

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

**Resposta ao Parecer Técnico
n° 31/2023-COEXP/CGMAC/DILIC
Bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas**

Volume Único

Revisão 00

Fevereiro/2023

PÚBLICA

ÍNDICE GERAL

I.INTRODUÇÃO	1
II.QUESTIONAMENTOS.....	1
II.1.QUESTÃO 1	1
II.2.QUESTÃO 2	4
II.3.QUESTÃO 3	12
II.4.QUESTÃO 4	14
II.5.QUESTÃO 5	15
II.6.QUESTÃO 6	18
II.7.QUESTÃO 7	18
II.8.QUESTÃO 8	27
II.9.QUESTÃO 9	27
II.10.QUESTÃO 10.....	27
II.11.QUESTÃO 11.....	28
II.12.QUESTÃO 12.....	30
II.13.QUESTÃO 13.....	32
III.BIBLIOGRAFIA	39
EQUIPE TÉCNICA.....	1

I. Introdução

Este documento visa responder aos questionamentos do item II.8. ATUALIZAÇÃO DA MODELAGEM NÚMERICA do Parecer Técnico nº 31/2023-COEXP/CGMAC/DILIC acerca da Análise do Relatório Técnico de Modelagem de Derrame de Óleo no Mar, relativo à Atividade de Perfuração Marítima Bloco FZA-59, Bacia do Foz do Amazonas, que foi elaborado e apresentado no mês de novembro de 2022 em atendimento ao Parecer Técnico 222/2022-COEXP/CGMAC/DILIC, dentro do Processo IBAMA de número 02022.000336/2014-53.

II. Questionamentos

II.1. Questão 1

“No estudo é apresentada uma imagem com o campo médio de salinidade obtido do ROMS para o mês de maio, mês contido no período de intensificação das chuvas e maior descarga fluvial. No entanto, não é possível observar um alcance expressivo da água doce oriunda desta descarga, como é possível verificar em bibliografias e até mesmo no estudo apresentado anteriormente. Tal observação levanta a hipótese de haver alguma limitação dos resultados do modelo do Mercator para as descargas fluviais.”

Resposta:

Como citado, foi apresentado somente o campo médio de salinidade no estudo mais atual (2022). Ao apresentar a média mensal, os instantes de maior alcance da descarga fluvial não são bem representados. No estudo de 2015, foi apresentado um instantâneo para o campo de salinidade, sendo mais bem observado este alcance.

Para uma melhor comparação entre os dois estudos e melhor observação do alcance da descarga fluvial no modelo, é apresentado a seguir o campo de salinidade do ROMS na modelagem hidrodinâmica do estudo de 2022 para um instante de tempo no dia 28 de maio de 2013 (Figura II.1-2). Da mesma forma que o apresentado para o estudo de 2015 (Figura II.1-1), é possível neste caso observar o alcance expressivo da água doce.

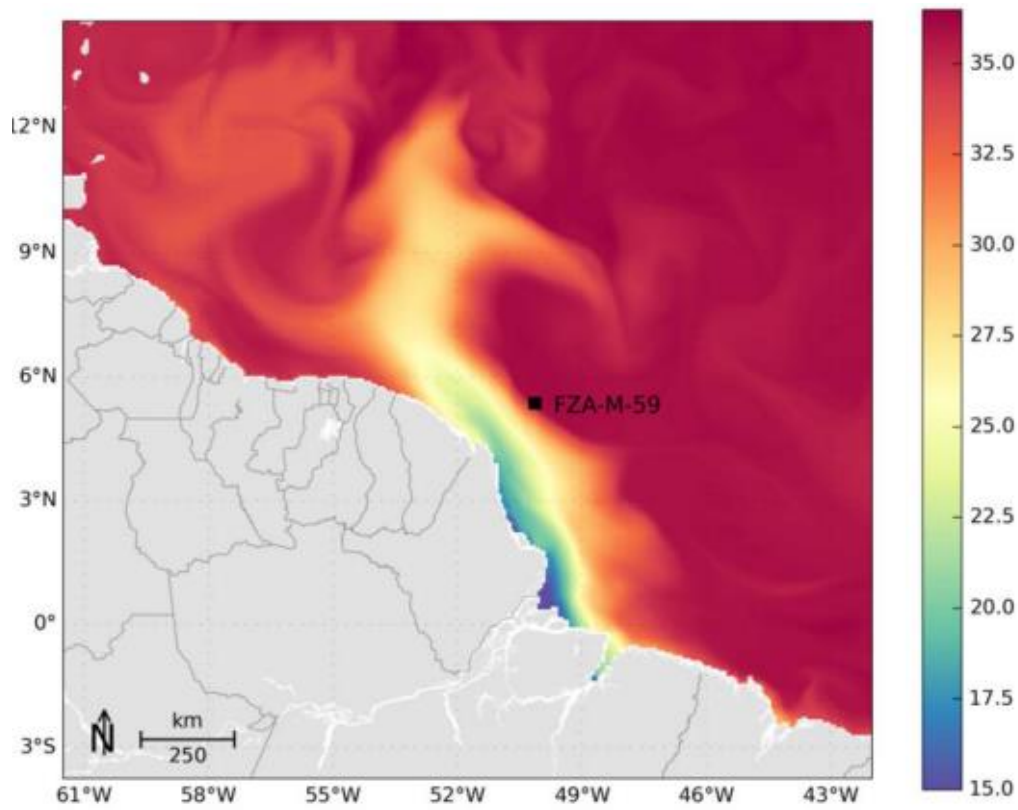


Figura II.1-1 - Campo de salinidade superficial no dia 28/05/2013 obtido do ROMS para o estudo de 2015.

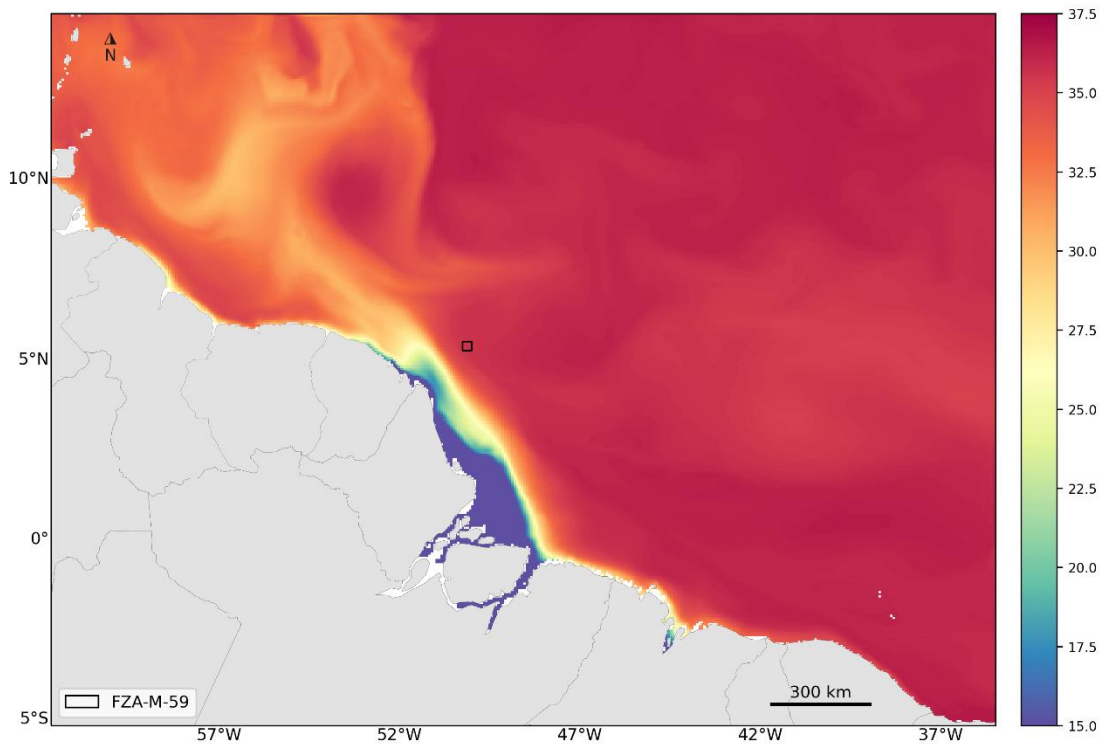


Figura II.1-2 - Campo de salinidade superficial no dia 28/05/2013 obtido do ROMS para o estudo de 2022.

A hidrografia da plataforma continental amazônica é dominada por uma pluma superficial de água salobra formada pela mistura de água doce do rio Amazonas com a água salgada oceânica. A estrutura do campo de salinidade é a de uma clássica cunha salina estuarina, porém com uma particularidade, não é confinada ao canal do rio e ocorre para fora da boca.

Além do movimento oscilatório perpendicular à costa gerado pela maré, a pluma do Amazonas também apresenta movimento paralelo à costa, associado à circulação de plataforma, podendo se estender por centenas de quilômetros para noroeste. Apesar de sempre se dirigir para noroeste, a extensão e estrutura da pluma podem variar significativamente em questão de semanas (GEYER *et al.*, 1991) (Figura II.1-1).

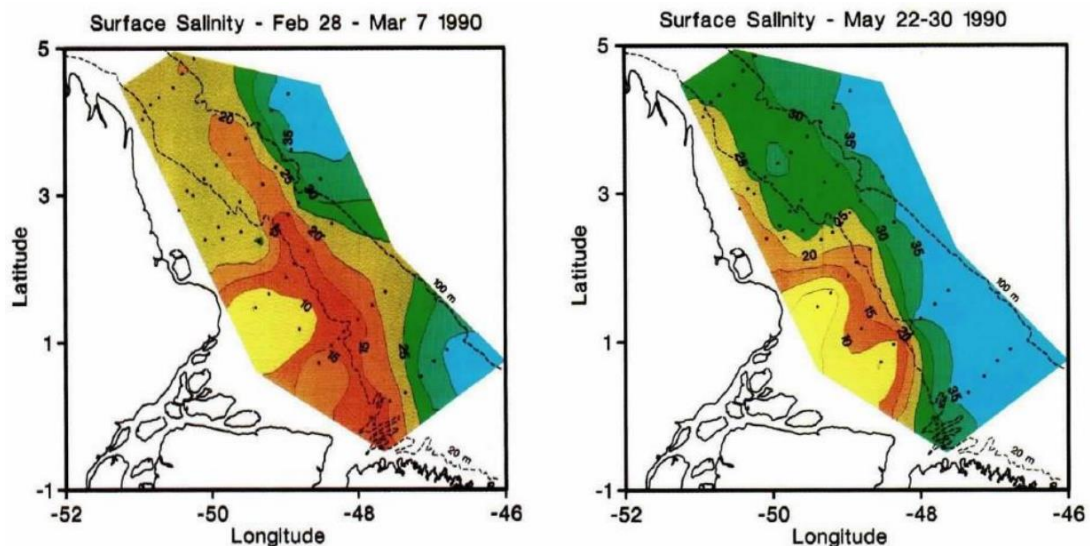


Figura II.1-3 - Distribuição da salinidade superficial observada durante os períodos de 28 de fevereiro a 7 de março (esquerda) e 22 a 30 de maio (direita), de 1990, no contexto do projeto AMASSEDS. Figura retirada de Geyer *et al.* (1991).

Fontes *et al.* (2008) observou um alcance da pluma de aproximadamente 480 km após 15 dias de simulação ao considerar as premissas de vazão constante de $1,98 \times 10^5$ m³/s, ventos constantes de nordeste (8 m/s) e maré astronômica. Nikiema *et al.* (2007), impondo uma vazão constante de $2,3 \times 10^5$ m³/s para o rio Amazonas e de $1,1 \times 10^4$ m³/s para o rio Pará e considerando as condições de vento e maré dos primeiros 20 dias de julho, observou em suas simulações um alcance da pluma de mais de 500 km paralelo a costa para noroeste e de

aproximadamente 250 km transversal a costa. As plumas de Fontes *et al.* (2008) e Nikiema *et al.* (2007) apresentam comportamento distinto entre si, principalmente no alcance das isohalinas, o que pode estar relacionado à descarga fluvial distinta que consideram em seus modelos, assim como às diferentes simplificações que aplicam (ventos constantes, falta de representação dos bancos lamosos, não representação da Corrente Norte do Brasil).

Apesar de apresentar um movimento sempre para noroeste, a estrutura e a extensão da pluma é muito dinâmica e apresenta grande variabilidade em escalas temporais bem mais curtas do que as variações sazonais na descarga fluvial (GEYER *et al.*, 1991; NIKIEMA, 2007). Isto se deve ao fato de que a estrutura salina deste estuário – um dos maiores do mundo – responde às mesmas forçantes que qualquer outro estuário, ou seja, à vazão do rio, do vento e da mistura da maré, nas escalas temporais de horas (maré enchente e vazante), dias (descarga de água doce e vento), semanas (maré de sizígia e quadratura) e meses (variação sazonal da vazão) (MOLINAS *et al.*, 2014).

Nota-se que, nas modelagens realizadas para 2015 e 2022, as plumas apresentam o comportamento de alongamento para noroeste descrito pela bibliografia, bem como extensão na mesma ordem de grandeza, de centenas de quilômetros.

Dessa forma, as análises da pluma do rio Amazonas apresentadas mostram que a sua extensão horizontal paralela e transversal à costa está de acordo com o descrito na literatura mais recente. Foi verificado que o modelo representa a sua variabilidade nas escalas temporais de horas, dias, semanas e meses, pois inclui as forçantes de maré, vazão média mensal, corrente de meso e larga escala e vento.

II.2. Questão 2

“Dentre os dados utilizados para avaliar o modelo, usou-se as marés. Os dados de marés obtidos de estações maregráficas mais próximas aos pontos de grade do modelo foram comparadas aos dados reconstituídos a partir das constantes harmônicas obtidas de série de elevação do nível do mar retirada do modelo ROMS. No demonstrativo são apresentados gráficos para cada estação, de todo

período e de 30 dias, para aumentar a acuidade na observação. O mês adotado foi o de janeiro de 2013, sem qualquer justificativa aparente. Questiona-se o motivo pelo qual se escolheu esse e não aquele. Indaga-se se haveria ganho na comparação utilizar também o mês de fevereiro, já que este apresentou ventos mais intensos, de acordo com os dados do ERA apresentados. Destaca-se que a sugestão não exclui o mês de janeiro, já que este apresentou maior incidência de ventos de nordeste, como informado.”

Resposta:

Foi escolhido um mês arbitrário para facilitar a observação. Em atendimento a este questionamento e levando em consideração a observação de ser o mês de ventos mais fortes, são apresentadas a seguir as comparações com as estações maregráficas com destaque para o mês de fevereiro (Figura II.2-1 à Figura II.2-7).

A magnitude das diferenças entre a elevação no ROMS e a prevista para as estações FEMAR no mês de fevereiro é muito similar à observada para o mês de janeiro (apresentada no estudo da modelagem de 2022). Novamente, as maiores diferenças são observadas nas estações Cabo Maguari-PA e Luiz Correia-PI, que apresentam uma boa concordância em fase, com baixas variações das amplitudes para mais e para menos.

Na próxima questão, Questão 3, são discutidas as razões das diferenças observadas entre os resultados do ROMS e as séries obtidas a partir dos dados das estações maregráficas da FEMAR.

PARACURÚ

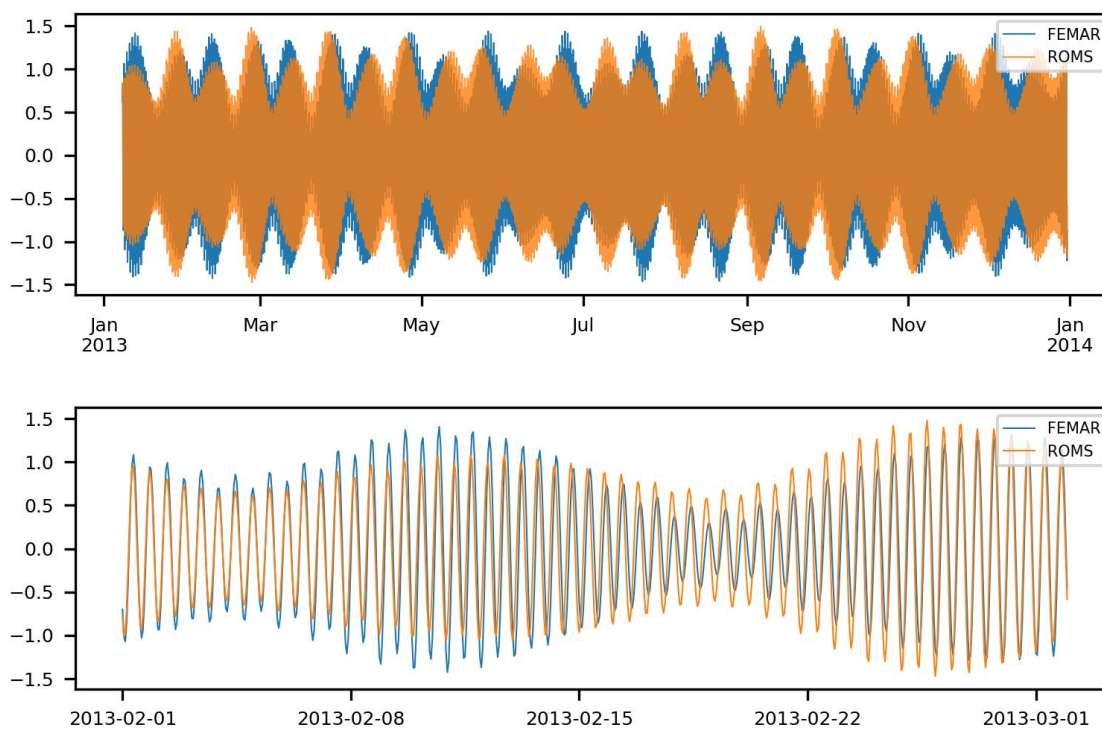


Figura II.2-1 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Paracurú-CE e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

LUIZ CORREIA

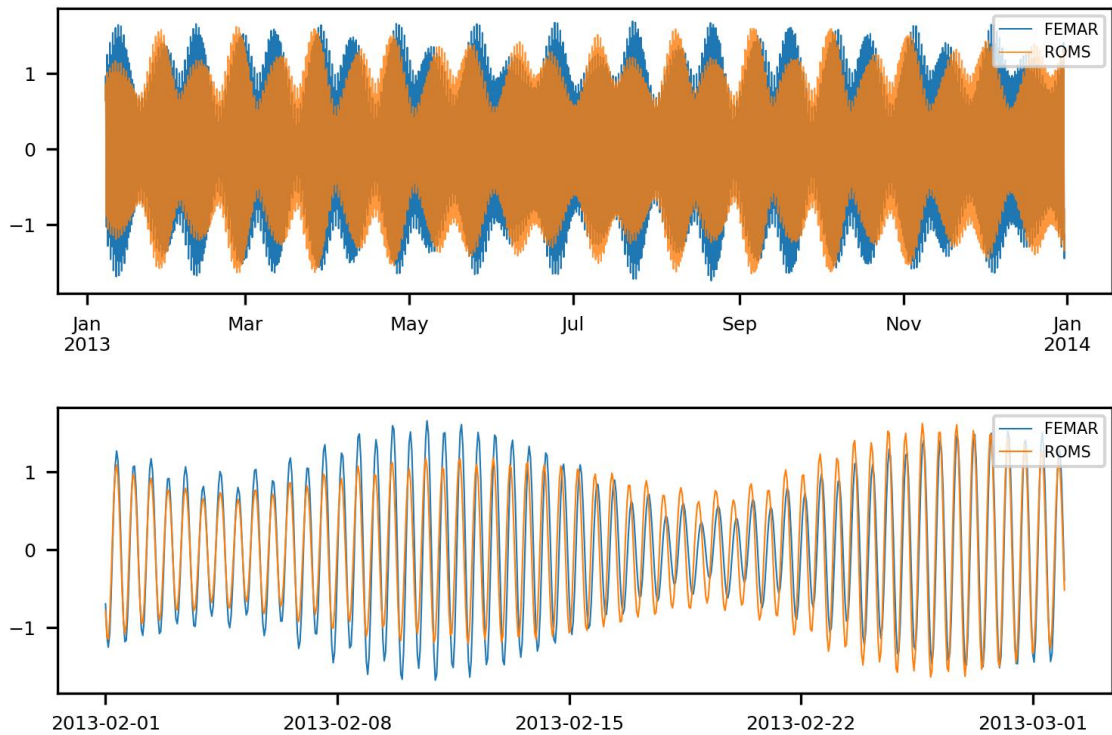


Figura II.2-2 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Luiz Correia-PI e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

MANGUNÇA

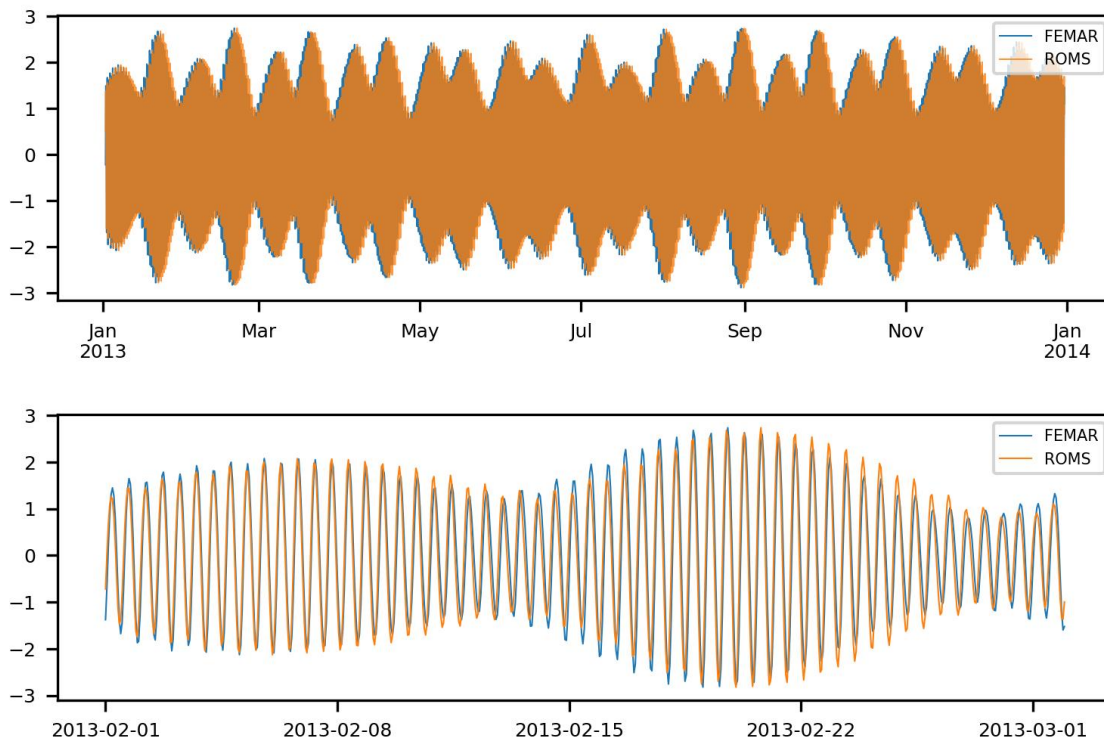


Figura II.2-3 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Mangunça-MA e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

ILHA DOS IRMÃOS

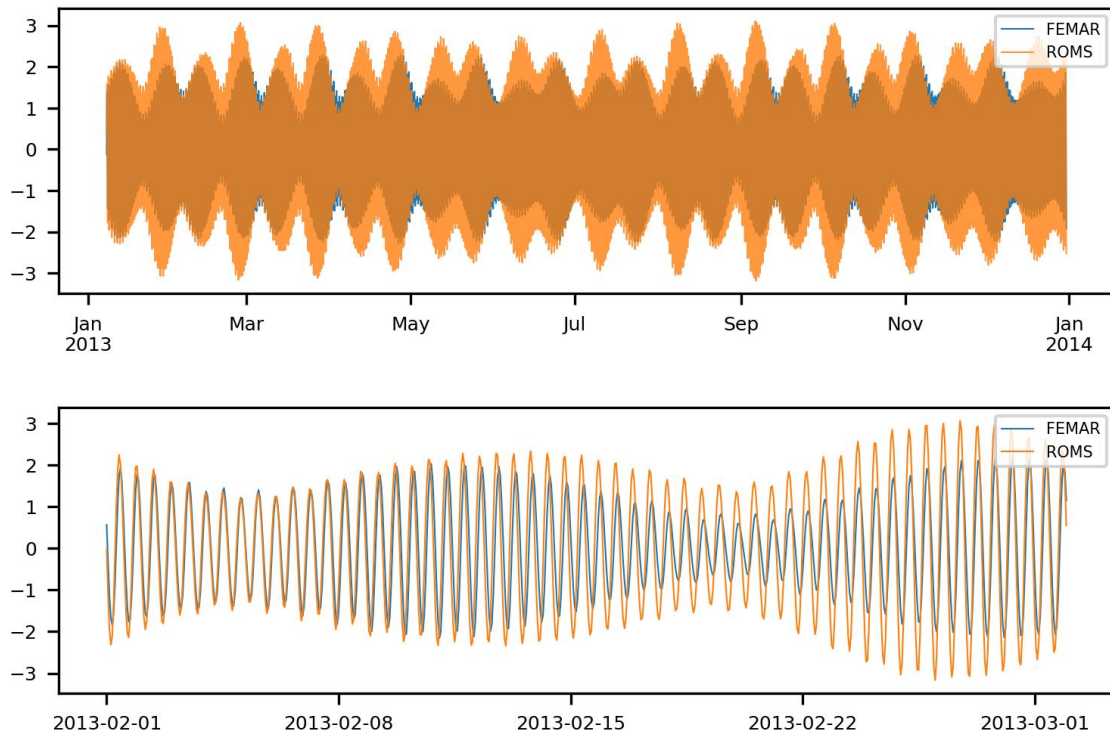


Figura Il.2-4 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Ilha dos Irmãos e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

CABO MAGUARI

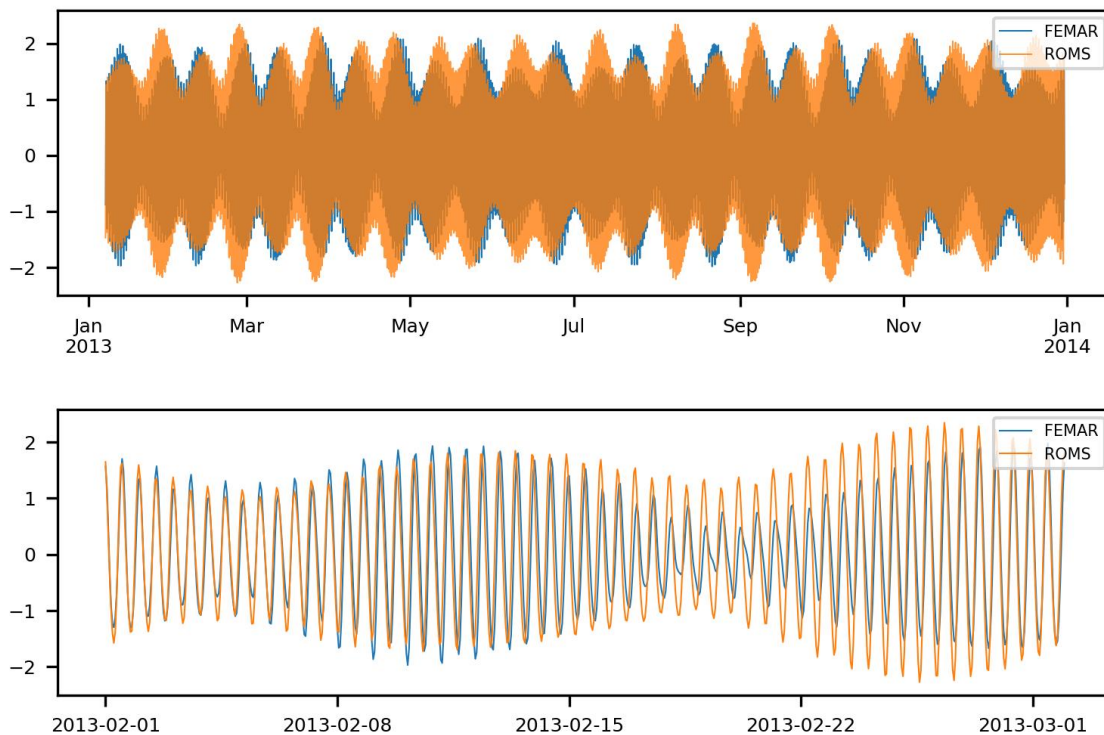


Figura II.2-5 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR do Cabo Maguari e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

PLATAFORMA PENROD - OCEÂNICA

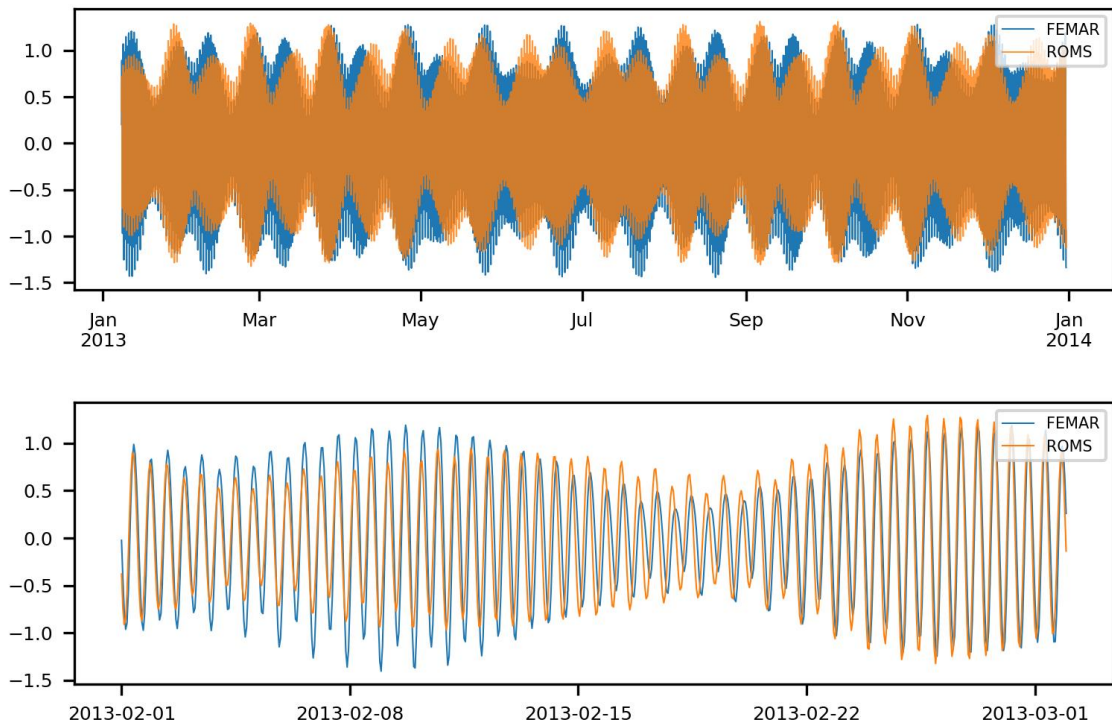


Figura II.2-6 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Plataforma Penrod e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

Ponta dos Índios

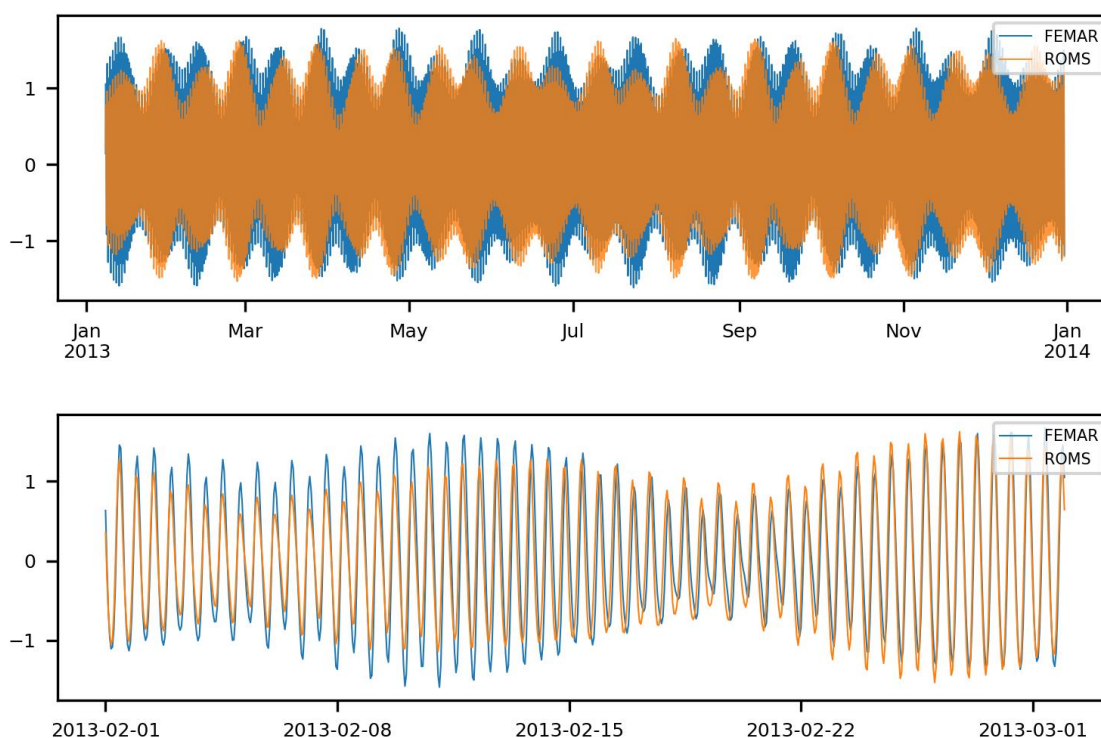


Figura II.2-7 - Comparação entre a maré prevista para a estação da FEMAR de Ponta dos Índios-AP e calculada pelo ROMS para o ponto de grade mais próximo, para todo o período de modelagem (superior) e para um período de 30 dias (inferior).

II.3. Questão 3

“Nas estações da FEMAR de Paracurú-CE, Luiz Correia-PI, Plataforma Penrod-Oceânica e Ponta dos Índios- AP foi possível notar que para a primeira semana do mês as duas estações apresentaram amplitudes discretamente maiores do que as do modelo ROMS, mas, na última semana, apresentaram amplitudes menores que as do modelo. Acredita-se que esta pequena diferença seja em razão das mudanças de fase da lua ao longo das semanas, que o modelo, ao estabelecer um padrão, não é capaz de alcançar. Como calculado, tais estações apresentaram valores de correlação de Pearson abaixo da média de 95%. Outra estação que apresentou correlação abaixo da média foi a Cabo Maguari-PA.”

Resposta:

Conforme apresentado no relatório da Modelagem Hidrodinâmica, o modelo ROMS foi forçado com o TPXO8.

O modelo TPXO inclui 8 constantes primárias (M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1), duas de longo período (Mf, Mm) e 3 não lineares (M4, MS4, MN4) (EGBERT & SVETLANA, 2002). Cada constante harmônica possui um período específico, como apresentado na tabela a seguir.

Tabela II.3-1 - Principais constantes harmônicas incluídas no modelo TPXO8 e seus respectivos períodos. Fonte: BROWN (1989).

Constantes harmônicas	Período (h)
M2	12,42
S2	12,00
N2	12,66
K2	11,97
K1	23,93
O1	25,82
P1	24,13
Q1	26,72
Mf	327,86
Mm	661,30

A componente Mf retrata a componente lunar quinzenal com período de aproximadamente 14 dias, enquanto a Mm é a lunar mensal, com período de aproximadamente 28 dias. Portanto, o modelo consegue captar as mudanças da fase da lua ao longo das semanas.

As diferenças observadas nos gráficos são esperadas, sendo importante destacar alguns aspectos na comparação realizada entre os níveis calculados a partir das constantes harmônicas da FEMAR e os resultados do modelo ROMS.

A série de elevação do nível do mar obtida a partir das constantes harmônicas da FEMAR considera apenas as forçantes astronômicas (marés astronômicas). Enquanto isso, os resultados do modelo ROMS, além das constantes harmônicas do modelo TPOX8 (maré astronômica), incorporam também os efeitos da interação oceano-atmosfera. Esses efeitos geram

oscilações dos níveis de água com várias frequências e amplitudes, a chamada maré meteorológica.

Além disso, as constantes harmônicas que dão origem às séries de nível do mar da FEMAR são obtidas em estações costeiras, ou seja, em regiões rasas e muitas vezes abrigadas. A onda de maré nessas regiões sofre transformações devido ao fundo e às margens que não podem ser capturadas por modelos que têm como objetivo principal resolver os processos de mesoescala a nível de bacias oceânicas, como é o caso do modelo ROMS utilizado neste estudo.

Por não ser esperada total concordância entre os dados comparados, os resultados obtidos foram satisfatórios. Os valores de correlação de Pearson variaram entre 93,4% (Cabo Maguari-PA) e 98,5% (Mangunça-MA), com bons indicativos. Mesmo o menor valor é bem próximo a 95%, sendo considerado aceitável. O modelo hidrodinâmico utilizado retrata adequadamente os fenômenos de mesoescala, necessários para uma boa representação dos resultados de modelagem de óleo para o domínio do estudo, em região *offshore*.

II.4. Questão 4

“Com relação à avaliação do modelo através da Temperatura da Superfície do Mar, como textualmente descrito, o modelo parece representar bem a frente da Corrente Norte do Brasil e da Contra Corrente Norte Equatorial, bem como a intensificação da retroflexão da CNB e a formação de vórtices da CNB. É possível observar, em todos os meses do ano, com maiores e menores intensidades, uma superestimação da CNB por parte do ROMS. No ponto mais próximo ao bloco, os dados de TSM do MUR apresentaram valores mais alto para quase todo o período de um ano, chegando a 1° C em julho de 2013.”

Resposta:

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 aceitáveis e encontram-se dentro das faixas habituais da literatura.

II.5. Questão 5

“Ainda no tópico de avaliação do modelo, agora pelas correntes superficiais, foram apresentados seis derivadores, que apresentaram trajetória dentro da área de interesse da modelagem. No período de deriva apresentado pelos seus derivadores, nenhum tem trajetória no intervalo de tempo considerado como período 2, na definição da sazonalidade, ou seja, para o segundo semestre.”

Resposta:

Os 6 derivadores citados são os do *Global Drifter Program* (GDP) para o ano de 2013 na região de domínio da modelagem. De fato, estes derivadores não englobam os meses do Período 2.

No entanto, de forma complementar, além dos dados do GDP, também foram utilizados os derivadores do tipo SVP do Projeto Costa Norte (PCN). Neste 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. Embora de anos diferentes, a cobertura sazonal destes dados é maior e engloba os meses do Período 2 também. 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 (apresentadas no relatório original como Figura III.5.4.1-7 e Figura III.5.4.1-8 e rerepresentadas a seguir como Figura II.5-1 e Figura II.5-2). Os resultados desta comparação foram satisfatórios.

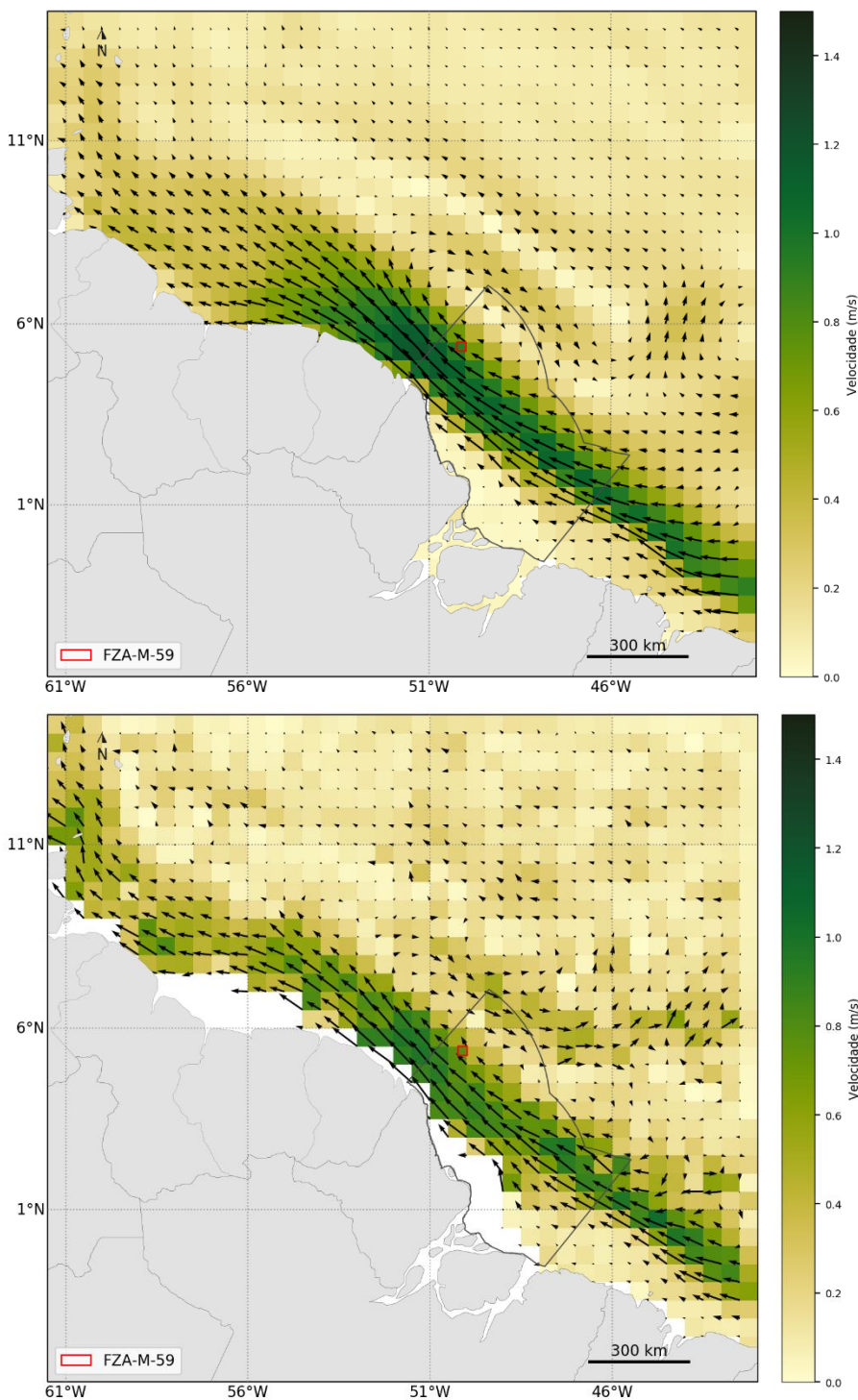


Figura II.5-1 - Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica (acima) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 1 (dezembro a junho).

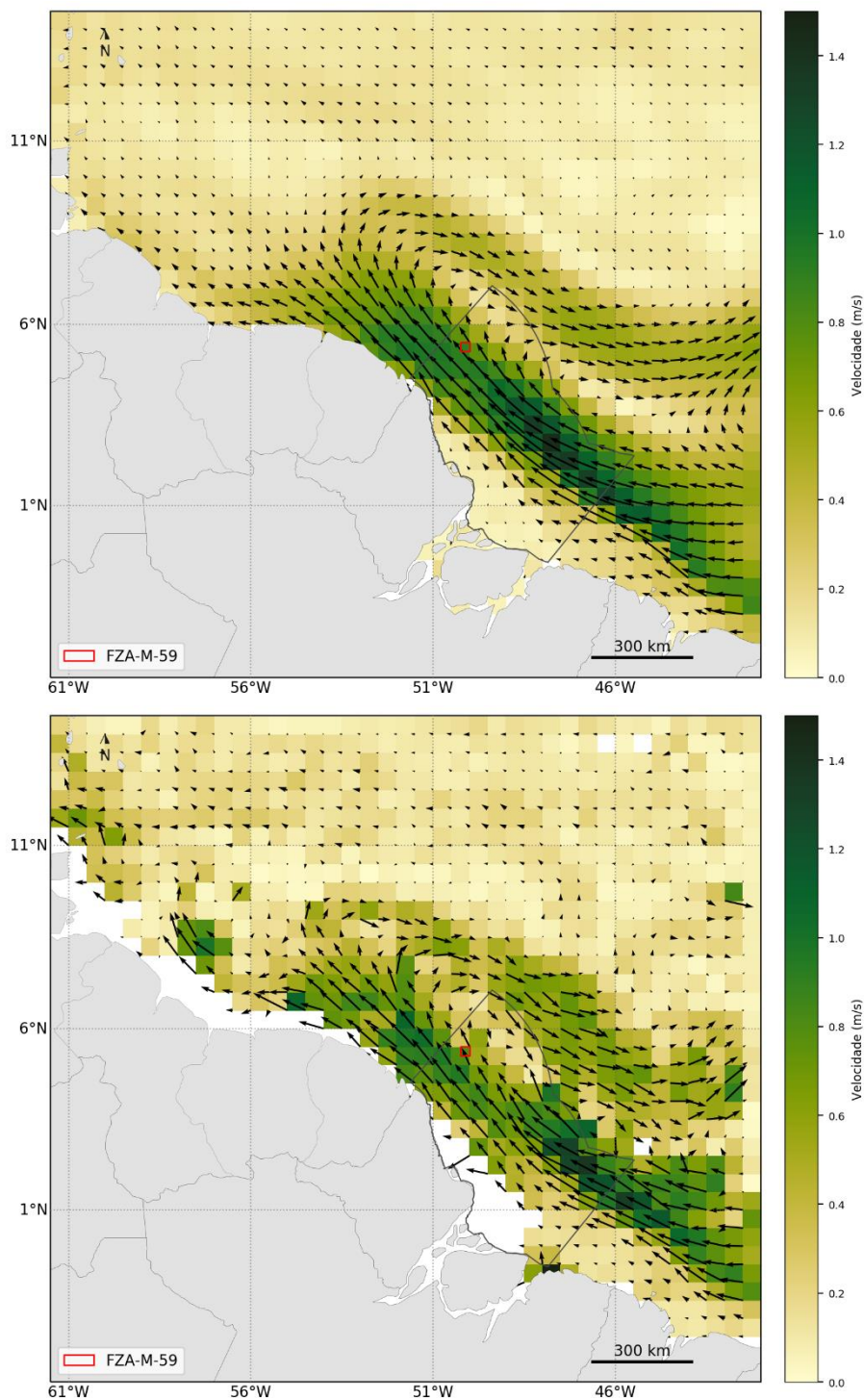


Figura II.5-2 - Correntes superficiais médias (caixas de 1°) obtidos a partir dos resultados da modelagem hidrodinâmica (acima) e a partir dos dados de derivadores (abaixo), para o Período 2 (julho a novembro).

II.6. Questão 6

“Ainda no item acerca das correntes, utilizou-se os dados dos derivadores do tipo SVP para comparação com os campos apresentados pelo modelo ROMS. Questiona-se a não adoção na comparação obtidas pelos dados dos derivadores do tipo NOMAD, que no Projeto Costa Norte foram lançados a partir de seus pontos distintos, diferente dos do tipo SVP, que foram lançados de três diferentes pontos.”

Resposta:

Derivadores do tipo NOMAD não apresentam qualquer tipo de vela. São equipamentos desenhados especificamente para que seu comportamento na superfície do mar seja similar ao do óleo. Suas trajetórias são influenciadas tanto pelas correntes superficiais quanto pelo vento, não sendo indicados para avaliação de correntes.

Este tipo de análise foi aplicado para os derivadores do tipo SVP, pois estes possuem uma vela a aproximadamente 15 m de profundidade e seu *design* é intencional para que sua trajetória seja influenciada por correntes superficiais. Dessa forma, comparações entre as velocidades desses derivadores e as correntes superficiais do modelo hidrodinâmico foram realizadas e apresentadas.

II.7. Questão 7

“As rosas de correntes apresentadas por dados do fundeio FZA3000 e do modelo ROMS mostram que os dados do fundeio apresentam espalhamento direcional já para os primeiros metros de coluna d’água, chegando a apresentar 10% de ocorrências para oeste nos primeiros 28 metros de profundidade. Com relação à intensidade, o ROMS tendeu a subestimar as intensidades das correntes apresentadas, quando comparadas aos dados obtidos pelo fundeio. Sugere-se desmembrar os dados dos fundeios de acordo com a sazonalidade adotada para melhorar a comparação entre os dados, mesmo levando em consideração que os períodos modelados e coletados pelo fundeio são diferentes, mantendo a lógica apresentada de avaliar a representatividade estatística da intensidade e direção das correntes do modelo ao longo da coluna d’água.”

Resposta:

São apresentadas a seguir, da Figura II.7-1 à Figura II.7-14, as comparações do fundeio com o modelo ao longo da coluna d'água para cada período sazonal.

De forma geral, nos primeiros metros de coluna d'água (28 – 153 m) as correntes observadas pelo fundeio FZA3000 apresentam maiores intensidades e menor espalhamento direcional no Período 2, quando comparadas ao Período 1. Já para as camadas intermediárias (> 153 m) e profundas a variação sazonal foi menos expressiva. Levando em consideração que os períodos modelados e coletados pelo fundeio são diferentes, nos primeiros metros de coluna d'água, as bases hidrodinâmicas conseguiram capturar a sazonalidade, apresentando maiores intensidades e, embora menos demarcada, menor variabilidade direcional para o Período 2. Assim como observado na análise ao longo de todo o período, as correntes da base hidrodinâmica de 2015 apresentaram resultados sazonais um pouco mais próximos aos observados pelo fundeio FZA3000, quando comparados com a base de 2022.

É importante ressaltar que o fundeio FZA3000 coletou dados entre 20 de setembro de 2016 e 21 de setembro de 2017, não sendo concomitante aos resultados da modelagem hidrodinâmica (ano de 2013). Isso ocorre para uma posição específica. Sendo assim não é possível afirmar somente por essa análise, de maneira definitiva, que uma base hidrodinâmica é mais adequada do que a outra para o estudo. O que podemos afirmar é que a base elaborada em 2022 utilizou bases de dados mais atualizadas como forçantes e condições de contorno do modelo ROMS.

Essas comparações, portanto, não devem ser interpretadas de maneira única e exclusiva para a validação do modelo. Por isso, vários outros dados de fontes diversas foram utilizados em conjunto como comparativo. Apesar da modelagem de 2015 ser coerente e válida, os resultados hidrodinâmicos obtidos pelo modelo de 2022 trouxeram ganhos significativos ao estudo, pois, de certa forma, validaram o padrão de correntes e de trajetórias de manchas de óleo obtidas no estudo de 2015.

Esta questão tem relação direta com a Questão 10.

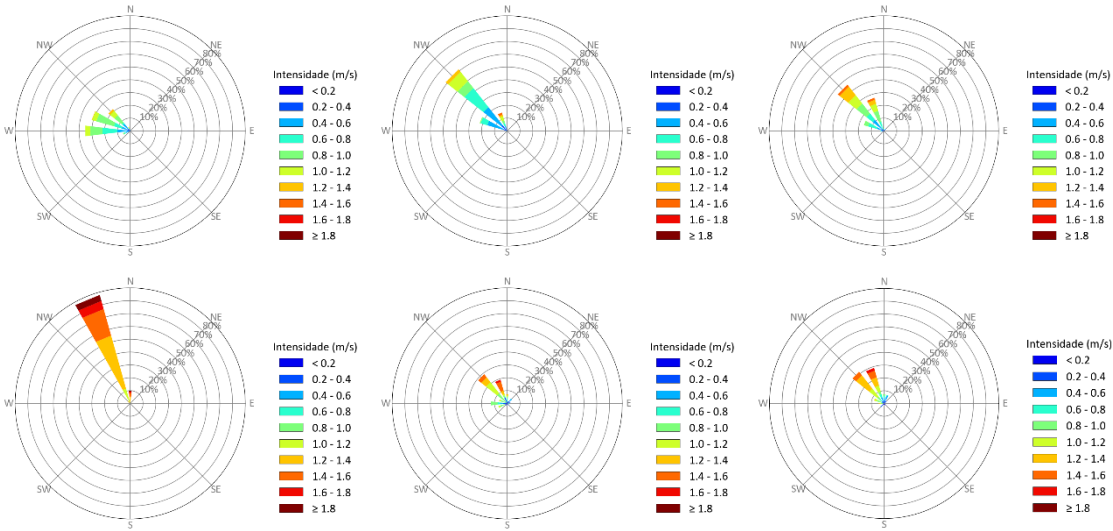


Figura II.7-1 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 28 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

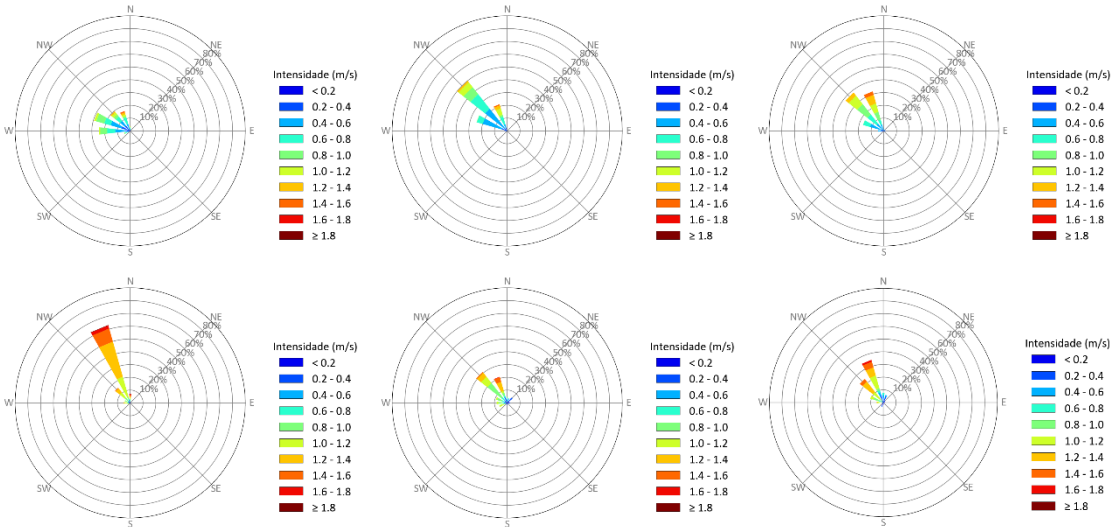


Figura II.7-2 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 52 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

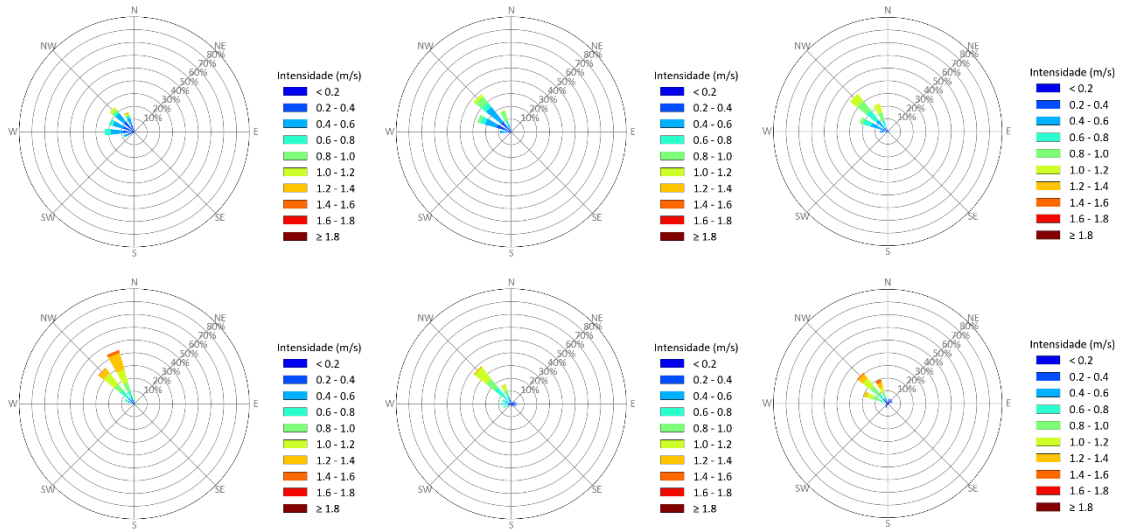


Figura II.7-3 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 105 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

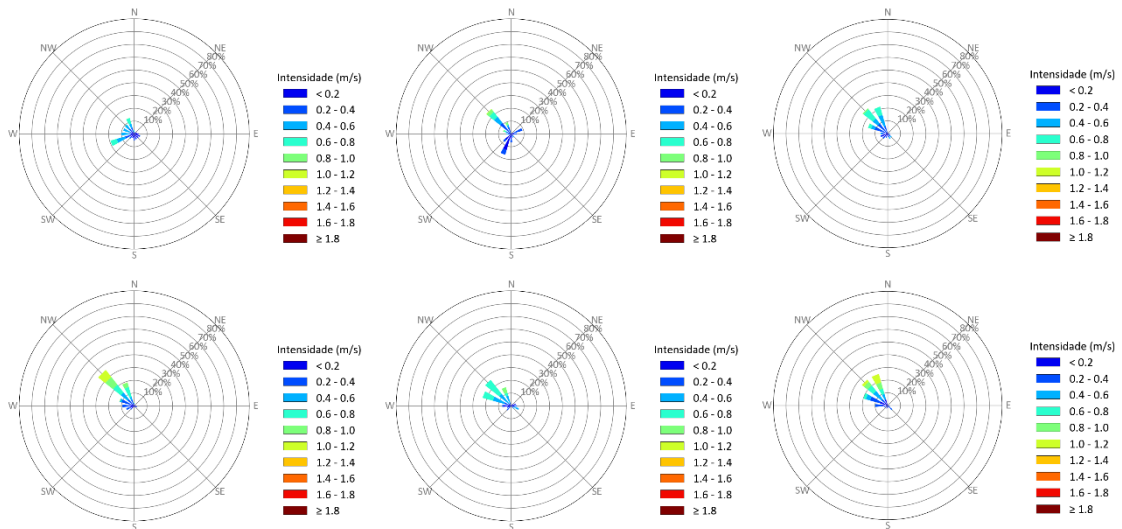


Figura II.7-4 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 153 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

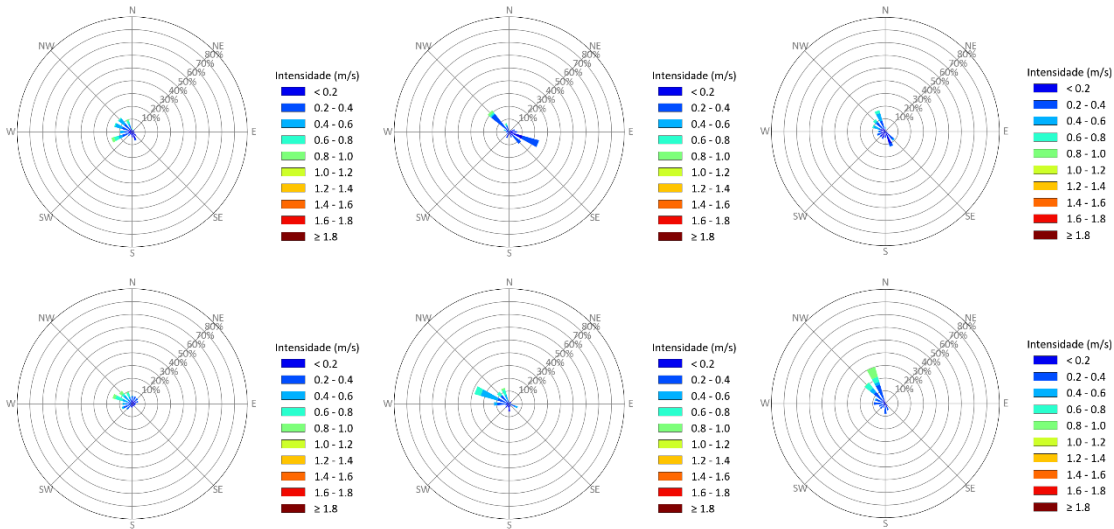


Figura II.7-5 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 201 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

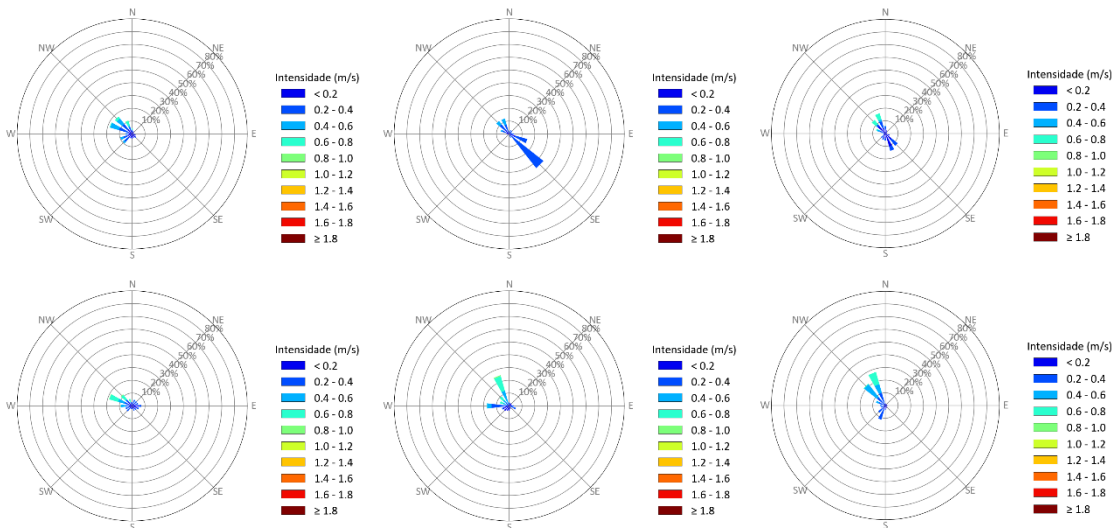


Figura II.7-6 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 301 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

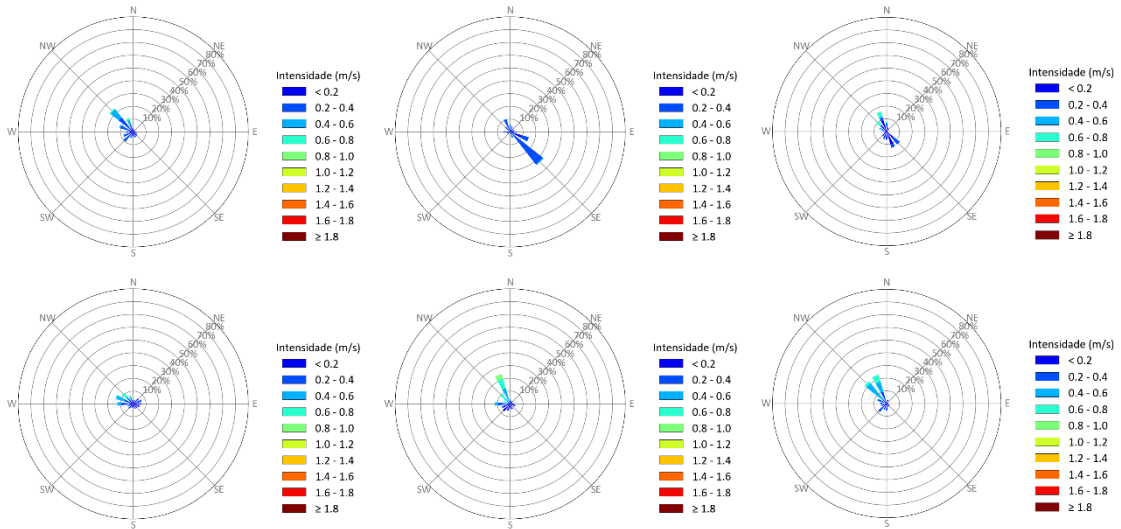


Figura II.7-7 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 397 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

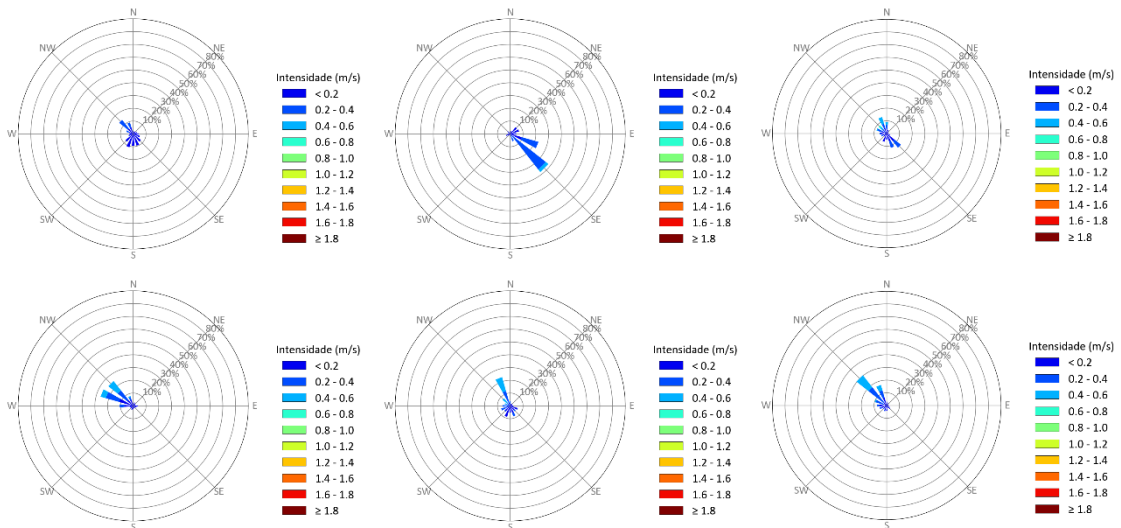


Figura II.7-8 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 621 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

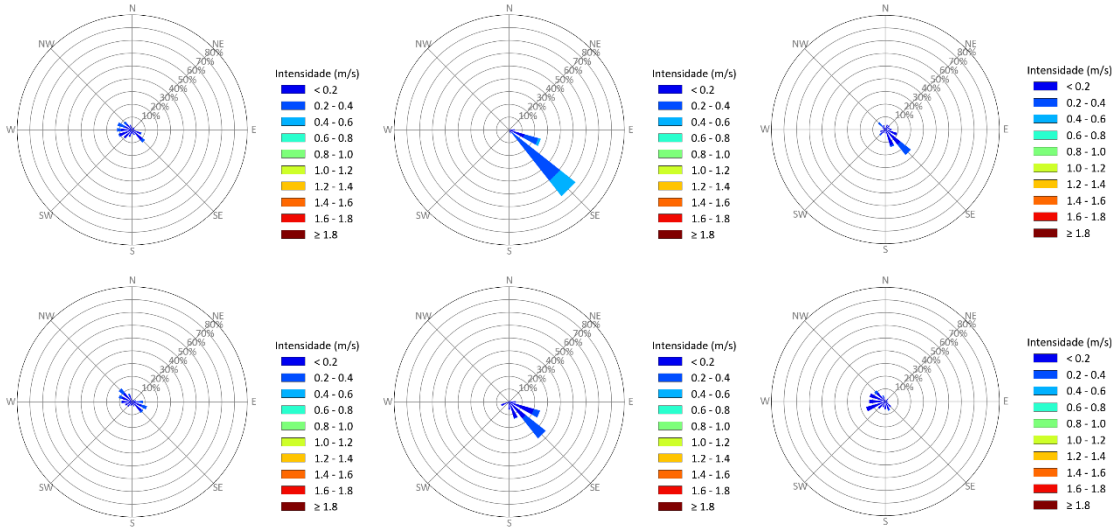


Figura II.7-9 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 1.015 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

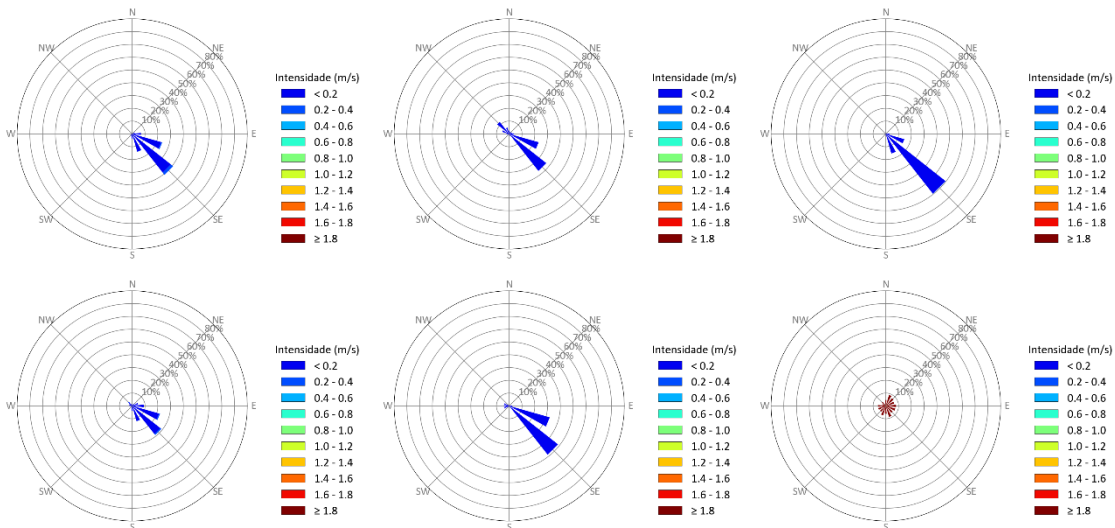


Figura II.7-10 - Rosas de correntes obtidas dos dados do fundeio FZA3000 (esquerda), dos resultados da base de 2022 (centro) e 2015 (direita) para 2.982 m de profundidade no Período 1 (superior) e Período 2 (inferior).

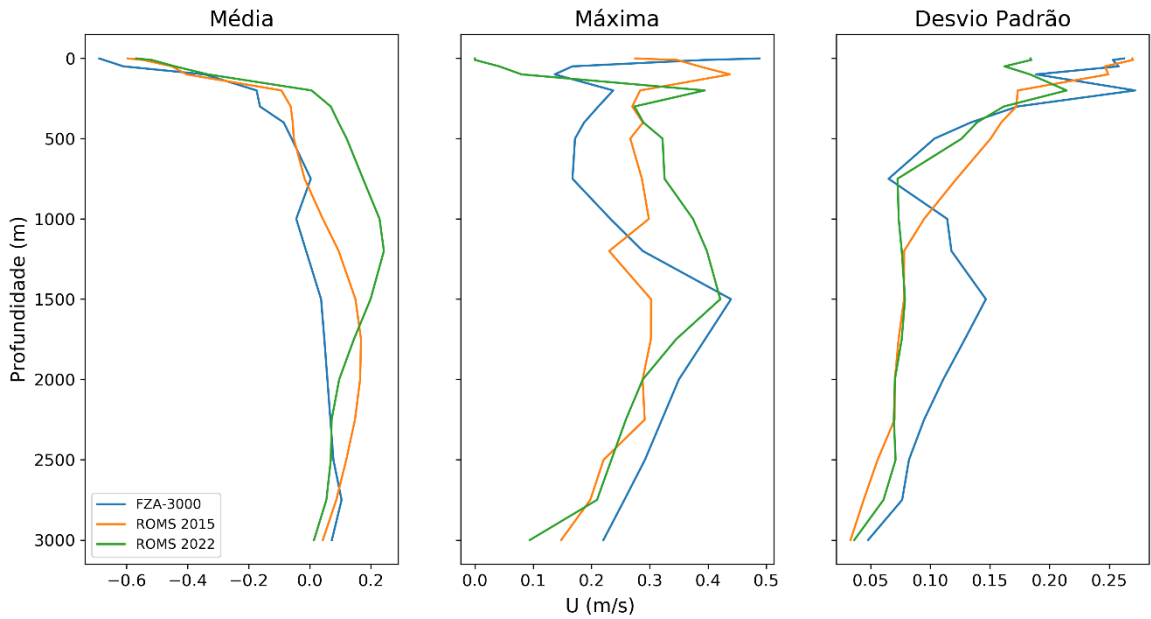


Figura II.7-11 - Perfis estatísticos da componente zonal de velocidade obtidos dos dados do fundeio FZA3000), e dos resultados das bases de 2015 e 2022 no Período 1.

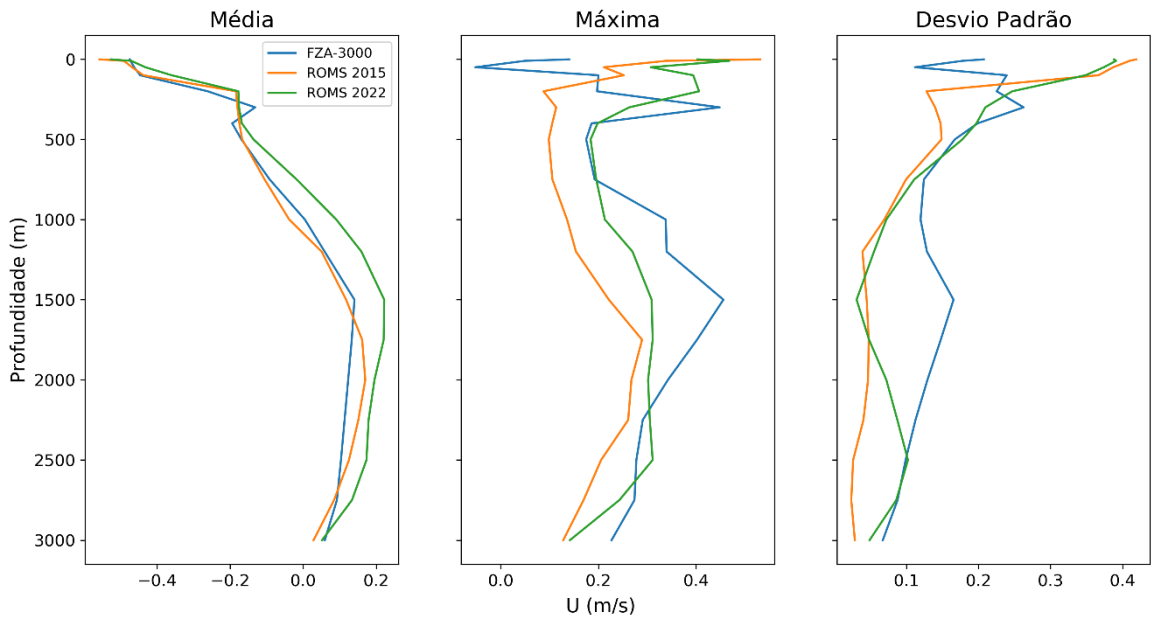


Figura II.7-12 - Perfis estatísticos da componente zonal de velocidade obtidos dos dados do fundeio FZA3000), e dos resultados das bases de 2015 e 2022 no Período 2.

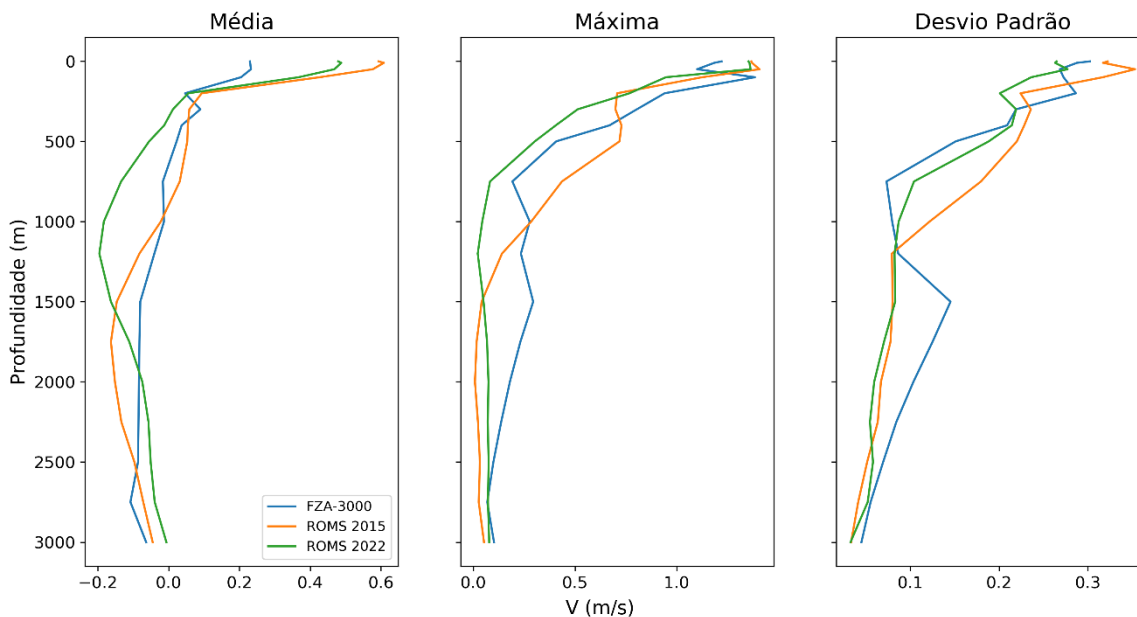


Figura II.7-13 - Perfis estatísticos da componente meridional de velocidade obtidos dos dados do fundeio FZA3000), e dos resultados das bases de 2015 e 2022 no Período 1.

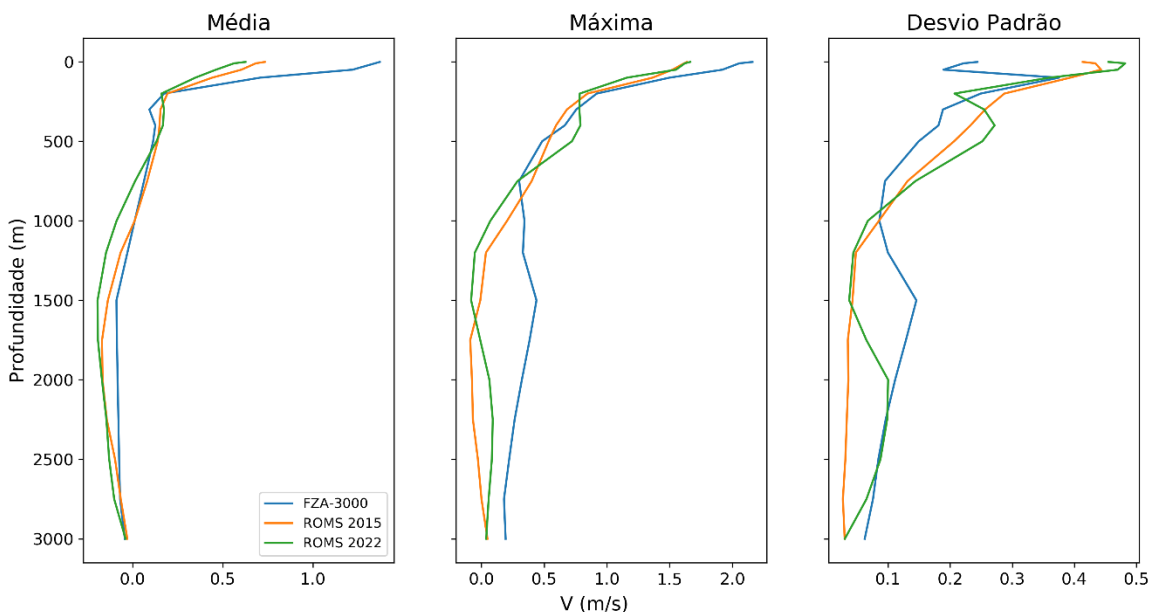


Figura II.7-14 - Perfis estatísticos da componente meridional de velocidade obtidos dos dados do fundeio FZA3000), e dos resultados das bases de 2015 e 2022 no Período 2.

II.8. Questão 8

“Em relação à batimetria, o novo estudo concluiu que houve uma melhora, que foram utilizados dados da base global ETOPO 1 em composição com dados de cartas náuticas digitalizadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. No entanto, a descrição da condição de contorno de fundo nos dois estudos foi a mesma “interpolação cúbica dos dados do ETOPO1 e das cartas náutica”. Questiona-se se a diferença está baseada no incremento de mais cartas náuticas na interpolação.”

Resposta:

No estudo de 2015 foram utilizados apenas os dados do ETOPO1 e foi feita comparação com carta náutica para avaliação da batimetria considerada. No estudo de 2022, foram considerados o ETOPO1 e todas as cartas náuticas da marinha disponíveis para a região, sendo interpoladas para a grade do modelo.

II.9. Questão 9

“Como informado, a modelagem nova foi realizada para 2013, para que fosse possível fazer a comparação. Questiona-se se a comparação dos dados de vento do NCEP-R1 do modelo de 2015 com os dados do ERA5 do modelo de 2022 foram feitas para o mesmo intervalo de tempo. Tal informação não é apresentada de forma clara.”

Resposta:

Sim, os mapas com os campos sazonais de ventos tanto do NCEP R1 (estudo de 2015) quanto do ERA5 (estudo de 2022) foram feitos com dados para o ano de 2013, mesmo ano considerado nas modelagens hidrodinâmicas de ambos os estudos.

II.10. Questão 10

“Com relação às correntes de profundidade, ambos os modelos, 2015 e 2022, tiveram dificuldades em representar as correntes mais profundas, superestimando a intensidade das correntes para sudeste. E em camadas mais centrais, os modelos apresentaram um espalhamento na direção maior do que os dados do

fundeio. Nesta descrição não houve uma explicação que justificasse a observação de que o modelo de 2015, para as correntes de profundidade, fosse mais representativo que o modelo de 2022, comparando-os com os dados do fundeio FZA3000.”

Resposta:

Esta questão tem relação direta com a Questão 7, na qual algumas análises adicionais de comparação entre os dados dos modelos e do fundeio FZA3000 já foram apresentadas e discutidas. A confecção da matriz de batimetria do modelo de 2022 utilizou os dados da base global ETOPO1 (AMANTE; EAKINS, 2009), em composição com dados de cartas náuticas digitalizadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação, gerando uma matriz de batimetria diferente do modelo de 2015. Para evitar a instabilidade do modelo e/ou correntes espúrias (jato associados a instabilidades numéricas), a batimetria final foi suavizada para cumprir o requisito de declividade do ROMS, também conhecido como fator $rx0$, estes fatores podem acarretar variações das correntes baroclínicas em profundidade entre as duas bases hidrodinâmicas implementadas. Modificações nas correntes profundas são inevitáveis e esperadas em modelos oceânicos, como descrito em BECKMANN & HAIDVOGEL (1993).

II.11. Questão 11

“Atualização da modelagem de dispersão de óleo

[...]

Nos resultados apresentados é possível notar que houve uma diferença significativa entre os períodos sazonais 1 e 2, chuvoso e seco respectivamente, com relação à porcentagem de óleo disperso na coluna d’água. Nas simulações para os vazamentos de superfície de 8 m³ e 200 m³, as medianas de óleo disperso na coluna d’água foram de 42,8% e 13,2% (períodos 1 e 2) e 40,4% e 1,2% (períodos 1 e 2). Para os vazamentos de superfície simulados para o período chuvoso, o percentual de óleo disperso na coluna d’água foi bem maior do que para o período seco, enquanto para o período 2 a evaporação foi mais significativa, apesar de não ter apresentado diferenças tão distintas do período 1.

Como mostrado para as simulações de vazamento de 200 m³, no período 1, das 500 trajetórias apresentadas pelo modelo, uma seguiu em direção à costa da Guiana Francesa, com valores abaixo do limiar, e se acumulou ao longo do período simulado, chegando a valores acima do limiar. Neste período, ao fim das simulações, a porcentagem máxima de óleo aderido a costa foi de 12%.

O valor máximo de 43% de óleo no fundo marinho, no período 1 no vazamento de 200 m³, é explicado pela associação de regiões rasas e presença de vento forte na região, o que está de acordo com a caracterização dos ventos apresentada.

O toque de óleo ocorrido no período de dezembro a junho, caracterizado como chuvoso, para o volume de 200m³ ocorre na costa da Guiana Francesa, com probabilidade inferior a 5 %, entre 20 e 25 dias de deriva, com uma massa máxima de menos de 5 toneladas por quilometro.

Para o período 2, em ambos os cenários de vazamento de superfície, é possível notar um maior espalhamento do óleo na superfície e na coluna d'água, atingindo maiores extensões, principalmente na superfície, e acompanhando a trajetória de Contra Corrente Norte Equatorial, mais intensa nesse período seco. Neste período a evaporação é bastante expressiva.”

Resposta:

Nota-se que a diferença entre os períodos sazonais ocorre somente nas simulações de menor volume, 8 e 200 m³. Tais diferenças não são significativas no vazamento de pior caso. No Período 1, há a ocorrência de ventos fortes, o que contribui com a dispersão do óleo na coluna d'água. Como a análise é referente a pequenos volumes/valores, qualquer variação no entranhamento do óleo na coluna d'água, ocasiona diferenças maiores do percentual.

O valor máximo de 43% é referente a um único cenário determinístico, provavelmente associado à ocorrência de um vento mais forte em região mais rasa. Esta ocorrência é justamente no Período 1. Porém, o valor da mediana para

este mesmo período sazonal, que compara todos os cenários determinísticos simulados, foi de 0,1%.

Visto que o Período 2 possui ocorrência de ventos mais fracos, a evaporação é mais expressiva.

II.12. Questão 12

“Pior Caso

[...]

Ao longo dos diversos estudos de modelagem de dispersão de óleo apresentados, é descrito que, se a pluma ou mancha de contaminante tiver dimensões inferiores às dimensões da grade, estas estarão sujeitas a uma “diluição numérica”. No caso em voga, a grade tem espaçamentos meridional e zonal de 3 km cada, e para o caso de blowout, tamanhos verticais que variam entre 2 m e 60 m, conforme o descrito, são os menores tamanhos possíveis para o modelo Oscar. Se considerarmos tão somente a superfície, a menor mancha/pluma detectável pelo modelo teria que ter mais de 9 km² para não ser “diluída”. Tudo isso deve levar em consideração o tamanho da partícula calculada pelo modelo em determinado instante e, a partir daí, é possível aproximar o volume de óleo contido nesta suposta pluma com 9 km², para se definir se está ou não dentro de um limiar aceitável. Com isso, questiona-se a possibilidade de se conhecer o intervalo médio do tamanho das partículas calculadas pelo modelo ao longo das simulações, e se o seu intervalo de tamanho irá variar de acordo com o volume total vazado.”

Resposta:

Em um modelo lagrangeano, o tamanho das partículas é calculado internamente e cresce ao longo do tempo. Nesse tipo de modelo, o espalhamento da massa do contaminante – neste caso o óleo – é representado pelo crescimento das partículas e pelo afastamento dessas partículas. Na maioria dos modelos lagrangeanos, o crescimento das partículas é ditado pelos processos não resolvíveis (turbulência). No caso dos modelos de óleo, há uma componente adicional desse espalhamento que ocorre nas primeiras horas do derrame e é

dependente da força gravitacional, da viscosidade, da tensão superficial do óleo e de condições climáticas e oceânicas.

Não temos acesso ao tamanho das partículas calculado internamente no modelo para cada passo de tempo. É importante não confundir partícula com gotícula. O tamanho da gotícula, ao qual temos acesso, não tem relação com esta questão.

A preocupação acerca da “diluição numérica” está na verdade mais relacionada com o tamanho da pluma de contaminantes, neste caso, com o tamanho da mancha de óleo. A diluição numérica ocorre quando a célula de grade é maior do que a mancha em questão, o que não é o caso. Mesmo nos resultados de menor volume, 8 m³, a mancha de óleo nos cenários determinísticos se estende por vários pontos de grade.

A resolução da grade deve levar em consideração o objetivo do estudo, que neste caso é retratar toda a área de dispersão da mancha de óleo e ainda suas regiões de maior concentração/espessura. Em estudos mais costeiros, como em estuários por exemplo, às vezes é necessária a apresentação de rodadas distintas: uma menos resolvida e focada na área total de dispersão da mancha e outra mais resolvida e local, focada em retratar valores de maiores concentração em pontos costeiros com maior detalhamento. Uma maior resolução de grade faz-se necessária também em estudos de modelagem de água de produção, por exemplo, no qual o objetivo do estudo é avaliar a concentração do efluente em um raio de 500 m de distância da fonte (Resolução CONAMA N° 393/07).

Para este estudo, a resolução da grade é satisfatória frente ao seu objetivo, não correndo o risco de sofrer “diluição numérica”. Além disso, ela segue a mesma resolução definida para diversos outros estudos prévios de modelagem de óleo *offshore* submetidos pela Prooceano a processos de licenciamento.

II.13. Questão 13

“Ainda conforme descrito, os processos de intemperismo podem ser divididos em duas categoriais que atuam de forma conjunta no óleo: os que influenciam na posição da mancha como advecção, espalhamento e interação com a costa; e os que causam perdas de massa e mudanças na composição como evaporação, dispersão, emulsificação, degradação, dissolução e floculação; e a sedimentação que atua em conjunto.

No entanto, as curvas de balanço de massa só mostram o óleo que ficou na superfície, na coluna d’água, evaporado e no fundo marinho. Já é informado que a ferramenta de degradação foi desabilitada. Questiona-se se as frações que passaram pelos outros processos de intemperismo estão sendo contempladas por algum dos processos que são representados nos gráficos de balanço de massa. Tal preocupação surge dada a impossibilidade de saber qual percentual do óleo na coluna d’água está dissolvido, ou ainda pode continuar derivando para outras localidades com o passar do tempo.”

Resposta:

Os resultados de balanço de massa para a coluna d’água representam a soma dos percentuais do óleo dispersado e óleo dissolvido. Todos os processos são representados nos gráficos de balanço de massa, resultando em 100% na soma dos percentuais envolvidos. É possível a apresentação da parcela dissolvida de forma separada, conforme apresentado da Figura II.13-1 à Figura II.13-6.

Nota-se que a parcela dissolvida é baixa, em relação ao dispersado, com mediana de aproximadamente 12% nos cenários de pior caso.

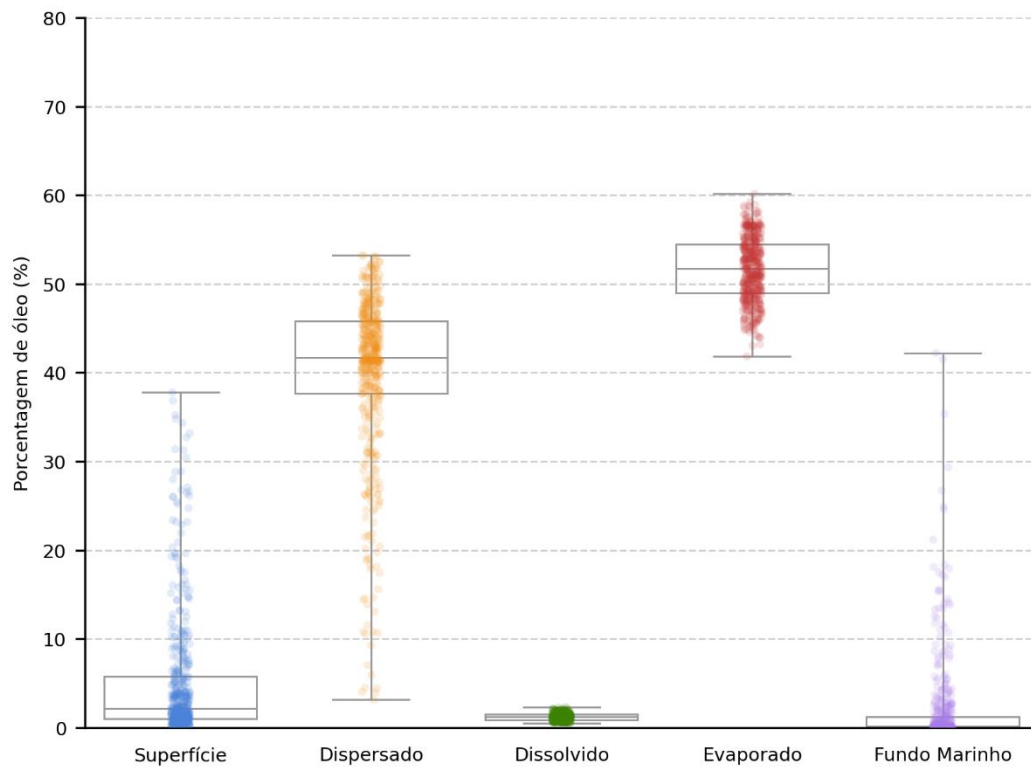


Figura II.13-1 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela II.13-1 - Tabela de balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Dispersado	Dissolvido	Evaporado	Fundo Marinho
Mínimo	< 0,05	3,1	0,5	41,8	-
Primeiro Quartil	1	37,7	0,9	49	< 0,05
Mediana	2,1	41,7	1,2	51,7	0,1
Terceiro Quartil	5,8	45,8	1,5	54,4	1,2
Máximo	37,8	53,2	2,3	60,1	42,2

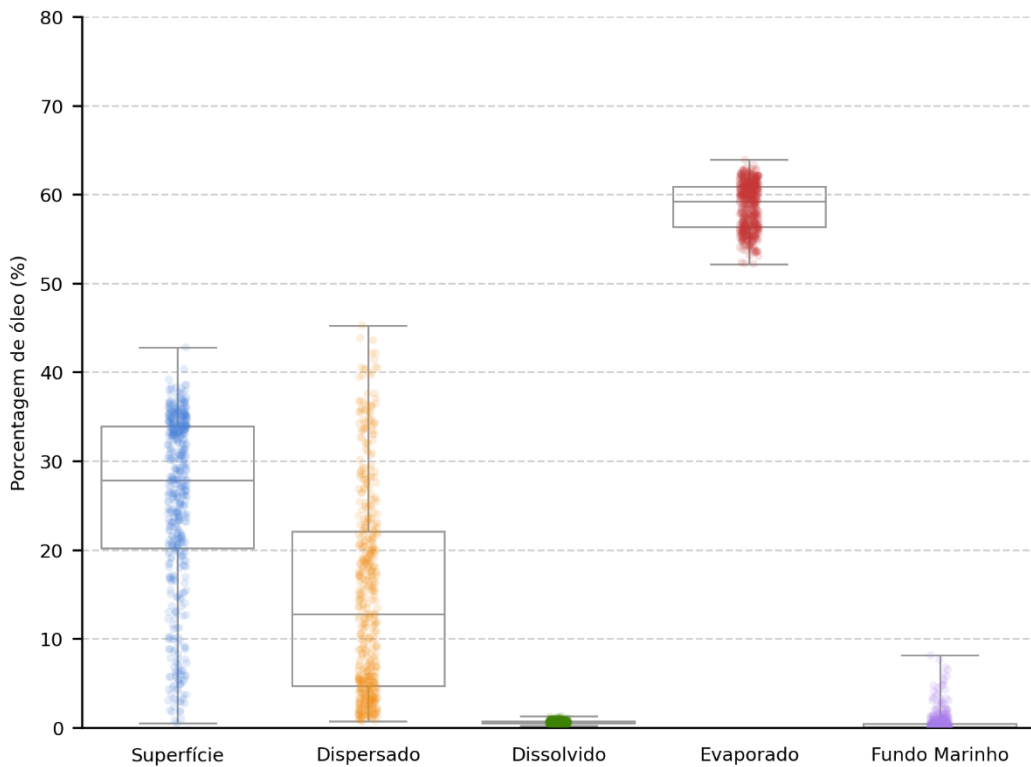


Figura II.13-2 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela II.13-2 - Tabela de balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 8 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Dispersado	Dissolvido	Evaporado	Fundo Marinho
Mínimo	0,5	0,7	0,2	52,2	-
Primeiro Quartil	20,2	4,7	0,5	56,4	< 0,05
Mediana	27,9	12,7	0,6	59,2	0,1
Terceiro Quartil	33,9	22	0,7	60,9	0,4
Máximo	42,8	45,2	1,3	63,9	8,1

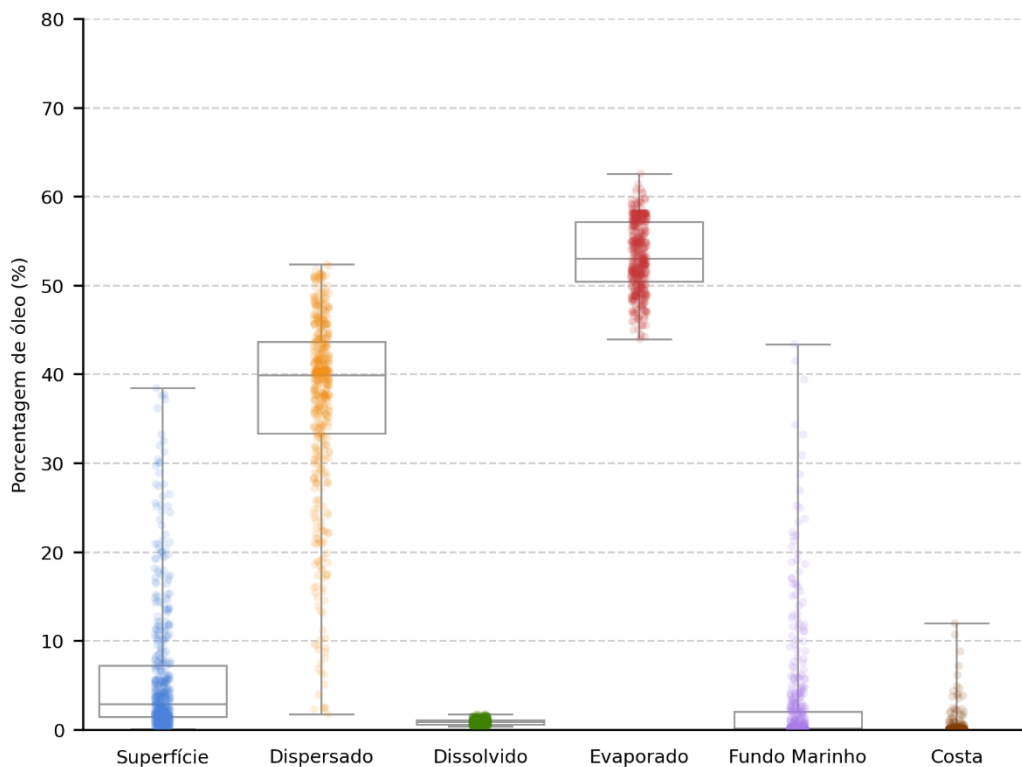


Figura II.13-3 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela II.13-3 - Tabela de balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³ no Período 1. Simulação de 720 horas (30 dias).

	Superfície	Dispersado	Dissolvido	Evaporado	Fundo Marinho	Costa
Mínimo	< 0,05	1,7	0,4	43,9	-	-
Primeiro Quartil	1,4	33,3	0,6	50,4	< 0,05	-
Mediana	2,9	39,9	0,8	53	0,1	-
Terceiro Quartil	7,2	43,6	1,1	57,1	2	< 0,05
Máximo	38,4	52,3	1,7	62,6	43,3	12

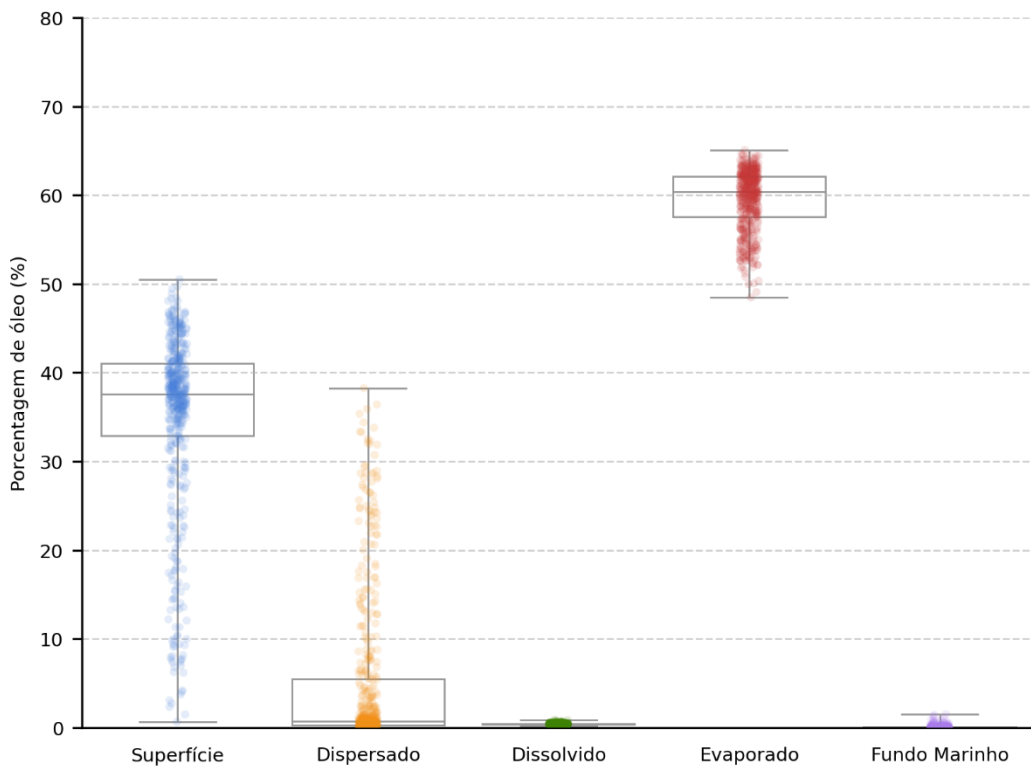


Figura II.13-4 - Balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

Tabela II.13-4 - Tabela de balanço de massa das simulações probabilísticas para um vazamento de 200 m³ no Período 2. Simulação de 720 horas (30 dias).

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

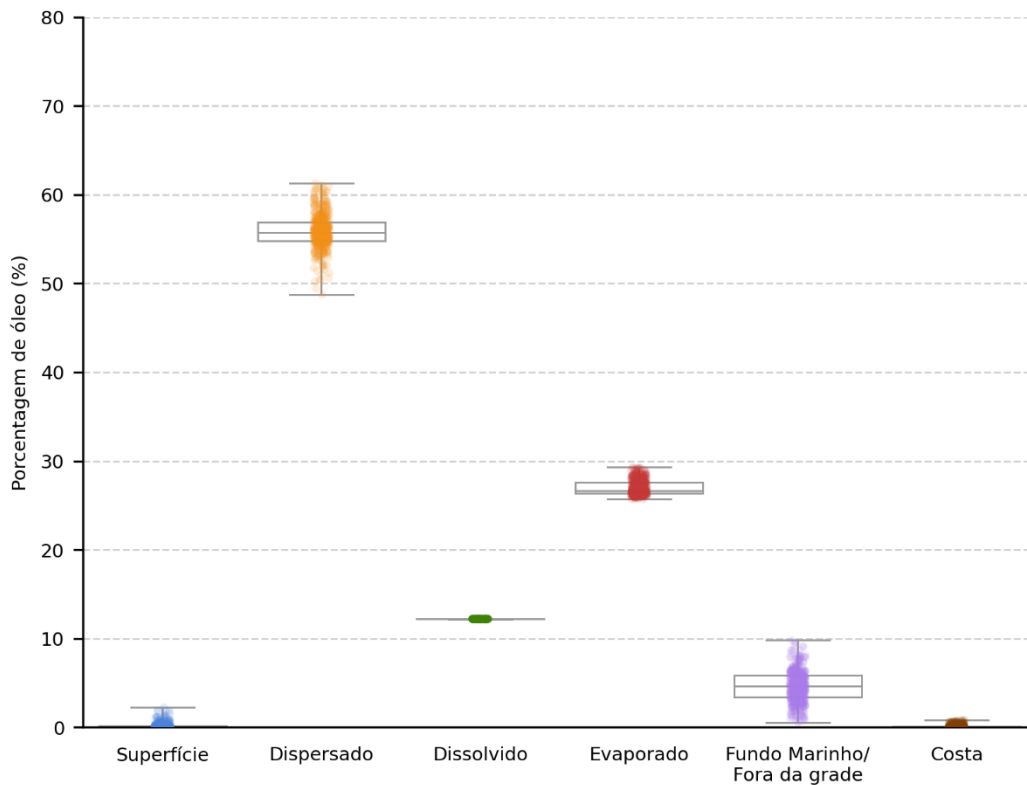


Figura II.13-5 - Balanço de massa das simulações probabilísticas no Período 1. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

Tabela II.13-5 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 46.742 m³ no Período 1. Simulação 60 dias.

	Superfície	Dispersado	Dissolvido	Evaporado	Fundo Marinho/ Fora da grade	Costa
Mínimo	< 0,05	48,8	12,1	25,7	0,5	-
Primeiro Quartil	0,1	54,8	12,2	26,3	3,4	< 0,05
Mediana	0,1	55,7	12,2	26,7	4,6	< 0,05
Terceiro Quartil	0,2	56,9	12,2	27,6	5,9	0,1
Máximo	2,2	61,3	12,2	29,3	9,8	0,8

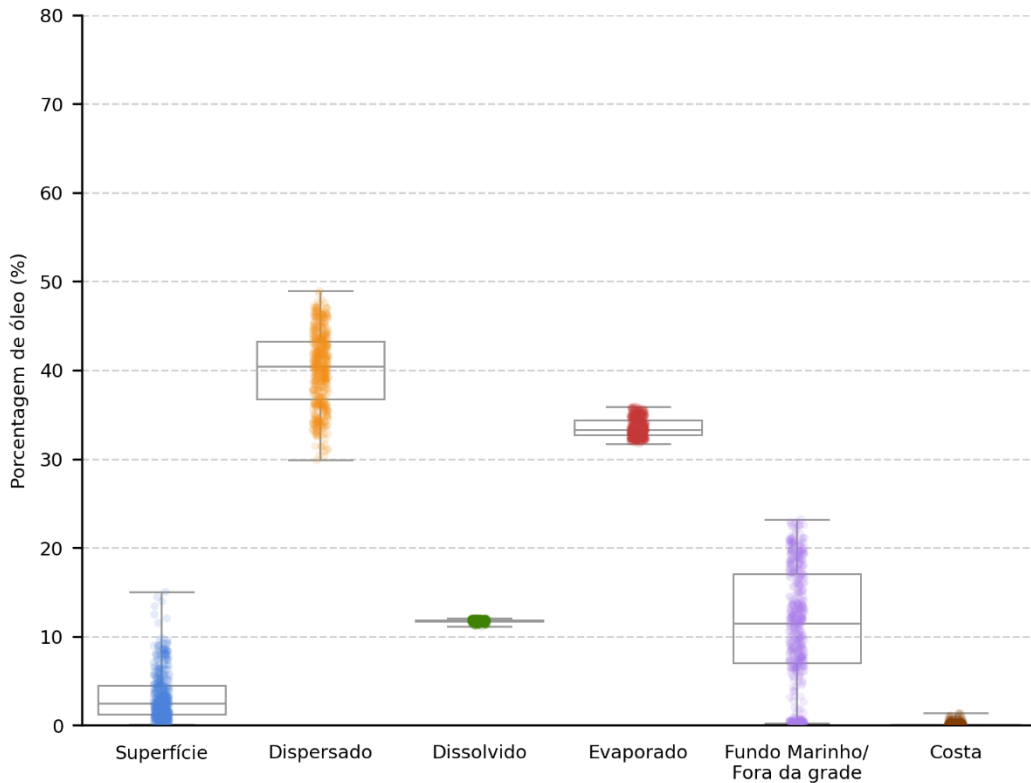


Figura II.13-6 - Balanço de massa das simulações probabilísticas no Período 2. Vazamento de 46.742 m³ em superfície durante 30 dias. Simulação de 60 dias.

Tabela II.13-6 - Tabela de balanço de massa final das simulações probabilísticas para vazamento de 46.742 m³ no Período 2. Simulação 60 dias.

	Superfície	Dispersado	Dissolvido	Evaporado	Fundo Marinho/ Fora da grade	Costa
Mínimo	0,1	29,9	11,1	31,7	0,2	-
Primeiro Quartil	1,3	36,8	11,7	32,7	7	-
Mediana	2,5	40,4	11,8	33,3	11,5	-
Terceiro Quartil	4,5	43,3	11,9	34,3	17,1	0,1
Máximo	15	48,9	12,1	35,9	23,2	1,4

III. Bibliografia

AMANTE, C.; EAKINS, B. W. 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, Whole-world grids available on-line at [<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>] from the NOAA, NESDIS, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado U.S.A.

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.

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.

BECKMANN, A.; HAIDVOGEL, D. B., 1993. Numerical Simulation of Flow around a Tall Isolated Seamount. Part I: Problem Formulation and Model Accuracy. *J. Phys. Oceanogr.* 23, 1736– 1753.


BROWN, J. Tides. In: OPEN UNIVERSITY. ARTS FOUNDATION COURSE TEAM. Waves, tides and shallow - water processes. Oxford: Pergamon Press. Cap. 2, p. 43-66, 1989.

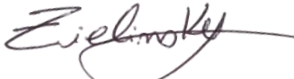
EGBERT, G. D., and SVETLANA, Y. E. "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2 (2002): 183-204.


GEYER, W. R., BEARDSLEY, R. C., CANDELA, J. CASTRO, B. M., LEGECKIS, R. V., LENTZ, S. J., LIMEBURNER, R., MIRANDA, L. B., TROWBRIDGE, J. H. 1991. The Physical Oceanography of The Amazon Outflow. *Oceanography* 4(1):8–14, <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog>.

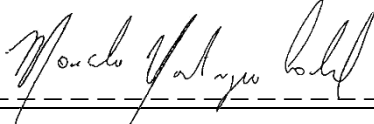
MOLINAS, E. VINZON, S. B., VILELA, C. P. X., GALLO, M. N. 2014. Structure and position of the bottom salinity front in the Amazon Estuary. *Ocean Dynamics* 64: 1583-1599. doi 10.1007/s10236-014-0763-0. NIKIEMA, O. DEVENON, J. L., BAKLOUTI, M. 2007. Numerical modeling of the Amazon River Plume. *Continental Shelf Research* 27: 873-899, doi:10.1016/j.csr.2006.12.004.

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

Profissional	Ana Carolina Rochinha Boechat
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	Não Aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	4961307
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	 -----

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

Profissional	Lívia Sant'Angelo Mariano
Empresa	PROOCEANO
Registro no Conselho de Classe	Não Aplicável
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	6005736
Responsável pela(s) Seção(ões)	Todas
Assinatura	 -----

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	 -----