



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 00]

**MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO
BM-ES-40**

/ Poço 529 B EX

Preparado para:
Perenco Oil and Gas

Preparado por:
Natalia Gomes

Revisado por:
Bruna Cerrone

03 de novembro de 2009

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO

CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ

TEL | FAX +55 21 2532-5666

WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.00]

MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO

/BM-ES-40 | Poço 529 B EX

Preparado para:
Perenco Oil and Gas

Preparado por:
Natalia Gomes

Revisado por:
Bruna Cerrone

03 de novembro de 2009

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	4
II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE.....	4
III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO	6
III.1. Corrente, Temperatura e Salinidade.	6
III.2. Onda.....	10
IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM	12
IV.1. Modelo Adotado.....	12
IV.2. Descrição das Grades	12
IV.4. Construção das Matrizes de Sólidos.....	16
IV.5. Tempo de Descarte.....	18
<i>IV.5.1. Pilhas de Deposição.....</i>	<i>18</i>
<i>IV.5.2. Plumas de Sólidos em Suspensão</i>	<i>20</i>
V. RESULTADOS.....	22
V.1. Pilhas de Deposição.....	22
<i>V.1.1. Grade 1</i>	<i>22</i>
<i>V.1.2. Grade 2</i>	<i>29</i>
V.2. Plumas de Sólidos em Suspensão	32
VI. CONCLUSÕES.....	35
VII. BIBLIOGRAFIA.....	35

I. INTRODUÇÃO

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do material a ser descartado pela atividade de perfuração do projeto de poço 529 B EX, no Bloco BM-ES-40, Bacia do Espírito Santo. O modelo e método usados visam atender aos requisitos da Coordenadoria Geral de Petróleo e Gás (CGPEG/IBAMA) para a atividade em questão.

II. DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

O poço em questão situa-se à 20° 11' 30" S e 38° 38' 03" W, sobre a elevação continental a aproximadamente 179 Km da cidade de Vitória, no Espírito Santo. A lâmina d'água no ponto de operação é de 1780 m (Figura 1).



Figura 1: Localização do poço 529 B EX no bloco BM-ES-40 - Bacia do Espírito Santo.

A perfuração ocorrerá em cinco seções. Nas duas primeiras seções, onde o descarte ocorrerá a aproximadamente 7 m do fundo (cerca de 1773 m da superfície), será utilizado um fluido de base água. Terminada essa etapa, o *riser* é instalado e nas seções seguintes será utilizado um fluido de base sintética. Estes descartes serão efetuados a 10 m abaixo da superfície.

Os volumes e vazões descartados em cada seção são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Descartes previstos para a atividade do poço 529 B EX no bloco BM-ES-40.

Parâmetros	unidade	seção 1	seção 2	seção 3	seção 4	seção 5
diâmetro da seção	pol	36"	26"	17" 1/2	12" 1/4	8" 1/2
profundidade de descarte	m	1773,0	1773,0	10,0	10,0	10,0
orientação vertical do tubo de descarga	°	-90,0	-90,0	90,0	90,0	90,0
volume de cascalho	m ³	31,5	209,6	574,2	98,8	124,5
volume de fluido aderido	m ³	208,0	832,0	34,4	5,9	7,4
duração do descarte	h	16,6	72,0	432,0	336,0	240,0
volume total descartado	m ³	239,5	1041,6	608,6	104,8	131,9
vazão	m ³ /h	14,5	14,5	1,4	0,3	0,5
base do fluido	-	água	água	sintético	sintético	sintético

III. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO

III.1. Corrente, Temperatura e Salinidade.

Neste estudo, os dados de temperatura, salinidade e corrente são resultantes de um experimento de longo termo com o modelo *HYCOM* (Hybrid Coordinate Model).

O *HYCOM* é um modelo de circulação oceânica global que utiliza discretização horizontal em diferenças finitas (GABIOUX, 2008), tendo como principal característica a utilização de um sistema de coordenadas verticais híbridas. Em outras palavras, ele utiliza o sistema de coordenadas isopícnais para as áreas de oceano aberto e estratificado, coordenadas z (cartesianas) para a camada de mistura e regiões pouco estratificadas, e coordenadas sigma para regiões com menores profundidades e topografia de fundo variável (zonas costeiras).

Com o auxílio desses três sistemas de coordenadas, o modelo pode conservar as características das massas d'água por longos períodos de tempo em regiões oceânicas (coordenada isopícnal), obter alta resolução na camada de mistura ou em regiões com pouca estratificação (coordenada z), e resolver melhor a topografia de fundo em áreas costeiras ou sobre a plataforma continental (coordenada sigma).

Desta forma, o *HYCOM* é basicamente um modelo em camadas isopícnais, que pode realizar uma transição suave para os sistemas de coordenadas z e sigma, próximo aos contornos superiores e inferiores, ou quando a resolução vertical é inadequada (GABIOUX, 2008). A combinação das vantagens dos diferentes sistemas de coordenadas permite simular, de forma otimizada, as características da circulação oceânica e costeira, sendo atribuída ao usuário a determinação das zonas de transição entre os sistemas de coordenadas (CHASSIGNET et al., 2003).

Para esta caracterização foram utilizados dados disponíveis do *HYCOM Consortium*. Os resultados do hindcast¹ que contempla a região da plataforma encontram-se disponíveis para utilização na página do projeto (<http://hycom.rsmas.miami.edu/dataserver/>). Os dados usados possuem uma resolução espacial de 1/12º e uma série temporal de janeiro de 2003 a janeiro de 2006. Os resultados obtidos pelo *HYCOM* se ajustam às principais características regionais descritas na literatura, o que valida a sua utilização neste estudo.

¹ O termo "hindcast" é usado para descrever previsões numéricas realizadas para tempos pretéritos. É uma tentativa de reconstituição das condições ambientais em um determinado período.

Os perfis de corrente, temperatura e salinidade utilizados como forçantes na simulação foram obtidos utilizando a técnica de análise de funções ortogonais empíricas (EOF), usada no auxílio à compreensão da variabilidade de fenômenos oceanográficos através de séries temporais. Uma descrição desta técnica pode ser encontrada em Emery e Thomson (2004).

A análise de EOF oferece, associada a cada modo normal estatístico, uma descrição resumida da variabilidade espacial e temporal da dinâmica. Trata-se da decomposição dos dados em modos normais, onde é possível obter a variação temporal de cada um destes modos e também a quantificação da representatividade de cada modo dentro da variância total dos dados.

Os perfis sintéticos construídos são resultados do primeiro modo da EOF, que representa a maior parte da variância. Quanto à variação temporal, optou-se por utilizar o valor modal deste dado, de forma a representar a situação mais freqüente.

O perfil de corrente obtido a partir desta análise é apresentado na Figura 2.

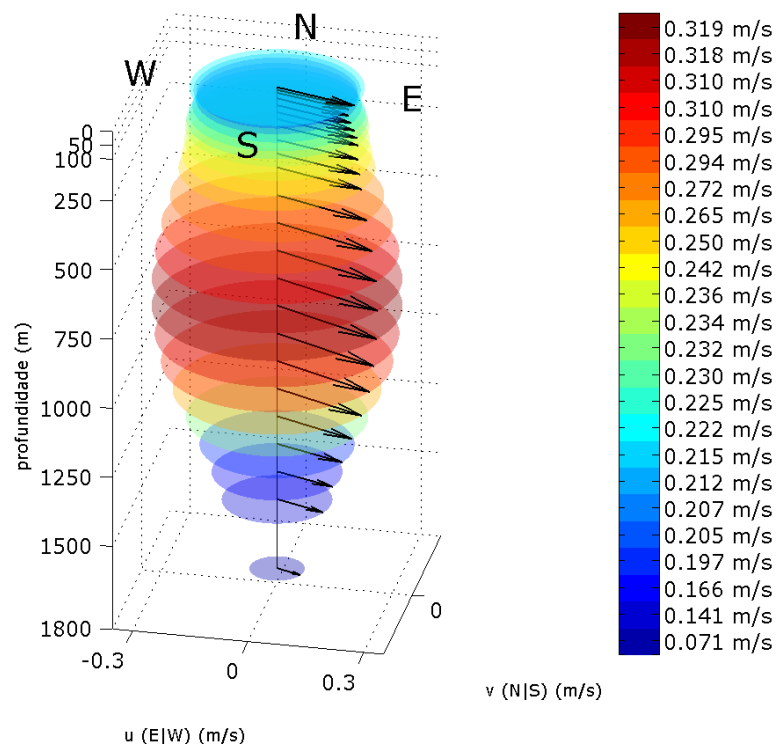


Figura 2: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (em m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.

Observa-se a corrente fluindo para sudeste em toda a lâmina d'água, com as maiores intensidades (em torno de 0,3 m/s) nas camadas intermediárias, próximo dos 750 m de profundidade.

Os valores das componentes da corrente utilizados nas simulações, resultantes da análise EOF, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Componentes u e v , e intensidade da corrente.

profundidade (m)	componente u (m/s)	componente v (m/s)	intensidade (m/s)
10	0,213	-0,062	0,222
20	0,205	-0,053	0,212
30	0,197	-0,056	0,205
50	0,197	-0,061	0,207
75	0,206	-0,062	0,215
100	0,216	-0,064	0,225
125	0,221	-0,066	0,230
150	0,224	-0,067	0,234
200	0,225	-0,069	0,236
250	0,230	-0,074	0,242
300	0,237	-0,080	0,250
400	0,254	-0,097	0,272
500	0,272	-0,112	0,294
600	0,284	-0,124	0,310
700	0,289	-0,132	0,318
800	0,288	-0,137	0,319
900	0,280	-0,135	0,310
1000	0,266	-0,127	0,295
1100	0,242	-0,109	0,265
1200	0,214	-0,089	0,232
1300	0,184	-0,070	0,197
1400	0,156	-0,057	0,166
1500	0,131	-0,051	0,141
1750	0,066	-0,026	0,071

Os dados de temperatura e salinidade utilizados nas simulações são apresentados na Figura 3 e

Tabela 3.

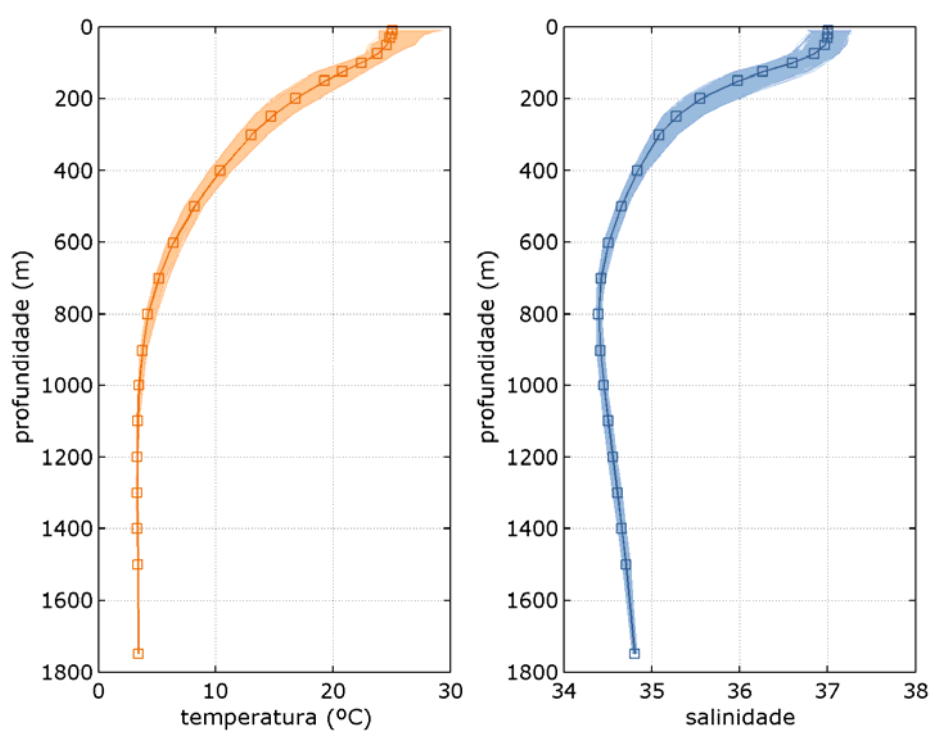


Figura 3: Perfis sintéticos de temperatura e salinidade obtidos pelo *HYCOM* (nas cores mais claras) e o resultante do primeiro modo da EOF (linhas escuras) usado nas simulações.

Tabela 3: Dados de temperatura e salinidade com a profundidade.

profundidade (m)	temperatura (°C)	salinidade
10	25,07	37,00
20	25,02	37,00
30	24,84	37,00
50	24,57	36,97
75	23,81	36,85
100	22,42	36,60
125	20,81	36,27
150	19,30	35,98
200	16,79	35,55
250	14,75	35,28
300	13,03	35,08
400	10,38	34,84
500	8,17	34,65
600	6,37	34,51
700	5,14	34,42
800	4,21	34,40
900	3,76	34,42
1000	3,46	34,46
1100	3,35	34,51
1200	3,30	34,56
1300	3,30	34,61
1400	3,32	34,66
1500	3,35	34,71
1750	3,40	34,80

III.2. Onda

De acordo com INNOCENTINI et al (2000), os fenômenos meteorológicos responsáveis pela geração das ondas que atingem o litoral brasileiro são muito variáveis. Segundo os autores, a região que se estende de Natal (RN) a Vitória (ES), incluindo, assim, a região do Bloco BM-ES-40, possui comportamento semelhante quanto ao regime de ondas incidente.

Uma das características dessa região é ser atingida na maior parte do tempo por ondas geradas pelo flanco esquerdo do anticiclone subtropical do Atlântico Sul, com direção principal de NE. Entretanto, essa região pode ser também atingida por enormes pistas de SE, associadas à passagem de frentes frias, ocasionando eventos extremos com alturas significativas de ondas que podem chegar a 2,5m.

Uma estatística de ondas realizada por HOGBEN e LUMB (1967, apud DOMINGUEZ et al, 1992) indica uma relação direta entre a velocidade e a direção dos ventos alíseos, e a direção, altura e período das ondas que atingem a região. Essa estatística indica que na costa leste do Brasil existe uma predominância ao longo de todo o ano de vagas de N-NE, com uma altura significativa média de 1,0m e um período médio de 5s.

Na Tabela 4 são apresentados os valores utilizados nas simulações.

Tabela 4: Altura significativa e período de pico utilizado.

Altura significativa (m)	Período (s)
1,0	5,0

IV. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

IV.1. Modelo Adotado

O modelo escolhido para este trabalho é conhecido pelo nome OOC (Offshore Operators Committee) e foi desenvolvido especialmente para simulações de descarte de efluentes de plataformas de petróleo.

O modelo OOC simula o comportamento de uma pluma de efluente desde o momento de descarte até um instante e distância determinados pelo usuário. Para tanto, o modelo trabalha em três módulos distintos, encarregados, cada um, de uma diferente fase da pluma.

O primeiro módulo cuida da diluição inicial da pluma, representada por um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento em que este deixa a fonte até que ele encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que se estabilize no nível de flutuação neutra. Esta fase, também conhecida como fase de jato, ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte.

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 com 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. Neste momento tem início a última fase, denominada de fase de dispersão passiva, onde o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte particulado, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. O OOC aplica a dispersão passiva separadamente para cada constituinte do efluente.

Uma descrição detalhada do modelo é encontrada em Brandsma & Smith (1999).

IV.2. Descrição das Grades

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 ocorrentes junto à superfície. Por outro lado, o material descartado da superfície (com *riser*) irá percorrer uma grande distância sofrendo influência das forçantes locais e cobrindo uma área maior quando depositado.

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 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.

Por isso, é proposto, como solução neste trabalho, o uso de duas grades diferentes. A primeira (grade 1), voltada para a estimativa da área total de deposição, possui um espaçamento de 15,0 m e uma área de 1.947.500 m² (~1,946 km²). A segunda (grade 2), projetada para a região de maior acúmulo de sedimentos, possui uma resolução espacial de 0,900 m e cobre uma área de 8.075 m² (0,008 km²).

A comparação das duas grades projetadas e seus pontos de lançamento podem ser observados na Figura 4.

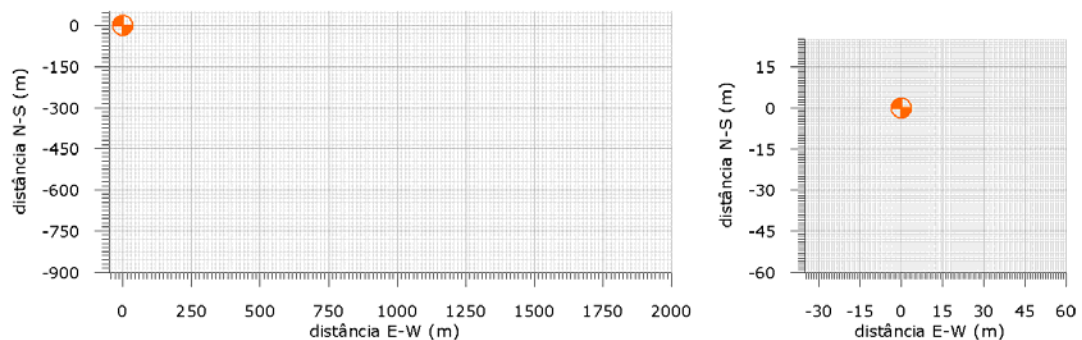


Figura 4: Comparação entre as duas grades projetadas para o estudo. A marcação em laranja representa a posição do ponto de lançamento em cada grade.

IV.3. Descrição dos Descartes

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

- vazão;
- raio da fonte;
- profundidade de descarte;

- inclinação vertical;
- direção;
- duração do descarte;
- densidade dos componentes sólidos;
- densidade do efluente.

A densidade do efluente nos descartes de cascalho e fluido aderido é calculada por uma média ponderada entre os volumes V e densidades ρ .

$$\rho_{\text{efluente}} = \rho_{\text{fluido}} \left(\frac{V_{\text{fluido}}}{V_{\text{fluido}} + V_{\text{cascalho}}} \right) + \rho_{\text{cascalho}} \left(\frac{V_{\text{cascalho}}}{V_{\text{fluido}} + V_{\text{cascalho}}} \right)$$

Utilizando a seção 1 como exemplo, consideramos $V_{\text{fluido}} = 208 \text{ m}^3$, $V_{\text{cascalho}} = 31,5 \text{ m}^3$, $\rho_{\text{fluido}} = 1030 \text{ Kg/m}^3$, $\rho_{\text{cascalho}} = 2700 \text{ Kg/m}^3$. Considerando a equação acima, chega-se a uma densidade do efluente $\rho_{\text{efluente}} = 1249,77 \text{ Kg/m}^3$ para a descarga de cascalhos e fluido aderido.

Os valores obtidos para todos os descartes de cascalho e fluido aderido podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores usados na descrição da densidade média dos efluentes.

Parâmetro	Unidade	seção 1	seção 2	seção 3	seção 4	seção 5
V_{total}	m^3	239,5	1041,6	608,6	104,8	131,9
V_{cascalho}	m^3	31,5	209,6	574,2	98,8	124,5
V_{fluido}	m^3	208,0	832,0	34,4	5,9	7,4
f_{cascalho}	%	13,16%	20,13%	94,34%	94,33%	94,36%
f_{fluido}	%	86,84%	79,87%	5,66%	5,67%	5,64%
ρ_{casc}	kg/m^3	2700,0	2700,0	2700,0	2700,0	2700,0
ρ_{fluido}	kg/m^3	1030,0	1100,0	1150,0	1150,0	1250,0
ρ_{efluente}	kg/m^3	1249,77	1422,00	2612,29	2612,14	2618,22

O modelo OOC é mais bem adaptado à representação de descartes de curta duração. Entretanto, para o cálculo das pilhas de deposição no assoalho marinho, é possível representar descartes de longa duração através de um fator de escala aplicado a um descarte curto.

Ao utilizar-se um perfil estacionário de correntes (que não varia no tempo) e uma vazão constante considera-se que partículas idênticas lançadas nos primeiros e últimos instantes do descarte terão o mesmo comportamento ao longo da coluna d'água. Logo, irão depositar-se na mesma posição.

Assim sendo, é plausível considerar que um descarte de 6 horas formará exatamente a mesma pilha que 6 descartes de 1 hora. Ou seja, é possível representar um descarte de longa duração através de um fator de escala:

$$\gamma = \frac{t}{t_{\text{simulado}}}$$

Onde t é o tempo esperado na operação e t_{simulado} a duração do descarte usada nas simulações. Como as simulações foram efetuadas com 1 hora de descarte o fator de escala é igual ao tempo apresentado na Tabela 1.

Além destes parâmetros, é necessário que se conheça o comportamento das partículas sólidas lançadas em cada descarte. Em virtude das incertezas a respeito do material resultante da perfuração de um poço exploratório, optou-se por usar distribuições genéricas de velocidades de queda baseadas em Brandsma e Smith (1999). Estas distribuições foram obtidas a partir de uma quantidade representativa de experimentos e são aconselhadas no manual do modelo para quando os dados locais são desconhecidos (Tabela 6 e Tabela 7).

Tabela 6: Densidade, fração de volume e velocidade de queda para os descartes de cascalhos e sólidos de fluido de base aquosa.

Classe	Fração de volume	velocidade de queda (m/s)
1	0,25	0,259751
2	0,15	0,135179
3	0,16	0,097963
4	0,18	0,040112
5	0,02	0,014472
6	0,03	0,002328
7	0,07	0,000218
8	0,06	0,000017
9	0,08	0,000001

Tabela 7: Densidade, fração de volume e velocidade de queda para os descartes de cascalho e sólidos de fluido de base sintética.

Classe	Fração de volume	velocidade de queda (m/s)
1	0,13	0,600151
2	0,16	0,499872
3	0,17	0,449885
4	0,16	0,399898
5	0,13	0,365150
6	0,10	0,330098
7	0,07	0,300015
8	0,04	0,269992
9	0,02	0,240000
10	0,01	0,210007
11	0,01	0,200010

A distribuição obtida para a mistura de cascalhos e sólidos de fluido de base aquosa foi estimada a partir da análise granulométrica do material. Este tipo de estimativa subestima a velocidade de queda dos menores grãos uma vez que não contempla o agrupamento destes em partículas maiores e, por consequência, com maiores velocidades de queda. Para corrigir este efeito, usa-se no modelo um coeficiente de ajuste, cujo valor indicado no manual (Brandsma & Smith, 1999) para estas ocasiões é de 28.

IV.4. Construção das Matrizes de Sólidos.

Primeiramente é necessário estimar a fração de sólidos presente em cada descarte. Nos descartes de cascalho e fluido aderido, esta fração é dada pela soma das contribuições do cascalho (f_{casc}) e dos sólidos presentes no fluido (f_{solflu}).

$$f_{soltot} = f_{casc} + f_{solflu}$$

A fração de cascalhos e de sólidos do fluido é extraída diretamente da relação entre o volume de sólidos e o volume total de cada descarte.

Apesar de apresentar uma densidade média nos dados teóricos, o modelo OOC permite que seja atribuída uma densidade específica para cada classe de velocidade de queda descrita. Entretanto, pela falta de conhecimento do material descartado, optou-se por trabalhar com um valor médio de densidade para os sólidos descartados, que são fornecidos pela empresa fabricante do fluido.

Assim, a fração de cada classe de velocidade de queda foi recalculada para adaptar-se aos descartes a serem realizados através da equação:

$$f_{OOC} = f_{Brandsma \& Smith} \times f_{estimado}$$

As matrizes calculadas para cada descarte são apresentadas da Tabela 8 à Tabela 12.

Tabela 8: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 1. Nesta simulação foi usado o coeficiente ASFM=28.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (m/s)
sol1	0,1750	0,044	0,2597506
sol2	0,1750	0,026	0,1351788
sol3	0,1750	0,028	0,0979627
sol4	0,1750	0,032	0,0401117
sol5	0,1750	0,004	0,0144719
sol6	0,1750	0,005	0,0023281
sol7	0,1750	0,012	0,0002182
sol8	0,1750	0,011	0,0000169
sol9	0,1750	0,014	0,0000014

Tabela 9: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 2. Nesta simulação foi usado o coeficiente ASFM=28.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (m/s)
sol1	2,6917	0,060	0,2597506
sol2	2,6917	0,036	0,1351788
sol3	2,6917	0,039	0,0979627
sol4	2,6917	0,043	0,0401117
sol5	2,6917	0,005	0,0144719
sol6	2,6917	0,007	0,0023281
sol7	2,6917	0,017	0,0002182
sol8	2,6917	0,014	0,0000169
sol9	2,6917	0,019	0,0000014

Tabela 10: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 3.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (m/s)
sol1	2,6657	0,129	0,6001512
sol2	2,6657	0,152	0,4998720
sol3	2,6657	0,161	0,4498848
sol4	2,6657	0,152	0,3998976
sol5	2,6657	0,129	0,3651504
sol6	2,6657	0,098	0,3300984
sol7	2,6657	0,066	0,3000146
sol8	2,6657	0,040	0,2699918
sol9	2,6657	0,022	0,2399995
sol10	2,6657	0,011	0,2100072
sol11	2,6657	0,006	0,2000098

Tabela 11: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 4.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (m/s)
sol1	2,6656	0,129	0,6001512
sol2	2,6656	0,152	0,4998720
sol3	2,6656	0,161	0,4498848
sol4	2,6656	0,152	0,3998976
sol5	2,6656	0,129	0,3651504
sol6	2,6656	0,098	0,3300984
sol7	2,6656	0,066	0,3000146
sol8	2,6656	0,040	0,2699918
sol9	2,6656	0,022	0,2399995
sol10	2,6656	0,011	0,2100072
sol11	2,6656	0,006	0,2000098

Tabela 12: Matriz de densidade, fração e velocidade de queda para o descarte da seção 5.

sólido	dens (g/cm ³)	f _{ooc}	vel queda (m/s)
sol1	2,6658	0,129	0,6001512
sol2	2,6658	0,152	0,4998720
sol3	2,6658	0,161	0,4498848
sol4	2,6658	0,152	0,3998976
sol5	2,6658	0,129	0,3651504
sol6	2,6658	0,098	0,3300984
sol7	2,6658	0,066	0,3000146
sol8	2,6658	0,040	0,2699918
sol9	2,6658	0,022	0,2399995
sol10	2,6658	0,011	0,2100072
sol11	2,6658	0,006	0,2000098

IV.5. Tempo de Descarte

O modelo OOC é melhor adaptado à representação de descartes de curta duração. Entretanto, conhecendo-se as características do meio e do descarte, é possível representar descartes de longa duração com este modelo. Os métodos são usados de acordo com o tipo de impacto que busca-se analisar: a pilha de deposição final no assoalho marinho ou a pluma de sólidos em suspensão na coluna d'água.

IV.5.1. Pilhas de Deposição

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 simplesmente pela divisão da camada a ser percorrida e a velocidade de queda de cada classe de grão.

Os tempos obtidos para cada descarte são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Tempo de queda estimado (em horas) para cada classe de sólido nos descartes a serem realizados.

classe	seções sem riser	seções com riser
1	0,01	0,82
2	0,01	0,98
3	0,02	1,09
4	0,05	1,23
5	0,13	1,35
6	0,84	1,49
7	8,91	1,64
8	115,36	1,82
9	1440,05	2,05
10	-	2,34
11	-	2,46

A representação gráfica dos tempos de queda estimados, para cada classe de grão com seu respectivo volume percentual, pode ser observada na Figura 5.

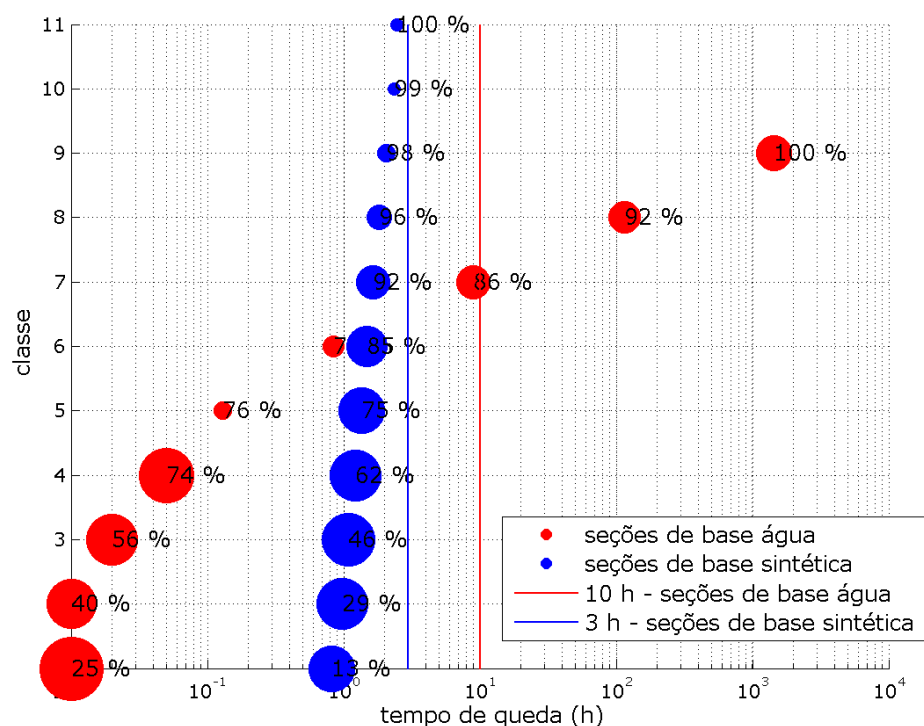


Figura 5: Tempo de queda das partículas de acordo com a classe granulométrica de cada tipo de descarte. O tamanho dos círculos é proporcional à fração de volume que cada classe representa, os rótulos em cada círculo representam a soma cumulativa das frações. As linhas em vermelho e azul representam a duração das simulações realizadas.

Nos descartes sem *riser* das seções 1 e 2, a maior porcentagem do material (74%) deposita-se em um intervalo de tempo inferior a 6 minutos ($10^{-1}h$), no entanto, mesmo com a proximidade do fundo, o restante do material só será completamente depositado após 100 horas. Já nos descartes com *riser* das seções com *riser* (3, 4 e 5), a estimativa é de que todo o material se deposite em menos de 3 h

A partir desta análise e visando otimizar o custo computacional e a quantidade de material depositado, definiu-se um tempo de simulação de 10 horas para a estimativa das pilhas de deposição das seções sem *riser* e um tempo de 3 horas para a estimativa das seções com *riser*.

IV.5.2. Plumas de Sólidos em Suspensão

Para os sólidos em suspensão, como objetiva-se monitorar um impacto transiente, é preciso conhecer antes os tempos em que a pluma assume um caráter estacionário ao longo da coluna d'água. Este tempo irá depender da intensidade da corrente local, da duração do descarte e da distância de interesse.

O método proposto por Brandsma e Smith (1999) foi utilizado para estimar o momento em que a pluma entra em condição estacionária ($t_{inicial}$) e o momento em que a pluma deixa essa condição, a uma determinada distância da fonte (t_{final}):

$$t_{inicial} = \frac{X + 4\sigma}{u} \quad \text{e} \quad t_{final} = \frac{X - 4\sigma}{u} + t_{simulado}$$

onde $\sigma = \sigma_0 \left[1 + 4^{4/3} \frac{2}{3} \left(\frac{A_L \Delta t}{\sigma_0^{2/3}} \right) \right]$, X é a distância da fonte, u velocidade média da corrente

local, A_L um parâmetro de dissipação e σ_0 tamanho inicial da pluma, estimado na ordem de grandeza do tubo de descarte.

Para o cálculo das plumas de sólidos em suspensão foi usado um tempo de descarte de 2 horas e, baseado na equação acima, foram estimados os tempos para as estimativas em cada distância da fonte, conforme apresentado na Tabela 14 (descartes sem *riser*) e Tabela 15 (descartes com *riser*).

Tabela 14: Tempo, final e inicial, calculado para determinar a estacionariedade da pluma e tempo estimado para observação da pluma formada pelos descartes de cascalho e fluido aderido sem *riser*.

distância da fonte (m)	t _{início} (h)	t _{final} (h)	t _{estimativa} (h)
10	0,04	2,04	1
50	0,20	2,19	1
100	0,39	2,39	1
250	0,98	2,97	2

Tabela 15: Tempo, final e inicial, calculado para determinar a estacionariedade da pluma e tempo estimado para observação da pluma formada pelos descartes de cascalho e fluido aderido com *riser*.

distância da fonte (m)	t _{início} (h)	t _{final} (h)	t _{estimativa} (h)
10	0,01	2,01	1
50	0,07	2,07	1
100	0,13	2,13	1
250	0,33	2,33	1

V. RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as pilhas de deposição no assoalho marinho e plumas de sólidos em suspensão na coluna d'água estimadas pelas simulações realizadas.

As pilhas de deposição serão apresentadas por descarte e integradas, visando considerar o efeito conjunto dos descartes.

Por ocorrerem de forma sequencial e possuírem uma curta expectativa de permanência na coluna d'água, não será apresentada integração para as plumas de sólidos em suspensão.

As plumas são representadas aqui por perfis radiais ao poço (situado no ponto [0,0]), extraídos de forma a identificar a região de maior concentração de sólidos em suspensão.

V.1. Pilhas de Deposição

De acordo com as análises realizadas em função da velocidade de queda e estimativa da distância percorrida por cada classe granulométrica (conforme apresentado na Figura 5 e na Tabela 13), os tempos escolhidos para cada simulação foram:

10 h – descarte da seção sem *riser*.

3 h – descartes das seções com *riser*.

V.1.1. Grade 1

As pilhas formadas por cada simulação podem ser observadas da Figura 6 à Figura 10 e a integração dos resultados na Figura 11.

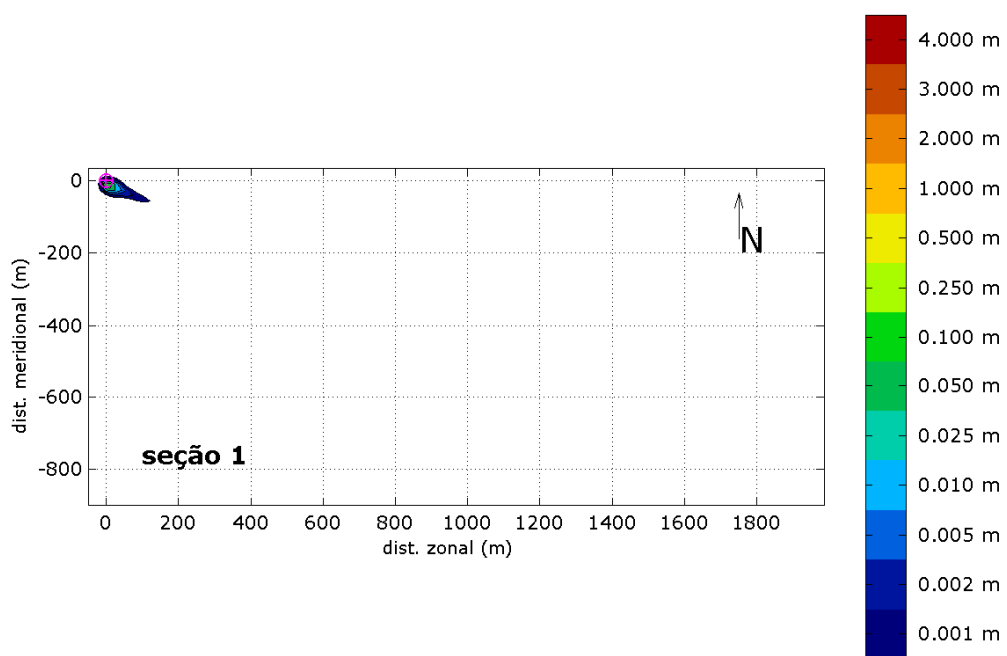


Figura 6: Pilha de deposição encontrada na seção 1 com a grade 1.

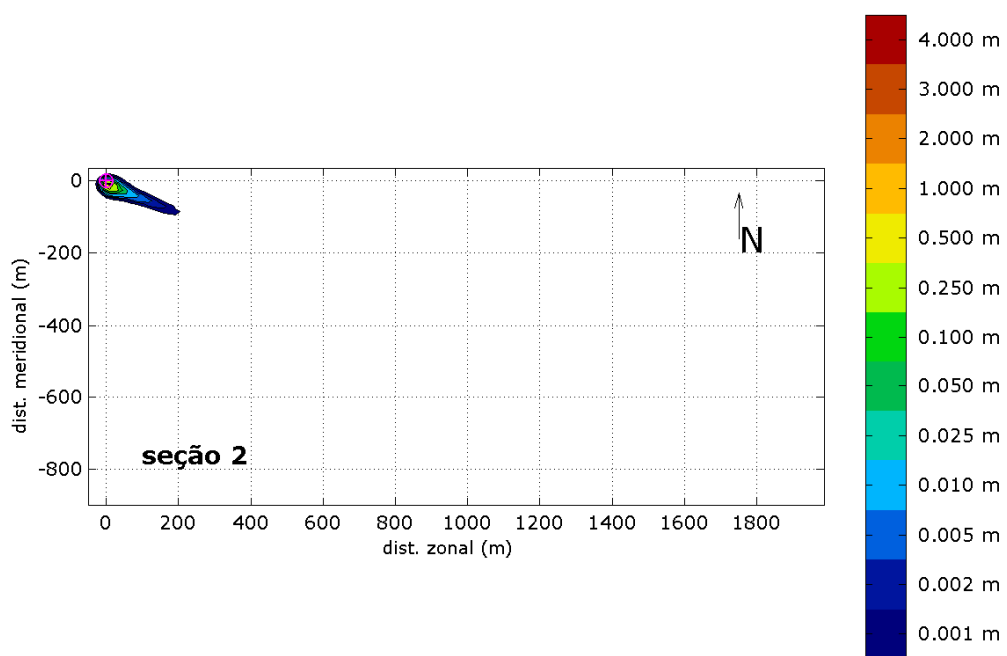


Figura 7: Pilha de deposição encontrada na seção 2 com a grade 1.

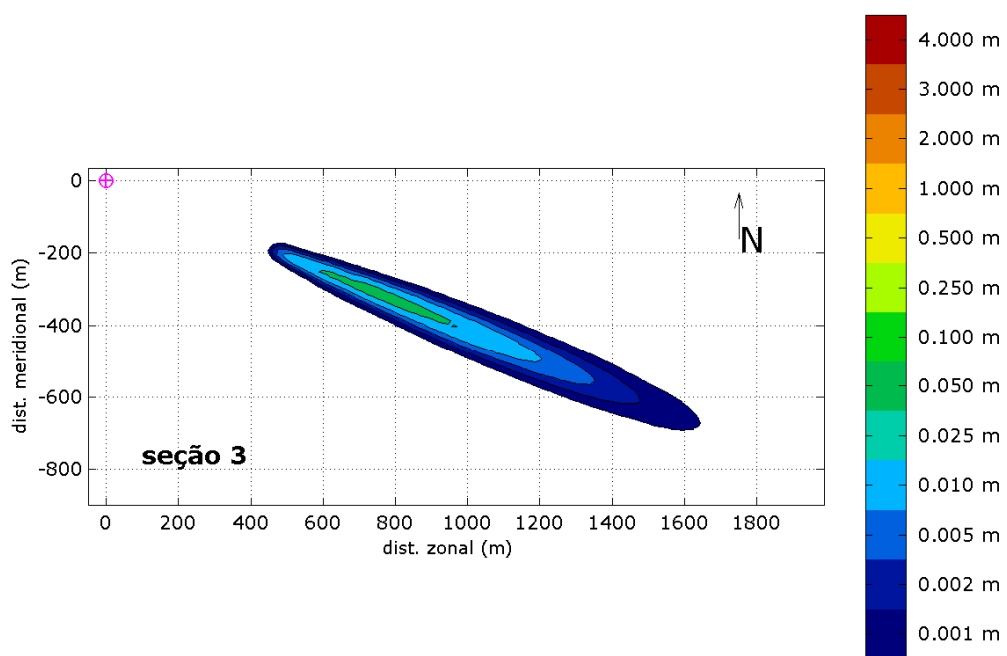


Figura 8: Pilha de deposição encontrada na seção 3 com a grade 1.

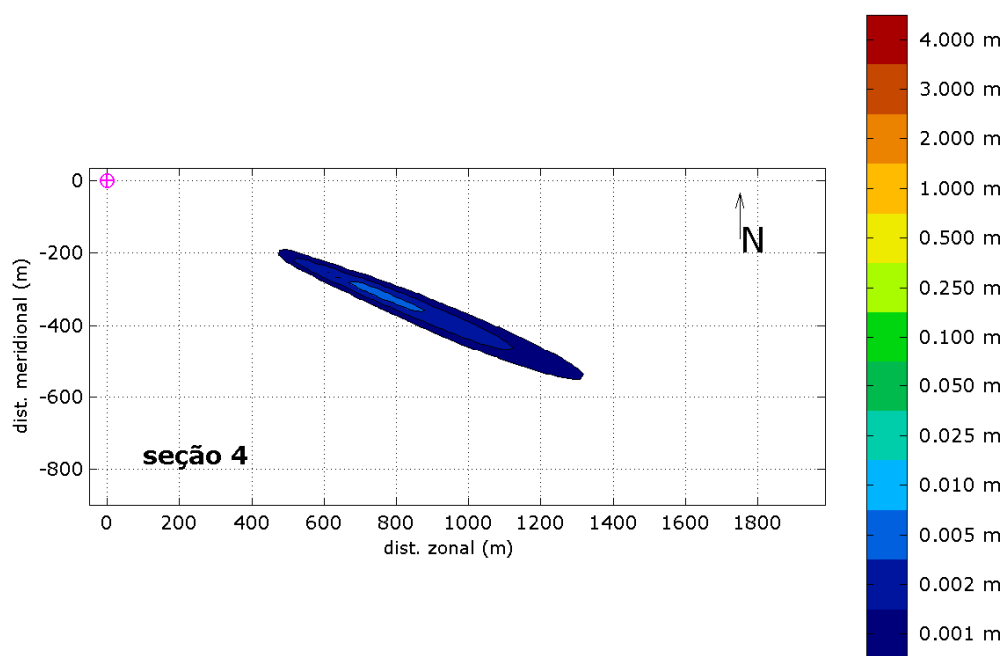


Figura 9: Pilha de deposição encontrada na seção 4 com a grade 1.

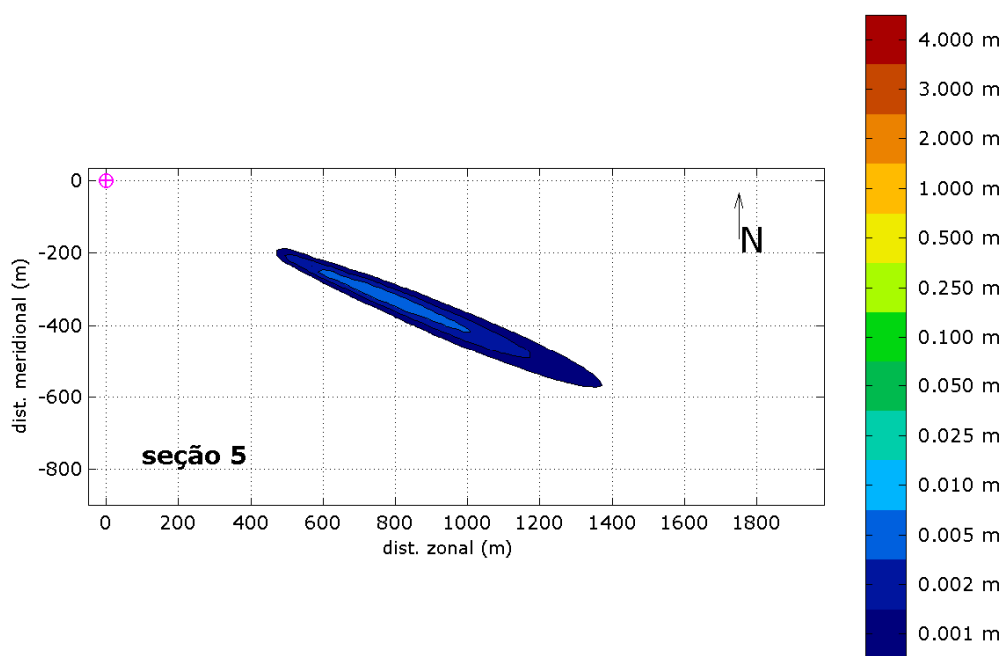


Figura 10: Pilha de deposição encontrada na seção 5 com a grade 1.

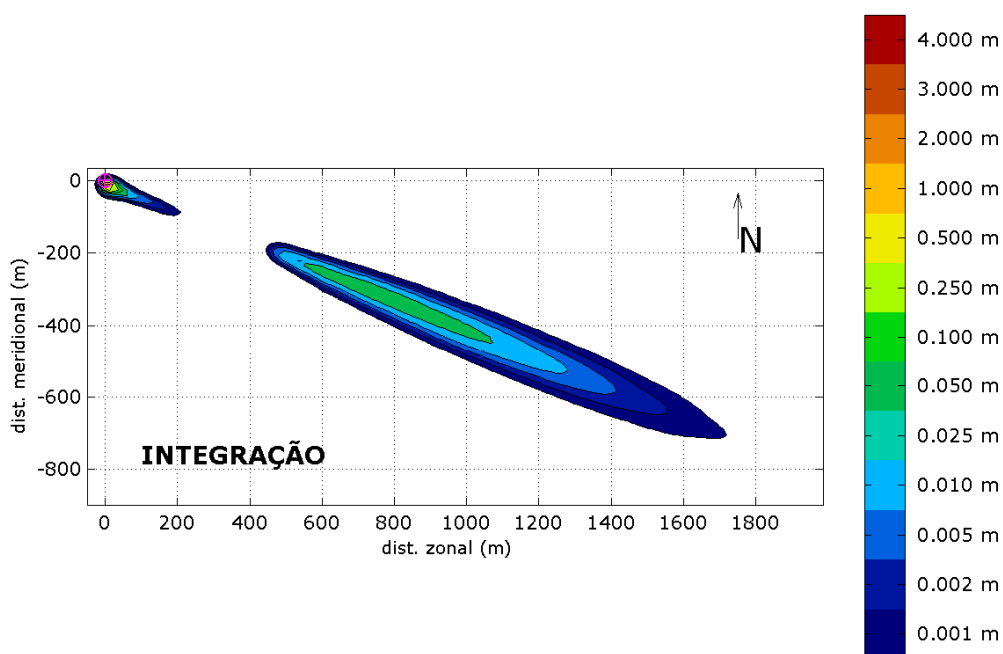


Figura 11: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 1.

Um resumo dos resultados obtidos para a deposição de sólidos é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16: Resumo dos resultados obtidos para as pilhas de deposição obtidas com a grade 1.

simulação	esp. máxima (m)	área (m ²)	volume capturado
seção 1	0,0926	5457,30	86,5%
seção 2	0,5553	10232,43	86,3%
seção 3	0,0360	148029,20	98,8%
seção 4	0,0062	60485,05	98,8%
seção 5	0,0078	70262,71	98,8%
INTEGRAÇÃO	0,6479	177134,79	

O descarte responsável pela maior espessura é o da seção 2 (0,55 m). E o descarte da seção 3 é o que forma a maior área (148.029,2 m²). A pilha final cobre uma área de 177.134,79 m².

V.1.2. Grade 2

As maiores espessuras podem ser subestimadas pela utilização de grandes espaçamentos de grade. De forma a evitar este efeito, foi realizada uma nova simulação para os descartes das seções sem *riser*, usando-se, desta vez, uma grade cuja resolução espacial é superior à da grade 1. Espera-se, com a utilização desta nova grade, uma correta estimativa das espessuras máximas formadas nestes descartes.

As pilhas de deposição formadas são apresentadas na Figura 12 e Figura 13. A integração das pilhas está na Figura 14.

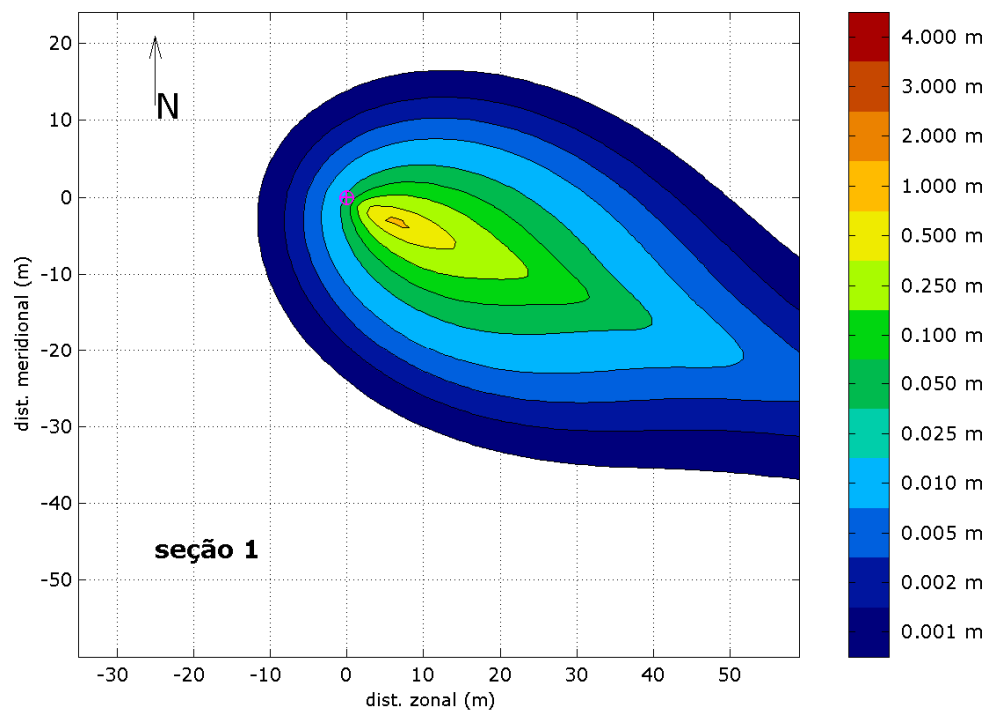


Figura 12: Pilha de deposição encontrada na seção 1 com a grade 2.

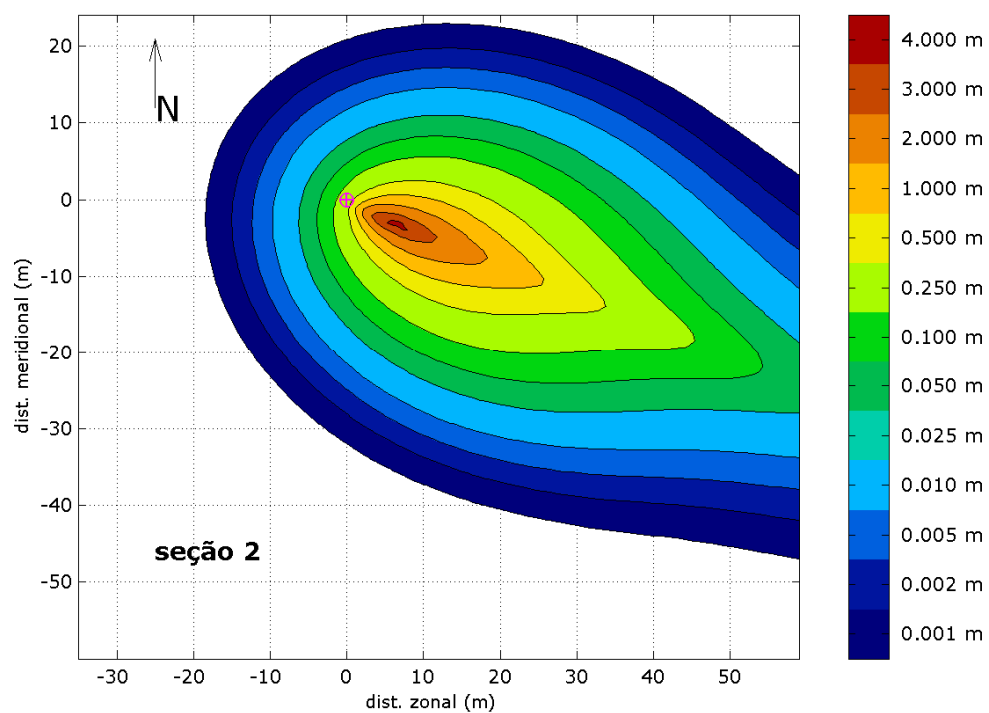


Figura 13: Pilha de deposição encontrada na seção 2 com a grade 2.

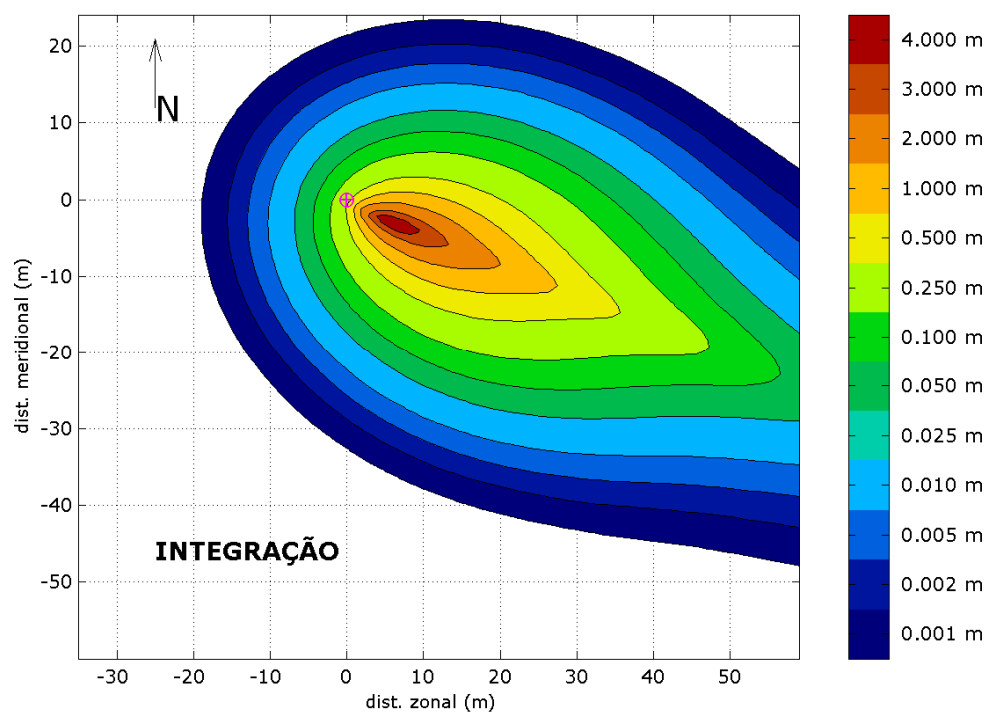


Figura 14: Pilha resultante da integração de todos os descartes realizados com a grade 2.

O resumo dos resultados obtidos com a grade 2 encontra-se na Tabela 17.

Tabela 17: Resumo dos resultados obtidos para as pilhas de deposição obtidas com a grade 2.

simulação	esp. máxima (m)
seção 1	0,5526
seção 2	3,2504
INTEGRAÇÃO	3,8029

A pilha final apresenta uma espessura máxima de 3,8 m sendo que a seção 2 é o descarte que mais contribui para esse resultado.

V.2. Plumas de Sólidos em Suspensão

As plumas de sólidos em suspensão formadas pelos descartes foram monitoradas através de seções radiais verticais na coluna d'água, posicionadas a distâncias específicas da fonte, até atingirem uma concentração de 5 mg/L (*limiar monitorado*). A posição das radiais foi escolhida a fim de melhor representar a localização da pluma. Para se obter uma melhor visualização do limiar atingido, optou-se por representar a pluma até uma concentração de 1 mg/L (*limiar de corte*).

A representação esquemática das radiais escolhidas pode ser observada na Figura 15 (cascalho e fluido aderido sem *riser*) e Figura 16 (cascalho e fluido aderido com *riser*).

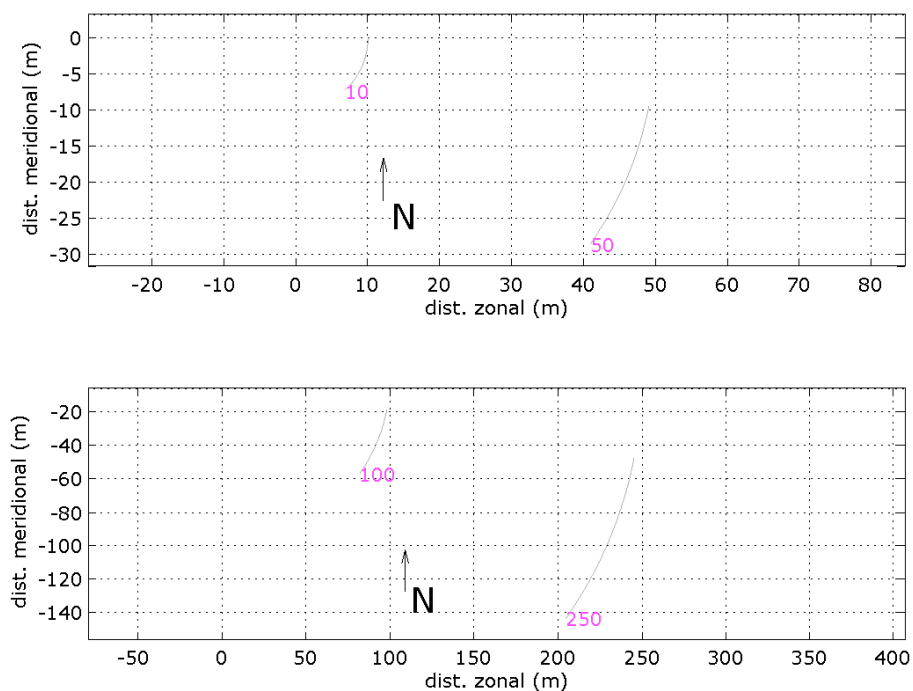


Figura 15: Posição das radiais usadas para monitoramento da pluma de sólidos em suspensão nos descartes de cascalho e fluido aderido das seções sem *riser*.

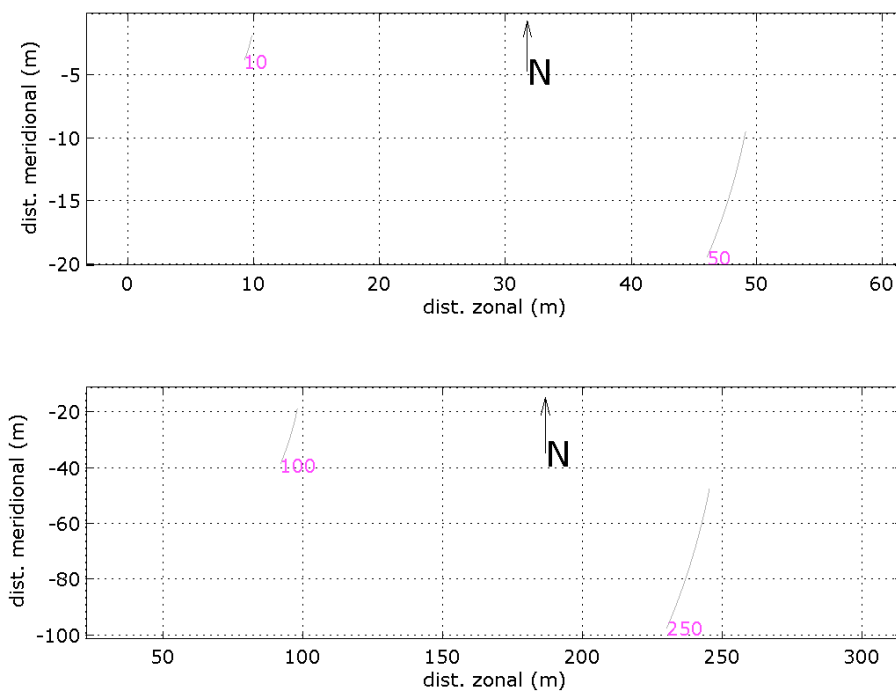


Figura 16: Posição das radiais usadas para monitoramento da pluma de sólidos em suspensão nos descartes de cascalho e fluido aderido das seções com *riser*.

As plumas obtidas para os descartes de cascalho e fluido aderido das seções sem *riser* são apresentadas nas Figura 17 e Figura 18.

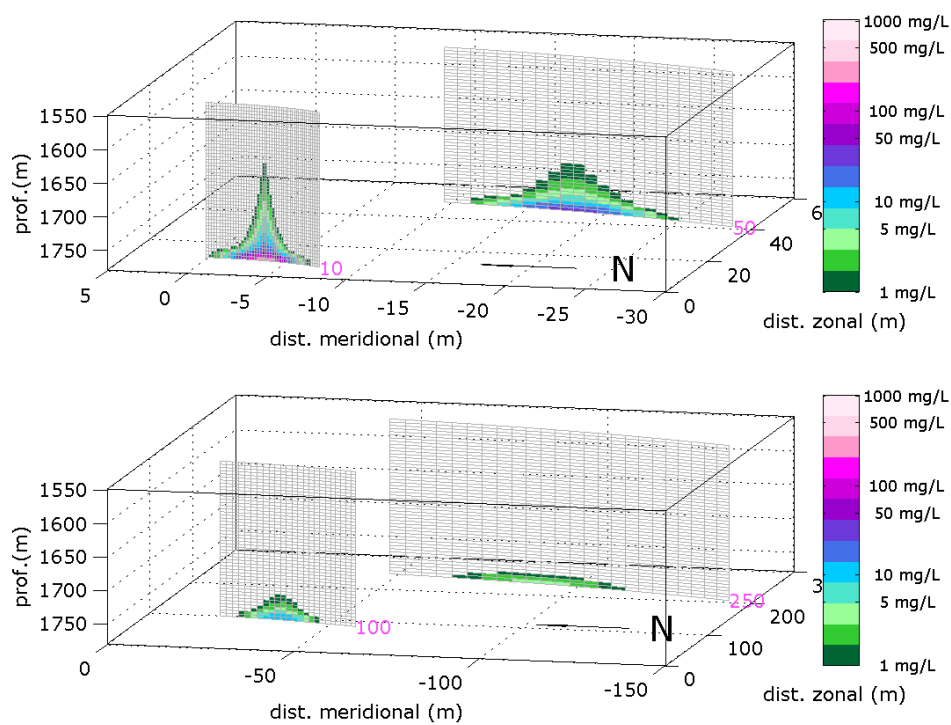


Figura 17: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 1.

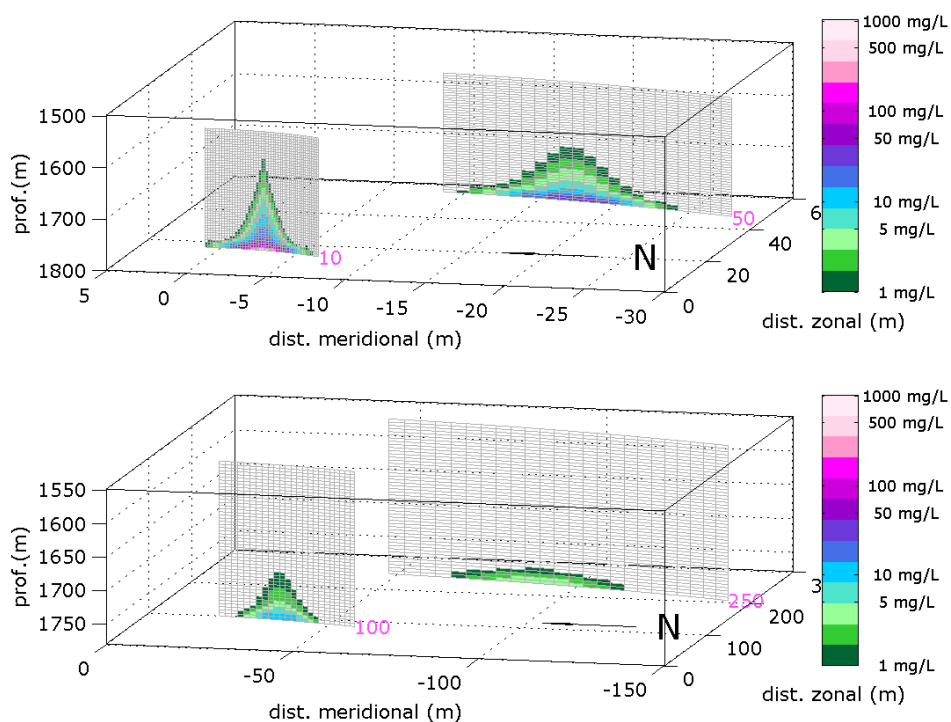


Figura 18: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 2.

Nota-se que, em ambas as seções, a pluma só atinge níveis de concentração máxima abaixo do limiar monitorado (5 mg/L) a 250 m de distância da fonte, e que a altura máxima alcançada foi abaixo dos 1550 m de profundidade, observada na radial de 10 m.

As plumas formadas nos descartes de cascalho e fluido aderido das seções com *riser* são apresentadas da Figura 19 à Figura 21.

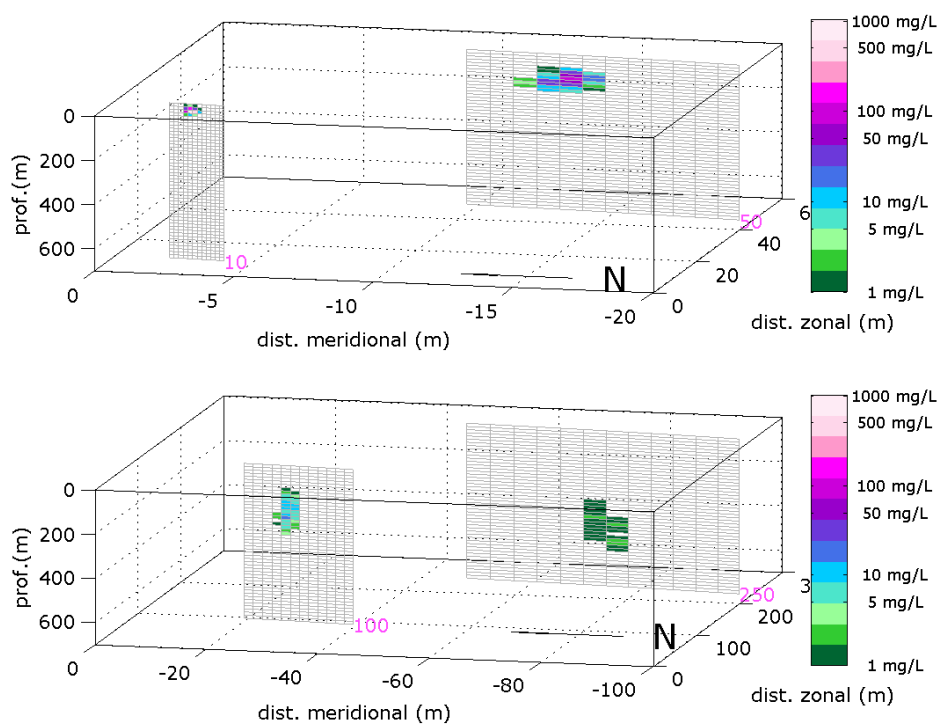


Figura 19: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 3

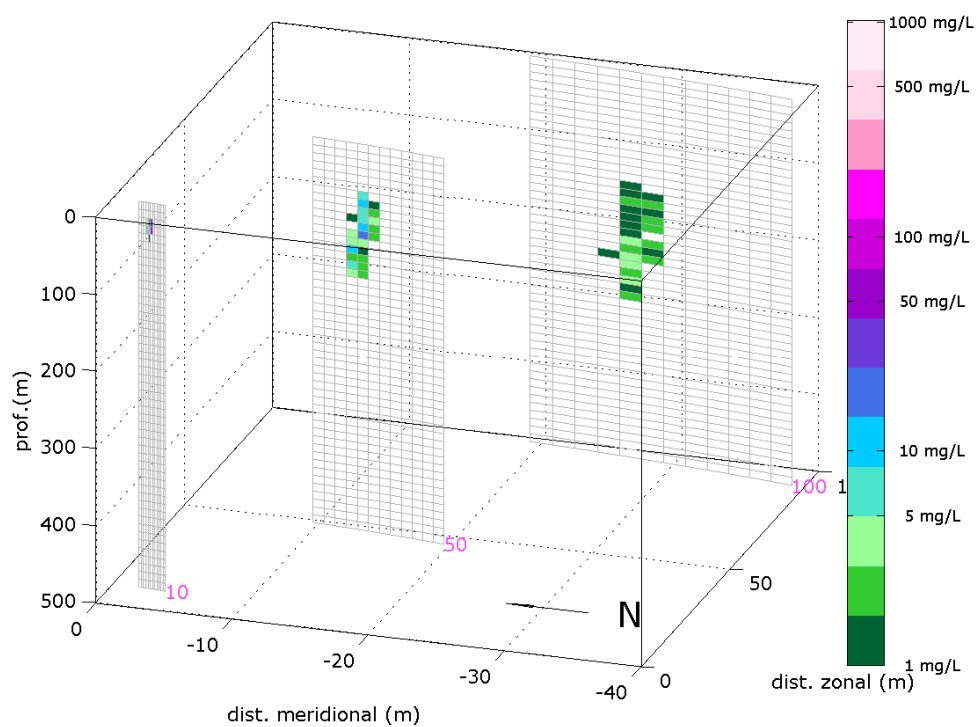


Figura 20: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 4.

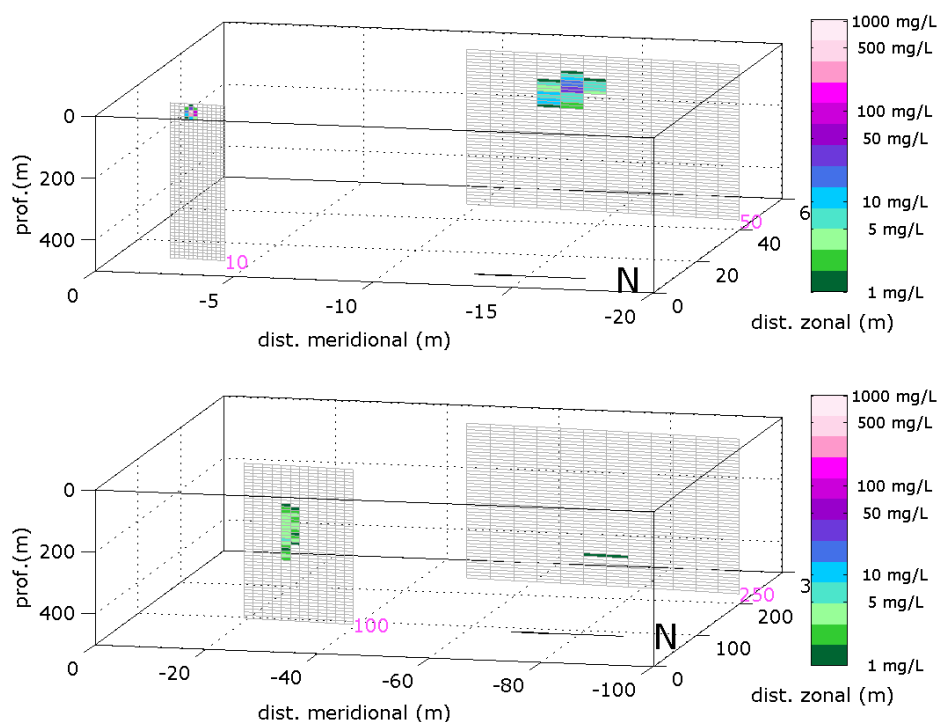


Figura 21: Pluma de sólidos em suspensão formada no descarte da seção 5.

Nota-se que a pluma da seção 3 foi a que alcançou os maiores níveis de concentração máxima em todas as radiais apresentadas. Observa-se ainda que tanto o descarte dessa seção quanto da seção 5 só atingem o limiar monitorado após a radial de 100 m, e que o descarte da seção 4 atinge esse limiar logo após os 50 m da fonte.

Todas as plumas ficaram restritas aos primeiros 700 m de profundidade.

As concentrações máximas obtidas em cada radial para as plumas de todos os descarte realizados são apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18: Concentração máxima (mg/L) de sólidos em suspensão em cada radial para todos os descartes realizados.

distância da fonte (m)	concentração (mg/L)				
	seção 1	seção 2	seção 3	seção 4	seção 5
10	310,02	427,66	1047,97	269,82	444,60
50	29,56	34,68	73,28	20,06	35,37
100	12,15	13,95	15,64	4,78	5,14
250	3,25	3,83	2,39	-	1,13

Nota-se que todas as plumas, com exceção da formada na seção 4, atingem a radial de 100 m com níveis de concentração acima de 5 mg/L. E que a pluma da seção 3 é a que apresenta os maiores níveis de concentração em todas as radiais.

VI. CONCLUSÕES

Simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento do material a ser descartado no mar pela atividade de perfuração do projeto de poço 529 B EX, no bloco BM-ES-40, Bacia do Espírito Santo.

Foram feitas estimativas tanto para o número de sólidos em suspensão na coluna d'água quanto para o acúmulo destes no leito marinho. Os acúmulos no leito marinho foram calculados em duas diferentes grades de forma a bem avaliar tanto a região de maior espessura (grade 2) quanto a área total da deposição (grade 1).

O cenário ambiental utilizado nas modelagens procurou reproduzir as principais características oceanográficas da região do bloco. O acúmulo do material das seções com e sem *riser* apresentou orientação sudeste concordando com a hidrodinâmica descrita no experimento (*HYCOM*, 2008) para a região e com a encontrada na literatura.

A espessura máxima obtida, calculada pela grade 2, foi de 3,80 m, e a área máxima coberta pela pilha, estimada com a grade 1, abrange 177.134,79 m². O descarte que mais contribuiu para a espessura resultante foi o da seção 2, com 3,25 m, e para a área, o descarte da seção 3 foi o mais significativo, representando 148029,20 m².

As plumas de sólidos em suspensão foram monitoradas até atingirem uma concentração de 5 mg/L. Dentre todos os descartes apresentados, somente o de cascalho e fluido aderido da seção 4 não atingiu a radial de 100 m com níveis de concentrações acima do limiar. A pluma formada pela seção 3 é a que apresenta os maiores valores de concentração em todas as radiais.

Desta forma, pode-se considerar que o descarte da seção 3 é o responsável pelo maior impacto, por manter valores de sólidos em suspensão superiores em relação aos demais descartes, a uma maior distância da fonte. E que o maior responsável pela espessura máxima encontrada na pilha de deposição é o descarte da seção 2.

VII. BIBLIOGRAFIA

- BRANDSMA, M., & SMITH, J., 1999.** Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. *ExxonMobil Upstream Research Co.*
- CHASSIGNET, E. P., SMITH, L. T., HALLIWEL, G. R., 2003.** "North Atlantic Simulations with the HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM): Impact of the vertical coordinate choice, reference pressure, and termobaricity", *Journal Physical Oceanography*, v. 33, n. 12, pp. 2504-2526.
- DOMINGUEZ, L. M. J.; BITTENCOURT, P. S. DA C. A.; MARTIN, L.** Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam. *Sedimentary Geology*, 80 (1992) 213-232.
- EMERY, W. J., & THOMSON, R. E., 2004.** Data analysis methods in physical oceanography. 2nd and Revised Edition. Elsevier Science BV, Amsterdam, 638 pp.
- GABIOUX, M. 2008.** Estudo numérico dos meandros e vórtices da corrente do Brasil entre 22°S e 30°S [Rio de Janeiro] 2008 XVII, 138 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Oceânica, 2008) Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- HYCOM, 2008.** Assimilative Global Simulation (10/2008 to 11/2008), [online] Disponível via WWW. URL: http://hycom.coaps.fsu.edu/data/glb_simulation.html.
- INNOCENTINI, V.; CUNHA PRADO, S.C.S.; PEREIRA, C.S.; OLIVEIRA ARANTES, F.; BRANDÃO, I.N.** Marulhos no litoral norte do Brasil gerados por furacões: caso de 24 de outubro de 1999. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: SBMET, 2000. 128 p

