corrente do Brasil e pelo vento nordeste/leste para áreas mais distantes da origem do derramamento.

Os resultados de derramamento no bloco não licenciado CT-3 também mostraram que o óleo intermediário atingiu todas as áreas de proteção ambiental. Os cenários mais críticos foram encontrados no inverno na Zona de Amortecimento 1 (área de proteção ambiental mais próxima ao bloco não licenciado CT-3) com a probabilidade do óleo superficial atingir as porções leste e oeste com 30 e 20% a mais do que as simulações no período de verão, respectivamente. Os dados do bloco não licenciado CT-2 também mostraram riscos à porção leste da Zona de Amortecimento 1, mesmo em menor intensidade, com probabilidade do óleo superficial atingir essa porção 5% a mais no inverno do que no verão.

Em ambos os blocos não licenciados, o óleo intermediário atingiu as áreas de proteção principalmente devido às instabilidades de vórtices e meandros próximos a 18°S no período de inverno, como mostra a Figura 7.5. Essas instabilidades e o enfraquecimento da Corrente do Brasil no inverno associadas às correntes de maré sobre a plataforma continental favoreceram o destino do óleo para nordeste/leste nos cenários de derramamento com óleo intermediário nesses blocos não licenciados.

Segundo os cenários probabilísticos de derramamento de óleo leve e intermediário no verão e inverno, o pior período sazonal para a ocorrência de um derramamento foi no verão, com a utilização de óleo intermediário.

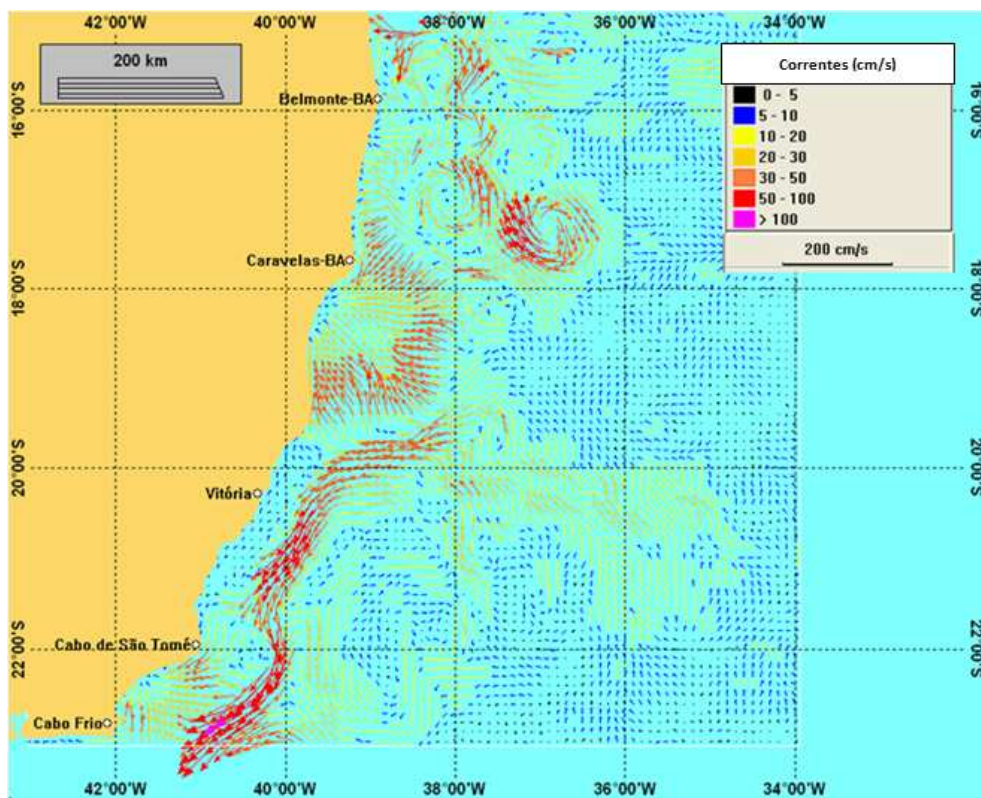


Figura 7.5: Padrão de circulação superficial de inverno nos dias 13/07/89.

## ***CAPÍTULO 8: CONCLUSÃO***



Conclui-se pelo presente trabalho que a determinação da zona de exclusão para as atividades de exploração e produção (E&P) de petróleo na região do Banco de Abrolhos e adjacências usando o modelo numérico de derramamento de óleo OSCAR foi satisfatória utilizando as estratégias de simulações apresentadas anteriormente.

Os dados hidrodinâmicos do modelo POM mostraram a distribuição sazonal das correntes superficiais na região, com o período de verão correspondendo às maiores velocidades da Corrente do Brasil (CB) ao largo da zona de quebra de plataforma. Nesse período também foi observada a estável continuidade da CB em toda a área de estudos, com a presença de poucas instabilidades ao norte de  $18^{\circ}\text{S}$  referentes a presença de vórtices e meandros. Também foi observada a presença do Vórtice de São Tomé próximo à  $22^{\circ}\text{S}$  e o início da formação do Vórtice de Royal Charlotte próximo à  $17^{\circ}\text{S}$ .

No período de inverno o padrão hidrodinâmico da região de estudos mostrou-se diferente do período de verão segundo os dados do modelo POM. Nesse período sazonal se destacou as fortes instabilidades presentes ao norte de  $18^{\circ}\text{S}$ , com a presença acentuada e bem desenvolvida do Vórtice de Ilhéus, em aproximadamente  $16^{\circ}\text{S}$ , e o Vórtice de Royal Charlotte em aproximadamente  $17^{\circ}\text{S}$ . Nessa região também se verificou a descontinuidade e enfraquecimento da CB ao largo da zona da quebra de plataforma. Ao sul de  $18^{\circ}\text{S}$  a CB estabilizou-se novamente, porém com algumas porções tendendo a fluir para o norte com as correntes de maré, e também a completa ausência do Vórtice de São Tomé. Esses padrões hidrodinâmicos de corrente superficial no período de verão e inverno mostraram-se determinantes no destino do espalhamento do óleo superficial na região de estudos.

A aplicação de um filtro de 40 horas para a remoção dos processos de alta frequência nos dados hidrodinâmicos do modelo POM mostrou-se adequada ao presente estudo como novas fontes de forçantes externas ao sistema para as simulações de derramamento de óleo.

Concluiu-se que a maré influenciou fortemente nos resultados probabilísticos de destino do óleo nos cenários de derramamento. Muitos fatores mostraram influenciar o destino do espalhamento do óleo com a presença e ausência dos processos supra-inerciais, como a localização geográfica do derramamento, o tipo do óleo utilizado nas simulações, os ventos predominantes e o comportamento da maré na região. Na região

do Banco de Abrolhos, por apresentar alta energia hidrodinâmica associada aos fenômenos de maré, as elipses impulsionaram o óleo preferencialmente para oeste/sudoeste, juntamente com o vento nordeste. Desta forma, no período de verão, os piores cenários de derramamento com óleo leve e intermediário no bloco BM-CUM-1 da Bacia de Cumuruxatiba foram encontrados com a presença dos processos supra-inerciais, ou seja, utilizar uma forçante hidrodinâmica sem a maré não permitiria encontrar os piores cenários de derramamentos nesse bloco, subestimando os resultados reais. Esse bloco também apresentou alta proximidade às áreas de proteção ambiental do Banco de Abrolhos e APA Ponta das Baleias, intensificando os cenários críticos de derramamento. Nas simulações de verão de derramamento no bloco BM-CUM-2 os resultados mais críticos foram encontrados com a ausência dos processos supra-inerciais, ou seja, em cenários reais de derramamento com a presença da maré os resultados serão menos críticos do que com a ausência da maré, mostrando a dependência dos resultados da base hidrodinâmica.

Nas simulações de derramamento no bloco J-M-259 da Bacia do Jequitinhonha no mesmo período sazonal o óleo apenas chegou às áreas de proteção ambiental com a presença dos processos supra-inerciais, ou seja, retirando a maré dos dados hidrodinâmicos não foi possível observar tal resultado.

No inverno, as simulações com óleo leve e intermediário apresentaram o mesmo padrão, onde a ausência dos processos supra-inerciais mostrou os piores resultados finais de espalhamento do óleo apenas nos derramamentos do bloco BM-CUM-2 da Bacia de Cumuruxatiba, ou seja, retirando a maré dos dados hidrodinâmicos no período de inverno não foi possível observar os piores cenários de derramamento no bloco BM-CUM-1 e J-M-259, os quais só mostraram os piores cenários com a presença da maré. Assim, de maneira geral, as simulações numéricas de derramamento de óleo que não utilizarem os fenômenos de alta frequência nos dados hidrodinâmicos não irão observar os piores cenários de vazamento de óleo.

Os blocos licenciados e não licenciados utilizados nas estratégias de simulações apresentaram resultados satisfatórios em relação aos locais de risco em caso de derramamento de óleo. Os blocos que mais ofereceram riscos de contaminação do óleo às áreas de proteção foram o BM-CUM-1 e o BM-CUM-2 da Bacia de Cumuruxatiba nas simulações com óleo leve (BM-CUM-1 no inverno e BM-CUM-2 no verão) e intermediário (verão para ambos), onde em todos os cenários analisados no presente estudo o óleo

atingiu alguma porção das áreas de proteção ambiental. Segundo os dados diferenciados entre verão e inverno das Tabelas 6.16 e 6.17 com simulações com óleo leve e intermediário, respectivamente, o pior período sazonal para ocorrência de um derramamento de óleo foi no verão com a utilização de óleo intermediário.

O bloco J-M-259 apresentou riscos somente nas simulações com óleo intermediário, principalmente no período de verão, tornando a Bacia do Jequitinhonha como área de altos índices de risco de contaminação somente em sua porção sul. Já o bloco ES-M-418 não apresentou nenhum risco às áreas de proteção em nenhum cenário de derramamento de óleo no presente estudo, colocando a porção norte da Bacia do Espírito Santo como área sem riscos de contaminação ao Banco de Abrolhos e adjacências.

Os blocos não licenciados se mostraram úteis no auxílio de melhor delimitar uma área de exclusão na região de estudos. O bloco não licenciado CT-1 foi o único cenário onde o óleo não atingiu as áreas de proteção, porém, como os resultados mostraram uma alta proximidade do óleo superficial a estas áreas, essa região da Bacia do Jequitinhonha pode representar áreas de risco de contaminação ao Banco de Abrolhos e adjacências em cenários de derramamento com quantidades maiores de vazão do óleo. O bloco não licenciado CT-2 apresentou riscos somente nas simulações de inverno com derramamento de óleo intermediário, delimitando essa porção da Bacia do Jequitinhonha como áreas de índices potenciais de contaminação às áreas de proteção ambiental. O bloco não licenciado CT-3 da Bacia do Espírito Santo apresentou riscos também somente no inverno e com simulações com óleo intermediário, enquadrando os limites norte dessa bacia como áreas de índices de contaminação ao Banco de Abrolhos e adjacências.

Pelo apresentado acima, concluiu-se que a zona de exclusão deva englobar todos os blocos licenciados e não licenciados de derramamento em que houve alguma contaminação às áreas de proteção, como os blocos BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259 e os blocos não licenciados CT-2 e CT-3. Assim, a zona de exclusão se estendeu desde os limites sul da Bacia do Jequitinhonha (aproximadamente 16°S) até os limites norte da Bacia do Espírito Santo (aproximadamente 19° 15'S). O limite leste é a zona de quebra de plataforma devido à forte hidrodinâmica da Corrente do Brasil na região e no limite oeste estabeleceu-se a zona costeira.

As conclusões podem ser resumidas na Tabela 8.1.

Tabela 8.1: Blocos licenciados pela ANP que ofereceram riscos de contaminação às áreas de proteção ambiental.

Período Sazonal	Padrão hidrodinâmico	Simulação	Blocos que ofereceram contaminação	Bloco que ofereceu cenário de pior caso
Verão	Presença da maré	Óleo leve	BM-CUM-1 e BM-CUM-2	BM-CUM-1
		Óleo intermediário	BM-CUM-1, BM-CUM-2 e J-M-259	BM-CUM-1
	Ausência da Maré	Óleo leve	BM-CUM-1 e BM-CUM-2	BM-CUM-2
		Óleo intermediário	BM-CUM-1 e BM-CUM-2	BM-CUM-1
Inverno	Presença da maré	Óleo leve	BM-CUM-1 e BM-CUM-2	BM-CUM-1
		Óleo intermediário	BM-CUM-1, BM-CUM-2, J-M-259, CT-2 e CT-3	BM-CUM-1
	Ausência da maré	Óleo leve	BM-CUM-1 e BM-CUM-2	BM-CUM-1
		Óleo intermediário	BM-CUM-1 e BM-CUM-2	BM-CUM-1

Por fim, recomenda-se que futuras simulações de derramamento de óleo devam ser realizadas na região de estudos com diferentes taxas e volumes de derramamento de óleo, tanto na Bacia do Espírito Santo quanto na Bacia do Jequitinhonha, para determinar com maior precisão quais outras localidades oferecem riscos ao Banco de Abrolhos e áreas adjacentes, configurando uma zona de exclusão com limites mais precisos.

## ***CAPÍTULO 9: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS***

AAMO, O.M.; REED, M. DAILING, P.S.; JOHANSEN, O. **A laboratory based weathering model.PC version for coupling to transport models**. In: Proceedings of the 16<sup>th</sup> AMOP Technical Seminar, Ottawa, Canada. p. 617-626. 1993.

AAMO, O.M.; REED, M.; DOWNING, K. **Oil spill contingency and response (OSCAR) model system: Sensitivity studies**. International oil spill conference. 1997.

ALBINO, J. **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação, ES**. Tese de doutorado - Programa de Pós-graduação e Geologia Sedimentar - Instituto de Geociências, USP. 1999.

ANDERSON, E.L.; ATKINSON, P. **Implementation of near real time shoreline wind station data for oil spill trajectory modeling: North Cape Spill, Rhode Island**. Applied Science Associates. 1996.

ANDERSON, E. **Oil spill modeling - Effective response & contingency planning tools**. Oil Spill Response. 1998.

ANSELL, D.V.; DICKS, B.; GUENETTE, C.C.; MOLLER, T.H.; SANTNER, R.S.; WHITE, I.C. **A review of the problems posed by spills of heavy fuel oils**. Paper presented at International Oil Spill Conference. 2001.

API - American Petroleum Institute. **Oil spill clean up: options for minimizing adverse ecological impacts**. Health and Environmental Science Department. N<sup>o</sup> 4435, p. 580. 1985.

ASMUS, H.E. **Banco de Abrolhos. Tentativa de interpretação genética**. Unpub. Report. PETROBRÁS/DEXPRO/DIVEX. 1970.

ASMUS, H.E.; PORTO, R. **Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, SBG – Belém, Pará – Anais. v. 2, p. 67-90. 1972.

ASMUS, H.E.; GUAZELLI, W. **Descrição sumária das estruturas da Margem Continental Brasileira e das áreas oceânicas adjacentes - hipóteses sobre o tectonismo causador, e implicações para os prognósticos de potencial de recursos minerais**. Série Projeto REMAC. v. 9, p. 187-269. 1981.

BASTOS, C.C.; FERREIRA, N.J. **Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul**. Universidade do Vale do Paraíba. 2005.

BEEGLE-KRAUSE, C.J. **GNOME: NOAA's next-generation spill trajectory model**. Hazardous Materials Response Division. p.1262-1266. 1998.

BENQUE, J.P.; HAUGUEL, A.; VIOLETT, P.L. **Engineering application of computational hydraulics**. Pitman advanced publishing program. p. 57-63. 1982.

BETHLEM, C.B.P.; MARINS, G.M.S.; TOZZI, H.A.M.; BUSOLI, R.O.; JUNIOR, S.W.C. **Informação Técnica ELPN/IBAMA nº 023/02: Modelagem de derramamento de óleo no mar**. Acordo de cooperação e apoio técnico-científico ANP/IBAMA - Ministério do Meio Ambiente. 2002.

BICEGO, M.C. **Contribuição ao estudo de hidrocarbonetos biogênicos e do petróleo no ambiente marinho**. Dissertação de Mestrado - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP). 1988.

BLUMBERG, A.F.; MELLOR, G.L. **A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model**. In: N. Heaps (Editor), Three-dimensional ocean models. American Geophysical Union. 1987.

BOEBEL, O.; DAVIS, R.E.; OLLITRAUT, M.; PETERSON, R.; RICHARD, P., SCHMID, C.; ZENK, W. **The intermediate depth circulation of the Western South Atlantic**. Geophysical Research. v. 21, p. 3329-3332. 1999.

BOEHM, P.D. **Transport and transformation processes regarding hydrocarbon and metal pollutants in offshore sedimentary environmental**. Elsevier Applied Science, London & New York. p. 233-287. 1987.

BUCKMASTER, C. **Viscous-gravity spreading of an oil slick**. Journal of Fluid Mechanics. N° 3. v. 59, p. 481-491. 1973.

CAMPOS, E.J.D.; YASSUDA, E. **Modelagem da circulação e da dispersão de manchas de óleo na região do Terminal de Tubarão - ES**. 1997.

CARDOSO, L.C. **Petróleo: Do poço ao posto**. Ed. Qualitymark - Rio de Janeiro. 2005.

CARVALHO, G.C. **Iniciação à química orgânica moderna**. Livraria Nobel, São Paulo. 1970.

CASTRO, B.M.; MIRANDA, L.B. **Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4° and 34°S coastal segment (4°W)**. In: Robinson, A.R. and Brink, K.H., (eds), *The Sea*. p. 209-251. 1998.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Derrames de óleo no mar: aspectos corretivos e preventivos**. 2003.

CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F. **Novos conceitos sobre o desenvolvimento das bacias marginais do Leste Brasileiro**. Origem e evolução das bacias sedimentares. PETROBRAS. p. 269-289. 1991.

CIRANO, M. **Técnicas para simulação de forçantes remotas em um modelo de circulação oceânica regional**. Workshop interno sobre modelagem de derramamento de óleo no mar (ANP/IBAMA). 2002.

CLARK, R.C.; BROWN, D.W. **Effects of petroleum on arctic and subarctic marine environments and organisms**. *Petroleum: properties and analysis in biotic and abiotic systems*. 1977.

CLEM, T. **Oceanographic effects on maritime threats: mines and oil spills in the strait of Hormuz**. Thesis - Monterey, California. 2007.

COOLING, A. **Ocean Circulation**. Ed. The Open University. Second Edition. p. 66-68. 2001.

CORDANI, U.G. **Idade do vulcanismo no Oceano Atlântico Sul**. Boletim do Instituto de Geociências e Astronomia - Universidade de São Paulo. v. 1, p. 9-76. 1970.

CORRÊA, O.L.S. **Petróleo: Noções sobre exploração, perfuração, produção e microbiologia**. Ed. Interciência. 2003.



COSTA, T.P. **Existe um Vórtice de Vitória Climatológico?**. Monografia de conclusão de curso - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IO/USP. 2007.

CUESTA, I.; GRAU, F.X.; GIRALT, F. **Numerical simulation of oil spills in a generalized domain.** Oil and chemical pollution. v. 7, p. 143-159. 1990.

DALING, P.; STROM, T. **Weathering of oil at sea: Model/Field data comparisons.** Spill Science & Technology Bulletin. N° 1. v. 5, p. 63-74. 1999.

DALING, P.S.; SINGSAAS, I.; REED, M.; HANSEN, O. **Experiences in dispersant treatment of experimental oil spills.** Spill Science & Technology Bulletin. N° 5-6. v. 7, p. 201-213. 2002.

DEFANT, A. **Die absolute topographie des phys.** Atl. Ozean. Meteor. Werk. v. 6(2), p. 191-250. 1941.

DIPIETRO, N.D.; HUH, C.; COX, R.G. **The hydrodynamics of the spreading of one liquid in the surface of another.** Journal of Fluid Mechanics. v. 81, p. 529-549. 1978.

DOWNING, K.; REED, M. **Object-oriented migration modeling for biological impact assessment.** Ecological Modeling. v. 93, p. 203-219. 1996.

EIA - Estudo de Impacto Ambiental. **Atividade de produção e escoamento de óleo e gás no Campo de Golfinho, Bacia do Espírito Santo: Impactos ambientais.** 2005.

EMILSON, I. **The shelf and coastal Waters off Southern Brazil.** Bolm. Inst. Oceanog. v. 7(2), p. 101-112. 1961.

ETKIN, D.S. **Comparative methodologies for estimating on-water response costs for marine oil spills.** Environmental Research Consulting. 1990.

EVANS, D.R.; RICE, S.P. **Effects of oil on marine ecosystem: a review for administrator and policy makers.** Fishery Bulletin. v. 72, p. 625-638. 1974.

EVANS, D.L.; SIGNORINI, S.S. **Vertical structure of the Brazil Current.** Nature. 1985.

FANNELOP, T.K.; WALDMAN, G.D. **Dynamics of oil slicks**. AIAA journal. N° 4. v. 10, p. 506-510. 1971.

FAY, J.A. **The spread of oil slicks on a calm sea**. Oil on the sea Plenum. p. 53-64. 1969.

FAY, J.A. **Physical processes in the spread of oil on a water surface**. Proceedings of the joint conference on prevention and control of oil spills. p. 463-467. 1971.

FINGAS, M.; FIELDHOUSE, B.; MULLIN, J. **Water-in-oil emulsions results of formation studies and applicability to oil spill modeling**. Spill Science and Technology Bulletin. N° 1. v. 5, p. 81-91. 1999.

FINGAS, M. **The basics of oil spill cleanup**. Ed. CRC Press LLC, 2<sup>a</sup> ed. 2001.

FINGAS, M.; FIELDHOUSE, B.; WANG, Z. **The long term weathering of water-in-oil emulsions**. Spill Science and Technology Bulletin. N° 2. v. 8, p. 137-143. 2003.

FISHER, W.L.; MORALES, R.G.; DELLA PIAZZA, H.; BROWN JR., L.F. **Sistemas deposicionais das bacias de Mucuri, Cumuruxatiba e Jequitinhonha**. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. p. 14-26. 1974.

FLOCH, S.L.; GUYOMARCH, J.; MERLIN, F.; STOFFYN-EGLI, P.; DIXON, J.; LEE, K. **The influence of salinity on Oil-mineral aggregate formation**. Spill Science and Technology Bulletin. N° 1. v. 8, p. 65-71. 2002.

FODA, M.; COX, R.G. **The spreading of a thin liquid film on a water-air interface**. Journal of Fluid Mechanics. v. 101, parte 1. p. 33-51. 1980.

FRAGOSO, M.D.R. **Um modelo numérico da circulação oceânica para as bacias leste e sudeste do Brasil**. Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2004.

GAETA, S.A.; LORENZZETTI, J.A.; MIRANBA, L.B.; SUSINI-RIBEIRO, S.; POMPEU, M. **The Vitoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral 1995**. Arch. Fish. Mar. Res. v. 47, p. 253-270. 1999.

GERLACH, S.A. **Marine Pollution, diagnosis and Therapy**. Springer Verlag, Berlin. p. 218. 1976.

GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. **Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts**. Marine Technology Society Journal. v. 2, p. 18-27. 1987.

HESS, K.W.; KERR, C.L. **A model to forecast the motion of oil on the sea**. Proceedings of the oil spill conference. p. 653-663. 1979.

HOULT, D.P. **Oil spreading on the sea**. Annual review of fluid mechanics. p. 341-367. 1972.

HUBBARD, D.K. **Reefs as dynamic systems**. In: Birkeland,C.(Ed.). Life and Death of Coral Reefs. Chapman & Hall, New York. p. 354-379. 1997.

ITOPF - International Tankers Owners Pollution Federation. **Contingency planning for oil spills**. Technical Information paper. 1985.

ITOPF - International Tankers Owners Pollution Federation. **Response marine oil spill**. Whitherby & The International Tanker Owners Pollution Federation. Londres, Reino Unido. p. 150. 1986.

JAYKO, K.; HOWLETT, E. **OILMAP: An Interactive oil spill model**. Applied Science Associates, Inc. 2002.

KAMPEL, M.; AMARAL, S. **Imagens TM/Landsat na detecção de mancha de óleo na Baía de Guanabara - RJ - Brasil**. Anais X SBSR, Sessão Técnica Oral. Foz do Iguaçu. p. 801-809. 2001.

KAWASE, M. **A Numerical Model of Puget Sound Circulation**. School of Oceanography, University of Washington. p. 209. 1998.

KOPPEN, W. **Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económico, México. 1948.

LEÃO, Z.M.A.N. **Abrolhos - The South Atlantic largest coral reef complex**. Geological and Paleontological Sites of Brazil. 1999.

LEÃO, Z.M.A.N.; ARAUJO, T.M.F.; NOLASCO, M.C. **The coral reefs off the coast of eastern Brazil**. In: Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium. v. 3, p. 339-347. 1988.

LEBLANC, L. **Why Oil Decomposition rates are Hard to Improve, Offshore**. Advanced Technology. p. 17. 1990.

LEHR, W.; CALHOUN, D.; JONES, R.; LEWANDOWSKI, A.; OVERSTREET, R. **Model sensitivity analysis in environmental emergency management: a case study in oil spill modeling**. National Oceanic and Atmospheric Administration. 1994.

LEHR, W.; JONES, R.; EVANS, M.; SIMECEK-BEATTY, D.; OVERSTREET, R. **Revisions of the ADIOS oil spill model**. Environmental Modeling & Software. v. 17, p. 191-199. 2002.

LEHR, W.; SIMECEK-BEATTY, D. **The relation of Langmuir circulation processes to the standard oil spill spreading, dispersion, and transport algorithms**. Spill Science and Technology Bulletin. v. 6, p. 247-253. 2000.

LEMOS, A.T. **Modelagem numérica da maré barotrópica na costa do Espírito Santo**. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo. 2006.

LESSA, G.C.; CIRANO, M. **On the circulation of a Coastal Channel Within the Abrolhos Coral-Reef System - Southern Bahia (1740'S), Brazil**. Journal of Coastal Research. v. 39, p. 450-453. 2006.

LOPEZ, J.R.B.; MARCH, R.R.; GONZALEZ, S.G.; SOCIAS, F.S. **Simulation of oil spills at the Casablanca Platform (Tarragona, Spain) under different environmental conditions**. Journal of Maritime Research. N° 1. v. 3, p. 55-72. 2006.

LOPEZ, J.R.B.; OLIVER, A.S.; GONZALEZ, S.G.; LUENGO, S.M.G. **Contingency plan for hydrocarbon spills in the port of Ibiza**. Journal of Maritime Research. N° 1. v. 4, p. 51-62. 2007.

MEARNS, A.; WATABAYASHI, G.; LANKFORD, J. **Dispersing oil near shore in the California Current region**. CalCOFI Rep. v. 42. 2001.

MELLOR, G.L.; YAMADA, T. **Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems**. Rev. Geophys. Space Phy. v. 20, p. 851-875. 1982.

MESQUITA, A.F. **Marés, circulação e nível do mar na costa do Brasil**. Documento preparado para a FUNDESPA (Fundação de Estudos e Pesquisas) - IO/USP. 1997.

MILANELLI, J.C.C. **Efeitos do petróleo e da limpeza por jateamento em um costão rochoso da Praia de Baraquecaba, São Sebastião, SP**. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 1994.

MONTEIRO, A.F.M; LEITE, F.A.C.C.M. **Direito do petróleo em revista: A questão da competência no licenciamento ambiental e seus reflexos na indústria do petróleo**. Programa de Recursos Humanos (PRH) 36 - Agência Nacional do Petróleo (ANP). Ano I, v. 01. 2003.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Ed. 2. Rio de Janeiro, IBGE. 1989.

OWENS, E.H. **The interactions of fine particles with stranded oil**. Pure and Applied Chemistry. v. 71, p. 83-93. 1999.

PEREIRA, A.F.; BELÉM, A.L.; BELMIRO, M.C.; GEREMIAS, R. **Tide-topography interaction along the eastern Brazilian shelf**. Continental Shelf Research. São Paulo. p. 1521-1539. 2005.

PEZZOPANE, J.E.M.; SANTOS, E.A.; ELEUTÉRIO, M.M.; DOS REIS, E.F.; DOS SANTOS, A.R. **Especialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo**. Revista Brasileira de Agrometeorologia. v. 12, p. 151-158. 2004.

PINHEIRO, F.M. **Modeling oil dispersion for contingency planning: A case study at Brazilian Waters**. 9<sup>th</sup> Internacional Marine Environmental Modeling Seminar. 2006.

PIMENTEL, F.P. **Análise de estratégias de resposta a derramamentos de óleo no Campo de Golfinho (ES - Brasil) utilizando o modelo OSCAR.** Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo. 2007.

PIOVESAN, R.B. **Modelagem hidrodinâmica da Lagoa dos Patos, RS, Aplicada à dispersão de óleo.** Dissertação de Mestrado – Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 2006.

PONTE, F.C.; ASMUS, H.E. **The Brazilian Marginal Basins: current state of knowledge.** Anais Academia Brasileira Científica 46 (Suplemento). p. 215-239. 1976.

POURVAKHSHOURI, S.Z.; MANSOR, S.; IBRAHIM, Z.; MOHAMAD, M.I.; DAUD, M. **Oil spill management supporting system in Malaysian marine environments.** Commission II, WG II/5. 2005.

REED, M. **Technical description and verification tests of OSCAR2000, a multi-component 3-dimensional oil spill contingency and response model.** SINTEF Applied Chemistry. 2001.

REED, M.; AAMO, O.M.; DALING, P.S. **Quantitative analysis of the alternative oil spill response strategies using OSCAR.** Spill Science & Technology Bulletin. N° 1. v. 2, p. 67-75. 1995.

REED, M.; EKROL, N.; RYE, H.; TURNER, L. **Oil spill contingency and response (OSCAR) analysis in support of environmental impact assessment offshore Namibia.** Spill science & Technology Bulletin. N° 1. v. 5, p. 29-38. 1999.

REED, M.; JOHANSEN, O.; BRANDVIK, P.J.; DALING, P.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. **Oil spill modeling towards the close of the 20<sup>th</sup> century: Overview of the state of the art.** Spill Science & Technology Bulletin. N° 1. v. 1, p. 3-16. 1999.

REED, M.; DALING, P.; LEWIS, A.; DITLEVSEN, M.K.; BRORS, B.; CLARK, J.; AURAND, D. **Modeling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters.** Environmental Modelling & Software. v. 19, p. 681-690. 2004.

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental. **Atividade de Perfuração Marítima no Bloco BM-J-2.** Bacia de Jequitinhonha. 2006.

RODRIGUES, R.R.; ROTHSTEIN, L.M.; WIMBUSH, M. **Seasonal variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study**. Journal of Physical Oceanography. v. 37, p. 16-30. 2006.

ROGERS, C.S. **Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation**. Marine Ecology. Progress Series. v. 62. p. 185-202. 1990.

RPI - Research Planning Institute. **Coastal Processes field manual for oil spill assessment**. Prepared by Hayes, M.D. & Gundlach, E.R. 1978.

SCHMID, C.; SCHAFFER, H.; PODESTÁ, G.; ZENK, W. **The Vitoria Eddy and Its Relation to the Brazil Current**. Journal of Physical Oceanography. v. 25, p. 2532-2546, 1995.

SEGAL, B.; EVANGELISTA, H.; KAMPEL, M.; GONÇALVES, A.C.; POLITO, P.S.; SANTOS, E.A. **Potential impacts of polar fronts on sedimentation processes at Abrolhos coral reef (South-West Atlantic Ocean/Brazil)**. Continental Shelf Research. v. 28. p. 533-544. 2008.

SHEN, H.T.; YAPA, P.D. **Oil slick transport in rivers**. Journal of hydraulic engineering. N° 5. v. 114, p. 529-543. 1988.

SIGNORINI, S.R.; MIRANDA, L.B.; EVANS, D.L.; STEVENSON, M.R.; INOSTROZA, H.M. **Corrente do Brasil: estrutura térmica entre 19° e 25°S e a circulação geostrófica**. Boletim Instituto Oceanográfico - IO/USP. v. 37, p. 33-49. 1989.

SILVA, G.H. **Percepção ambiental da indústria de petróleo no litoral brasileiro**. Tese de D.Sc., Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil. 1996.

SILVEIRA, I.C.A.; LIMA, J.A.M.; SCHIMDT, A.C.K.; CECCOPIERI, W.; SARTORI, A.; FRANCISCO, C.P.F.; FONTES, R.F.C. **Is the meander growth in the Brazil Current System off Southeast Brazil due to baroclinic instability?**. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 2008.

SILVEIRA, I.C.A.D.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.D.; IKEDA, Y. **A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira**. Revista Brasileira de Oceanografia. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - SP. v. 48, p. 171-183. 2000.

SOUTELINO, R.G. **A Origem da Corrente do Brasil**. Dissertação de Mestrado - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IO/USP. 2008.

SOUZA, R.B.; GHERARD, D.F.M.; SATO, O.T.; POLITO, P.S.; KAMPEL, M.; LENTINI, C.A.D. **Climatologia e variabilidade ambiental marinha na região do Banco dos Abrolhos determinada por satélites: resultados preliminares do projeto Pro - Abrolhos**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. p. 4735-4742. 2007.

STEWART, R.H. **Introduction to Physical Oceanography**. Department of oceanography, Texas A & M University. September, 2006.

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

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. **On the water masses and mean circulation of the South Atlantic**. Journal of Geophysical Research. p. 20863-20883. 1999.

SVERDRUP, H.U; JOHNSON, M.W.; FLEMING, R.H. **The oceans: their physics, chemistry and general biology**. Prentice Hall. INC. 1942.

TEIXEIRA, C.E.P.; LESSA, G.; CIRANO, M.; CAMPOS, E. **Análise da variabilidade das correntes sub-inerciais na zona costeira do Banco de Abrolhos usando ondeletas**. 2005.

TOFFOLI, M. **Análise da estrutura tridimensional de correntes na região de afundamento do Victory 8B, Guarapari-ES**. Monografia - Universidade Federal do Espírito Santo. 2006.

VENKATESH, L. **The oil spill behavior model of the Canadian atmospheric environment service**. Atmosphere-Ocean. v. 26, p. 93-108. 1988.

VENOSA, A.D; ZHU, X. **Biodegradation of crude oil contaminating marine shorelines and freshwater wetlands**. Spill Science and Technology Bulletin. N°. 2. v. 8, p.163-178. 2003.



WONG, K.V.; STEWART, H.O. **Oil spill boom design for waves**. Spill Science & Technology Bulletin. v. 8, p. 543-548. 2003.

WÜST, G. **Schichtung und zirkulation des Atlantischen Ozeans**. Atlant. Exp. "Meteo". v. 6, p. 109-228.1935.

ZURITA, M.L.L; RODRIGUES, M.T.R. **Estudo de Impacto Ambiental**. Curso de curta duração ministrado na Universidade Federal do Rio Grande pelo Programa de Recursos Humanos N°27 - PRH-27/FURG. 2008.