

II.6. MODELAGEM NUMÉRICA

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

Esse item foi elaborado pela empresa PROOCEANO (CLS Brasil), não apenas de acordo com o Termo de Referência (TR) COEXP nº 12654479, específico para a Atividade de Perfuração Marítima no Bloco C-M-715, na Bacia de Campos, mas levando em consideração as últimas solicitações do IBAMA, no que se refere à modelagem de transporte de óleo.

Dessa forma, são descritos e apresentados, no presente item, os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar, no Bloco C-M-715, considerando:

- Todos os processos físico-químicos de intemperismo do óleo no mar, **exceto a biodegradação.**

Vale mencionar que, os resultados utilizados no presente EAP, que **não consideram o fator biodegradação**, são considerados mais conservadores.

Modelagem de Dispersão de Óleo

Bloco C-M-715, Bacia de Campos

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

JUNHO DE 2022

Preparado para:

Petronas Petróleo Brasil Ltda (PPBL)

Preparado por:

Henery Ferreira Garção

Ingrid Trindade da Silva

Júlio Augusto de Castro Pellegrini

Marcelo Montenegro Cabral

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666
www.prooceano.com.br

© PROOCEANO 2022

The copyright in this document is vested in Prooceano. This document may only be reproduced in whole or in part, or stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means electronic, mechanical, photocopying or otherwise, with the prior permission of PROOCEANO.

Os direitos autorais deste documento são propriedade da PROOCEANO. Este documento somente poderá ser reproduzido inteiro ou em partes, ou armazenado, ou transmitido em qualquer forma, ou por quaisquer meios: eletrônico, mecânico, fotocópia ou qualquer outro modo, com a permissão prévia da PROOCEANO.

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 02

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano

Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Prooceano



Equipe técnica

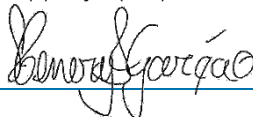
Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



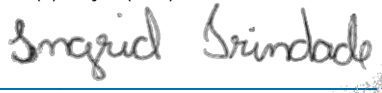
Ingrid Trindade da Silva

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 8046102

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Júlio Augusto de Castro Pellegrini

Registro no Conselho de Classe: Não aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



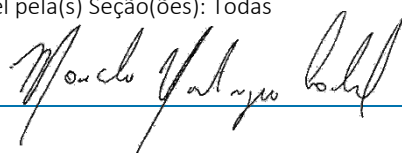
Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:



Sumário

Sumário Executivo	5
1. Introdução.....	8
2. Sobre a Modelagem Computacional.....	10
3. Cenários de Modelagem de Dispersão de Óleo.....	11
4. Metodologia.....	12
4.1. Modelo de transporte.....	12
4.2. Óleo nas Unidades de Conservação.....	12
4.3. Descrição das Grades	12
4.4. Forçantes.....	15
4.5. Variabilidade Ambiental.....	22
4.6. Estratégias de Modelagem	24
5. Resultados.....	30
5.1. Resultados Probabilísticos	31
5.2. Resultados Determinísticos.....	62
6. Considerações Finais.....	81
7. Bibliografia	82
8. Anexos.....	84



Sumário Executivo

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamento a partir de um ponto de risco localizado no bloco C-M-715, na Bacia de Campos.

O principal objetivo do estudo de modelagem foi dar subsídio para o processo de licença do bloco C-M-715. Para isso foram avaliados o comportamento da deriva e o intemperismo do óleo, e suas variações ao longo do tempo e de forma tridimensional no ambiente marinho, avaliando os resultados de vazamentos de óleo a partir da superfície para os cenários de menor volume (8 e 200 m³) e de pior caso (277.697 m³).

O ponto de vazamento se encontra afastado da costa, porém a região ainda tem influência do fluxo das correntes de contorno, sendo dominada pela circulação associada ao sistema da Corrente do Brasil (CB). Ao longo do talude continental, nas camadas mais superficiais e subsuperficiais, predominam correntes para sudoeste/sul, na região do ponto de vazamento há uma variação da direção das correntes devido à distância até a costa. O padrão característico das condições meteorológicas é dominado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com predominância de ventos do primeiro quadrante, e pela passagem de sistemas frontais (frentes frias), quando há ocorrência de ventos do terceiro quadrante.

A divisão sazonal adotada neste estudo baseia-se nas variações destes sistemas meteoceanográficos ao longo do ano: o Período 1 compreende os meses de setembro a fevereiro e o Período 2 os meses de março a agosto. No Período 1 há predominância de ventos de norte-nordeste (NNE) e nordeste (NE), enquanto no Período 2 há um equilíbrio com o aumento da frequência de ventos de segundo quadrante. Em relação às correntes na região do ponto de vazamento, é possível observar uma variação na direção predominante ao longo do ano; a intensidade das correntes varia entre 0,1-0,2 m/s

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

Todos os resultados aqui apresentados não consideraram o processo intempérico da biodegradação.

Nos vazamentos de 8 m³, as áreas de probabilidade de presença de óleo em superfície estão afastadas da costa e da plataforma continental, sem ocorrência de toque na costa. Nos vazamentos de 200 m³, também não ocorreu toque na costa e a região com profundidades superiores a 1.000 m de profundidade foram as mais passíveis de serem afetadas. Nos cenários de pior caso, ocorreu probabilidade de chegada de óleo na costa apenas no Período 2, com 0,2% (uma simulação), tempo mínimo de 39 dias.



Ressalta-se que nos dois períodos a área de presença de óleo em superfície com probabilidades acima de 30% encontra-se a uma distância superior a 50 km da costa (Figura 1). De forma geral, para probabilidades acima de 30%, as trajetórias simuladas durante o Período 2 se estendem mais no sentido sudoeste (SO), enquanto no Período 1 esses valores se estendem mais entre sul-sudoeste (SSO) e sul-sudeste (SSE).

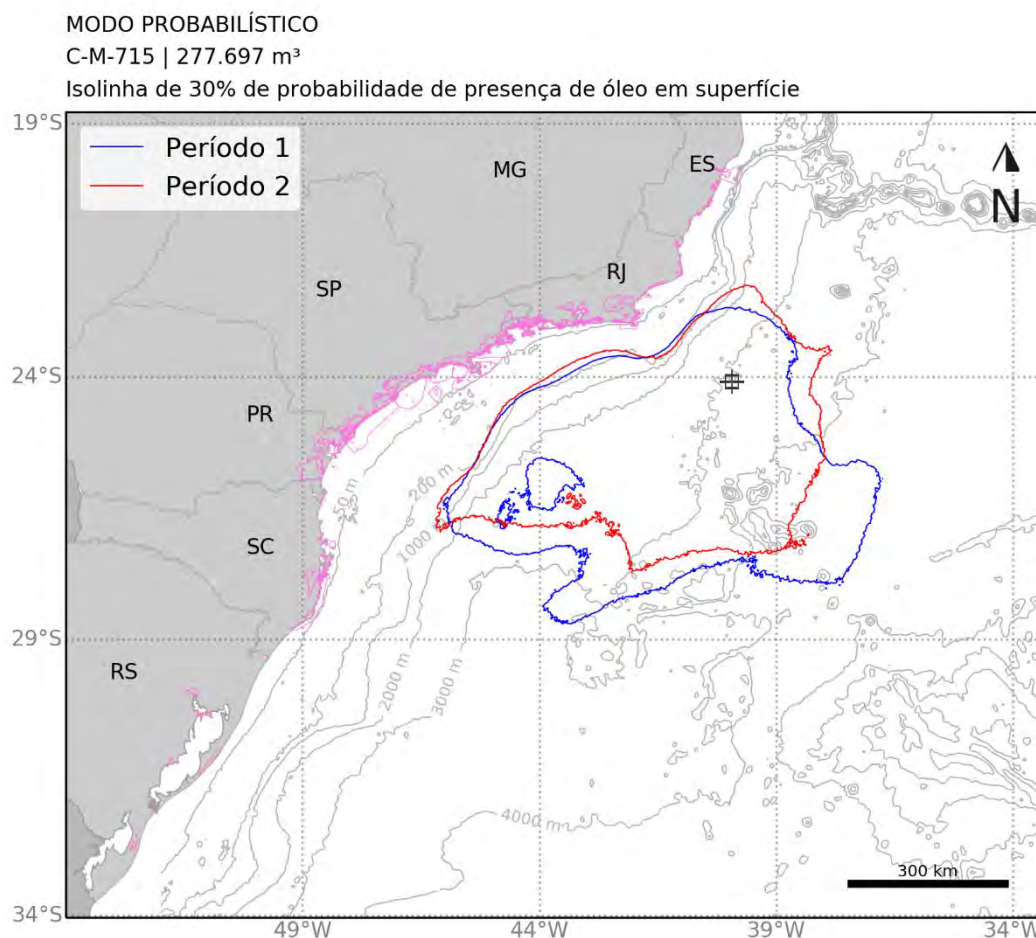


Figura 1: Isolinha de 30% de probabilidade dos resultados de pior caso (277.697 m³) para o Período 1 (em azul) e Período 2 (em vermelho).

Em relação às unidades de conservação (UCs), a maior probabilidade (0,8%) e o menor tempo de chegada de óleo (34,2 dias) relacionam-se a RESEX Marinha Arraial do Cabo, ambos no cenário de pior caso no Período 2.

Nos cenários de vazamento de 8 m³ e 200 m³ o principal processo de intemperismo foi a evaporação com mediana em torno de 63%, seguido pela dispersão na coluna d'água, com mediana em torno de 36%. No cenário de pior caso, a dispersão na coluna d'água foi o que apresentou maiores porcentagens, com mediana em torno de 59%, seguido pela evaporação, mediana em torno de 40%.

[Assinatura]

Na coluna d'água, nos cenários de pior caso, concentrações acima de 1.000 ppb podem ser observados na superfície e em camadas mais profundas (entre 1.800 – 2.800 metros), e valores acima de 20 ppb podem ocorrer até a latitude de 34°S.

No fundo marinho, são observadas probabilidades de até 40% na plataforma continental; em regiões com maiores profundidades é possível observar valores de probabilidade de até ~53%.



1. Introdução

O presente relatório descreve os resultados obtidos na modelagem numérica de transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamento a partir de um ponto de risco localizado no ponto de vazamento – Bloco C-M-715 – Bacia de Campos. A localização do ponto de vazamento é apresentada na Figura 2 e na Tabela 1.

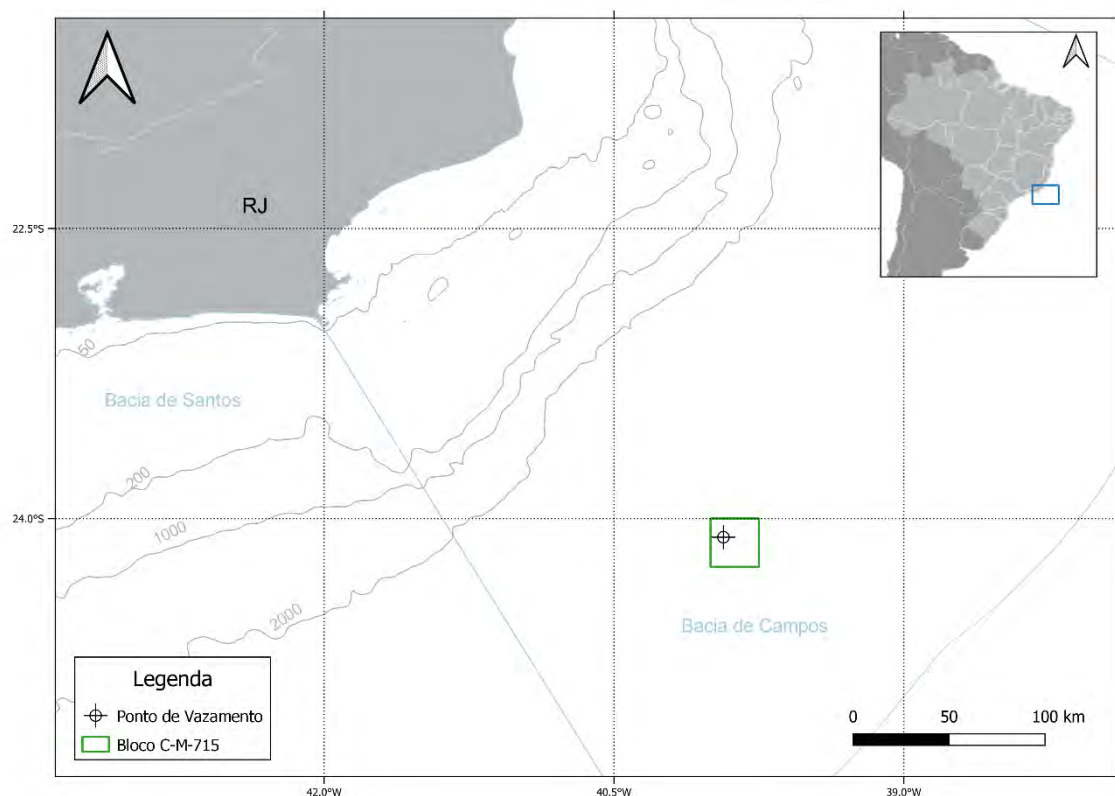


Figura 2: Localização do ponto de vazamento considerado na modelagem.

Tabela 1: Coordenadas do ponto de vazamento considerado na modelagem como ponto de risco.

Datum	Latitude	Longitude
SIRGAS2000	24°05'46,84"S	39°56'1,19"W

Como forçante oceanográficas foram utilizados os campos de correntes, temperatura e salinidade do mar da base hidrodinâmica desenvolvida com o modelo **ROMS** (*Regional Ocean Modeling System*) (HAIDVOGEL *et al.*, 2008). Maiores detalhes sobre os dados hidrodinâmicos podem ser obtidos no relatório de modelagem hidrodinâmica elaborado para este mesmo processo de licenciamento.

Em seguida foi realizada a simulação da dispersão do óleo para as condições meteoceanográficas características da região, estimando o comportamento do óleo vazado em cada uma delas. Este

[Assinatura]

estudo foi elaborado considerando os requisitos apresentados em termos de referência do IBAMA para as modelagens de dispersão de óleo que compõem os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) para sistemas de produção de petróleo. Os sistemas de modelagem, metodologias e análises empregados neste documento estão alinhados com os requisitos da norma internacional ASTM¹ F2067-13 para desenvolvimento e uso de modelos de trajetórias de derramamentos de óleo (ASTM, 2013).

¹ American Society for Testing and Materials



2. Sobre a Modelagem Computacional

Modelos numéricos são ferramentas que tem como objetivo a representação da dinâmica e dos processos envolvidos no objeto de estudo através de equações matemáticas e parametrizações. Modelos geram resultados que são aproximações do estado real e possuem limitações e erros inerentes ao método (e.g., erro de truncamento, erro de aproximação e parametrização de processos físicos não resolvíveis). Todas essas fontes contribuem para divergências entre o estado real e o simulado do oceano. Apesar de todas as incertezas, os resultados gerados podem descrever de forma satisfatória a hidrodinâmica e processos de dispersão de constituintes quando é avaliado por diferentes fontes de dados coletados no domínio

Em estudos de modelagem hidrodinâmica e de dispersão de óleo é necessário que o estudo atenda premissas específicas:

- que apresente domínio suficiente para que o óleo não saia de seus limites (ou que caso saia, que seja com valores de probabilidades muito baixos);
- ter resolução espacial e resolução temporal capazes de resolver feições e fenômenos de diferentes escalas;
- ter representação tridimensional do óleo no ambiente marinho, resolver o transporte e dispersão das parcelas do óleo em superfície, em gotículas e dissolvidas na água, e resolver todos os processos de intemperismo do óleo;
- que o número de simulações da modelagem de dispersão de óleo represente a variabilidade ambiental da região de estudo.

Assim se faz necessário delimitações nas modelagens para que seja avaliado o esforço computacional na representação de fenômenos em diferentes escalas nos resultados de cada estudo para que possa atender a todos esses requisitos. A interpretação dos resultados deve ser feita à luz dessas delimitações adotadas e incertezas do modelo.



3. Cenários de Modelagem de Dispersão de Óleo

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

- Pequeno porte - 8 m³;
- Médio Porte - 200 m³;
- Pior caso (maior volume) – 1.746.660 bbl (277.697 m³) devido a uma vazão diária de 58.222 bbl durante 30 dias (ver Anexo IV – Justificativa do Volume de Pior Caso).

Esses volumes simulados estão em concordância com a resolução CONAMA nº 398/2008, que dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual, para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.

No estudo de dispersão de óleo, dois tipos de simulações foram conduzidos: probabilísticas e determinísticas. Em todos os cenários simulados, **a biodegradação do óleo foi desligada**. Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos cenários simulados.

Tabela 2: Resumo dos cenários de vazamento simulados.

Modelo	Tipo de óleo	Volume Total (m ³)	Vazamento	Tempo (dias)	Profundidade do vazamento (m)
Probabilístico					
Pequeno Porte	Cru	8	instantâneo	30 dias	superfície
Médio Porte	Cru	200	instantâneo	30 dias	superfície
Pior caso	Cru	277.697	contínuo (30 dias)	60 dias	fundo
Determinístico					
Tempo mínimo de toque de óleo na costa	Cru	277.697	contínuo (30 dias)	60 dias	fundo
Maior massa de óleo acumulada na costa	Cru	277.697	contínuo (30 dias)	60 dias	fundo



4. Metodologia

4.1. Modelo de transporte

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

4.2. Óleo nas Unidades de Conservação

Foram separadas todas as Unidades de Conservação (UCs) - federais, estaduais e municipais - disponibilizadas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (MMA, 2019a), nos instrumentos legais de criação e em ICMBIO (2018) e WWF (2016), da região em que se verifica probabilidade de óleo na costa ou na região costeiro-oceânica.

Para identificação da probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo em cada UC, foram considerados os resultados do modelo de dispersão de óleo:

- em superfície,
- na coluna d'água; e
- na costa.

Foram selecionados os valores de probabilidade e tempo mais críticos para cada unidade de conservação. As UCs levantadas para a região e consideradas no presente estudo são apresentadas no Anexo II.

4.3. Descrição das Grades

Neste estudo utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 2 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 34°02' S, ao norte, 16°10' S, a oeste, 52°50' W e a leste, 33°07' W (Figura 3). Com isso, obteve-se uma matriz com 994 por 995 pontos de grade.



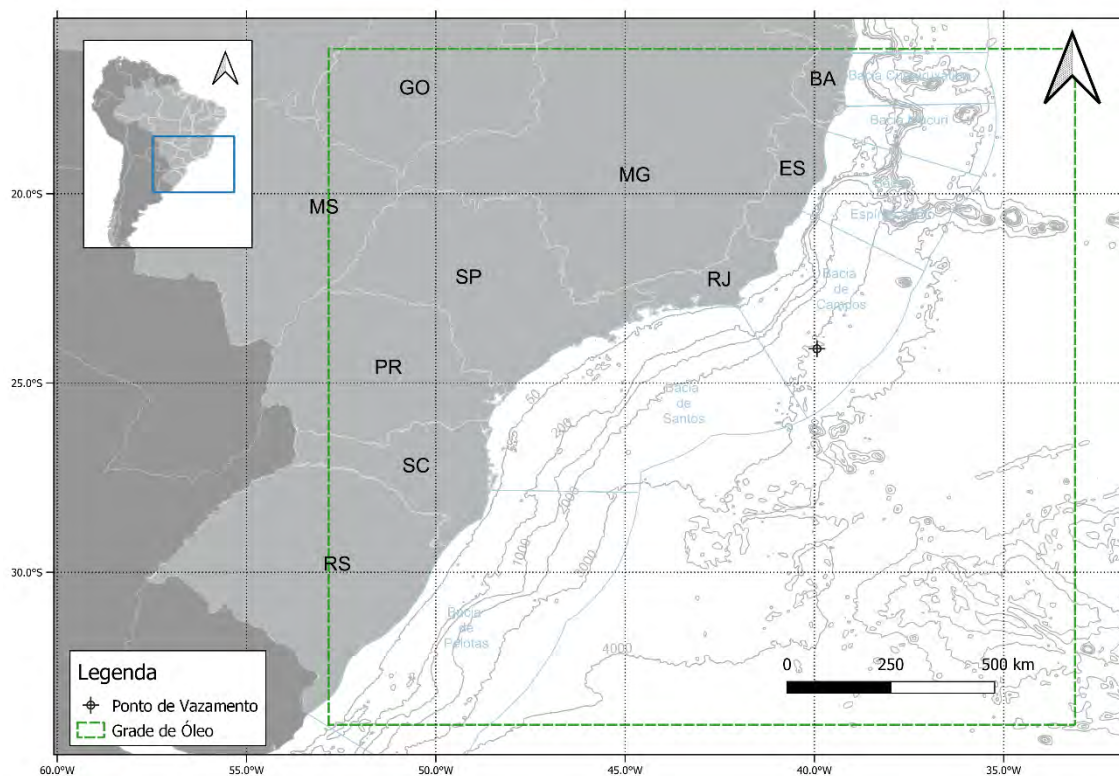


Figura 3: Representação do limite da grade de óleo (linha verde).

Para os volumes de vazamento de 8 m^3 e 200 m^3 , o número de camadas utilizadas na vertical foi 11, indo de 0 a 102 m de profundidade (primeira camada de 0 a 2 m e as demais camadas espaçadas em 10 m), totalizando 10.879.330 elementos de grade. Para o volume de pior caso (277.697 m^3), o número de camadas utilizadas na vertical foi 32, indo de 0 a 3102 m de profundidade (primeira camada de 0 a 2 m e as demais camadas espaçadas em 100 m), totalizando 31.648.960 elementos de grade.

A resolução espacial e o número de camadas na vertical utilizadas são definidos levando em consideração a área total do domínio a ser considerada e as limitações do modelo com relação ao número máximo de elementos de grade permitido em cada dimensão, buscando sempre a maior resolução possível que seja capaz de representar os resultados de interesse.

A grade do modelo de óleo com a batimetria é apresentada na Figura 4. Para manter a concordância com a modelagem hidrodinâmica, os dados de batimetria utilizados são provenientes de cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009).

[Assinatura]

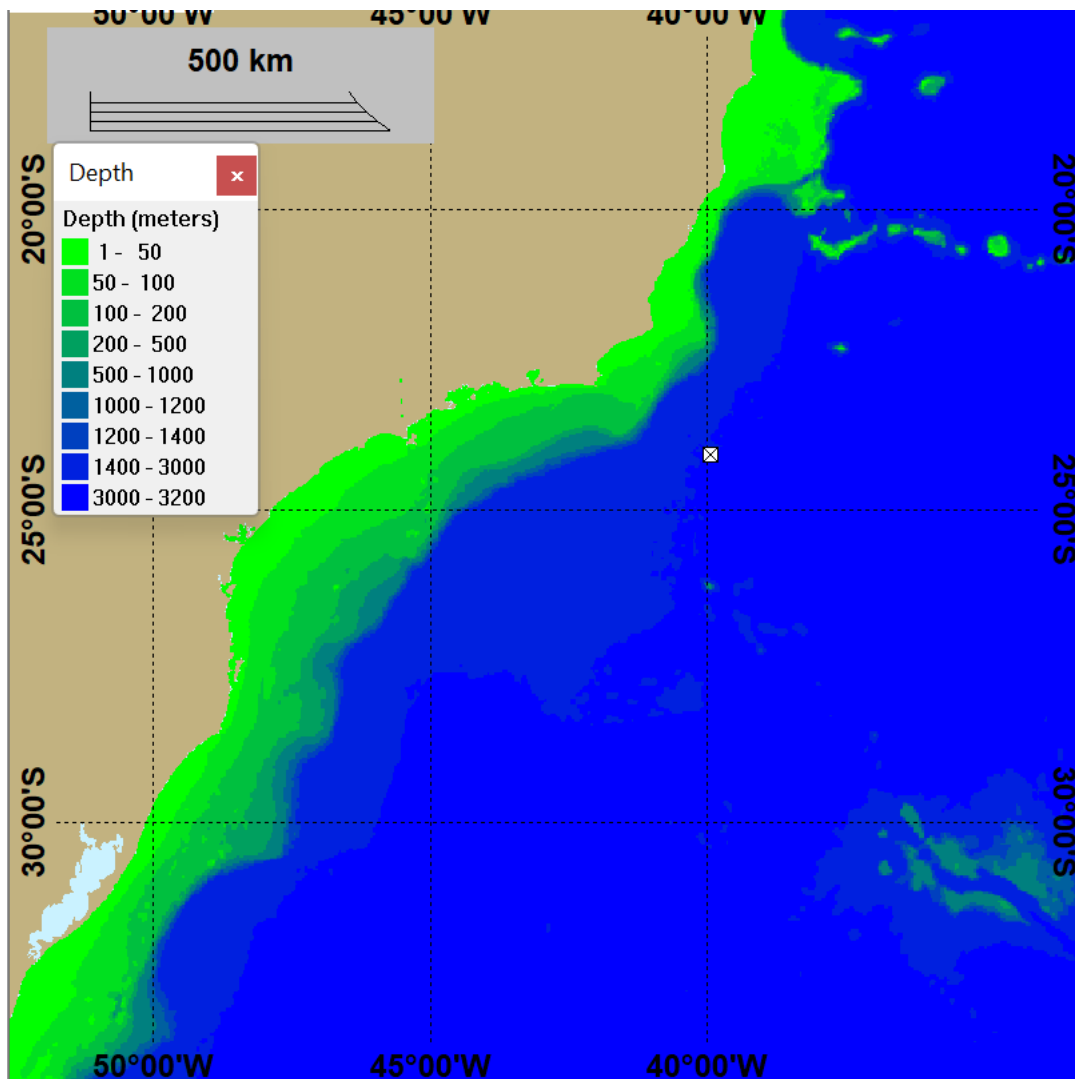


Figura 4: Grade de batimetria utilizada na simulação.

Como discutido no Anexo I – Óleo na Costa, as interações óleo-linha de costa no modelo OSCAR são dependentes tanto do tipo de óleo considerado na modelagem quanto do tipo de linha de costa. O tipo da linha de costa considerado definirá a máxima capacidade de retenção do óleo nos pontos da grade do modelo que representam a costa.

Para este estudo foram utilizadas as informações de linha de costa de Cartas de Sensibilidade ao Óleo (Cartas SAO) (MMA, 2021) e, para a região de estudo que não é contemplada nestas Cartas, informações do projeto MAREM – Mapeamento Ambiental para Resposta a Emergência no Mar (MAREM, 2021). As Cartas SAO constituem uma ferramenta e fonte de informações para o planejamento de contingência e para a implementação de ações de resposta a incidentes de poluição por óleo. O MAREM faz parte de um Acordo de Cooperação Técnica entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) e o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), cujo objetivo é criar um banco de dados georreferenciados de

[Assinatura]

todo o litoral brasileiro, para servir de suporte para o planejamento e gestão de uma operação de resposta a acidentes envolvendo derramamento de óleo no mar.

Para adequar a segmentação da costa com a resolução do modelo de óleo, adotou-se o critério de que se certo tipo de costa tivesse extensão inferior à resolução da grade (< 2 km), seria considerado para aquele segmento o tipo de costa predominante no entorno.

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

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

O detalhamento da linha de costa utilizado na grade da modelagem de óleo é apresentado no Anexo III.

4.4. Forçantes

4.4.1 Ventos

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes do ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) e a primeira produzida como serviço operacional, com resolução temporal horária e espacial de 31 km em 137 níveis atmosféricos, desde a superfície até 0,01 hPa (HENNERMANN, 2017).

As Reanálises climáticas do ECMWF começaram com o FGGE, produzida na década de 1980, seguida pelo ERA-15, ERA-40 e mais recentemente pelo ERA-Interim. O ERA5 é uma reanálise que cobre dados de 1950 até o presente e atualmente apresenta dados disponibilizados para uso público para o período de 2010 a 2016.

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

- » Resolução espacial e temporal muito maior
- » Informações sobre a variação de qualidade em relação ao espaço e ao tempo
- » Troposfera otimizada
- » Melhor representação de ciclones tropicais
- » Melhor equilíbrio global de precipitação e evaporação
- » Maior precipitação sobre a terra nos trópicos profundos



- » Melhor umidade do solo
- » Temperatura mais consistente da superfície do mar e gelo marinho

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

Para este estudo foram utilizados e tratados 5 anos de dados do ERA5 (2012 a 2016) com uma frequência temporal de 1 hora. A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos mensais (Figura 6), elaboradas para o período analisado, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 3 e Tabela 4) para o ponto mais próximo ao local de vazamento.

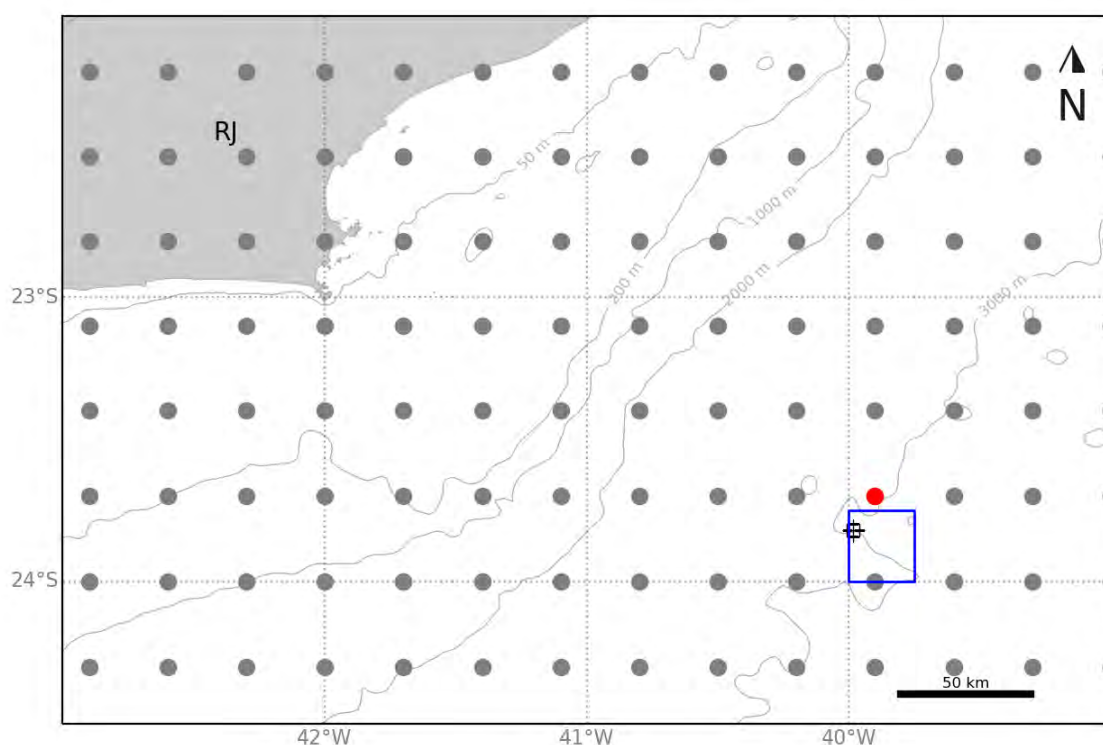


Figura 5: Localização dos pontos de grade do ERA5 (em cinza) em relação ao ponto de vazamento. O ponto em vermelho é o mais próximo do ponto de vazamento.





Figura 6: Rosa dos ventos para os 12 meses do ano para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

[Handwritten signature]

Tabela 3: Ocorrência mensal de direção dos ventos para o ponto analisado.

Direção	Meses											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	13,2	12,06	13,17	6,06	11,94	13,08	15,46	9,7	9,25	6,45	7,17	13,23
NNE	35,13	33,3	22,8	10,11	8,87	15,22	19,65	19,17	29,75	22,53	17,56	33,25
NE	22,15	27,14	14,14	11,72	6,88	10,17	13,23	13,23	16,28	18,39	16,08	17,47
ENE	7,18	11,03	9,17	9,22	7,53	7,67	7,2	17,2	7,31	11,77	10,75	7,69
E	2,37	3,76	9,03	8,03	10,67	8,58	5,3	9,17	5,22	6,29	9,42	4,54
ESE	4,54	2,46	8,55	9,11	8,52	6,69	5,4	4,7	4,28	7,58	9,92	3,17
SE	3,66	2,82	6,69	10,94	8,41	5,5	5,86	4,14	5,11	4,87	6,86	3,66
SSE	1,45	1,5	4,76	6,56	9,09	5,47	4,14	3,76	4,67	6,21	5,97	3,39
S	1,16	0,5	2,31	7,92	7,02	4,5	3,84	2,9	3,97	5,05	4,69	2,2
SSW	0,59	0,41	1,32	6,58	5,38	2,86	4,44	5,3	3,19	3,6	2,64	1,18
SW	0,91	0,29	0,94	3,36	3,76	3,89	5,24	2,5	3,86	2,61	2,03	1,29
WSW	0,56	0,26	0,75	2,53	3,01	4,22	3,44	1,88	1,58	0,54	0,69	0,65
W	0,54	0,26	0,48	2,22	1,88	1,97	1,29	1,45	0,69	0,62	0,56	1,48
WNW	0,75	0,38	0,73	1,39	1,72	2,08	0,91	1,1	0,72	0,67	0,89	1,94
NW	1,24	0,73	1,4	1,58	2,2	2,61	0,91	1,08	1,39	1,24	1,39	1,72
NNW	4,57	3,08	3,76	2,67	3,12	5,47	3,68	2,72	2,72	1,59	3,39	3,15

Tabela 4: Ocorrência mensal de intensidade dos ventos para o ponto analisado.

Meses	Intensidade (m/s)					
	< 2	2 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	≥ 10
Jan	2,31	5,46	14,11	30,46	31,37	16,29
Fev	1,06	4,2	14,52	34,83	31,72	13,67
Mar	3,82	13,95	22,23	28,25	19,78	11,96
Abr	5,83	19	29	25,56	13,72	6,89
Mai	4,73	15,32	20,75	29,6	22,5	7,1
Jun	3,81	10,61	22,39	28,47	24,11	10,61
Jul	1,94	8,95	16,59	25,56	30,86	16,1
Ago	1,02	5,03	16,75	25,51	34,57	17,12
Set	1,14	4,69	14,53	23,61	29,14	26,89
Out	1,61	4,35	14,57	26,08	31,1	22,28
Nov	2,81	7,97	18,94	29,81	25,56	14,92
Dez	2,02	8,15	13,23	25,75	32,63	18,23

4.4.2 Correntes

Como forçante hidrodinâmica foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico descritos no item 3 - Modelagem Hidrodinâmica. Assim, são apresentadas as rosas de correntes mensais (Figura 7) para o ponto mais próximo do local de vazamento, além das tabelas de ocorrência de direção e intensidade (Tabela 5 e Tabela 6).

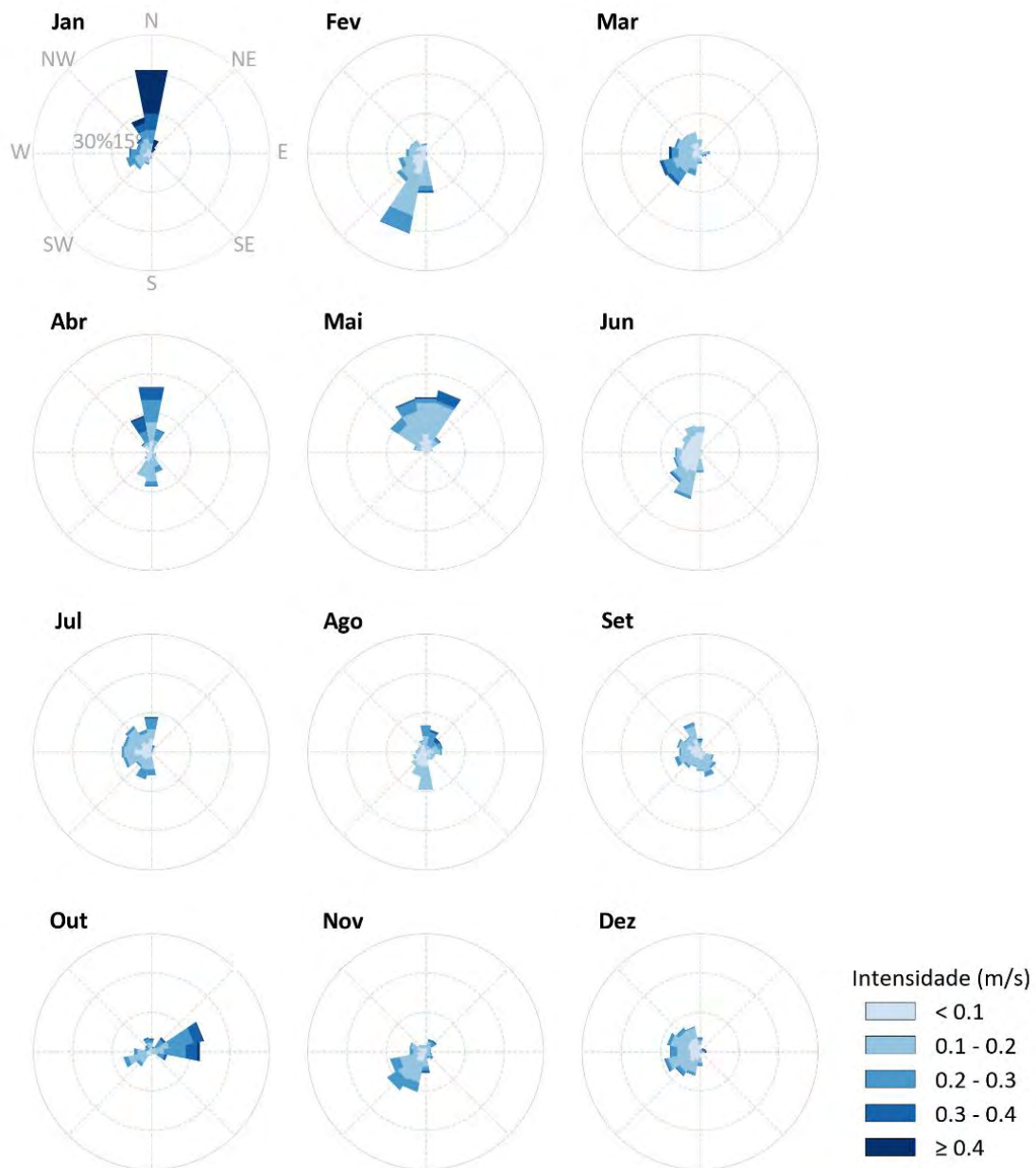


Figura 7: Rosa de correntes mensais para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

[Assinatura]

Tabela 5: Ocorrência mensal de direção das correntes para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Direção	Meses											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
N	32,14	3,62	5,2	25,37	21,37	10,02	13,6	10,37	5,24	5,13	2,38	5,57
NNE	5,19	-	0,79	9,19	24,21	1,23	2,68	8,81	1,57	2,02	4,95	0,64
NE	2,11	-	1,26	1,65	7,01	1,43	0,96	6,65	1,05	6,69	5,13	1,71
ENE	0,97	-	0,63	0,92	2,84	1,02	0,57	6,65	0,87	20,53	2,2	2,14
E	-	-	3,78	0,55	1	-	0,57	6,26	1,92	18,82	2,01	2,57
ESE	-	-	2,68	2,02	0,17	-	0,38	3,72	5,41	6,22	2,56	0,64
SE	-	0,84	2,05	2,39	0,17	0,2	0,19	3,72	7,5	1,09	3,66	0,64
SSE	-	1,11	0,94	7,9	-	0,2	-	3,13	9,77	0,93	2,75	0,43
S	2,27	15,6	4,25	13,24	0,17	7,77	9	14,48	7,33	1,4	8,24	5,57
SSW	4,71	31,48	8,98	9,93	0,17	18,2	10,73	9,59	5,93	1,71	15,75	9,42
SW	7,79	13,37	15,12	3,12	-	13,91	7,09	6,65	7,5	6,84	17,77	11,35
WSW	9,9	10,58	15,75	1,84	0,67	10,43	10,92	5,09	9,95	10,89	13,92	13,92
W	8,44	7,52	11,97	2,21	0,5	9,61	11,49	3,91	8,03	6,69	6,23	11,56
WNW	5,84	6,41	10,08	0,74	4,67	6,95	10,92	3,33	9,08	2,49	6,41	12,85
NW	6,82	5,85	8,35	4,6	16,19	8,38	12,07	2,94	7,16	2,95	3,3	11,13
NNW	13,8	3,62	8,19	14,34	20,87	10,63	8,81	4,7	11,69	5,6	2,75	9,85

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

Meses	Intensidade (m/s)				
	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	≥ 0,4
Jan	15,42	27,11	19,16	11,2	27,11
Fev	37,33	45,4	16,16	1,11	-
Mar	28,03	49,61	18,11	3,15	1,1
Abr	26,29	39,15	22,43	11,21	0,92
Mai	28,05	54,59	11,35	5,34	0,67
Jun	62,78	32,11	4,29	0,82	-
Jul	36,78	43,49	18,39	1,34	-
Ago	44,23	37,77	14,87	2,54	0,59
Set	39,44	48,52	11,52	0,52	-
Out	15,55	36,7	34,21	11,51	2,02
Nov	26,37	49,08	22,71	1,83	-
Dez	36,4	45,82	12,63	3,64	1,5



4.4.3 Separação Sazonal

A partir da observação das informações de ventos e correntes são identificadas duas condições sazonais a serem utilizadas no estudo. A primeira, denominada **Período 1**, compreende os meses de **setembro a fevereiro** e a segunda, denominada **Período 2**, compreende os meses de **março a agosto**.

A partir da observação das rosas dos ventos do ponto do ERA5 próximo ao ponto de vazamento, que trazem informações sobre as frequências de ocorrência conjunta de direção e intensidade dos ventos na região, foi observado em ambos os períodos uma maior frequência de ventos do primeiro quadrante, com predominância de ventos de NNE. No Período 2, porém, ocorre um aumento da frequência de ventos de outras direções, em especial do segundo e terceiro quadrantes. Além disso, as maiores intensidades entre >8 m/s foram observadas em ambos os períodos (Figura 8).



Figura 8: Rosa dos ventos por período sazonal para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

Em relação às correntes, por se tratar de um ponto mais afastado da plataforma continental, há variação da direção predominante das correntes em todos os meses; a intensidade das correntes varia entre 0,1 a 0,2 m/s (Figura 9).

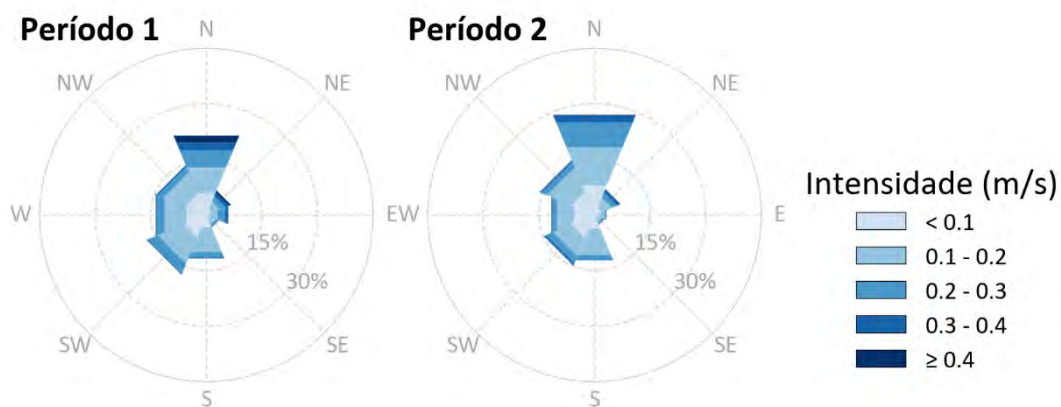


Figura 9: Rosa de correntes por período sazonal para o ponto mais próximo ao ponto de vazamento.

[Assinatura]

4.4.4 Salinidade e Temperatura

Para definir os perfis de salinidade e temperatura a serem incorporados na modelagem de dispersão de óleo foram utilizados os dados dos resultados da Modelagem Hidrodinâmica (item 3).

O perfil apresentado (Figura 10) representa a média dos dados para o ponto de grade mais próximo do ponto de vazamento e dentro dos períodos sazonais escolhidos (item 4.4.3).

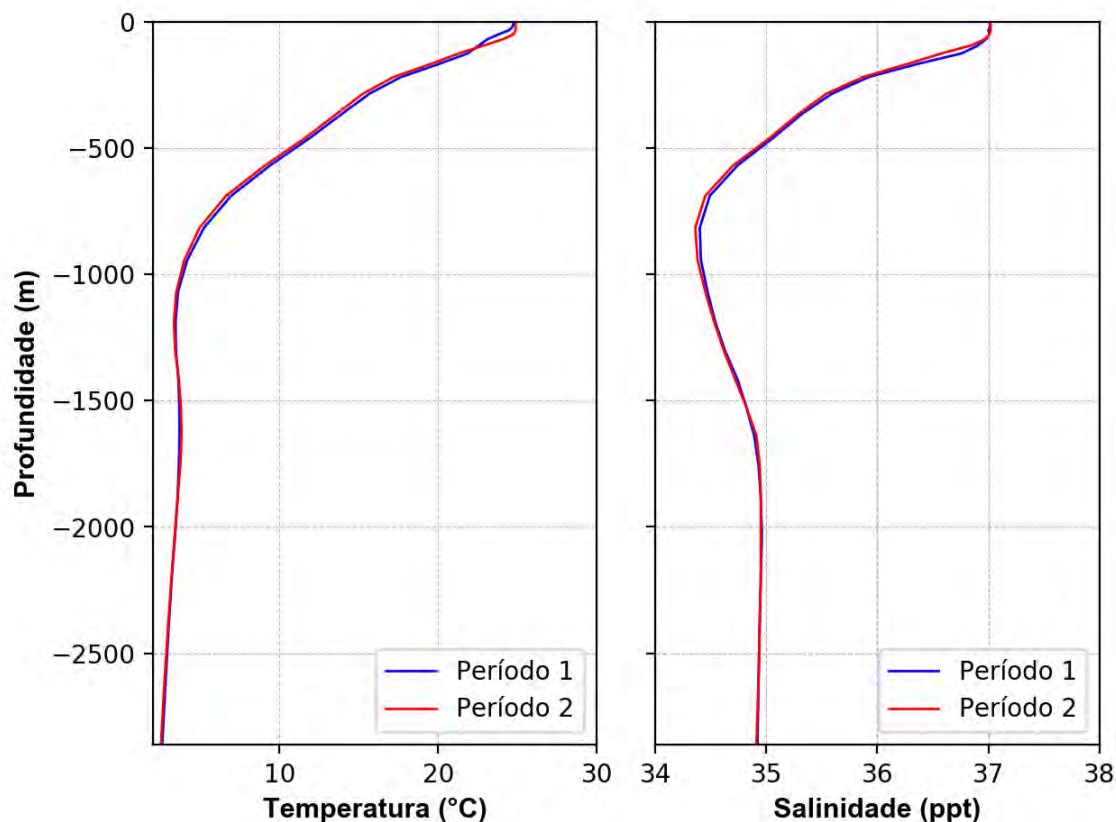


Figura 10: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto de grade mais próximo ao ponto de vazamento.

4.5. Variabilidade Ambiental

Na implementação de um modelo probabilístico de vazamento de óleo é necessária a definição de um universo amostral que represente a variabilidade ambiental da região. No modelo OSCAR, o universo amostral é criado por n repetições com condições de vento e corrente correlacionadas (*i.e.* condição de vento e de corrente são para o mesmo dia), o que cria a necessidade de se definir o número de simulações que serão conduzidas na realização da modelagem. Este número deve ser suficiente para representar de forma adequada a variabilidade ambiental presente na região, obtendo um mapa de probabilidade estatisticamente coerente.

A metodologia proposta por Elliot (2004) sugere o número adequado de simulações baseado na análise do número de zeros-ascendentes (*zero-up-crossing*) do vento, que consiste na identificação do número de vezes em que as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento trocam de sinal. De



forma prática, a alteração de sentido nas componentes está ligada a mudanças no padrão sinótico do vento, como por exemplo, no período de passagem de um sistema frontal pela região.

Dessa forma, com objetivo de avaliar a variabilidade das escalas temporais transientes presentes nos dados de ventos analisados e utilizados nesse relatório, foi realizada uma análise de zeros ascendentes (*zero-up-crossing*) do ponto do ERA5 mais próximo ao ponto de vazamento (Figura 5). Os resultados podem ser observados na Figura 11.

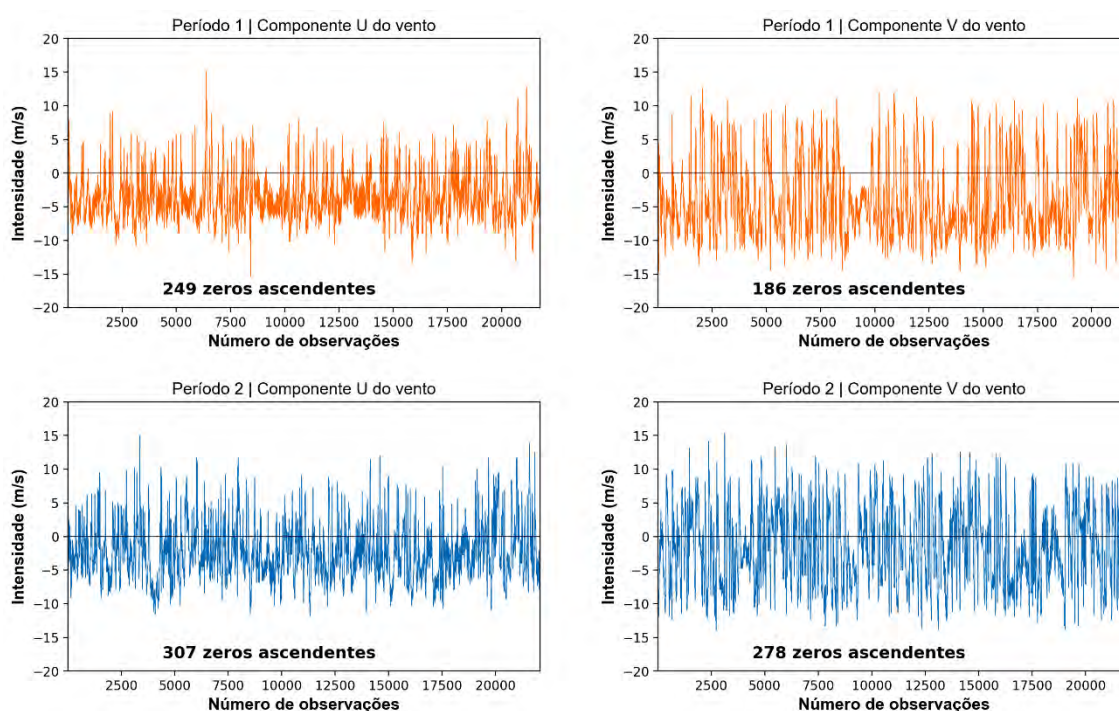


Figura 11: Séries temporais das componentes “u” e “v” do vento para o ponto de vazamento e o número de zeros ascendentes presentes nas séries.

Observa-se que o número de zeros ascendentes para a componente zonal (u) do vento foi de 249 para o Período 1 e 307 para o Período 2. Já a componente meridional (v) apresentou 186 zeros ascendentes no Período 1 e 278 no Período 2.

Assim, tendo como base a metodologia proposta por Elliot (2004), para uma correta representação dessa variabilidade na modelagem probabilística de óleo, os números mínimos de simulações aconselháveis seriam de 249 e 307 para os períodos 1 e 2, respectivamente. No estudo, no entanto, foram utilizadas 500 simulações para cada condição sazonal de acordo com termo de referência recente emitido pelo IBAMA. Essas simulações são escolhidas com espaçamento de tempo regular, permitindo assim considerar todo o período de dados e toda a variabilidade ambiental da região no período.



4.6. Estratégias de Modelagem

4.6.1 Cenários de vazamento

Para os volumes de 8 m³ e 200 m³ foram realizadas simulações de vazamentos instantâneos de óleo cru em superfície, enquanto para as simulações de eventos de pior caso foram considerados **vazamentos contínuos no fundo** de 30 dias em dois períodos sazonais (4.4.3 - Separação Sazonal). Após 30 dias de vazamento foram ainda simulados mais 30 dias para observação do comportamento da deriva do óleo, totalizando 60 dias (1440 horas) de simulação.

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

4.6.2 Limiares ambientais

Em todas as simulações considerou-se como critério de existência de óleo na superfície espessuras maiores ou iguais ao limiar de 3×10^{-7} metros. Esse valor de espessura está em conformidade com o limite visual indicado na Informação Técnica nº 023/02 (ELPN/IBAMA), que "*corresponde ao filme de óleo denominado por arco-íris*" e com os recentes Termos de Referência.

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

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

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

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



baseada em 30 valores de CENO (Concentração de Efeito Não Observado) crônicos para 17 espécies marinhas.

Ainda citando exemplo, no documento de Rye *et al.* (2004) onde se discute a criação de um Fator de Impacto Ambiental (em inglês, *Environment Impact Factor – EIF*) em concordância entre operadores de óleo e gás na Noruega, o valor de PNEC adotado para o cálculo do EIF é de 40,4 ppb. Dessa forma, observa-se aderência do valor adotado para o presente estudo com publicações internacionais.

Vale ressaltar que o valor de 20 ppb utilizado como limiar para apresentação dos resultados não está diretamente relacionado com o risco de efeitos tóxicos adversos. Apenas foi utilizado um valor que, em ordem de grandeza, permitisse o mapeamento da pluma de óleo disperso/dissolvido na coluna d'água.

Para avaliação da presença de óleo no fundo marinho, foi utilizado o seguinte procedimento: a partir do cruzamento dos mapas de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água em diversas profundidades com o mapa de batimetria utilizado no estudo, foram obtidos mapas de probabilidade de presença de óleo no fundo oceânico. É importante observar que existe uma diferença entre este procedimento e a especificação de um limiar de concentração de óleo no fundo marinho. Enquanto a concentração de óleo no fundo marinho leva em consideração um efeito cumulativo de adsorção de óleo nos sedimentos, o critério utilizado no mapa de probabilidade leva em consideração apenas o fato do óleo tocar no fundo oceânico com concentrações superiores a 20 ppb.

4.6.3 Características do óleo

Segundo a contratante, todos os pressupostos e parâmetros de entrada considerados para dar suporte à avaliação da tipologia do óleo potencialmente presente no Bloco vêm de dados estáticos e dinâmicos de múltiplos reservatórios de Carbonato Pré-Sal presentes na Bacia de Campos. As propriedades de fluido apresentadas correspondem ao caso mais provável para o prospecto de Foca, com grau API 33 de óleo cru e alto RGO. A variação de porosidade resultou de uma distribuição estatística de propriedades de reservatórios análogos em que a relação Porosidade – Permeabilidade é baseada em mais de 700 análises de testemunhos.

A partir dessa informação de óleo mais provável, foi selecionado um óleo análogo do banco de dados do modelo OSCAR. As informações do óleo selecionado são apresentadas a seguir na tabela.



Tabela 7: Características do óleo utilizado nas simulações.

Classificação do óleo de acordo com termos de referência do IBAMA	Descrição	
() pesados	maior conteúdo de componentes pesados, evaporação inferior a 50% volume após 1 semana no mar, possibilidade de formação de emulsão (*)	
() condensados	não contém componentes como asfalto e parafinas pesadas, evaporação tipicamente superior a 70% volume, baixa possibilidade de formação de emulsão	
(X) leves	maior conteúdo de componentes leves, evaporação entre 50 a 70% volume, formação de emulsões instáveis.	
Propriedades Físicas		
Parâmetro	Valor	Unidade
API	33	°
Densidade	0,860	g/cm³
Viscosidade dinâmica	180 (a 13°C)	cP
Ponto de fluidez (<i>pour point</i>)	12	°C
<i>Flash point</i>	-	°C
Conteúdo máximo de água	-	%



Caracterização Química	
Componentes do Óleo	Fração no Óleo (%)
C1-C4 gases (dissolvido no óleo)	1,01
C5-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,62
C6-saturados (n-/iso-/ciclo)	0,98
Benzeno	0,16
C7-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,58
C1-Benzeno (Tolueno) et, B	0,80
C8-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,14
C2-Benzeno (xilenos; usando O-xileno)	0,86
C9-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,50
C3-Benzeno	4,40
C10-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,08
C4 e C4 Benzenos	0,11
C11-C12 (total sat + aro)	5,76
Fenóis (C0-C4 alquilado)	0,01
Naftalenos 1 (C0-C1-alkilado)	0,31
C13-C14 (total sat + aro)	6,25
Naftalenos 2 (C2-C3-alkilado)	0,42
C15-C16 (total sat + aro)	5,89
HPA 1 (Hidrocarbonetos poliaromático médio solúvel (3 anéis-não-alkilado; < 4 anéis)	0,26
C17-C18 (total sat + aro)	5,81
C19-C20 (total sat + aro)	4,46
Mistura Complexa Não Resolvida (MCNR: C10 a C36)	6,46
C21-C25 (total sat + aro)	5,41
HPA 2 (Hidrocarbonetos poliaromático baixo solúvel (3 anéis-alkilado; 4-5+ anéis))	0,23
C25+ (total)	37,48



Curva de Destilação

Temperatura (°C)	Volume (%)
95	6,8
149	16
175	20,4
232	30,1
342	54,5
369	60,0
509	94,8
550	89,4



4.6.4 Parâmetros das Simulações

Os parâmetros utilizados no presente estudo são apresentados na Tabela 4.

Tabela 8: Parâmetros numéricos utilizados no modelo de dispersão de óleo.

Parâmetros do modelo			
Número de partículas	Gotículas (não dissolvidas)	20.000	
	Dissolvidas	20.000	
Dimensão da grade	Zonal	994	km
	Meridional	995	km
Resolução da grade	Direção X (longitude)	~2.000	m
	Direção Y (latitude)	~2.000	m
	Direção Z (profundidade) (primeira camada/demais)	2/10	m
Profundidade para grade de concentração	Min:	0	m
	Max:	102/3102	m
Limiar de concentração na coluna d'água		20	ppb
Passos de tempo	Passo de tempo de cálculo	15	min
	Passo de tempo de saída	60	min
Coeficiente do vento		3,5	%
Duração da simulação		30/60	dias
Número de simulações no modo probabilístico		500	Período 1
		500	Período 2

No modelo OSCAR pode-se utilizar até 30 mil partículas para representar a fração não dissolvida do óleo e 30 mil para representar a fração dissolvida. No estudo atual, optou-se por utilizar 20 mil para cada tipo, totalizando 40 mil partículas. Esse valor foi escolhido com base em testes de sensibilidade com aumentos sucessivos do número de partículas, onde foi verificado que a partir de 10 mil partículas (5 mil não dissolvidas e 5 mil dissolvidas) não se observam diferenças entre os resultados. Com relação à distribuição dos diâmetros e massas das partículas, isto é feito internamente pelo modelo de óleo.



5. Resultados

A seguir serão apresentados os resultados das simulações de deriva do óleo para vazamentos de 8 m³, 200 m³ e pior caso, nos modos probabilístico e determinístico, a partir do ponto de risco considerado.

Na abordagem probabilística são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, em diferentes cenários meteo-oceanográficos (correntes e ventos). Os resultados do modo probabilístico são de grande importância porque ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo vazamento quanto o tempo mínimo de chegada do poluente em cada local com probabilidade de ser atingido, além de identificar as regiões com maiores probabilidades de serem alcançadas nos diferentes cenários simulados (Figura 12).

Para a obtenção destes resultados foram realizadas 500 diferentes simulações para cada cenário, nos diferentes volumes de vazamento, totalizando 3.000 possíveis trajetórias de óleo. Este número de simulações foi definido para representar a variabilidade ambiental da região.

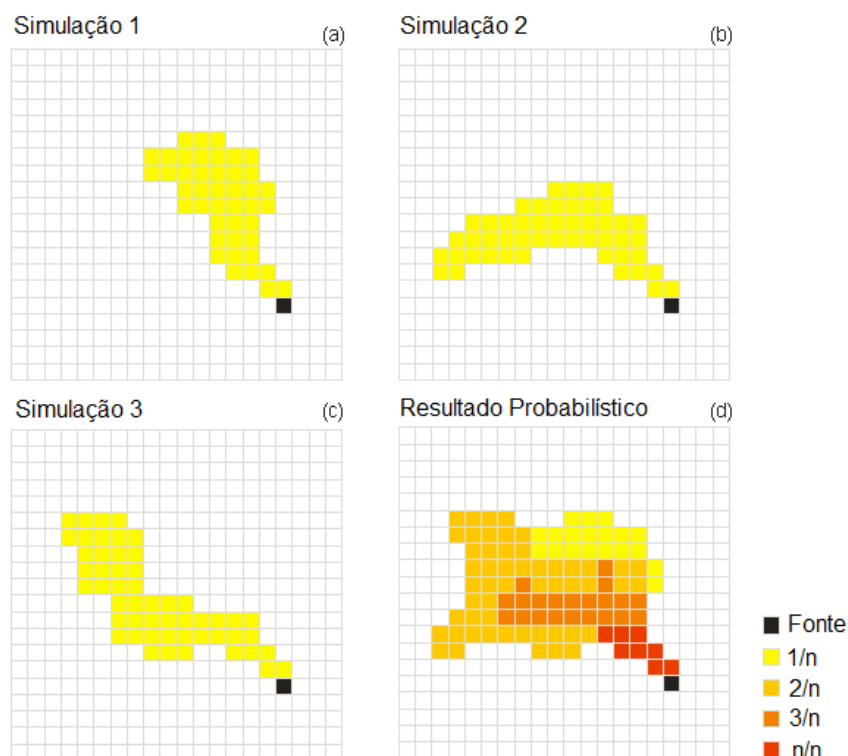


Figura 12: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte (d) a partir de n casos determinísticos (a, b e c).

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

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

Nos resultados são destacadas algumas regiões sensíveis identificadas na área de estudo. A localização das UCs que apresentaram probabilidade de presença de óleo é apresentada no Anexo II.

No modo determinístico, os cenários críticos a serem simulados foram definidos através da análise dos resultados das simulações probabilísticas de pior caso, sendo avaliada a situação em que o óleo atingiu a costa no menor período de tempo possível após o início do vazamento e a situação onde houve maior acúmulo de óleo na costa. O intemperismo e a evolução da massa e área da mancha de óleo serão apresentados ao final de cada simulação determinística, através de gráficos e tabelas que apresentam os valores ao longo da simulação.

5.1. Resultados Probabilísticos

A seguir serão apresentados os resultados do modo probabilístico para os vazamentos de óleo cru a partir de um ponto de risco no Bloco C-M-715, na Bacia de Campos, para:

- três volumes (8 m³, 200 m³ e pior caso – 277.697 m³);
- dois cenários sazonais definidos, Período 1 (setembro a fevereiro) e Período 2 (março a agosto).



5.1.1 Vazamento de 8 m³

Em ambos os períodos, devido à distância do ponto de vazamento da costa, a probabilidade de óleo fica localizada em regiões com profundidades a partir de 2.000 m. Na região onde está localizado o ponto de vazamento há uma variação na direção das correntes ao longo dos meses, em que não é possível observar um fluxo principal. A direção predominante dos ventos ocorre no primeiro quadrante, de NNE e de NE. Para valores acima de 5% de probabilidade, as áreas abarcadas pelos cenários no Período 1 e 2 são similares. Nas áreas com baixas probabilidades (<5%), o Período 1 alcançou maiores distâncias a norte do ponto de vazamento, enquanto no Período 2, o maior alcance do óleo foi em direção a sul.

Em superfície, o óleo pode alcançar até 74 km do ponto de vazamento no Período 1 e de até 80 km no Período 2. A isolinha de probabilidade de óleo de 30% se estende em torno do ponto de vazamento a ~3 km no Período 1 e 2 km no Período. Em relação ao tempo de deslocamento, o ponto mais afastado é alcançado em até 2 dias nos Períodos 1 e 6 dias no Período 2.

Na coluna d'água, o balanço de massa apresentou valores medianos entre 36-37% ao final de 30 dias, foi possível observar valores acima de 20 ppb na coluna d'água apenas próximo ao ponto de vazamento em ambos os Períodos, os valores de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água foram inferiores a 1 %. Também não houve probabilidade de chegada de óleo na costa e nas UCs. A menor distância do óleo em superfície até a costa foi cerca de 190 km em Campos dos Goytacazes-RJ no Período 1 e 180,4 km em Arraial do Cabo-RJ no Período 2. A menor distância observada do óleo em superfície em relação às UCs também é cerca de 190 km em PE da Lagoa do Açú no Período 1 e de 171 km na RESEX Marinha Arraial do Cabo no Período 2.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada do óleo ocorreu, majoritariamente, pela evaporação (com mediana de ~62% no Período 1 e ~64% no Período 2), seguida pela dispersão na coluna d'água (mediana de 37% no Período 1 e ~36% no Período 2). Ao final da simulação, o valor máximo de óleo no fundo marinho foi de até 0,6% no Período 1 e foi inferior a 0,05% no Período 2, e na superfície a mediana foi de 0,5% em ambos os períodos.



5.1.1.1 Período 1

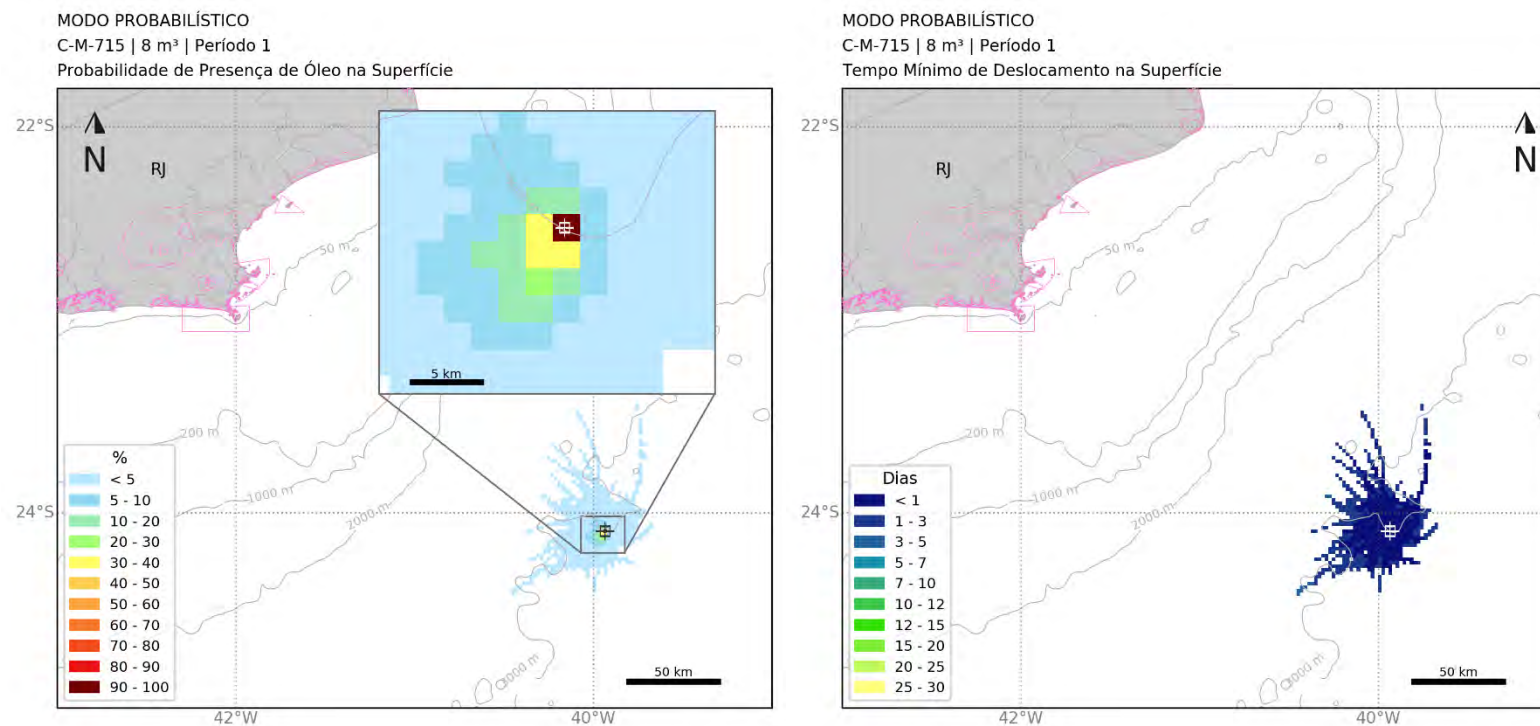


Figura 13: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 8 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

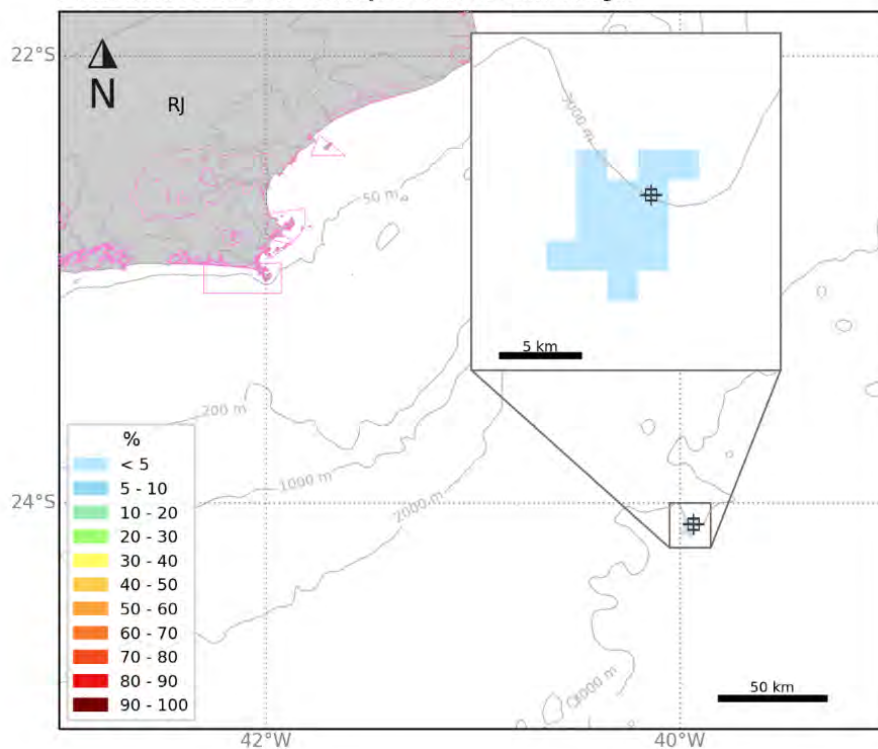


Figura 14: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

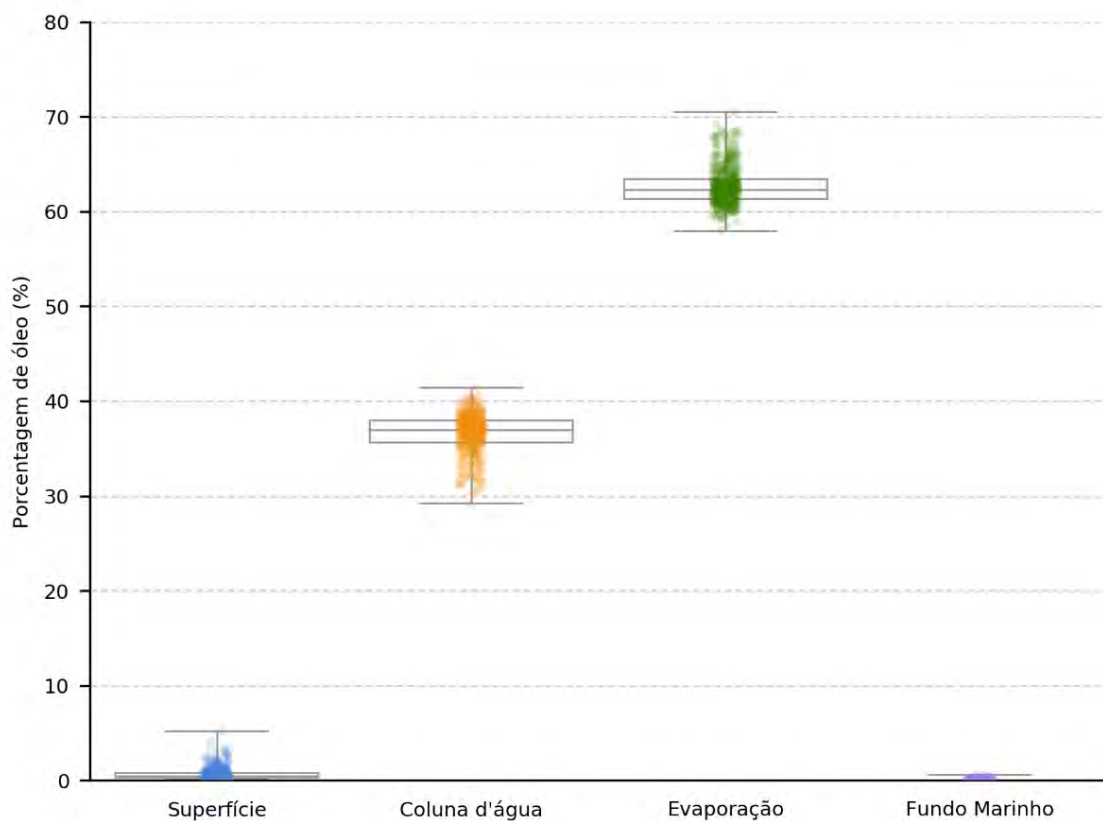


Figura 15: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 9: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	29,3	58	-
Primeiro Quartil	0,3	35,7	61,4	-
Mediana	0,5	37	62,3	-
Terceiro Quartil	0,8	38	63,5	< 0,05
Máximo	5,2	41,5	70,5	0,6

5.1.1.2 Período 2

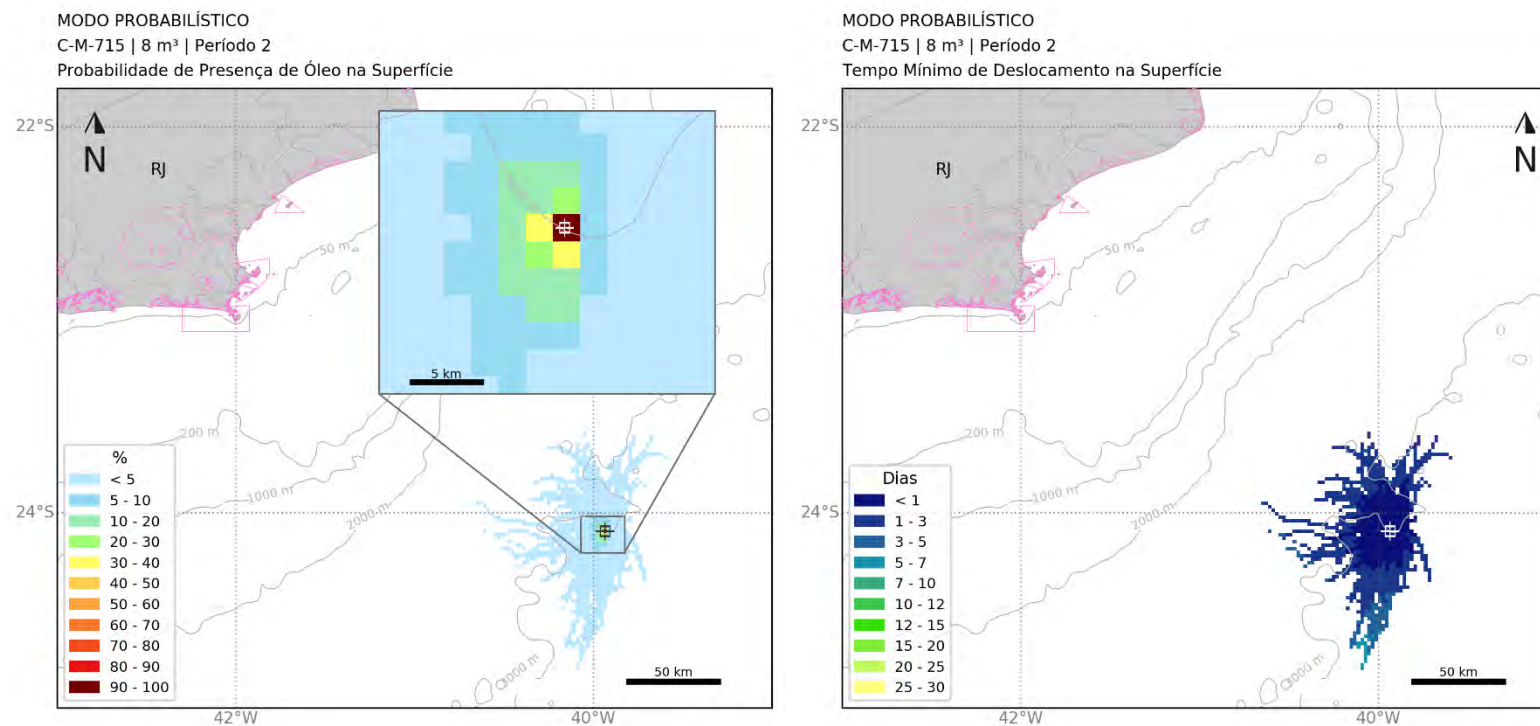


Figura 16: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

[Assinatura]

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 8 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

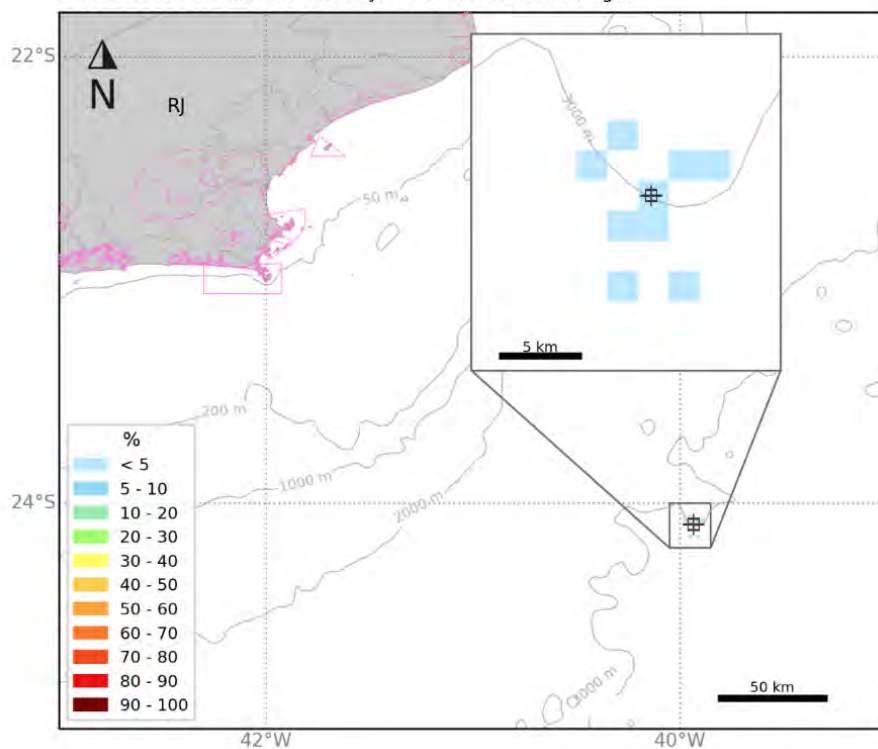


Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

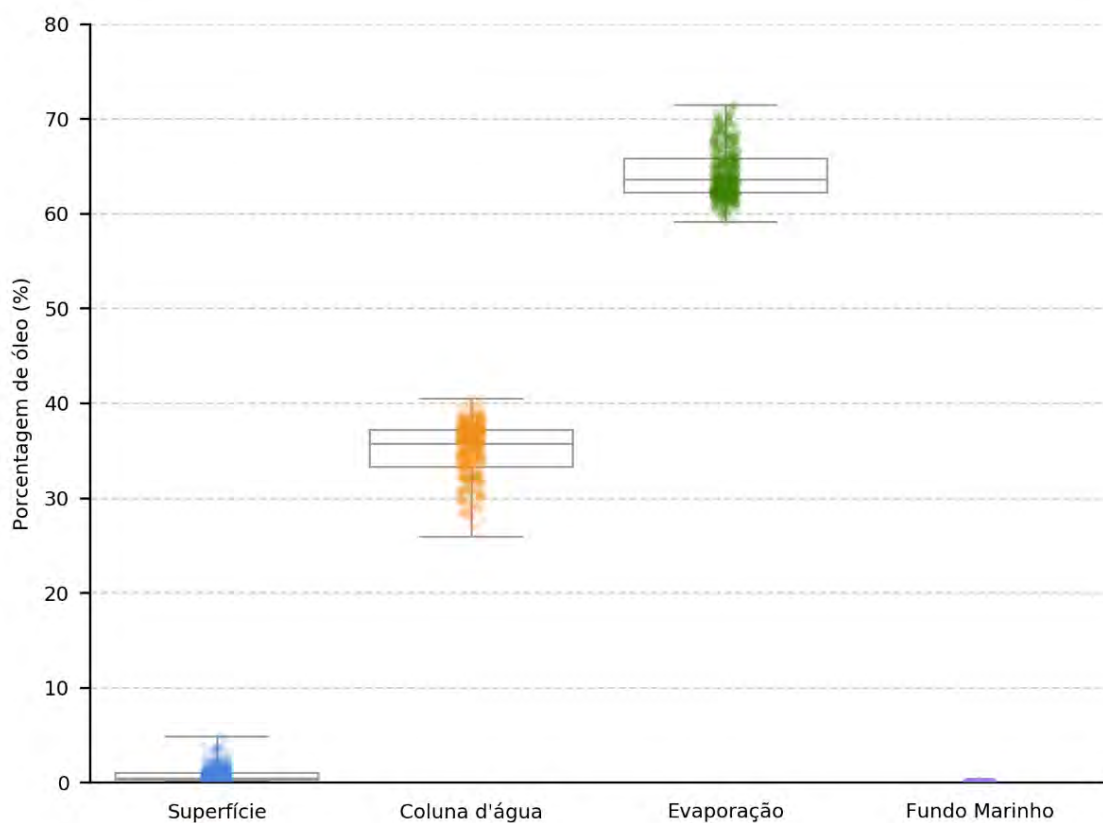


Figura 18: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 10: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	25,9	59,1	-
Primeiro Quartil	0,3	33,3	62,2	-
Mediana	0,5	35,7	63,6	-
Terceiro Quartil	1	37,2	65,8	-
Máximo	4,9	40,5	71,5	< 0,05

5.1.2 Vazamento de 200 m³

Para os vazamentos de 200 m³, as áreas de probabilidades com presença de óleo acima de 5% apresentaram padrões diferentes. No Período 1, as curvas de probabilidade tenderam para a direção sudoeste do ponto de vazamento, enquanto no Período 2 há um maior espalhamento, abarcando de noroeste à sudoeste. Para as regiões de baixa probabilidade (<5%), alcança maiores distâncias a sudoeste do ponto de vazamento, o Período 1 não apresenta uma direção preferencial, enquanto o Período 2 tem extensões para oeste e sul do ponto. Contudo, a região de probabilidade em ambos os períodos se manteve afastada da costa, a partir de regiões com profundidade de 1.000 m.

Em superfície, o óleo pode alcançar maiores distâncias no Período 2, de até ~174 km do ponto de vazamento. No Período 1 essa distância é de até 158 km. A isolinha de probabilidade de 30% se estende até ~9 km do ponto de vazamento no Período 1, e de até ~6 km no Período 2. Em relação ao tempo de deslocamento, o ponto mais afastado é alcançado em até 7 dias no Período 1 e de até 12 dias no Período 2. Em até 3 dias (72 h), o óleo pode alcançar uma distância máxima de 116 km no Período 1 e 96 km no Período 2.

Na coluna d'água, nota-se que a área com probabilidades de óleo é menor do que em superfície. O óleo pode alcançar regiões de até ~133 km no Período 1 e até 137 km no Período 2, com concentrações acima do limiar de 20 ppb. Os valores máximos de probabilidade observados são de 50,4% no Período 1 e de 57,4% no Período 2.

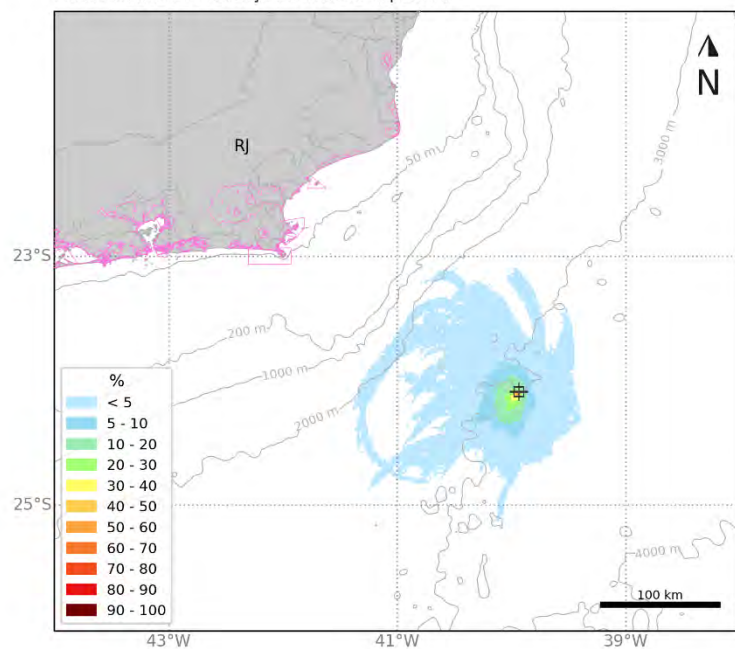
Não houve probabilidade de chegada de óleo na costa e UCs. A menor distância do óleo em superfície até a costa foi cerca de 123 km em Armação dos Búzios-RJ, no Período 1, e cerca de 134 km em Campos dos Goytacazes-RJ, no Período 2. A menor distância observada do óleo em superfície em relação às UCs é de 117 km para a RESEX Marinha Arraial do Cabo no Período 1 e 134 km para a PE da Lagoa do Açu no Período 2.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada do óleo ocorreu, majoritariamente, pela evaporação (com mediana em torno de 64%), seguida pela dispersão na coluna d'água (mediana de ~36% no Período 1 e ~35% no Período 2). Na superfície o óleo apresentou valores de ~5% no Período 1 e ~4% no Período 2. Ao final da simulação, o valor máximo de óleo no fundo marinho inferior a 0,05% em ambos os Períodos.



5.1.2.1 Período 1

MODO PROBABILÍSTICO
C-M-715 | 200 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO
C-M-715 | 200 m³ | Período 1
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

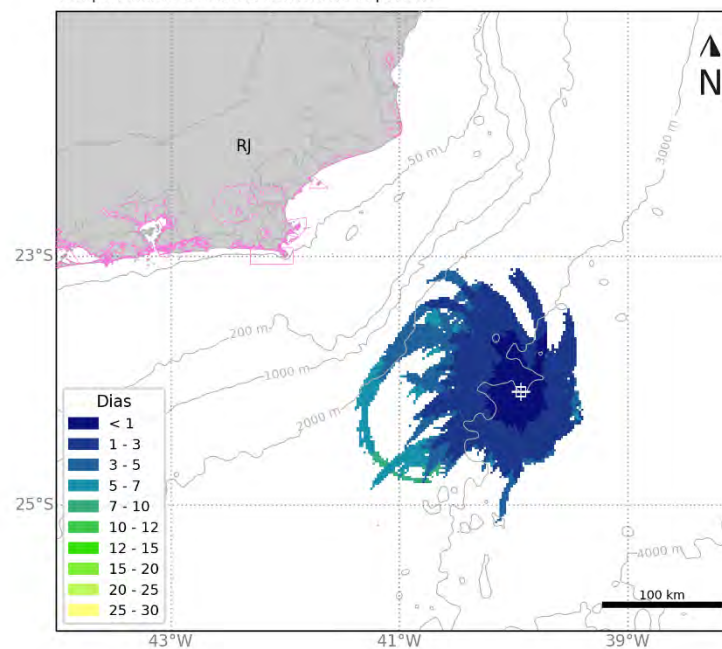


Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

[Assinatura]

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 200 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

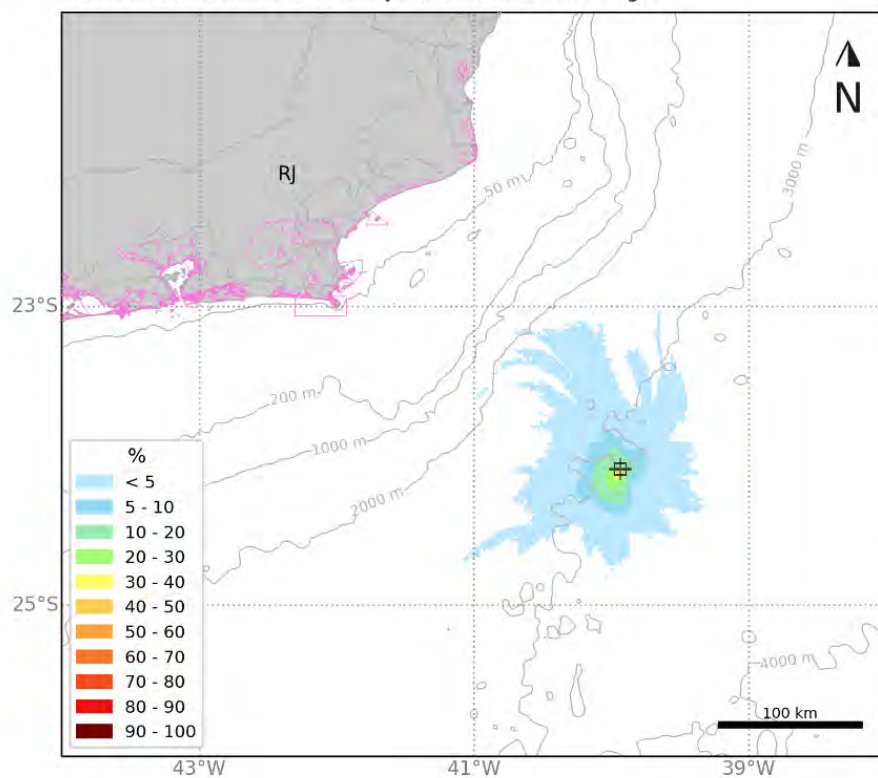


Figura 20: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

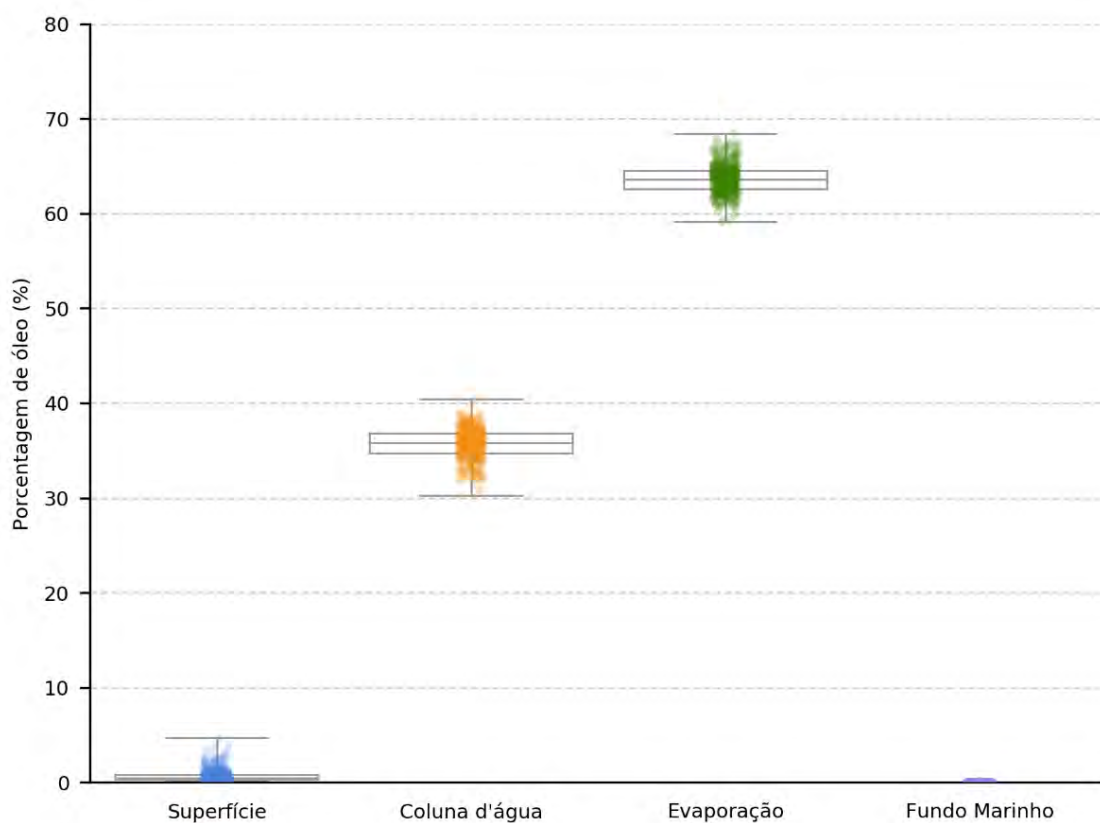


Figura 21: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

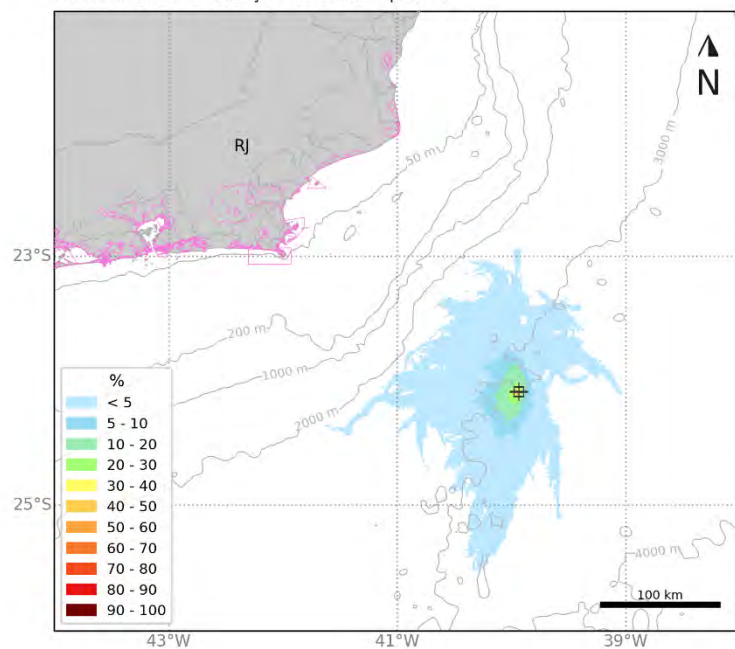
Tabela 11: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	30,3	59,1	-
Primeiro Quartil	0,3	34,7	62,6	-
Mediana	0,5	35,8	63,6	-
Terceiro Quartil	0,8	36,8	64,5	-
Máximo	4,7	40,5	68,5	< 0.05

[Handwritten signature]

5.1.2.2 Período 2

MODO PROBABILÍSTICO
C-M-715 | 200 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO
C-M-715 | 200 m³ | Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

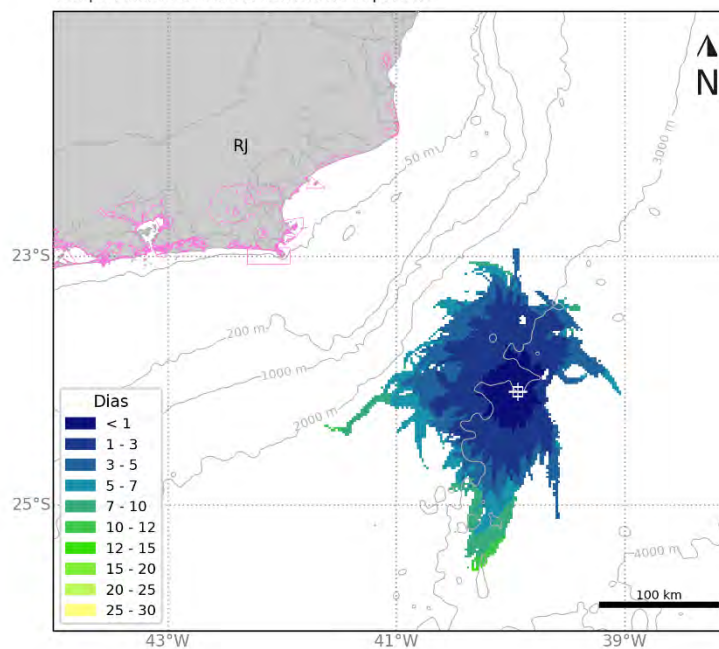


Figura 22: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

[Assinatura]

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 200 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

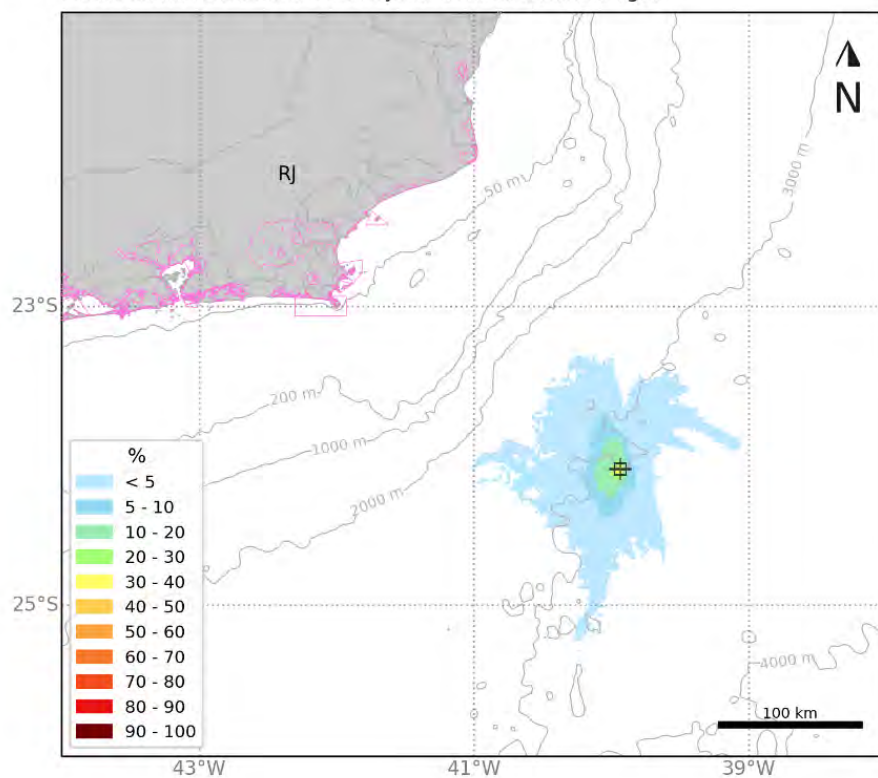


Figura 23: Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água para o vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

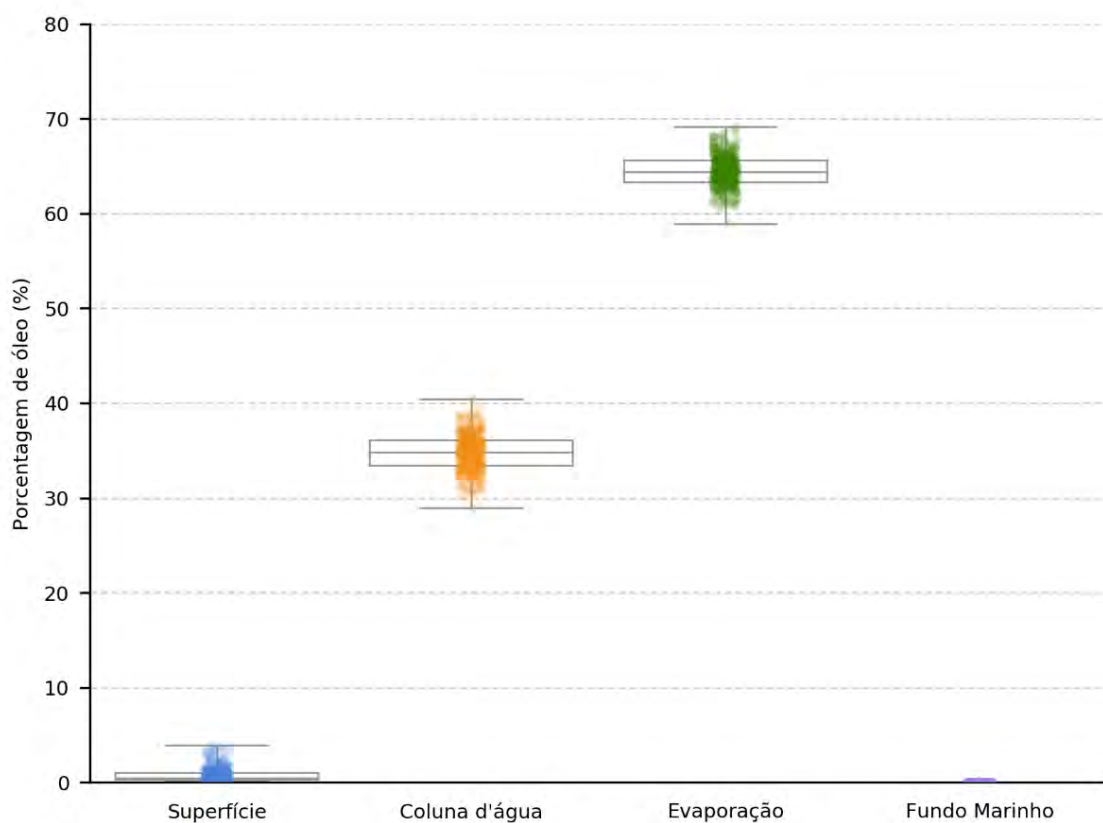


Figura 24: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela 12: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 2 (março a agosto). Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	28,9	58,9	-
Primeiro Quartil	0,3	33,4	63,3	-
Mediana	0,5	34,8	64,4	-
Terceiro Quartil	1	36,1	65,6	-
Máximo	3,9	40,5	69,1	< 0,05

5.1.3 Vazamento de Pior Caso

Para os vazamentos de pior caso (277.697 m³), de uma forma geral, considerando toda a área de probabilidade, a direção preferencial de deriva do óleo foi para sudoeste do ponto de vazamento. Contudo, considerando as áreas de probabilidades acima de 30%, o Período 2 apresenta área mais alongada no sentido sudoeste (SO), enquanto no Período 1 as áreas com esses valores se dividem na direção sudoeste (SO), sul-sudoeste (SSO) e sul-sudeste (SSE).

Para esse volume, a área possível de ser impactada é maior do que a dos cenários dos outros volumes de vazamento. O óleo ao se aproximar da plataforma continental e da Corrente do Brasil, encontra um maior fluxo das correntes para sudoeste o que facilita no alcance de probabilidades de óleo em maiores distâncias. No Período 1, a área de probabilidade de presença do óleo se estende mais para sul, se aproxima da costa do estado de Santa Catarina, e segue em direção ao limite sul da grade de óleo. No Período 2, por apresentar uma maior frequência de ventos com componente meridional sul e o enfraquecimento da Corrente do Brasil (CB), são observadas probabilidades mais altas sobre a plataforma continental, decorrente da maior frequência de frentes frias e ventos do segundo e terceiro quadrante.

Em superfície, o óleo pode alcançar até ~1.495 km do ponto de vazamento no Período 1 e ~1.483 km no Período 2. A isolinha de 30% probabilidade se estende até 672 km do ponto de vazamento no Período 1, e de até 698 km no Período 2. O ponto mais afastado é alcançado em até 60 dias em ambos os períodos. Em até 3 dias (72 h) o óleo pode alcançar uma distância máxima de até 108 km no Período 1 e até 97 km no Período 2.

Na coluna d'água, o óleo pode alcançar até ~1.464 km do ponto de vazamento no Período 1 e até ~1.461 km no Período 2. Em profundidade, por se tratar de um vazamento de fundo, nos dois períodos são observadas concentrações acima do limiar de 20 ppb do fundo a superfície. Em camadas mais profundas (entre 2.702 m e 2.802 m de profundidade), é possível observar probabilidades inferiores a 5% até a latitude de 27°S, em todas as camadas é possível observar uma direção preferencial para sul/sudoeste dos maiores valores de probabilidade. Em relação às concentrações o valor máximo no Período 1 foi de 1.588 ppb, já o Período 2 apresentou valor máximo de concentração de cerca de 1674 ppb. Valores superiores a 1.000 ppb foram encontrados tanto nas camadas superficiais como em camadas mais profundas (entre 1.800 e 2800m) em ambos os Períodos.

No fundo marinho, são observadas probabilidades de presença de óleo em regiões próximas à costa com profundidades menores que 200 metros com valores associados de até 40%. Os maiores valores de probabilidade (~53%) são observados em regiões com profundidade acima de 2.000 m.

Há probabilidade de chegada de óleo na costa apenas no Período 2, no município de Armação dos Búzios-RJ, apresentando valor de probabilidade de 0,2%, tempo mínimo de 39 dias e a maior massa de óleo acumulada foi de 0,9 t/km. No Período 1, a menor distância do óleo em superfície até a costa foi cerca de 36,2 km em relação à Arraial do Cabo-RJ.



Para as UCs, no Período 1 há probabilidade de chegada de óleo apenas na APA Costa das Algas, com valor de 0,4% e tempo mínimo de chegada de 41 dias. Já no Período 2 há probabilidade de chegada em cinco UCs (uma sem o toque efetivo na costa, somente a aproximação da área). A maior probabilidade (0,8%) e menor tempo de chegada (34,2 dias) ocorreram na RESEX Marinha Arraial do Cabo.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 60 dias de simulação, observa-se que o principal processo foi a dispersão do óleo na coluna d'água (mediana de 59,5% no Período 1 e 58,8% no Período 2), seguida pela evaporação (mediana de ~40% em ambos os Períodos). O óleo remanescente em superfície ao final das simulações apresentou mediana de 0,7% nos dois Períodos. O fundo marinho apresentou valores máximos entre 0,1-0,2%. O óleo na costa apresentou um valor máximo inferior a 0,05% no Período 2.



5.1.3.1 Período 1

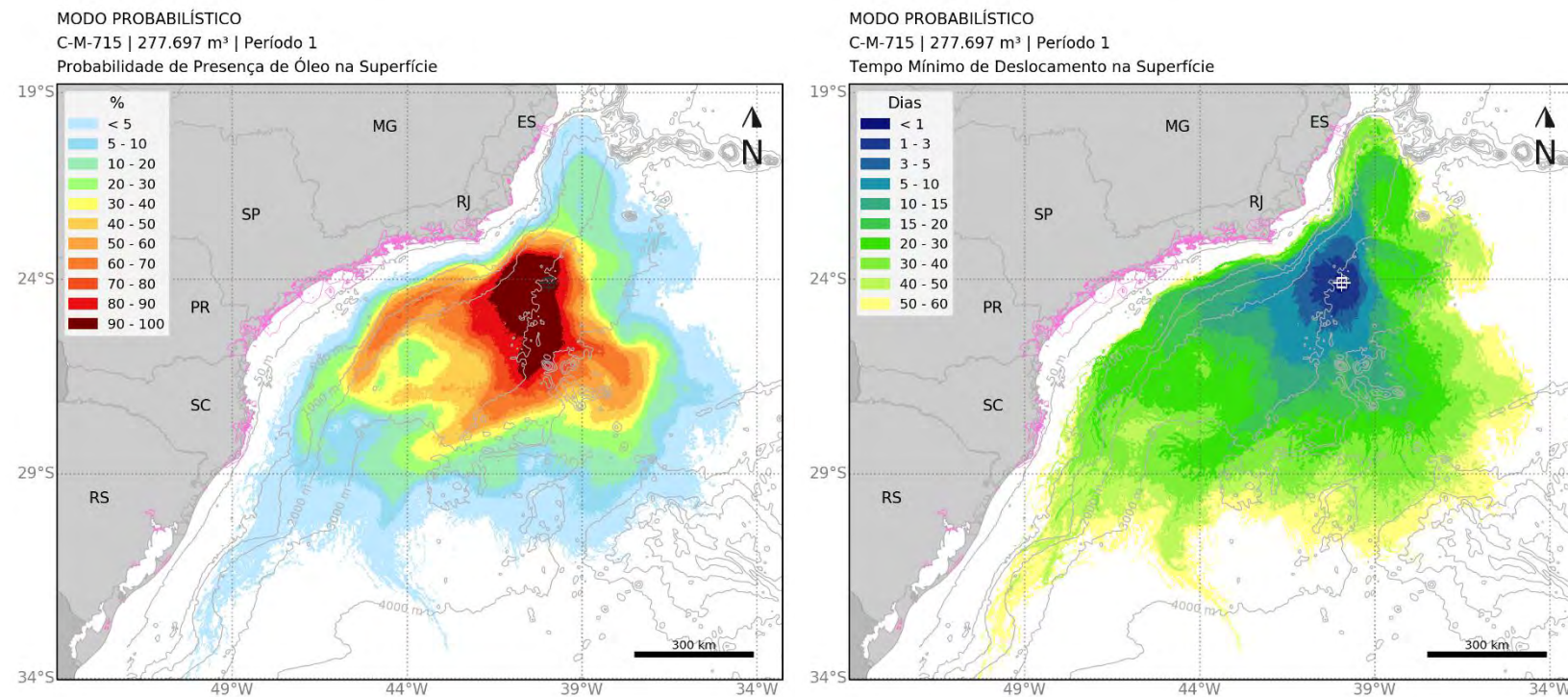


Figura 25: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Assinatura]

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 277.697 m³ | Período 1

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

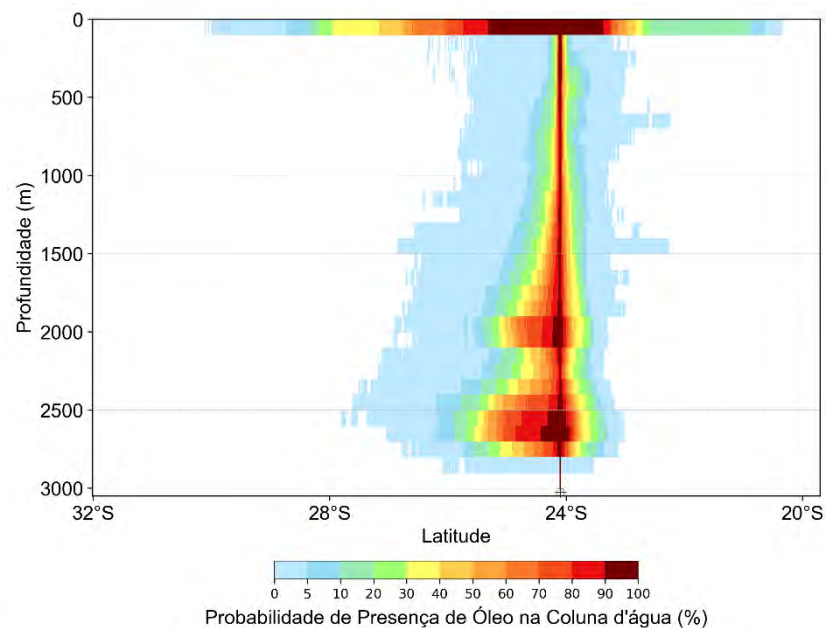
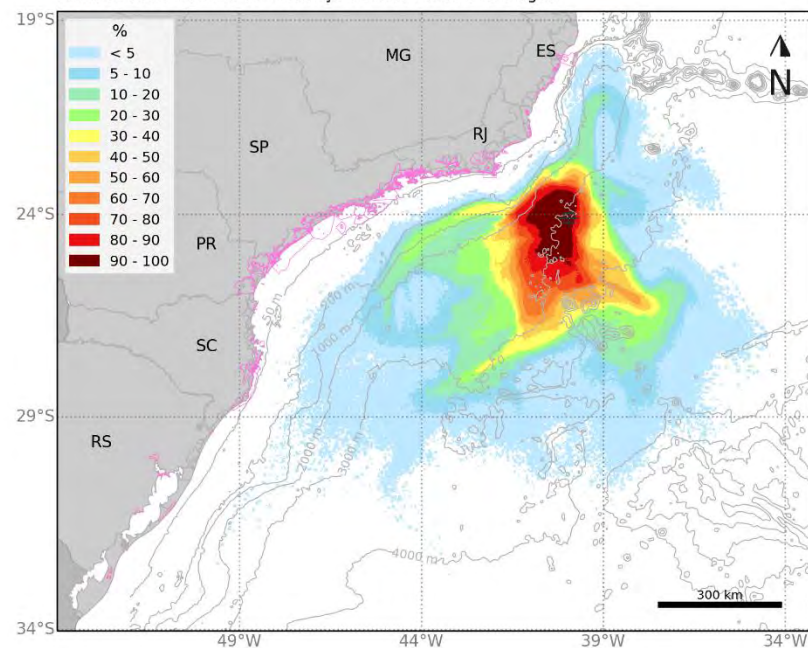


Figura 26: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Assinatura]

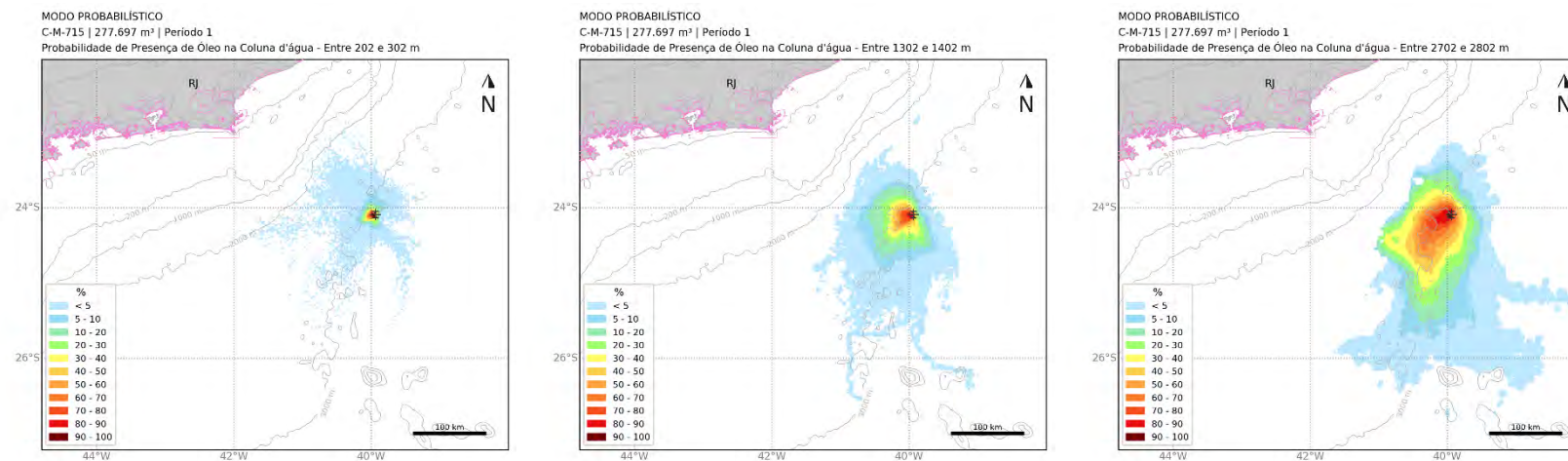


Figura 27: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Handwritten signature]

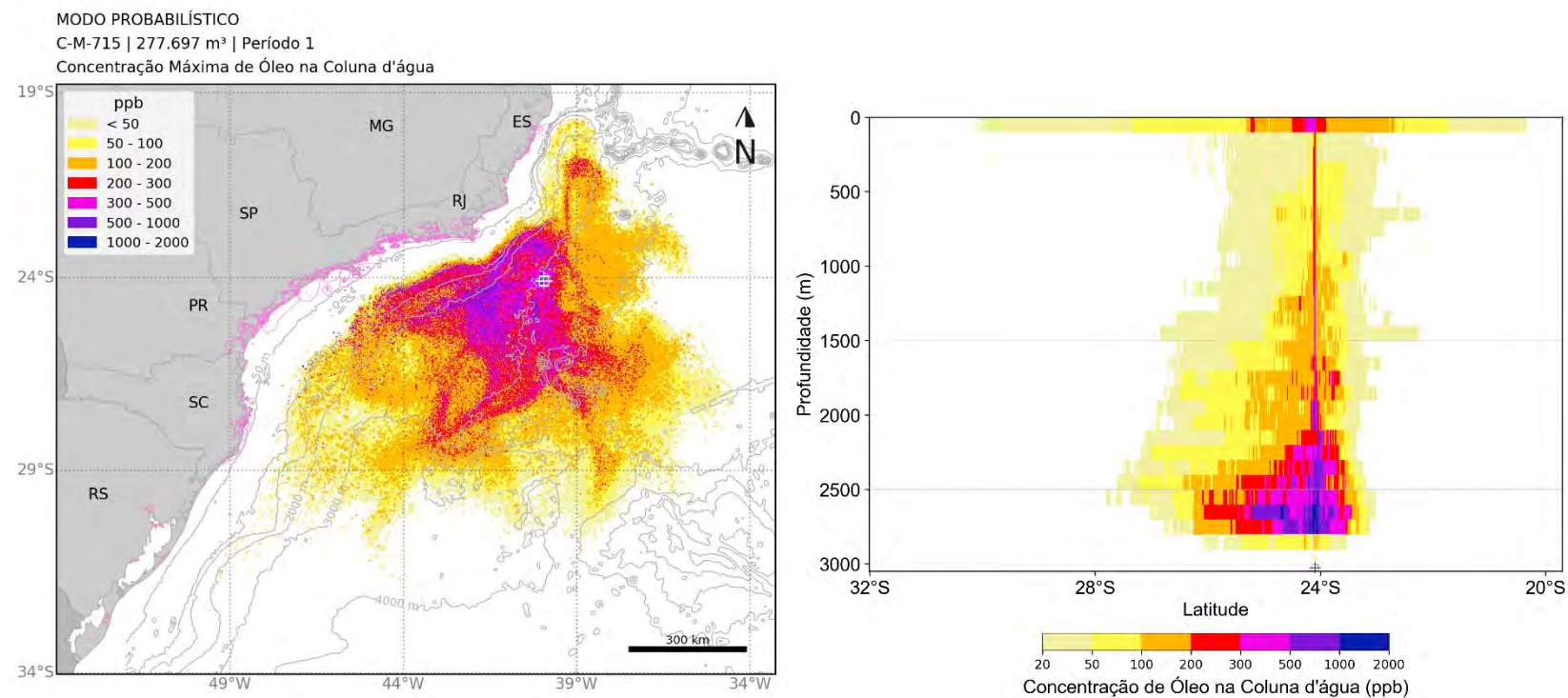


Figura 28: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 277.697 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

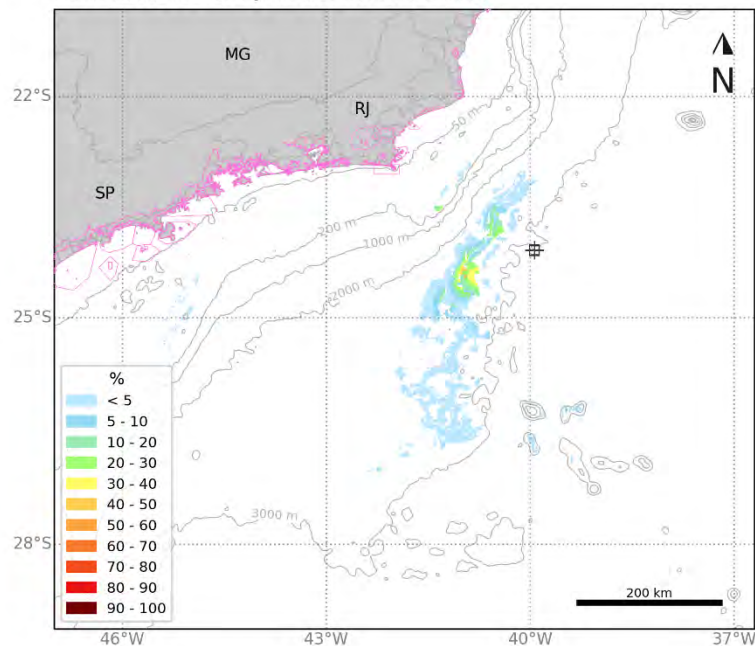


Figura 29: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Assinatura]

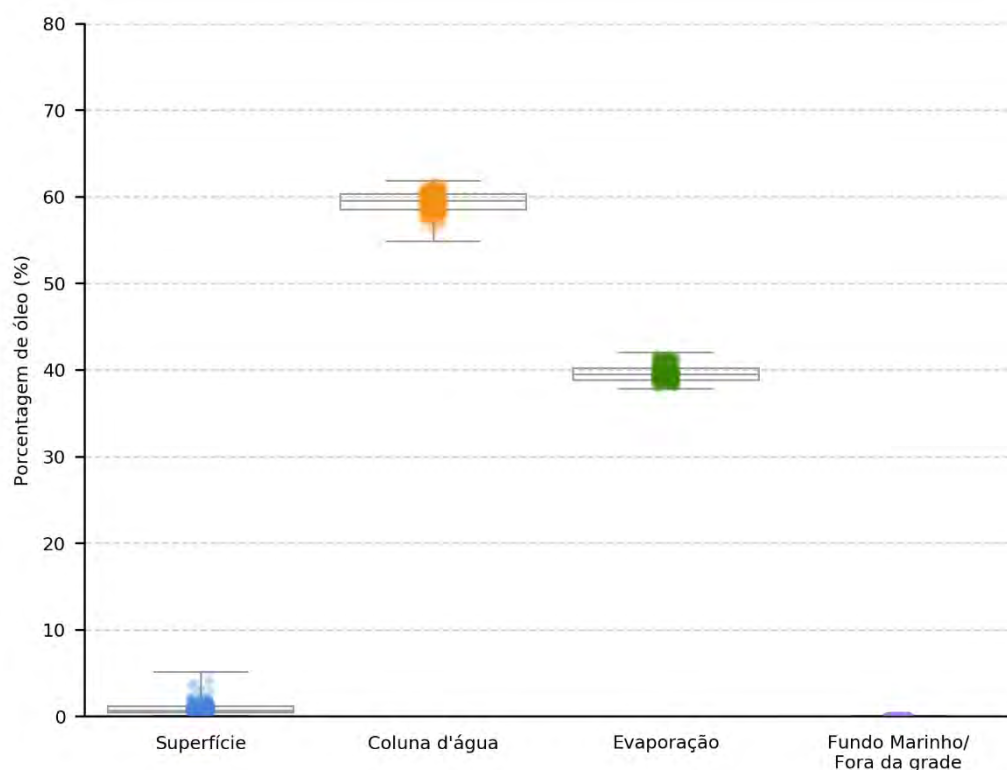


Figura 30: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Tabela 13: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 1 (setembro a fevereiro). Simulação de 1440 horas (60 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,1	54,8	37,9	-
Primeiro Quartil	0,4	58,5	38,9	< 0,05
Mediana	0,7	59,5	39,5	< 0,05
Terceiro Quartil	1,2	60,4	40,2	< 0,05
Máximo	5,1	61,8	42	0,1

5.1.3.2 Período 2

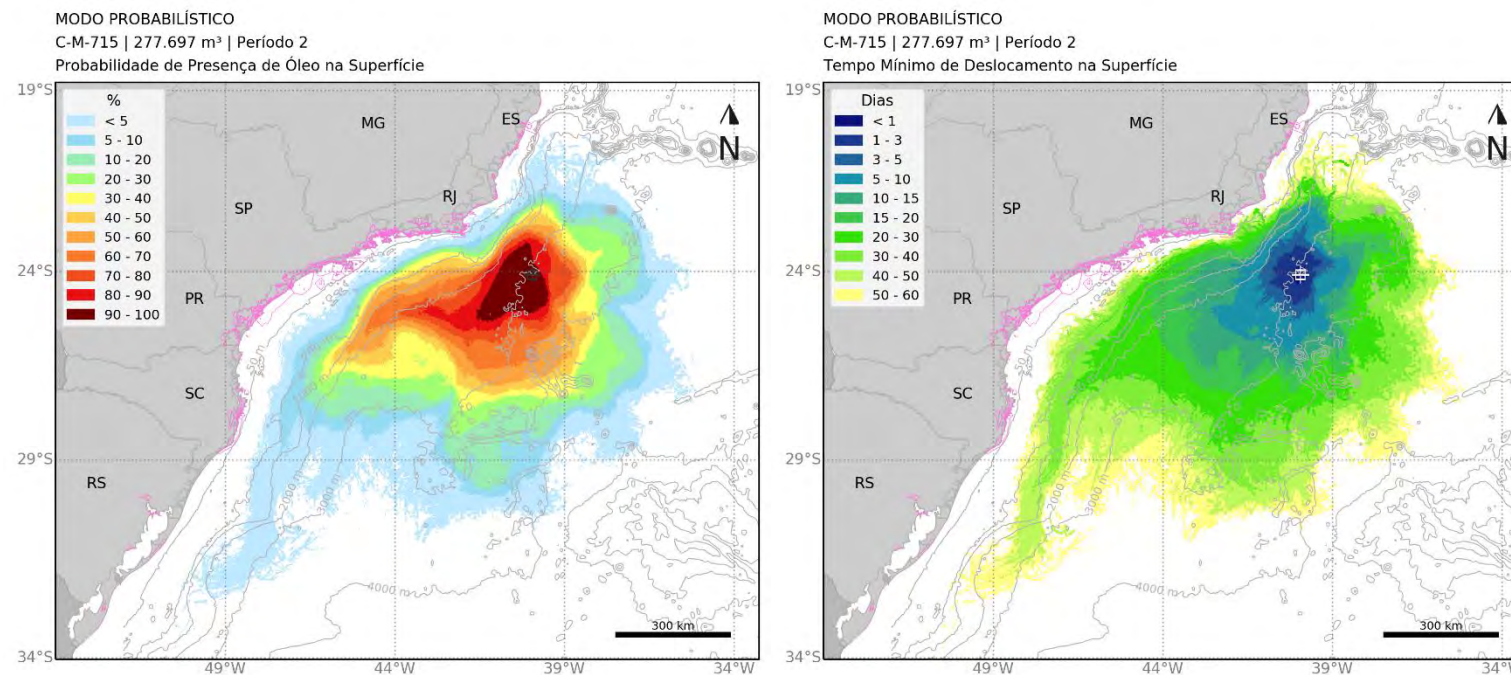


Figura 31: Mapa de probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada de óleo em superfície para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Assinatura]

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 277.697 m³ | Período 2

Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

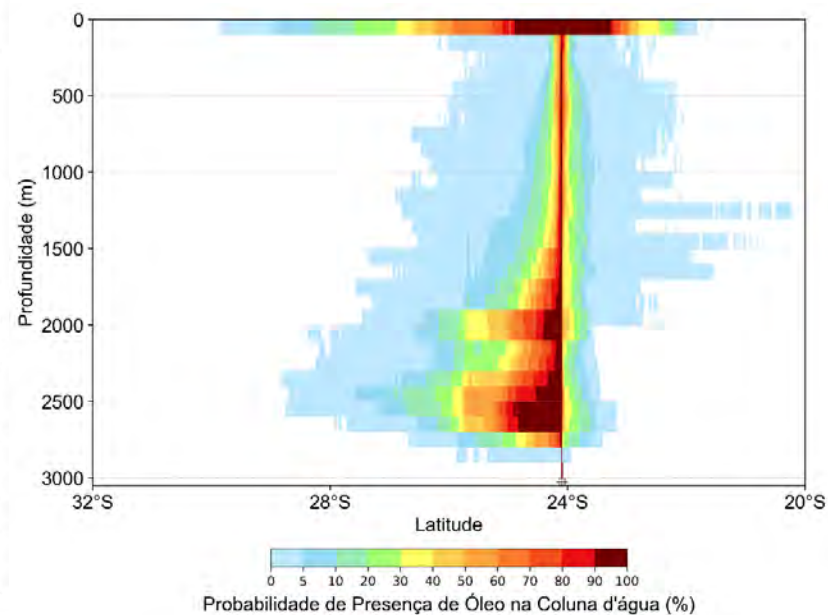
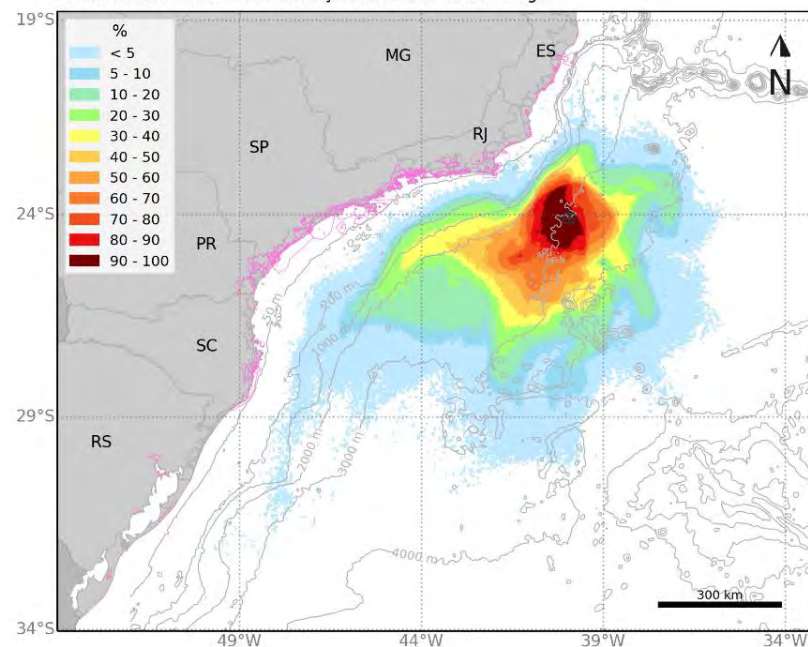


Figura 32: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Assinatura]

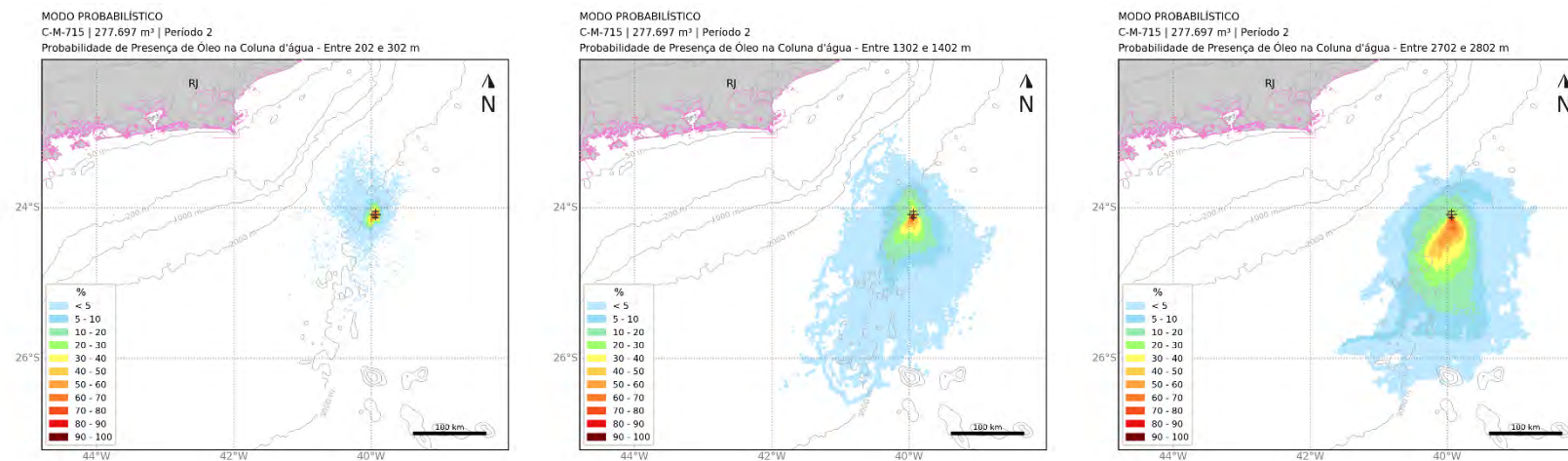


Figura 33: Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Handwritten signature]

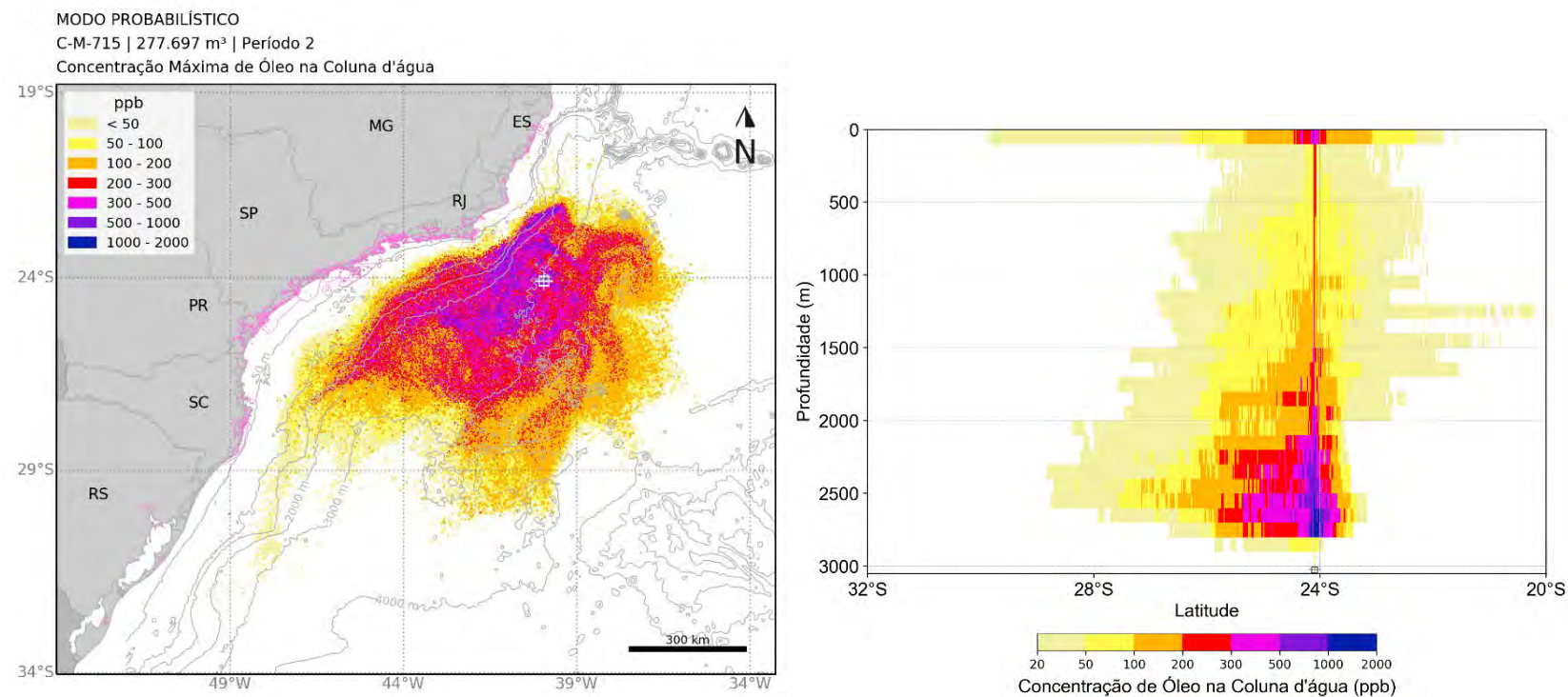
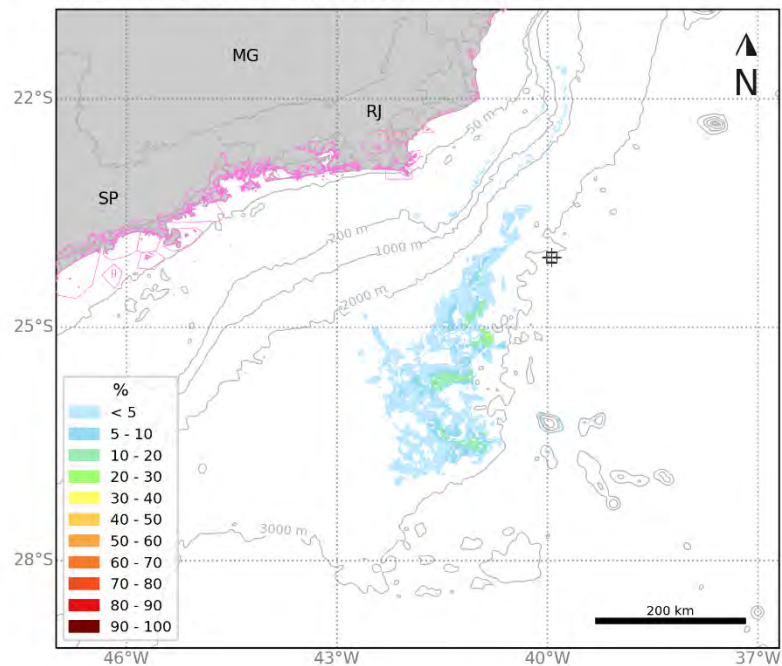


Figura 34: Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água e perfil vertical em latitude para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 277.697 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho



MODO PROBABILÍSTICO

C-M-715 | 277.697 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

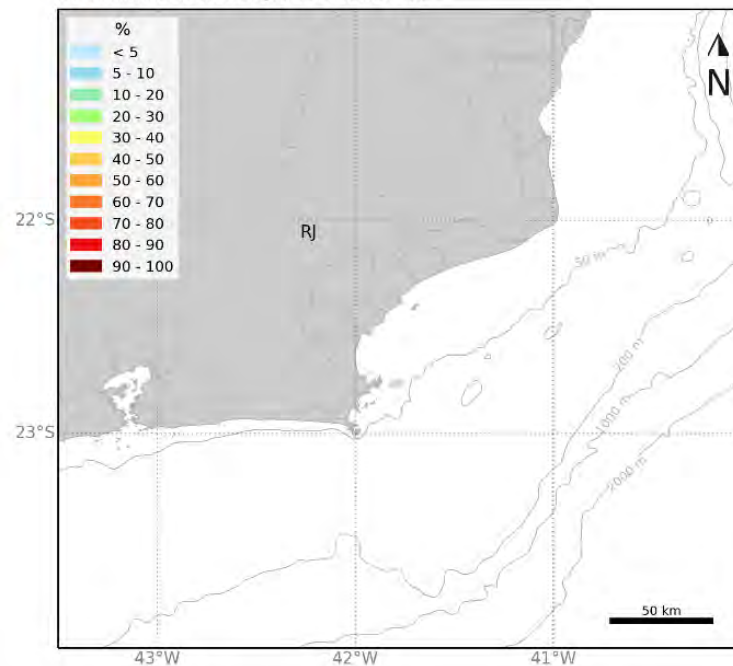


Figura 35: Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho e na costa para o vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

[Assinatura]

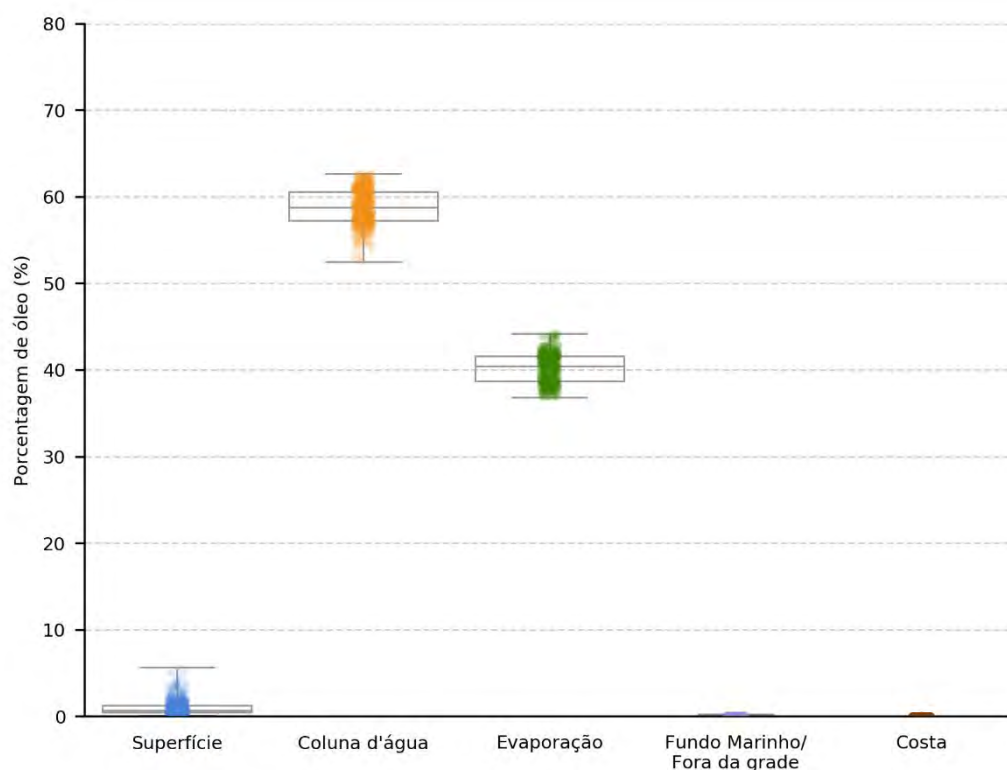


Figura 36: Balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

Tabela 14: Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de pior caso (277.697 m³) no Período 2 (março a agosto). Simulação de 1440 horas (60 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho/ Fora da grade	Costa
Mínimo	0,1	52,5	36,8	-	-
Primeiro Quartil	0,4	57,3	38,7	-	-
Mediana	0,7	58,8	40,4	< 0.05	-
Terceiro Quartil	1,2	60,5	41,6	< 0.05	-
Máximo	5,6	62,7	44,2	0,2	< 0,05

5.1.3.3 Tabelas Comparativas

A seguir são apresentados os resultados de óleo nos municípios (Tabela 15) e unidades de conservação (Tabela 16) para os vazamentos de pior caso (277.697 m³) em ambos os cenários sazonais.

Tabela 15: Probabilidade de presença, tempo mínimo de chegada, massa máxima e extensão de óleo nos municípios com possibilidade de serem atingidos em um vazamento de pior caso (277.697 m³), nos cenários de Período 1 e Período 2.

UF	Município	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)		Massa Máxima (t/km)		Extensão (Km)	
		Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
		1	2	1	2	1	2	1	2
RJ	ARMAÇÃO DOS BÚZIOS	-	0,2	-	39	-	0,9	-	5,7
	ARRAIAL DO CABO	-	0,2	-	57	-	-	-	-

Os valores em cinza foram retirados dos resultados em superfície e na coluna d'água para os municípios que não apresentaram massa acumulada na costa acima do limiar monitorado. Estes resultados foram obtidos a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da costa. Como os valores apresentados são da superfície e da coluna d'água, não são apresentados valores de massa acumulada na costa e extensão.

Tabela 16: Probabilidade de presença e tempo mínimo de chegada de óleo nas Unidades de Conservação com possibilidade de serem atingidas em um vazamento de pior caso (277.697 m³), nos cenários de Período 1 e Período 2.

Unidades de Conservação	Probabilidade (%)		Tempo Mínimo (dias)	
	Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
APA Costa das Algas	0,4	-	41	-
APA do Arquipélago de Santana	-	0,2	-	42,9
APA Marinha da Armação de Búzios	-	0,2	-	38,7
PE da Costa do Sol	-	0,2	-	39
RESEX Marinha Arraial do Cabo	-	0,8	-	34,2
APA Marinha do Litoral Norte	-	0,2	-	56,7

Os valores em cinza são dos resultados de superfície e da coluna d'água que foram observados a uma distância de menos de 2 km (um ponto de grade) da UC.



5.1.4 Resumo dos Resultados Probabilísticos

A seguir é apresentado o resumo das simulações probabilísticas, com o menor tempo de chegada de óleo na costa, porcentagem de simulações que apresentaram toque e extensão na costa para os cenários que tiveram probabilidade de toque de óleo na costa. Para os cenários que não apresentaram probabilidade de toque na costa serão apresentados a menor distância da costa em quilômetros, qual a localidade da menor distância, assim como a menor distância para a UC e qual a respectiva UC.

Tabela 17: Resumo dos Resultados Probabilísticos para o ponto de risco.

Cenário		COM Probabilidade de Chegada na Costa			SEM Probabilidade de Chegada na Costa			
		Tempo mínimo para atingir a costa (dias)	Porcentagem de simulações com toque de óleo (%)	Extensão de toque na costa (km)	Menor distância em relação à costa		Menor distância em relação às UCs	
					Distância (km)	Localidade	Distância (km)	UC
8 m ³	Período 1	-	-	-	190,1	CAMPOS DOS GOYTACAZES	190,2	PE da Lagoa do Açú
	Período 2	-	-	-	180,4	ARRAIAL DO CABO	171,2	RESEX Marinha Arraial do Cabo
200 m ³	Período 1	-	-	-	123,3	ARMAÇÃO DOS BÚZIOS	116,8	RESEX Marinha Arraial do Cabo
	Período 2	-	-	-	134,4	CAMPOS DOS GOYTACAZES	134,4	PE da Lagoa do Açú
277.697 m ³	Período 1	-	-	-	36,2	ARRAIAL DO CABO	-	-
	Período 2	39	0,4	5,7	-	-	-	-



O cenário que apresentou o menor tempo de chegada de óleo na costa (39 dias), o maior número de porcentagem de simulações com toque de óleo (0,4%) e a maior extensão de toque na costa (5,7 km) foi o de pior caso (277.697 m³) Período 2, por ter sido o único cenário com probabilidade de toque na costa. Em relação ao número de porcentagem de simulações com toque de óleo, o máximo observado (0,4%) se refere à porcentagem de simulações em que chegam na costa independente da localidade, diferente da tabela comparativa de municípios (Tabela 15), na qual os valores se referem a porcentagem em cada ponto de grade na costa. Para os cenários que não houveram toque de óleo na costa, a menor distância até a costa foi observada em Arraial do Cabo-RJ (~36 km) no cenário de pior caso (277.697 m³) Período 1, e a menor distância até a UC foi observada na RESEX Marinha Arraial do Cabo (~117 km) no cenário de 200 m³ também no Período 1.

5.2. Resultados Determinísticos

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas, foram identificadas as condições críticas para ocorrência de um vazamento de 277.697 m³ na região do Bloco C-M-715, na Bacia de Campos.

A situação de **menor tempo** de chegada de óleo na costa e a situação de **maior massa** acumulada na costa ocorreram no Período 2 para a mesma simulação. Na Tabela 18 são apresentadas as informações dessas condições críticas selecionadas.

Tabela 18: Informações das simulações determinísticas críticas consideradas para o vazamento de pior caso.

Cenário	Data da simulação (GMT)	Primeira localidade de toque	Tempo de toque na costa (dias)	Massa final de óleo na costa (t)
Maior massa de óleo acumulada na costa e Tempo mínimo de toque de óleo na costa	22/03/2013 à 1 h	Armação dos Búzios - RJ	38,96	2,63

5.2.1 Maior massa de óleo acumulada na costa e menor tempo de chegada de óleo na costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado que se estendeu de 22/03/2013 às 1h até 21/05/2013 às 1h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.



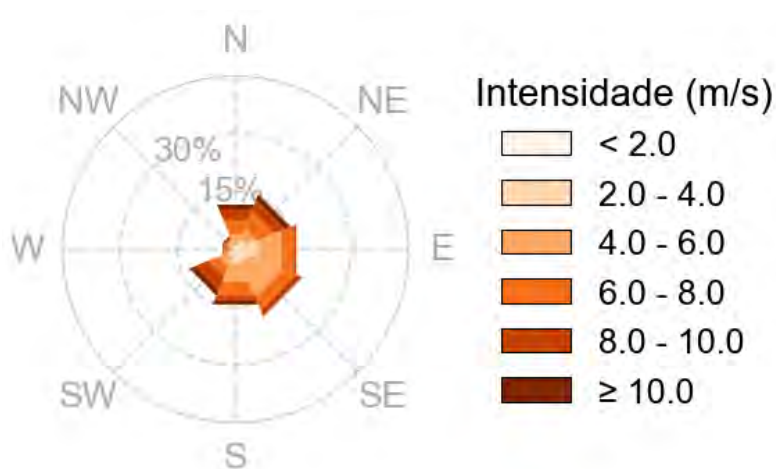


Figura 37: Rosa dos ventos para o período de simulação da situação de menor tempo e maior massa acumulada à costa.

Tabela 19: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Direção -> Intensidade (m/s)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
< 2.0	12	12	9	3	-	2	5	3	3,2
2.0 - 4.0	8	31	81	52	57	31	7	20	19,9
4.0 - 6.0	40	42	95	138	73	40	12	14	31,5
6.0 - 8.0	57	72	51	54	60	38	22	9	25,2
8.0 - 10.0	42	43	11	24	16	54	5	2	13,7
≥ 10.0	22	23	-	1	17	23	1	7	6,5
Freq. (%)	12,6	15,5	17,1	18,9	15,5	13,1	3,6	3,8	-

Tabela 20: Estatística do vento para o período da condição de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Velocidade média (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Desvio Padrão(m/s)
110	206	5,9	0,7	15,2	2,5

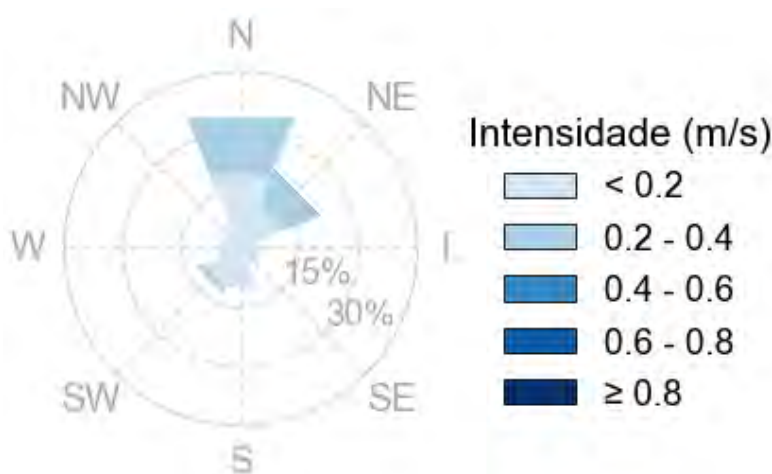


Figura 38: Rosa de corrente para o período de simulação da situação de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Tabela 21: Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente para o ponto mais próximo do local do vazamento para o período da condição de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
< 0.2	145	89	31	32	70	75	39	35	71,7
0.2 - 0.4	112	67	2	1	3	12	3	1	27,9
0.4 - 0.6	1	2	-	-	-	-	-	-	0,4
0.6 - 0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
≥ 0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq. (%)	35,8	21,9	4,6	4,6	10,1	12,1	5,8	5,0	-

Tabela 22: Estatística de corrente para o período da condição de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Velocidade média (m/s)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Desvio Padrão(m/s)
17	26	0,1	0	0,5	0,1

Pelos dados de vento no período da simulação nota-se que há um balanço na predominância de direções dos ventos, com a maior probabilidade de ventos de sudeste (18,9%) e leste (17,1%), mas também com ventos de sul (15,5%), nordeste (15,5%) e sudoeste (13,1%), com predominância de ventos com intensidades entre 4-6 m/s (31,5%). As informações de correntes mostram que a direção das correntes é preferencialmente para norte (35,8%) e nordeste (21,9%) e que a predominância de intensidade é inferior a 0,2 m/s (71,7%).

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

É também apresentado o mapa de concentração de óleo nos sedimentos ao final da simulação. Os mapas de concentração de óleo no fundo foram construídos considerando um valor limiar de 1g de óleo/m²².

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



MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 22-03-2013 13h

Vento 5.0 m/s →

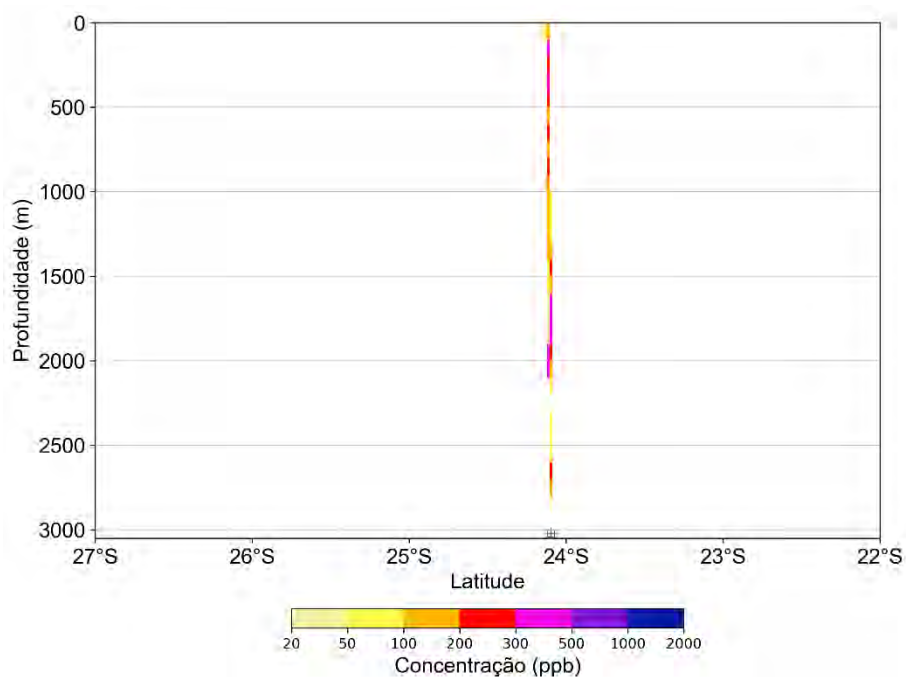
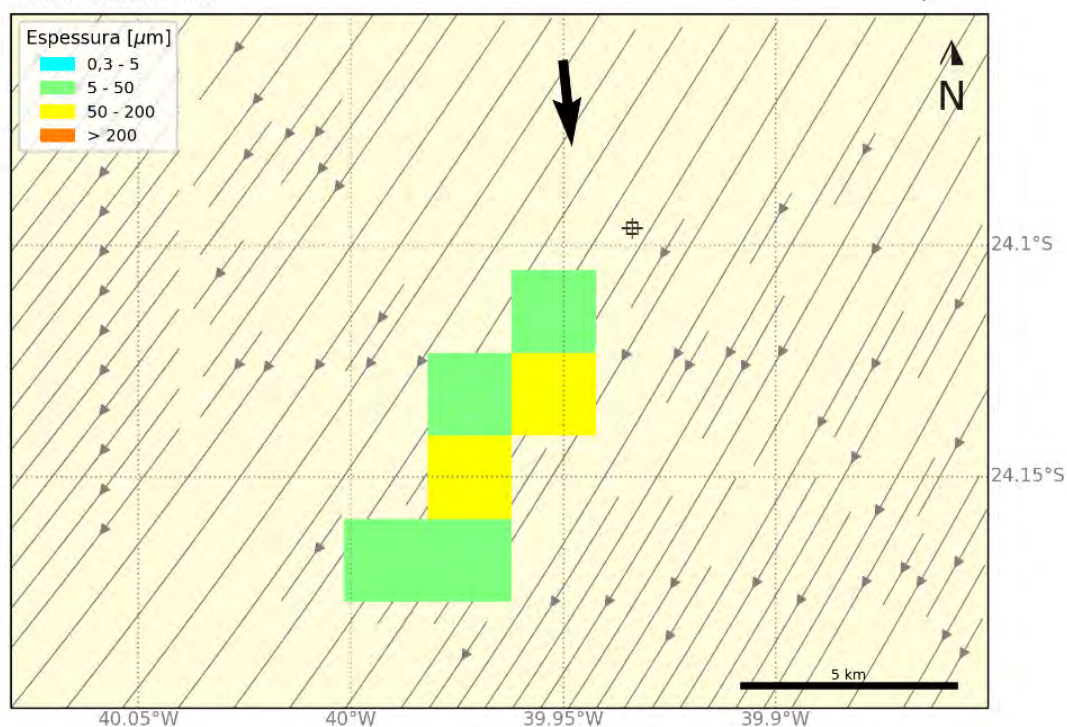


Figura 39: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 12 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa
Data: 23-03-2013 13h Vento 5.0 m/s →

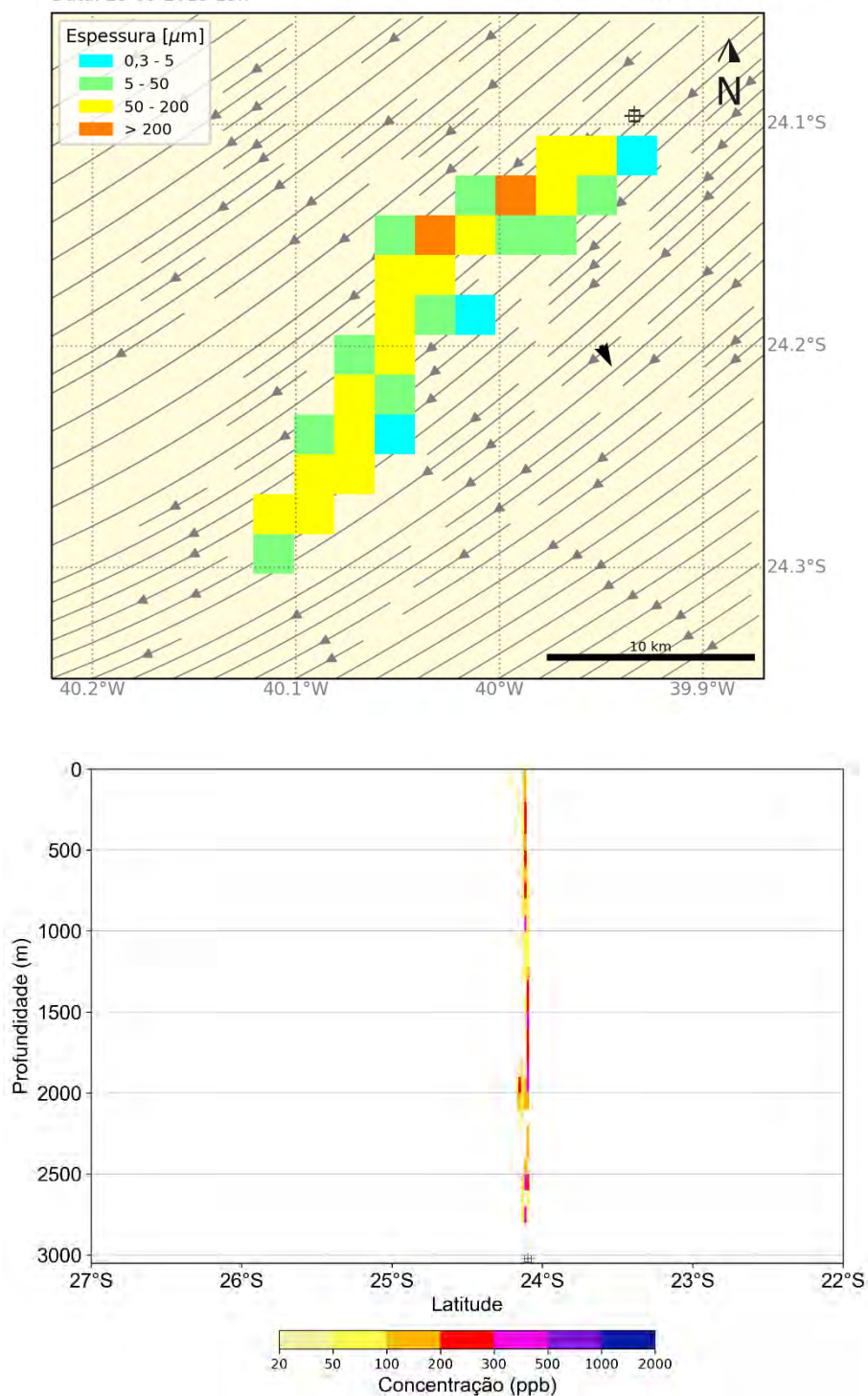


Figura 40: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 36 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa
Data: 24-03-2013 13h Vento 5.0 m/s →

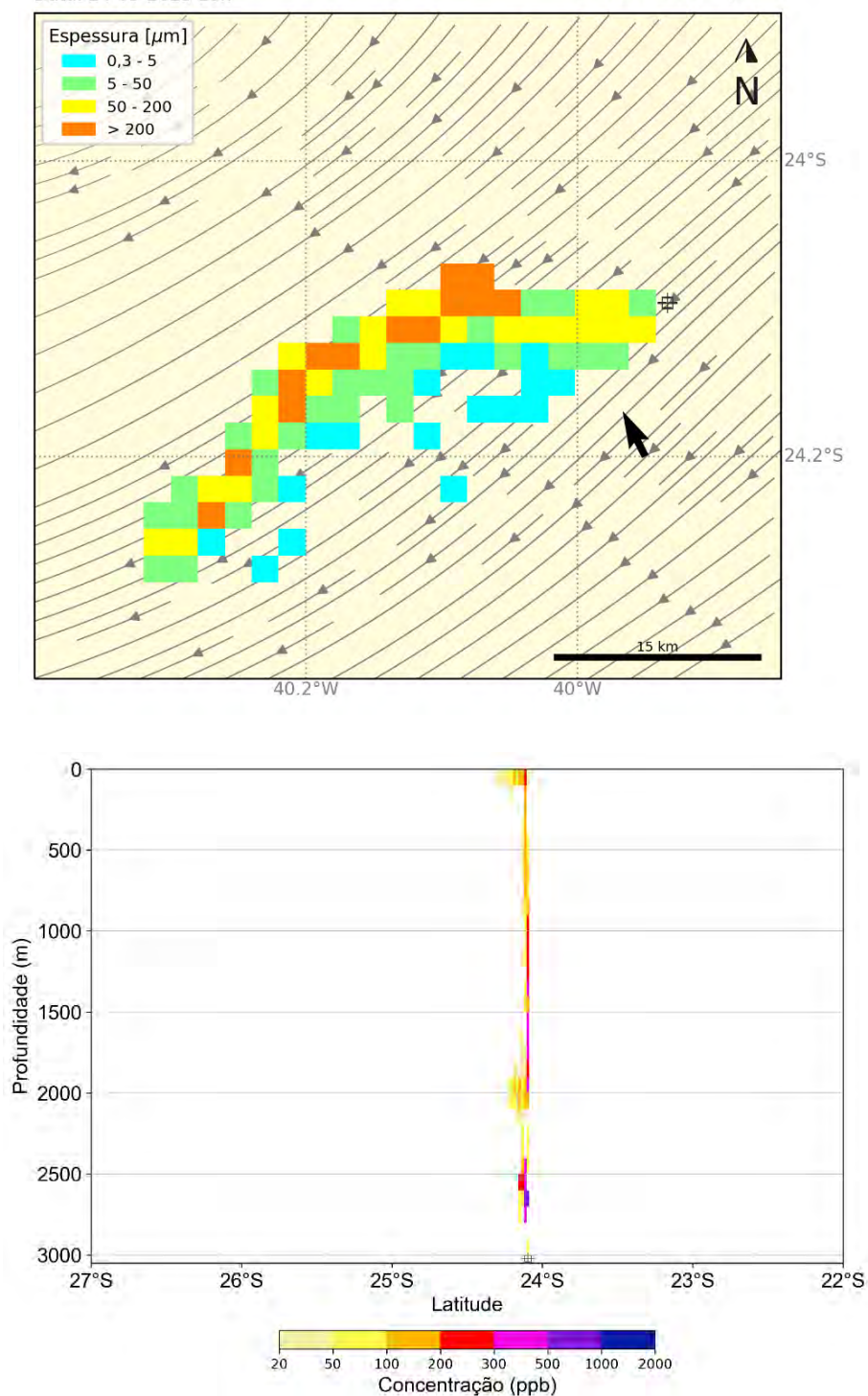


Figura 41: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 60 h do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa
Data: 29-03-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

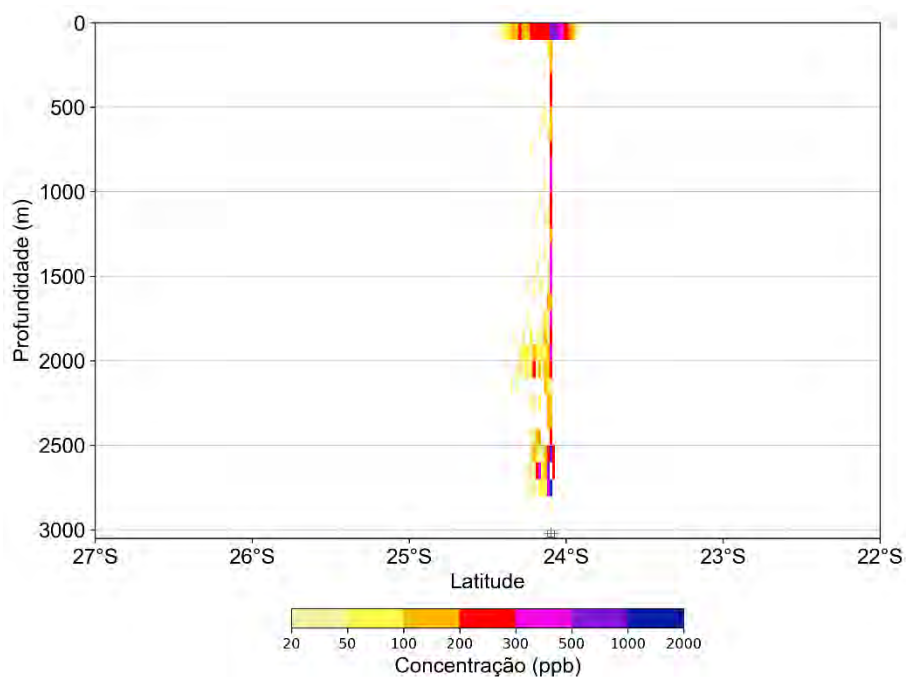
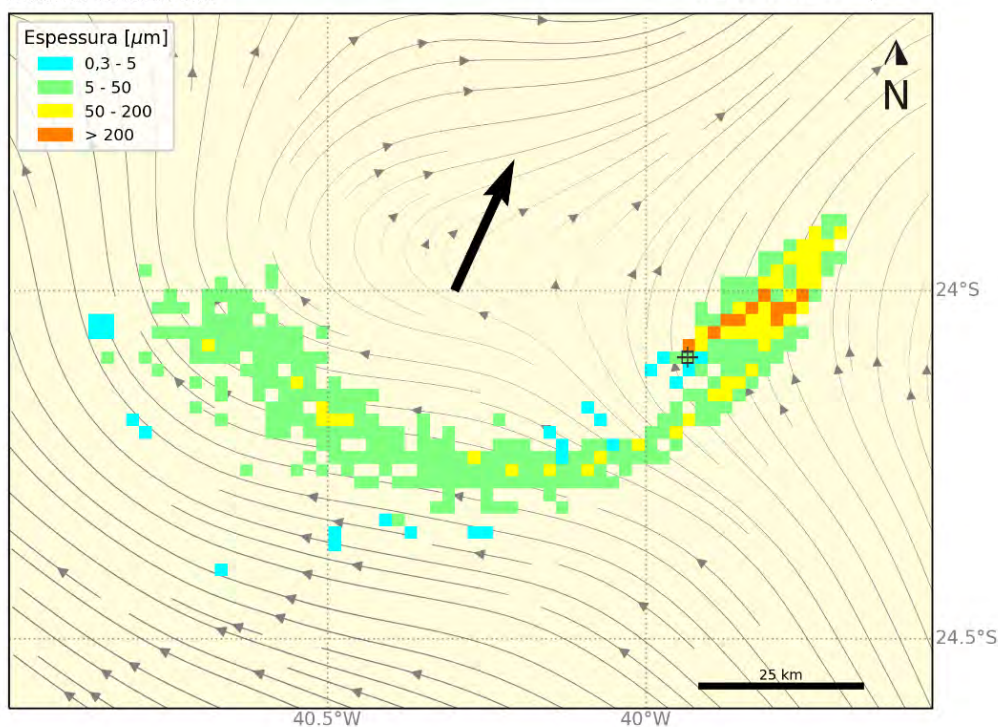


Figura 42: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 168 h (1 semana) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 05-04-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

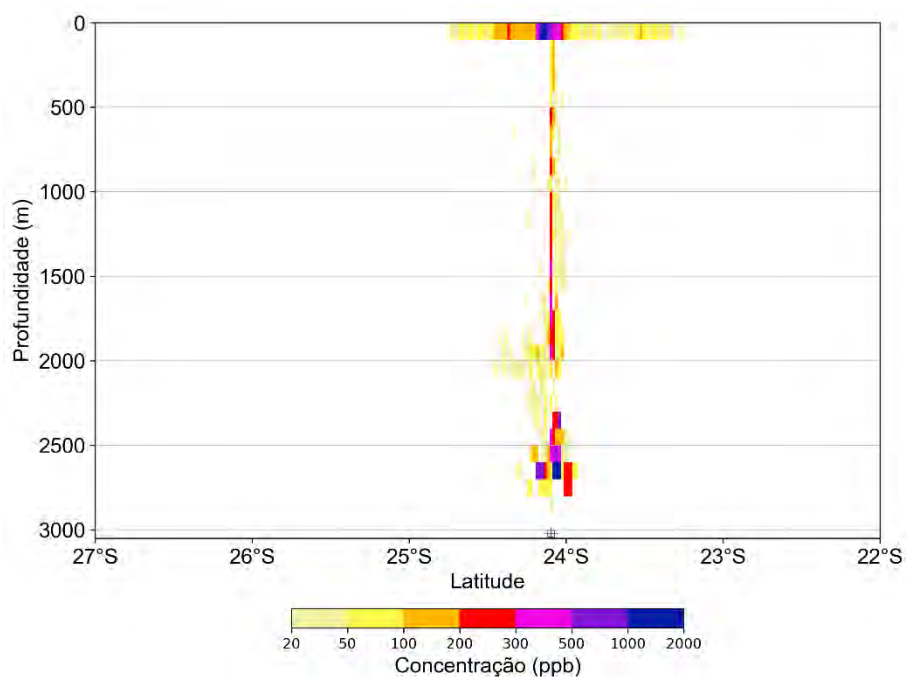
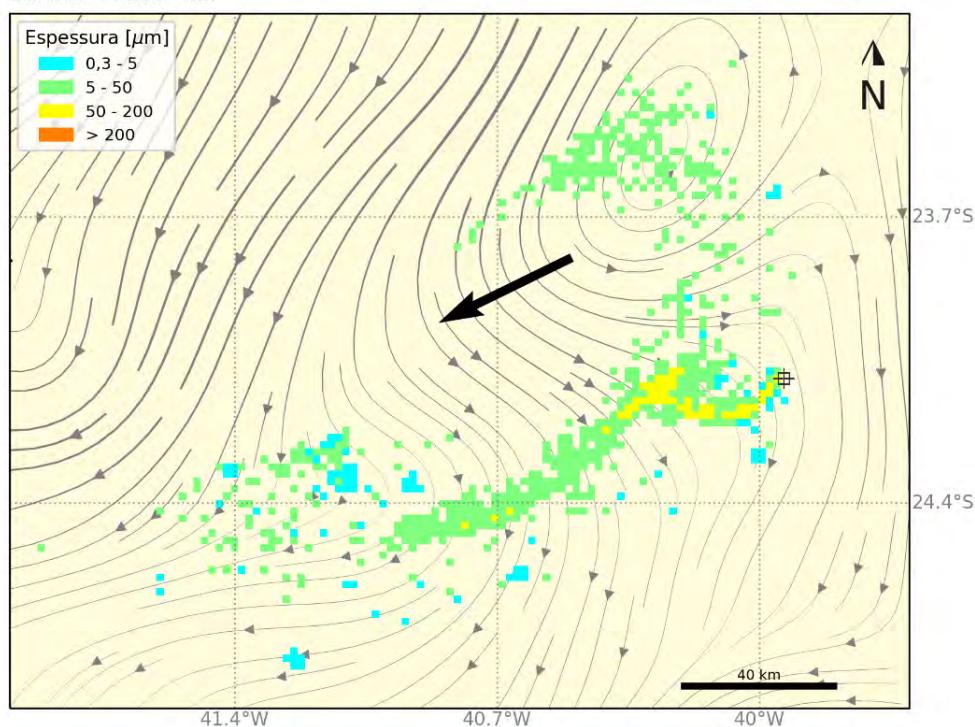


Figura 43: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 336 h (2 semanas) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa
Data: 12-04-2013 01h Vento 5.0 m/s →

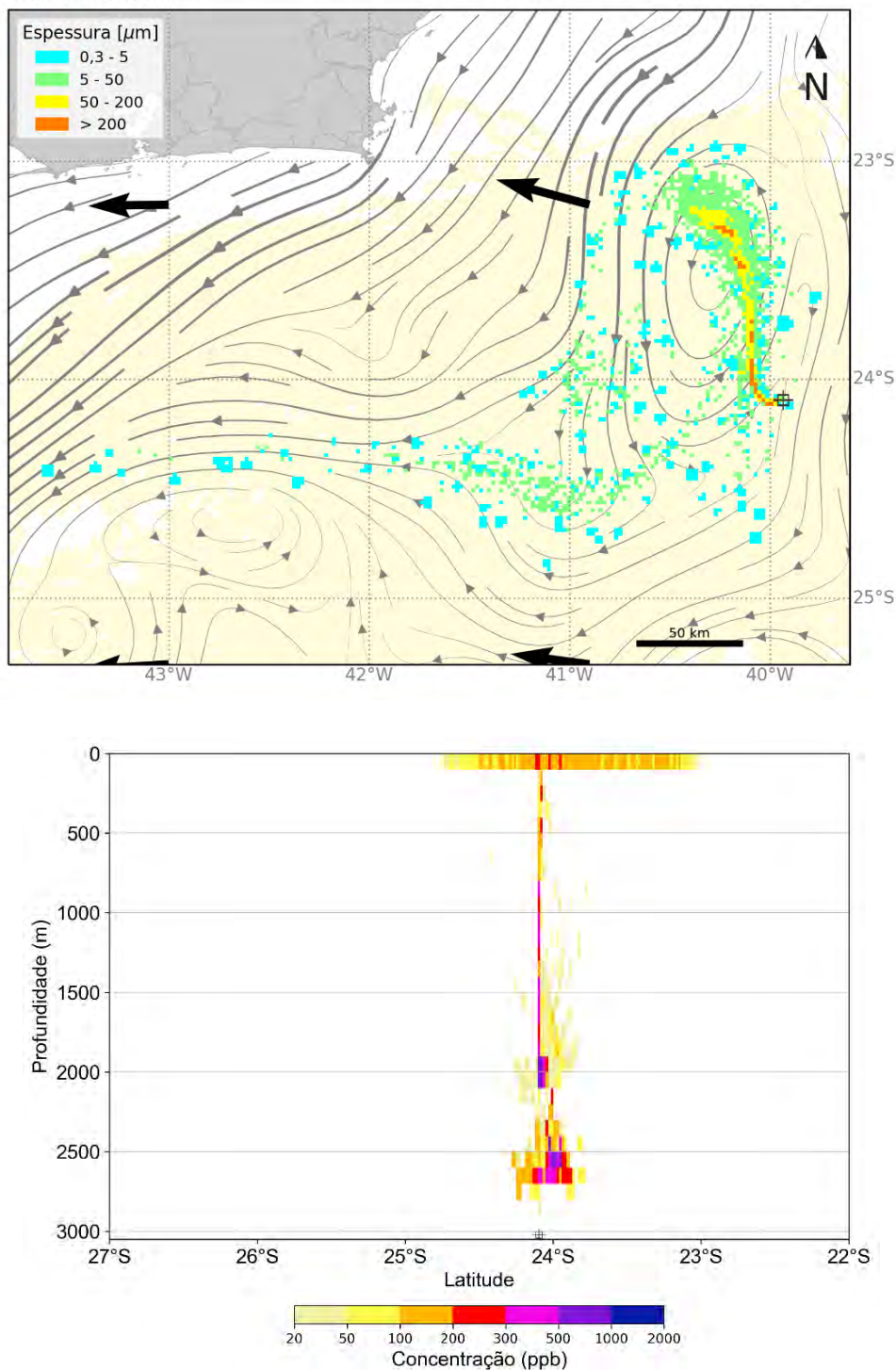


Figura 44: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 504 h (3 semanas) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 21-04-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

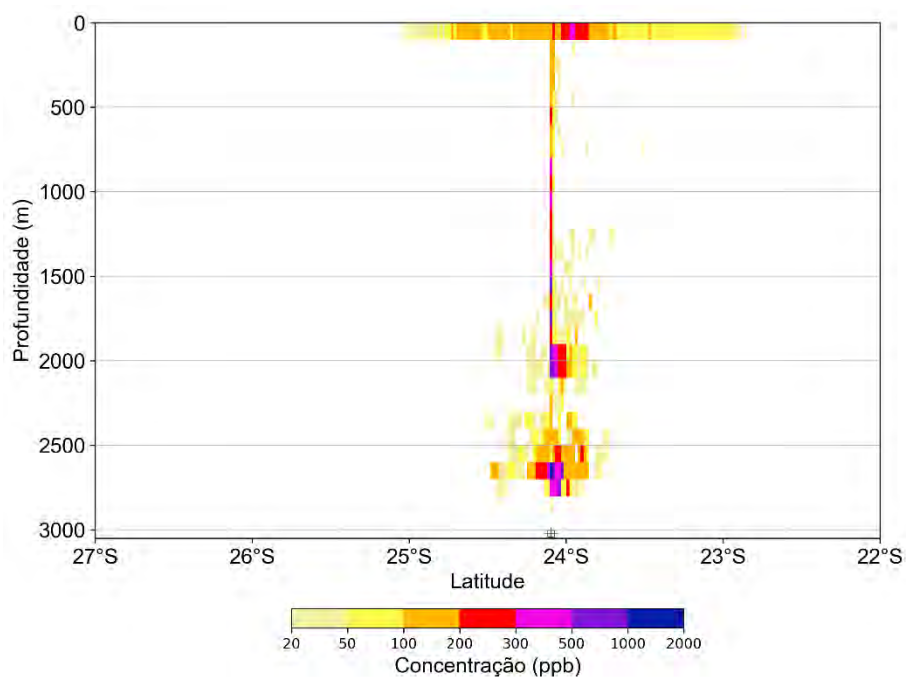
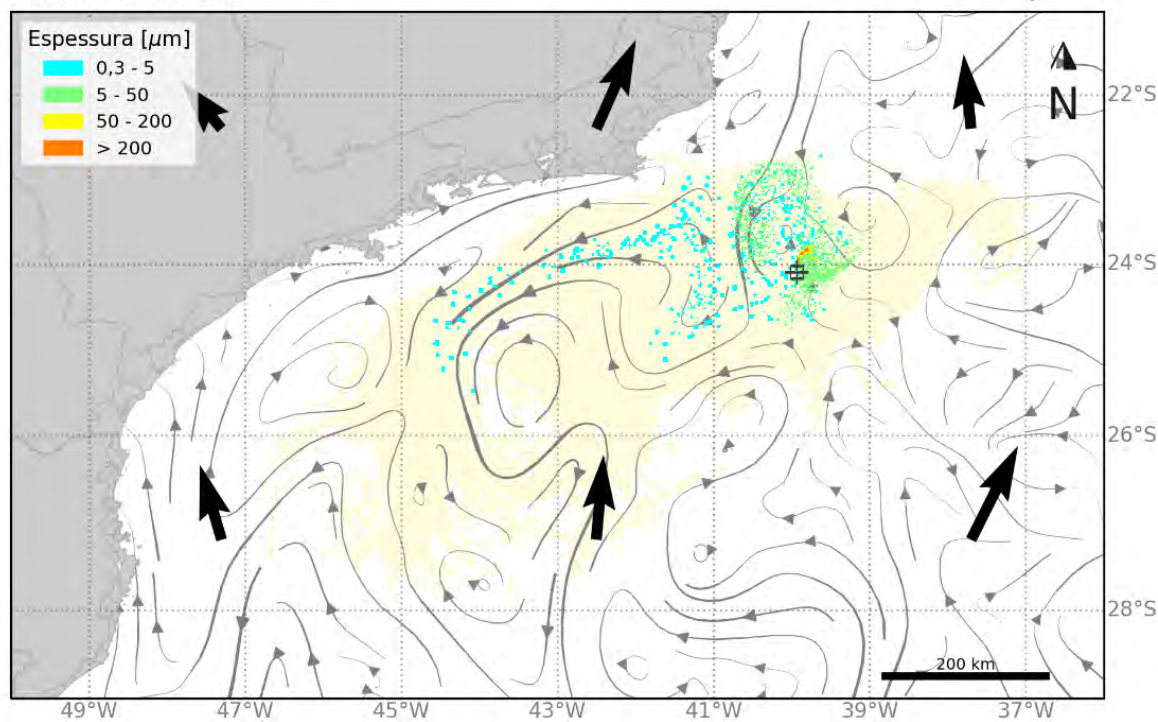


Figura 45: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 720 h (30 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 30-04-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

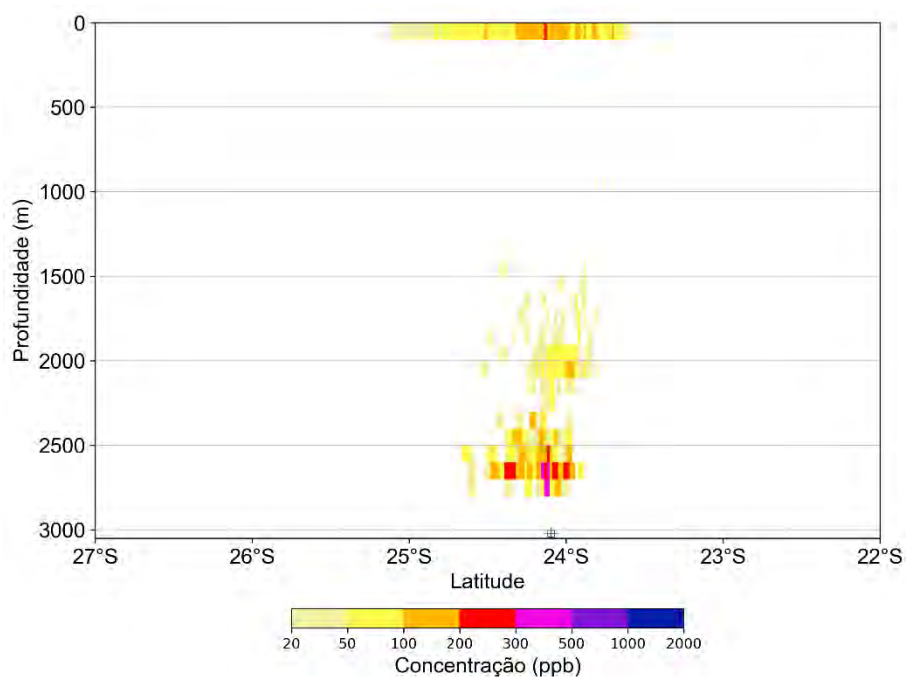
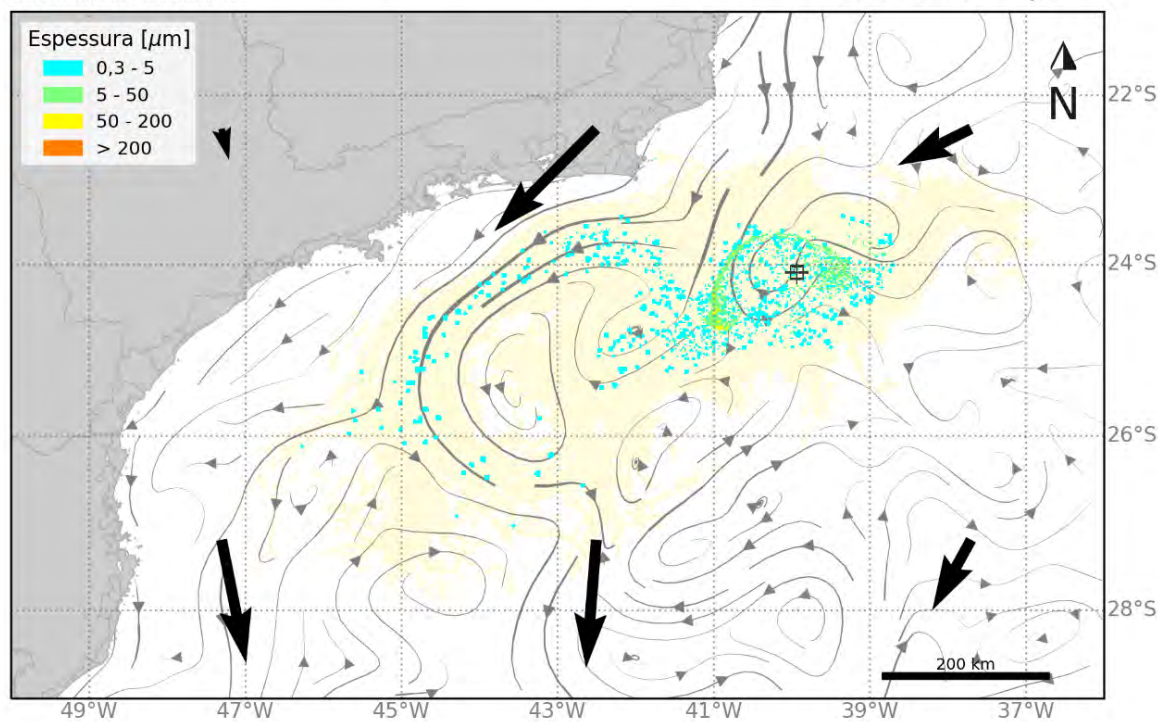


Figura 46: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 936 h (tempo do primeiro toque de óleo na costa) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 06-05-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

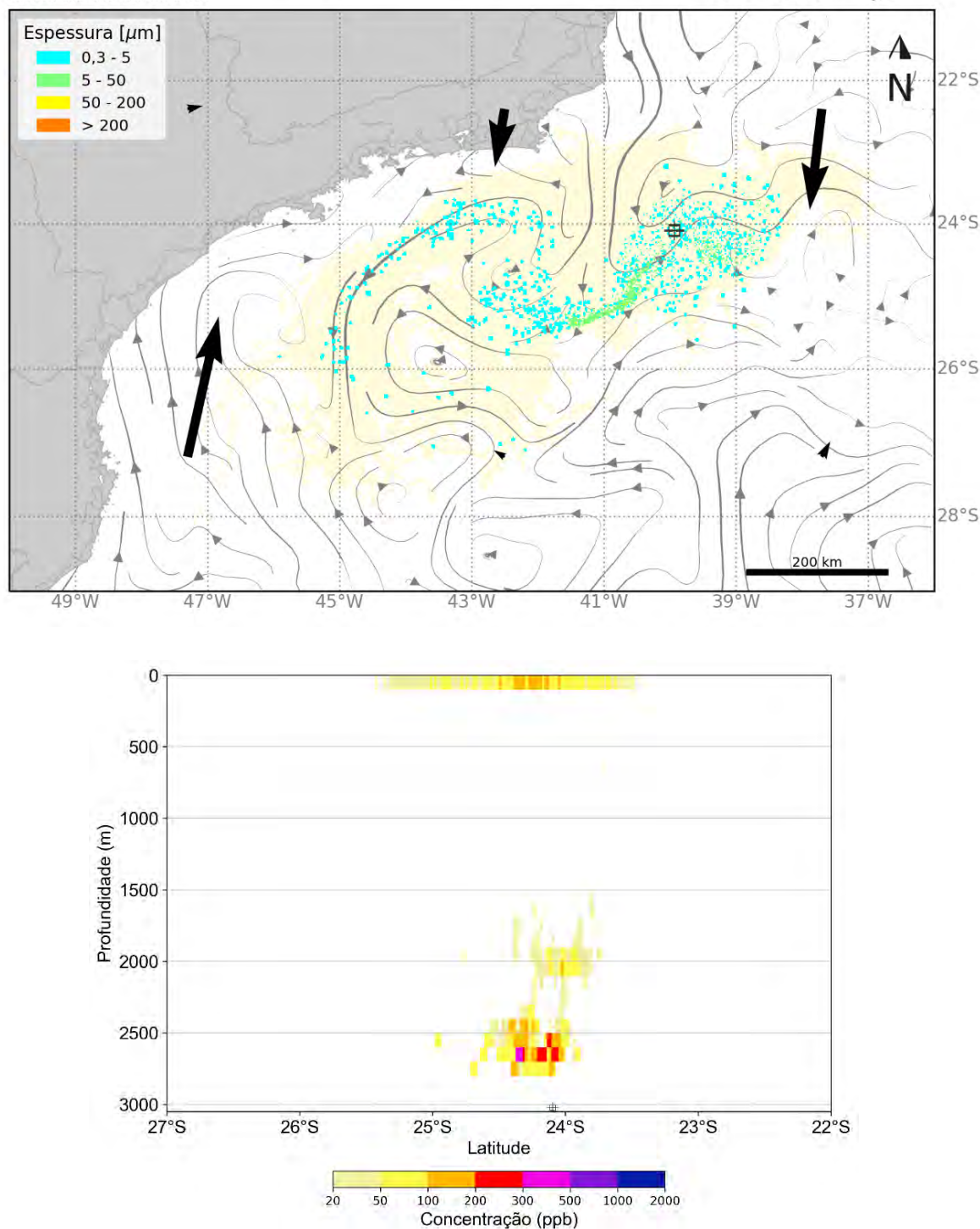


Figura 47: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 1080 h (45 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa e Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 21-05-2013 01h

Vento 5.0 m/s →

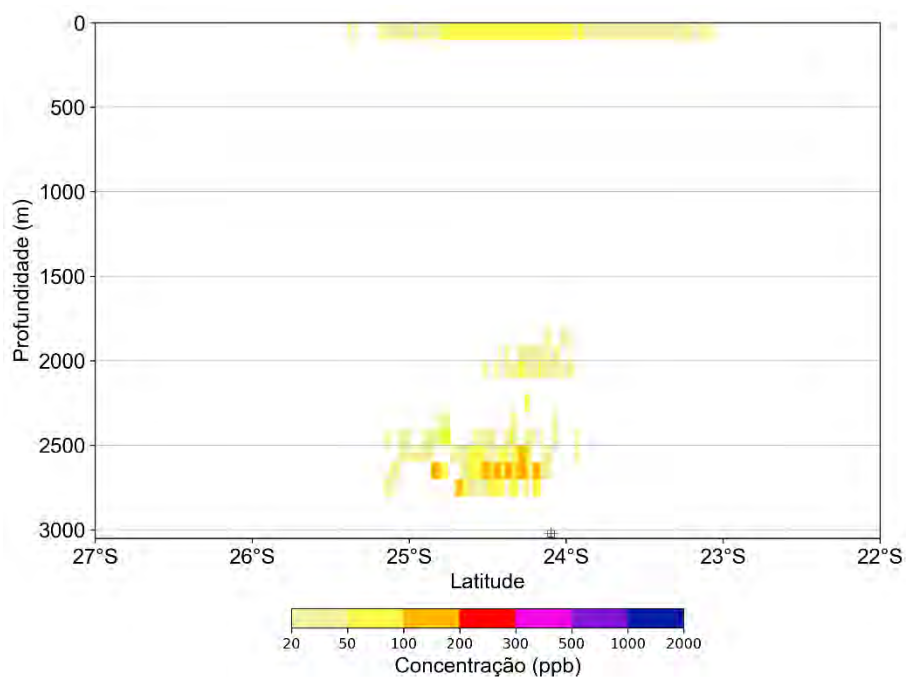
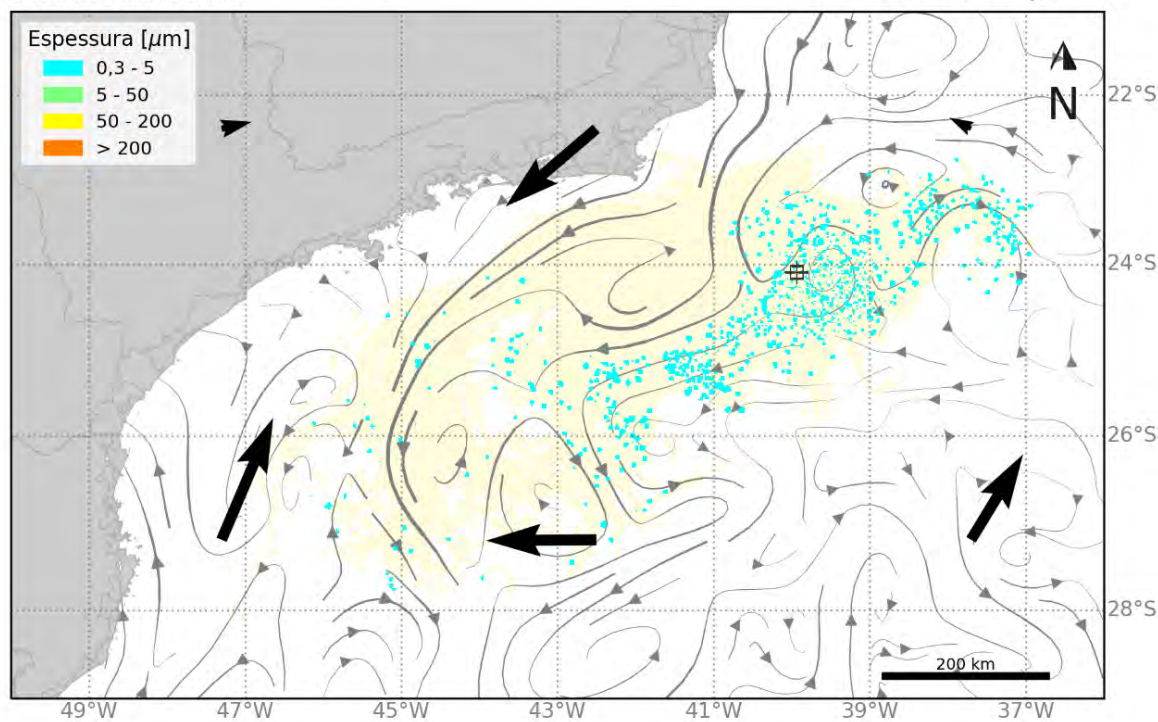


Figura 48: Resultado da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa, após 1440 h (60 dias) do início do vazamento de pior caso. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 21-05-2013 01h

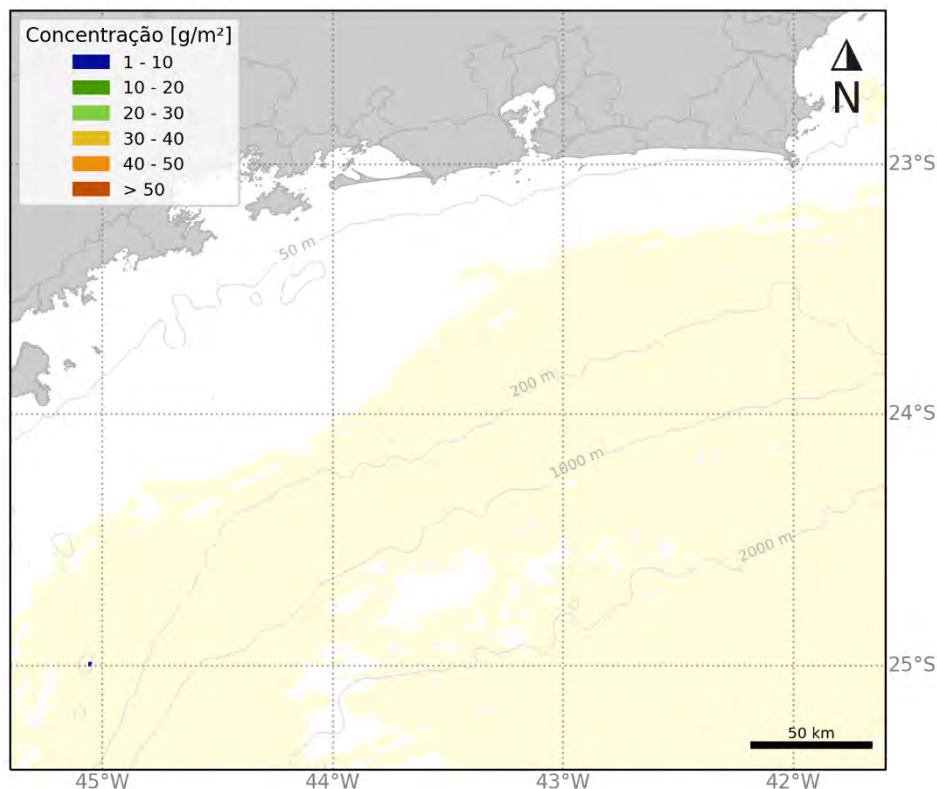


Figura 49: Mapa de concentração de óleo no sedimento no fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa após 1440 h (60 dias) do início do vazamento de pior caso.

A deriva do óleo ocorre preferencialmente para sudoeste, e após as primeiras 168 horas (1 semana), o óleo segue para oeste do ponto de vazamento, dispersando também para norte depois de 336 horas (2 semanas). O óleo chega à costa em Armação dos Búzios-RJ. Ao final da simulação, há óleo em superfície com espessura de 0,3 a 5 μm até a latitude de 28°S, bem como há óleo com espessura entre 5 a 50 μm em uma região mais próxima do ponto de vazamento. Ao fim da simulação (60 dias), menos de 0,05% do óleo se encontra na costa de Armação dos Búzios-RJ.

Em relação à coluna d'água, concentrações acima de 20 ppb são observadas ao longo de toda coluna d'água, nos primeiros 30 dias. Após 45 dias, há uma dispersão do óleo em superfície e em profundidades entre 1.500 e 3.000 metros. Ao final da simulação há óleo com concentrações entre 50-100 ppb em superfície, e entre 100-200 ppb em profundidades acima de 2.500 metros até a latitude de 24,8°S. Concentrações acima de 1.000 ppb são observadas principalmente em profundidades acima de 2.500 metros, entre 168 h e 720 h.

O óleo associado ao fundo marinho, acima de 1 g/m², se encontra na plataforma continental na altura do município de Ilhabela-SP.

A seguir, é apresentada a evolução temporal do balanço de massa do óleo, a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação, e a viscosidade média ao longo dos dias.

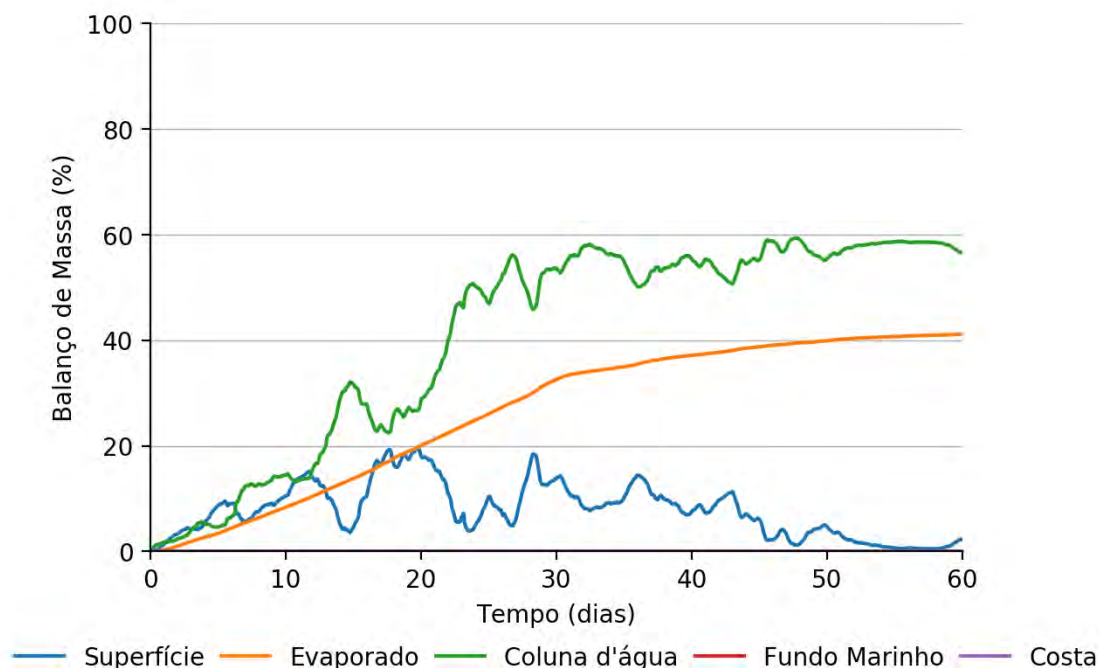


Figura 50: Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Tabela 23: Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Tempo (horas)	Superfície		Evaporado		Coluna d'água		Fundo Marinho		Costa	
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)
12	0,3	789,5	0,1	154,8	1,3	3100	-	-	-	-
36	2,5	6128	0,6	1343	1,9	4663	-	-	-	-
60	4,1	9952	1,4	3446	2,8	6826	-	-	-	-
168	5,6	13550	5,4	13170	12,3	29900	-	-	-	-
336	5,3	12870	12,7	30850	28,7	69540	-	-	-	-
504	15,9	38460	21,2	51500	32,9	79910	-	-	-	-
720	13,8	33480	32,6	79000	53,7	130200	-	-	-	-
936	8,6	20940	36,9	89440	54,5	132300	-	-	< 0.05	0,3
1080	6	14660	38,7	93990	55,2	134000	< 0.05	2,2	< 0.05	2,6
1440	2,2	5436	41,2	99850	56,6	137300	< 0.05	54,1	< 0.05	2,6

É observado que grande parte do óleo ao final da simulação ficou na coluna d'água (56,6%). A evaporação foi um processo de intemperismo significativo, responsável pela retirada de ~41% do

total de óleo. O óleo remanescente em superfície foi de ~2%. Ao final de 60 dias uma porcentagem inferior a 0,05% ficou acumulada na costa e no fundo marinho.

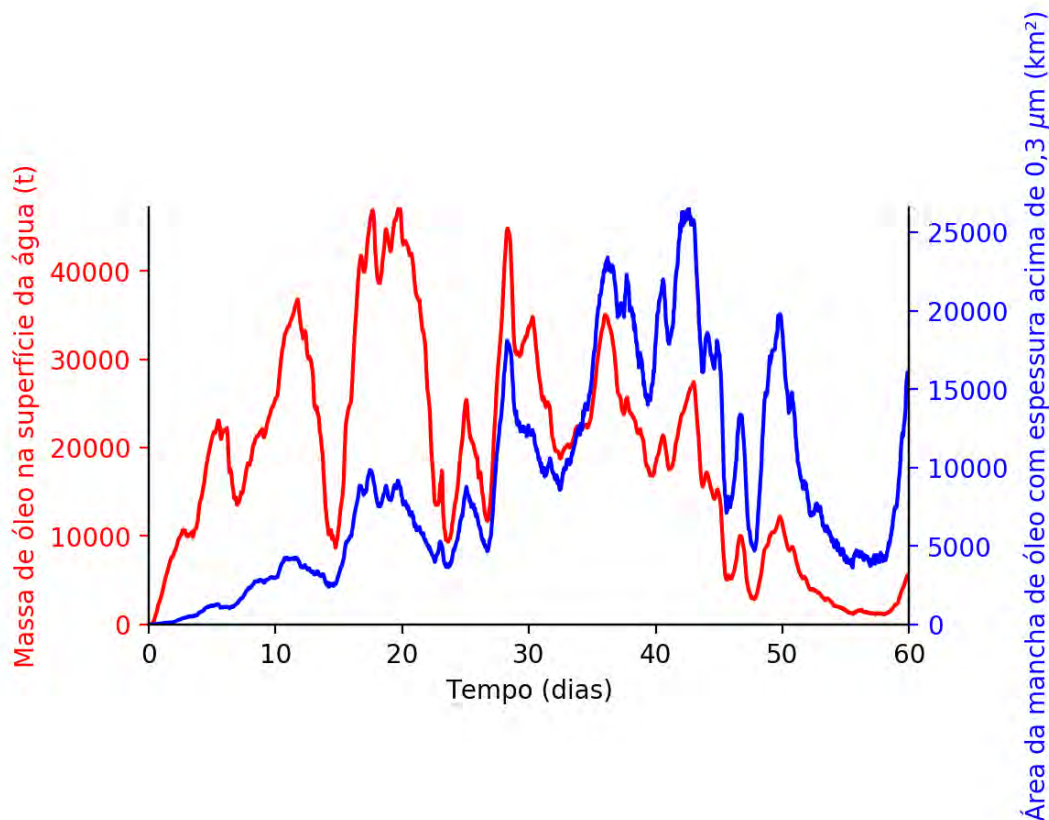


Figura 51: Área superficial da mancha de óleo e a massa de óleo na superfície do mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Tabela 24: Área superficial, massa de óleo e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Tempo (horas)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	24	790	89
36	116	6.128	275
60	316	9.952	502
168	1.340	13.550	298
336	2.710	12.870	190
504	6.360	38.460	566
720	12.500	33.480	824
936	16.100	20.940	107
1080	17.300	14.660	70
1440	15.500	5.436	11

[Assinatura]

O gráfico da área da mancha de óleo em superfície mostra um crescimento até o tempo de 1080 horas, seguida de um decaimento da área. A massa de óleo varia ao longo da simulação, a massa máxima observada foi de 38.460 t no tempo de 504 horas (3 semanas). A espessura do óleo também variou ao longo da simulação, apresentando a maior espessura de 824 μm no tempo de 720 horas (30 dias), chegando ao menor valor 11 μm ao final da simulação (1440 horas).

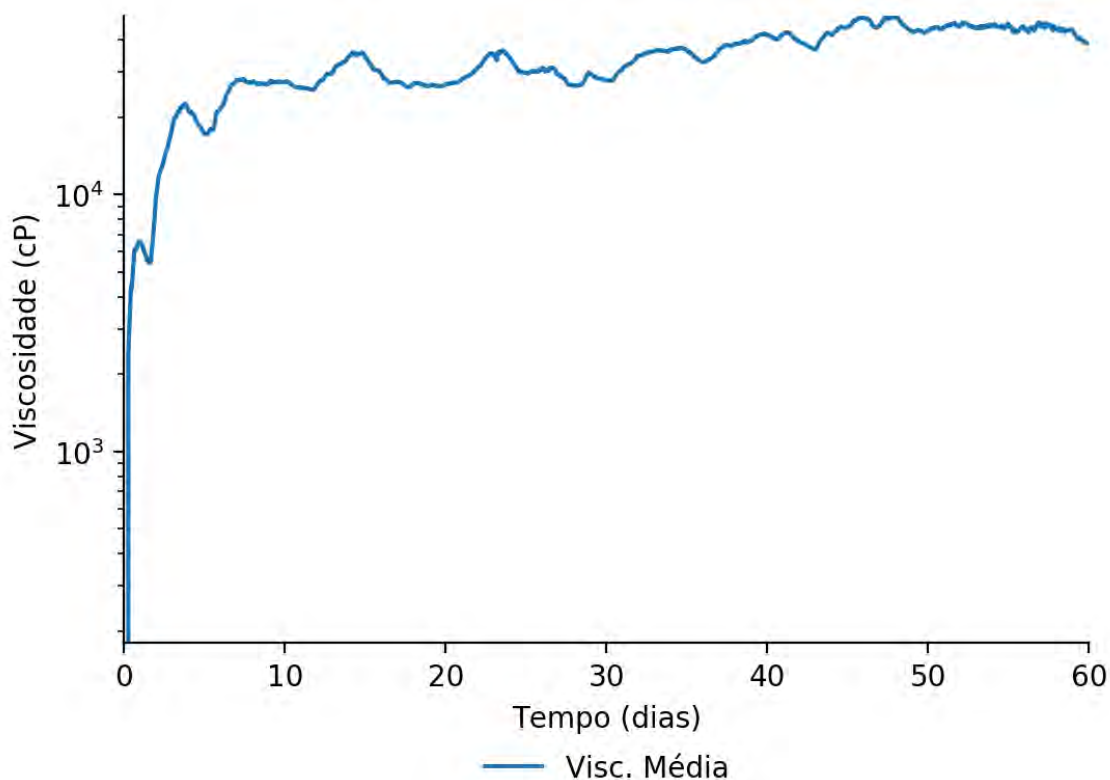


Figura 52: Viscosidade média do óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

[Assinatura]

Tabela 25: Tabela de viscosidade média do óleo durante a simulação em condição crítica de menor tempo e maior massa acumulada de óleo à costa.

Tempo (horas)	Visc. Média (cP)
12	4.619
36	5.446
60	13.980
168	27.900
336	34.670
504	28.090
720	27.810
936	39.600
1080	44.950
1440	38.700

A viscosidade média apresentou o comportamento padrão de um óleo vazado no mar, apresentando aumento exponencial nas primeiras 60 horas. Após esse tempo, a viscosidade do óleo vai aumentado de forma mais linear. Entre 40 dias e 60 dias (final da simulação), o valor de viscosidade média oscila entre 38.000 cP e 45.000 cP, terminando a simulação com o valor de 38.700 cP.



6. Considerações Finais

O ponto de vazamento está localizado em regiões mais profundas, distante da costa e da plataforma continental, com isso, a influência da Corrente do Brasil na região não é tão marcada por correntes para sudoeste como em regiões próximas ao talude. Há uma grande variação na direção das correntes ao longo do ano, e há maior ocorrência de ventos de NNE e NE, principalmente no Período 1. De uma forma geral, as simulações probabilísticas mostraram deriva do óleo se estenderam para sudoeste do ponto de vazamento, principalmente nos cenários de pior caso, devido ao óleo alcançar a plataforma continental e a deriva ser influenciada principalmente pela direção dos ventos e correntes mais intensas da plataforma.

Houve toque na costa apenas no cenário de pior caso no Período 2. Nos cenários simulados de 8 m³, a menor distância do óleo até a costa foi de 190 km no Período 1, e 180 km no Período 2. No volume de 200 m³ a menor distância do óleo até a costa foi de 123 km no Período 1 e de 134 km no Período 2. No cenário de pior caso (277.697 m³) no Período 1, a menor distância foi de 36 km.

Há probabilidade (0,2%) de chegada de óleo no município de Armação dos Búzios e Arraial do Cabo-RJ. O tempo mínimo de toque e a massa máxima de óleo na costa foi de 39 dias e 0,9 t/km, respectivamente.

Em relação às UCs, para os vazamentos de pior caso, há probabilidade de chegada de óleo em uma unidade no Período 1 e cinco unidades no Período 2. No Período 1, há probabilidade de 0,4% de chegada de óleo na unidade APA Costa das Algas, com tempo mínimo de 41 dias. No Período 2, a maior probabilidade e tempo mínimo de chegada ocorreram na RESEX Marinha Arraial do Cabo, com 0,8% e 34,2 dias respectivamente. No cenário de 8 m³, a menor distância até as UCs foi de 190 km no Período 1 e 171 km no Período 2. No cenário de 200 m³, a menor distância até as UCs foi de 117 km no Período 1 e 134 km no Período 2.

Sobre os processos de intemperismo atuantes ao longo dos 60 dias de simulação dos vazamentos de pior caso, o óleo disperso na coluna d'água foi o que apresentou maior percentual, com mediana entre 59-60%. A evaporação, com percentual em torno de 40% e o óleo remanescente em superfície apresentou mediana de 0,7%.

A simulação determinística foi escolhida com base nos resultados probabilísticos de pior caso. Como somente houve uma simulação com chegada de óleo na costa, a condição de tempo mínimo de toque e massa máxima de óleo na costa ocorreram na mesma simulação, no dia 22/03/2013 às 1 h. A deriva foi preferencial para sudoeste e oeste, devido ao maior volume de óleo alcançar a plataforma continental e pela influência de ventos de nordeste e correntes para sudoeste frequentes na plataforma. A massa acumulada na costa foi de 2,63 t.



7. Bibliografia

- AMANTE, C., and B.W. EAKINS. 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, Whole-world grids available on-line at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado U.S.A.
- ASTM, 2013. Standard Practice for Development and Use of Oil-Spill Trajectory Models. Designation: F2067-13. American Society for Testing and Materials. DOI: 10.1520/F2067-13.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2005. Resolução Conama nº 357. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2007. Resolução Conama nº 393. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 13/03/2015.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 2008. Resolução Conama nº 398. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em 05/11/2021.
- ELLIOT, A.J. A probabilistic description of the wind over Liverpool Bay with application to oil spill simulations Estuarine, Coastal and Shelf Science 61 (2004) 569–581.
- ELPN/IBAMA. Informação Técnica nº 023/2002. Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar.
- GABARDO. I. T., 2007. Caracterização Química e Toxicológica da água Produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande Norte. UFRN.
- HAIDVOGEL, D. B., H. ARANGO, W. P. BUDGELL, B. D. CORNUELLE, E. CURCHISTER, E. DI LORENZO, K. FENNEL, W. R. GEYER, A. J. HERMANN, L. LANEROLLE, J. LEVIN, J. C. McWILLIAMS, A. J. MILLER, A. M. MOORE, T. M. POWELL, A. F. SHCHEPETKIN, C. R. SHERWOOD, R. P. SIGNELL, J. C. WARNER, and J. WILKIN, 2008. Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. Journal of Computational Physics, 227, 3595-3624.
- HENNERMANN, K. ERA5 Data Documentation. Disponível em: <https://software.ecmwf.int/wiki/display/CKB/ERA5+data+documentation> Acesso em 20/09/2017.
- ICMBIO, 2018. Sistema Informatizado de Monitoria de RPPN. Disponível em: <http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/>. Acesso em 18 de dezembro de 2018.



- LONG, E. R.; MACDONALD, D. D.; SMITH, S.L.; CALDER, F. D. (1995) Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Environ. Manage. 19, 81-97.
- MMA, 2019. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>. Acesso em 04 de janeiro de 2019.
- MMA, 2021. Cartas de Sensibilidade ao Óleo. Disponível em: < <https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo.html> >. Acesso em 07/04/2021.
- MAREM. Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar – MAREM (Projeto de Proteção e Limpeza da Costa – PPLC; Projeto de Proteção à Fauna – PPF). Rio de Janeiro. Acordo de Cooperação Técnica – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP), 2016. Disponível em: <www.marem-br.com.br>. Acesso em 01/03/2021.
- OSPAR COMMISSION. 2014. Background document. Establishment of a list of Predicted No Effect Concentration (PNECs) for naturally occurring substances in produced water. OSPAR Agreement 2014-05.
- RYE, H.; REED, M.; DITLEVSEN, M.K.; BERNTSEN, S. The “Environment Impact Factor” (EIF) for produced water discharges – a tool for reducing environmental impacts. In: Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies. WIT Press, 2004.
- SMIT, M.G.; BECHMANN, R.K.; HENDRIKS, A.J.; SKADSHEIM, A.; LARSEN, B.K.; BAUSSANT, T.; SHAW, B.; SANNI, S. 2009. Relating biomarkers to whole-organisms effects using species sensitivity distributions: A pilot study for marine species exposed to oil. Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 28, no. 5, pp. 1104-1109.
- WWF, 2016. Observatório de UCs. Disponível em: <http://observatorio.wwf.org.br/mapa/>. Acesso em 10 de dezembro de 2016.



8. Anexos

ANEXO I Descrição do modelo de transporte de óleo

ANEXO II Mapa com Unidades de Conservação consideradas no estudo

ANEXO III Mapa com detalhamento de linha de costa utilizado para a definição da grade do modelo do OSCAR

ANEXO IV Justificativa do Volume de Pior Caso

ANEXO V Cadastro Técnico Federal da equipe técnica

- ANEXO I -

Descrição do Modelo de Transporte de Óleo

Modelo de Dispersão de Óleo

Descrição do modelo OSCAR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

Preparado por:

Prooceano

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666

© PROOCEANO 2020

The copyright in this document is vested in Prooceano. This document may only be reproduced in whole or in part, or stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means electronic, mechanical, photocopying or otherwise, with the prior permission of PROOCEANO.

Os direitos autorais deste documento são propriedade da PROOCEANO. Este documento somente poderá ser reproduzido inteiro ou em partes, ou armazenado, ou transmitido em qualquer forma, ou por quaisquer meios: eletrônico, mecânico, fotocópia ou qualquer outro modo, com a permissão prévia da PROOCEANO.

Controle de revisão

Revisão nº 01

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 02

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 03

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 04

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Revisão nº 05

Data:

Descrição:

Responsável:

Empresa:

Equipe técnica

Livia Sant'Angelo Mariano

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:

Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:

Flávia Pozzi Pimentel

Registro no Conselho de Classe: Não Aplicável

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:

Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura:

Sumário

Controle de revisão.....	2
Equipe técnica	3
Sumário.....	4
1. Introdução.....	5
2. Processos Físico-Químicos do Óleo.....	6
2.1. Advecção	6
2.2. Espalhamento	7
2.3. Evaporação.....	7
2.4. Dispersão Natural.....	8
2.5. Emulsificação	9
2.6. Dissolução	10
2.7. Degradação	10
2.8. Sedimentação	12
3. Propriedades Físicas do Óleo	13
4. Concentração na coluna d'água.....	14
5. Óleo na Costa	15
6. Massa Máxima de Óleo na Costa	16
7. Blowout Submerso.....	17
8. Resumo dos Parâmetros Físicos e Numéricos	19
9. Bibliografia	22

1. Introdução

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

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

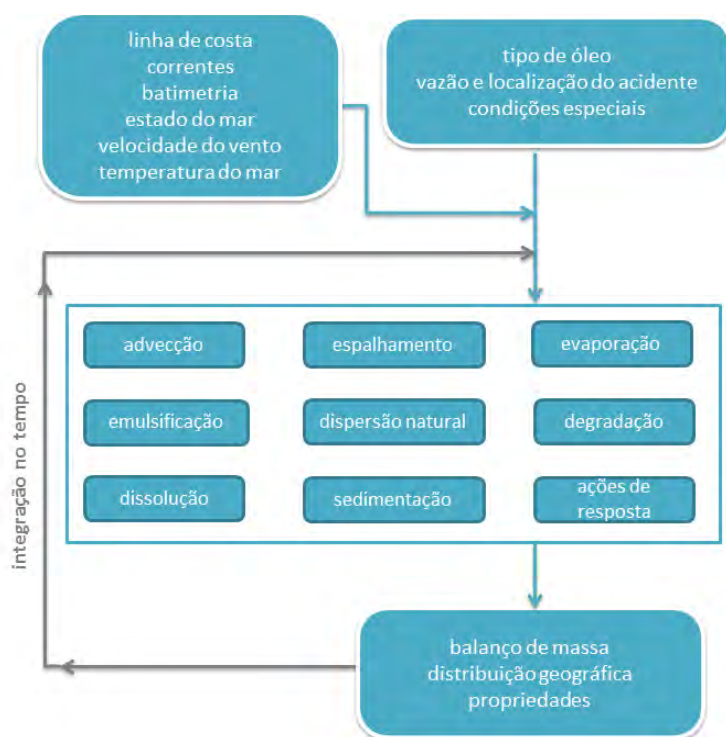


Figura 1: Esquema simplificado dos dados de entrada, processos e dados de saída (resultados) usados e obtidos pelo modelo OSCAR. Adaptado de Reed (2001).

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

2. Processos Físico-Químicos do Óleo

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

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

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

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

2.1. Advecção

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

$$w' = R\sqrt{6k / \Delta t} \quad 2-1$$

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

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

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

para K em cm²/s e t em segundos.

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

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

sendo H a altura de onda, T o período de onda e K o número de onda. Abaixo da profundidade da picnoclina, Kz é assumido como uma constante igual a 10-4 m/s² (KULLENBERG, 1984 apud REED, 2001). Na ausência da picnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

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

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

onde

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

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

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

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

2.2. Espalhamento

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

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

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

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

2.3. Evaporação

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

$$dm_i / dt = K_e P_i A M_i F_i / (RT) \quad 2-5$$

onde m_i é a massa associada ao i -ésimo componente do vazamento; t é o tempo (s); K_e é o coeficiente de transferência de massa evaporada (m/s); T é a temperatura (K); P_i é a pressão de vapor para o i -ésimo componente (atm); A é a área da mancha de óleo (m²); M_i é o peso molecular da i -ésimo componente (g/mol); F_i é a fração molar do i -ésimo componente remanescente na mancha; e R é a constante universal dos gases, $8,206 \times 10^{-5}$ atm-m³/mol-K.

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

$$K_e = C_d U(t) \quad 2-6$$

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

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

em que

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

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

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

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

2.4. Dispersão Natural

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

$$Q_{di} = C^* D^{0,57} S F d_i^{0,7} \Delta d \quad 2-8$$

onde Q_{di} é a taxa de dispersão por unidade de área das gotículas de óleo com diâmetros entre $(d_i - \Delta d)$ e $(d_i + \Delta d)$ (kg/m²s); C^* é um coeficiente de dispersão derivado empiricamente; D é a energia da onda dissipada por unidade de área (kg/s²); S é a fração da superfície do oceano coberta por óleo; F é a fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo (1/s); d_i é o diâmetro médio das partículas na classe de tamanho i (m); e Δd é o intervalo do diâmetro das partículas (m).

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

$$C^* = 4450 \nu^{-0,4} \quad 2-9$$

onde ν é a viscosidade cinemática do óleo (m^2/s). A energia dissipada da quebra da onda D , é aproximadamente:

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

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

$$F = 3 \cdot 10^{-6} U(t)^{3,5} \quad 2-11$$

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

$$d_0 = \frac{C_0 \nu^{0,34}}{\sqrt{e}} \quad 2-12$$

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

2.5. Emulsificação

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

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

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

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

$$t_{ref} = C t_{lab} \quad 2-14$$

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

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

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

2.6. Dissolução

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

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad 2-16$$

onde K_d é o coeficiente de transferência de massa por difusão (m/s); A é a área superficial da mancha de óleo (m²); F_i é a fração molar do componente i remanescente na mancha; S_i é a solubilidade do componente i (g/m³, ppm); e C_i é a concentração ambiente do componente i (g/m³).

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

$$K_d = Sh_i D_i / L \quad 2-17$$

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

$$Sh_i = 0,578 Re^{0,5} Sc_i^{0,33} \quad 2-18$$

onde Re é o número de Reynolds; Sc_i é o número de Schmidt; U_{rel} é a velocidade relativa entre o óleo e a água (m/s); L é a extensão da mancha (m); ν_w é a viscosidade cinemática da água ($\sim 8,9 \times 10^{-7}$ m²/s a 25°C) e D_i a difusividade molecular do componente i (m²/s).

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

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

2.7. Degradação

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

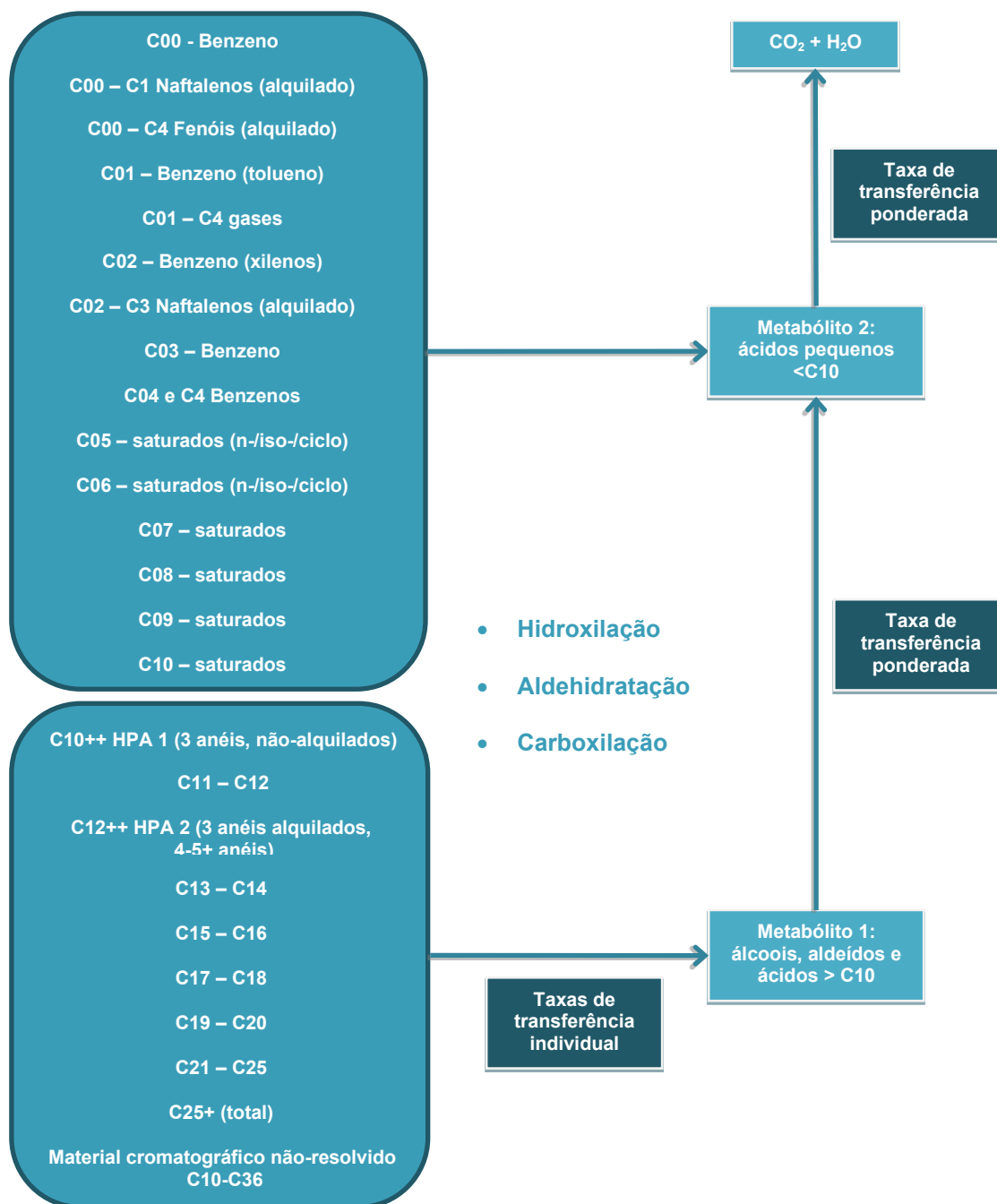


Figura 2: Esquema da degradação dos principais componentes do óleo. Adaptado de Reed (2001).

2.8. Sedimentação

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

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

$$C_s = \frac{K_1 K_2 C_w}{1 + K_1 C_w} \quad 2-20$$

$$C_s = K_f C_w^{1/n} \quad 2-21$$

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

$$C_s = K_p C_w C_{ss} \quad 2-22$$

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

$$K_{oc} = \frac{K_p}{f_{oc}} \quad 2-23$$

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

$$\log K_{oc} = A \log K_{ow} + B \quad 2-24$$

$$\log K_{oc} = a \log S + b \quad 2-25$$

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

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

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

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

3. Propriedades Físicas do Óleo

As principais propriedades do óleo utilizadas pelo modelo são a densidade e a viscosidade do óleo. Essas propriedades variam de acordo com curvas obtidas em laboratório em função da fração de óleo evaporado. A seguir são apresentadas as equações das curvas obtidas em laboratório para os cálculos das propriedades do óleo (JOHANSEN, 1991 *apud* REED, 2001):

$$\text{Densidade (g/L)} \quad \rho_0 = a_p + b_p f \quad 3-1$$

$$\text{Viscosidade (cP)} \quad \mu_0 = e^{(a\mu + b\mu f)} \quad 3-2$$

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

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

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

A equação de Mooney, de 1951, é usada para calcular a viscosidade de emulsão $\mu(t)$:

$$\mu(t) = \mu_o(t) e^{\frac{aW(t)}{100-bW(t)}} \quad 3-4$$

onde a e b são constantes empíricas.

4. Concentração na coluna d'água

Como a grande maioria dos modelos numéricos de transporte de contaminantes, o OSCAR utiliza um modelo de partículas (modelagem lagrangiana) para obter aproximações da equação do transporte advectivo-difusivo:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \vec{V} \cdot \vec{\nabla} C_i = \vec{\nabla} \cdot D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ij} C_i \quad 4-1$$

onde C_i é a concentração do i -ésimo constituinte químico do vazamento; t é o tempo; \vec{V} é o vetor do transporte advectivo; e D_k é o coeficiente de difusão turbulenta para $k = x, y$ e z .

O primeiro termo da equação é a taxa de variação temporal da concentração de um determinado constituinte em uma determinada localização espacial. Esta taxa de variação é calculada através da determinação dos outros termos da equação utilizando partículas lagrangeanas para representar o campo de concentração. Os termos r_j são taxas de vários processos, tais como a evaporação, emulsificação e espalhamento das manchas superficiais e volatilização dos compostos do óleo.

Os termos de degradação r_{ij} aparecem no modelo para determinar os subprodutos da degradação como transferência de massa de um componente à outro. Desta forma, as modificações nas propriedades toxicológicas são incorporadas no modelo.

A equação de transporte advectivo e difusivo determina a variação das concentrações no tempo e no espaço e serve como base para os modelos de partículas (ver, por exemplo, Fischer, 1979). Em contraste com os modelos de partículas, existem modelos que resolvem numericamente a equação de transporte advectivo e difusivo de maneira convencional, isto é, através de esquemas baseados em métodos de diferenças finitas, volumes finitos ou elementos finitos. Estas aproximações conhecidas como modelagem euleriana fornecem diretamente os valores de concentrações e suas variações no espaço e no tempo em uma grade fixa, pré-definida. Este tipo de modelagem é inviável para o problema em questão devido às dimensões do domínio e as escalas envolvidas no transporte de óleo em bacias oceânicas.

Os modelos de partículas apresentam uma série de vantagens em relação aos modelos eulerianos, pois são capazes de representar os fenômenos de transporte e calcular a distribuição de massa do

contaminante de maneira acurada independentemente de uma grade, além de não estarem sujeitos a oscilações numéricas espúrias e efeitos de difusão numérica (ver por exemplo Andrade, 2006).

Enquanto os modelos eulerianos calculam diretamente os valores das concentrações, os modelos de partículas calculam a distribuição espacial de massa do contaminante representada por uma nuvem de partículas, sendo cada partícula uma representação discreta de uma parcela da massa total do contaminante no ambiente.

Se valores de concentração são requeridos, os resultados dos modelos de partículas precisam ser transformados e representados em uma grade. Como apresentado em Jong (2004), o OSCAR tem a vantagem em relação a outros modelos de partículas, pois permite essa transformação, inclusive fazendo a distinção entre as parcela da massa de óleo que está dissolvida, dispersa ou na superfície.

Existem várias maneiras de fazer essa transformação. A maneira mais simples é através da contagem de partículas que estão dentro das células da grade. Uma maneira mais avançada, que é a utilizada no OSCAR, é considerar a partícula como uma pequena nuvem que cresce com o tempo, usando funções de espalhamento gaussiano (ver por exemplo Andrade, 2006).

No OSCAR, a célula da grade em três dimensões é definida pelos espaçamentos meridional, zonal e vertical definidos pelo usuário. Embora os processos de mistura e de intemperismos do óleo estejam sendo resolvidos de maneira acurada e independentemente da grade, os resultados de concentração devem ser interpretados considerando o tamanho da célula da grade utilizada. Os resultados de concentração devem ser vistos como valores médios no volume definido pelas dimensões das células da grade. Sendo assim, plumas ou manchas de contaminantes que tenham dimensões inferiores às dimensões da grade estão sujeitos a uma “diluição numérica” artificial.

5. Óleo na Costa

Para modelagens probabilísticas, principalmente para vazamentos em áreas *offshore*, a prática atual é fazer uma aproximação de acumulação de óleo na costa através de uma estimativa das capacidades de armazenamento e remoção de óleo na costa derivadas empiricamente. Tal procedimento é utilizado na maioria dos modelos de transporte de óleo que incluem algum tipo de algoritmo de interação do óleo com a costa. (GUNDALACH & REED, 1986; GUNDALACH, 1987; FRENCH *et al.*, 1996; REED *et al.* 1999, 2000; CHENG *et al.*, 2000; FRENCH MCCAY, 2004 *apud* ETKIN *et al.*, 2007).

O modelo OSCAR incorpora uma dinâmica, relativamente simples, para simular as interações óleo-costa. Estes procedimentos representam uma simplificação dos conjuntos desenvolvidos para um modelo de derramamento de óleo em uma zona costeira mais complexa.

A partir de trabalhos científicos, grupos de capacidade máxima de absorção de óleo foram estimados juntamente com uma série de taxas de remoção. As capacidades de absorção destinam-se a refletir tanto a inclinação da costa como a sua permeabilidade, e em alguns casos, a exposição às ondas e aos ventos.

O volume máximo de óleo, V_{max} (m^3), quando há o encontro da mancha de óleo com a linha de costa, pode ser expresso como:

$$V_{max} = \delta_i L W_i \quad 5-1$$

Onde δ_i é a máxima capacidade de retenção por tipo de costa i , L é o comprimento da célula de praia e W_i é a largura da região de deposição por tipo de costa

Durante as simulações computacionais, se este volume máximo já estiver sido atingido, a massa de óleo que chega à costa não é mais depositada e o óleo continua a ser transportado pelos ventos e correntes para outras regiões:

O modelo também considera que ao longo da simulação uma quantidade de óleo vai sendo removida através da seguinte equação:

$$\Delta m = m_i (1 - \exp[-r_i \Delta t]) \quad 5-2$$

Onde Δm é a massa removida no passo de tempo Δt , m_i é a massa na célula de costa i , e r_i é a taxa de remoção de por tipo de costa i .

Na Tabela 2 são apresentadas as capacidades máximas de retenção e taxas de remoção do óleo do modelo para vários tipos de linha de costa.

Tabela 2: Capacidades máximas de retenção (mm) e taxas de remoção de óleo (por dia), para três classes de óleo e vários tipos de linha de costa.

	Manguezal / Barra de Rio Vegetada	Areia	Areia / Cascalho	Rocha protegida	Rocha exposta	Estrutura Artificial
Capacidade máxima de retenção (mm)						
$\mu < 30$ cP	70	30	70	5	5	1
$\mu < 2000$ cP	70	25	40	15	15	2
$\mu > 2000$ cP	70	20	30	20	20	5
Taxas de remoção de óleo (por dia)						
$\mu < 30$ cP	0,001	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5
$\mu < 2000$ cP	0,001	0,01	0,005	0,01	0,1	0,1
$\mu > 2000$ cP	0,001	0,01	0,005	0,01	0,1	0,1

6. Massa Máxima de Óleo na Costa

Para obter a massa máxima de óleo na costa, os elementos de grade são monitorados ao longo de toda a simulação. São armazenadas as informações de massa máxima de óleo que atingiram **cada elemento de grade** ao longo das n simulações. Ao final, têm-se um mapa das massas máximas por ponto de grade ou célula de costa que atingiram os elementos de grade que representam a costa.

Em seguida, é calculada a distribuição de massa ao longo da linha de costa considerando que o tamanho da linha de costa de cada ponto de grade é a sua diagonal. Assim se tem a quantidade de massa por unidade de comprimento (Ex: toneladas por quilômetro).

7. Blowout Submerso

Nos últimos anos diversos modelos foram desenvolvidos para simular o transporte de misturas de óleo e gás em águas profundas. Lindersen (2013) apresenta alguns desses modelos e as bases teóricas para os seus desenvolvimentos.

De maneira geral os modelos de *blowout* submerso levam em consideram três diferentes fases: A fase de jato, a fase de pluma e uma fase passiva com velocidade vertical controlada pelo tamanho das gotículas de óleo, conforme ilustrado na Figura 4.

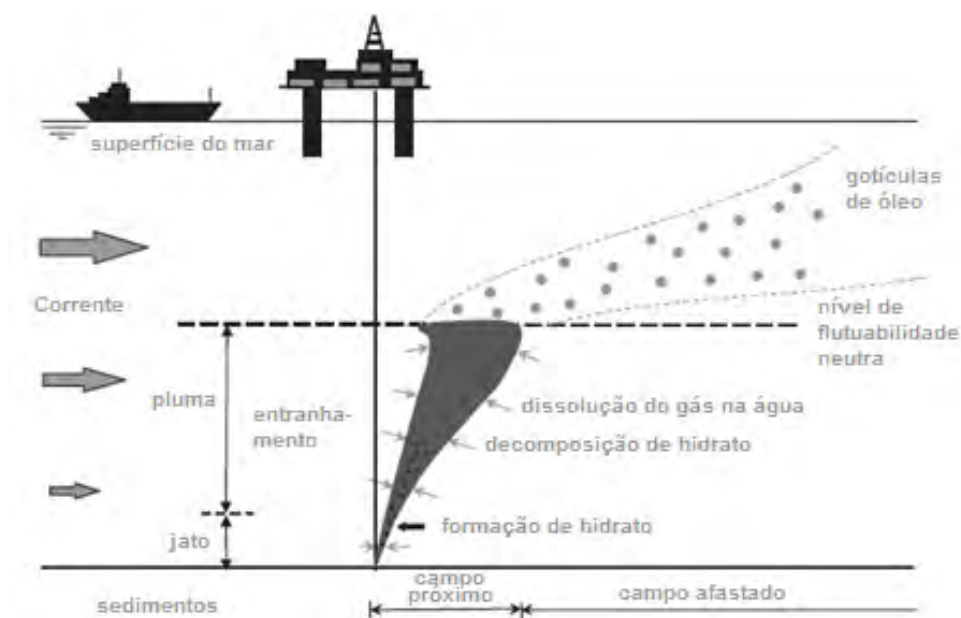


Figura 3: Esquema geral de plumas de *blowout* de óleo em profundidade. Adaptado de Lindersen (2013).

O modelo OSCAR contém um módulo específico para a modelagem de vazamentos de óleo em profundidade. Este módulo, chamado Plume3D, contém um modelo de pluma multifásico geral desenvolvido pela SINTEF, com acoplamento entre o campo próximo (*Near-Field*), que inclui as fases de jato e a fase de pluma, e o campo afastado (*Far-Field*), que permite o acompanhamento das gotículas dispersas, bolhas e partículas minerais decorrentes de descargas de óleo e gás oriundas do fundo do oceano. Detalhes sobre esse modelo podem ser encontradas em Johansen & Durgut (2006) e em Johansen *et al.* (2012).

Vazamentos de óleo e gás no fundo oceânico resultarão na formação de gotículas de óleo e bolhas de gás respectivamente. Na fase de jato os movimentos são dominados pelas correntes induzidas pelo próprio vazamento e o tamanho dessas bolhas e gotículas não são consideradas.

Na fase de pluma, as gotículas e bolhas de diversos tamanhos se movem em conjunto como uma mistura integral. Nesta fase, a dissolução dos gases, a formação de hidratos e o estranhamento de água do ambiente têm papel dominante na densidade da pluma, que por sua vez, controla o movimento vertical da pluma. Nesta fase, os tamanhos das gotículas e bolhas não afetam de maneira significativa o movimento da pluma. Aspectos importantes da fase de pluma em águas profundas, considerados no Plume3D são:

- Comportamento de gás não ideal;
- Dissolução de gás das bolhas para a água do ambiente;
- Efeito de correntes do ambiente;
- Formação e dissociação de Hidratos.

Após a fase de pluma é atingido o nível terminal da pluma dinâmica e inicia-se a fase passiva onde a velocidade vertical do óleo no ambiente é controlada pelo tamanho das gotículas de óleo formadas nas plumas. O Plume3d contém um algoritmo desenvolvido pela SINTEF para estimativa das distribuições do tamanho das gotículas de óleo a partir de experimentos realizados nos tanques dos laboratórios da SINTEF. Detalhes sobre esses experimentos podem ser encontrados em Brandvik *et al.* (2012).

A partir do nível terminal da pluma dinâmica a trajetória do óleo na coluna d'água é afetada pelo tamanho das gotículas de óleo formadas a partir do *blowout* em águas profundas. Como ilustração, considerando uma profundidade de 1.000 m, pequenas gotículas, com diâmetros inferiores a 0,5 mm, precisam de aproximadamente 1 dia para chegar a superfície. Na mesma situação, gotículas maiores, com diâmetro maiores que 5 mm, podem chegar a superfície em algumas poucas horas, enquanto que partículas menores do que 1.000 µm podem ficar retidas na coluna d'água por grandes períodos antes de chegarem a superfície. Além do tamanho das gotículas, fatores como correntes, turbulência vertical e estratificação vertical de densidade também são considerados na velocidade de subida dessas gotículas.

Detalhes sobre o algoritmo e as formulações utilizadas para cálculo da distribuição dos tamanhos das gotículas podem ser vistos em Brandvik *et al.* (2012) e Lindersen (2013).

O cálculo do tamanho das gotículas de óleo é feito em função de:

- Macro-características do óleo (viscosidade, densidade, etc);
- Dimensões do vazamento;

- Vazão do *blowout*;
- Correntes.

O acoplamento do Plume3D com o modelo de partículas lagrangiano do OSCAR permite um mapeamento tridimensional das partículas em cada instante e, conseqüentemente, o cálculo das concentrações de óleo na coluna d'água e espessuras de óleo em superfície, conforme ilustrado na Figura 4.

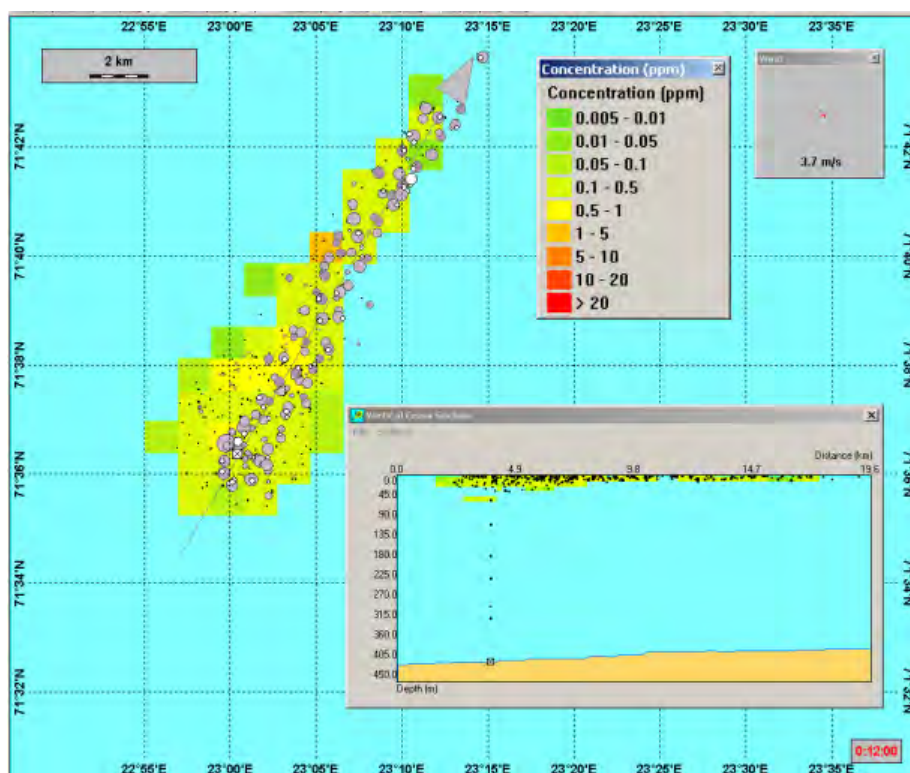


Figura 4: Ilustração de uma simulação de *blowout* no fundo oceânico com o OSCAR. O mapa mostra a distribuição de partículas representando o óleo em superfície (círculos em cinza) e as partículas representando o óleo na coluna d'água (pontos pretos e marrons).

8. Resumo dos Parâmetros Físicos e Numéricos

Os parâmetros físicos utilizados no modelo de dispersão de óleo são apresentados na Tabela 3 enquanto as constantes são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3: Parâmetros físicos e químicos utilizados no modelo de óleo.

Parâmetro	Descrição
w'	componente turbulenta
K	coeficiente de dispersão turbulenta

K_x	coeficiente de dispersão horizontal
H e H_b	altura de onda
$T(1)$	período de onda
x_{le}	largura da mancha de óleo
$\Delta\rho$	diferença entre as densidades da água e do óleo
m	1/2 da taxa de liberação de massa dividido pela corrente superficial
m_i	massa associada ao i-ésimo componente de vazamento
K_e	coeficiente de transferência de massa evaporada
$T(2)$	Temperatura do óleo
P_i	pressão de vapor para o i-ésimo componente
F_i	fração molar do i-ésimo componente remanescente na mancha
C_d	coeficiente de atrito entre a atmosfera e o ar
$U(t)$	velocidade do vento
Q_{di}	taxa de dispersão por unidade de área das gotículas de óleo
C^*	coeficiente de dispersão derivado empiricamente
D	energia da onda dissipada por unidade de área
S	fração da superfície do oceano coberta por óleo
F	fração da superfície do mar coberta pela arrebentação de ondas por unidade de tempo
d_i	diâmetro média das partículas na classe de tamanho i
Δd	intervalo do diâmetro das partículas
ν	viscosidade cinemática do óleo
e	taxa de dissipação de energia
$W(t)$	emulsificação
$W_m(t)$	teor máximo de água no óleo
$t_{1/2}$	tempo de meia-vida dependente do vento para emulsificação
t_{ref}	tempo de meia-vida de referência
tl_{ab}	média de valores de meia-vida encontrados em laboratório
K_d	coeficiente de transferência de massa por difusão
A	área superficial da mancha de óleo
S_i	solubilidade do componente i
C_i	concentração ambiente do componente i
Sh_i	Número de Sherwood
Re	Número de Reynolds
Sc_i	Número de Schmidt
U_{rel}	velocidade relativa entre o óleo e a água
L	extensão da mancha
D_i	difusividade molecular do componente i
C_w	concentração de equilíbrio de um poluente na fase aquosa
C_s	concentração de equilíbrio na fase sólida

C_{ss}	concentração de sedimentos suspensos
K_p	parâmetro dependente da temperatura, pH e das características físico-químicas do sólido adsorvido
A, B, a, b	constantes de correlação dependentes da estrutura do composto
$a'_{\mu, \rho, p}$	fatores de regressão
$b'_{\mu, \rho, p}$	fatores de regressão
ρ_o	densidade da água do óleo
D_k	coeficiente de difusão turbulenta para $k = x, y$ e z .
ρ_w	densidade da água
μ_w	viscosidade dinâmica da água
ν	viscosidade cinemática da água

Tabela 4: Constantes físicas utilizadas no modelo de óleo.

Constante	Valor	Descrição
K_z	10^{-4} m/s^2	coeficiente de dispersão vertical
g	$9,81 \text{ m/s}^2$	aceleração gravitacional
ν	$1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	viscosidade cinemática da água
R	$8,206 \times 10^{-5} \text{ atm} \cdot \text{m}^3/\text{mol} \cdot \text{K}$	constante universal dos gases
C	0,0323	constante
D	0,0474	constante
u_1	7	constante
u_2	20	constante
$C_o(2)$	500 a 3400	constante
a	2,5	constante empírica
b	0,654	constante empírica
C_{wind}	3,5%	coeficiente de arrasto do vento

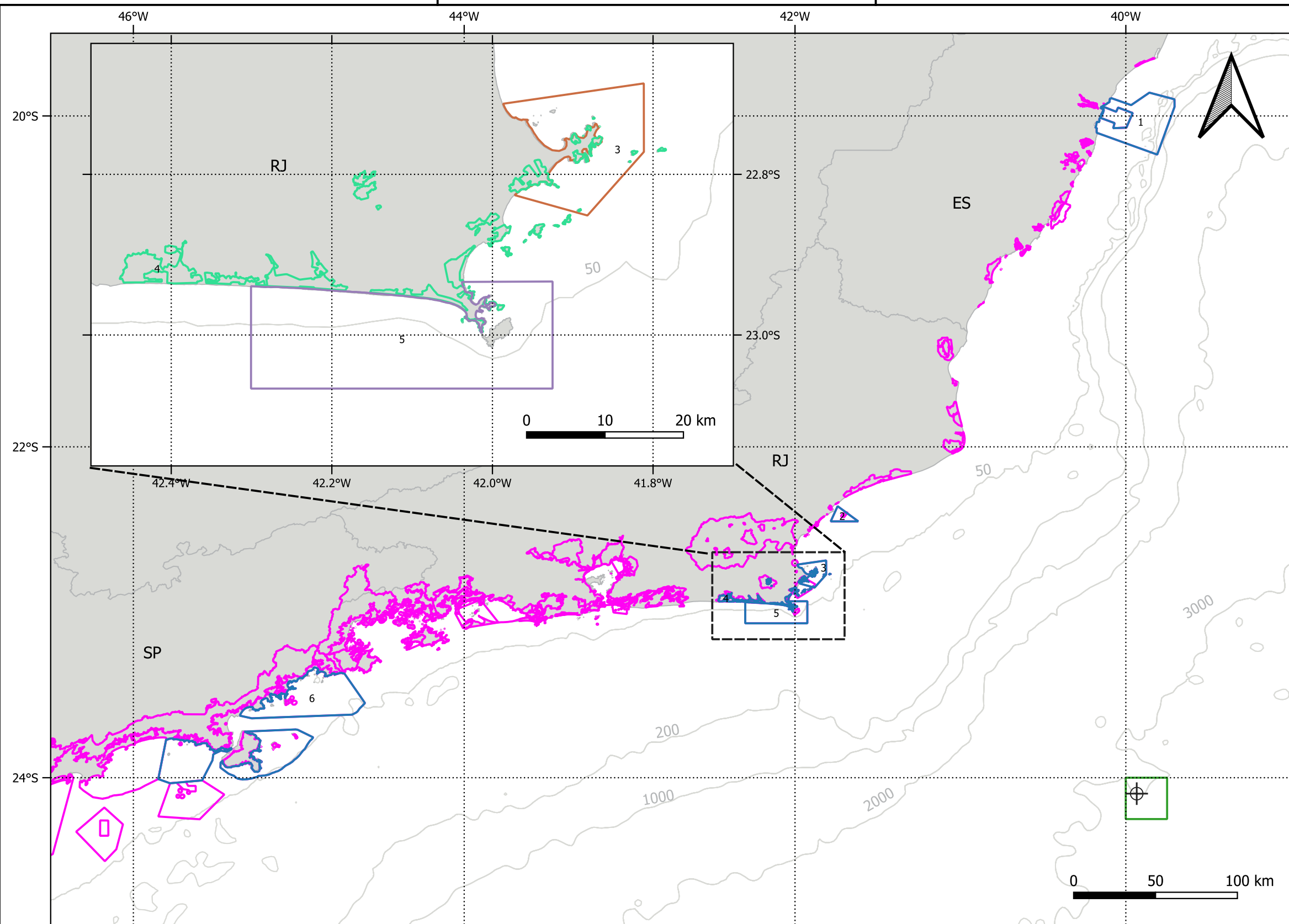
9. Bibliografia

- ANDRADE, R.C., 2006 Uma Nova Abordagem para a Solução Numérica de Problemas de Advecção e Difusão Multidimensional, em Corpos de Água Naturais. Tese de doutorado do Programa de Engenharia Oceânica – Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica – COPPE/UFRJ.
- BOWDEN, K.F. 1983. Physical oceanography of coastal waters. John Wiley, NY, 302 p.
- BRANDVIK, P., JOHANSEN, Ø., LEIRVIK, F., FAROOQ, U. and DALING, P. (2012). Droplet breakup in sub-surface oil releases - Part 1: Experimental study of droplet breakup and effectiveness of dispersant injection, Submitted to Marine Pollution Bulletin October 2012 .
- DELVIGNE, G. A. L.; SWEENEY, C. E.. Natural dispersion of Oil. Oil & Chemical Pollution 4 (1988) 281-310.
- ETKIN, D.S., FRENCH-MCCAY, D.; MICHEL, J. 2007. Review of the State-of-the-Art on Modeling Interactions between Spilled Oil and Shorelines for the Development of Algorithms for Oil Spill Risk Analysis Modeling. Available from BOEM Environmental Division, Branch of Environmental Sciences. OCS Study MMS 2007-063. 161 p.
- FISCHER, H. B.; LIST, E. J.; KOH, R. C. Y.; IMBERGER, J.; BROOKS, N.,1979. Mixing in Inland and Coastal Waters., Academic Press, New York,1979
- HOULT, D. P. Oil spreading on the sea. Annual Review of Fluid Mechanics, p. 341-367, 1972.
- JOHANSEN, Ø. 2000. DeepBlow – A Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts. Spill Science & Technology Bulletin. Vol. 6, No. 2: 103 – 111.
- JOHANSEN, Ø. and DURGUT, I. (2006). Implementation of the near-field module in theERMS model, Technical report, SINTEF.
- JONG, K, 2004 A Comparison of Four Particle Models. A Comparison of DemWaq, DREAM, GNOME, and SIMPAR. Ministeriere Van Verkeer en Waterstraat.
- LINDERSEN, P, J, B, 2013. Modelling of Subsurface Releases of Oil and Gas. Master's Thesis. Norwegian University of Science and Technology. Department of Chemical Engineering. Trondheim, Norway.
- MACKAY, D., I. BUIST, R. MASCARENHAS & S. PATERSON. 1980. Oil Spill Processes and Models. Environmental Protection Service. Canada. Report EE-8.
- REED, M. 2001. Technical Description and Verification Tests of OSCAR 2000, a Multi-Component 3-Dimensional Oil Spill Contingency And Response Model. SINTEF Report. 52p.

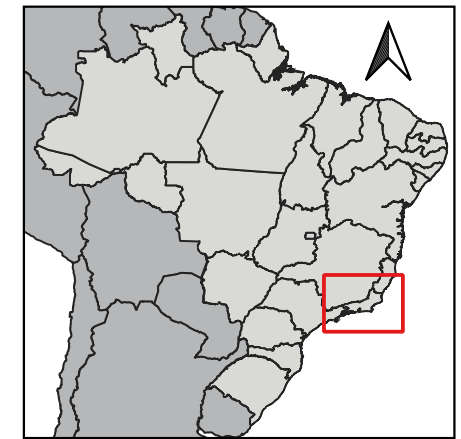
- REED, M., AAMO, O. M., DOWNING, K. (1996): Calibration and Testing of IKU's Oil Spill Contingency and Response (OSCAR) Model System. Proceedings of the 1996 Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, pp.689-726.
- REED, M.; DALING, P.; LEWIS, A.; DITLEVSEN, M. K.; BRØRS, B.; CLARK, J.; AURAND, D. 2004. Modelling of dispersant application to oil spills in shallow coastal waters. Environmental Modelling & Software, v. 19, p. 681-690.
- REED, M. 2000; SINGSAAS, I.; DALING, P.S; FAKNES, L; BRAKSTAD, O.G.; HETLAND, B. A.; HOKSTAD, J. 2000. Modeling the Water-Accommodated Fraction in OSCAR2000. In: 2001 International Oil Spill Conference. Computer Technology and Oil Spills. SINTEF Report. pp.1083-1091.
- REED, M.; JOHANSEN, Ø.; BRANDVIK, P. J.; DALING, P.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. 1999. Oil Spill Modelling towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art. Spill Science and Technology Bulletin, 5 (1): pp 3-16.
- SEBASTIÃO, P.; SOARES, C. G. 1995. Modeling the Fate of Oil Spills at Sea. Spill Science and Technology Bulletin, 2 (2): pp 121-131.

- ANEXO II -

Mapa com Unidades de Conservação Consideradas
no Estudo



1	APA Costa das Algas
2	APA do Arquipélago de Santana
3	APA Marinha da Armação de Búzios
4	PE da Costa do Sol
5	RESEX Marinha Arraial do Cabo
6	APA Marinha do Litoral Norte





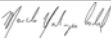
Legenda

Ponto de Vazamento

Bloco C-M-715

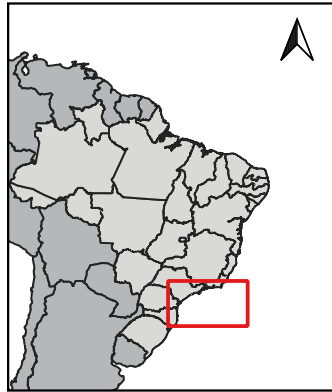
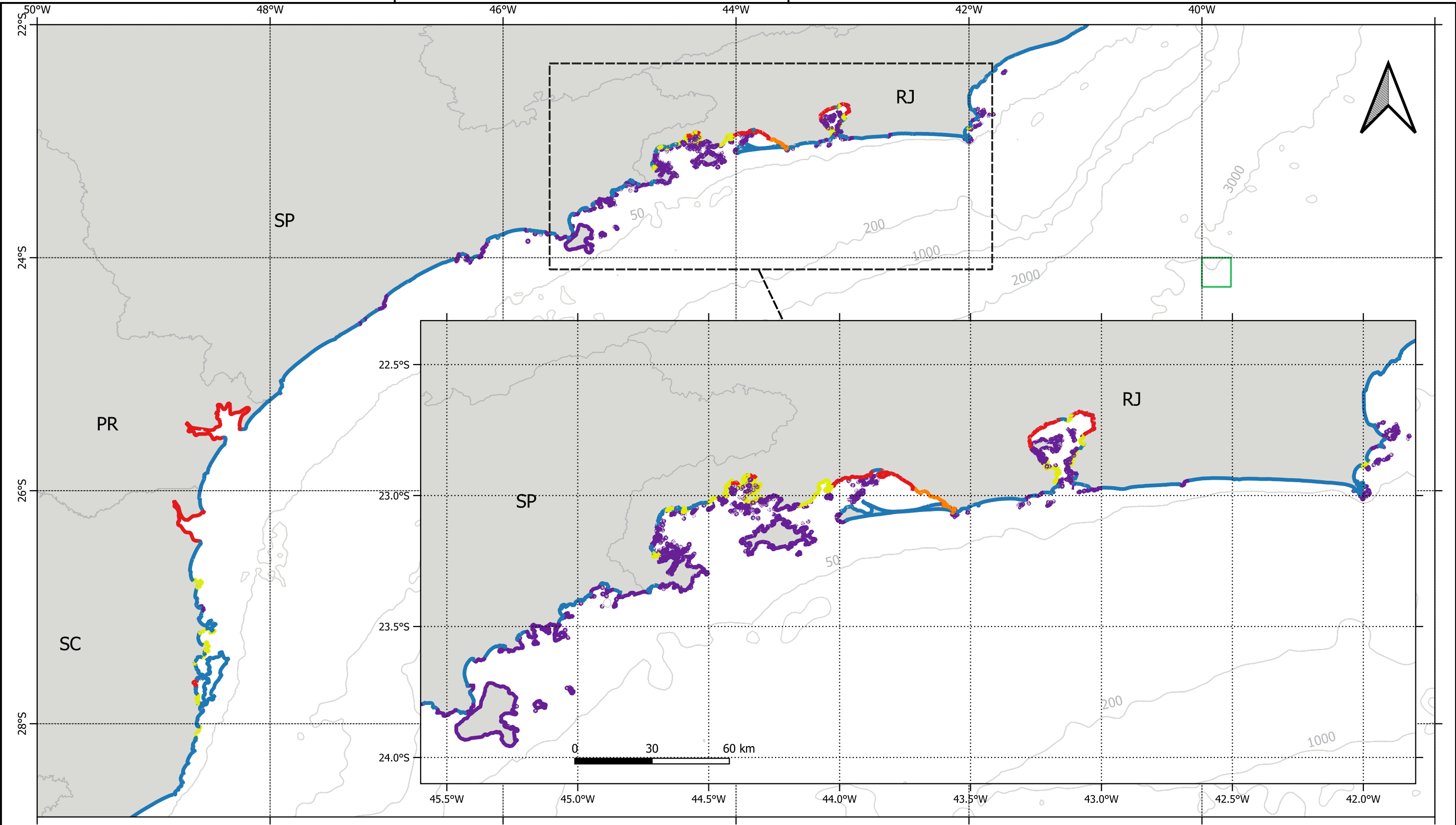
Unidades de Conservação com probabilidades de chegada de óleo

Unidade de Conservação da região

EMPRESA: 		CLIENTE: 	
EMREENDIMENTO: Atividade de Exploração Marítima no Bloco C-M-715.		Número de Referência:	
PROJETO:Relatório Técnico de Modelagem de Transporte de Óleo		ÁREA: BACIA DE CAMPOS	
TÍTULO: Unidades de Conservação que apresentaram probabilidade de presença de óleo na modelagem de dispersão de óleo no Bloco C-M-715.			
Sist. de Coord.SIRGAS 2000	EXEC.: Ingrid Trindade / Henery Garção	VERIF.:Marcelo Cabral	APROV.: Marcelo Cabral
ESCALA:0 20 40 km 	REV.:	DESC.:Emissão Original	FOLHA:
DATA: 06/2022	Ass: 	N.º PROOCEANO_MO_2021	

- ANEXO III -





Mapa com Detalhamento de Linha de Costa
Utilizado para a Definição da Grade do Modelo do
OSCAR



Tipos de Costa

- Costão Rochoso
- Praia Arenosa
- Recifes
- Planície de Maré
- Manguezal / Barra de Rio Vegetada

- Ponto de Descarte
- Bloco C-M-715

EMPRESA: 		CLIENTE: 	
EMREENDIMENTO: Atividade de Exploração Marítima no Bloco C-M-715.		Número de Referência:	
PROJETO: Relatório Técnico de Modelagem de Transporte de Óleo		ÁREA: BACIA DE CAMPOS	
TÍTULO: Detalhamento da linha de costa considerada na modelagem de dispersão de óleo no Bloco C-M-715.			
Sist. de Coord. SIRGAS 2000	EXEC.: Ingrid Trindade / Henery Garção	VERIF.: Marcelo Cabral	APROV.: Marcelo Cabral
ESCALA: 0 30 60 km 	REV.:	DESC.: Emissão Original	FOLHA:
DATA: 06/2022	Ass: 	N.º PROOCEANO_MO_2021	

- ANEXO IV -

Justificativa do Volume de Pior Caso

Justificativa do Volume de Pior Caso

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

Preparado por:

Prooceano

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 - Centro
CEP 20.040-009 - Rio de Janeiro - RJ
Tel./Fax + 55 21 2532.5666

© PROOCEANO 2022

The copyright in this document is vested in Prooceano. This document may only be reproduced in whole or in part, or stored in a retrieval system, or transmitted in any form, or by any means electronic, mechanical, photocopying or otherwise, with the prior permission of PROOCEANO.

Os direitos autorais deste documento são propriedade da PROOCEANO. Este documento somente poderá ser reproduzido inteiro ou em partes, ou armazenado, ou transmitido em qualquer forma, ou por quaisquer meios: eletrônico, mecânico, fotocópia ou qualquer outro modo, com a permissão prévia da PROOCEANO.

Sumário

1. Introdução.....	3
2. Objetivos	3
3. Premissas adotadas.....	3
4. Dado de entrada para a Modelagem do Poço	4
5. Taxa / Volume de derramamento estimado	5

1. Introdução

O presente relatório apresenta o descritivo do cálculo do volume de pior caso considerado no estudo da modelagem de dispersão de óleo para o ponto de risco no Bloco C-M-715. O descritivo é apresentado no arquivo “*Justification of Oil Spill Volume – Brazil CM715.docx*” enviado pela empresa Petronas.

2. Objetivos

O objetivo do estudo foi calcular o volume de um possível derramamento de óleo, caso haja um *blowout* durante a perfuração de um poço, no ponto de risco no Bloco C-M-715 (Prospecto Foca), considerando o pior cenário possível.

3. Premissas adotadas

Considerando o contexto exploratório da área de interesse, as premissas adotadas para este estudo foram:

- Coluna d’água de ~3.040 m;
- Supõe-se que o derramamento de óleo ocorra durante a perfuração ao nível do fundo do mar (BOP);
- O diâmetro interno do poço é principalmente 14” de diâmetro interno (12,376”);
- Fluxo através de furo aberto e revestimento para BOP no fundo do mar;
- Sem bloqueios por formação de hidratos ou depósito de asfaltenos;
- Propriedades do reservatório de acordo com o prognóstico do cenário otimista;
- Propriedades do fluido do reservatório de acordo com o prognóstico do cenário mais provável;
- Supõe-se que o blowout ocorra durante a perfuração da seção de poço aberto de 12-1/4”, quando a perfuração atinge 50% do intervalo ou intervalos de rochas reservatório saturados por petróleo e/ou gás (net pay);
- A depleção do reservatório não é considerada. Supõe-se que o reservatório produzirá a mesma taxa diária durante o período avaliado (esta abordagem leva a uma vazão potencial maior do que ocorreria em um cenário real).

4. Dado de entrada para a Modelagem do Poço

Os seguintes dados de entrada relacionados aos Parâmetros do Reservatório, Parâmetros do Fluido do Reservatório e Configuração do Poço foram considerados para modelagem do poço e cálculo do volume:

Parâmetros esperados do Reservatório

Parâmetros do Reservatório	Valor
Pressão Inicial (Pa)	6,1363x10 ⁷
Temperatura (°C)	72
Espessura líquida – 50% (m)	60,3
Permeabilidade (mD)	180

Parâmetros esperados do Fluido do Reservatório

Parâmetro de Fluido	Valor
Grau API (°)	33
RGO (m3/m3)	285
FVF do óleo (rb/std @ Pi)	1,82

Parâmetros de configuração / modelagem do poço

Parâmetro de Fluido	Valor
THP (Pa) - Vazamento de fundo (BOP)	29,64x10 ⁶
	14"115ppf
	Identificação do
Configuração do poço	revestimento:
	12,375"
	Poço aberto de
	12-¼"
Skin	5
Raio da drenagem (m)	1000

5. Taxa / Volume de derramamento estimado

A descarga resultante é estimada em: 9.257 m³/d e 2,6 MM m³/d de óleo e gás, respectivamente. O volume total acumulado de óleo após 30 dias é estimado em 277.697 m³.

- ANEXO V -

Cadastro Técnico Federal da Equipe Técnica

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
3790998	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 116.991.707-03 Nome: HENERY FERREIRA GARÇÃO Endereço: logradouro: RUA JORNALISTA ANTONIO RODRIGUES DA COSTA N.º: 17 Complemento: QUADRA 230 Bairro: ITAIPU Município: NITEROI CEP: 24342-400 UF: RJ			
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		UCDGBEPJ6LK9KVU2	



Ministério do Meio Ambiente
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR



Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
8046102	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022

Dados básicos:

CPF: 161.805.467-89
Nome: INGRID TRINDADE DA SILVA

Endereço:

logradouro: RUA VOLUNTÁRIOS DA PÁTRIA
N.º: 98 Complemento: APTO 113
Bairro: BOTAFOGO Município: RIO DE JANEIRO
CEP: 22270-010 UF: RJ

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA

Código CBO	Ocupação	Área de Atividade
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria

Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.

A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.

O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.

O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.

Chave de autenticação	RJ7MQKSGBP6T6SF5
------------------------------	------------------

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
210325	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 032.928.877-63 Nome: JÚLIO AUGUSTO DE CASTRO PELLEGRINI Endereço: logradouro: RUA CESÁRIO ALVIM N.º: 55 Complemento: 806-A Bairro: HUMAITÁ Município: RIO DE JANEIRO CEP: 22261-030 UF: RJ			
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2134-05	Geólogo	Prestar assessoria e consultoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		S1DH6CF4K48S556P	

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
5621594	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CPF: 890.313.184-34			
Nome: MARCELO MONTENEGRO CABRAL			
Endereço:			
logradouro: RUA EUCLIDES DA CUNHA			
N.º: 255	Complemento: 507-2		
Bairro: SÃO CRISTÓVÃO	Município: RIO DE JANEIRO		
CEP: 20940-060	UF: RJ		
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código CBO	Ocupação	Área de Atividade	
2142-40	Engenheiro Civil (Hidráulica)	Prestar consultoria, assistência e assessoria	
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa física está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa física, do cumprimento de exigências específicas de qualificação ou de limites de atuação que porventura sejam determinados pelo respectivo Conselho de Fiscalização Profissional.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa física inscrita.</p>			
Chave de autenticação		ZEKUTXI4W4MCNGG7	

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE - CR </div>  </div>			
Registro n.º	Data da consulta:	CR emitido em:	CR válido até:
201344	29/07/2022	29/07/2022	29/10/2022
Dados básicos:			
CNPJ : 04.001.949/0001-67 Razão Social : PROOCEANO SERVIÇO OCEANOGRÁFICO E AMBIENTAL LTDA Nome fantasia : PROOCEANO Data de abertura : 01/07/2000			
Endereço:			
logradouro: AV. RIO BRANCO N.º: 311 Complemento: SALA 1205 Bairro: CENTRO Município: RIO DE JANEIRO CEP: 20040-009 UF: RJ			
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA			
Código	Atividade		
0003-00	Consultoria técnica		
<p>Conforme dados disponíveis na presente data, CERTIFICA-SE que a pessoa jurídica está em conformidade com as obrigações cadastrais do CTF/AIDA.</p> <p>A inscrição no Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental – CTF/AIDA constitui declaração, pela pessoa jurídica, de observância dos padrões técnicos normativos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO e pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA.</p> <p>O Certificado de Regularidade emitido pelo CTF/AIDA não desobriga a pessoa inscrita de obter licenças, autorizações, permissões, concessões, alvarás e demais documentos exigíveis por instituições federais, estaduais, distritais ou municipais para o exercício de suas atividades, especialmente os documentos de responsabilidade técnica, qualquer o tipo e conforme regulamentação do respectivo Conselho de Fiscalização Profissional, quando exigíveis.</p> <p>O Certificado de Regularidade no CTF/AIDA não produz qualquer efeito quanto à qualificação e à habilitação técnica da pessoa jurídica inscrita.</p>			
Chave de autenticação		29E2X6RGP9YTZW4	