

**Atividade de Perfuração Marítima
no Bloco FZA-M-59
Bacia da Foz do Amazonas**

**Modelagem de Derrame de Óleo no Mar para o
Bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas**

Volume Único

Revisão 00

Novembro/2022



SMS/LCA/LIE&P-FC

ÍNDICE GERAL

I.INTRODUÇÃO	1
II.SOBRE A MODELAGEM COMPUTACIONAL.....	3
III.MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	4
III.1.DOMÍNIO E RESOLUÇÃO DO MODELO.....	4
III.2.CONDIÇÕES INICIAIS	6
III.3.CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	10
III.3.1.Condição de Contorno de Fundo	10
III.3.2.Condição de Contorno de Superfície	14
III.3.3.Condição de Contorno Laterais.....	23
III.3.4.Maré24	
III.3.5.Descarga Fluvial	33
III.4.RESULTADOS.....	36
III.5.AVALIAÇÃO DO MODELO	44
III.5.1.Maré44	
III.5.2.Temperatura da Superfície do Mar	53
III.5.3.Estrutura termohalina	62
III.5.4.Correntes	67
III.5.4.1. ...Correntes em Superfície	67
III.5.4.2. ...Correntes em Profundidade	76
III.6.ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS BASES HIDRODINÂMICAS (2015 X 2022)	83
III.6.1.Domínio e Resolução do Modelo	83
III.6.2.Condições Iniciais e de Contornos.....	84
III.6.3.Avaliação dos resultados (2015 x 2022)	88
III.6.3.1. ...Maré	88
III.6.3.2. ...Estrutura Termohalina.....	88
III.6.3.3. ...Correntes.....	90
III.7.BIBLIOGRAFIA.....	99
IV.MODELAGEM DE DERRAME DE ÓLEO NO MAR	103
IV.1.DESCRICÃO DAS GRADES.....	104
IV.2.ESTRATÉGIAS DE MODELAGEM	108
IV.2.1.Cenários de vazamento	108

IV.2.2.Limiaries ambientais.....	109
IV.2.3.Características do óleo.....	110
IV.2.4.Parâmetros do modelo.....	113
IV.3.RESULTADOS.....	114
IV.3.1.Modos probabilísticos.....	117
IV.3.1.1. Vazamento de 8 m ³	117
IV.3.1.1.1.Período 1.....	118
IV.3.1.1.2.Período 2.....	121
IV.3.1.1.3.Integração.....	124
IV.3.1.2. Vazamento de 200 m ³	125
IV.3.1.2.1.Período 1.....	127
IV.3.1.2.2.Período 2.....	135
IV.3.1.2.3.Integração.....	142
IV.3.1.2.4.Tabelas Comparativas.....	145
IV.3.1.3. Vazamento de Pior Caso.....	146
IV.3.1.3.1.Período 1.....	148
IV.3.1.3.2.Período 2.....	161
IV.3.1.3.3.Integração.....	173
IV.3.1.3.4.Tabelas Comparativas.....	180
IV.3.2.Modos determinísticos.....	181
IV.3.2.1. Menor tempo de chegada de óleo na costa.....	181
IV.3.2.2. Maior massa de óleo acumulada na costa.....	198
IV.4.ANÁLISE COMPLEMENTAR DOS RESULTADOS.....	215
IV.4.1.Análise comparativa dos resultados da modelagem de óleo com derivadores.....	215
IV.4.2.Análise comparativa dos resultados das modelagens de dispersão de óleo (2015 x 2022).....	224
IV.5.CONCLUSÃO.....	242
IV.6.BIBLIOGRAFIA.....	245
EQUIPE TÉCNICA.....	1

TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela I-1 – Coordenadas geográficas (datum SIRGAS 2000) do ponto de risco de vazamento consideradas na modelagem de derrame de óleo no mar.	2
Tabela III.3.1-1 – Cartas Náuticas digitalizadas para obtenção da batimetria utilizada no modelo.	11
Tabela III.5.4.1-1 – Estações utilizadas pelo Mercator, que se encontram no domínio de modelagem.	35
Tabela III.5.1-1 – Comparação estatística entre os dados de elevação do ROMS e os dados medidos.	53
Tabela III.5.2-1 – Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo no Bloco FZA-M-59..	62
Tabela III.5.3-1 – Valores de bias (modelo - dado) médio anual de temperatura e salinidade em profundidade e integrado verticalmente para o Bloco FZA-M-59..	66
Tabela III.5.4.1-1 – Datas e coordenadas dos pontos iniciais e finais das trajetórias dos derivadores.	68
Tabela III.5.4.1-2 – Índice de Willmott das comparações modelo/derivadores.	72
Tabela III.6.3.1-1 - Comparação estatística entre os dados de elevação das bases hidrodinâmicas de 2015 e 2022 e os dados medidos.	88
Tabela III.6.3.2-1 - Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo no Bloco FZA-M-59 para cada base hidrodinâmica.	89
Tabela III.6.3.3-1 - Índice de Willmott das comparações modelos/derivadores.	93
Tabela IV-1 – Resumo dos cenários de vazamento simulados no estudo.	104
Tabela IV.2.3-1 - Características do óleo escolhido no banco de dado do OSCAR.	111
Tabela IV.2.4-2 – Parâmetros numéricos utilizados no modelo de óleo.	113
Tabela IV.3.1.2.4-1 – Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada, massa máxima de óleo e extensão na costa para as localidades que podem ser atingidos em um evento de 200 m ³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.	145

Tabela IV.3.1.3.4-1 – Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada, massa máxima de óleo e extensão na costa para as localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m ³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.	180
Tabela IV.3.2-1 - Informações da simulação determinística crítica considerada para um evento de pior caso a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59.	181
Tabela IV.3.2.1-1 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de menor tempo.	182
Tabela IV.3.2.1-2 - Estatística do vento para o período da condição crítica de menor tempo.	182
Tabela IV.3.2.1-3 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de menor tempo.	183
Tabela IV.3.2.1-4 - Estatística de corrente para o período da condição crítica de menor tempo.	183
Tabela IV.3.2.1-5 - Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais em condição crítica de tempo mínimo.	197
Tabela IV.3.2.1-6 - Área em superfície impactada, massa de óleo em superfície e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação.	198
Tabela IV.3.2.2-1 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de maior massa.	199
Tabela IV.3.2.2-2 - Estatística do vento para o período da condição crítica de maior massa.	199
Tabela IV.3.2.2-3 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de maior massa.	200
Tabela IV.3.2.2-4 - Estatística de corrente para o período da condição crítica de maior massa.	200
Tabela IV.3.2.2-5 - Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais.	212
Tabela IV.3.2.2-6 - Área em superfície impactada, massa de óleo em superfície e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação.	213

Tabela IV.4.1-1 – Informações sobre o lançamento dos derivadores analisados.	219
Tabela IV.4.2-1 – Tabela comparativa dos resultados da modelagem de 2015 e 2022. Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada, massa máxima de óleo e extensão na costa para as localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m ³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.	229
Tabela IV.4.2-2 – Tabela comparativa dos resultados da modelagem de 2015 e 2022. Probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada nas ZEE das localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m ³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.	230
Tabela IV.4.2-3 – Tabela comparativa dos resultados da modelagem de 2015 e 2022. Probabilidade de presença de óleo no fundo marinho nas ZEE das localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m ³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.	230

FIGURAS

FIGURA	PÁG
Figura III.1-1 – Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico.	5
Figura III.1-2 – Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo.	6
Figura III.2-1 – Campo de temperatura superficial (°C) do Mercator no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.	8
Figura III.2-2 – Campo de salinidade superficial (psu) do Mercator no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.	8
Figura III.2-3 – Campo de elevação de superfície livre (m) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.	9
Figura III.2-4 – Campo de correntes superficiais (m/s) do Mercator no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.	9
Figura III.3-1 – Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.	10
Figura III.3.1-1 – Carta náutica 21200 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.	11
Figura III.3.1-2 – Carta náutica 21300. da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil	12
Figura III.3.1-3 – Carta náutica 21400. da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil	12
Figura III.3.1-4 – Carta náutica 40. da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil	13
Figura III.3.1-5 – Batimetria da grade do modelo numérico.	13
Figura III.3.2-1 – Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	16
Figura III.3.2-2 – Campo médio dos dados de precipitação do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	17
Figura III.5.4.1-3 – Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	18

Figura III.3.2-4 – Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	19
Figura III.3.2-5 – Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	20
Figura III.3.2-6 – Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	21
Figura III.3.2-7 – Campo médio dos dados de vento do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).	22
Figura III.3.3-1 – Variação da energia cinética média ao longo da simulação.	24
Figura III.3.4-1 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2: TPX08.	25
Figura III.3.4-2 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte: TPX08.	26
Figura III.3.4-3 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte: TPX08.	27
Figura III.3.4-4 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte: TPX08.	28
Figura III.3.4-5 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte: TPX08.	29
Figura III.3.4-6 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte: TPX08.	30
Figura III.3.4-7 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte: TPX08.	31
Figura III.3.4-8 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte: TPX08.	32
Figura III.3.5-1 – Estações utilizadas no Mercator obtidas de Dai & Trenberth (2002) que se encontram no domínio de modelagem.	34
Figura III.3.5-2 – Campo médio de salinidade superficial obtido do ROMS para mês de maio de 2013.	36
Figura III.4-1 – Diagrama esquemático das correntes superficiais e subsuperficiais do Oceano Atlântico Tropical. Fonte: Neto (2005).	37
Figura III.4-2 – Campo médio de circulação para o mês de janeiro.	38

Figura III.4-3 Campo médio de circulação para o mês de fevereiro.	38
Figura III.4-4 - Campo médio de circulação para o mês de março.	39
Figura III.4-5 - Campo médio de circulação para o mês de abril.	39
Figura III.4-6 - Campo médio de circulação para o mês de maio.	40
Figura III.4-7 - Campo médio de circulação para o mês de junho.	40
Figura III.4-8 - Campo médio de circulação para o mês de julho.	41
Figura III.4-9 - Campo médio de circulação para o mês de agosto.	41
Figura III.4-10 - Campo médio de circulação para o mês de setembro.	42
Figura III.4-11 - Campo médio de circulação para o mês de outubro.	42
Figura III.4-12 - Campo médio de circulação para o mês de novembro.	43
Figura III.4-13 - <i>Campo médio de circulação para o mês de dezembro.</i>	43
Figura III.5.1-1 - Localização das estações da FEMAR utilizadas para comparação de maré.	45
Figura III.5.1-2 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Paracurú-CE e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).	46
Figura III.5.1-3 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Luiz Correia-PI e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).	47
Figura III.5.1-4 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Mangunça-MA e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).	48
Figura III.5.1-5 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Ilha dos Irmãos e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).	49
Figura III.5.1-6 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR do Cabo Maguari e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).	50
Figura III.5.1-7 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Plataforma Penrod e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e	51

para um período de 30 dias (inferior).	
Figura III.5.1-8 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Ponta dos Índios-AP e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).	52
Figura III.5.2-1 – TSM média para janeiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	55
Figura III.5.2-2 – TSM média para fevereiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	55
Figura III.5.2-3 – TSM média para março de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	56
Figura III.5.2-4 – TSM média para abril de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	56
Figura III.5.2-5 – TSM média para maio de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	57
Figura III.5.2-6 – TSM média para junho de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	57
Figura III.5.2-7 – TSM média para julho de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	58
Figura III.5.2-8 – TSM média para agosto de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	58
Figura III.5.2-9 – TSM média para setembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	59
Figura III.5.2-10 – TSM média para outubro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	59
Figura III.5.2-11 – TSM média para novembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).	60
Figura III.5.2-12 – TSM média para dezembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo -	60

Dado).	
Figura III.5.2-13 – Série de TSM do MUR e do ROMS e do bias (modelo - dado) no Bloco FZA-M-59.	62
Figura III.5.3-1 – Localização do ponto de grade do WOA (ponto vermelho) utilizado para a comparação.	64
Figura III.5.3-2 – Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13-V2 ao longo das profundidades para a região do Bloco FZA-M-59..	65
Figura III.5.3-3 – Perfil vertical de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (vermelho) e pelo modelo ROMS (preto), considerando todo o período de modelagem, na região do Bloco FZA-M-59.	66
Figura III.5.4.1-1 – Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).	69
Figura III.5.4.1-2 – Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita)	69
Figura III.5.4.1-3 – Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).	70
Figura III.5.4.1-4 – Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).	70
Figura III.5.4.1-5 – Trajetória descrita pelo derivador 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).	71
Figura III.5.4.1-6 – Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).	71
Figura III.5.4.1-7 – Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica (acima) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 1 (dezembro a junho).	74
Figura III.5.4.1-8 – Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica (acima) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 2 (julho a novembro).	75
Figura III.5.4.2-1 – Localização do fundeio FZA3000 cujos dados foram utilizados (vermelho). Os pontos do ROMS estão sobrepostos na figura devido a resolução espacial da grade e a sua proximidade.	77
Figura III.5.4.2-2 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 28 m de	78

profundidade.	
Figura III.5.4.2-3 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 52 m de profundidade.	78
Figura III.5.4.2-4 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 105 m de profundidade.	78
Figura III.5.4.2-5 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 153 m de profundidade.	79
Figura III.5.4.2-6 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 201 m de profundidade.	79
Figura III.5.4.2-7 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 297 m de profundidade.	79
Figura III.5.4.2-8 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 409 m de profundidade.	80
Figura III.5.4.2-9 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 642 m de profundidade.	80
Figura III.5.4.2-10 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 1.032 m de profundidade.	80
Figura III.5.4.2-11 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 1.521 m de profundidade.	81
Figura III.5.4.2-12 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 2.495 m de profundidade.	81
Figura III.5.4.2-13 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 3.068 m de profundidade.	81
Figura III.6.1-1 - Regiões de modelagem. Os polígonos azul e vermelho pontilhado representam os limites da grade do modelo hidrodinâmico implementado em 2015 e 2022, respectivamente.	83
Figura III.6.2-1 - Localização dos pontos de grade do ERA5 (vermelho) e do NCEP R1 (azul).	85

Figura III.6.2-2 – Campo médio sazonal (Período 1) dos dados de vento utilizados como forçante na base hidrodinâmica implementada em 2015 – NCEP R1 (acima) e em 2022 – ERA5 (abaixo), interpolados para grade do ROMS.	86
Figura III.6.2-3 – Campo médio sazonal (Período 2) dos dados de vento utilizados como forçante na base hidrodinâmica implementada em 2015 – NCEP R1 (acima) e em 2022 – ERA5 (abaixo), interpolados para grade do ROMS.	87
Figura III.6.3.2-1 - Séries temporais de TSM e bias para o ponto de grade mais próximo ao Bloco FZA-M-59. Em vermelho (azul) são apresentados os resultados extraídos da base de 2015 (2022) e em verde os dados satelitais do MUR.	89
Figura III.6.3.2-2 – Perfil vertical de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (vermelho) e pela base hidrodinâmica implementada em 2015 (verde) e 2022 (azul), considerando todo o período de modelagem, na região do Bloco FZA-M-59.	90
Figura III.6.3.3-1 - Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica de 2015 (acima), de 2022 (centro) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 1 (dezembro a junho).	91
Figura III.6.3.3-2 - Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica de 2015 (acima), de 2022 (centro) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 2 (julho a novembro).	92
Figura III.6.3.3-3 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 28 m de profundidade.	95
Figura III.6.3.3-4 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 52 m de profundidade.	95
Figura III.6.3.3-5 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 105 m de profundidade.	95
Figura III.6.3.3-6 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 153 m de profundidade.	96
Figura III.6.3.3-7 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 201 m de profundidade.	96
Figura III.6.3.3-8 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 297 m de profundidade.	96

Figura III.6.3.3-9 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 409 m de profundidade.	97
Figura III.6.3.3-10 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 642 m de profundidade.	97
Figura III.6.3.3-11 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 1.032 m de profundidade.	97
Figura III.6.3.3-12 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 1.521 m de profundidade.	98
Figura III.6.3.3-13 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 2.495 m de profundidade.	98
Figura III.6.3.3-14 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 3.068 m de profundidade.	98
Figura IV.1-1- Representação do limite da grade de óleo (linha tracejada em vermelho).	105
Figura IV.1-2- A grade de batimetria utilizada na simulação.	106
Figura IV.3-1 - Exemplos de quatro trajetórias de derramamentos individuais para um cenário de vazamento genérico (à esquerda). Centenas de trajetórias individuais são sobrepostas umas sobre as outras, como mostrado à direita para calcular os resultados estocásticos (probabilidade, tempos mínimos de chegada, massa máxima de óleo encahado na costa, etc.).	115
Figura IV.3.1.1.1-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 8 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	118
Figura IV.3.1.1.1-2 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para o vazamento de 8 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	119
Figura IV.3.1.1.1-3 – Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	120
Tabela IV.3.1.1.1-4 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	120

Figura IV.3.1.1.2-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	121
Figura IV.3.1.1.2-2 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	122
Figura IV.3.1.1.2-3 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	123
Tabela IV.3.1.1.2-4 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	123
Figura IV.3.1.1.3-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	124
Figura IV.3.1.1.3-2 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para vazamento de 8 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2.. Simulação de 720 horas (30 dias).	125
Figura IV.3.1.2.1-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 6 horas.	127
Figura IV.3.1.2.1-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	128
Figura IV.3.1.2.1-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	129
Figura IV.3.1.2.1-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	130
Figura IV.3.1.2.1-5 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	131
Figura IV.3.1.2.1-6 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	132
Figura IV.3.1.2.1-7 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	133
Figura IV.3.1.2.1-8 - Mapa de massa máxima de óleo na costa para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	134

Figura IV.3.1.2.1-9 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para o vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	135
Tabela IV.3.1.2.1-10 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m ³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).	135
Figura IV.3.1.2.2-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 200 m ³ no Período 2. Simulação de 6 horas.	136
Figura IV.3.1.2.2-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	137
Figura IV.3.1.2.2-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, para vazamento de 200 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	138
Figura IV.3.1.2.2-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para vazamento de 200 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	139
Figura IV.3.1.2.2-5 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	140
Figura IV.3.1.2.2-6 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m ³ , no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	140
Tabela IV.3.1.2.2-7 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m ³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	141
Figura IV.3.1.2.3-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	142
Figura IV.3.1.2.3-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, para vazamento de 200 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	143
Figura IV.3.1.2.3-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para o vazamento de 200 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	144
Figura IV.3.1.2.3-4 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).	145

Figura IV.3.1.3.1-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 12 horas no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	148
Figura IV.3.1.3.1-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 36 horas no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	149
Figura IV.3.1.3.1-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 60 horas no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	150
Figura IV.3.1.3.1-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 30 dias no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	151
Figura IV.3.1.3.1-5 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	151
Figura IV.3.1.3.1-6 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, e perfil longitudinal de probabilidade de presença de óleo para um vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.	152
Figura IV.3.1.3.1-7 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para um vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.	153
Figura IV.3.1.3.1-8 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	154
Figura IV.3.1.3.1-9 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	155
Figura IV.3.1.3.1-10 - Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas e perfil longitudinal de concentração de óleo para um vazamento de 46.742 m ³ no Período 2. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.	156
Figura IV.3.1.3.1-11 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	157
Figura IV.3.1.3.1-12 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	158
Figura IV.3.1.3.1-13 - Mapa de massa máxima de óleo na costa no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias.	159

Simulação de 60 dias.	
Figura IV.3.1.3.1-14 - Balanço de massa das simulações probabilísticas no Período 1. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	160
Tabela IV.3.1.3.1-15 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Simulação 60 dias.	160
Figura IV.3.1.3.2-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 12 horas no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	161
Figura IV.3.1.3.2-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 36 horas no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	162
Figura IV.3.1.3.2-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 60 horas no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	163
Figura IV.3.1.3.2-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 30 dias no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	164
Figura IV.3.1.3.2-5 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	164
Figura IV.3.1.3.2-6 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas e perfil longitudinal de probabilidade de presença de óleo para um vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.	165
Figura IV.3.1.3.2-7 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para um vazamento de 46.742 m ³ no Período 2. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.	166
Figura IV.3.1.3.2-8 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	167
Figura IV.3.1.3.2-9 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	168
Figura IV.3.1.3.2-10 - Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas e perfil longitudinal de concentração de óleo para um vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.	169

Figura IV.3.1.3.2-11 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	170
Figura IV.3.1.3.2-12 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	171
Figura IV.3.1.3.2-13 - Mapa de massa máxima de óleo na costa no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	172
Figura IV.3.1.3.2-14 - Balanço de massa das simulações probabilísticas no Período 2. Vazamento de 46.742 m ³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.	173
Tabela IV.3.1.3.2-15 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 46.742 m ³ no Período 2. Simulação 60 dias.	173
Figura IV.3.1.3.3-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	174
Figura IV.3.1.3.3-2 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	174
Figura IV.3.1.3.3-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	175
Figura IV.3.1.3.3-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	176
Figura IV.3.1.3.3-5 - Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	177
Figura IV.3.1.3.3-6 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	177
Figura IV.3.1.3.3-7 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	178
Figura IV.3.1.3.3-8 - Mapa de massa máxima de óleo na costa para o vazamento de 46.742 m ³ . Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.	179
Figura IV.3.2.1-1 - Rosa dos ventos para o período de simulação crítica	182

de menor tempo.	
Figura IV.3.2.1-2 - Rosa de corrente para o período de simulação crítica.	183
Figura IV.3.2.1-3 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	185
Figura IV.3.2.1-4 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	186
Figura IV.3.2.1-5 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	187
Figura IV.3.2.1-6 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	188
Figura IV.3.2.1-7 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	189
Figura IV.3.2.1-8 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 388 horas (tempo do primeiro toque de óleo na costa) do início do vazamento e concentração total de óleo na coluna d'água. Resultado de espessura em superfície. Vazamento de 46.742 m ³ .	190
Figura IV.3.2.1-9 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	191
Figura IV.3.2.1-10 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	192
Figura IV.3.2.1-11 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	193
Figura IV.3.2.1-12 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total	194

de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	
Figura IV.3.2.1-13 - Mapa de concentração de óleo no sedimento no fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 46.742 m ³ .	195
Figura IV.3.2.1-14 - Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de tempo mínimo. Volume de pior caso (46.742 m ³).	196
Figura IV.3.2.1-15 - Área em superfície da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica.	197
Figura IV.3.2.2-1 - Rosa dos ventos para o período de simulação crítica de maior massa.	199
Figura IV.3.2.2-2 - Rosa de corrente para o período de simulação crítica de maior massa.	200
Figura IV.3.2.2-3 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	202
Figura IV.3.2.2-4 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	203
Figura IV.3.2.2-5 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	204
Figura IV.3.2.2-6 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	205
Figura IV.3.2.2-7 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	206
Figura IV.3.2.2-8 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	207
Figura IV.3.2.2-9 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	208

Figura IV.3.2.2-10 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	209
Figura IV.3.2.2-11 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m ³ .	210
Figura IV.3.2.2-12 - Mapa de concentração de óleo no sedimento no fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 46.742 m ³ .	211
Figura IV.3.2.2-13 - Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de massa máxima. Volume de pior caso (46.742 m ³).	212
Figura IV.3.2.2-14 - Área em superfície da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de massa máxima.	213
Figura IV.4.1-1 – Trajetórias dos derivadores do GDP (84 derivadores) a partir da vizinhança do ponto de vazamento. A escala de cor está relacionada à duração da trajetória.	215
Figura IV.4.1-2 – Representação dos pontos de lançamento de derivadores na Plataforma Costeira Amazônica do Projeto Costa Norte. Em destaque, em vermelho, o ponto DF6, considerado para a presente análise comparativa com os resultados da modelagem de óleo. Fonte: Adaptado de ROLLNIC et al, 2020.	217
Figura IV.4.1-3 – Imagens do modelo de derivador superficial (NOMAD) lançado e considerado na análise comparativa. A direita o equipamento na água após o lançamento. Fonte: ROLLNIC et al, 2020.	218
Figura IV.4.1-4 – Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF6.	218
Figura IV.4.1-5 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 1 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo (em %) em superfície para o Verão (equivalente ao Período 1) da modelagem de 2015.	222
Figura IV.4.1-6 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 1 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo (em %) em superfície para o Período 1 da modelagem do presente estudo.	222
Figura IV.4.1-7 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 2 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo em superfície (em %) para o Inverno (equivalente ao Período 2) da	223

modelagem de 2015.	
Figura IV.4.1-8 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 2 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo em superfície (em %) para o Período 2 da modelagem do presente estudo.	223
Figura IV.4.2-1 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).	226
Figura IV.4.2-2 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m ³ no Período 2. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).	227
Figura IV.4.2-3 – Mapa da diferença de probabilidade de presença de óleo em superfície dos dois estudos comparados. Cálculo por ponto de grade feito a partir da subtração dos valores da modelagem de 2022 menos os valores da modelagem de 2015. Acima: Período 1 e Abaixo: Período 2.	228
Figura IV.4.2-4 –Rosa dos ventos para os meses de janeiro a dezembro para o ponto mais próximo do local de vazamento. Esquerda: Dados do NCEP-R1, utilizado na modelagem de 2015. Direita: Dados do ERA 5, utilizado na modelagem de 2022.	231
Figura IV.4.2-5 –Rosa de correntes para os meses de janeiro a dezembro para o ponto mais próximo do local de vazamento. Esquerda: Modelo hidrodinâmico utilizado na modelagem de 2015.Direita: Modelo hidrodinâmico utilizado na modelagem de 2022.	232
Figura IV.4.2-6 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença máxima de óleo na coluna d'água para o vazamento de 46.742 m ³ no Período 1. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).	235
Figura IV.4.2-7 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença máxima de óleo na coluna d'água para o vazamento de 46.742 m ³ no Período 2. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).	236
Figura IV.4.2-8 – Isolinha de 30% de probabilidade no fundo marinho para o vazamento de 46.742 m ³ no Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias. Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).	237
Figura IV.4.2-9 – Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 1 para um vazamento de 46.742 m ³ e simulação de 60 dias.Acima: simulação SEM biodegradação. Abaixo: simulação COM biodegradação.	238
Figura IV.4.2-10 – Mapa da diferença de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 1 das simulações SEM e COM biodegradação. Cálculo por ponto de grade feito da subtração dos	239

valores da simulação SEM biodegradação menos os valores da simulação COM biodegradação.	
Figura IV.4.2-11 – Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água no Período 1 para um vazamento de 46.742 m ³ e simulação de 60 dias. Acima: simulação SEM biodegradação. Abaixo: simulação COM biodegradação.	240

I. Introdução

O presente relatório tem como objetivo descrever os resultados obtidos de novas modelagens numéricas do transporte de óleo no mar para os cenários acidentais de vazamentos localizado em um ponto de risco no bloco FZA-M-59 (Vértice Sudoeste), Bacia da Foz do Amazonas, nas quais foi utilizada uma nova base hidrodinâmica e diferente fonte de dados de vento. Ademais o relatório tem como objetivo fazer uma análise comparativa destes resultados com os resultados apresentados na modelagem de 2015.

Este ponto de risco foi escolhido por ser o vértice que apresenta a menor distância em relação à costa, de 159 km. A localização do ponto de vazamento considerado na modelagem é apresentada na Figura I-1 e as coordenadas são apresentadas na Tabela I-1.



Figura I-1- Localização do ponto de risco de vazamento considerado na modelagem de derrame de óleo no mar para o Bloco FZA-M-59.

Tabela I-1 – Coordenadas geográficas (datum SIRGAS 2000) do ponto de risco de vazamento consideradas na modelagem de derrame de óleo no mar.

Bloco	Longitude	Latitude	Datum
FZA-M-59	50° 15' 1,601" W	5° 14' 58,895" N	SIRGAS2000

As simulações de derrame de óleo no mar foram feitas com o OSCAR (*Oil Spill Contingency and Response – Versão 14.0.0*), modelo desenvolvido pela SINTEF para o cálculo do transporte e intemperismo de óleo no mar. Dois tipos de simulações foram conduzidos no estudo: probabilísticas e determinísticas.

Para a realização da modelagem de derrame de óleo no mar foram utilizados os campos de correntes gerados a partir de uma modelagem hidrodinâmica desenvolvida especificamente para a região, através do modelo ROMS (*Regional Ocean Modeling System*). Além dos campos de corrente, também foram utilizados os campos de ventos provenientes do ERA5, do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), para manter a coerência com dados utilizados na modelagem hidrodinâmica.

A descrição do modelo hidrodinâmico utilizado é apresentada no item III deste documento, e a descrição das estratégias de modelagem de óleo e dos resultados obtidos das simulações realizadas são apresentadas no item IV. Além da descrição dos resultados é feita uma análise comparativa com a modelagem de 2015 (item IV.4)

Os sistemas de modelagem, metodologias e análises empregados neste documento estão alinhadas com os requisitos da norma internacional ASTM F2067-13 para desenvolvimento e uso de modelos de trajetórias de derramamentos de óleo (ASTM, 2013).

II. 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.

III. Modelagem Hidrodinâmica

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

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

Este item apresenta uma descrição das simulações hidrodinâmicas e seus resultados, que foram utilizados nas modelagens de derrame de óleo no mar a partir do Bloco FZA-M-59 para o presente estudo. Além disso, foi feita uma análise comparativa destes resultados com os resultados de 2015. Ambas modelagens hidrodinâmicas foram desenvolvidas através do modelo ROMS, que por sua vez é descrito em detalhes no ANEXO A.

III.1. Domínio e Resolução do Modelo

Para simular a hidrodinâmica da região de estudo foi projetada uma grade numérica (Figura III.1-1), que se estende de 5,19°S a 14,5° N, e 35,49 W a 61,6° W (*datum* SIRGAS 2000). O domínio de modelagem dessa grade abrange toda a costa da margem equatorial brasileira até parte do litoral da Venezuela, englobando a plataforma e talude continental das bacias oceânicas adjacentes:

Bacia Foz do Amazonas, Para-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e parte da Potiguar.

A resolução espacial horizontal da grade é de $1/16^\circ$ (~6,5 km) e foi escolhida em função da localização do Bloco FZA-M-59 e das escalas espaciais dos processos ambientais envolvidos, possibilitando ao modelo a resolução da hidrodinâmica de sub, meso e larga escala, assim como a reprodução satisfatória das principais feições batimétricas e da linha de costa (Figura III.1-2) e, ao mesmo tempo, permitindo um desempenho computacional compatível. Essa escolha resultou em uma grade com 132.000 pontos em cada nível horizontal (camada sigma), com 30 níveis verticais.

A resolução temporal dos resultados do modelo foi de 2 horas (com um passo de tempo de modelagem de 150 segundos). Novamente, essa escolha reflete um bom desempenho computacional enquanto permite a presença de fenômenos de maior frequência como a maré e o efeito da brisa nos resultados da modelagem.

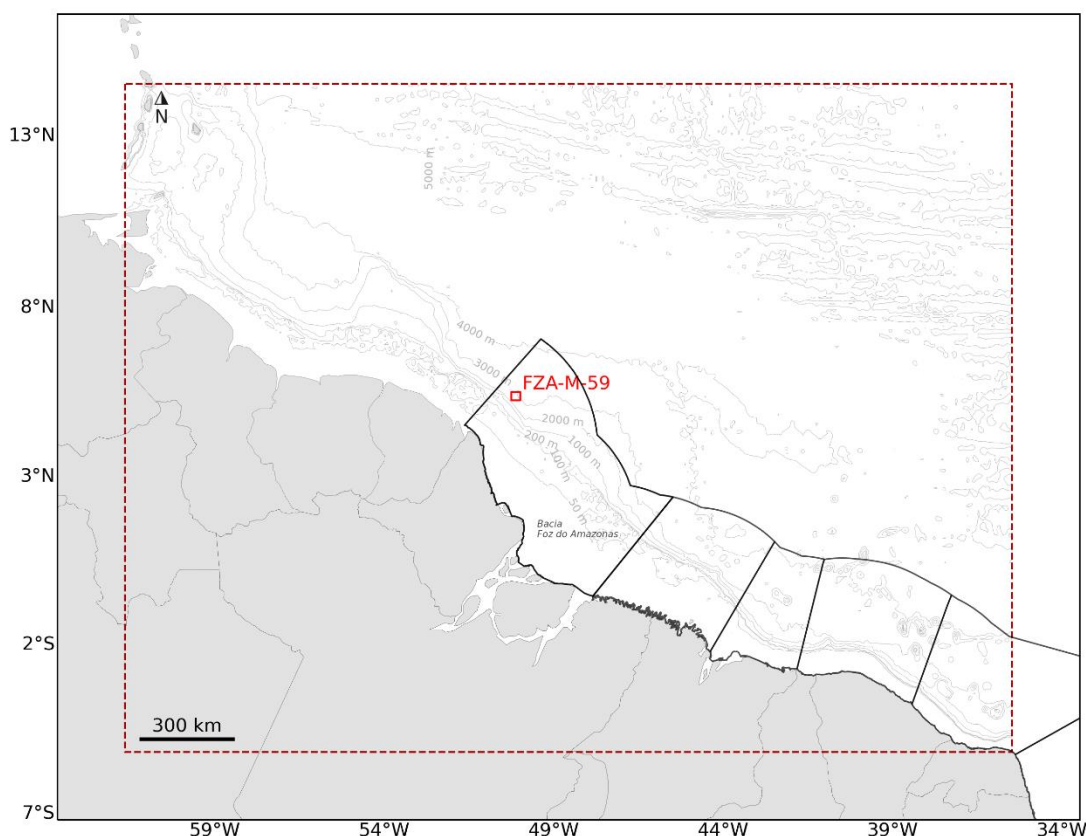


Figura III.1-1 – Região de modelagem. Polígono vermelho pontilhado representa os limites da grade do modelo hidrodinâmico.

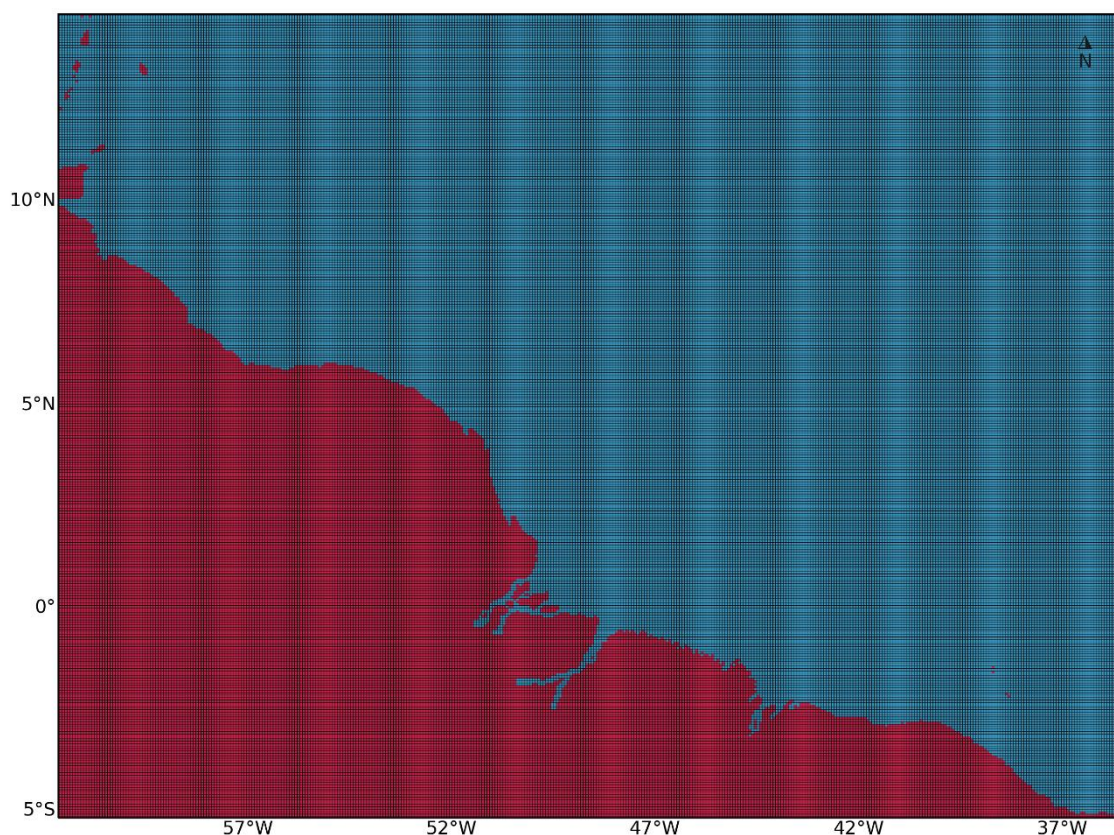


Figura III.1-2 – Detalhamento da representação da linha de costa pela grade do modelo hidrodinâmico. Os retângulos em vermelho representam as células consideradas como terra pelo modelo.

Em relação ao domínio temporal, o modelo foi configurado para simular a hidrodinâmica da região de janeiro de 2012 a dezembro de 2013, sendo utilizado somente o ano de 2013 (mesmo domínio temporal do estudo de 2015), com objetivo de realizar a avaliação comparativa entre o resultados do presente estudo e de 2015.

III.2. Condições Iniciais

A situação ideal para se inicializar um modelo seria obter, *in situ*, dados de temperatura, salinidade e correntes em cada ponto de grade (nas três dimensões), observados simultaneamente, o que é inviável. Desta forma, deve-se

procurar uma alternativa, como a obtenção de informações de bancos de dados que contenham o máximo de observações simultâneas com a resolução mais próxima à grade do modelo em questão.

Como condição inicial e de contorno para o modelo hidrodinâmico, foram utilizados os dados de temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e de correntes da análise global do Mercator, distribuído pelo Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). Este projeto disponibiliza diariamente os resultados da Análise e previsão oceânica global, por um período de 10 dias, com resolução espacial de $1/12^\circ$ e temporal de 24 h. O modelo oceânico global utilizado no Mercator é o NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*), forçado pelos campos atmosféricos obtidos da Análise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). O NEMO assimila dados de correntes, altura da superfície e TSM obtidos de satélites, além de dados de temperatura e salinidade obtidos *in situ* passando por um criterioso controle de qualidade (LELLOUCHE *et al.*, 2019).

O modelo foi inicializado com os resultados da simulação do Mercator, interpolados para a resolução espacial (vertical e horizontal) da grade usada no ROMS, o que é considerado um aninhamento de modelos. Nesse caso, se está aninhando o modelo regional para a região simulada (ROMS) em um modelo global (Mercator) em modo *offline*, ou seja, as condições de contorno usadas no modelo de menor área e maior resolução foram extraídas de um modelo de maior área e menor resolução rodado previamente. Os campos iniciais com dados do Mercator fornecidos ao modelo são apresentados da Figura III.2-1 à Figura III.2-4.

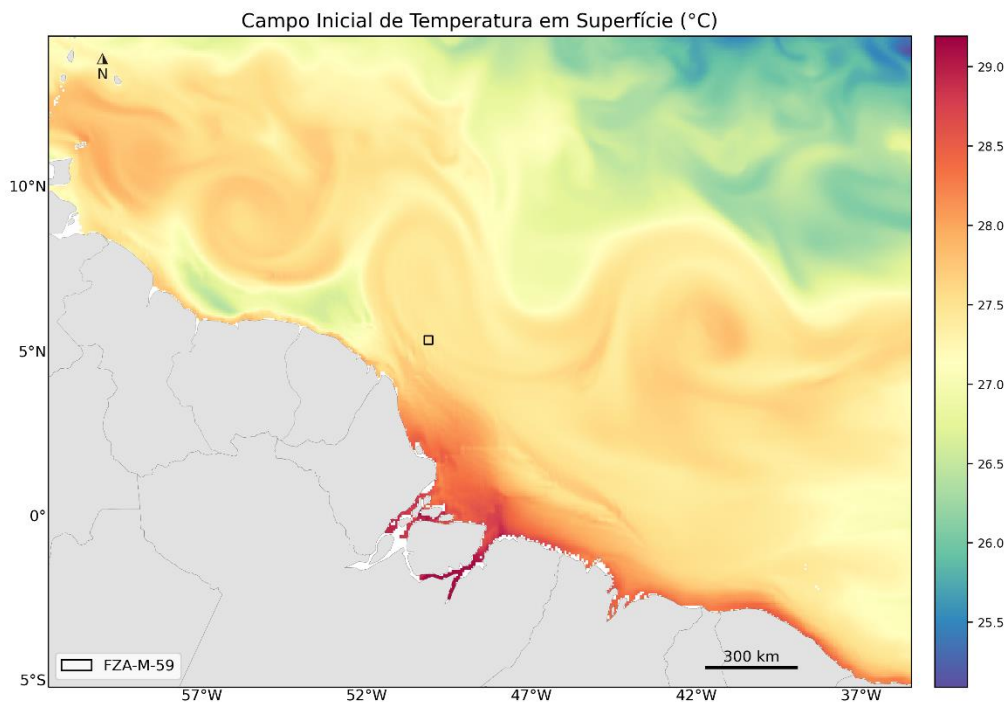


Figura III.2-1 – Campo de temperatura superficial (°C) do Mercator no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.

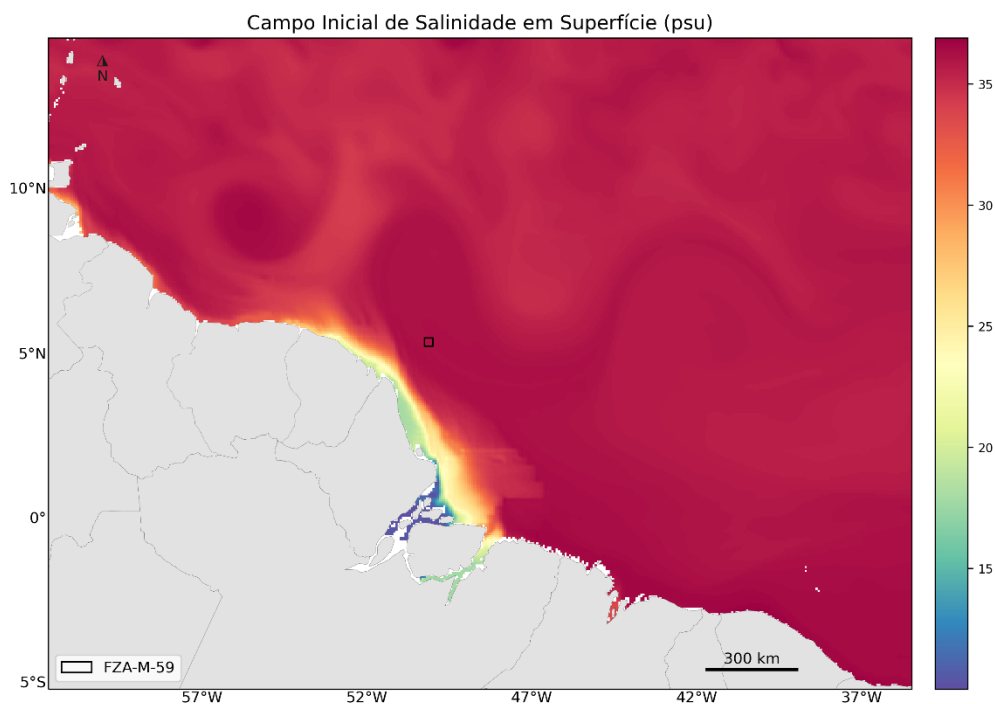


Figura III.2-2 – Campo de salinidade superficial (psu) do Mercator no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.

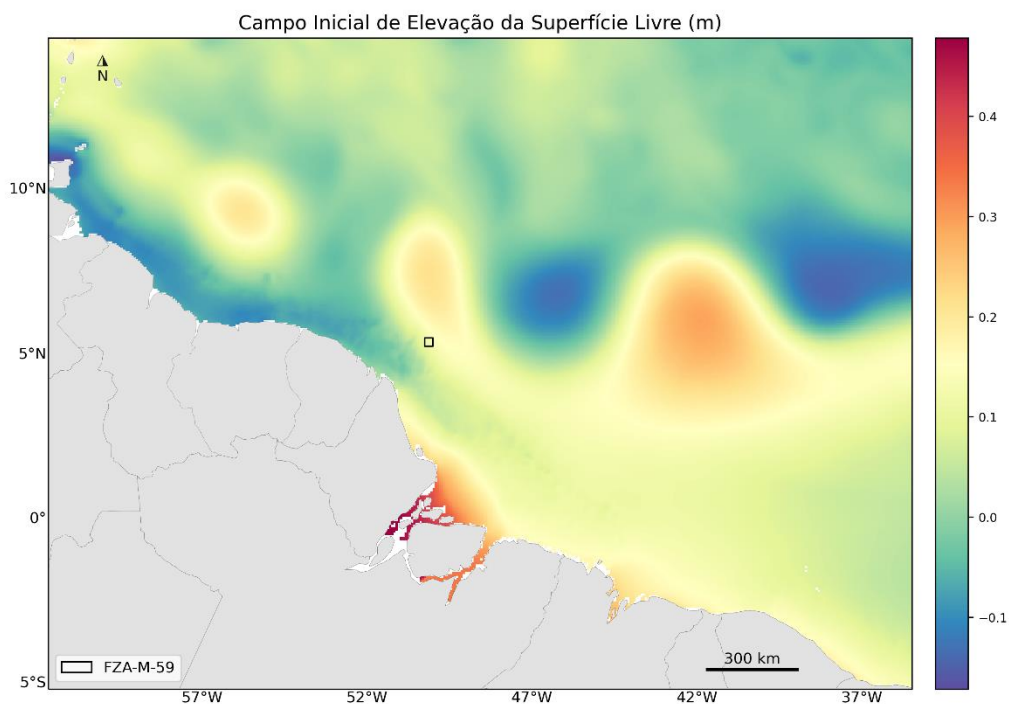


Figura III.2-3 – Campo de elevação de superfície livre (m) do Mercator (°C) no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.

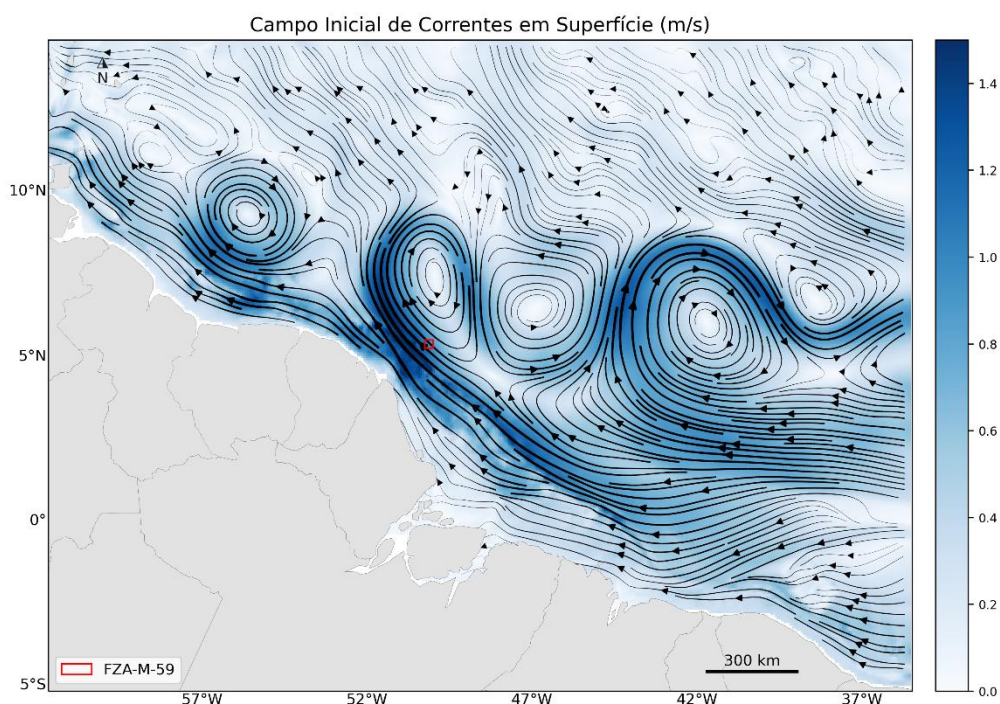


Figura III.2-4 – Campo de correntes superficiais (m/s) do Mercator no dia 1º de janeiro de 2012, interpolado para a grade do ROMS.

III.3. Condições de Contorno

Quando se utiliza um modelo de área limitada, como é o caso do ROMS, um dos fatores primordiais é uma escolha adequada das condições de contorno do modelo (Figura III.3-1). Tal escolha deve ser realizada com bastante critério, uma vez que os resultados serão consequência das condições escolhidas.

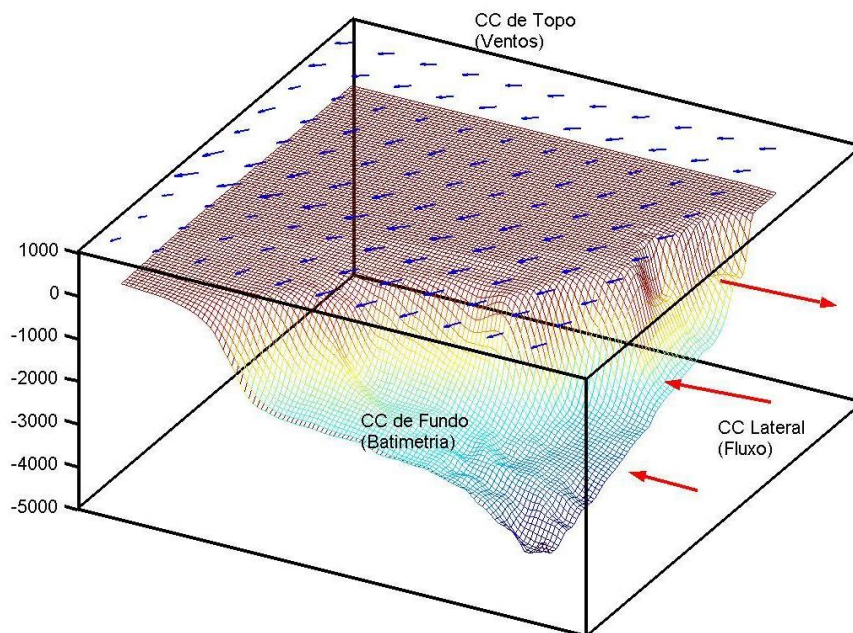


Figura III.3-1 – Representação esquemática das condições de contorno a serem definidas em um modelo de área limitada.

III.3.1. Condição de Contorno de Fundo

Para a confecção da matriz de batimetria do modelo foram utilizados os dados da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009), em composição com dados de cartas náuticas digitalizadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (Tabela III.3.1-1 e Figura III.3.1-1 a Figura III.3.1-4).

O ETOPO1 é um modelo global do relevo da superfície terrestre, com resolução espacial de 1 minuto de arco, que integra topografia e batimetria do oceano. A base do ETOPO1 é composta pelos melhores dados digitais

disponíveis provenientes de diversos bancos de dados globais e regionais que são avaliados e editados antes da geração do modelo digital de elevação (AMANTE & EAKINS, 2009).

Após interpolação cúbica dos dados do ETOPO1 e das cartas náuticas, obteve-se a matriz composta de topografia do fundo para a grade utilizada no modelo hidrodinâmico.

Tabela III.3.1-1 – Cartas Náuticas digitalizadas para obtenção da batimetria utilizada no modelo.

Nº da Carta	Nome	Escala
21200	Da ponta Tucumã à Ponta do Guará	1:300000
21300	Do Cabo Norte ao Cabo Maguari	1:300000
21400	Do Cabo Maguari à Ponta Boiuçucanga	1:300000
40	Da Baía do Oiapoque ao Rio Parnaíba	1:1159563

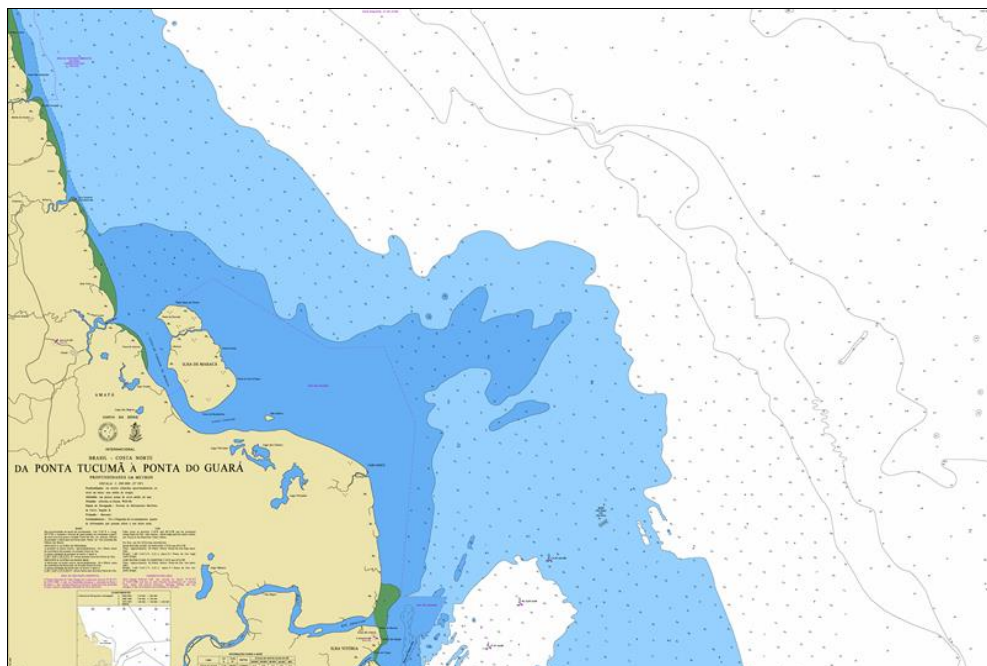


Figura III.3.1-1 – Carta náutica 21200 da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.



Figura III.3.1-2 – Carta náutica 21300. da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil

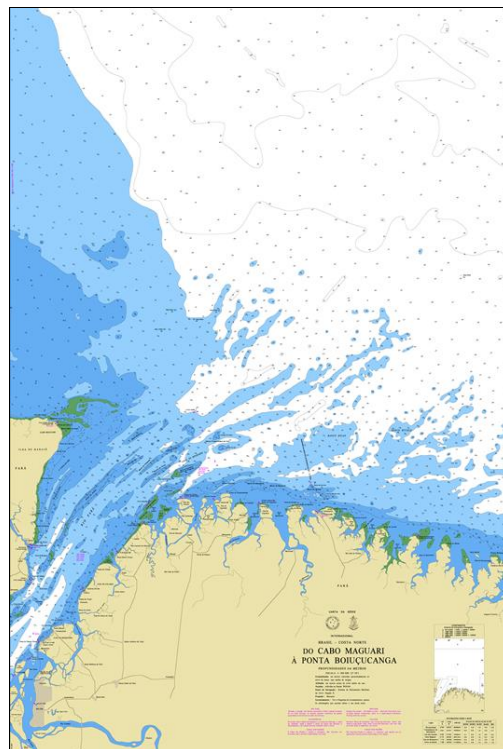


Figura III.3.1-3 – Carta náutica 21400. da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil

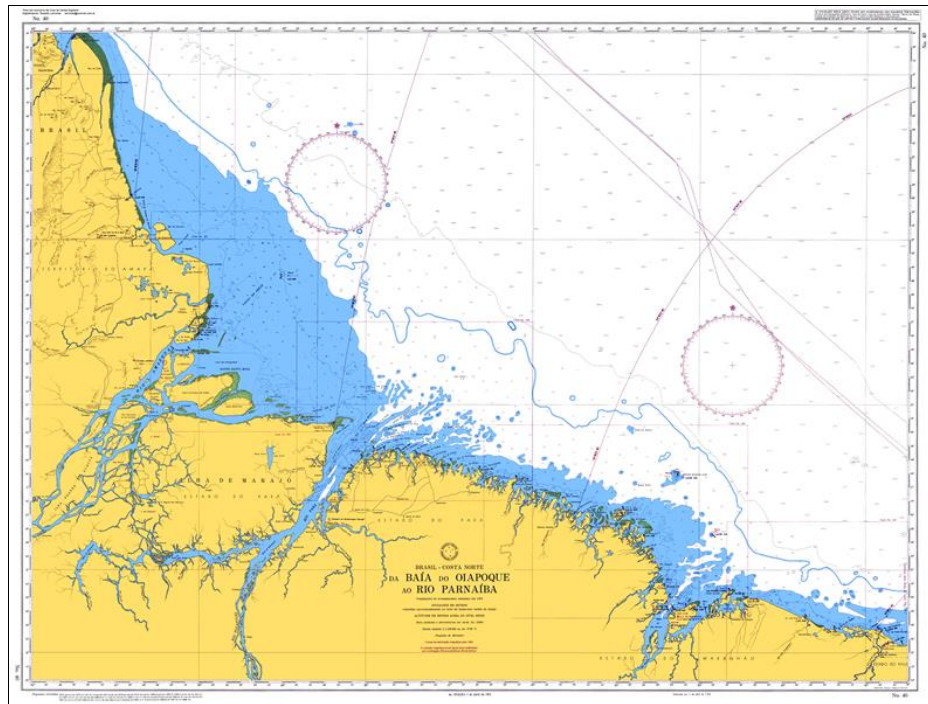


Figura III.3.1-4 – Carta náutica 40. da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil

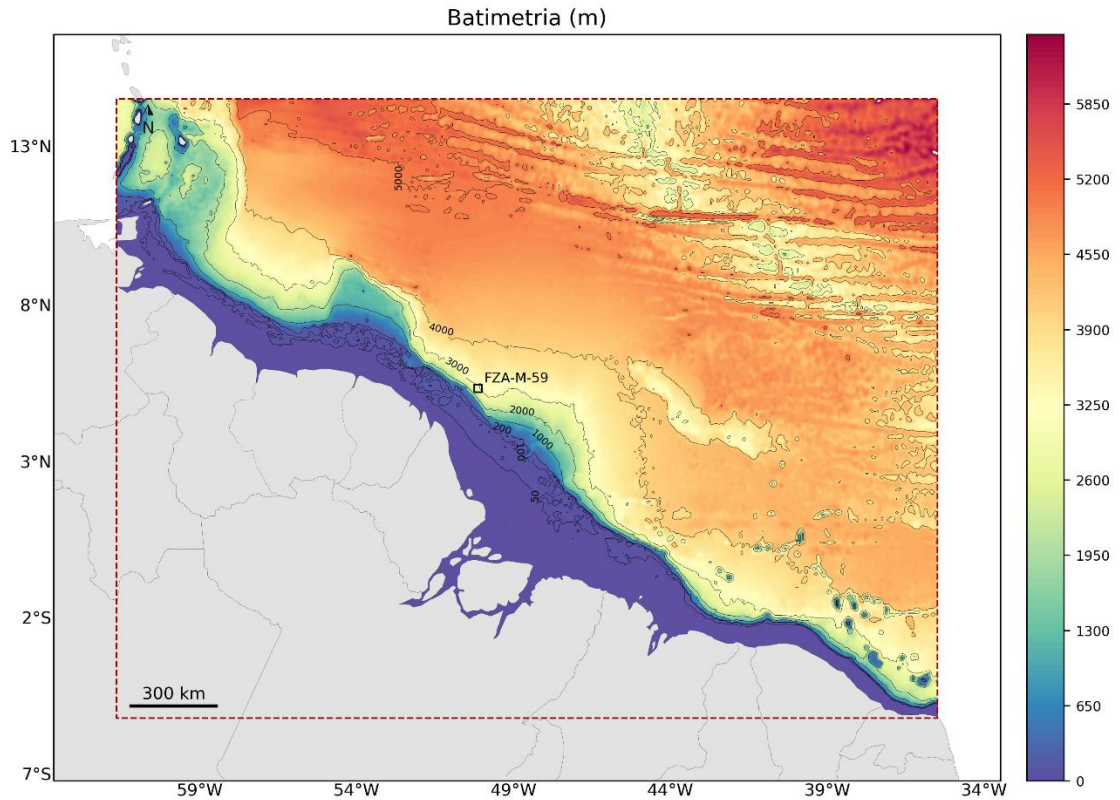


Figura III.3.1-5 – Batimetria da grade do modelo numérico.

III.3.2. Condição de Contorno de Superfície

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

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

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

Estes campos são oriundos 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 a 0.01 hPa.

As Reanálises climáticas do ECMWF começaram com o FGGE na década de 1980, seguida pelo ERA-15, ERA-40, ERA-Interim e ERA5.

Esta base de dados foi utilizada por se tratar de uma reanálise que assimila dados meteo-oceanográficos de diversas fontes, apresenta resolução espacial e

temporal compatíveis com a natureza do estudo, e disponibiliza informações de todas as oito variáveis meteorológicas necessárias para forçar o ROMS.

Como exemplo dos campos atmosféricos utilizados como condição de contorno de topo do modelo, da Figura III.3.2-1 à Figura III.3.2-7 são apresentados os campos médios de cada variável, calculados para o período 1 (dezembro a junho) e para o período 2 (julho a novembro). A definição dos períodos é apresentada no Anexo D – Análise das Condições Meteorológicas e Oceanográficas.

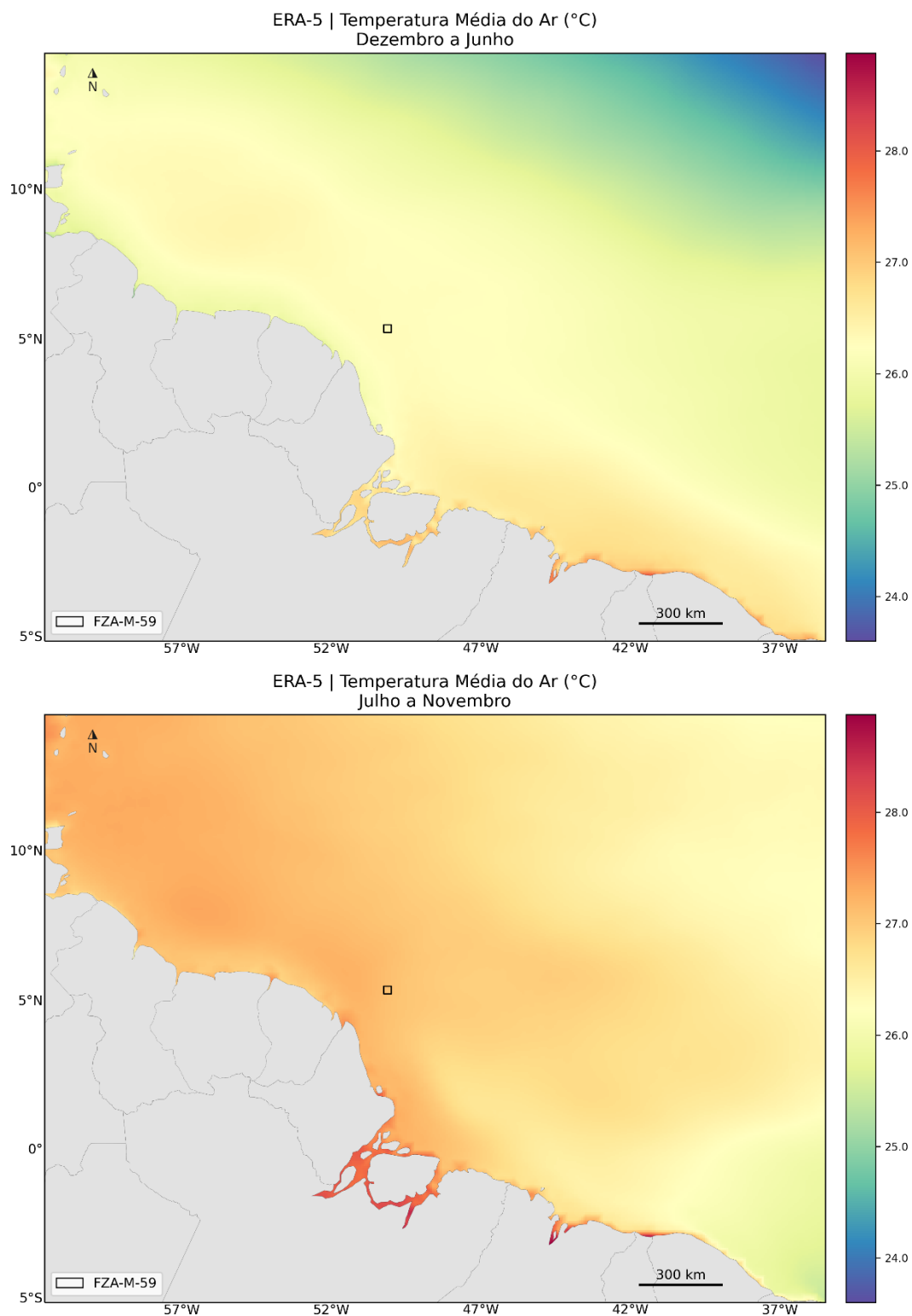
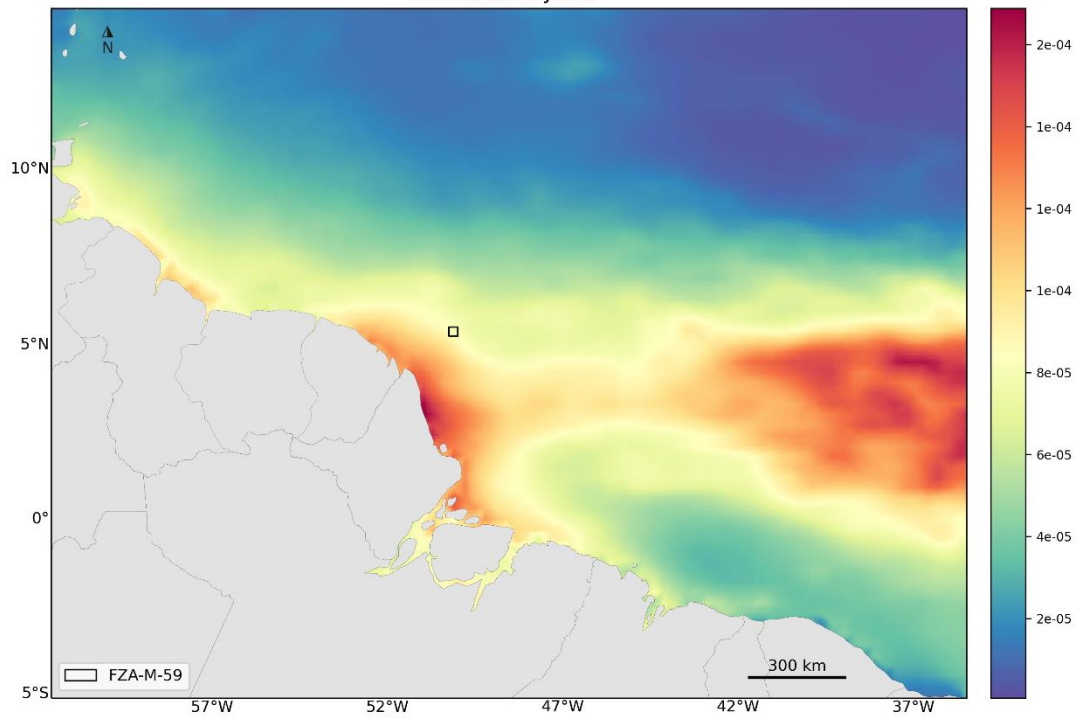


Figura III.3.2-1 – Campo médio dos dados de temperatura do ar a 2 m do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

ERA-5 | Precipitação Média (kg/m²s)
Dezembro a Junho



ERA-5 | Precipitação Média (kg/m²s)
Julho a Novembro

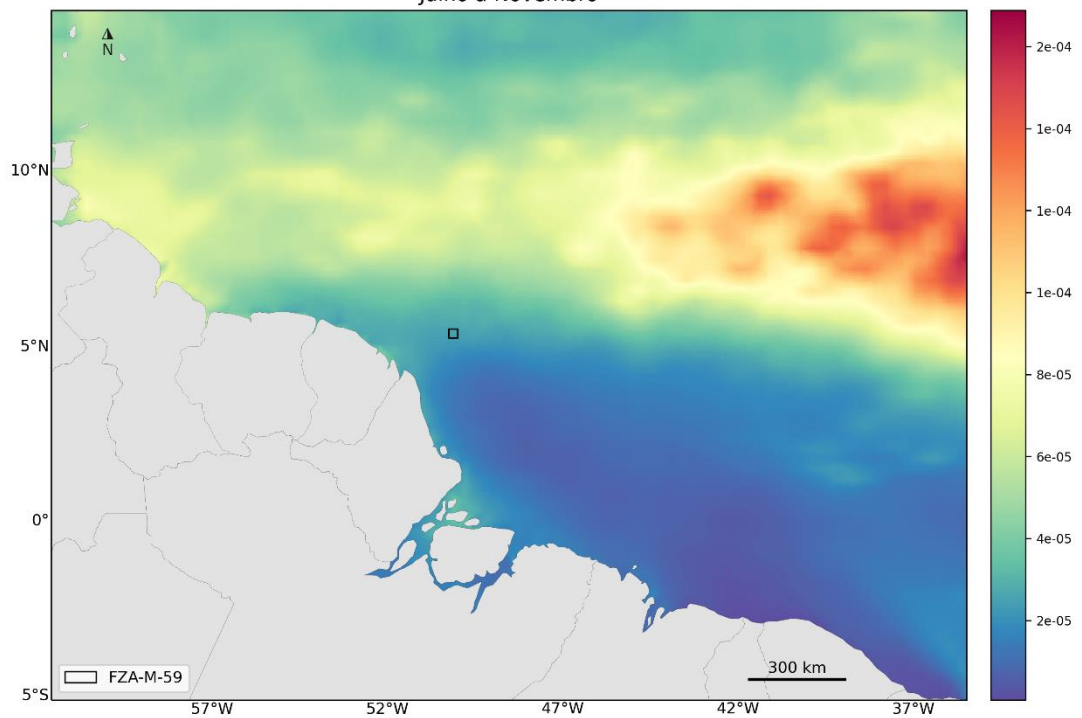
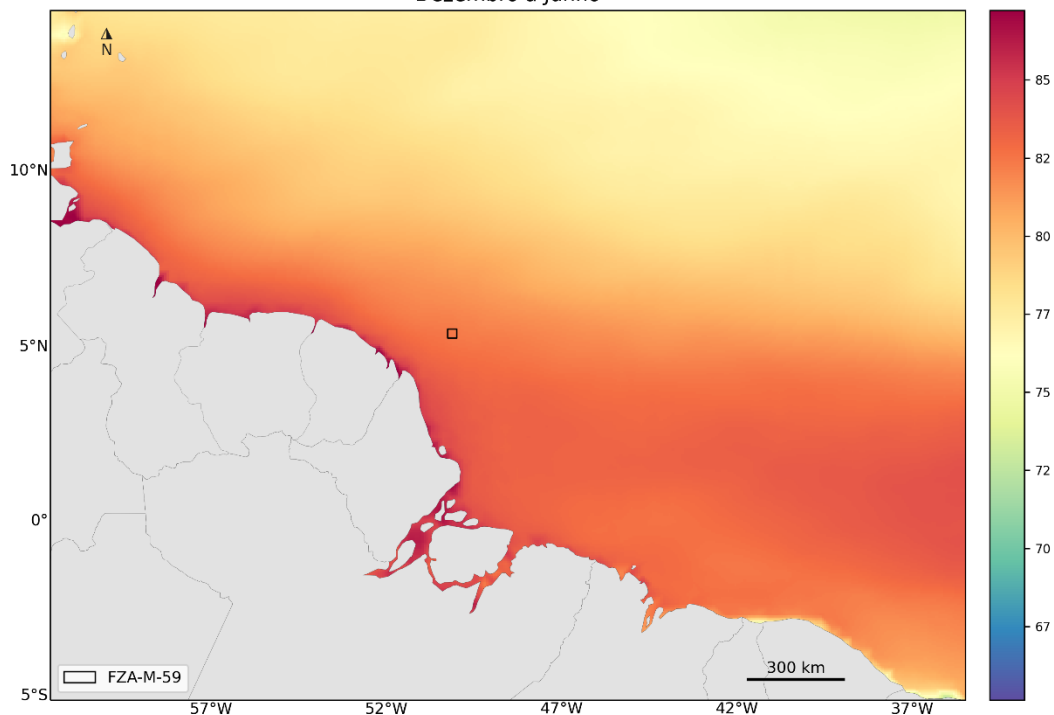


Figura III.3.2-2 – Campo médio dos dados de precipitação do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

ERA-5 | Umidade Relativa Média do Ar (%)
Dezembro a Junho



ERA-5 | Umidade Relativa Média do Ar (%)
Julho a Novembro

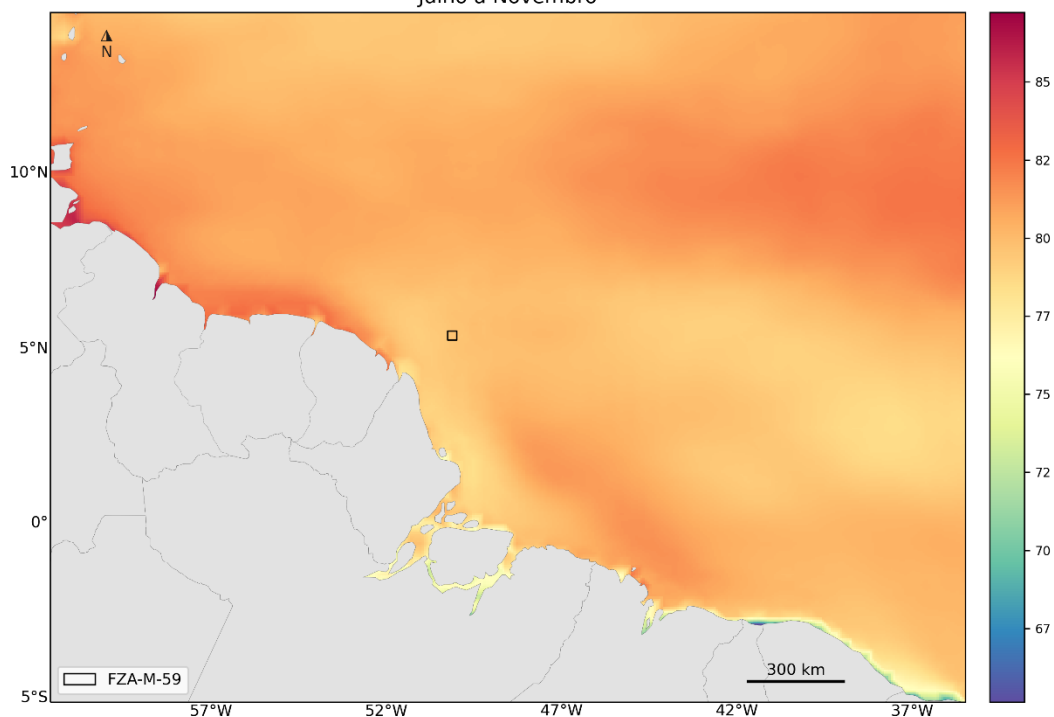
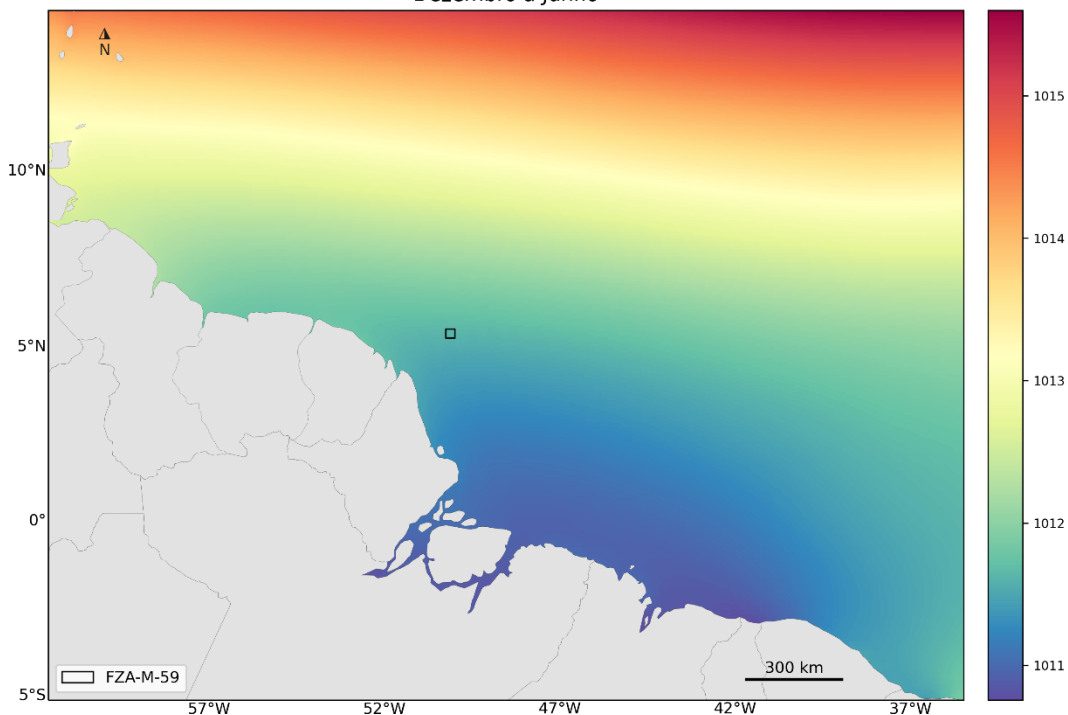


Figura III.5.4.1-3 – Campo médio dos dados de umidade relativa do ar do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

ERA-5 | Pressão Atmosférica Média (hPa)
Dezembro a Junho



ERA-5 | Pressão Atmosférica Média (hPa)
Julho a Novembro

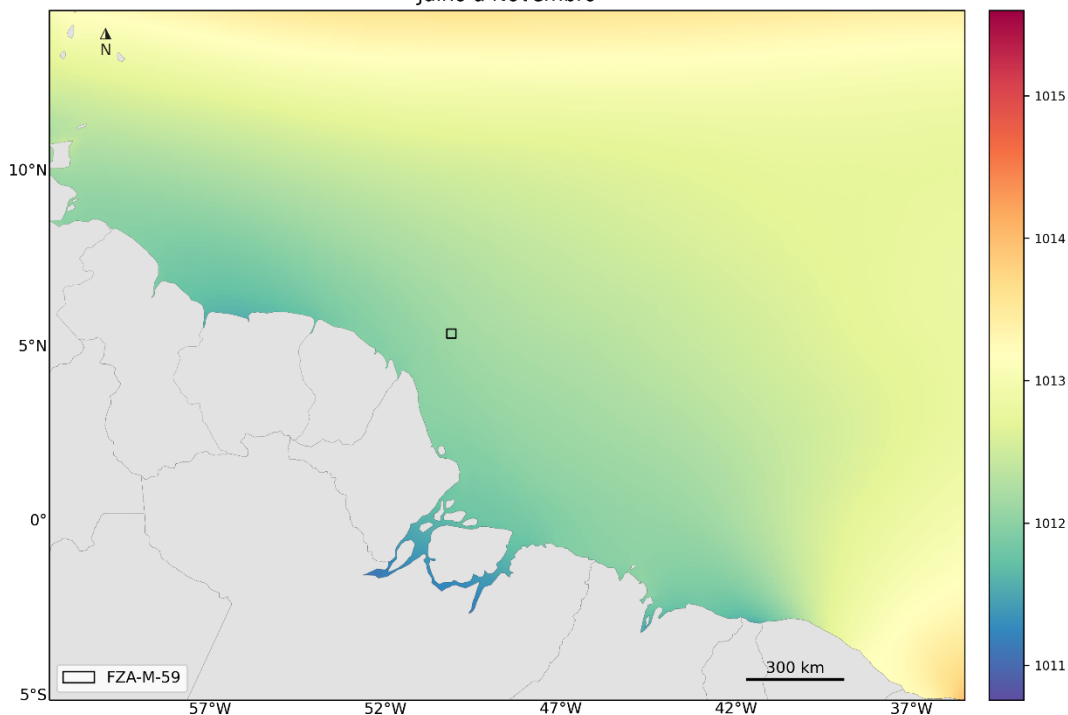
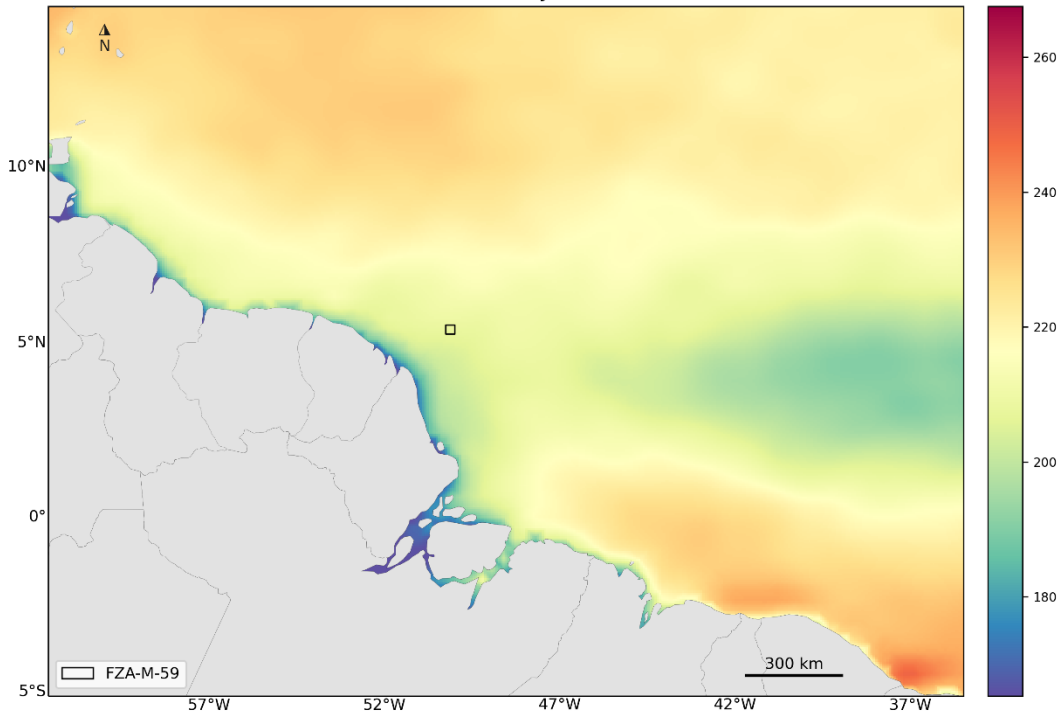


Figura III.3.2-4 – Campo médio dos dados de pressão atmosférica do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

ERA-5 | Radiação Média de Onda Curta (Watts/m²)
Dezembro a Junho



ERA-5 | Radiação Média de Onda Curta (Watts/m²)
Julho a Novembro

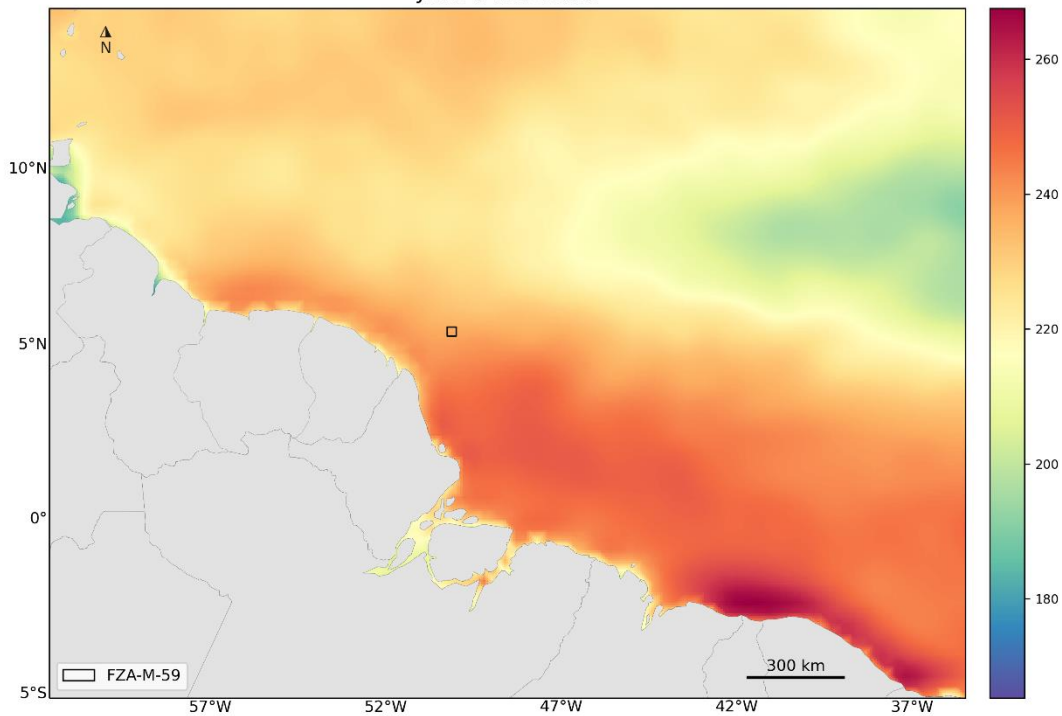


Figura III.3.2-5 – Campo médio dos dados de radiação de onda curta do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

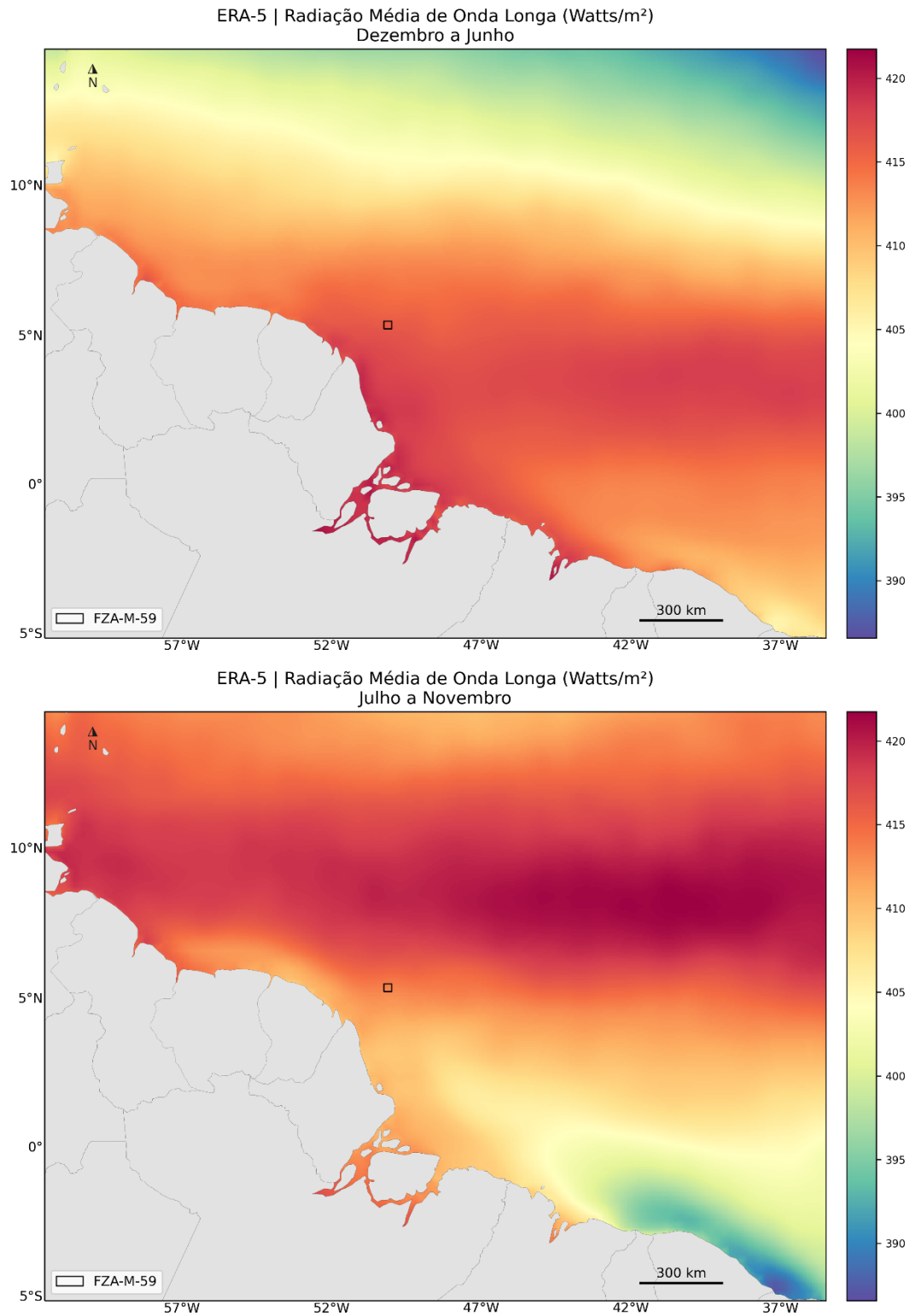


Figura III.3.2-6 – Campo médio dos dados de radiação de onda longa do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

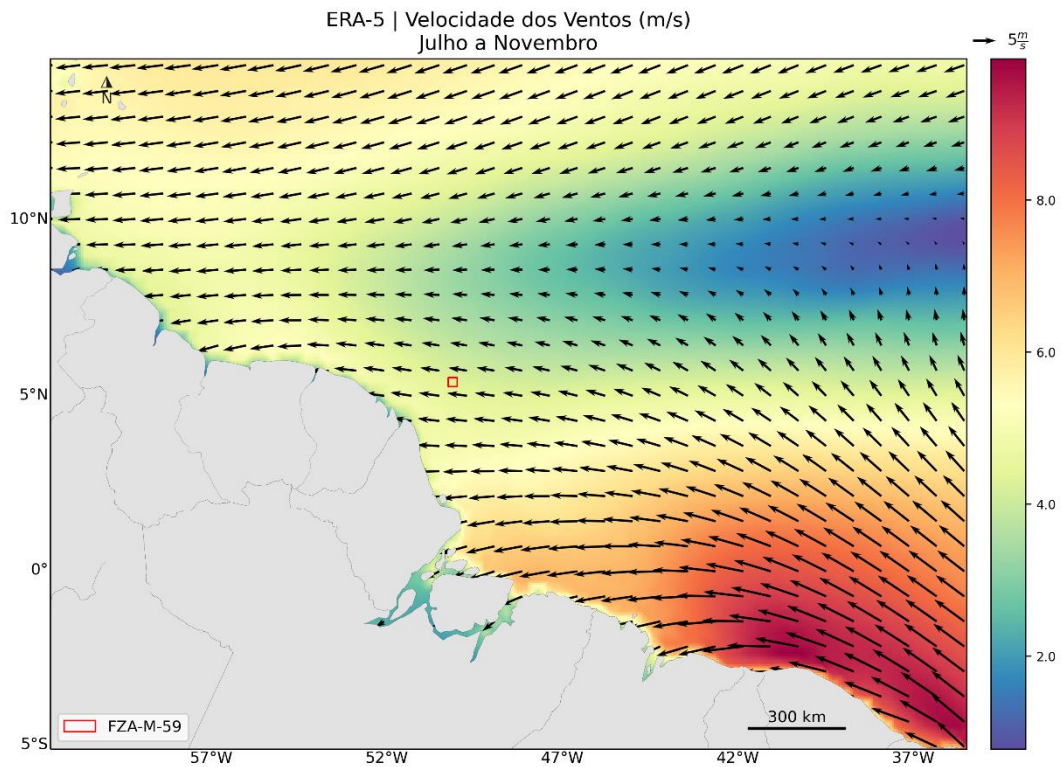
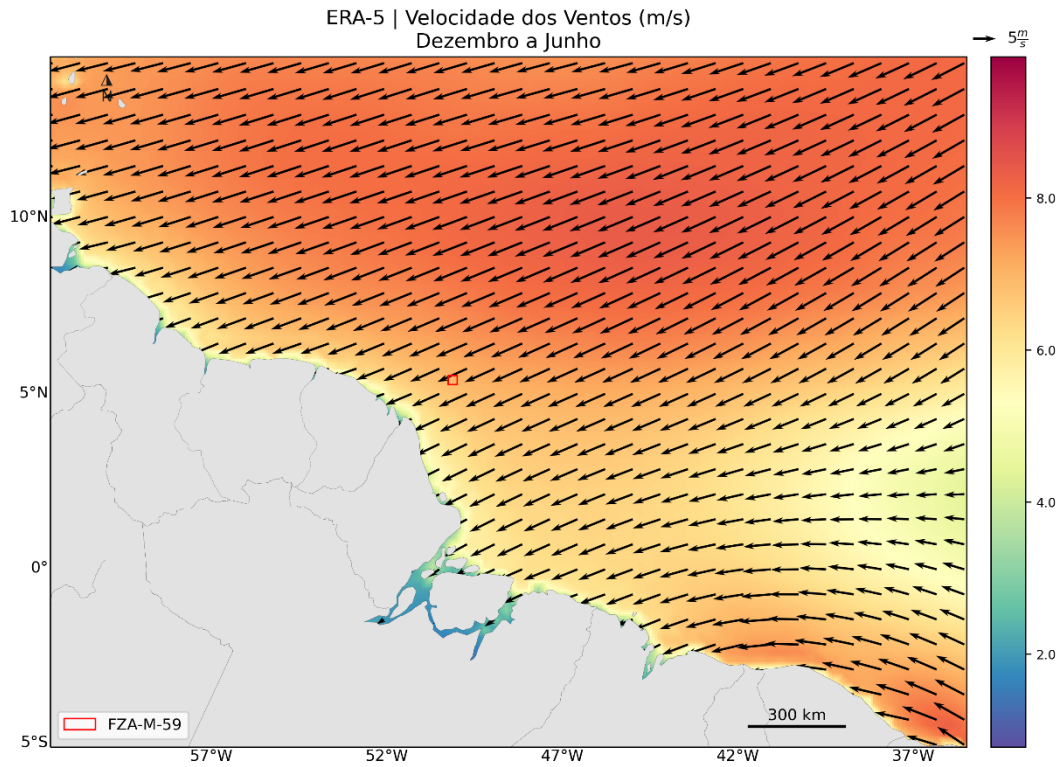


Figura III.3.2-7 – Campo médio dos dados de vento do ERA-5 utilizados como forçante para o período 1 (acima) e para o período 2 (abaixo).

III.3.3. Condição de Contorno Laterais

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

Por se tratar de um modelo regional, para as fronteiras abertas há a necessidade de se obter informações de regiões exteriores ao domínio do modelo. Nesse caso, foram utilizados os resultados do CMEMS (temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e correntes) com resolução espacial de $1/12^\circ$ e temporal de 1 dia. Para passar estas informações ao ROMS, os resultados do CMEMS foram interpolados em seções verticais localizadas nas bordas do modelo, assim a cada dia simulado, o modelo faz a leitura destas informações no contorno, propagando-as para o interior do domínio.

O ROMS, além de usar os resultados do CMEMS (Mercator) como condição inicial e de contorno, foi configurado para ler os resultados do CMEMS em todo o seu domínio (X,Y e Z), inserindo um termo de tendência (*Nudging*), que faz com que os resultados do ROMS se aproximem aos do CMEMS. Desta forma, não é necessário que o modelo seja integrado por certo período para atingir a estabilidade (*spin-up*), como demonstrado pelo gráfico da variação da energia cinética média do modelo ao longo da simulação (Figura III.3.3-1).

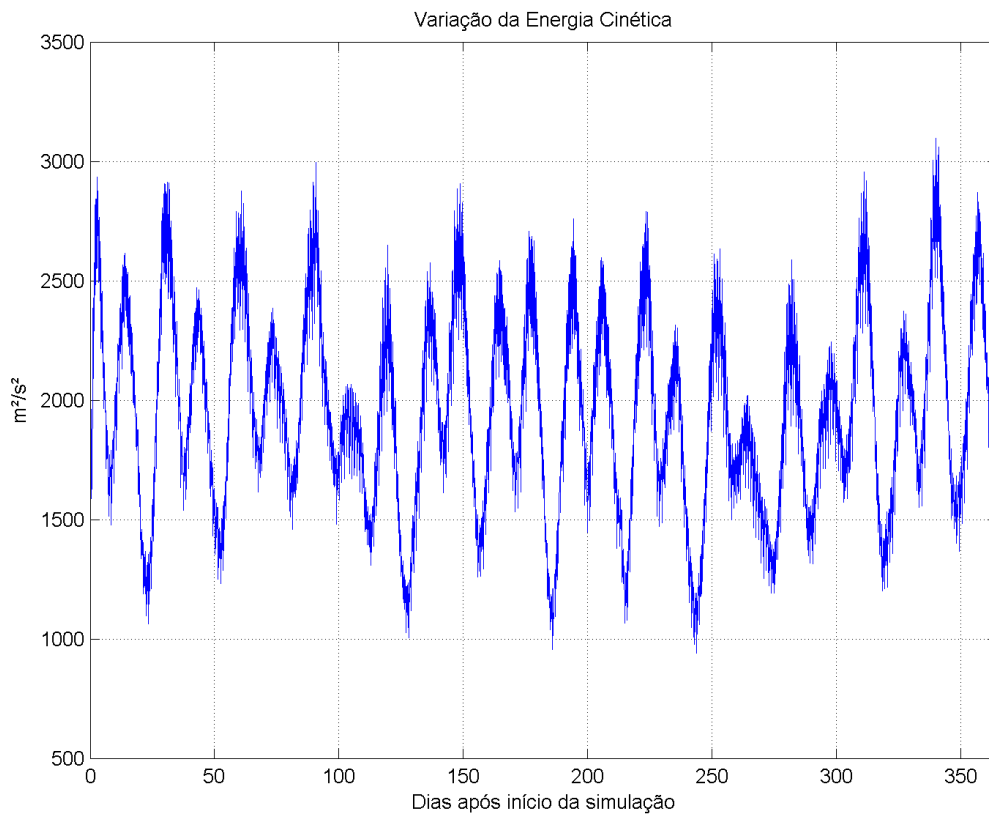


Figura III.3.3-1 – Variação da energia cinética média ao longo da simulação.

III.3.4. Maré

Para simular o efeito da elevação do nível do mar no domínio de modelagem, foram utilizadas as constantes harmônicas do modelo global de marés TPX08 V1 (EGBERT; EROFEEVA, 2002). Este modelo combina uma solução global com resolução de $1/6^\circ$ em áreas oceânicas e alta resolução (de até $1/30^\circ$) em regiões costeiras, utilizando dados do satélite altimétrico TOPEX/POSEIDON como fonte primária para assimilação.

A seguir, da Figura III.3.4-1 à Figura III.3.4-8, são apresentados os campos de amplitude e fase das 10 (dez) primeiras constantes harmônicas do TPX08 fornecidas ao modelo para o cálculo da elevação de maré, ressaltando que o ROMS utiliza apenas os dados nos contornos como forçante.

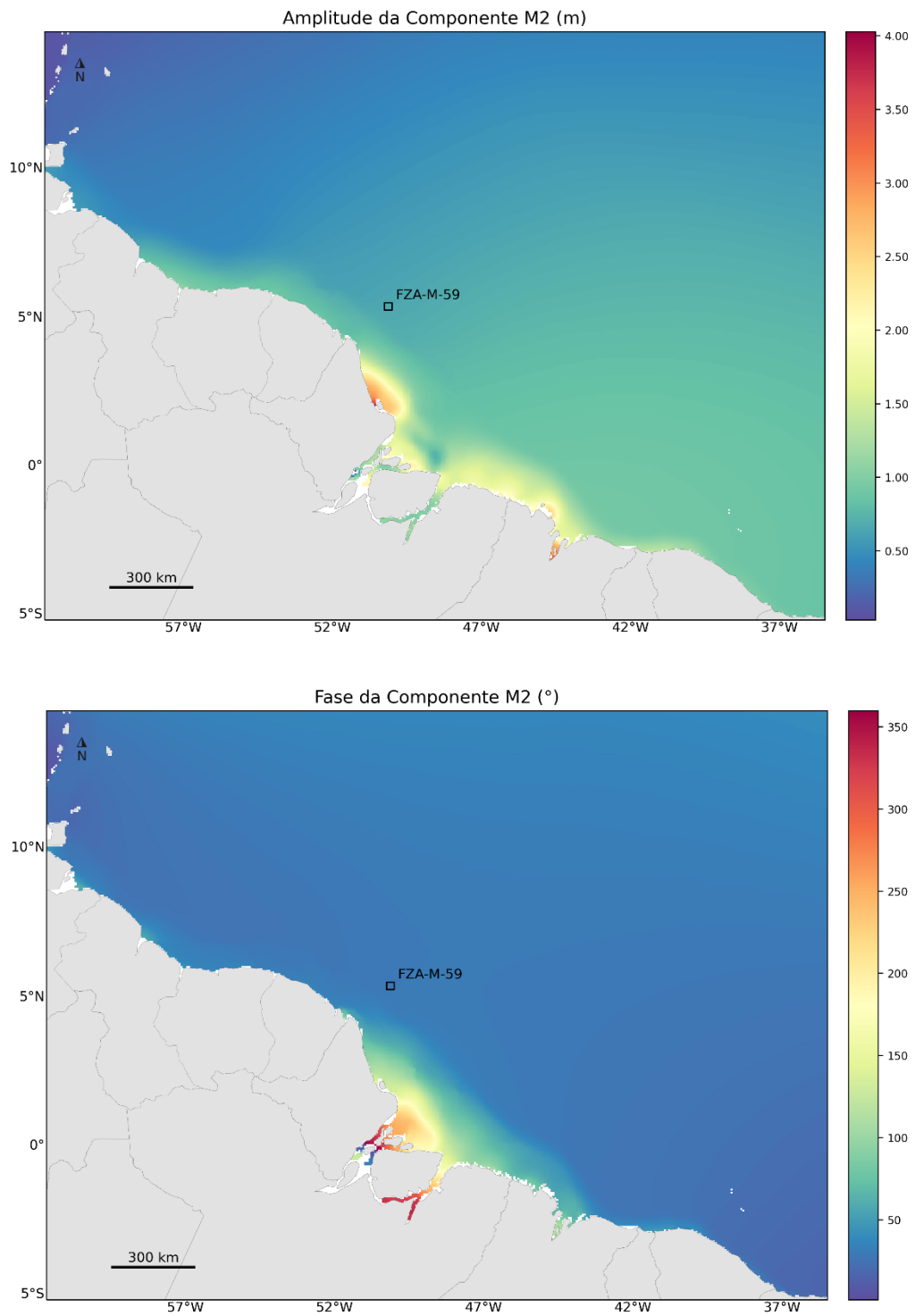


Figura III.3.4-1 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente M2: TPX08.

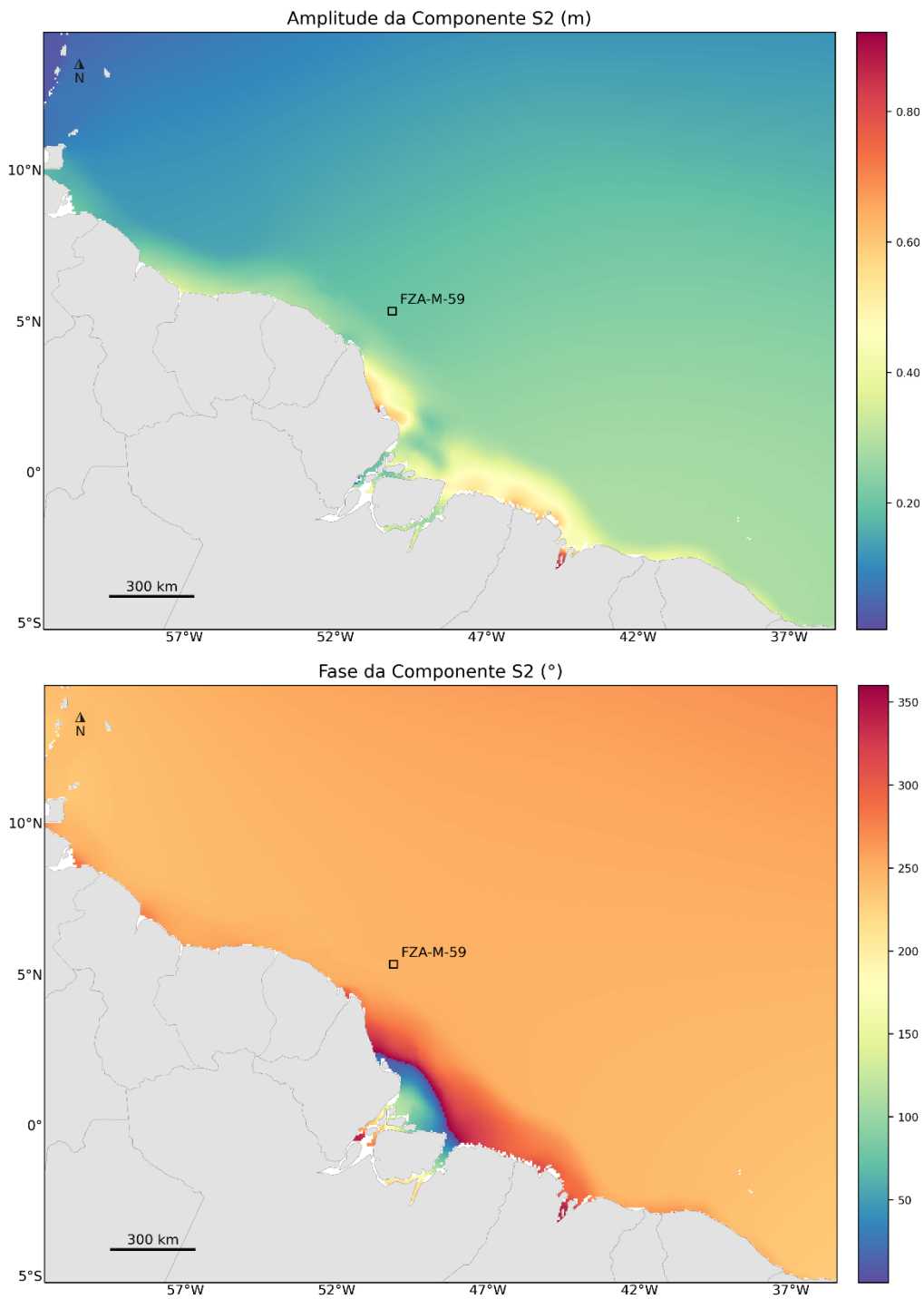


Figura III.3.4-2 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente S2. Fonte: TPX08.

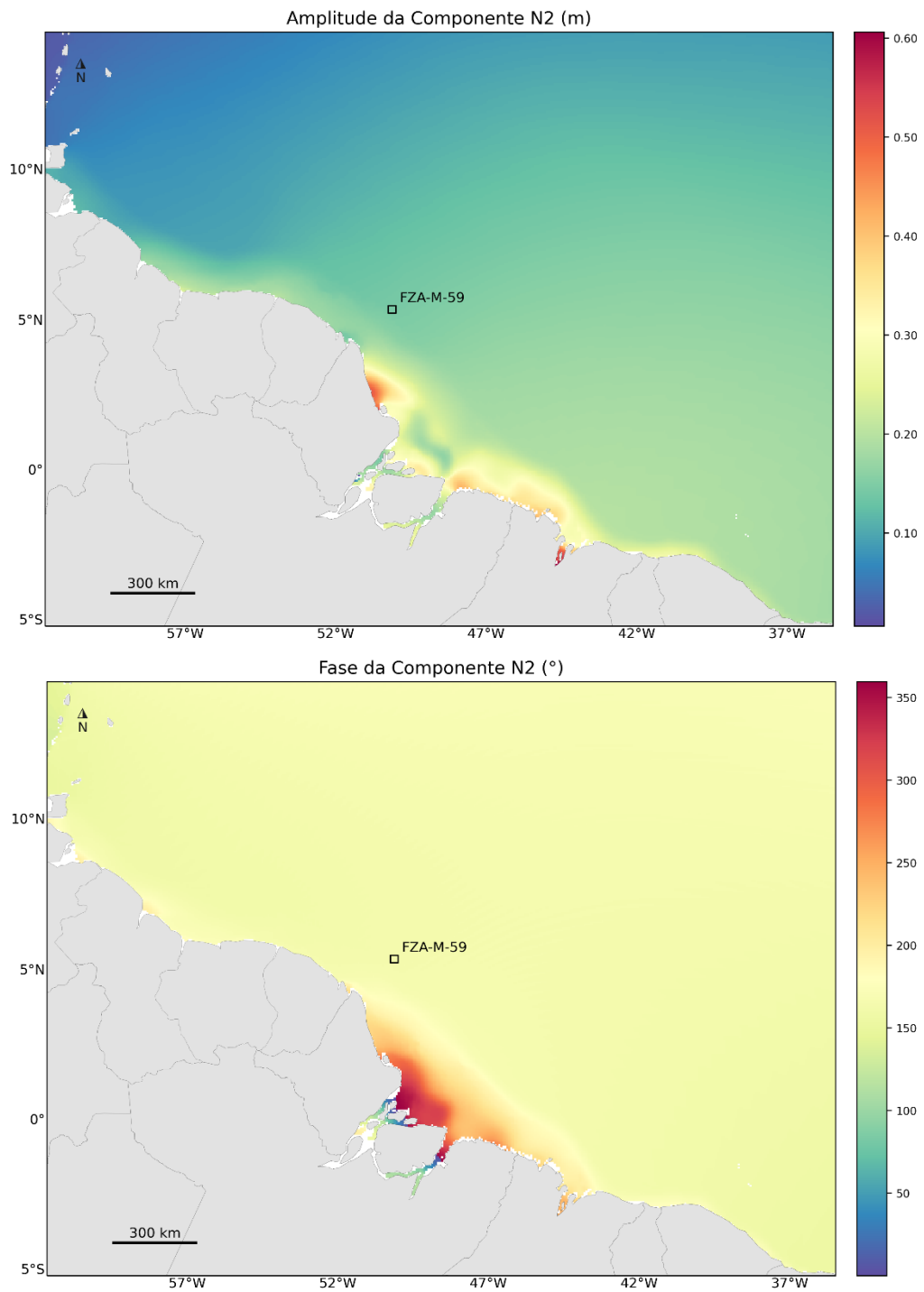


Figura III.3.4-3 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente N2. Fonte: TPX08.

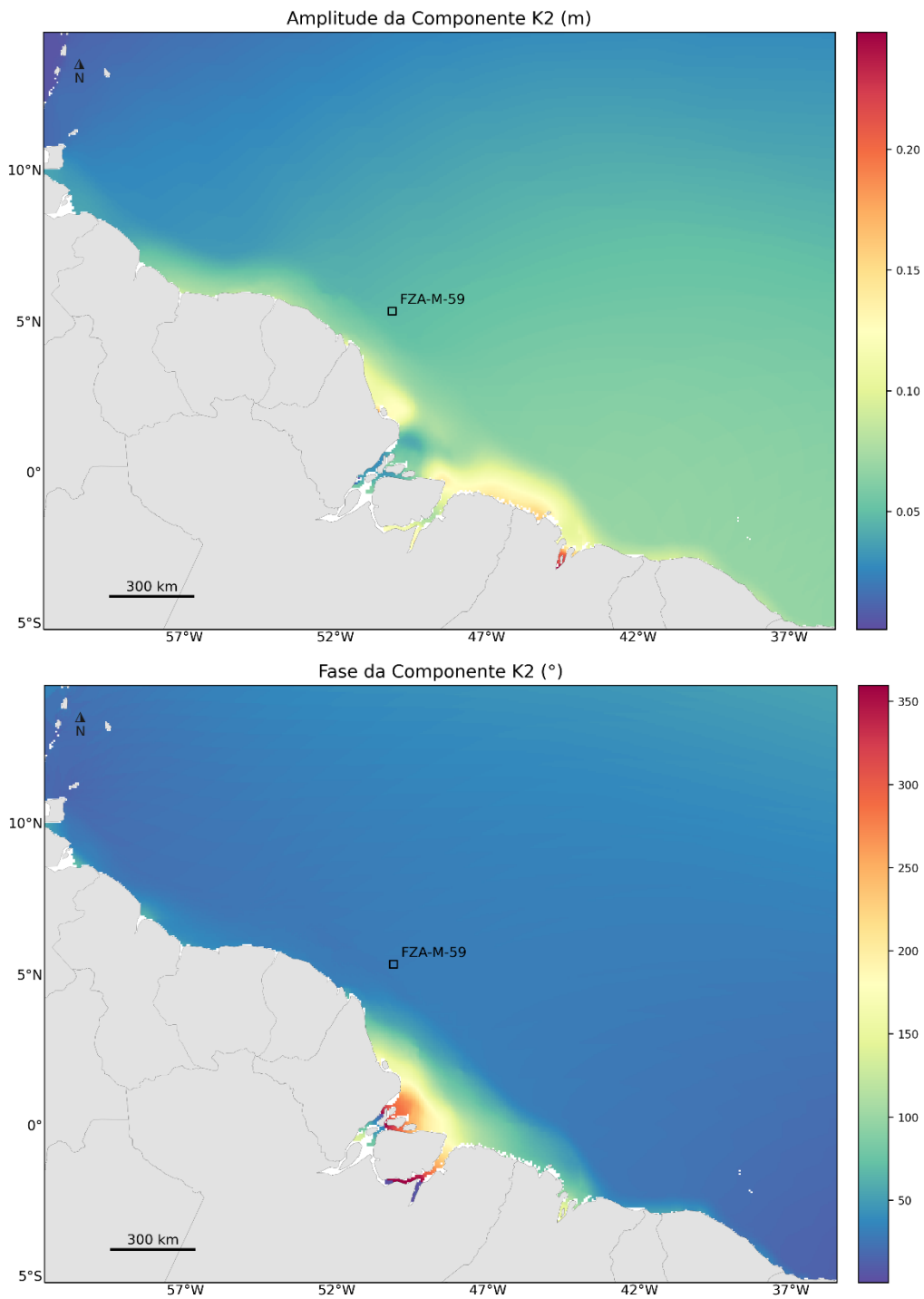


Figura III.3.4-4 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K2. Fonte: TPX08.

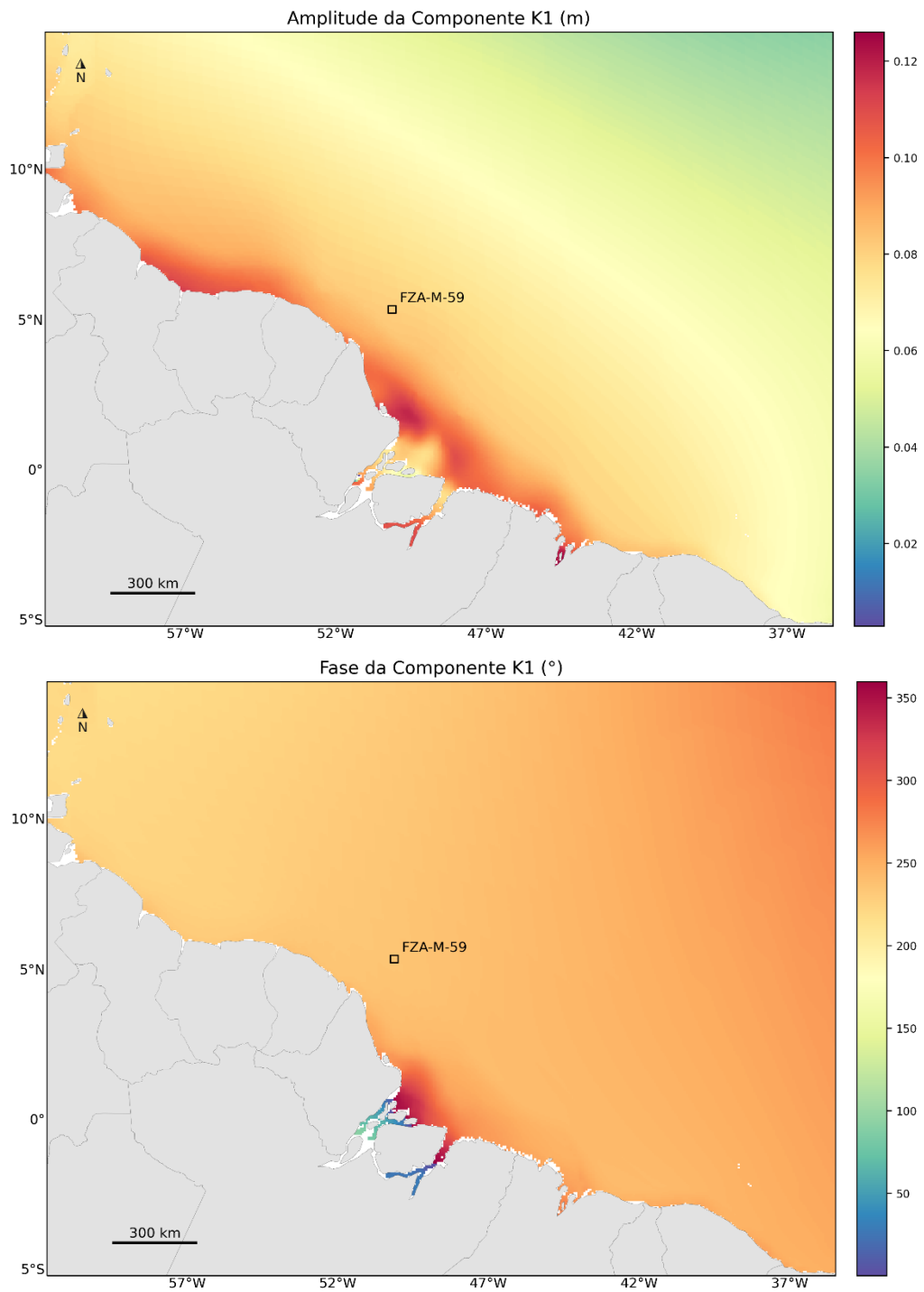


Figura III.3.4-5 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente K1. Fonte: TPX08.

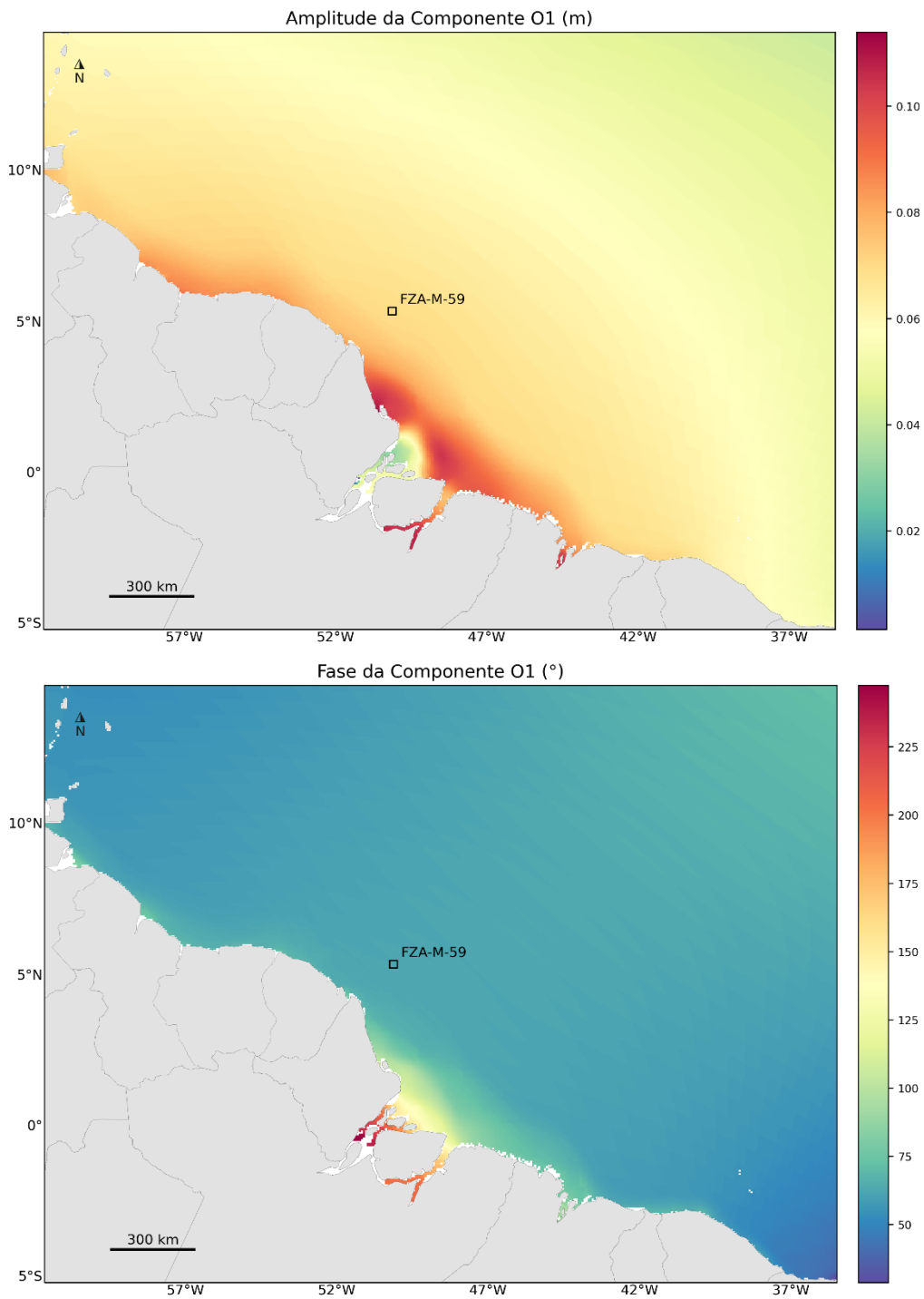


Figura III.3.4-6 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente O1. Fonte: TPX08.

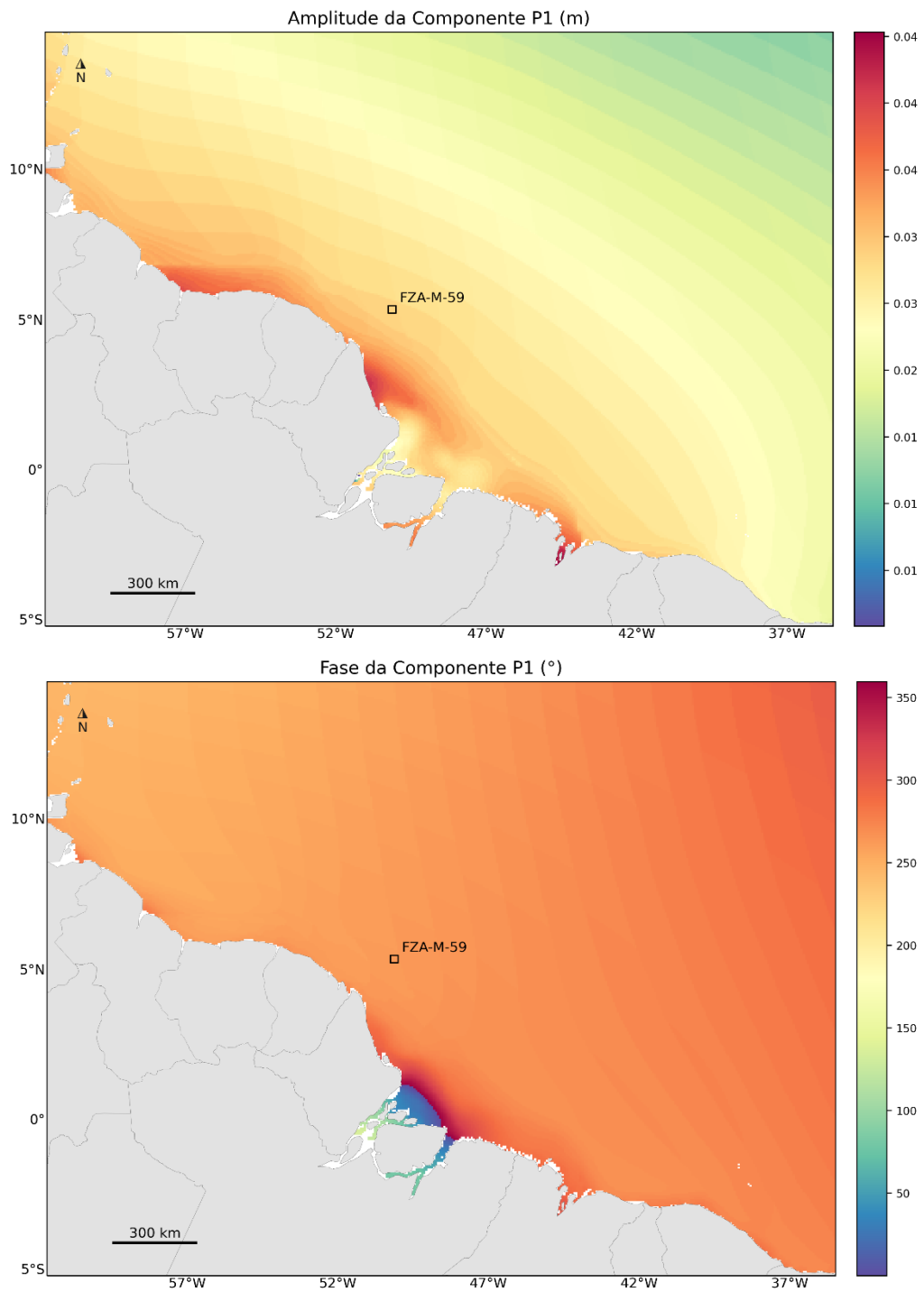


Figura III.3.4-7 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente P1. Fonte: TPX08.

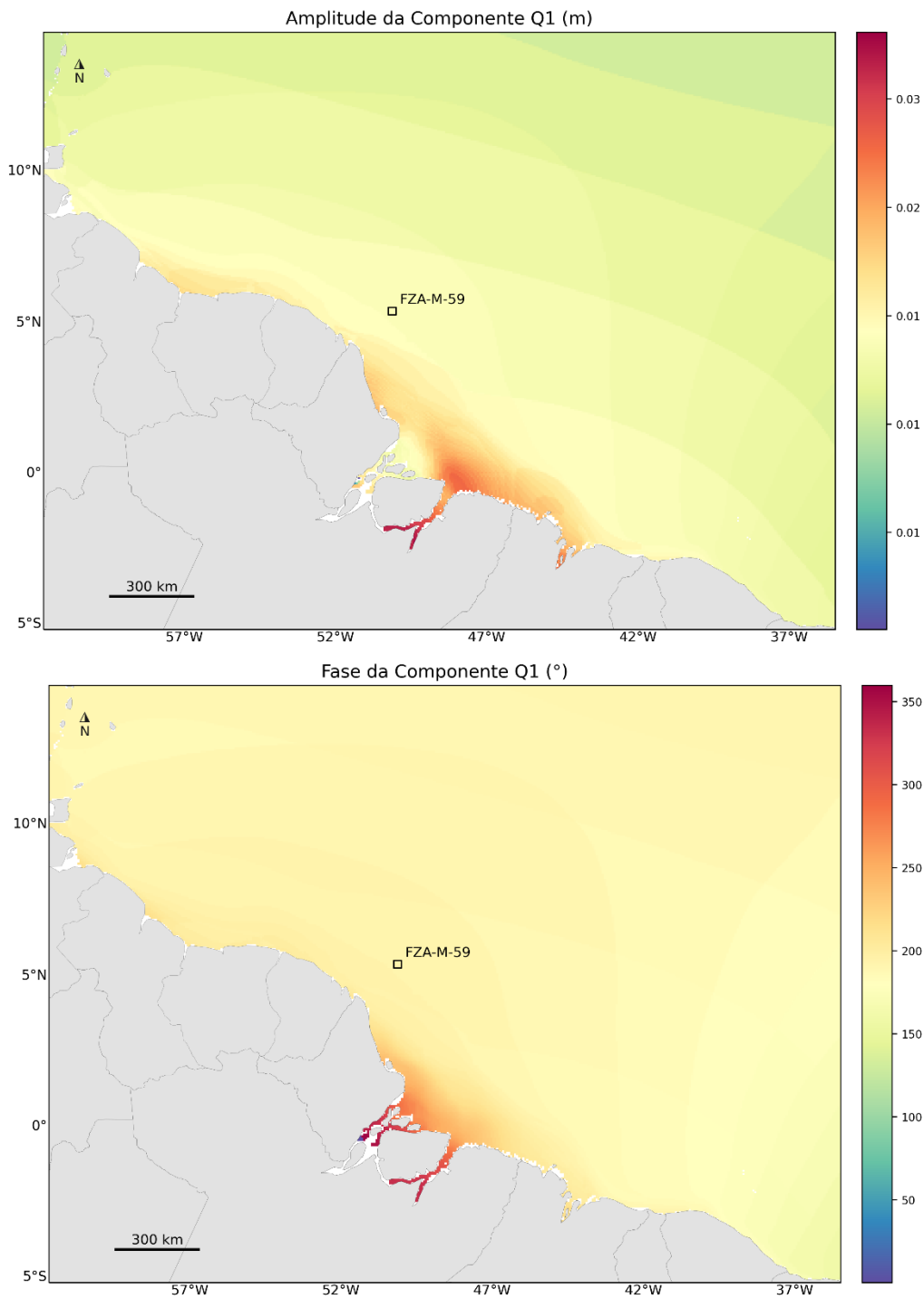


Figura III.3.4-8 – Mapa de amplitudes da elevação e fases da componente Q1. Fonte: TPX08.

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

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

$$\overline{u_n} = \overline{u_n^{ext}} - \sqrt{\frac{g}{h}}(n - n^{ext}) \quad (1)$$

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

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

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \sqrt{g(n + h_0)} \frac{\partial n}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

onde h_0 é a profundidade local.

III.3.5. Descarga Fluvial

A vazão dos rios é proveniente da climatologia mensal de descarga de rios presente em Dai & Trenberth (2002).

Conforme descrito no item II.3.3 (Condições de Contorno Laterais), o ROMS foi configurado para usar os resultados do CMEMS (Mercator) como condição inicial e de contorno e, para ler os resultados do Mercator em todo o seu domínio (X,Y e Z) através de um termo de tendência (*Nudging*), que faz com que os resultados do ROMS não diverjam em média dos resultados do Mercator.

Como os resultados do Mercator foram carregados a cada dia, nas três dimensões da grade do ROMS, o efeito da descarga fluvial na circulação e nos campos de massa no modelo ROMS é proveniente dos resultados do Mercator.

Dai & Trenberth (2002) elaboraram uma grade global de 1° de resolução com médias mensais da descarga de rios a partir de dados de vazão dos 921 maiores rios do mundo, complementados com estimativas de descarga de áreas não monitoradas com base nos índices de escoamento superficial e área de drenagem.

Esta grade elaborada é utilizada então como condição de contorno de terra no modelo hidrodinâmico do Mercator, levando o modelo a representar a vazão dos principais rios ao redor do mundo.

Na Figura III.3.5-1 e na Tabela III.5.4.1-1 são apresentadas as estações localizadas na região de interesse.

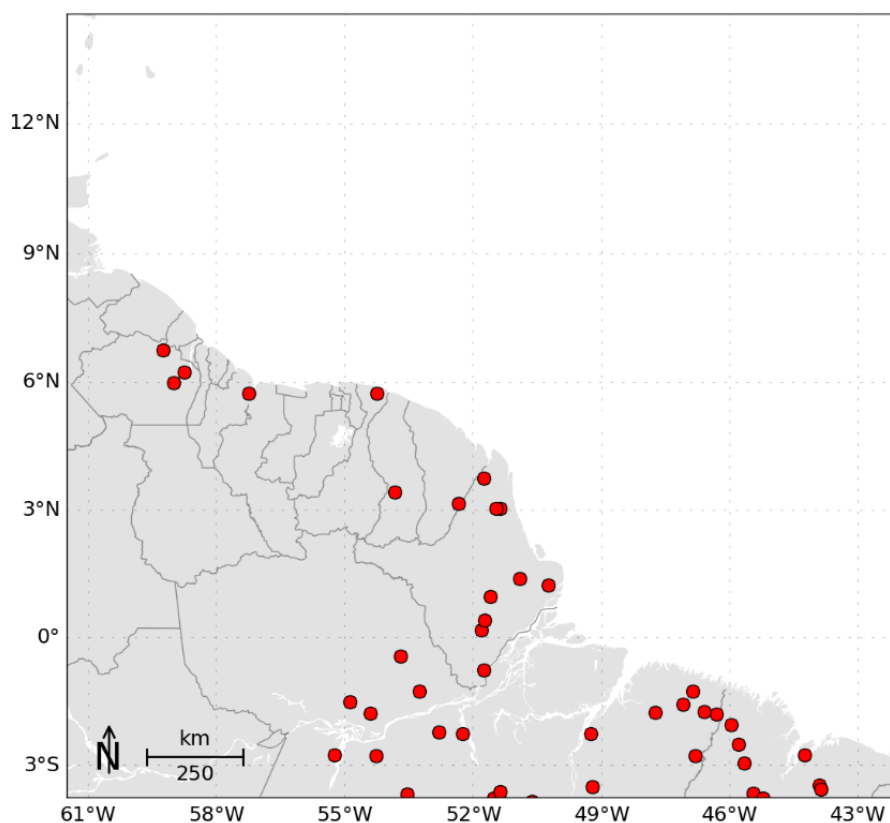


Figura III.3.5-1 – Estações utilizadas no Mercator obtidas de Dai & Trenberth (2002) que se encontram no domínio de modelagem.

Tabela III.5.4.1-1 – Estações utilizadas pelo Mercator, que se encontram no domínio de modelagem.

Estação	Latitude	Longitude
Obidos	-51,75	-0,75
Tucurui	-49,25	-2,25
Jatoba	-55,25	-2,75
Altamira	-52,25	-2,25
Langa Tabbe	-54,25	5,75
Maripa	-51,75	3,75
Sao Francisco	-53,25	-1,25
Porto Plato	-50,25	1,25
Badajos	-47,75	-1,75
Cantanhede	-44,25	-2,75
Fazenda Paq.	-53,70	-0,42
Alto Bonito	-46,32	-1,8
Retiro Santo	-51,37	3,05
Camopi	-52,35	3,17
Degrad-Roch	-53,83	3,42
Bom Jardim	-47,10	-1,56
jusante da i.	-54,27	-2,78
Boca do Inf.	-54,87	-1,5
Ramos	-51,60	0,97
Arapari	-54,40	-1,78
Fazenda Boa	-52,80	-2,22
Alto Turi	-45,67	-2,94
Tararua-Pon	-46,59	-1,74
Cafezal	-46,80	-2,77
Tartarugal	-50,92	1,4
Maracacume	-45,96	-2,05
Pancada	-51,80	0,18
Nova Mocaju	-46,87	-1,25
Acampamento	-51,74	0,41
Cooperativa	-51,46	3,04
Br-316	-45,79	-2,5

O efeito da descarga fluvial nos resultados do ROMS pode ser exemplificado pela Figura III.3.5-2, que apresenta a pluma do rio Amazonas, representada pelo campo de salinidade superficial calculado pelo ROMS.

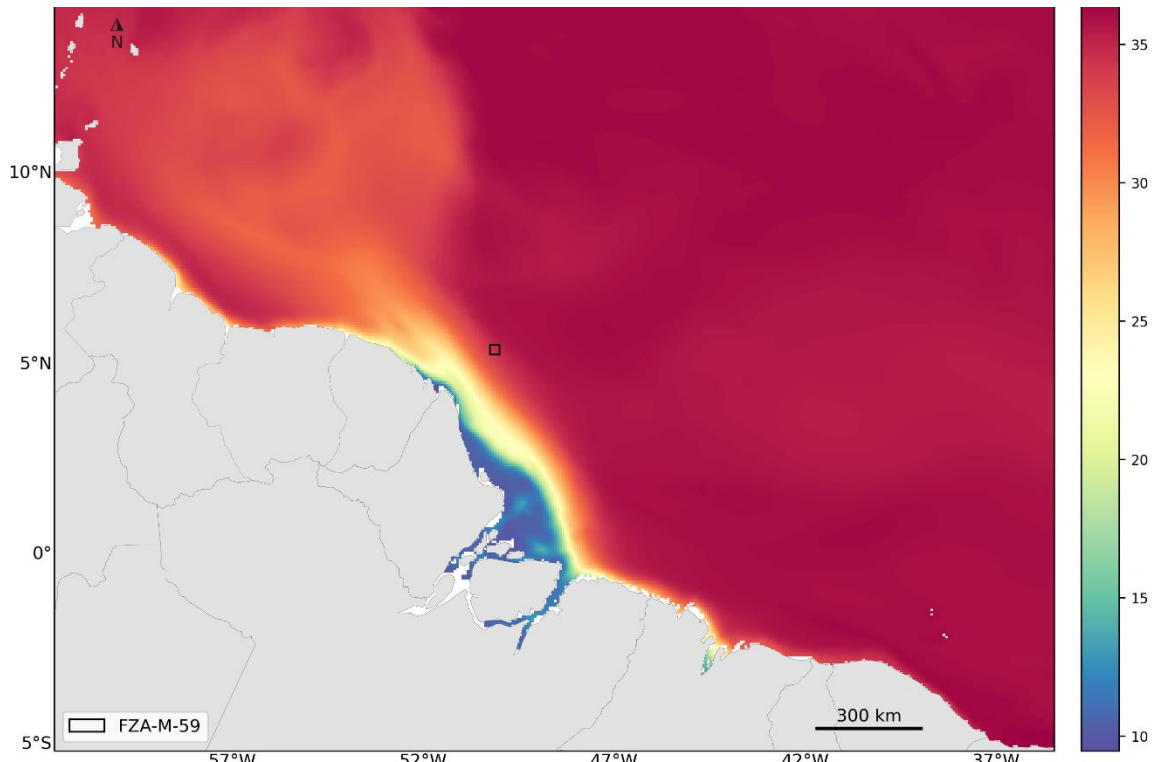


Figura III.3.5-2 – Campo médio de salinidade superficial obtido do ROMS para mês de maio de 2013.

III.4. Resultados

Toda costa norte brasileira sofre influência direta da Corrente Norte do Brasil (CNB), que transporta águas superficiais do Atlântico Sul para o hemisfério norte. A CNB é uma corrente de contorno oeste formada próximo da latitude 10°S, onde o fluxo para oeste da Corrente Sul Equatorial (CSE) inicia um movimento para norte em uma corrente de contorno (JOHNS *et al.*, 1998).

Ao norte do Equador o fluxo começa a deixar a CNB, alimentando um sistema de contra-correntes zonais: a Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE), a Subcorrente Equatorial (SCE), e a Subcorrente Norte Equatorial (SNE). Em superfície, a CNB continua seu fluxo até aproximadamente 6 - 7° N, onde esta retroflete para leste, alimentando a CCNE entre os meses de junho e janeiro, aproximadamente. Durante esta retroflexão, frequentemente são originados

vórtices pela CNB, que se desprendem da corrente e seguem para noroeste em direção ao Caribe (JOHNS *et al.*, 1998).

O sistema de correntes descrito acima é exemplificado na Figura III.4-1.

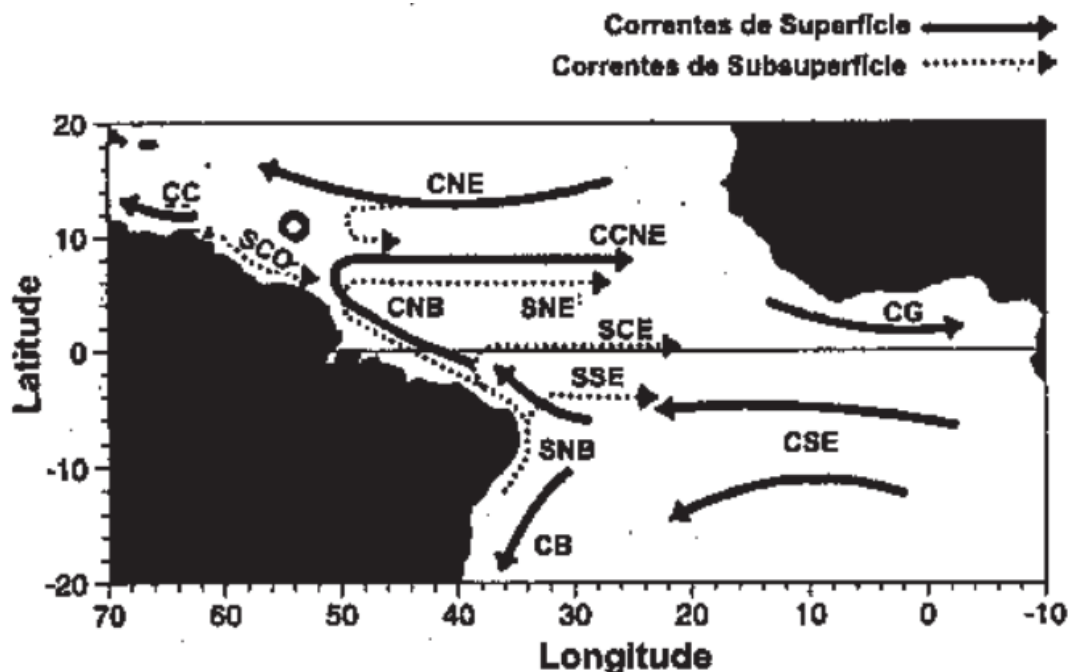


Figura III.4-1 – Diagrama esquemático das correntes superficiais e subsuperficiais do Oceano Atlântico Tropical. Fonte: Neto (2005).

Os campos médios mensais de circulação obtidos dos resultados do modelo podem ser observados da Figura III.4-2 até a Figura III.4-13. Estes campos demonstram que a região de estudo é influenciada diretamente pela CNB, que tem sua origem próxima à região dos blocos, onde a CSE encontra a Subcorrente Norte do Brasil e a junção desses fluxos forma a CNB. Nessa região a CNB é, em geral, menos intensa que nas demais regiões a oeste da margem equatorial brasileira.

Os campos médios de circulação superficial obtidos do ROMS demonstram, assim como apresentado pela literatura, que a retroflexão da CNB se torna mais nítida no segundo semestre do ano. Vórtices gerados no processo de retroflexão também podem ser observados.

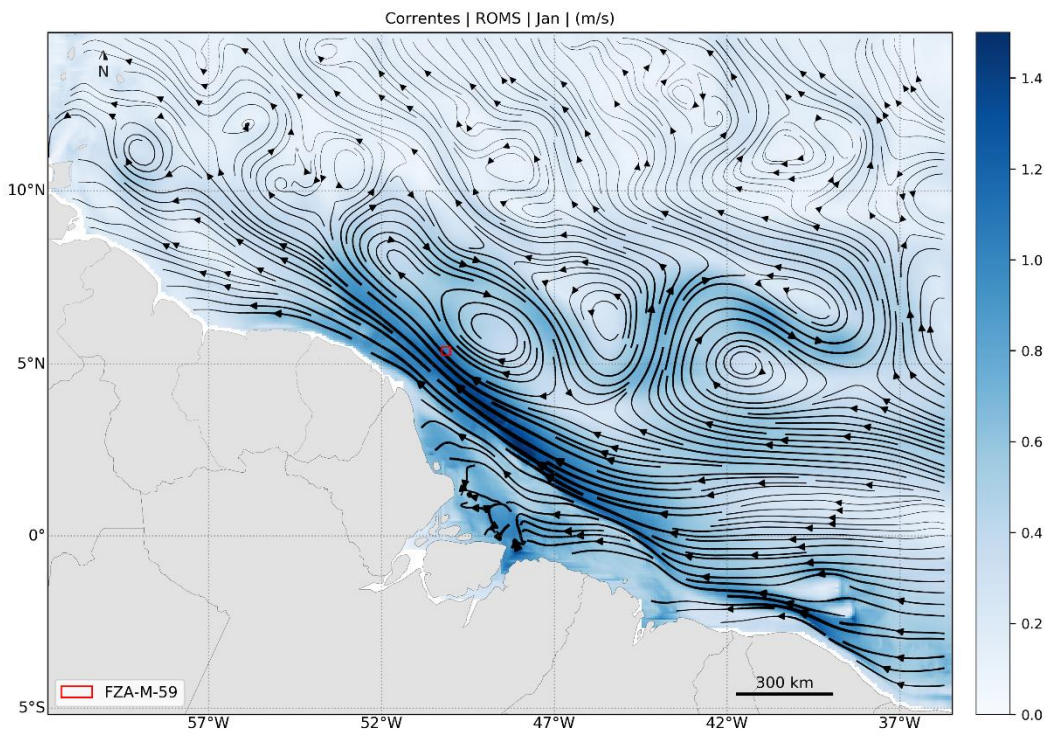


Figura III.4-2 – Campo médio de circulação para o mês de janeiro.

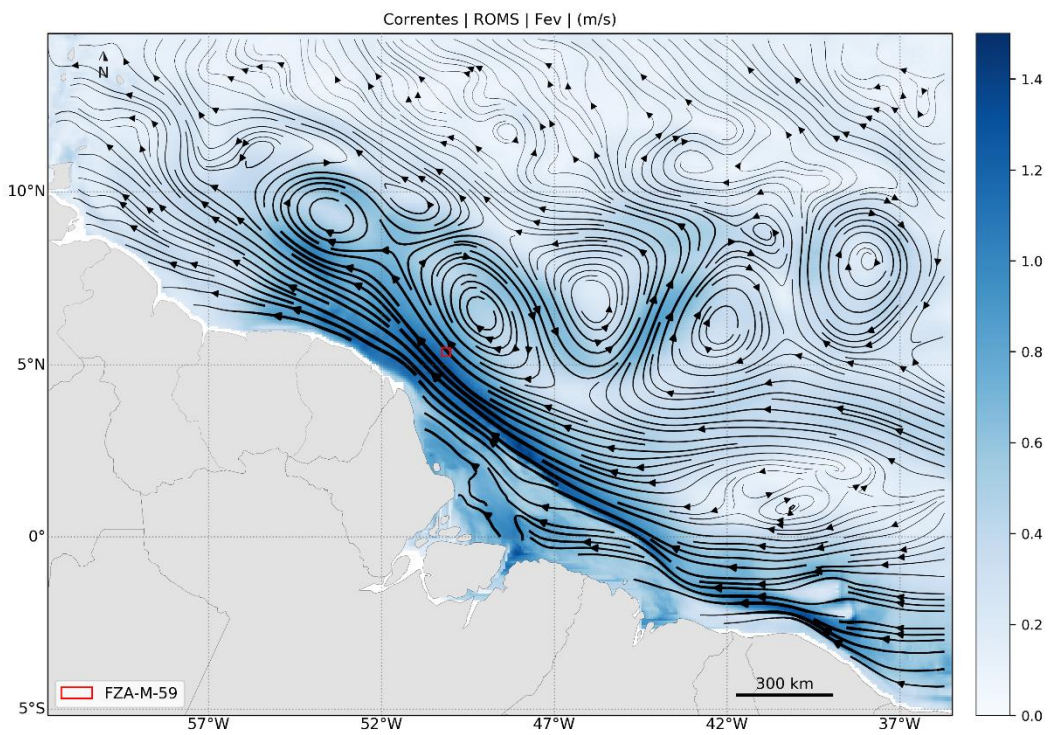


Figura III.4-3 Campo médio de circulação para o mês de fevereiro.

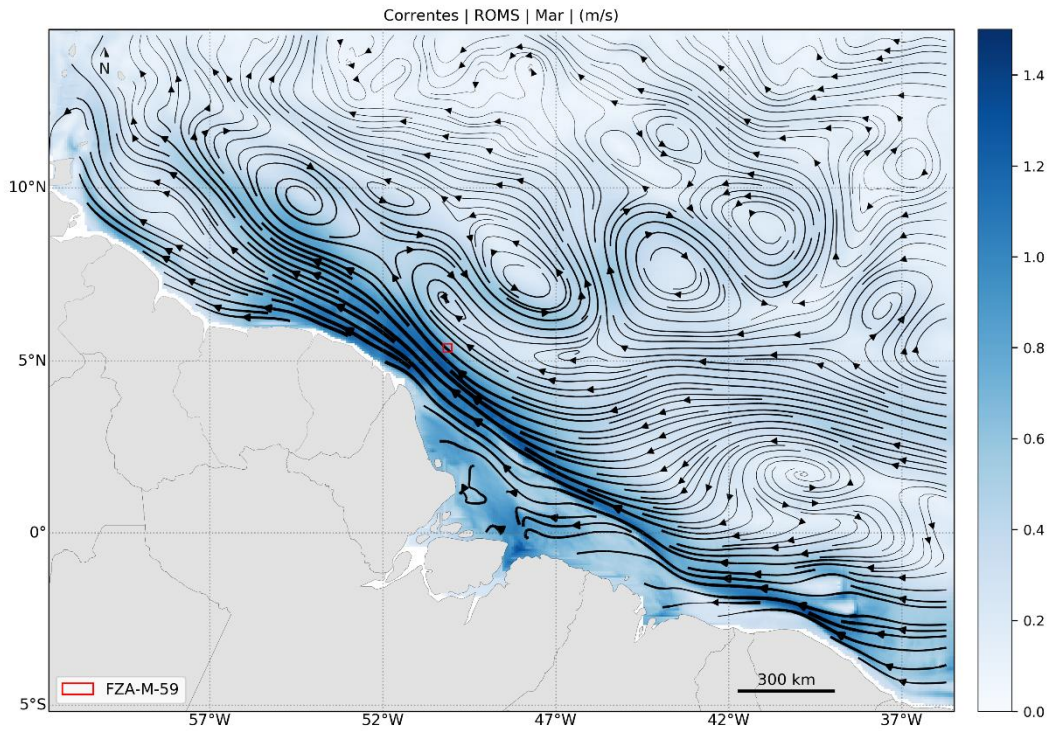


Figura III.4-4 - Campo médio de circulação para o mês de março.

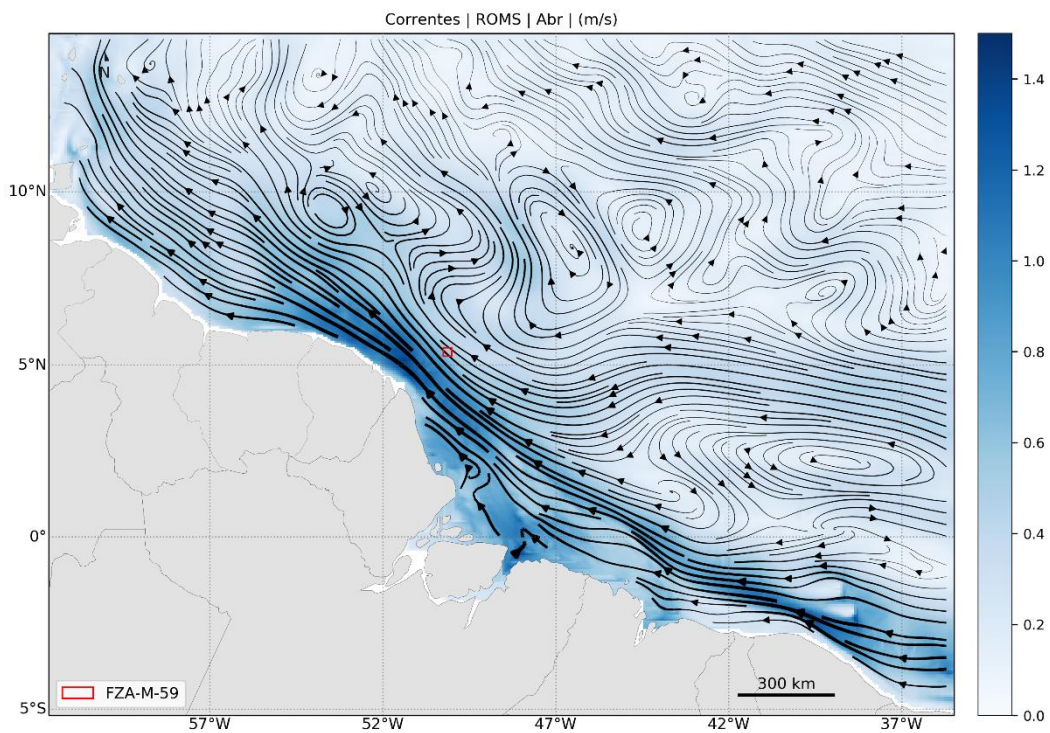


Figura III.4-5 - Campo médio de circulação para o mês de abril.

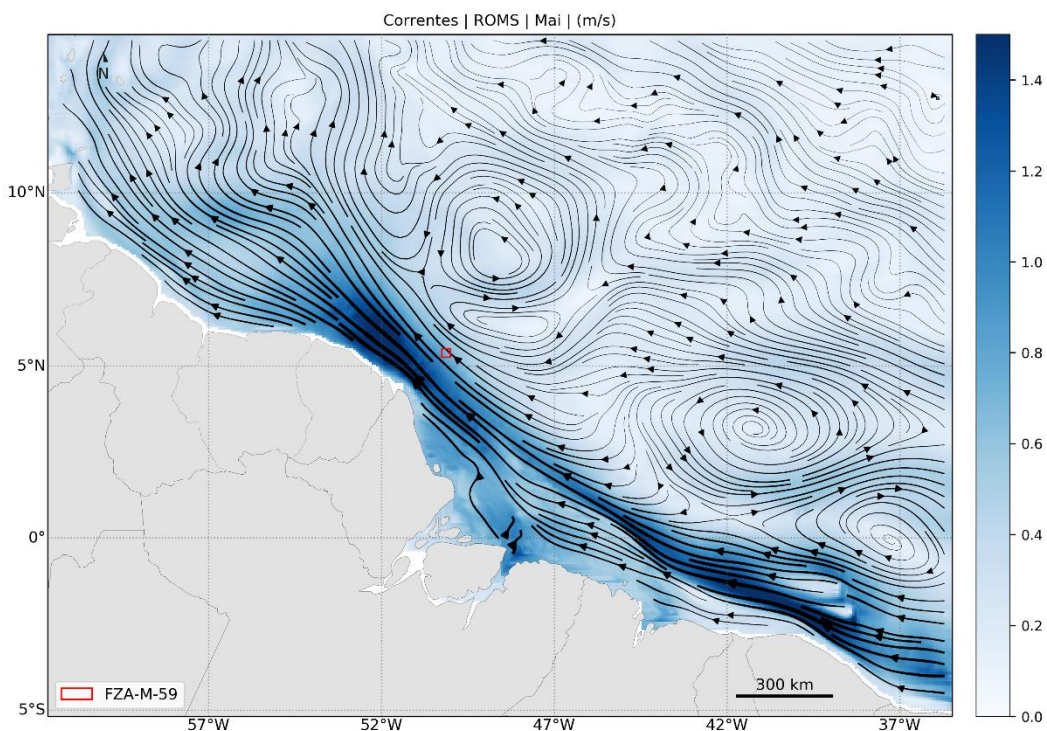


Figura III.4-6 - Campo médio de circulação para o mês de maio.

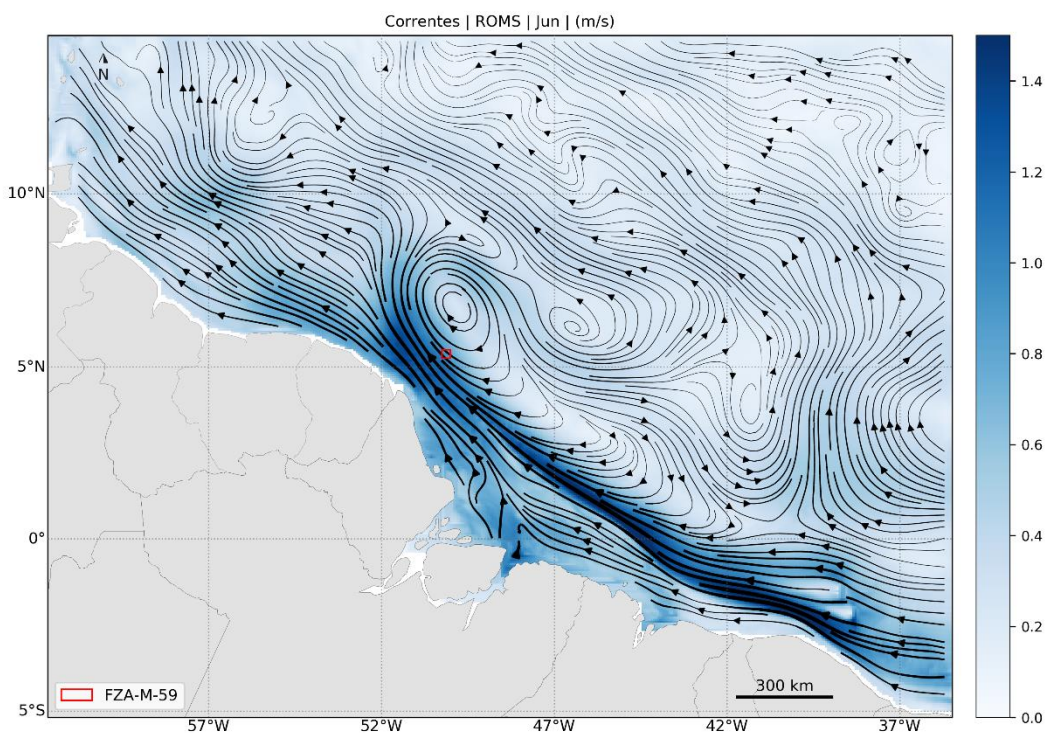


Figura III.4-7 - Campo médio de circulação para o mês de junho.

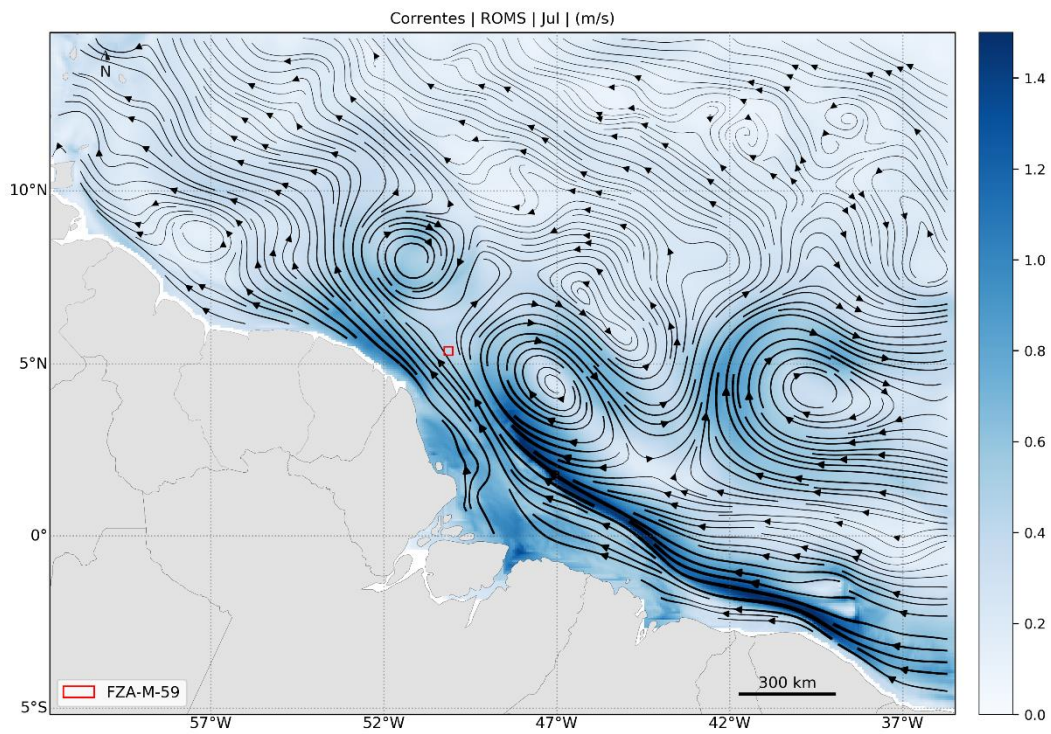


Figura III.4-8 - Campo médio de circulação para o mês de julho.

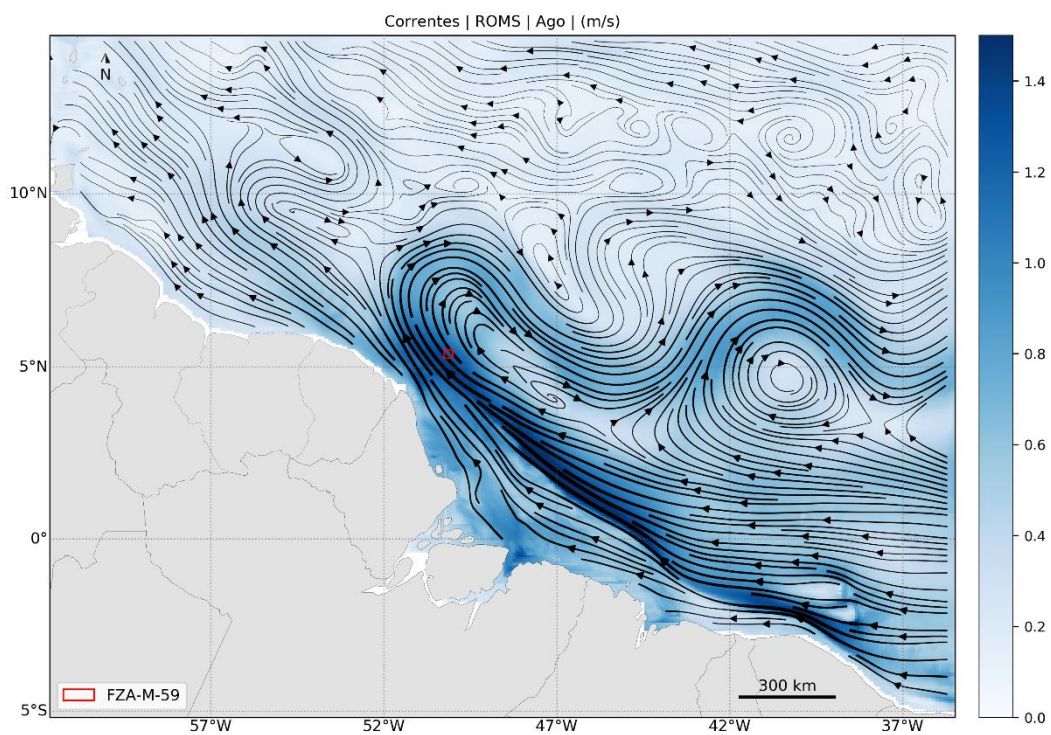


Figura III.4-9 - Campo médio de circulação para o mês de agosto.

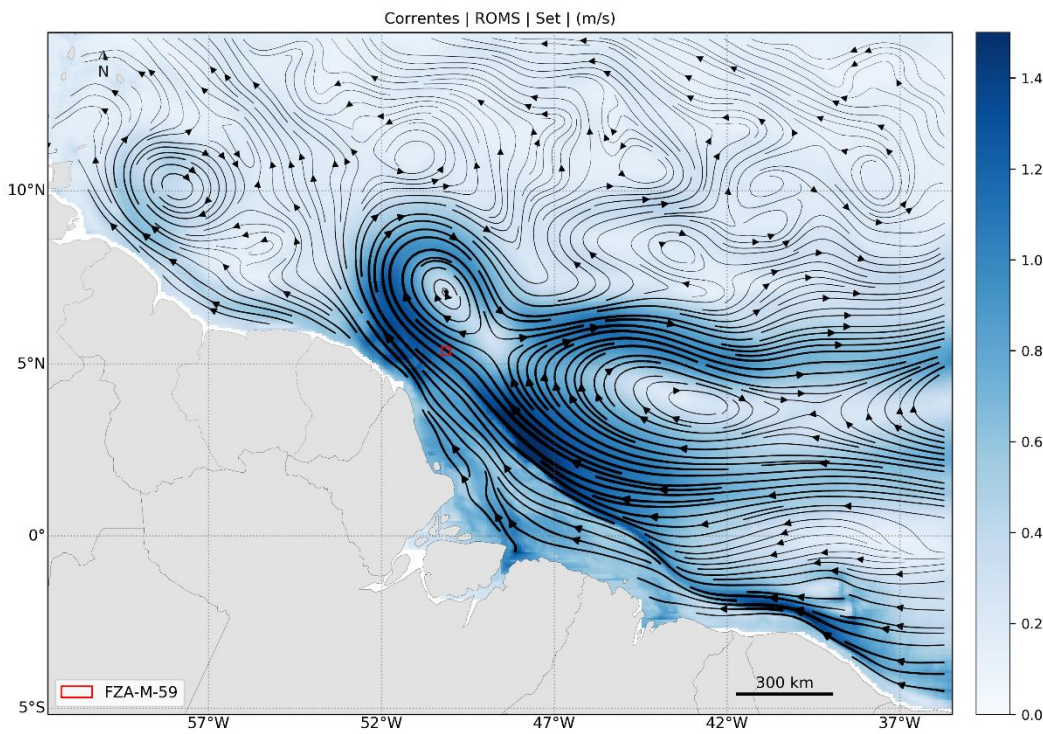


Figura III.4-10 - Campo médio de circulação para o mês de setembro.

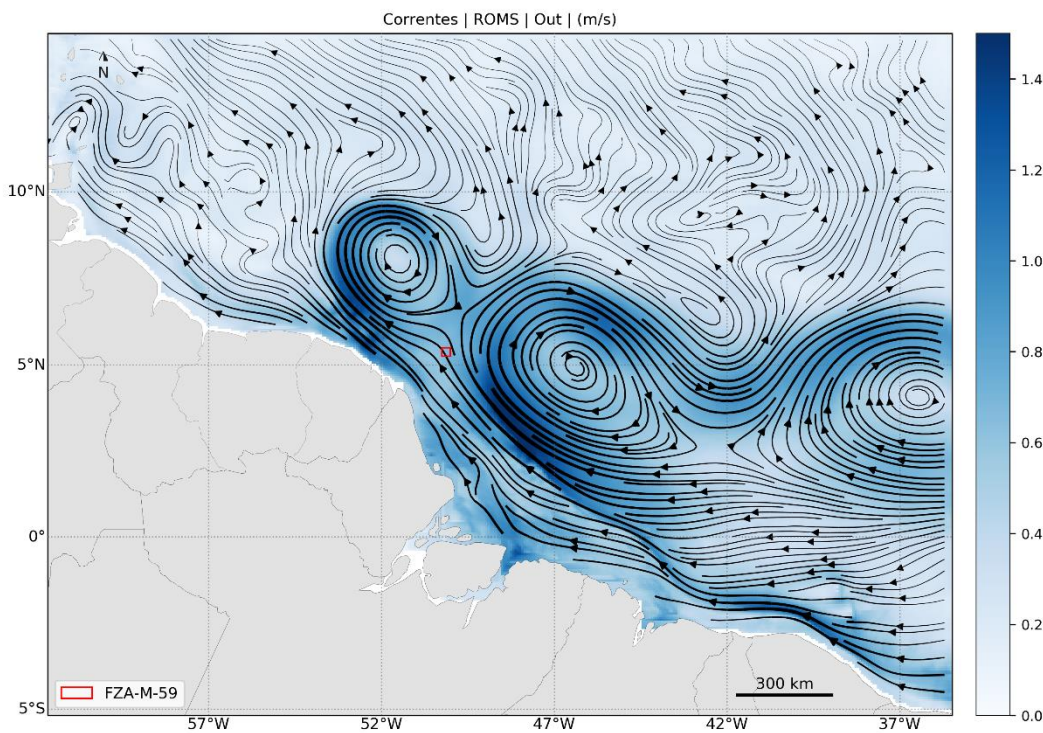


Figura III.4-11 - Campo médio de circulação para o mês de outubro.

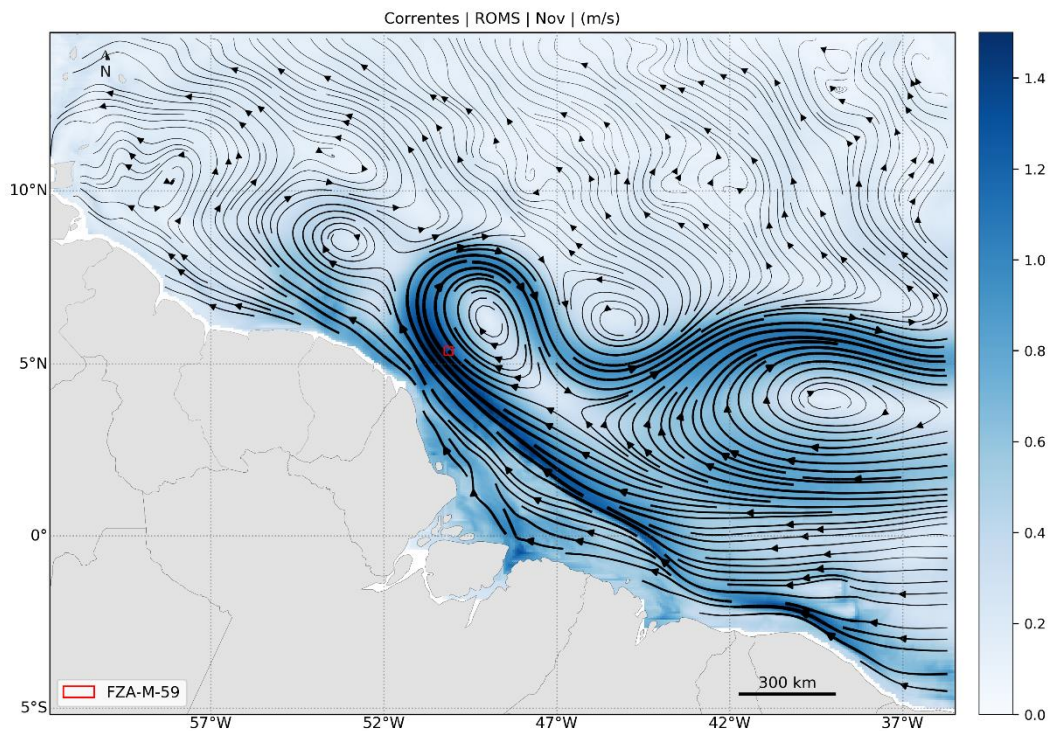


Figura III.4-12 - Campo médio de circulação para o mês de novembro.

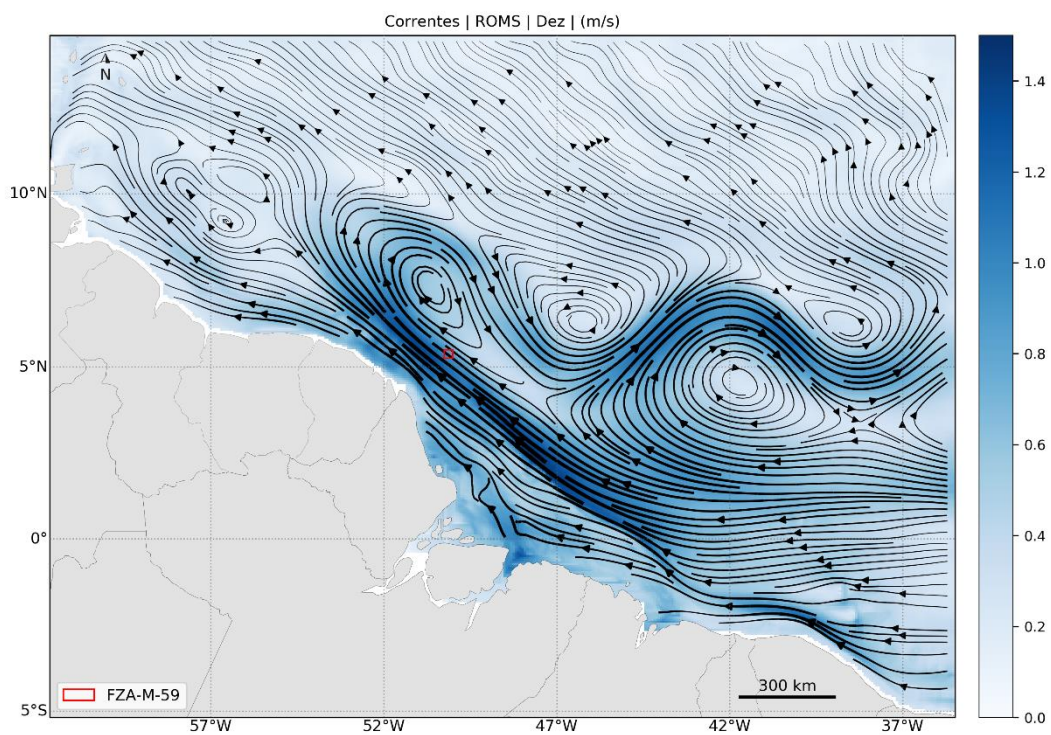


Figura III.4-13 - Campo médio de circulação para o mês de dezembro.

III.5.Avaliação do Modelo

Para que se possa saber se o comportamento de um modelo numérico é suficientemente compatível com o “sistema real” é necessário realizar uma comparação entre os resultados obtidos nos dois mundos; o “real” e o simulado. Assim, foram realizadas diversas comparações entre dados medidos e os resultados obtidos pelo modelo, as quais são apresentadas a seguir.

III.5.1.Maré

Para comparar a elevação de maré calculada pelo modelo numérico com dados da região modelada foram escolhidas oito estações maregráficas (Ponta dos Índios – AP, Plataforma Penrod – AP, Cabo Maguari – PA, Ilha dos Irmãos – MA, Recifes Manoel Luiz – MA, Mangunça – MA, Luiz Correa – PI e Paracurú - CE) da FEMAR (Figura III.5.1-1) situadas ao longo do domínio de modelagem. Estas estações foram escolhidas por estarem em regiões bem distintas do domínio de modelagem, tanto em regiões oceânicas, quanto em regiões costeiras.

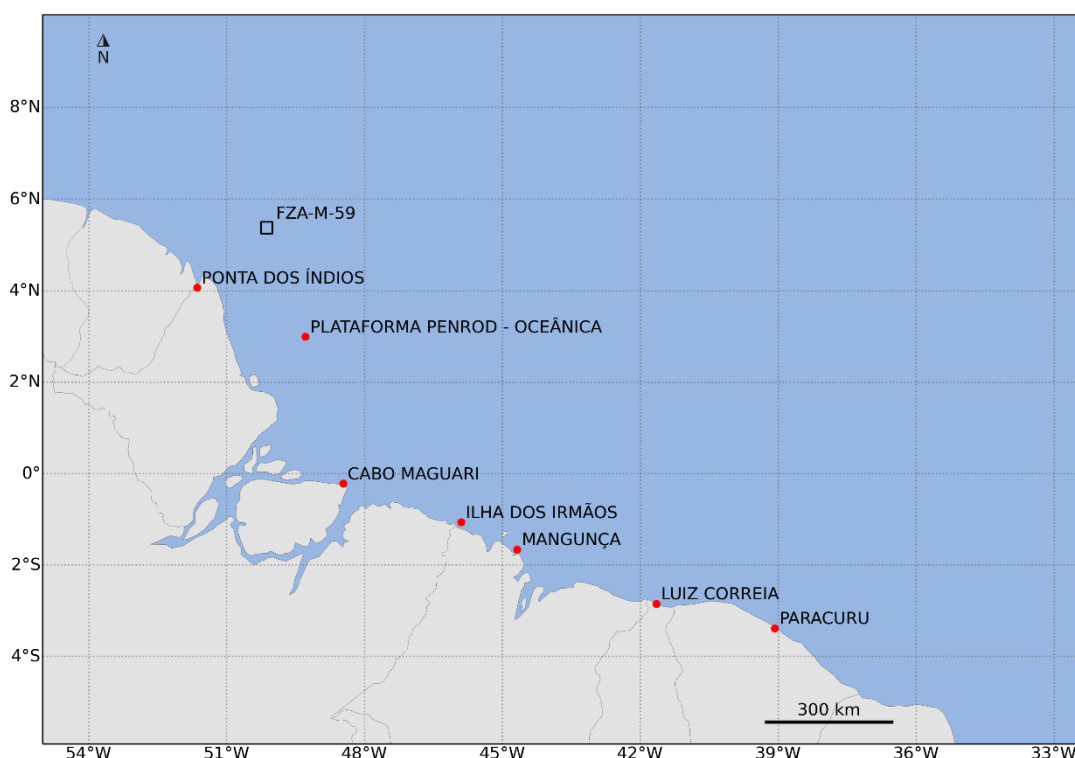


Figura III.5.1-1 - Localização das estações da FEMAR utilizadas para comparação de maré.

Com os dados das constantes harmônicas dessas estações foram realizadas previsões da elevação de maré para o período de simulação (janeiro a dezembro de 2013) com resolução temporal horária. Esses dados foram comparados com os valores de maré reconstituídas a partir das constantes harmônicas obtidas de séries de elevação do nível do mar retirados do modelo nos pontos de grade mais próximos das estações (Figura III.5.1-2 a Figura III.5.1-8). As comparações são apresentadas para todo o período de modelagem, e em detalhamento para um período de 30 dias. A comparação em 30 dias é feita para que as diferenças e semelhanças em amplitude e fase possam ser melhor observadas, não tendo sido escolhidos períodos em que haja maior aproximação, ou divergência entre as séries modeladas e observadas.

PARACURÚ

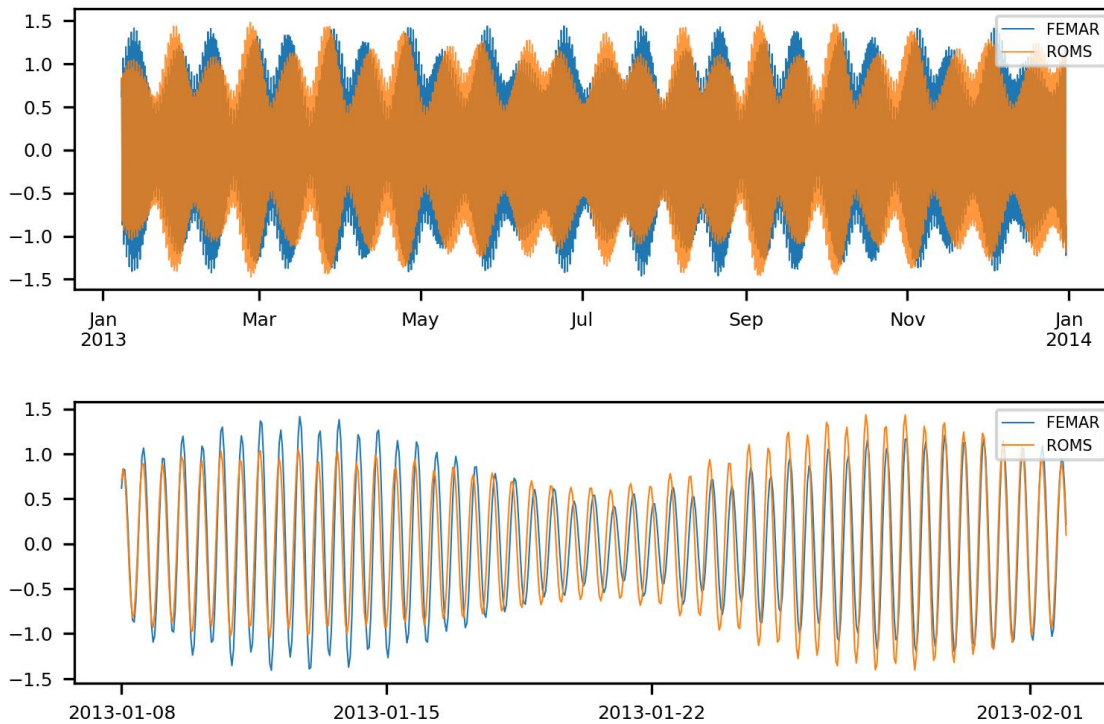


Figura III.5.1-2 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Paracurú-CE e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

LUIZ CORREIA

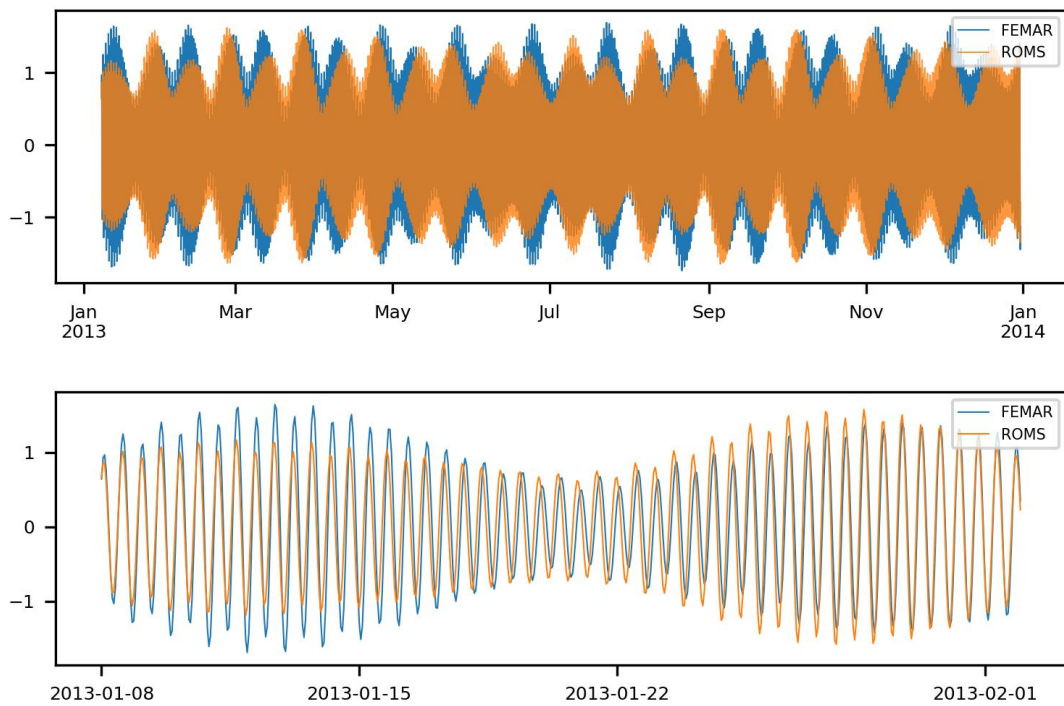


Figura III.5.1-3 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Luiz Correia-PI e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

MANGUNÇA

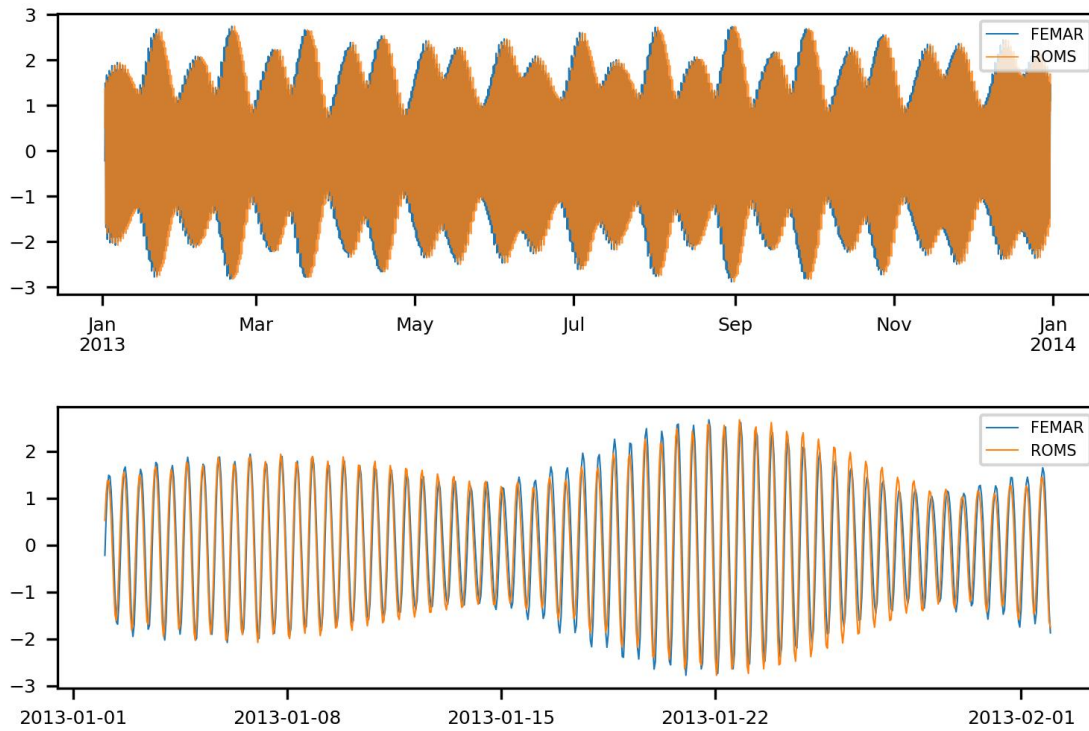


Figura III.5.1-4 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Mangunça-MA e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

ILHA DOS IRMÃOS

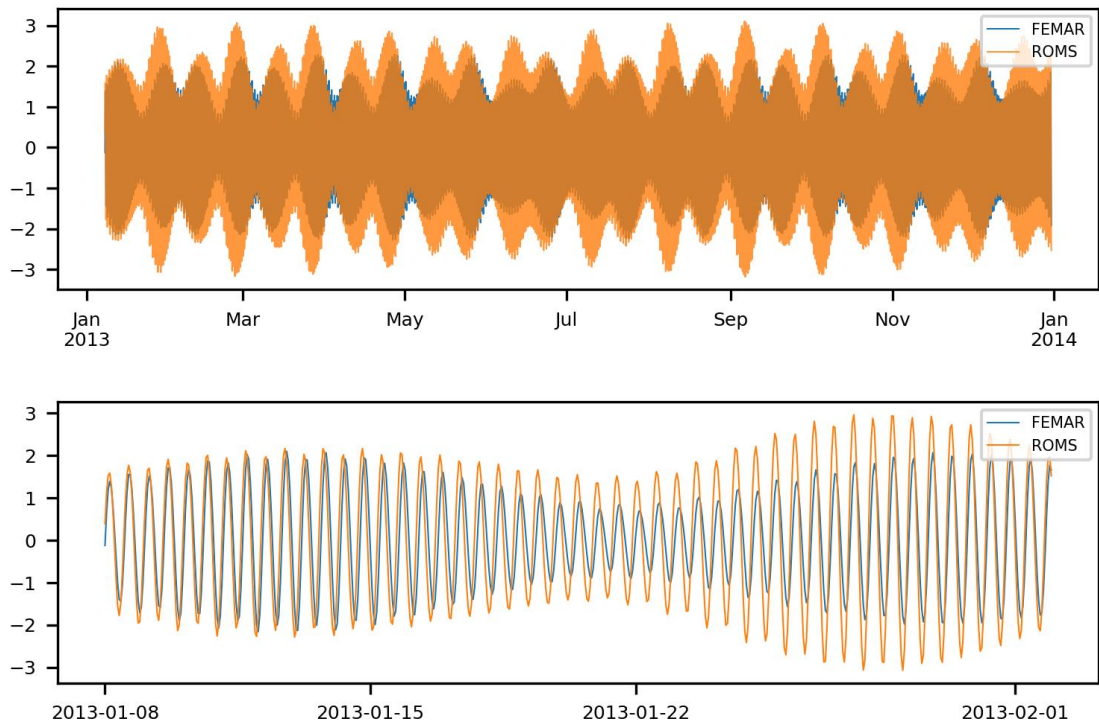


Figura III.5.1-5 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Ilha dos Irmãos e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

CABO MAGUARI

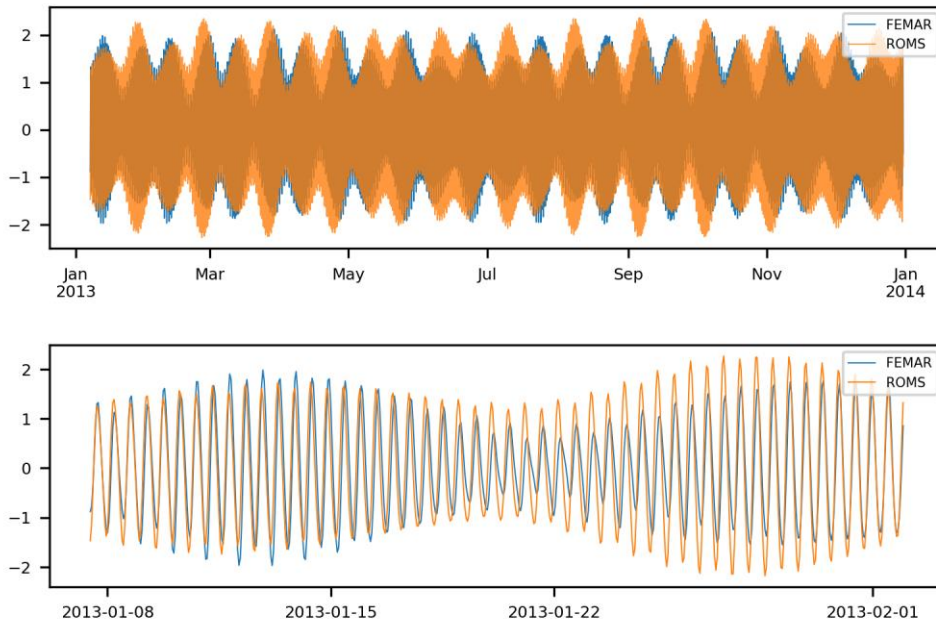


Figura III.5.1-6 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR do Cabo Maguari e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

PLATAFORMA PENROD - OCEÂNICA

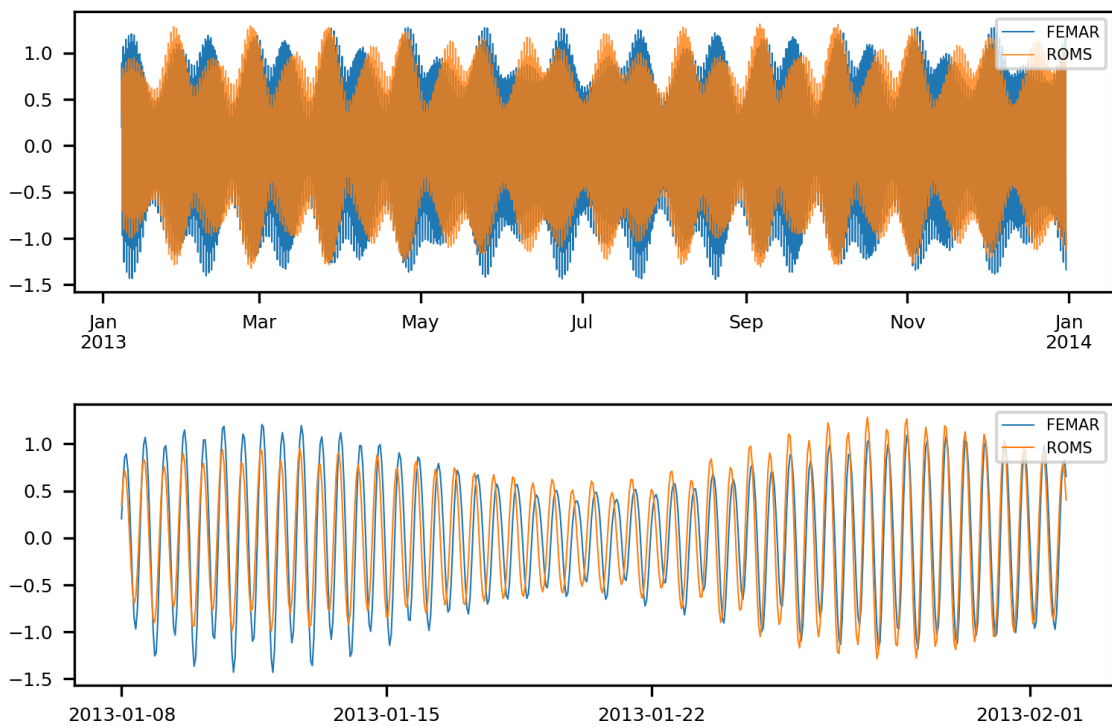


Figura III.5.1-7 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Plataforma Penrod e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

PONTA DOS ÍNDIOS

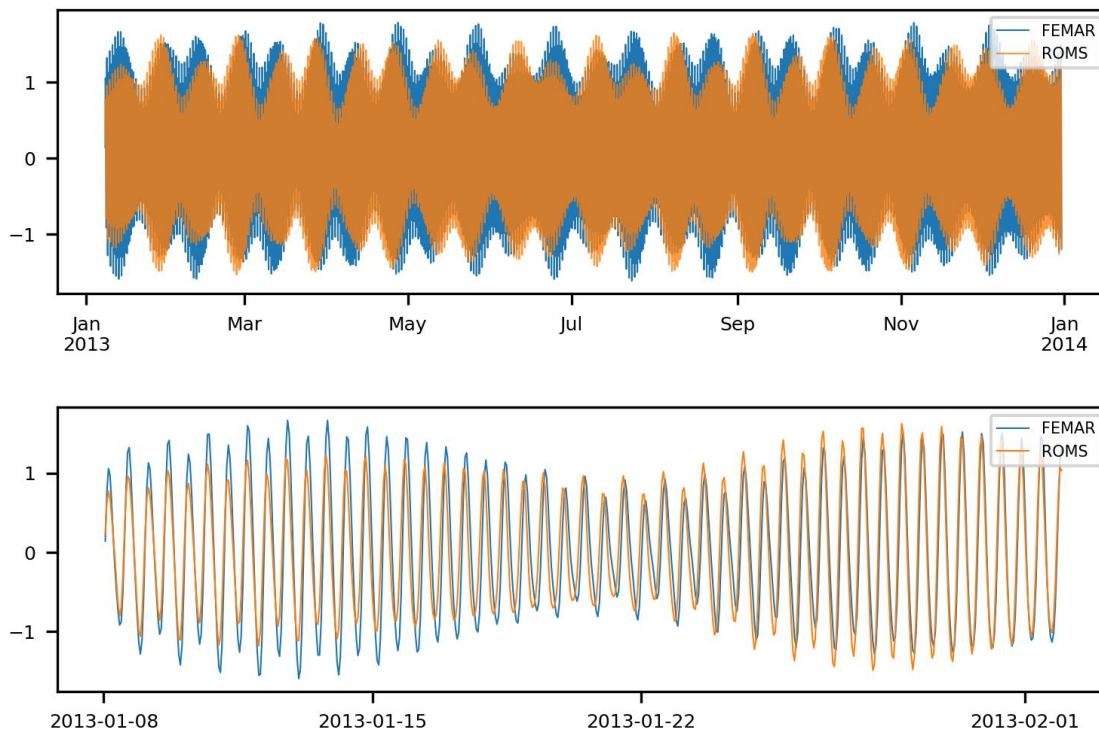


Figura III.5.1-8 – Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Ponta dos Índios-AP e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

No geral, houve uma boa aproximação das séries tanto em amplitude quanto em fase. As maiores diferenças são observadas nas estações Cabo Maguari-PA e Luiz Correia-PI. Visualmente, nota-se que nestas estações houve uma boa concordância em fase, porém com uma pequena superestimação das amplitudes.

Para avaliar a capacidade de representação da amplitude e da fase da onda de maré pelo modelo são calculados o erro médio absoluto, “EMA”, (Eq. 1) e o coeficiente de correlação de Pearson “p” (Eq.2), entre as séries reconstituídas.

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (3)$$

$$p = \frac{cov(x,y)}{\sqrt{var(x)*var(y)}} \quad (4)$$

Onde “x” é a série maregráfica do modelo do modelo e “y” é a série da FEMAR. O erro médio (EMA) e o coeficiente de correlação linear (p) aplicados à série de maré indicam o desvio da amplitude e o desvio de fase, respectivamente, entre a onda de maré modelada e a reconstituída. Os índices calculados são apresentados na Tabela III.5.1-1 para cada estação utilizada e para a média das estações. O EMA variou entre 0,19 (Mangunça-MA) e 0,34 (Cabo Maguari-PA) e o índice de correlação variou entre 93,4% (Cabo Maguari-PA) e 98,5% (Mangunça-MA). Os valores médios de EMA e p foram 0,26 e 95%, respectivamente.

Tabela III.5.1-1 – Comparação estatística entre os dados de elevação do ROMS e os dados medidos.

Local	MAE (m)	p (%)
Paracurú-CE	0,2	94,2
Luiz Correia-PI	0,24	94,1
Mangunça-MA	0,19	98,5
Ilha dos Irmãos-MA	0,4	95,6
Cabo Maguari-PA	0,34	93,4
Plataforma Penrod-PA	0,18	94,2
Ponta dos Índios-AP	0,23	94,7
Média	0,26	95

III.5.2. Temperatura da Superfície do Mar

Da Figura III.5.2-1 à Figura III.5.2-12 são apresentadas as médias mensais da temperatura da superfície do mar (TSM) obtidas do ROMS para o ano de 2013, e as médias mensais da TSM obtida de dados satelitais disponibilizados pelo JPL (*Jet Propulsion Laboratory*) MUR (*Multi-Scale Ultra High Resolution Sea Surface*

Temperature) para o mesmo período de modelagem. Este produto abrange todo o globo e possui alta resolução (~1 km).

O produto combina dados do MODIS, com AVHRR, sensores de microondas, e dados de TSM *in situ* obtidos por boias e navios, aplicando uma correção interna para defasagens relativas as diferentes bases de dados. A resolução da análise do MUR é a mais alta quando comparada às demais análises de TSM (CHIN *et. al.*, 2017).

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

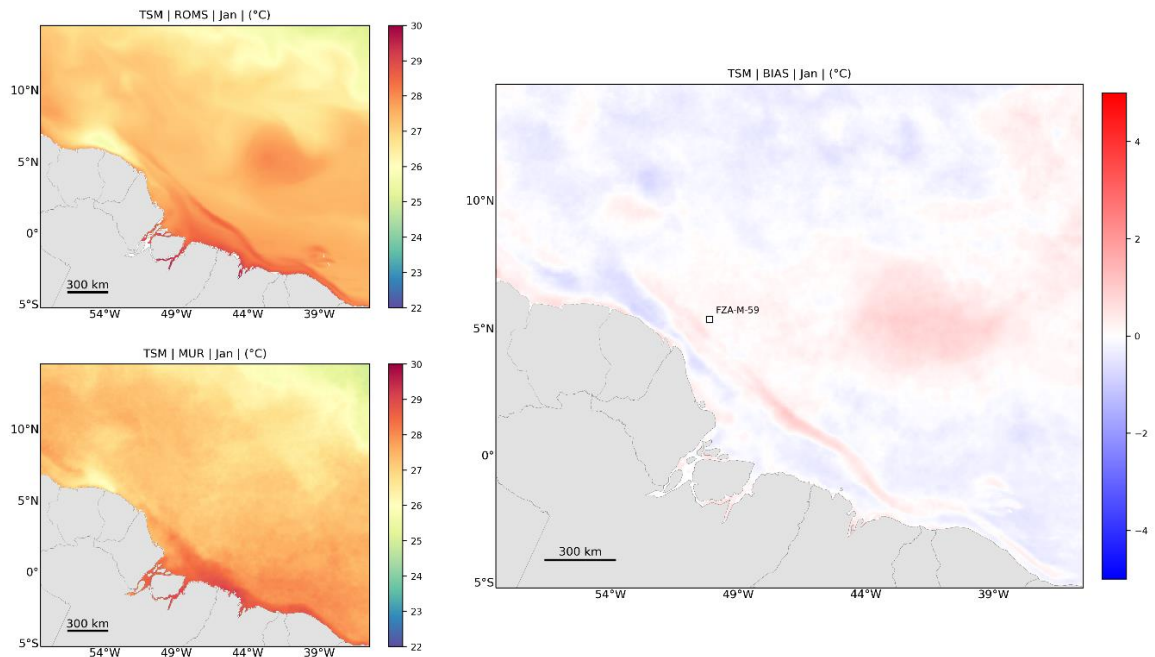


Figura III.5.2-1 – TSM média para janeiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

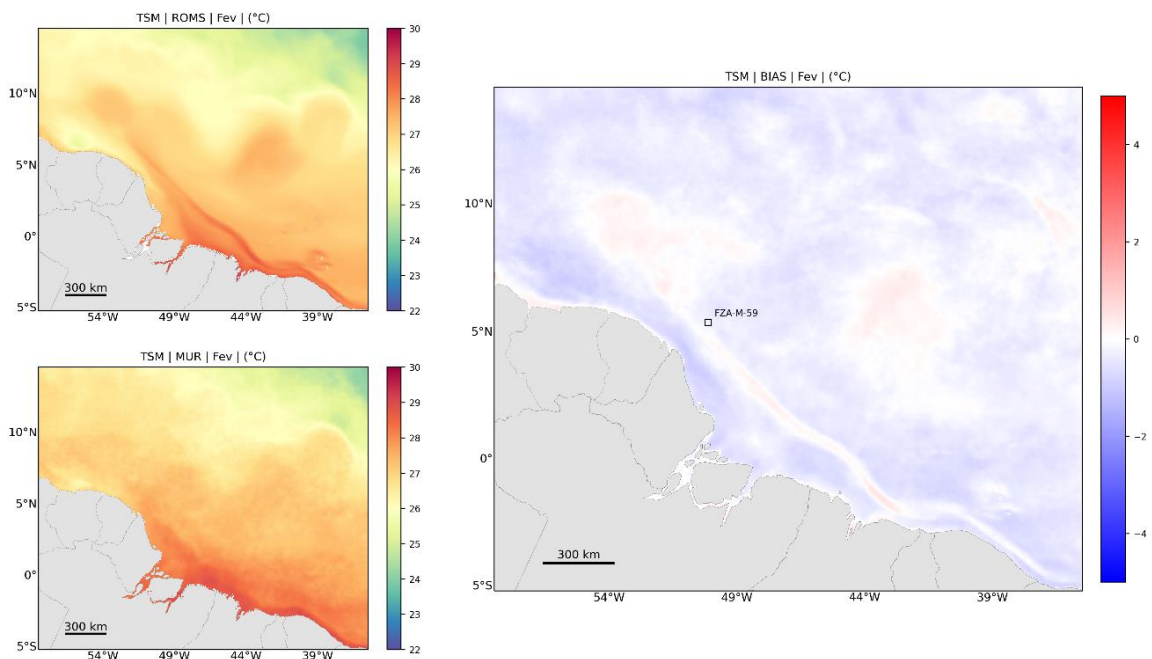


Figura III.5.2-2 – TSM média para fevereiro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

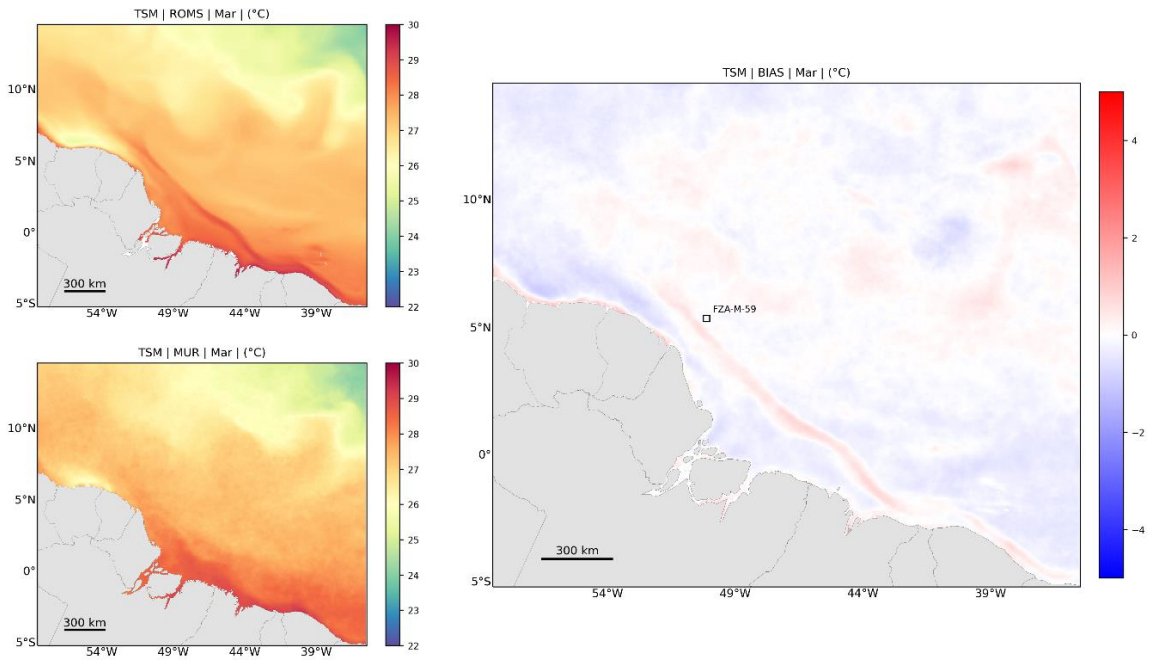


Figura III.5.2-3 – TSM média para março de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

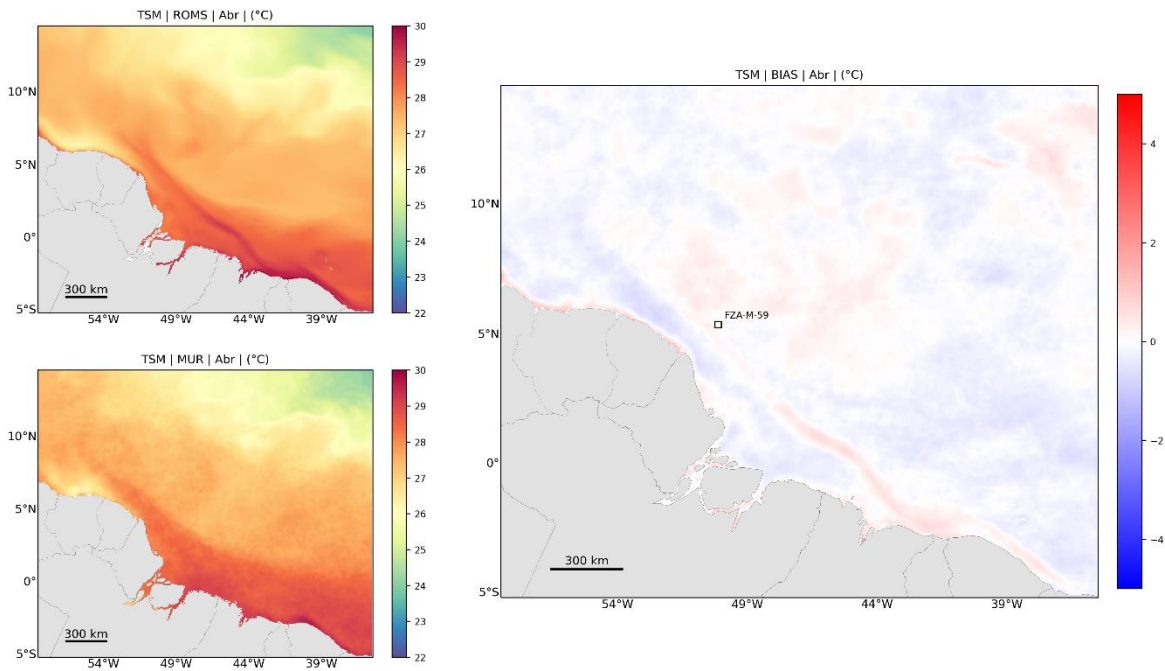


Figura III.5.2-4 – TSM média para abril de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

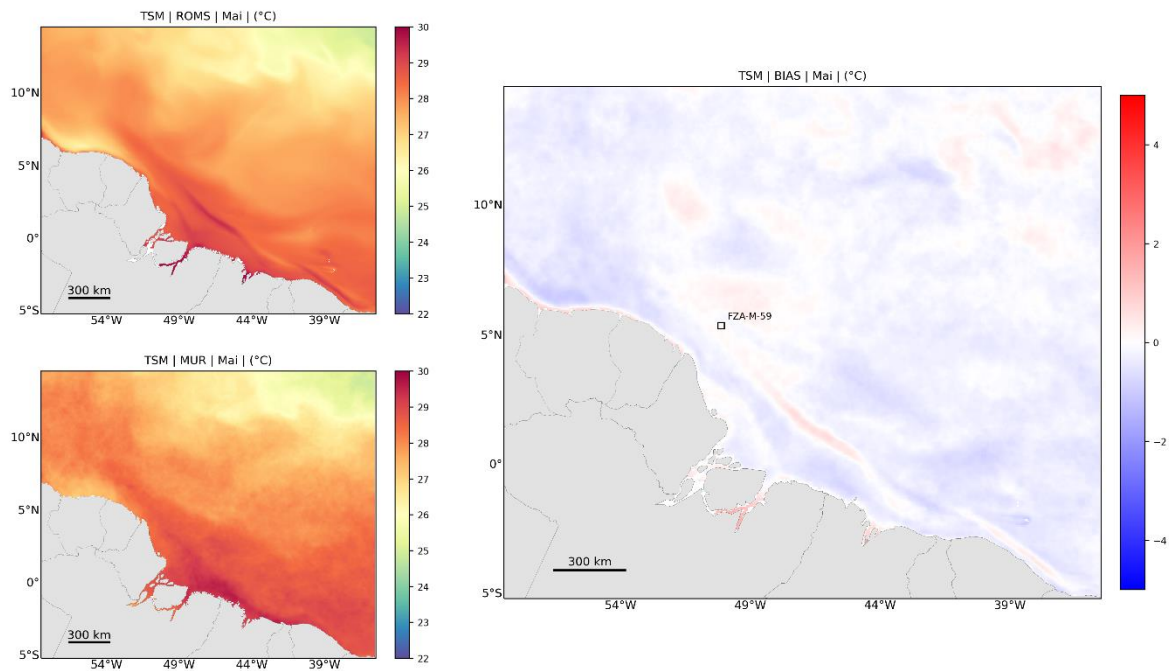


Figura III.5.2-5 – TSM média para maio de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

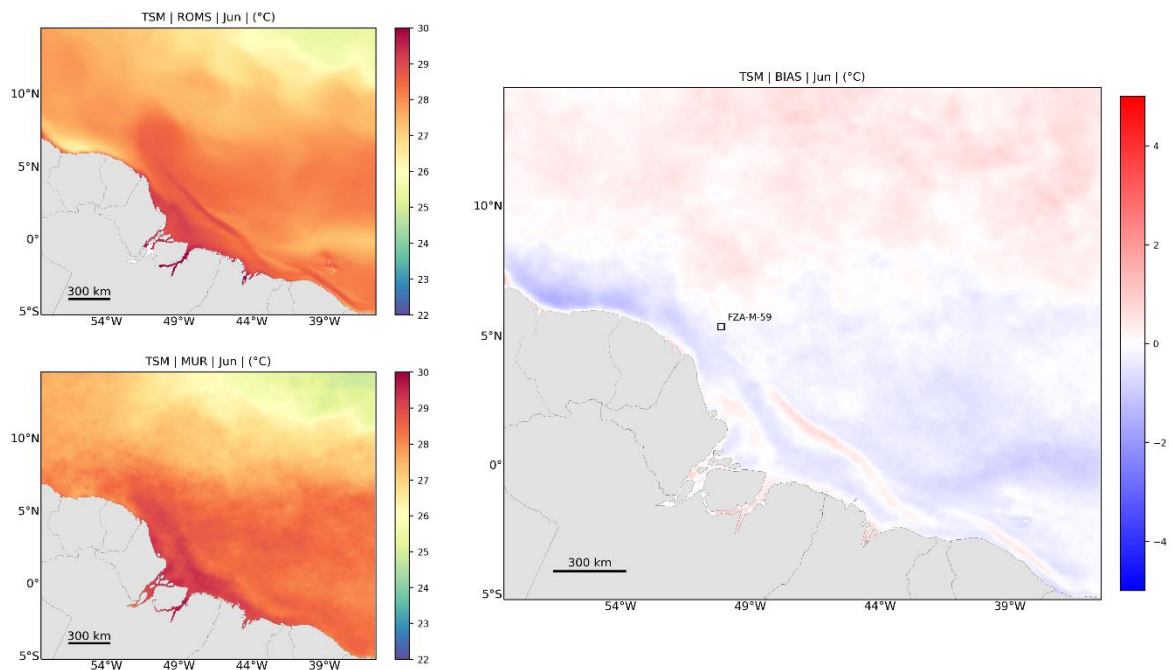


Figura III.5.2-6 – TSM média para junho de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

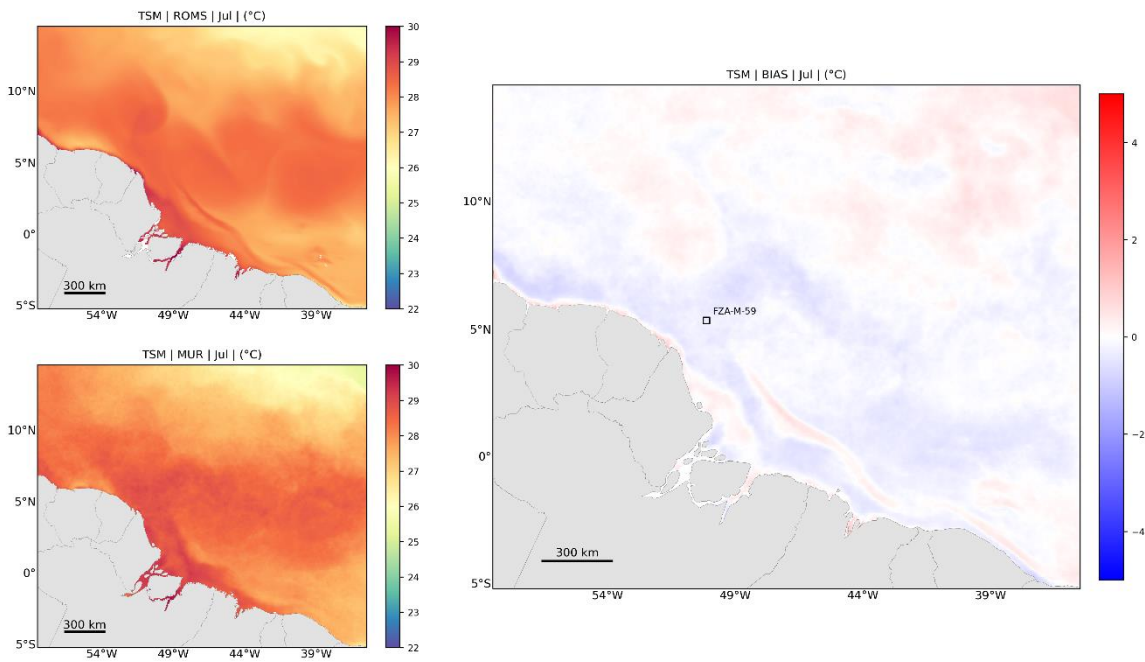


Figura III.5.2-7 – TSM média para julho de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

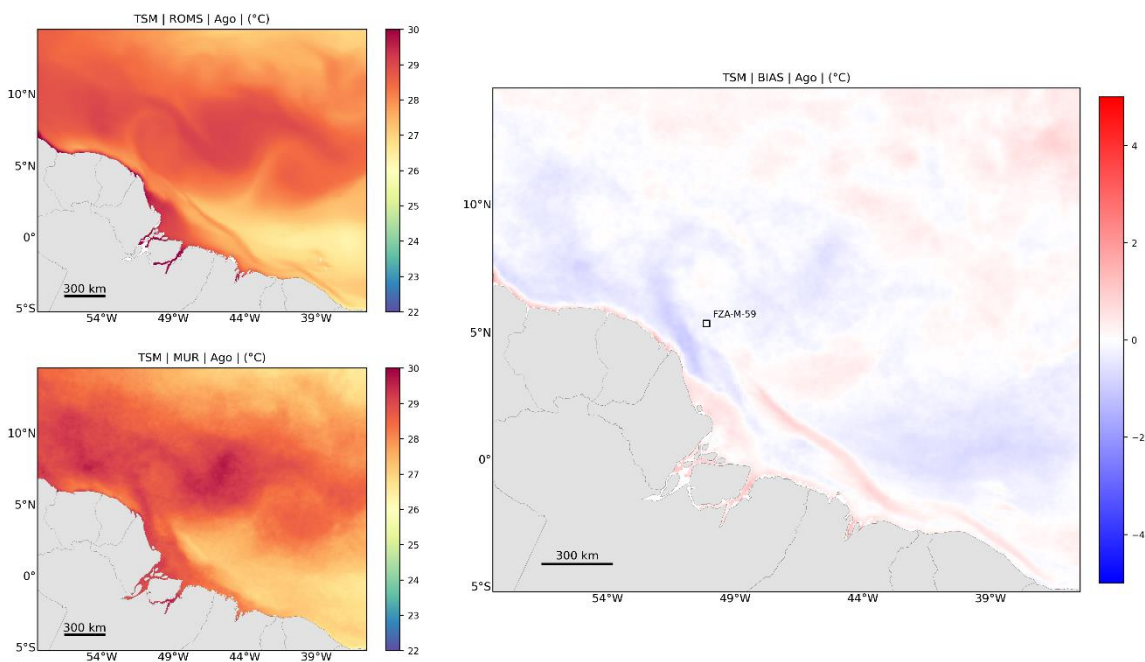


Figura III.5.2-8 – TSM média para agosto de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

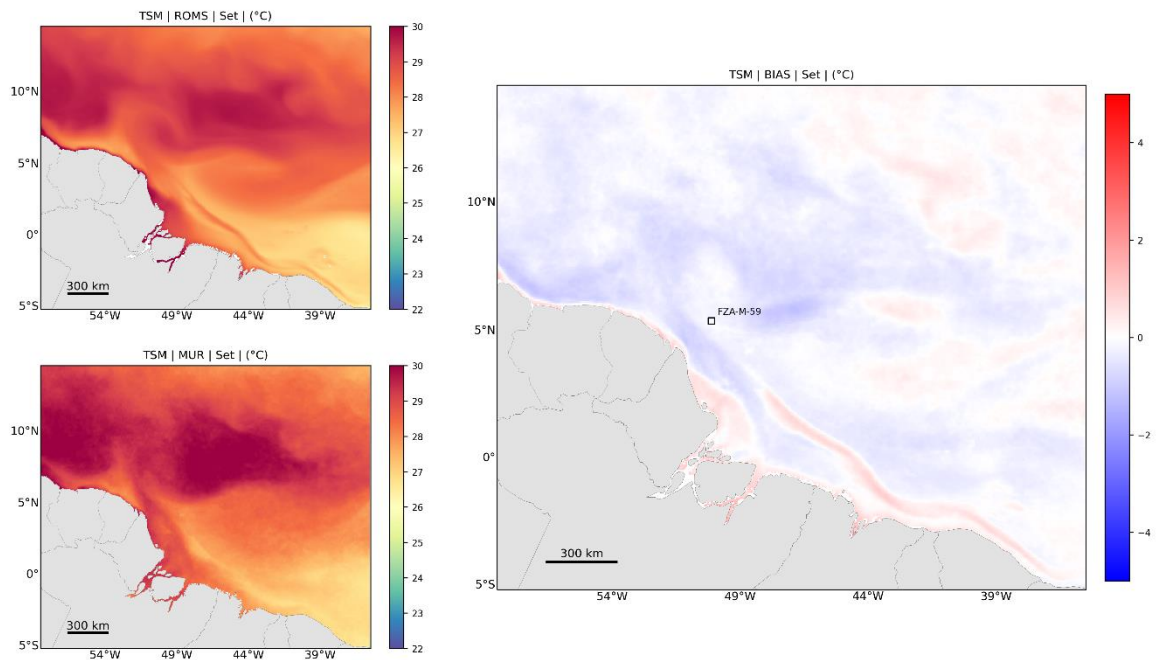


Figura III.5.2-9 – TSM média para setembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

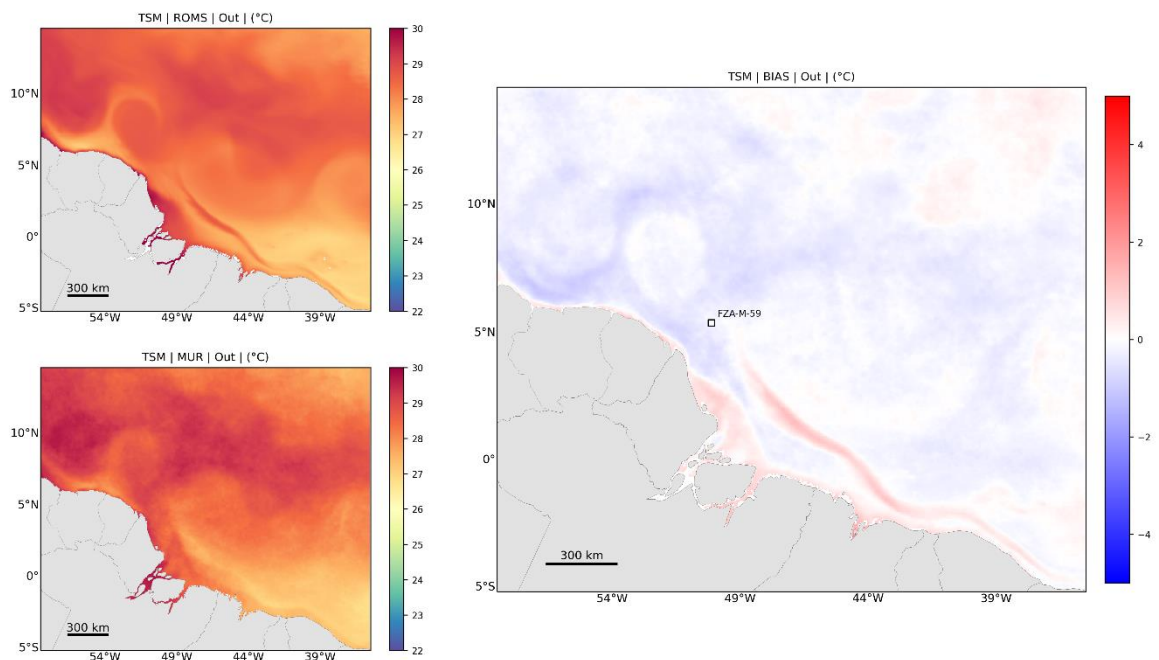


Figura III.5.2-10 – TSM média para outubro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

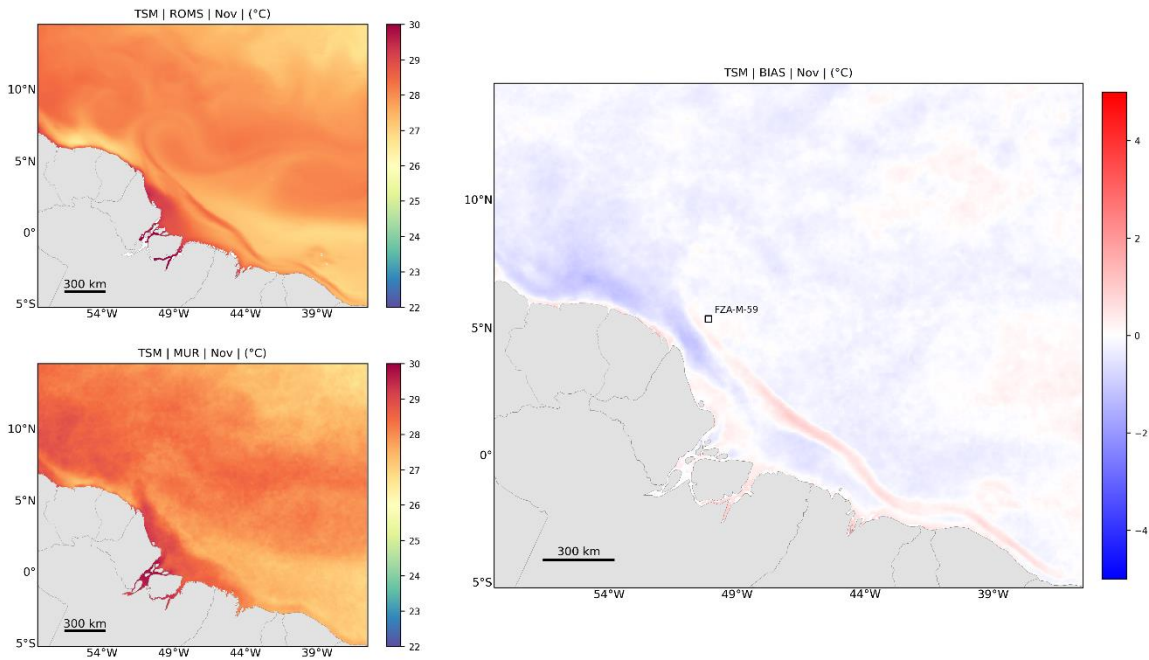


Figura III.5.2-11 – TSM média para novembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

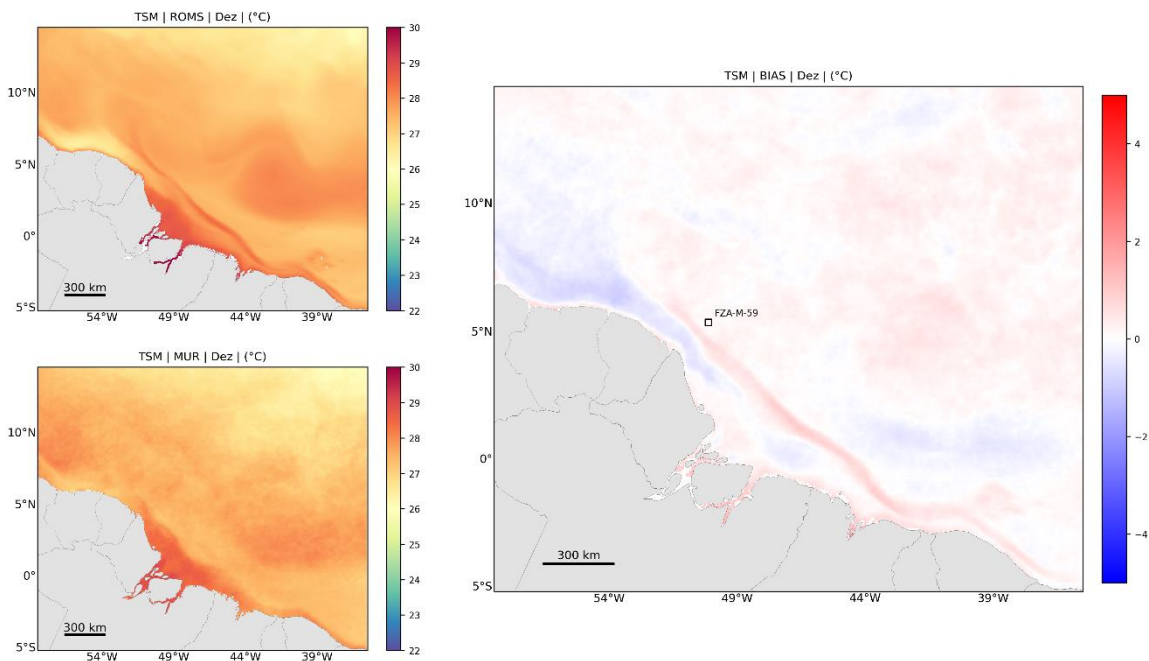


Figura III.5.2-12 – TSM média para dezembro de 2013. Dados obtidos do ROMS (acima), do JPL MUR (abaixo) e o campo de bias (Modelo - Dado).

Em geral, verifica-se que os padrões da TSM foram bem representados pelo ROMS. A boa representação do campo de temperatura superficial do modelo é um excelente indicador da capacidade do modelo em representar a dinâmica da região, visto que a distribuição espacial da temperatura é influenciada pela advecção das correntes. Nota-se ao longo de todo o ano uma boa representação da frente da CNB e da CCNE. No segundo semestre do ano, como esperado, tanto no MUR quanto no ROMS pode ser observada uma intensificação na retroflexão da CNB e a formação dos vórtices da CNB.

Nota-se, através dos campos de bias, valores máximos e mínimos em torno de 1° C, principalmente em regiões de maior variabilidade temporal associadas a vórtices e meandros e regiões de fortes frentes térmicas. Ressalta-se que os dados de TSM obtidos por satélite apresentam erros influenciados principalmente pela presença de nuvens não resolvidas e pela existência de frentes termais horizontais e de gradientes verticais nas primeiras camadas do oceano (ARAÚJO, 2003). BARBOSA & MARENGO (2008), através da aplicação de inúmeros modelos globais acoplados, utilizados no Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR4-2007), compararam os resultados das simulações com observações, avaliando-se o bias, concluindo que os modelos, em média, produzem um viés frio de 1 a 2° C, na região do Atlântico Sul, podendo chegar a 4° C, individualmente. Sendo assim os erros apresentados são completamente aceitáveis e encontram-se dentro das faixas habituais da literatura técnica.

Para além dos campos de TSM, foi analisado a evolução temporal da TSM no ponto de grade central do Bloco FZA-M-59 ao longo de todo o período simulado (Figura III.5.2-13). Os valores mínimos, médios e máximos do bias são apresentados na Tabela III.5.2-1.

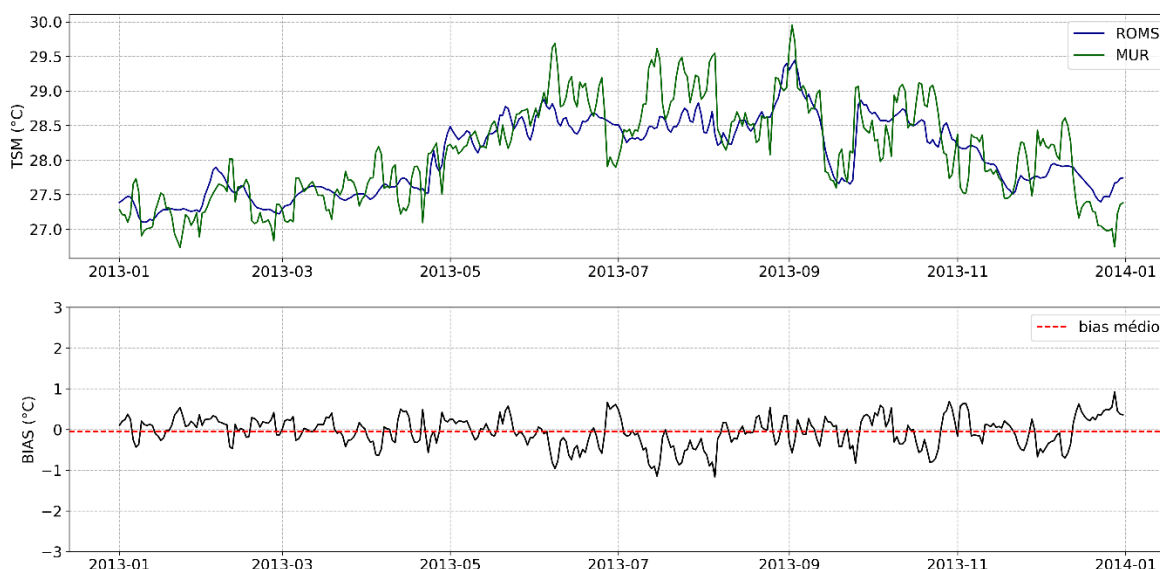


Figura III.5.2-13 – Série de TSM do MUR e do ROMS e do bias (modelo - dado) no Bloco FZA-M-59.

Tabela III.5.2-1 – Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo no Bloco FZA-M-59..

Mínimo	Médio	Máximo
-1,17	-0,05	0,92

De forma geral, observa-se que há uma variação sazonal do *bias*. A variação do bias fica principalmente entre -1°C e +1°C, com média de -0,05°C.

III.5.3. Estrutura termohalina

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

Os campos que compõem a base de dados da climatologia WOA13 consistem da análise objetiva dos dados históricos armazenados no NODC, coletados por diversas campanhas e equipamentos, em navios de pesquisa e de oportunidade. Esta análise objetiva utiliza dados irregularmente espaçados,

gerando uma grade global regularmente espaçada, disponível em 5°, 1° e 0,25°. Estes campos são tridimensionais e os dados são interpolados em 102 profundidades padrão, desde a superfície até 5.500 m de profundidade. Temporalmente, esta climatologia consiste na média realizada para o período compreendido entre os anos de 1773 e 2013, mas principalmente a partir de 1955. Os dados da climatologia WOA13-V2 podem ser obtidos através da sua página na internet (<http://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/>). Maiores informações sobre a bases climatológicas do WOA13-V2 podem ser obtidas em Locarnini *et al.* (2013) e Zweng *et al.* (2013).

Os dados utilizados foram extraídos no ponto de grade central do Bloco FZA-M-59, conforme apresentado na Figura III.5.3-1. A grade de 1° do WOA13-V2 foi escolhida por ser a que possui a melhor relação entre a quantidade de observações utilizada na geração da média climatológica mantendo uma resolução espacial significativa para uma comparação com os pontos selecionados do modelo na região de modelagem. Essa relação aumenta a confiabilidade na faixa de variabilidade das variáveis analisadas, assim como diminui a mistura entre diferentes províncias fisiográficas nos valores da climatologia.

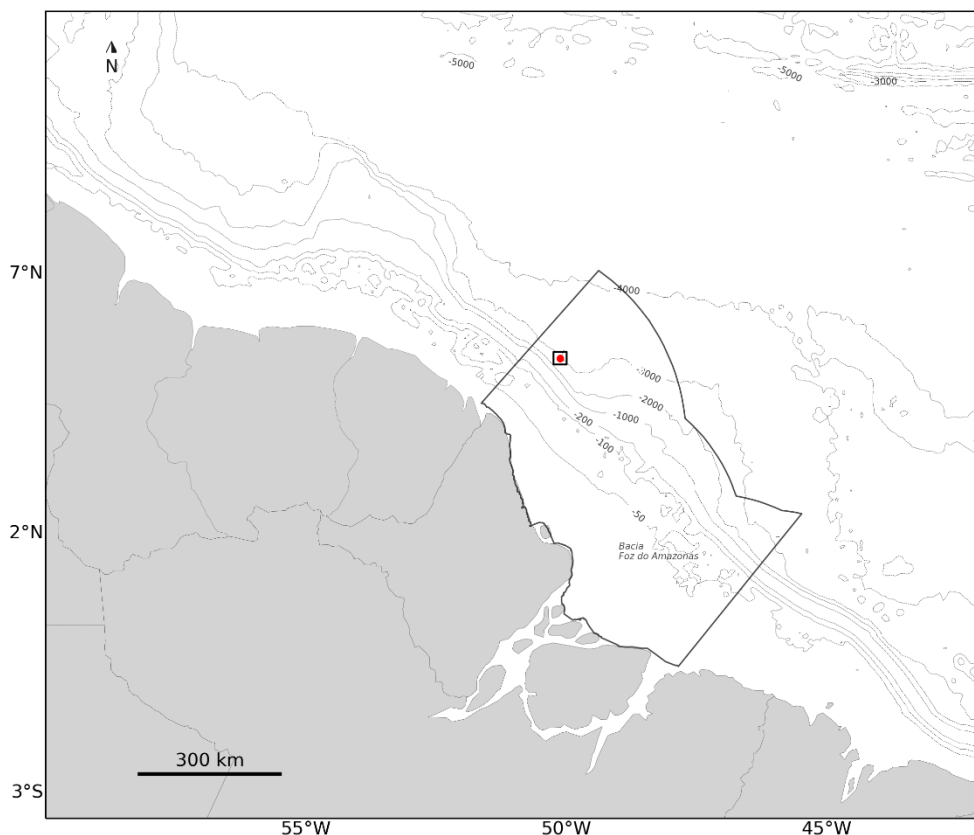


Figura III.5.3-1 – Localização do ponto de grade do WOA (ponto vermelho) utilizado para a comparação.

Abaixo, na Figura III.5.3-2 e Figura III.5.3-3, apresenta-se o número de observações para o ponto selecionado do WOA13-V2. Nota-se que, de forma geral, existem cerca de 5 vezes mais observações de temperatura do que de salinidade e que o número de observações decai com o aumento da profundidade.

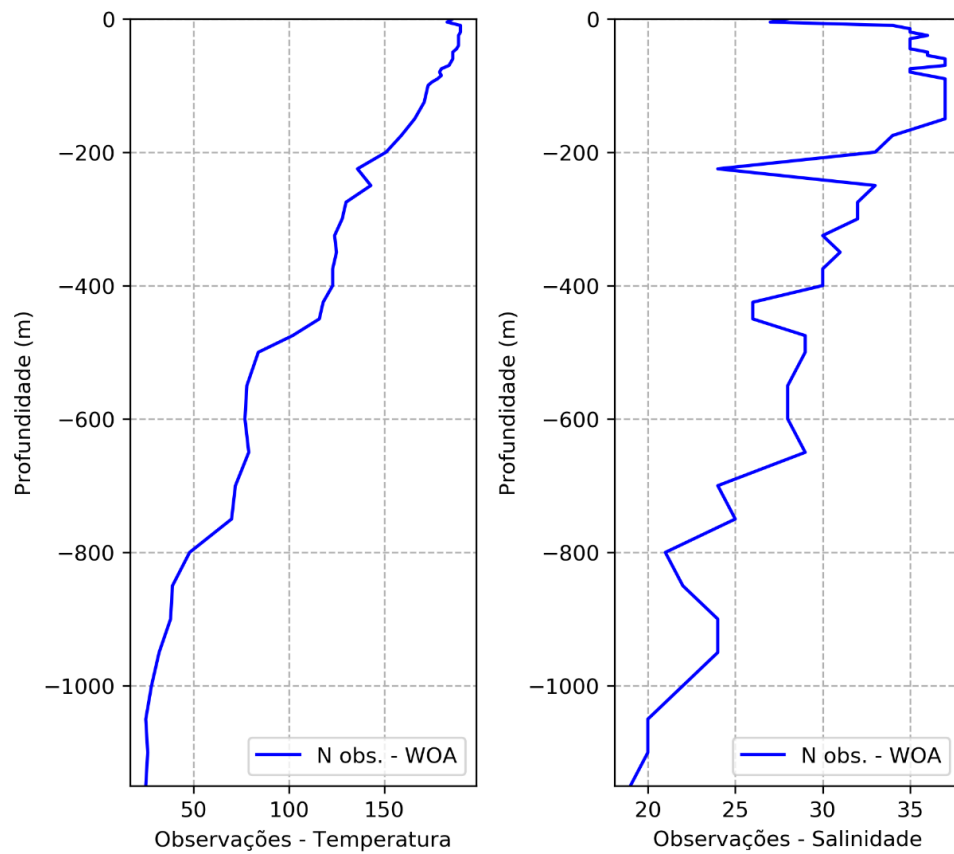


Figura III.5.3-2 – Número de observações utilizadas na média climatológica do WOA13-V2 ao longo das profundidades para a região do Bloco FZA-M-59..

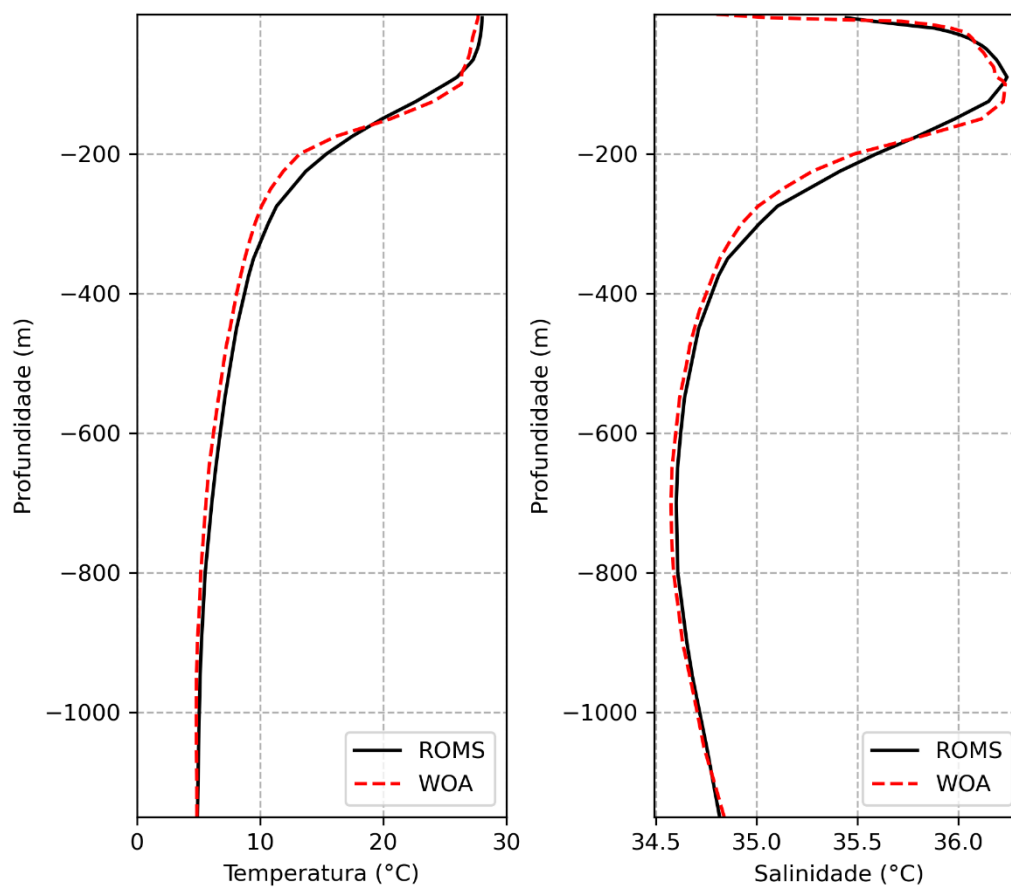


Figura III.5.3-3 – Perfil vertical de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (vermelho) e pelo modelo ROMS (preto), considerando todo o período de modelagem, na região do Bloco FZA-M-59.

Tabela III.5.3-1 – Valores de bias (modelo - dado) médio anual de temperatura e salinidade em profundidade e integrado verticalmente para o Bloco FZA-M-59..

Profundidade (m)	Bias Temperatura	Bias Salinidade
0	0,32	0,65
50	0,56	0,03
100	-1,26	-0,01
200	2,17	0,11
300	1,07	0,09
400	0,64	0,03
500	0,57	0,02
1000	0,24	0,01
Média	0,43	0,03

Pode-se observar que o modelo representou muito bem a estrutura vertical termohalina da região e sua variabilidade, pois ao longo de toda a coluna d'água os valores são muito similares, com bias médio integrado de 0,43 para temperatura e 0,03 para salinidade.

Esta comparação é um indicativo de que houve uma boa representação das massas d'água na região de estudo, já que os perfis de temperatura e salinidade, principais traçadores das massas d'água, estão bem representados pelo modelo.

III.5.4. Correntes

III.5.4.1. Correntes em Superfície

A representação adequada das correntes superficiais pode ser considerada o aspecto mais importante para a avaliação da modelagem hidrodinâmica em questão. Por se tratar de um modelo desenvolvido com intuito de forçar simulações de transporte de óleo, deve-se considerar que a menor densidade do óleo em relação à água, fará com que este apresente maior parte da sua deriva na superfície do mar.

Para comparação das correntes, foram utilizados dados de derivadores lagrangianos de superfície do GDP (*Global Drifter Program*). Foram considerados os dados dos derivadores cuja trajetória está contida no domínio desse estudo durante o período de janeiro a dezembro de 2013. Nesse contexto, 6 derivadores aparecem como relevantes para a comparação.

A Tabela III.5.4.1-1 agrupa as coordenadas do primeiro e último ponto onde cada derivador é encontrado no domínio espacial e temporal.

Tabela III.5.4.1-1 – Datas e coordenadas dos pontos iniciais e finais das trajetórias dos derivadores.

Derivador	Data inicial	Lon inicial	Lat inicial	Data final	Lon final	Lat final
1	31/12/2012	40.44 W	9.25 S	02/04/2013	44.34 W	9.87 S
2	14/02/2013	36.06 W	2.37 S	05/07/2013	60.91 W	13.27 S
3	18/01/2013	36.02 W	4.42 S	19/04/2013	55.73 W	14.49 S
4	31/12/2012	36.03 W	10.06 S	17/02/2013	36.59 W	8.79 S
5	31/12/2012	38.64 W	2.95 S	20/05/2013	56.18 W	7.68 S
6	13/02/2013	36.06 W	2.40 S	05/03/2013	45.93 W	0.80 S

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

Para fins de comparação foram usados os dados de velocidade dos derivadores, espaçados de de 6 h, no período em que estes permaneceram no domínio de modelagem, e a velocidade das correntes nos pontos de grade mais próximos da posição do derivador e no mesmo instante temporal.

A seguir, da Figura III.5.4.1-1 a Figura III.5.4.1-6 são apresentadas as trajetórias descritas pelos 40 derivadores, durante o período no qual estes permaneceram dentro do domínio de modelagem e as comparações entre as componentes zonais e meridionais das correntes medidas pelos derivadores, e calculadas pelo ROMS. Nas figuras, os círculos representam os pontos de início da trajetória, enquanto os “X” o ponto final.

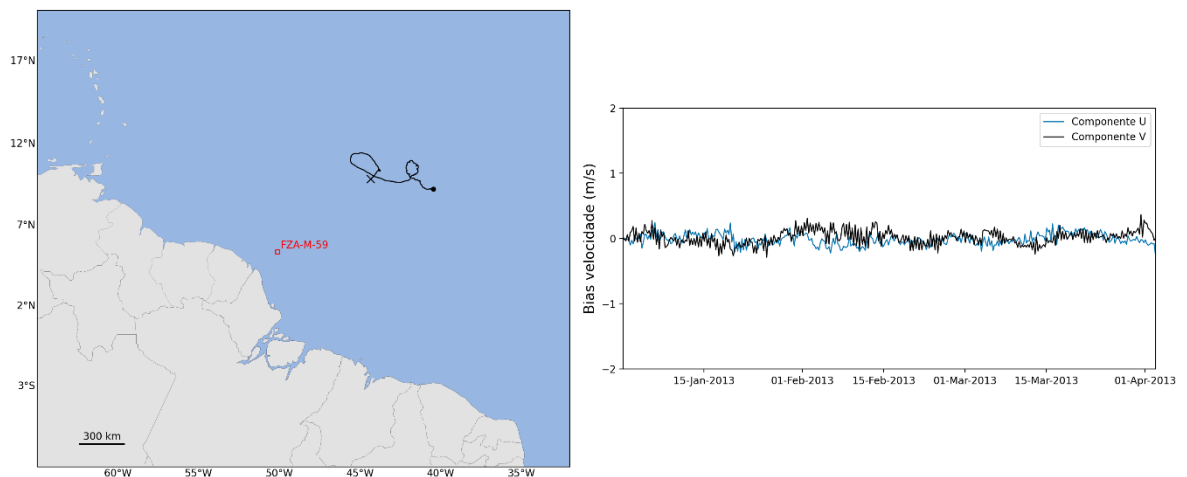


Figura III.5.4.1-1 – Trajetória descrita pelo derivador 01 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 01 e os resultados do ROMS (direita).

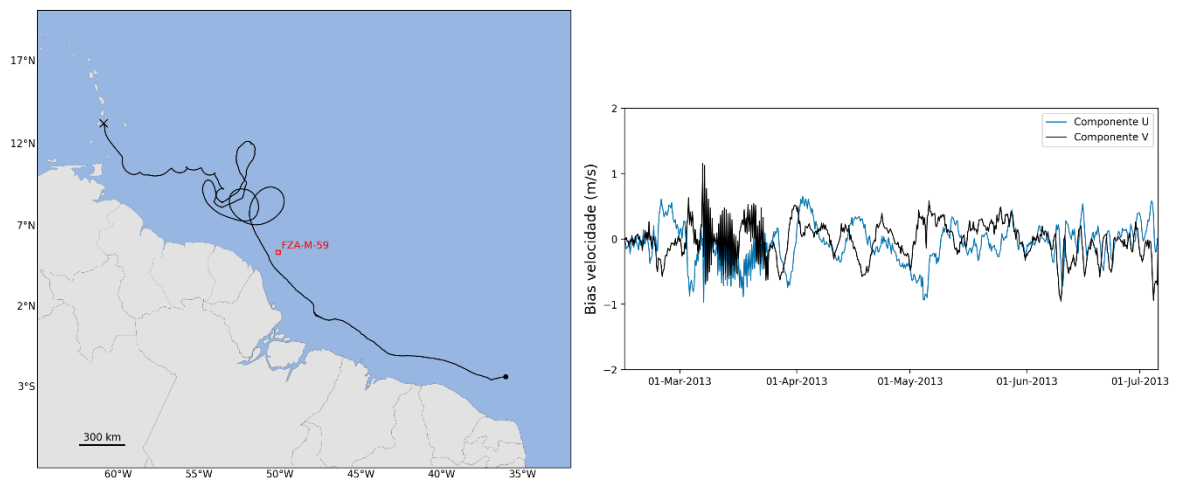


Figura III.5.4.1-2 – Trajetória descrita pelo derivador 02 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 02 e os resultados do ROMS (direita)

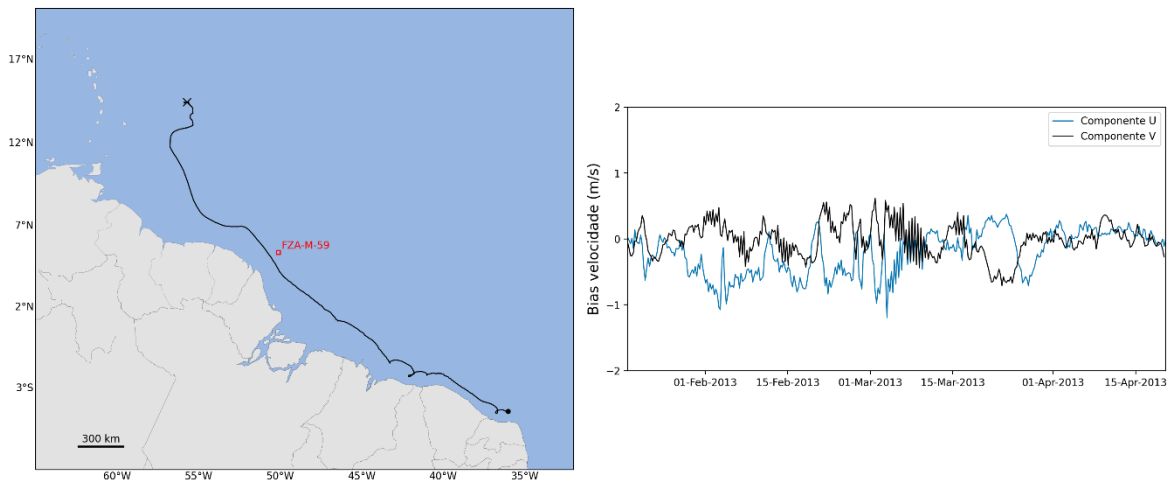


Figura III.5.4.1-3 – Trajetória descrita pelo derivador 03 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 03 e os resultados do ROMS (direita).

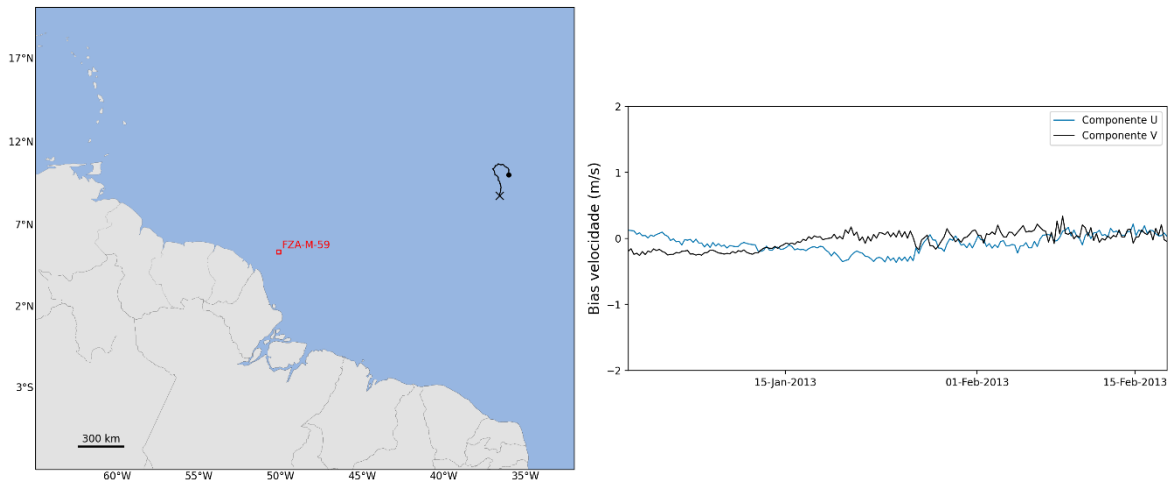


Figura III.5.4.1-4 – Trajetória descrita pelo derivador 04 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 04 e os resultados do ROMS (direita).

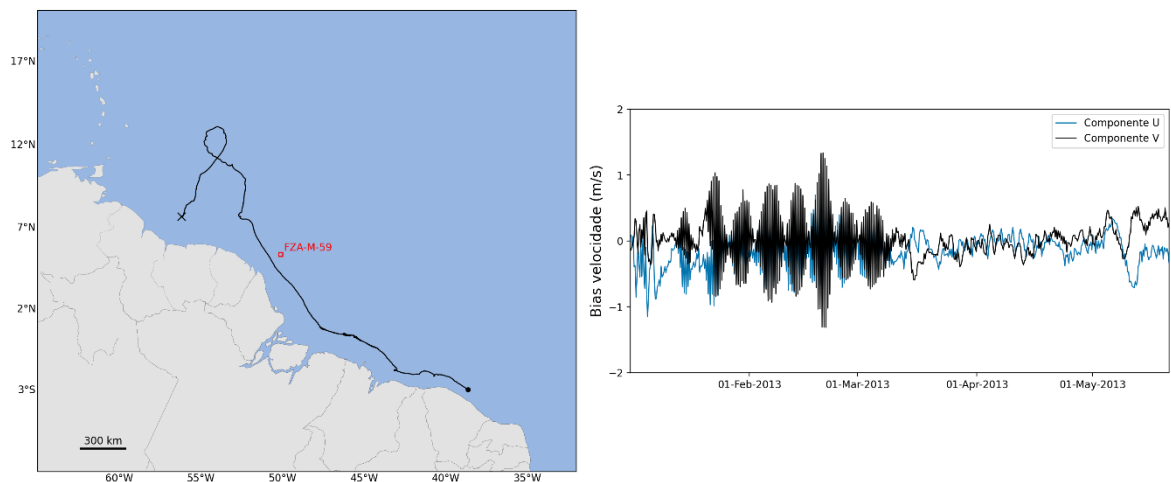


Figura III.5.4.1-5 – Trajetória descrita pelo derivador 05 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 05 e os resultados do ROMS (direita).

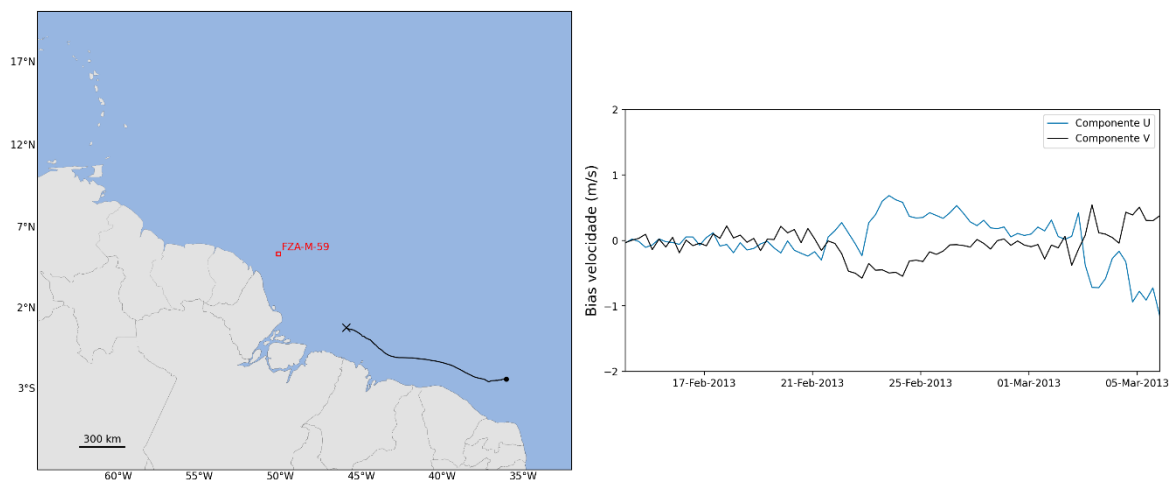


Figura III.5.4.1-6 – Trajetória descrita pelo derivador 06 (esquerda) e comparação entre os dados obtidos do derivador 06 e os resultados do ROMS (direita).

Através dos gráficos comparativos pode-se observar que os resultados do ROMS apresentaram uma boa aproximação com os dados medidos pelos derivadores, tanto nas amplitudes das oscilações quanto na fase. A fim de quantificar as comparações apresentadas foi feita uma análise estatística calculando o índice de Wilmott.

O índice de concordância proposto por Wilmott (1981), que pode ser expresso por:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i| + |O_i|)^2} \right], 0 \leq d \leq 1, \quad (5)$$

Onde N é o número de observações, P é o resultado da simulação, O os dados observados, e P' representa a diferença entre os dados previstos e a média dos dados observados, e O' a diferença entre os dados observados e a sua média.

Esse índice estatístico reflete o quão acuradamente o parâmetro observado está sendo estimado pela variável simulada. O índice de concordância não é uma medida da correlação ou associação no sentido formal, mas uma medida do grau que o modelo é livre de erros. Ao mesmo tempo é uma medida padronizada de modo que: (1) pode ser facilmente interpretada e (2) comparações cruzadas de suas magnitudes podem ser realizadas independentemente das unidades e variáveis. Varia de 0 a 1 e quando este índice é igual a 1 significa que a concordância entre as séries é máxima e 0 indica completa discordância (WILMOTT, 1981).

O valor do índice de Wilmott (1982) para cada componente das correntes de cada derivador analisado é apresentado na Tabela III.5.4.1-2.

Tabela III.5.4.1-2 – Índice de Willmott das comparações modelo/derivadores.

Derivador	Componente U	Componente V
1	0,97	0,93
2	0,83	0,88
3	0,78	0,86
4	0,88	0,90
5	0,74	0,69
6	0,74	0,87
Média	0,83	0,87

Os valores mínimos da tabela foram de 0,74 e os máximos de 0,97, com valores médio de 0,83 para componente U e 0,87 para componente V, sendo todos valores positivos e, portanto, indicando que o erro médio do modelo foi abaixo do desvio natural dos dados observados. O fato dos resultados do ROMS

apresentarem comportamentos similares (como visto pelo bom valor do índice de concordância de Wilmott) com as velocidades lagrangianas medidas a partir das trajetórias dos derivadores, estes estando situados no mesmo período temporal e espacial da modelagem hidrodinâmica, demonstra que o modelo é capaz de representar os principais fenômenos da região, tanto no espaço quanto no tempo.

De forma complementar, além dos dados do GDP, também foram utilizados os derivadores do tipo SVP do Projeto Costa Norte (PCN). Esse projeto, concluído em 2020, desenvolveu uma metodologia inovadora para avaliação da vulnerabilidade dos manguezais à vazamentos de óleo ocorridos na região da Margem Equatorial, considerando aspectos de suscetibilidade, sensibilidade e resiliência e é fruto de uma parceria entre Enauta, o Núcleo de Estudos em Geoquímica e Ecologia Marinha e Costeira (NEGEMC-UERJ), o Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia (LAMCE- COPPE/UFRJ), o Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho (LAPMAR- UFPA) e a PROOCEANO. Dentre as atividades realizadas no projeto, ocorreram campanhas mensais de lançamento de três derivadores do tipo SVP na Bacia do Pará-Maranhão, entre fevereiro de 2018 e fevereiro de 2019. Como o período da coleta de dados de corrente superficial no PCN difere do período da simulação hidrodinâmica do presente estudo, foi realizada uma análise estatística, a partir da comparação de mapas médios de corrente nos dois períodos sazonais identificados para a modelagem de dispersão de óleo.

A partir do conjunto de dados dos derivadores SVP do PCN e do GDP foi calculada a corrente média (magnitude e direção) em caixas de 1°, compondo mapas médios da corrente superficial nos dois períodos sazonais identificados neste estudo. Em seguida, foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico para se obter a corrente média nas mesmas caixas.

Para uma correta comparação com os dados do ROMS, os resultados do modelo foram redistribuídos nas mesmas caixas obtidas para os derivadores. Essa comparação é apresentada na Figura III.5.4.1-7 e Figura III.5.4.1-8, para o Período 1 (dezembro a junho) e Período 2 (julho a novembro), respectivamente.

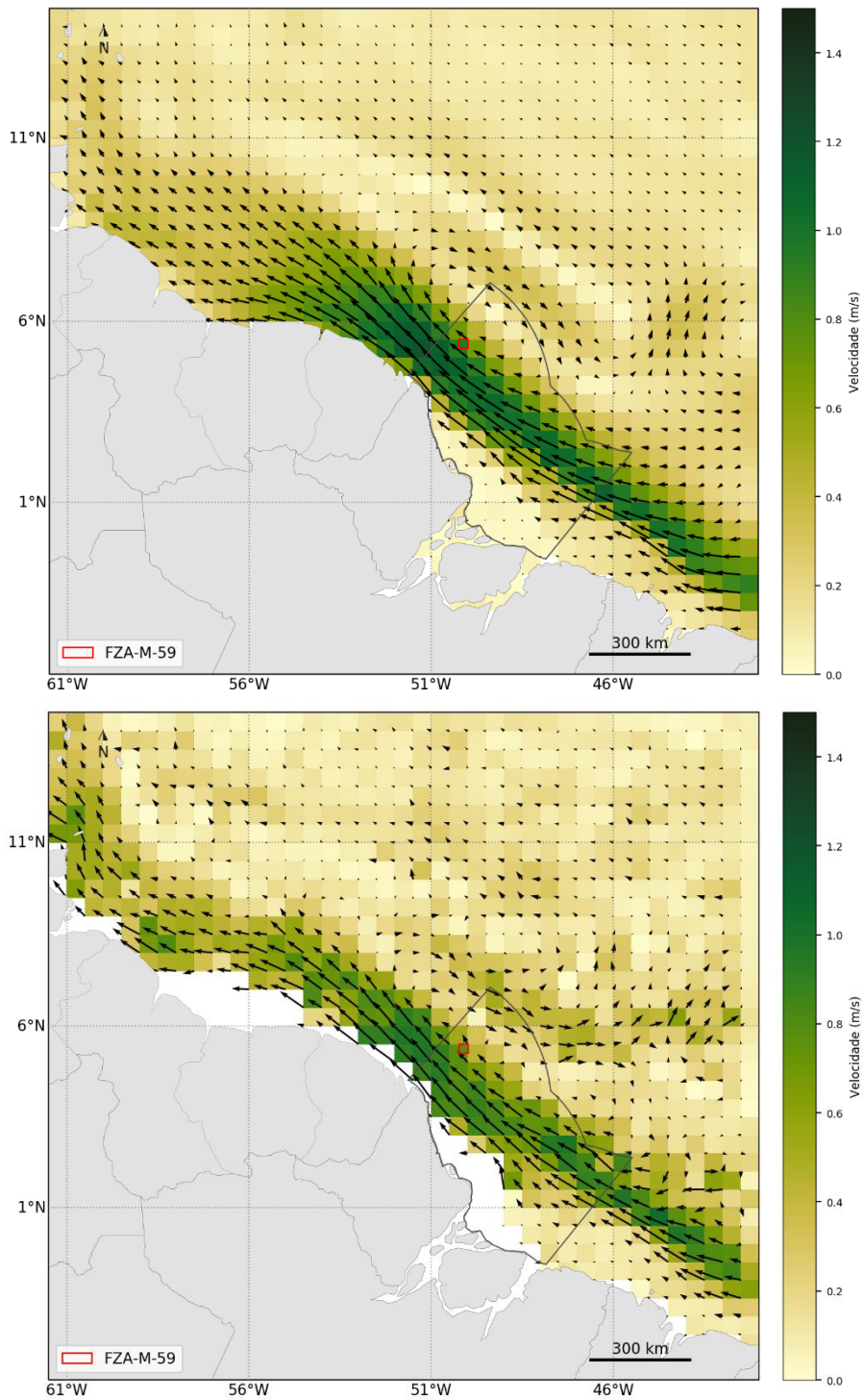


Figura III.5.4.1-7 – Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica (acima) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 1 (dezembro a junho).

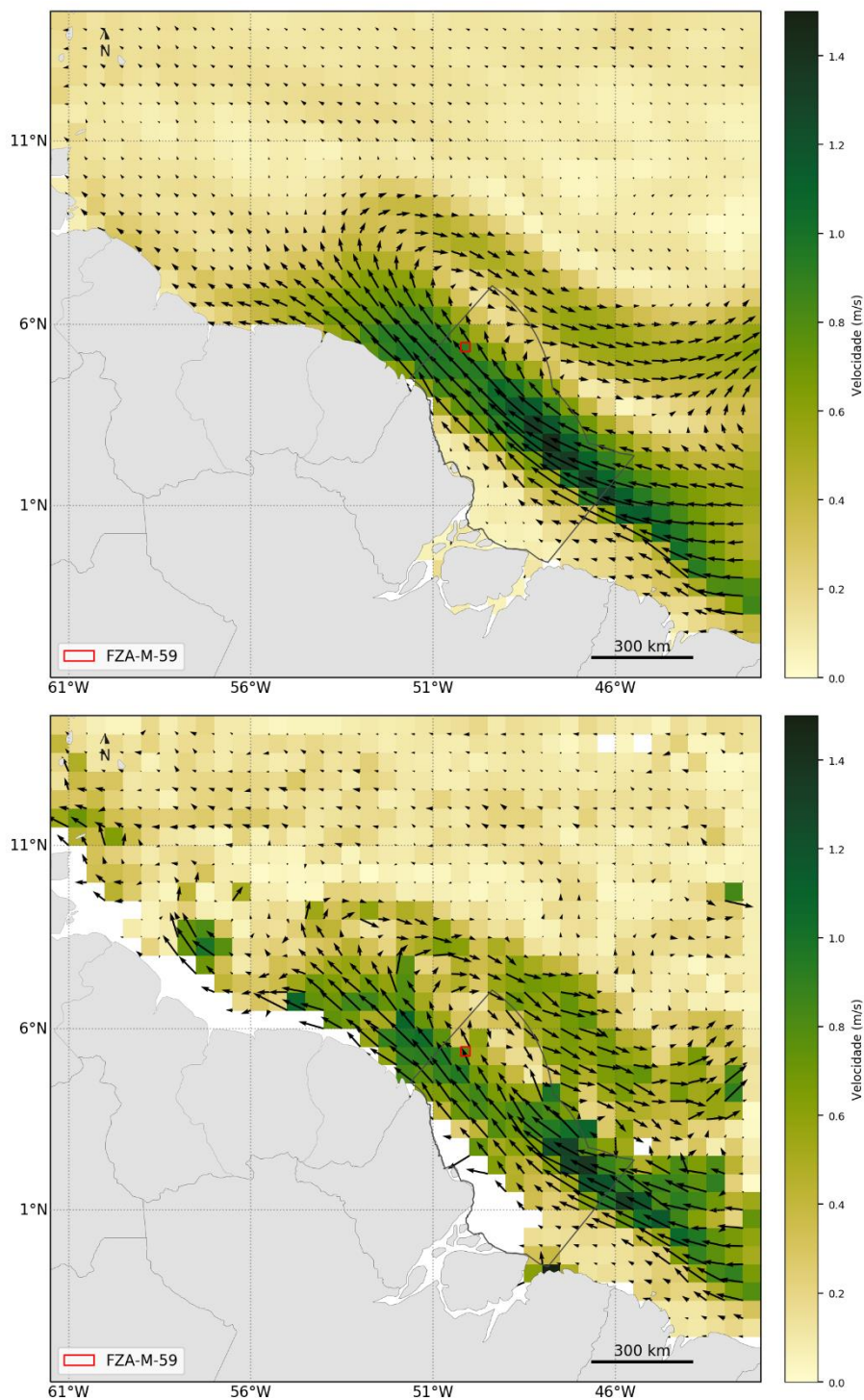


Figura III.5.4.1-8 – Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica (acima) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 2 (julho a novembro).

É possível observar a capacidade do modelo hidrodinâmico em representar as principais feições médias das correntes superficiais na região de estudo em direção e intensidade – retratadas a partir dos mapas de corrente obtidos com dados coletados *in-situ* pelos derivadores utilizados. Nota-se a Corrente Norte do Brasil (CNB) fluindo para NW com intensidade média de até 1,5 m/s em seu núcleo – passando pelo bloco FZA-M-59. Após cruzar a fronteira entre o Brasil e a Guiana-Francesa, nota-se que parte da CNB segue com sentido NW até a região do Caribe, e parte alimenta a retroflexão da CNB, com um giro para E. Como descrito na literatura e evidenciado pelos dados coletados pelos derivadores, a retroflexão da CNB ocorre com maior intensidade no período entre julho e novembro – padrão bem representado nos resultados da modelagem hidrodinâmica.

III.5.4.2. Correntes em Profundidade

Para avaliar o comportamento das correntes ao longo da coluna d'água, foram utilizados os dados de corrente do fundeio FZA3000, instalado próximo ao Bloco FZA-M-59, em lâmina d'água de 3.000 metros, aproximadamente. Este fundeio contemplou dado durante o período de 1 ano, de 20 de setembro de 2016 a 21 de setembro de 2017, equipado com *Acoustic Doppler Profiler* (ADCP) para os primeiros 500 metros e correntômetros para o restante da coluna d'água

Foi extraído o ponto de grade do ROMS mais próximo ao fundeio (Figura III.5.4.2-1) e interpolado verticalmente para as respectivas profundidades de coleta.

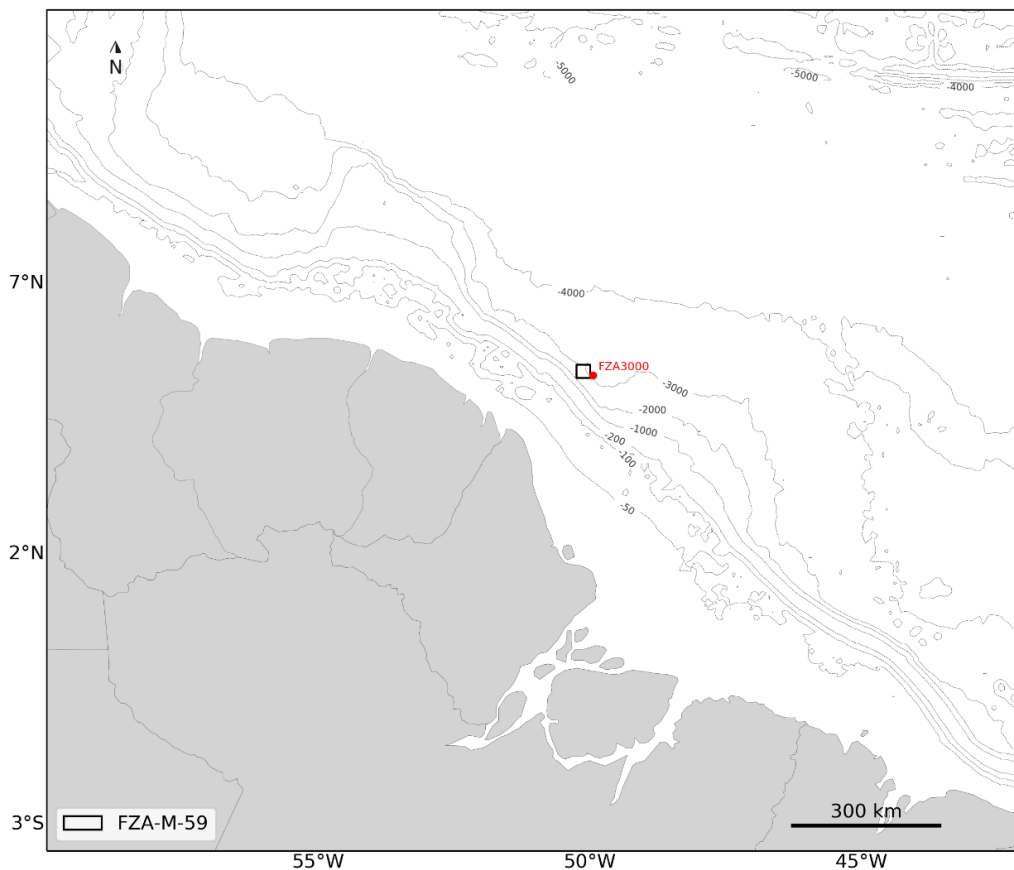


Figura III.5.4.2-1 – Localização do fundo FZA3000 cujos dados foram utilizados (vermelho). Os pontos do ROMS estão sobrepostos na figura devido a resolução espacial da grade e a sua proximidade.

Devido ao fato de que o período de aquisição de dados de corrente do fundo utilizado é diferente do período simulado no modelo hidrodinâmico, as comparações realizadas possuem caráter qualitativo. Buscou-se avaliar a representatividade estatística da intensidade e direção das correntes do modelo ao longo da coluna d'água e avaliar padrões mais gerais como, por exemplo, as direções e intensidades médias da corrente, e as profundidades nas quais ocorrem inversões de fluxo.

Desta forma, são apresentados histogramas direcionais (rosas) das correntes observadas no fundo FZA3000 e simuladas pelo modelo hidrodinâmico ROMS ao longo da coluna d'água (Figura III.5.4.2-2 a Figura III.5.4.2-11).

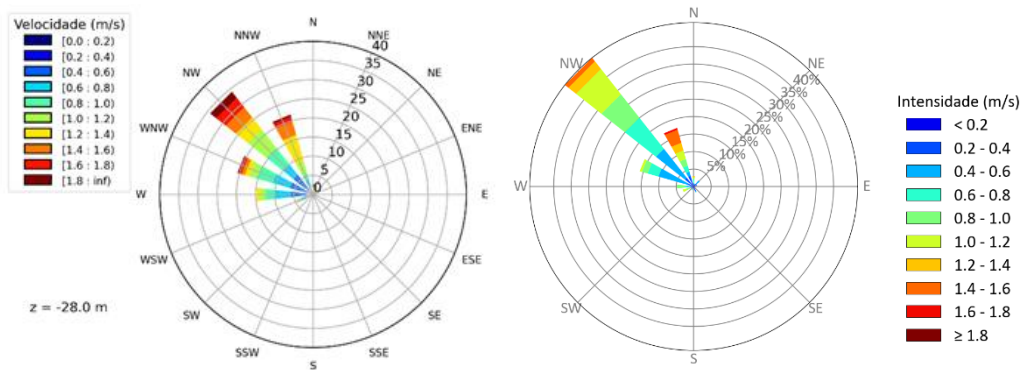


Figura III.5.4.2-2 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 28 m de profundidade.

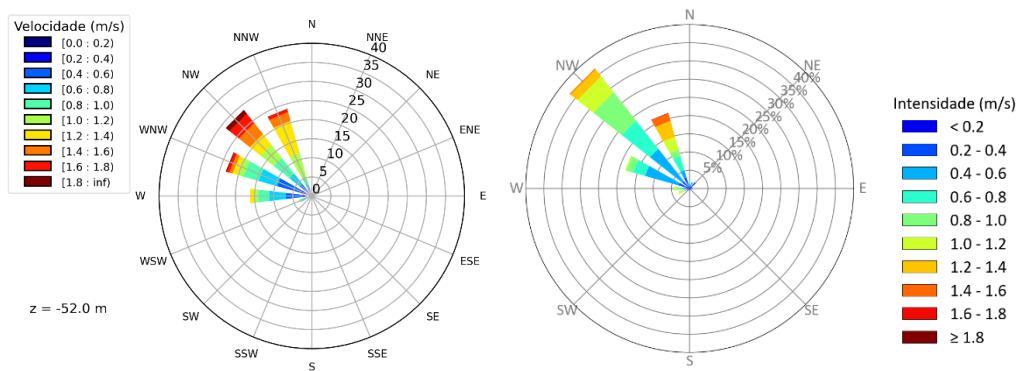


Figura III.5.4.2-3 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 52 m de profundidade.

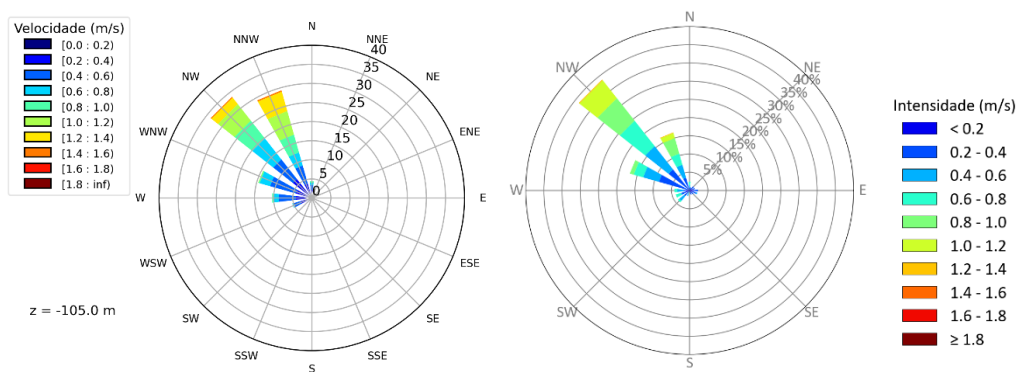


Figura III.5.4.2-4 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 105 m de profundidade.

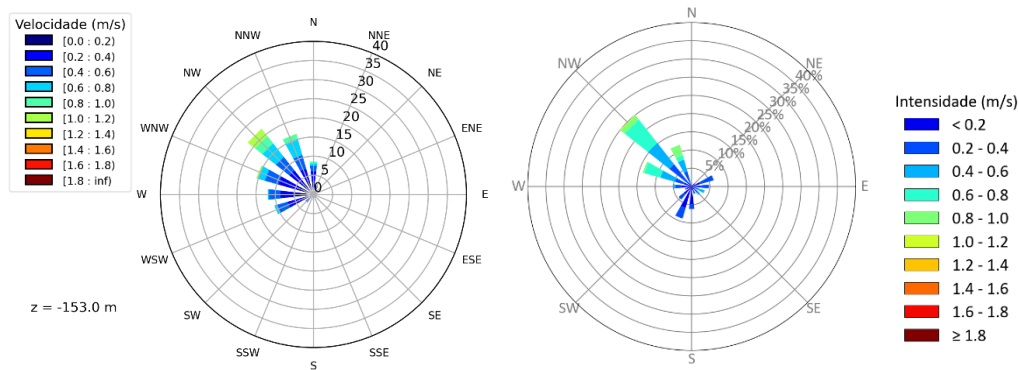


Figura III.5.4.2-5 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 153 m de profundidade.

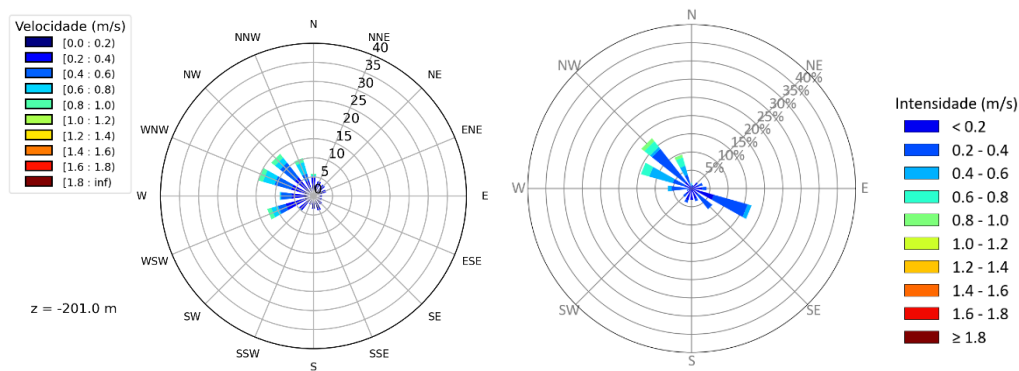


Figura III.5.4.2-6 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 201 m de profundidade.

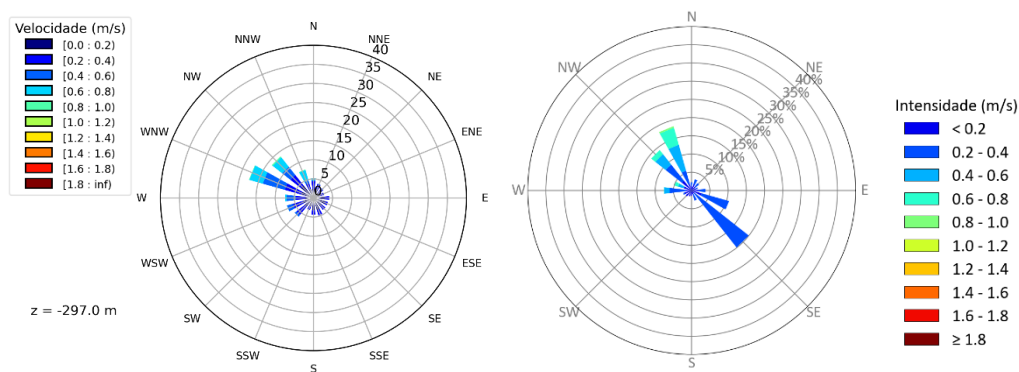


Figura III.5.4.2-7 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 297 m de profundidade.

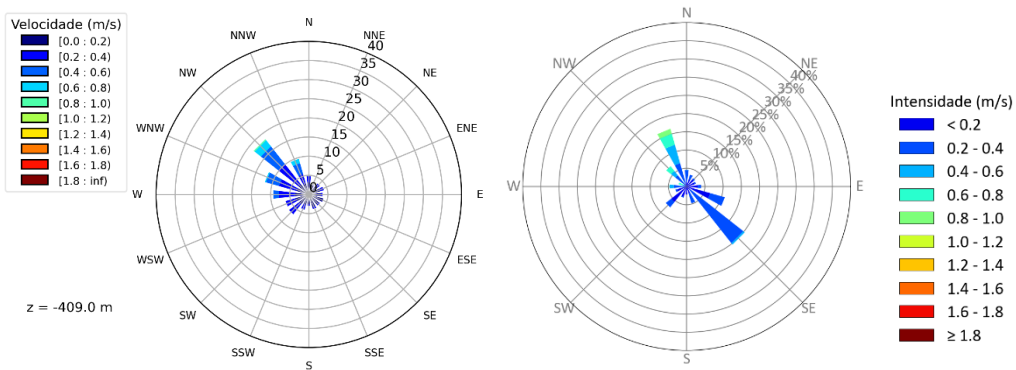


Figura III.5.4.2-8 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 409 m de profundidade.

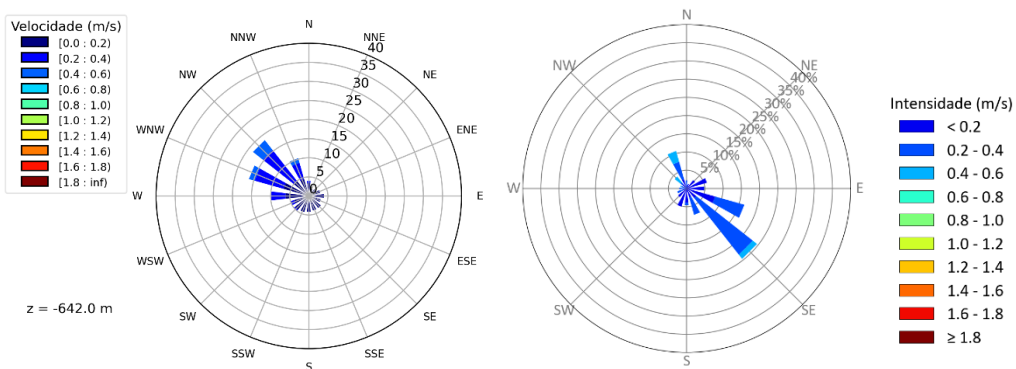


Figura III.5.4.2-9 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 642 m de profundidade.

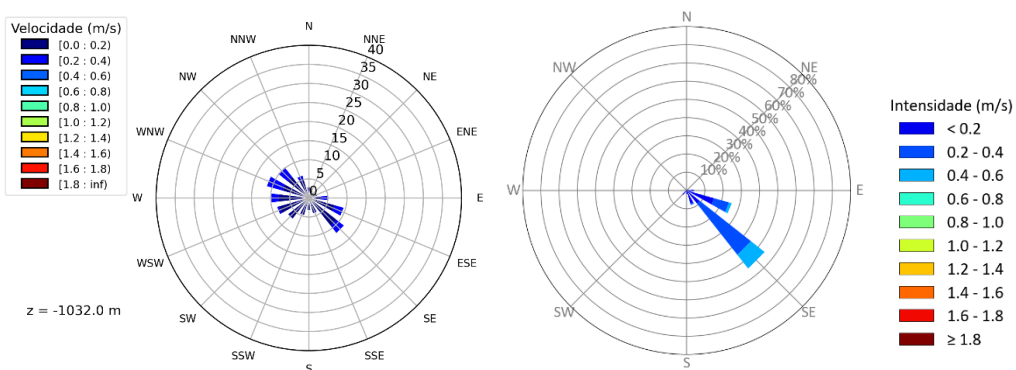


Figura III.5.4.2-10 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 1.032 m de profundidade.

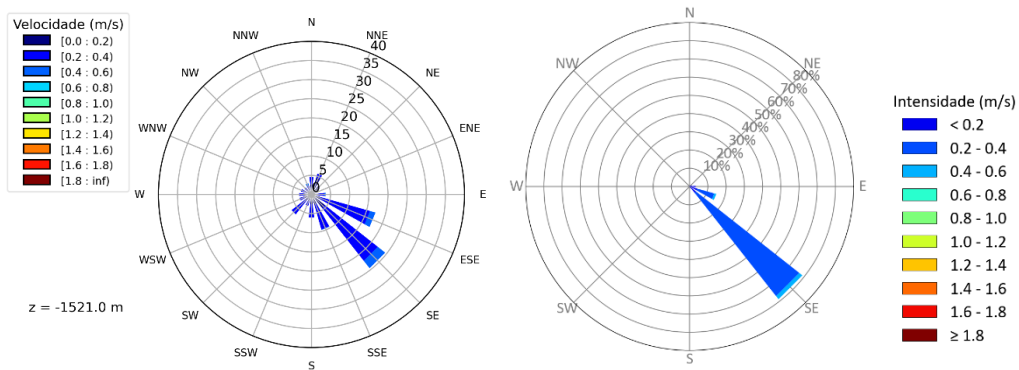


Figura III.5.4.2-11 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 1.521 m de profundidade.

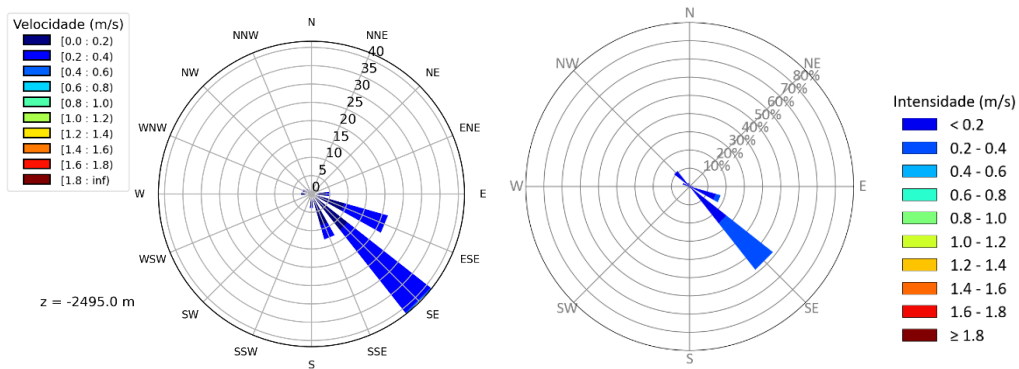


Figura III.5.4.2-12 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 2.495 m de profundidade.

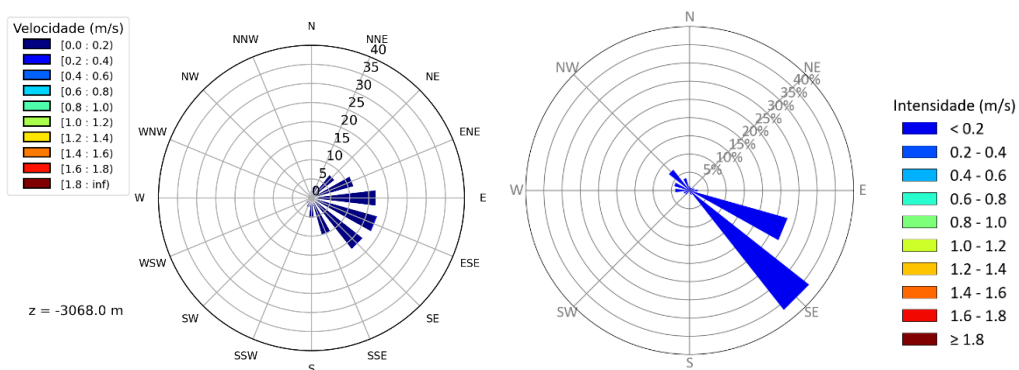


Figura III.5.4.2-13 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda) e dos resultados do ROMS (direita) para 3.068 m de profundidade.

Observa-se um padrão de dois núcleos de corrente com sentido invertido: o primeiro representado pela CNB, com núcleo em superfície, direção predominante para NW e com intensidade alta (podendo chegar a mais de 1,8 m/s); e o segundo com núcleo em 1.500 metros, direção para SE e intensidade de até 0,5 m/s. A inversão das correntes ocorre gradualmente entre 200 e 1.200 metros, aproximadamente. O modelo hidrodinâmico representa esse padrão satisfatoriamente.

A partir da análise comparativa das rosas de corrente obtidas com os dados do fundeio FZA3000 e com os resultados do modelo hidrodinâmico nota-se que as correntes mais intensas se encontram entre a superfície e 100 metros, com intensidades excedendo 1,6 m/s. O padrão direcional na camada entre 0 e 50 m permanece para o quadrante NW (270-360°) ao longo de todo o período evidenciando a influência da CNB, bem representada pelo modelo;

No fundeio FZA3000 nota-se que o padrão de inversão direcional se inicia de 200 m a 1.200 m, faixas de profundidade onde é possível observar ocorrência de direções para NW e SE. O modelo hidrodinâmico representa bem essa faixa de inversão das correntes, apesar de apresentar um espalhamento direcional menor;

A partir de 1278 m, os dados mostram uma maior definição no padrão direcional para SE, com correntes de até 0,4 a 0,6 m/s. Desta camada até o fundo, a corrente permanece para SE com gradual redução em intensidade. Este padrão é bem representado pelo modelo hidrodinâmico, porém com menor espalhamento direcional.

III.6. Análise comparativa entre as bases hidrodinâmicas (2015 x 2022)

A seguir será apresentada uma análise comparativa entre as bases hidrodinâmicas desenvolvidas pela PROOCEANO no ano de 2015 e no presente estudo (2022) para o Bloco FZA-M-59.

III.6.1. Domínio e Resolução do Modelo

Em relação ao domínio e resolução espacial dos modelos, ambos foram configurados com resolução espacial horizontal de $1/16^\circ$ (~6,5 km) com 30 níveis verticais (camadas sigma). Contudo, a nova base hidrodinâmica apresenta maior domínio espacial, estendo-se de $5,19^\circ\text{S}$ a $14,5^\circ\text{N}$, e $35,49^\circ\text{W}$ a $61,6^\circ\text{W}$, enquanto a base de 2015 se estende de $3,75^\circ\text{S}$ a $14,5^\circ\text{N}$, e $42,0^\circ\text{W}$ a $61,5^\circ\text{W}$ (Figura III.6.1-1). A extensão da grade numérica teve como principal objetivo enriquecer a condição de contorno aberta leste, visando capturar maior variabilidade forçada principalmente pela CNB e pelo sistema de correntes equatoriais zonais.

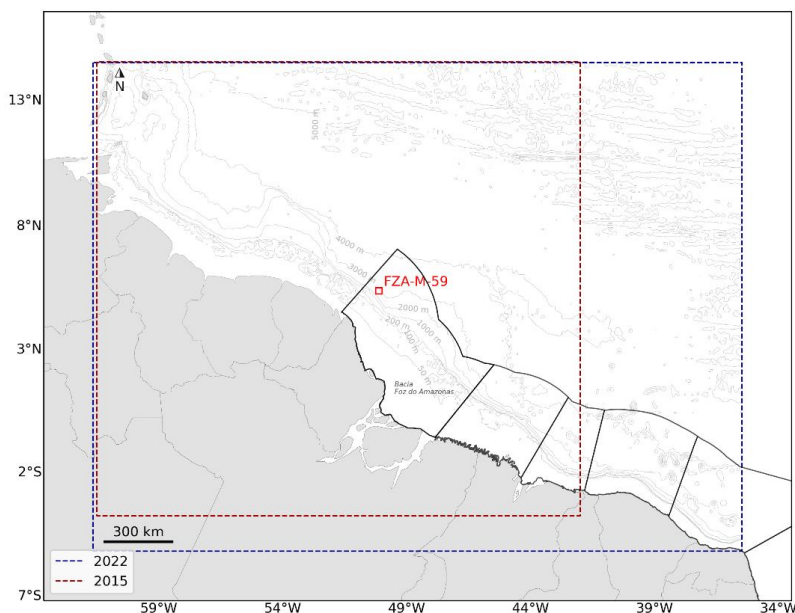


Figura III.6.1-1 - Regiões de modelagem. Os polígonos azul e vermelho pontilhado representam os limites da grade do modelo hidrodinâmico implementado em 2015 e 2022, respectivamente.

III.6.2. Condições Iniciais e de Contornos

Ambos os modelos hidrodinâmicos utilizaram como condição inicial e de contorno os dados de temperatura, salinidade, altura da superfície do mar e de correntes da análise global do Mercator, distribuído pelo Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Em relação a condição de contorno de fundo, houve uma melhoria na base hidrodinâmica do atual estudo (2022), cuja matriz de batimetria foi confeccionada utilizando os dados da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009), em composição com dados de cartas náuticas digitalizadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil (Tabela III.3.1-1 e Figura III.3.1-1 a Figura III.3.1-4). Esta composição, permitiu resolver com maior resolução regiões de interesse do estudo, com batimetria mais complexa, evitando instabilidades numéricas e/ou correntes espúrias associadas a esta classe de modelo (em coordenada sigma) que apresenta maior sensibilidade à topografia.

A Maré da base hidrodinâmica implementada em 2015 foi forçada com as constantes harmônicas do modelo global de marés TPX07 (EGBERT; EROFEEVA, 2002), com resolução espacial de $1/4^\circ$. No atual estudo (2022), foram utilizadas as constantes harmônicas do modelo TPX08 V1, esta nova geração combina uma solução global com resolução de $1/6^\circ$ em áreas oceânicas e alta resolução (de até $1/30^\circ$) em regiões costeiras (incluindo a plataforma Amazônica), proporcionando uma melhoria nas previsões de marés para áreas costeiras em comparação com os predecessores do TPX08.

A condição de contorno de superfície também foi refinada. A base hidrodinâmica implementada em 2015 foi forçada em superfície com os resultados da reanálise do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*), com resolução espacial de ~ 200 km e temporal de 6 horas. No atual estudo, a superfície foi forçada com os resultados da reanálise ERA5, a última geração da Reanálise do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), com resolução temporal horária e espacial de ~ 31 km, proporcionando um aumento considerável na resolução espaço-temporal das forçantes atmosféricas e

introduzindo maior variabilidade ambiental ao sistema oceano-atmosfera (Figura III.6.2-1, Figura III.6.2-2 e Figura III.6.2-3).

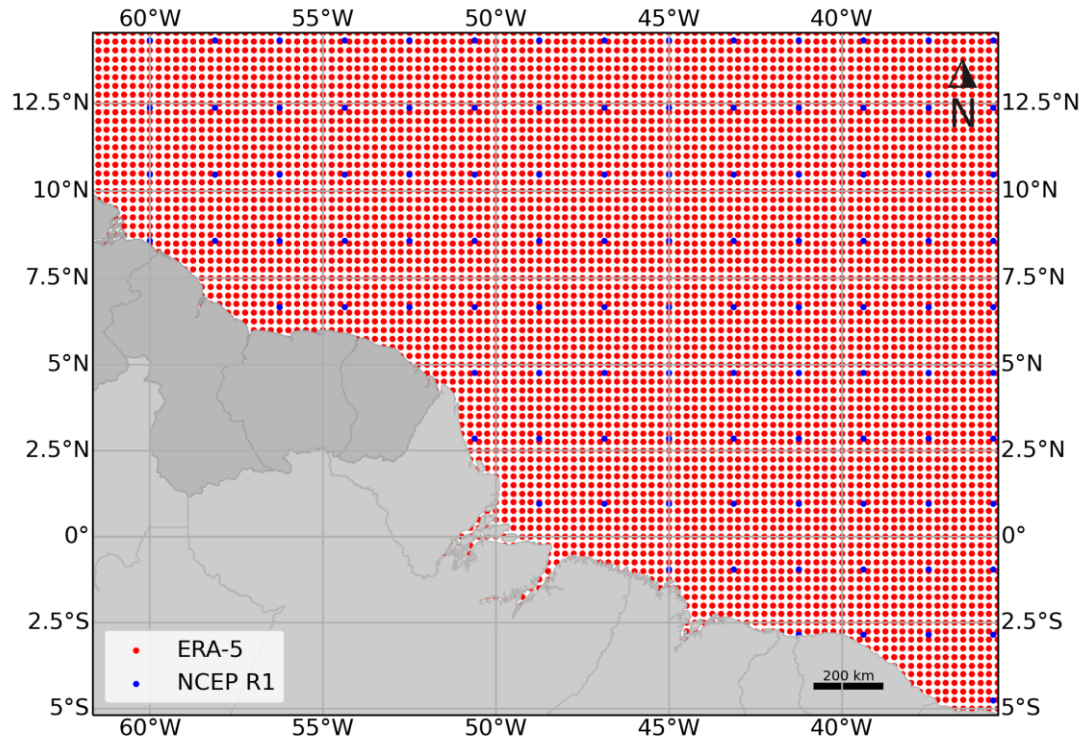


Figura III.6.2-1 - Localização dos pontos de grade do ERA5 (vermelho) e do NCEP R1 (azul).

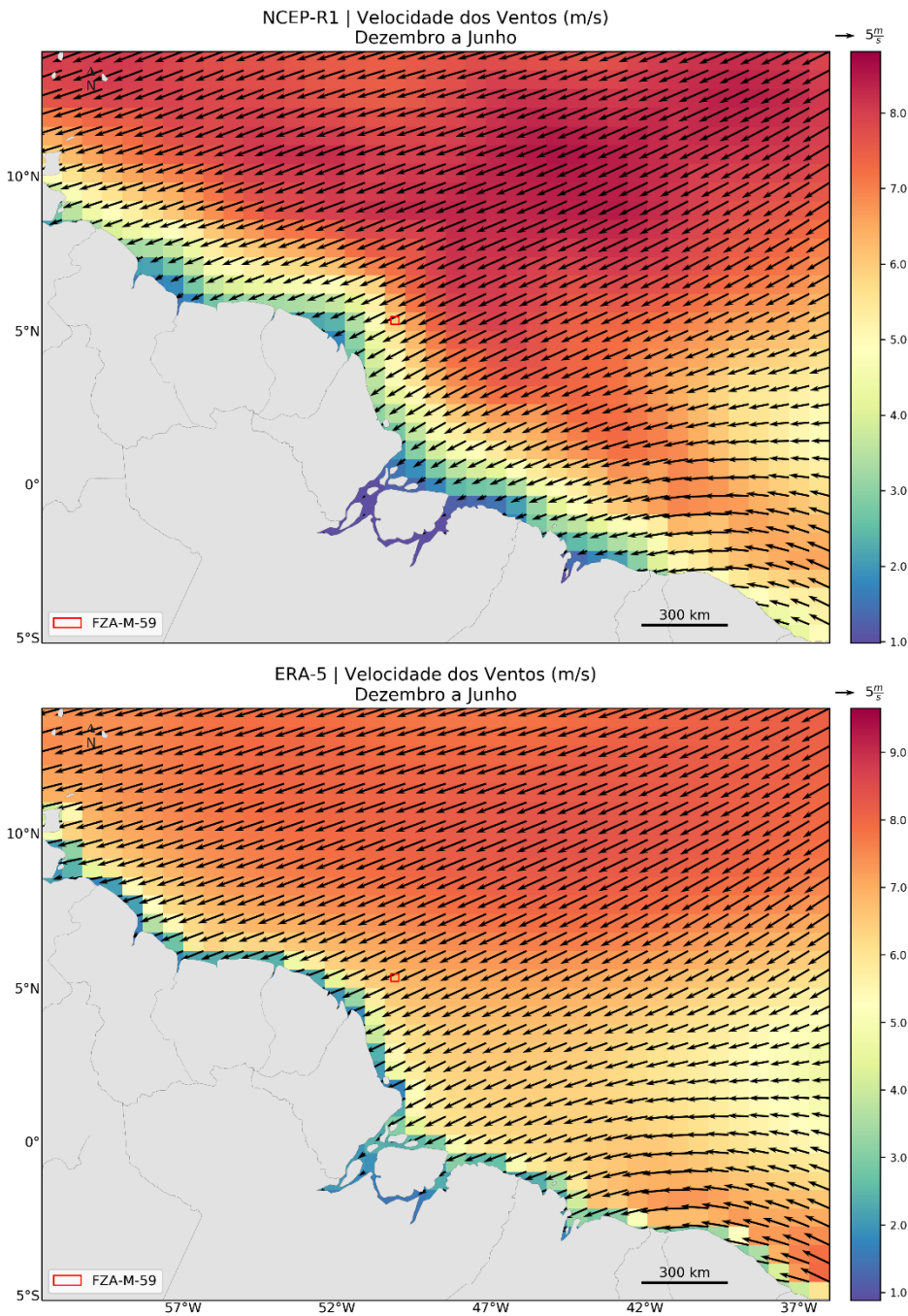


Figura III.6.2-2 – Campo médio sazonal (Período 1) dos dados de vento utilizados como forçante na base hidrodinâmica implementada em 2015 – NCEP R1 (acima) e em 2022 – ERA5 (abaixo), interpolados para grade do ROMS.

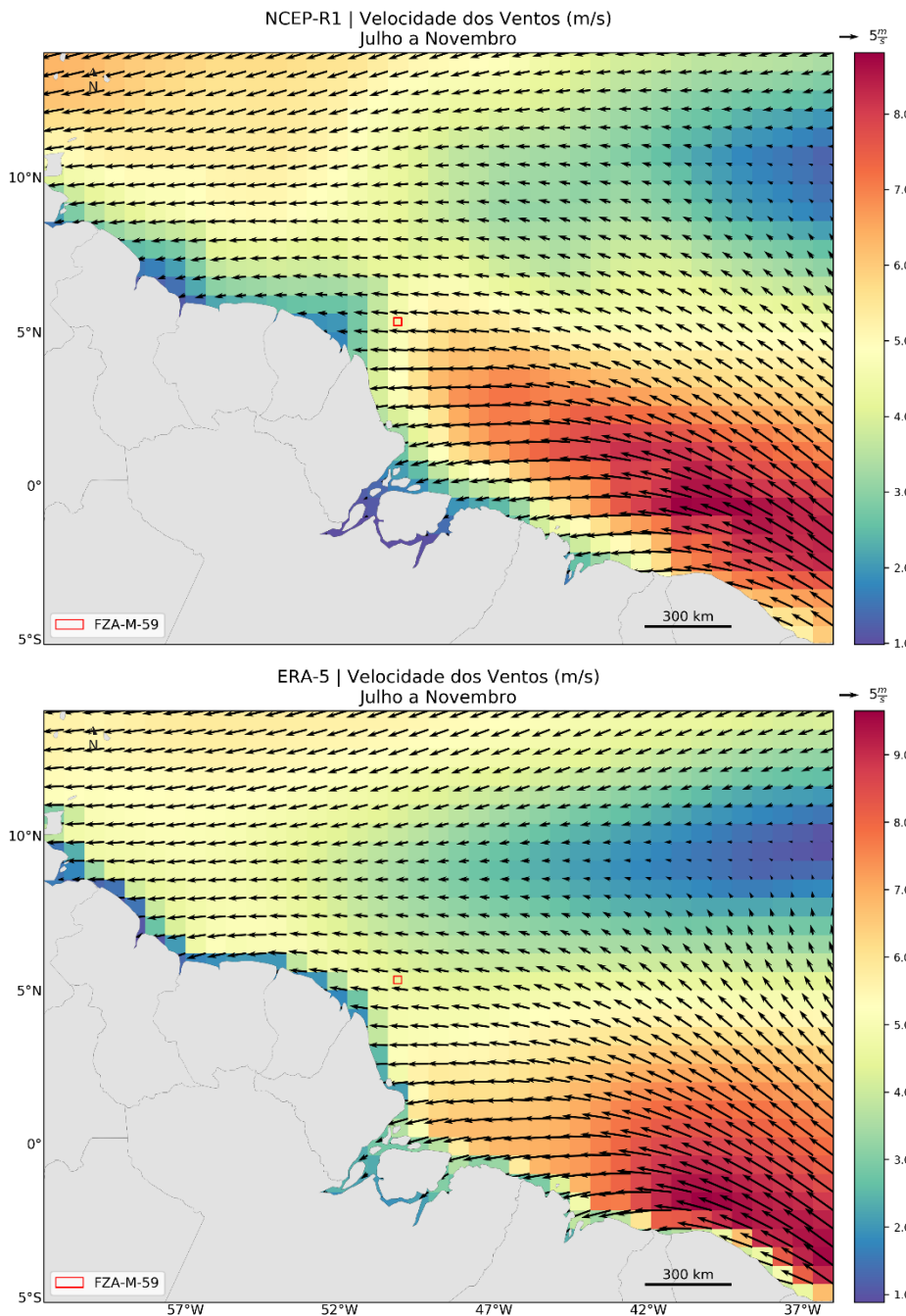


Figura III.6.2-3 – Campo médio sazonal (Período 2) dos dados de vento utilizados como forçante na base hidrodinâmica implementada em 2015 – NCEP R1 (acima) e em 2022 – ERA5 (abaixo), interpolados para grade do ROMS.

III.6.3. Avaliação dos resultados (2015 x 2022)

III.6.3.1. Maré

Com objetivo de avaliar quantitativamente a elevação de maré calculada entre as duas bases hidrodinâmicas, a Tabela III.6.3.1-1 apresenta o MAE e o Coeficiente de Pearson (p) calculado entre cada modelo e os dados de estações maregráficas da região modelada, adotando o mesmo critério de reconstituição da maré.

Tabela III.6.3.1-1 - Comparação estatística entre os dados de elevação das bases hidrodinâmicas de 2015 e 2022 e os dados medidos.

Local	MAE (m)		p (%)	
	2015	2022	2015	2022
Paracurú-CE	0,26	0,2	88,3	94,2
Mangunça-MA	0,3	0,19	96,5	98,5
Ilha dos Irmãos-MA	0,5	0,4	89,0	95,6
Cabo Maguari-PA	0,39	0,34	91,0	93,4
Plataforma Penrod-PA	0,26	0,18	88,5	94,2
Ponta dos Índios-AP	0,3	0,23	87,7	94,7
Média	0,33	0,26	90,1	95

Nota-se que ambos os modelos apresentaram resultados satisfatórios, com resultados estatisticamente mais próximos da realidade no modelo implementado para o atual estudo, provavelmente em virtude principalmente da atualização das forçantes de maré do TOPX08, proporcionando uma melhoria nas previsões de marés.

III.6.3.2. Estrutura Termohalina

Com objetivo de avaliar a estrutura termohalina entre as duas bases hidrodinâmicas foi avaliada a evolução temporal da TSM (Figura III.6.3.2-1) para o ponto de grade mais próximo ao Bloco FZA-M-59, durante todo o período de simulação (2013) e comparado com os dados satelitais disponibilizados pelo JPL MUR para o mesmo período de modelagem. De forma complementar, também foi avaliado a estrutura vertical termohalina extraída das duas bases e comparadas

contra os dados do WOA13-V2 para a região do Bloco FZA-M-59 (Figura III.6.3.2-2).

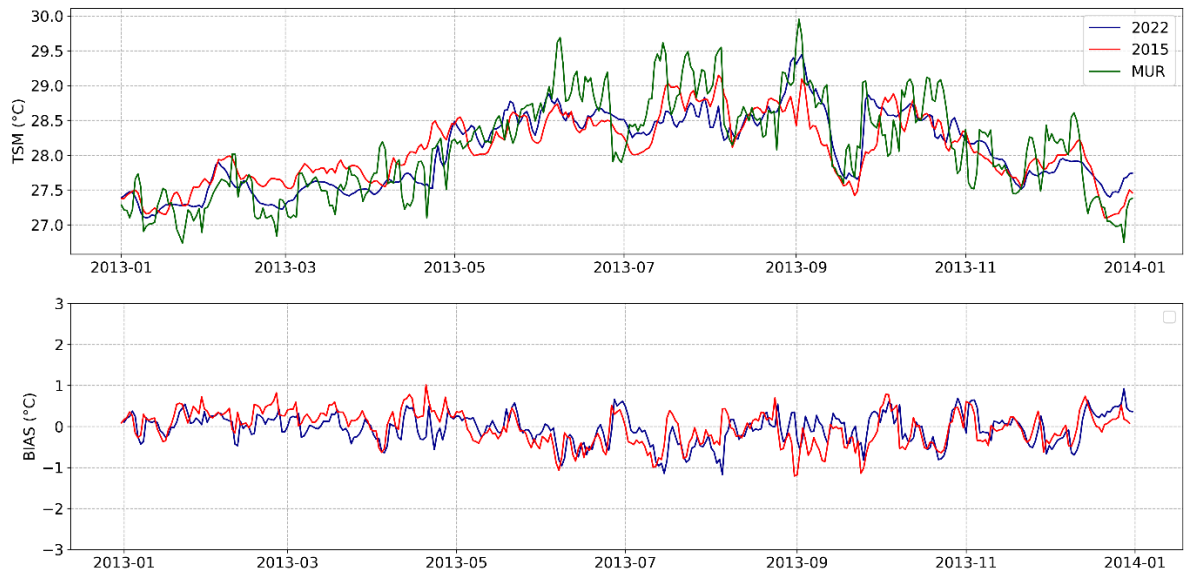


Figura III.6.3.2-1 - Séries temporais de TSM e bias para o ponto de grade mais próximo ao Bloco FZA-M-59. Em vermelho (azul) são apresentados os resultados extraídos da base de 2015 (2022) e em verde os dados satelitais do MUR.

Tabela III.6.3.2-1 - Valores de bias de TSM (°C) mínimo, médio e máximo no Bloco FZA-M-59 para cada base hidrodinâmica.

	Mínimo	Médio	Máximo
2015	-1,21	-0,03	1,01
2022	-1,17	-0,05	0,92

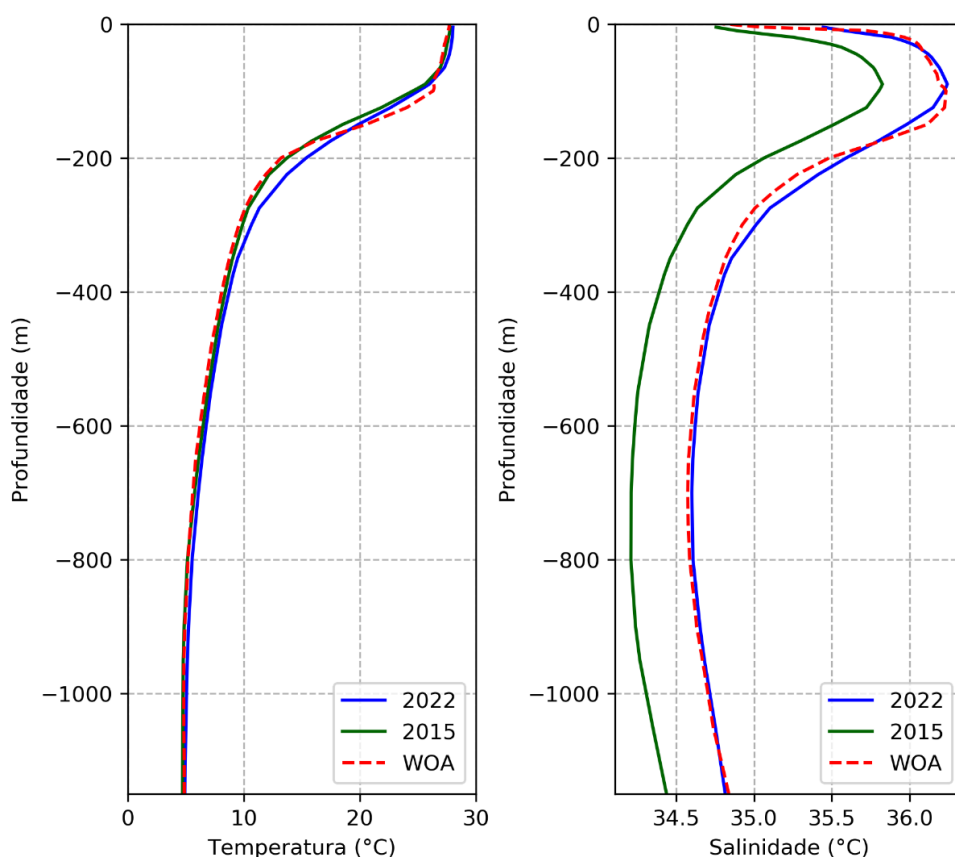


Figura III.6.3.2-2 – Perfil vertical de temperatura e salinidade obtidos do WOA13 (vermelho) e pela base hidrodinâmica implementada em 2015 (verde) e 2022 (azul), considerando todo o período de modelagem, na região do Bloco FZA-M-59.

Nota-se que em ambas as bases a estrutura termohalina foi bem representada na região do Bloco FZA-M-59, sem apresentar diferenças significativas entre elas.

III.6.3.3. Correntes

A fim de comparar especialmente os resultados das correntes superficiais entre as bases hidrodinâmicas, foi feita uma análise comparativa entre os resultados da análise em caixas de 1° entre as bases hidrodinâmicas (2015 e 2022) e o conjunto de dados dos derivadores do GDP e SVP do Projeto Costa Norte, conforme critério de análise explicado no item III.5.4.1 (Página. 101).

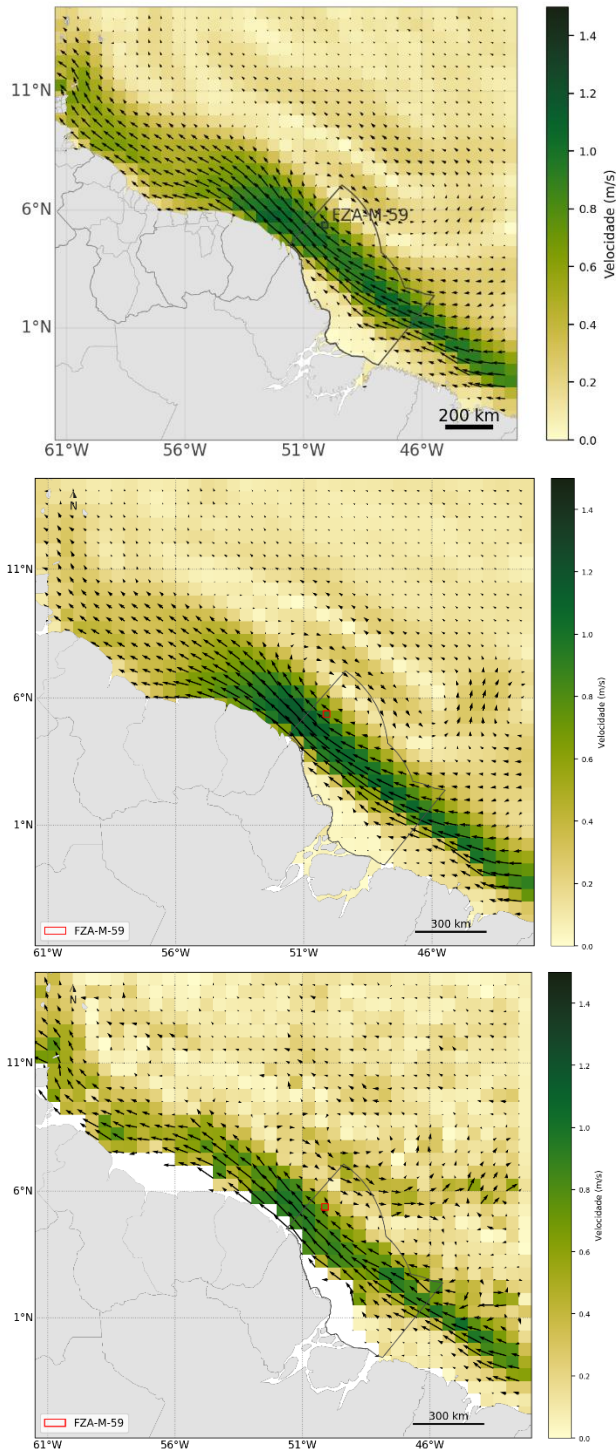


Figura III.6.3.3-1 - Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica de 2015 (acima), de 2022 (centro) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 1 (dezembro a junho).

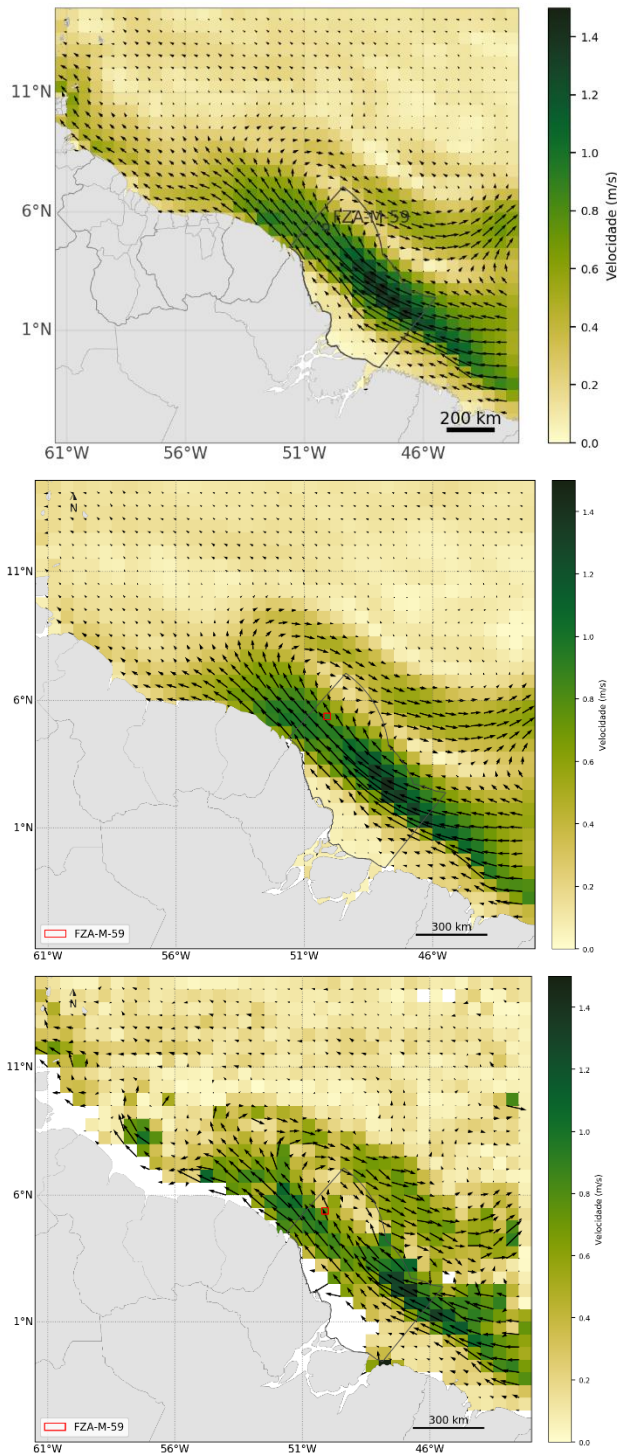


Figura III.6.3.3-2 - Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica de 2015 (acima), de 2022 (centro) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 2 (julho a novembro).

Não foram observadas diferenças significativas em termos de direção e intensidade nos campos superficiais médios entre as bases implementadas. É possível observar a capacidade de ambos os modelos em representar as principais feições médias das correntes superficiais na região de estudo em direção e intensidade, conforme detalhado no item III.5.4.

De forma complementar, visando uma análise quantitativa, a Tabela III.6.3.3-1 apresenta a comparação entre o índice de Willmott médio calculado para as componentes de velocidade entre os dados dos derivadores lagrangianos de superfície GDP (Tabela III.5.4.1-1) e medidos pelos modelos (2015 e 2022). Nota-se que em ambas as bases hidrodinâmicas as componentes de velocidades obtiveram elevada acurácia com os dados medidos, com índice de concordância entre si igual para a componente V e muito próximo para a componente U.

Tabela III.6.3.3-1 - Índice de Willmott das comparações modelos/derivadores.

Base	Média U	Média V
Hidrodinâmica		
2015	0,81	0,87
2022	0,83	0,87

A seguir são apresentados os histogramas direcionais (rosas) das correntes observadas no fundeio FZA3000 e simuladas pela base hidrodinâmica de 2015 e 2022 ao longo da coluna d'água (Figura III.5.4.2-2 a Figura III.5.4.2-13).

Ressalta-se que o período de aquisição de dados de corrente dos fundeio utilizado é diferente do período simulado nas bases hidrodinâmicas, portanto as comparações realizadas possuem caráter qualitativo, buscando avaliar padrões mais gerais como, por exemplo, as direções e intensidades médias da corrente, e as profundidades nas quais ocorrem inversões de fluxo.

Ao longo do fundeio FZA3000 observa-se o padrão de dois núcleos de corrente com sentido invertido: o primeiro representado pela CNB, com núcleo em superfície, direção predominante para NW e com intensidade alta (podendo chegar a mais de 1,8 m/s); e o segundo com núcleo em 1.500 metros, direção para SE e intensidade de até 0,5 m/s, representado satisfatoriamente por ambas as bases hidrodinâmicas.

De forma geral, as duas bases simularam de forma satisfatória a dinâmica local oceânica, com intensidades próximas, levemente subestimadas, e com as mesmas direções predominantes, principalmente em superfície (WNW, NW e NNW) e no fundo (SE e ESE). Apesar da pequena diferença, ao longo das profundidades analisadas, a base de 2015 apresentou intensidades levemente mais intensas e maior espalhamento direcional em determinadas profundidades, estando mais próxima da realidade para o ponto analisado.

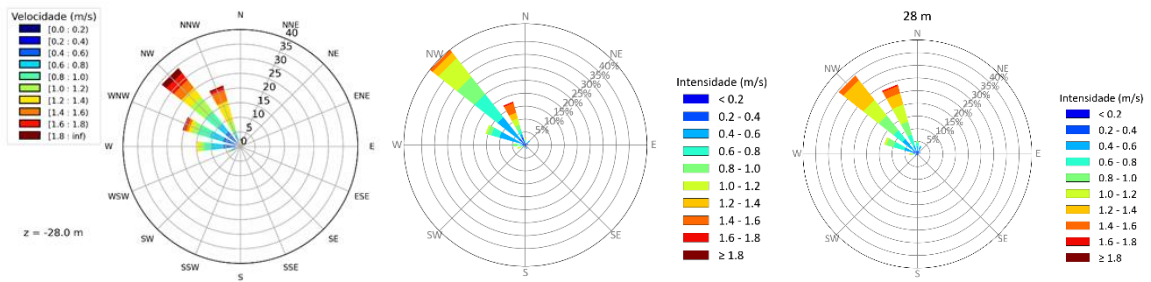


Figura III.6.3.3-3 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 28 m de profundidade.

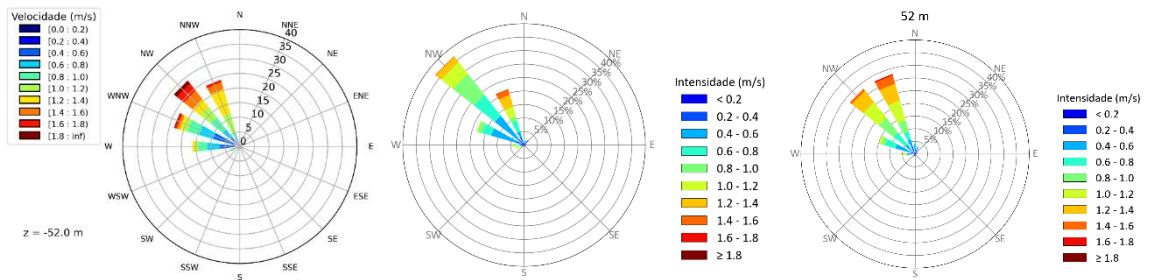


Figura III.6.3.3-4 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 52 m de profundidade.

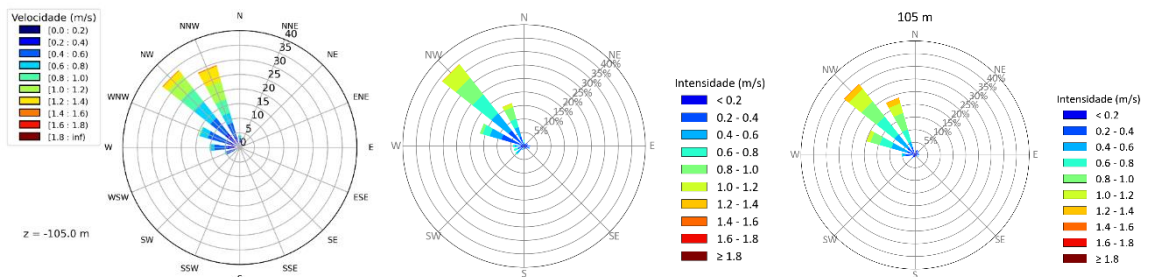


Figura III.6.3.3-5 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 105 m de profundidade.

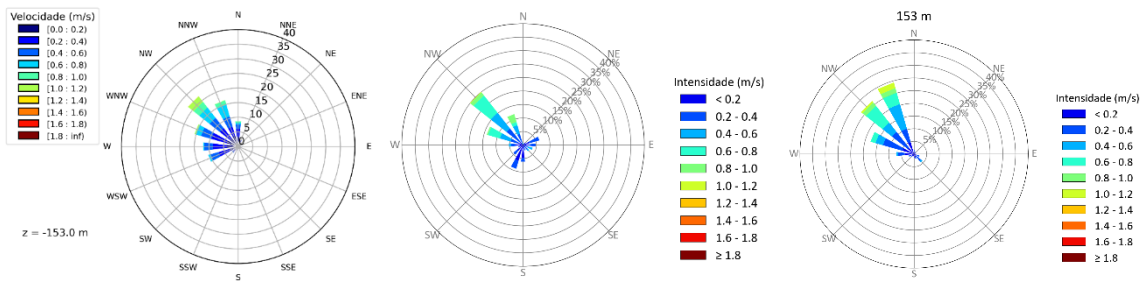


Figura III.6.3.3-6 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 153 m de profundidade.

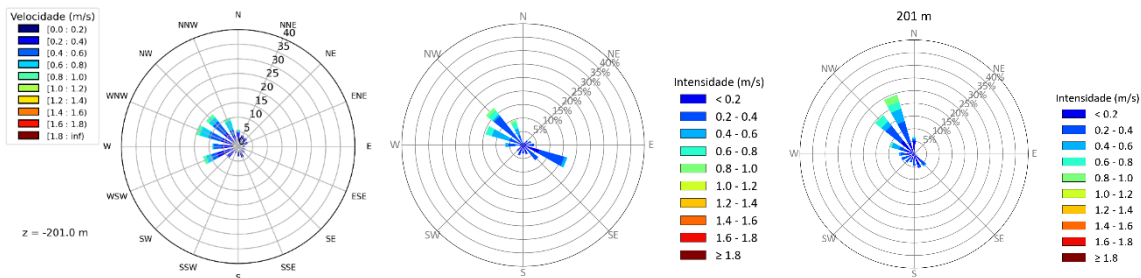


Figura III.6.3.3-7 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 201 m de profundidade.

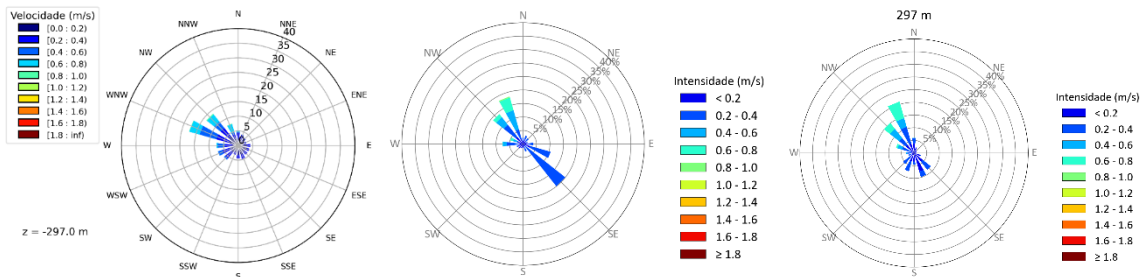


Figura III.6.3.3-8 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 297 m de profundidade.

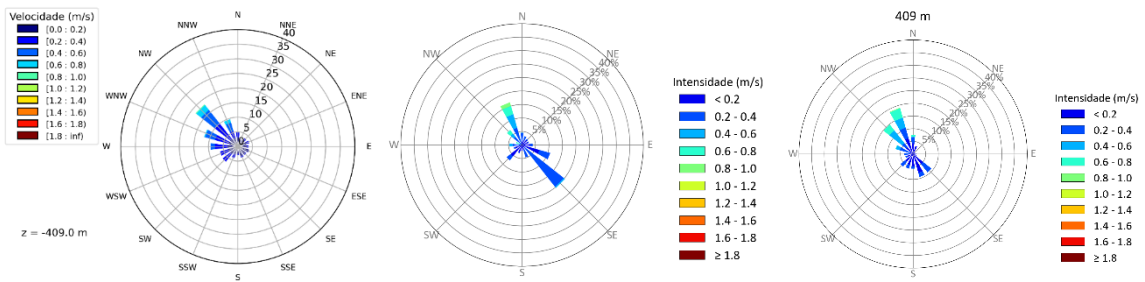


Figura III.6.3.3-9 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 409 m de profundidade.

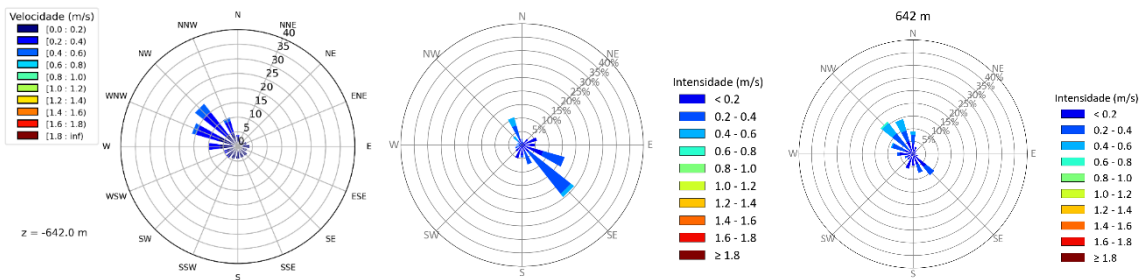


Figura III.6.3.3-10 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 642 m de profundidade.

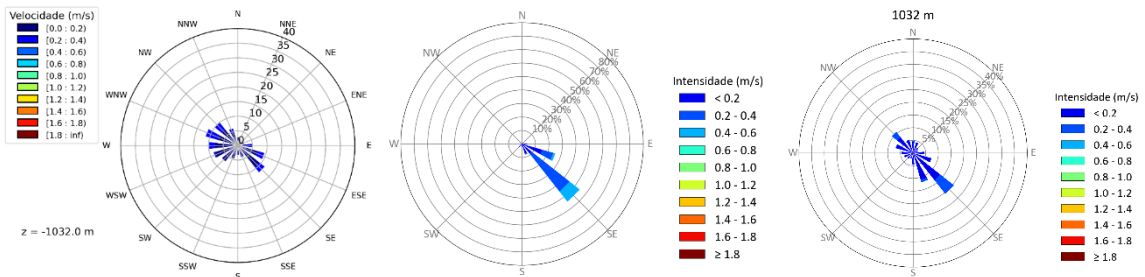


Figura III.6.3.3-11 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 1.032 m de profundidade.

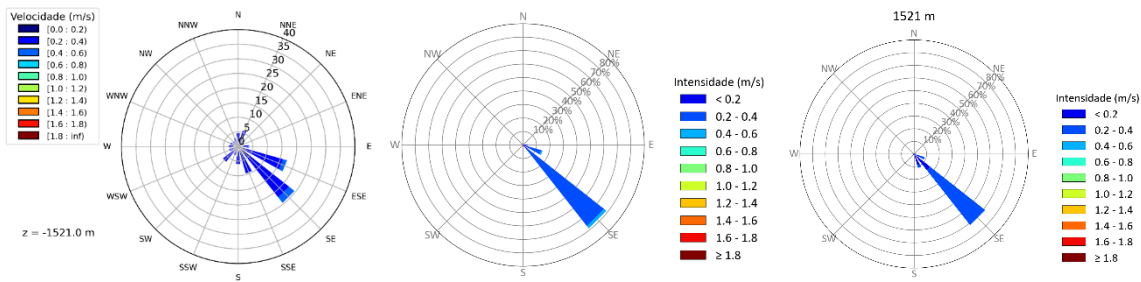


Figura III.6.3.3-12 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 1.521 m de profundidade.

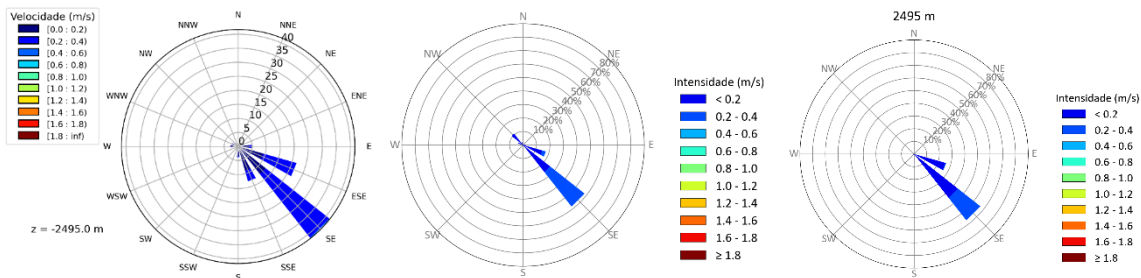


Figura III.6.3.3-13 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 2.495 m de profundidade.

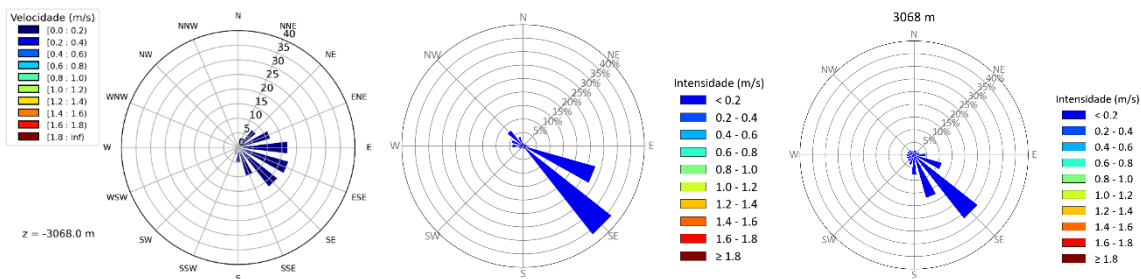


Figura III.6.3.3-14 – Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 3.068 m de profundidade.

III.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 online at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado U.S.A.
- ARAUJO, de Salles, C, E, (2003), AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DAS TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR OBTIDAS POR SATÉLITE PARA A REGIÃO SUL-SUDESTE DA COSTA BRASILEIRA, INPE.
- ASSIREU, A. T. Estudo das Características Cinemáticas e Dinâmicas das Águas de Superfície do Atlântico Sul Ocidental a partir de Derivadores Rastreados por Satélite. Tese (Doutorado em Oceanografia Física). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 174 p. 2003.
- BARBOSA, H, M, J., & Marengo, J, A, (2008), ANÁLISE PRELIMINAR DA TSM DOS MODELOS ACOPLADOS UTILIZADOS NO IPCC-AR4, <http://www.ncdc.noaa.gov>, CPTEC-INPE.
- BECK, B., 2002: Model evaluation and performance. In Encyclopedia of Environmetrics, Eds. A. H. El-Shaarawi and W. W. Piegorsch, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester.
- CERRONE, B. N. Estatísticas da Circulação do Oceano Atlântico Sudoeste a partir de Dados Lagrangeanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 48 p. 2010.
- CHAPMAN, D. C., 1985: Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model, J. Phys. Oceanogr., 15, 1060--1075.
- DAI, A., AND K. E. TRENBERTH, 2002: ESTIMATES OF FRESHWATER DISCHARGE FROM CONTINENTS: LATITUDINAL AND SEASONAL VARIATIONS J. HYDROMETEOROL., 3, 660-687.
- EGBERT, G.D., EROFEEVA, S. Y, 2002: Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides, J. Atmos. Oceanic Technol., 19(2), 183-204.
- FAIRALL, C.W., E.F. BRADLEY, D.P. ROGERS, J.B. EDSON and G.S. YOUNG, 1996: Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global

- atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment, *J. Geophys. Res.*, 101, 3747-3764.
- FLATHER, R.A., 1976. A tidal model of the North-West European continental shelf. *Mém. Soc. R. Soc. Liège* 9, 141–164.
- GABIOUX, M. 2008. Estudo numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S [Rio de Janeiro] 2008 XVII, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2008) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- GORDON A. L (1981) South Atlantic thermocline ventilation, *Deep-Sea Research*, 28, 1239-1264.
- HANSEN, D. V.; POULAIN, P. M. Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data. *Journal of atmospheric and oceanic technology*, v. 13, n. 4, p. 900–910, 1996.
- LELLOUCHE, J-M., LEGALLOUDEC, O., REGNIER, C., LEVIER, B., GREINER, E., DREVILLON, M. 2019. QUALITY INFORMATION DOCUMENT For Global Sea Physical Analysis and Forecasting Product GLOBAL_ANALYSIS_FORECAST_PHY_001_024. Revision date: 30/04/2019.
- LIMA, I. D., GARCIA, C. A. E., MÖLLER, O. O. 1996. Ocean Surface processes on the Southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability. *Continental Shelf Research*. Vol. 16. No. 10 pp. 1307-1317.
- LIU, W.T., K.B. KATSAROS, and J.A. BUSINGER, 1979: Bulk parameterization of the air-sea exchange of heat and water vapor including the molecular constraints at the interface, *J. Atmos. Sci.*, 36, 1722-1735.
- LOCARNINI, R. A., A. V. MISHONOV, J. I. ANTONOV, T. P. BOYER, H. E. GARCIA, O. K. BARANOVA, M. M. ZWENG, AND D. R. JOHNSON, 2013. *World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature*. S. Levitus, Ed. NOAA Atlas NESDIS 68, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 184 pp.
- MENDONÇA, L,F,, SOUZA, R,B,, ASSEF, C,R,C,, PEZZI, L,P,, MÖLLER, O,O,, ALVES, R,C,M, 2017, Regional modeling of the water masses and circulation

- annual variability at the Southern Brazilian Continental Shelf, *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1002/2016JC011780.
- OLIVEIRA, L.R., 2008. Energética do Atlântico Sudoeste a Partir de Observações Lagrangeanas e de Simulações do Parallel Ocean Climate Model. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.
- PETROBRAS, 2013a. Análise de Dados de CTD da Campanha de Caracterização Ambiental da Bacia de Pelotas (Poço Guarani). RT TEO 096/2013.
- PETROBRAS, 2013b. Consistência dos Dados de ADCP de Casco do Navio EMMA McCALL. Campanha Pelotas. RT TEO 048/2013.
- PETROBRAS, 2014a. Análise de Dados de CTD da Campanha de Caracterização Ambiental da Bacia de Pelotas (Inverno). CT TEO 056/2014.
- PETROBRAS, 2014b. Análise de Dados de ADCP de Casco da Campanha de Caracterização Ambiental da Bacia de Pelotas (Inverno). CT TEO 050/2014.
- SELIGER, U. E ODEBRETCH, C. INTRODUÇÃO E ASPECTOS GERAIS. IN: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil, Rio Grande: Editora Ecocientia, 1998, p.1-4.
- SOARES, I.D.; MOLLER, O. Low-frequency currents and water mass spatial distribution on the Southern Brazilian Shelf. *Continental Shelf Research*. v.21, p.1785 - 1814. 2001.
- SOUZA, R. B.; ROBINSON, I. S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. *Continental Shelf Research*, v. 24, pp. 241 – 262. 2004.
- STARK, J. D. CRAIG J. DONLON, MATTHEW J. MARTIN AND MICHAEL E. MCCULLOCH. 2007, OSTIA : An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system., *Oceans '07 IEEE Aberdeen*, conference proceedings. Marine challenges: coastline to deep sea. Aberdeen, Scotland.IEEE.
- SYBRANDY, A.L. AND P.P. NIILER, 1991. WOCE/TOGA Lagrangian drifter construction manual. SIO REF 91/6, WOCE Report 63, San Diego, California, Scripps Institution of Oceanography.

WILMOTT, C. J., 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin American Meteorological Society. Vol. 63, No. 11, pp. 1309-1313.

ZWENG, M.M., J.R. REAGAN, J.I. ANTONOV, R.A. LOCARNINI, A.V. MISHONOV, T.P. BOYER, H.E. GARCIA, O.K. BARANOVA, D.R. JOHNSON, D. SEIDOV, M.M. BIDDLE, 2013. World Ocean Atlas 2013, Volume 2: Salinity. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed.; NOAA Atlas NESDIS 74, 39 pp.

ZAVIALOV, P.; MÖLLER, O.; CAMPOS, E. First direct measurements of currents on the continental shelf of Southern Brazil. Continental Shelf Research, v. 22, p. 1975–1986, 2002.

IV. Modelagem de Derrame de Óleo no Mar

Este capítulo descreve os resultados obtidos na modelagem numérica do transporte de óleo no mar para cenários acidentais de vazamento a partir de um ponto de risco localizado no bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas. Foram considerados três volumes de vazamento, definidos de acordo 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, são eles:

- »Pequeno porte - 8 m³;
- »Médio Porte - 200 m³;
- »Pior caso (maior volume) – 46.742 m³ (294.000 bbl).

O volume de pior caso é baseado na associação da capacidade de produção diária do poço (estimada em 9.800 bbl/dia (1.558,075 m³/dia), segundo a contratante), com a perda de controle do poço (30 dias de vazamento) ANEXO E.

No estudo de dispersão de óleo, dois tipos de simulações foram conduzidos: probabilísticas e determinísticas. As simulações probabilísticas foram realizadas para os três volumes citados, tanto no Período 1 (dezembro a junho) quanto no Período 2 (julho a novembro). O Período 1 corresponde aos mesmos meses do Verão da modelagem realizada em 2015, e o Período 2 aos meses do Inverno. Já a definição das simulações determinísticas críticas simuladas foi baseada na identificação da situação em que houve o menor tempo de chegada de óleo na costa e a situação de maior massa acumulada na costa dentre os resultados das simulações probabilísticas. A seguir, na Tabela IV-1, é apresentado o resumo dos cenários simulados.

Tabela IV-1 – Resumo dos cenários de vazamento simulados no estudo.

Modelo	Volume Total (m ³)	Estação	Vazamento	Tempo
Probabilístico				
Pequeno Porte	8	Período 1	instantâneo de superfície	30 dias
		Período 2	instantâneo de superfície	30 dias
Médio Porte	200	Período 1	instantâneo de superfície	30 dias
		Período 2	instantâneo de superfície	30 dias
<i>Pior caso</i>	46.742	Período 1	contínuo – fundo (30 dias)	60 dias
		Período 2	contínuo – fundo (30 dias)	60 dias
Determinístico				
Menor tempo de toque de óleo na costa	46.742	Período 1	contínuo de fundo (30 dias)	60 dias
Maior massa óleo acumulada na costa	46.742	Período 1	contínuo de fundo (30 dias)	60 dias

IV.1. Descrição das Grades

Neste estudo utilizou-se uma grade regular com resolução espacial de 3,0 km nas direções zonal e meridional. Os limites da grade são: ao sul, 5°59' S, ao norte, 14°30' N, a oeste, 61°40' O e a leste, 35°27' O (Figura IV.1-1). Com isso obteve-se uma matriz horizontal com 970 por 760, totalizando 737.200 elementos.

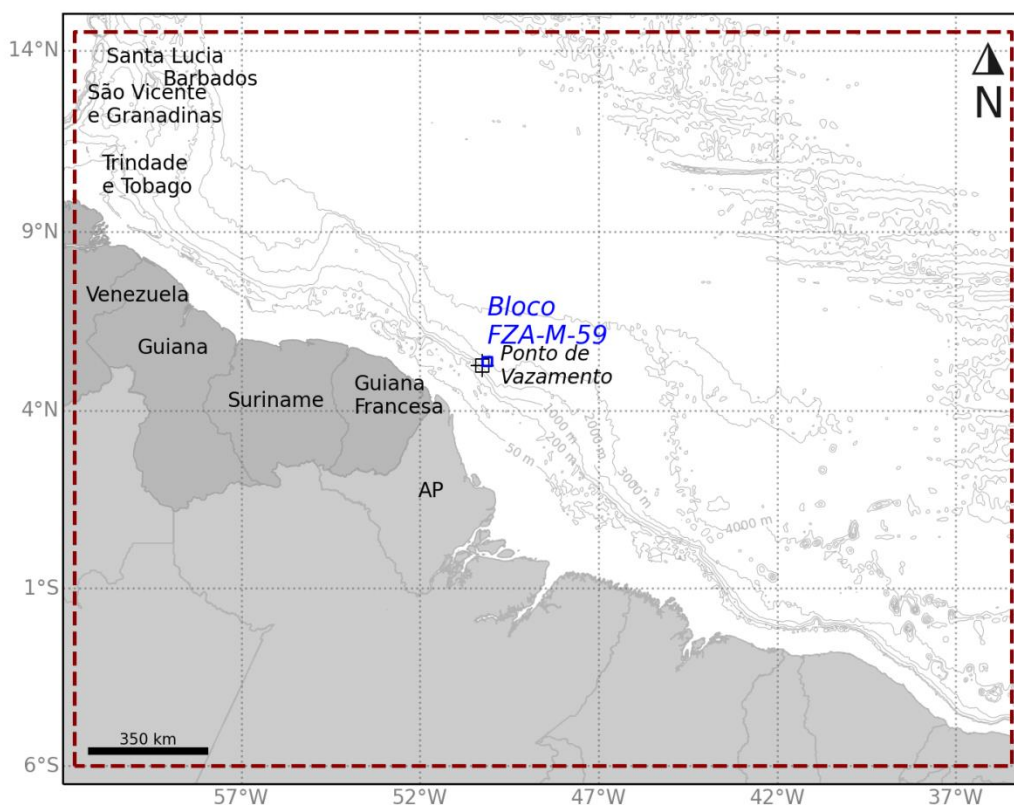


Figura IV.1-1- Representação do limite da grade de óleo (linha tracejada em vermelho).

Para o volume de pior caso (vazamento de fundo) o número de camadas utilizadas na vertical foi 41, indo de 0 a 2402 m de profundidade (primeira camada de 0 a 2 m e as demais camadas espaçadas em 60 m), totalizando 30.225.200 elementos de grade. Para os volumes de 8 m³ e 200 m³ (vazamentos de superfície) o número de camadas utilizadas na vertical foi 21, indo de 0 a 202 m de profundidade (primeira camada de 0 a 2 m e as demais camadas espaçadas em 10 m), totalizando 7.372.000 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 IV.1-2. 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 batimétrica ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009).

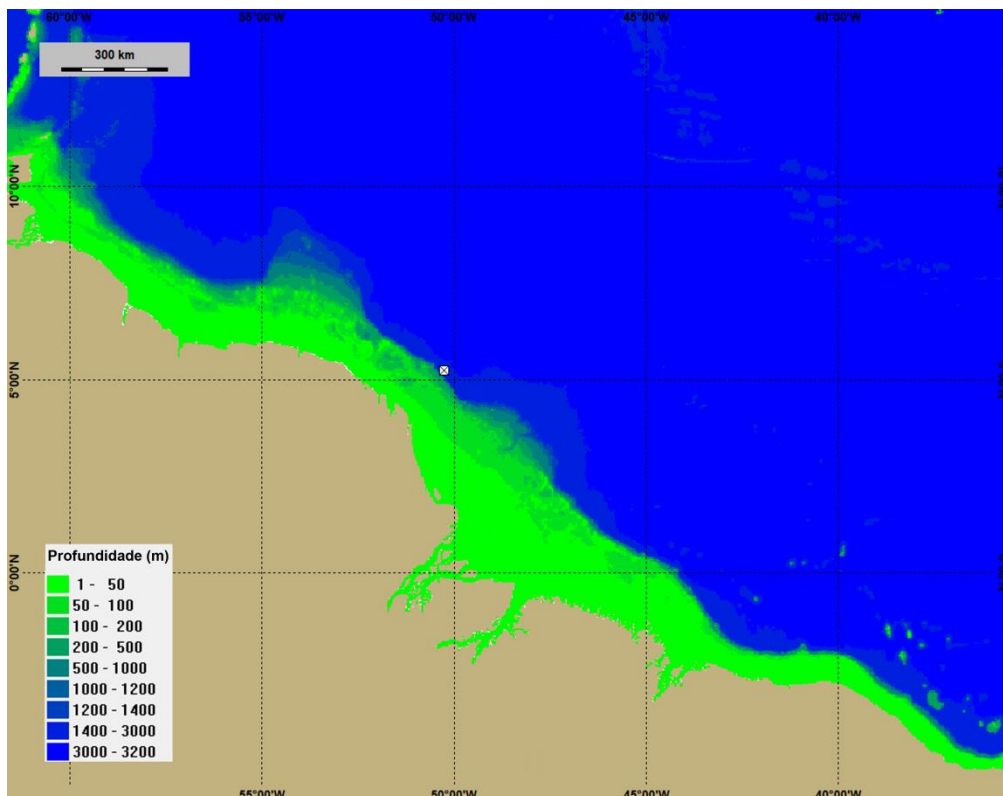


Figura IV.1-2- A grade de batimetria utilizada na simulação.

Como discutido no ANEXO A – 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 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 (< 3 km), seria considerado para aquele segmento o tipo de costa predominante no entorno.

Na região de estudo em questão, no que tange o território brasileiro, é verificada a predominância do Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) de valor 10, que representa regiões de manguezais e planícies de maré. Desta forma, foi utilizado o tipo de costa no modelo OSCAR que melhor representa esse tipo de ambiente.

Além disso, foi extrapolado para a costa dos outros países que fazem parte da região de estudo o mesmo tipo de costa para se ter uma abordagem conservadora, uma vez que o ISL 10 é o tipo de costa com maior sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo.

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

IV.2.Estratégias de Modelagem

IV.2.1.Cenários de vazamento

As simulações numéricas apresentadas nesse estudo foram feitas com o OSCAR (Versão 14.0.0), modelo descrito em detalhes no ANEXO A.

Para os volumes de pequeno (8 m³) e médio porte (200 m³), foram realizadas simulações de vazamentos instantâneos de óleo cru em superfície, enquanto que para as simulações de eventos de pior caso (46.742 m³) foram considerados vazamentos contínuos de óleo cru por 30 dias a partir do fundo, por um orifício de 18 ¾ polegadas (~476 mm) (informação da contratante).

A deriva do óleo em todos os cenários foi acompanhada por 30 dias após o término do vazamento, independente da espessura do óleo, ou seja, mesmo que todo óleo tenha ficado abaixo do limiar de detecção em algum momento da simulação, totalizando 30 dias (720 horas) de simulação para os casos de pequeno e médio porte e 60 dias (1440 horas) de simulação para o caso de pior caso.

Para todos os volumes foram realizadas simulações em dois períodos definidos considerando todos os meses do ano, Período 1, de dezembro a junho, e Período 2, de julho a novembro, definidos a partir da análise das forçantes de vento e corrente utilizadas no modelo e descritas no ANEXO B.

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.

Os resultados da modelagem de dispersão de óleo neste estudo consideraram todos os processos intempéricos do óleo, exceto a biodegradação. O processo de biodegradação foi desconsiderado de acordo com as novas diretrizes do CGMAC/DILIC/IBAMA em novos processos de licenciamento. Dessa forma, os resultados aqui apresentados apresentam caráter mais conservador que o estudo de 2015, uma vez que não há perda de massa de óleo por esse processo de intemperismo. No estudo de 2015, a biodegradação nos vazamentos de pior caso removeu de 27% a 41% do total de óleo vazado.

IV.2.2.Limiaries 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 limiaries ambientais a pares internacionais, é observado que o valor selecionado está na mesma ordem de grandeza. Por exemplo, no documento de Ospar 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.

IV.2.3.Características do óleo

Segundo informações da contratante, para o bloco FZA-M-59 o óleo esperado é de 27° API. Dessa forma foi escolhido um óleo de grau API próximo no banco de dados do OSCAR. As características do óleo utilizado na modelagem são apresentadas na Tabela IV.2.3-1.

Tabela IV.2.3-1 - Características do óleo escolhido no banco de dado do OSCAR.

Classificação do óleo	Descrição
(x) 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
() leves *	maior conteúdo de componentes leves, evaporação entre 50 a 70% volume, formação de emulsões instáveis.

*Nos cenários de vazamentos de pior caso de fundo a evaporação foi inferior à 50%, no entanto nos vazamento de superfície (8 m³ e 200 m³) a evaporação ficou entre 50 e 70%.

Propriedades Físicas		
Parâmetro	Valor	Unidade
API	27	°
Densidade	0,893	g/cm ³
Viscosidade Dinâmica	27 (13°C)	cP
Ponto de Fluidez	-12	°C

Componentes do óleo	
Componentes	Fração no óleo (%)
C4 gases (dissolvido no óleo)	0,4112
C5-saturados (n-/iso-/ciclo)	0,6561
C6-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,1399
Benzeno	0,1900
C7-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,2781
C1-Benzeno (Toluene) et, B	0,4277
C8-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,6859
C2-Benzeno (xilenos; usando O-xileno)	0,4606
C9-saturados (n-/iso-/ciclo)	1,8769
C3-Benzeno	4,2838
C10-saturados (n-/iso-/ciclo)	3,2686
C4 e C4 Benzenos	0,1127
C11-C12 (total sat + aro)	6,1171
Fenóis (C0-C4 alquilado)	0,0097
Naftalenos 1 (C0-C1-alkilado)	0,3299
C13-C14 (total sat + aro)	6,7708
Naftalenos 2 (C2-C3-alkilado)	0,4578

C15-C16 (total sat + aro)	6,3750
HPA 1 (Hidrocarbonetos poliaromático médio solúvel (3 anéis-não-alkilado; < 4 anéis))	0,2762
C17-C18 (total sat + aro)	6,2899
C19-C20 (total sat + aro)	3,8352
Materiais cromatográficos não-resolvidos (C10 à C36)	0,0834
C21-C25 (total sat + aro)	6,9442
HPA 2 (Hidrocarbonetos poliaromático baixo solúvel (3 anéis-alkilado; 4-5+ anéis))	0,0778
C25+ (total)	46,6418

Curva de destilação

Temperatura (°C)	Volume (%)
65	1,43
90	3,04
150	9,57
180	13,83
240	24,49
320	45,71
375	57,21
420	63,59
525	83,78
565	87,99

IV.2.4. Parâmetros do modelo

Os parâmetros utilizados no presente estudo são apresentados na Tabela IV.2.4-2.

Tabela IV.2.4-2 – Parâmetros numéricos utilizados no modelo de óleo.

Parâmetros dos modelos			
Número de partículas	Gotículas (não dissolvidas)		20.000
	Dissolvidas		20.000
Duração da simulação (8 m ³ e 200 m ³ / pior caso)			30/60 dias
Número de simulações no modo probabilístico			500 Período 1
			500 Período 2
Dimensão da grade	Zonal		~2.910 km
	Meridional		~2.280 km
Resolução da grade	Direção X (longitude)		3 km
	Direção Y (latitude)		3 km
	Direção Z (profundidade) (1 ^a camada / demais camadas)	8 m ³ e 200 m ³ / pior caso	
Profundidade para grade de concentração	Min:		0 m
	Max (8 m ³ e 200 m ³ / pior caso)		202/2402 m
Limiar de concentração na coluna d'água			20 ppb
Passos de tempo	Passo de tempo de cálculo		15 min
	Passo de tempo de saída		1 hora

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

Foram utilizados os menores espaçamentos de grade permitidos pelo OSCAR para essa modelagem considerando as dimensões do domínio de modelagem. Conforme exposto anteriormente, é importante destacar que plumas ou manchas de óleo com dimensões menores do que as dimensões das células da grade estão sujeitos a uma “diluição numérica” artificial. Desta forma os resultados de concentração e espessuras devem ser vistos como valores médios no volume definido pelas dimensões das células da grade.

IV.3.Resultados

A seguir serão apresentados os resultados das simulações de deriva do óleo para vazamentos de 8 m³, 200 m³ e pior caso (46.742 m³), nos modos probabilístico e determinístico, a partir do ponto de risco considerado no bloco FZA-M-59.

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 IV.3-1).

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

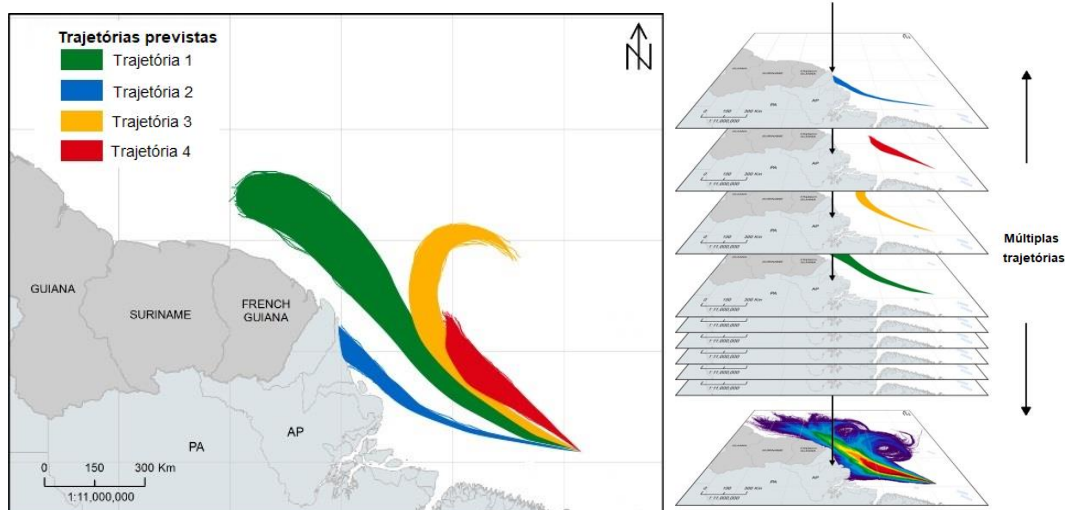


Figura IV.3-1 - Exemplos de quatro trajetórias de derramamentos individuais para um cenário de vazamento genérico (à esquerda). Centenas de trajetórias individuais são sobrepostas umas sobre as outras, como mostrado à direita para calcular os resultados estocásticos (probabilidade, tempos mínimos de chegada, massa máxima de óleo encalhado na costa, etc.).

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

- **Probabilidade de chegada de óleo** – Este mapa define os locais (superfície, costa, coluna d’água e/ou fundo marinho) e a probabilidade associada em que se espera que a massa de óleo exceda o limiar que define a presença de uma mancha de óleo.
- **Tempo mínimo de chegada de óleo** – Este mapa corresponde ao tempo mínimo de chegada de óleo ao mapa de probabilidade de presença de óleo. A ideia deste mapa é mostrar o menor tempo necessário para que o óleo exceda os limiares ambientais (espessura, concentração e/ou massa) definidos em cada ponto de grade se ocorrer um vazamento de óleo.
- **Massa ou concentração máxima de óleo** - Este mapa corresponde a massa ou concentração máxima ao mapa de probabilidade de presença de óleo. A ideia deste mapa é mostrar o máximo de massa ou concentração para os locais onde o óleo excede os limiares

ambientais (espessura, concentração e/ou massa) definidos em cada ponto de grade se ocorrer um vazamento de óleo.

- **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.
- **Balanço de massa do óleo** - Gráficos do tipo box-plot para o balanço de massa do óleo considerando todos os processos de intemperismo, onde é possível observar valores mínimo, máximo, mediana, primeiro e terceiro quartis.

No modo determinístico, os cenários críticos a serem simulados foram definidos através da análise dos resultados das simulações probabilísticas de pior caso, sendo avaliada a situação onde 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 (item III.4.2). 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.

IV.3.1. Modo probabilístico

A seguir serão apresentados os resultados do modo probabilístico para os vazamentos de óleo a partir do ponto de risco no bloco FZA-M-59, na Bacia da Foz do Amazonas, para:

- três volumes (8 m³, 200 m³ e pior caso – 46.742 m³);
- dois cenários sazonais definidos, Período 1 (dezembro a junho) e Período 2 (julho a novembro).

IV.3.1.1. Vazamento de 8 m³

Em ambos os períodos a deriva do óleo é preferencialmente para noroeste do ponto de vazamento, seguindo o fluxo da Corrente Norte do Brasil (CNB). Tanto no Período 1 quanto no Período 2 a deriva do óleo pode ser influenciada pela retroflexão da CNB, sendo mais evidente no Período 2. O óleo apresenta probabilidade de seguir para norte, nordeste e leste, seguindo o padrão da retroflexão.

Nesse volume de vazamento, não houve toque de óleo na costa e nas UC. A área de probabilidade de presença de o óleo se restringiu entre as longitudes de 54°W e 49°W no Período 1 e a maior extensão que o óleo pode alcançar é 523 km. A menor distância apresentada em relação à costa foi de 106 km da Guiana Francesa. No Período 2 a área de probabilidade de presença de o óleo se restringiu entre 55°W e 45°W, com distância máxima do ponto de vazamento de 843 km. A menor distância em relação à Guiana Francesa foi de 53 km.

Em até 1 dia após o início do vazamento, o óleo percorre uma extensão de até 142 km no Período 1 e 162 km no Período 2.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada do óleo da superfície ocorreu principalmente através da evaporação (com mediana entre 52% e 59%), seguida pelo óleo disperso na coluna d'água (mediana de 43% no no Período 1 e 13% no Período 2). Após 30 dias, o óleo remanescente em superfície apresenta mediana de 2% no Período 1 e 28% no Período 2.

A porcentagem de óleo observada no fundo marinho (máxima de 42%) ocorre devido à associação de regiões rasas e a presença de vento forte na região. Não

foi possível a apresentação do mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo devido à limitação do modelo matemático em calcular a interação de óleo com os sedimentos no modo probabilístico. A metodologia utilizada infere esses valores de forma indireta a partir dos valores de probabilidade na coluna d'água. Neste cenário, não foram observados valores de concentração acima do limiar monitorado nas camadas da coluna d'água que alcançam o fundo marinho.

IV.3.1.1.1. Período 1

Os mapas com os resultados probabilísticos para um vazamento de 8 m³ de óleo, no Período 1 (dezembro a junho), são apresentados a seguir.

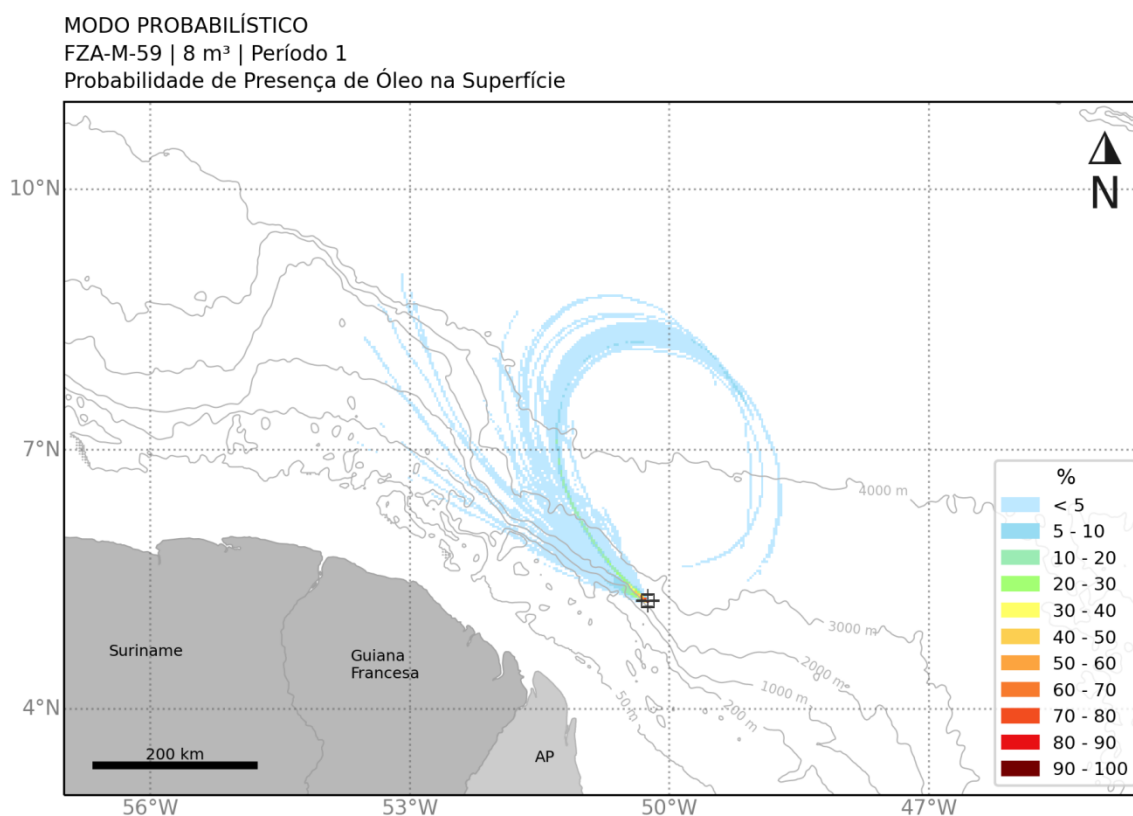


Figura IV.3.1.1.1-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 8 m³ | Período 1
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

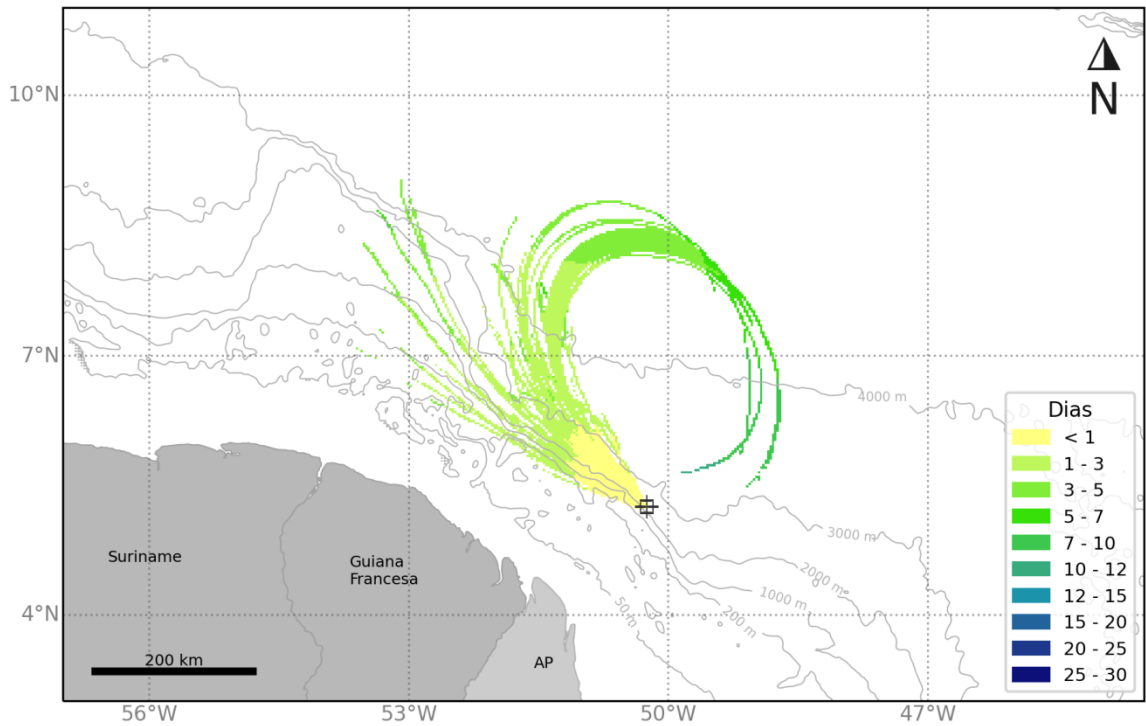


Figura IV.3.1.1.1-2 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para o vazamento de 8 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

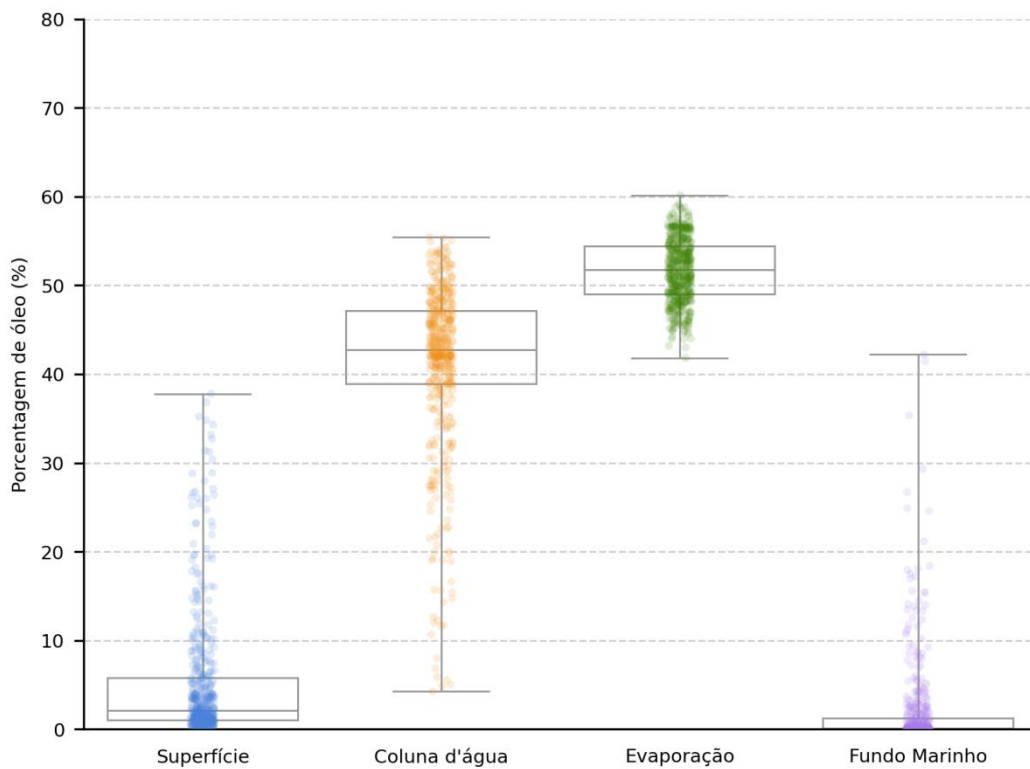


Figura IV.3.1.1.1-3 – Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela IV.3.1.1.1-4 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	< 0,05	4,3	41,8	-
Primeiro Quartil	1	38,9	49	< 0,05
Mediana	2,1	42,8	51,7	0,1
Terceiro Quartil	5,8	47,1	54,4	1,2
Máximo	37,8	55,5	60,1	42,2

IV.3.1.1.2.Período 2

Os mapas com os resultados probabilísticos para um vazamento de 8 m³ de óleo, no Período 2 (julho a novembro), são apresentados a seguir.

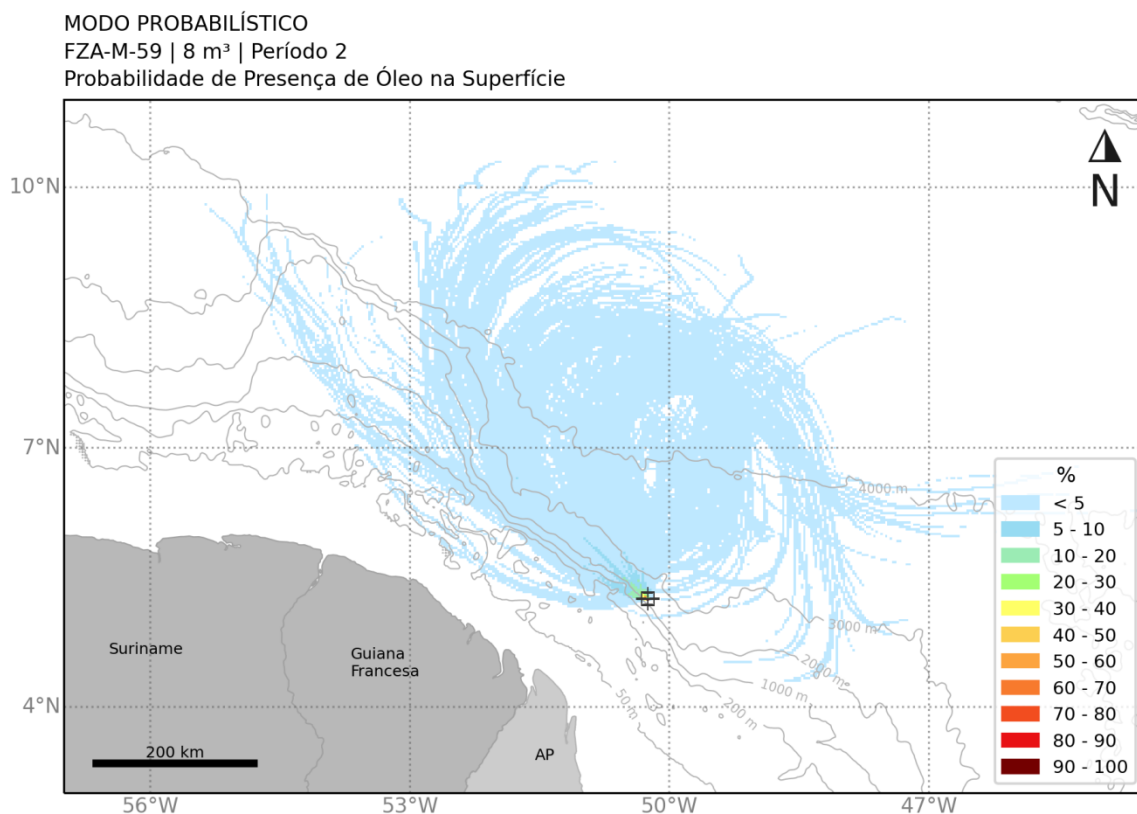


Figura IV.3.1.1.2-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 8 m³ | Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

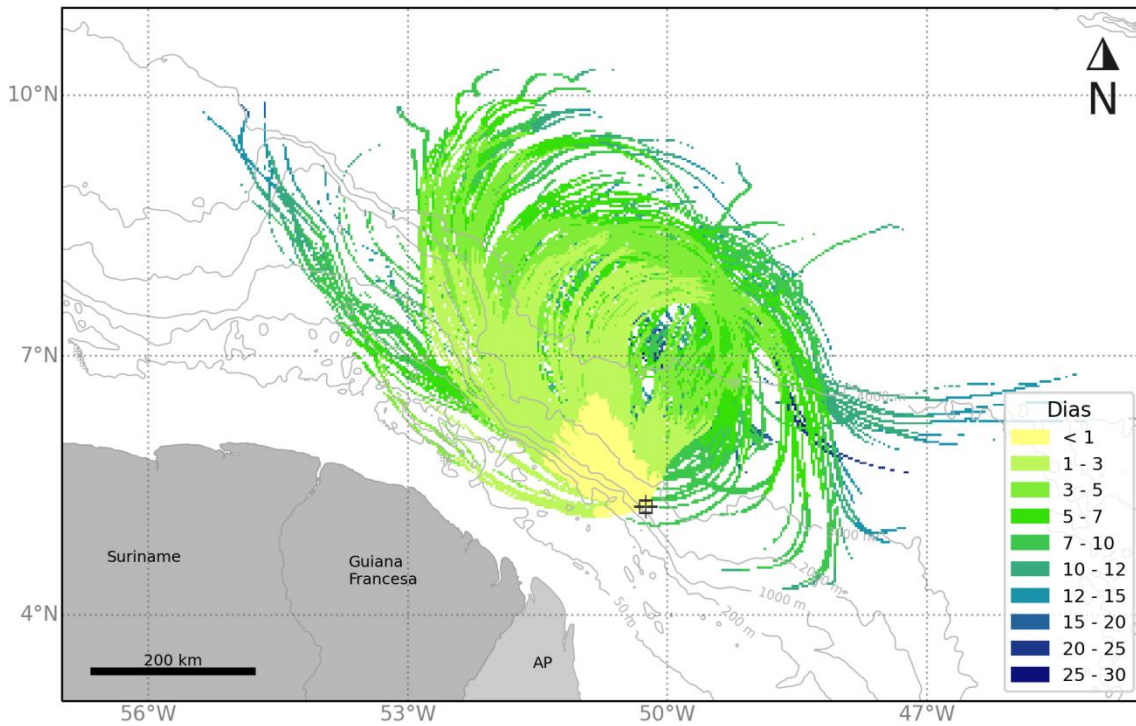


Figura IV.3.1.1.2-2 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para vazamento de 8 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

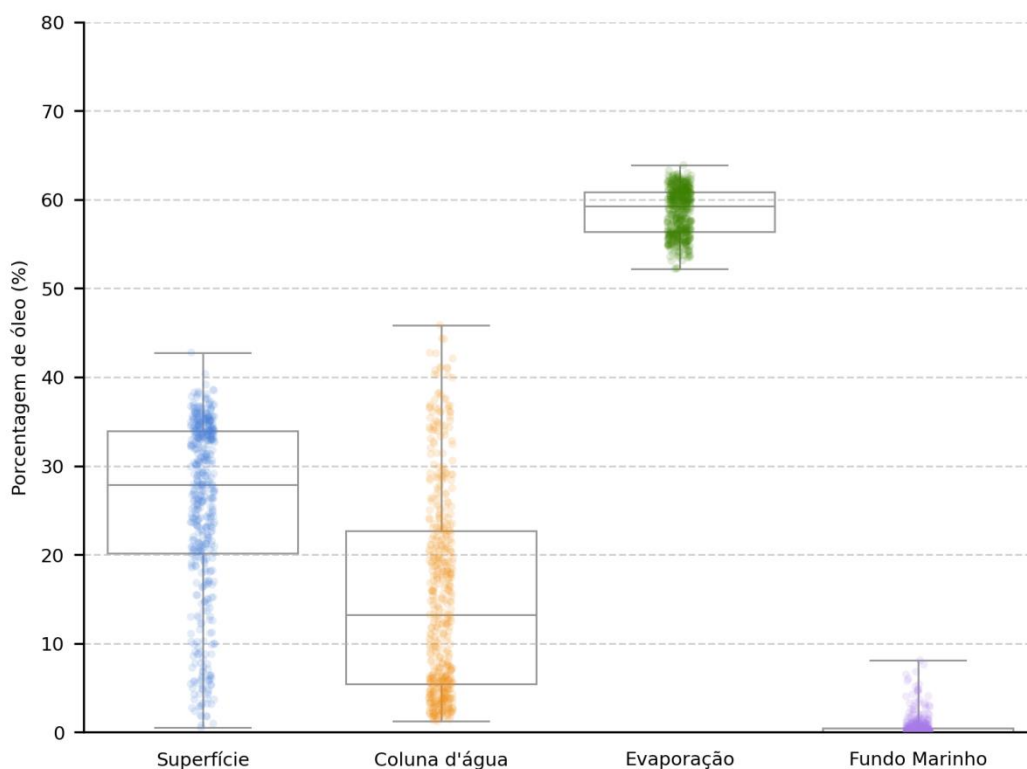


Figura IV.3.1.1.2-3 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela IV.3.1.1.2-4 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 8 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,5	1,2	52,2	-
Primeiro Quartil	20,2	5,4	56,4	< 0,05
Mediana	27,9	13,2	59,2	0,1
Terceiro Quartil	33,9	22,7	60,9	0,4
Máximo	42,8	45,9	63,9	8,1

IV.3.1.1.3.Integração

Os mapas com os resultados probabilísticos integrados (Período 1 e Período 2) para um vazamento de 8 m³ de óleo são apresentados a seguir.

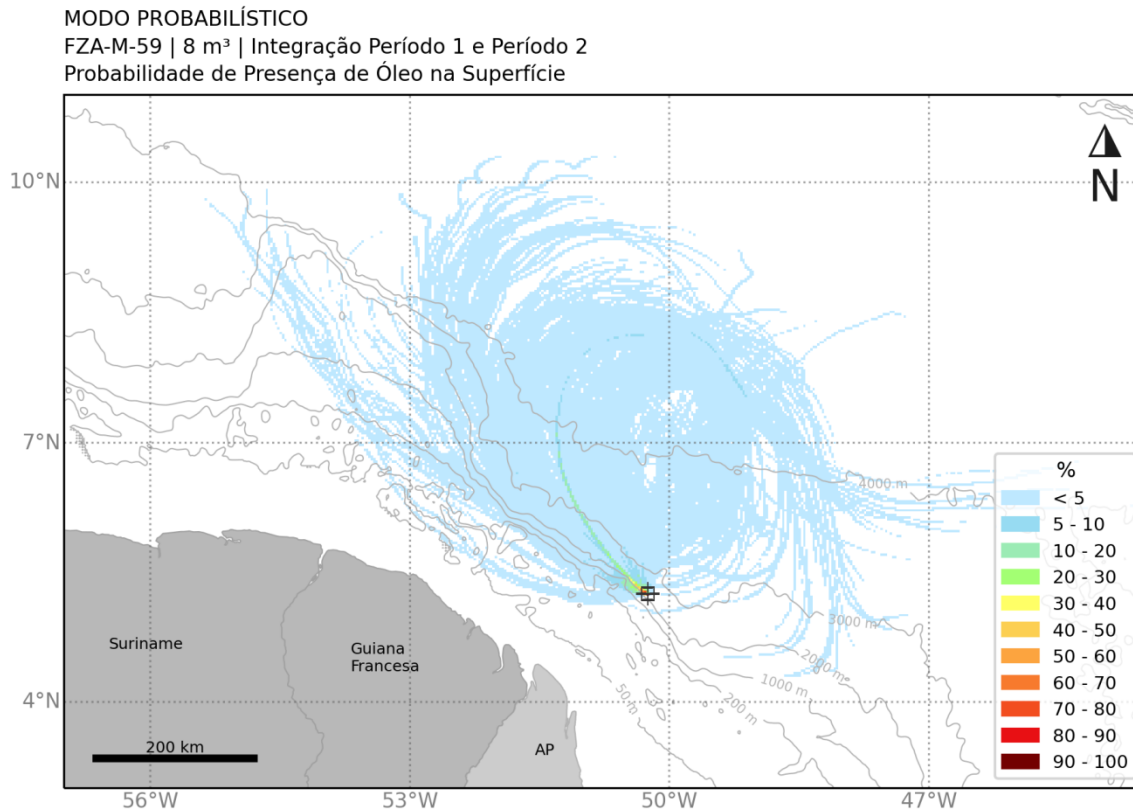


Figura IV.3.1.1.3-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 8 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

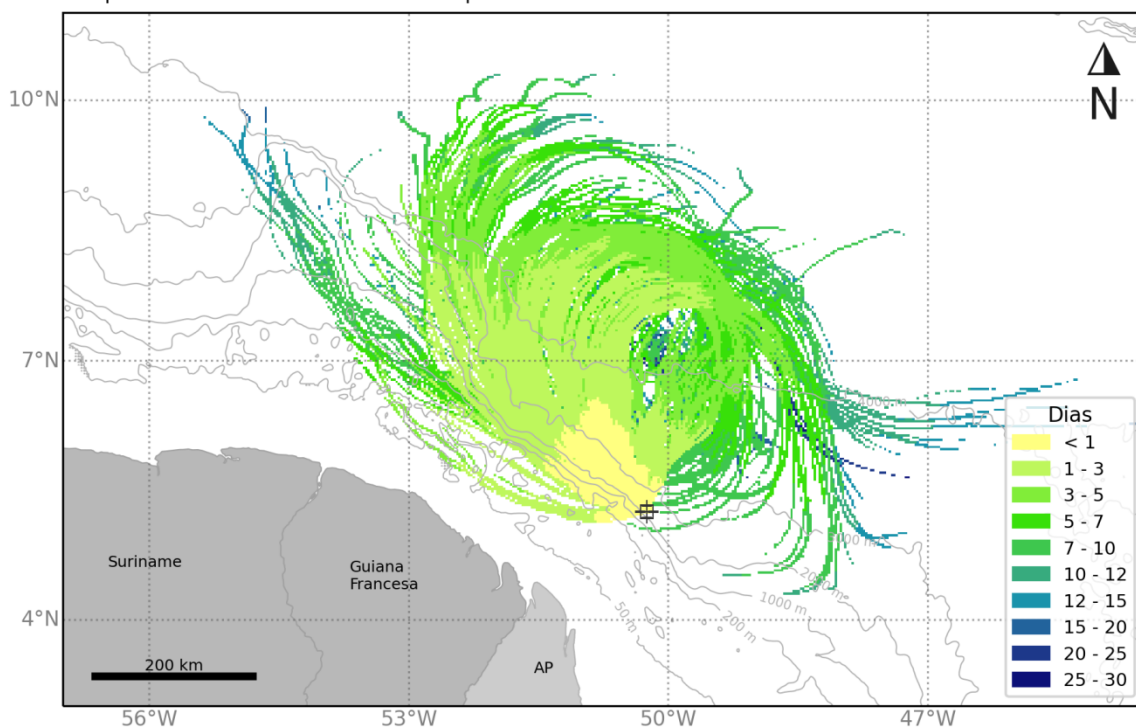


Figura IV.3.1.1.3-2 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para vazamento de 8 m³. Integração do Período 1 e Período 2.. Simulação de 720 horas (30 dias).

IV.3.1.2. Vazamento de 200 m³

Nos cenários de vazamento de 200 m³, o padrão segue similar ao de 8 m³, onde a maior parte da área de probabilidade de presença de óleo tem uma tendência de deriva na direção noroeste, fluxo principal da CNB. Contudo, a deriva do óleo pode ser influenciada por meandros e pela retroflexão da CNB, sendo esta influência mais evidente no Período 2. O óleo pode girar e, com isso, parte pode inclusive retornar para região de vazamento e outra seguir a Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE), se dirigindo para leste.

Em superfície, com a retroflexão o óleo no Período 2 pode alcançar longitudes a leste de 38°W, alcançando distâncias do ponto de vazamento de até 1.430 km. No Período 1 a área de probabilidade se estende até 940 km a noroeste em relação ao ponto de início do vazamento. Probabilidades maiores que 30% podem ser observadas até 60 km a noroeste do ponto de risco no

Período 1 e até 17 km no Período 2. Nos primeiros 3 dias após o vazamento é possível observar óleo a uma distância de até aproximadamente 430 km nos dois períodos.

Na coluna d'água, a área de probabilidade se estende até 290 km de distância no Período 1 e 1.270 km no Período 2, com probabilidades predominantes de até 5%, em regiões dispersas.

No fundo marinho uma região pontual apresentou probabilidade de chegada de óleo nos dois períodos com valor associado menor que 5%.

No Período 1 houve probabilidade de chegada de óleo na costa da Guiana, de 0,2%. Apesar das áreas de probabilidade em superfície e na coluna d'água estarem afastadas da costa, o óleo, em 1 única simulação no universo de 500, seguiu nesta direção com valores inferiores aos monitorados nestes compartimentos, e se acumulou na costa ao longo do período de simulação, alcançando o valores acima do limiar.

No Período 2 não há probabilidade do óleo chegar na costa e a maior proximidade desta é de 50 km em relação à Guiana Francesa.

Assim como no cenário de 8 m³ não há probabilidade de chegada de óleo em nenhuma unidade de conservação nestes cenários.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 30 dias de simulação, observa-se que a retirada do óleo da superfície ocorreu principalmente através da evaporação (com mediana entre 53% e 60%), seguida pelo óleo disperso na coluna d'água (mediana de 40% no no Período 1 e 1,2% no Período 2). Após 30 dias, o óleo remanescente em superfície apresenta mediana de 3% no Período 1 e 38% no Período 2. Na costa a porcentagem máxima de óleo aderido foi de 12% no Período 1. No fundo marinho a mediana neste cenários foi inferior a 0,1%.

A porcentagem de óleo observada no fundo marinho (máxima de 43%) ocorre devido à associação de regiões rasas e a presença de vento forte na região. Existe uma limitação do modelo matemático em calcular a interação de óleo com os sedimentos no modo probabilístico e portanto a metodologia utilizada infere esses valores de forma indireta a partir dos valores de probabilidade na coluna d'água. A partir dessa metodologia nestes cenários foi observada apenas uma

região pontual com probabilidade de chegada de óleo com valores acima do limiar monitorado nas camadas da coluna d'água que alcançam o fundo marinho.

IV.3.1.2.1. Período 1

Os mapas com os resultados probabilísticos para um vazamento de 200 m³ de óleo, no Período 1 (dezembro a junho), são apresentados a seguir.

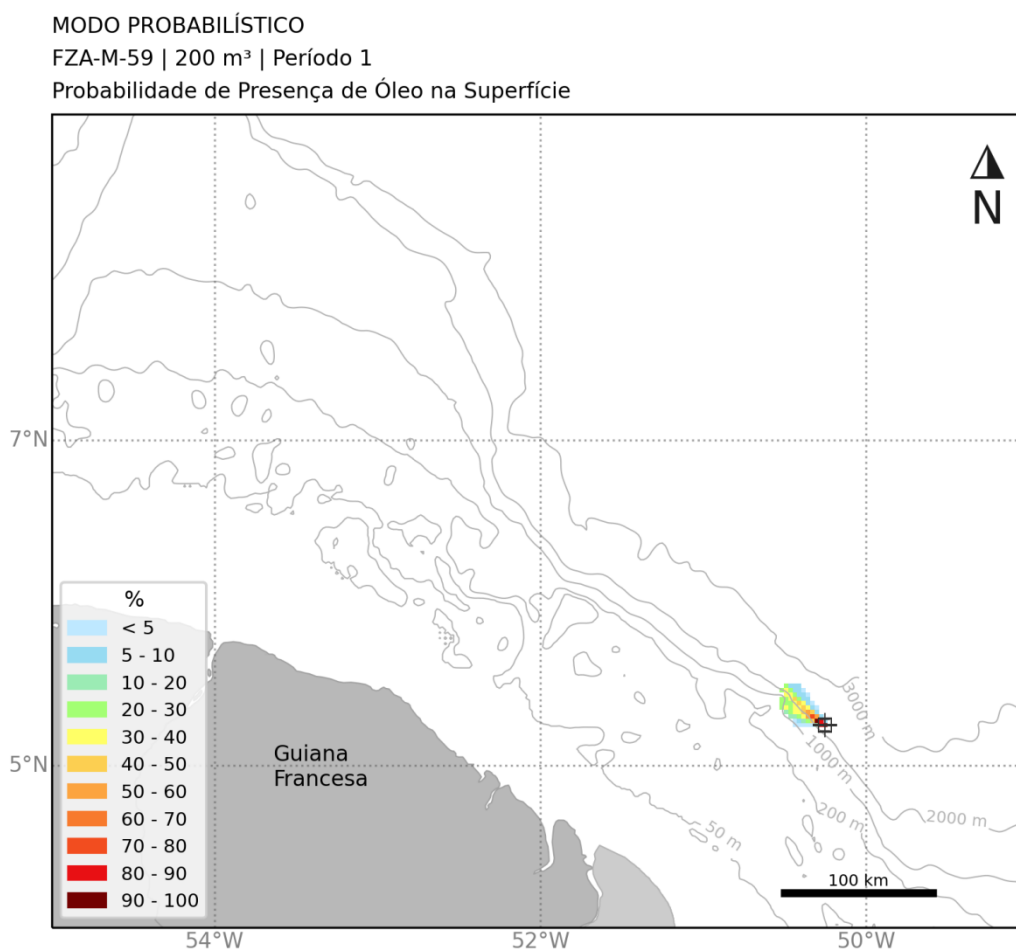


Figura IV.3.1.2.1-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 6 horas.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

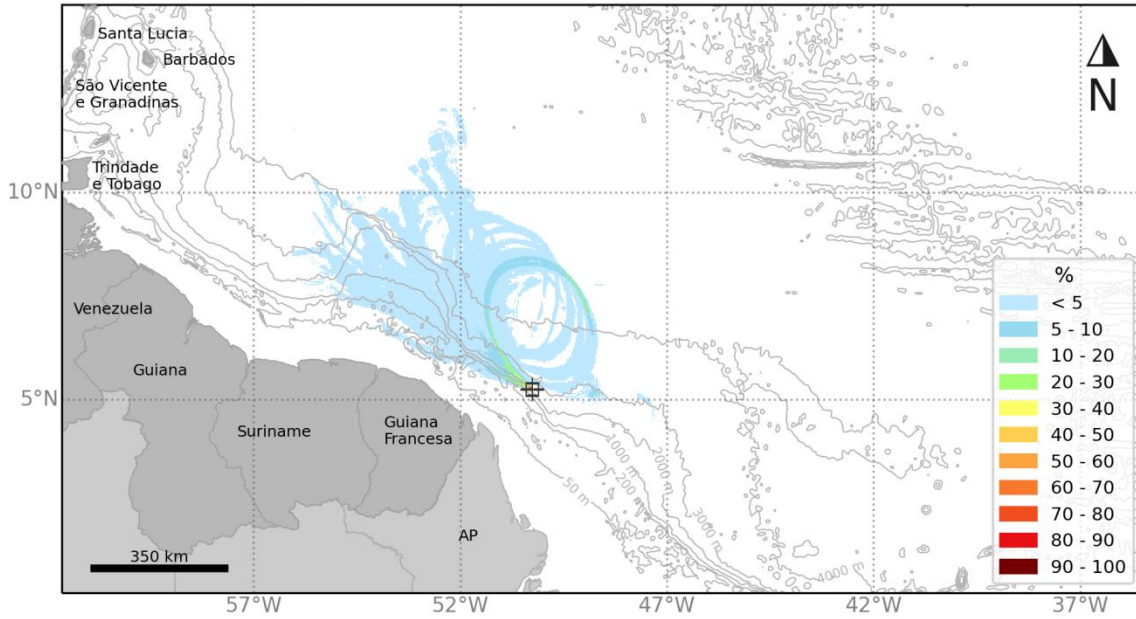


Figura IV.3.1.2.1-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 200 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

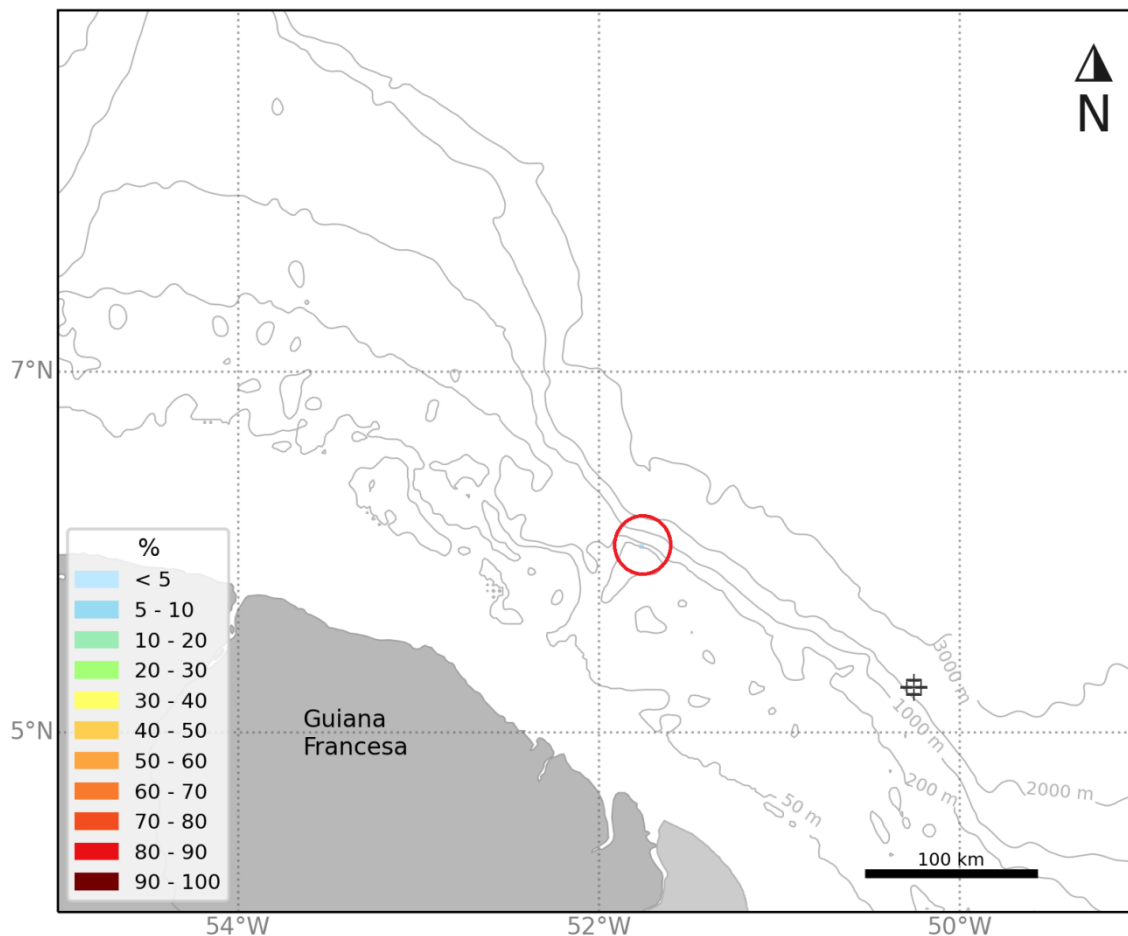


Figura IV.3.1.2.1-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 200 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

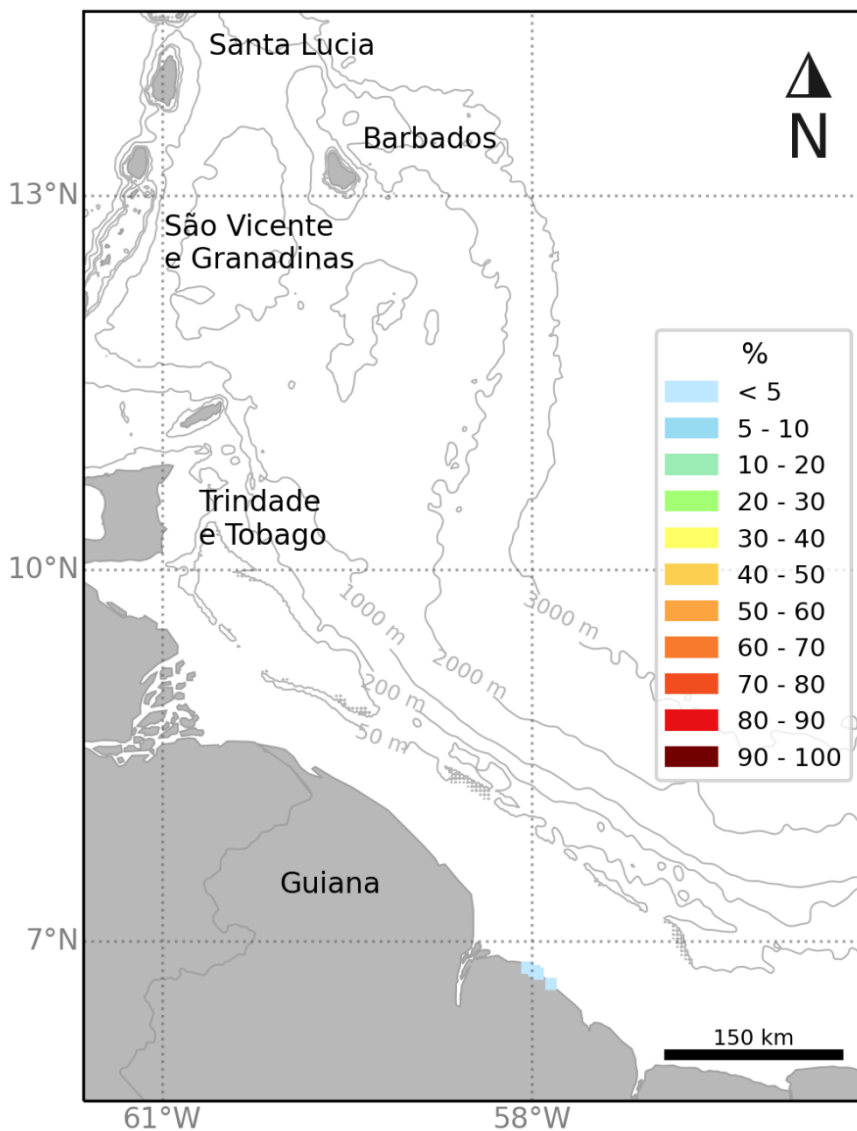


Figura IV.3.1.2.1-5 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Período 1
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

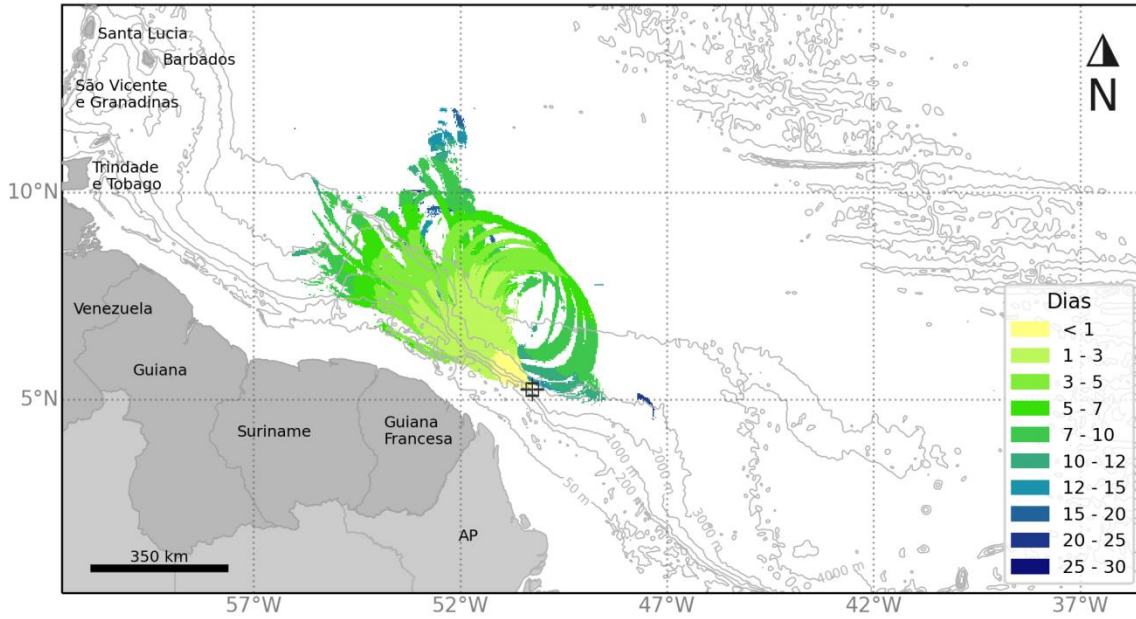


Figura IV.3.1.2.1-6 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 200 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

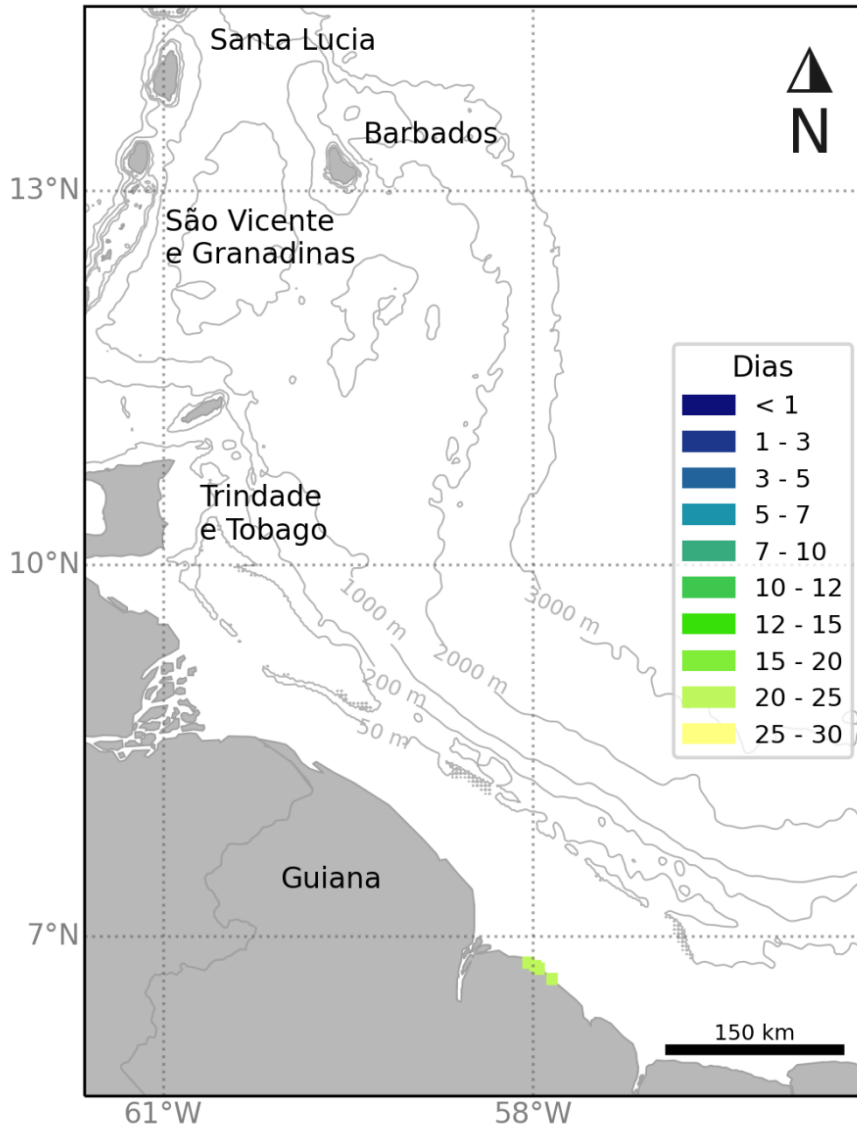


Figura IV.3.1.2.1-7 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Período 1
Massa Máxima de Óleo na Costa

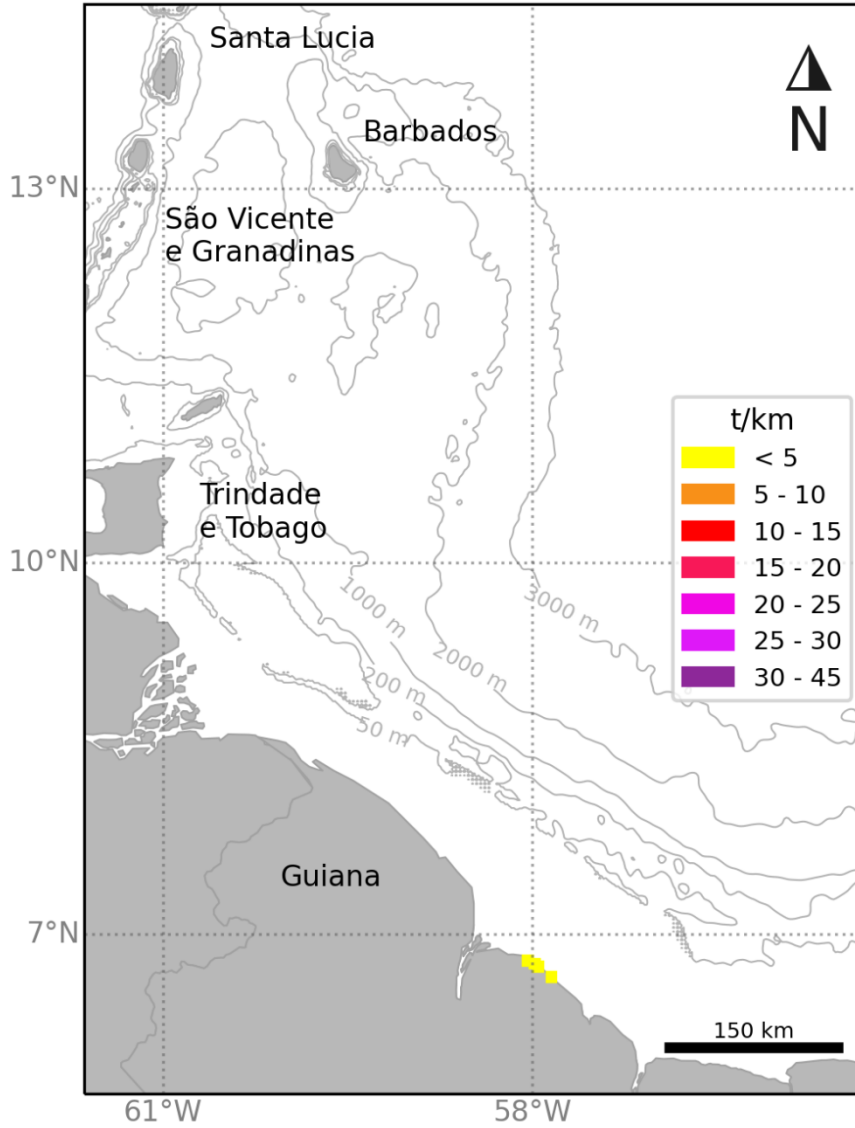


Figura IV.3.1.2.1-8 - Mapa de massa máxima de óleo na costa para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

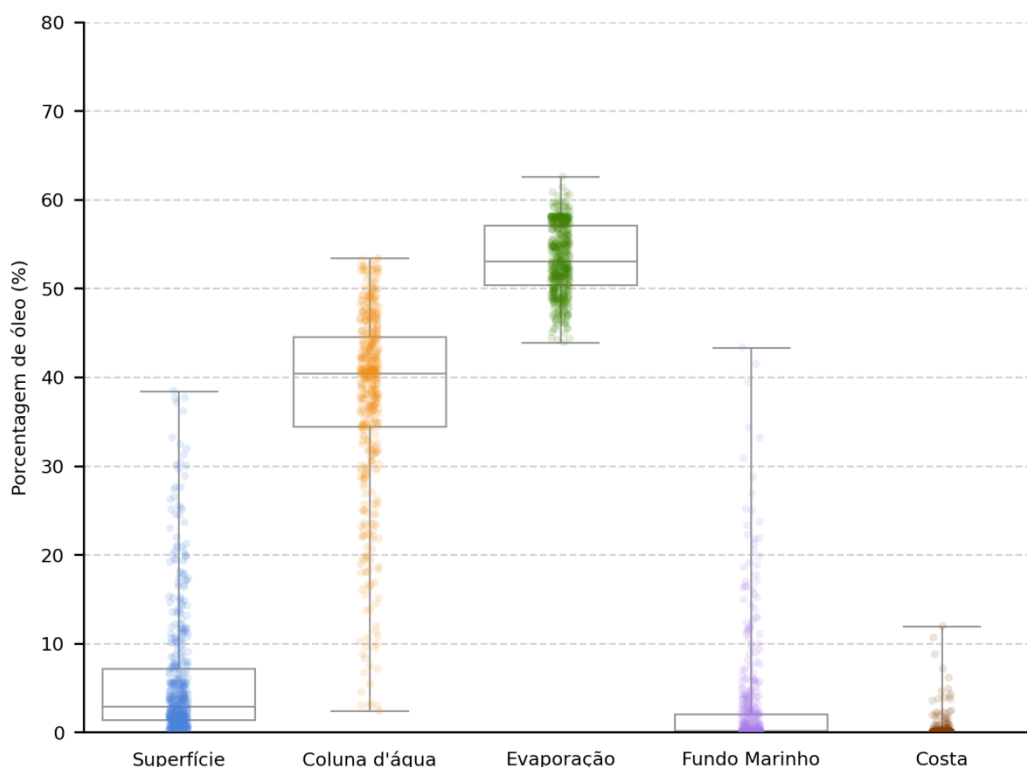


Figura IV.3.1.2.1-9 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para o vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela IV.3.1.2.1-10 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho	Costa
Mínimo	< 0,05	2,4	43,9	-	-
Primeiro Quartil	1,4	34,5	50,4	< 0,05	-
Mediana	2,9	40,4	53	0,1	-
Terceiro Quartil	7,2	44,6	57,1	2	< 0,05
Máximo	38,4	53,4	62,6	43,3	12

IV.3.1.2.2.Período 2

Os mapas com os resultados probabilísticos para um vazamento de 200 m³ de óleo, no Período 2 (julho a novembro), são apresentados a seguir.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 200 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

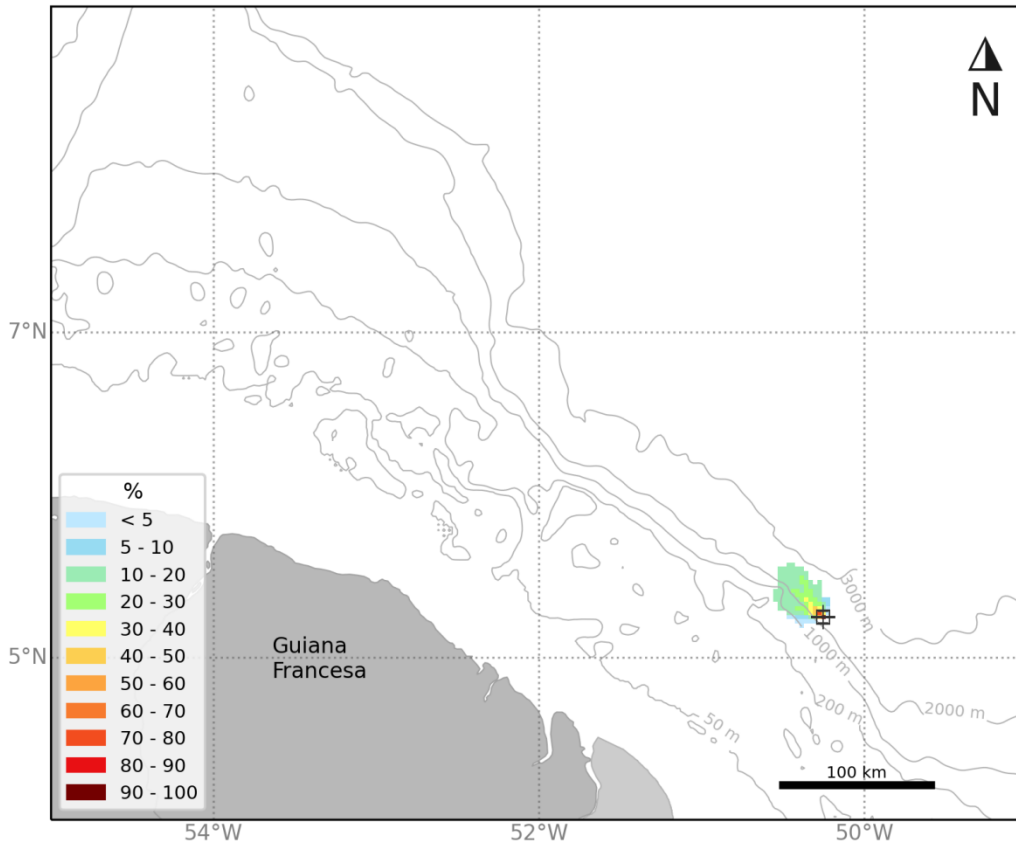


Figura IV.3.1.2.2-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 6 horas.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

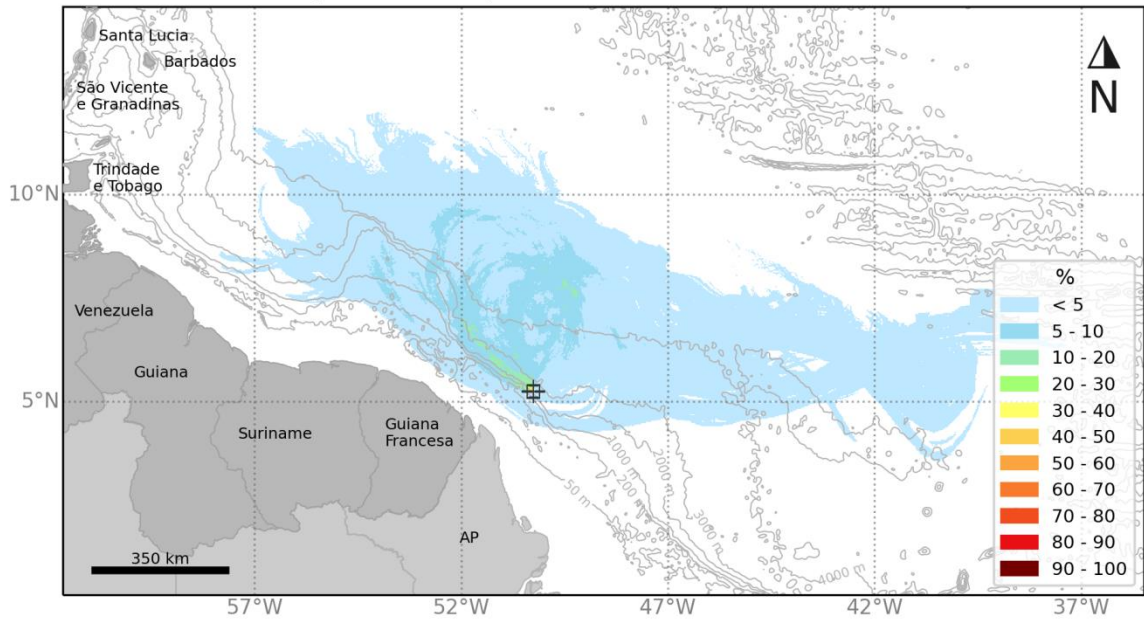


Figura IV.3.1.2.2-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

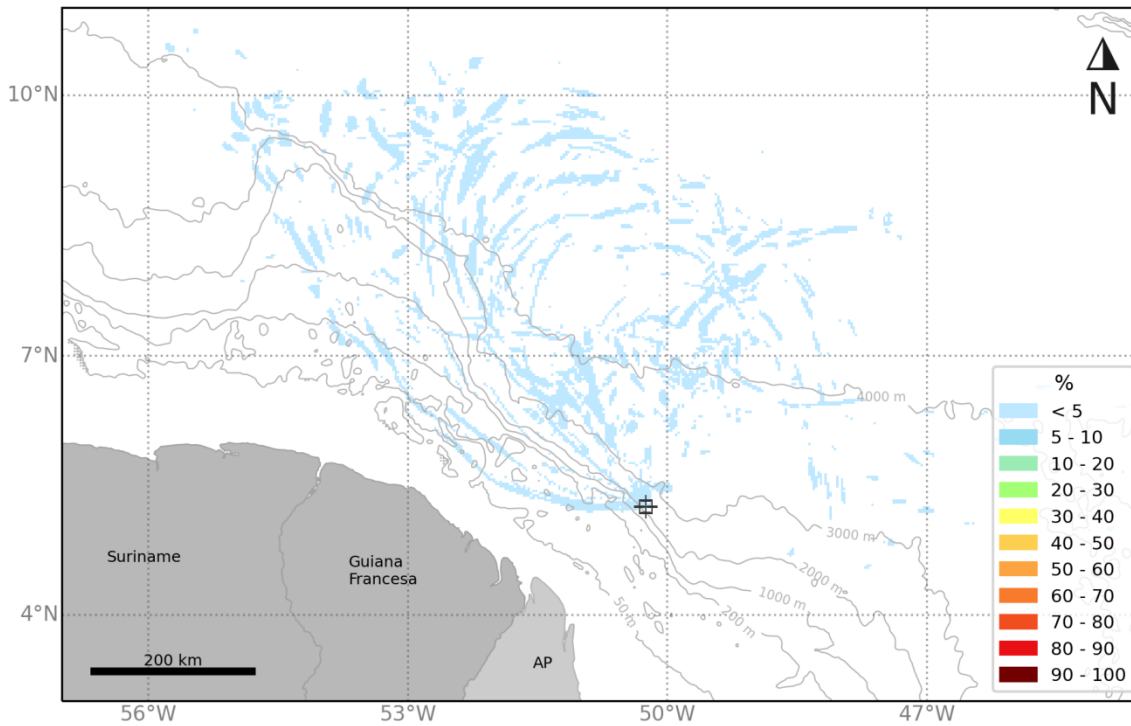


Figura IV.3.1.2.2-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, para vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 200 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

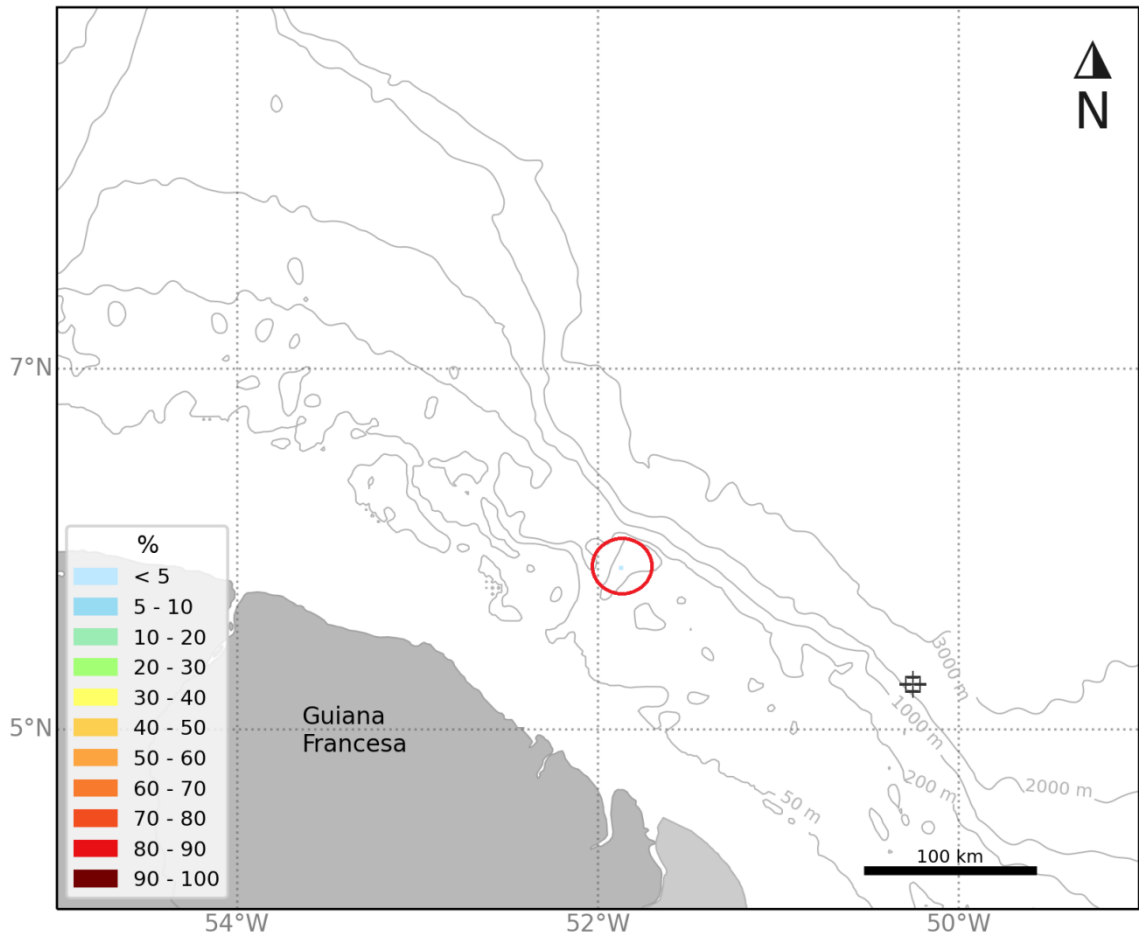


Figura IV.3.1.2.2-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho, para vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

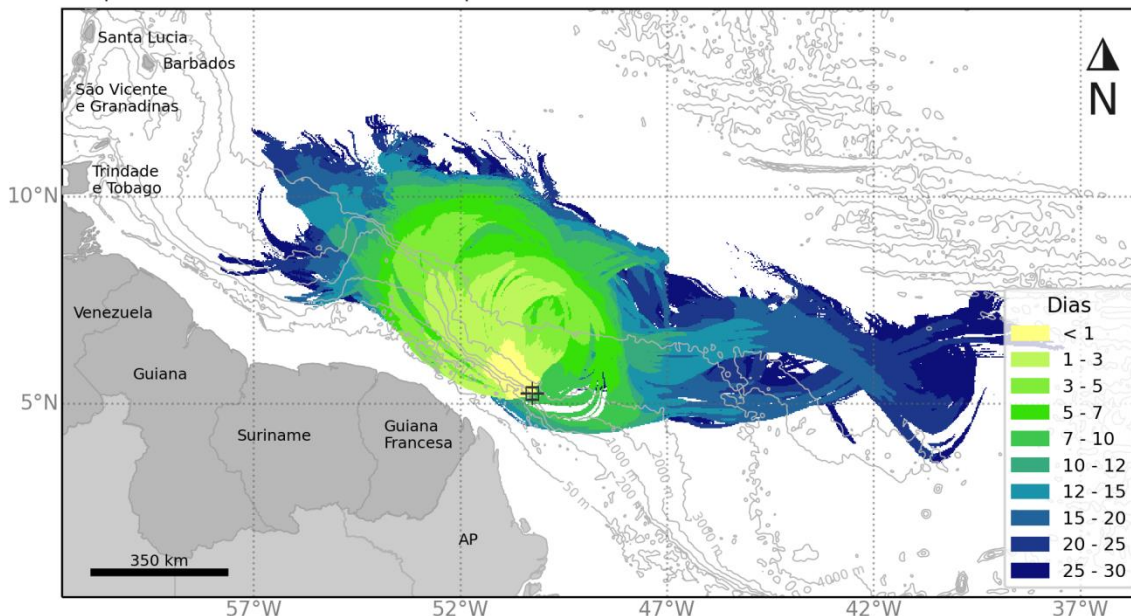


Figura IV.3.1.2.2-5 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

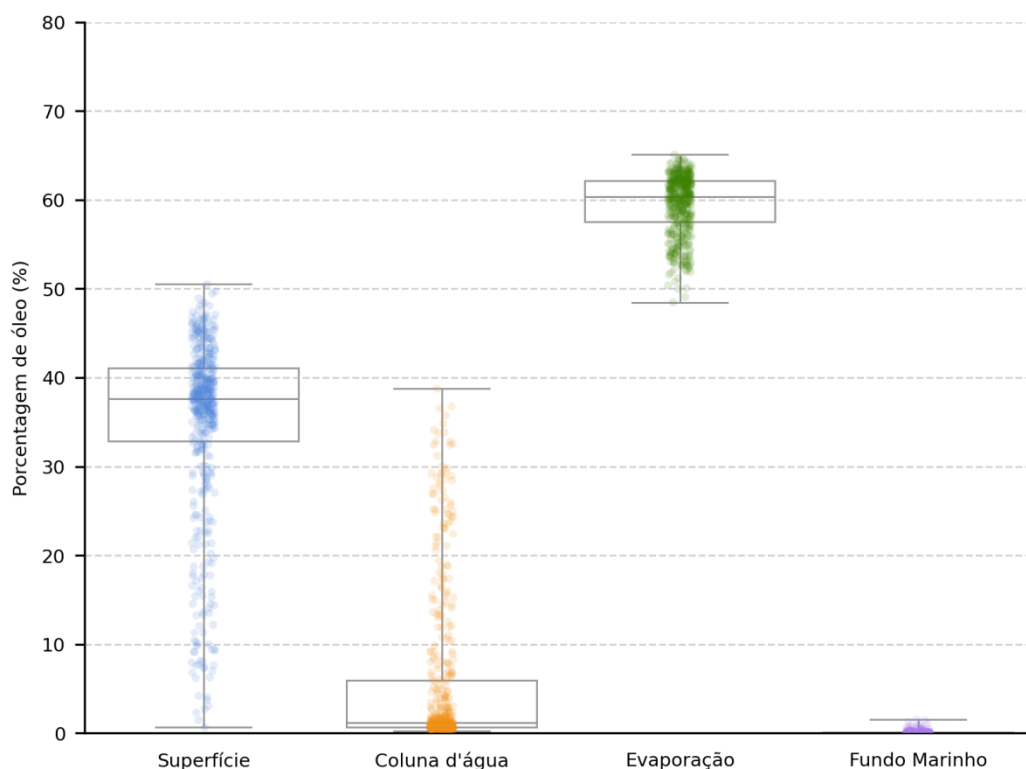


Figura IV.3.1.2.2-6 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³, no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela IV.3.1.2.2-7 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho
Mínimo	0,6	0,3	48,5	-
Primeiro Quartil	32,9	0,7	57,6	-
Mediana	37,6	1,2	60,4	< 0,05
Terceiro Quartil	41	5,9	62,1	0,1
Máximo	50,5	38,7	65,1	1,5

IV.3.1.2.3. Integração

Os mapas com os resultados probabilísticos probabilísticos integrados (Período 1 e Período 2) para um vazamento de 200 m³ são apresentados a seguir.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

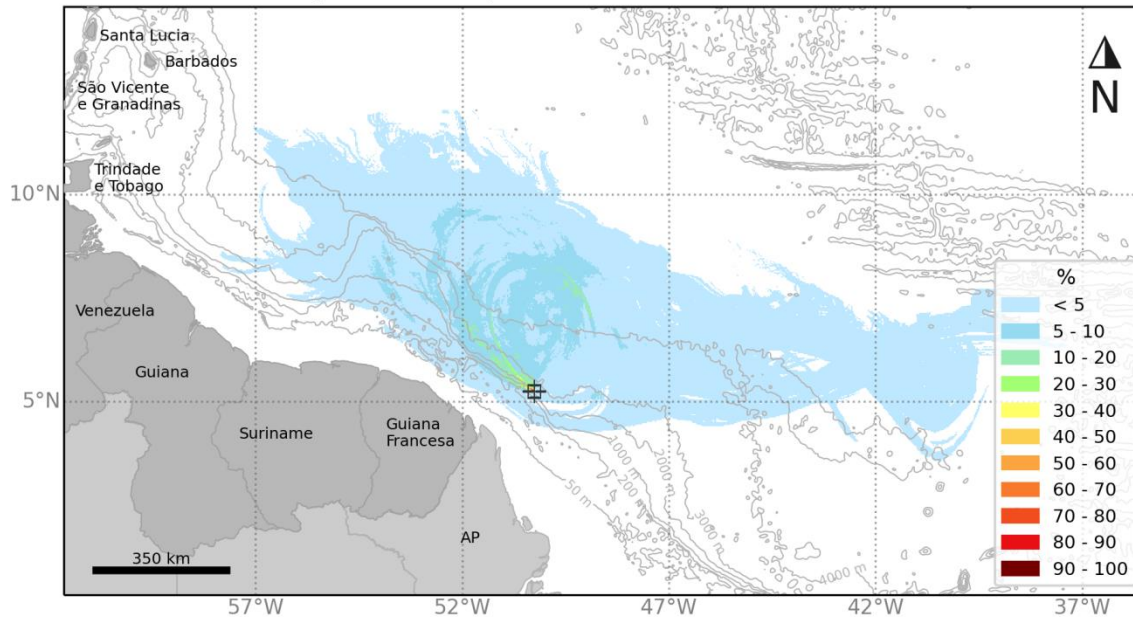


Figura IV.3.1.2.3-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

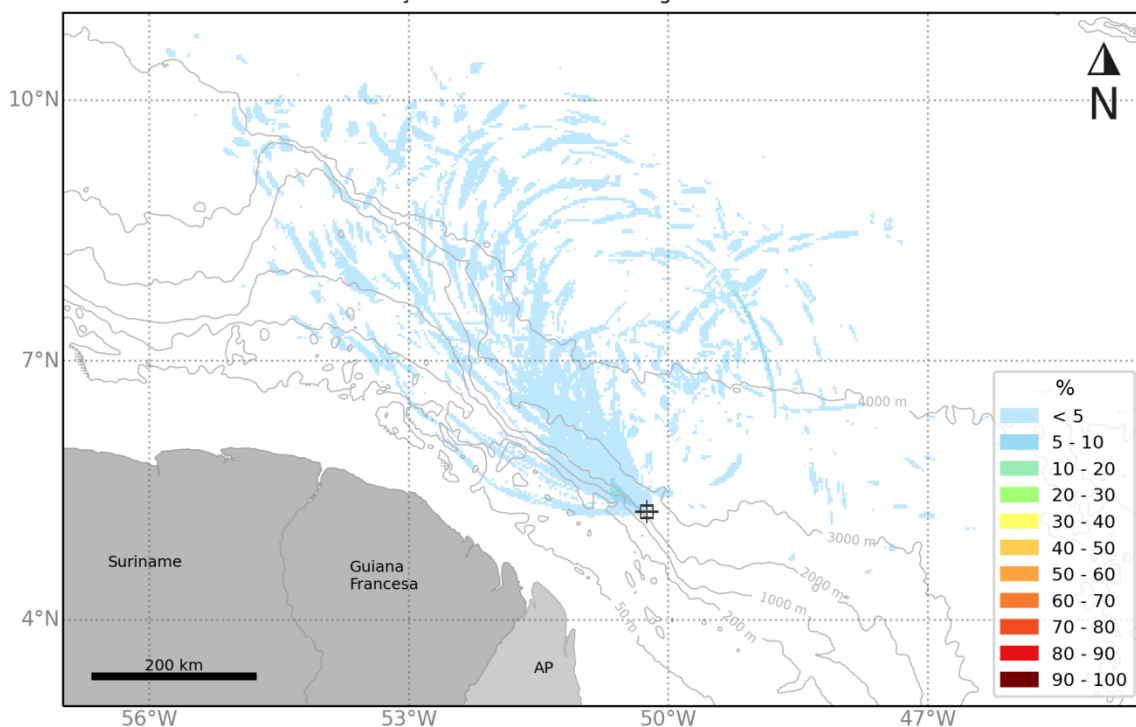


Figura IV.3.1.2.3-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, para vazamento de 200 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 200 m³ | Integração Período 1 e Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

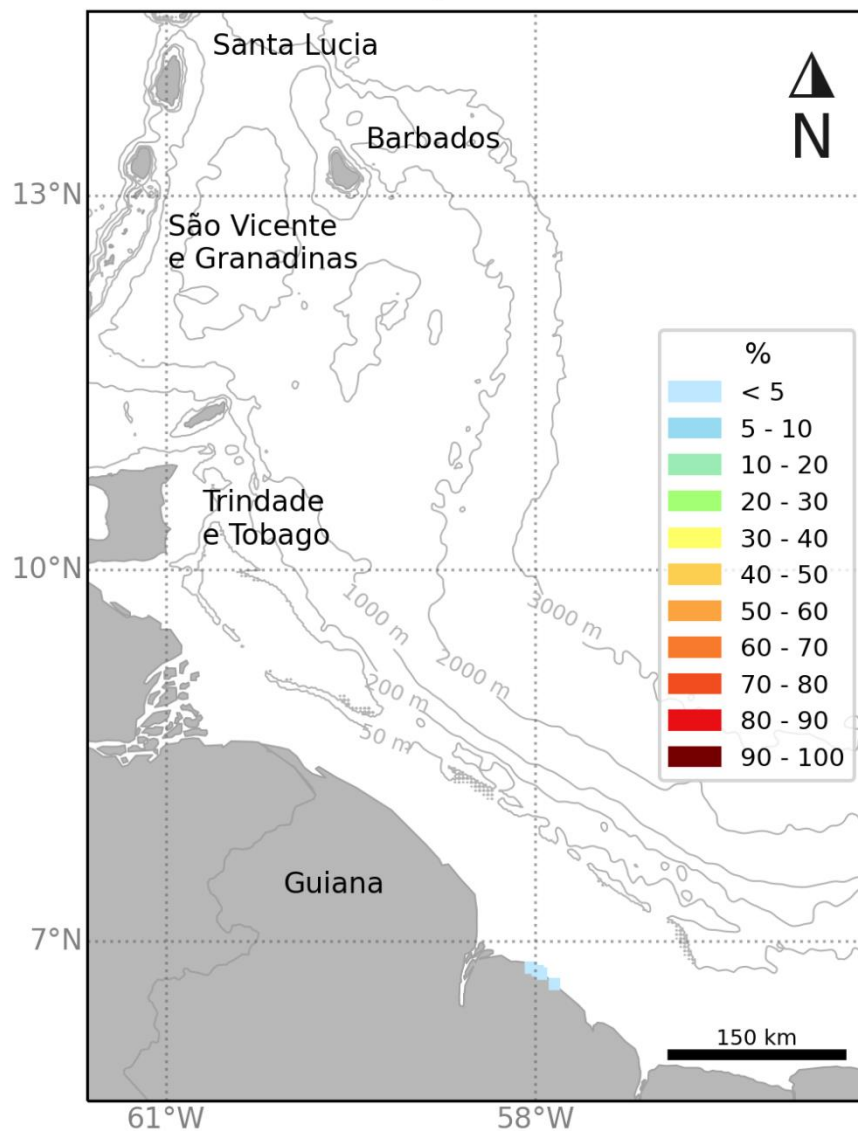


Figura IV.3.1.2.3-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para o vazamento de 200 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 200 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

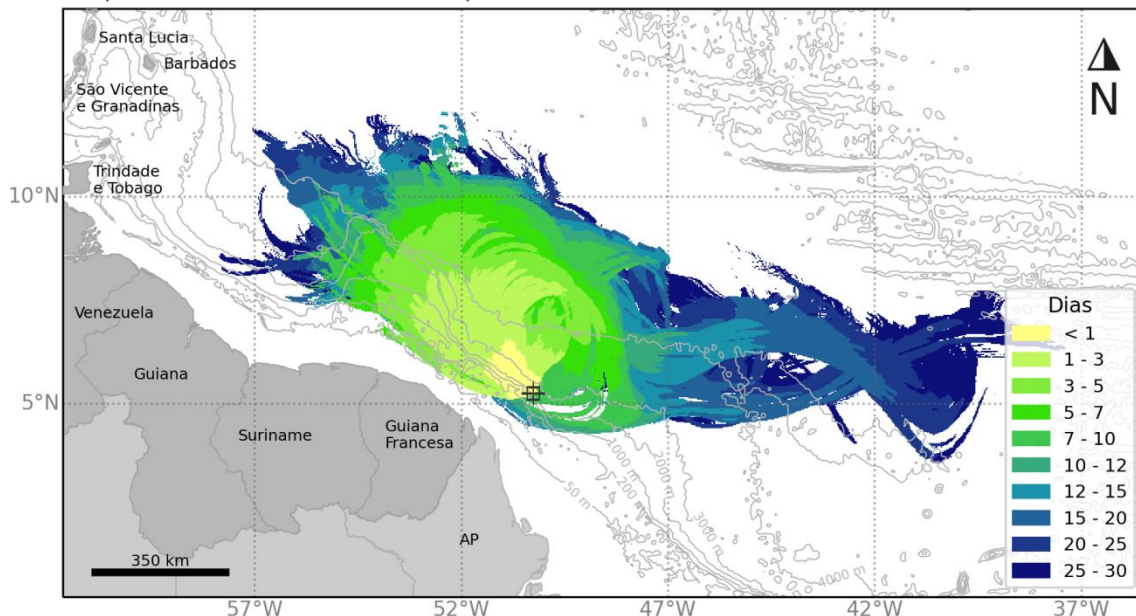


Figura IV.3.1.2.3-4 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície, para o vazamento de 200 m³. Integração do Período 1 e Período 2.. Simulação de 720 horas (30 dias).

IV.3.1.2.4. Tabelas Comparativas

A seguir são apresentados os resultados de óleo nas localidades com probabilidade de chegada (Tabela IV.3.1.2.4-1) para o vazamento de 200 m³ em ambos os cenários (Período 1 e Período 2).

Tabela IV.3.1.2.4-1 – Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada, massa máxima de óleo e extensão na costa para para as localidades que podem ser atingidos em um evento de 200 m³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.

Localidade	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
Guiana	0,2	-	20,6	-	0,9	-	17	-

IV.3.1.3. Vazamento de Pior Caso

Para os vazamentos de pior caso, de 46.742 m³, similar ao observado nos resultados de menor volume, a direção preferencial de deriva do óleo foi para noroeste do ponto de vazamento no Período 1, influenciado pela CNB, que flui nessa direção. No Período 2 a retroflexão e os meandros da CNB se mostraram muito importantes na advecção do óleo. A área de probabilidade de presença de óleo em superfície estendeu-se para noroeste seguindo o fluxo da CNB. Entretanto, há alta probabilidade do óleo girar junto a retroflexão, passando novamente pelo ponto de vazamento, como também se dirigir para leste, seguindo a CCNE.

Por se tratar de um maior volume e um vazamento contínuo, em ambos os períodos há uma porcentagem do óleo que sai da grade do modelo.

Em superfície probabilidades maiores que 30% podem ser observadas até 1.330 km a noroeste do ponto de risco no Período 1 e até 1.200 km no Período 2. Nos primeiros 3 dias após o vazamento é possível observar óleo a uma distância de até 370 km no Período 1 e 400 km no Período 2.

Na coluna d'água, as áreas de probabilidade são menores que às observadas em superfície. No Período 1 fica mais evidente a influência da retroflexão em subsuperfície, e em ambos os períodos observa-se probabilidades altas para sudeste do ponto de vazamento em camadas profundas. Probabilidade acima de 30% são possíveis de serem observadas a uma distância máxima de 490 km e 985 km do ponto de vazamento nos Período 1 e 2 respectivamente, e verticalmente ao longo de toda coluna d'água por se tratar de um vazamento de fundo. O espalhamento horizontal ocorre principalmente nas camadas mais superficiais e entre 2.000 e 2.400 metros de profundidade. Nas demais profundidades a ascensão do óleo ocorre como um coluna vertical, mais restrita às coordenadas do ponto de vazamento. Concentrações acima de 200 ppb são observadas principalmente em profundidade entre 2.000 e 2.400 m e próximo ao ponto de vazamento nas camadas mais superficiais.

No fundo marinho a área de probabilidade de chegada de óleo com os maiores valores associados (maiores que 50%) se concentra próximo ao ponto de

vazamento e a sudeste deste, em profundidades principalmente acima de 2.000 metros.

Para os cenários de pior caso há probabilidade de chegada de óleo na costa em 9 localidades. No Período 1 a maior probabilidade foi em Matinica (14,2%), equanto no Período 2 foi em Barbados (14,4%). O menor tempo de chegada, de 12,6 dias é observado no Suriname no Período 1 e no Período 2 foi de 35,6 dias em Barbados. A maior massa de óleo acumulada foi observada na Venezuela nos dois períodos: 4 t/km no Período 1 e 42,9 t/km no Período 2.

Assim como nos cenários de menor volume, neste também não foi observado chegada de óleo nas Unidades de Conservação.

Em relação aos processos intempéricos atuantes ao longo dos 60 dias de simulação, observa-se que a dispersão do óleo na coluna d'água foi o mais importante do longo das simulações (mediana de 68% no Período 1 e 52% no Período 2), seguida pela evaporação (mediana de 27% no Período 1 e 33% no Período 2). Na costa um máximo de 0,8% de óleo ficou aderido no Período 1 e 1,4% no Período 2. No fundo marinho ou fora do domínio da grade as porcentagens foram maiores no Período 2, máximo de 23%. Já o remanescente na superfície após 60 dias de simulação foi de no máximo 2,2% no Período 1 e 15% no Período 2.

IV.3.1.3.1. Período 1

Os mapas com os resultados probabilísticos para um evento de pior caso, no Período 1 (dezembro a junho), são apresentados a seguir.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

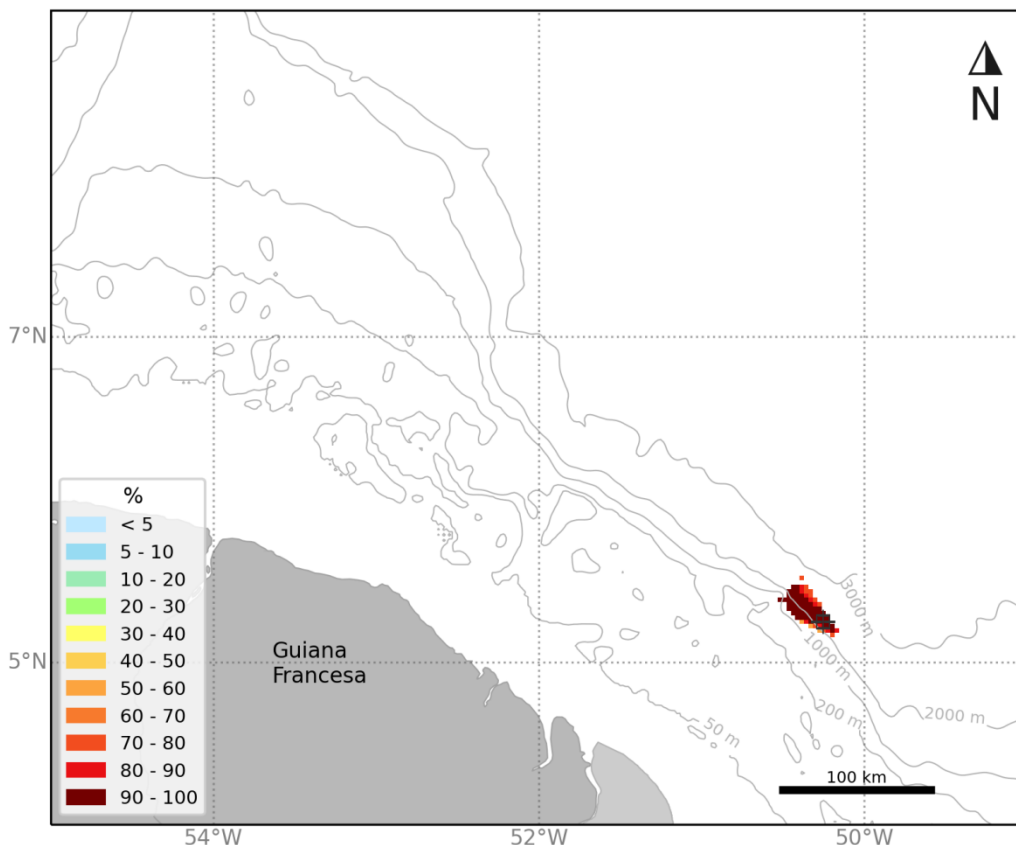


Figura IV.3.1.3.1-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 12 horas no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

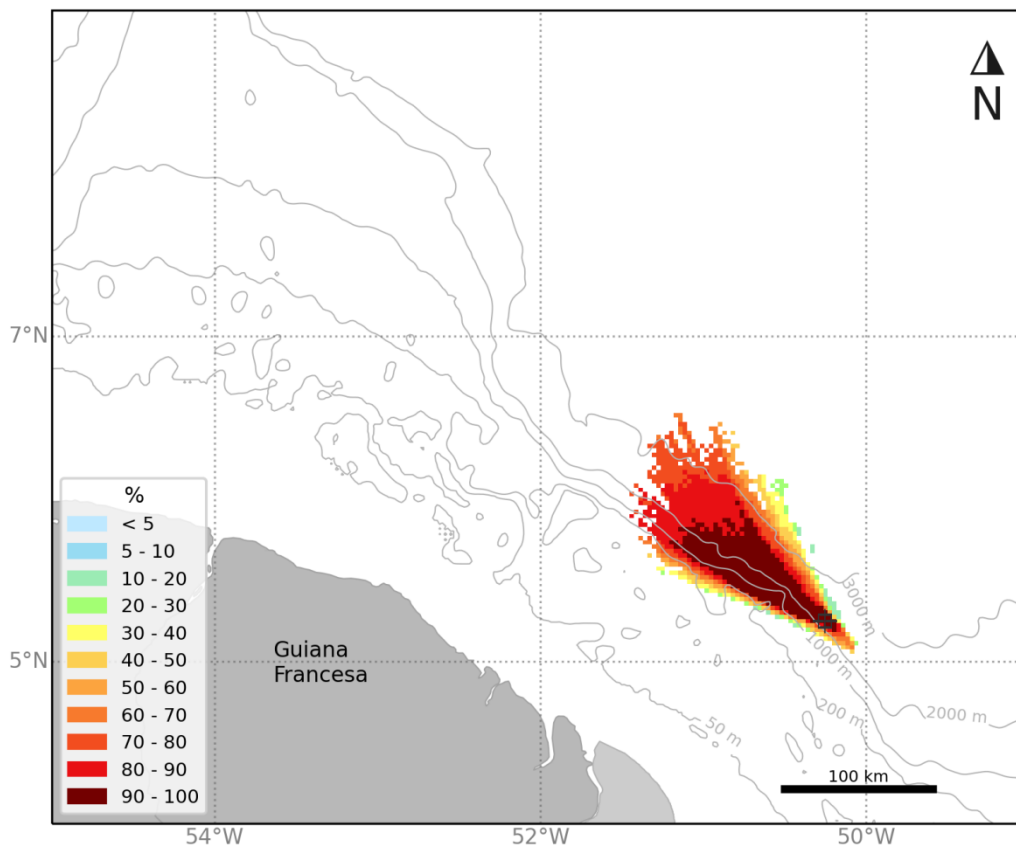


Figura IV.3.1.3.1-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 36 horas no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

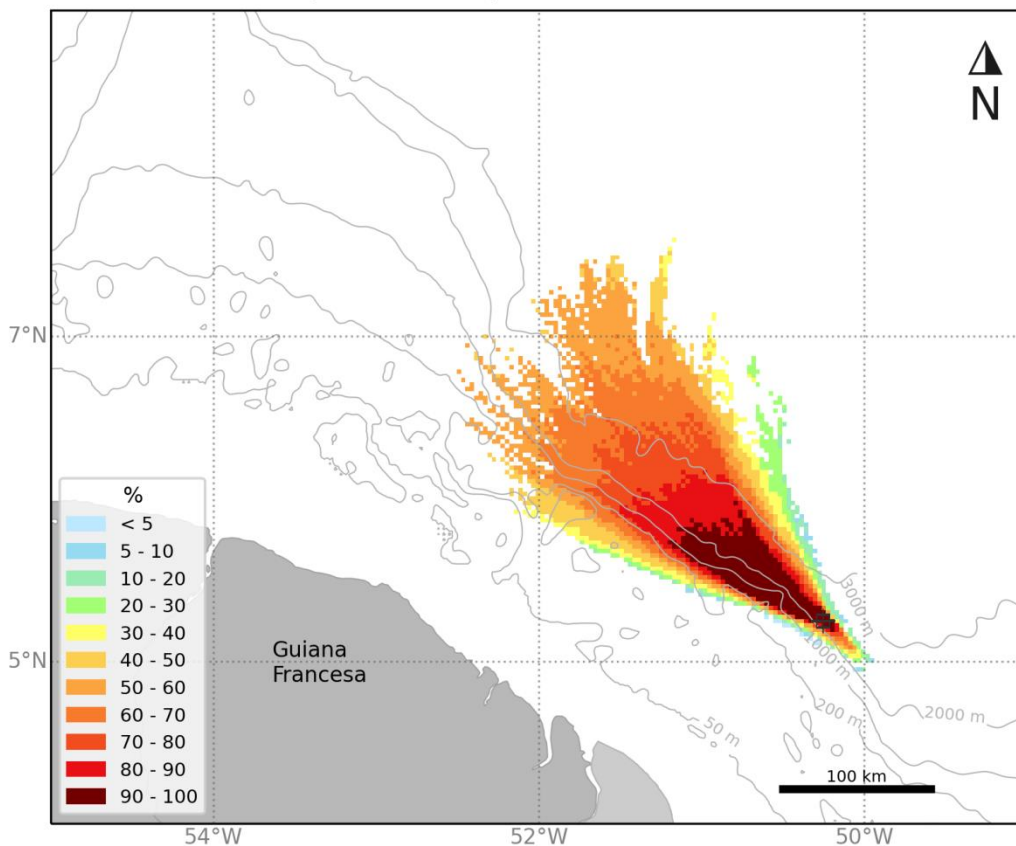


Figura IV.3.1.3.1-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 60 horas no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

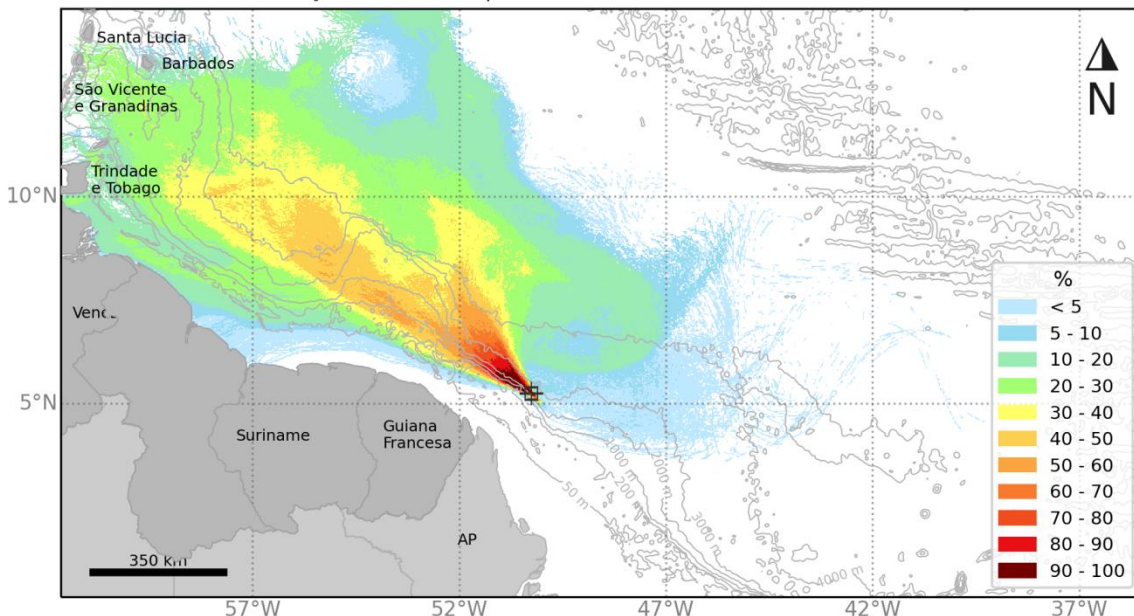


Figura IV.3.1.3.1-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 30 dias no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

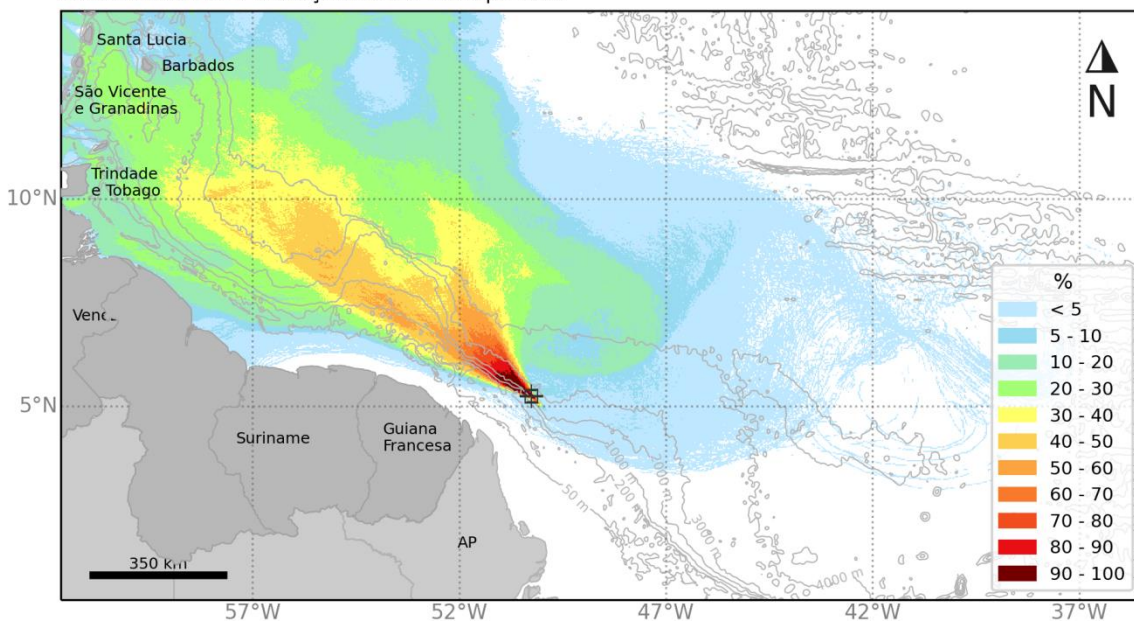


Figura IV.3.1.3.1-5 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

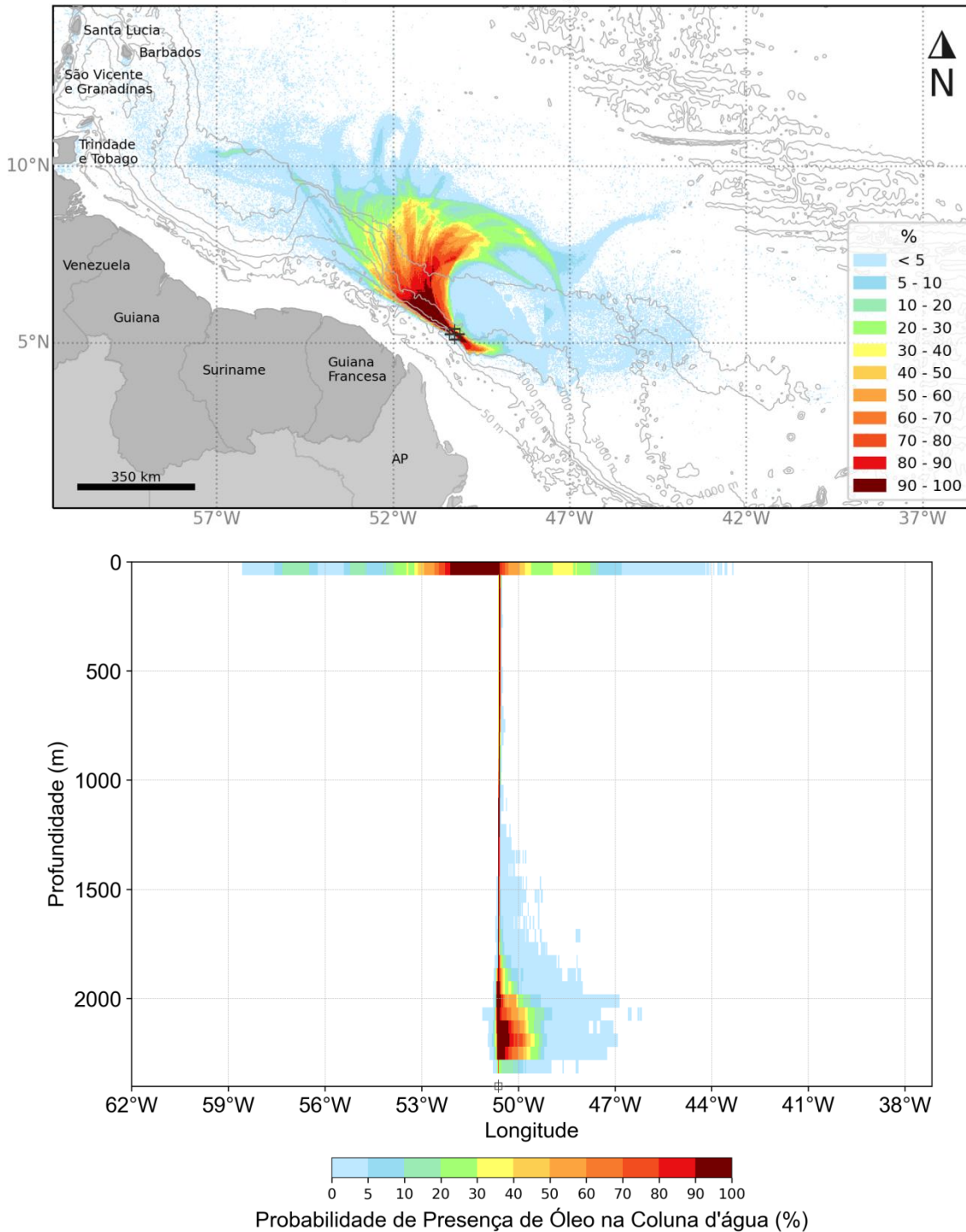
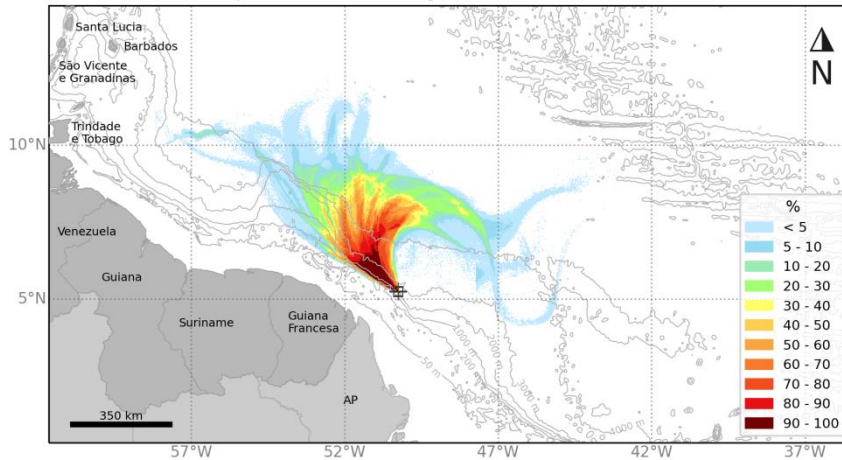
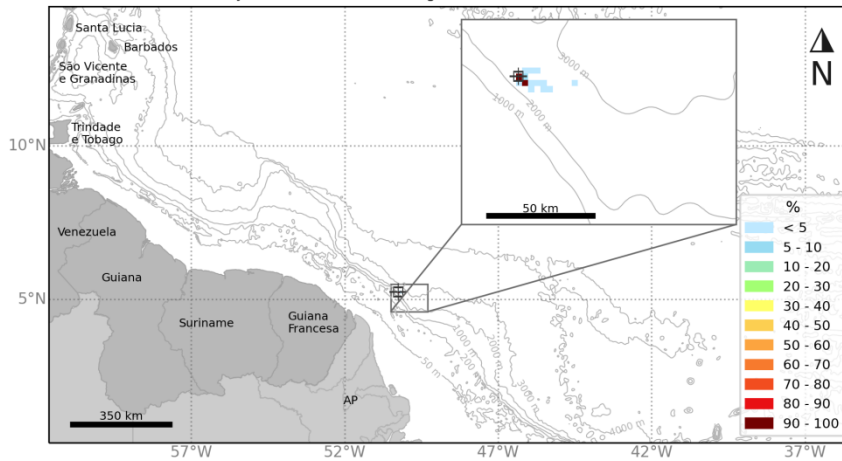


Figura IV.3.1.3.1-6 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas, e perfil longitudinal de probabilidade de presença de óleo para um vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Coluna d'água - Entre 2 e 62 m



MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Coluna d'água - Entre 1082 e 1142 m



MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Coluna d'água - Entre 2162 e 2222 m

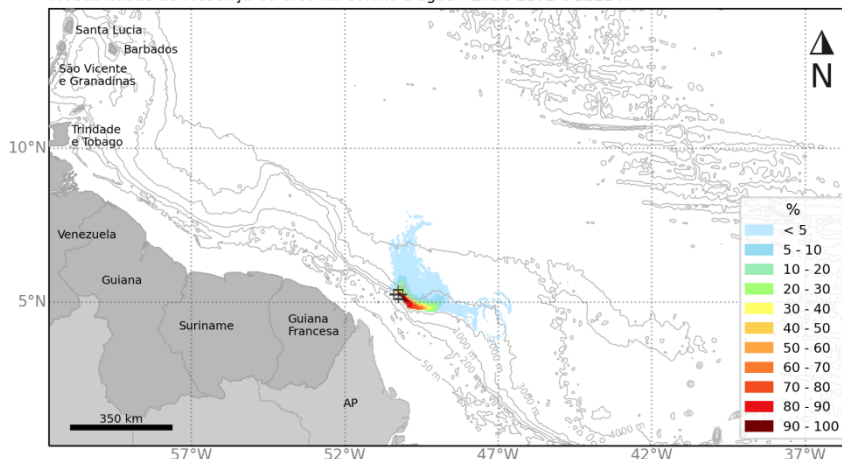


Figura IV.3.1.3.1-7 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para um vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

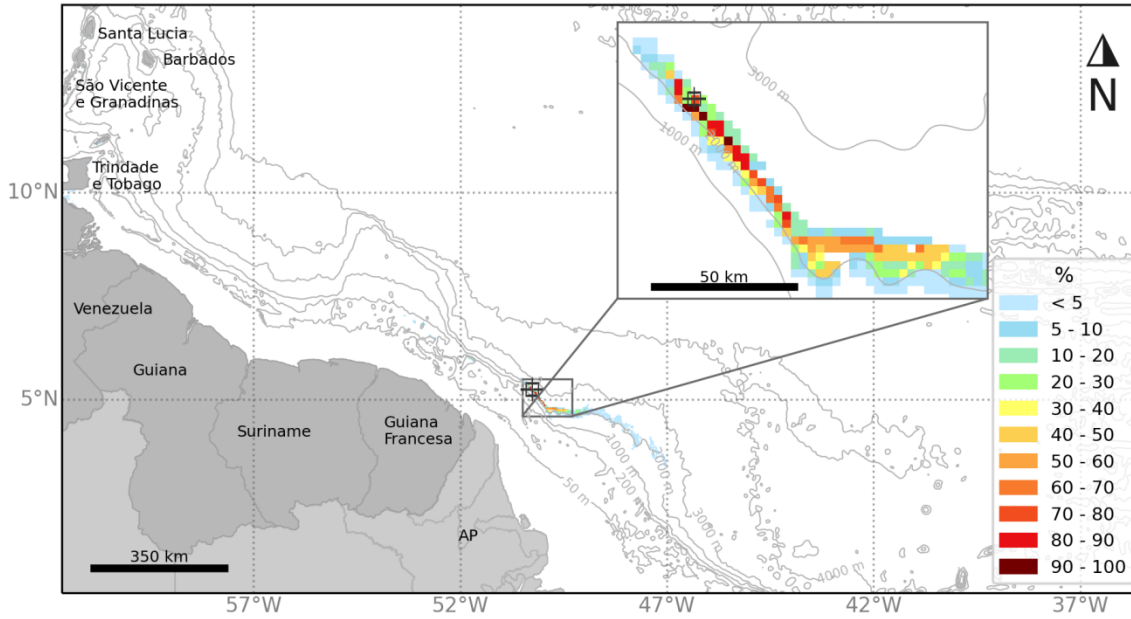


Figura IV.3.1.3.1-8 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

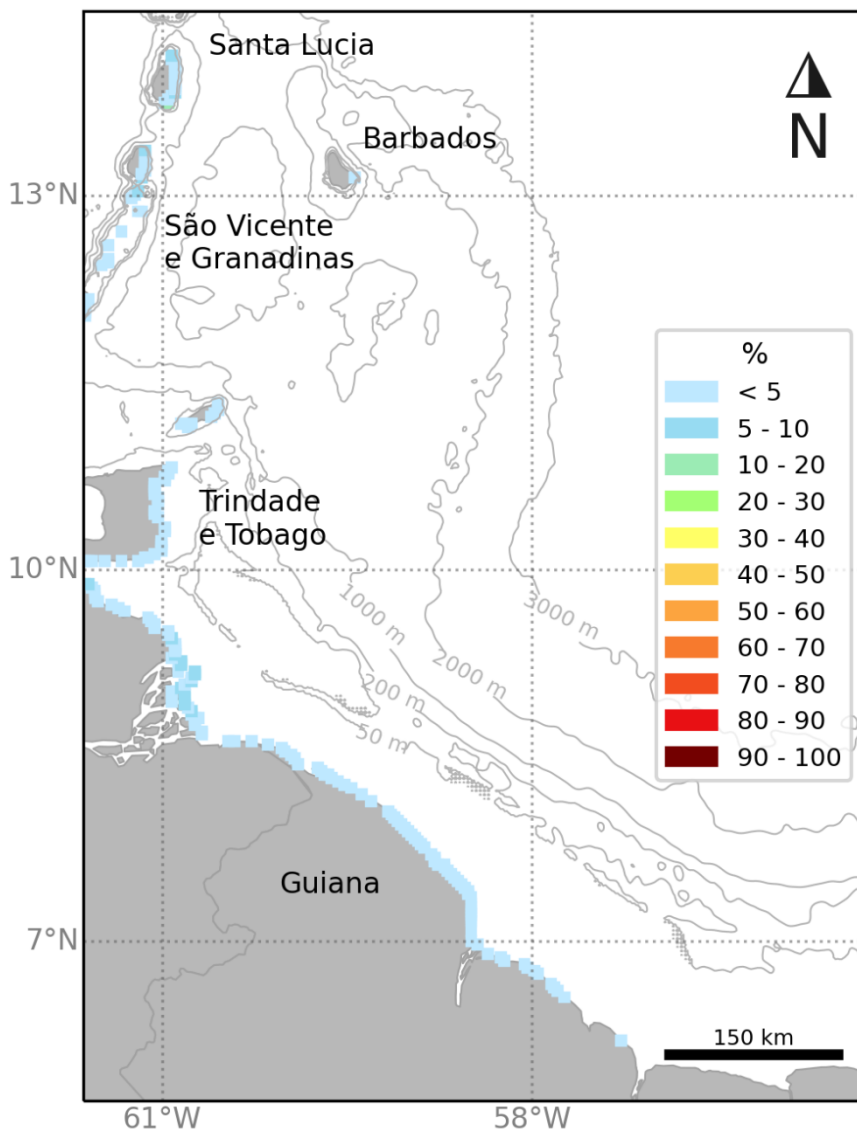


Figura IV.3.1.3.1-9 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Concentração Máxima de Óleo na Coluna d'água

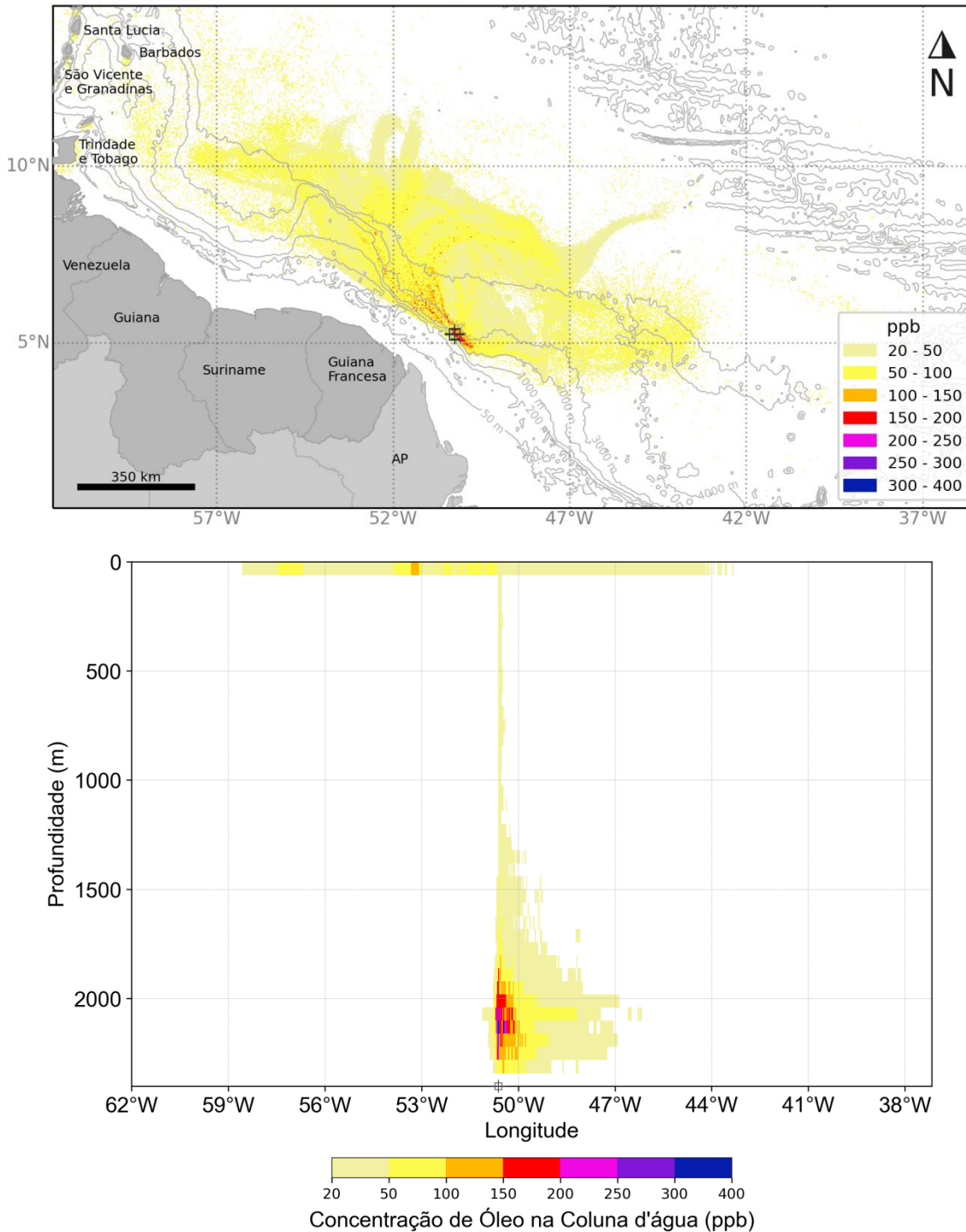


Figura IV.3.1.3.1-10 - Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas e perfil longitudinal de concentração de óleo para um vazamento de 46.742 m³ no Período 2. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

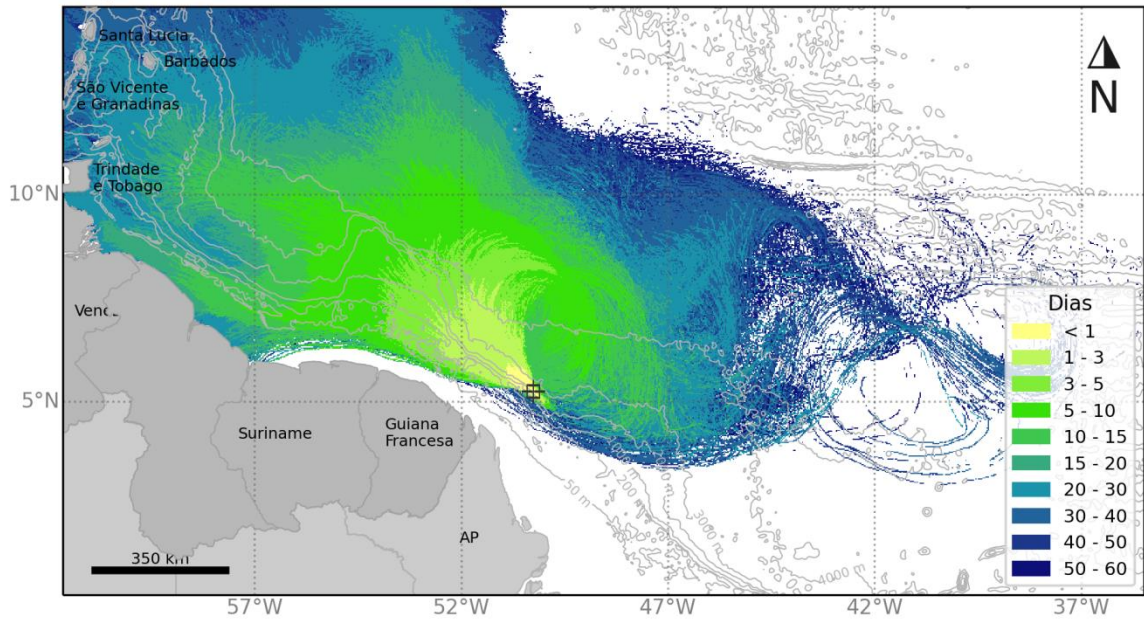


Figura IV.3.1.3.1-11 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

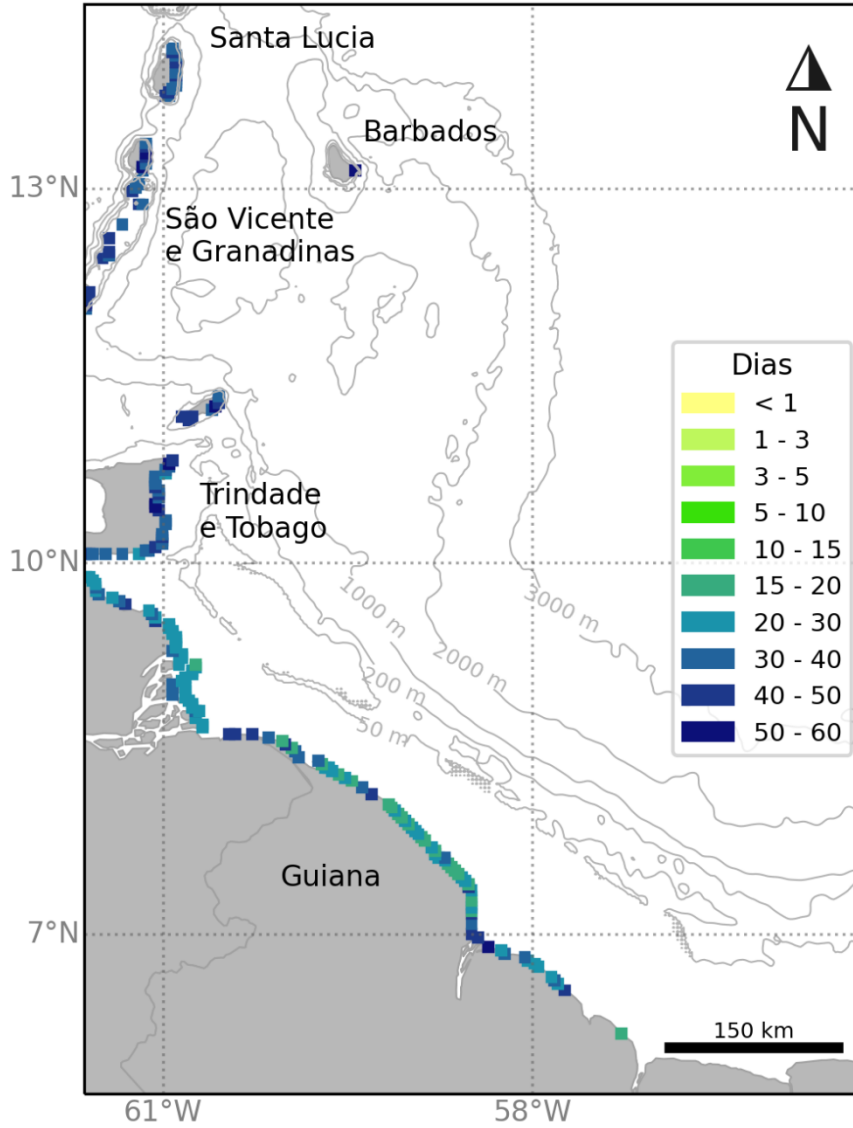


Figura IV.3.1.3.1-12 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Massa Máxima de Óleo na Costa

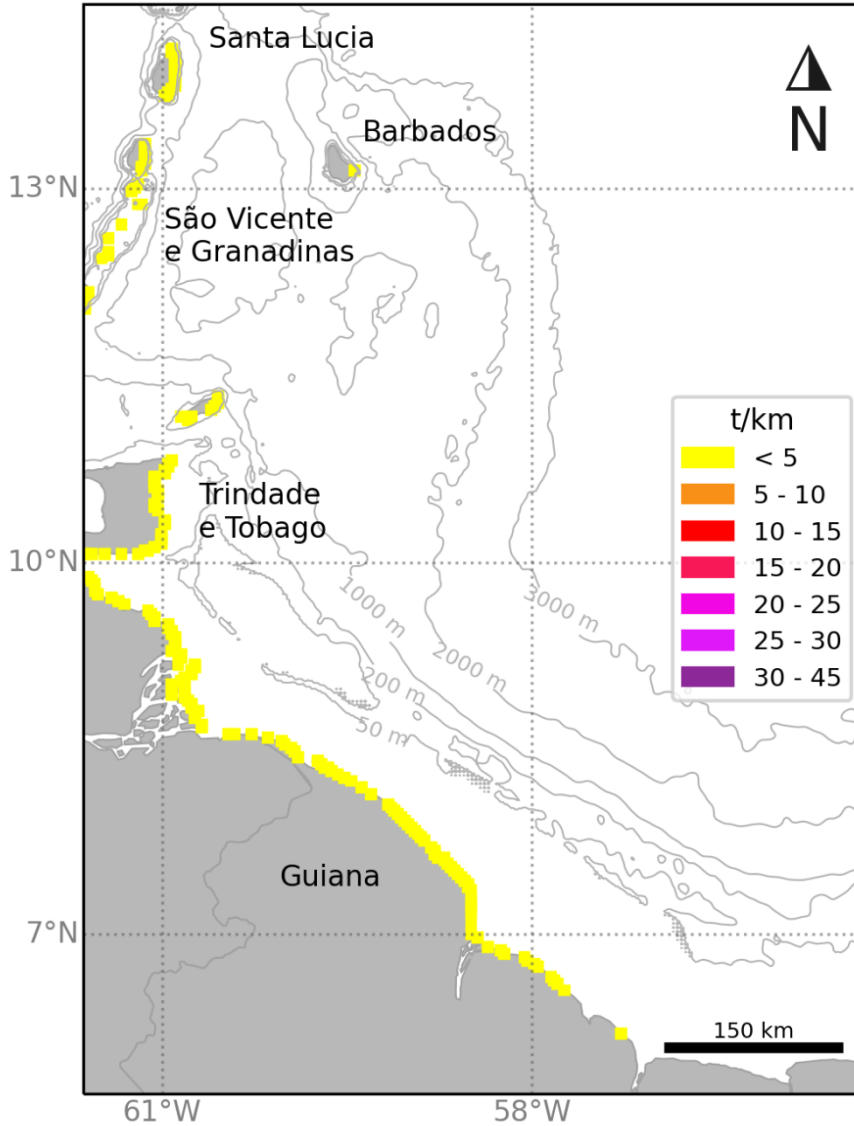


Figura IV.3.1.3.1-13 - Mapa de massa máxima de óleo na costa no Período 1.
Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

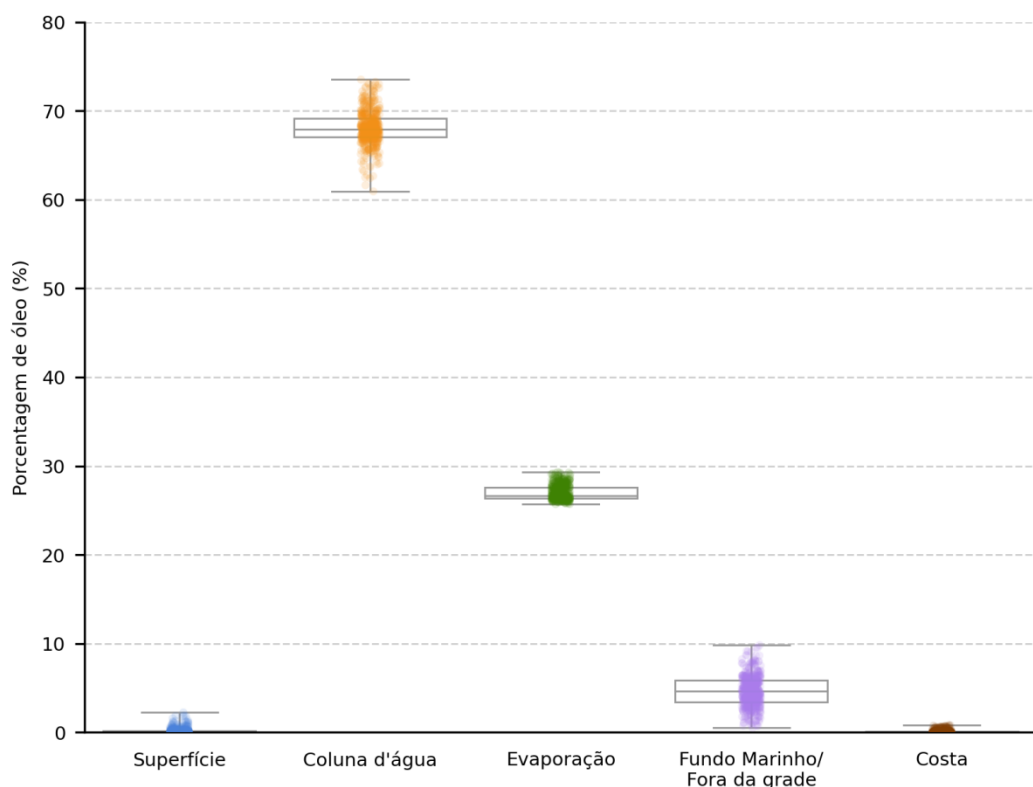


Figura IV.3.1.3.1-14 - Balanço de massa das simulações probabilísticas no Período 1.
Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

Tabela IV.3.1.3.1-15 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Simulação 60 dias.

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho/ Fora da grade	Costa
Mínimo	< 0,05	60,9	25,7	0,5	-
Primeiro Quartil	0,1	67,1	26,3	3,4	< 0,05
Mediana	0,1	67,9	26,7	4,6	< 0,05
Terceiro Quartil	0,2	69,1	27,6	5,9	0,1
Máximo	2,2	73,5	29,3	9,8	0,8

IV.3.1.3.2. Período 2

Os mapas com os resultados probabilísticos para um evento de pior caso, Período 2 (julho a novembro), são apresentados a seguir.

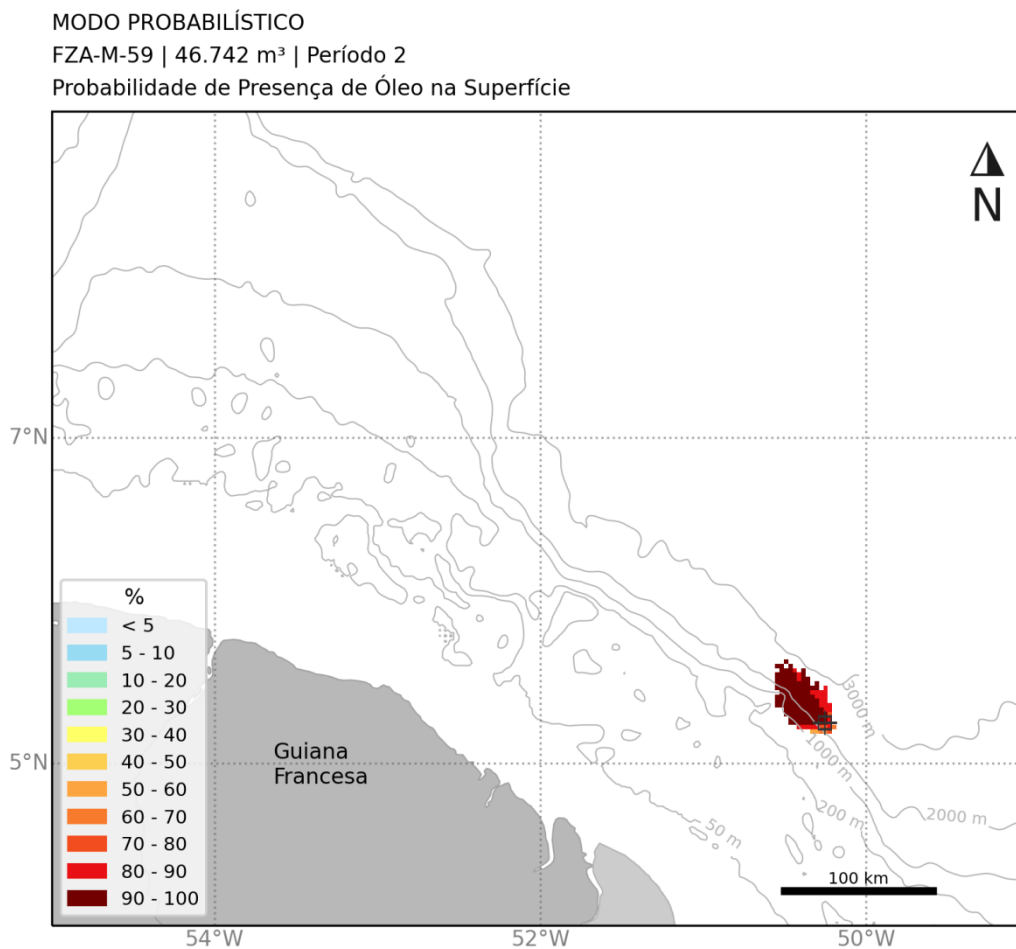


Figura IV.3.1.3.2-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 12 horas no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

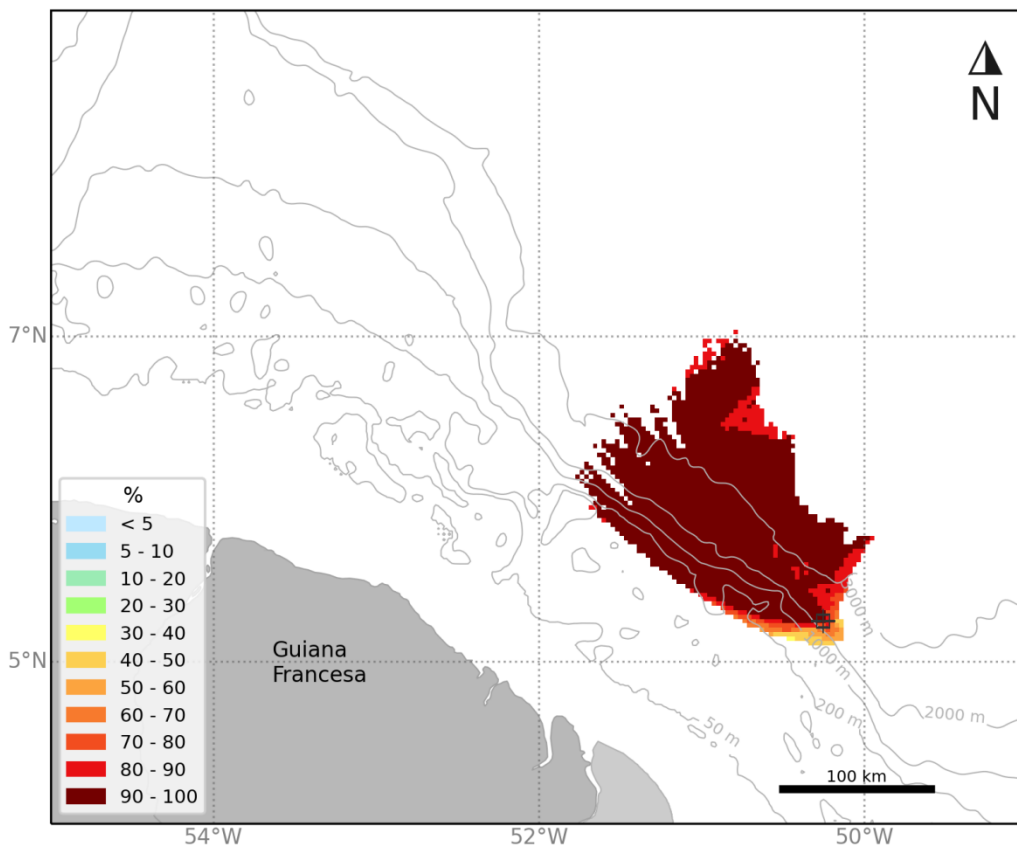


Figura IV.3.1.3.2-2 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 36 horas no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

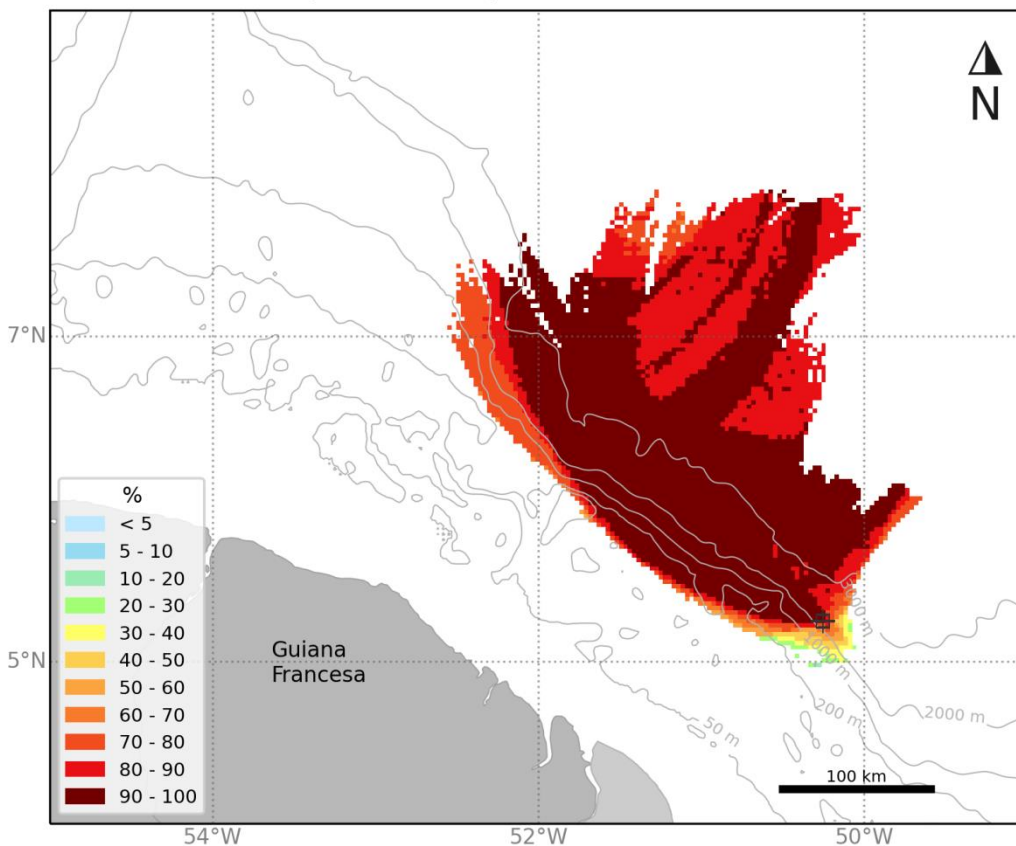


Figura IV.3.1.3.2-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 60 horas no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

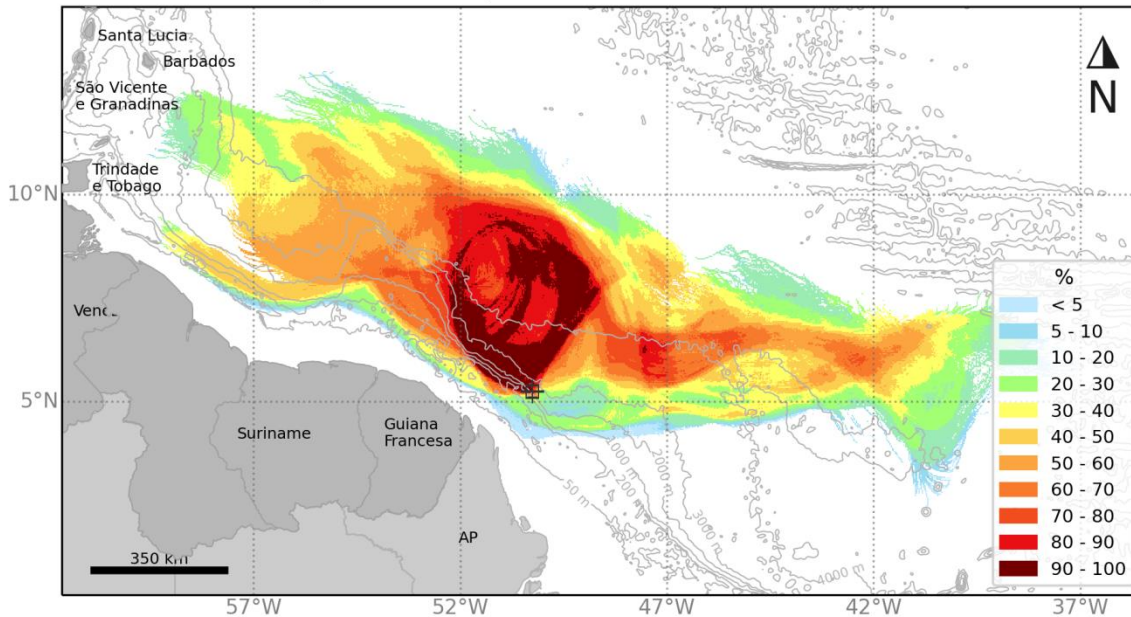


Figura IV.3.1.3.2-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície após 30 dias no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

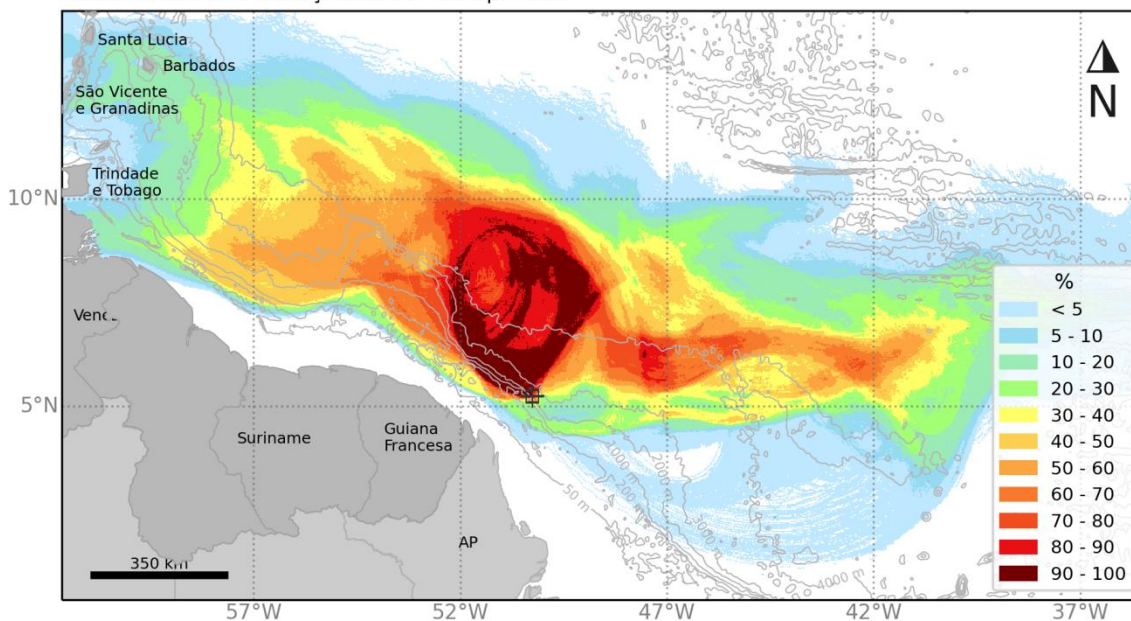


Figura IV.3.1.3.2-5 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

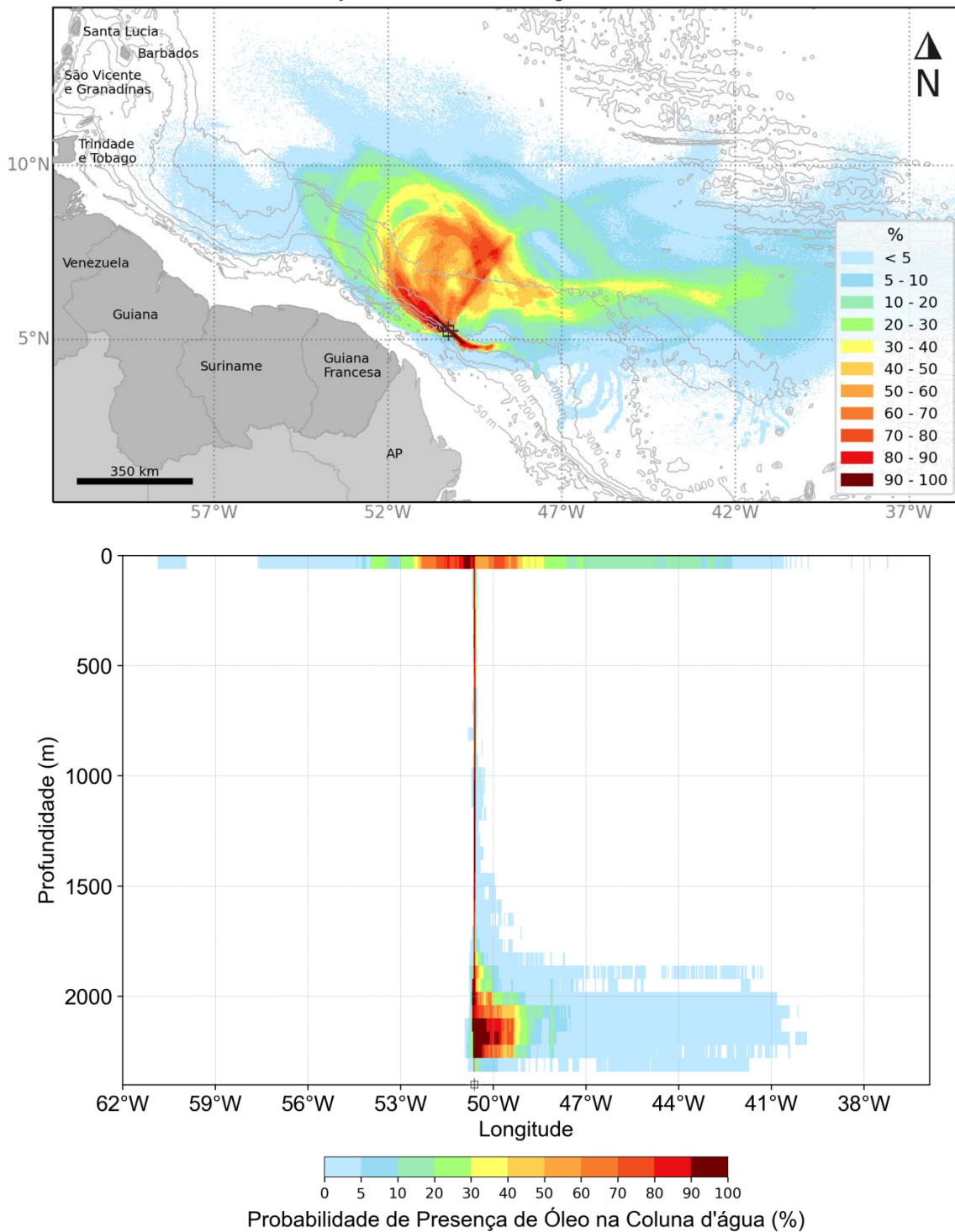
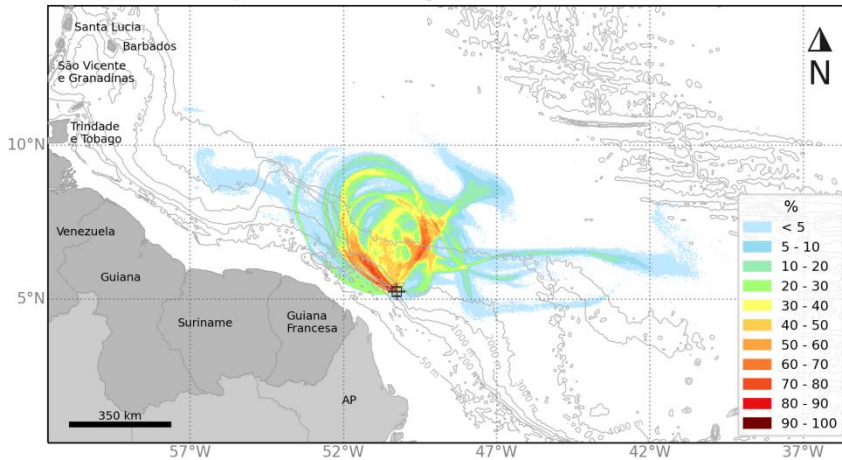
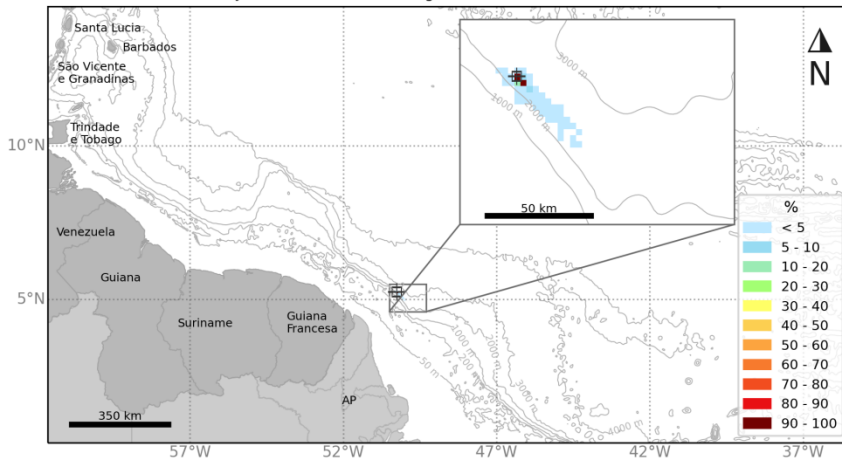


Figura IV.3.1.3.2-6 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas e perfil longitudinal de probabilidade de presença de óleo para um vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Coluna d'água - Entre 2 e 62 m



MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Coluna d'água - Entre 1082 e 1142 m



MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Coluna d'água - Entre 2162 e 2222 m

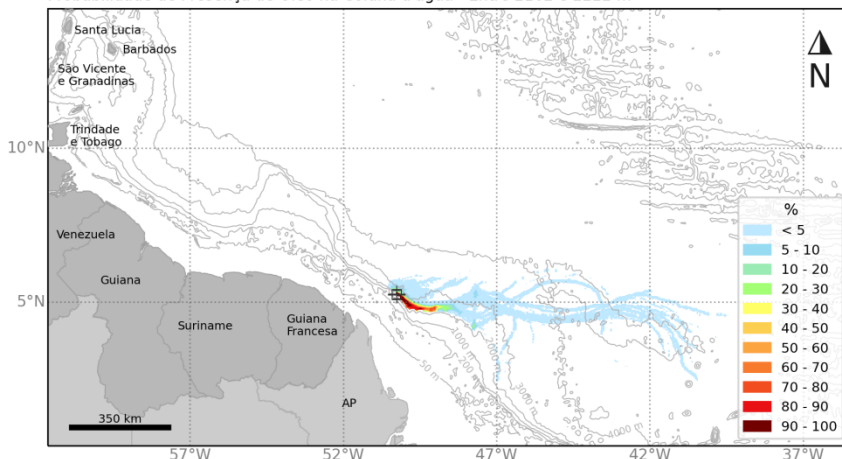


Figura IV.3.1.3.2-7 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo para diferentes profundidades na coluna d'água para um vazamento de 46.742 m³ no Período 2. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

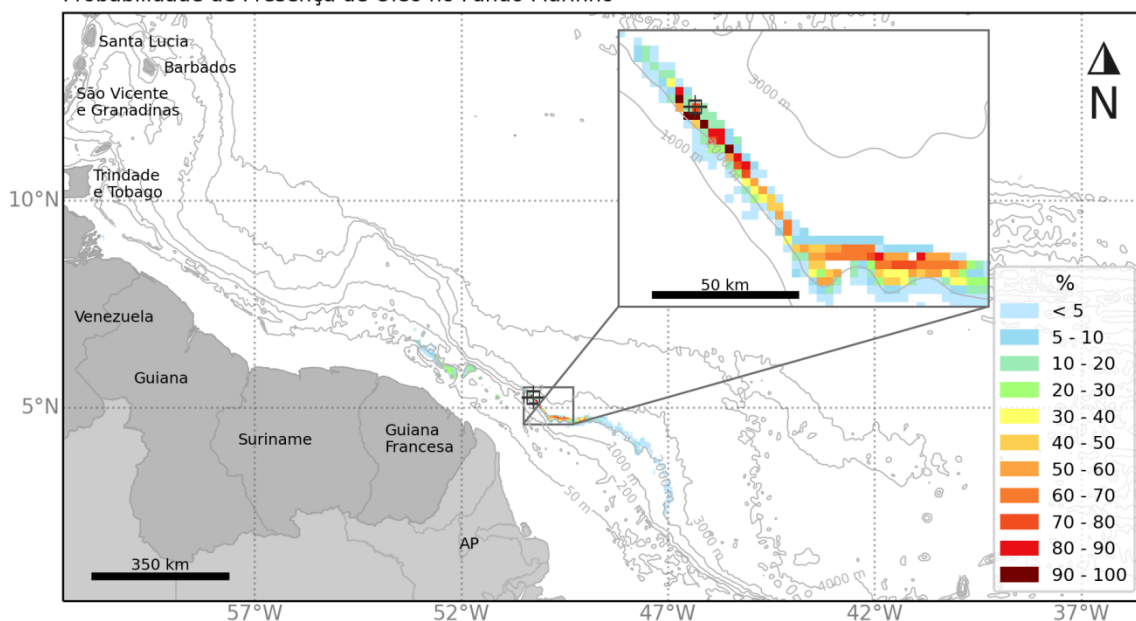


Figura IV.3.1.3.2-8 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

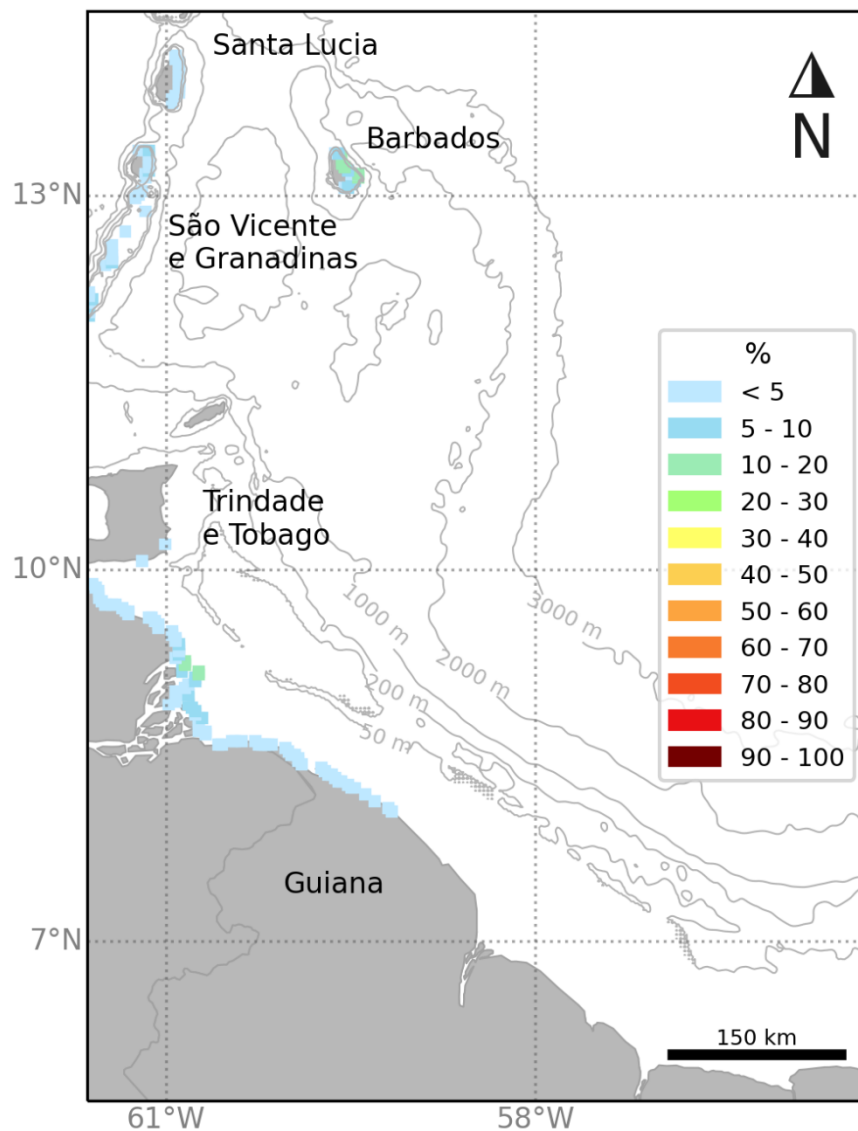


Figura IV.3.1.3.2-9 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Concentração Máxima de Óleo na Coluna d'água

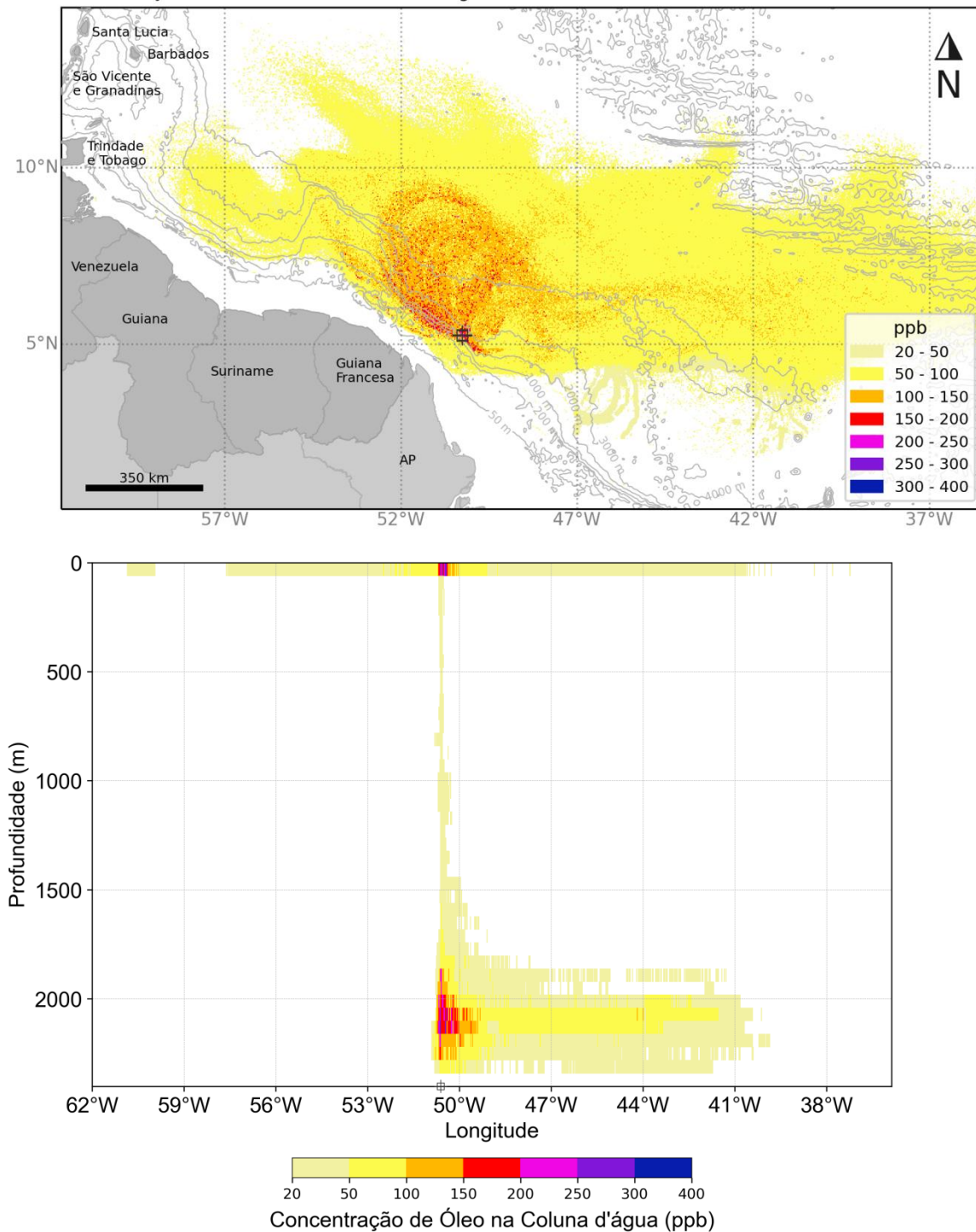


Figura IV.3.1.3.2-10 - Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas e perfil longitudinal de concentração de óleo para um vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Vazamento de superfície. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

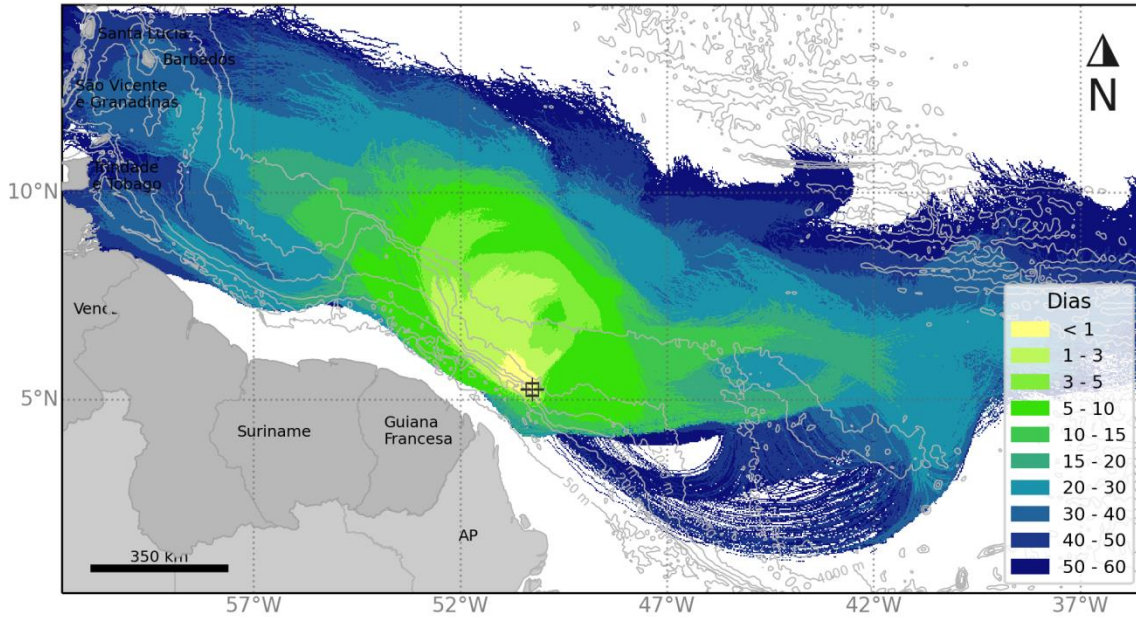


Figura IV.3.1.3.2-11 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

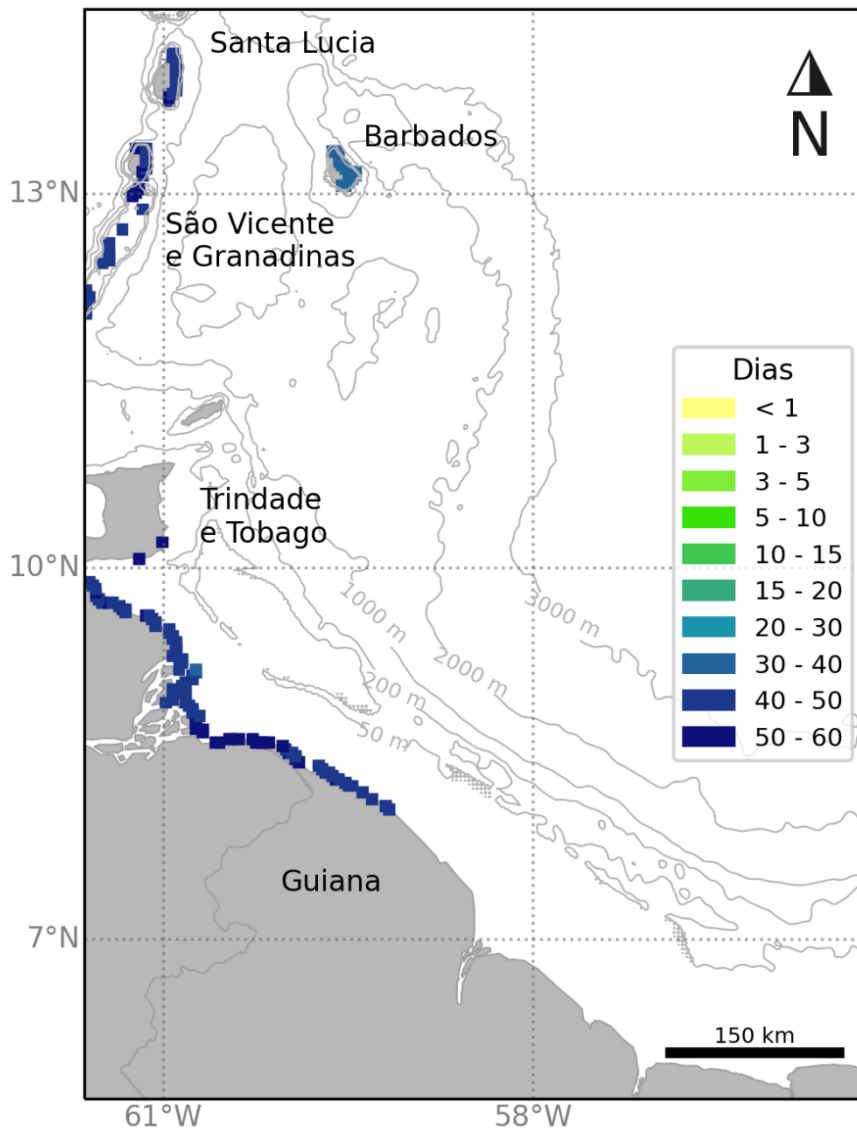


Figura IV.3.1.3.2-12 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Massa Máxima de Óleo na Costa

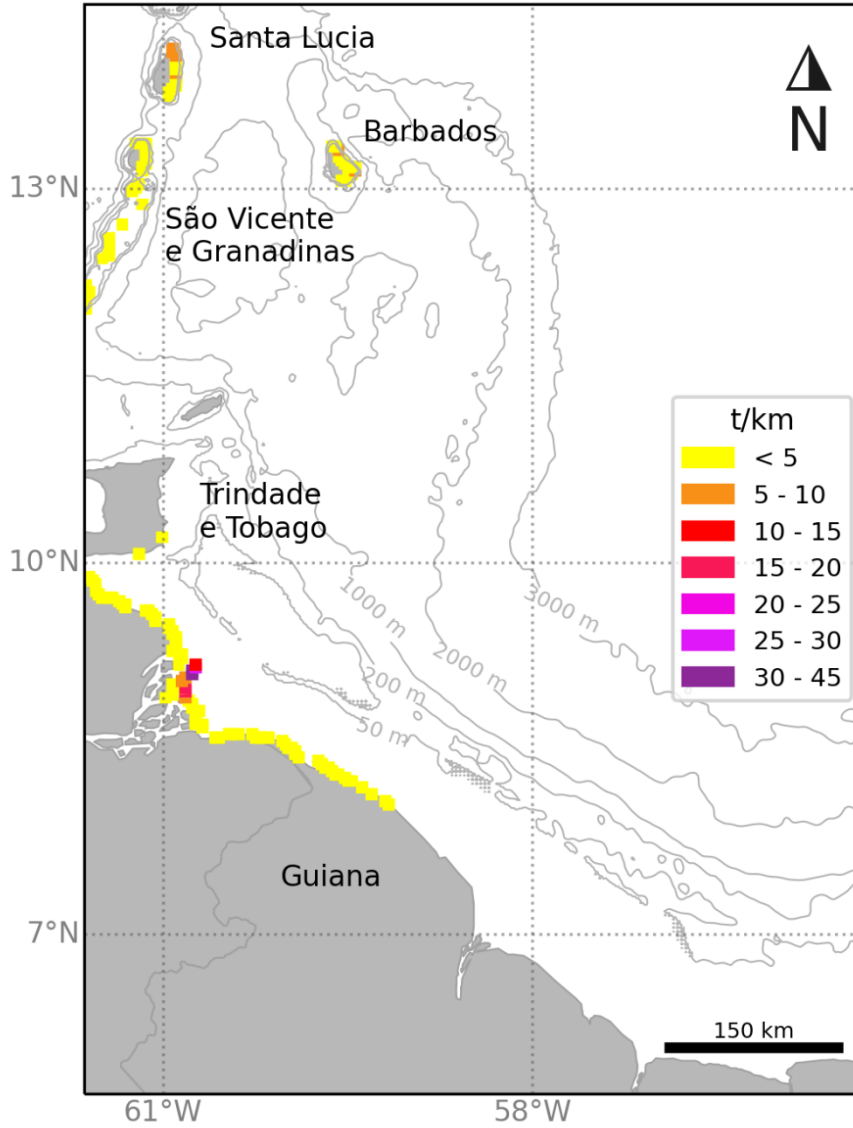


Figura IV.3.1.3.2-13 - Mapa de massa máxima de óleo na costa no Período 2.
Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

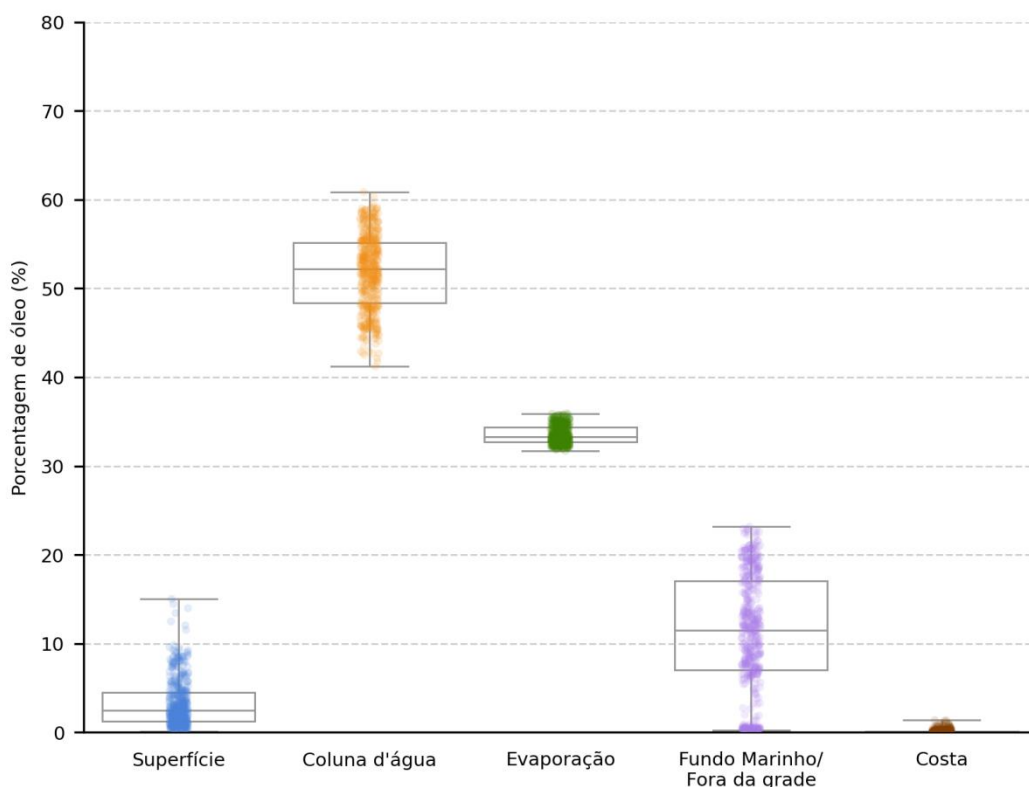


Figura IV.3.1.3.2-14 - Balanço de massa das simulações probabilísticas no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

Tabela IV.3.1.3.2-15 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 46.742 m³ no Período 2. Simulação 60 dias.

	Superfície	Coluna d'água	Evaporação	Fundo Marinho/ Fora da grade	Costa
Mínimo	0,1	41,2	31,7	0,2	-
Primeiro Quartil	1,3	48,4	32,7	7	-
Mediana	2,5	52,2	33,3	11,5	-
Terceiro Quartil	4,5	55,1	34,3	17,1	0,1
Máximo	15	60,9	35,9	23,2	1,4

IV.3.1.3.3.Integração

Os mapas com os resultados probabilísticos integrados (Período 1 e Período 2) para um evento de pior caso são apresentados a seguir.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

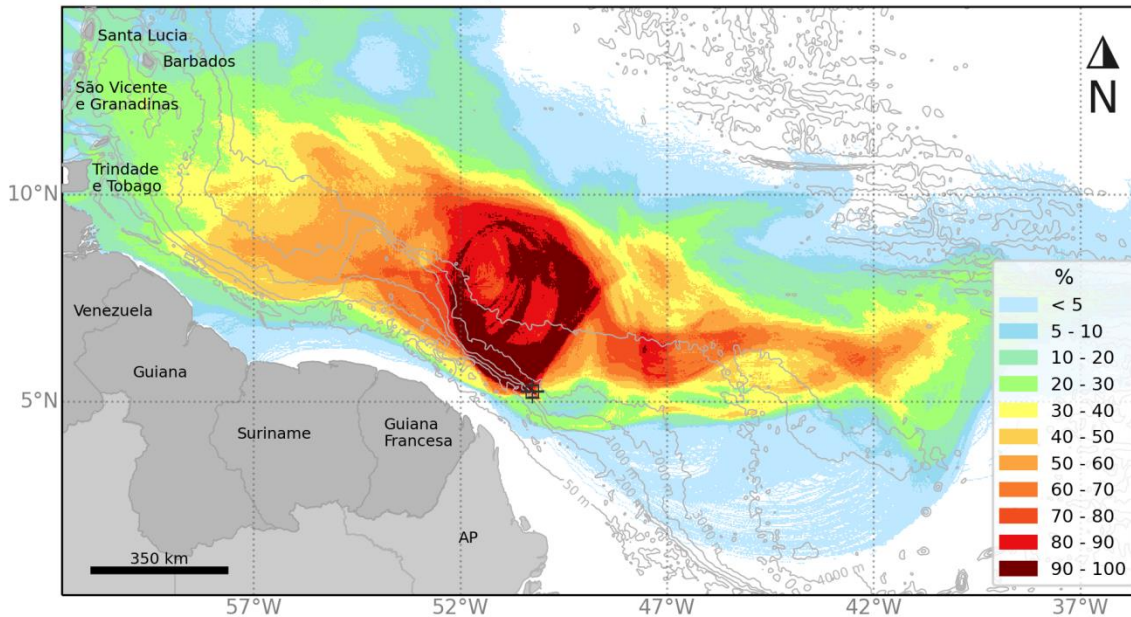


Figura IV.3.1.3.3-1 - Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

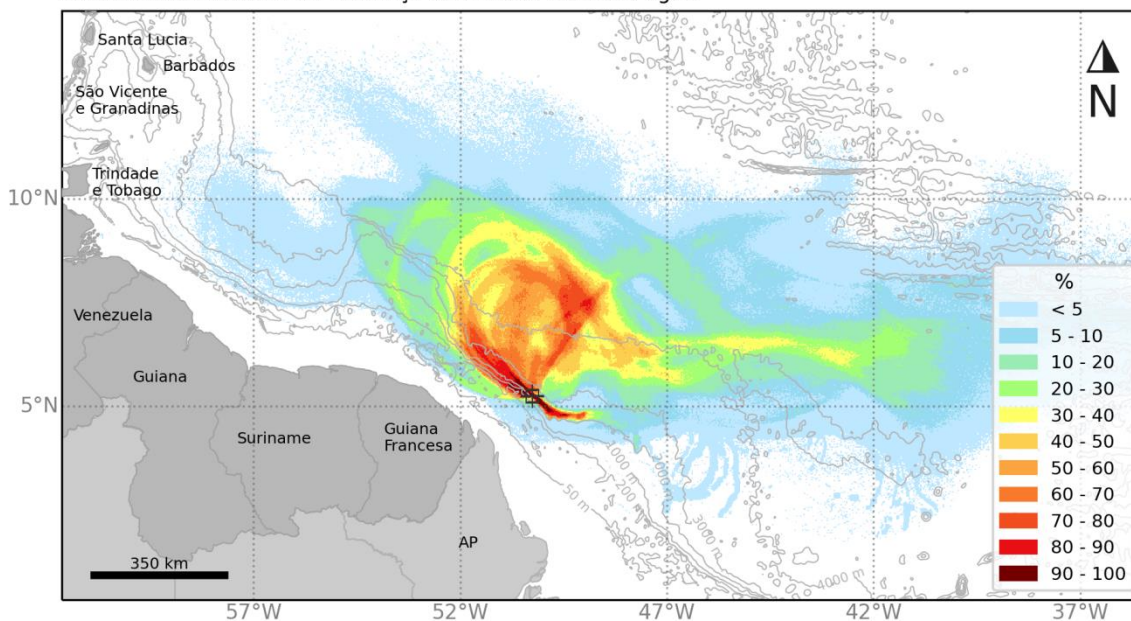


Figura IV.3.1.3.3-2 - Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo no Fundo Marinho

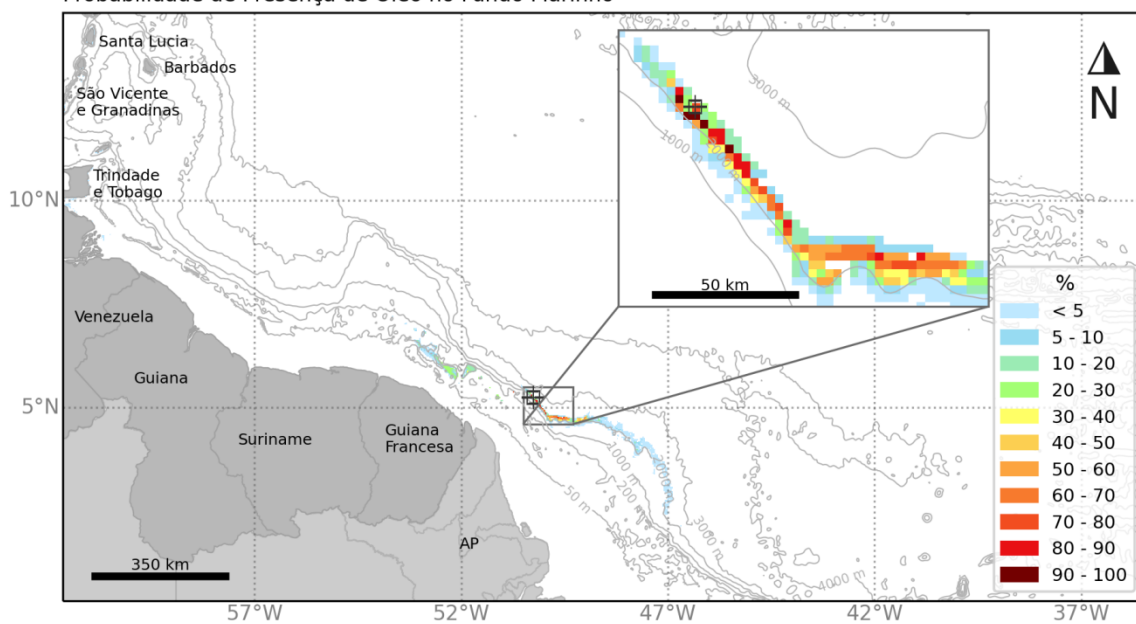


Figura IV.3.1.3.3-3 - Mapa de probabilidade de presença de óleo no fundo marinho para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2

Probabilidade de Presença de Óleo na Costa

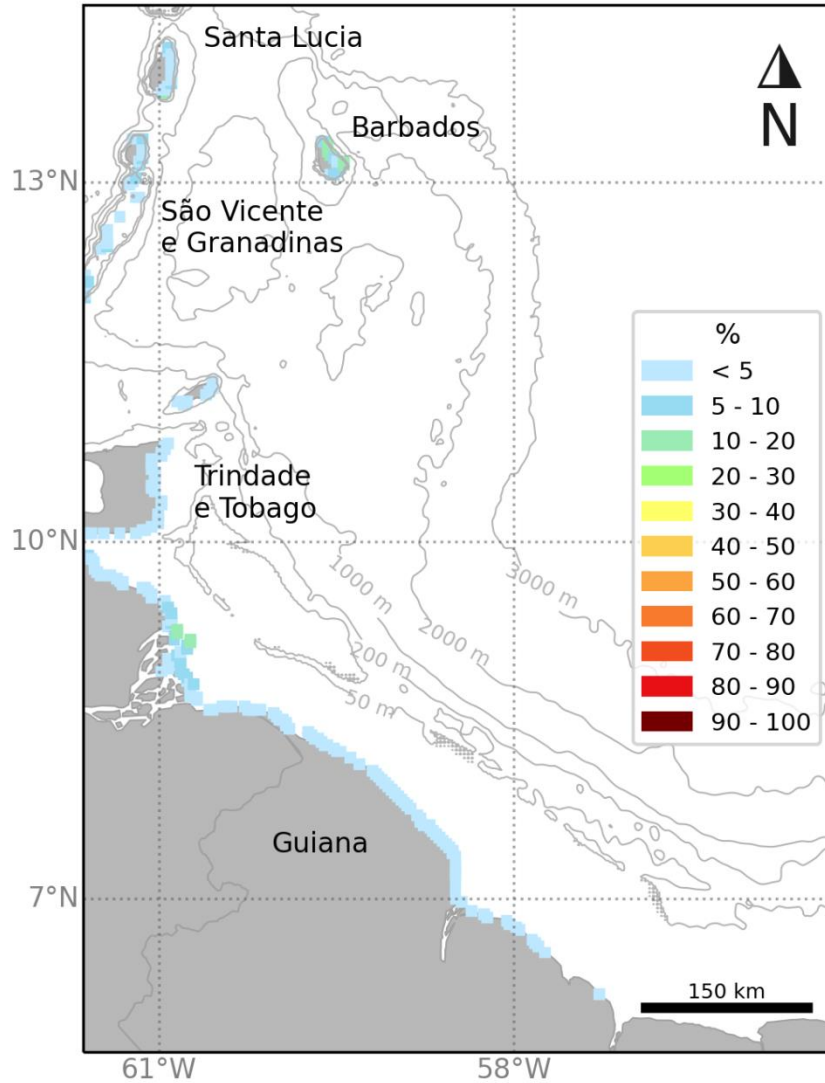


Figura IV.3.1.3.3-4 - Mapa de probabilidade de presença de óleo na costa para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Concentração Máxima de Óleo na Coluna d'água

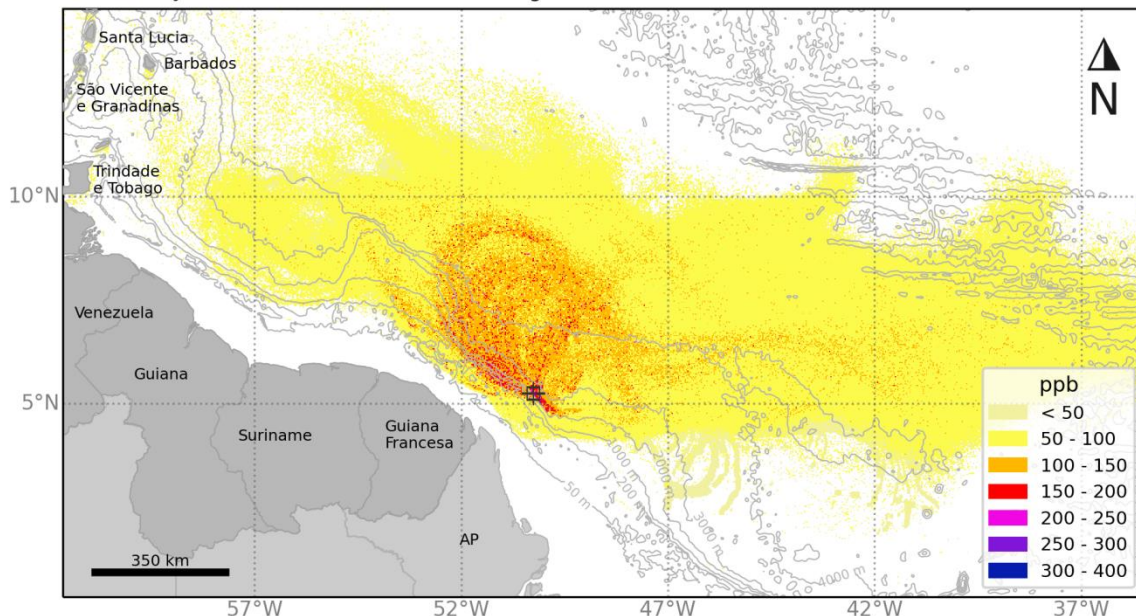


Figura IV.3.1.3.3-5 - Mapa de concentração máxima de óleo na coluna d'água considerando todas as camadas para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2
Tempo Mínimo de Deslocamento na Superfície

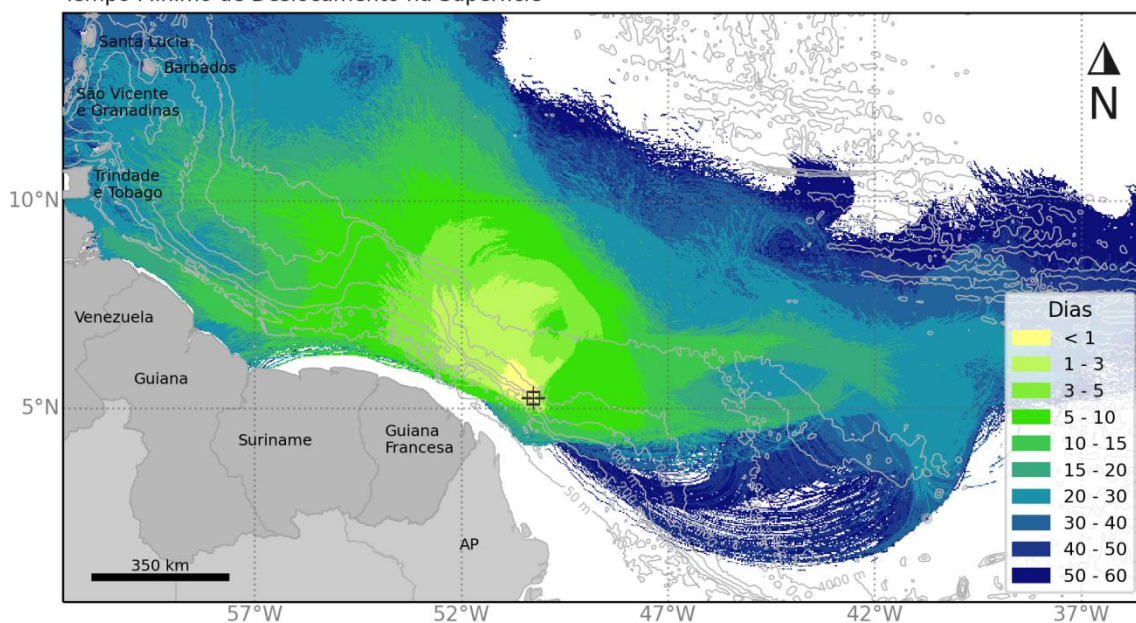


Figura IV.3.1.3.3-6 - Mapa de tempo mínimo de deslocamento de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2

Tempo Mínimo de Chegada de Óleo na Costa

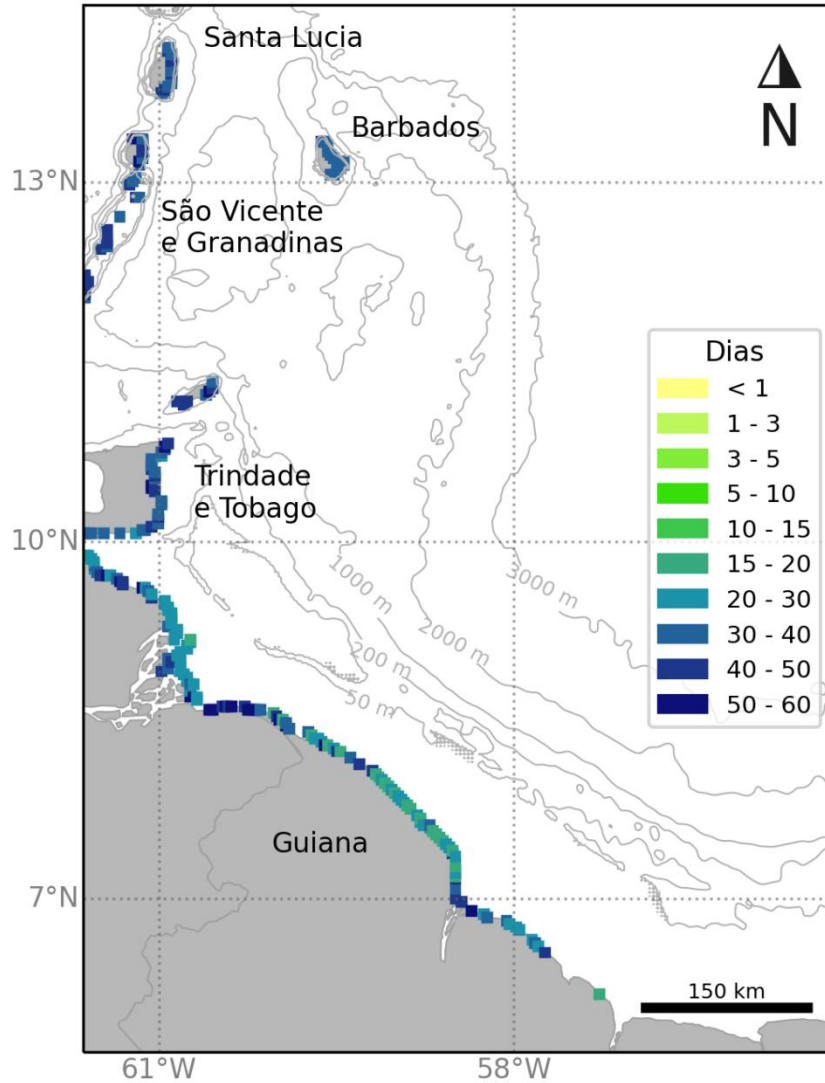


Figura IV.3.1.3.3-7 - Mapa de tempo mínimo de chegada de óleo na costa para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Integração Período 1 e Período 2

Massa Máxima de Óleo na Costa

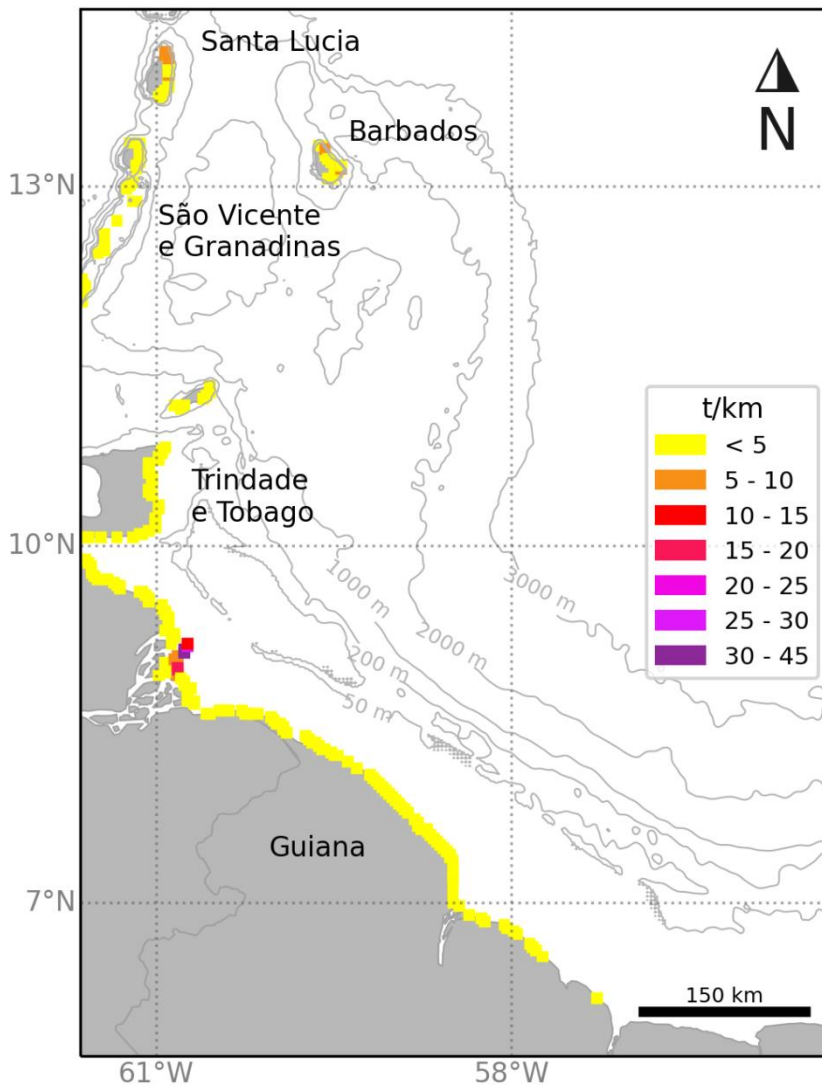


Figura IV.3.1.3.3-8 - Mapa de massa máxima de óleo na costa para o vazamento de 46.742 m³. Integração do Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias.

IV.3.1.3.4. Tabelas Comparativas

A seguir são apresentados os resultados de óleo nas localidades com probabilidade de chegada (Tabela IV.3.1.3.4-1) para o vazamento de 46.742 m³ em ambos os cenários (Período 1 e Período 2).

Tabela IV.3.1.3.4-1 – Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada, massa máxima de óleo e extensão na costa para as localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.

Localidade	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
Martinica	14,2	-	36,7	-	-	-	-	-
Santa Lúcia	11,2	3,4	33,9	46,8	2,7	8,2	67,9	63,6
São Vicente e Granadinas	9,4	6,2	33,9	41	2,2	3,9	63,6	76,4
Barbados	0,4	14,4	53,3	35,6	0,7	6,7	4,2	63,6
Granada	3	6,6	32,9	40,5	1,5	4,1	38,2	50,9
Trindade e Tobago	2,6	0,2	26	52,1	2,5	0,7	161,2	8,5
Venezuela	7,6	12	19,5	37,6	4	42,9	212,1	280
Guiana	4,4	3,2	16,1	44,6	2,8	3,8	263	106,1
Suriname	0,4	-	12,6	-	-	-	-	-

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 3 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.

IV.3.2. Modo determinístico

Com base nos resultados obtidos nas simulações probabilísticas foram identificadas as condições críticas para ocorrência de um vazamento de pior caso para o ponto de risco considerado no bloco FZA-M-59.

A situação de menor tempo de chegada de óleo na costa ocorreu no Período 1, enquanto a situação de maior massa acumulada na costa ocorreu no Período 2. Na tabela, a seguir, são apresentadas as informações dessas condições críticas selecionadas.

Tabela IV.3.2-1 - Informações da simulação determinística crítica considerada para um evento de pior caso a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59.

Cenário	Data da simulação (GMT)	Tempo de toque na costa (dias)	Primeira localidade de toque	Massa final de óleo na costa (t)
Tempo mínimo de toque de óleo na costa	29/03/2012 às 23h	16,1	Guiana	241
Maior massa de óleo acumulada na costa	30/09/2016 às 3h	44,7	Venezuela	499

Observação: Na Tabela IV.3.1.3.4-1, o menor tempo de chegada de óleo na costa foi de 12,6 dias no Período 1 no Suriname. Como especificado nesta mesma tabela esse valor se refere a valores de superfície e da coluna d'água mais próximos em relação a esta localidade que estavam a uma distância menor do que a resolução da grade do modelo (3 km). Para uma avaliação conservadora, estes foram considerados como tendo probabilidade de chegada de óleo. No entanto, para a simulação determinística de menor tempo foi escolhida a simulação que realmente apresentou chegada de óleo na costa dentre as que compõem o cenário probabilístico, com o menor tempo de 16,1 dias na Guiana, também no Período 1.

IV.3.2.1. Menor tempo de chegada de óleo na costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado, que se estendeu por 60 dias, de 29/03/2012 às 23h até 28/05/2012 às 23h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

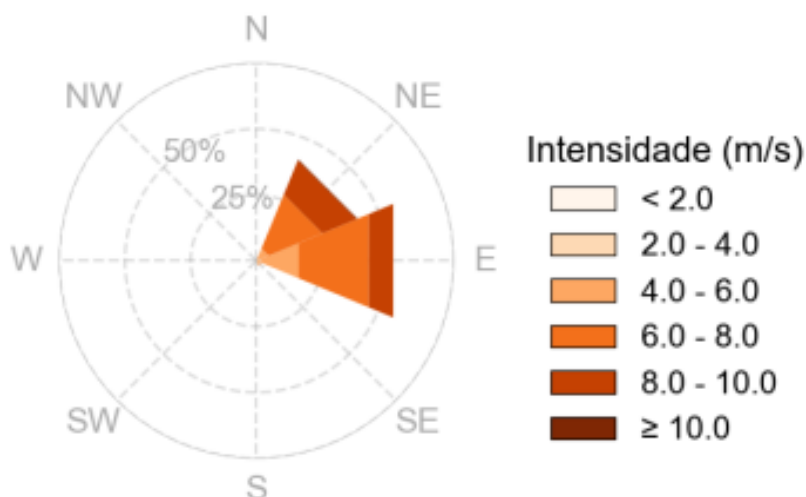


Figura IV.3.2.1-1 - Rosa dos ventos para o período de simulação crítica de menor tempo.

Tabela IV.3.2.1-1 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de menor tempo.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
< 2	-	-	-	1	-	-	-	-	0,1
2 - 4	-	6	25	8	-	-	-	-	2,7
4 - 6	-	67	226	19	-	-	-	-	21,7
6 - 8	-	319	416	2	-	-	-	-	51,1
8 - 10	-	202	144	-	-	-	-	-	24
> 10	-	6	-	-	-	-	-	-	0,4
Freq. (%)	-	41,6	56,3	2,1	-	-	-	-	-

Tabela IV.3.2.1-2 - Estatística do vento para o período da condição crítica de menor tempo.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín. (m/s)	Vel Máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
70	57	6,9	1,7	10,7	1,4

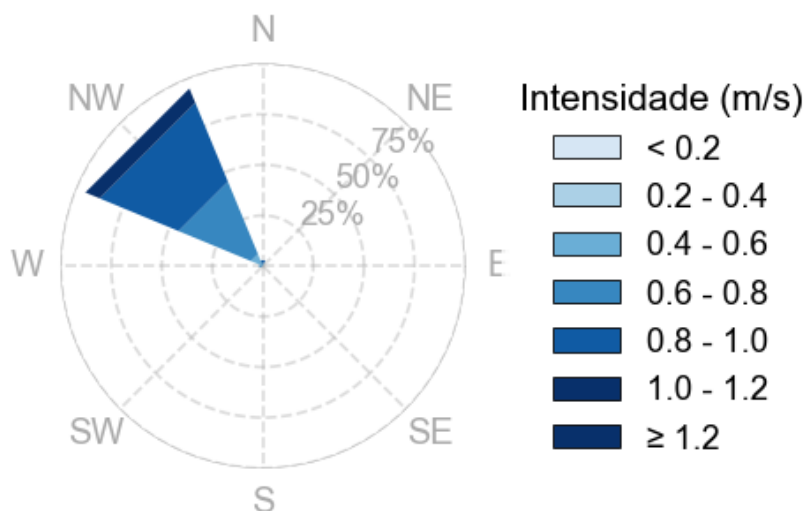


Figura IV.3.2.1-2 - Rosa de corrente para o período de simulação crítica.

Tabela IV.3.2.1-3 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de menor tempo.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
< 0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2 - 0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4 - 0,6	4	-	-	-	-	-	-	46	6,94
0,6 - 0,8	7	-	-	-	-	-	14	279	41,67
0,8 - 1,0	11	-	-	-	-	-	-	304	43,75
1,0 - 1,2	-	-	-	-	-	-	-	55	7,64
≥ 1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq (%)	3,06	-	-	-	-	-	1,94	95	-

Tabela IV.3.2.1-4 - Estatística de corrente para o período da condição crítica de menor tempo.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín (m/s)	Vel máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
315	315	0,8	0,5	1,1	0,1

Pelos dados de vento no período da simulação, ocorre a predominância de ventos de E (56,3%), com contribuição de cerca de 42% de ventos de NE também

ao longo dos 60 dias. Em relação às intensidades, há predominância de ventos entre 6 e 10 m/s (65% somados). As informações de correntes mostram que a direção preferencial das correntes no ponto de risco é para noroeste (95%), e a maior porcentagem das correntes apresenta intensidades entre 0,8 – 1,0 m/s (44%).

A seguir, é apresentada a deriva do óleo em superfície, além da área varrida pela mancha durante toda a simulação.

Também é 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/m² (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

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 30-03-2012 11h

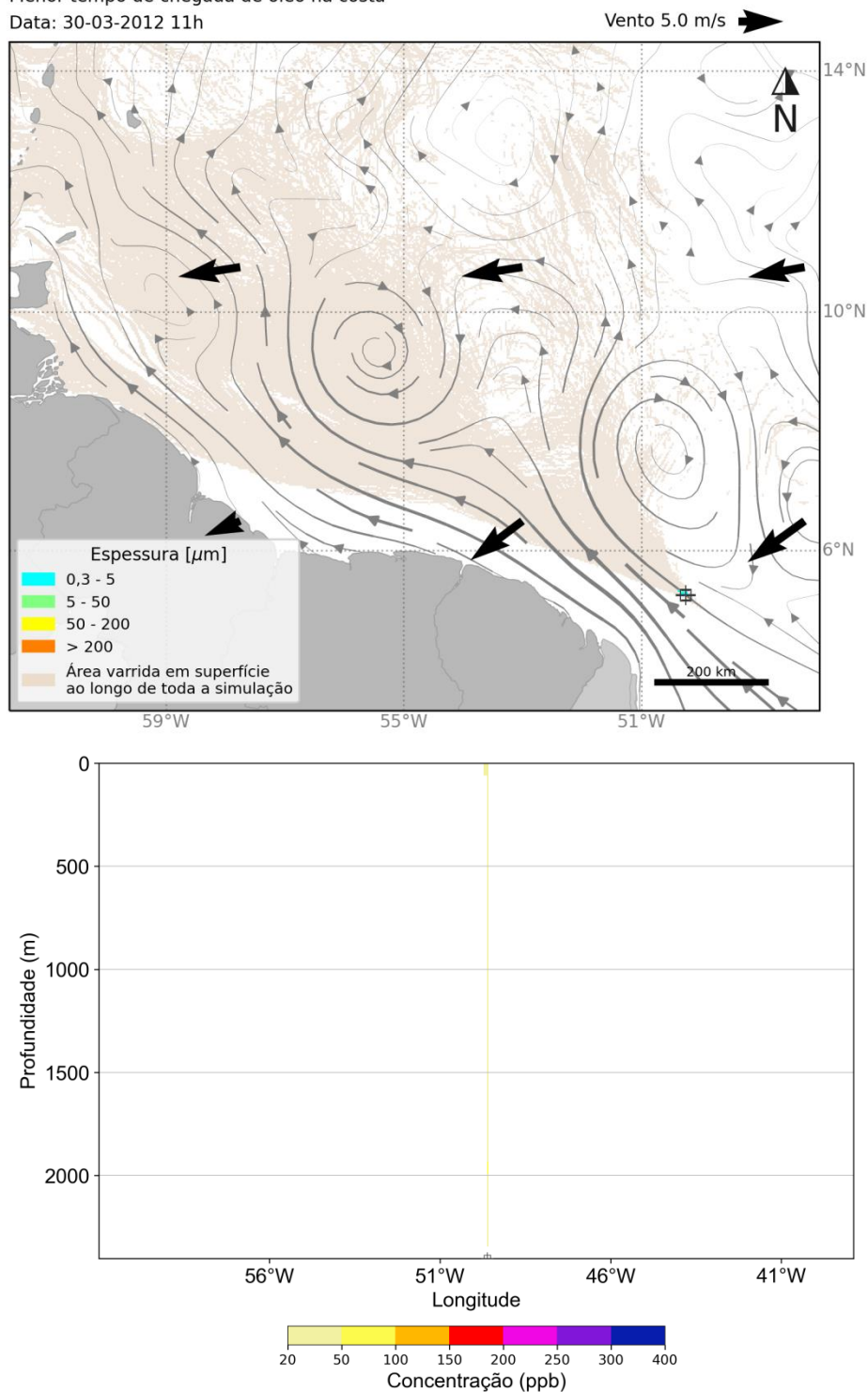


Figura IV.3.2.1-3 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 31-03-2012 11h

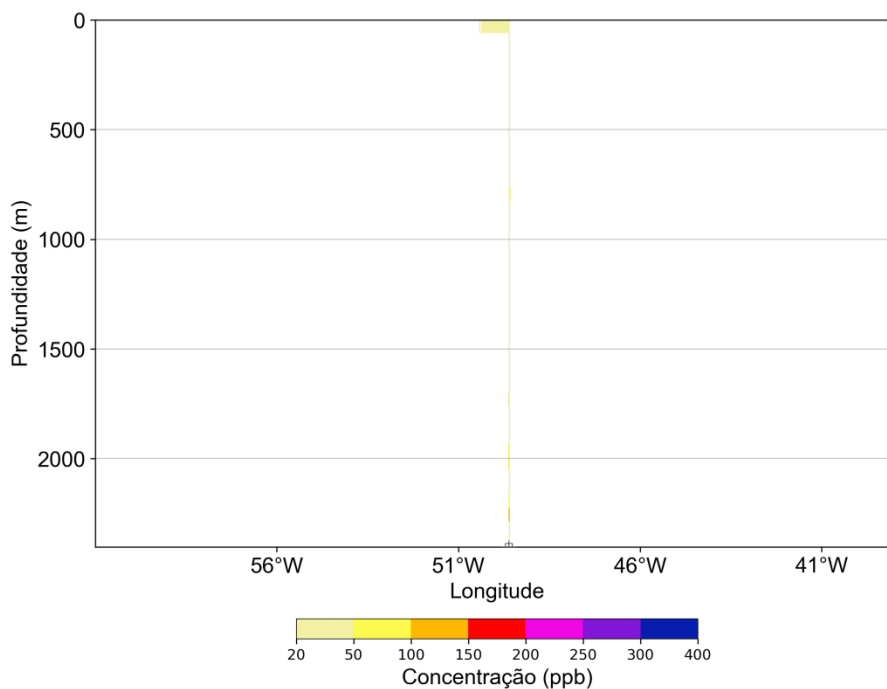
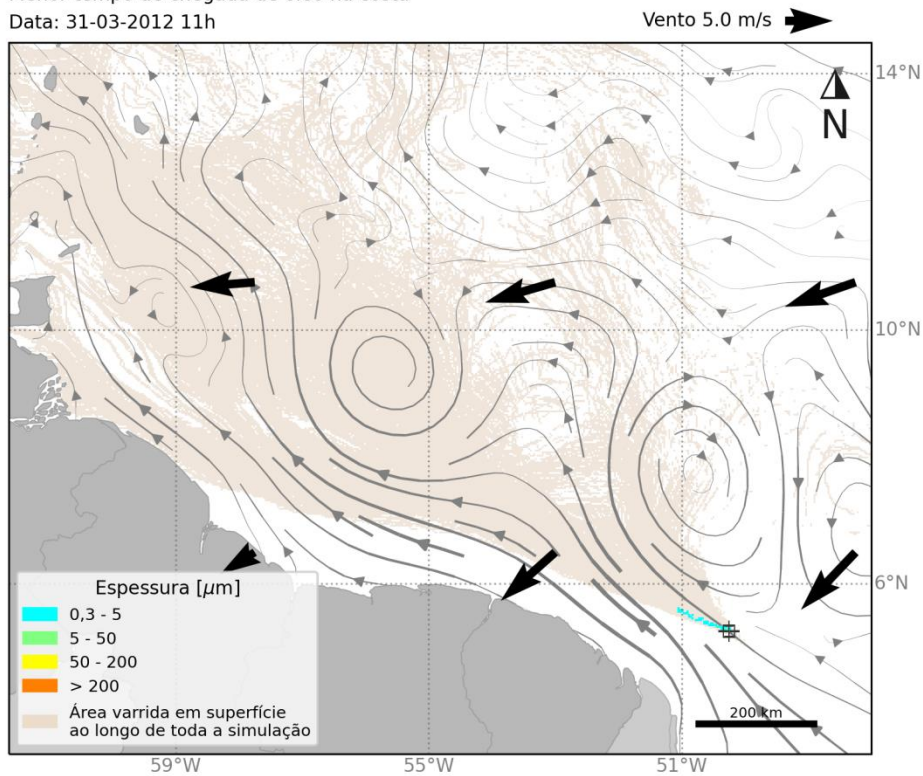


Figura IV.3.2.1-4 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 01-04-2012 11h

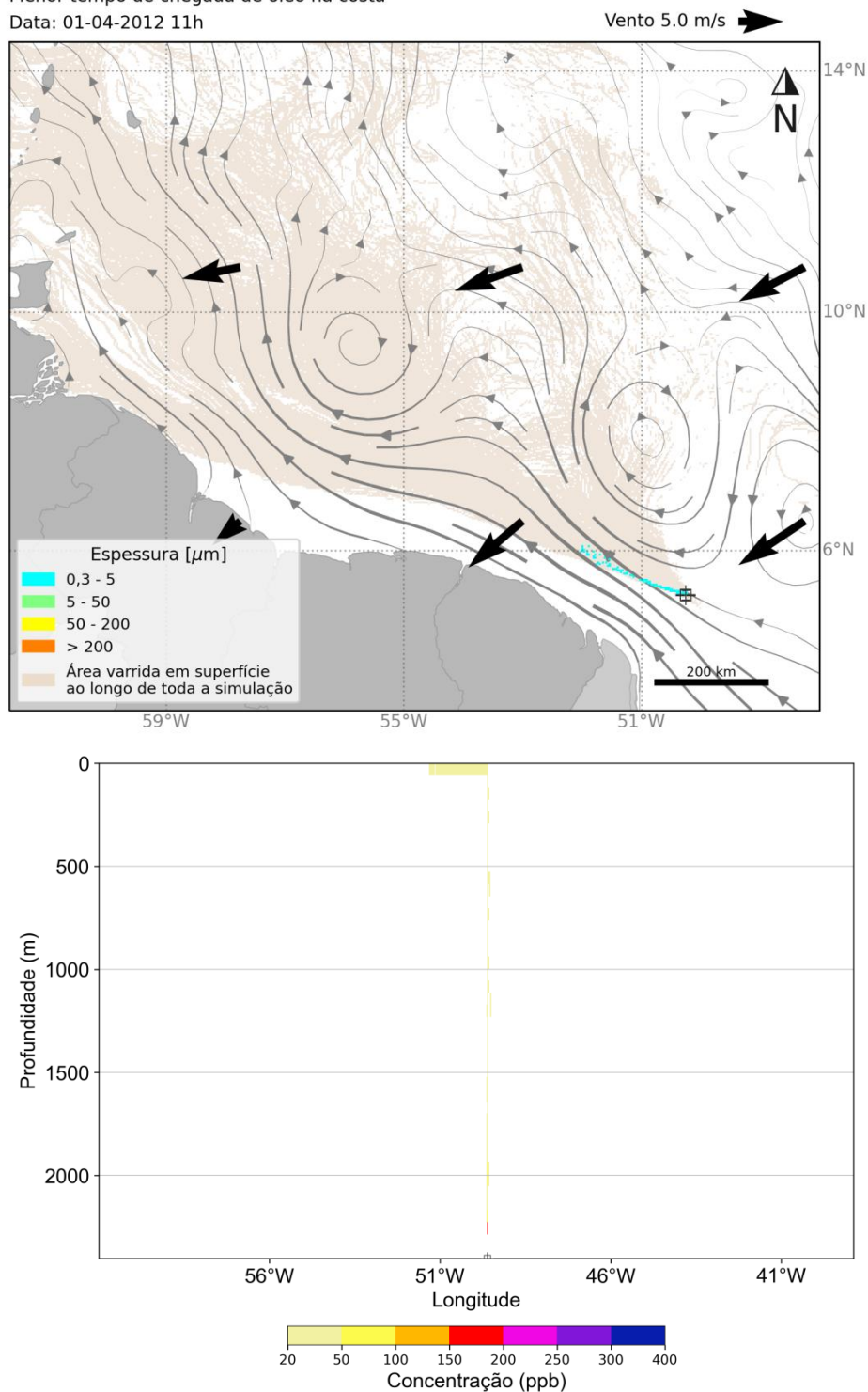


Figura IV.3.2.1-5 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 05-04-2012 23h

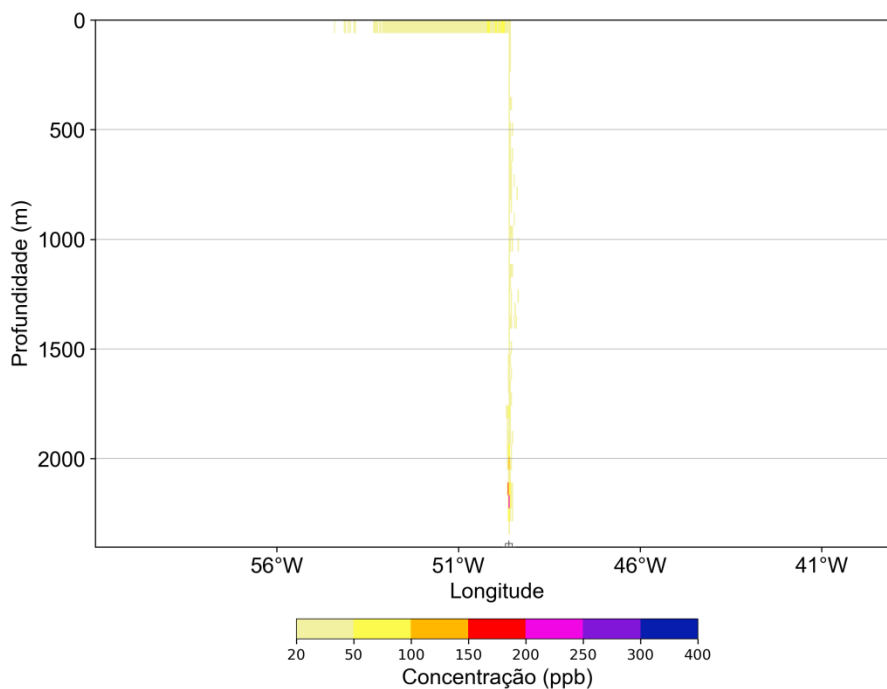
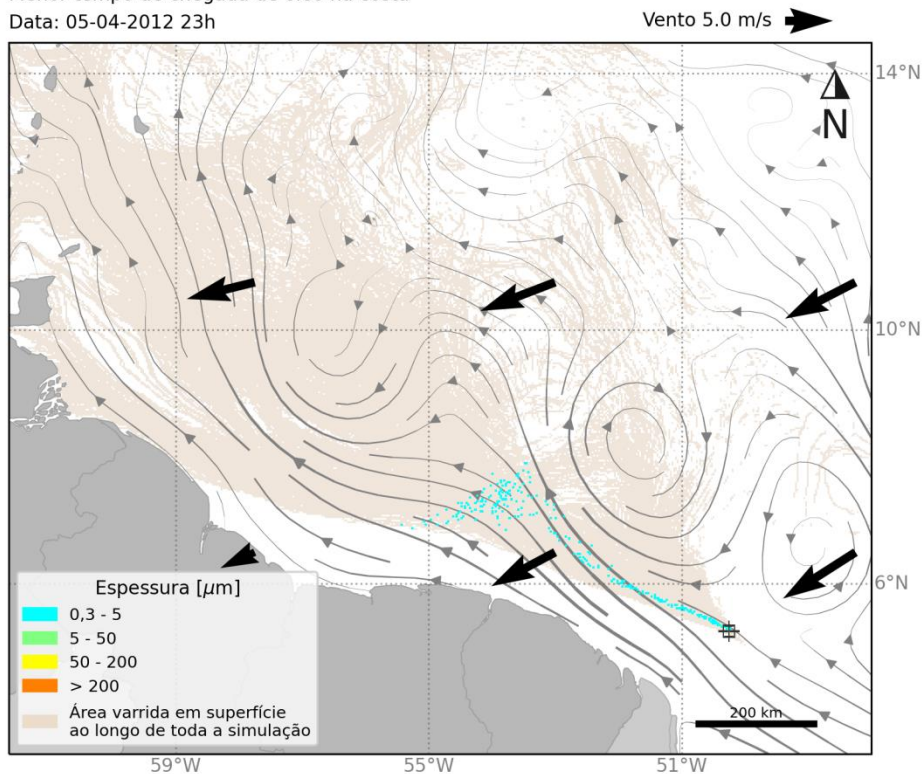


Figura IV.3.2.1-6 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 12-04-2012 23h

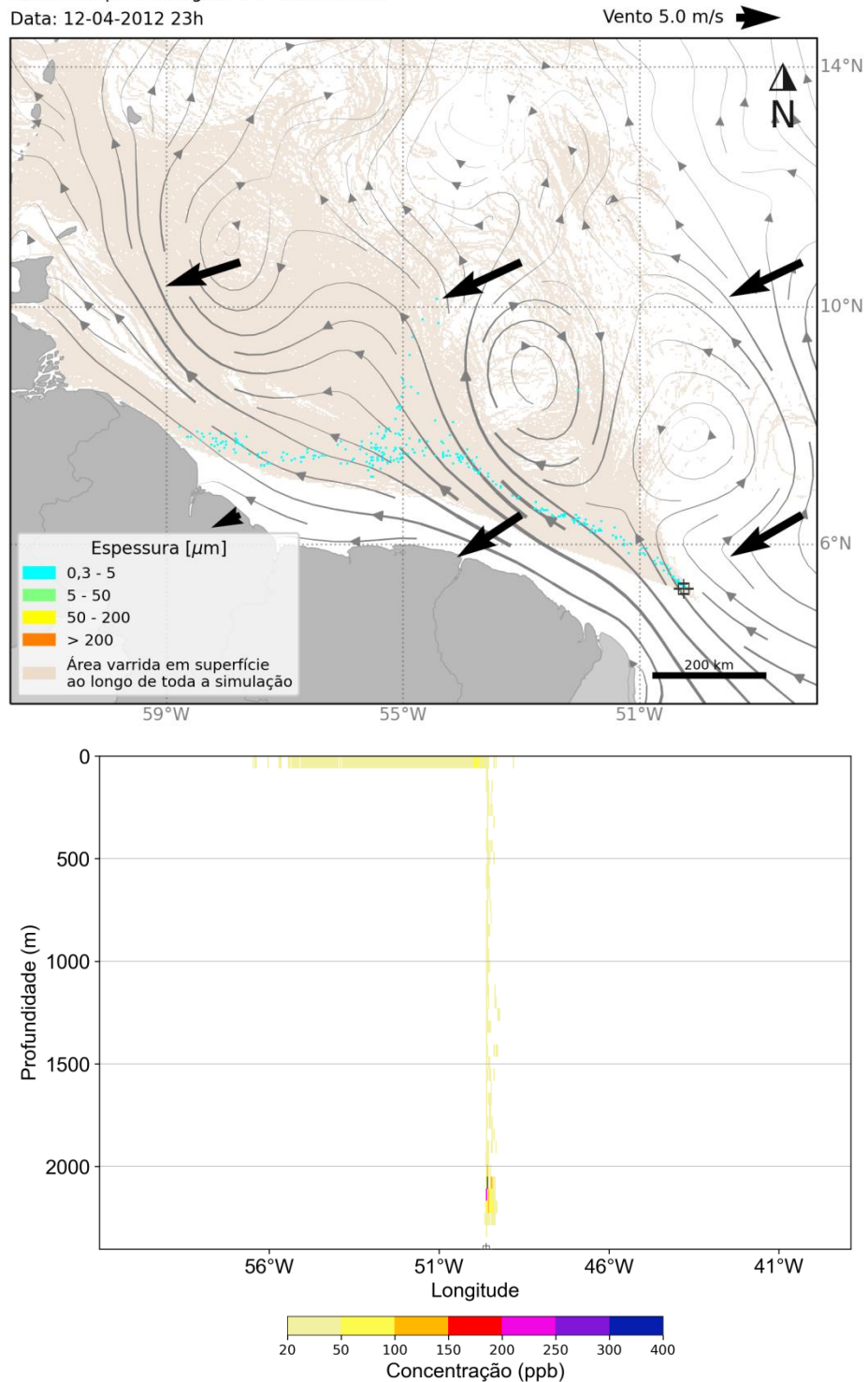


Figura IV.3.2.1-7 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 15-04-2012 03h

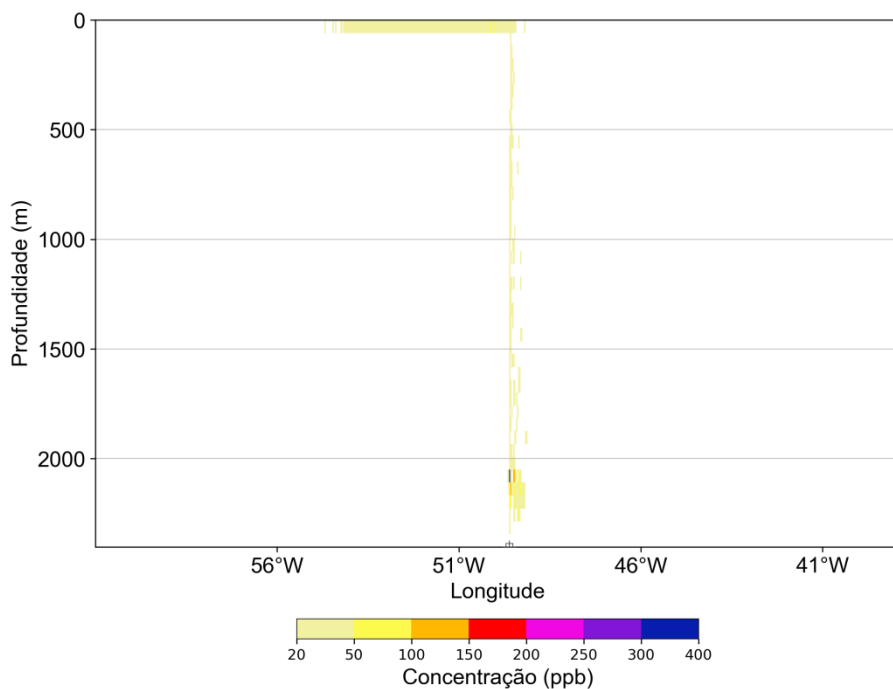
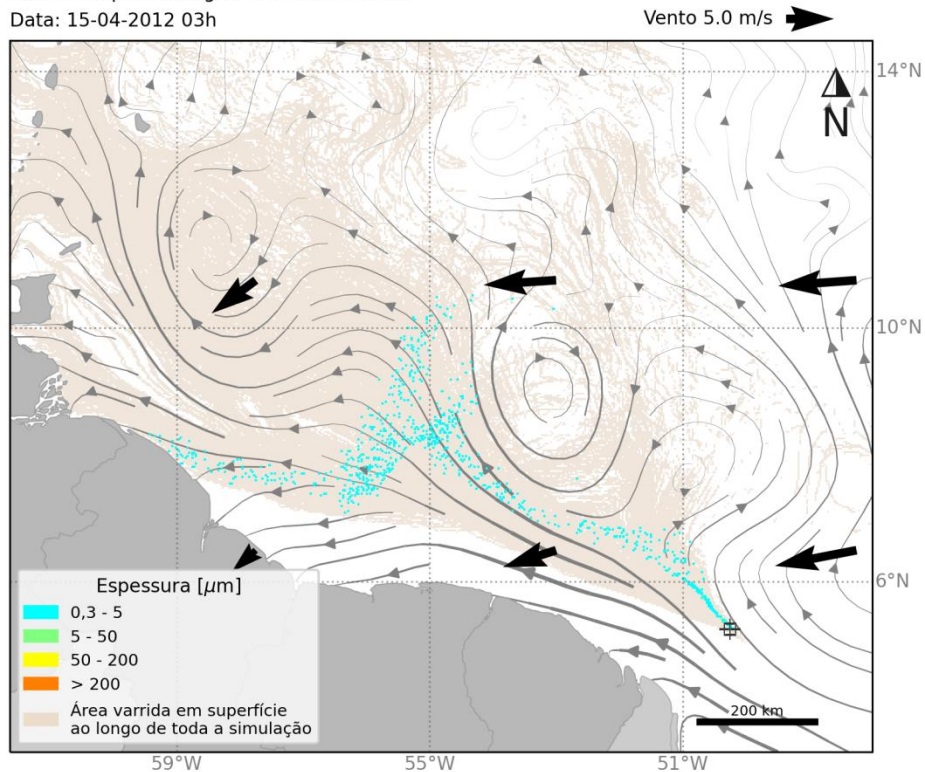


Figura IV.3.2.1-8 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 388 horas (tempo do primeiro toque de óleo na costa) do início do vazamento e concentração total de óleo na coluna d'água. Resultado de espessura em superfície. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 19-04-2012 23h

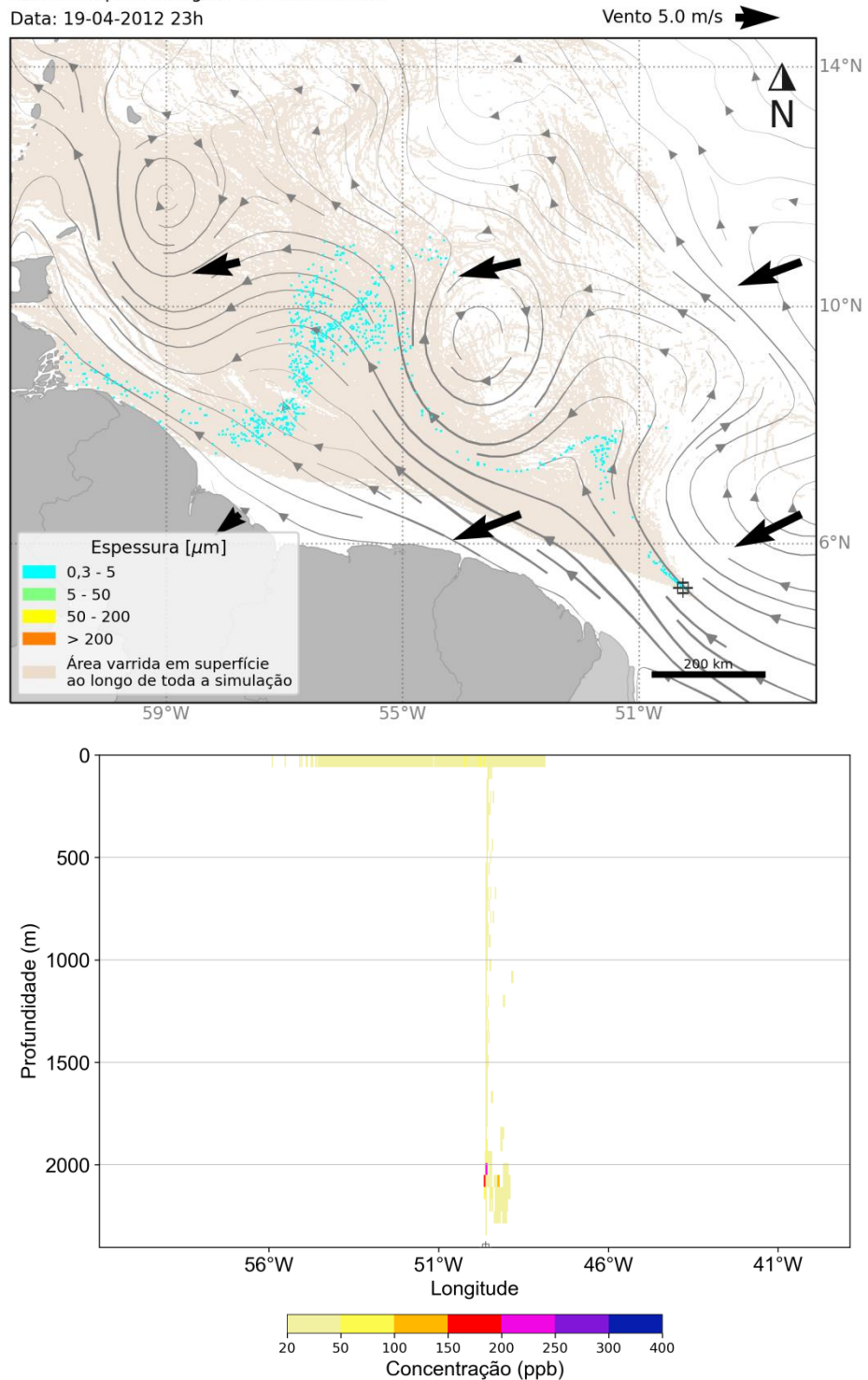


Figura IV.3.2.1-9 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 28-04-2012 23h

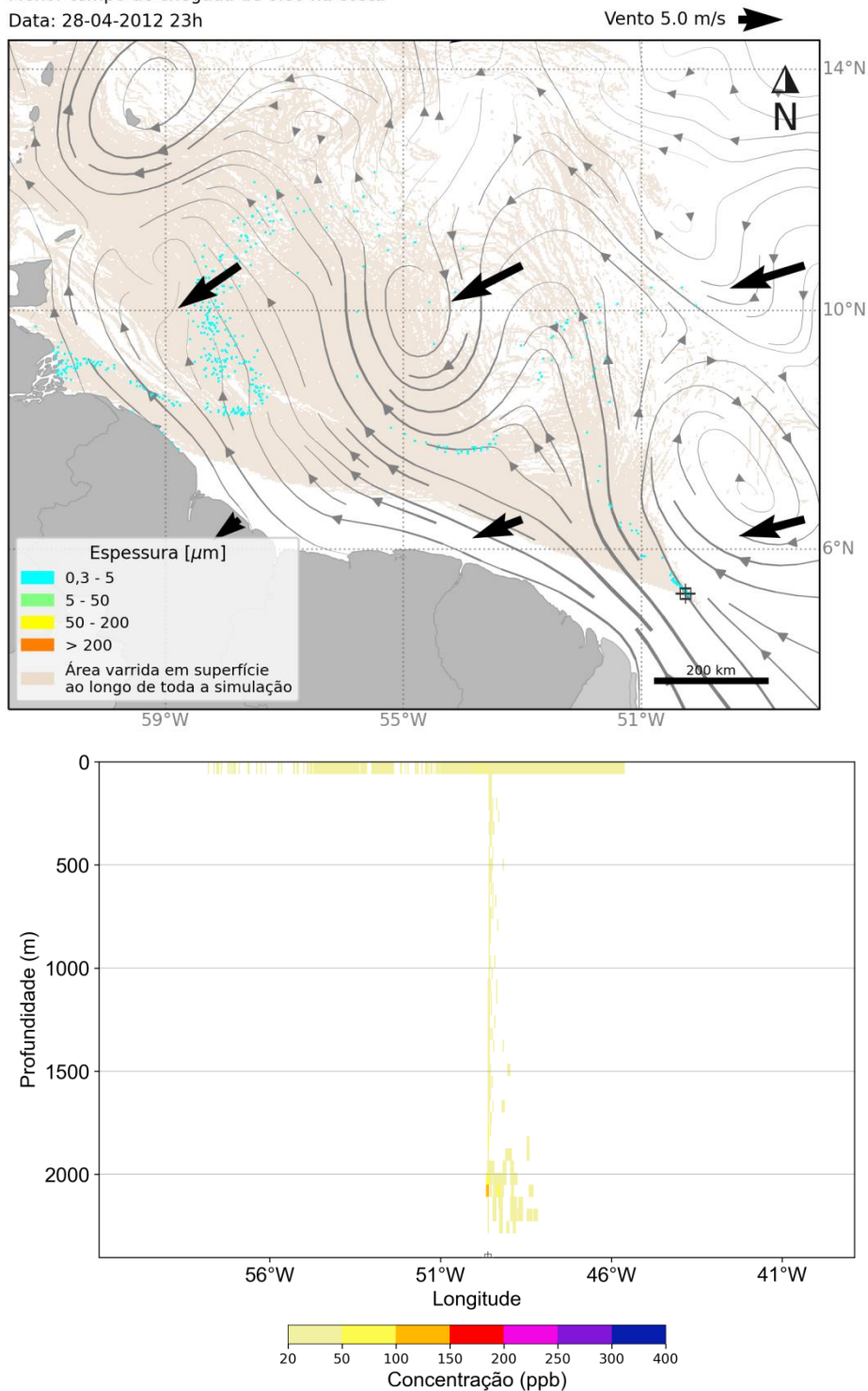


Figura IV.3.2.1-10 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 13-05-2012 23h

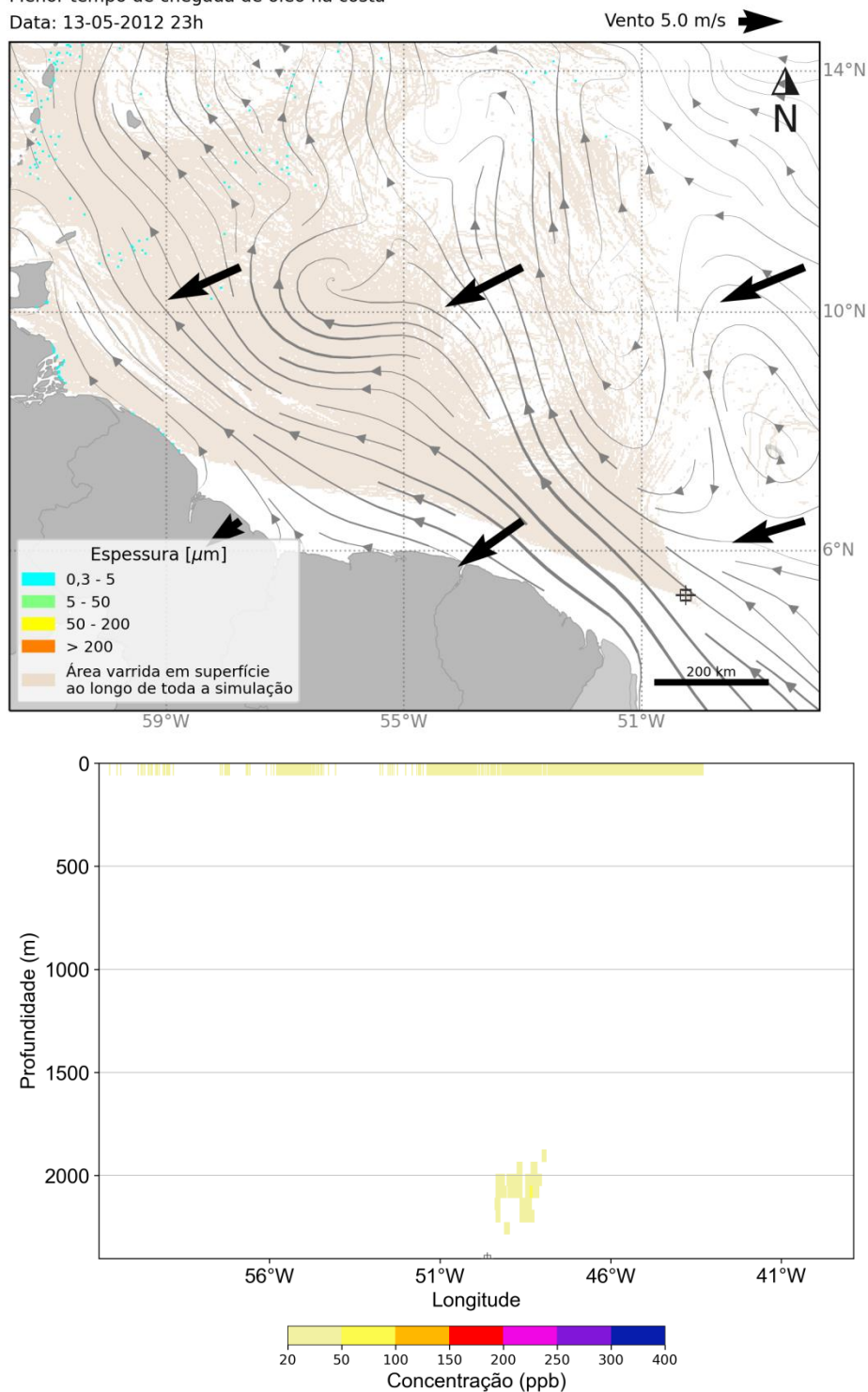


Figura IV.3.2.1-11 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 28-05-2012 23h

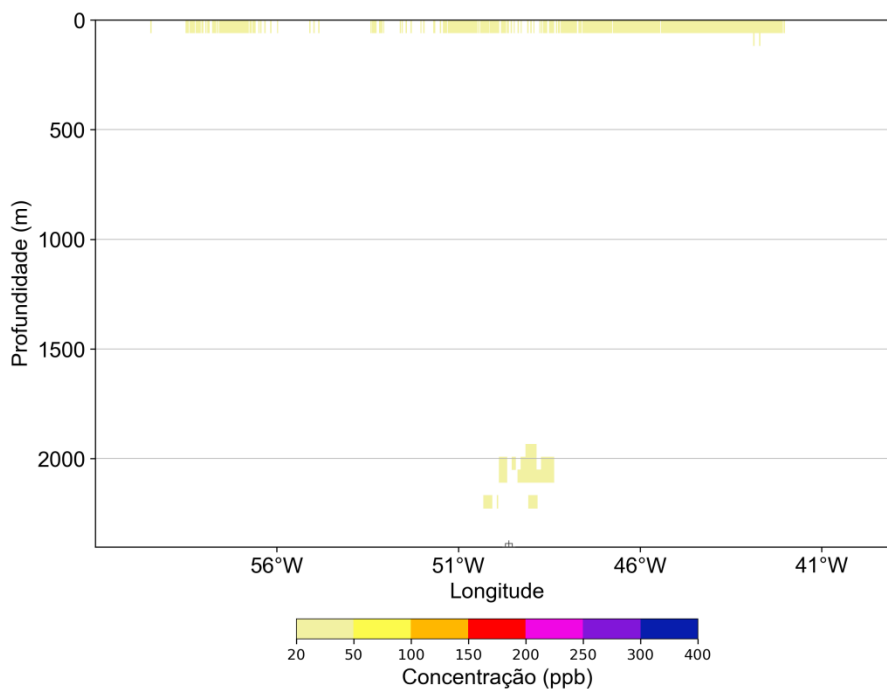
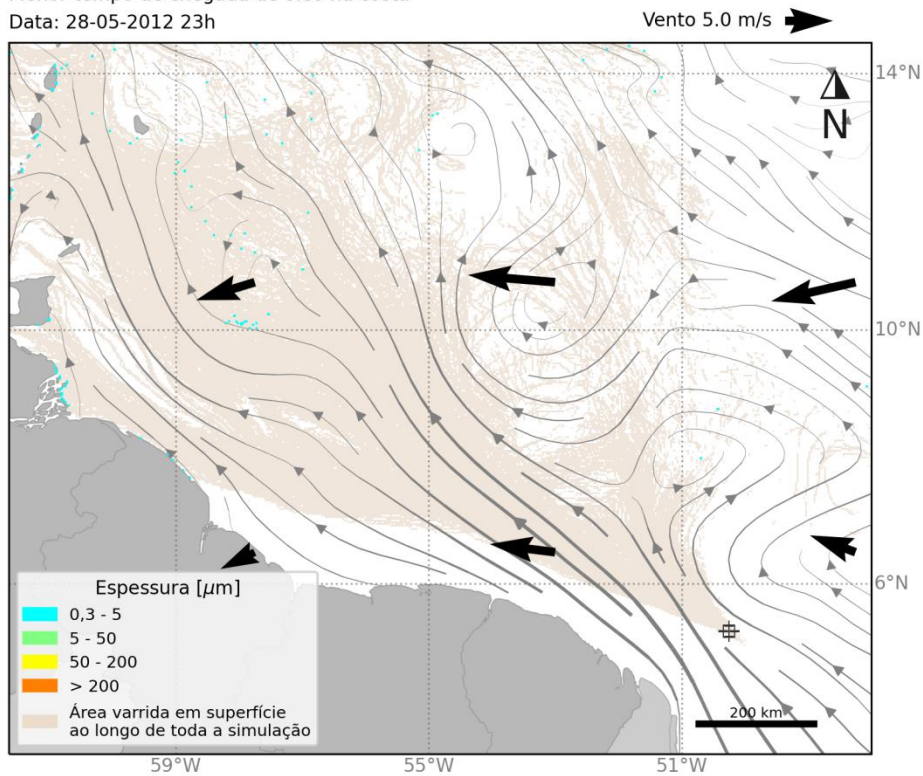


Figura IV.3.2.1-12 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Menor tempo de chegada de óleo na costa

Data: 28-05-2012 23h

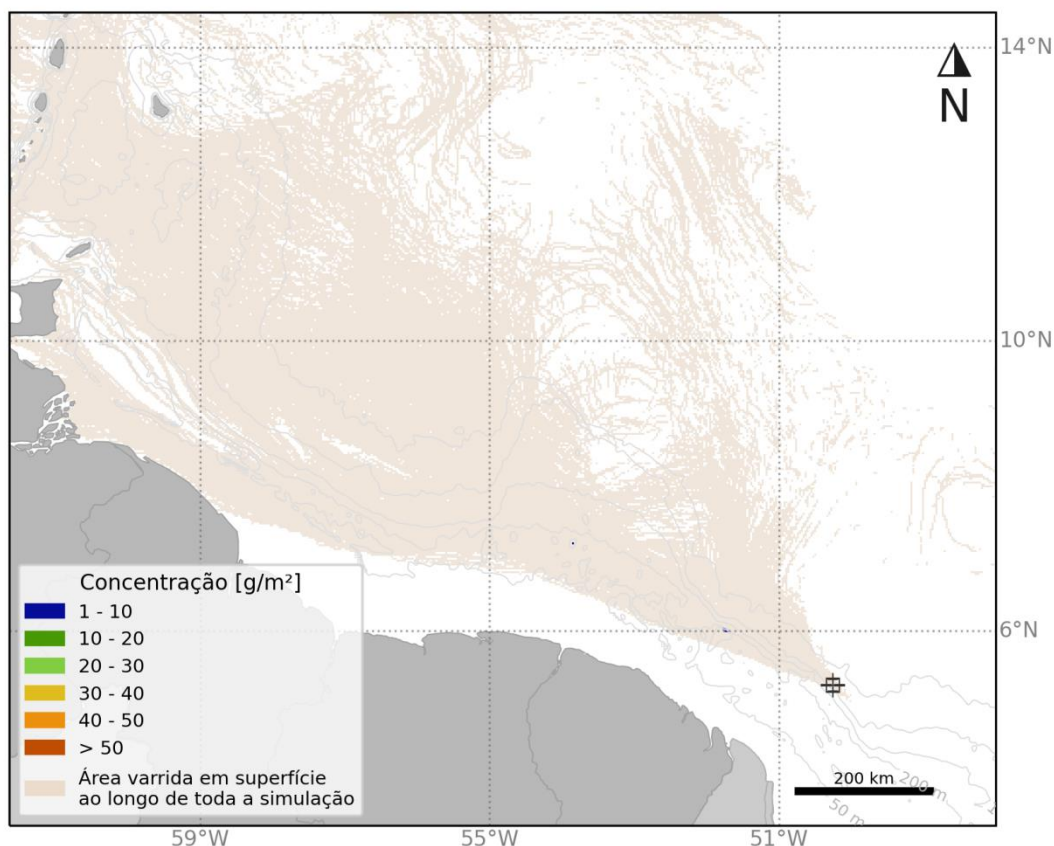


Figura IV.3.2.1-13 - Mapa de concentração de óleo no sedimento no fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 46.742 m³.

A deriva do óleo foi rumo a noroeste do ponto de risco ao longo de toda a simulação, influenciada predominantemente pela CNB. O primeiro toque de óleo na costa foi na Guiana após 16,1 dias do início do vazamento, no entanto após este instante o óleo segue derivando e alcançando regiões mais a oeste e norte, chegando na costa de outras localidades como Venezuela, Trindade e Tobago, Granada, São Vicente e Granadinas, e Santa Lúcia, com uma massa final total de 241 toneladas, equivalente à 0,6% do óleo total vazado. Ao final da simulação, em 60 dias, a porcentagem de óleo remanescente em superfície é de 0,2% do total. Do volume de óleo total cerca de 29% chegou à superfície e foi evaporado ao longo da simulação.

Em relação à coluna d'água, as maiores concentrações foram verificadas abaixo de 2000 metros de profundidade, próximo ao ponto de vazamento, com valores máximos inferiores a 400 ppb. Acima de 2000 m e em todos os tempos, não aparecem valores de concentração superiores a 100 ppb. Após o 45 dias, não são observados valores acima de 50 ppb ao longo da coluna d'água, apesar de 68% do óleo estar disperso.

Em relação ao óleo associado ao fundo marinho, concentrações acima de 1g de óleo/m² ficaram restritas a regiões pontuais rasas. A concentração máxima observada foi inferior a 10 g/m².

A seguir são apresentadas a evolução temporal do balanço de massa do óleo e a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação.

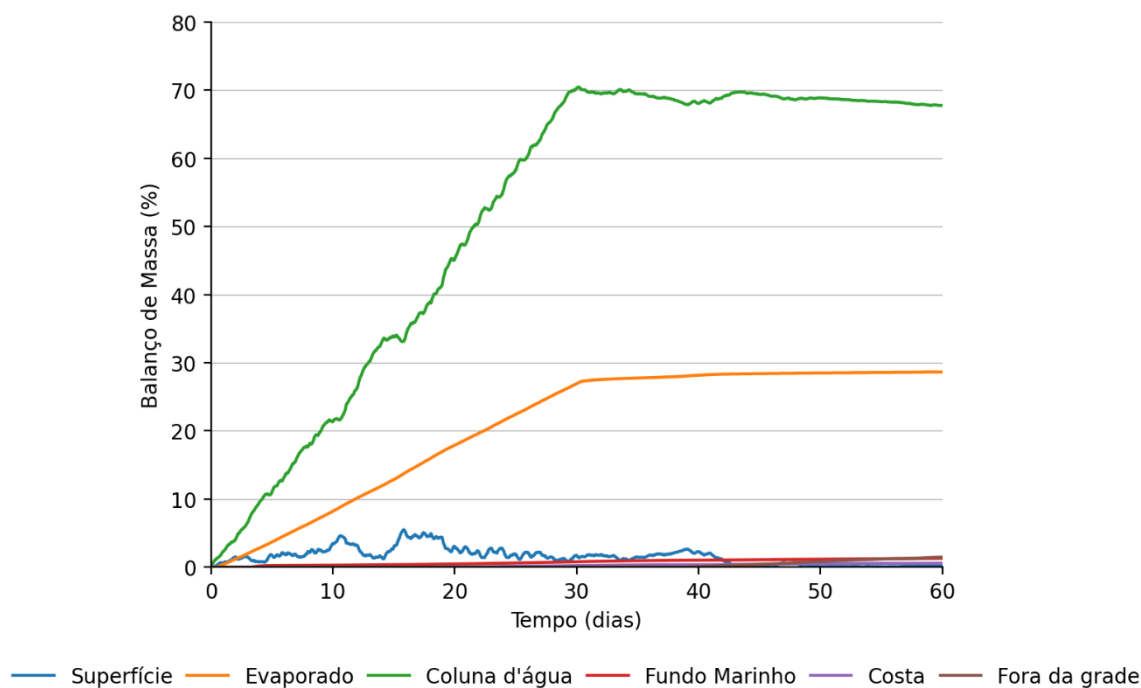


Figura IV.3.2.1-14 - Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de tempo mínimo. Volume de pior caso (46.742 m³).

Tabela IV.3.2.1-5 - Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais em condição crítica de tempo mínimo.

Tempo (horas)	Superfície		Evaporado		Coluna d'água		Fundo Marinho		Costa		Fora da grade	
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)
12	0,3	121,2	0,1	31,3	1,3	531	-	-	-	-	-	-
36	0,9	357,3	0,8	315,1	3,4	1378	-	-	-	-	-	-
60	1,3	541,1	1,6	637	5,5	2239	< 0,05	0,3	-	-	-	-
168	1,8	718,6	5,5	2259	15,8	6483	0,3	107,4	-	-	-	-
336	1,5	608,9	11,9	4887	32,9	13500	0,3	141,8	-	-	-	-
388	4,4	1804	14,1	5786	35	14350	0,4	158,8	-	-	-	-
504	2,8	1165	18,8	7705	47,8	19600	0,5	200	0,1	31,6	-	-
720	1,7	716,2	26,9	11040	70,3	28820	0,8	330,2	0,2	92,5	-	-
1080	0,2	99,6	28,4	11650	69,4	28460	1,1	443,6	0,4	177,6	0,4	173,5
1440	0,2	71,2	28,7	11750	67,8	27790	1,3	534,8	0,6	241,4	1,5	615,5

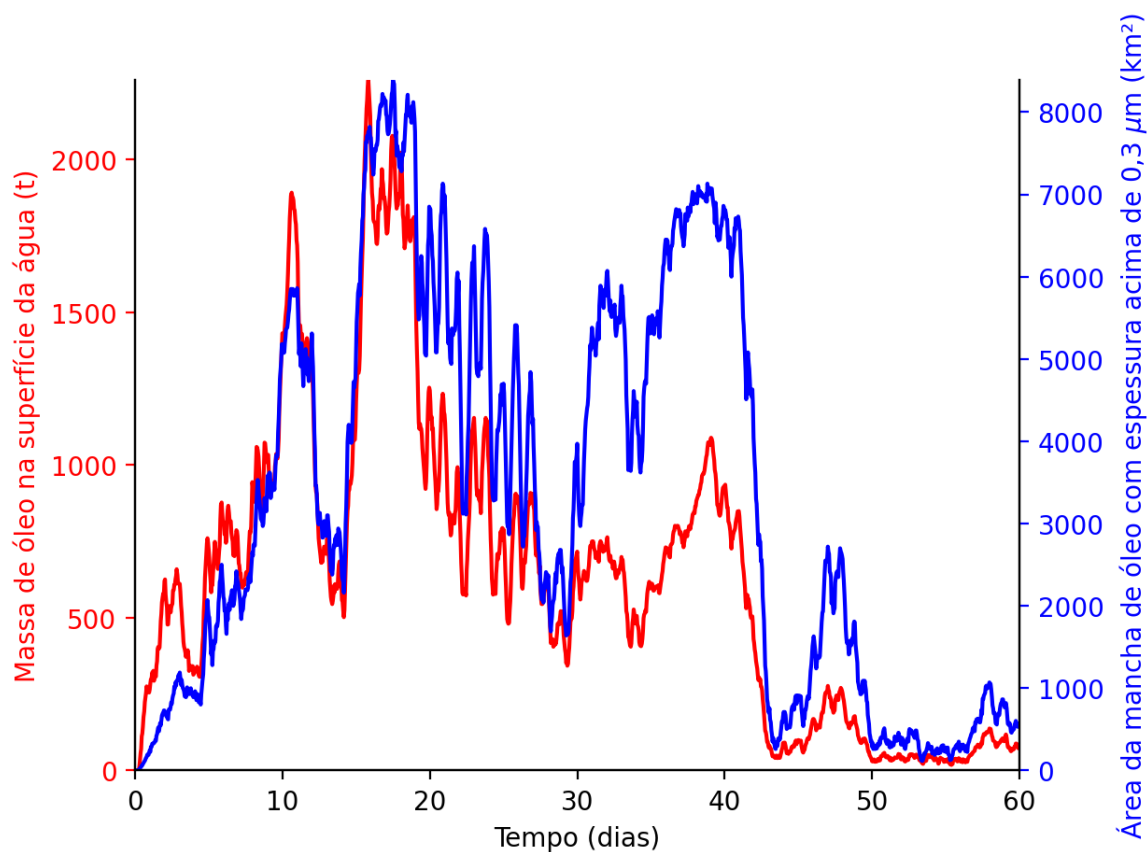


Figura IV.3.2.1-15 - Área em superfície da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica.

Tabela IV.3.2.1-6 - Área em superfície impactada, massa de óleo em superfície e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação.

Tempo (h)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	63	121	6
36	441	357	5
60	810	541	8
168	2270	719	9
336	2560	609	7
388	7240	1804	7
504	6990	1165	3
720	3970	716	4
1080	909	100	1
1440	540	71	1

Quando observado a evolução da área da mancha de óleo em superfície nota-se um crescimento rápido nos primeiros 12 dias de simulação e em seguida oscilações e aumentos a medida que o óleo deriva e se espalha em superfície. Em relação à massa de óleo na superfície, esta segue o padrão da evolução da área, diminuindo após 30 dias, em função do término do vazamento, somado ao acúmulo de óleo na costa e dos processos de intemperismo (principalmente evaporação).

As espessura de óleo máximas ficam de maneira geral inferiores a 10 µm ao longo da simulação.

IV.3.2.2. Maior massa de óleo acumulada na costa

A seguir são apresentadas informações relacionadas aos ventos e correntes do período simulado, que se estendeu por 60 dias, de 30/09/2016 às 3h até 29/11/2016 às 3h. Os valores estão relacionados ao ponto de grade mais próximo do local do vazamento.

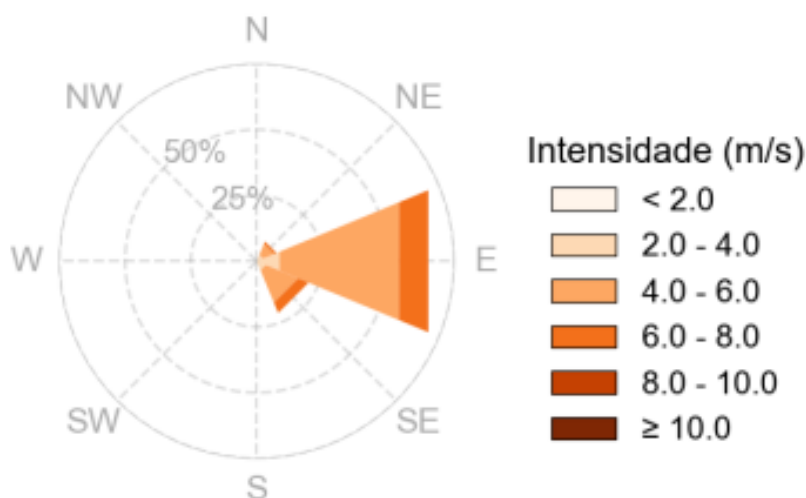


Figura IV.3.2.2-1 - Rosa dos ventos para o período de simulação crítica de maior massa.

Tabela IV.3.2.2-1 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade dos ventos do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de maior massa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
< 2	-	8	2	3	-	-	-	-	0,9
2 - 4	-	30	134	51	-	-	-	-	14,9
4 - 6	-	65	707	192	1	-	-	-	67
6 - 8	-	14	173	61	-	-	-	-	17,2
8 - 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Freq. (%)	-	8,1	70,5	21,3	0,1	-	-	-	-

Tabela IV.3.2.2-2 - Estatística do vento para o período da condição crítica de maior massa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín. (m/s)	Vel Máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
97	97	5,0	1,3	7,8	1,1

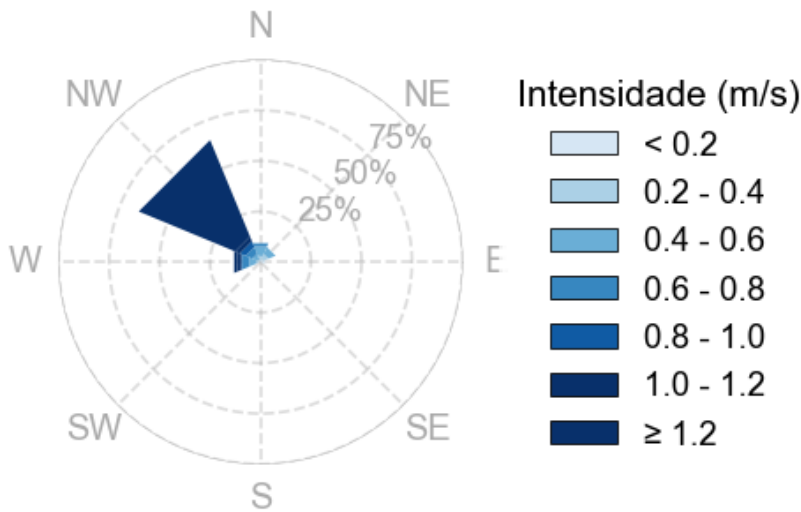


Figura IV.3.2.2-2 - Rosa de corrente para o período de simulação crítica de maior massa.

Tabela IV.3.2.2-3 - Ocorrência conjunta entre direção e intensidade de corrente do ponto mais próximo do local do vazamento para a simulação crítica de maior massa.

Direção ->	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Freq. (%)
Intensidade (m/s)									
< 0,2	4	10	18	-	-	-	8	8	6,7
0,2 - 0,4	19	21	-	-	-	-	8	3	7,1
0,4 - 0,6	36	27	-	-	-	-	27	21	15,4
0,6 - 0,8	13	-	-	-	-	-	28	26	9,3
0,8 - 1,0	-	-	-	-	-	-	4	22	3,6
1,0 - 1,2	-	-	-	-	-	-	14	18	4,4
≥ 1,2	-	-	-	-	-	-	13	372	53,5
Freq (%)	10	8,1	2,5	-	-	-	14,2	65,3	-

Tabela IV.3.2.2-4 - Estatística de corrente para o período da condição crítica de maior massa.

Direção média (°)	Direção de maiores intensidades (°)	Vel. Média (m/s)	Vel. Mín (m/s)	Vel. máx. (m/s)	Desvio padrão (m/s)
322	326	1,1	0,0	1,7	0,5

Pelos dados de vento no período da simulação, ocorre a predominância de ventos de E (70,5%), seguidos de ventos de SE (21,3%) ao longo dos 60 dias. Em

relação às intensidades, há predominância de ventos entre 4 e 8 m/s (84% somados). As informações de correntes mostram que a direção preferencial das correntes no ponto de risco é para noroeste (65,3%) e a maior porcentagem das correntes apresenta intensidades maiores que 1,2 m/s (53,5%).

A seguir, é apresentada a deriva do óleo em superfície, além da área varrida pela mancha (em amarelo claro nas figuras) durante toda a simulação.

Também é 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/m² (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

Data: 30-09-2016 15h

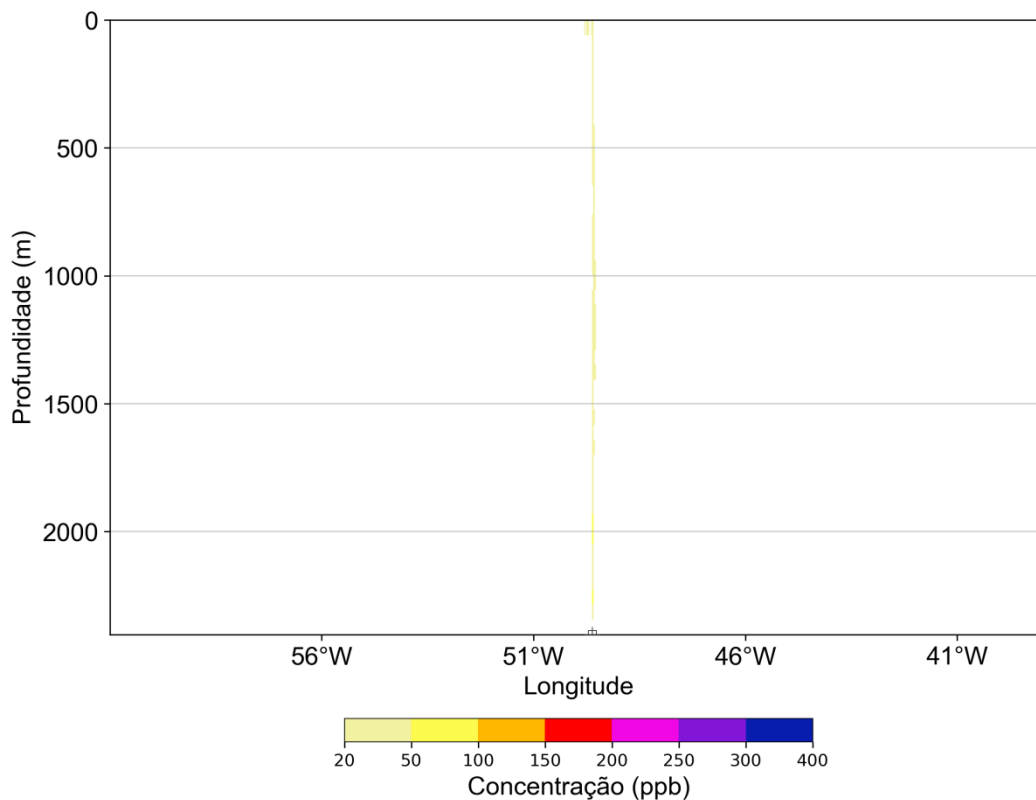
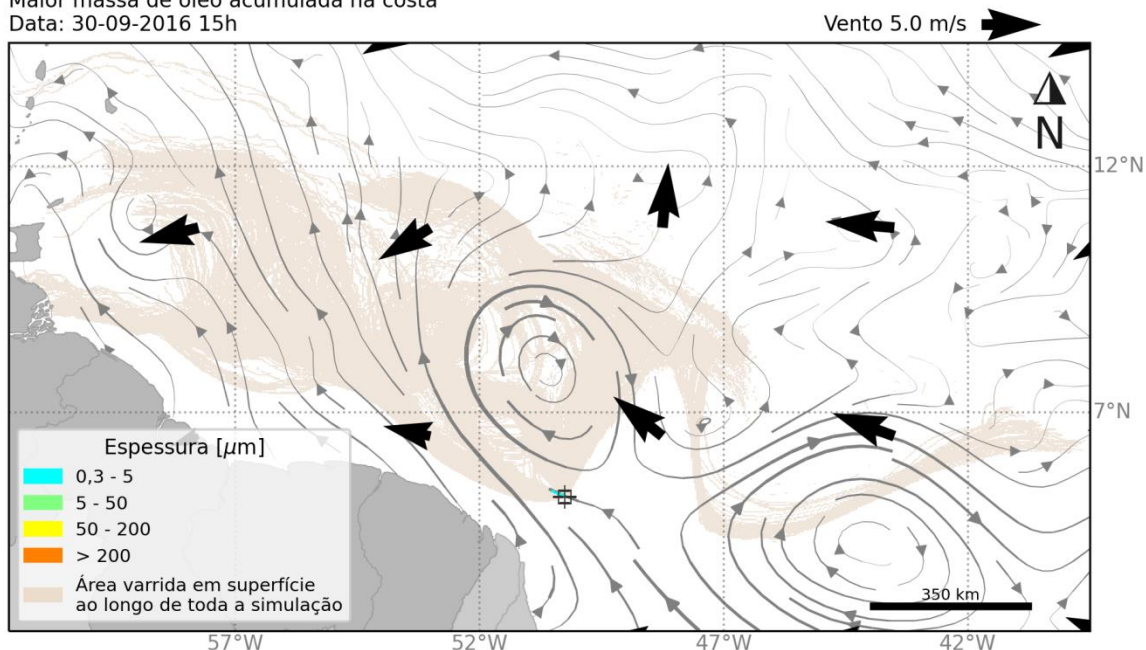


Figura IV.3.2.2-3 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 12 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 01-10-2016 15h

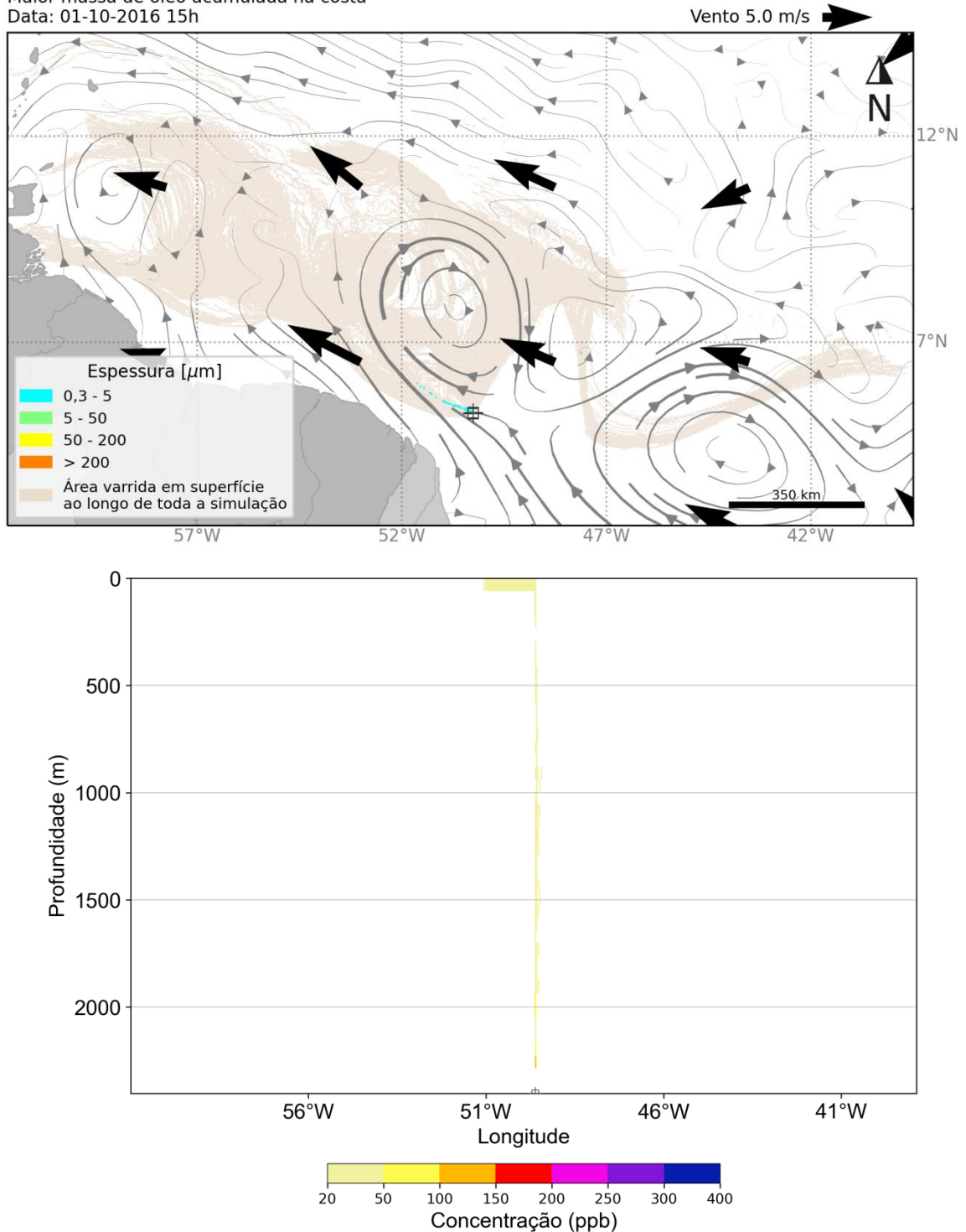


Figura IV.3.2.2-4 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 36 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 02-10-2016 15h

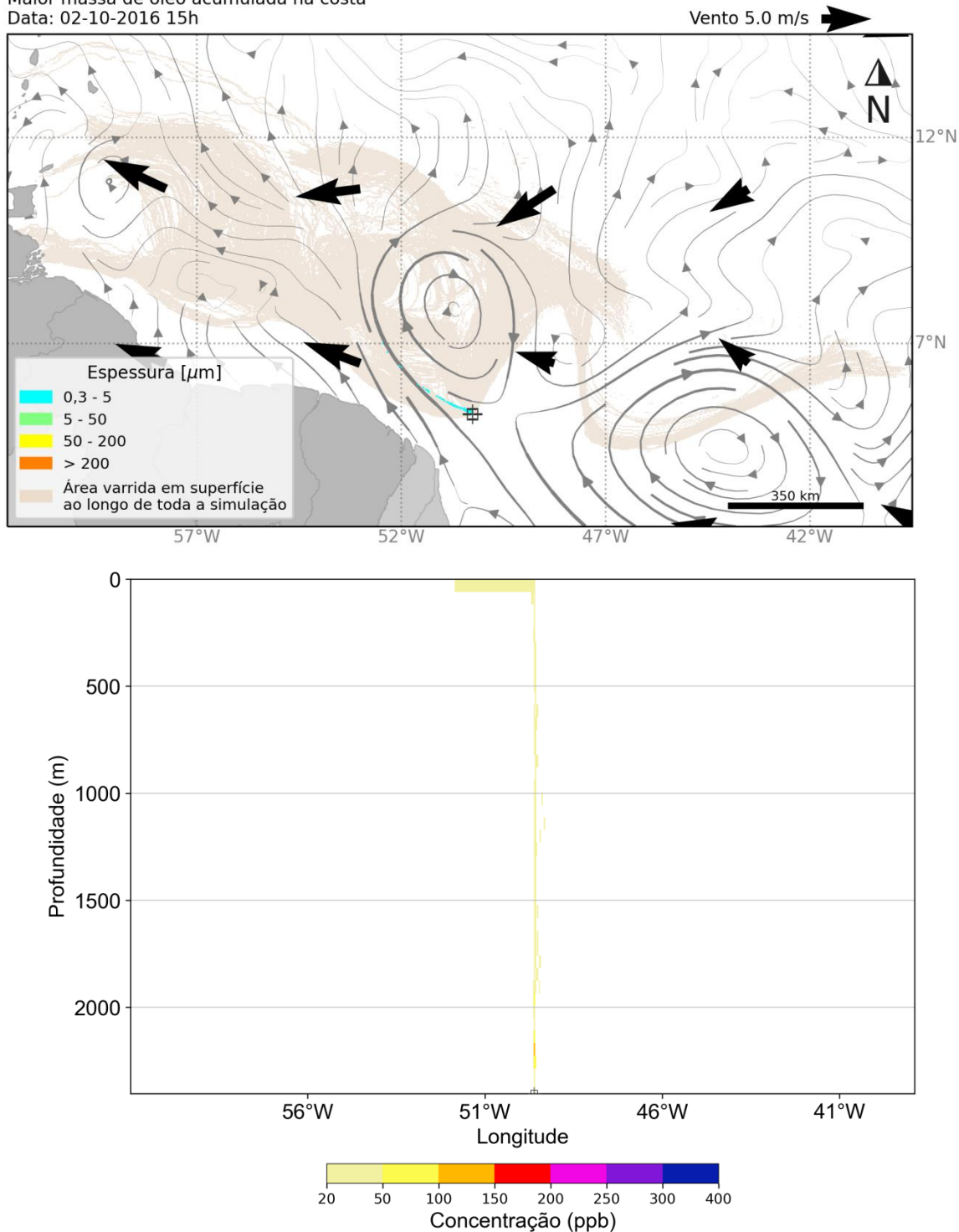


Figura IV.3.2.2-5 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 60 horas do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 07-10-2016 03h

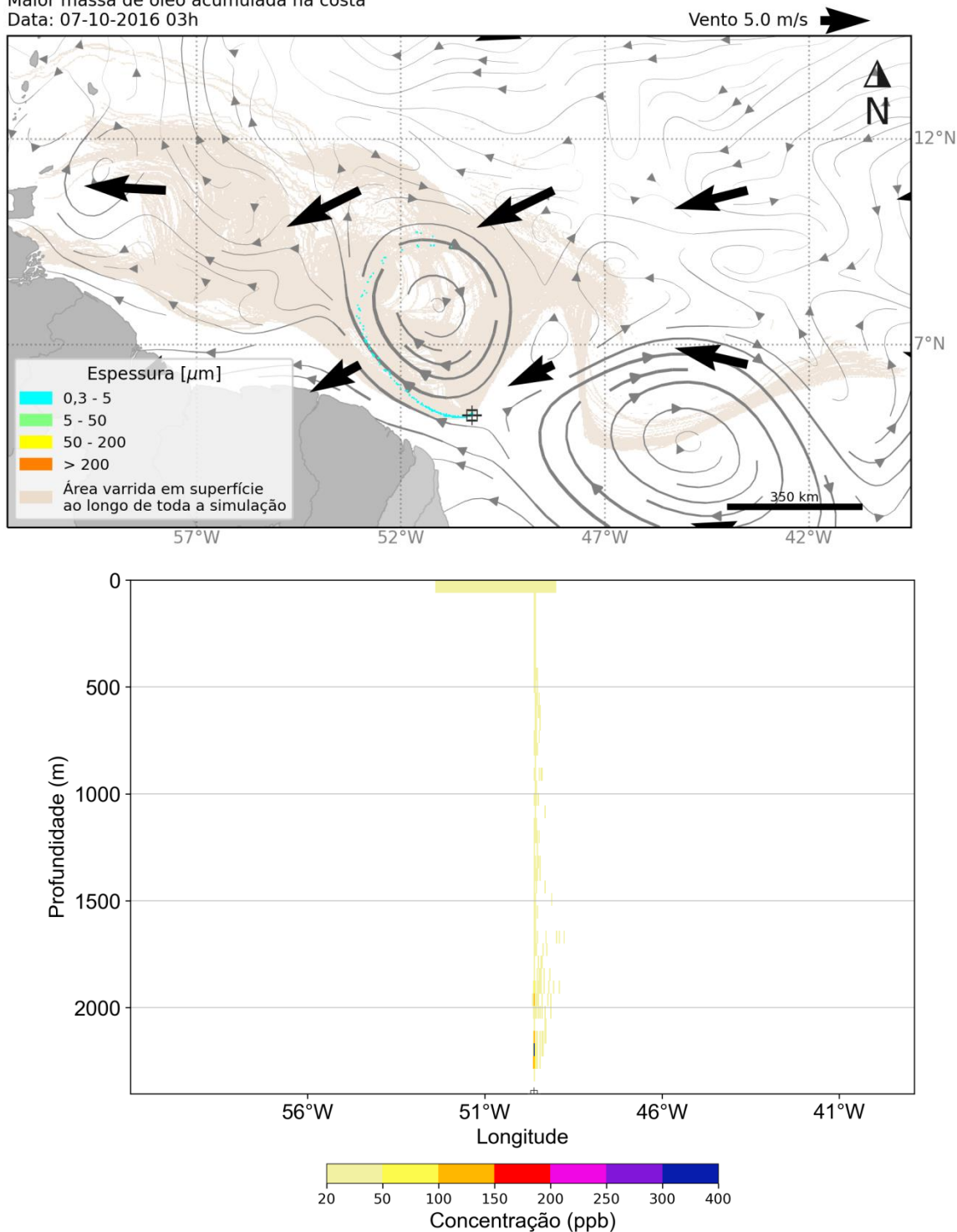


Figura IV.3.2.2-6 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 168 horas (1 semana) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 14-10-2016 03h

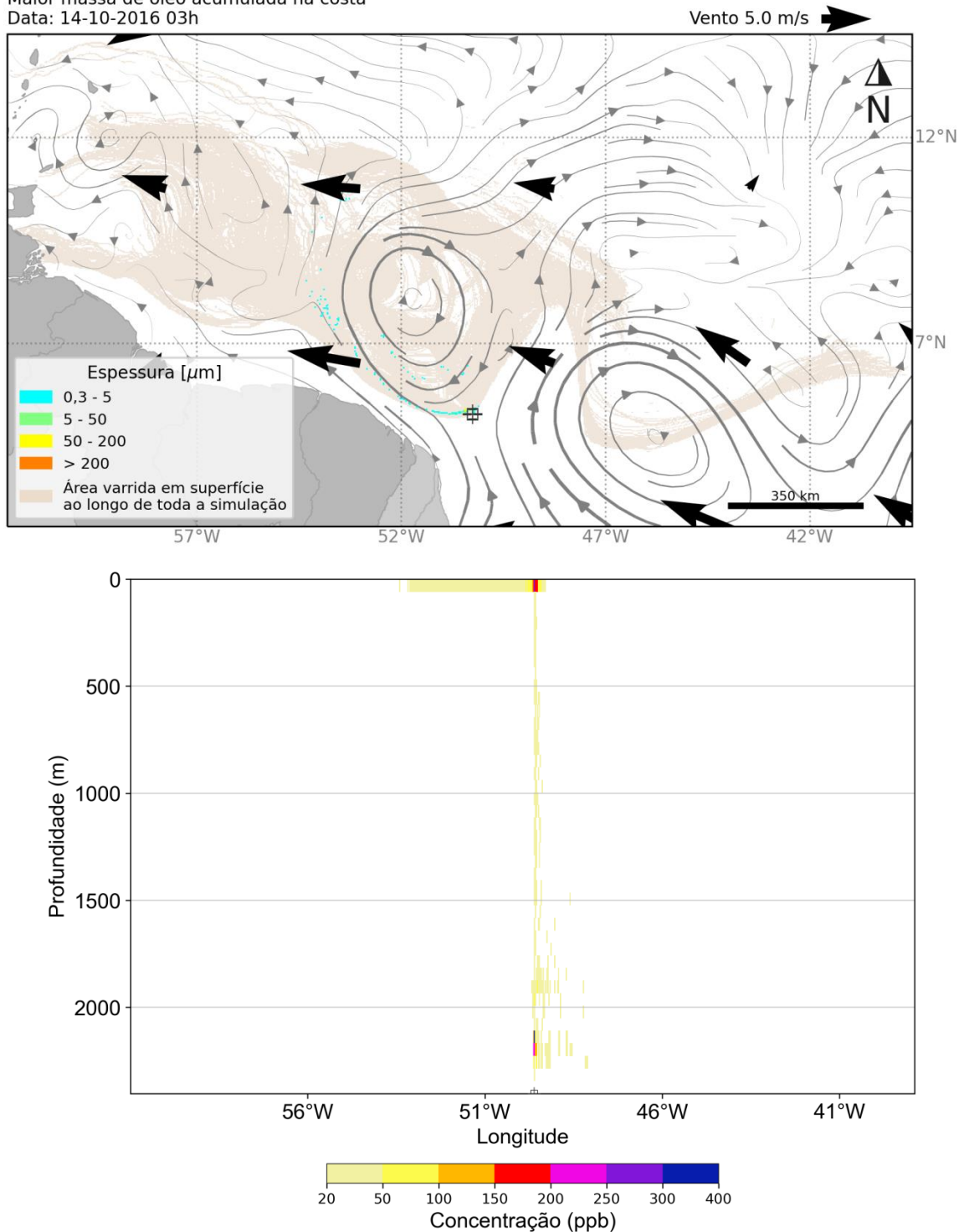


Figura IV.3.2.2-7 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 336 horas (2 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 21-10-2016 03h

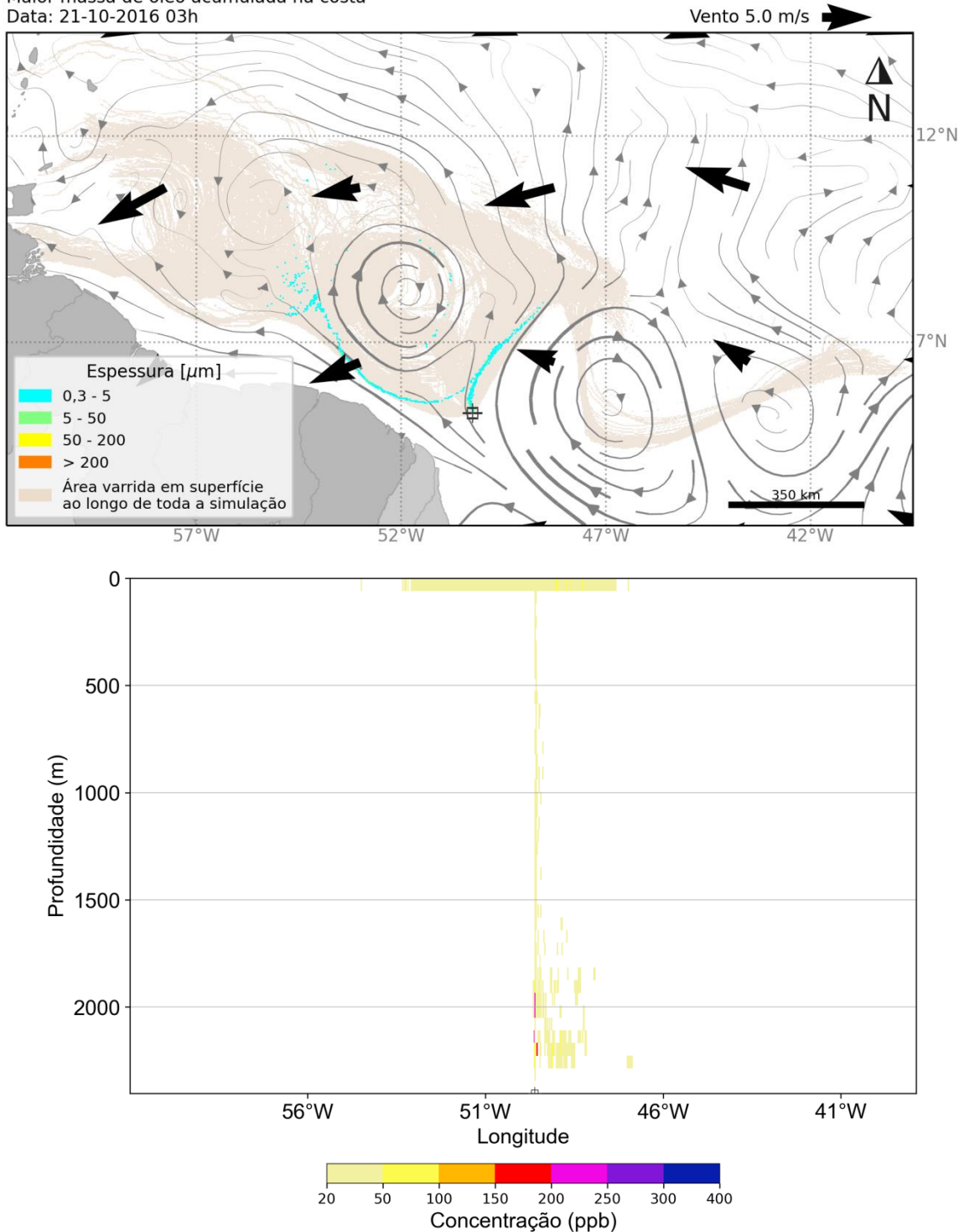


Figura IV.3.2.2-8 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 504 horas (3 semanas) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 30-10-2016 03h

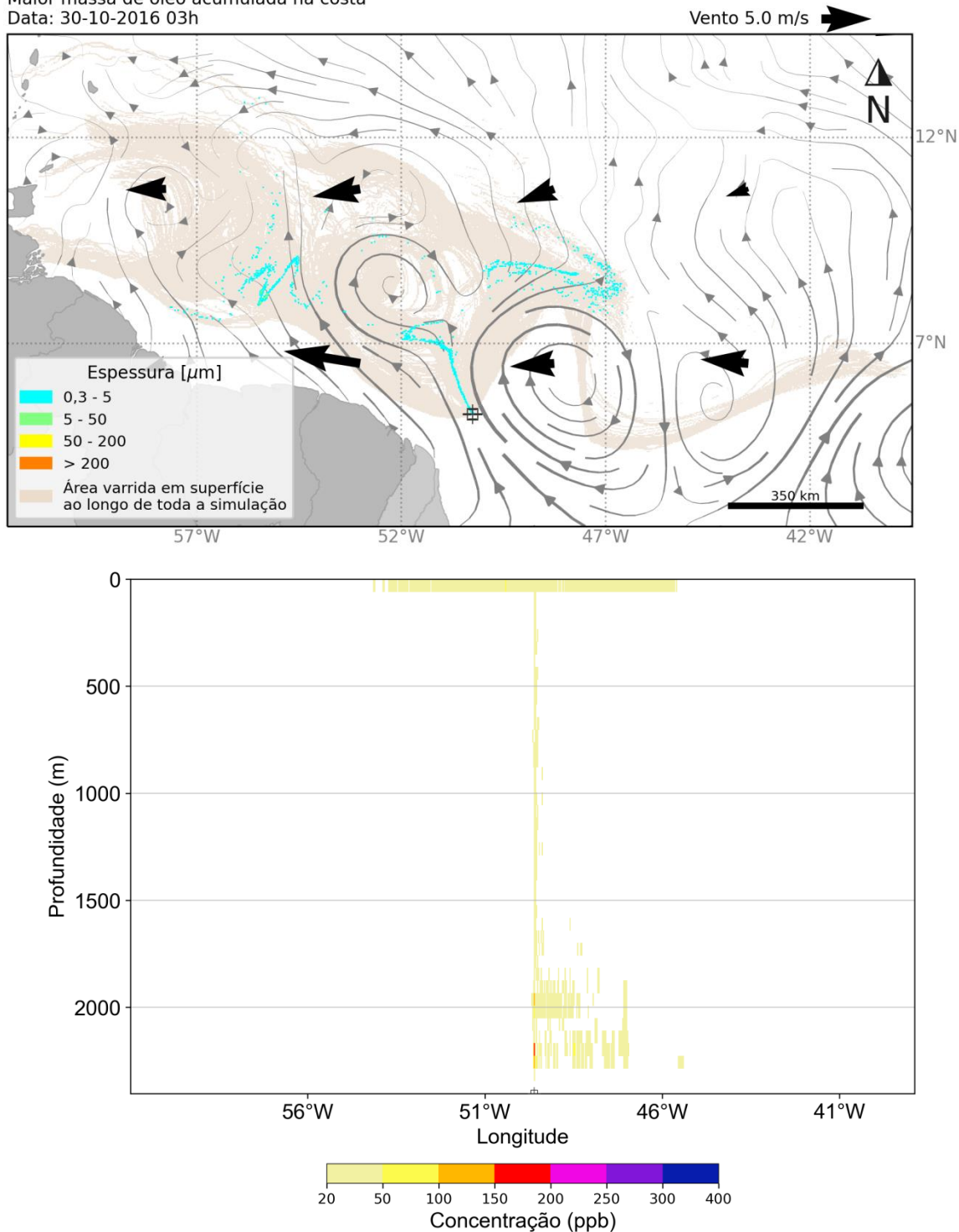


Figura IV.3.2.2-9 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 720 horas (30 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 14-11-2016 03h

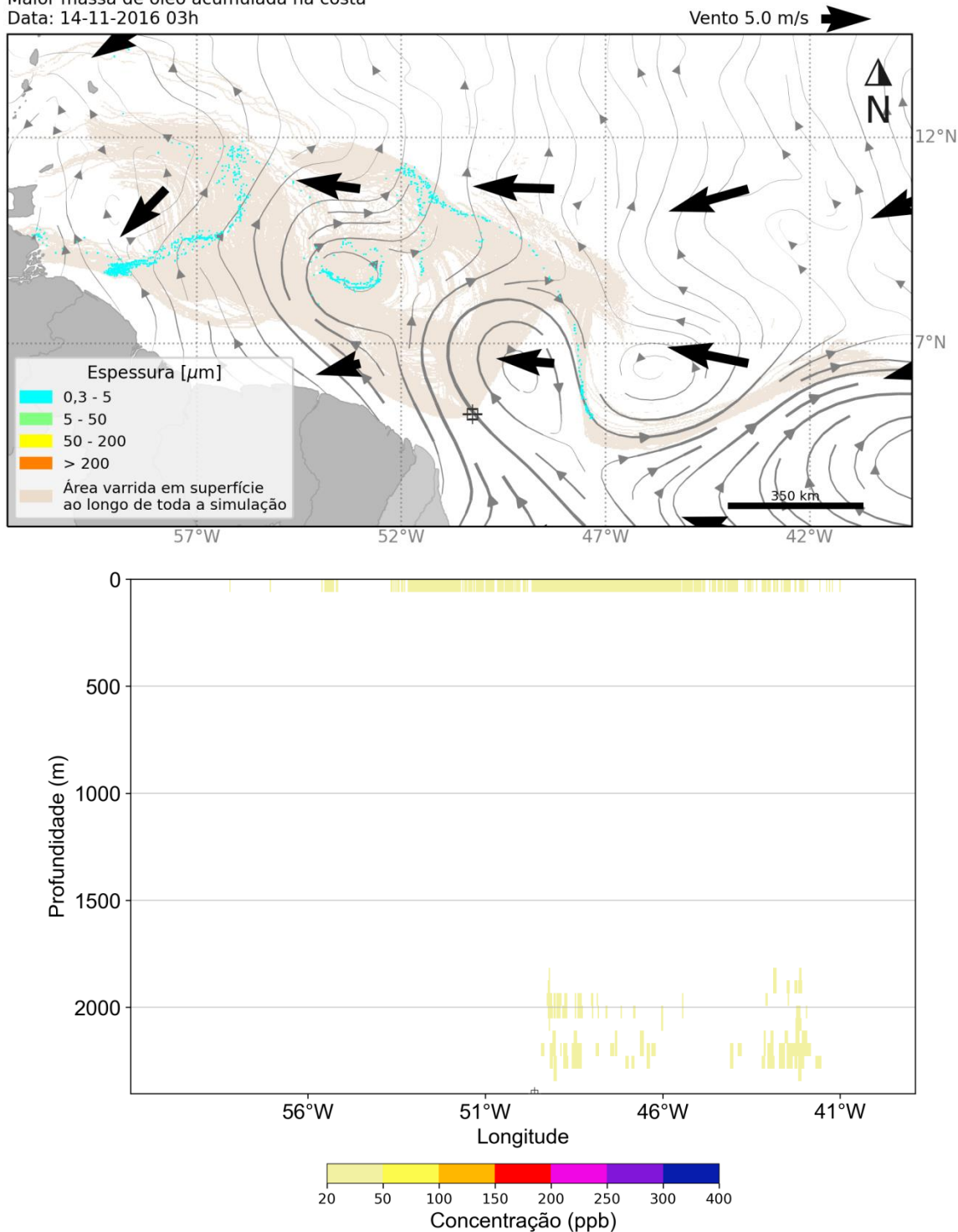


Figura IV.3.2.2-10 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após 1080 horas (45 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO

Maior massa de óleo acumulada na costa

Data: 29-11-2016 03h

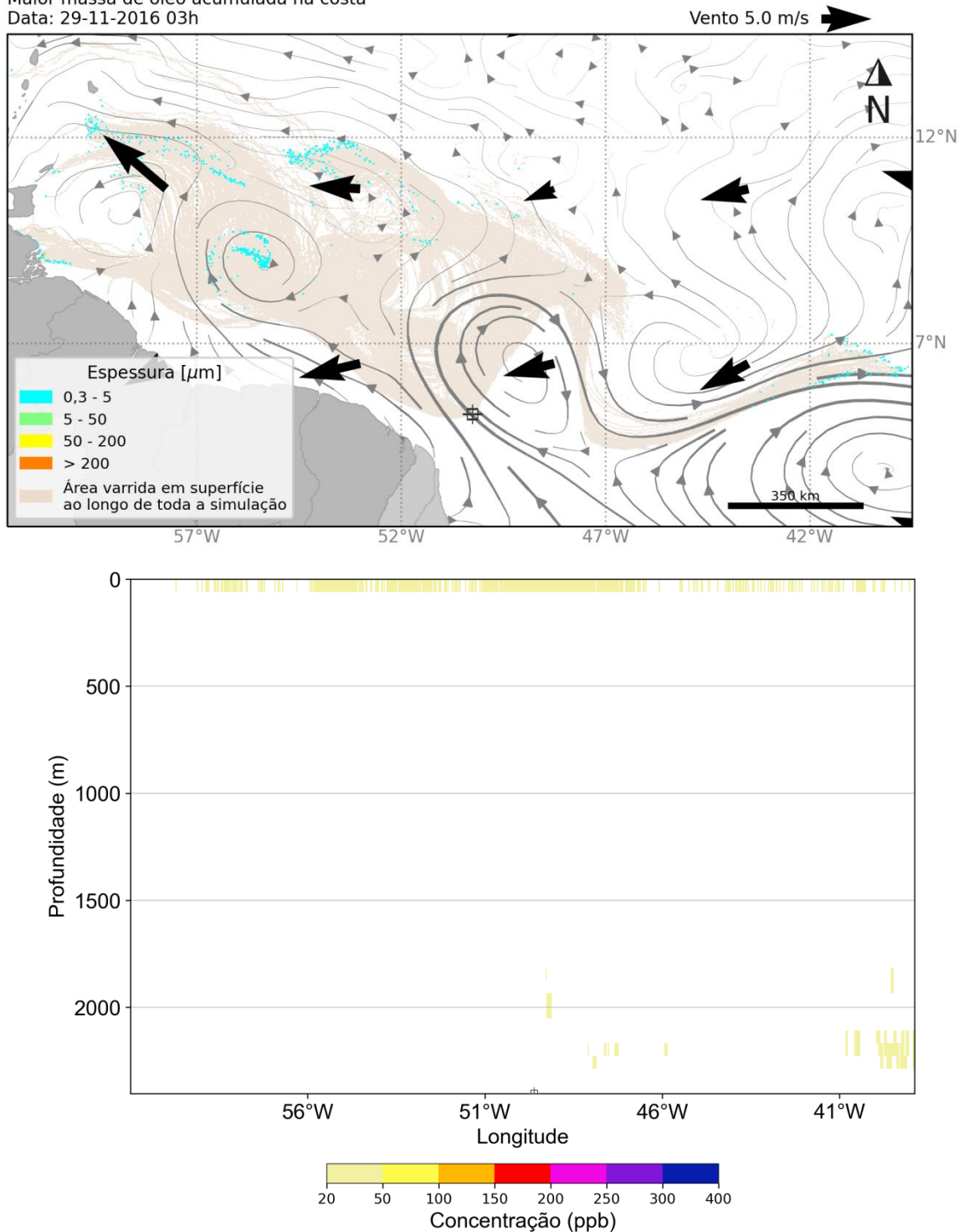


Figura IV.3.2.2-11 - Resultado da simulação determinística em condição crítica de maior massa, após após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Resultado de espessura em superfície e concentração total de óleo na coluna d'água. Vazamento de 46.742 m³.

MODO DETERMINÍSTICO
Maior massa de óleo acumulada na costa
Data: 29-11-2016 03h

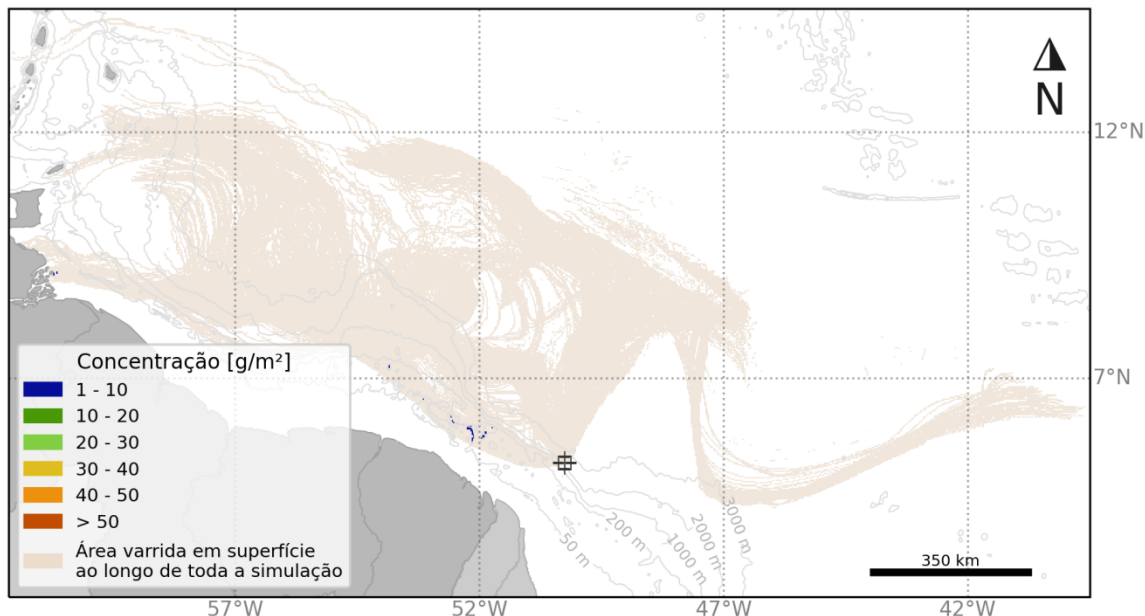


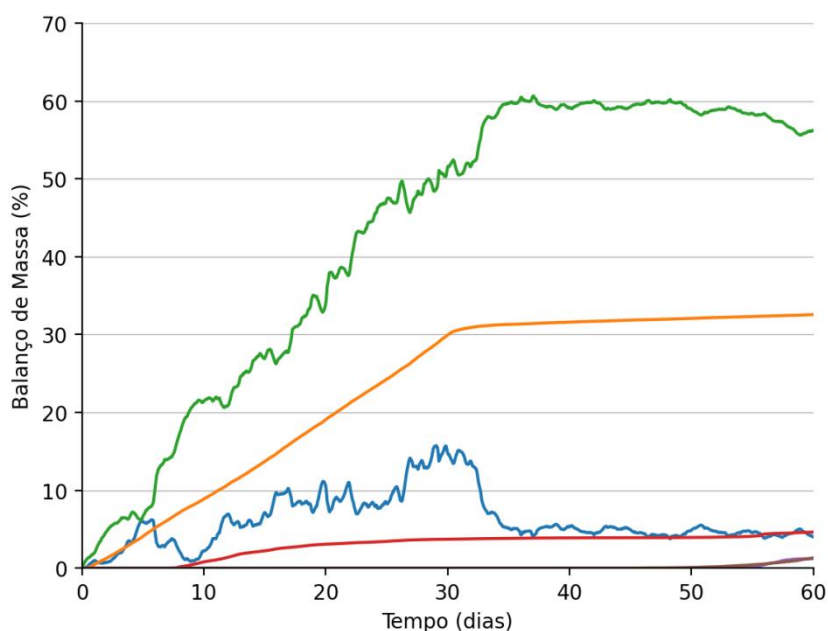
Figura IV.3.2.2-12 - Mapa de concentração de óleo no sedimento no fundo marinho da simulação determinística em condição crítica de tempo mínimo, após 1440 horas (60 dias) do início do vazamento. Vazamento de 46.742 m³.

A deriva do óleo inicial foi rumo a noroeste do ponto de risco nos primeiros 3 dias. Em seguida foi influenciado pela retroflexão da CNB seguiu para norte e leste. A partir de 2 semanas, do óleo que continua vazando, parte segue para noroeste até alcançar a costa da Venezuela após 44,7 dias, e parte segue para leste com a CCNE.

Em relação à coluna d'água, concentrações de óleo acima de 150 ppb são observadas abaixo de 2000 metros de profundidade e na camada mais próxima à superfície, próximo às coordenadas do ponto de vazamento, com valores máximos inferiores a 400 ppb. A partir de 45 dias, não são observados valores acima de 50 ppb ao longo da coluna d'água, apesar de 56% do óleo estar disperso.

Em relação ao óleo associado ao fundo marinho, concentrações acima de 1g de óleo/m² ficaram restritas a regiões pontuais rasas, menores que 50 m. A concentração máxima observada foi inferior a 10 g/m².

A seguir são apresentadas a evolução temporal do balanço de massa do óleo e a evolução da área e a massa de óleo durante a simulação.



— Superfície — Evaporado — Coluna d'água — Fundo Marinho — Costa — Fora da grade

Figura IV.3.2.2-13 - Balanço de massa do óleo durante a simulação da trajetória em condição crítica de massa máxima. Volume de pior caso (46.742 m³).

Tabela IV.3.2.2-5 - Balanço de massa do óleo durante a simulação em valores percentuais.

Tempo (horas)	Superfície		Evaporado		Coluna d'água		Fundo Marinho		Costa		Fora da grade	
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)
12	0,3	122,6	0,1	32,6	1,3	528,3	-	-	-	-	-	-
36	0,7	302,8	0,9	354,1	3,4	1393	-	-	-	-	-	-
60	1,1	465,3	1,7	696,4	5,5	2256	-	-	-	-	-	-
168	3,2	1322	6,1	2513	14	5730	< 0,05	3,9	-	-	-	-
336	5,5	2267	12,7	5201	26,4	10830	2	836,8	-	-	-	-
504	8,9	3658	20,2	8267	37,8	15490	3,1	1289	-	-	-	-
720	14,9	6091	29,9	12280	51,5	21110	3,7	1525	-	-	-	-
1080	4,9	2030	31,9	13070	59,2	24290	3,9	1607	< 0,05	2,5	< 0,05	4,9
1440	4	1650	32,6	13360	56,2	23060	4,6	1902	1,2	498,7	1,3	541,5

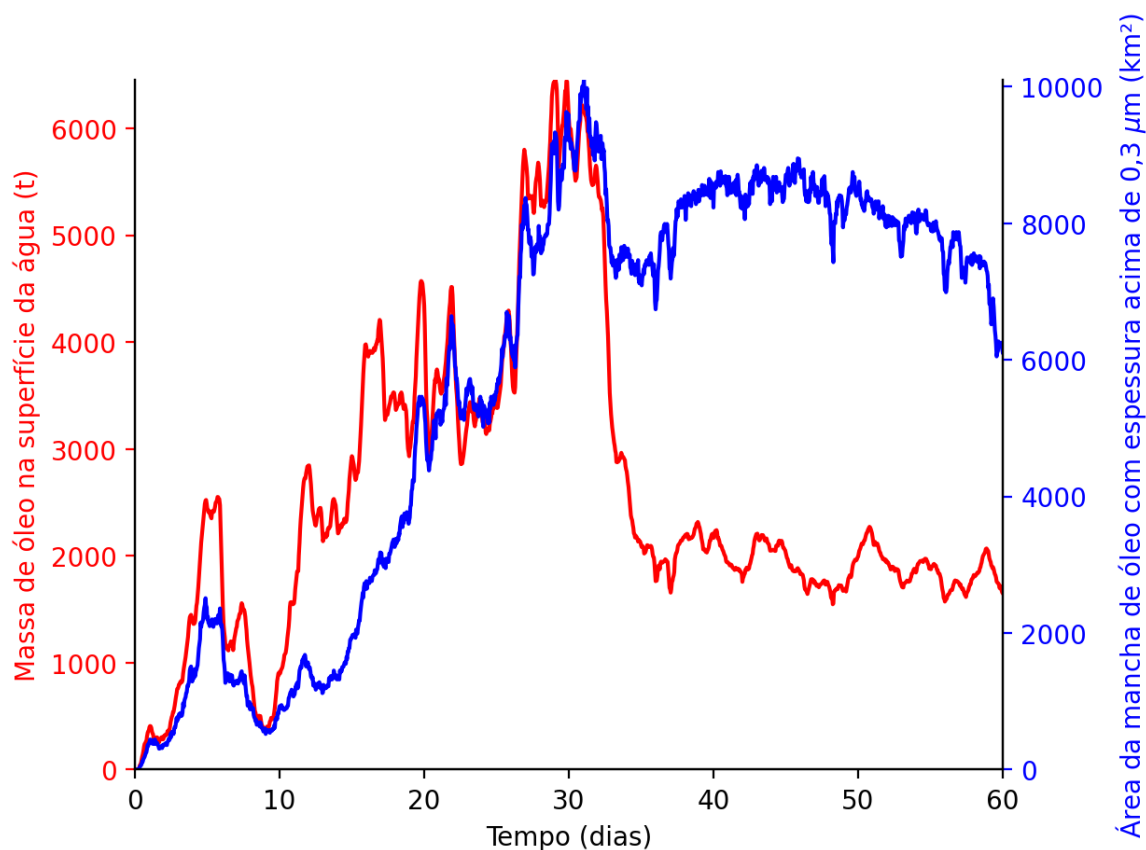


Figura IV.3.2.2-14 - Área em superfície da mancha de óleo e a massa de óleo no mar durante a simulação da trajetória em condição crítica de massa máxima.

Tabela IV.3.2.2-6 - Área em superfície impactada, massa de óleo em superfície e espessura máxima da mancha de óleo durante a simulação.

Tempo (h)	Área (km ²)	Massa (t)	Espessura máxima (µm)
12	117	123	2
36	396	303	3
60	477	465	4
168	1300	1322	6
336	1340	2267	92
504	5260	3658	12
720	9210	6091	12
1080	8710	2030	6
1440	6110	1650	18

Nesta simulação cerca de 1,2% do óleo vazado ficou aderido à costa (499 toneladas) ao final de 60 dias. O processo de intemperismo mais significativo foi a

dispersão na coluna d'água (56%) seguida pela evaporação (32,6%). Ao final 4,6% do óleo ficou no fundo marinho e 1,3% saiu da grade do modelo e a porcentagem de óleo remanescente em superfície foi de 4%.

Quando observado a evolução da área e da massa de óleo em superfície nota-se um crescimento quase que contínuo nos primeiros 30 dias de simulação devido a grande região de deriva e espalhamento para noroeste e leste. Após 30 dias, a área e a massa apresentam um decaimento em função do término do vazamento, do acúmulo na costa e dos processos de intemperismo atuantes no óleo em superfície (principalmente evaporação). A espessura de óleo ao final da simulação é de 18 μm .

IV.4. Análise complementar dos resultados

IV.4.1. Análise comparativa dos resultados da modelagem de óleo com derivadores

O ponto de vazamento de óleo representativo para o bloco FZA-M-59 localiza-se a uma distância de 159 km da costa e 62 km da fronteira do mar territorial do Brasil com o mar territorial da Guiana Francesa, em região de águas ultra-profundas e sob a influência da Corrente Norte do Brasil (CNB). A CNB é uma corrente muito intensa e que apresenta baixa variabilidade direcional ao longo do ano. Esta característica faz com que ela represente uma barreira dinâmica natural, não só à deriva de óleo como a qualquer fluxo transversal a ela.

A Figura IV.4.1-1, apresentada no relatório de modelagem de dispersão de óleo de 2015 e que mostra as trajetórias dos derivadores do GDP (84 derivadores), a partir da vizinhança do ponto de vazamento, exemplifica a barreira dinâmica descrita pela ausência de derivadores na região costeira amazônica.

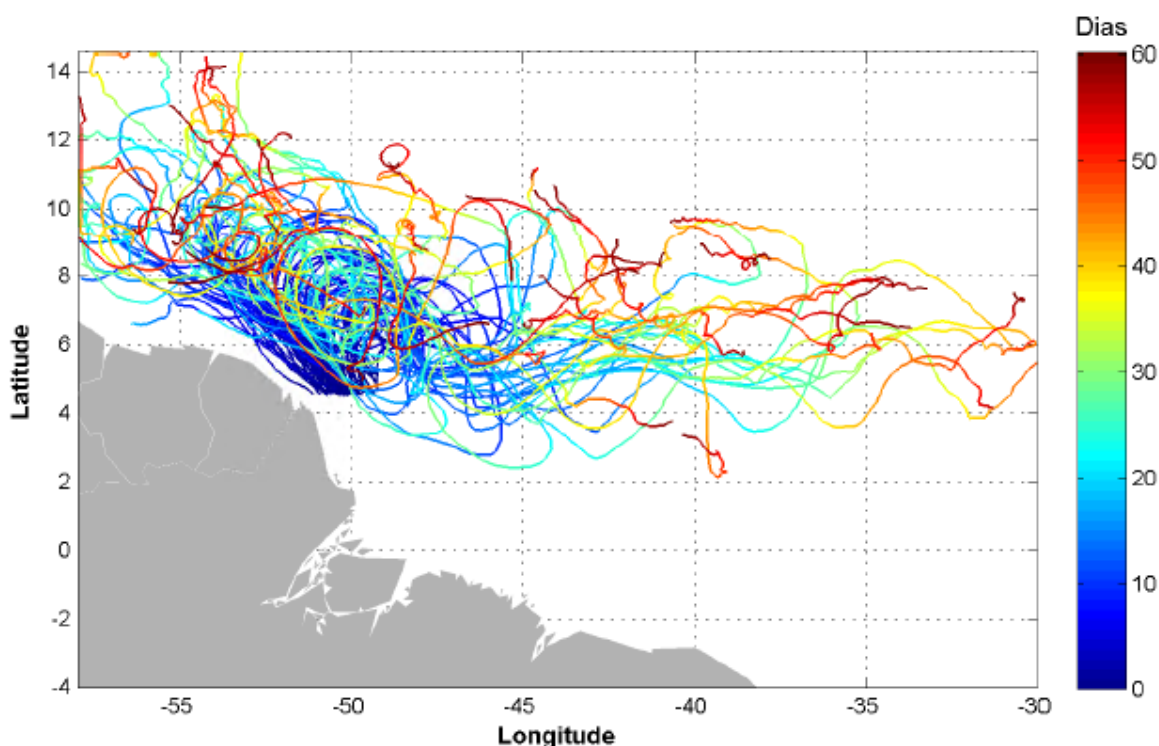


Figura IV.4.1-1 – Trajetórias dos derivadores do GDP (84 derivadores) a partir da vizinhança do ponto de vazamento. A escala de cor está relacionada à duração da trajetória.

Os mapas de probabilidade apresentados no estudo de 2015 como os apresentados no presente estudo refletem os padrões das correntes e dos ventos, considerando o ponto de vazamento e o intemperismo do óleo. Os ventos predominantes de Leste e Nordeste (alísios), no entanto, são insuficientes para romper a barreira dinâmica da CNB e, portanto, para impor uma deriva em direção à costa.

Desta forma, a maior parte do óleo é advectada para noroeste, e uma parcela entra na retroflexão da CNB sendo advectada para leste pela Contra Corrente Norte Equatorial.

A seguir, para reforçar a validade dos resultados dos modelos, é apresentada uma análise conjunta das campanhas de monitoramento da deriva oceânica de superfície realizada no contexto do Projeto Costa Norte e dos resultados da modelagem de óleo apresentados no presente estudo.

No contexto deste projeto, campanhas de aquisição de dados oceanográficos foram realizadas ao longo de um ano. Na Plataforma Continental Amazônica (PCA) a aquisição ocorreu por meio dos lançamentos de derivadores de superfície ao longo de doze campanhas oceanográficas em seis pontos, sendo três localizados na Bacia Pará-Maranhão e os outros três na Bacia Foz do Amazonas. As informações dos derivadores lançados a partir do ponto DF6 foram as consideradas nesta análise comparativa por estar localizado na região do ponto de vazamento da modelagem de óleo (Figura IV.4.1-2).

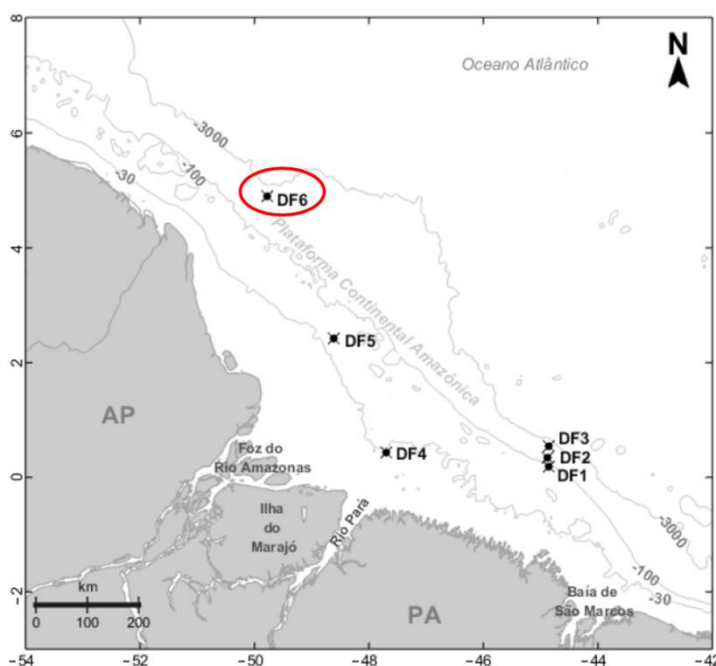


Figura IV.4.1-2 – Representação dos pontos de lançamento de derivadores na Plataforma Costeira Amazônica do Projeto Costa Norte. Em destaque, em vermelho, o ponto DF6, considerado para a presente análise comparativa com os resultados da modelagem de óleo. Fonte: Adaptado de ROLLNIC et al, 2020.

A partir do ponto DF6, localizado na coordenada $4^{\circ} 53,96' N$ e $49^{\circ} 46,45' W$, em frente ao estado do Amapá, na isóbata de ~ 2500 m, foram lançados derivadores do modelo NOMAD Offshore (Figura IV.4.1-3).

Este derivador de superfície é fabricado pela empresa SouthTek, desenvolvido para representar correntes de superfície com influência do regime de ventos. Ele apresenta seu sistema de comunicação por telemetria de satélites Iridium e posicionamento por Global Position System (GPS), e a frequência de transmissão de dados utilizada foi de 30 minutos. Este equipamento possui formato cilíndrico submerso, com 72 cm de comprimento total e massa de aproximadamente 3,0 kg. Ele não apresenta qualquer tipo de vela, e por estar diretamente exposto ao atrito do vento na superfície do oceano, este equipamento também sofre forte influência das ondas de gravidade superficiais e podem ser utilizados na comparação da trajetória de óleo em superfície.



Figura IV.4.1-3 – Imagens do modelo de derivador superficial (NOMAD) lançado e considerado na análise comparativa. A direita o equipamento na água após o lançamento. Fonte: ROLLNIC et al, 2020.

O principal objetivo desta comparação é avaliar o comportamento dos resultados da modelagem com as trajetórias dos derivadores e, conseqüentemente, a avaliação do risco de chegada de óleo, sobretudo na costa brasileira.

As campanhas de lançamento no ponto DF6 ocorreram de março de 2018 a dezembro de 2018. Ao todo, trajetórias de 8 derivadores foram avaliadas e comparadas com os resultados da modelagem de dispersão de óleo (Figura IV.4.1-4).

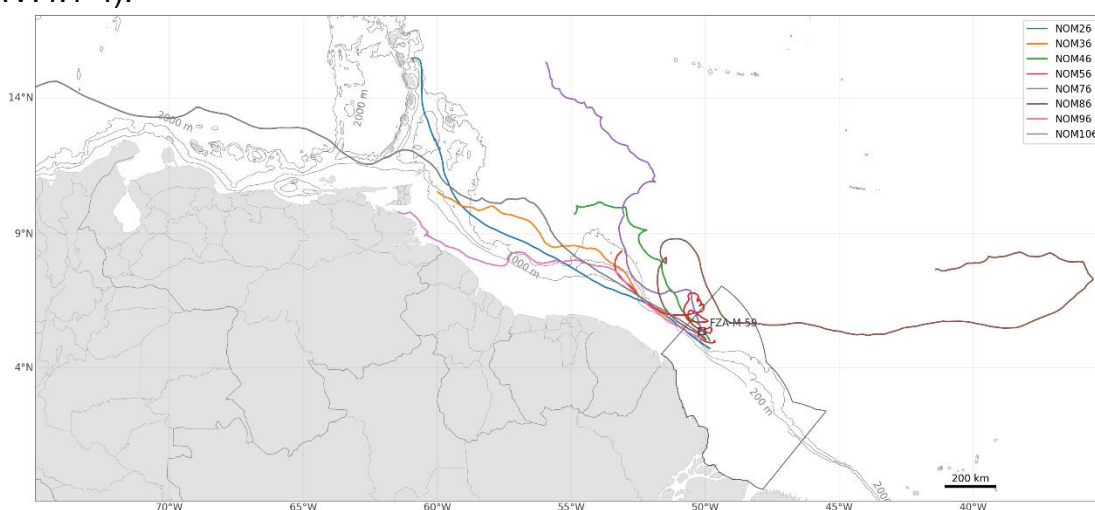


Figura IV.4.1-4 – Mapa com as trajetórias de todos os derivadores lançados no ponto DF6.

Para as análises e comparações, a área considerada da trajetória dos derivadores será limitada à área da grade da modelagem de óleo, considerando a separação sazonal adotada: Período 1, compreendendo os meses de dezembro a junho, e Período 2, os meses de julho a novembro.

Na Tabela IV.4.1-1 são apresentadas as informações referentes ao lançamento de cada derivador analisado. Nesta tabela, a data final é referente ao período no qual os dados foram analisados.

Quatro derivadores foram analisados representando o Período 1 e outros quatro representando o Período 2. A separação dos derivadores ocorreu com base na data de lançamento do derivador, exceto pelo NOM96 que foi avaliado dentro do Período 1 por iniciar próximo a transição dos períodos e ter maior tempo de trajetória neste período específico.

Tabela IV.4.1-1 – Informações sobre o lançamento dos derivadores analisados.

Período	Derivador	Data Inicial	Data Final	Dias ativos considerados	Distância Alcançada
Verão	NOM26	17/03/2018 11:50	04/04/2018 21:50	18	1610
	NOM36	20/04/2018 20:30	13/05/2018 10:00	23	1093
	NOM96	23/11/2018 10:00	25/12/2018 13:30	32	1387
	NOM106	12/12/2018 02:30	12/01/2019 12:30	31	1501
Inverno	NOM46	28/06/2018 00:00	19/07/2018 10:30	21	774
	NOM56	02/08/2018 11:00	31/08/2018 03:00	28	533
	NOM76	26/09/2018 20:30	04/11/2018 11:30	38	1230
	NOM86	20/10/2018 23:00	14/11/2018 06:00	24	863

Sobrepostas aos resultados de probabilidade em superfície, tanto os da modelagem de 2015 quanto os da modelagem do presente estudo, são apresentadas, juntas, as trajetórias dos quatro derivadores representativos de cada período sazonal (Figura IV.4.1-6 a Figura IV.4.1-8).

De maneira geral, o intenso fluxo noroeste da CNB e a atividade de meso escala associada (retroflexão e vórtices da CNB) geram, respectivamente, uma barreira natural à fluxos transversais já mencionada anteriormente, e uma grande dispersão espacial dos derivadores (equivalente à deriva do óleo na superfície do mar), que ocorre preferencialmente a noroeste do ponto de vazamento.

No Período 1, os quatro derivadores apresentaram suas trajetórias para noroeste em direção ao mar do Caribe, seguindo o fluxo principal da CNB. Todas as trajetórias estiveram dentro da área de probabilidade de chegada de óleo, passando inclusive pela área de maior probabilidade (entre 80% e 100%). O derivador NOM96, a partir de uma distância maior que 1.000 km do ponto de lançamento e após 20 dias de trajetória, apresentou parte da deriva para oeste em direção à costa, trajetória esta também contemplada pela modelagem mais recente, associada a probabilidade menor que 30%.

Em relação aos derivadores no Período 2, todas as trajetórias também estiveram dentro da área de probabilidade de chegada de óleo mapeada pela modelagem, passando inclusive pela área de maior probabilidade (entre 80% e 100%). A retroflexão da CNB - mais evidente neste período e bem demarcada nos resultados de modelagem é evidenciada pela trajetória dos derivadores, sendo estas mais afastadas da costa e com mudança de direções. A trajetória do NOM86 é a mais representativa da influência da retroflexão dentre os derivadores analisados.

Deve ser ressaltado que embora em algum momento as trajetórias dos oito derivadores analisados tenham chegado a áreas com probabilidade de presença de óleo inferior a 5%, as manchas de óleo têm menor probabilidade de chegar nestes pontos devido às perdas por intemperismo (evaporação, entranhamento na coluna etc.), processos que não são observados nos derivadores (inerte no ambiente).

Em que pesem as diferenças entre o comportamento dos derivadores do tipo NOMAD e do óleo, onde estes apresentam/utilizam coeficientes de arrasto pelo vento diferentes (ROLLNIC et al, 2020), as comparações indicam uma boa correlação com os resultados de probabilidades de presença de óleo do modelo. A análise conjunta das campanhas permite observar parte da variabilidade possível que uma mancha de óleo pode apresentar dentro de um mesmo período sazonal, além de demonstrar a variabilidade espaço-temporal dos processos hidrodinâmicos em regiões além da Plataforma Continental Amazônica, indicando uma grande influência do padrão médio da CNB no Período 1 e da retroflexão desta corrente no Período 2.

O lançamento de derivadores nos permite avaliar e estimar a deriva do óleo em determinadas condições ambientais, e ao mesmo tempo avaliar os resultados das modelagens de deriva do óleo. A utilização conjugada dessas ferramentas auxilia a tomada de decisão em situações emergenciais, sendo um bom indicativo das características (direções preferenciais e tempo de deslocamento do óleo) da dispersão de poluentes no ambiente marinho.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

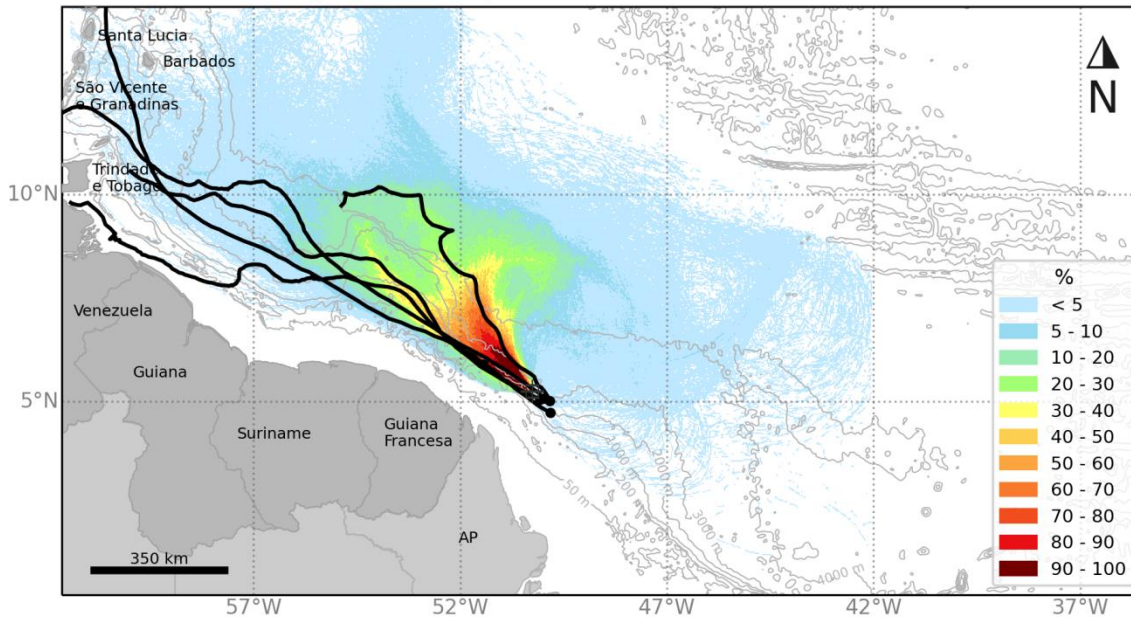


Figura IV.4.1-5 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 1 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo (em %) em superfície para o Verão (equivalente ao Período 1) da modelagem de 2015.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

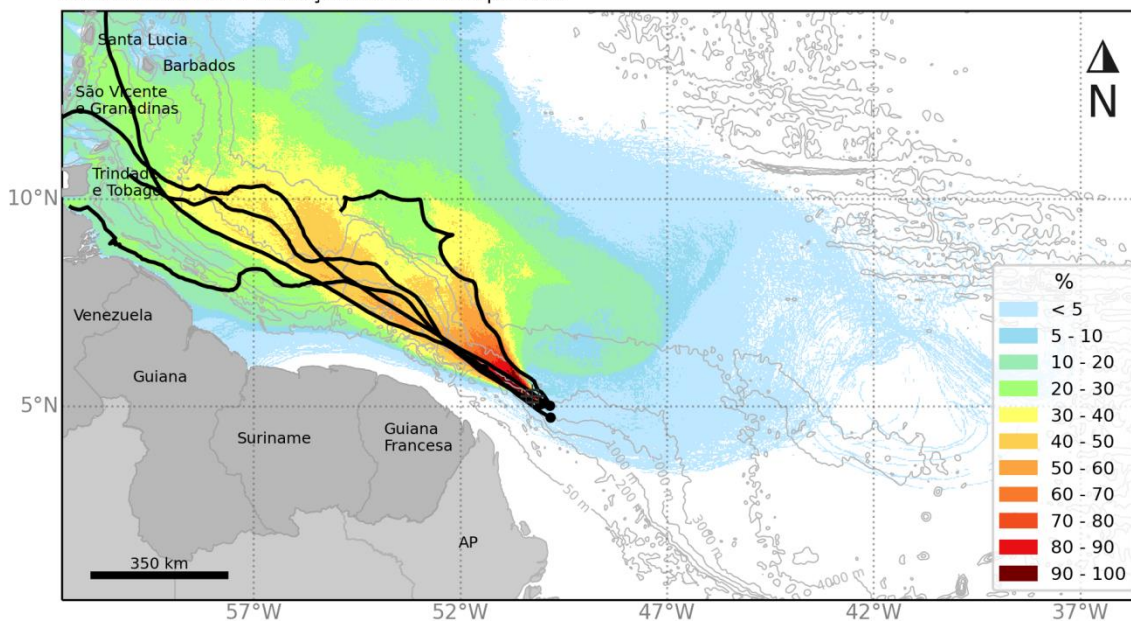


Figura IV.4.1-6 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 1 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo (em %) em superfície para o Período 1 da modelagem do presente estudo.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

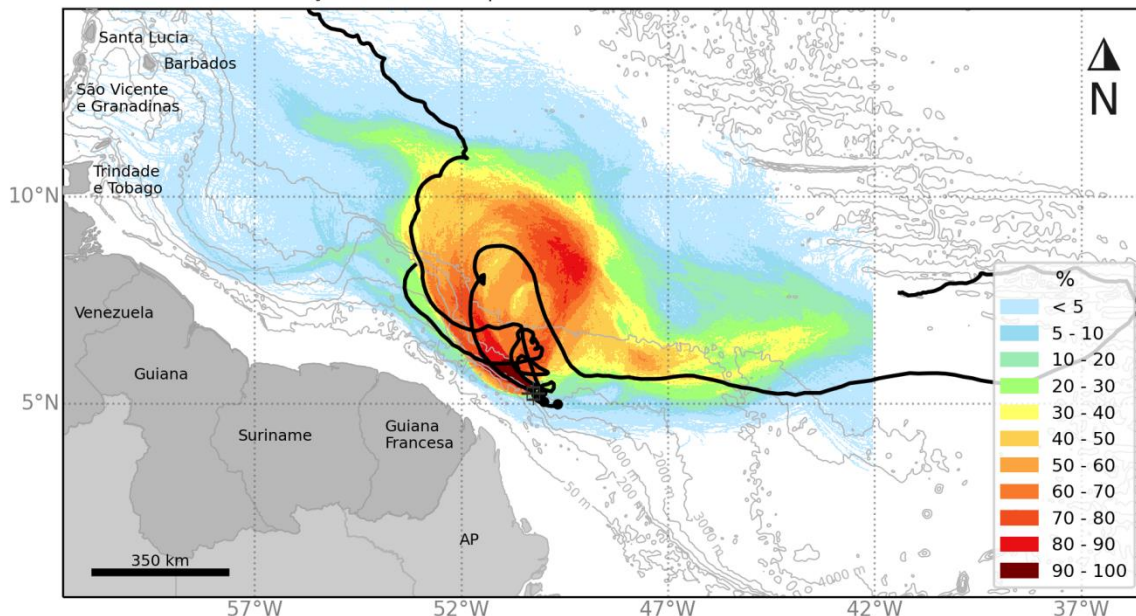


Figura IV.4.1-7 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 2 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo em superfície (em %) para o Inverno (equivalente ao Período 2) da modelagem de 2015.

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

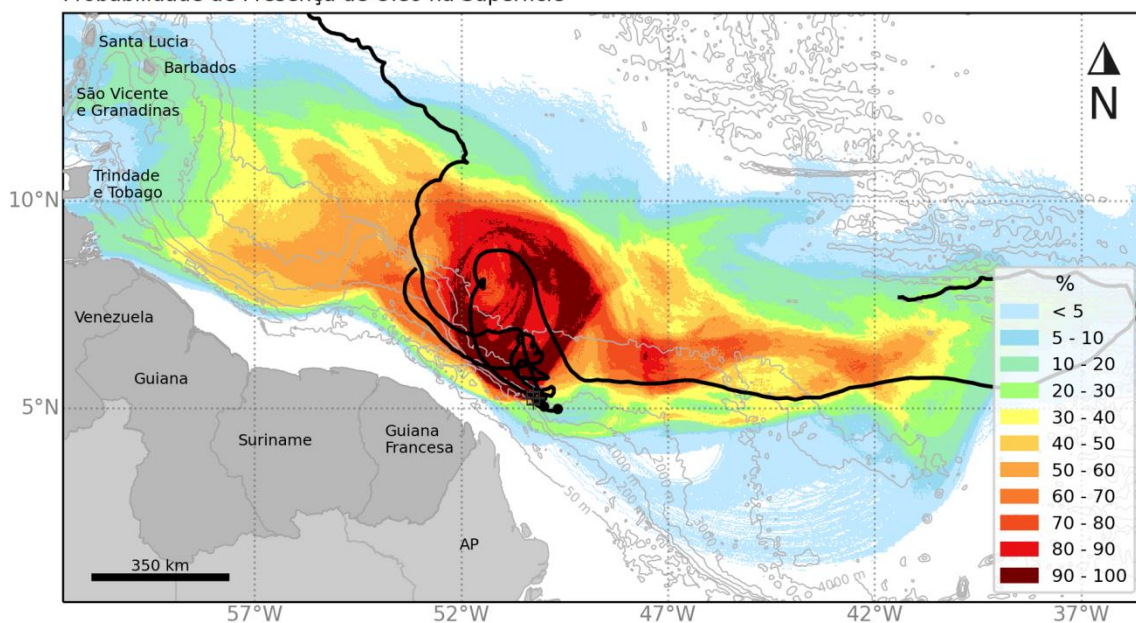


Figura IV.4.1-8 – Trajetória dos derivadores lançados no Período 2 sobrepostas ao campo de probabilidade de presença de óleo em superfície (em %) para o Período 2 da modelagem do presente estudo.

IV.4.2. Análise comparativa dos resultados das modelagens de dispersão de óleo (2015 x 2022)

A seguir será apresentada uma análise comparativa entre os resultados da modelagem realizada no ano de 2015 e os resultados do presente estudo (2022) para o bloco FZA-M-59.

De maneira geral, o comportamento do óleo vazado nos dois estudos carregam em si semelhanças. Os padrões observados em superfície (distâncias e áreas de probabilidade) no Período 1 para as maiores probabilidades (70% e 90%) são similares entre os dois estudos, enquanto a área da isolinha de 30% no presente estudo alcança maior distância que o observado no estudo de 2015 (Figura IV.4.2-1).

No Período 2, apesar do comportamento do óleo ser similar (deslocamento em função da CNB, bifurcação da corrente e ventos de E e ESE), quando comparados as duas modelagens, todas as áreas das isolinhas de probabilidades no estudo de 2022 têm maiores alcances do que o estudo de 2015 (Figura IV.4.2-2).

Nos mapas de diferenças por ponto de grade entre os resultados da modelagem de 2022 e 2015 (Figura IV.4.2-3) observa-se que em grande parte do domínio há aumento dos valores de probabilidade no estudo de 2022, com destaque para as diferenças de até 25% (tons em verde escuro ao verde-azulado nas figuras). mas há diferenças em algumas regiões chegando a valores acima de 25% (tons vermelhos). No entanto, em ambos os períodos também há regiões em que os valores de probabilidade da modelagem de 2015 foram maiores (tons de verde bandeira ao verde claro, de -25% a 0%). No Período 1 fica evidente que na modelagem de 2015 há maior probabilidade do óleo ser influenciado pela retroflexão próximo ao ponto de vazamento do que na modelagem de 2022, que por sua vez tem maior probabilidade de alcançar maiores distâncias a noroeste. No Período 2 as regiões onde na modelagem de 2015 as probabilidades foram maiores se encontram na altura da latitude de 10°N, a norte do ponto de vazamento.

Comparando as tabelas de informações das simulações com toque na costa, nota-se que no estudo de 2022 houve aumento das localidades e dos valores de

probabilidade. A maior probabilidade foi observada no Período 2 em Barbados (14,4%), enquanto no estudo de 2015 foi de 0,3% no Período 1 em Santa Lúcia. Os menores tempos de chegada também são menores no estudo de 2022 quando comparados com o de 2015.

Na tabela comparativa das probabilidades por ZEE de cada localidade, observa-se também maiores valores de probabilidade e menores valores de tempo de chegada de óleo nos resultados de 2022 (Tabela IV.4.2-2).

Estas diferenças principais observadas nos resultados em superfície estão associadas em especial à diferença das fontes dos dados de ventos utilizadas como forçantes de cada modelo hidrodinâmico e no modelo de óleo. Em complementação à análise feita no item III.6.3 a Figura IV.4.2-4 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura IV.4.2-5 auxiliam na visualização comparativa das diferenças dos dados de vento e corrente utilizado em cada estudo. Como pode ser observado nesta análise de médias mensais para os dados mais próximos ao ponto de vazamento, o padrão direcional geral em cada mês tanto para ventos como para correntes são muito similares entre os dois estudos. No entanto, os dados do ERA-5 são mais intensos ao longo de todo o ano do que os do NCEP-R1. Este padrão também pode ser notado quando comparado os resultados dos modelos hidrodinâmicos, sendo a média mensal das correntes mais intensas no modelo de 2022. Este comportamento auxilia no entendimento das maiores áreas em superfície e no aumento das localidades com probabilidade de serem alcançadas por óleo no estudo de 2022, uma vez que com correntes e ventos mais intensos o óleo pode apresentar uma deriva maior, alcançando maiores distâncias.

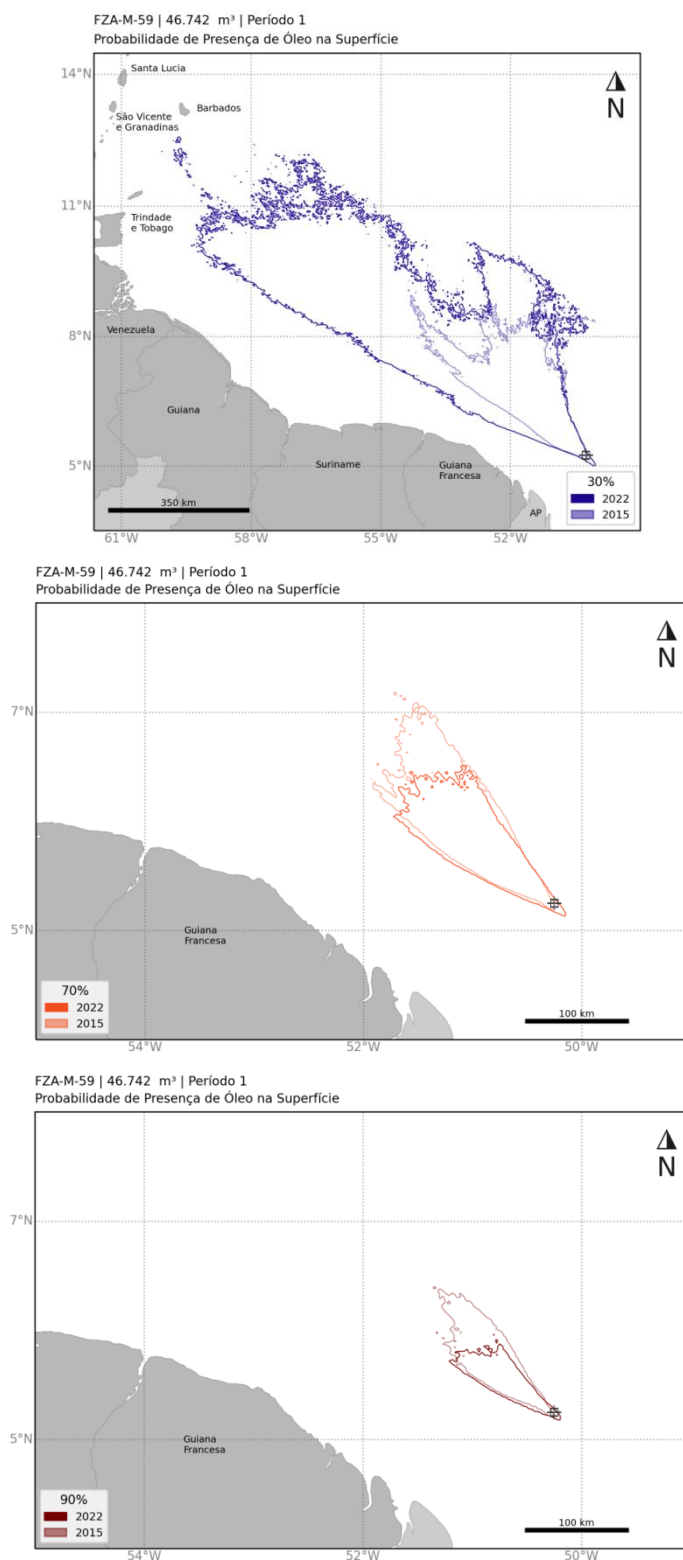


Figura IV.4.2-1 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).

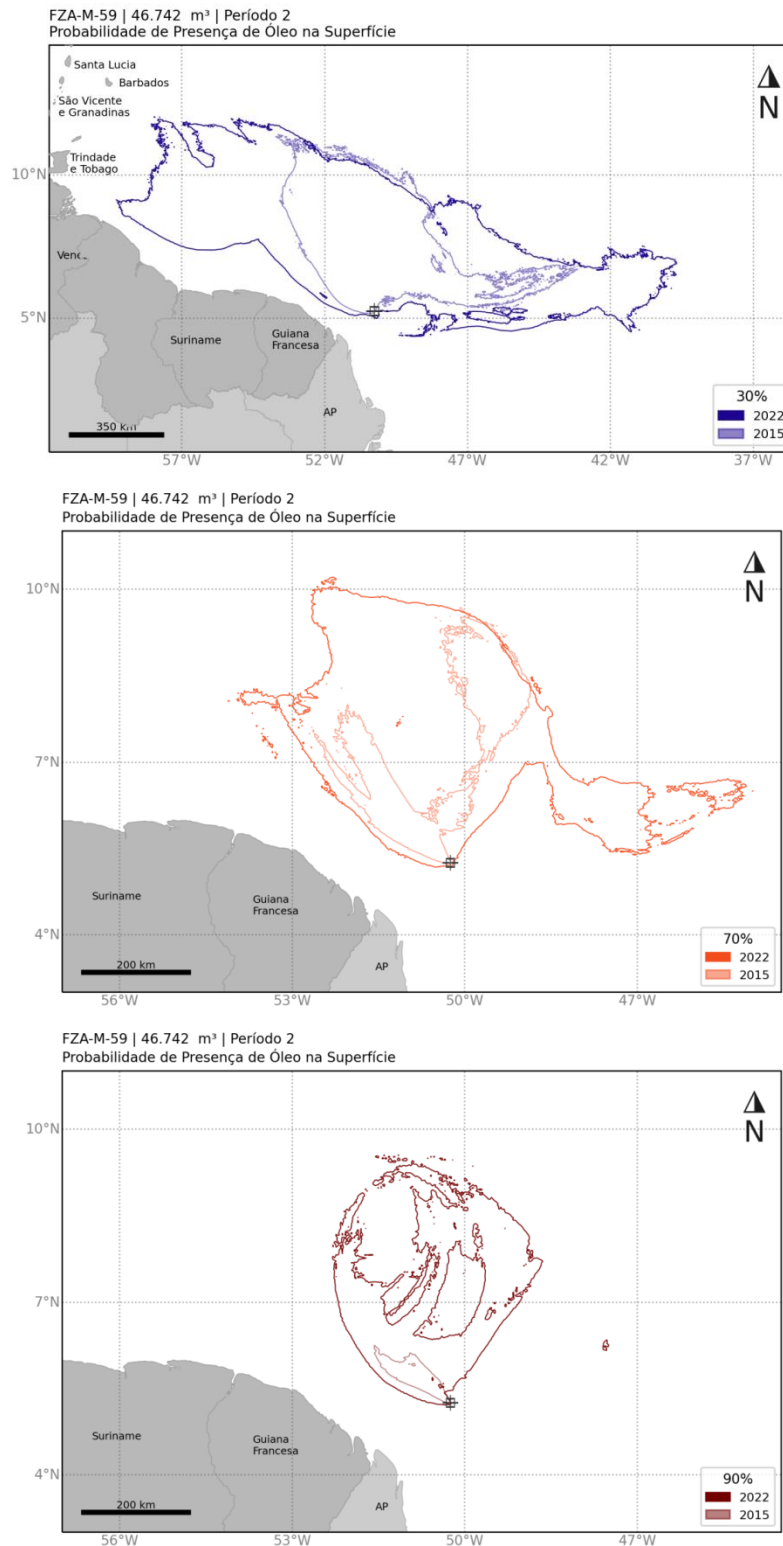
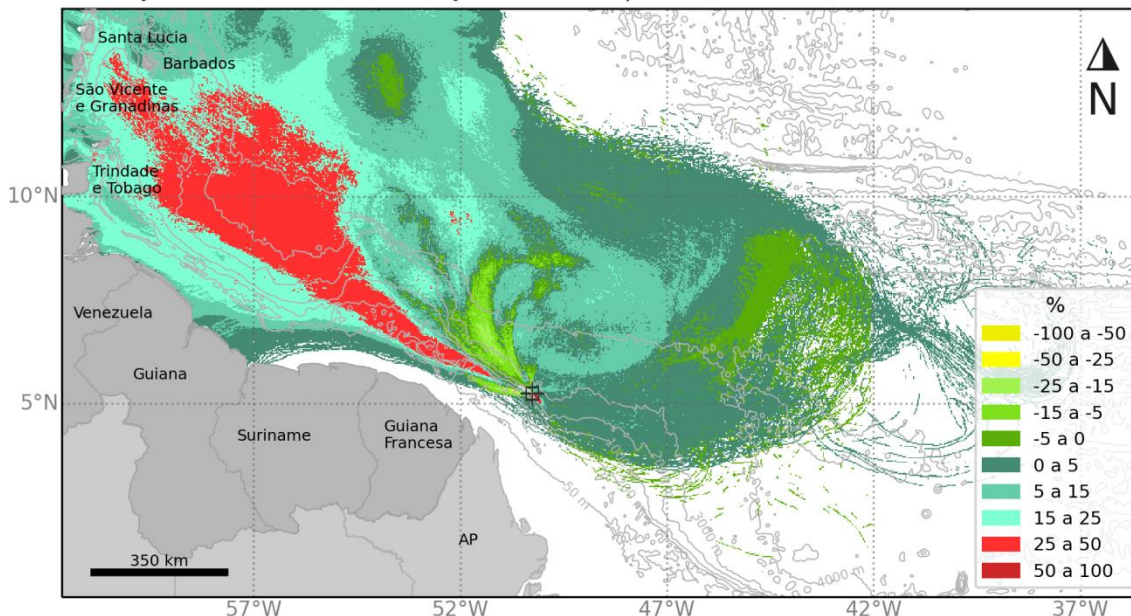


Figura IV.4.2-2 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença de óleo em superfície para o vazamento de 46.742 m³ no Período 2. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1

Diferença de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (2022-2015)



MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2

Diferença de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (2022-2015)

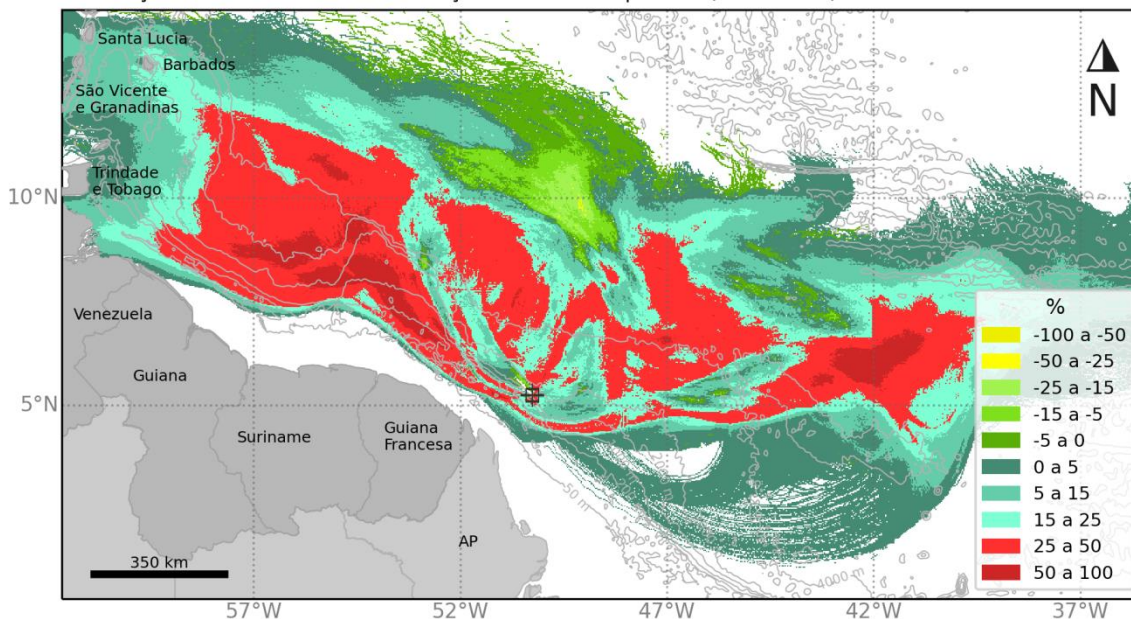


Figura IV.4.2-3 – Mapa da diferença de probabilidade de presença de óleo em superfície dos dois estudos comparados. Cálculo por ponto de grade feito a partir da subtração dos valores da modelagem de 2022 menos os valores da modelagem de 2015. Acima: Período 1 e Abaixo: Período 2.

Tabela IV.4.2-1 – Tabela comparativa dos resultados da modelagem de 2015 e 2022. Probabilidade de presença de óleo, tempo mínimo de chegada, massa máxima de óleo e extensão na costa para as localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.

Localidade	Probabilidade (%)				Tempo Mínimo (dias)			
	Período 1		Período 2		Período 1		Período 2	
	2015	2022	2015	2022	2015	2022	2015	2022
Martinica		14,2		-		36,7		-
Santa Lúcia	0,3	11,2		3,4	58,2	33,9		46,8
São Vicente e Granadinas	1,3	9,4	0,3	6,2	41,9	33,9	43,9	41
Barbados	0,3	0,4	0,3	14,4	57,7	53,3	51,2	35,6
Granada		3		6,6		32,9		40,5
Trindade e Tobago	0,3	2,6	0,3	0,2	59,5	26	59,3	52,1
Venezuela		7,6		12		19,5		37,6
Guiana		4,4		3,2		16,1		44,6
Suriname		0,4		-		12,6		-

Localidade	Massa Máxima (t/km)				Extensão (Km)			
	Período 1		Período 2		Período 1		Período 2	
	2015	2022	2015	2022	2015	2022	2015	2022
Martinica		-		-		-		-
Santa Lúcia	2,6	2,7		8,2	4,2	67,9		63,6
São Vicente e Granadinas		2,2		3,9		63,6		76,4
Barbados		0,7		6,7		4,2		63,6
Granada		1,5		4,1		38,2		50,9
Trindade e Tobago		2,5		0,7		161,2		8,5
Venezuela		4		42,9		212,1		280
Guiana		2,8		3,8		263		106,1
Suriname		-		-		-		-

Os valores em cinza foram retirados dos resultados em superfície para as localidades que não apresentaram massa acumulada na costa acima do limiar monitorado. Estes resultados foram obtidos a uma distância de menos de 3 km (um ponto de grade) da costa. Como os valores apresentados são da superfície, não são apresentados valores de massa acumulada na costa e extensão.

Tabela IV.4.2-2 – Tabela comparativa dos resultados da modelagem de 2015 e 2022.
Probabilidade de presença de óleo e tempo mínimo de chegada nas ZEE das localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.

ZEE	Probabilidade (%)				Tempo Mínimo (dias)			
	Período 1		Período 2		Período 1		Período 2	
	2015	2022	2015	2022	2015	2022	2015	2022
Barbados	7,6	37,8	9	37	15,3	13	22,5	19,4
Martinica	0,6	19,6	0,7	4,8	40,1	32,5	54,3	44,5
Santa Lúcia	1,3	27,8	0,3	11,8	37,9	26,2	56,1	41,7
São Vicente e Granadinas	2	28,8	0,7	15	28,5	22,9	39,5	35,1
Granada	0,7	22,2	1	12,6	37,4	24,2	46,6	36,3
Trindade e Tobago	7,6	37,6	5,3	33,6	16	12,2	26,3	20,1
Guiana	13	48,6	10,3	57,2	9,4	8,5	18,2	13,7
Venezuela	2	38,4	3,3	25	15,8	13,8	28,4	29,7
Suriname	50,5	56,4	65	77	3,4	3,3	4	3,3
Guiana Francesa	100	100	100	100	0,7	0,7	0,6	0,6
Brasil	100	100	100	100	0	0	0	0

Os valores apresentados consideram em conjunto os resultados em superfície e na coluna d'água.

Tabela IV.4.2-3 – Tabela comparativa dos resultados da modelagem de 2015 e 2022.
Probabilidade de presença de óleo no fundo marinho nas ZEE das localidades que podem ser atingidos em um evento de 46.742 m³ a partir do ponto de risco na região do bloco FZA-M-59, nos Períodos 1 e 2.

ZEE	Probabilidade no fundo (%)			
	Período 1		Período 2	
	2015	2022	2015	2022
Barbados	-	0,4	-	-
Martinica	-	0,2	-	-
Santa Lúcia	-	1	-	-
São Vicente e Granadinas	-	1,6	-	0,4
Granada	-	0,2	-	-
Trindade e Tobago	-	0,6	-	-
Guiana	-	-	-	-
Venezuela	-	0,4	-	1,4
Suriname	-	4,8	-	-
Guiana Francesa	33,9	42	33,3	30,4
Brasil	100	100	100	100



Figura IV.4.2-4 – Rosa dos ventos para os meses de janeiro a dezembro para o ponto mais próximo do local de vazamento. Esquerda: Dados do NCEP-R1, utilizado na modelagem de 2015. Direita: Dados do ERA 5, utilizado na modelagem de 2022.

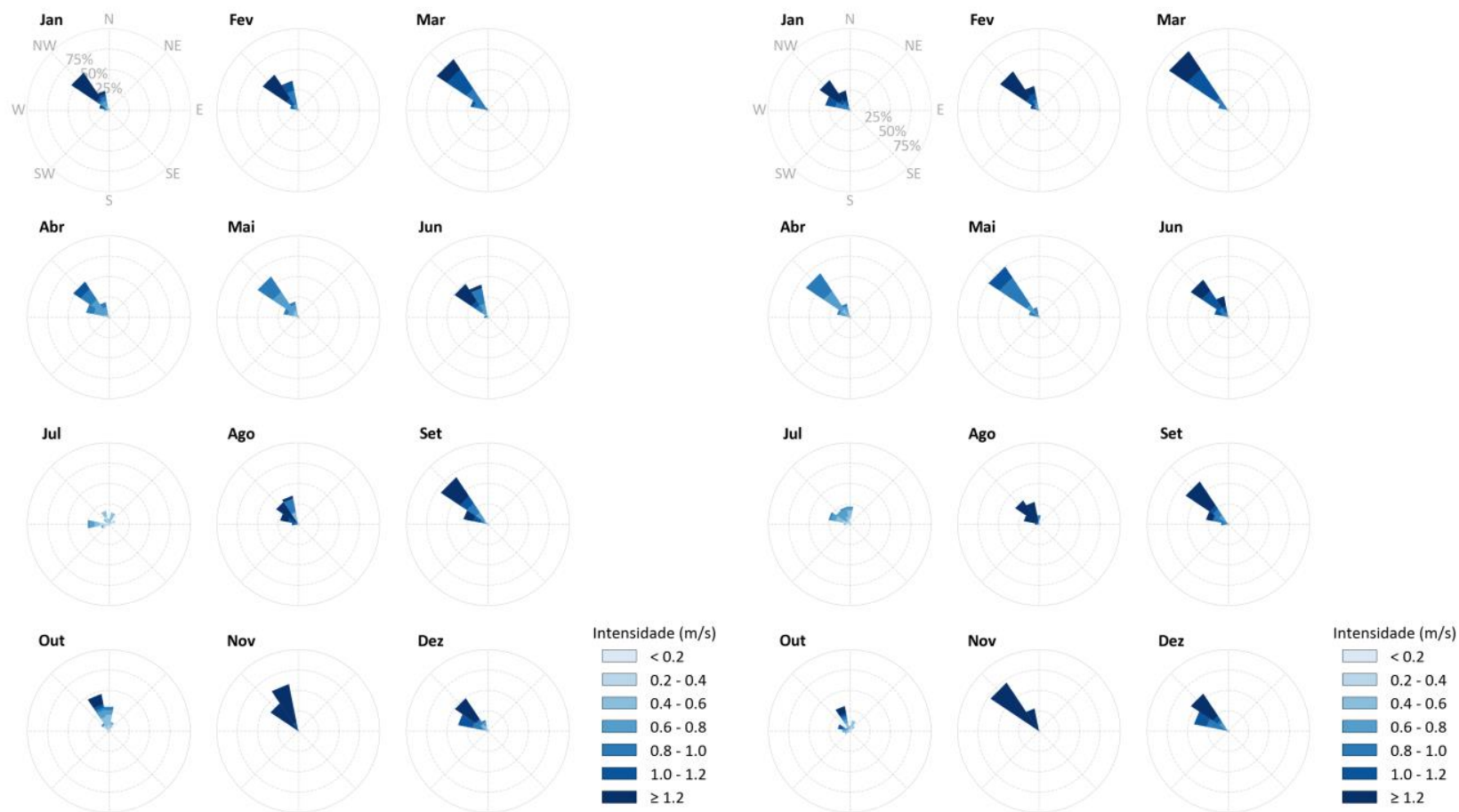


Figura IV.4.2-5 – Rosa de correntes para os meses de janeiro a dezembro para o ponto mais próximo do local de vazamento. Esquerda: Modelo hidrodinâmico utilizado na modelagem de 2015. Direita: Modelo hidrodinâmico utilizado na modelagem de 2022.

Nos resultados de coluna d'água em ambos os períodos as maiores diferenças entre os estudos a noroeste do ponto de vazamento são observadas nas probabilidades mais baixas (isolinha de 30%), não havendo grandes mudanças nas áreas com maiores probabilidades. No entanto, nos resultados de 2022 nota-se probabilidades a sudeste do ponto de vazamento nos dois períodos sazonais que não são foram observadas no estudo de 2015 (Figura IV.4.2-6 e Figura IV.4.2-7).

Este mesmo padrão também é observado nos resultados no fundo marinho, como exemplificado nos mapas de isolinha de 30% (Figura IV.4.2-8) . Próximo ao ponto de vazamento e a noroeste deste os resultados entre os dois estudos são similares, a principal diferença é observada nas probabilidades a sudeste do ponto de vazamento.

Para entendimento destas diferenças principais nos resultados da coluna d'água e fundo marinho uma análise das consequências da inclusão do processo de biodegradação foi realizada.

Como citado no item IV.2.1, no presente estudo foi adotada as diretrizes atuais do CGMAC/DILIC/IBAMA de não considerar o processo de biodegradação nas simulações (como por exemplo no Parecer Técnico nº 05/2020 referentes aos documentos “Relatório Técnico [rev.00] - Modelagem Hidrodinâmica Bacias do Espírito Santo, Campos, Santos e Pelotas” e “Relatório Técnico [rev.00] Modelagem Hidrodinâmica e Dispersão de Óleo Campo de Saturno | Bacia de Santos”, do Estudo Ambiental de Perfuração (EAP), relativo à atividade de perfuração no Bloco de Saturno, Bacia de Santos). Como já discorrido em outros processos a principal mudança com retirada deste processo é observada nos resultados da coluna d'água. Para demonstração e comparação foi realizada a rodada de pior caso no Período 1 e comparado os resultados das rodadas sem biodegradação e com biodegradação. (Figura IV.4.2-9 e Figura IV.4.2-11).

Para os resultados em superfície observa-se um padrão similar dos dois resultados, com diferenças máximas entre as modelagens por ponto de grade de 15%. As maiores diferenças, com os maiores valores associados à simulação sem biodegradação são observados principalmente no limite superior a oeste do domínio da grade do modelo (em tons laranja na Figura IV.4.2-10). No entanto, para muitos pontos de grade ao longo do domínio, as maiores probabilidades

foram observadas na simulação com biodegradação, nestes casos as diferenças predominantes são de 3% (em verde escuro na Figura IV.4.2-10).

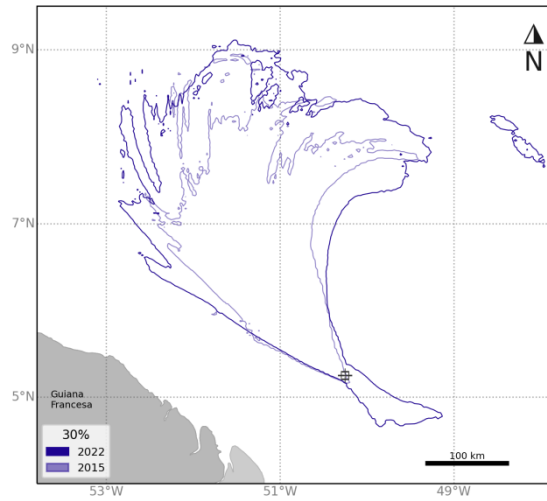
A maior diferença, como já relatado em outros estudos, é observada nos resultados da coluna d'água. Nas camadas mais superficiais, onde ocorre o maior espalhamento do óleo horizontalmente, nota-se uma área passível de ser atingida maior na simulação sem biodegradação, e quando observada em cada faixa de probabilidade o óleo pode alcançar distâncias maiores. A maior diferença, no entanto, é observada nas camadas mais profundas, em especial desde a profundidade do vazamento até 1900 m, que é extensão do campo próximo. Nessas camadas se observa o maior espalhamento horizontal do óleo em camadas profundas, e a inclusão do processo de biodegradação traz comportamentos bem distintos entre as simulações. Na simulação sem biodegradação observa-se alta probabilidade do óleo seguir para sudeste do ponto de vazamento seguindo o fluxo das correntes principais nestas profundidades. Na simulação com biodegradação, com a inclusão deste processo de intemperismo a dispersão horizontal é consideravelmente diminuída.

Portanto sugere-se que as diferenças nos resultados na coluna d'água entre os resultados da modelagem de 2015 e 2022, em especial observadas nas camadas profundas, estão relacionadas à retirada do processo de biodegradação nas simulações mais recentes.

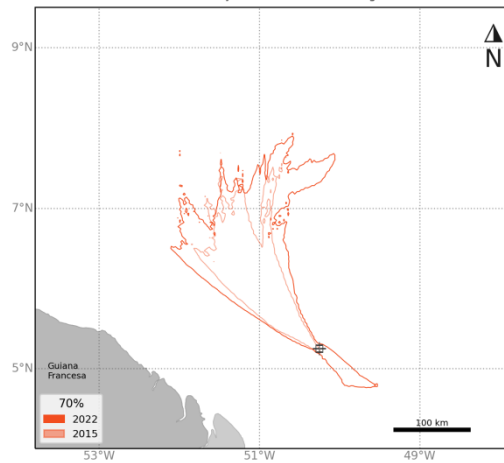
As diferenças observadas nos resultados de fundo seguem esta mesma linha, uma vez que estes resultados são extrapolados diretamente dos resultados da coluna d'água, como explicado no ANEXO A.

E além dos itens acima discorridos, vale destacar a mudança de versão do modelo OSCAR utilizado em cada estudo, o que pode trazer outras variações nos resultados.

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água



FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água



FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

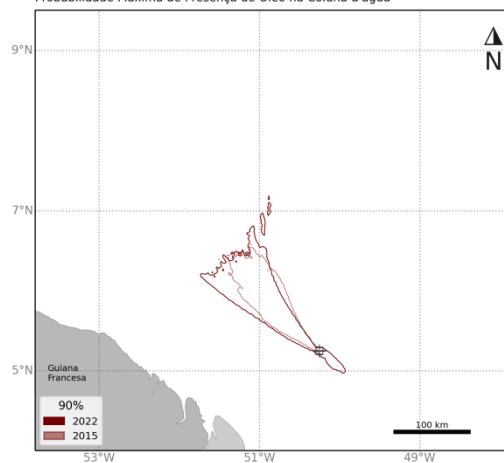
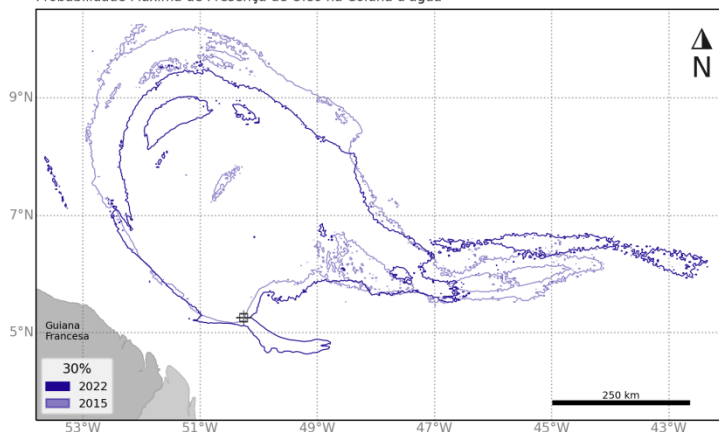
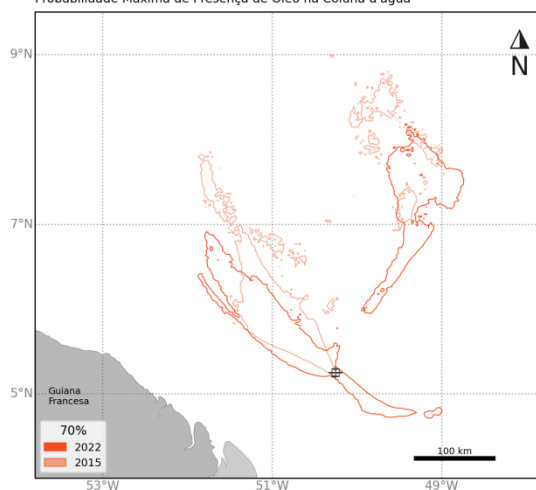


Figura IV.4.2-6 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença máxima de óleo na coluna d'água para o vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água



FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água



FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 2
Probabilidade Máxima de Presença de Óleo na Coluna d'água

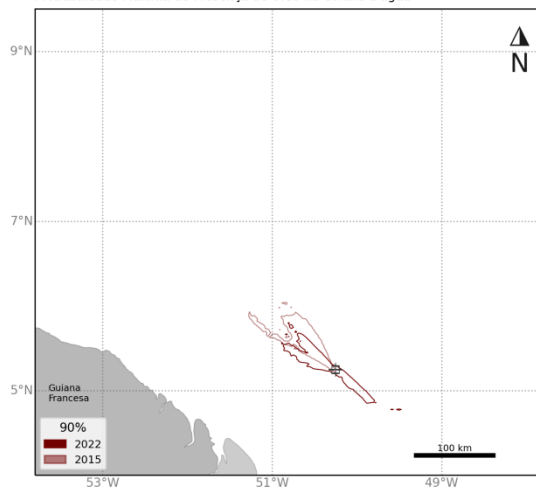


Figura IV.4.2-7 – Isolinha de 30%,70% e 90% de probabilidade de presença máxima de óleo na coluna d'água para o vazamento de 46.742 m³ no Período 2. Simulação de 60 dias.Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).

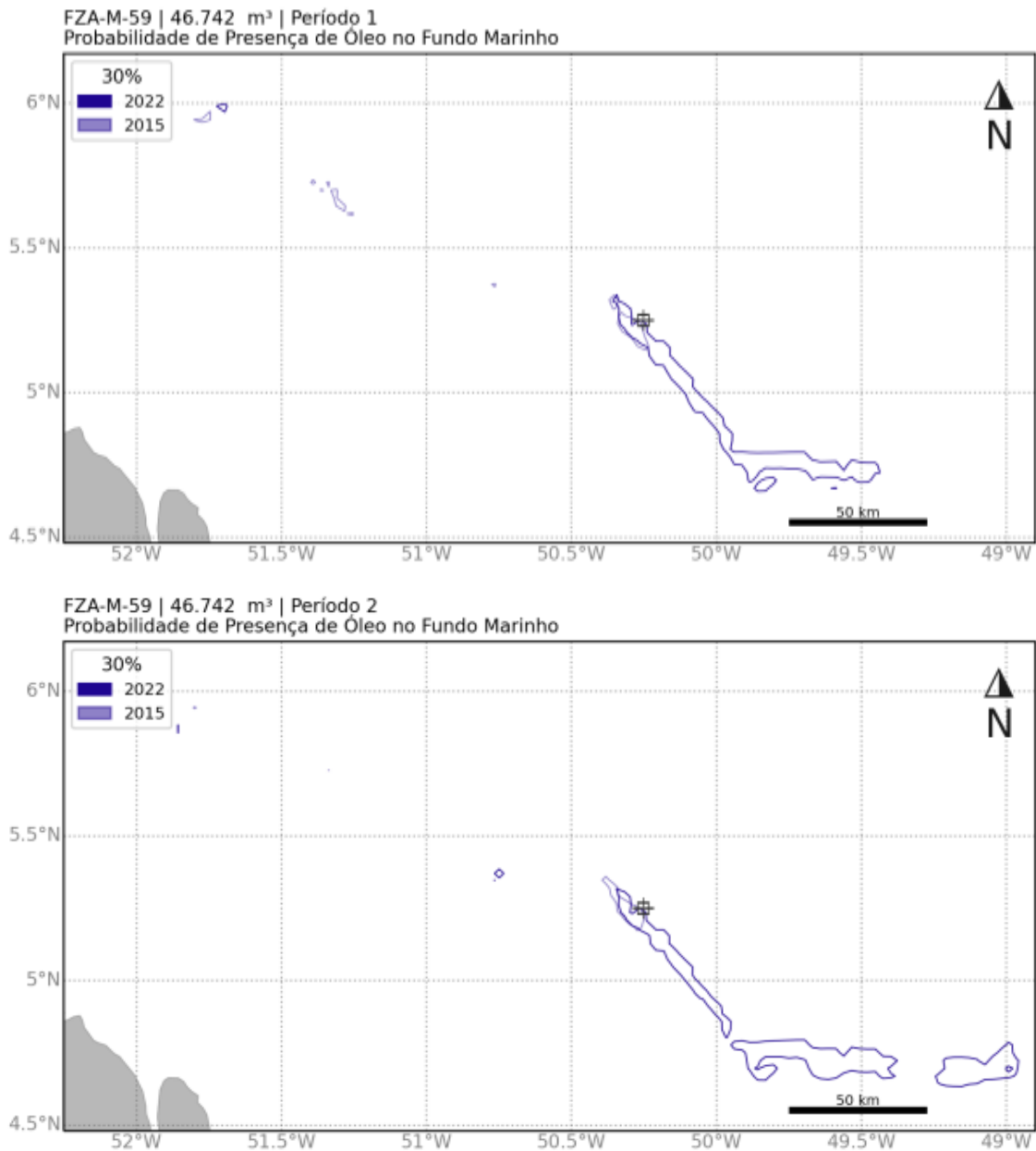
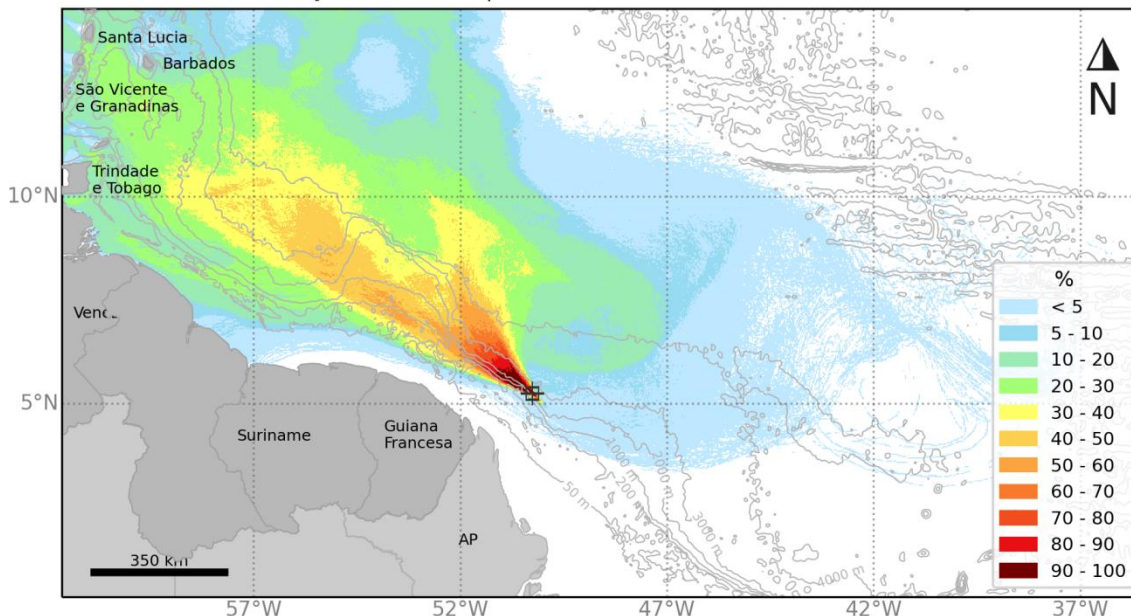


Figura IV.4.2-8 – Isolinha de 30% de probabilidade no fundo marinho para o vazamento de 46.742 m³ no Período 1 e Período 2. Simulação de 60 dias. Comparação entre os resultados da modelagem realizada em 2015 e a atual (2022).

MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície



MODO PROBABILÍSTICO
FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1
Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície

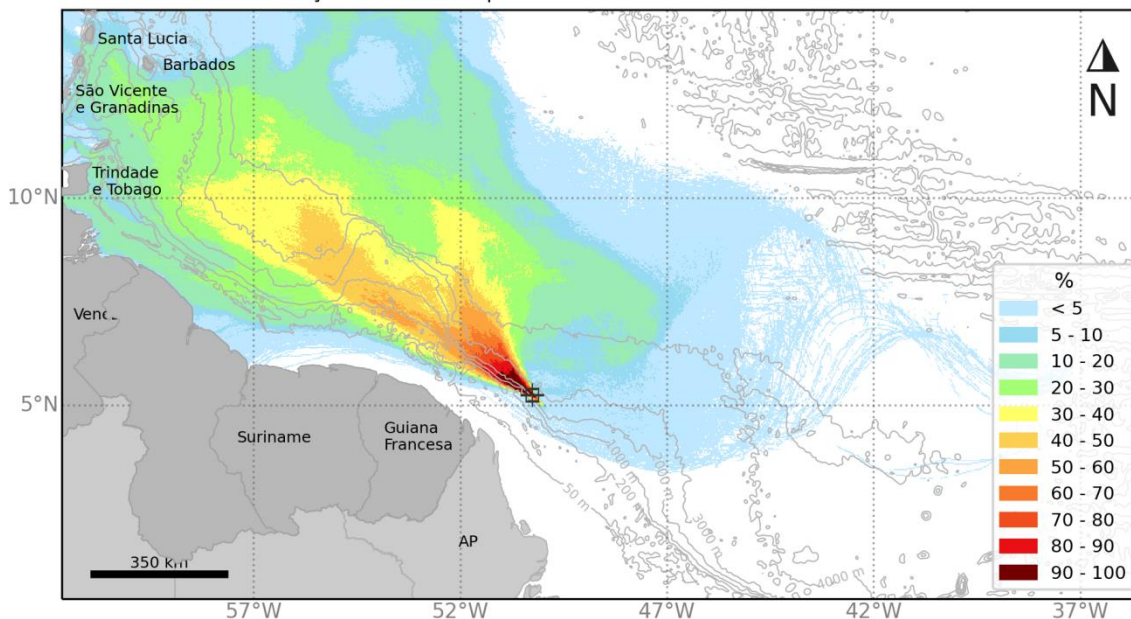


Figura IV.4.2-9 – Mapa de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 1 para um vazamento de 46.742 m³ e simulação de 60 dias. Acima: simulação SEM biodegradação. Abaixo: simulação COM biodegradação.

MODO PROBABILÍSTICO

FZA-M-59 | 46.742 m³ | Período 1

Diferença de Probabilidade de Presença de Óleo na Superfície (SEM - COM biodegradação)

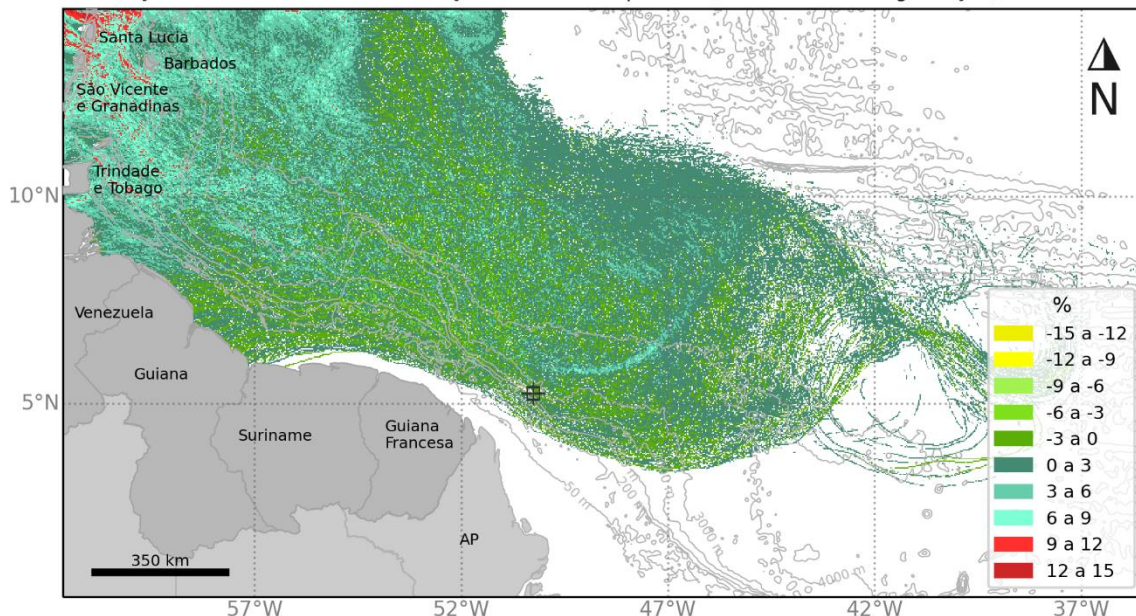


Figura IV.4.2-10 – Mapa da diferença de probabilidade de presença de óleo em superfície no Período 1 das simulações SEM e COM biodegradação. Cálculo por ponto de grade feito da subtração dos valores da simulação SEM biodegradação menos os valores da simulação COM biodegradação.

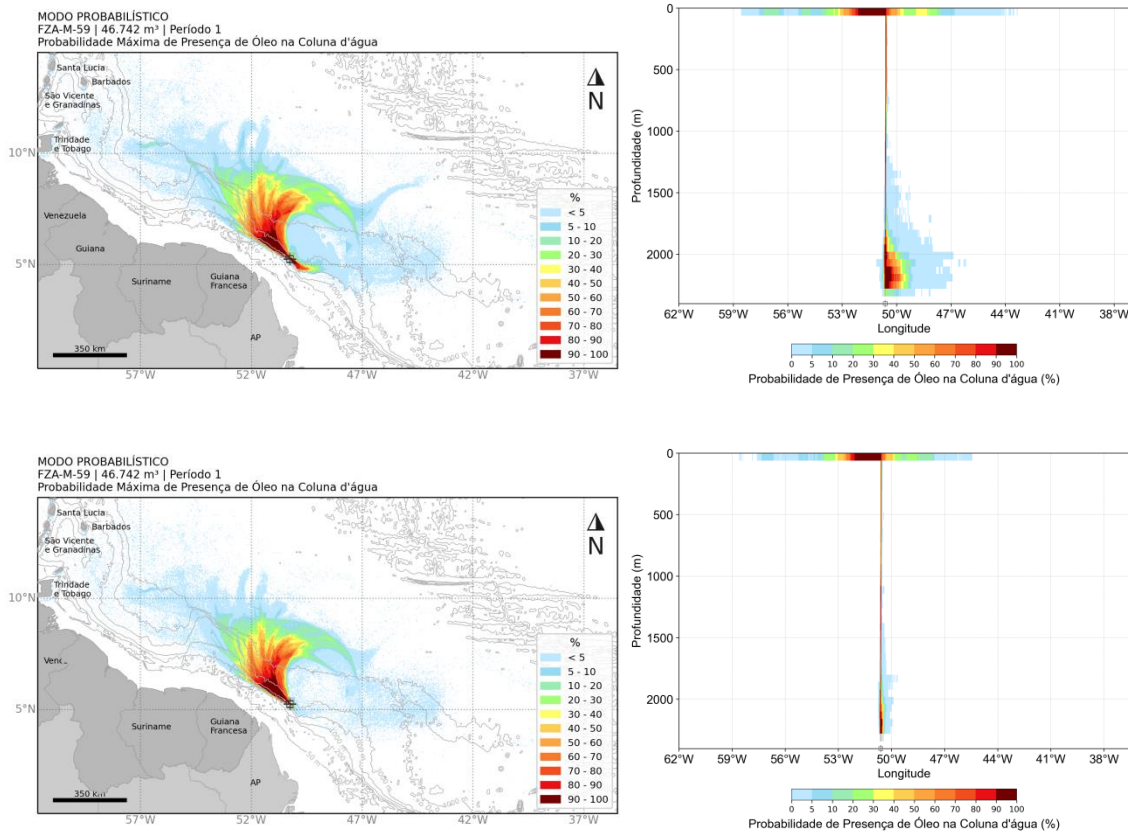


Figura IV.4.2-11 – Mapa de probabilidade máxima de presença de óleo na coluna d'água no Período 1 para um vazamento de 46.742 m³ e simulação de 60 dias. Acima: simulação SEM biodegradação. Abaixo: simulação COM biodegradação.

Quanto aos resultados determinísticos dos dois estudos, uma comparação direta não é possível ser realizada uma vez que as datas das simulações são diferentes e portanto a deriva do óleo foi submetida a condições de vento e corrente distintas. De maneira geral, uma diferença é que as áreas varridas em superfície ao longo de toda a simulação nos cenários da modelagem de 2022 são consideravelmente maiores do que no cenário de 2015. A deriva do óleo no entanto, como era esperado de acordo com os resultados probabilísticos é predominantemente para noroeste em todas as simulações. Devido às diferenças de configurações entre as modelagens já citadas, o menor tempo de chegada de óleo na modelagem de 2022 foi de 16,1 dias na Guiana, enquanto que no estudo de 2015 foi de 58,21 dias em Santa Lucia.

Em resumo, em ambos os estudos, tanto o de 2015 e o 2022, foram realizadas análises extensas dos dados de entrada do modelo de óleo que corroboram a representatividade do padrão de circulação e dinâmica atmosférica local.

Portanto, apesar das diferenças observadas entre os estudos, decorrentes de forma conjunta dos parâmetros de forçantes considerados e das premissas do processo de biodegradação utilizadas em cada um, tem-se que o padrão de probabilidade e os resultados de ambos os estudos são coerentes e refletem de forma satisfatória a dinâmica local da região.

IV.5. Conclusão

O modelo numérico hidrodinâmico de coordenadas sigma ROMS foi implementado na região do Bloco FZA-M-59, utilizando uma grade com resolução espacial de aproximadamente 7 km. As condições de contorno e iniciais implementadas no modelo numérico foram obtidas a partir dos resultados do CMEMS (Mercator), com o modelo sendo forçado pelas variáveis atmosféricas do ERA5 e pelo modelo global de marés TPX07.

Os resultados das comparações entre os resultados do ROMS e os dados medidos, tanto para temperatura, elevação de maré, e correntes, mostraram que o modelo numérico foi capaz de reproduzir bem a circulação oceânica e costeira da região em estudo.

Após comparações com dados observados de várias fontes, relativos à temperatura de superfície do mar (TSM), maré, derivadores e fundeio, os resultados do modelo hidrodinâmico foram considerados aptos a serem utilizados para as simulações de transporte de material no oceano realizadas para o Bloco FZA-M-59. Neste, pode-se obter as variações espaço-temporais da circulação, levando-se em conta mudanças sazonais, infra-sazonais e diurnas, o que garante aos resultados das simulações de transporte uma maior confiabilidade, pois estes irão contemplar uma ampla gama de situações ambientais ocorrentes na região de estudo.

Nas simulações probabilísticas, os períodos sazonais apresentaram comportamentos distintos devido principalmente ao comportamento sazonal da Corrente Norte do Brasil e sua retroflexão. No Período 1, a deriva do óleo foi preferencialmente para noroeste do ponto de vazamento, enquanto no Período 2 a área de probabilidade foi influenciada pelos meandros e a retroflexão da CNB, girando a norte e derivando para leste do domínio.

Nos cenários de 8 m³ nos dois períodos sazonais e no cenário de 200 m³ no Período 2, não foi observada probabilidade de chegada de óleo na costa, enquanto no cenário de 200 m³ no Período 1 foi observada, apesar de baixa, 0,2%, probabilidade de chegada de óleo na Guiana.

Nos cenários de vazamento de Pior Caso, por sua vez, observa-se probabilidade em 9 localidades. No Período 1, a maior probabilidade foi em Martinica (14,2%), enquanto no Período 2, foi em Barbados (14,4%). O menor tempo de chegada, de 12,6 dias é observado no Suriname no Período 1 e no Período 2 foi de 35,6 dias em Barbados. A maior massa de óleo acumulada foi observada na Venezuela nos dois períodos: 4 t/km no Período 1 e 42,9 t/km no Período 2.

Assim como nos cenários de menor volume, neste também não foi observado chegada de óleo em nenhuma Unidade de Conservação.

Na coluna d'água, para os cenários de pior caso que consideram vazamentos de fundo, as áreas de probabilidade são menores que às observadas em superfície. Observa-se probabilidades altas para sudeste do ponto de vazamento em camadas profundas. O óleo ascende do fundo à superfície como uma coluna vertical, apresentando espalhamento horizontal principalmente nas camadas mais superficiais e entre 2.000 e 2.400 metros de profundidade, onde se observam também as maiores concentrações, acima de 200 ppb.

No fundo marinho, a área de probabilidade de chegada de óleo com os maiores valores associados (maiores que 50%) se concentra próximo ao ponto de vazamento e a sudeste deste, em profundidades principalmente acima de 2.000 metros.

Os resultados obtidos em relação ao intemperismo do óleo mostraram que nos vazamentos instantâneos ocorridos na superfície (8 m³ e 200 m³) o processo de evaporação foi o principal responsável pela retirada de óleo da superfície da d'água, com mediana entre 52% e 60%. Nos vazamentos contínuos de fundo, a dispersão do óleo na coluna d'água foi o mais importante do longo das simulações (mediana de 68% no Período 1 e 52% no Período 2), seguida pela evaporação (mediana de 27% no Período 1 e 33% no Período 2).

Com base nos resultados probabilísticos, foram escolhidas como condições críticas as simulações de menor tempo de toque de óleo na costa e de maior massa acumulada na costa, a primeira obtida no Período 1 e a segunda no Período 2. A deriva do óleo na situação de menor tempo foi para noroeste até a chegada na costa da Guiana após 16,1 dias, chegando posteriormente em outras localidades. Já na situação de maior massa acumulada, o óleo apresentou deriva


diversa, para noroeste e para leste com a retroflexão e a chegada do óleo na costa do Suriname ocorreu após 44,7 dias de simulação. Os percentuais de óleo acumulado na costa foram equivalentes a 0,2% e 1,2% do total vazado nos cenários de tempo e massa, respectivamente, e em ambos o remanescente de óleo em superfície no final da simulação foi inferior a 5%.

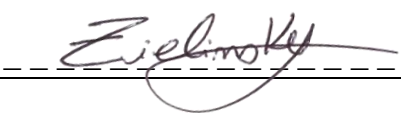
A análise comparativa entre os resultados da modelagem realizada no ano de 2015 e os resultados do presente estudo (2022) para o bloco FZA-M-59, mostrou que de maneira geral o comportamento do óleo vazado nos dois estudos carregam em si semelhanças. Apesar das diferenças observadas entre os estudos, decorrentes de forma conjunta dos parâmetros de forçantes considerados e das premissas do processo de biodegradação utilizadas em cada um, tem-se que o padrão de probabilidade e os resultados de ambos os estudos são coerentes e refletem de forma satisfatória a dinâmica local da região. Destaca-se ainda que, com todas as melhorias implementadas e atualizações nos modelos, os resultados apresentados continuam sem indicar toque de óleo na costa brasileira.

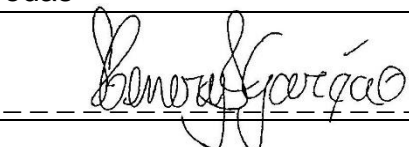
IV.6. Bibliografia

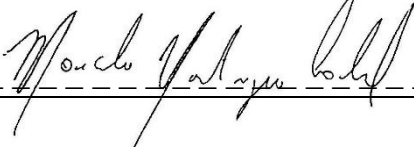
- AMANTE, C., and B.W. EAKINS. 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, Whole-world grids available online at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data 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.
- 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: 1 mar. 2021.
- 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 (Ministério do Meio Ambiente), 2018. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo.html>. Acesso em em: 1 mar. 2021.

EQUIPE TÉCNICA**Equipe da Prooceano Serviço Oceanográfico e Ambiental Ltda.**

Profissional	Flávia Pozzi Pimentel
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	Não Aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	2473071
Responsável pela(s) Seção(ões)	Modelagem de Derrame de Óleo
Assinatura	

Profissional	Gabriel Medeiros Zielinsky
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	-
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	8119469
Responsável pela(s) Seção(ões)	Modelagem Hidrodinâmica
Assinatura	

Profissional	Henery Ferreira Garção
Empresa	PROOCEANO
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	

Profissional	Marcelo Montenegro Cabral
Empresa	PROOCEANO
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	 -----