



VULNERABILIDADE DOS MANGUEZAIS DA BAÍA DE SEPETIBA A DERRAMES DE ÓLEO NA ÁREA PORTUÁRIA

Ana Karina Augustinho de França Umezu

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Oceânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientadoras: Susana Beatriz Vinzón

Fernanda Minikowski Achete

Rio de Janeiro

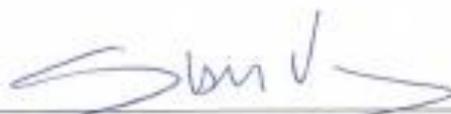
Janeiro de 2019

VULNERABILIDADE DOS MANGUEZAIS DA BAÍA DE SEPETIBA A
DERRAMES DE ÓLEO NA ÁREA PORTUÁRIA

Ana Karina Augustinho de França Umezu

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Examinada por:



Profª. Susana Beatriz Vinzón, PhD.



Dra. Fernanda Minikowski Achete, D.Sc



Profª. Josefa Varela Guerra, PhD.



Profª. Raquel Aparecida Abrahão Costa Oliveira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 2019

Umezu, Ana Karina Augustinho de França

Vulnerabilidade dos Manguezais da Baía de Sepetiba a Derrames de Óleo na Área Portuária / Ana Karina Augustinho de França Umezu. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVI, 78 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadoras: Susana Beatriz Vinzón

Fernanda Minikowski Achete

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 71-78.

1. Poluição por óleo. 2. Modelagem numérica. Vinzón, I. Susana Beatriz *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Oceânica. III. Título.

Dedico este trabalho a Deus e minha Família
por todo apoio prestado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida.

A minha orientadora Susana Beatriz Vinzón pelo apoio e compreensão necessários para a elaboração desse trabalho.

Aos membros da comissão examinadora de defesa de mestrado, Profa. Dra. Fernanda Minikowski Achete, Profa. PhD. Josefa Varela Guerra e Profa. Dra. Raquel Aparecida Abrahão Costa Oliveira, pelo tempo e atenção disponibilizados e por todos os comentários e observações que foram de grande valia na elaboração e revisão deste trabalho.

Aos meus Pais, Filhos e Marido pelo apoio, amor e paciência em todos os momentos – fáceis, difíceis e quase impossíveis – durante meu Mestrado.

Aos meus amigos, que estiveram comigo e que contribuíram para minha persistência na vida acadêmica, em especial às minhas amigas Nair Emmanuela da Silveira Pereira e Cristina Coelho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa que viabilizou minha dedicação exclusiva à pesquisa.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

VULNERABILIDADE DOS MANGUEZAIS DA BAÍA DE SEPETIBA A DERRAMES DE ÓLEO NA ÁREA PORTUÁRIA

Ana Karina Augustinho de França Umezu

Janeiro/2019

Orientadoras: Susana Beatriz Vinzón

Fernanda Minikowski Achete

Programa: Engenharia Oceânica

Uma vez que o vento atua diretamente no espalhamento da mancha de óleo em incidentes de derramamento no meio marinho, o presente estudo analisou a importância da variabilidade do vento na área portuária da Baía de Sepetiba no qual estão inseridos manguezais da região metropolitana do Rio de Janeiro. Este estudo verificou o comportamento da pluma oleosa através de cenários determinísticos previamente estabelecidos, observando a dispersão da mancha de óleo em função dos dados de vento recorrentes na região para os períodos de verão e inverno. Foram analisadas também as simulações de dispersão de óleo existentes nos Planos de Emergência Individual (PEI) do Porto de Itaguaí e Sudeste. Os resultados das simulações desse trabalho, bem como, dos PEI's apontaram que os ventos de direção sudeste e sudoeste são determinantes na dispersão da mancha de óleo na direção dos manguezais da Baía de Sepetiba. As simulações com ventos nessas direções foram as únicas a atingir as regiões de manguezais.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

VULNERABILITY OF MANGROVES SEPETIBA BAY TO OIL SPILLS IN THE
PORT AREA

Ana Karina Augustinho de França Umezu

January/2019

Advisors: Susana Beatriz Vinzón

Fernanda Minikowski Achete

Department: Ocean Engineering

Since the wind acts directly on the spreading of the oil spill in incidents of spillage in the marine environment, the present study analyzed the importance of the wind variability in the port area of Sepetiba Bay in which are inserted mangroves of the metropolitan region of Rio de Janeiro. This study verified the behavior of the oily plume through deterministic scenarios previously established, observing the dispersion of the oil spot as a function of the recurrent wind data in the region for the summer and winter periods. We also analyzed the oil dispersion simulations in the Individual Emergency Plans (PEI) of the Port of Itaguaí and Southeast. The results of the simulations of this work, as well as, of the PEI's, indicated that the southeast and southwest winds are determinant in the dispersion of the oil slick towards the mangroves of Sepetiba Bay. Simulations with winds in these directions were the only ones to reach the mangrove areas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos.....	4
1.1.1. Objetivo Geral.....	4
1.1.2. Objetivos Específicos.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1. O Ecossistema Manguezal.....	6
2.2. Impactos de Derrame de Óleo no Ecossistema Manguezal.....	8
2.2.1. Petróleo como Contaminante do Ecossistema Manguezal.....	10
2.3. Manguezais na Baía de Sepetiba e Potenciais Poluidores.....	16
2.3.1. Impactos de Derramamento de Petróleo em Manguezais no Brasil.....	21
2.4. Vulnerabilidade e Sensibilidade Ambiental ao Óleo	24
2.5. Técnicas de Contenção e Medidas Mitigadoras em Incidentes de Poluição por Óleo. .	27
2.5.1. Técnicas de Limpeza de Óleo nos Manguezais.....	31
2.6. Legislação Ambiental Relativa à Poluição Por Óleo.....	33
3. METODOLOGIA.....	35
3.1. Procedimentos Metodológicos	35
3.1.1. Validação	36
3.1.2. Modelagens da Dispersão de Óleo Realizadas na Baía de Sepetiba Contempladas nos PEI's	38
3.2. Modelagem Hidrodinâmica e de Dispersão de Óleo.....	43
3.2.1. Configuração do Modelo.....	45
3.2.2. Ventos Simulados nos Cenários de Dispersão de óleo	48
3.2.3. Elevação do Nível do Mar e Correntes.....	50
4. RESULTADOS.....	53
4.1. Cenários Simulados	53
4.1.1. Cenário Verão Sizígia - NORTE.....	54
4.1.2. Cenário Verão Sizígia – LESTE	55
4.1.3. Cenário Verão Sizígia – SUDESTE.....	56
4.1.4. Cenário Verão Quadratura – NORTE	57
4.1.5. Cenário Verão Quadratura – LESTE	58
4.1.6. Cenário Verão Quadratura – SUDESTE.....	58
4.1.7. Cenário Inverno Sizígia – NORTE.....	60
4.1.8. Cenário Inverno Sizígia – LESTE	61

4.1.9. Cenário Inverno Sizígia – SUDOESTE	62
4.1.10. Cenário Inverno Quadratura – NORTE	63
4.1.11. Cenário Inverno Quadratura – LESTE	64
4.1.12. Cenário Inverno Quadratura – SUDOESTE.....	65
4.2. Análise dos Resultados	66
4.2.1. Cenário Verão Sizígia – direções (N, L e SE).....	66
4.2.2. Cenário Verão Quadratura – direções (N, L e SE).....	66
4.2.3. Cenário Inverno Sizígia – direções (N, L e SO).....	67
4.2.4. Cenário Inverno Quadratura – direções (N, L e SO)	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Mapa de localização dos principais manguezais (em vermelho), áreas de proteção ambiental – apa (em verde), áreas de mata atlântica (em amarelo) e localização das estações meteorológicas (base de santa cruz e marambaia) encontrados na baía de sepetiba, adjacentes aos principais empreendimentos portuários da região (Porto de Itaguaí, Porto Sudeste e EBN).....1
- Figura 2: Mapa de distribuição global dos manguezais nos hemisférios Atlântico Leste Pacífico e o Indo-Pacífico Oeste . Fonte: adaptado de IPIECA (1993).....6
- Figura 3: Gráfico de porcentagem referente à distribuição de manguezais no mundo - 19% Indonésia, 10% Austrália, 7% Brasil e Nigéria, 5% México e 52% para o restante do mundo. Fonte: adaptado (FAO, THE WORLD'S MANGROVES 1980-2205, 2007).....7
- Figura 4: Gráfico dos fatores determinantes que ocasionam derramamento de óleo no mar ocasionado por embarcações. Encalhe: 32%; Colisão: 29%; Falhas estruturais: 13%; Explosão/fogo: 12%; Outros: 10%; e Falha em equipamentos: 4%. Fonte: adaptado (ITOPF, 2018).....8
- Figura 5: Mapa representativo das fontes de poluição ao redor do mundo que podem ocorrer em virtude de incidentes envolvendo outras fontes que não embarcações, como: gasodutos (pontos de cor preta), navios (pontos de cor vermelha), tanques (pontos de cor amarela), poços e campos de petróleo (pontos de cor azul e verde, respectivamente). A mancha azul indica rotas de navios no mundo e a mancha verde indica áreas de manguezais. Fonte: adaptado (Duke, 2016).....9
- Figura 6: Processo de intemperismo de óleo ocasionado por fatores físicos, químicos e biológicos. Fonte: adaptado (ITOPF, 2018).....10
- Figura 7: Especificação do período de ocorrência dos processos intempéricos sobre um óleo intermediário derramado sobre a superfície marinha. Fonte: adaptado (IPIECA, 2015).....11
- Figura 8: Mancha de óleo nos instantes iniciais após o derramamento (A) e mancha de óleo já intemperizada após um período entre 24 e 48 horas (B).....11

Figura 9: Caranguejo recoberto por óleo provocando sufocamento ou perturbação fisiológica da espécie em acidente com óleo ocorrido no porto de Paranaguá-PR. Fonte: (CETESB, 2007).....	13
Figura 10: Esquema representativo de penetração e interação do óleo no sedimento de manguezal poluindo as camadas mais profundas. Fonte: (IPIECA I. P., 1993).....	14
Figura 11: Mapa referente ao número de atracções de navios na para o ano de 2014. Sepetiba TECON: 403 atracções; CSN TECAR: 261 atracções; CPBS Vale: 155 atracções; TKCSA: 131 atracções; TIG Vale: 190 atracções; navio de passageiros: 45 atracções. Fonte: adaptado (FIRJAN, 2015).....	20
Figura 12: Raízes contaminadas com óleo no incidente envolvendo a embarcação Vicunã na Baía de Paranaguá (PR). Fonte: (Ratton, 2015).....	24
Figura 13: Classificação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). Fonte: (MMA, 2004)..	25
Figura 14: ISL da Baía de Sepetiba em conformidade com padrão estabelecido pelo MMA (figura 15). Fonte: adaptado MAREM (2018).....	26
Figura 15: Utilização de barreira de contenção em conjunto com barreiras absorventes no derramamento de óleo do Porto de Paranaguá. Fonte: (Ratton, 2015).....	27
Figura 16: Utilização conjugada de barreira de contenção e recolhedores de óleo. Fonte: (CETESB, 2007).....	28
Figura 17: Processo de biodegradação do óleo derramado após aplicação de dispersante na superfície da mancha. Fonte: (IPIECA, 2015).....	29
Figura 18: Queima controlada in situ. Fonte: (IPIECA, 2015).....	30
Figura 19: Representação dos processos realizados nas simulações dos cenários críticos determinísticos.....	36
Figura 20: Comparação da amplitude (a) e fase (b) com utilização de constantes harmônicas na área da Baía de Sepetiba.....	37

Figura 21: Comparação da amplitude (a) e fase (b) com utilização de constantes harmônicas na área de Ilha Guaíba.....	37
Figura 22: Mapa de topografia da região da Baía de Sepetiba, com localização das estações meteorológicas da Base Aérea de Santa Cruz e Marambaia. Fonte: adaptado Mapas Topográficos.....	39
Figura 23: Distribuição de frequência dos ventos da estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz, referentes a: (a) período de verão e (b) período de inverno.....	40
Figura 24: Distribuição de frequência dos ventos para a meteorológica da Marambaia, fornecidos pelo INMET referentes a: (a) período de verão e (b) período de inverno.....	40
Figura 25: Distribuição de frequência dos ventos nas estações meteorológicas da Base Aérea de Santa Cruz – BASC- (a) e Marambaia (b), para o período de verão.....	41
Figura 26: Distribuição de frequência dos ventos nas estações meteorológicas da Base Aérea de Santa Cruz – BASC- (a) e Marambaia (b), para o período de inverno.....	42
Figura 27: Módulos do modelo numérico DELFT-3D. Fonte: (Deltares, 2014).....	43
Figura 28: Grade numérica da Baía de Sepetiba desenvolvida pelo software DELF3D com indicação do ponto do derramamento de óleo (ponto preto na grade numérica e carta náutica 162301 disponibilizada pela DHN).....	45
Figura 29: Reperesentação gráfica valores de frequência absoluta e acumulada da intensidade dos ventos da direção norte (a), leste (b) e sudeste (c), respectivamente, para o período de verão.....	49
Figura 30: Reperesentação gráfica valores de frequência absoluta e acumulada da intensidade dos ventos da direção norte (a), leste (b) e sudoeste (c), respectivamente, para o período de inverno.....	50
Figura 31: Representação gráfica (a) da elevação do nível do mar e representação da componente zonal (u) e meridional (v) de correntes no gráfico (b) para o período de verão.....	51

Figura 32: Representação gráfica (a) da elevação do nível do mar e representação da componente zonal (u) e meridional (v) de correntes no gráfico (b) para o período de inverno.....52

Figura 33: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de sizígia verão com vento predominante na direção norte, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....54

Figura 34: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de sizígia verão com vento predominante na direção leste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....55

Figura 35: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de sizígia verão com vento predominante na direção sudeste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....56

Figura 36: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de quadratura verão com vento predominante na direção norte, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....57

Figura 37: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de quadratura verão com vento predominante na direção leste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....58

Figura 38: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco na condição de maré de quadratura verão com vento predominante na direção sudeste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....59

Figura 39: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de sizígia inverno com vento predominante

na direção norte, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....60

Figura 40: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de sizígia inverno com vento predominante na direção leste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....61

Figura 41: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de sizígia inverno com vento predominante na direção sudoeste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....62

Figura 42: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de quadratura inverno com vento predominante na direção norte, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....63

Figura 43: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de quadratura inverno com vento predominante na direção leste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....64

Figura 44: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de quadratura inverno com vento predominante na direção sudoeste, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.....65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos tipos de óleo em função de sua persistência do ambiente. Fonte: adaptada ITOPF (2018).....	3
Tabela 2: Estimativa de manguezais no Brasil distribuída por estado apresentando respectivas linhas de costa e área em km ² . Fonte: adaptado (Kjerfve & Lacerda, 1993).....	7
Tabela 3: Resumo dos incidentes de derramamento de óleo com impactos deletérios em ecossistemas de manguezais em todo o mundo ao longo das últimas 6 décadas (1958 a 2016). Fonte: adaptado (Duke, 2016).....	9
Tabela 4: Descrição dos impactos causados à biota após um derramamento de óleo no manguezal. Fonte: Lewis (1983) apud (Hoff, et al., 2010).....	12
Tabela 5: Impactos e tempos de recuperação de manguezais em oito derrames de petróleo com danos em cinco regiões do mundo. Fonte: adaptado (Hoff, et al., 2010).....	15
Tabela 6: Vazão fluvial média dos principais afluentes da Baía de Sepetiba. Fonte: adaptado (Lacerda, Paraquetii, Molisani, & Bernardes, 2007).....	17
Tabela 7: Relação dos principais incidentes com óleo e seus derivados registrados em AJB. Fonte: adaptado (CETESB, 2007).....	22
Tabela 8: Relação da frequência de ocorrência de ventos no quadrante sul com dados de intensidade das estações da Base Aérea de Santa Cruz (BSC) e Marambaia.....	42
Tabela 9: Relação dos cenários ambientais utilizados nas simulações determinísticas.....	46
Tabela 10: Coordenadas referentes ao ponto de despejo de óleo plotadas no canal de navegação.....	47
Tabela 11: Características do produto derramado. Fonte (PETROBRAS, 2017).....	48

Tabela 12: Resumo das simulações determinísticas para o período de verão (sizígia) com ventos predominantes nas direções N, L e SE.....66

Tabela 13: Resumo das simulações determinísticas para o período de verão (quadratura) com ventos predominantes nas direções N, L e SE.....67

Tabela 14: Resumo das simulações determinísticas para o período de inverno (sizígia) com ventos predominantes nas direções N, L e SO.....68

Tabela 15: Resumo das simulações determinísticas para o período de inverno (quadratura) com ventos predominantes nas direções N, L e SO.....68

1. INTRODUÇÃO

Manguezais são considerados ecossistemas singulares que podem ser encontrados na zona de transição entre os ambientes terrestre e marinho em áreas com grande influência de maré (Miththapala, 2008). Esses ambientes estão concentrados em enseadas, baías e estuários, regiões propícias ao desenvolvimento de indústrias e portos (CETESB, 2007). O termo manguezal é empregado tanto para descrever o ecossistema como também as famílias de plantas que desenvolvem adaptações para sobreviver nesse ambiente (Tomlinson, 1986).

O ecossistema em questão pode ser encontrado em 124 países, em áreas tropicais e subtropicais, se desenvolvendo principalmente em substratos moles (FAO, 2007). Em termos de extensão, o Brasil possui a terceira maior área de manguezal do mundo apresentando condições climáticas apropriadas para o estabelecimento e desenvolvimento de manguezais (ICMBio, 2018). Esse ecossistema abrange cerca de 7.000 km da costa brasileira, e a região da Baía de Sepetiba contempla um dos principais conjuntos de manguezais do estado do Rio de Janeiro (figura 1) (Soares, 1997).

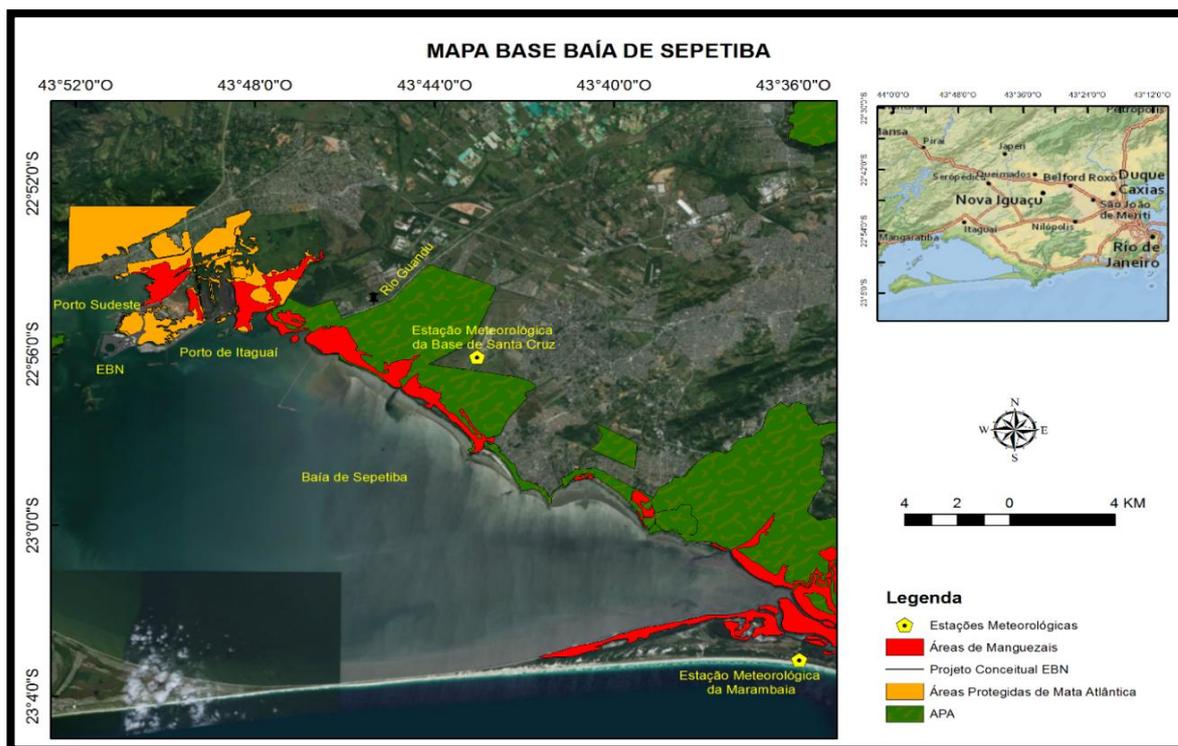


Figura 1: Mapa de localização dos principais manguezais (em vermelho), áreas de proteção ambiental – APA (em verde), áreas de mata atlântica (em amarelo) e localização das estações meteorológicas (Base de Santa Cruz e Marambaia) encontrados na Baía de Sepetiba, adjacentes aos principais empreendimentos portuários da região (Porto de Itaguaí, Porto Sudeste e EBN).

Ao longo da área costeira em que estão inseridos, os manguezais desempenham funções ecológicas e econômicas de suma importância como: base da cadeia trófica em função da fonte de detritos (matéria orgânica) que são decompostos por bactérias e fungos nas áreas costeiras adjacentes; local de abrigo, reprodução e alimentação de espécies marinhas, estuarinas, límnicas e terrestres; filtro para absorção e imobilização de produtos químicos lançados em águas costeiras; proteção da linha de costa contra efeitos da erosão; base de subsistência de comunidades tradicionais que habitam áreas próximas deste ambiente; fonte de renda; lazer e estabilizador do clima (Soares, 1997).

Atualmente os manguezais estão sofrendo um decréscimo em sua extensão ao redor do mundo ocasionado por fenômenos naturais e antrópicos (FAO, 2007). Eventos naturais como ciclones, tufões e ventos fortes são considerados tensores que podem ocasionar a degradação das florestas de manguezais, alterando sua estabilidade (Soares, 1997). Esses ambientes recebem lançamento de resíduos sólidos, esgotos industriais e domésticos, contaminação por produtos oleosos, desmatamento, entre outros fatores antropogênicos. Na visão de Schaeffer-Noveli (1989), analisando os trinta ecossistemas encontrados ao longo do litoral brasileiro, os manguezais são considerados os mais afetados por impactos negativos de atividades humanas.

Dentre os tensores antrópicos, os incidentes com derramamento de óleo são considerados ameaças iminentes aos ambientes costeiros. O petróleo (do latim *petra* – pedra e *oleum* – óleo) pode ser definido como uma substância oleosa, inflamável, de densidade menor que a da água, com odor característico e cor oscilando entre o preto e o castanho-claro. É composto de uma mistura complexa constituída, fundamentalmente, por hidrocarbonetos que são representados por números variáveis de átomos de carbono (Clark, Attrill, & Frid, 2001). Os óleos caracterizados como não persistentes (gasolina, nafta, querosene, óleos leves) tendem a desaparecer rapidamente da superfície do mar, e sua contribuição para os impactos ambientais negativos é considerada pequena. Os óleos persistentes (óleos crus) são resistentes à biodegradação, dissipando mais lentamente e para os quais são empregadas técnicas de resposta e limpeza nas áreas afetadas. A tabela 1 classifica os óleos mais comumente transportados no modal marítimo em quatro grupos baseado em sua densidade ($^{\circ}$ API) (IPIECA, Observação aérea de derramamentos de óleo no mar, 2015).

Tabela 1: Classificação dos tipos de óleo em função de sua persistência do ambiente. Fonte: adaptada ITOFP (2018).

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE ÓLEO					
Grupo	Densidade	API	Composição	Meia Vida	Persistência
I	< 0,8	> 45	Leve	~ 24 h	1 - 2 dias
II	0,80 a 0,85	35 a 45	Leve	~ 48 h	3 - 4 dias
III	0,85 a 0,95	17,5 a 35	Pesado	~ 72 h	5 - 7 dias
IV	> 0,95	< 17,5	Pesado	~ 168 h	> 7 dias

Visto que o deslocamento da pluma de contaminante pode chegar aos manguezais, torna-se necessário conhecer os mecanismos que auxiliam na dispersão da mancha de óleo, pois a primeira medida de contenção de óleo em áreas sensíveis como manguezais é impedir que o mesmo chegue a esses ambientes. Este trabalho apresenta os diversos métodos de contenção e medidas mitigadoras que são empregados em eventos de derramamento de óleo. Quando impactados por óleo, os manguezais podem ser submetidos a diversas técnicas de limpeza que são detalhadas nesta pesquisa. Cabe ressaltar que entre pesquisadores existe uma extensa discussão a respeito do emprego ou não de medidas de limpeza ou atenuação natural quando um manguezal é impactado por hidrocarbonetos. A utilização de técnicas de limpeza apresenta pontos desfavoráveis por ser considerada complexa e pouco efetiva em virtude da sensibilidade do ambiente aos procedimentos empregados. O pisoteamento de equipes utilizadas na recuperação do ambiente provocando danos às raízes, quebra da estrutura de plantas, prejuízos à fauna e o aprisionamento do óleo em camadas mais profundas de sedimentos são os cenários que devem ser analisados e ponderados antes da escolha da medida mais apropriada a ser aplicada (Cantagallo, Milanelli, & Brito, 2007).

Mais de 90% do comércio mundial é realizado através do modal marítimo, a atividade portuária acaba por desempenhar papel de suma importância no crescimento da economia internacional. O Brasil também utiliza a navegação marítima para exportar e importar produtos com um custo social menor que aquele realizado por rodovias ou ferrovias (ANTAQ, 2018). Considerados empreendimentos com potencial risco de poluição por óleo ao meio ambiente marinho, de acordo com a resolução CONAMA 398, essas obras devem possuir um Plano de Emergência Individual (PEI) que analisa, dentre outros aspectos, a vulnerabilidade ambiental ao óleo de áreas sensíveis em casos de incidentes com derramamento de compostos oleosos com utilização de modelagem hidrodinâmica. Dentre outros resultados, a modelagem irá

sinalizar com os tempos de chegada da mancha de óleo em áreas sensíveis, para orientar as medidas de contenção ou proteção costeiras necessárias.

A área de estudo deste trabalho foca na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. Neste ambiente estão localizados manguezais que são considerados os principais ecossistemas restantes da região metropolitana do Rio de Janeiro e, por conseguinte, um dos principais manguezais no estado (Soares, 1997). Esses ecossistemas estão distribuídos ao longo da área de estudo em toda parte interior da orla, podendo também estar presente em algumas ilhas (ICMBio, 2018). Na região de estudo existem diversas instalações portuárias que representam um risco à contaminação por óleo do conjunto de florestas de manguezais (figura 1) (FIRJAN, 2015). Foram analisados neste trabalho alguns aspectos dos PEI dos portos de Sudeste e Itaguaí, em relação ao campo de ventos utilizados para as modelagens da dispersão do óleo. No PEI do Porto Sudeste foram utilizados dados de vento da estação meteorológica da Marambaia enquanto que no PEI do Porto de Itaguaí os dados foram originados da estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz (figura 1). Os campos de ventos de ambas estações apresentam diferenças significativas ao longo do ano, devido à orografia regional.

Considerando a importância do vento na dispersão do óleo no meio marinho, neste trabalho foram realizadas simulações numéricas simplificadas visando destacar a relevância de se considerar um cenário mais realista do campo de vento.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo da dissertação é analisar a importância da variabilidade do vento na área portuária da Baía de Sepetiba em incidentes de derramamento com hidrocarbonetos, atingindo os ecossistemas de manguezais da região.

1.1.2. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, elencam-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as áreas de manguezais

- Elencar os potenciais poluidores na área de estudo e discutir as medidas de proteção encontradas na literatura.
- Analisar a trajetória e o comportamento da pluma de contaminante, ao longo do tempo, em cenários determinísticos previamente estabelecidos, considerando diferentes cenários de vento, de acordo com os registros em duas estações meteorológicas localizadas no entorno da Baía de Sepetiba.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O Ecossistema Manguezal

De acordo com Hoff et al. (2010) os manguezais são distribuídos nas regiões dos trópicos e subtropicais cobrindo uma área de aproximadamente 240.000 km² ao redor do planeta (figura 2). A distribuição das espécies de manguezais está concentrada em dois hemisférios globais: o Atlântico Leste Pacífico e o Indo-Pacífico Oeste. De um quantitativo total de 70 espécies, o primeiro hemisfério supracitado apresenta 12 e o segundo 58, sendo que das 70 espécies apenas uma é comum aos dois hemisférios.

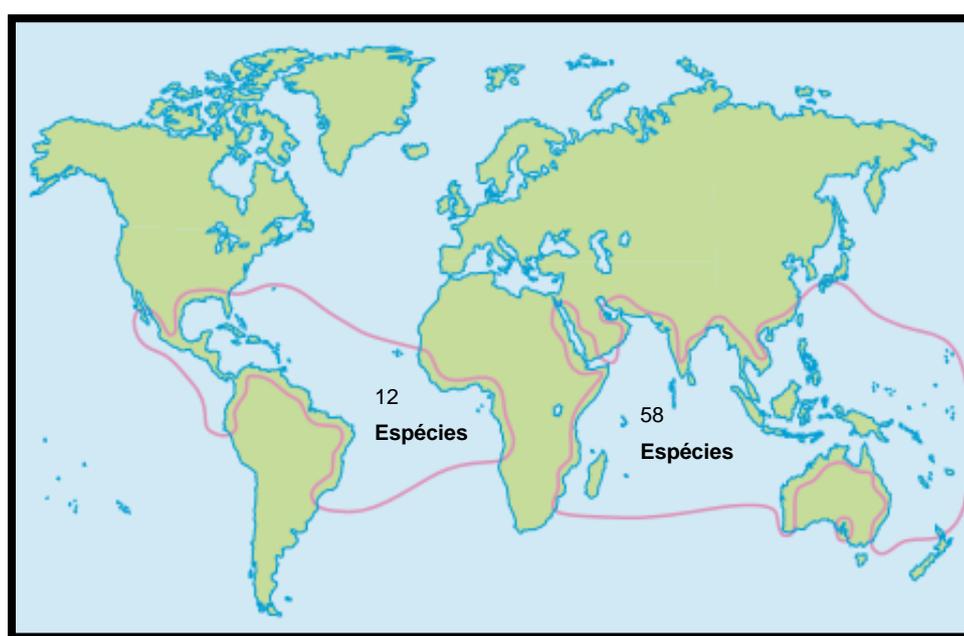


Figura 2: Mapa de distribuição global dos manguezais nos hemisférios Atlântico Leste Pacífico e o Indo-Pacífico Oeste . Fonte: adaptado de IPIECA (1993).

Essas florestas costeiras estão concentradas em maior quantitativo em cinco países: Indonésia, Austrália, Brasil, Nigéria e México, que se somadas representam 48% de hectares da área global total (figura 3) (FAO, 2007). A costa brasileira abriga aproximadamente metade da área de manguezais que estão distribuídos na América do Sul, totalizando cerca de 13.762,55 km² de manguezais distribuídos ao longo de sua linha de costa (tabela 2) (FAO, The World's Mangroves 1980-2205, 2007).

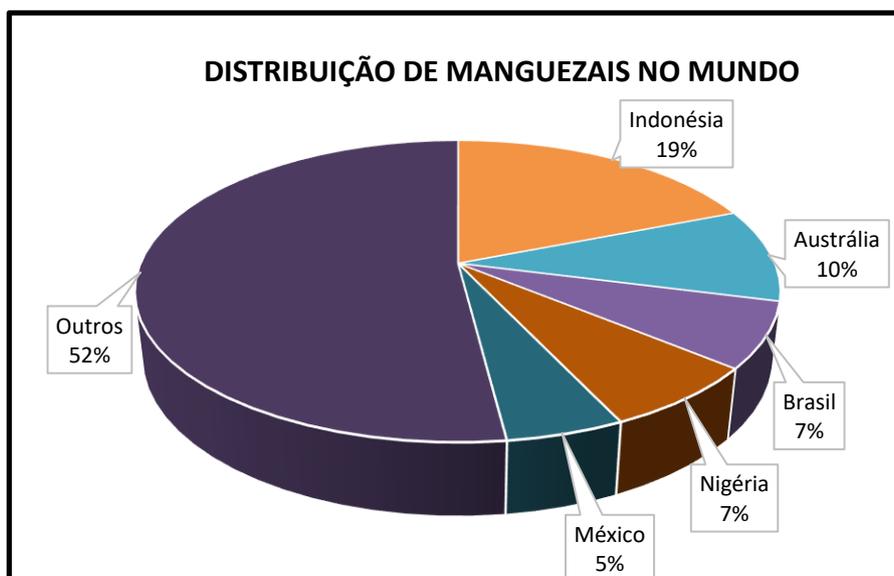


Figura 3: Gráfico de porcentagem referente à distribuição de manguezais no mundo - 19% Indonésia, 10% Austrália, 7% Brasil e Nigéria, 5% México e 52% para o restante do mundo. Fonte: adaptado (FAO, THE WORLD'S MANGROVES 1980-2205, 2007).

Tabela 2: Estimativa de manguezais no Brasil distribuída por estado apresentando respectivas linhas de costa e área em km². Fonte: adaptado (Kjerfve & Lacerda, 1993).

ESTADO	LINHA DE COSTA	ÁREA (km ²)	REFERÊNCIAS
Amapá	598	1.823	Fearnside (1990)
Pará	582	3.894	Fearnside (1990)
Maranhão	640	5	SantAna & Whately (1981); Mochel (1993)
Piauí	66	43,7	Freire & Oliveira (1993)
Ceará	573	229,4	Freire & Oliveira (1993)
Rio Grande do Norte	399	69,9	Freire & Oliveira (1993)
Paraíba	117	100,8	Freire & Oliveira (1993)
Pernambuco	228	78,1	Freire & Oliveira (1993)
Alagoas	229	35,65	Freire & Oliveira (1993)
Sergipe	163	262	ADEMA (1984)
Bahia	932	1.1	CEPLAC (1976)
Espírito Santo	392	195	RADAN (1983)
Rio de Janeiro	636	160	Lacerda & Rezende (1993)
São Paulo	622	231	Herz (1987)
Paraná	98	510	Lana & Sessegola (1993)
Santa Catarina	531	30	Panitz (1993)
Total	6.806	13.762,55	

2.2. Impactos de Derrame de Óleo no Ecossistema Manguezal

Segundo ITOPF (2018) as causas de derramamento de óleo no mar envolvendo embarcações são variadas. Em levantamentos realizados para derrames, de diversas magnitudes, durante o período de 1970 a 2017, constatou-se que as principais causas são: colisões, encalhes, falhas estruturais, incidentes com fogo e explosão (figura 4).

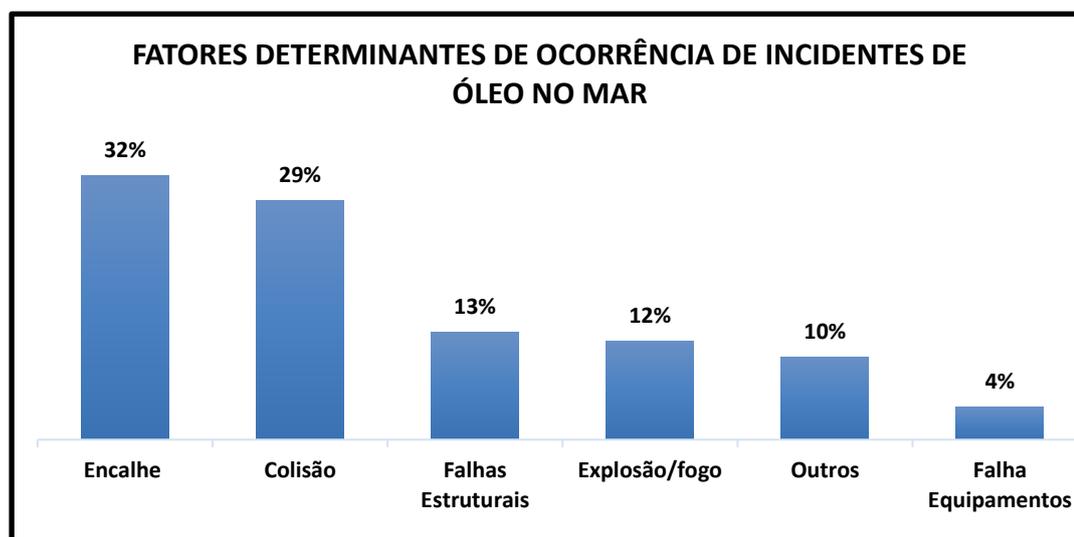


Figura 4: Gráfico dos fatores determinantes que ocasionam derramamento de óleo no mar ocasionado por embarcações. Encalhe: 32%; Colisão: 29%; Falhas estruturais: 13%; Explosão/fogo: 12%; Outros: 10%; e Falha em equipamentos: 4%. Fonte: adaptado (ITOPF, 2018).

De acordo com Duke (2016) além dos incidentes com óleo provocado por embarcações, as florestas de manguezais também podem ser impactadas por petróleo e derivados provenientes de outras fontes de poluição, como oleodutos que ao terem sua estrutura corrompida, e por estarem nas imediações costeiras, acabam contaminando o meio ambiente marinho (figura 5).

Na visão de Alves (2001) dentre os fatores negativos impostos aos manguezais os incidentes com óleo provocam efeitos deletérios nesses ambientes extremamente frágeis aos hidrocarbonetos. Conforme tabela 3, manguezais ao redor do mundo estão sendo impactados por compostos oleosos ao longo das seis últimas décadas. Dados revelam que 73% dos incidentes com derramamento de óleo no mar ocorrem em regiões costeiras.

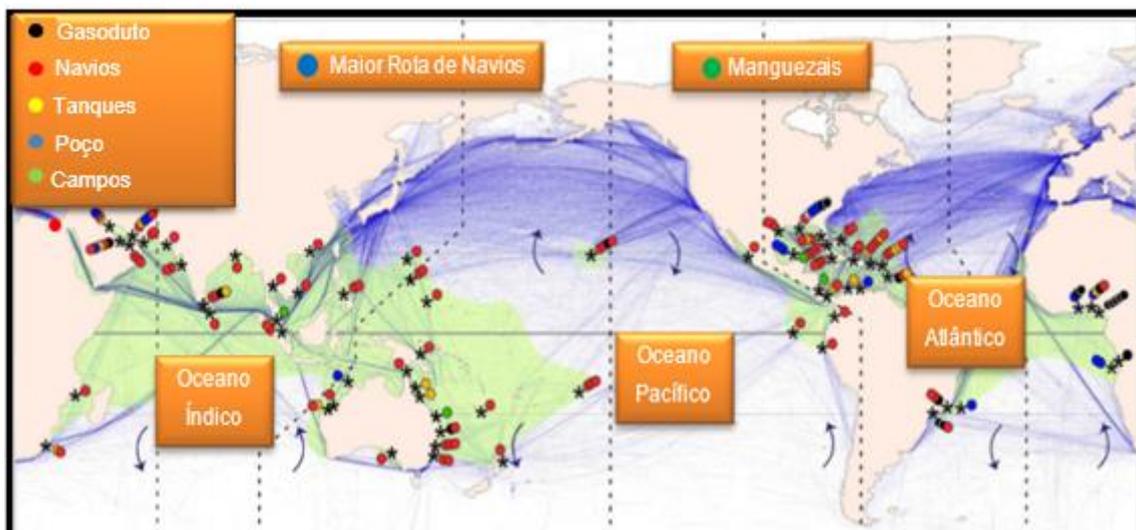


Figura 5: Mapa representativo das fontes de poluição ao redor do mundo que podem ocorrer em virtude de incidentes envolvendo outras fontes que não embarcações, como: gasodutos (pontos de cor preta), navios (pontos de cor vermelha), tanques (pontos de cor amarela), poços e campos de petróleo (pontos de cor azul e verde, respectivamente). A mancha azul indica rotas de navios no mundo e a mancha verde indica áreas de manguezais. Fonte: adaptado (Duke, 2016).

Tabela 3: Resumo dos incidentes de derramamento de óleo com impactos deletérios em ecossistemas de manguezais em todo o mundo ao longo das últimas 6 décadas (1958 a 2016). Fonte: adaptado (Duke, 2016).

LOCAIS DE MAIOR N° DE INCIDENTES	1958 a 1969	1970 a 1979	1980 a 1989	1990 a 1999	2000 a 2009	2010 a 2016	TOTAL
Total no Mundo	7	28	39	56	59	49	238
Leste da África	2	5	4	3	1	2	17
Indo-Malásia	0	1	0	2	5	8	16
Austrália - Ásia	0	3	8	14	7	5	37
Oeste da América	0	1	1	0	2	0	4
Leste da América	5	16	22	31	39	28	141
Oeste da África	0	2	4	6	5	6	23

2.2.1. Petróleo como Contaminante do Ecossistema Manguezal

Uma vez introduzidos no ambiente marinho, os compostos presentes no óleo irão sofrer uma série de transformações desencadeadas pelo processo de intemperismo. Esse processo atua ao longo do tempo de forma rápida e progressiva no óleo derramado, e é influenciado pelas características do produto, radiação solar, variações de temperatura da água, força dos ventos e processos de biodegradação. De acordo com CETESB (2007) os diversos processos naturais que atuam no óleo quando liberado no meio marinho são: espalhamento, emulsificação, evaporação, oxidação, dissolução, sedimentação, biodegradação e dispersão (figura 6). Evidencia-se que alguns processos de intemperismo, como espalhamento e oxidação, ocorrem nos instantes iniciais após o derrame, e outros como biodegradação, ocorre com maior intensidade nas 24 horas após o evento com óleo, podendo perdurar por meses ou anos.

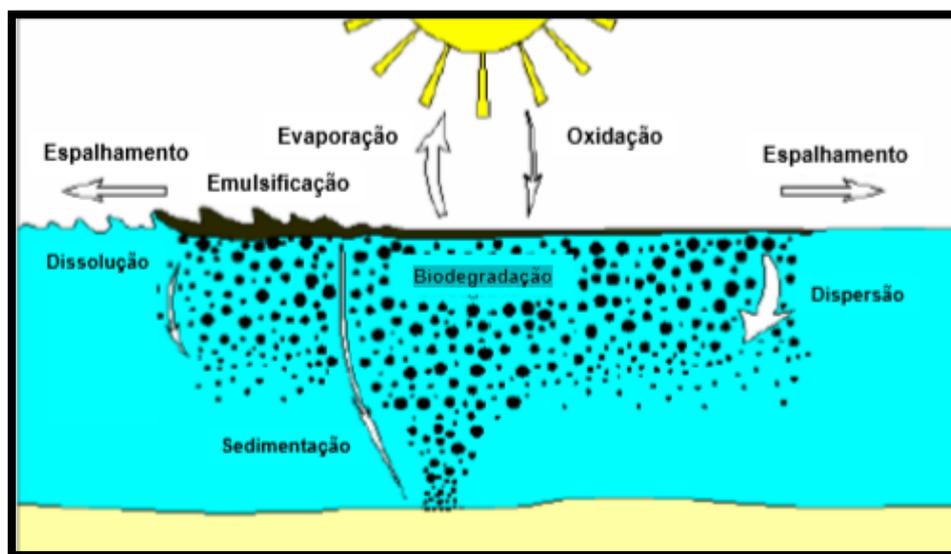


Figura 6: Processo de intemperismo de óleo ocasionado por fatores físicos, químicos e biológicos. Fonte: adaptado (ITOPF, 2018).

A figura 7 indica o início e duração dos processos naturais que ocorrem quando o óleo é despejado no ambiente aquático. Pode ser observado que o comprimento da linha determina o tempo de duração de cada processo de intemperismo que atua sobre o óleo, enquanto que a espessura da linha está em conformidade com a intensidade de ocorrência do mesmo (ITOPF, 2018).

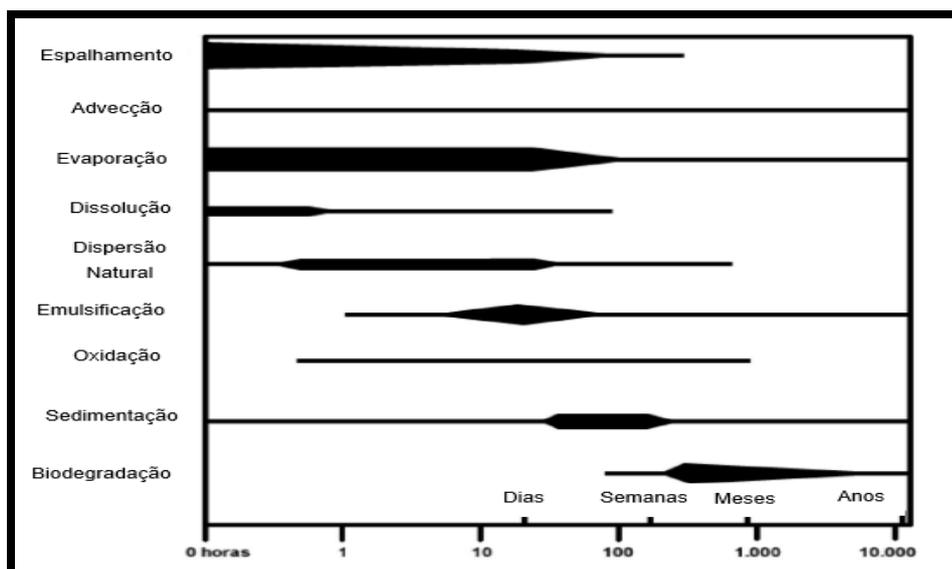


Figura 7: Especificação do período de ocorrência dos processos intempéricos sobre um óleo intermediário derramado sobre a superfície marinha. Fonte: adaptado (IPIECA, 2015).

Como o intemperismo pode ocorrer nos primeiros instantes do derramamento ou então no longo prazo (figura 8), torna-se de fundamental importância compreender esses eventos, uma vez que fornecem subsídios a serem utilizados nas operações de contenção. Destaca-se ainda que as ações de resposta têm um maior nível de eficiência quando são iniciadas nas primeiras horas após o derrame, se antecipando à intemperização do óleo. Esse processo consiste na incorporação do produto no meio ambiente, o que acaba por dificultar as ações de resposta (CETESB, 2007).

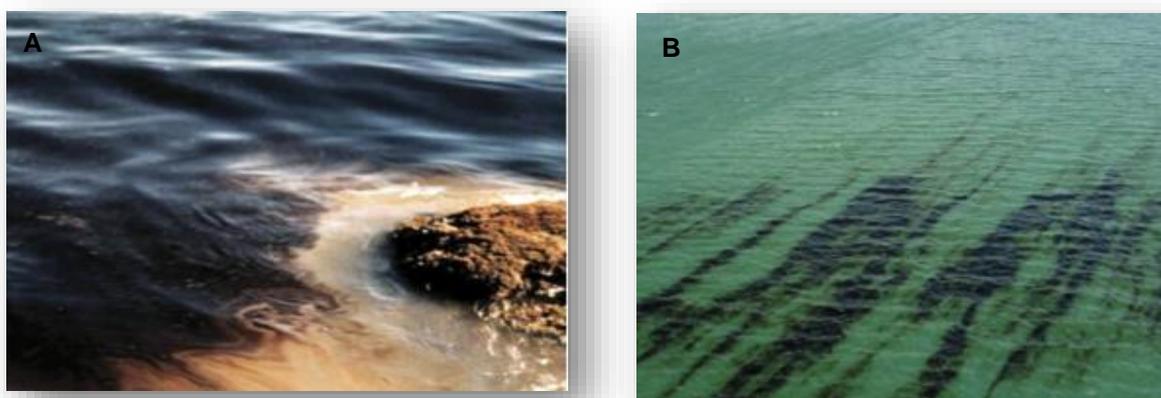


Figura 8: Mancha de óleo nos instantes iniciais após o derramamento (A) e mancha de óleo já intemperizada após um período entre 24 e 48 horas (B).

Ao ser impactado por compostos oleosos os manguezais apresentam sinais de degradação como: diminuição nas taxas de respiração e fotossíntese afetando a produtividade primária; desfolhamento e alteração no tamanho foliar; impactos à fauna como resultado do estresse químico e recobrimento físico por óleo. A regeneração desses ambientes contaminados por óleo pode levar anos, ou até mesmo persistir por décadas em função de sua fragilidade (tabela 4) (Kathiresan & Bingham, 2001).

Segundo Hoff, et al., (2010) ao ser contaminado por óleo, o manguezal passa por três fases a saber: asfixia mecânica, toxicidade química e recuperação. Ainda na visão de Alves (2001) essas fases são oriundas de uma série de transformações físico-químicas do óleo com o ambiente como: a incorporação à biota; degradação biológica e química; transferência para o sedimento; solubilização; dispersão física; e evaporação dos compostos.

Tabela 4: Descrição dos impactos causados à biota após um derramamento de óleo no manguezal. Fonte: Lewis (1983) apud (Hoff, et al., 2010).

ESTÁGIO	TEMPO	IMPACTO OBSERVADO
AGUDO	0 – 15 dias	Morte de pássaros, peixes e invertebrados
	15 – 30 dias	Desfolhação e morte da flora de pequeno porte (<1m) e dano à comunidade das raízes aéreas das Rizoforas.
CRÔNICO	30 dias – 1 ano	Desfolhação e morte da flora de médio porte (<3m)
	1 ano – 10 anos?	Redução da reprodução biológica Redução da flora Redução do número de insetos
	1 ano – 50 anos?	Completa recuperação?

A asfixia mecânica pode ocorrer quando o óleo fica depositado nas margens costeiras, em camadas espessas que acabam por recobrir os animais, dificultando ou impedindo a realização dos processos biológicos com o meio ambiente. Esse fato acaba por ocasionar em morte por sufocamento ou por perturbação fisiológica (figura 9) (Hoff, et al., 2010).



Figura 9: Caranguejo recoberto por óleo provocando sufocamento ou perturbação fisiológica da espécie em acidente com óleo ocorrido no porto de Paranaguá-PR. Fonte: (CETESB, 2007).

As árvores do ecossistema manguezal também sofrem asfixia mecânica quando atingidas por óleo, pois ao crescerem em condições anaeróbicas essas necessitam realizar a troca gasosa através dos sistemas de poros, e também adquirir nutrientes e água para sua sobrevivência. Esses processos são afetados em virtude da poluição por óleo (IPIECA I. P., 1993).

O alto nível de toxicidade dos hidrocarbonetos pode afetar todo o ecossistema atingido, incluindo as populações microbianas que estão no solo e que são responsáveis pela ciclagem de nutrientes do ambiente (IPIECA I. P., 1993). Através de estudos sobre o tema pode-se concluir que os efeitos letais da toxicidade são mais acentuados nas mudas quando comparadas com árvores já em estágio de maturidade, pois essas, mais altas, podem resistir ao efeito da toxicidade do óleo por meses (Hoff, et al., 2010).

No que tange à poluição pode-se ainda constatar que os locais em que vivem os crustáceos são considerados meios de poluição para as camadas mais profundas dos sedimentos, matando a fauna bentônica por intoxicação ou recobrimento físico com óleo (figura 10). A granulometria do sedimento atua como fator que influencia no nível de poluição por óleo do ambiente, nos quais sedimentos lamosos, que apresentam menor permeabilidade e condições

reduzidas que dificultam o processo de degradação microbiana do óleo, acabam sendo mais impactadas por hidrocarbonetos quando comparadas aos sedimentos mais grosseiros (Dicks, 1998).

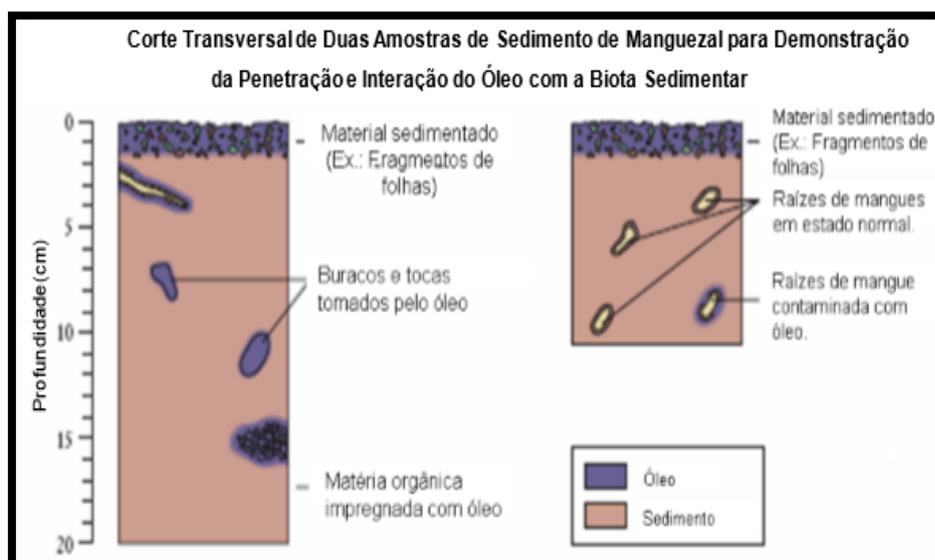


Figura 10: Esquema representativo de penetração e interação do óleo no sedimento de manguezal poluindo as camadas mais profundas. Fonte: (IPIECA I. P., 1993).

A biodegradação do óleo ocorre com maior intensidade na parte superficial dos sedimentos desse ecossistema, pois as camadas subsuperficiais dessas regiões estuarinas são anaeróbicas, gerando uma degradação muito lenta dos hidrocarbonetos presentes (Dicks, 1998).

De acordo Duke (2016) após a dissipação dos componentes tóxicos, as florestas de manguezais podem ser restabelecidas a uma condição não impactada. Contudo, enquanto o tipo de óleo e os níveis de concentração têm uma influência primária sobre os impactos observados, são as respostas da biota de mangue a todos os fatores influentes que melhor definem sua recuperação potencial e o destino a longo prazo do habitat.

São inúmeras as áreas de manguezais ao redor do mundo que foram impactadas por derramamento de óleo, levando esse ambiente a uma condição degradada. Estudos baseados na análise de eventos anteriores fornecem informações acerca do comportamento do óleo nos manguezais, das complexidades e variações dos impactos, bem como, as ações de resposta aplicadas. Cada região atingida pode apresentar reações particulares em virtude da interação

dos diferentes tipos de contaminantes e técnicas de recuperação utilizadas. Em alguns casos pode-se observar que os efeitos danosos do óleo aparecem no longo prazo e a extensão dos danos ambientais só pode ser verificada após meses ou anos da ocorrência do incidente (tabela 5) (Hoff, et al., 2010).

Tabela 5: Impactos e tempos de recuperação de manguezais em oito derrames de petróleo com danos em cinco regiões do mundo. Fonte: adaptado (Hoff, et al., 2010).

LOCAL/ANO	TIPOS DE ÓLEO	FLORA IMPACTADA	RECUPERAÇÃO DO MANGUEZAL	AUTOR DA PUBLICAÇÃO
Era, Austrália Agosto 1992	Combustível de navio	Avicennia marina 75-100 ha impactados	> 4 anos	Wardrop et al., 1997.
Santa Augusta, US Ilhas Virgens 1971	Petróleo Bruto	Rizophora mangle	> 7 anos	Lewis., 1979.
Zoe Colocotronis, Porto Rico Março de 1973	Petróleo Bruto Venezuela	Rizophora mangle Avicennia nitita	> 6 anos (manguezal exposto)	Nadeau e Bergquist, 1977. Gilfillan et al., 1981.
Witwater, Panamá, 1968		49 ha desmatados	23 anos (regiões expostas) / > 23 anos (regiões abrigadas)	Duke et al., 1997.
Bahía las Minas, Paramá Abril de 1986	Petróleo Bruto	Rizophora mangle Laguncularia racemosa Avicennia germinans Pelliciera rizophorae	> 5 anos (regiões expostas) / > 6 anos (regiões abrigadas)	Guerrity., 1994. Duke et al., 1997.
Roosevelt Roads NAS Novembro de 1986	Combustível de Avião	Laguncularia racemosa / 6 ha mortos (1986) / 31 acres impactado (1999)	> 1,5 ano	Wilkinson et al., 2001
Baía de Tampa Agosto de 1993	Combustível N° 2 e N°6	Avicennia germinans Rizophora mangle Laguncularia racemosa / 5,5 acres de óleo derramado	> 2 anos	Levings et al. 1995, 1997.

Dentre os incidentes com óleo relacionados na tabela 6 cita-se os impactos de longo prazo envolvendo a embarcação Era. Após quatro anos do derramamento de óleo na Austrália ainda era possível visualizar concentração de compostos oleosos e danos aos manguezais. Para esse incidente foi adotado somente o monitoramento e acompanhamento dos efeitos do óleo no

ambiente sem utilização de técnicas de limpeza (Wardrop, Wagstaff, Pfenning, & Leeder, 1996).

O encalhe e derramamento de óleo da embarcação Zoe Colocotronis em Porto Rico ocasionou na morte de diversas espécies de manguezais. Após alguns meses foi verificado o ressurgimento de árvores jovens, entretanto, foi observada concentração de óleo nos sedimentos após anos do incidente. A constatação de óleo em uma camada de 6 cm abaixo dos sedimentos superficiais relativamente considerados limpos acaba por ratificar que em determinados incidentes o óleo pode persistir no longo prazo, mesmo sem aparentemente ser visualizado (Nadeau & Bergquist, 1977).

2.3. Manguezais na Baía de Sepetiba e Potenciais Poluidores

A Baía de Sepetiba fica localizada no litoral sul do Estado do Rio de Janeiro (entre as latitudes 22°54' e 23°04' S e longitudes 43°33' e 44°02' W). Estende-se ao longo de uma área de aproximadamente 305 km², alcançando cerca de 40 km de leste a oeste, e 20 km de norte a sul, com perímetro de aproximadamente 130 km (Cortez, 2012).

A baía apresenta duas ligações com o oceano atlântico, sendo uma a oeste, entre Ilha Grande e Morro da Marambaia, e a outra a leste, através do canal de Barra de Guaratiba. Engloba parte do território de 12 municípios: Itaguaí, Seropédica, Mangaratiba, Queimados, Japeri e Paracambi, totalmente inseridos na bacia, e, Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Paulo de Frontin, Miguel Pereira, Pirai e Rio Claro (Cortez, 2012).

Os principais afluentes contribuintes na região são os rios Guandu, da Guarda, Canal Itá, Piraquê, Portinho, Mazomba e Cação (tabela 6) (Lacerda, Paraquetii, Molisani, & Bernardes, 2007). Nesse contexto o rio São Francisco destaca-se como o maior contribuinte para a Baía de Sepetiba.

O clima da região é considerado tropical, quente e úmido. Os meses de dezembro e janeiro são os mais chuvosos (27 a 34% da pluviosidade anual), enquanto que julho é o mês mais seco (Lacerda, Paraquetii, Molisani, & Bernardes, 2007).

Tabela 6: Vazão fluvial média dos principais afluentes da Baía de Sepetiba. Fonte: adaptado (Lacerda, Paraquetii, Molisani, & Bernardes, 2007).

AFLUENTES	DESCARGA (m³)
Rio da Guarda	19,1
Canal de São Francisco	187
Canal Guandu	8,8
Canal Itá	3,2
Rio Piraquê	4,9
Rio Cação	0,5

Segundo COPELAND (2003) a Baía de Sepetiba é caracterizada por ser um corpo d'água semifechado com baixas profundidades. A hidrodinâmica da baía é considerada um estuário “bem misturado” com classificação baseada na distribuição de salinidade. A maré é a principal causa geradora de correntes na região estudada, sendo essa considerada estacionária, uma característica comum em estuários (Signorini, 1980). Ainda segundo Signorini (1980) as correntes de superfície podem chegar na ordem de 0,75 m/s e período de 6,21 horas. Nas proximidades das maiores contribuições fluviais da baía existe uma semelhança entre as correntes superficiais e de fundo em virtude da baixa profundidade da coluna d'água nessas áreas, bem como, a presença de ilhas, principalmente a de Itacuruçá, que direcionam o fluxo de correntes (Filho, Romano, da Silva, & Villena, 2003).

A região abriga cerca de 38 km² ao longo das costas norte e nordeste com predominância da espécie de mangue *Rhizophora*. Outras espécies de mangues comuns à costa brasileira também podem ser encontradas na área como: mangue *Avicennia schaueriana* e *Laguncularia racemosa* (Rezende, Lacerda, Ovalle, & Silva, 2007).

Dentro da baía podem ser encontrados os manguezais de Guaratiba que se estendem da ponta de Guaratiba até o rio Piraquê. Essa floresta está inserida dentro de uma área de reserva biológica. Ainda na região em análise podem ser encontrados manguezais na Área de Proteção Ambiental (APA) das Brisas que fica na região de Pedra de Guaratiba. Além dos manguezais que ocupam os subdistritos de Coroa Grande e Itacuruçá e alguns remanescentes na Ilha da Madeira (Soares, Almeida, Cavalcanti, Estrada, & Santos, 2011). Os ecossistemas

mencionados são considerados os de maior relevância em função do tamanho que ocupam frente aos outros da região que já se encontram em estado avançado de degradação (SEMA, 1998).

Devido à elevada importância e benefícios advindos dos manguezais, no Brasil esses ambientes são considerados áreas de preservação permanente. Parte dos 0,5 km² de manguezais de Guaratiba estão inseridos dentro da Reserva Biológica Estadual de Guaratiba (RBG), fato este que atribui ao mesmo um maior grau de proteção. Não obstante, na parte oeste da reserva pode-se encontrar florestas de manguezais que vem sofrendo alto nível de degradação ao longo dos anos (Oshiro, Silva, & Silva, 1998). A APA das Brisas abriga exemplares de manguezais associados a planícies hipersalinas, mas o ecossistema dessa região encontra-se ameaçado em virtude das grandes ocupações em seu entorno (Soares, Almeida, Cavalcanti, Estrada, & Santos, 2011).

Por fim, em termos de grau de conservação, no estuário da Baía de Sepetiba ainda podem ser encontrados os manguezais de Itacuruçá e Coroa Grande. Essas florestas de manguezais ocupam 0,1 km² de área e estão expostos a constantes ameaças, seja em virtude da ocupação humana, ou em virtude dos empreendimentos portuários da região (Oshiro, Silva, & Silva, 1998). Uma pequena área de manguezal na região de Itacuruçá, entre o canal de Itacuruçá e as montanhas da Ilha de Itacuruçá, ainda apresenta um grau satisfatório de conservação (Soares, Almeida, Cavalcanti, Estrada, & Santos, 2011).

O Brasil possui 37 portos públicos ao longo de aproximadamente 8.500 km de costa. Os portos públicos podem ser administrados diretamente pela União, ou por delegação a municípios, estados e consórcios públicos.

Segundo a SEMA (1998), as atividades necessárias à navegação constituem uma fonte de alteração das características ambientais que podem desequilibrar o meio ambiente. A realização de dragagem em um canal de navegação pode ocasionar em transtornos ambientais como remobilização de metais aprisionados no fundo; a troca de água de lastro em desacordo com os padrões recomendados pela NORMAM/20 pode introduzir espécies exóticas e organismos patogênicos nas águas costeiras; limpezas não autorizadas de porões de embarcações ou abalroamento/ colisão podem ocasionar um incidente de derramamento de óleo no meio ambiente marinho.

Os portos estão inseridos em regiões de grande valor ecológico o que corrobora com a necessidade de adoção de medidas adequadas para prevenção e combate à poluição ambiental, conforme preconizado na Lei nº 6.938/81. Por ser considerada como potencialmente poluidora, a atividade portuária necessita de um processo de licenciamento ambiental para entrada em atividade de suas operações

Nas áreas de influência direta e indireta dos empreendimentos portuários podem ser encontradas APA's. Essas áreas de proteção são regulamentadas por ato do órgão ambiental competente, e devem ser prioritariamente protegidas em casos de incidentes por óleo no meio ambiente marinho (figura 1). Como exemplos de áreas de proteção ambiental nas adjacências dos portos na Baía de Sepetiba, podem ser listadas:

- APA de Mangaratiba: localizada nos municípios de Itaguaí e Mangaratiba foi criada em 1987 e possui cerca de 230 km². Essa APA engloba as ilhas Guaíba, Guaibinha, Itacuruçá, Furtada e Jaguanum. A área em questão concentra na Ilha da Madeira a presença dos portos de Itaguaí, Sudeste e a Base Naval da Marinha (EBN).
- APA da Orla Marítima da Baía de Sepetiba: foi criada em 1998 e possui aproximadamente de 90 km².
- APA de Tamoios: composta pela parte continental, Ilha Grande e demais ilhas que integram o município de Angra dos Reis, nas baías da Ilha Grande, da Ribeira e da Jacuecanga. Foi criada em 1992.
- APA do Saco da Coroa Grande: fundada em 1990, contemplando área de manguezal, e ainda sem limites definidos.
- APA das Brisas: criada em 1992, com o objetivo de preservar os ecossistemas de manguezais e a restinga no litoral da Baía de Sepetiba.
- APA do Rio Guandu: sob o domínio do bioma Mata Atlântica essa área abrange cerca de 742,5 km² de área, contemplando os municípios de Miguel Pereira, Paracambi, Piraí, Engenheiro Paulo de Frontin, Itaguaí, Seropédica, Nova Iguaçu, Japeri, Queimados, Vassouras e Rio Claro. Foi criada em 2007.

No complexo portuário da Baía de Sepetiba foram realizadas 1.185 atracções no ano de 2014. Desse total de manobras, tem-se que: 606 atracções foram realizadas para o escoamento de granéis (CSN Tecar, CPBS Vale, TKCSA e TIG Vale), 403 atracções para o escoamento de containers e 45 atracções de navios de passageiros (figura 11) (FIRJAN, 2015).

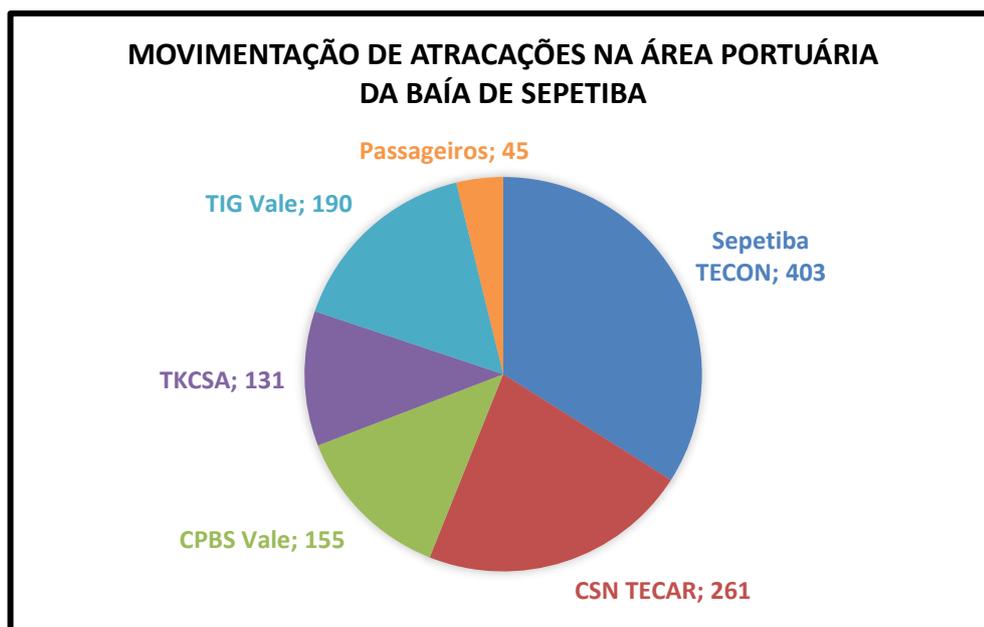


Figura 11: Mapa referente ao número de atracções de navios na para o ano de 2014. Sepetiba TECON: 403 atracções; CSN TECAR: 261 atracções; CPBS Vale: 155 atracções; TKCSA: 131 atracções; TIG Vale: 190 atracções; navio de passageiros: 45 atracções. Fonte: adaptado (FIRJAN, 2015).

As principais características das instalações portuárias na área da baía são:

a) Porto de Itaguaí

O Porto de Itaguaí inaugurado em 07 de maio de 1982 com operação dedicada ao escoamento de granéis e carga geral está localizado ao sul da Ilha da Madeira (CDRJ, 2009). O empreendimento possui oito berços de atracção ao longo de um cais com 2.200 metros de extensão e calado em torno de 14,4 a 18,5 metros. Atualmente o porto conta com três terminais a saber: Sepetiba TECON (Terminal de Contêineres), CSN - Companhia Siderúrgica Nacional

S/A (Terminal de Carvão - TECAR) e o VALESUL ALUMÍNIO S/A (Terminal Portuário de Alumina) (CDRJ, 2009).

b) Porto Sudeste

O empreendimento está localizado na Ilha da Madeira e começou a operar em 2015. Foi projetado para movimentar granéis sólidos e possui uma área total de aproximadamente 600.000 m² com um píer de 766 metros de comprimento e 24 metros de largura (MMX, 2014). O porto apresenta dois berços de atracação para recebimento de navios Panamax e Cape Size (maiores navios de carga de atualidade) com até 315 metros.

c) Estaleiro de Base Naval da Marinha (EBN)

O EBN foi projetado para atender as necessidades de operação e manutenção dos submarinos da Marinha do Brasil. O empreendimento localizado na Ilha da Madeira, ao lado do Porto Sudeste, conta com um cais para atracar até dez submarinos, um navio de socorro de submarinos, três rebocadores portuários, uma lancha de apoio ao mergulho e uma embarcação de recolhimento de torpedos (EBN, 2009). O local servirá de base para construção e posterior movimentação de quatro submarinos convencionais e um submarino nuclear (EBN, 2009).

2.3.1. Impactos de Derramamento de Petróleo em Manguezais no Brasil

No Brasil a movimentação em relação a políticas relacionadas ao tema que discorrem sobre derrames de óleo e seus derivados no meio ambiente marinho teve como marco inicial o incidente com compostos oleosos na Baía de Guanabara-RJ, no ano de 2000. Esse incidente provocou o despejo de 1,3 mil m³ de óleo combustível no meio aquático e ocorreu em virtude do rompimento de um oleoduto (CETESB, 2007). Destaca-se que antes do incidente ora mencionado as AJB foram acometidas por diversos derrames envolvendo óleo e seus derivados ao longo dos anos (tabela 7).

Tabela 7: Relação dos principais incidentes com óleo e seus derivados registrados em AJB. Fonte: adaptado (CETESB, 2007).

ANO DO INCIDENTE	VOLUME DERRAMADO (m3)	DESCRIÇÃO DO INCIDENTE DE DERRAMAMENTO DE ÓLEO
1974	6	Colisão do petroleiro Takimyia Maru com uma rocha no Canal de São Sebastião (SP)
1975	6	Derramamento de petróleo na Baía de Guanabara (RJ) proveniente de um navio cargueiro iraniano
1983	1.5	Vazamento do oleoduto da Rio-Santos no canal de Bertioga e outras 17 praias
1988	250	Derramamento de óleo ocasionado por embarcação em Angra dos Reis (RJ).
1989	150	Incidente provocado pelo rompimento de duto de um petroleiro da Petrobras provocando poluição com óleo em S. Sebastião (SP)
1990	40	Derramamento provocado pelo incidente entre um rebocador e um navio petroleiro. Incidente ocasionou na poluição de mais de 30 km de óleo no mar, em Angra dos Reis (RJ)
1994	350	Incidente ocorreu na plataforma da Petrobras da Bacia de Campo (RJ). Foi formada uma mancha de 450 quilômetros quadrados de óleo
1994	2.7	Incidente provocado por um oleoduto, atingindo 18 praias do litoral norte São Sebastião, tornando-as impróprias para banho. Destaca-se que a multa recebida pela Petrobras na época era equivalente a um maço e meio de cigarro
1997	600	Incidente provocado pelo rompimento de duto da Reduc (RJ). O evento atingiu 4.000 metros quadrados de manguezal
1998	15	Incidente provocado pelo petroleiro Maruim. Poluiu 11 praias e provocou o maior desastre ambiental na cidade de Ilhabela, litoral norte de SP
2000	1200	Petrobras foi a responsável pelo derramamento de óleo na Baía de Guanabara (RJ)
2011	588,253	Vazamento do Campo do Frade, administrada pela empresa Chevron.
2011	1.2	Rompimento de duto impactando a praia em Tramandaí, RS.

No transporte marítimo os pequenos derramamentos representam cerca de 98% das perdas totais de óleo e seus derivados. De acordo com a Resolução CONAMA 398 de junho de 2008 os vazamentos de óleo são classificados como: pequeno (até 8m³), médio (até 200 m³) e pior caso (acima 200 m³). Entretanto, são os grandes incidentes envolvendo óleo que mais

absorvem a atenção da população. O primeiro caso mundialmente conhecido em virtude do grande volume derramado foi o encalhe da embarcação Torrey Canyon, em 1967. Nesse evento foram despejados 123.000 m³ de óleo, contaminando a zona costeira da França e Inglaterra. No Brasil, o incidente envolvendo a embarcação Takimya Maru, em 1967, foi considerado o primeiro evento conhecido de derrame de óleo de grande proporção. A colisão do navio com uma rocha, no canal de São Sebastião, provocou o vazamento de aproximadamente 6.000 m³ de óleo para as águas marinhas (CETESB, 2007).

A ocorrência de vazamentos e um maior esclarecimento da população de suas consequências danosas ao ambiente aquático impulsionou o aprimoramento da legislação ambiental brasileira, que busca atuar de forma a fixar as responsabilidades, estabelecendo e criando uma estrutura organizacional com o intuito de permitir uma atuação coordenada entre os órgãos da administração pública em caso de incidentes de poluição por óleo. O despertar de uma consciência ambiental fez também com que ocorresse um maior rigor dos órgãos ambientais nas inspeções e aplicação de sanções. A própria indústria do petróleo atuou de forma a implementar e se adequar as medidas condizentes com as normas e leis ambientais vigentes.

Dentre os desastres de grande proporção para o meio ambiente marinho que afetou áreas de manguezais destaca-se o derramamento ocorrido na Baía de Guanabara. Esse incidente ambiental foi causado por problemas nas tubulações da Refinaria Duque de Caxias (REDUC) no Rio de Janeiro (Ciotti, Santos, Neck, Bianchini, & Brandli, 2009). A extensão da mancha de óleo alcançou aproximadamente 50 km² atingindo o manguezal da APA de Guapimirim. Após seis anos do incidente ainda era possível observar efeitos de maré negra nos manguezais ao fundo da baía (Ciotti, Santos, Neck, Bianchini, & Brandli, 2009).

Outro incidente com óleo que provocou consequências desastrosas aos ecossistemas de manguezais foi o derramamento de óleo na área do Porto de Paranaguá-PR envolvendo o navio Vicuña em 2004 (figura 12). Esse despejo acabou matando 115 espécies de animais ao longo dos 170 km da Baía de Paranaguá (PR) e afetou aproximadamente 0,135 km² de manguezais (Ratton, 2015).



Figura 12: Raízes contaminadas com óleo no incidente envolvendo a embarcação Vicunã na Baía de Paranaguá (PR). Fonte: (Ratton, 2015).

O óleo danificou o substrato, raízes, troncos e galhos inferiores das árvores do ecossistema ocasionando na morte de três espécies de mangue. Nas árvores adultas foram observados danos nas folhagens após o incidente. Um ano após o derramamento ainda era possível presenciar a mortalidade de diversas espécies na área impactada (Ratton, 2015).

Em 1983 nas imediações de Bertioga-SP ocorreu um derrame de óleo provocado pelo rompimento de um oleoduto. Esse despejo de óleo acabou atingindo 25% de um bosque de manguezal com 115 km² localizado na desembocadura do Rio Iriiri (Santa-Cruz, 2004). Como efeitos imediatos após o incidente cita-se uma acentuada taxa de desfolhação das árvores dos manguezais (Schaeffer-Novelli Y. , 1990). Após mais de 20 anos do derramamento ainda era possível encontrar óleo nos sedimentos subsuperficiais (Santa-Cruz, 2004).

2.4. Vulnerabilidade e Sensibilidade Ambiental ao Óleo

Segundo Silva, et al., (2012) o termo vulnerabilidade ambiental pode ser compreendido de uma forma mais abrangente ao relacionar dois aspectos: a sensibilidade ambiental da área quando exposta ao contaminante e a probabilidade do óleo tocar esse ambiente.

A sensibilidade do ambiente costeiro pode ser descrita em função de suas características geomorfológicas, considerando as relações entre os processos físicos e o substrato, originando o índice de sensibilidade do litoral (ISL) (figura 13) (MMA, 2004). O ISL pode ser encontrado

ao longo das diversas cartas de sensibilidade ambiental ao óleo (Cartas SAO) produzidas para regiões costeiras. O ISL é fundamentado em uma escala que hierarquiza os tipos de feições costeiras de 1 a 10, sendo o índice 10 considerado o mais sensível.

COR	ISL	TIPOS DE COSTA
	1	costões rochosos lisos, alta declividade, expostos/falésias em rochas sedimentares, expostas/estruturas artificiais lisas, expostas
	2	costões rochosos lisos, declividade média a baixa, expostos/faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas/escarpas e taludes íngremes/campo de dunas expostas
	3	praias dissipativas de areia média a fina, expostas/faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas/escarpas e taludes íngremes/campos de dunas expostas
	4	praias de areia grossa/praias intermediárias de areia fina a média, expostas/praias de areia fina a média, abrigadas
	5	praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais/terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação/recifes areníticos em franja
	6	praias de cascalho/costa de detritos calcários/depósito de talus/enrrocamentos expostos/plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
	7	planície de maré arenosa exposta/terraço de baixa-mar
	8	escarpa; encosta de rocha lisa, abrigada/escarpa; encosta de rocha não lisa, abrigada/escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados/enrrocamentos abrigados
	9	planície de maré arenosa; lamosa, abrigada/terraço de baixa-mar arenoso, abrigado/recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
	10	deltas e barras de rios vegetadas/terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas/brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio/marismas, manguezais

Figura 13: Classificação do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL). Fonte: (MMA, 2004).

Segundo NOAA (1997) os Estados Unidos utilizam as cartas SAO dentro do escopo dos planos de contingência de derramamento de petróleo desde 1979 em virtude do vazamento de

óleo no poço de petróleo IXTOC 1, no Golfo do México. No Brasil essas cartas são elaboradas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) em conjunto com outros órgãos como IBAMA, Agência Nacional do Petróleo (ANP), Marinha do Brasil e entidades de interesse. A utilização das cartas SAO constituem uma ferramenta primordial no auxílio ao contingenciamento de incidentes com óleo no mar (MMA, 2002).

O mapeamento de uma área vulnerável ao óleo depende de informações contidas nas cartas SAO da área em análise, bem como, de uma modelagem de dispersão do óleo na superfície da água. A implementação de modelagem determinística permite determinar o momento em que o óleo pode tocar a costa. A utilização em conjunto das cartas SAO e modelagem de dispersão do óleo permite identificar os ambientes que podem ser impactados em incidente com derrame de óleo (Romero, 2009). Segundo BRASIL (2008) a determinação das áreas passíveis de serem atingidas em caso de despejo de óleo devem ser obtidas em função de cenários acidentais utilizando o volume correspondente a descarga de pior caso. Essa análise pode ser feita por meio de comparação com incidentes anteriores ou com a utilização de modelagem hidrodinâmica de transporte e dispersão de pluma de contaminante.

De acordo com MAREM (2018) a figura 14 contempla o mapeamento do ISL da Baía de Sepetiba. Pode-se inferir que a região apresenta, dentre outros, pontos de ISL 4, que são ambientes caracterizados por praias de areia grossa ou intermediárias de areia fina a média.



Figura 14: ISL da Baía de Sepetiba em conformidade com padrão estabelecido pelo MMA (figura 13).
Fonte: adaptado MAREM (2018).

O ISL 6 também pode ser encontrado na região de estudo, com pontos localizados no município de Mangaratiba. O ISL 8 apresenta-se de forma expressiva ao longo da região, assim como ISL 10 que é caracterizado como o mais sensível da classificação proposta pela legislação ambiental no qual estão inseridas áreas de manguezais.

2.5. Técnicas de Contenção e Medidas Mitigadoras em Incidentes de Poluição por Óleo

Conforme classificação do MMA, os manguezais são classificados como ambientes sensíveis apresentando ISL 10. De acordo com a legislação ambiental esses ecossistemas devem ser prioritariamente protegidos na ocorrência de incidentes com derramamento oleoso. Para tal, torna-se necessária a escolha adequada das técnicas para resposta ao óleo evitando que esse ambiente seja impactado. Segundo IPIECA (1993) as principais medidas de proteção a serem adotadas em casos de incidentes com óleo são: contenção mecânica, dispersante químico no mar e queima *in situ* de óleo.

A realização da contenção mecânica do óleo engloba métodos preliminares que são utilizados na fase inicial de incidentes com hidrocarbonetos. Nesse processo são utilizados equipamentos destinados a conter e recolher o óleo na água, evitando seu espalhamento no meio ambiente marinho. Dentre os equipamentos utilizados destacam-se:

a) Barreira de contenção: são equipamentos que podem ser empregados em águas abertas ou em áreas protegidas, independente da profundidade (figura 15). Não resultam em danos ao meio ambiente e protegem os ecossistemas sensíveis mais próximos à fonte emissora de óleo dificultando a chegada da mancha na costa (CETESB, 2007).



Figura 15: Utilização de barreira de contenção em conjunto com barreiras absorventes no derramamento de óleo do Porto de Paranaguá. Fonte: (Ratton, 2015).

As barreiras também são empregadas com a finalidade de aumentar a eficiência do recolhimento do óleo, e devem ser utilizadas em conjunto com outros equipamentos de contenção.

b) Recuperadores de óleo (Skimmers): estes equipamentos atuam em conjunto com as barreiras de contenção e devem ser utilizados nos instantes iniciais do derramamento. O objetivo de seu uso é diminuir a probabilidade do óleo atingir áreas sensíveis (figura 16) (CETESB, 2007).



Figura 16: Utilização conjugada de barreira de contenção e recolhedores de óleo. Fonte: (CETESB, 2007).

c) Barreiras Absorventes: estas barreiras são eficientes na absorção do óleo derramando no meio ambiente marinho. Também são consideradas como equipamentos que ajudam na contenção do espalhamento da mancha de óleo.

d) Materiais absorventes: estes materiais devem ser aplicados sobre a mancha de óleo, e posteriormente recolhidos ao final de sua capacidade de absorção.

A utilização dos equipamentos de contenção no início do derramamento são métodos comumente empregados em incidentes com óleo no mar. Apesar disso, a experiência ao longo dos diversos derramamentos de óleo vem demonstrando que somente a utilização dessas técnicas não é totalmente eficaz na contenção de grandes derrames, tornando necessária a utilização de dispersantes químicos ou a queima de óleo *in-situ* na água, com o intuito de reduzir

de forma significativa a probabilidade do óleo alcançar a costa e afetar os manguezais e outros ecossistemas sensíveis (Hoff, et al., 2010). Segundo CETESB (2007) a utilização dos métodos convencionais de contenção e remoção do óleo não alcança taxas superiores a 20% da quantidade derramada na maioria dos incidentes com óleo. Em determinadas condições meteoceanográficas o bom desenvolvimento dessas atividades de contenção é prejudicado, resultando na perda do controle das plumas de contaminante em função de ventos e correntes mais intensas.

A Resolução CONAMA 269/2000 é a legislação nacional que regulamenta o uso de dispersantes químicos em incidentes com óleo nas AJB (Brasil, Resolução CONAMA nº 269, 2000). Esse composto químico pode ser definido como produto de natureza orgânica que quando aplicado na superfície com óleo ajuda na redução da tensão superficial entre o óleo e a água, formando gotículas finas de óleo que se misturam da coluna d'água (figura 17). Esse produto contribui para acelerar o processo de dispersão natural do poluente (Hoff, et al., 2010).

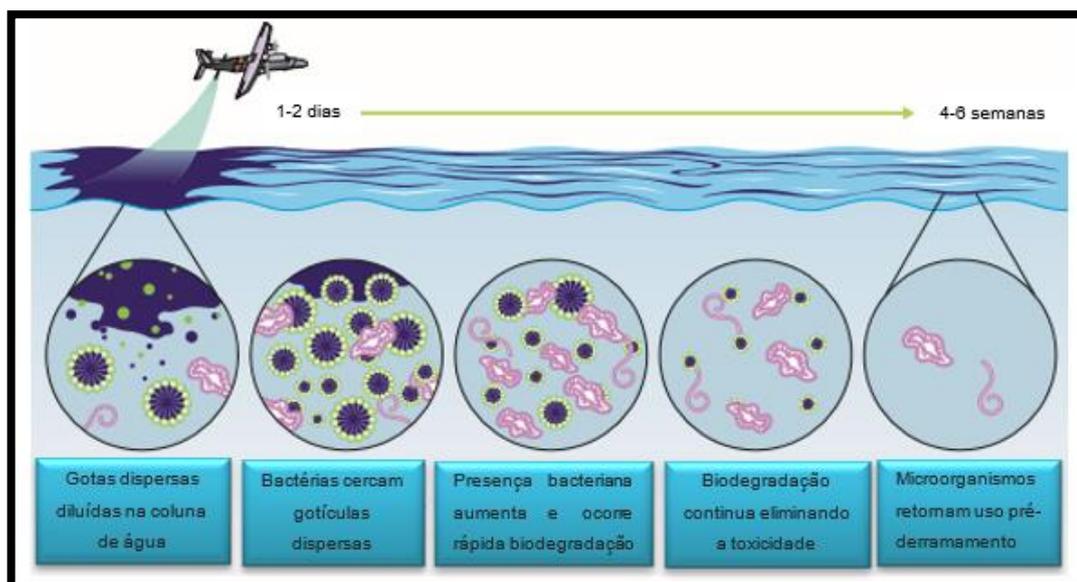


Figura 17: Processo de biodegradação do óleo derramado após aplicação de dispersante na superfície da mancha. Fonte: (IPIECA, 2015).

No Brasil a utilização dos dispersantes está condicionada a anuência do órgão ambiental competente, pois seu uso pode proporcionar efeitos adversos à vida marinha da região e em áreas adjacentes ao local em que foi aplicado. Salienta-se que sua utilização deve ser baseada

em um rigoroso critério de comparação entre os efeitos que esse produto pode provocar ao meio marinho e as consequências advindas de sua não utilização. Destaca-se ainda que a eficiência dos dispersantes diminui ao longo do processo de intemperização do óleo no mar, isto é, há uma janela de tempo em que o mesmo pode ser aplicado, entre o início do incidente e a ocorrência do processo de intemperismo (IPIECA I. P., 1993).

Segundo (Hoff, et al., 2010) a queima controlada *in-situ* é utilizada para remoção de grandes quantidades de óleo de maneira rápida e eficiente e com pouco apoio logístico com o objetivo de evitar que o óleo chegue a ambientes mais sensíveis como manguezais. A utilização desse processo envolve condições adequadas para garantia de sua eficiência como: espessura mínima da pluma de óleo, barreiras de contenção especiais para queima (fire booms), condições adequadas de vento e mar (figura 18). Tais parâmetros precisam ser satisfeitos para que esse método se torne uma possibilidade a ser utilizado em incidentes com óleo (CETESB, 2007) .



Figura 18: Queima controlada in situ. Fonte: (IPIECA, 2015).

A aplicação dessa técnica no Brasil é recente e foi regulamentada pela resolução CONAMA 482/2017, que dispõe sobre a utilização do procedimento de queima controlada emergencial como ação de resposta a incidentes de poluição por óleo no mar (CONAMA, 2017). Segundo essa resolução a queima *in situ* de óleo deve ser utilizada quando a aplicação de técnicas mecânicas de contenção, recolhimento e dispersão não forem efetivas, inaplicáveis

ou insuficientes. O resíduo gerado após a queima de óleo é considerado uma desvantagem dessa técnica. Os produtos originados da queima podem ser coletados durante a operação de contenção do óleo, entretanto, uma pequena porcentagem de resíduos remanescentes pode chegar ao fundo do mar, ou se deslocar para costa atingindo ambientes como manguezais. Contudo, estudos apontam que os resíduos da queima de óleo são menos tóxicos à biota do que o óleo intemperizado no ambiente (CETESB, 2007).

Na ocorrência de um incidente ambiental envolvendo substâncias oleosas, os responsáveis pelo empreendimento que originou a poluição devem tomar as medidas cabíveis de comunicação aos órgãos envolvidos e a disponibilização dos recursos para contenção do óleo no mar. Empreendimentos como portos e instalações portuárias, que recebem navios, devem estar equipados com equipamentos de contingência para possíveis eventos de derrame de óleo. Deve-se acionar imediatamente os recursos (equipe e materiais) para a realização da contenção mecânica de óleo no mar. Com a utilização de embarcações, barreiras de contenção e recolhedores deve-se cercar a mancha oleosa para evitar o seu espalhamento, observando o correto posicionamento dos recolhedores mecânicos a fim de garantir sua melhor eficiência. Importante destacar a obrigatoriedade da comunicação do incidente ao órgão ambiental competente, ANP e Capitania dos Portos da região no qual ocorreu o despejo.

Recomenda-se também a utilização de material absorvente sobre a mancha de óleo e o seu posterior recolhimento após esgotada sua capacidade de absorção. O material contaminado com óleo deve ser adequadamente armazenado, evitando dessa forma a sua dispersão na superfície da água em direção às áreas costeiras.

Ao final dos trabalhos deve ser encaminhado relatório com todas as informações acerca do incidente, como: causa do derramamento, produto derramado, quantidade estimada derramada, medidas de contenção utilizadas, fotografias do incidente, dentre outras informações que podem ser solicitadas pelo órgão ambiental competente e autoridade marítima para apuração dos danos e investigação dos responsáveis pelo derrame, e posterior emissão de auto de infração e multa.

2.5.1. Técnicas de Limpeza de Óleo nos Manguezais

As ações a serem empregadas após um ecossistema de manguezal ser atingido por óleo devem ser extremamente cautelosas. Os procedimentos que envolvem a limpeza desses

ambientes são onerosos e podem por muitas vezes prejudicar ainda mais o ecossistema atingido quando da utilização de um método inadequado.

Dentro desse contexto as principais opções de limpeza em caso de manguezais atingidos por óleo são: limpeza natural, absorventes, bombeamento a vácuo, biorremediação, remoção manual do óleo e utilização de dispersantes (Hoff, et al., 2010; CETESB, 2007).

a) Limpeza natural: na maioria das vezes esta é considerada a melhor opção em ecossistemas de manguezais contaminados por óleo. Em determinadas situações a limpeza poderia ocasionar em maior dano ao ambiente atingido do que a obtenção de benefícios reais. Seu uso também é recomendado em ocasiões nas quais as linhas de costa são inacessíveis impedindo o uso de técnicas de remediação do óleo. A limpeza natural ocorre pela ação de microrganismos que irão, lentamente, degradar o óleo derramado e pela ação do fluxo de maré auxiliando na remoção do contaminante (Hoff, et al., 2010).

b) Absorventes: esta técnica utiliza materiais oleofílicos que absorvem o óleo. os absorventes são colocados nas manchas oleosas nas águas contíguas aos manguezais. Para aumentar a eficiência da utilização desses materiais essa técnica pode ser empregada em conjunto com barreiras absorventes que facilitam o recolhimento do óleo ao restringir a movimentação da pluma de contaminante (CETESB, 2007). Especial atenção deve ser empregada na colocação e remoção dos absorventes, uma vez que pode ocorrer a perturbação e danos aos sedimentos e raízes de manguezais ao se pisar na região impactada. Pode também ocorrer a contaminação do sedimento quando da não retirada do material absorvente oleado (CETESB, 2007).

c) Bombeamento a vácuo: é considerada uma das técnicas mais importantes para diminuir o contato dos manguezais com o óleo. O bombeamento pode capturar grande quantidade de óleo derramado, não obstante, deve-se atentar ao seu emprego, pois pode ocorrer a remoção não intencional de organismos e sedimentos dos manguezais (CETESB, 2007).

d) Biorremediação: a baixa concentração de oxigênio nos ambientes de manguezais é considerado um fator limitante ao emprego adequado desta técnica. Nesses ecossistemas,

apesar da abundância de nutrientes, a degradação não ocorre de maneira eficiente em virtude da grande quantidade de sedimentos anaeróbicos abaixo das camadas superficiais desse ambiente (Hoff, et al., 2010).

e) Remoção manual: esta técnica emprega a remoção do óleo com utilização de mão-de-obra manual. Sua utilização é relevante em incidentes com óleos mais pesados, como óleo cru ou bunker, aprisionados nos manguezais. Nessa técnica também deve ser avaliado os benefícios da remoção manual e os danos mecânicos que podem ser impostos aos ecossistemas de manguezais, pois torna-se tarefa inviável chegar ao emaranhado de raízes sem causar danos físicos aos mesmos (Hoff, et al., 2010).

f) Dispersantes: sua efetividade e benefícios não é considerada consensual no meio científico. Dentre os pontos positivos destaca-se o fato de que a utilização de dispersante reduz a aderência do óleo que atinge as raízes emaranhadas dos manguezais. No entanto, o seu uso pode ocasionar em contaminação do ambiente (Michel & Hayes, 1992). A legislação ambiental brasileira não autoriza a utilização desse tipo de produto nos manguezais. Segundo a resolução CONAMA 269/2000 o uso de dispersante é proibido em áreas sensíveis contaminadas por óleo. Considerando o fato de não haver estudos mais detalhados sobre esse tema para as condições brasileiras, recomenda-se que não sejam aplicados em áreas abrigadas e próximas aos manguezais (BRASIL, 2001).

Conforme evidenciado, pode-se constatar que todas as técnicas supracitadas possuem pontos a favor e contra que devem ser prioritariamente considerados em caso de contaminação dos manguezais com óleo. As estratégias potenciais de resposta devem ser ponderadas para avaliar se os benefícios finais da ação de resposta superam quaisquer custos ambientais para as florestas de mangue e habitats sensíveis (Hoff, et al., 2010).

2.6. Legislação Ambiental Relativa à Poluição Por Óleo

No cenário internacional diversas convenções foram realizadas com o propósito de definir medidas para evitar ou minimizar os efeitos deletérios da poluição por óleo. Dentre essas convenções destaca-se a MARPOL - Prevenção da Poluição Marinha Causada por

Navios. Essa convenção possui seis anexos sendo que o ANEXO I da convenção aborda aspectos relacionados à prevenção da poluição envolvendo embarcações (CETESB, 2009).

A legislação ambiental brasileira possui uma gama de dispositivos legais que visam à proteção ambiental. A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) cujo objetivo foi garantir o desenvolvimento socioeconômico, acabou criando o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA). De acordo com o SISNAMA o órgão responsável pela elaboração de normas e padrões compatíveis com o equilíbrio ambiental é o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Já dentre os órgãos responsáveis por fazer cumprir os requisitos ambientais destaca-se em nível nacional o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Importante salientar que no Brasil é necessário o estabelecimento de planos de ação para o combate às emergências com poluição por óleo ou substâncias nocivas ou perigosas em águas jurisdicionais brasileiras (AJB). A Lei nº 9.966/2000 (Lei do Óleo) que dispõe sobre controle e fiscalização de poluição por óleo em AJB, apresenta os requisitos a serem obedecidos por embarcações, plataformas, portos e instalações portuárias quando operando com substâncias oleosas. A Resolução CONAMA nº 398/2008, que faz referência ao Plano de Emergência Individual (PEI), deverá ser apresentado por portos, instalações portuárias, plataformas e instalações de apoio, dentre outros ao órgão ambiental competente. No PEI deve estar descrito a capacidade da instalação executar, de imediato, as ações de respostas previstas para atendimento aos incidentes de poluição por óleo, utilizando recursos próprios, humanos e materiais, que poderão ser complementados com recursos adicionais de terceiros, através de acordos previamente firmados.

Na valoração da multa ambiental em incidentes de poluição a agilidade nas operações de contenção do óleo colocando em prática o PEI, pode ser considerado como fator atenuante no valor da multa. Assim como a poluição por óleo em APA's, regulamentadas na Lei nº 9.985/2000 que trata do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), é considerada agravante e aumenta o valor da multa.

3. METODOLOGIA

3.1. Procedimentos Metodológicos

Para a realização da simulação de qualquer contaminante no mar é necessário o conhecimento a respeito da hidrodinâmica da região em estudo. Para tal, torna-se imprescindível recorrer a modelos hidrodinâmicos que são capazes de reproduzir o comportamento do fluido quando exposto a forçantes como vento e corrente, por exemplo.

A modelagem da dispersão de óleo pode ser realizada em modo determinístico ou probabilístico. Estudos de deriva de pluma de contaminante normalmente usam modelos determinísticos na simulação de derrames sob condições extremas (descarga de pior caso) e modelos probabilísticos para o estudo probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo. Para realização das simulações em modo determinístico o cenário é gerado para uma condição ambiental específica, previamente determinada pelo usuário. Ao passo que as simulações em modo probabilístico calculam as probabilidades de comportamento da mancha dentre uma série de datas escolhidas aleatoriamente a partir dos padrões típicos de circulação e transporte na região de estudo e de séries temporais de vento. A escolha do método a ser utilizado depende da análise que se deseja realizar. Em sua obra Romero (2009) tinha como objetivo determinar as múltiplas trajetórias do comportamento da pluma de contaminante a fim de elaborar mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo na Bacia de Santos, e optou pela utilização de simulação probabilística com o software OILMAP. Já Poletto (2013) tinha o objetivo de identificar os locais de contaminação por óleo ao longo do tempo na área portuária de Itajaí-SC, e simulou cenários determinísticos críticos, de pior caso.

Este trabalho foi desenvolvido com a utilização de cenários determinísticos críticos, utilizando a descarga de pior caso em condições previamente estabelecidas com o intuito de conhecer a trajetória e comportamento da pluma de contaminantes e a análise da possibilidade de toque de óleo nos manguezais da Baía de Sepetiba.

Para a realização das simulações determinísticas realizadas neste trabalho, de acordo com a figura 19, devem ser informados os dados de entrada (local de despejo, volume do óleo derramado, tipo de óleo e informações da direção e intensidade dos ventos), que serão processados pelo modelo de óleo ao longo de 72 horas de derrame contínuo em cenários críticos pré-estabelecidos. Como dados de saída do processo pode ser analisada a evolução temporal da mancha de óleo para os tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas após o

início do derrame, bem como, a vulnerabilidade dos ecossistemas de manguezais serem impactados por óleo.

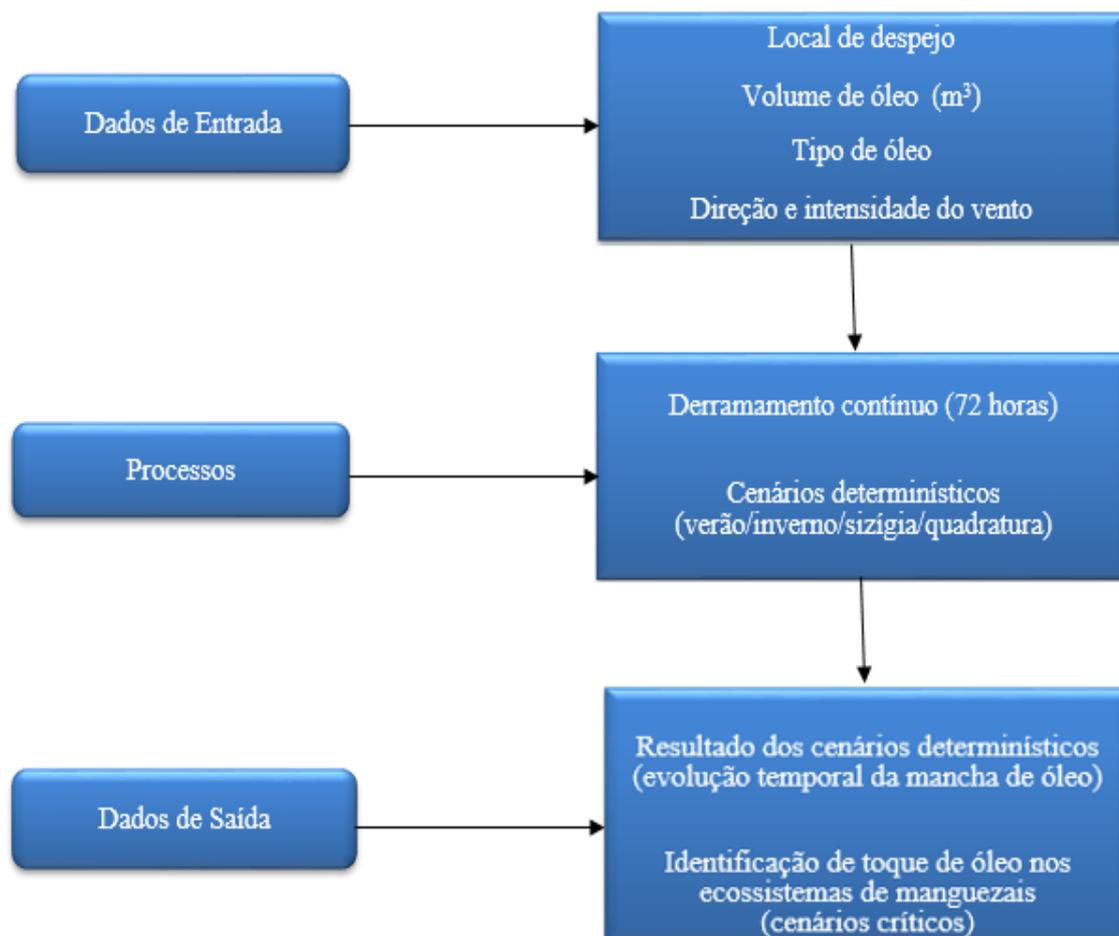


Figura 19: Representação dos processos realizados nas simulações dos cenários críticos determinísticos.

3.1.1. Validação

Uma das etapas que compreende o processo de modelagem hidrodinâmica é a validação do modelo. Esse procedimento consiste em uma comparação entre os dados que foram obtidos pelo modelo com os dados verificados *in situ*. Segundo Fragoso Junior (2009) após a execução desse procedimento, se o modelo for considerado válido, o mesmo pode ser utilizado em diversas aplicações.

Para validação do modelo matemático neste estudo foram comparados valores de amplitude e fase de superfície gerados por constantes harmônicas de maré nas áreas da Baía de Sepetiba e Ilha Guaíba disponibilizados pela FEMAR, e valores simulados pelo modelo. As constantes harmônicas não dependem do tempo, sendo típicas de cada área, constituindo uma base sólida para a caracterização da maré em um dado local.

Analisando os dados de amplitude e fase gerados pelas constantes harmônicas na área da Baía de Sepetiba e Ilha Guaíba e os dados simulados pelo modelo DELFT 3D, pode-se observar, nas figuras 20 (a) e (b) e 21 (a) e (b) uma similaridade entre as constantes harmônicas e os dados simulados pelo modelo.

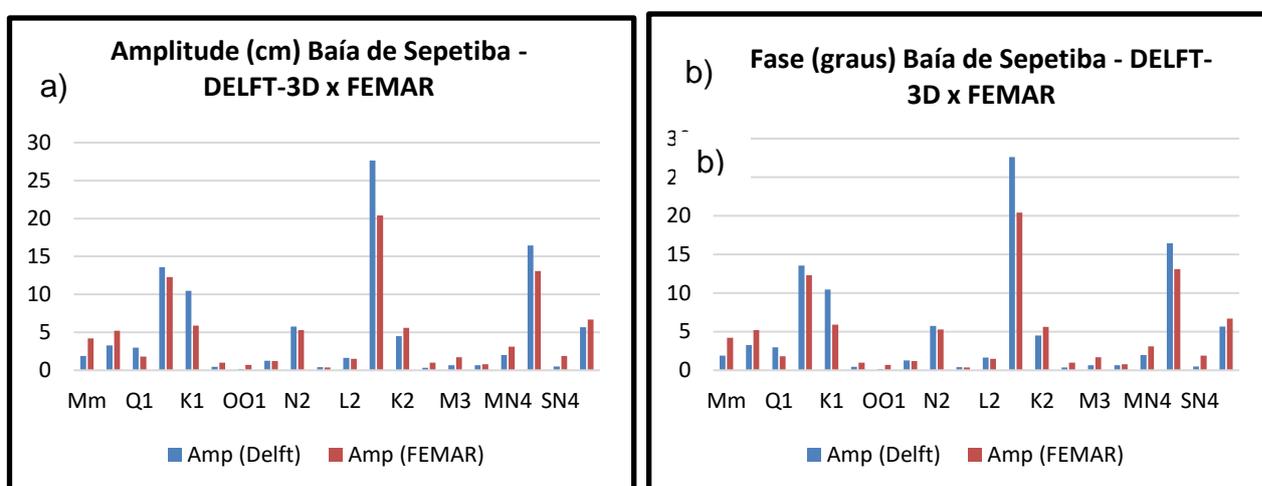


Figura 20: Comparação da amplitude (a) e fase (b) com utilização de constantes harmônicas na área da Baía de Sepetiba.

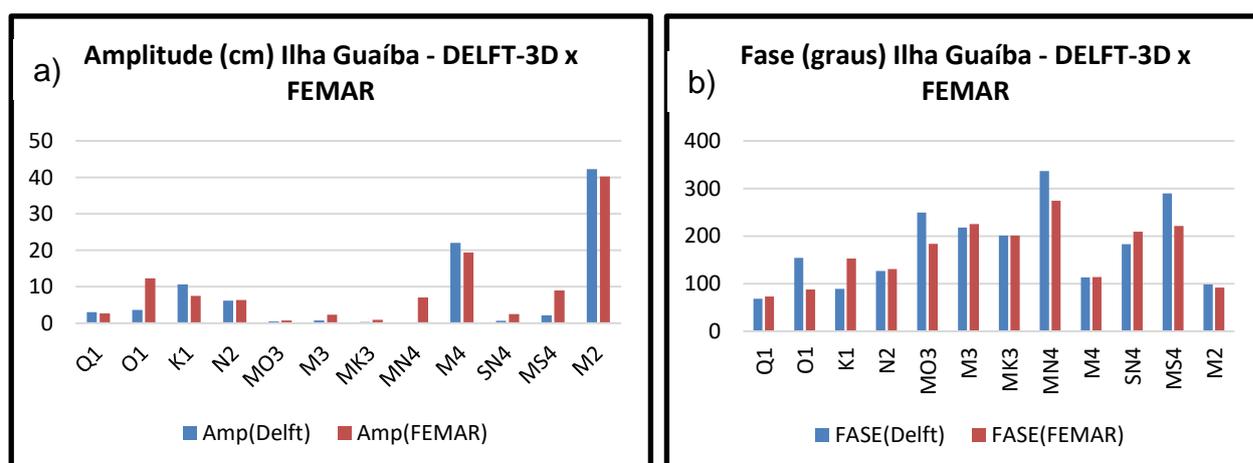


Figura 21: Comparação da amplitude (a) e fase (b) com utilização de constantes harmônicas na área de Ilha Guaíba

3.1.2. Modelagens da Dispersão de Óleo Realizadas na Baía de Sepetiba Contempladas nos PEI's.

PEI do Porto de Itaguaí: com a utilização do modelo de óleo conhecido como OILMAP, desenvolvido pela Applied Science Associates (ASA), foram simulados cenários determinísticos para implementação do PEI do Porto de Itaguaí. O cenário mais crítico considerado para a elaboração da modelagem foi o naufrágio de uma barcaça no píer de atracação e desatracação do porto. Como volume de descarga de pior caso foi despejado continuamente aproximadamente 200 m³ de óleo MF-380 para uma simulação de 72 horas. As simulações foram realizadas para os períodos de verão e inverno, em regime de marés de sizígia e quadratura, considerando o regime de escoamento de enchente e vazante. Os ventos de direção nor-nordeste (NNE), norte (N), sudoeste (SO) e oés-sudoeste (OSO) correspondentes aos ventos mais frequentes e intensos observados na região foram os utilizados nos cenários ambientais. Os dados de vento utilizados nas simulações foram obtidos juntos à INFRAERO provenientes da estação meteorológica instalada na Base Aérea de Santa Cruz.

PEI do Porto Sudeste: neste trabalho foram realizadas simulações determinísticas e probabilísticas. As simulações foram conduzidas por um período de 96 horas, considerando um evento de derramamento de 5.000 m³ de óleo combustível marítimo, ao longo de 12 horas contínuas, no píer de atracação e desatracação do Porto Sudeste. As simulações foram feitas com a utilização do modelo OSCAR (Oil Spill Contingency and Response), desenvolvido pela SINTEF para o cálculo da dispersão de manchas de óleo. Os dados de vento utilizados nas simulações foram obtidos da estação de Marambaia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esse estudo identificou dois cenários ambientais característicos da região. O primeiro cenário identificado foi o de bom tempo, que foi caracterizado por ventos constantes vindos de norte. Enquanto que o segundo cenário simulado foi o de mau tempo, caracterizado pela intensificação de ventos vindos de sul, que se configura como o período mais energético na região em análise.

Este trabalho analisou os dados das duas estações meteorológicas utilizadas nos trabalhos citados, conforme figura 22, para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (julho a setembro) do ano de 2014. Essas duas estações recebem influência diferenciada dos aspectos topográficos e de corpos d'água adjacentes.

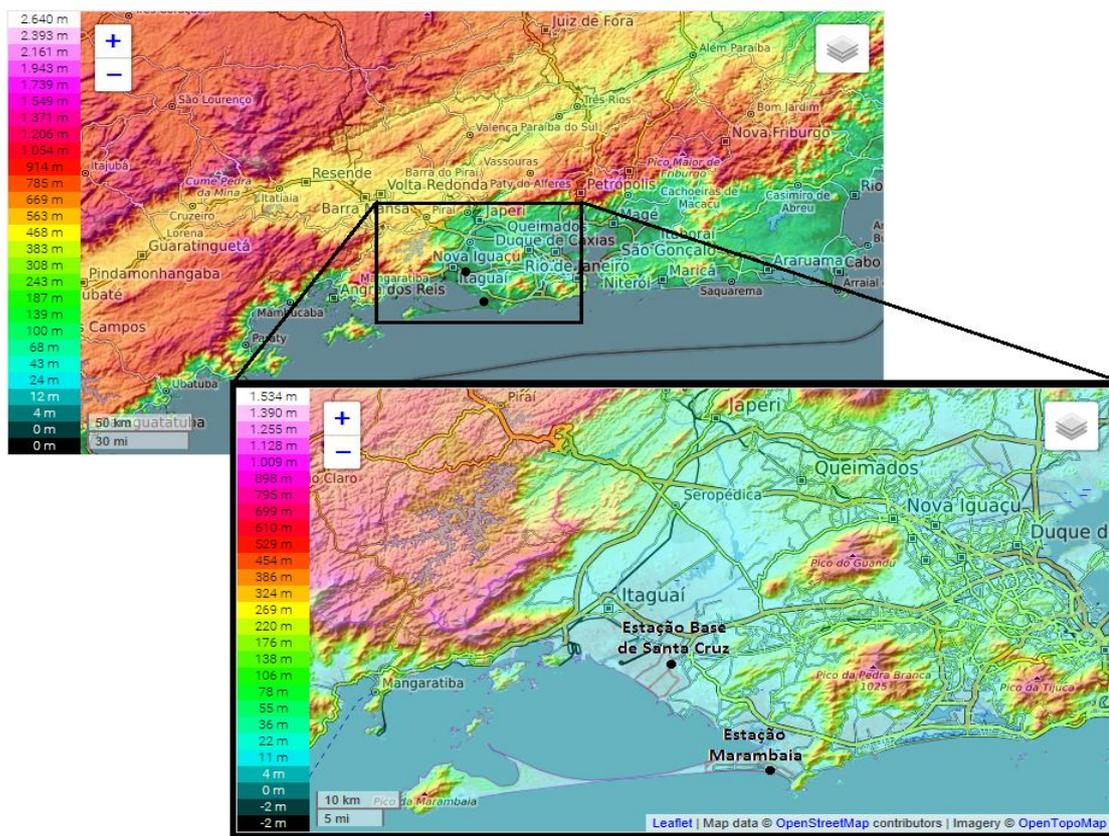
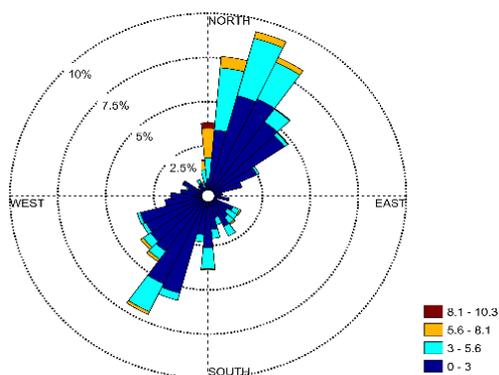


Figura 22: Mapa de topografia da região da Baía de Sepetiba, com localização das estações meteorológicas da Base Aérea de Santa Cruz e Marambaia. Fonte: adaptado Mapas Topográficos.

Os resultados das análises dos dados da estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz ($22^{\circ} 55.7'S$; $43^{\circ} 43'W$) são mostrados na figura 23 (a e b). É evidente a ocorrência de ventos em duas direções principais, sudoeste e nordeste. Já na estação meteorológica localizada na Marambaia ($23^{\circ} 03' 01.2'' S$; $43^{\circ} 35' 44.5'' W$), os dados para os períodos de verão e inverno, mostram uma maior distribuição nas direções do vento, conforme figura 24 (a e b)

a)

Direção (graus) e intensidade do vento (m/s) - scruz VER



b)

Direção (graus) e intensidade do vento (m/s) - scruz INV

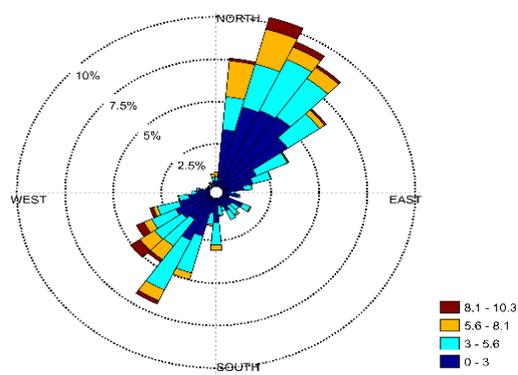
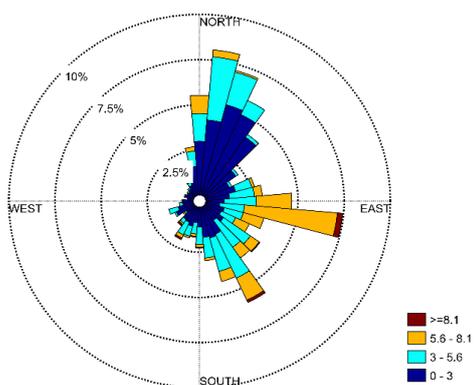


Figura 23: Distribuição de frequência dos ventos da estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz, referentes a: (a) período de verão e (b) período de inverno.

a)

Direção (graus) e intensidade do vento (m/s) - inmet VER



b)

Direção (graus) e intensidade do vento (m/s) - inmet INV

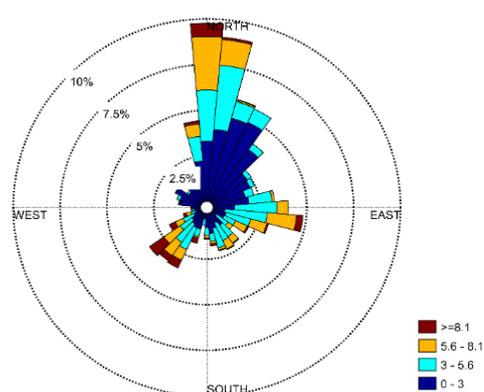


Figura 24: Distribuição de frequência dos ventos para a meteorológica da Marambaia, fornecidos pelo INMET referentes a: (a) período de verão e (b) período de inverno.

Ao se comparar a frequência de ocorrência de vento das duas estações meteorológicas em análise para o período de verão, pode-se observar na figura 25 (a) uma distribuição muito similar nas direções norte (N), nordeste (NE) e noroeste (NO), 47%; e sul (S), sudeste (SE) e sudoeste (SO), 42%, para estação da Base Aérea de Santa Cruz. A média desses meses de verão analisados pela estação da Marambaia na figura 25 (b), mostra uma maior ocorrência de ventos de leste (L), NE e SE, 51%; seguido dos ventos na direção N, 25%; e S, 11%.

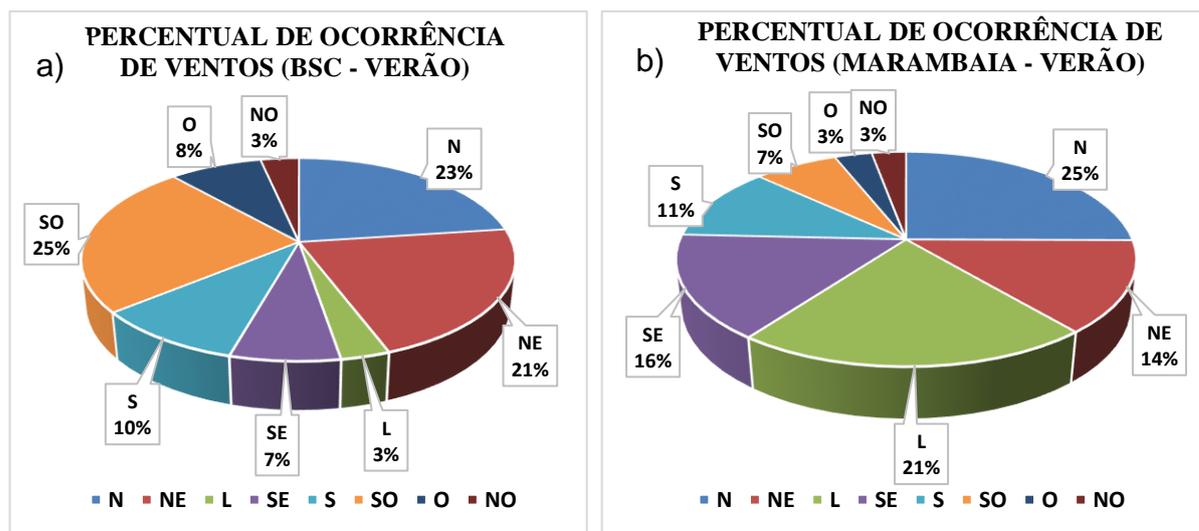


Figura 25: Distribuição de frequência dos ventos nas estações meteorológicas da Base Aérea de Santa Cruz – BASC- (a) e Marambaia (b), para o período de verão.

No período de inverno, quando comparando as duas estações meteorológicas, ainda pode-se observar uma incidência de ventos de NE e SO, 55%; com predominância de ventos de nordeste, 29%, seguido de ventos na direção sudoeste, nos dados obtidos na estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz, conforme figura 26 (a). Enquanto que na estação da Marambaia os ventos na direção Norte chegam a 28% de ocorrência de frequência, seguido de 16% de ventos de nordeste e 15% de ventos na direção sudoeste.

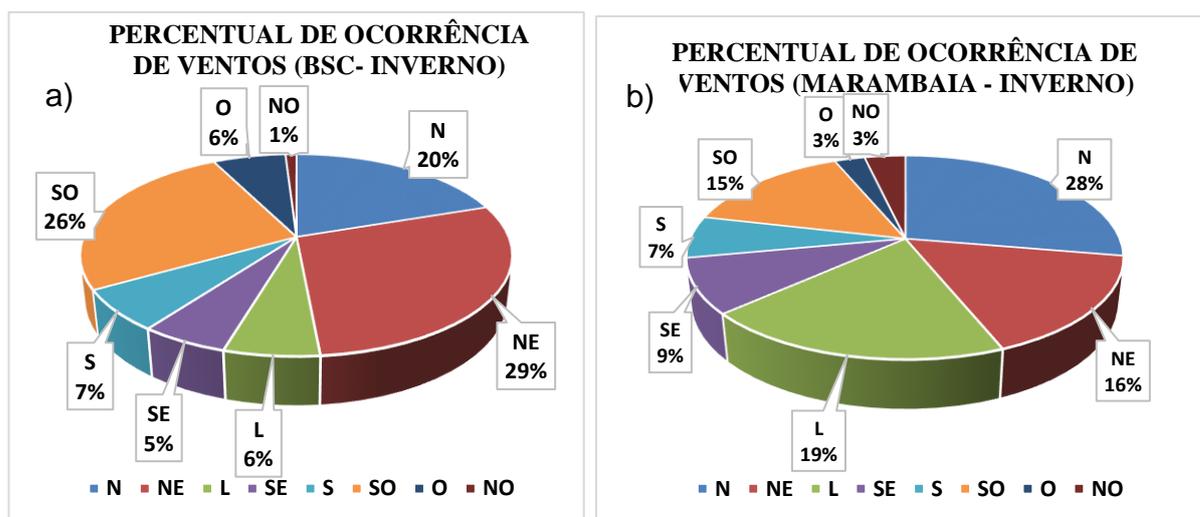


Figura 26: Distribuição de frequência dos ventos nas estações meteorológicas da Base Aérea de Santa Cruz – BASC- (a) e Marambaia (b), para o período de inverno.

No que tange à intensidade, analisando os ventos nas direções SE e SO que são os mais críticos para os manguezais da região em incidentes com derramamento de óleo, pode-se observar na tabela 8 que no período de verão os ventos são mais intensos na estação da Marambaia, com 4% do total de ventos nas direções SE e SO com valores da ordem de até 8.1 m/s; enquanto que 1% dos ventos de SE e SO alcançam intensidade de até 8.1 m/s na estação da Base Aérea de Santa Cruz. Já no período de inverno pode-se inferir analisando a tabela 9 que as duas estações em análise apresentam ventos de até 10.3 m/s de intensidade.

Tabela 8: Relação da frequência de ocorrência de ventos no quadrante sul com dados de intensidade das estações da Base Aérea de Santa Cruz (BSC) e Marambaia.

FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE VENTOS SE e SO				
INTENSIDADE (m/s)	VERÃO		INVERNO	
	BSC	Marambaia	BSC	Marambaia
0-3	25%	9%	14%	7%
3.1 - 5.6	5%	9%	13%	9%
5.7 - 8.1	1%	4%	4%	6%
8.2 - 10.3	0%	0%	1%	2%

3.2. Modelagem Hidrodinâmica e de Dispersão de Óleo

Os cenários ambientais foram simulados com a utilização do software DELFT-3D que foi desenvolvido por pesquisadores do Delft Hydraulics (Holanda). Esse sistema é composto por ferramentas de pré-processamento, processamento e pós-processamento que permitem a simulação de cenários ambientais para diversos tipos de ambientes.

O DELFT-3D possui módulos que estão agrupados em uma mesma interface, na qual cada módulo é capaz de interagir com o outro (figura 27). Os módulos que compõem o modelo são: hidrodinâmico (flow), ondas (wave), qualidade da água (water quality), ecologia (ecology) e partículas/óleo (particles/oil).

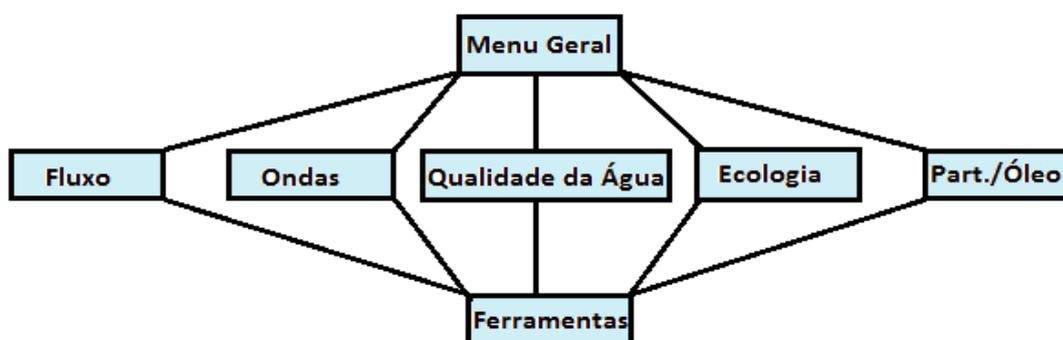


Figura 27: Módulos do modelo numérico DELFT-3D. Fonte: (Deltares, 2014).

A seguir será realizada uma breve descrição dos módulos hidrodinâmico (Flow) e dispersão (particles/oil) que são aplicados nesse trabalho.

a) Módulo hidrodinâmico (Flow): é considerado o principal módulo do modelo e possui a capacidade de interagir com os demais módulos do software. O Delft3D é baseado em equações de águas rasas em duas e três dimensões que utiliza as equações do movimento na direção horizontal, da continuidade e do transporte para constituintes conservativos. O presente estudo foi realizado no método bidimensional do modelo. Esse módulo que simula fluxos não estacionários e fenômenos de transporte originados por marés é forçado pela tensão de cisalhamento do vento na superfície, gradientes de pressão devido à inclinação da superfície livre (campo barotrópico) e por gradientes de densidade (campo baroclínico).

b) Módulo de dispersão (Particles/Oil): neste trabalho, os padrões de deslocamento espacial e temporal de partículas de óleo são modelados com a utilização do módulo Delft3D-

PART. O módulo de partículas do Delft3D é capaz de simular o transporte e processos de qualidade da água simples por meio de um método de rastreamento das partículas conservadoras ou de primeira ordem com a utilização de traçadores e cenários de derramamento de óleo com frações do hidrocarboneto flutuando e dispersas.

A posição de cada partícula individualmente pode ser influenciada por processos de intemperismo como advecção, difusão, dispersão e sedimentação, entretanto, cabe ressaltar que para o trabalho em questão não foram considerados os efeitos de intemperismo nas simulações. O processo de rastreamento de partículas é baseado em um método de caminhada aleatória, já que o comportamento simulado é estocástico, sendo necessário um grande número de partículas para obter os melhores resultados. O número de partículas requeridas dependerá de vários fatores: comprimento da simulação, extensão esperada de espalhamento das partículas, tamanho das células na grade computacional, número de liberações do número de camadas usadas na direção vertical e a precisão exigida na direção vertical. Além disso, os lançamentos contínuos geralmente requerem mais partículas do que os lançamentos instantâneos.

A precisão de uma simulação é frequentemente expressa como a menor concentração que pode ser representada por uma única partícula em uma célula computacional. O nível mínimo de concentração que pode ser representado por uma partícula é a massa da partícula dividida pelo volume da célula na qual a partícula está localizada, conforme exposto na equação abaixo:

$$C_{\min} = \frac{m_{\text{particle}}}{A_{\text{cell}} \times h_{\text{layer}}} = \frac{M_{\text{total}}}{N_{\text{total}} \times A_{\text{cell}} \times h_{\text{layer}}}$$

Onde:

C_{\min} = resolução mínima de concentração (kg/m³)

m_{particle} = massa por partícula (kg)

A_{cell} = área de superfície da célula computacional (m²)

h_{layer} = espessura da camada local (m)

N_{total} = número total de partículas no lançamento

M_{total} = total mass of release (kg)

Cada partícula no modelo é uma representação das partículas de óleo na realidade. Para o trabalho em questão foi simulado o lançamento em regime contínuo de 1.000.000 de partículas, objetivando uma maior precisão dos resultados computados.

O DELFT-3D ainda possui extensão para a realização do pós-processamento no software ArcGis. O ArcGis foi utilizado no trabalho para geração dos mapas referentes ao comportamento da mancha de óleo ao longo do tempo, pois a qualidade das imagens do modelo de pós-processamento dificultava a análise dos dados.

3.2.1. Configuração do Modelo

Para simular a hidrodinâmica da Baía de Sepetiba foi utilizada uma grade hidrodinâmica já existente, o que objetivou reproduzir a hidrodinâmica da área de estudo. Na simulação hidrodinâmica da baía foram empregados dados de batimetria da região de estudo a partir das cartas náuticas nº 160701, 162101, 162102, 162103, 162201, 162301, 163101, 163201, 163301, 163302, 231001, 231002 disponibilizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) (Figura 28). O valor de referência de elevação do nível do mar considerado para a batimetria que foi utilizado pelo modelo hidrodinâmico corresponde a 0,78m. Esse dado é proveniente da estação maregráfica da Baía de Sepetiba e disponibilizado pela Fundação e Estudos do Mar (FEMAR).

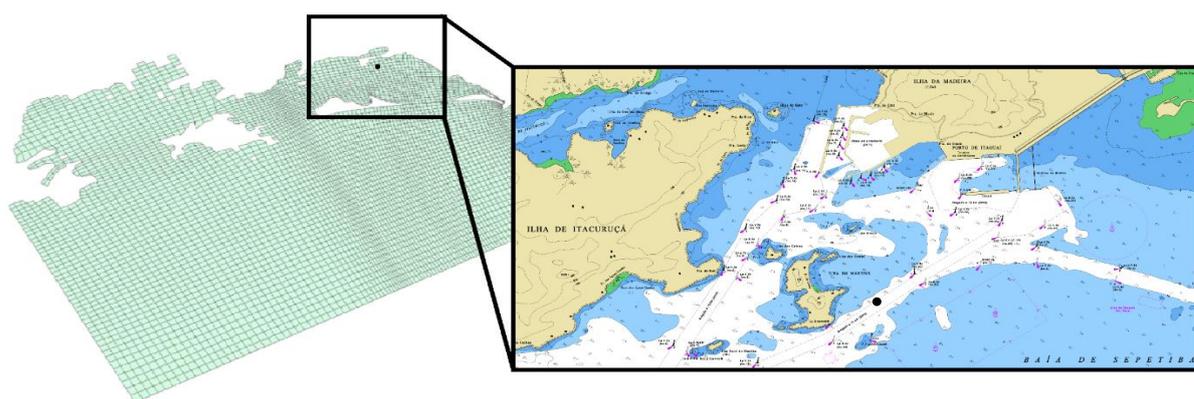


Figura 28: Grade numérica da Baía de Sepetiba desenvolvida pelo software DELF3D com indicação do ponto do derramamento de óleo (ponto preto na grade numérica e carta náutica 162301 disponibilizada pela DHN).

As constantes harmônicas introduzidas no modelo são provenientes do modelo de marés FES (Finite Element Solution), versão 2012. Os dados de rugosidade utilizados no modelo hidrodinâmico já existente foram baseados em informações acerca da distribuição de sedimentos de fundo de Ponçano (1976) e Mahiques (1989). Nas simulações dos cenários críticos foram aplicados dados de vento para os períodos de verão e inverno do ano de 2014, oriundos da estação meteorológica localizada na Marambaia disponibilizados pelo INMET.

Foram definidos dois períodos para simulação dos cenários ambientais de derramamento de óleo na Baía de Sepetiba contemplando períodos de verão e inverno. O trabalho apresenta cenários determinísticos para as situações de verão (janeiro a março de 2014) e inverno (julho a setembro de 2014), em regime de maré de sizígia e quadratura (tabela 9).

Tabela 9: Relação dos cenários ambientais utilizados nas simulações determinísticas.

CENÁRIOS SIMULADOS (DADOS DE VENTO INMET)						
PERÍODO DE DERRAME		TEMPO DE DERRAME CONTÍNUO (horas)	TEMPO DE SIMULAÇÃO (horas)	DIREÇÃO DO VENTO	INTENSIDADE DO VENTO (m/s)	VOLUME (m ³)
VERÃO	SIZÍGIA	72	1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72	Norte	5,4	800
				Leste	7,31	
				Sudeste	6,41	
	QUADRATURA			Norte	5,4	
				Leste	7,31	
				Sudeste	6,41	
INVERNO	SIZÍGIA	72	1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72	Norte	6,31	800
				Leste	6,5	
				Sudoeste	6,5	
	QUADRATURA			Norte	6,31	
				Leste	6,5	
				Sudoeste	6,5	

Para as simulações de derramamento de óleo foi utilizado o combustível MF 380 (Marine Fuel) que é o principal óleo utilizado em navios de grande porte e que irá representar o cenário mais crítico em caso de vazamento. O parâmetro referente ao volume derramado está baseado no cenário mais extremo, ou seja, o volume da descarga de pior caso (V_{pc}) em conformidade com a resolução CONAMA nº 398 (Brasil, 2008). Nessa situação hipotética foi proposto o naufrágio de uma embarcação no canal de navegação, sendo considerada a V_{pc} o volume total potencialmente liberado no meio ambiente marinho pela embarcação envolvida no incidente.

Tendo em vista que nesse complexo portuário a embarcação mais utilizada é o graneleiro, este será a referência utilizada como base de cálculo da V_{pc}. Nesse tipo de embarcação a capacidade máxima de um tanque de óleo combustível é da ordem de 800 m³. Será considerado como premissa que todo o volume de óleo será derramado continuamente ao longo de 72 horas.

O parâmetro escolhido para a parada das simulações foi o de 72 horas após o início do derramamento, uma vez que de acordo com a Resolução CONAMA nº 398 (BRASIL, 2008) o tempo máximo estabelecido para disponibilização dos recursos e contenção de incidentes com grande derramamento de óleo é de 60 horas. Serão simulados cenários ambientais após 1, 2, 3, 4,5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas de derrame de óleo, considerando verão e inverno com maré nas condições de sizígia e quadratura.

a) Ponto de derramamento de óleo: o ponto de derramamento de óleo utilizado nas simulações foi plotado no canal de navegação de acesso aos portos da área. A embarcação envolvida no incidente encontrava-se em manobra de entrada no canal de navegação para posterior atracação (tabela 10).

Tabela 10: Coordenadas referentes ao ponto de despejo de óleo plotadas no canal de navegação.

PONTO DE DERRAMAMENTO	LATITUDE	LONGITUDE
Canal de navegação	22°57'28.99"S	43°50'55.89"W

Na navegação costeira pode-se atribuir as peculiaridades de um canal de navegação de acesso a área portuária associado aos erros humanos advindos da condução de embarcações como fatores que contribuem na ocorrência de incidentes com navios. A região da Baía de Sepetiba contempla estudos acerca do comportamento da mancha de óleo em caso de incidentes de derramamento realizados pelos portos de Itaguaí e Sudeste, porém, somente a área de píeres foi utilizada como cenário ambiental para avaliação do comportamento da pluma de contaminante.

b) Volume e características do produto utilizado: o volume de 800 m³ correspondente ao derramamento total do tanque de maior capacidade de uma embarcação graneleira em virtude de colisão e posterior naufrágio. Para realização das simulações foi utilizado óleo combustível marítimo que é um óleo pesado e persistente à água com as seguintes características (tabela 11):

Tabela 11: Características do produto derramado. Fonte (PETROBRAS, 2017).

NOME DO PRODUTO	MF-380
DENSIDADE	0,972
SOLUBILIDADE	Insolúvel em água
TAXA DE EVAPORAÇÃO	Muito lenta
VISCOSIDADE	380 Cst

3.2.2. Ventos Simulados nos Cenários de Dispersão de óleo

Para realização da modelagem hidrodinâmica foram estabelecidos os seguintes cenários: verão (janeiro a março de 2014) e inverno (julho a setembro de 2014).

No que tange ao estudo de direção do vento da área em análise cabe destacar que as simulações foram realizadas pelo modelo com direções norte (N), leste (L) e sudeste (SE) para o período de verão. Esses dados foram simulados em conjunto com suas respectivas

intensidades. Para o período de inverno foram simuladas as direções norte (N), leste (L) e sudoeste (SO).

Dos ventos amostrados, 90% têm intensidades na ordem 5,4 m/s na direção norte (N); 7,31 m/s na direção leste (L) e 6,41 m/s na direção sudoeste (SE) para o período de verão, conforme exposto na figura 29 (a), (b) e (c). Importante destacar que estes valores foram inseridos como dados de entrada nas simulações dos cenários de verão para os períodos de maré de sizígia e quadratura. Conforme figura 30 (a), (b) e (c) para o período de inverno foram fornecidos ao modelo os valores de intensidade da ordem de 6,31 m/s; 6,5 m/s; e 6,5 m/s para as direções norte (N), leste (L) e sudoeste (SO), respectivamente.

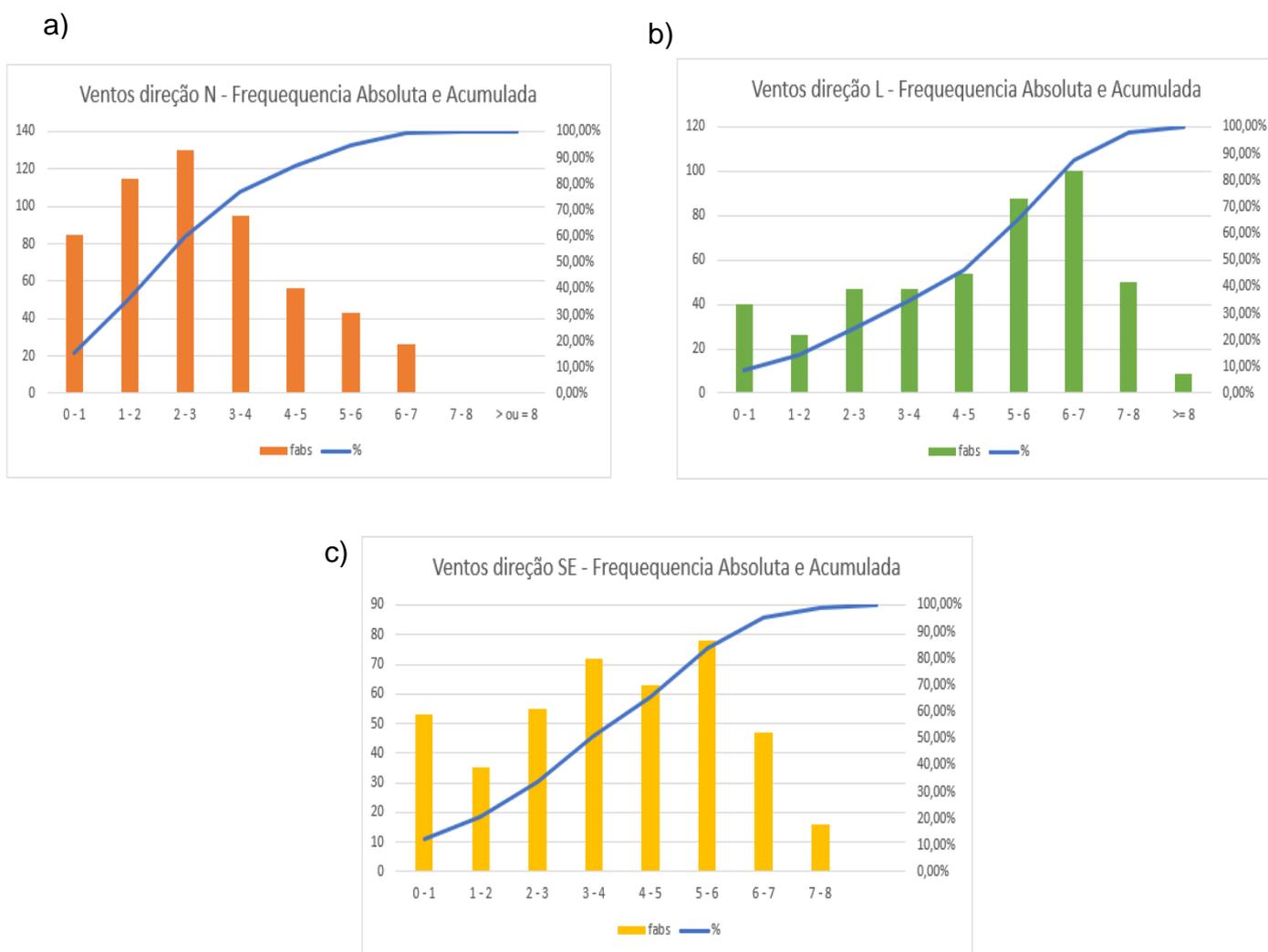


Figura 29: Representação gráfica valores de frequência absoluta e acumulada da intensidade dos ventos da direção norte (a), leste (b) e sudoeste (c), respectivamente, para o período de verão.

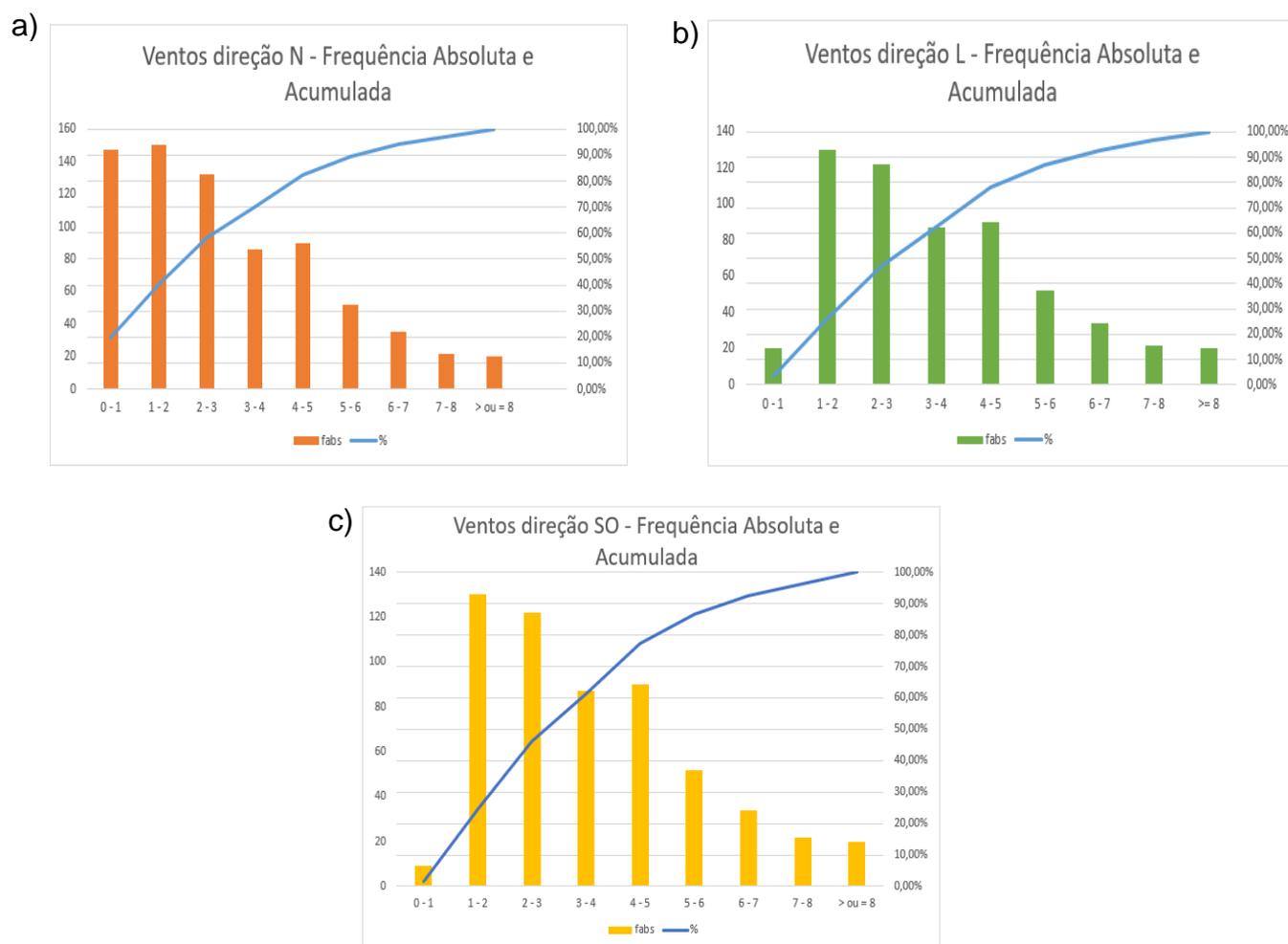


Figura 30: Representação gráfica valores de frequência absoluta e acumulada da intensidade dos ventos da direção norte (a), leste (b) e sudoeste (c), respectivamente, para o período de inverno.

3.2.3. Elevação do Nível do Mar e Correntes

As figuras 31 e 32 correspondem a elevação do nível do mar na região da Baía de Sepetiba para os meses de fevereiro e agosto de 2014 em que foram simulados os cenários ambientais de derramamento de óleo. Destaca-se que a simulação começou dias antes da data de despejo do contaminante, e que a utilização desse procedimento se torna adequado para evitar a análise de dados instáveis.

As simulações hipotéticas de derramamento de óleo para os cenários de verão tiveram início nas datas de 13 e 21 de fevereiro, correspondente aos períodos de condição de maré de sizígia e quadratura, respectivamente conforme exposto na figura 31 (a).

Analisando as componentes zonal (u) e meridional (v) de correntes da figura 31 (b) para o período pode-se constatar uma magnitude maior de corrente no sentido ao oeste da Baía de Sepetiba, aproximadamente $-0,3$ m/s, enquanto que componente meridional (v), apesar de menos intensa que a zonal (u), sugere uma condição de correntes mais no sentido norte da baía.

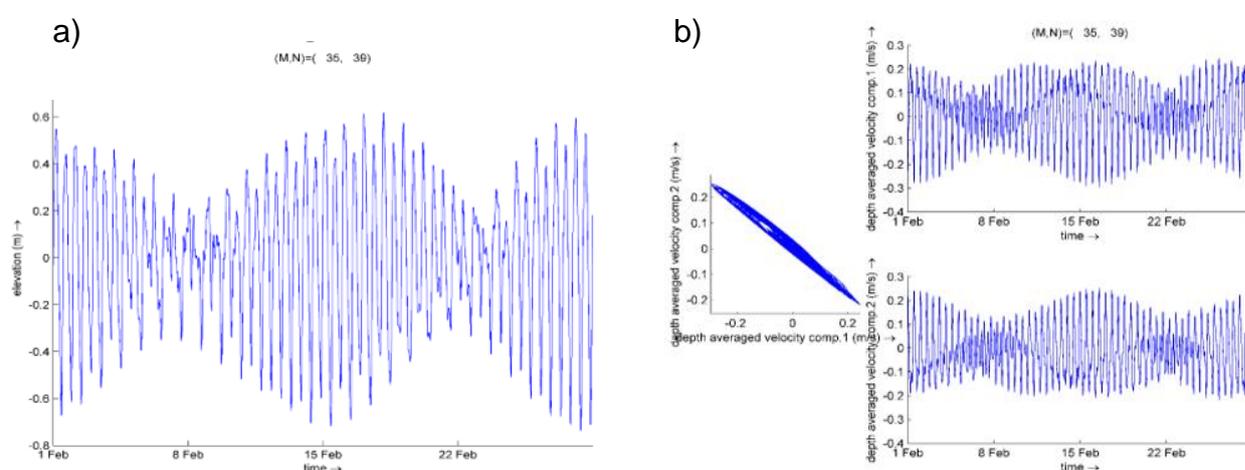


Figura 31: Representação gráfica (a) da elevação do nível do mar e representação da componente zonal (u) e meridional (v) de correntes no gráfico (b) para o período de verão.

Os derramamentos de óleo simulados para os cenários de inverno tiveram início nas datas de 08 de agosto (sizígia) e 17 de agosto (quadratura), conforme figura 32 (a). A interpretação gráfica da figura 32 (b) aponta para uma maior intensidade de corrente da componente zonal (u) em direção as regiões de Mangaratiba e Ilha de Itacuruçá, ao oeste da Baía de Sepetiba. Ao verificar a componente meridional (v) pode-se inferir uma maior intensidade na direção norte da baía.

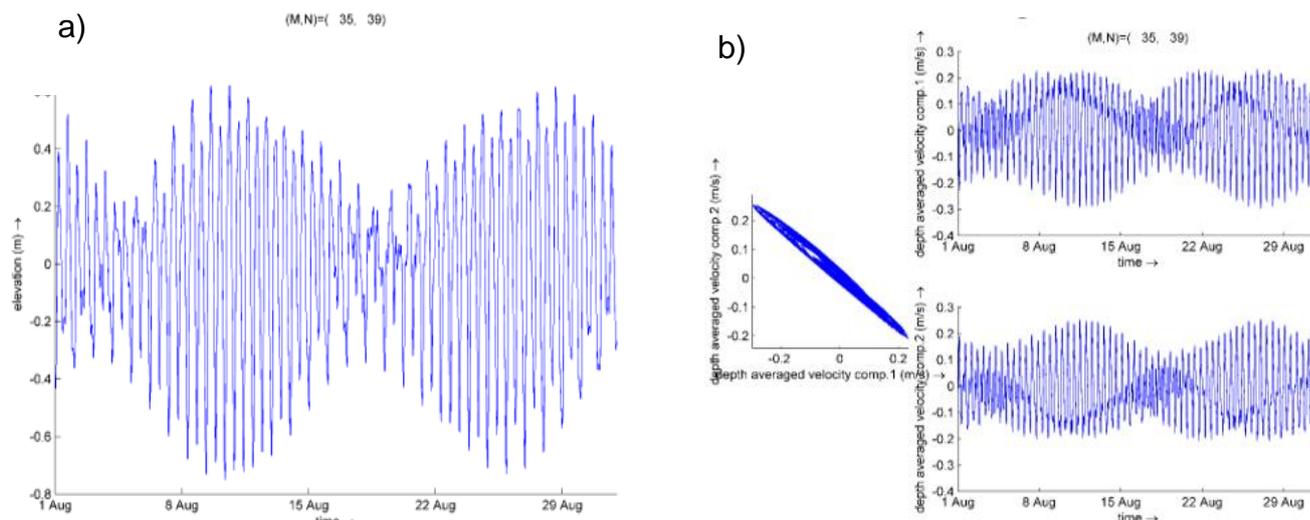


Figura 32: Representação gráfica (a) da elevação do nível do mar e representação da componente zonal (u) e meridional (v) de correntes no gráfico (b) para o período de inverno.

Destaca-se que os lançamentos de óleo no ponto de incidente com a embarcação graneleira foram realizados de 30 em 30 minutos, tendo como marco inicial as datas de maré de sizígia e quadratura para os períodos de verão e inverno, e perduraram ao longo de 72 horas, abrangendo ciclos completos de maré.

4. RESULTADOS

4.1. Cenários Simulados

A seguir são apresentados os mapas de comportamento de óleo das simulações com vazamentos de 800 m³ de óleo combustível marítimo para o ponto de derramamento localizado no canal de navegação nos cenários de verão e inverno.

Os cenários ambientais que foram simulados no modo determinístico objetivam apresentar o comportamento da mancha de óleo ao longo de 72 horas em condições hidrodinâmicas predefinidas. Foram realizadas simulações com períodos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas para verão e inverno. Os cenários ambientais de verão contemplaram a maré na condição de sizígia e quadratura, simulando os ventos nas direções N, L e SE. Para o cenário de inverno foram realizadas simulações com vento nas direções N, L e SO, abrangendo a maré na condição sizígia e quadratura.

4.1.1. Cenário Verão Sизigia - NORTE

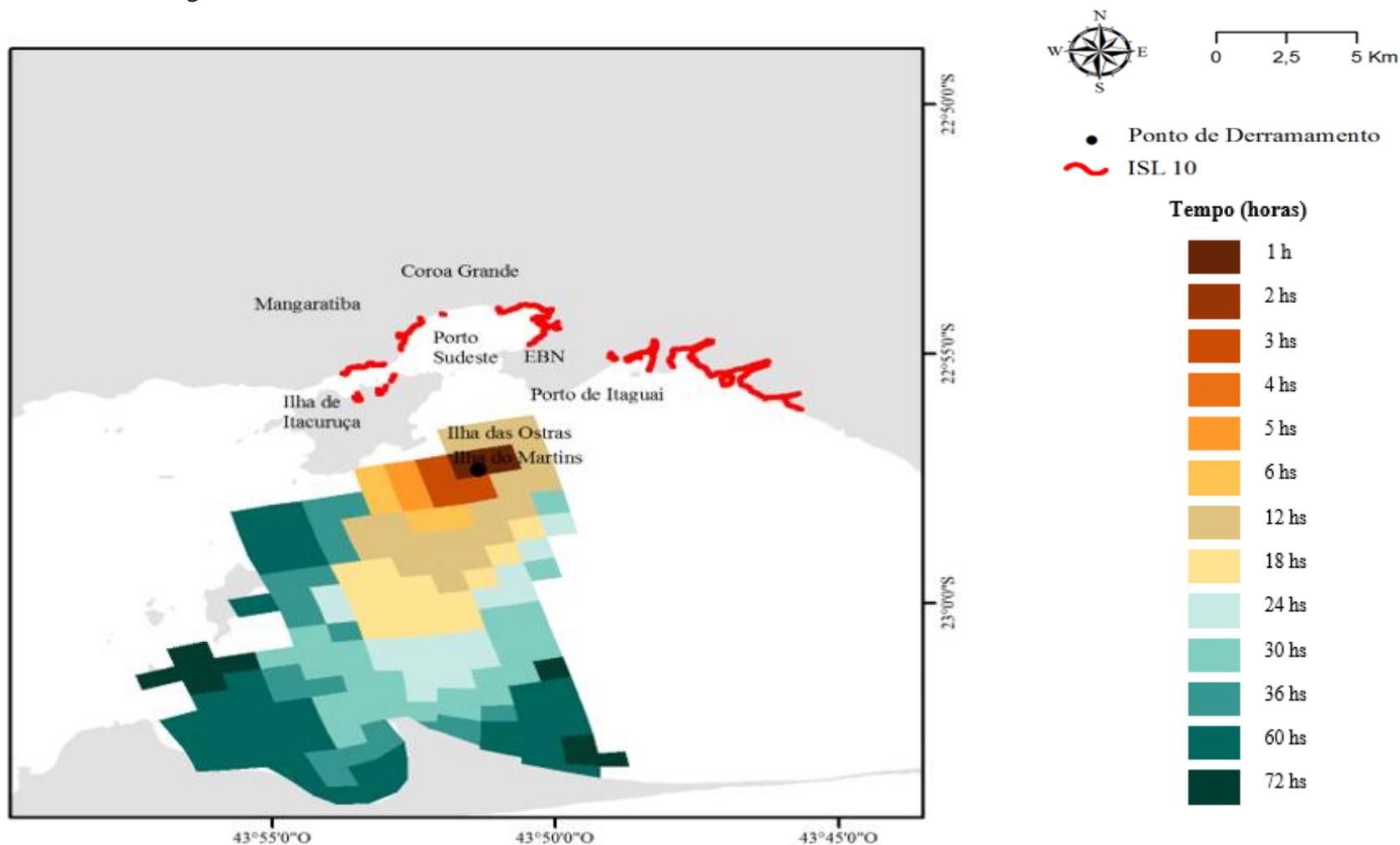


Figura 33: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **sizigia verão** com vento predominante na direção **norte**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.

4.1.2. Cenário Verão Sizígia – LESTE

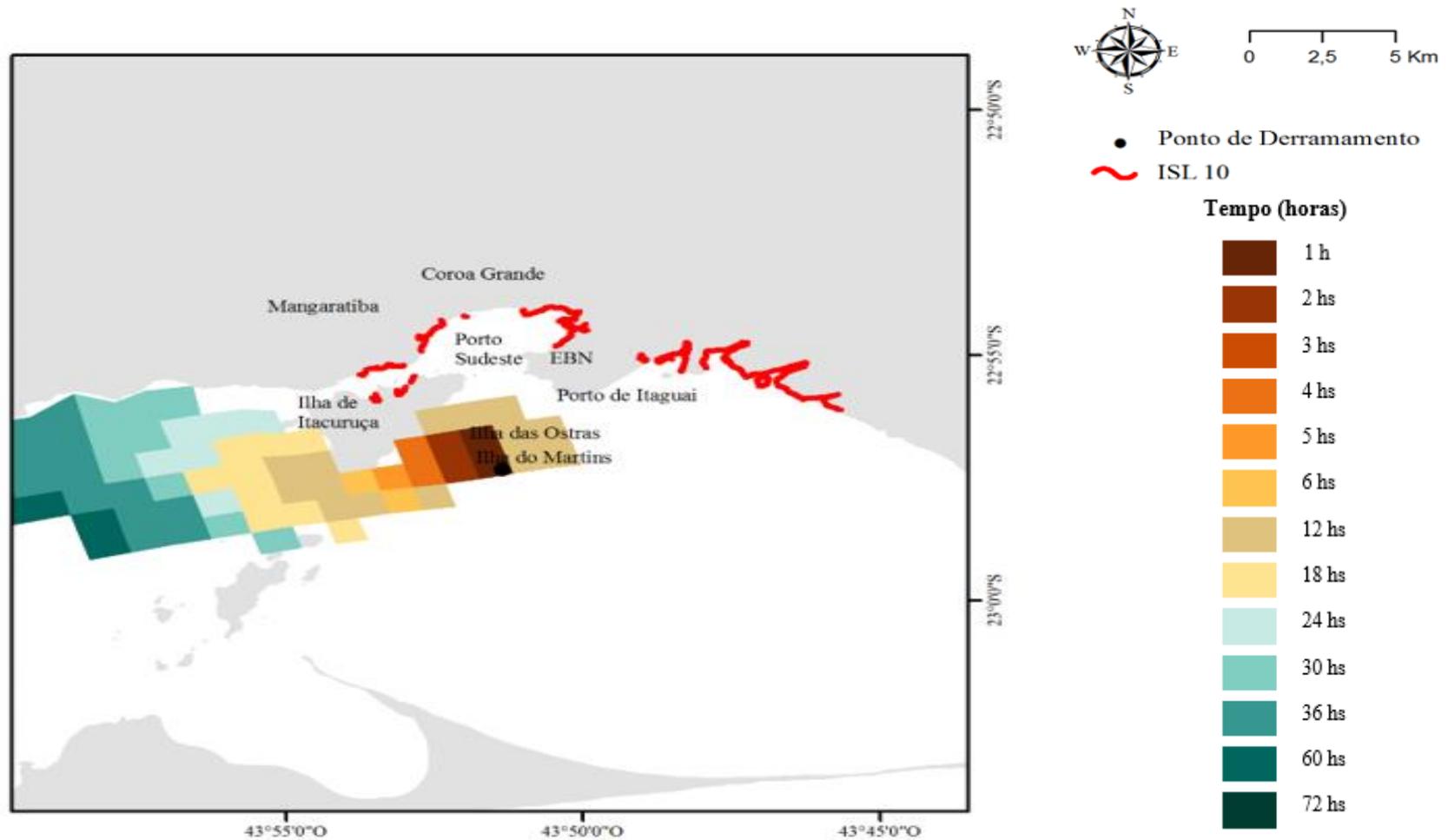


Figura 34: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **sizígia verão** com vento predominante na direção **leste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800

4.1.3. Cenário Verão Sizígia – SUDESTE

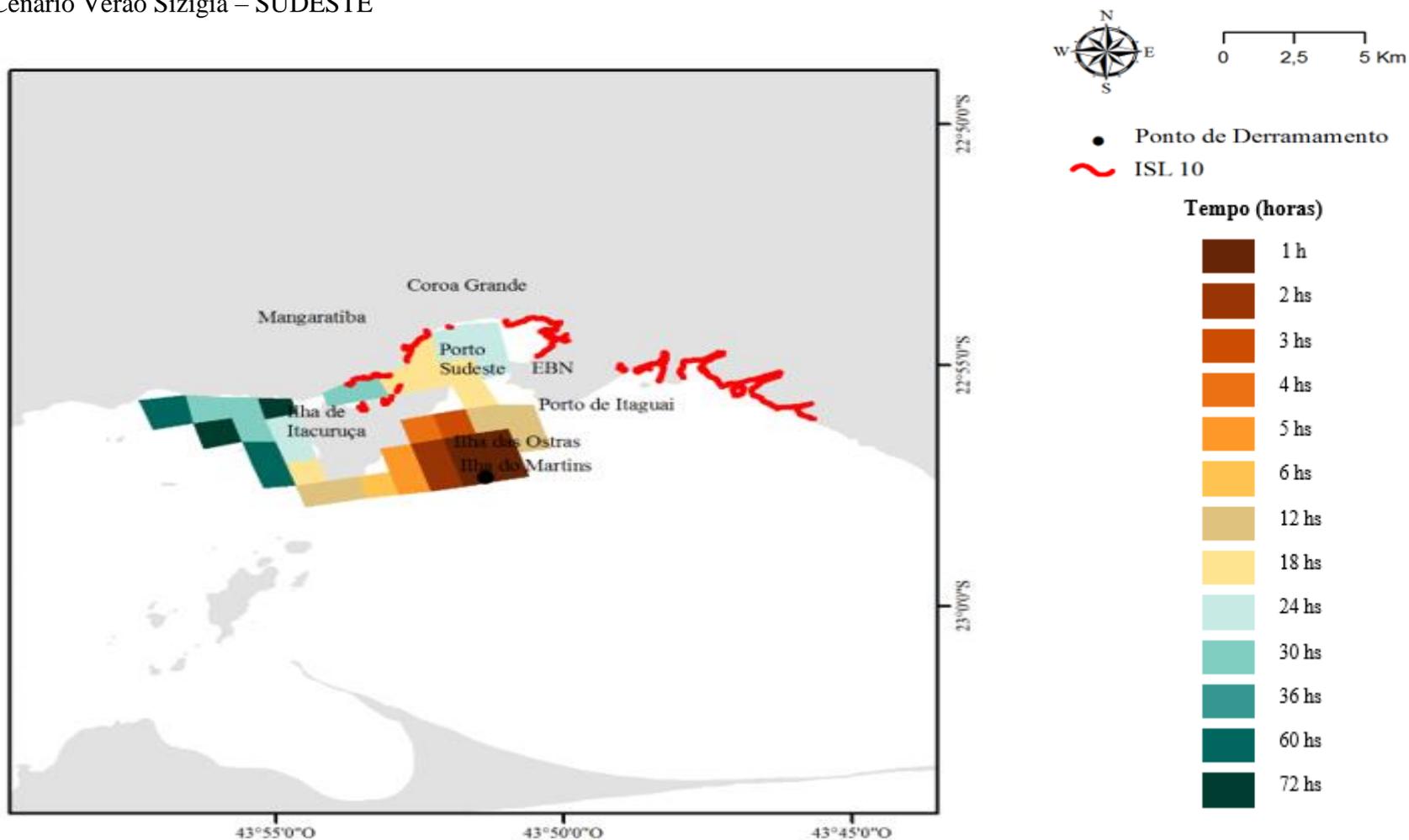


Figura 35: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **sizígia verão** com vento predominante na direção **sudeste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume

4.1.4. Cenário Verão Quadratura – NORTE

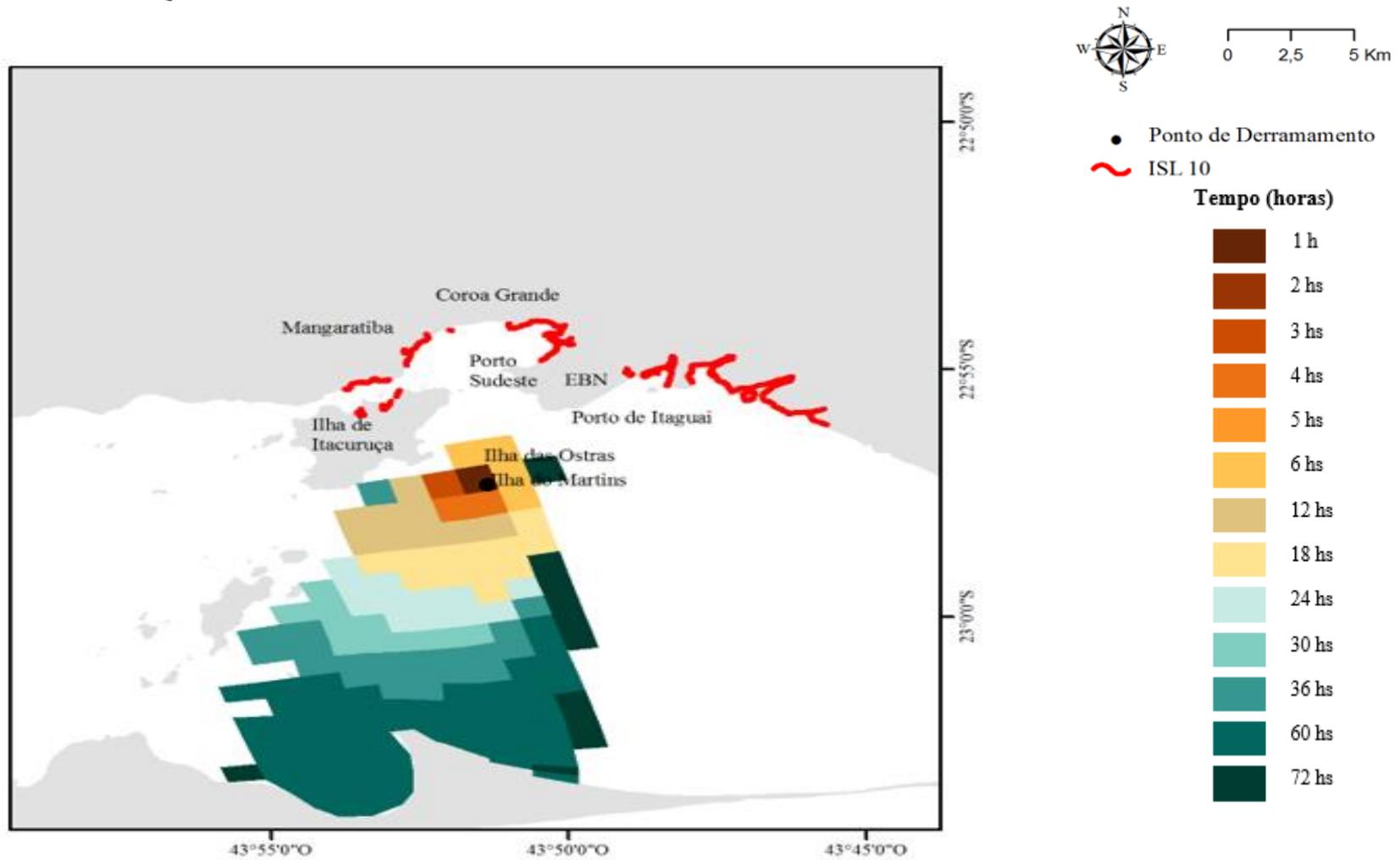


Figura 36 Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **quadratura verão** com vento predominante na direção **norte**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume

4.1.5. Cenário Verão Quadratura – LESTE

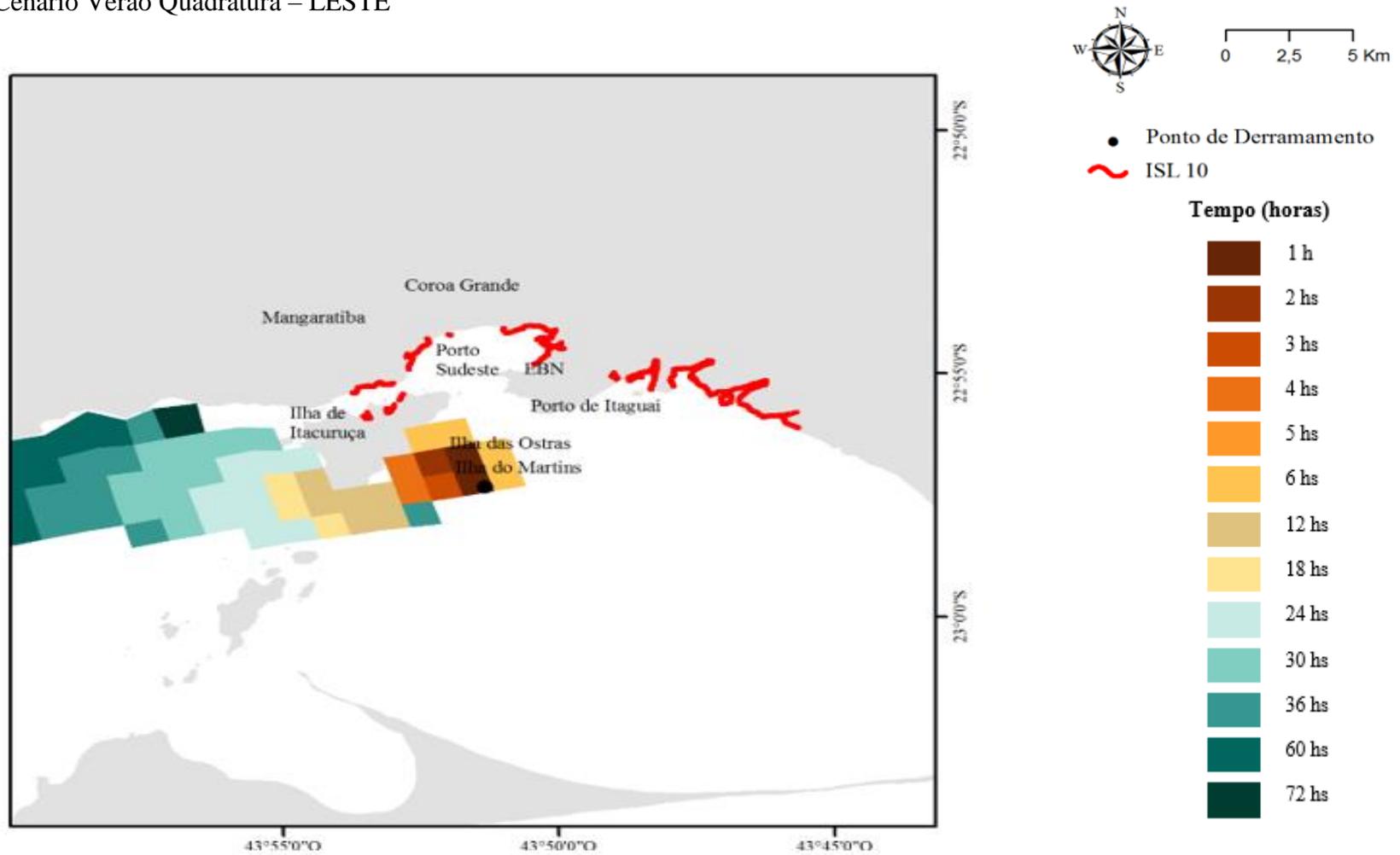


Figura 37: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **quadratura verão** com vento predominante na direção **leste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume

4.1.6. Cenário Verão Quadratura – SUDESTE

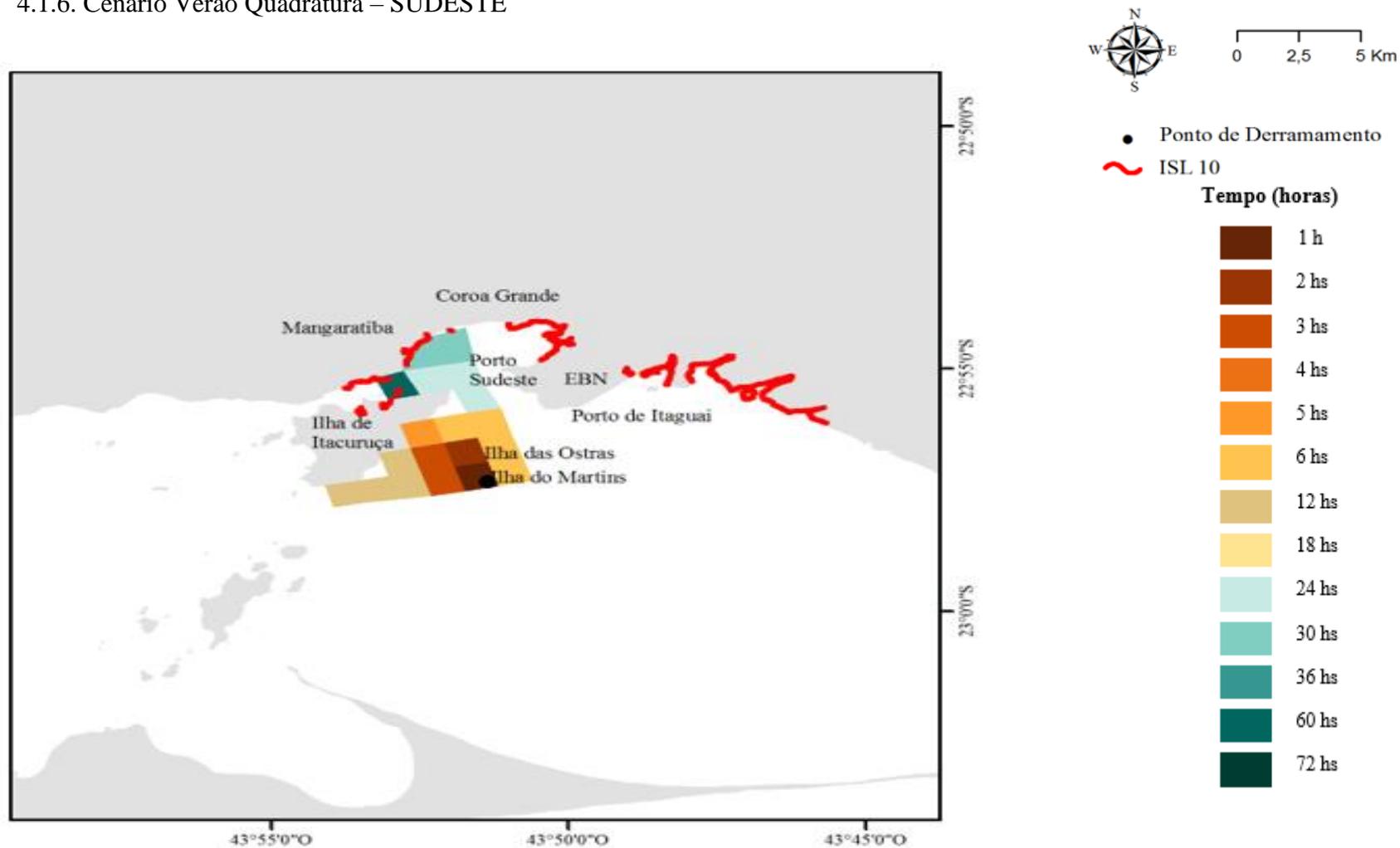


Figura 38: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **quadratura verão** com vento predominante na direção **sudeste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume

4.1.7. Cenário Inverno Sizígia – NORTE

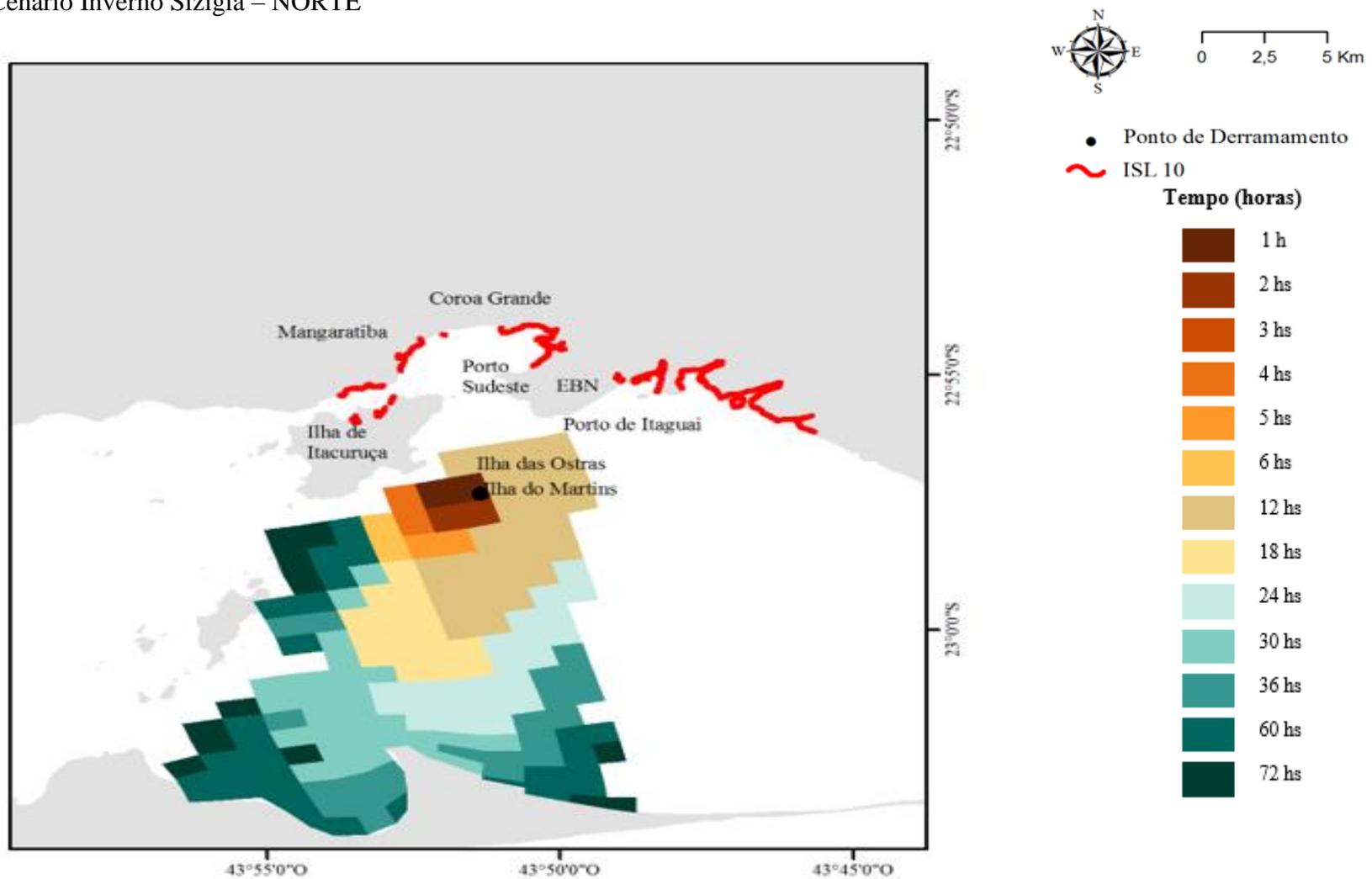


Figura 39 Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **sizígia inverno** com vento predominante na direção **norte**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume

4.1.8. Cenário Inverno Sizígia – LESTE

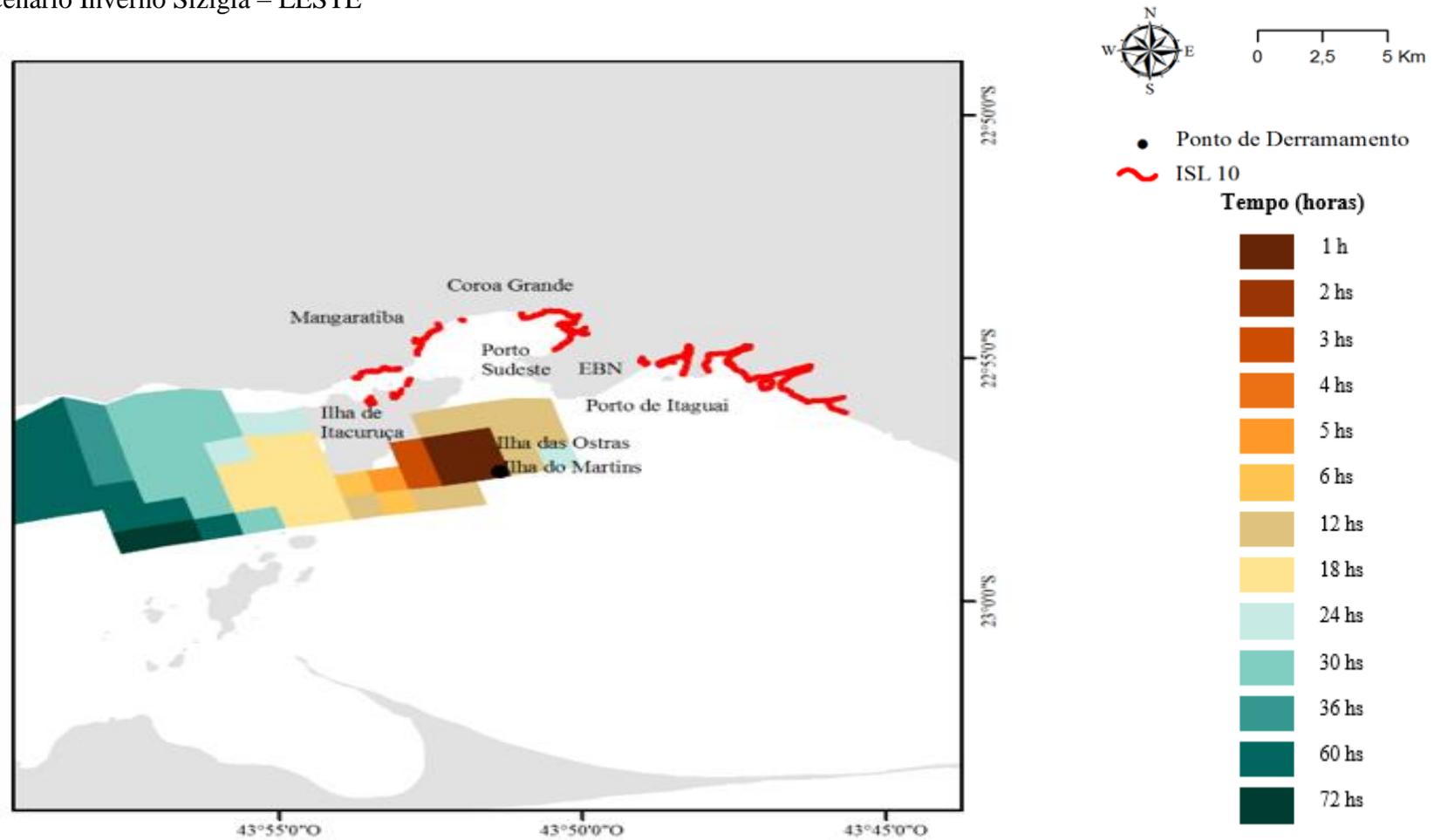


Figura 40 Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **sizígia inverno** com vento predominante na direção **leste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.

4.1.9. Cenário Inverno Sizígia – SUDOESTE

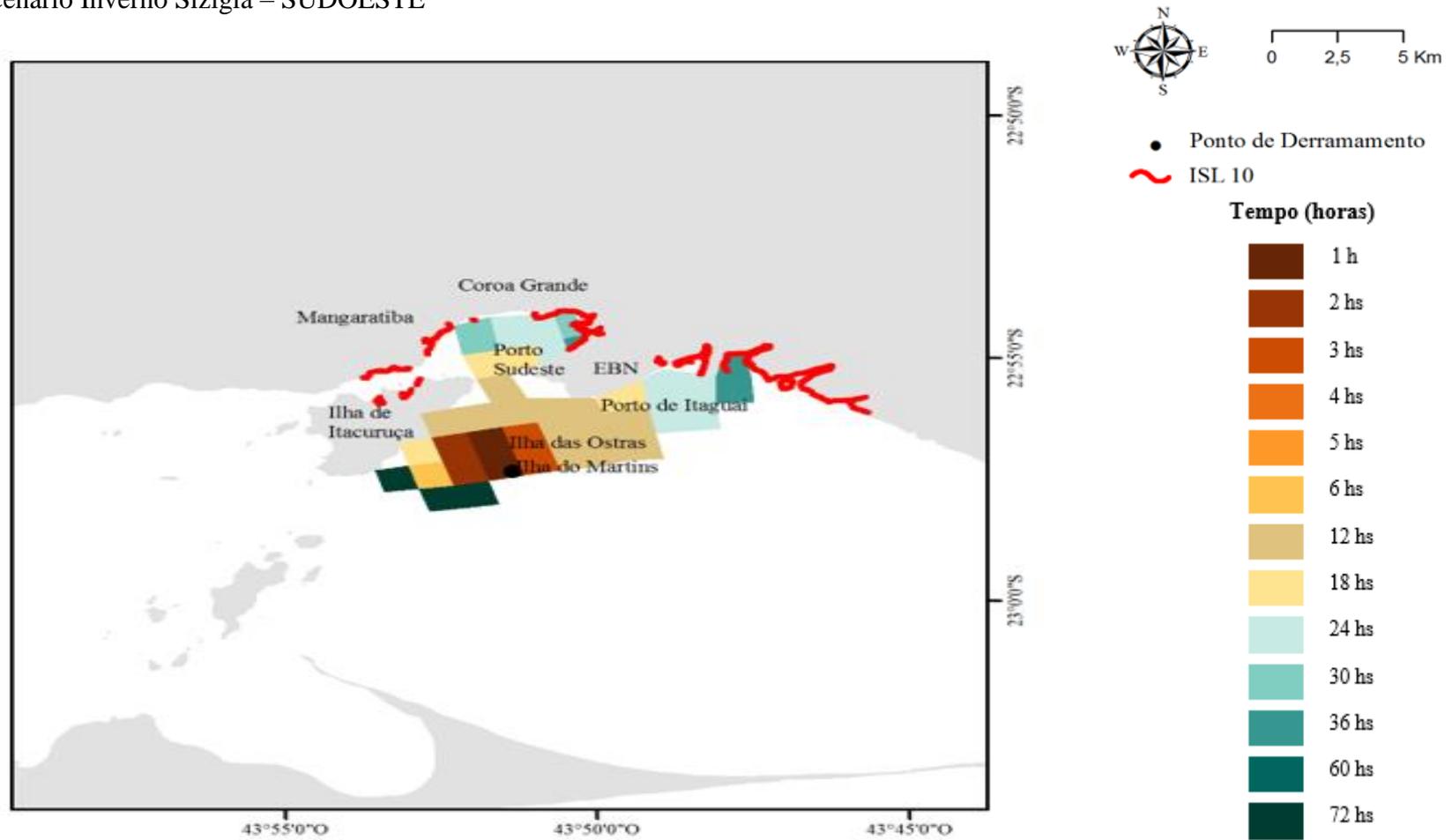


Figura 41 Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **sizígia inverno** com vento predominante na direção **sudoeste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.

4.1.10. Cenário Inverno Quadratura – NORTE

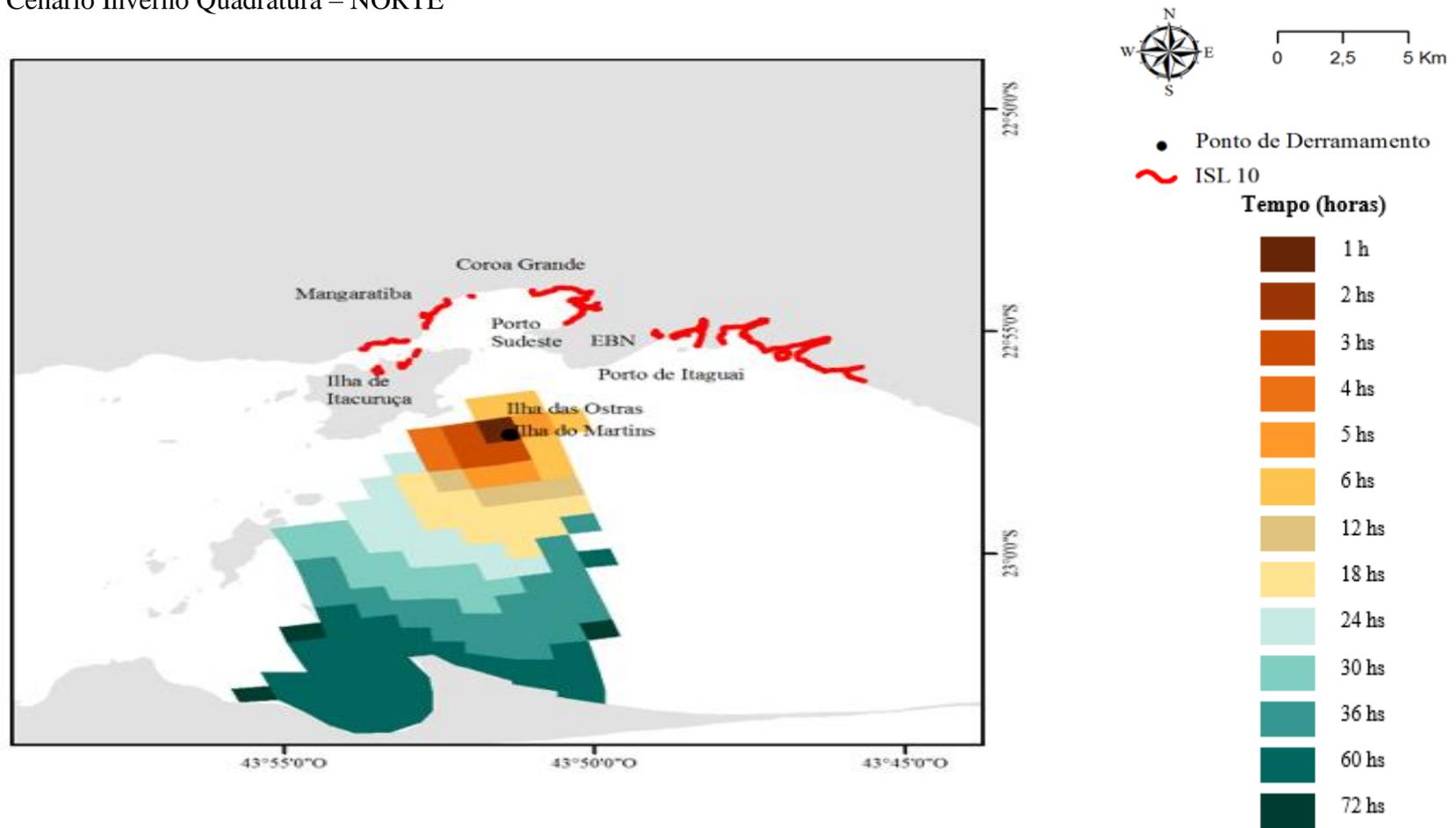


Figura 42: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **quadratura inverno** com vento predominante na direção **norte**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800 m³.

4.1.11. Cenário Inverno Quadratura – LESTE

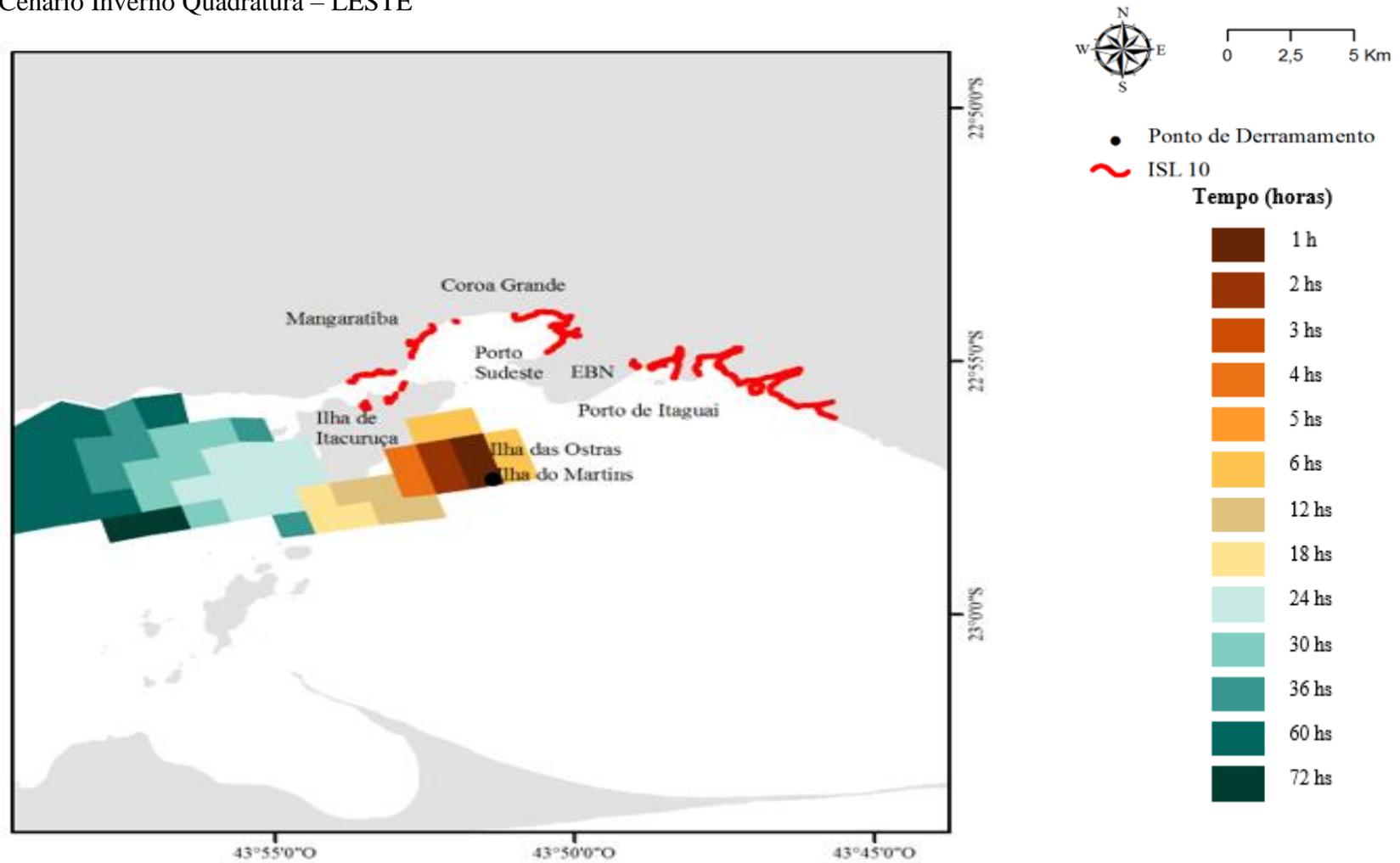


Figura 43: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **quadratura inverno** com vento predominante na direção **leste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de

4.1.12. Cenário Inverno Quadratura – SUDOESTE

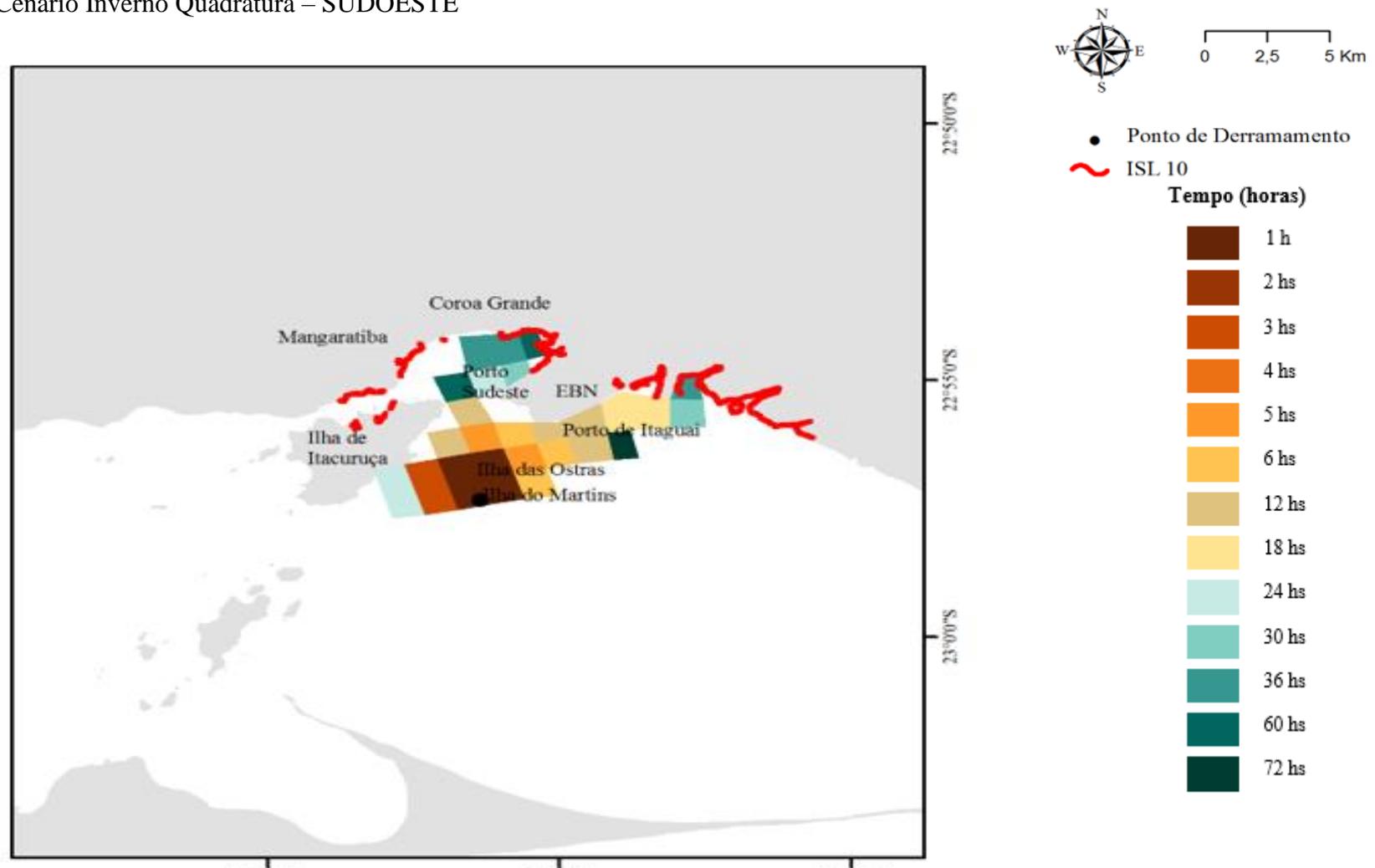


Figura 44: Resultado da área atingida pelo óleo na simulação determinística para o derramamento no ponto de risco, na condição de maré de **quadratura inverno** com vento predominante na direção **sudoeste**, após 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 60 e 72 horas do início do vazamento. Volume derramado de 800

4.2. Análise dos Resultados

4.2.1. Cenário Verão Sизígia – direções (N, L e SE)

Inicialmente analisando a figura 33 pode-se perceber que a deriva de óleo foi para o sul do ponto de derramamento, em função da influência dos ventos de norte. O óleo atingiu a margem da Restinga da Marambaia após 60 horas do início do derramamento. Com vento leste o óleo se desloca na direção do município de Mangaratiba, atingindo a costa após 30 horas do início do vazamento (figura 34). Para os dois casos expostos não ocorreu contaminação por óleo nas áreas cobertas por manguezais. Esse ecossistema foi atingido por compostos oleosos quando a mancha foi deslocada por ventos de sudeste. A atuação dos ventos na direção sudeste arrastou a pluma de contaminantes na direção dos manguezais de Coroa Grande-Mangaratiba após 18 horas do início do incidente com óleo. Também pode ser observado óleo nas imediações do manguezal da Ilha de Itacuruçá com 30 horas de derrame (figura 35). A tabela 12 apresenta um resumo dos cenários críticos simulados para o período de verão (sизígia) e com ventos predominantes nas direções N, L e SE.

Tabela 12: Resumo das simulações determinísticas para o período de verão (sизígia) com ventos predominantes nas direções N, L e SE.

CENÁRIO CRÍTICO DE DERRAMAMENTO DE ÓLEO (VERÃO SIZÍGIA)			
Área de Manguezal Impactada	Tempo de Toque de Óleo no Ecossistema de Manguezal após o Derrame (horas)	Direção do Vento	Intensidade do Vento (m/s)
Sem ocorrências	Sem ocorrências	N	5.4
Sem ocorrências	Sem ocorrências	L	7.31
Mangaratiba-Coroa Grande/Ilha de Itacuruçá	18/30	SE	6.41

4.2.2. Cenário Verão Quadratura – direções (N, L e SE)

Analisando os resultados determinísticos realizados para o período de maré de quadratura pode-se observar um comportamento similar da pluma de contaminante apresentado na simulação realizada para maré de sизígia. Conforme exposto nas figuras 36 e 37 ocorre o deslocamento da mancha de óleo nas direções da Restinga de Marambaia e

Mangaratiba quando expostos a ação dos ventos de norte e leste, respectivamente. O óleo atinge as áreas de manguezais quando influenciado por ventos de sudeste. Entretanto, na maré de quadratura, a contaminação por óleo dos manguezais de Coroa Grande-Mangaratiba e Ilha de Itacuruçá acontece após 30 e 60 horas do início do vazamento, respectivamente (figura 38). A tabela 13 apresenta um resumo dos cenários críticos simulados para o período de verão (quadratura) e com ventos predominantes nas direções N, L e SE.

Tabela 13: Resumo das simulações determinísticas para o período de verão (quadratura) com ventos predominantes nas direções N, L e SE.

Área de Manguezal Impactada	Tempo de Toque de Óleo no Ecossistema de Manguezal após o Derrame (horas)	Direção do Vento	Intensidade do Vento (m/s)
Sem ocorrências	Sem ocorrências	N	5.4
Sem ocorrências	Sem ocorrências	L	7.31
Mangaratiba-Coroa Grande/Ilha de Itacuruçá	30/60	SE	6.41

4.2.3. Cenário Inverno Sizígia – direções (N, L e SO)

A incidência de vento na direção norte fez com que óleo derivasse na direção oposta aos manguezais da Baía de Sepetiba, atingindo a região da Restinga de Marambaia após 60 horas do derramamento (figura 39). Após 30 horas do início do vazamento de óleo a atuação dos ventos de leste fez com que o município de Mangaratiba fosse impactado, entretanto, o óleo não atingiu os manguezais dessa região (figura 40). Ao analisar a figura 41, com vento de sudoeste, pode-se observar o toque de óleo nos manguezais de Coroa Grande e Ilha da Madeira após 24 horas do início do incidente. A tabela 14 apresenta um resumo dos cenários críticos simulados para o período de inverno (sizígia) e com ventos predominantes nas direções N, L e SO.

Tabela 14: Resumo das simulações determinísticas para o período de inverno (sizígia) com ventos predominantes nas direções N, L e SO.

CENÁRIO CRÍTICO DE DERRAMAMENTO DE ÓLEO (VERÃO QUADRATURA)			
Área de Manguezal Impactada	Tempo de Toque de Óleo no Ecossistema de Manguezal após o Derrame (horas)	Direção do Vento	Intensidade do Vento (m/s)
Sem ocorrências	Sem ocorrências	N	6.31
Sem ocorrências	Sem ocorrências	L	6.5
Coroa Grande/ Ilha da Madeira	24/30	SO	6.5

4.2.4. Cenário Inverno Quadratura – direções (N, L e SO)

Nas simulações realizadas para o período de maré de quadratura não ocorre a contaminação dos manguezais quando a deriva de óleo está exposta aos ventos de norte e leste. A atuação desses ventos desloca a pluma de contaminante nas direções da Restinga de Marambaia e região de Mangaratiba, respectivamente (figuras 42 e 43). Observando a figura 44 pode-se observar a deriva da mancha oleosa na direção nordeste. A atuação do vento de sudoeste faz com os manguezais de Coroa Grande e Ilha da Madeira, ao fundo da Baía de Sepetiba, sejam impactados por óleo após 36 do início do incidente com óleo. A tabela 15 apresenta um resumo dos cenários críticos simulados para o período de inverno (quadratura) e com ventos predominantes nas direções N, L e SO.

Tabela 15: Resumo das simulações determinísticas para o período de inverno (quadratura) com ventos predominantes nas direções N, L e SO.

CENÁRIO CRÍTICO DE DERRAMAMENTO DE ÓLEO (VERÃO QUADRATURA)			
Área de Manguezal Impactada	Tempo de Toque de Óleo no Ecossistema de Manguezal após o Derrame (horas)	Direção do Vento	Intensidade do Vento (m/s)
Sem ocorrências	Sem ocorrências	N	6.31
Sem ocorrências	Sem ocorrências	L	6.5
Ilha da Madeira/ Coroa Grande	18/36	SO	6.5

Comparando os resultados dos PEI's do Porto de Itaguaí e Sudeste com os cenários simulados neste trabalho, conclui-se que os ventos de SE e SO foram as direções que dispersaram a mancha de óleo em direção aos manguezais da região.

De acordo com as simulações realizadas pelo Porto de Itaguaí, tem-se que os manguezais da Ilha da Madeira são impactados por óleo quando submetidos a ventos de SO. As simulações realizadas com utilização de ventos de SO não alcançaram os manguezais de Coroa Grande, Mangaratiba e Ilha de Itacuruçá, ficando o óleo nas proximidades do píer do Porto de Itaguaí na Ilha da Madeira. Nos cenários simulados nesse trabalho com atuação de ventos de SO, a mancha de óleo chegou no manguezal da Ilha da Madeira e Coroa Grande, em virtude de o ponto de despejo de óleo estar situado no canal de navegação. A localização do ponto de derrame de óleo também influenciou no tempo de chegada do óleo no manguezal da Ilha da Madeira em até 6 horas nas simulações realizadas pelo Porto de Itaguaí, e em até 18 horas nas simulações realizadas nesse trabalho.

Quando comparando o PEI do Porto Sudeste e os cenários simulados nesse trabalho, os manguezais de Mangaratiba e Ilha de Itacuruçá seriam afetados por óleo com ventos de SE, ou seja, a atuação do vento nessa direção acabou por não espalhar a mancha de óleo em direção aos manguezais da Ilha da Madeira e Coroa Grande. No período de 6 horas após o início do derrame o manguezal de Mangaratiba seria atingido, de acordo com as simulações do Porto Sudeste, e em um período de 18 horas nas simulações desse trabalho. Cabe aqui ressaltar que a proximidade do derrame de óleo no píer do Porto Sudeste foi o que influenciou na chegada da mancha de óleo em um período mais curto, quando comparado com as simulações realizadas nesse trabalho. O manguezal da Ilha de Itacuruçá, com atuação de vento de SE, seria atingido por óleo em até 30 horas nas simulações desse trabalho.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento da pluma de óleo no meio marinho é resultante das forças meteorológicas que influenciam o seu padrão de distribuição, além do intemperismo químico do óleo.

Os resultados dos cenários críticos simulados neste trabalho mostraram que a influência do vento foi fator determinante no deslocamento do óleo no meio ambiente marinho. Ao analisar os PEI's dos empreendimentos portuários da região de estudo, bem como, os cenários simulados nesse trabalho, pode-se inferir que os ventos oriundos de SE e SO dispersaram a mancha de óleo em direção aos manguezais de Mangaratiba-Coroa Grande, Ilha de Itacuruçá e Ilha da Madeira. As simulações realizadas na área de estudo mostram que os manguezais da Ilha da Madeira seriam os primeiros a serem impactados com o óleo, com a pluma de contaminante chegando na área sensível em até 6 horas após o início do despejo, com ventos atuantes de SO.

Conforme já exposto, os ventos de SO representam cerca de 25% do total de ventos atuantes na região, segundo dados da estação meteorológica da Base Aérea de Santa Cruz para o período de verão; e da ordem de 26% no período de inverno. A estação meteorológica da Marambaia também apresenta ventos de SO, com 7% no período de verão e 15% no período de inverno. Cabe ressaltar que os ventos de SE e SO podem alcançar valores da ordem de 8.1 m/s no verão e até 10.3 m/s no inverno.

A comparação dos dados da estação meteorológica da Base de Santa Cruz com os da estação da Marambaia mostra que em regiões de topografia acidentada a direção, intensidade e persistência de ventos varia de acordo com o local que é medido. Como o vento é um fator físico dominante na propagação de derramamento de óleo, definindo o tempo de toque em costa, faz-se necessário uma definição mais robusta do clima de vento nos locais a serem simulados. Logo, tanto para o caso da Baía de Sepetiba como para outros corpos de água de regiões de topografia acidentada, um modelo topográfico para uma interpolação ótima de ventos pode ser de grande valia para análises futuras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alongi, D. M. (2012). **Carbon Sequestration in Mangrove Forests**. pp. 313-322.
- Alves, F. N. (2006). **Estudo do Transporte de Manchas de Óleo por um Modelo Lagrangeano de Partículas na Bacia de Pelotas**.
- Alves, J. R. (2001). **Manguezais: Educar para Proteger**. Cooperação Técnica Brasil - Alemanha, Projeto Planágua SEMADS-GTZ. Inclui Bibliografia, 96.
- ANTAQ - **Agência Nacional de Transporte Aquaviário**. Disponível em: <http://antaq.gov.br>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2018.
- Barker, C. (1982). **Petroleum Hydrocarbons**. p. 549-565.
- Borges, H. V. (1998). **Helocene Geological Evolution of Sepetiba Bay and Marambaia Barrier Island, Brazil**. Dissertation Presented to the Graduate School in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor in Coastal Oceanography.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 398, de 11 de junho de 2008**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=575>. Acesso em 22 janeiro de 2018.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 269, de 14 de setembro de 2000**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=2>. Acesso em 23 janeiro de 2018.
- Brasil. **Resolução CONAMA nº 269, de 21 de dezembro de 2017**. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=730>. Acesso em 20 junho de 2018.
- Breithaupt, J. L., Smoak, J. M., Smith, T. J., Sanders, C. J., & Hoare, A. (2012). **Organic Carbon Burial Rates in Mangrove Sediments: Strengthening the Global Budget**. p. 11.
- Brito, D. D., Moura, J. A., & Würdig, N. (1988). **Relationships Between Ecological Models Based on Ostracods and Foraminifers From Sepetiba Bay (Rio de Janeiro-Brazil)**. Petrobras Research Center, Rio de Janeiro and Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p. 467-484.

- Cantagallo, C., Milanelli, J. C., & Brito, D. D. (2007). Limpeza de Ambientes Costeiros Brasileiros Contaminados por Petróleo: uma revisão. **Journal of Aquatic Sciences**. p. 1-12.
- Castro, P. A. (2009). **Monitoramento Ecotoxicológico em Sedimento de Manguezal Contaminado com Hidrocarbonetos de Petróleo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.
- CDRJ, C. D. (2009). **Plano Consolidado de Emergência Individual (PEI)**. Porto de Itaguaí, Rio de Janeiro.
- CETESB. (2007). **Ambientes Costeiros Contaminados por Óleo Procedimentos de Limpeza**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental , São Paulo.
- Chacaltana, T. S. (2007). **Mapeamento de Áreas de Sensibilidade Ambiental ao Derrame de Óleo na Baía de Vitória, ES**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Ciotti, C. S., Santos , V. R., Neck, A., Bianchini , G. M., & Brandli, E. N. (2009). **Acidente Ecológico na Baía de Guanabara: O Direito Ambiental e a Tragédia Envolvendo sua Sustentabilidade**. III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí.
- CLARK, R. B., ATTRILL. , M., & FRID, C. (2001). **Marine Pollution**.
- COPELAND, G. (2003). Water quality in Sepetiba Bay, Brazil. **Marine Environmental Research**. p. 385–408.
- Cortez, R. H. (2012). **Circulação e Fluxo de Material Particulado em Suspensão no Canal de Barra de Guaratiba (Baía de Sepetiba - RJ)**. Monografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Costa, B. C. (2010). **Avaliação Ambiental de Manguezais Adjacentes aos Campos Petrolíferos de Macau e Serra (RN), como Subsídio as Medidas Mitigadoras ao Processo Erosivo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Dahlin, J., Michel, J., & Henry, C. (1994). **Recovery of Mangrove Habitats at the Vesta Bella Oil Spill Site**.

- Dicks, B. (1998). **The Environmental Impact of Marine Oil Spills: Effects, Recovery and Compensation.**
- Duke, N. C. (2016). Oil Spill Impacts on Mangroves: Recommendations for Operational Planning and Action Based on a Global Review. **Marine Pollution Bulletin.** p. 700-715.
- EBN. (2009). **Estudo de Impacto Ambiental do Estaleiro e Base Naval para a Construção de Submarinos Convencionais e de Propulsão Nuclear, em Itaguaí – Rio de Janeiro.**
- FAO. (2007). **Mangrove Trees and Shrubs.**
- FAO. (2007). **The World's Mangroves.** p. 1980-2205.
- FEEMA. (1998). **Avaliação da Qualidade da Água.** Rio de Janeiro.
- Filho, L. S., Romano, A. L., da Silva, L. F., & Villena, H. H. (2003). **Diagnóstico Preliminar das Características Físicas e Físico-Químicas da Baía de Sepetiba-RJ.** X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.
- FIRJAN. (2015). **Pesquisas e Estudos Socioeconômicos.**
- Fragoso Junior, C. R. (2009). **Modelagem Ecológica em Ecossistemas Aquáticos.** São Paulo.
- FRAGOSO, R. D. (1999). Estudo Numérico da Circulação Marinha da Região das Baías de Sepetiba e Ilha Grande (RJ).
- Getter, C., Cintron, G., Dicks, B., Lewis, R., & Seneca, E. (1984). **The Recovery and Restoration of Saltmarshes and Mangrove Following an Oil Spill.** p. 65-113.
- Getter, C., Scott, G., & Michel, J. (1981). **The Effects of Oil Spills on Mangroves Forests: A Comparison of Five oil Spill Sites in the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea.**
- Gundlach, E., & M.O. Hayes. (1978). **Vulnerability of Coastal Environments to Oil Spill Impacts.** p. 18-27.

- Hoff, R., Hensel, P., Proffitt, E., Delgado, P., Shigenaka, G., Yender, R., & Mearns, A. (2010). **Oil Spills in Mangroves Planning & Response Considerations**. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).
- ICMBio. (2018). **Atlas dos Manguezais do Brasil**. p. 179. Brasília.
- IMO. **Organização Marítima Internacional**. Disponível em: <https://ajonu.org/2012/10/17/organizacao-maritima-internacional-imo/>. Acesso em 16 de agosto de 2018.
- Institute, A. P., NOAA, U.S., C., & U.S., E. (2001). **Characteristics of Response Strategies: a Guide for Spill Response Planning in Marine Environments**.
- IPIECA. (2015). **Impacts of oil Spills on Marine Ecology**. p. 52.
- IPIECA. (2015). **Observação Aérea de Derramamentos de Óleo no Mar**. p. 56.
- IPIECA, I. P. (1993). **Biological Impacts of Oil Pollution: Mangroves**. p. 24.
- ITOPF. (2018). **Promoting Effective Spill Response**.
- Kathiresan, K., & Bingham, B. (2001). **Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems**. Advances in Marine Biology. p. 81-251.
- Kjerfve, B., & Lacerda, L. (1993). **Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions**.
- Lacerda, L., Paraquetii, H. H., Molisani, M. M., & Bernardes, M. C. (2007). **Transporte de Materiais na Interface Continente-mar na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro**. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar.
- Levings, S., & Garrit, S. (1995). **Oiling of mangrove keys in the 1993 Tampa Bay oil spill**.
- Maiti, S. K. (2013). Effects of Anthropogenic Pollution on Mangrove Biodiversity: A Review. **Journal of Environmental Protection**. p. 1428-1434.
- Maksimova, N. N. (2012). **Finite-element Solution of a Model Mechanical Problem with Friction Based on a Smoothing Lagrange Multiplier Method**.
- MAREM. **Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar**. Disponível em: www.marem-br.com.br/. Acesso em 18 de julho de 2018.

- Marone, E., & Camargo, R. (1994). **Marés Meteorológicas no Litoral do Estado do Paraná: o Evento de 18 de Agosto de 1993**. p. 73–85.
- Martins, F. C. (2008). **Influência de Correntes na Plataforma Adjacente na Hidrodinâmica das Baías da Ilha Grande e Sepetiba, RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Michel, J., & Hayes, O. (1992). **Sensitivity of Coastal Environments to Oil**.
- Miranda, T. C. (janeiro de 2007). **Distribuição de Zinco e Cádmio Associados ao Material Particulado em Suspensão ao Longo de um Ciclo de Maré na Baía de Sepetiba**. Rio de Janeiro.
- Miththapala, S. (2008). **Coastal Ecosystems Series (Volume 2)**. Sri Lanka: Ecosystems and Livelihoods Group Asia.
- MMA. (2004). Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**.
- MMX, P. S. (2014). **Plano de Emergência Individual para Incidentes de Poluição por Óleo - Pei**. Porto Sudeste, RJ.
- Nadeau, R., & Bergquist, E. (1977). **Effects of the March 18, 1973 oil spill near Cabo Rojo, Puerto Rico on tropical marine communities**.
- Nanni, H. C., Nanni, S. M., & Segnini, R. C. (2005). **A Importância dos Manguezais para o Equilíbrio Ambiental**. II Simpósio Internacional de Ciências Integradas da Universidade de Ribeirão Preto, 12. Guarujá, SP, Brasil.
- NOAA. (2014). National Oceanic and Atmospheric Administration. **Twenty-Five Years after the Exxon Valdez Oil Spill: Noaa's Scientific Support, Monitoring and Research**.
- OLIVEIRA, M. R. (2006). **Treinamento de Equipes Externas: Responsabilidade Sócio Ambiental no Terminal Aquaviário de Angrados Reis - RJ**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ.

- ONU. Organização das Nações Unidas. **Transporte Marítimo e Espinha Dorsal da Economia Global**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/transporte-maritimo-e-espinha-dorsal-da-economia-global-diz-onu-em-data-especial/>. Acesso em 16 de agosto de 2018.
- Oshiro, L., Silva, R., & Silva, Z. (1998). **Composição sa Fauna de Braquiúros (Crustacea Decapoda) Dos Manguezais da Baía de Sepetiba - RJ**. p. 31-40.
- PACS. (2015). Instituto Políticas Alternativas para o Cone Sul. **Baía de Sepetiba: Fronteira do Desenvolvimentismo e os Limites para a Construção de Alternativa**. Rio de Janeiro. p. 156.
- Paladino, E. E. (2000). **Modelagem Matemática e Simulação Numérica de Trajetórias de Derrames de Petróleo no Mar**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Parâmetros oceanográfico - **Geológico Geomorfológicos de Interesse na Caracterização de Ecossistemas Costeiros do Estado de São Paulo**. Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: Estrutura, Função e Manejo, 1990. São Paulo. p. 142-150.
- PETROBRAS. (2017). **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico - FISPQ**
- PIANC, P. I., IAPH , I., IMPA, I., & IALA, I. (2003). **Canais de Acesso um Guia para Projetos**.
- Poletto, F. M. (2013). **Determinação das Possíveis Áreas de Risco Atingidas por um Derrame Hipotético de Óleo na Área de Fundeio do Porto de Itajaí-SC utilizando o Modelo Numérico DELFT-3D**. Monografia. Universidade do Vale do Itajaí. p. 92.
- Ponçano, W. L., & Fúlfaro, V. J. (1976). **Sedimentação Atual nas Adjacências da Ponta de Itaipu e Baía de Santos: Implicações na Escolha de Locais de Lançamento de Material Dragado**. p. 111-139.
- Ratton, E. (2015). **Relatório Final de Acompanhamento Acidente Ambiental com Navio Vicuña Baía de Paranaguá**. Curitiba.

- Rezende, C., Lacerda, L., Ovalle, A., & Silva, L. (2007). **Dial Organic Carbon Fluctuations in a Mangrove Tidal Creek in Sepetiba Bay, Southeast Brazil.** p. 673-680.
- Romero, Á. F. (2009). **Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo e Cartas SAO. Trecho: Praia Grande - Ilha Comprida, Litoral Paulista.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, SP.
- Santa-Cruz, J. (2004). **Foraminíferos Atuais em um Manguezal Impactado por Petróleo 20 Anos Atrás: O Rio Iriri, Canal De Bertioga, Santos-SP.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, SP.
- Santos, A. D. (2017). **Percepção Ambiental de Alunos de Ensino Fundamental Sobre o Ecossistema Manguezal.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Sergipe.
- Schaeffer-Novelli, Y. (1990). **Vulnerabilidade do Litoral Norte do Estado de São Paulo a Vazamentos de Petróleo e Derivados.** Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira Síntese de Conhecimentos. p. 375-399.
- Schaeffer-Novelli, Y., Molero, G. C., Soares, M. L., & De-Rosa, T. (2000). **Brazilian Mangroves. Aquatic Ecosystem Health and Management.** p. 561-567.
- Sciences, N. A. (1985). **Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects.**
- SEMA. (1998). Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Macroplano de Gestão e Saneamento Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba, RJ.**
- SEMADS. (2001). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses Síntese Informativa por Macrorregião Ambiental Rio de Janeiro.**
- Signorini, S. R. (1980). **A Study of the Circulation in Bay of Ilha Grande And Bay of Sepetiba.** p. 41-55.
- Silva, G. H., Lima, S. d., Araújo, S. I., & Gomes, C. C. (2012). **Mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental a Derrames de Óleo em Ambientes Costeiros.** Associação Brasileira de Avaliação de Impacto .

- Snedaker, S. (1985). Oil Spills In Mangrove. **Boletim de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales**. p. 423-442.
- SNP. Secretaria Nacional de Portos. Disponível em:
- SNP. **Secretaria Nacional de Portos**. Disponível em:
<http://www.portosdobrasil.gov.br/assuntos-1/sistema-portuario-nacional>.
Acesso em 08 de agosto de 2018.
- Soares, M. L., & Chaves, F. d. (2009). **Resposta e Vulnerabilidade Ambiental dos Manguezais da Baía de Sepetiba à Mudança Climática**. 259-289.
- Soares, M. L., Almeida, P. M., Cavalcanti, V. F., Estrada, G. C., & Santos, D. M. (2011). **Vulnerabilidade dos Manguezais da Região Metropolitana do Rio De Janeiro Face Às Mudanças Climáticas**. p. 259-289.
- Sousa, L. G., Miranda , A. C., & Medeiros , H. B. (2013). **Impacto Ambiental e Socioeconômico do Derramamento de Óleo na Baía de Guanabara**.
- Szewczyk, S. B. (2006). **Processos Envolvidos em um Derramamento de Óleo no Mar**.
- Tomlinson, P. (1986). **The botany of mangroves**. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Villena, H. H., Chaves, H. A., Pereira, S. D., Dias, M. S., & Varela, J. G. (2012). **Indícios da Variação do Nível do Mar na Baía de Sepetiba**. p. 39-59.
- Wardrop, J., Wagstaff, B., Pfenning, P., & Leeder, J. (1996). **The Distribution, Persistence and Effects of Petroleum Hydrocarbons in Mangroves Impacted by “Era” Oil Spill**.
- Wolanski, E., Spagnol , S., & Ayukai , T. (agosto de 1998). **Field and Model Studies of The Fate of Particulate Carbon In Mangrove-Fringed Hinchinbrook Channel, Australia**. p. 205-221.