



Relatório Técnico [rev.02]

Modelagem de Cascalho e Fluido de perfuração

Poço Morpho | Bloco FZA-M-59
Bacia da Foz do Amazonas

Preparado para: BP

Preparado por: Ana Boechat

Henery Garção

Marcelo Cabral

29 de janeiro de 2018

Prooceano

Av. Rio Branco, 311/1205 – Centro

CEP 20.0040-009 – Rio de Janeiro – RJ

Tel./Fax + 55 21 2532.5666

www.prooceano.com.br

© PROOCEANO 2018

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

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



Controle de revisão

Revisão nº 01

Data: 16/02/2018

Descrição: Adaptação à revisão da BP

Responsável: Ana Boechat

Empresa: Proceano

Revisão nº 02

Data: 19/02/2018

Descrição: Adaptação à revisão da BP

Responsável: Ana Boechat

Empresa: Proceano

Revisão nº 03

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Proceano

Revisão nº 04

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Proceano

Revisão nº 05

Data: / /

Descrição:

Responsável:

Empresa: Proceano



Sumário

1. Introdução	11
1.1. Descrição da Atividade	11
2. Metodologia.....	14
2.1. Modelo de Dispersão	14
2.2. Estratégias de Modelagem	22
2.3. Forçantes	38
3. Resultados	46
3.1. Resultados Probabilísticos.....	48
3.2. Resultados Determinísticos	62
4. Conclusão	82
5. Bibliografia.....	84



Índice das imagens

Figura 1: Localização do Poço Morpho, situado dentro do Bloco FZA-M-59, em vermelho (<i>Datum</i> WGS-84).	12
Figura 2: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).....	14
Figura 3: Exemplo do comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM.....	16
Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte a partir de n casos determinísticos.	32
Figura 5: Número de simulações realizadas por período do ano. Cada barra colorida reflete uma simulação distinta com duração de 36 dias (tempo total de simulação). Em laranja, são apresentadas as 36 simulações determinísticas realizadas para o verão e, em azul, as 25 simulações determinísticas realizadas para o inverno.	34
Figura 6: Domínio da grade utilizada em todas as simulações (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	38
Figura 7: Localização do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho.	39
Figura 8: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho.	40
Figura 9: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho.	41
Figura 10: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto mais próximo ao ponto de descarte.	42
Figura 11: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo ao ponto de descarte.	44
Figura 12: Histogramas direcionais para os ventos de cada cenário sazonal escolhido.....	45
Figura 13: Fluxograma de apresentação dos resultados.....	47
Figura 14: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.	49
Figura 15: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.	50



Figura 16: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.....	51
Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.....	52
Figura 18: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.....	53
Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.....	54
Figura 20: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.....	55
Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.....	56
Figura 22: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de verão.....	58
Figura 23: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de inverno.....	60
Figura 24: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário determinístico de espessura máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao poço.....	63
Figura 25: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário determinístico de distância máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao poço.....	64
Figura 26: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – espessura máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	66
Figura 27: Pilha resultante da integração das seções com <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – espessura máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	67
Figura 28: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – espessura máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	68
Figura 29: Pilha resultante da integração das seções sem <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	70



Figura 30: Pilha resultante da integração das seções com <i>riser</i> , considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	71
Figura 31: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	72
Figura 32: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes. Caso determinístico – espessura máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	74
Figura 33: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 8 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 1,6 km com orientação NW-SE (painel inferior). Caso determinístico – espessura máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	75
Figura 34: Concentração de sólidos na coluna d'água após 9 dias e 17 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,95 km com orientação SE-NW (painel inferior). Caso determinístico – espessura máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).	76
Figura 35: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes. Caso determinístico – distância máxima (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	78
Figura 36: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 8 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 2,5 km com orientação NW-SE (painel inferior). Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	79
Figura 37: Concentração de sólidos na coluna d'água após 11 dias e 4 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,89 km com orientação NE-SW (painel inferior). Caso determinístico – distância máxima. (<i>Datum</i> SIRGAS 2000).....	80



Índice das tabelas

Tabela 1: Características principais do projeto de perfuração do Poço Morpho situado no Bloco FZA-M-59.....	13
Tabela 2: Densidades para o cascalho e fluido de perfuração e frações dos componentes sólidos e líquidos do fluido de perfuração.	13
Tabela 3: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base água. ..	23
Tabela 4: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base sintética.	24
Tabela 5: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções I a II (seções sem riser e fluido base aquosa).	26
Tabela 6: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho da seção III (seção com riser e fluido base sintética).....	26
Tabela 7: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções IV a VIII (seções com riser e fluido base sintética).	27
Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção I (seção sem riser e fluido base aquosa).	27
Tabela 9: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção II (seção sem riser e fluido base aquosa).	27
Tabela 10: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção III (seção com riser e fluido base sintética).	28
Tabela 11: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção IV (seção com riser e fluido base sintética).....	28
Tabela 12: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção V (seção com riser e fluido base sintética).....	29
Tabela 13: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção VI (seção com riser e fluido base sintética).....	29
Tabela 14: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção VII (seção com riser e fluido base sintética).....	30
Tabela 15: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção VIII (seção com riser e fluido base sintética).....	30



Tabela 16: Número de simulações determinísticas realizadas para compor cada um dos cenários probabilísticos escolhidos.	33
Tabela 17: Passo de tempo e <i>output</i> dos resultados utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão.....	35
Tabela 18: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno. ...	41
Tabela 19: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de verão.	52
Tabela 20: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de inverno.....	56
Tabela 21: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm).....	59
Tabela 22: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 6 km de distância da fonte para o verão. 59	
Tabela 23: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm).....	60
Tabela 24: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 6 km de distância da fonte para o inverno.	61
Tabela 25: Data inicial e final da simulação obtidas para os dois casos determinísticos selecionados.....	62
Tabela 26: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários determinísticos de espessura máxima e distância máxima.	64
Tabela 27: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – espessura máxima.	68
Tabela 28: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Caso determinístico – espessura máxima.	69
Tabela 29: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – distância máxima. 72	



Tabela 30: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Caso determinístico – distância máxima.....	73
Tabela 31: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Caso determinístico – espessura máxima.....	77
Tabela 32: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Caso determinístico – espessura máxima.	77
Tabela 33: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Caso determinístico – distância máxima.	81
Tabela 34: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Caso determinístico – distância máxima.....	81



Equipe técnica

Nome: Ana Carolina Rochinha Boechat

Registro no Conselho de Classe: -

Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental: 4961307

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: _____

Nome: Henery Ferreira Garção

Registro no Conselho de Classe:

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: _____

Nome: Marcelo Montenegro Cabral

Registro no Conselho de Classe: 2010110225 - CREA/RJ

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

Responsável pela(s) Seção(ões): Todas

Assinatura: _____



1. Introdução

Neste documento, é apresentado o estudo de modelagem numérica do comportamento físico do cascalho e fluido de perfuração a serem descartados durante as atividades de perfuração do Poço Morpho, situado no Bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas.

É importante ressaltar que este estudo é referente ao descarte de cascalho e fluidos de perfuração do Poço Morpho, que substitui o projeto de poço tipo (na locação chamada Mangaba), anteriormente enviado no processo de licenciamento.

O trabalho é dividido em duas etapas: a primeira consiste na análise das características meteoceanográficas da região, ou seja, os parâmetros capazes de afetar o comportamento do material descartado, como corrente, vento, temperatura do mar e salinidade. Para este estudo, foram selecionados dois cenários sazonais distintos: verão e inverno.

A segunda etapa do trabalho compreende a simulação da dispersão do material, que resulta na formação de pilhas de deposição no assoalho marinho. Essas simulações foram conduzidas em dois modos distintos: o probabilístico e o determinístico.

A escolha dos dados utilizados como forçantes no modelo de dispersão e do método adotado neste estudo procuram atender aos requisitos da Coordenação de Licenciamento Ambiental de Exploração de Petróleo e Gás (COEXP/DILIC/IBAMA) para a modelagem de cascalho e fluido de perfuração.

1.1. Descrição da Atividade

Este estudo é referente ao projeto de perfuração do Poço Morpho, de coordenadas 5°18'55,765"N e 50°4'26,997"W (*Datum* WGS-84) (Figura 1), localizado no Bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas. A lâmina d'água local é de, aproximadamente, 3.005 m.

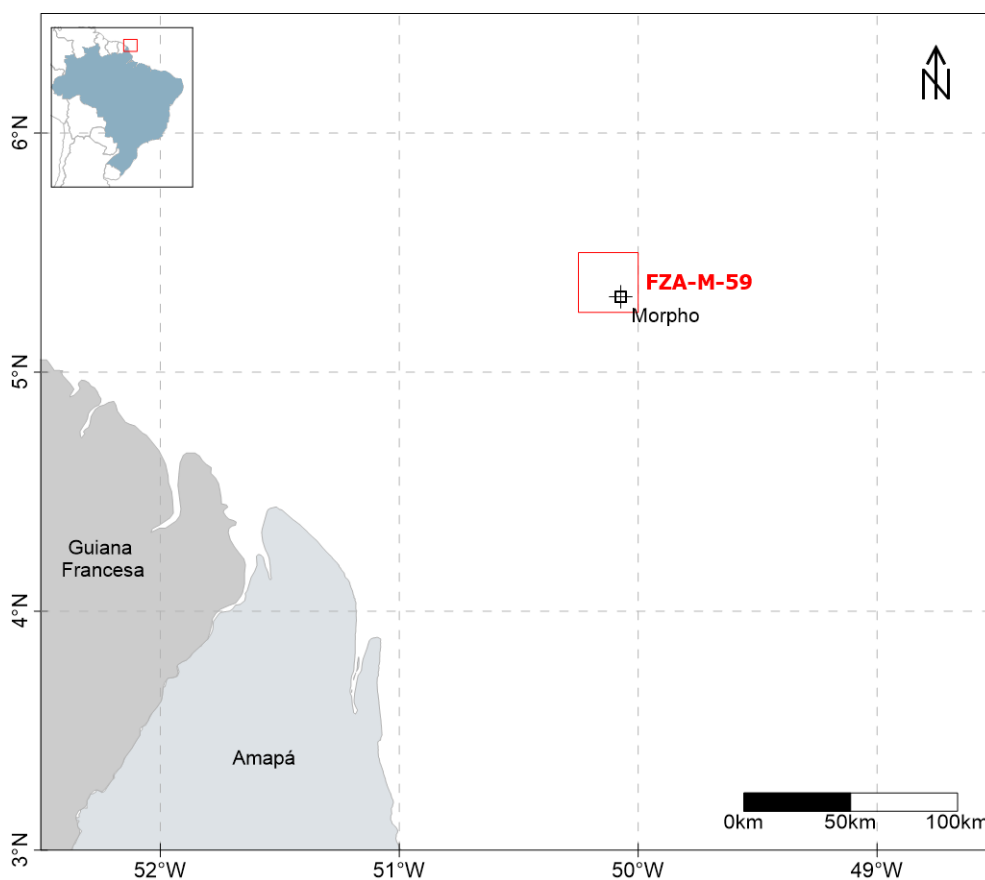


Figura 1: Localização do Poço Morpho, situado dentro do Bloco FZA-M-59, em vermelho (*Datum* WGS-84).

O projeto de poço prevê a perfuração em oito seções:

» Na primeira etapa da perfuração, referente às duas primeiras seções, não será utilizado *riser*, com o descarte ocorrendo do fundo e o fluido de perfuração sendo de base aquosa (WBM – *Water Based Mud*).

» Na segunda etapa, que abrange as seções III a VIII, o *riser* será instalado, com o descarte ocorrendo em superfície. Para essa etapa da perfuração, utilizou-se fluido de perfuração de base sintética (SBM – *Synthetic Based Mud*).

Não é previsto descarte de fluido excedente neste projeto de poço.

As informações a respeito do projeto de perfuração são apresentadas na Tabela 1. O maior volume de material gerado pela atividade será descartado na seção II (315,13 m³), associada também a maior vazão (21,95 m³/h).



Tabela 1: Características principais do projeto de perfuração do Poço Morpho situado no Bloco FZA-M-59.

Características	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Diâmetro da seção (pol.)	36	26	21,5	19	17	14,75	12,25	8,5
Volume de cascalho descartado (m ³)	39,40	315,13	166,07	39,51	27,38	21,61	45,55	46,46
Volume de fluido de perfuração (m ³)	178,88	822,83	79,08	18,81	13,04	10,02	21,12	20,78
Tempo de descarte (h)	31,87	51,85	141,18	52,59	51,03	58,42	160,47	278,98
Vazão (m ³ /h)	6,85	21,95	1,74	1,11	0,79	0,54	0,42	0,24
Base do Fluido	água	água	sintética	sintética	sintética	sintética	sintética	sintética
Local de Descarte	fundo	fundo	superfície	superfície	superfície	superfície	superfície	superfície

Para as simulações de dispersão do material, além das informações sobre o projeto do poço, são também necessárias as densidades de cascalho e fluido de perfuração, e no caso dos fluidos especificamente, qual a fração de seus componentes líquidos e sólidos (Tabela 2).

Tabela 2: Densidades para o cascalho e fluido de perfuração e frações dos componentes sólidos e líquidos do fluido de perfuração.

Cascalho	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Densidade (kg/m ³)	2.400	2.400	2.400	2.600	2.600	2.600	2.600	2.600
Fluido de Perfuração	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Densidade (kg/m ³)	1.031	1.031	1.174	1.174	1.318	1.438	1.510	1.534
Fração dos sólidos no fluido	10%	13%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
Dens. dos sólidos no fluido (kg/m ³)	1.084	1.071	4.893	4.893	6.813	8.311	9.209	9.509
Fração dos líquidos no fluido	90%	87%	92%	92%	92%	92%	92%	92%
Dens. dos líquidos no fluido (kg/m ³)	1.025	1.025	851	851	840	840	840	840

2. Metodologia

A metodologia seguida neste estudo é apresentada em algumas etapas. Na primeira etapa, o **modelo numérico** de dispersão de cascalho e fluido aderido utilizado no estudo é descrito com base em suas características e equações governantes. A segunda etapa apresenta as **estratégias de modelagem** adotadas. E a terceira e última etapa consiste na análise dos **parâmetros meteoceanográficos** da região, mais especificamente aqueles capazes de afetar o comportamento do material descartado.

2.1. Modelo de Dispersão

O processo dispersivo do efluente, neste caso cascalho + fluido de perfuração, possui três diferentes fases, apresentadas na Figura 2 e detalhadas abaixo.

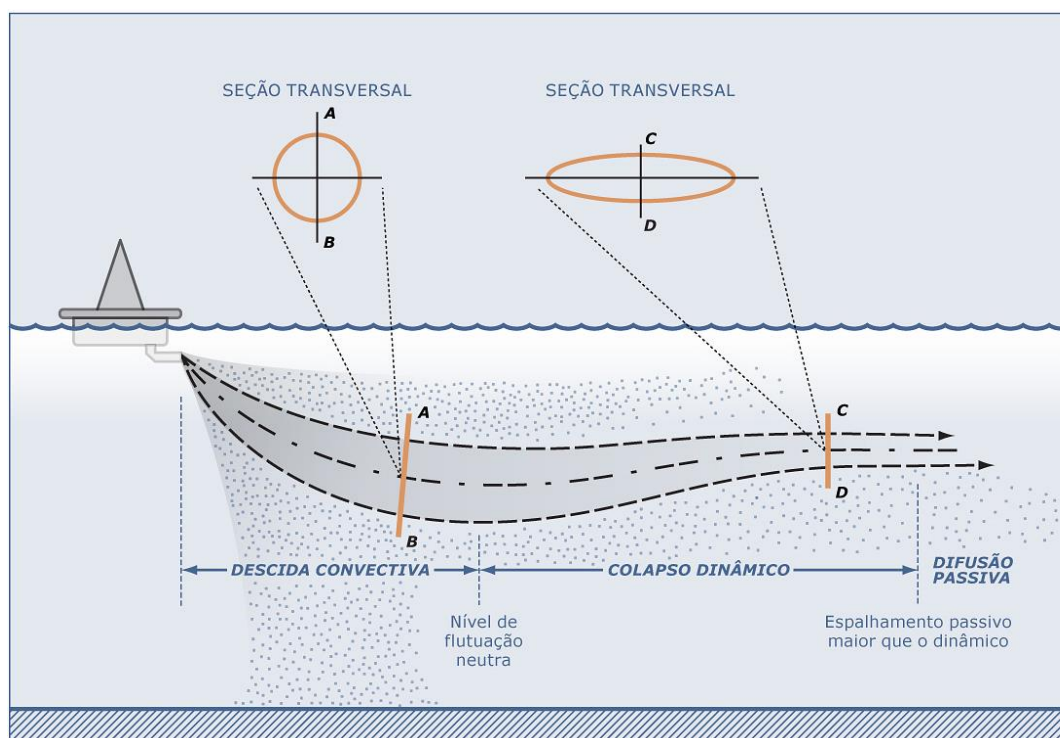


Figura 2: Representação esquemática das três fases descritas pelo efluente. Modificado de Brandsma & Smith (1999).

A primeira fase, denominada **fase de jato**, corresponde à diluição inicial do efluente, onde as forças de empuxo, quantidade de movimento do efluente e os efeitos dinâmicos das correntes



locais, resultam em uma rápida mistura e diluição do efluente no corpo d'água receptor. Esta fase ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte. A fase termina quando o efluente descartado encontra uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou se estabiliza em um nível de flutuação neutra. Finda esta primeira etapa, inicia-se a fase de **colapso dinâmico**, onde o efluente se espalhará na profundidade em que se estabilizou devido, ainda, a sua diferença de densidade em relação ao meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Tanto a fase de jato quanto a de colapso dinâmico descrevem a **fase dinâmica, ou campo próximo**.

Ao final da fase de colapso dinâmico, tem início a terceira e última fase, denominada de **dispersão passiva, ou campo afastado**, em que o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. Partículas minerais, como cascalho e materiais pesados, podem se desprender da pluma dependendo da velocidade de deposição e da taxa de entranhamento da água na pluma.

2.1.1 Descrição do Modelo

O modelo computacional escolhido para esse estudo foi o **DREAM/ParTrack**, desenvolvido pela SINTEF.

O **DREAM** (*Dose-Related Exposure Assessment Model*) é um modelo de partículas lagrangianas tridimensional desenvolvido para avaliação das consequências de descartes de diversos tipos de efluente no ambiente marinho, tanto na coluna d'água quanto no leito oceânico.

O modelo **ParTrack** é um submodelo do DREAM adequado para simulação de descartes de cascalho e fluidos de perfuração e avaliação dos efeitos desses descartes no leito oceânico.

DREAM/ParTrack possui um modelo de campo próximo com acoplamento dinâmico com um modelo tridimensional de partículas que permite a representação de substâncias na superfície da água, dissolvidas na coluna d'água, em gotículas ou partículas sólidas dispersas na coluna d'água.

As descargas de cascalho e fluido de perfuração têm densidades que são bastante mais altas do que a água do mar. Por isso, um modelo de campo próximo é incluído na modelagem para representação do movimento descendente da pluma. O domínio do modelo de campo próximo está limitado pela região onde a densidade da pluma se iguala com a densidade do ambiente. A

partir desse ponto, os processos de transporte e mistura passam a ser governados por um modelo de campo afastado.

O modelo de campo próximo é governado pelas correntes oceânicas e pelas variações verticais de salinidade e temperatura (estratificação). A combinação desses fatores fará com que a pluma se estabiliza em uma determinada profundidade. As partículas minerais (casalhos, sólidos dos fluidos de perfuração) podem sair da pluma dependendo de suas velocidades de sedimentação e da taxa de entranhamento da água na pluma. Os detalhes mais específicos do modelo de campo próximo para ser encontrados em Johansen (2000, 2006).

A Figura 3 ilustra o comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM para um descarte a aproximadamente 5 m de profundidade.

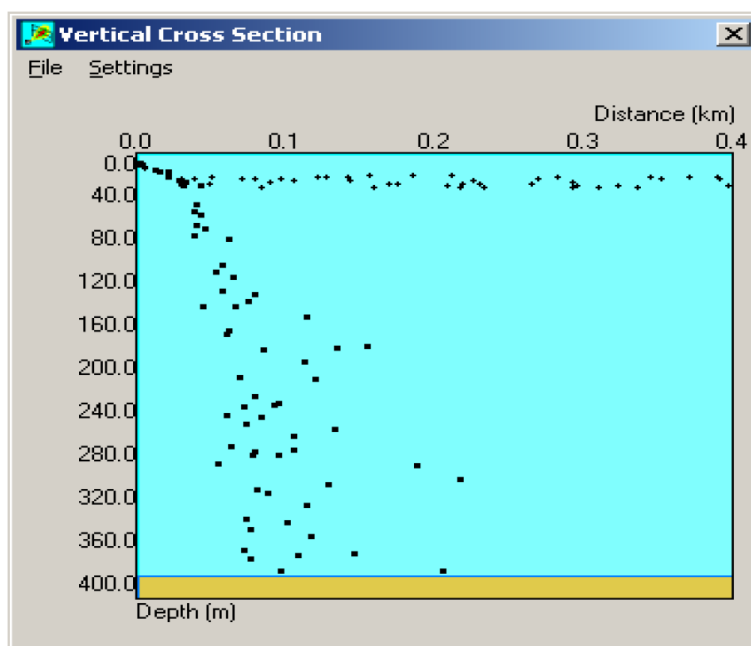


Figura 3: Exemplo do comportamento das partículas na seção transversal vertical no campo próximo de uma pluma submersa calculada com o DREAM.

Observa-se que a profundidade de aprisionamento da pluma é em torno de 20 m de profundidade. Nesta profundidade, a pluma submersa se separa em duas partes, uma parte se espalha horizontalmente na profundidade de aprisionamento. Esta parte consiste nos componentes que estão dissolvidos na pluma ou nas partículas sólidas que têm velocidades de sedimentação desprezíveis. A outra parte da descarga afunda mais rapidamente em direção ao fundo do oceano. Esta parte consiste dos materiais mais grosseiros, como por exemplo, cascalhos ou partículas sólidas de maiores dimensões.



No item a seguir são apresentadas as equações governantes no modelo.

2.1.2 Equações Governantes

A formulação numérica do modelo de campo próximo (Plume3D) é baseada nas formulações de Koh & Chang (1973). Em relação à dispersão passiva, emprega-se um método lagrangiano descrito em Reed & Hetland (2002).

O movimento de uma pluma é regido por equações de conservação de massa e volume, *momentum*, flutuabilidade e partículas sólidas, sal e entalpia. O termo pluma refere-se ao material descartado na coluna d'água, sob ação dos regimes de jato, colapso dinâmico, ou dispersão passiva.

Nas **fases dinâmicas (jato e colapso dinâmico)**, as variações dessas quantidades ocorrem ao longo do eixo no qual a pluma se direciona (centro de massa da pluma). Sendo, portanto, as taxas de mudanças descritas como derivadas em relação a esse eixo.

As equações de conservação que governam o movimento são:

Massa:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q) = E\rho_a - \sum_i S_i \rho_i \quad (1)$$

onde Q é a vazão, ρ a densidade do efluente, ρ_a é a densidade do ambiente, ds é a variação do comprimento do eixo, E o entranhamento, ρ_i é a densidade do i -ésimo constituinte ao longo do eixo do jato e S_i a taxa de variação de volume deste elemento.

Momentum (Quantidade de Movimento):

A taxa de variação da quantidade de movimento ao longo do eixo do jato é representada pelo fluxo de flutuabilidade mais o entranhamento de quantidade de movimento do ambiente, menos o somatório da taxa de quantidade de movimento de cada constituinte que passa pelo jato, mais a força de arrasto:

$$\frac{d}{ds}(\rho QU) = \pi b^2 g(\rho - \rho_a)J + E\rho_a U_a - \sum_i (S_i \rho_i U) + F_D \quad (2)$$



Sendo g a aceleração da gravidade, J é o vetor unitário na direção vertical, U_a é a velocidade das correntes ambientais, F_D é a força de arrasto e b é o raio do jato.

Flutuabilidade:

Representada pela taxa de entranhamento do fluido ambiente devido ao empuxo menos o somatório das taxas de saída de constituintes do jato:

$$\frac{d}{ds}(Q(\rho_a(0) - \rho)) = E(\rho_a(0) - \rho_a) - \sum_i S_i(\rho_a(0) - \rho_i) \quad (3)$$

Partículas sólidas:

$$\frac{dP_i}{ds} = -S_i \quad (4)$$

Temperatura:

$$\frac{d}{ds}(Q(T_d - T_a)) = E(T_d - T_a) \quad (5)$$

T_d e T_a sendo a temperatura do efluente e do ambiente, respectivamente.

Salinidade:

$$\frac{d}{ds}(Q(S_d - S_a)) = E(S_d - S_a) \quad (6)$$

S_d e S_a sendo a salinidade do efluente e do ambiente, respectivamente.

Fluxo de volume:

$$Q = \pi b^2 |\vec{U}| \quad (7)$$

b sendo o raio da seção transversal da pluma e U a velocidade da pluma.



Como já citado, uma vez terminada a fase dinâmica da pluma tem início a fase de dispersão passiva. O esquema de dispersão utilizado nesta etapa é um modelo lagrangiano, descrito em Reed & Hetland (2002). Segundo os autores, o modelo DREAM é baseado na equação geral de transporte:

$$\frac{\delta C_i}{\delta t} + \vec{V} \times \vec{\nabla} C_i = \vec{V} \times D_k \vec{\nabla} C_i + \sum_{j=1}^n r_j C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ji} C_i \quad (8)$$

onde C_i é a concentração do i^o componente químico liberado; t é o tempo; \vec{V} é o vetor de transporte advectivo; $\vec{\nabla}$ é o operador gradiente; e D_k é o coeficiente de dispersão turbulenta em $k =$ direções x, y e z . Os termos r_j representam as variações dos processos físico-químicos.

Os termos referentes à degradação, r_{ij} , controlam a degradação de subprodutos, como a transferência de massa de um componente para outro. Desta forma, as mudanças nas propriedades toxicológicas permanecem retidas no modelo.

Concentrações dos componentes do fluido na coluna d'água são calculadas a partir da distribuição de pseudopartículas Lagrangianas no tempo e espaço. Cada partícula matemática representa, conceitualmente, uma nuvem Gaussiana de componentes dissolvidos, gotículas, ou partículas em decantação. Os campos de concentração são constituídos a partir da superposição de todas essas nuvens. Cada nuvem consiste de um elipsoide com uma partícula em seu centro, e semieixos definidos como uma função de tempo da partícula. A distribuição teórica da massa dentro do elipsoide é Gaussiana, com seus desvios padrões nas direções x, y e z (CSANADY, 1973 apud REED & HETLAND, 2002):

$$\sigma_i = \sqrt{2k_i t} \quad (9)$$

$$C = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (10)$$

onde x, y, z são as coordenadas do ponto de interesse; x_0, y_0, z_0 são as coordenadas do centro de massa da nuvem; $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ são as variâncias e m a massa.



Cada um desses elipsoides geralmente contribui em massa para muitas células no campo de concentração; e elipsoides vizinhos geralmente se sobrepõem espacialmente. Então, uma determinada célula do campo de concentração contém uma concentração resultante da presença de múltiplas nuvens de partículas próximas. Esse esquema remove grande parte da dependência do campo de concentração calculado sobre o número de partículas e a resolução da grade.

Os processos físico-químicos que regem o comportamento do efluente são:

Advecção e Dispersão

A advecção é calculada a partir da sobreposição de uma velocidade média local a uma componente turbulenta escolhida aleatoriamente. Geralmente, essa velocidade média local é a soma das componentes climatológicas, de maré e geradas pelos ventos e ondas (Stokes). Essas componentes especificadas são então interpoladas e somadas à componente turbulenta. A partir desse somatório, é calculada a advecção na coluna d'água. A componente turbulenta (w') é expressa como:

$$w' = R\sqrt{6k / \Delta t} \quad (11)$$

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

O coeficiente de dispersão horizontal pode ser aproximado a partir de dados obtidos em estudos de dispersão de corantes, como os de Okubo (1971, 1974 *apud* REED & HETLAND, 2002) e revisados posteriormente por Bowden (1983 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$K_x = 0,0027t^{1,34} \quad (12)$$

para K em cm^2/s e t em segundos.

O coeficiente de difusão turbulenta vertical acima da pycnoclina é relacionado às condições de onda, segundo Ichiye (1967 *apud* REED & HETLAND, 2002):



$$K_z = 0,0028 \frac{H^2}{T} \exp(-2kz) \quad (13)$$

sendo H a altura da onda, T o período de onda e k o número da onda.

Abaixo da profundidade da pycnoclina, K_z é assumido como uma constante de valor 10^{-4} m/s^2 (KULLENBERG, 1982 *apud* REED & HETLAND, 2002). Na ausência da pycnoclina, a equação de Ichiye é aplicada da superfície ao fundo.

O deslocamento vertical das partículas é calculado a partir da sobreposição de uma velocidade turbulenta aleatória a uma velocidade ascendente (ou descendente). As velocidades verticais diferenciais são calculadas usando a média harmônica de dois extremos, uma vez que o coeficiente de arrasto é uma função do número de Reynolds (JOHANSEN, 2000 *apud* REED & HETLAND, 2002):

$$w_{rise} = 1/(w_1^{-1} + w_2^{-1}), \text{ solução combinada} \quad (14)$$

$$w_1 = d^2 g' / 18\nu, \text{ (para número de Reynolds} < 1000), \text{ e} \quad (15)$$

$$w_2 = \sqrt{3d |g'|}, \text{ (para número de Reynolds} > 1000) \quad (16)$$

Onde:

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

Dissolução

A dissolução é dependente da fração molar de cada componente presente no efluente. A concentração ambiental também é um fator importante, principalmente próximo ao local de descarte/vazamento. A equação que governa a dissolução do componente i é:

$$dm_i / dt = K_d A (F_i S_i - C_i) \quad (17)$$



onde, K_d é o coeficiente de transferência de massa por dissolução, em m/s; A a área superficial do efluente, em m²; F_i a fração molar do componente i remanescente no efluente; S_i a solubilidade do componente i , em g/m³, ppm; e C_i a concentração ambiente do componente i , em g/m³.

Adsorção

A adsorção desempenha um papel importante no transporte e destino dos poluentes no ambiente aquático. Ela determina a extensão do particionamento de um poluente entre a fase de particulado em suspensão e a fase dissolvida, modulando, desta forma, os efeitos tóxicos e a taxa de remoção da coluna d'água para os sedimentos.

2.2. Estratégias de Modelagem

No modelo DREAM são necessários os seguintes parâmetros para a caracterização do descarte:

- » Duração do descarte;
- » Extensão da seção;
- » Vazão;
- » Diâmetro da fonte;
- » Profundidade de descarte;
- » Angulação da fonte;
- » Inclinação vertical da fonte;
- » Densidade e massa do cascalho;
- » Densidade e massa dos componentes sólidos e líquidos do fluido de perfuração;
- » Massa total do fluido de perfuração.

2.2.1 Distribuição Granulométrica dos Sólidos

A distribuição granulométrica dos sólidos é intrínseca ao local, sendo dependente das condições da perfuração, características geológicas e formulação dos fluidos utilizados (BRANDSMA & SMITH, 1999). Na ausência de dados específicos para a locação dos poços,



que só estarão disponíveis após a perfuração, recorreu-se a distribuições granulométricas amplamente utilizadas pela comunidade científica, como as sugeridas por Brandsma & Smith (1999).

Segundo os autores, essas distribuições foram obtidas a partir de experimentos e publicações no meio científico (e.g. DAMES & MOORE, 1978; O'REILLY *et al.*, 1989; BRANDSMA, 1993), o que as confere um grande grau de confiabilidade, tendo sido empregadas inclusive no MAPEM (Monitoramento Ambiental em Atividades de Perfuração Exploratória Marítima), projeto desenvolvido por iniciativa dos Centros de Pesquisa das Universidades Federais do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, em parceria com a Indústria Brasileira de Óleo e Gás, representada pelo IBP (TOLDO & AYUP- ZOUAIN, 2004).

Dependendo da base do fluido, aquosa ou sintética, há mudança também na sua distribuição granulométrica, uma vez que os componentes sólidos presentes nas bases aquosas são mais finos quando comparados aos componentes sólidos de bases sintéticas. A seguir, são especificadas as distribuições granulométricas utilizadas no estudo para o cascalho e sólidos do fluido de perfuração (Tabela 3 e Tabela 4).

Tabela 3: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base água.

Classe	Diâmetro (µm)	Fração (%)
1	1.067 – 3.603	24%
2	635 – 1.067	19%
3	232 – 635	20%
4	117 – 232	12%
5	45 – 117	3%
6	14 – 45	6%
7	4 – 14	8%
8	1 – 4	8%



Tabela 4: Distribuição granulométrica para os descartes de cascalho e fluido de base sintética.

Classe	Diâmetro (μm)	Fração (%)
1	23.561 – 33.942	16%
2	19.094 – 23.561	17%
3	15.098 – 19.094	17%
4	12.599 – 15.098	16%
5	10.309 – 12.599	13%
6	8.529 – 10.309	9%
7	6.923 – 8.529	6%
8	5.490 – 6.923	3%
9	4.229 – 5.490	2%
10	3.846 – 4.229	1%

2.2.2 Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos

No modelo DREAM, as velocidades de deposição das partículas são divididas em dois regimes: o regime de Stokes e o regime do arrasto constante (RYE *et al.*, 2008). As velocidades de deposição dentro do regime de Stokes, para partículas de menor tamanho, são dadas pela seguinte equação:

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (18)$$

$$g' = g(\rho_{partícula} - \rho_{água}) / \rho_{água} \quad (19)$$

onde W_1 é a velocidade laminar de afundamento de Stokes para uma partícula; d é o diâmetro da partícula; g' é a gravidade reduzida, expressa pela equação (19); g é a gravidade padrão; ρ é a densidade da partícula ou da água do mar; ν é a viscosidade cinemática ($1,358 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, em uma água com 10°C).

A segunda contribuição para a deposição das partículas é o regime de arrasto constante com fricção dominante, para partículas maiores. Uma expressão geral para essa velocidade de queda pode ser derivada a partir do balanço entre as forças de flutuação e de arrasto que atuam na partícula (HU & KINTNER, 1955 *apud* RYE *et al.*, 2008), calculada da seguinte forma:



$$W_2 = \sqrt{\frac{4dg'}{3C_D}} \quad (20)$$

O coeficiente de arrasto C_D , nesta equação, é uma função do Número de Reynolds ($Re = W_2 d / \nu$). Dessa forma, dois regimes assintóticos são identificados, o regime de Stokes e o regime de arrasto constante.

» Regime de Stokes ($Re < 1$):

$$W_1 = \frac{d^2 g'}{18\nu} \quad (21)$$

» Regime de arrasto constante ($Re < 1000$):

$$W_2 = K\sqrt{4dg'} \quad (22)$$

onde K é uma constante empírica adimensional. Para valores intermediários do Número de Reynolds ($1 < Re < 1000$), uma equação de interpolação para a velocidade de deposição total W da partícula pode ser utilizada, da seguinte forma:

$$W = \frac{1}{\left(\frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2}\right)} \quad (23)$$

A constante empírica K é escolhida de forma que a correspondência seja alcançada entre a velocidade de deposição dominada pela fricção. Essa equação considera as partículas como não esféricas e, portanto, com velocidades de deposição menor que as partículas esféricas.

Para fluidos de base água, assume-se que a maior parte dos produtos químicos existentes é dissolvida na coluna d'água. Para outros tipos de fluido (base óleo e sintética), a dissolução dos produtos químicos na coluna d'água ocorre mais lentamente.



Conhecendo a profundidade na qual o efluente será descartado e a velocidade de queda de cada partícula, é possível avaliar o tempo de chegada das partículas ao assoalho oceânico. Essa estimativa, em uma aproximação linear, pode ser realizada pela divisão da camada a ser percorrida pela velocidade de queda de cada classe de grão.

O cálculo da velocidade e tempo de deposição das partículas foi realizado para o cascalho (Tabela 5 à Tabela 8) e para os sólidos do fluido de perfuração (Tabela 8 à Tabela 15). As densidades aqui especificadas são referentes somente aos compostos sólidos, tendo sido especificadas na Tabela 2. Para as seções sem *riser*, foi considerado que o descarte ocorre 1 m acima do fundo.

Tabela 5: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções I a II (seções sem *riser* e fluido base aquosa).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.400	2,46E-01	1,13E-03	< 1
2	2.400	1,16E-01	2,39E-03	< 1
3	2.400	5,46E-02	5,09E-03	< 1
4	2.400	1,46E-02	1,90E-02	< 1
5	2.400	4,23E-03	6,57E-02	< 1
6	2.400	5,97E-04	4,65E-01	< 1
7	2.400	5,70E-05	4,87E+00	< 1
8	2.400	4,57E-06	6,08E+01	2,53

Tabela 6: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho da seção III (seção com *riser* e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.400	9,80E-01	8,52E-01	< 1
2	2.400	8,46E-01	9,86E-01	< 1
3	2.400	7,57E-01	1,10E+00	< 1
4	2.400	6,82E-01	1,22E+00	< 1
5	2.400	6,20E-01	1,35E+00	< 1
6	2.400	5,62E-01	1,48E+00	< 1
7	2.400	5,09E-01	1,64E+00	< 1
8	2.400	4,56E-01	1,83E+00	< 1
9	2.400	4,04E-01	2,07E+00	< 1
10	2.400	3,69E-01	2,26E+00	< 1



Tabela 7: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de cascalho das seções IV a VIII (seções com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	2.600	1,05E+00	7,96E-01	< 1
2	2.600	9,05E-01	9,22E-01	< 1
3	2.600	8,10E-01	1,03E+00	< 1
4	2.600	7,30E-01	1,14E+00	< 1
5	2.600	6,64E-01	1,26E+00	< 1
6	2.600	6,02E-01	1,39E+00	< 1
7	2.600	5,45E-01	1,53E+00	< 1
8	2.600	4,88E-01	1,71E+00	< 1
9	2.600	4,32E-01	1,93E+00	< 1
10	2.600	3,94E-01	2,12E+00	< 1

Tabela 8: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção I (seção sem riser e fluido base aquosa).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.084	4,39E-02	6,32E-03	< 1
2	1.084	1,14E-02	2,43E-02	< 1
3	1.084	4,14E-03	6,71E-02	< 1
4	1.084	7,40E-04	3,76E-01	< 1
5	1.084	1,81E-04	1,53E+00	< 1
6	1.084	2,56E-05	1,08E+01	< 1
7	1.084	2,45E-06	1,14E+02	4,73
8	1.084	1,96E-07	1,42E+03	59,00

Tabela 9: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção II (seção sem riser e fluido base aquosa).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	1.071	3,83E-02	7,26E-03	< 1
2	1.071	9,29E-03	2,99E-02	< 1
3	1.071	3,31E-03	8,39E-02	< 1
4	1.071	5,80E-04	4,79E-01	< 1
5	1.071	1,41E-04	1,96E+00	< 1
6	1.071	2,00E-05	1,39E+01	< 1
7	1.071	1,91E-06	1,46E+02	6,07
8	1.071	1,53E-07	1,82E+03	75,68



Tabela 10: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção III (seção com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	3381	1,28E+00	6,51E-01	< 1
2	3381	1,11E+00	7,53E-01	< 1
3	3381	9,91E-01	8,42E-01	< 1
4	3381	8,93E-01	9,35E-01	< 1
5	3381	8,12E-01	1,03E+00	< 1
6	3381	7,36E-01	1,13E+00	< 1
7	3381	6,67E-01	1,25E+00	< 1
8	3381	5,97E-01	1,40E+00	< 1
9	3381	5,28E-01	1,58E+00	< 1
10	3381	4,82E-01	1,73E+00	< 1

Tabela 11: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção IV (seção com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	4.893	1,64E+00	5,08E-01	< 1
2	4.893	1,42E+00	5,88E-01	< 1
3	4.893	1,27E+00	6,57E-01	< 1
4	4.893	1,14E+00	7,29E-01	< 1
5	4.893	1,04E+00	8,02E-01	< 1
6	4.893	9,43E-01	8,85E-01	< 1
7	4.893	8,54E-01	9,77E-01	< 1
8	4.893	7,65E-01	1,09E+00	< 1
9	4.893	6,77E-01	1,23E+00	< 1
10	4.893	6,18E-01	1,35E+00	< 1



Tabela 12: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção V (seção com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	6.813	2,01E+00	4,15E-01	< 1
2	6.813	1,74E+00	4,81E-01	< 1
3	6.813	1,55E+00	5,37E-01	< 1
4	6.813	1,40E+00	5,96E-01	< 1
5	6.813	1,27E+00	6,56E-01	< 1
6	6.813	1,15E+00	7,23E-01	< 1
7	6.813	1,04E+00	7,99E-01	< 1
8	6.813	9,36E-01	8,91E-01	< 1
9	6.813	8,28E-01	1,01E+00	< 1
10	6.813	7,56E-01	1,10E+00	< 1

Tabela 13: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção VI (seção com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	8.311	2,26E+00	3,70E-01	< 1
2	8.311	1,95E+00	4,28E-01	< 1
3	8.311	1,74E+00	4,79E-01	< 1
4	8.311	1,57E+00	5,32E-01	< 1
5	8.311	1,43E+00	5,85E-01	< 1
6	8.311	1,29E+00	6,45E-01	< 1
7	8.311	1,17E+00	7,12E-01	< 1
8	8.311	1,05E+00	7,94E-01	< 1
9	8.311	9,29E-01	8,98E-01	< 1
10	8.311	8,48E-01	9,84E-01	< 1



Tabela 14: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção VII (seção com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	9.209	2,39E+00	3,49E-01	< 1
2	9.209	2,06E+00	4,04E-01	< 1
3	9.209	1,85E+00	4,52E-01	< 1
4	9.209	1,66E+00	5,02E-01	< 1
5	9.209	1,51E+00	5,52E-01	< 1
6	9.209	1,37E+00	6,08E-01	< 1
7	9.209	1,24E+00	6,72E-01	< 1
8	9.209	1,11E+00	7,50E-01	< 1
9	9.209	9,85E-01	8,48E-01	< 1
10	9.209	8,99E-01	9,28E-01	< 1

Tabela 15: Velocidade e tempo de deposição estimados para as classes de sólidos do fluido da seção VIII (seção com riser e fluido base sintética).

Classe	Densidade (kg/m ³)	Vel. Deposição (m/s)	Tempo Deposição (h)	Tempo Deposição (dias)
1	9.509	2,43E+00	3,43E-01	< 1
2	9.509	2,10E+00	3,97E-01	< 1
3	9.509	1,88E+00	4,44E-01	< 1
4	9.509	1,69E+00	4,93E-01	< 1
5	9.509	1,54E+00	5,42E-01	< 1
6	9.509	1,40E+00	5,97E-01	< 1
7	9.509	1,26E+00	6,60E-01	< 1
8	9.509	1,13E+00	7,36E-01	< 1
9	9.509	1,00E+00	8,32E-01	< 1
10	9.509	9,15E-01	9,12E-01	< 1

2.2.3 Tempo de Simulação

Para a estimativa do tempo de simulação, é necessário o conhecimento do tempo total gasto para o descarte de todo o material e, ainda, do tempo ao qual este material estará sujeito à deposição no ambiente, como o apresentado no item 2.2.2 (Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos).

Estima-se que, neste estudo, o tempo total de descarte será de 34,4 dias – soma dos tempos previstos para o descarte de todas as seções. O tempo de simulação deve ser suficiente para que a maior parte do material descartado seja depositada no assoalho oceânico.



Em relação à análise do tempo de queda dos sólidos, é preciso cuidado especial com aqueles que demandam maiores períodos para deposição, assinalados de vermelho (Tabela 5, Tabela 8 e Tabela 9). É importante ressaltar que esses longos períodos são referentes a classes granulométricas extremamente finas ($< 14 \mu\text{m}$) e são representadas por baixas frações do material ($< 8\%$). Essas frações granulométricas serão facilmente dispersadas no ambiente e não formarão pilhas de deposição significativas no assoalho marinho. No entanto, contribuirão para a alteração na concentração dos sedimentos em suspensão. As demais classes granulométricas levam menos de 1 dia para sua total deposição. Nota-se que todas as classes que obtiveram tempo de deposição superior a 1 dia são referentes às seções com fluido base aquosa, por possuírem material mais fino sendo descartado.

Dessa forma, visando associar a melhor representação do descarte a um custo computacional viável, estipulou-se um tempo de simulação de **36 dias**, i.e., ~2 dias além do tempo total de descarte. **É importante ressaltar que este período é suficiente para o depósito de 99% de todo o material descartado.**

2.2.4 Características das Simulações

2.2.4.1 Simulações Probabilísticas

A modelagem determinística consiste em estudar o comportamento do contaminante em um determinado cenário ambiental, apresentando instantâneos deste comportamento em tempos definidos pelo usuário. Cabe à simulação probabilística averiguar o comportamento da dispersão sob a influência de uma extensa combinação de cenários ambientais e determinar a probabilidade de presença do contaminante em cada região de domínio do modelo. A Figura 4 ilustra como que um resultado probabilístico pode ser calculado a partir de n casos determinísticos.

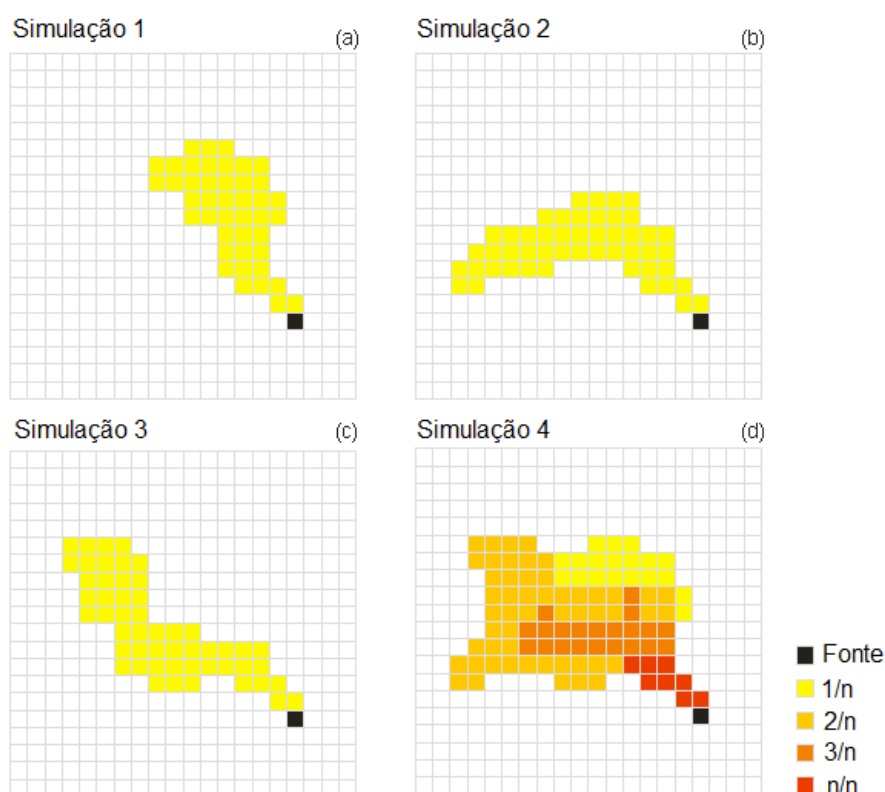


Figura 4: Representação esquemática do cálculo da probabilidade de presença do constituinte a partir de n casos determinísticos.

Era prática usual nos estudos de licenciamento ambiental que as simulações fossem executadas a partir da seleção prévia de alguns cenários ambientais específicos, comumente separados por estações do ano – verão e inverno – ou por casos extremos de correntes – mais intensas e mais fracas. Tal prática permite um dimensionamento das espessuras e do alcance máximo dos depósitos do material descartado no assoalho marinho. Entretanto, a seleção dos cenários ambientais extremos limita a análise dos resultados a situações específicas com baixa probabilidade de ocorrência, tornando imperativo o emprego de interpretações dos resultados bem conservadoras. Para regiões de águas profundas, a incerteza da modelagem é ainda maior, quando comparada aos resultados de águas rasas. Essa questão é abordada na Nota Técnica nº 06/09, emitida pela ainda CGPEG/IBAMA. Para uma maior certeza sobre as reais áreas potencialmente impactadas e espessuras formadas, é necessário um estudo probabilístico, no qual uma grande quantidade de cenários ambientais possíveis é avaliada e não apenas os casos extremos.

Mesmo com o advento dos modelos numéricos de simulação de cascalho e fluido de perfuração, todos ainda são limitados a simulações determinísticas, ao contrário dos modelos



numéricos de dispersão de óleo, que apresentam análises em cenários probabilísticos. Dessa forma, foi proposta pela PROOCEANO, a aplicação de uma metodologia que consiste em simular um determinado número de casos determinísticos no DREAM e após a obtenção desses resultados, extrair qual seria a probabilidade de ocorrência do constituinte para cada ponto de grade.

A aplicação desta metodologia consome um maior tempo para processamento e pós-processamento dos dados, em comparação com os modelos probabilísticos de óleo, mas sua confecção é possível. Esse tempo é variável e dependente da quantidade de cenários determinísticos simulados e do tempo de duração de cada descarte.

Dessa forma, a metodologia a ser empregada deve ser suficiente para captar a variabilidade ambiental e, ao mesmo tempo ser viável – a preparação de 300 simulações determinísticas manualmente seria inviável, por exemplo. Para tal, foi proposto a delimitação de 1 ano para análise, o qual foi dividido em verão e inverno, e para cada período foram simulados descartes de 36 dias (tempo de simulação estimado no item 2.2.3).

Para a separação em cenários sazonais, foi considerado o mesmo critério descrito na Modelagem de Óleo realizada pela empresa PROOCEANO para a mesma região: a observação das informações de ventos e correntes. O período de **verão** compreende os meses de **dezembro a junho** e os meses de **julho a novembro**, caracterizam o período de **inverno**.

A Tabela 16 apresenta o número de simulações determinísticas realizadas para cada período sazonal escolhido: verão e inverno. O intervalo entre cada simulação, para os dois períodos, foi de ~5 dias.

Tabela 16: Número de simulações determinísticas realizadas para compor cada um dos cenários probabilísticos escolhidos.

Cenários Sazonais	Número de Simulações
Verão	36
Inverno	25

A Figura 5 apresenta, de maneira esquemática, todas as simulações que foram realizadas para o período de verão e inverno. Nota-se que as simulações abrangem todo o ano de dados disponíveis. Foi preciso replicar os dados de corrente de janeiro e fevereiro de 2013 para 2014, já que não seria possível obter simulações para o mês de dezembro – visto o tempo total de simulação (36 dias).

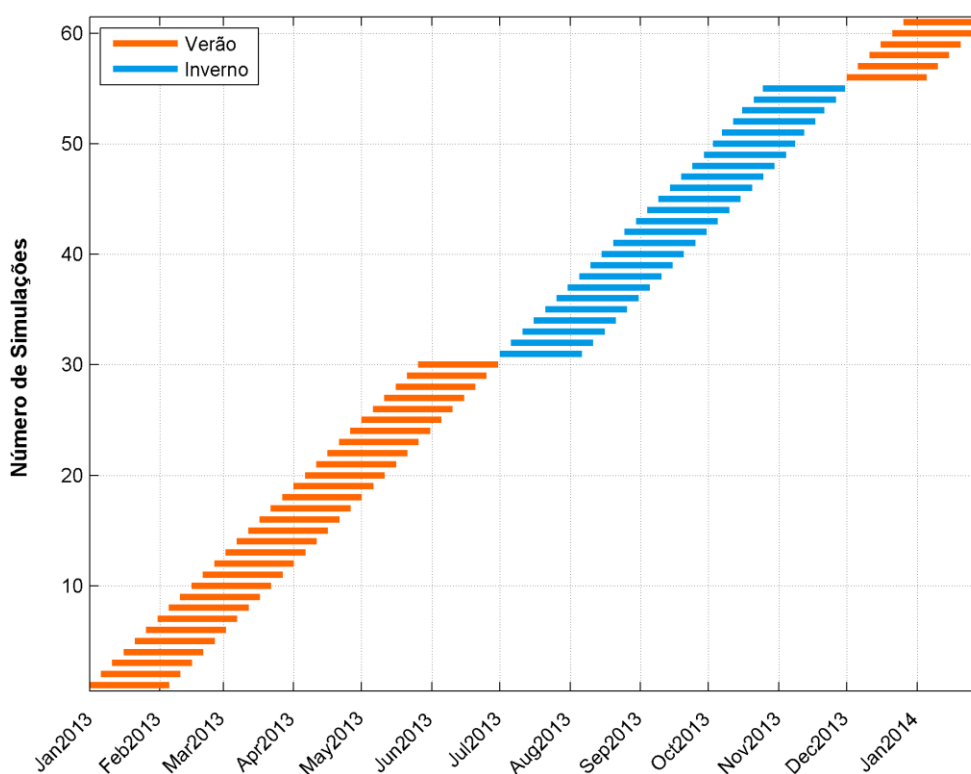


Figura 5: Número de simulações realizadas por período do ano. Cada barra colorida reflete uma simulação distinta com duração de 36 dias (tempo total de simulação). Em laranja, são apresentadas as 36 simulações determinísticas realizadas para o verão e, em azul, as 25 simulações determinísticas realizadas para o inverno.

O maior impacto causado pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração, resultante da perfuração marítima, é o acúmulo de sólidos no fundo oceânico. Além disso, uma modelagem probabilística dos sólidos em suspensão demandaria o dobro das simulações determinísticas realizadas, já que essas demandam normalmente maior resolução temporal (Tabela 17).

Como foi apresentado no item 2.2.2 (Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos) os sólidos que são descartados em superfície (seções com riser) permanecem em suspensão na coluna d'água por um período muito curto (< 1h). Os sólidos que possuem maior tempo em suspensão são aqueles descartados no fundo, por serem de base aquosa, e interagem diretamente com a espessura ali encontrada.

Dessa forma, levando em conta a viabilidade do trabalho e a importância dos resultados a serem apresentados, a modelagem probabilística foi restrita às pilhas de deposição formadas no assoalho oceânico. As concentrações dos sólidos em suspensão na coluna d'água serão limitadas às apresentações dos resultados determinísticos.



Tabela 17: Passo de tempo e *output* dos resultados utilizados nas simulações, distintos para os resultados de deposição e suspensão.

Resultados	Passo de Tempo	Output dos Resultados
Pilhas de Deposição	5 min	6 h
Sólidos em Suspensão	1 min	2 min

2.2.4.2 Simulações Determinísticas

Para a escolha dos cenários determinísticos a serem apresentados, foram considerados dois critérios: **espessura máxima da pilha de deposição** e **distância máxima da fonte**. Dessa forma, dentre todos os cenários determinísticos obtidos, tanto para o verão como para o inverno, foram escolhidos dois casos distintos, aquele em que foi obtido o valor máximo de espessura no fundo, e o que obteve a maior distância da fonte, considerando o limiar mais conservador (0,01 mm).

Para estas simulações serão apresentados resultados referentes às pilhas de deposição e às plumas de sólidos em suspensão.

2.2.5 Limiar de Monitoramento

2.2.5.1 Pilhas de Deposição

O estudo de Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004) apresenta uma revisão bibliográfica (KRANZ, 1974; MAURER *et al.*, 1980 e 1981; BELLCHAMBERS & RICHARDSON, 1995; CHANDRASEKARA & FRID, 1998; HOLTHAUS *et al.*, 2003) dos limites mínimos de espessura para os quais são identificados efeitos nocivos em diversos grupos e espécies de organismos bentônicos. São considerados quatro efeitos críticos para análise: mortalidade, redução do crescimento da espécie, redução do assentamento larval e mudanças na composição faunística.

Dos trabalhos analisados, o estudo de Holthaus *et al.* (2003) estima a espessura mínima para a qual o soterramento não seria considerado nocivo à comunidade bentônica com base na análise de curvas SSD (*Species Sensitivity Distribution*). Os valores obtidos são os seguintes:

- » Para sedimentos exógenos (não-nativos): 0,96 cm;
- » Para sedimentos endógenos (nativos): 0,65 cm.



Com base nessa análise, é ainda sugerido no estudo de Kjeilen-Eilertsen *et al.* (2004) que o limite em que já não são sentidos efeitos nocivos seja de 0,5 cm, podendo este ser utilizado como limiar para estudos de modelagem de cascalho e fluidos de perfuração.

Baseado nas referências bibliográficas apresentadas acima, percebe-se que o limiar de 0,1 cm (1 mm) seria conservador o suficiente para a representação e estimativa das pilhas de deposição formadas no assoalho marinho. Entretanto, de maneira geral, os Termos de Referência elaborados pela CGPEG/DILIC/IBAMA para modelagens de cascalho e fluido de perfuração, normalmente, exigem que as pilhas de deposição sejam monitoradas até o limiar de 0,01 mm. Dessa forma, visando atender ao que usualmente é solicitado, os resultados serão apresentados considerando o limiar de 0,01 mm, sendo sempre comparados com o que foi obtido para 1 mm.

2.2.5.2 Sólidos em Suspensão

Embora sedimentos, e seus efeitos na transparência da água e na turbidez, sejam componentes inerentes de sistemas aquáticos, é conhecido através da literatura científica que há um aumento do risco de sobrevivência e bem-estar de organismos aquáticos quando níveis de concentração de sólidos ultrapassam os níveis de *background*. A perspectiva sobre os efeitos potenciais dos sedimentos nos sistemas aquáticos pode ser obtida em literaturas mundiais, como por exemplo, Birtwell (1999).

Em estuários e áreas costeiras, a concentração natural de partículas na água do mar – MPS (Material Particulado em Suspensão) - pode passar de 400 ppm. Em oceano aberto, as concentrações típicas são mais baixas, geralmente < 20 mg/L. Particularmente em sistemas aquáticos com concentrações naturais relativamente baixas de sedimentos em suspensão (< 10 mg/L), um aumento nas concentrações de MPS podem levar a mudanças ecológicas.

Buscando mapear os impactos potenciais de uma perspectiva mais conservadora, o limiar de 5 ppm para concentração de sólidos em suspensão foi utilizado nesse trabalho, baseado em padrões internacionais, como Smit *et al.* (2006) que revisou diversos estudos conduzidos para identificar o efeito do descarte de cascalho em organismos nectônicos.

De acordo com esses estudos, o limiar mais baixo no qual organismos estão sujeitos a mudanças significativas, em descartes com fluido de base aquosa, foi de 10 mg/L (~10 ppm). Embora esse limiar leve em conta resultados de descartes de fluidos de base aquosa, é importante notar que essa abordagem é viável, uma vez que esses fluidos são compostos também por sólidos e são os que permanecem por mais tempo em suspensão no ambiente. Além disso, para impactos relacionados ao aumento de partículas na coluna d'água, o DREAM



opera com o CENO (Concentração de Efeito Não Observado) de 10 ppm para cascalho. Estes limites de efeitos são globais e foram derivados de curvas DSE (Distribuição de Sensibilidade de Espécies – do inglês SSD) (SMIT *et al.*, 2006). Para tal, os limites de efeito incluem todos os tipos de organismos aquáticos incluindo microalgas, organismos filtradores e copéodes.

Valores de limiares em torno de 10 ppm para MPS em corpos d'água são muito comuns em regulamentações ambientais internacionais. Geralmente, os impactos ambientais devem ser julgados considerando o aumento de sedimentos em suspensão relacionados aos níveis de *background*. Como exemplo, o Conselho Canadense de Ministros Ambientais e Recursos (CCREM) forneceram diretrizes para sólidos totais em suspensão (BIRTWELL, 1999). Recomenda-se que os sólidos em suspensão não ultrapassem mais do que 10 mg/L (~10 ppm) do nível de *background*, quando este é menor que 100 mg/L. Sólidos em suspensão não devem exceder 10% das concentrações de *background* quando estas são maiores que 100 mg/L.

Uma vez que não há medidas *in situ* de sólidos em suspensão para definir os níveis de *background*, foi escolhido um limiar de monitoramento mais conservador, de **5 ppm**.

2.2.6 Descrição da Grade

Os efeitos dos descartes de sólidos no mar variam consideravelmente de acordo com a distância vertical entre a fonte e o assoalho marinho. Nas seções onde o descarte é feito próximo ao fundo (sem utilização do *riser*), o material tende a formar uma pilha de deposição significativamente maior que aquela associada aos descartes que ocorrem junto à superfície. Por outro lado, o material descartado da superfície (com *riser*) irá percorrer uma distância maior, sofrendo influência das forças locais e cobrindo uma área mais extensa quando depositado. Entretanto, também há a questão do tipo de fluido que é descartado, devido a sua menor densidade, os sólidos presentes nos fluidos de base água tendem a se dispersar mais que aqueles derivados de fluidos de base sintética.

Em estudos de modelagem, a relação entre a resolução da grade projetada e a escala do fenômeno estudado é vital na obtenção de bons resultados. Deve-se atentar para o fato de que uma grade ampla, que abranja toda a região de deposição ou de dispersão dos sólidos em suspensão, pode não ter resolução suficiente para mapear com exatidão a região de maior espessura. Da mesma forma, uma grade de alta resolução pode não cobrir uma área suficientemente grande como a que se espera para a deposição do material ou dispersão dos sólidos.

Utilizou-se, nesse caso, uma grade com tamanho e resolução suficientes para representar bem todos os parâmetros desejados. Essa grade apresenta um espaçamento de 20 m nas direções

zonal e meridional e 30 m na direção vertical. Os seus limites são: a oeste, 50°07'W, a leste, 50°01'W, ao sul, 5°16'N e a norte, 5°22'N. Obtendo assim 550 x 551 pontos de grade em superfície e 100 células verticais (limite permitido do modelo). A Figura 6 abaixo apresenta os domínios da grade utilizada para a modelagem.

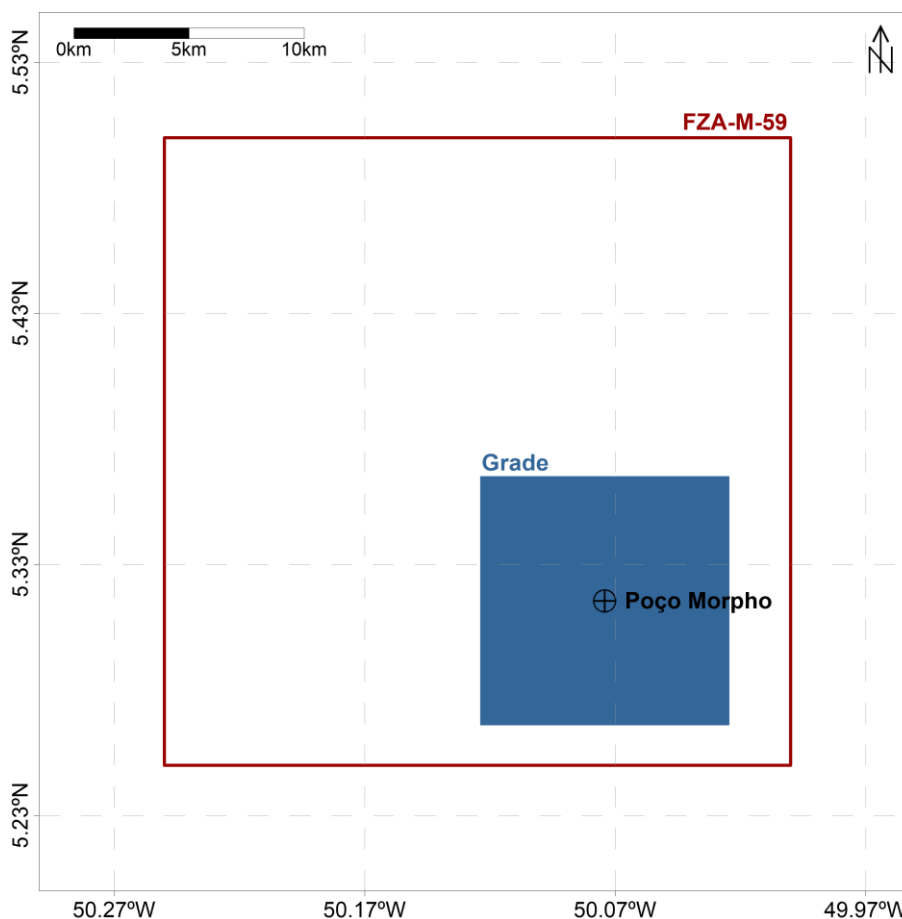


Figura 6: Domínio da grade utilizada em todas as simulações (*Datum* SIRGAS 2000).

Para fins de modelagem, foi considerada uma profundidade uniforme de 3.005 m em todo o domínio da grade. Esta é a profundidade da região onde será localizado o Poço Morpho, conforme informado pela BP.

2.3. Forçantes

A separação sazonal definida para o presente estudo seguiu o mesmo critério adotado no relatório de modelagem de óleo apresentado neste mesmo processo de licenciamento. O período de verão corresponde os meses de **dezembro a junho** e o período de inverno, entre

julho e novembro. Para manter a coerência, todos os parâmetros de entrada do modelo de dispersão (correntes, temperatura e salinidade do mar e ventos) serão apresentados de acordo com os períodos escolhidos.

2.3.1 Correntes

Como forçante hidrodinâmica foram utilizados os resultados do modelo hidrodinâmico, descritos no relatório de Modelagem Hidrodinâmica. A localização do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho é apresentada na Figura 7.

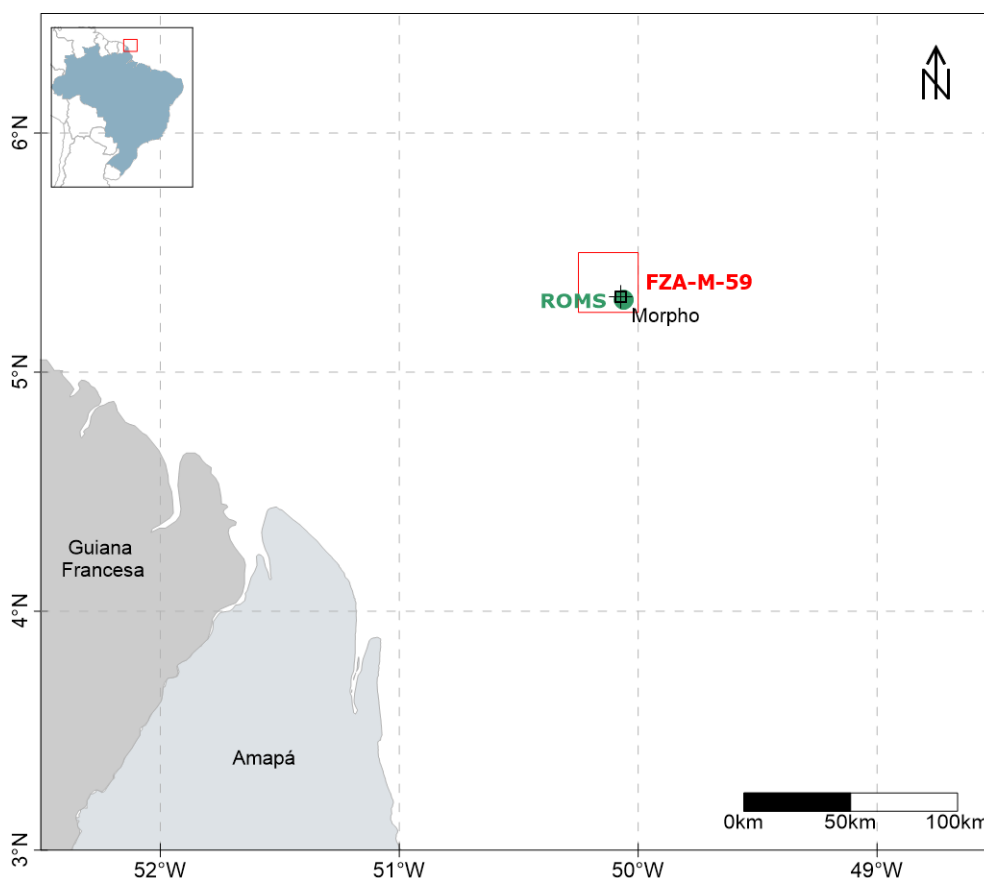


Figura 7: Localização do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho.

A seguir, na Figura 8 e na Figura 9 são apresentadas as rosas de correntes obtidas para verão e inverno, respectivamente, variando nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 m, para o ponto mais próximo ao Poço Morpho.

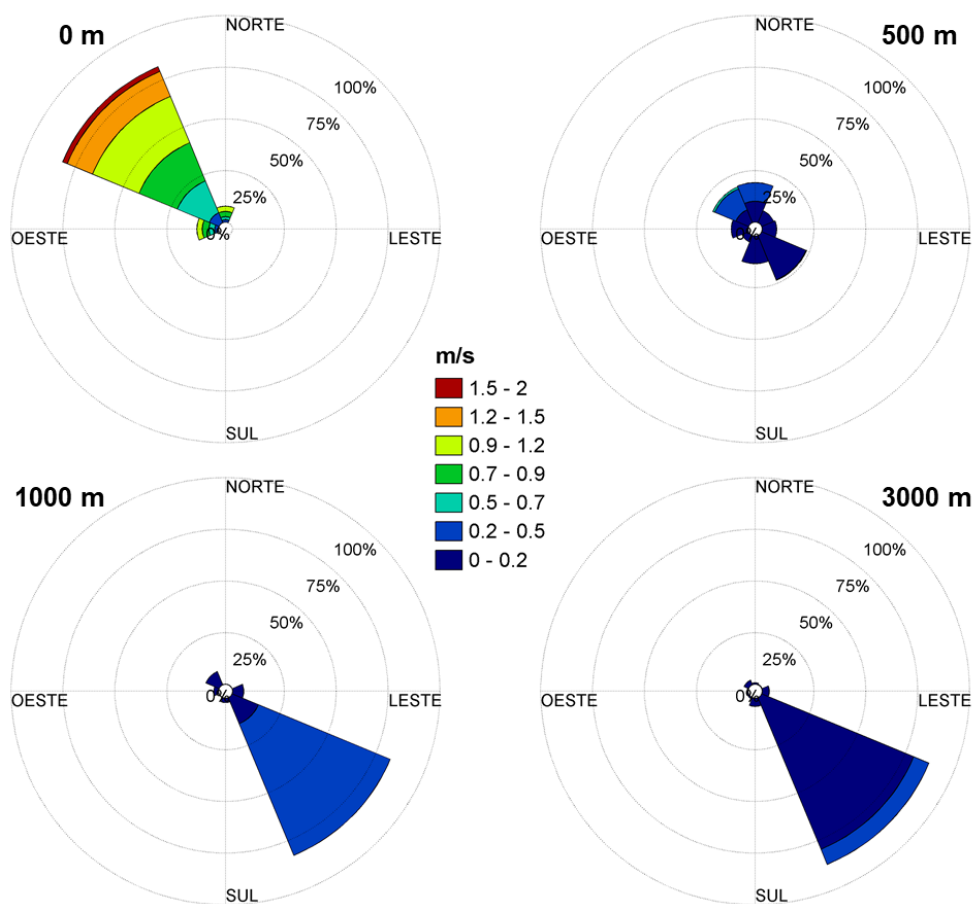


Figura 8: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário de verão, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho.

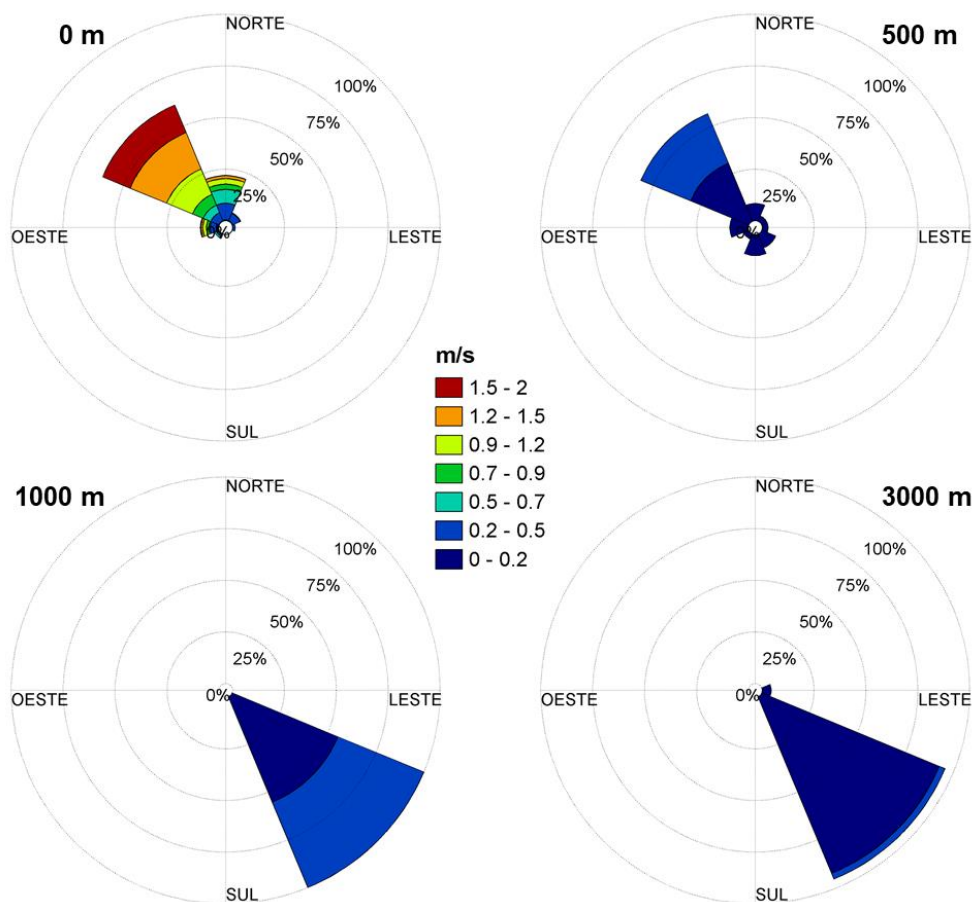


Figura 9: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário de inverno, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao Poço Morpho.

A Tabela 18 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários.

Tabela 18: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários de verão e inverno.

Profundidade(m)	Intensidade Máxima (m/s)	
	Verão	Inverno
0	1,61	1,83
100	0,84	0,78
500	0,55	0,40
1.000	0,41	0,34
2.000	0,42	0,41
3.000	0,26	0,25

De maneira geral, a corrente predominante em superfície é a de noroeste e, no fundo, a de sudeste. Na coluna d'água, é observada maior variação direcional. Em superfície, as correntes são mais intensas no cenário de inverno, porém em profundidade essa situação é observada no verão.

2.3.2 Temperatura e Salinidade do Mar

Para definir os perfis de temperatura e salinidade a serem incorporados na modelagem de óleo adotou-se, assim como feito para as correntes, os resultados do modelo hidrodinâmico ROMS.

No DREAM, apesar de ser utilizada uma série temporal para representar a variabilidade dos dados de corrente, os parâmetros temperatura e salinidade não seguem esse padrão. O usuário do modelo tem a opção de inserir apenas um perfil de temperatura e salinidade para cada cenário. Desta forma, foi calculado um perfil médio desses parâmetros para cada período selecionado, para o ponto de grade mais próximo ao descarte (Figura 10).

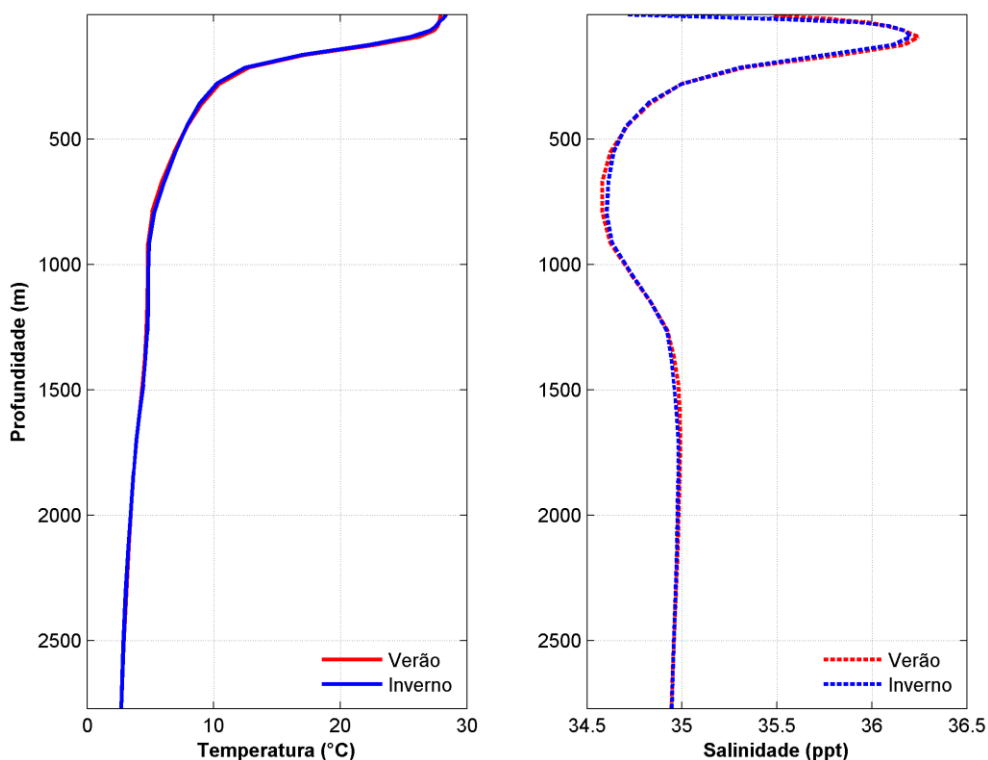


Figura 10: Perfis de salinidade e temperatura para o ponto mais próximo ao ponto de descarte.



2.3.3 Ventos

Os dados de vento utilizados como forçante no modelo são provenientes das Reanálises do NCEP – *National Centers for Environmental Prediction* – (KALNAY *et al.*, 1996). A base de dados conhecida como “Reanálises do NCEP” foi originada a partir de uma cooperação entre o NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) e o NCAR (*National Center for Atmospheric Research*), com intuito de produzir inicialmente uma rede de 40 anos de dados meteorológicos globais com base nas análises dos campos atmosféricos (KALNAY *et al.*, 1996). Posteriormente, esse projeto foi ampliado para uma janela de tempo de 50 anos (KISTLER *et al.*, 2001), e atualmente, estão disponíveis mais de 60 anos (1948-atual) de dados.

A Reanálise do NCEP (R-1) usa o estado da arte em sistemas de assimilação de dados e um banco de dados mais completo possível, abrangendo informações meteorológicas primárias das mais diversas fontes associadas aos dados do modelo atmosférico global do NCEP (KISTLER *et al.*, 2001).

Estes dados são amplamente utilizados pela comunidade científica, sendo, portanto adequados para utilização em estudos dessa natureza. Os dados primários utilizados para gerar as reanálises são de diferentes origens:

- » Dados globais de radiossondas.
- » Dados da superfície do mar obtidos através do projeto COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) no período de 1983 a 1996 (14 anos), originados de diversas fontes, dentre elas, observações de navios, bóias fixas, bóias móveis e estações oceânicas próximas à superfície.
- » Dados aéreos, originados de observações por aeronaves em todo o globo, geralmente associados a projetos como GARP (Global Atmospheric Research Program) e GATE (Global Atlantic Tropical Experiment), por exemplo.
- » Dados de Satélite, que começaram a ser obtidos em 1967, através de diversos programas. Atualmente, o NCEP/NCAR utiliza dados fornecidos pelo projeto TOVS (Operational Vertical Sounder System), com variáveis em três dimensões, cuja resolução espacial média é de 2,5 graus.
- » Dados de vento em superfície, obtidos pelo sensor espacial Microwave/Imager (SSM/I) a partir de 1987, submetidos ao tratamento feito pela rede neural de Kransnopolsky *et al.* (1995) *apud* Kalnay *et al.* (1996).

» Dados de cobertura de nuvens obtidos por estimativas dos dados de Satélites Meteorológicos Geoestacionários (SMG). Esses dados estão disponíveis desde 1978.

Todos os dados utilizados nas reanálises passam por um rigoroso controle de qualidade e recebem um tratamento diferenciado de acordo com a forma de obtenção. Utilizando-se técnicas de interpolação espaço-temporal, que levam em consideração não somente a estatística como também a dinâmica dos fenômenos meteorológicos (análise objetiva).

Para este estudo, foram utilizados os dados coincidentes com o período disponível para as correntes – ano de 2013 –, tendo uma frequência temporal de 6 horas (4 dados por dia). A resolução espacial na área em questão é de aproximadamente $1,8^\circ$, tendo sido utilizado o ponto de grade do NCEP mais próximo ao ponto de descarte (Figura 11). A seguir, são apresentadas as rosas dos ventos (Figura 12), elaboradas para os períodos sazonais escolhidos.

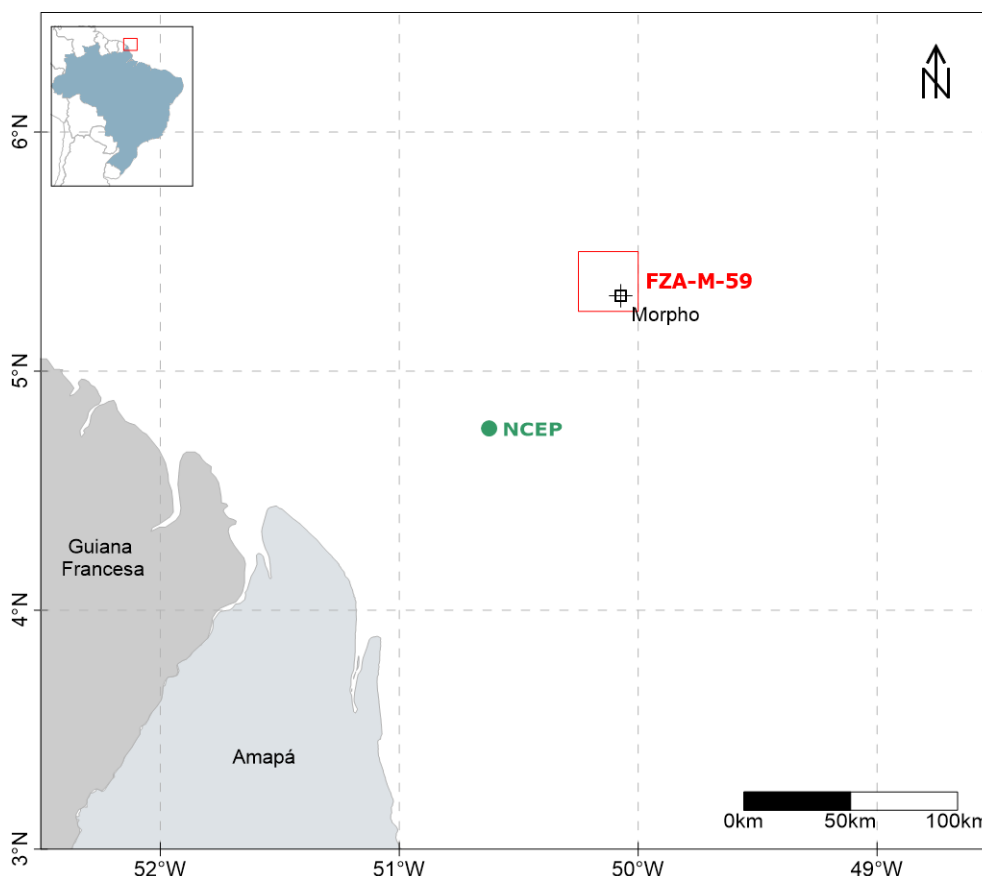


Figura 11: Localização do ponto de grade do NCEP mais próximo ao ponto de descarte.

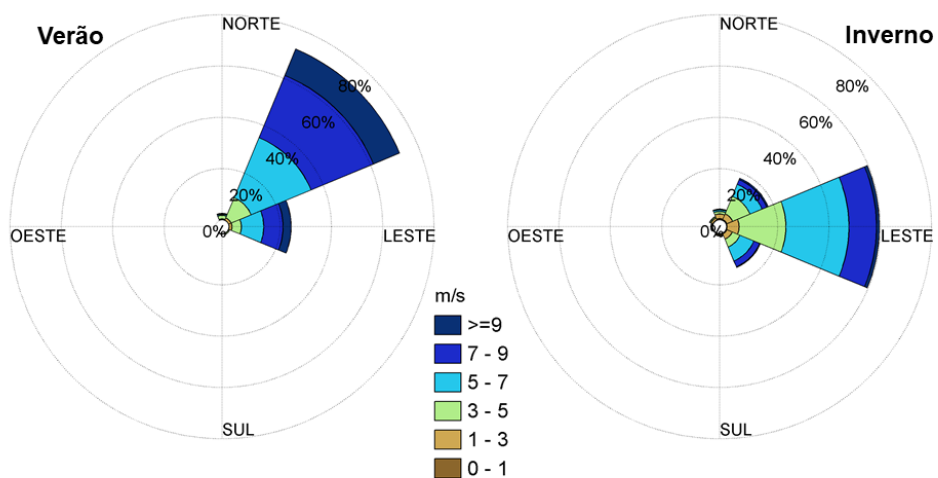


Figura 12: Histogramas direcionais para os ventos de cada cenário sazonal escolhido.

O cenário de verão apresenta maior predominância de ventos de nordeste, enquanto o inverno possui maior ocorrência de ventos de leste. Intensidades acima de 9 m/s foram mais frequentes no período de verão.



3. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados probabilísticos e determinísticos das simulações de dispersão de cascalho e fluido de perfuração, para os cenários sazonais de verão e inverno.

Na abordagem probabilística, são realizadas diversas simulações determinísticas, considerando todos os processos citados nos itens anteriores, para diferentes condições meteoceanográficas. Os resultados probabilísticos são de grande importância, pois ilustram tanto a abrangência da área passível de ser afetada pelo descarte de cascalho e fluido de perfuração, quanto as regiões com maior probabilidade de serem afetadas por tal descarte.

Para a obtenção destes resultados foram realizadas diferentes simulações, com intervalos temporais de aproximadamente 5 dias, para cada período (verão e inverno). Visto que o impacto principal da atividade é o empilhamento de material no assoalho oceânico, os resultados probabilísticos aqui apresentados são restritos à espessura resultante no fundo. Serão apresentados mapas de probabilidade de presença na região para determinados limiares de espessura e mapas da espessura máxima obtida. As concentrações de sólidos em suspensão na coluna d'água serão apresentadas para os casos determinísticos selecionados.

Para a escolha dos cenários determinísticos a serem apresentados, foram considerados dois critérios: **espessura máxima dos depósitos no fundo** e **distância máxima da fonte dos depósitos no fundo**. Dessa forma, dentre todos os cenários determinísticos obtidos, tanto para o verão como para o inverno, serão apresentados dois resultados distintos, aquele em que foi obtido o valor máximo de espessura no fundo, e o que obteve a maior distância da fonte, considerando o limiar mais conservador (0,01 mm). Para tais casos, serão apresentados resultados de espessura, considerando a integração total de todos os descartes e a integração das seções com e sem *riser*, analisadas separadamente, além da concentração dos sólidos em suspensão na coluna d'água.

A Figura 13 resume a forma como os resultados dos modos probabilísticos e determinísticos serão apresentados.

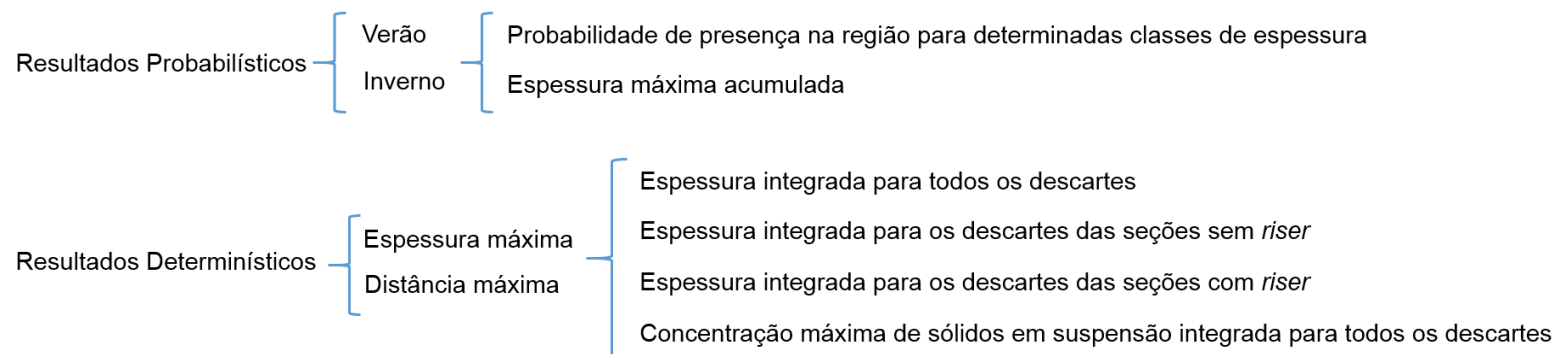


Figura 13: Fluxograma de apresentação dos resultados.



3.1. Resultados Probabilísticos

A seguir, serão apresentados mapas de probabilidade de presença de espessuras acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm, considerando todos os casos determinísticos simulados. Serão também apresentados mapas com a espessura máxima observada acima de 0,01 mm, ou seja, para cada ponto de grade, foi extraído o maior valor de espessura observado, dentre todos os casos obtidos. Os resultados serão apresentados para os cenários sazonais de verão e inverno, separadamente.

3.1.1 Probabilidade de Presença

3.1.1.1 Verão

As probabilidades de presença para as classes de espessura acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm são apresentadas da Figura 14 à Figura 17, para o cenário de verão, considerando a integração de todos os descartes.

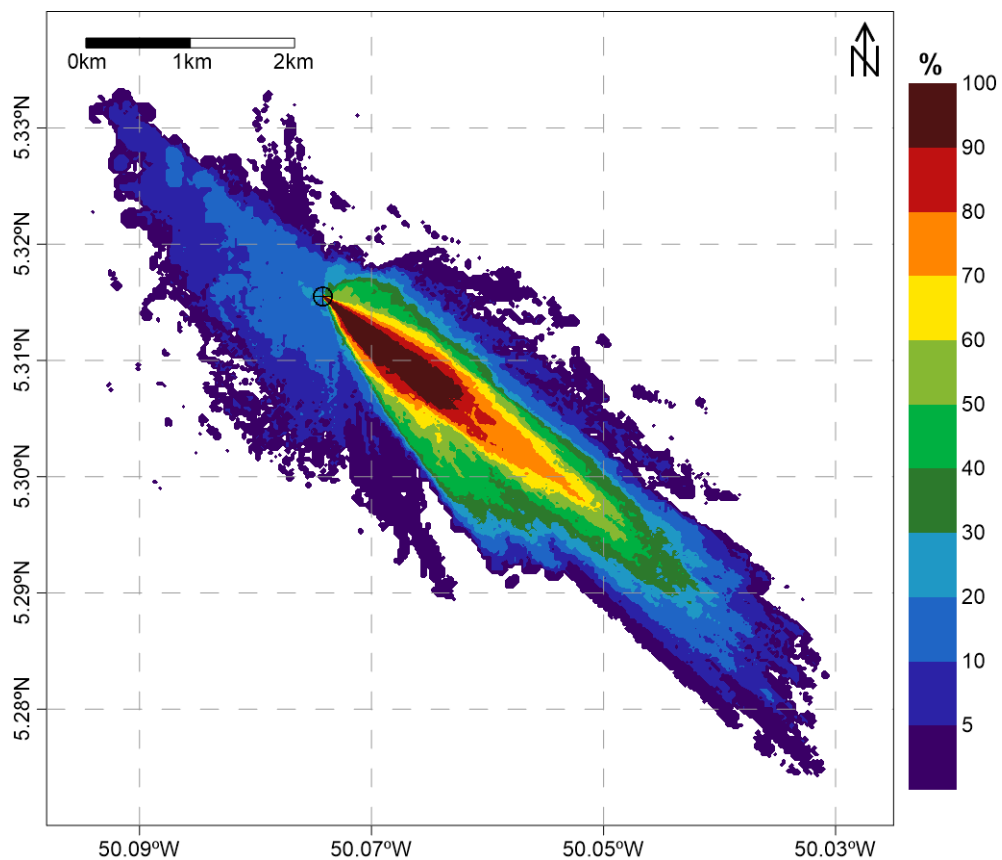


Figura 14: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.

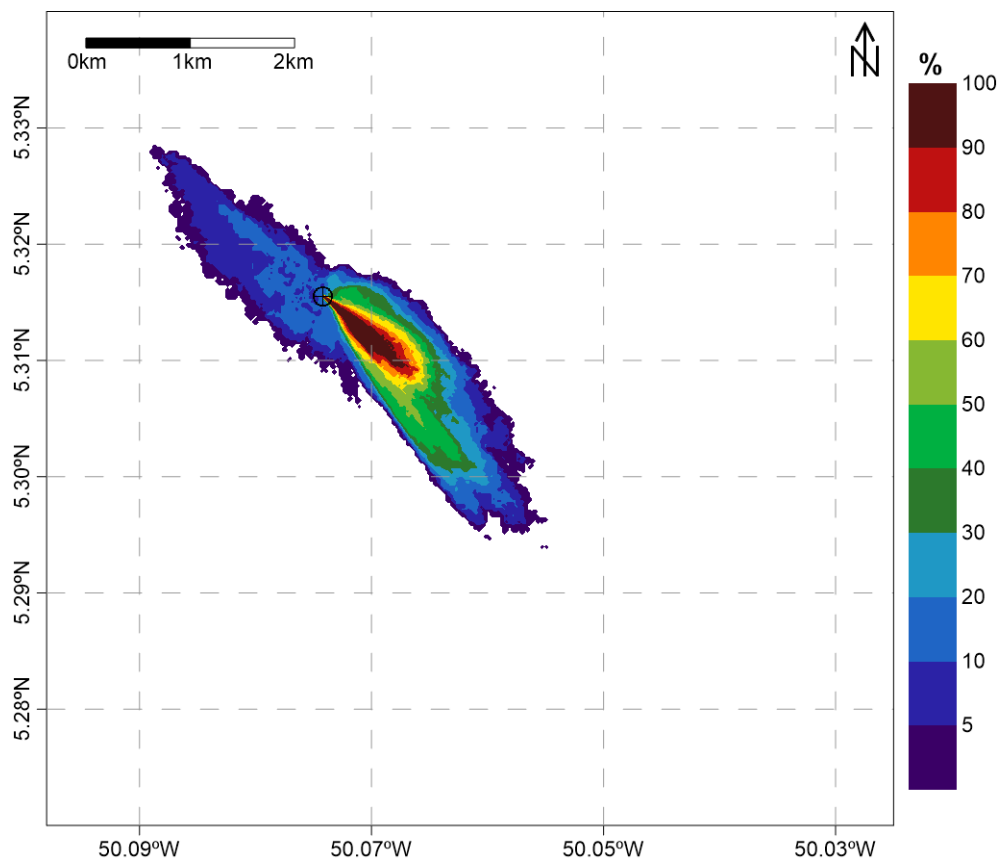


Figura 15: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.

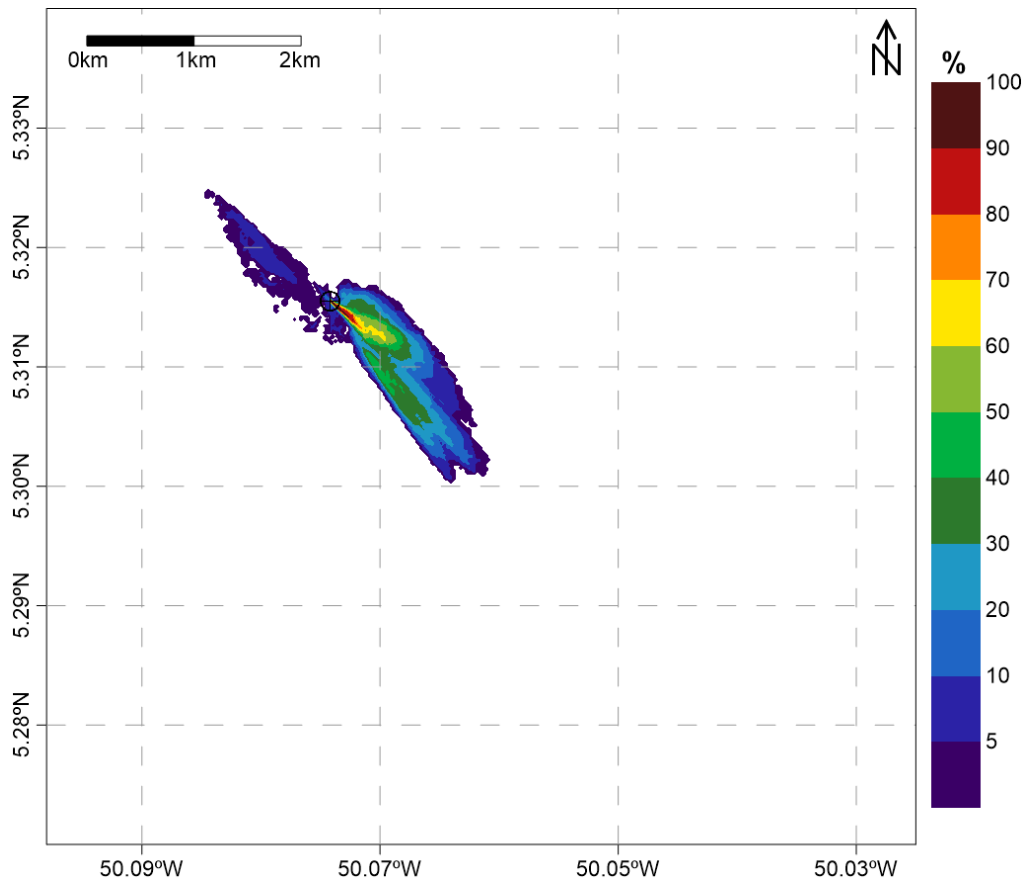


Figura 16: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.

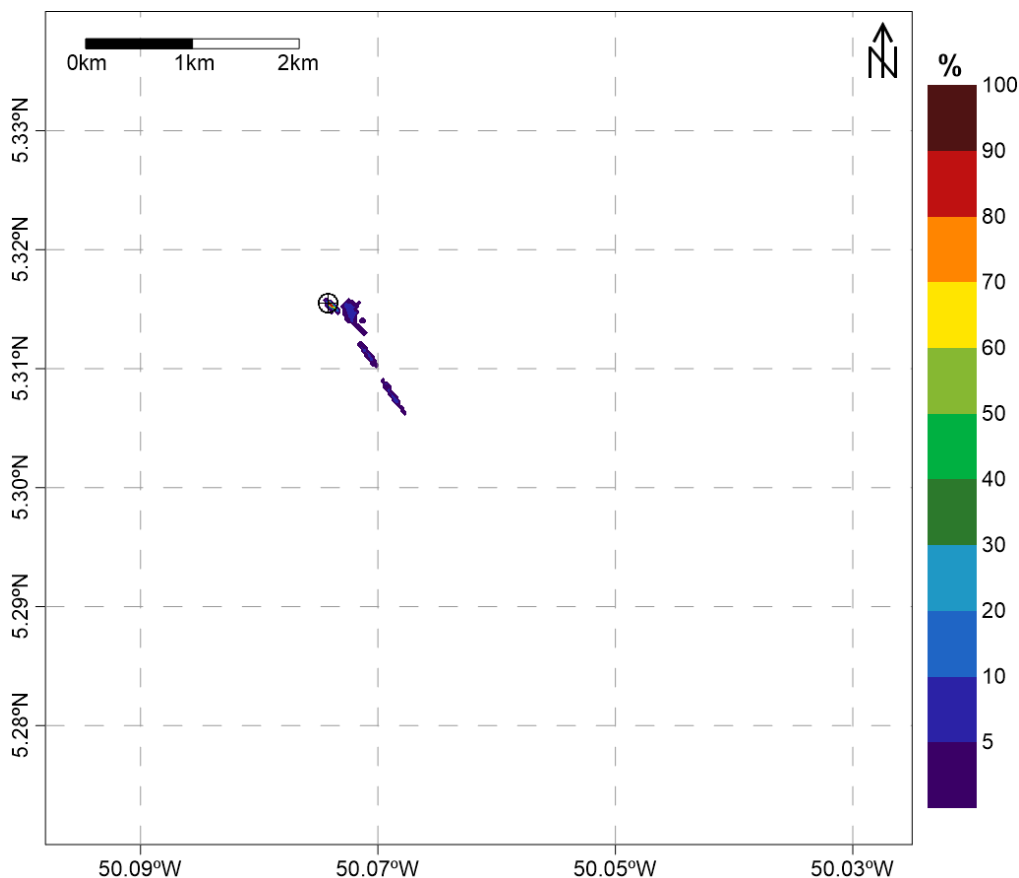


Figura 17: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de verão.

A seguir, na Tabela 19, são apresentadas as áreas obtidas para algumas classes de probabilidade durante o cenário de verão, considerando cada limiar monitorado.

Tabela 19: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de verão.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 0,01 mm	Limiar de 0,1 mm	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm
> 0%	13,90	3,90	1,57	0,068
>= 25%	3,84	1,21	0,47	0,003
>= 50%	1,96	0,52	0,09	0,002
>= 75%	0,83	0,23	0,01	0,002
= 100%	0,11	0,04	0,00	0,001

Pela análise dos resultados, percebe-se que as maiores probabilidades de ocorrência de espessuras são para sudeste, com baixas probabilidades de ocorrência para noroeste. Em comparação com o perfil de correntes para a região, apresentado na Figura 8, vê-se que as

correntes de fundo exercem uma maior influência na dispersão do material, em comparação com as correntes mais superficiais.

Há uma diminuição significativa da probabilidade de presença à medida que os maiores limiares são analisados. Para 0,01 mm, a área total de ocorrência é de 13,9 km², um valor alto quando comparado ao resultado obtido para 1 mm, de 1,57 km².

3.1.1.2 Inverno

As probabilidades de presença para as classes de espessura acima de 0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm são apresentadas da Figura 18 à Figura 21, para o cenário de inverno, considerando a integração de todos os descartes.

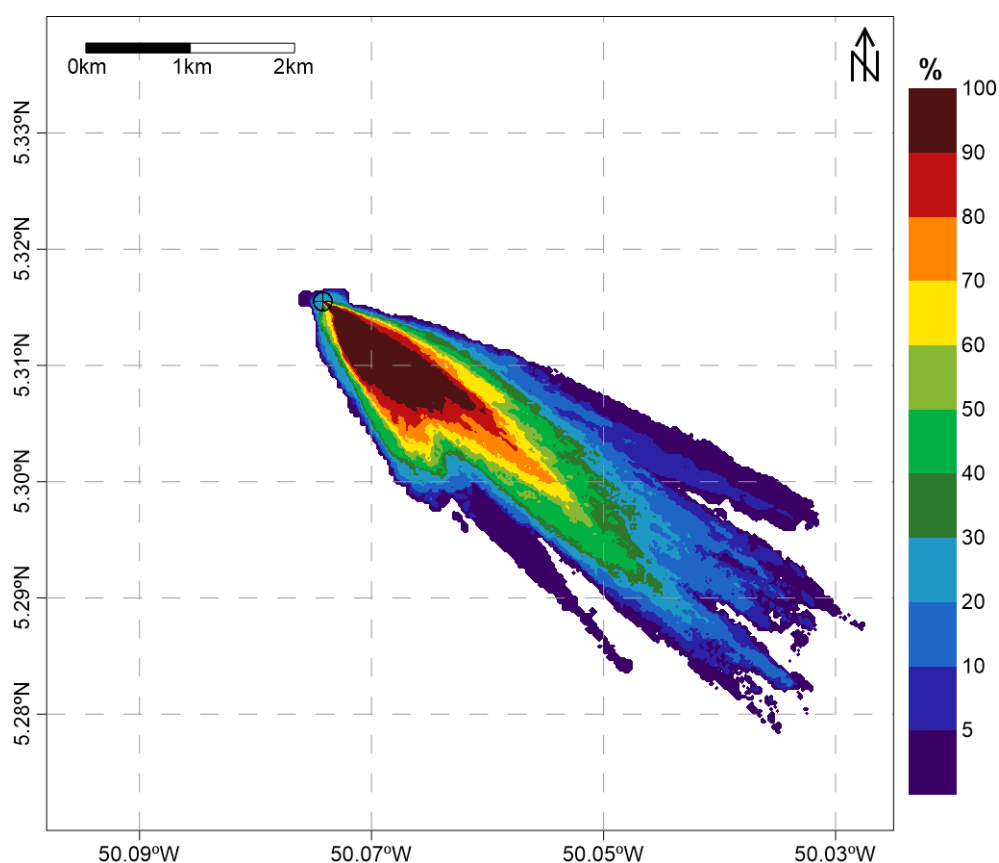


Figura 18: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,01 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.

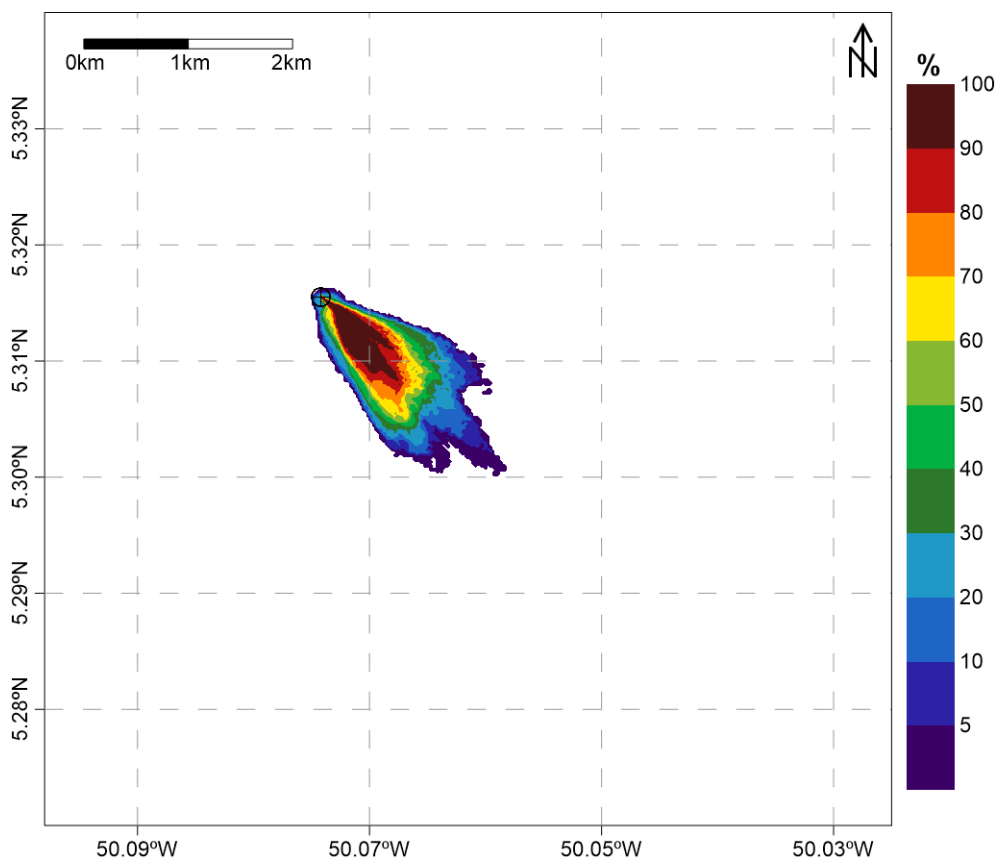


Figura 19: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 0,1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.

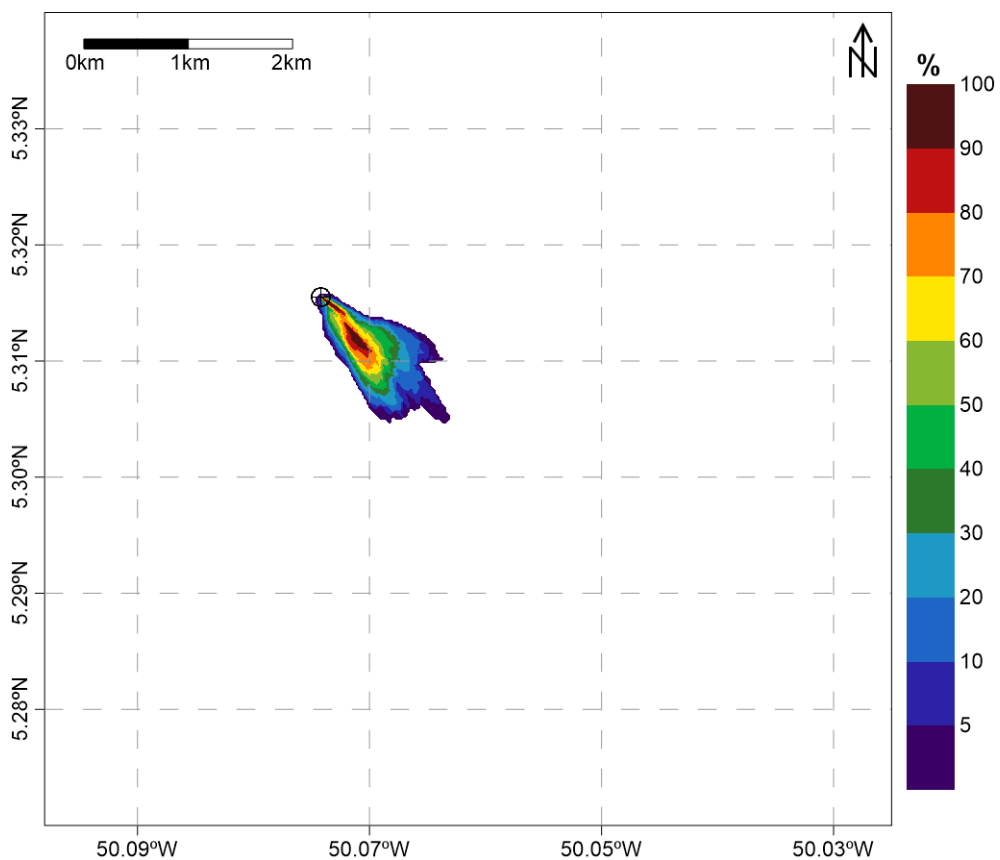


Figura 20: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 1 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.

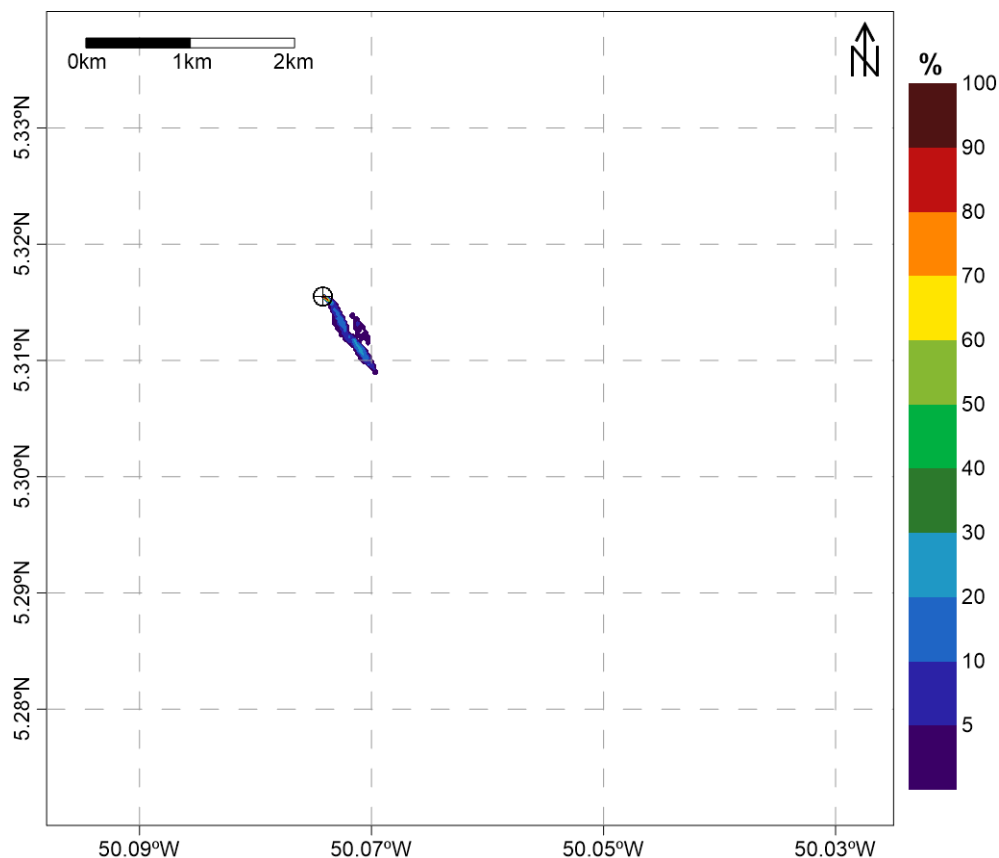


Figura 21: Mapa de probabilidade de presença de espessuras superiores a 10 mm, considerando todos os resultados determinísticos de inverno.

A seguir, na Tabela 20, são apresentadas as áreas obtidas para algumas classes de probabilidade, durante o cenário de inverno, considerando cada limiar monitorado.

Tabela 20: Áreas obtidas para as classes de probabilidade de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, considerando os distintos limiares monitorados. Cenário de inverno.

Probabilidade	Área (km ²)			
	Limiar de 0,01 mm	Limiar de 0,1 mm	Limiar de 1 mm	Limiar de 10 mm
> 0%	8,24	1,64	0,79	0,092
>= 25%	3,33	0,91	0,36	0,003
>= 50%	1,88	0,60	0,19	0,002
>= 75%	1,02	0,37	0,07	0,002
= 100%	0,29	0,08	0,00	0,001

Para o cenário de inverno, não há formação de pilhas de deposição para noroeste, como no verão, a deposição neste cenário ocorre toda na direção sudeste. Em comparação com o



regime de correntes para esse cenário (Figura 9), comprova-se que as correntes de fundo atuam de forma preferencial na dispersão do material.

Assim como o observado para o cenário de verão, há uma diminuição significativa da probabilidade de presença a medida que os maiores limiares são analisados. Entretanto, de maneira geral, as áreas obtidas são menores no inverno.

A área total de ocorrência para o limiar de 0,01 mm é de 8,24 km², e para o limiar de 1 mm, é de 0,79 km².

3.1.2 Espessura Máxima

3.1.2.1 Verão

A Figura 22 apresenta a espessura máxima obtida acima de 0,01 mm para todos os casos determinísticos do verão, considerando a integração de todos os resultados. A espessura máxima obtida neste cenário foi de 1.931,52 mm.

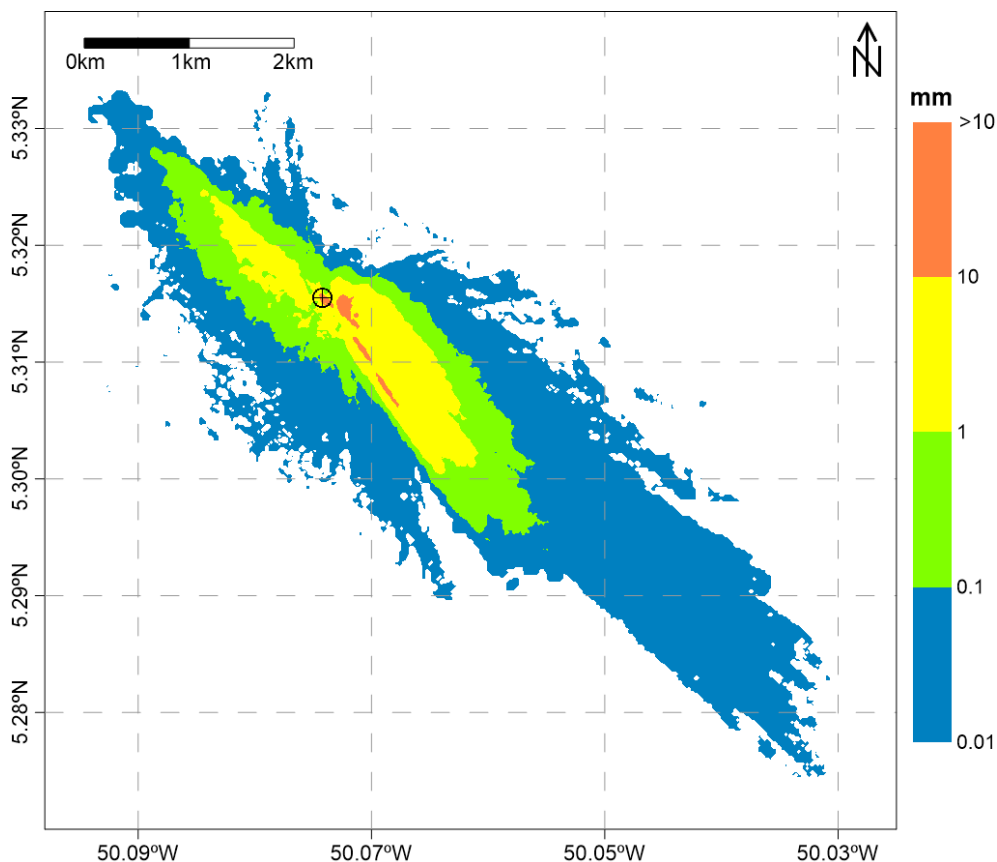


Figura 22: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de verão.

São observadas espessuras de 0,01 mm a 10 mm para noroeste e sudeste do ponto de descarte. Contudo, espessuras acima de 10 mm somente são observado no assoalho marinho para sudeste do poço.

A Tabela 21 apresenta as distâncias máximas da fonte alcançadas em função de cada classe de limiar adotado e a Tabela 22 apresenta as espessuras máximas obtidas a determinadas distâncias da fonte. Como esperado, nota-se menores espessuras à medida que a distância da fonte aumenta. A 6 km da fonte, a espessura máxima observada foi de 0,014 mm, já a 100 m da fonte, 13 mm. A distância máxima para espessuras acima de 0,01 mm foi de 6,57 km, enquanto para espessuras maiores que 10 mm foi de 1,26 km.



Tabela 21: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm).

Espessura	Distância Máxima da Fonte (km)
>= 0,01	6,57
>= 0,1	3,21
>= 1	2,16
>= 10	1,26

Tabela 22: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 6 km de distância da fonte para o verão.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	13
500 m	12
1 km	12
2km	1,7
3 km	0,11
4 km	0,02
5 km	0,017
6 km	0,014

3.1.2.2 Inverno

A Figura 23 apresenta a espessura máxima obtida acima de 0,01 mm para todos os casos determinísticos do inverno, considerando a integração de todos os resultados. A espessura máxima obtida neste cenário foi de 1.944,56 mm.

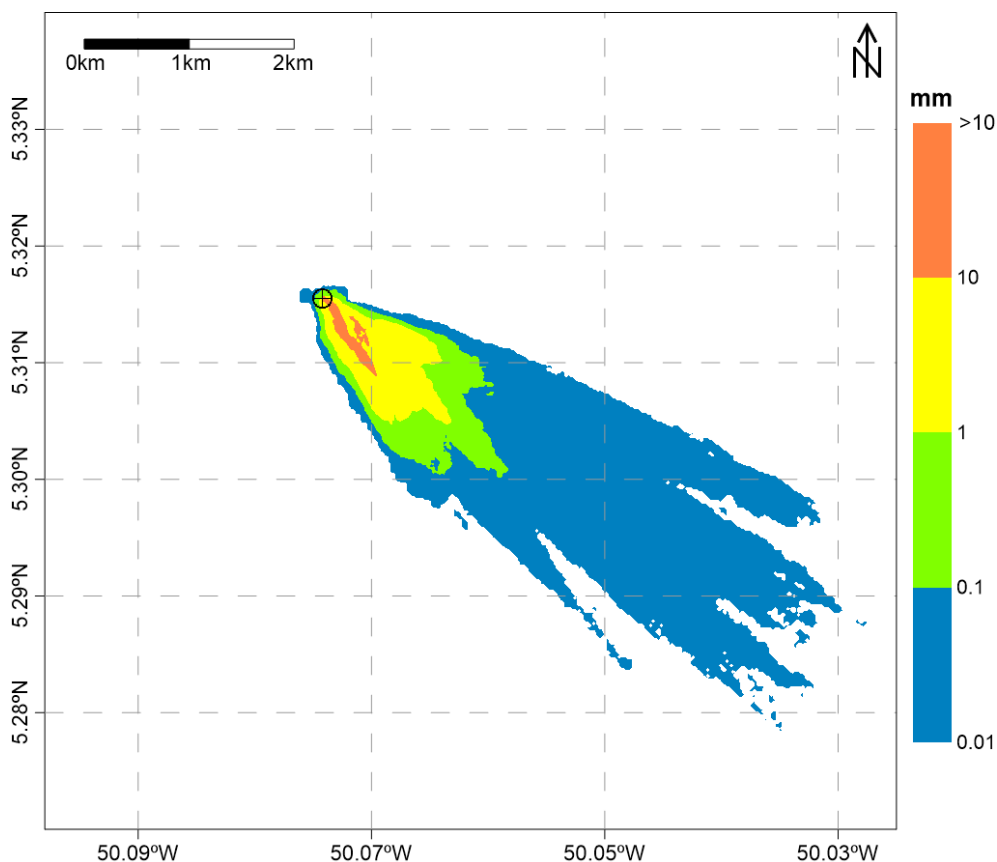


Figura 23: Mapa de espessura máxima acumulada no fundo oceânico, considerando todos os casos determinísticos de inverno.

Diferentemente do cenário de verão, todas as classes de espessura durante o cenário de inverno apresentaram um acúmulo no assoalho marinho na direção sudeste.

A Tabela 23 apresenta as distâncias máximas da fonte alcançadas em função de cada classe de limiar adotado e a Tabela 24 apresenta as espessuras máximas obtidas a determinadas distâncias da fonte. Em comparação com o verão, foram observadas menores distâncias durante o presente cenário, espessuras acima de 0,01 mm foram obtidas até 6,07 km. A 6 km da fonte, a espessura máxima observada foi de 0,0102 mm, já a 100 m da fonte, 16 mm.

Tabela 23: Distâncias máximas alcançadas para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm).

Espessura	Distância Máxima da Fonte (km)
$\geq 0,01$	6,07
$\geq 0,1$	2,41
≥ 1	1,69
≥ 10	0,90



Tabela 24: Espessuras máximas obtidas de 100 m a 6 km de distância da fonte para o inverno.

Distância da Fonte	Espessura Máxima (mm)
100 m	16
500 m	13
1 km	6,3
2km	0,31
3 km	0,03
4 km	0,019
5 km	0,015
6 km	0,0102

O cenário de verão foi o responsável pelo maior alcance em relação ao Poço Morpho, de 6,57 km, enquanto o inverno foi responsável pela espessura máxima obtida, 1.944,56 mm.



3.2. Resultados Determinísticos

Dentre todos os resultados probabilísticos obtidos, foram selecionados aqueles que refletiram os piores cenários possíveis em relação à espessura máxima dos depósitos no fundo e à distância máxima da fonte dos depósitos no fundo, independente do cenário sazonal (verão e inverno).

A Tabela 25 apresenta os períodos de simulação selecionados para cada um desses casos determinísticos. Como já observado anteriormente, o caso determinístico da espessura máxima coincide com o período de inverno, enquanto que o da distância máxima coincide com o verão.

Tabela 25: Data inicial e final da simulação obtidas para os dois casos determinísticos selecionados.

Cenário Determinístico	Início	Fim
Espessura Máxima	30/08/2013	05/10/2013
Distância Máxima	21/04/2013	26/05/2013

A Figura 24 e a Figura 25 apresentam as rosas de correntes limitadas a esses períodos (respectivamente espessura e distância máxima).

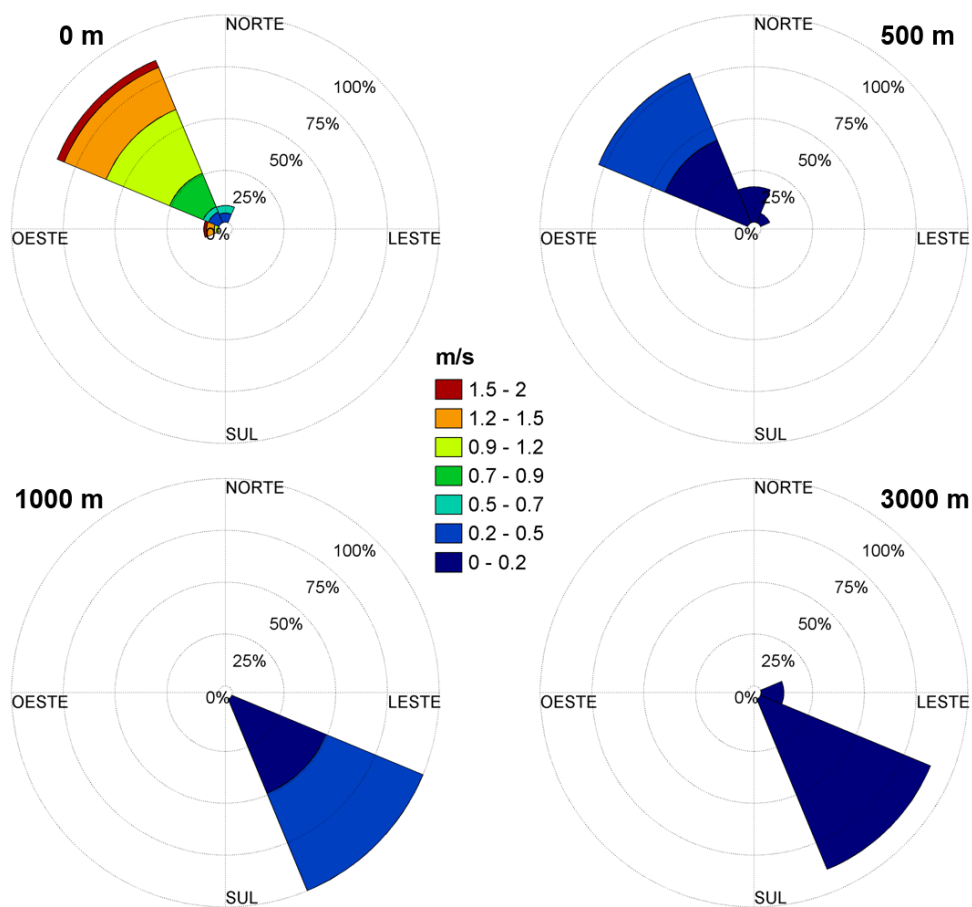


Figura 24: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário determinístico de espessura máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao poço.

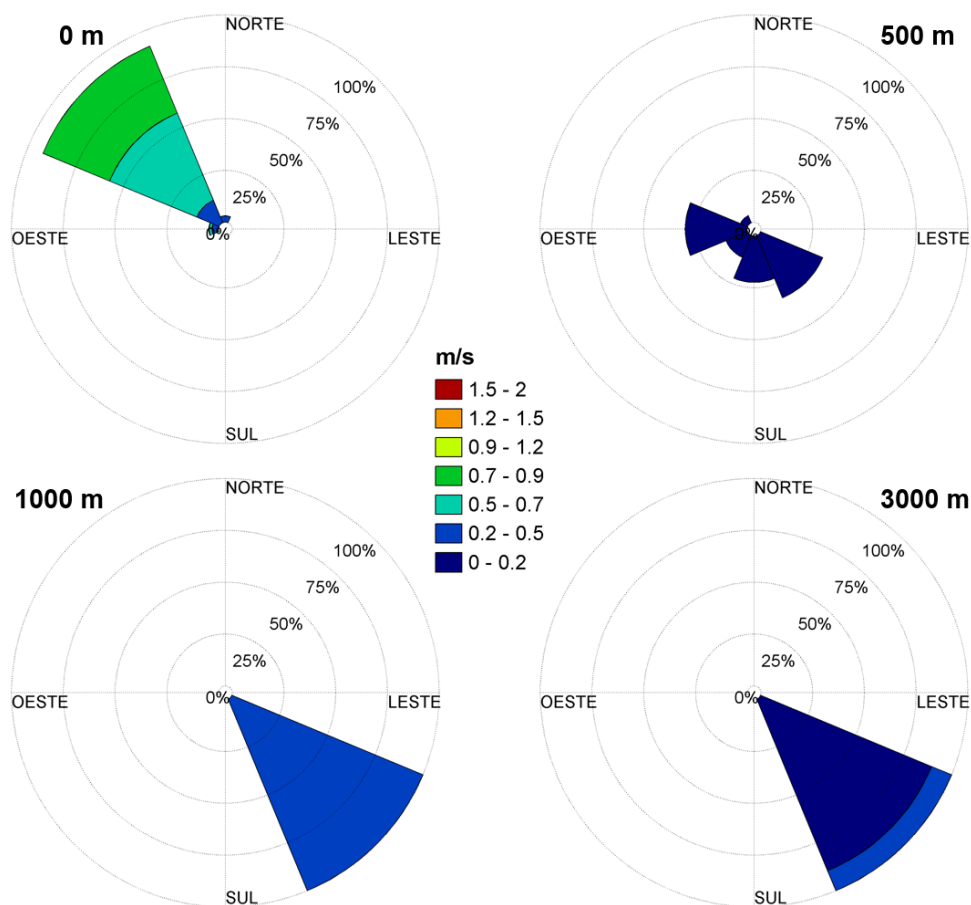


Figura 25: Histogramas direcionais de corrente nas profundidades de 0, 500, 1.000 e 3.000 metros, para o período representativo do cenário determinístico de distância máxima, do ponto de grade do ROMS mais próximo ao poço.

A Tabela 26 apresenta os valores máximos de intensidade obtidos para ambos os cenários determinísticos.

Tabela 26: Intensidades máximas de corrente obtidas para os cenários determinísticos de espessura máxima e distância máxima.

Profundidade (m)	Intensidade máxima (m/s)	
	Det. Esp. Máx.	Det. Dist. Máx.
0	1,54	0,81
100	0,78	0,25
500	0,27	0,20
1.000	0,25	0,39
2.000	0,33	0,42
3.000	0,18	0,24



Os resultados do modo determinístico serão apresentados com enfoque nos impactos que o material descartado pode causar no fundo oceânico e na coluna d'água.

Os resultados obtidos para as pilhas de deposição serão apresentados da seguinte forma:

- » Integração das seções sem *riser*,
- » Integração das seções com *riser*,
- » Integração de todas as seções.

Para a apresentação destes resultados, foi escolhido o limiar mais conservador, de 0,01 mm.

O impacto do material descartado na coluna d'água será apresentado através da concentração máxima de sólidos que permanece na água durante e após o descarte. Os resultados serão apresentados considerando todos os descartes realizados. O limiar monitorado foi de 5 ppm, como explicado no item 2.2.5.2 (Limiar de Monitoramento – Sólidos em Suspensão).

Com o objetivo de determinar a área de influência da pluma de sólidos em suspensão, foi extraída a concentração máxima que a pluma pode obter para cada ponto de grade, analisando todos os tempos de simulação. Ou seja, para cada passo de tempo da simulação, registrou-se o valor máximo de concentração em cada ponto de grade, e ao final de todo o período, extraiu-se a máxima de todas as máximas obtidas.

Apesar desta análise ser ideal para a obtenção da área potencialmente impactada pela atividade e para a obtenção de resultados como concentração e distância máxima alcançadas, esta não retrata o comportamento da pluma em determinado instante. Para tal, serão apresentados exemplos de mapas com a concentração de sólidos para alguns períodos após o início do descarte.

3.2.1 Pilhas de Deposição

3.2.1.1 Espessura Máxima

A seguir, serão apresentados os resultados para o caso determinístico que obteve o maior valor de espessura. A integração das seções sem e com *riser* são apresentadas na Figura 26 e na Figura 27, respectivamente. A pilha resultante da integração de todos os descartes é apresentada na Figura 28.

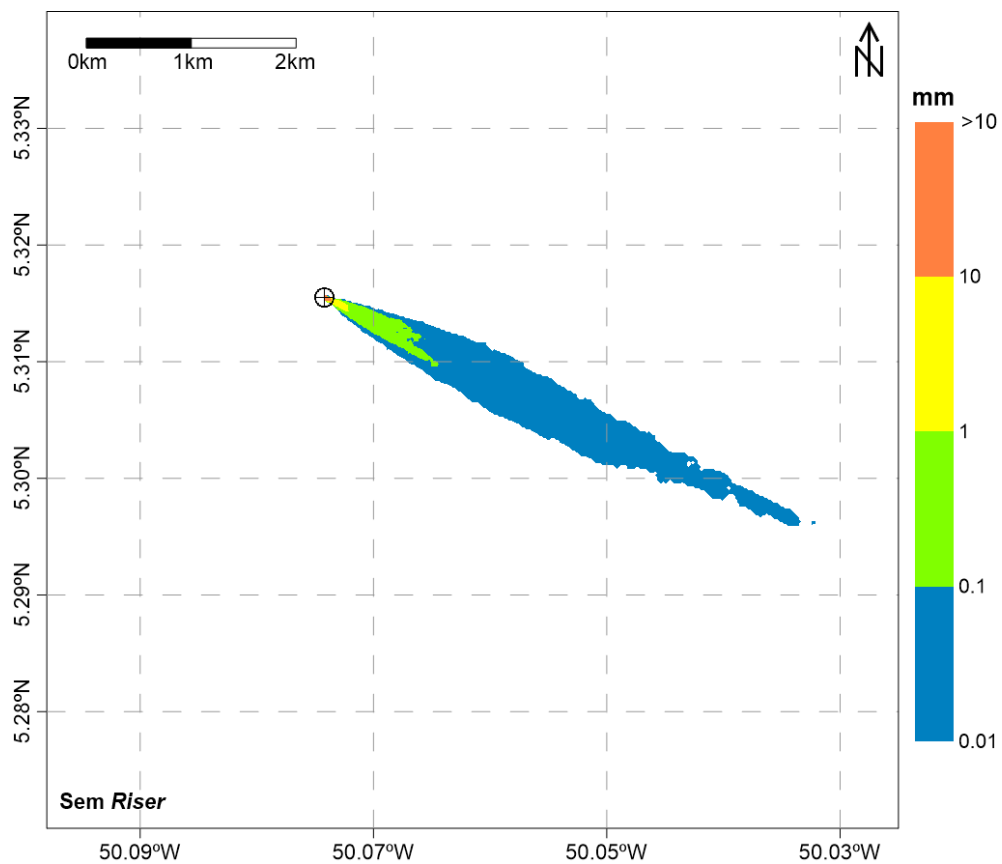


Figura 26: Pilha resultante da integração das seções sem *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Caso determinístico – espessura máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

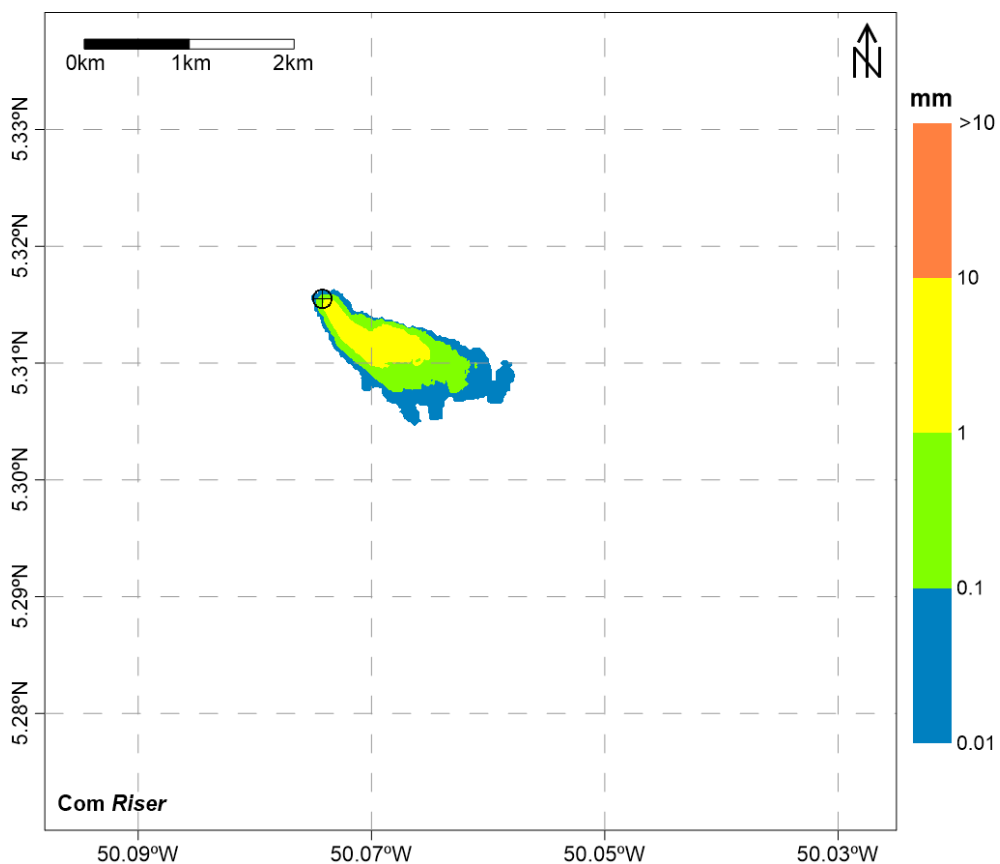


Figura 27: Pilha resultante da integração das seções com *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Caso determinístico – espessura máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

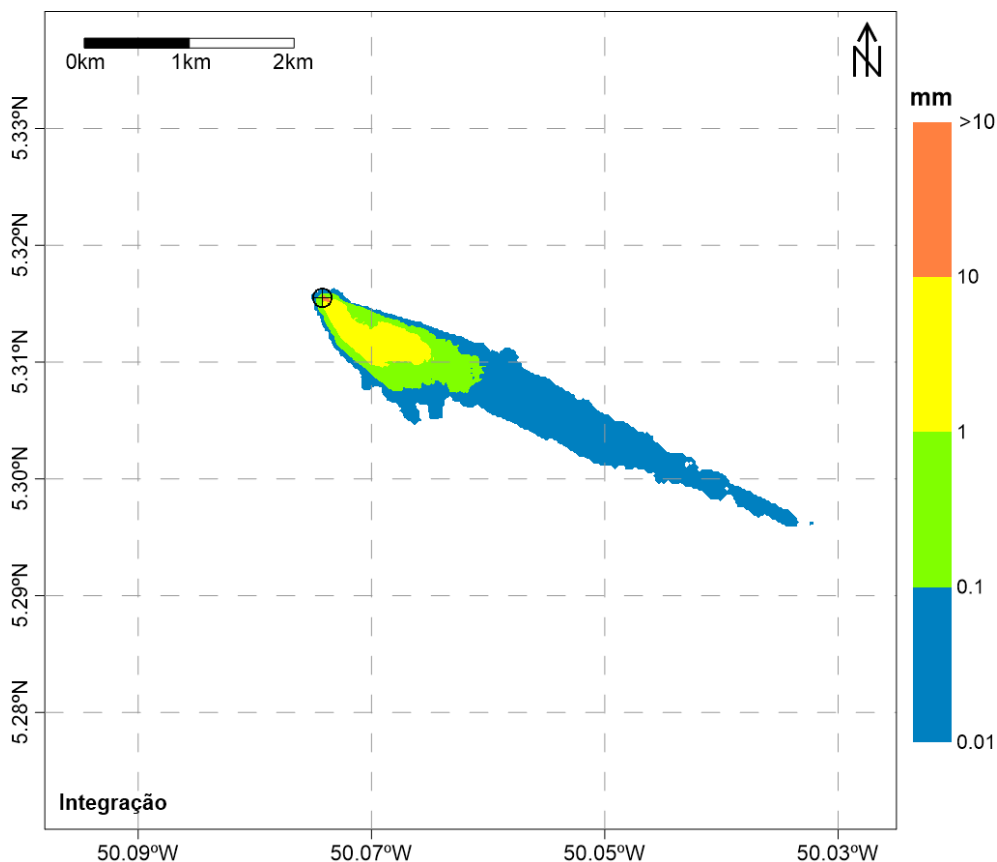


Figura 28: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm.
Caso determinístico – espessura máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

Um resumo dos resultados obtidos para este cenário é apresentado na Tabela 27.

Tabela 27: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – espessura máxima.

Descarte	Espessura Máxima (mm)	Área (km ²)	Distância máx. da fonte (km)
Integração - seções sem <i>riser</i>	1.944,24	1,79	5,13
Integração - seções com <i>riser</i>	7,12	1,14	1,97
Integração - todas as seções	1.944,56	2,34	5,13

Para este caso determinístico, o acúmulo do material no fundo ocorre para sudeste, de acordo com o regime de correntes predominante no fundo (Figura 24). As seções sem *riser* são as responsáveis pelas maiores espessuras (1.944,24 mm), área (1,79 km²) e distância da fonte alcançada (5,13 km). Isso é justificado pelo seu descarte ocorrer próximo ao fundo, o que faz com que os sólidos mais grossos se depositem rapidamente nas imediações do local de descarte. Em contrapartida, as seções sem *riser* são aquelas em que são usados fluidos



aderidos de base água, com maior percentual de finos em sua composição, o que permite a sua alta dispersão no meio. É importante ressaltar que as seções com *riser* ocupam maiores áreas quando se compara limiares maiores (> 1 mm).

A espessura máxima alcançada pela integração de todos os descartes foi de 1.944,56 mm, ocupando áreas de 2,34 km² e atingindo 5,13 km do ponto de descarte, acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a área impactada reduz significativamente para 0,31 km².

Na Tabela 28, é apresentado um resumo da área encontrada acima de algumas espessuras determinadas na pilha de integração total.

Tabela 28: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Caso determinístico – espessura máxima.

Espessura (mm)	Área (km²)
$\geq 0,01$	2,34
$\geq 0,1$	0,75
≥ 1	0,31
≥ 10	0,002

3.2.1.2 Distância Máxima

A seguir, serão apresentados os resultados para o caso determinístico que obteve a maior distância em relação à fonte. A integração das seções sem e com *riser* são apresentadas na Figura 29 e na Figura 30, respectivamente.

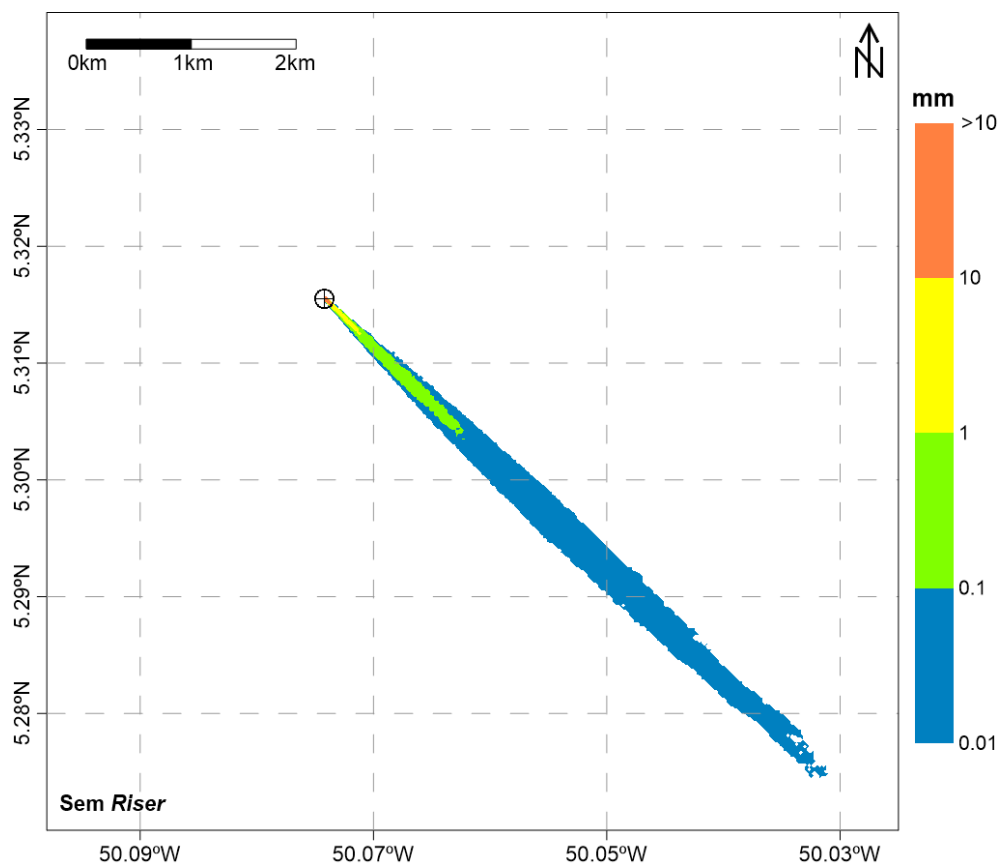


Figura 29: Pilha resultante da integração das seções sem *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

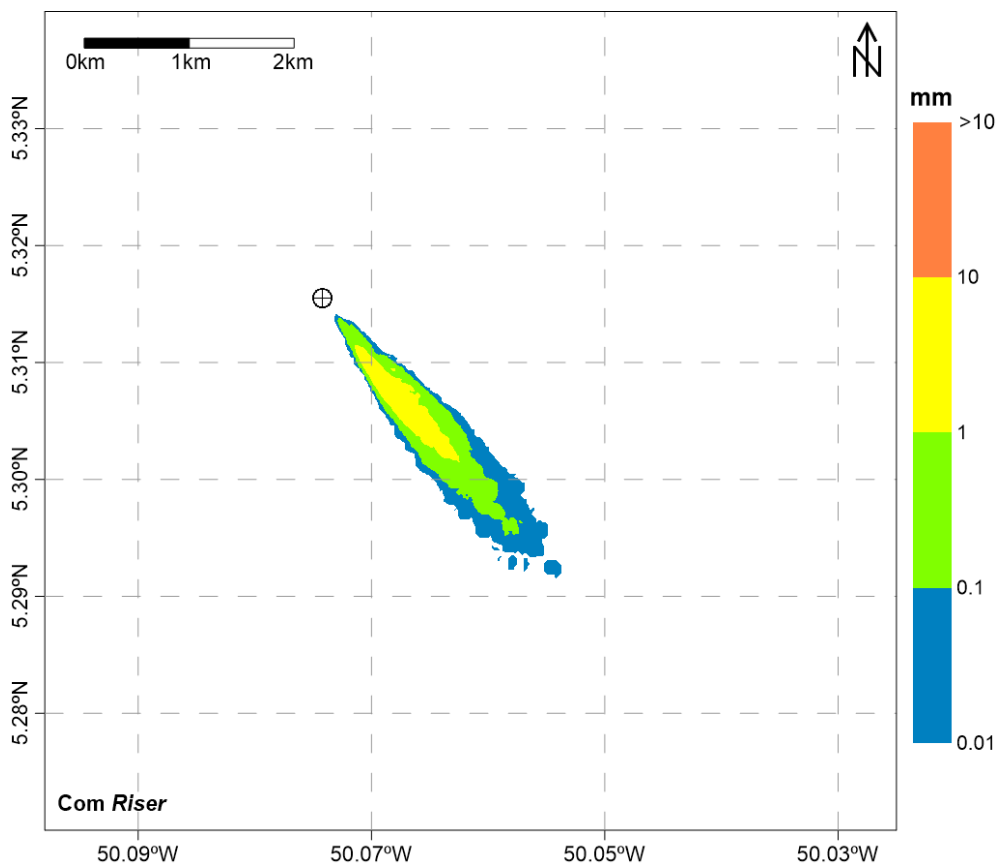


Figura 30: Pilha resultante da integração das seções com *riser*, considerando o limiar de 0,01 mm.
Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A pilha resultante da integração de todos os descartes é apresentada na Figura 31.

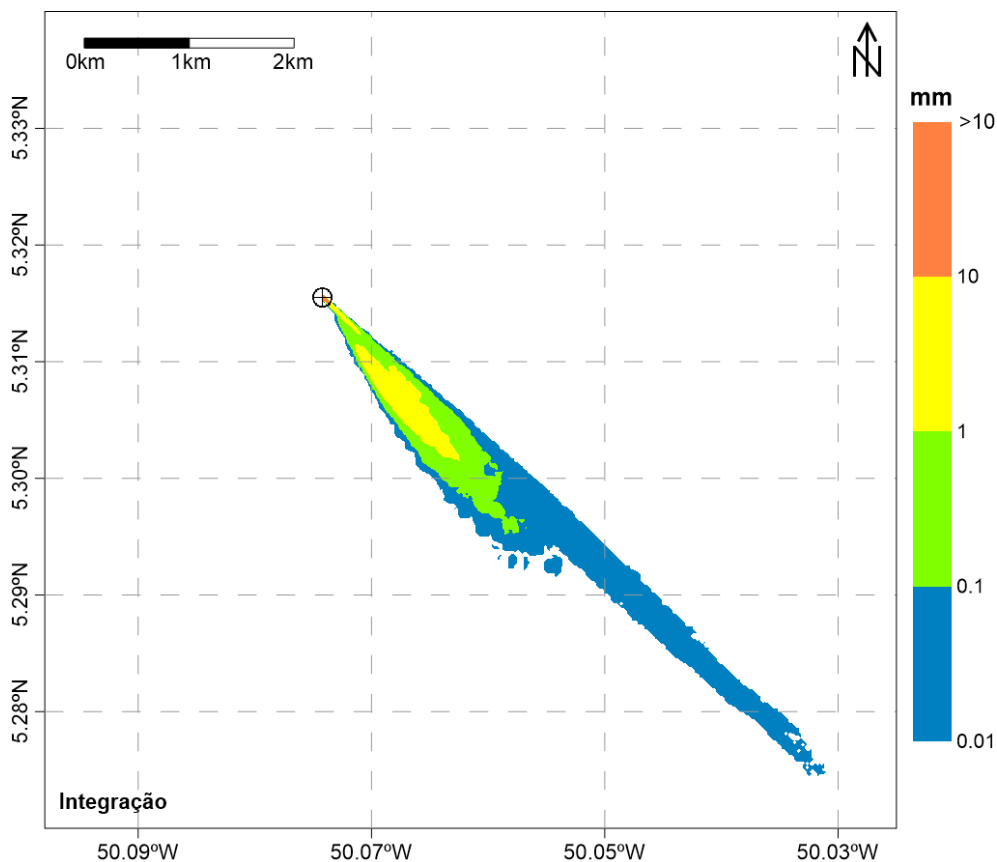


Figura 31: Pilha resultante da integração de todas as seções, considerando o limiar de 0,01 mm.
Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

Um resumo dos resultados obtidos para este cenário é apresentado na Tabela 29.

Tabela 29: Espessura máxima, área e maior distância da fonte alcançada pelas pilhas de deposição, considerando o limiar de 0,01 mm. Caso determinístico – distância máxima.

Descarte	Espessura Máxima (mm)	Área (km ²)	Distância máx. da fonte (km)
Integração - seções sem <i>riser</i>	1.814,02	1,68	6,58
Integração - seções com <i>riser</i>	6,02	1,40	3,46
Integração - todas as seções	1.814,02	2,59	6,58

Para este caso, também é observado o acúmulo total da pilha de deposição para sudeste, estando de acordo com as correntes predominantes para a região (Figura 25). A espessura máxima (1.814,02 mm) e distância máxima (6,56 km) são maiores para as seções sem *riser*, assim como no cenário de verão.



A espessura máxima alcançada pela integração de todos os descartes foi de 1.814,02 mm, ocupando áreas de 2,59 km² e atingindo 6,58 km do ponto de descarte, acima de 0,01 mm. Acima de 1 mm, a área impactada reduz significativamente para 0,30 km².

Na Tabela 30, é apresentado um resumo da área encontrada acima de algumas espessuras determinadas na pilha de integração total.

Tabela 30: Resumo da área encontrada para cada limiar de espessura adotado (0,01 mm, 0,1 mm, 1 mm e 10 mm), considerando a integração de todos os descartes. Caso determinístico – distância máxima.

Espessura (mm)	Área (km²)
>= 0,01	2,59
>= 0,1	0,89
>= 1	0,30
>= 10	0,003

3.2.2 Sólidos em Suspensão

Para apresentação dos resultados de sólidos em suspensão foram selecionados os mesmos períodos selecionados para apresentação das pilhas de deposição (item 3.2.1). Esse critério levou em consideração os seguintes aspectos:

O cenário de espessura máxima de depósitos no fundo tende a ocorrer no período de correntes mais fracas, o que restringe a pluma de concentrações de sólidos em suspensão a menores distâncias em relação à fonte e resulta nas maiores concentrações de sólidos em suspensão.

O cenário de distância máxima de depósitos no fundo tende a ocorrer no período de correntes mais intensas, o que faz com que a pluma de concentrações de sólidos em suspensão atinja maiores distâncias em relação à fonte e apresente as menores concentrações.

3.2.2.1 Espessura Máxima

A Figura 32 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão, considerando todo o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um retrato instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

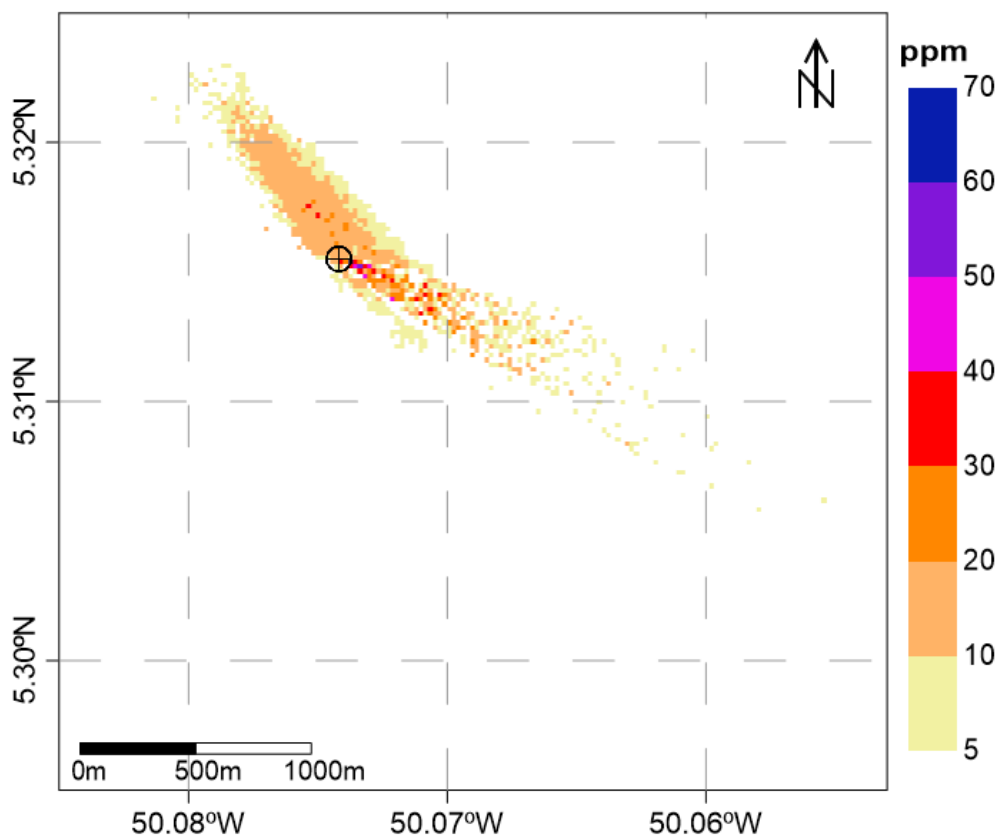


Figura 32: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes. Caso determinístico – espessura máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

Na Figura 33 e na Figura 34 são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 8 h e 9 dias e 17 h do início do descarte, representando descartes sem e com *riser*, respectivamente.

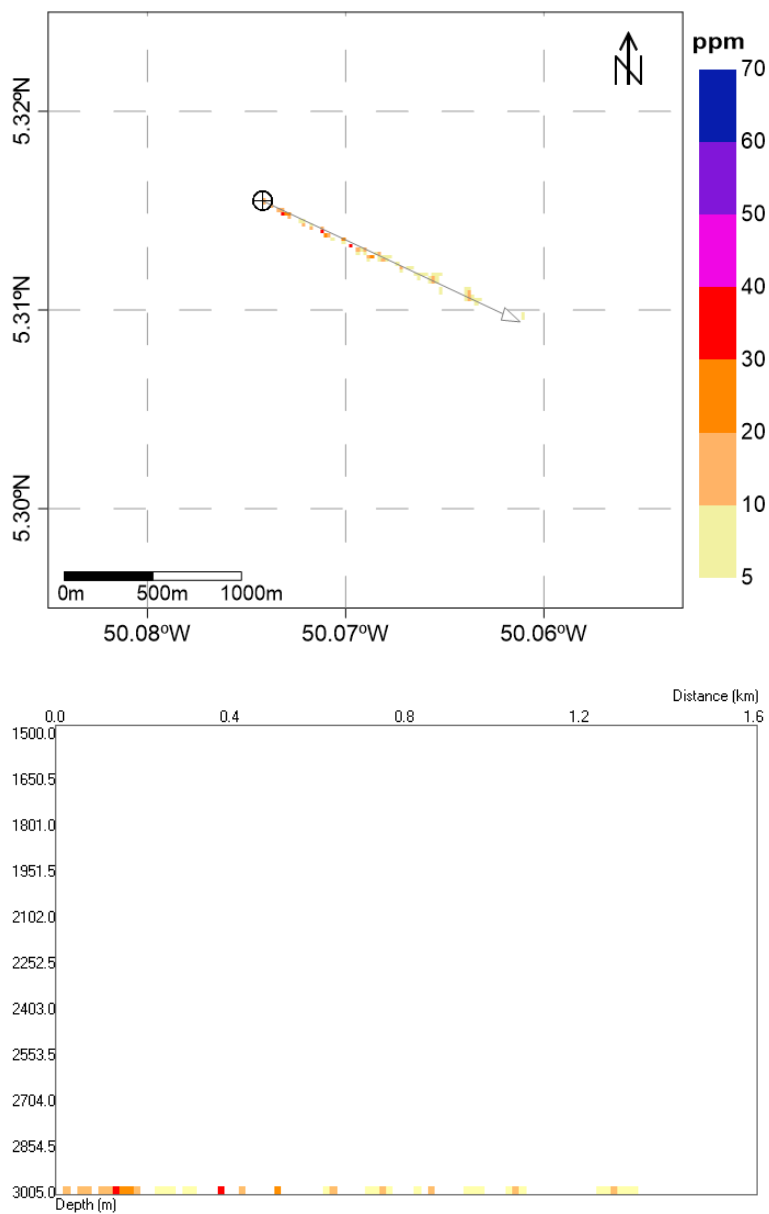


Figura 33: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 8 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 1,6 km com orientação NW-SE (painel inferior). Caso determinístico – espessura máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

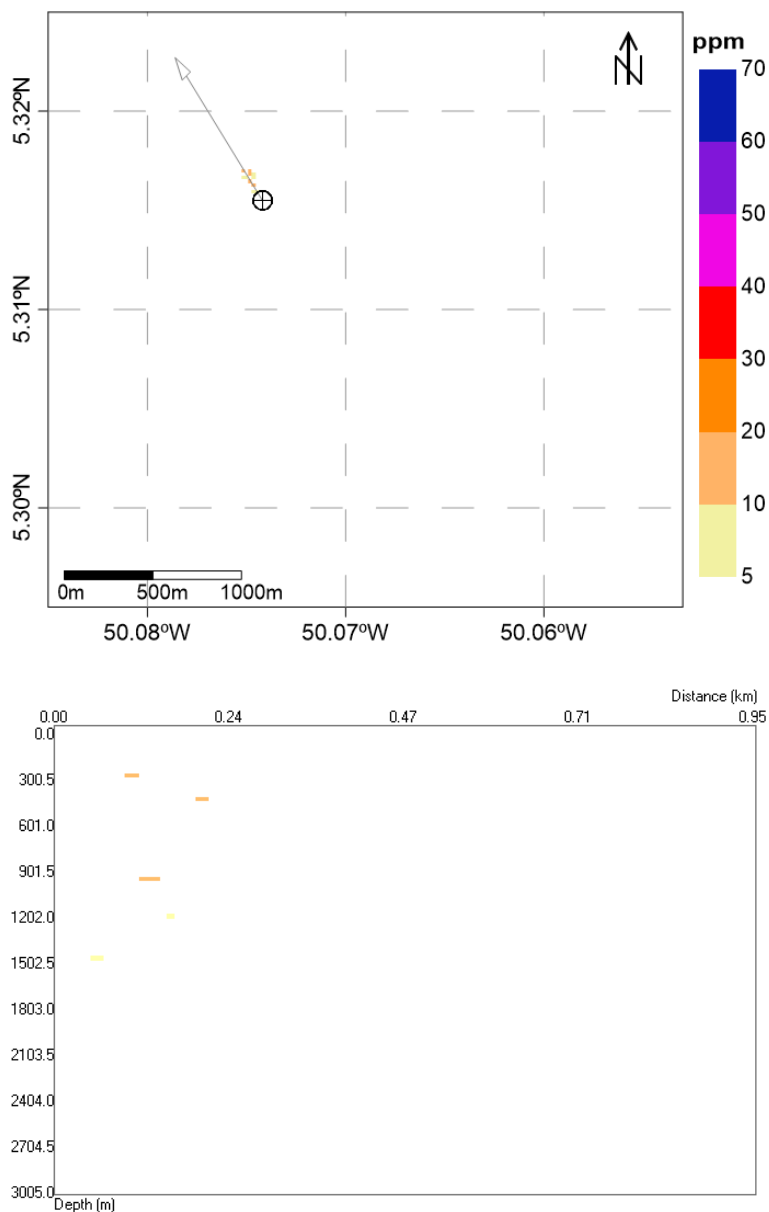


Figura 34: Concentração de sólidos na coluna d'água após 9 dias e 17 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,95 km com orientação SE-NW (painel inferior). Caso determinístico – espessura máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 31, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos.



Tabela 31: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Caso determinístico – espessura máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	64,62
Distância Máxima da Fonte (km)	2,32
Tempo de Permanência (*)	Inexistente

(*) Após o término do descarte de todas as seções.

Os resultados obtidos mostram que os descartes das seções com *riser* são os principais responsáveis por concentrações de sólidos em suspensão acima de 5 ppm. É observada uma predominância do deslocamento para noroeste, o que comprova que o material sofreu maior influência das correntes atuantes na coluna d'água. A ocorrência das maiores concentrações, porém, estão associadas às seções sem *riser* e são mais presentes na direção sudeste.

Os sólidos descartados em superfície são mais grossos (fluido de perfuração de base sintética), fazendo com que a sua deposição supere a influência das correntes mais intensas de superfície, ou seja, a sua deposição é muito mais rápida do que os sólidos mais finos (fluido de perfuração de base água), como pode ser observado nos tempos de deposição estimados no item 2.2.2 (Velocidade e Tempo de Queda dos Sólidos).

Por esse motivo, praticamente não são observadas concentrações acima de 20 ppm na coluna d'água, apenas nas proximidades do fundo.

A concentração máxima observada foi de 64,62 ppm e a pluma alcançou até 2,32 km do ponto de descarte. Concentrações acima de 5 ppm são observadas somente até o final do descarte da seção VII – durante o descarte da seção VIII não são observadas concentrações acima desse limiar –, portanto, o tempo de permanência dessas concentrações foi considerado inexistente ao término do descarte de todas as seções.

A Tabela 32 apresenta as distâncias máximas alcançadas acima de algumas classes de concentração.

Tabela 32: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Caso determinístico – espessura máxima.

Concentração (ppm)	Distância (km)
>= 5	2,32
>= 10	1,47
>= 20	0,90
>= 30	0,46

3.2.2.2 Distância Máxima

A Figura 35 apresenta a concentração máxima de sólidos em suspensão, considerando todo o período de simulação.

É importante ressaltar que esse resultado não corresponde a um retrato instantâneo, mas sim à integração no tempo de todos os resultados. O objetivo desta análise é determinar a área impactada e quais foram as concentrações máximas e distâncias máximas da fonte obtidas durante toda a simulação.

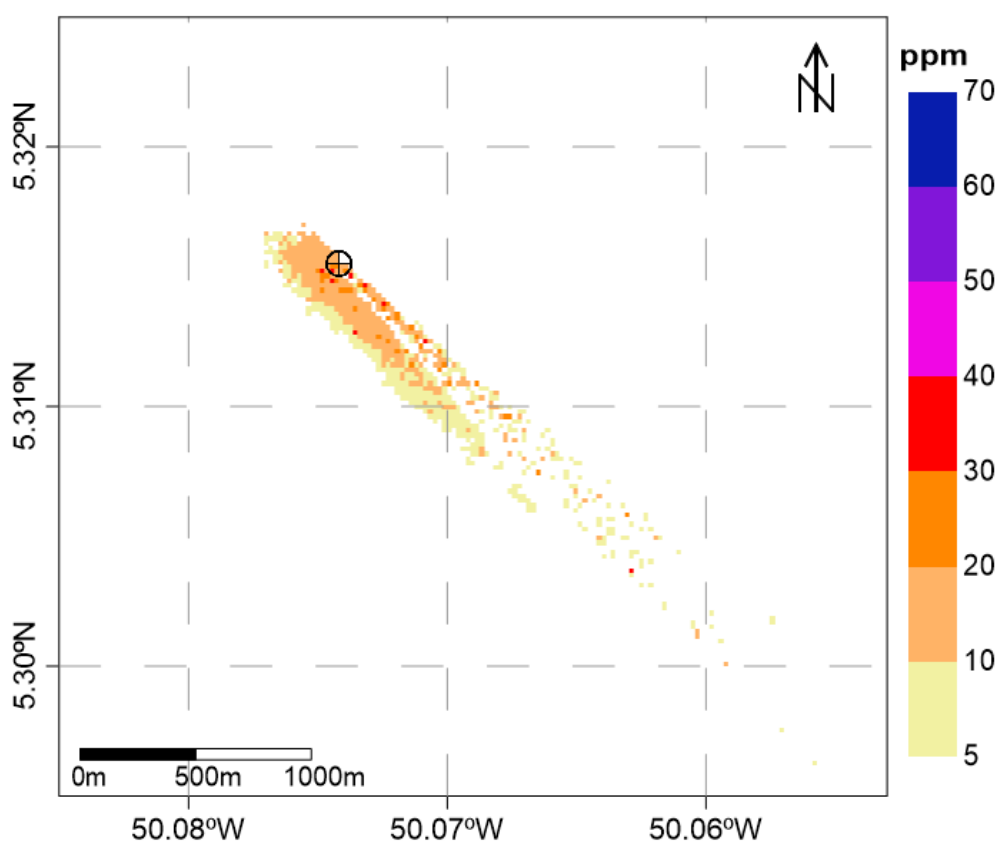


Figura 35: Concentração máxima de sólidos na coluna d'água considerando todo o período de simulação e todos os descartes. Caso determinístico – distância máxima (*Datum* SIRGAS 2000).

Na Figura 36 e na Figura 37, são apresentados exemplos da dispersão de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 8 h e 11 dias e 4 h do início do descarte, representando descartes sem e com *riser*, respectivamente.

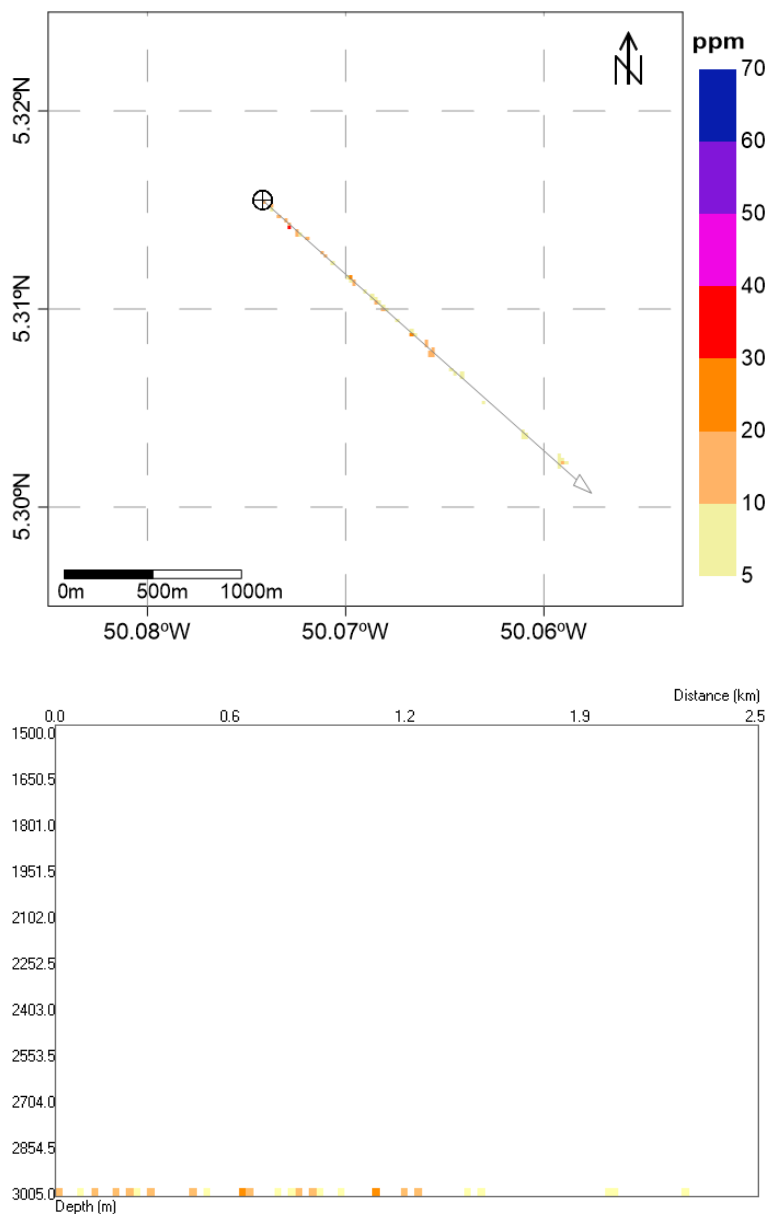


Figura 36: Concentração de sólidos na coluna d'água após 2 dias e 8 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 2,5 km com orientação NW-SE (painel inferior). Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

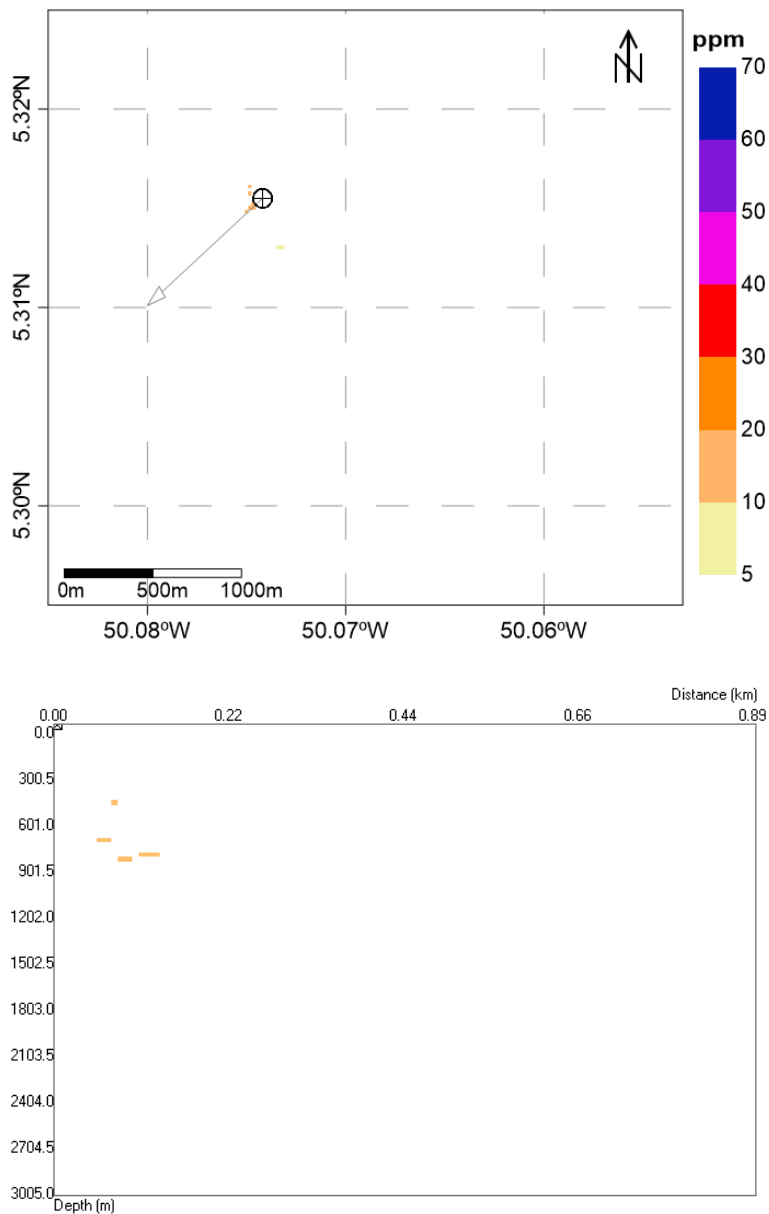


Figura 37: Concentração de sólidos na coluna d'água após 11 dias e 4 h do início do descarte: visão em planta (painel superior) e em perfil de 0,89 km com orientação NE-SW (painel inferior). Caso determinístico – distância máxima. (*Datum* SIRGAS 2000).

A seguir, na Tabela 33, são apresentados os valores máximos de concentração de sólidos em suspensão, distância da fonte e tempo de permanência obtidos.



Tabela 33: Concentração máxima, distância máxima da fonte e tempo de permanência para as plumas de sólidos em suspensão. Caso determinístico – distância máxima.

Parâmetros	Valores
Concentração Máxima (ppm)	39,15
Distância Máxima da Fonte (km)	2,95
Tempo de Permanência (*)	inexistente

(*) Após o término do descarte de todas as seções.

Assim como os resultados obtidos para o caso determinístico de espessura máxima, os descartes das seções com *riser* são os principais responsáveis por concentrações de sólidos acima de 5 ppm em suspensão. Entretanto, são as seções sem *riser*, ou seja, descartadas do fundo, que retrataram as maiores concentrações.

Neste cenário, a direção de dispersão dessas concentrações predominou para sudeste, seguindo o padrão de correntes observado na coluna d'água (Figura 25). A concentração máxima observada foi de 39,15 ppm e a pluma alcançou 2,95 km do ponto de descarte. Em comparação com o outro caso determinístico escolhido, este caso obteve menores concentrações e maior alcance em relação à fonte. Este fato indica que a escolha dos cenários determinísticos com base na espessura é viável para a análise dos casos extremos de sólidos em suspensão: o caso de espessura máxima de depósitos no fundo obteve o maior valor de concentração, enquanto que o de distância máxima de depósitos no fundo, obteve a maior distância.

Da mesma forma que o observado no cenário de verão, são observadas concentrações acima de 5 ppm somente até o término do descarte da seção VII, não sendo mais observadas estas concentrações durante o descarte da seção VIII. A Tabela 34 apresenta as distâncias máximas alcançadas acima de algumas classes de concentração.

Tabela 34: Distâncias máximas alcançadas para alguns limiares de concentração. Caso determinístico – distância máxima.

Concentração (ppm)	Distância (km)
≥ 5	2,95
≥ 10	2,38
≥ 20	1,82
≥ 30	1,82



4. Conclusão

Simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento físico do material a ser descartado durante a atividade de perfuração do Poço Morpho, situado no Bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas. Os resultados foram analisados de modo a identificar os potenciais impactos da atividade no assoalho oceânico e na coluna d'água.

O projeto de poço analisado prevê a perfuração do poço em oito seções, sem previsão de descarte de fluido excedente. Nas duas primeiras seções, o descarte ocorrerá próximo ao fundo, e o fluido de perfuração utilizado será de base água. Nas demais seções, o descarte ocorrerá próximo à superfície, com a utilização de um fluido de base sintética.

As simulações foram realizadas a partir do modelo numérico DREAM (*Dose-related Risk and Exposure Assessment Model*), desenvolvido pela SINTEF para estimar o comportamento e o destino de diversos tipos de efluente (incluindo cascalhos e fluidos de perfuração) no ambiente marinho.

Foram realizadas simulações probabilísticas e determinísticas para a obtenção dos resultados. Para os resultados probabilísticos, foi considerado um ano de dados de correntes gerados pelo modelo hidrodinâmico ROMS e, para este período, foi feita a separação em verão (dezembro a junho) e inverno (julho a novembro). No total, foram utilizadas 61 simulações determinísticas distintas para o cálculo da probabilidade.

Dentre todos os resultados probabilísticos obtidos, foram selecionados aqueles em que foram obtidos maiores valores de espessura e distância da fonte dos depósitos no fundo, independente do cenário sazonal. Para estes dois casos determinísticos foram também apresentadas as concentrações dos sólidos em suspensão.

Para as simulações foi utilizada uma grade regular com resolução suficiente para abranger toda a área impactada pelas pilhas de deposição e determinar a concentração dos sólidos sem suspensão.

Em relação aos resultados probabilísticos, foram observadas maiores probabilidades de presença a sudeste do Poço Morpho. O cenário de verão apresenta também ocorrência, com menores probabilidades, de espessuras acima de 0,01 mm para noroeste, o que não é observado no cenário de inverno. Os resultados observados são coerentes com o perfil de correntes obtido em ambos os cenários.

O cenário de verão foi o que alcançou maiores distâncias do ponto de descarte (6,57 km), enquanto o de inverno foi o mais restritivo em termos de espessura máxima obtida (1.944,56 mm). Considerando o limiar de 0,01 mm, é prevista, para o verão, uma área de 1,96 km² com



probabilidade de ocorrência acima de 50%, essa área passa a 1,88 km² quando é analisado o cenário de inverno. Acima de 1 mm, esses valores passam a ser de 0,09 km² e 0,19 km², respectivamente.

Pela análise dos casos determinísticos selecionados, foi observado que as seções descartadas próximo ao fundo (sem *riser*) são responsáveis pelas maiores espessuras e distâncias, pois apresentam menor densidade do fluido de perfuração. Já as seções descartadas na superfície (com *riser*), apresentam classes granulométricas mais grosseiras em sua composição e conseqüentemente maiores densidades.

Analisando os resultados dos sólidos em suspensão para os dois casos determinísticos selecionados, nota-se que o cenário de espessura máxima apresentou uma concentração preferencial para noroeste, sendo esta ocorrência relacionada principalmente com os descartes de superfície. Para o cenário de distância máxima, essa ocorrência foi para sudeste. As seções com *riser* foram as que mais contribuíram para concentrações acima de 5 ppm, mas as maiores concentrações, entretanto, foram observadas pelos descartes das seções sem *riser*. A concentração máxima obtida foi de 64,62 ppm e a distância máxima foi de 2,95 km.

Concentrações acima de 5 ppm foram observadas somente até o término do descarte da seção VII, durante a seção VIII, as concentrações de sólidos em suspensão foram inferiores a 5 ppm. Dessa forma, considerou-se o tempo de permanência dessas concentrações inexistente ao término do descarte de todas as seções.

A partir da análise de todos os resultados apresentados, conclui-se que os resultados probabilísticos gerados deram maior robustez à previsão, ao delimitar as áreas com maior probabilidade de serem impactadas. A simples escolha de cenários extremos para estimativa da área impactada é válida, mas limita a análise dos resultados a situações específicas com baixa probabilidade de ocorrência, tornando imperativo o emprego de interpretações dos resultados bem conservadoras.



5. Bibliografia

- BELLCHAMBERS, L.M. & A.M.M. RICHARDSON, 1995. The effect of substrate disturbance and burial depth on the venerid clam, *Katelysis scalarina* (Lamarck, 1818). *J. Shellfish Res.* 14, 41-44.
- BIRTWELL, I.A., 1999. *Effects of sediments on fish and their Habitat*. Fisheries and Oceans Canada. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 99/139.
- BRANDSMA, M.; SMITH, J. 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model - Report and User Guide. In: Relatório EPR.29PR.99. Production Operations Division. Exxon Production Research Company. Houston, Texas.
- BRANDSMA, M.G. 1993. Computer Simulations of Oily Cuttings Discharges in the North Sea. Volume 1 & 2 Project Report, Final Report Dated June 1993.
- CHANDRASEKARA, W.U. & C.L.J FRID, 1998. A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two gastropod species, *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Littorina littorea* Linnaeus), after burial in sediment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 221: 1991-207.
- DAMES; MOORE. Drilling Fluid Dispersion and Biological Effects Study for the Lower Cook Inlet C.O.S.T. Well. In: Report prepared for Atlantic Richfield Company, Volume 102, Record 946 of USEPA Rulemaking Record for the Offshore Effluent Limitations Guidelines, 1978.
- HOLTHAUS, K.I.E., J.E. TAMIS, M.G.D. SMIT, R.G. JAK, 2003. SSD approach applied to three types of Sediment Disturbances related to Drilling Discharges. TNO Report DRAFT November 2003.
- JOHANSEN, Ø. (2000): "DeepBlow – a Lagrangian Plume Model for Deep Water Blowouts". *Spill Science & Technology Bulletin*, Vol. 6, No. 2, pp 103 – 111.
- JOHANSEN, Ø.; DURGUT, I. Implementation of the near-field module in the ERMS model. In: ERMS Report, v.77, n.23. 2006.
- KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R. The NCEP /NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*. v. 77, p. 437-470. 1996.
- KISTLER, R.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J. The NCEP-NCAR 50 Year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 82, pp. 247-267. 2001.



- KJEILEN-EILERTSEN, G.; TRANNUM, H.; JAK, R. G.; SMIT, M. G. D.; NEFF, J.; DURELL, G.
Literature report on burial: derivation of PNEC as componente in the MEMW model tool.
In: ERMS Report no. 9B. 2004.
- KOH, R. C. Y.; CHANG, Y. 1973. Mathematical Model for Barge Ocean Disposal of Wastes. In:
Relatório EPA-6602-73-029, U.S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Oregon.
- KRANZ, P.M. The anastrophic burial of bivalves and its paleoecological significance. *Journal of
Geology*, v. 82, p. 237-265. 1974.
- MAURER, D.; KECK, R.T.; TINSMAN, J.C.; LEATHEM, W.A. Vertical migration and mortality of
benthos in dredged material. Part I: Mollusca. *Mar. Environ. Res.*, v. 4, p. 299-319. 1980.
- MAURER, D.; KECK, R.T.; TINSMAN, J.C.; LEATHEM, W.A. Vertical migration and mortality of
benthos in dredged material: Part II: Crustacea. *Mar. Environ. Res.*, v. 5, p. 301-317.
1981.
- O'REILLY, J.E., SAUER, T.C., AYERS, R.C. JR., BRANDSMA, M.G., MEEK, R. 1989. Field
Verification of the OOC Mud Discharge Model. In: *Drilling Fluids*. F.R. Engelhart, J.P. Ray,
A.H. Gillam, Eds., Elsevier Applied Science. Nova Iorque. Pp 647-665.
- REED, M.; HETLAND, B. DREAM: a Dose-Related Exposure Assessment Model Technical
Description of Physical-Chemical Fate Components. In: *SPE INTERNATIONAL
CONFERENCE ON HEALTH, SAFETY AND ENVIRONMENT IN OIL AND GAS
EXPLORATION AND PRODUCTION*. Kuala Lumpur, Malaysia. 2002.
- RYE, H.; REED, M.; FROST, T.; SMIT, M.; DURGUT, I.; JOHANSEN, O.; DITLEVSEN, M.
Development of a numerical model for calculating exposure to toxic and nontoxic
stressors in the water column and sediment from drilling discharges. *Integrated
Environmental Assessment and Management*, v. 4, n. 2, pp. 194-203. 2008.
- SMIT, M. G. D.; HOLTHAUS, K. I. E.; KAAG, N. B. H. M.; JAK, R. G. The derivation of a PNEC-
water for weighting agents in drilling mud. *EMRS Report no. 6*. 2006.
- TOLDO, E. E. JR.; AYOUN-ZOUAIN, R. N. *MAPEM – Monitoramento Ambiental em Atividades
de Perfuração Exploratória Marítima, Águas Profundas*, Publicação CECO-IG-UFRGS,
Porto Alegre. 2004.