

**. MODELAGEM DE MATERIAL PARTICULADO**  
**CAMPO DE MEXILHÃO**

RELATÓRIO  
Para: HABTEC Engenharia Ambiental  
mar-06



## **. ÍNDICE**

<b>I_ INTRODUÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>II_ CARACTERÍSTICAS DOS DESCARTES .....</b>	<b>2</b>
<b>III_ ESTRATÉGIA DE MODELAGEM .....</b>	<b>2</b>
<b>III_1. Modelo Adotado .....</b>	<b>2</b>
<b>III_2. Característica das Simulações .....</b>	<b>2</b>
<b>III_3. Características Oceanográficas.....</b>	<b>2</b>
<b>IV_ RESULTADOS .....</b>	<b>2</b>
<b>IV_1. Pilhas de Deposição.....</b>	<b>2</b>
<b>IV_2. Sólidos em Suspensão .....</b>	<b>2</b>
<b>V_ CONCLUSÃO.....</b>	<b>2</b>
<b>VI_ BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>2</b>



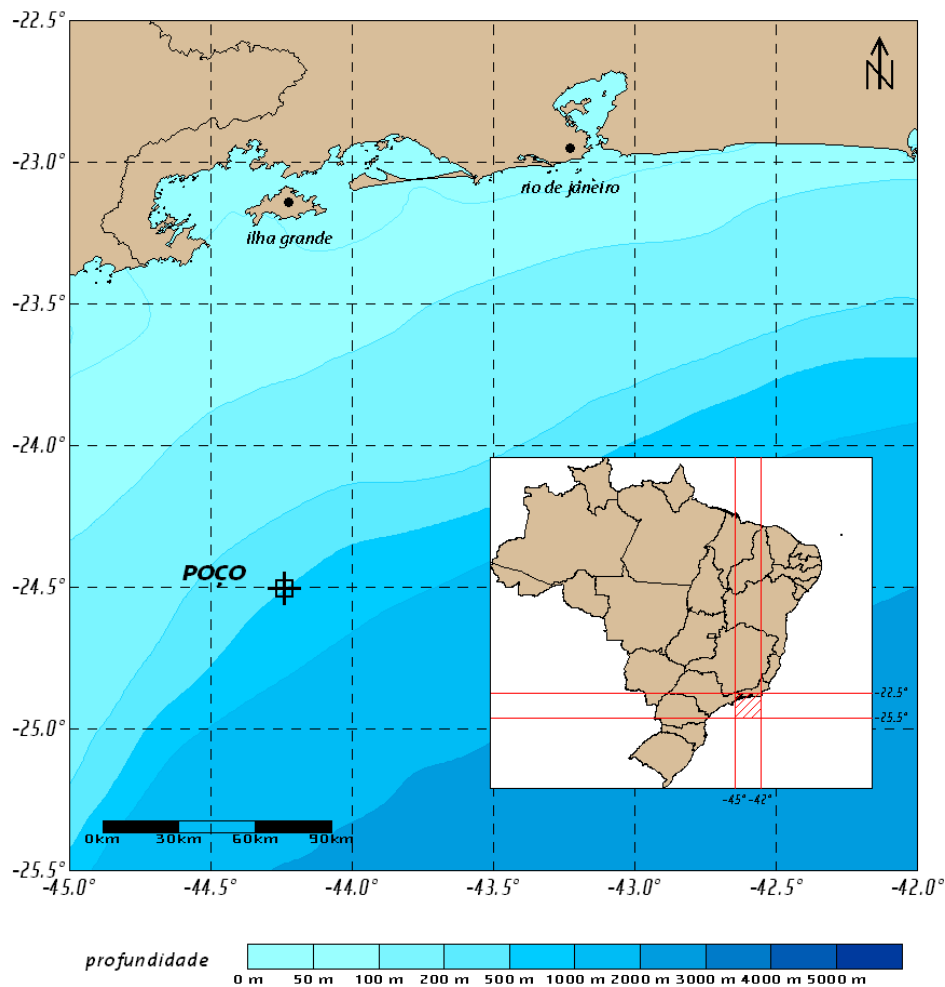
## **I\_ INTRODUÇÃO**

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do material a ser descartado pela atividade de perfuração de um poço exploratório situado no Campo de Mexilhão, na Bacia de Santos. O documento visa atender às exigências do termo de referência emitido pelo ELPN/IBAMA para o licenciamento da atividade.

## **II\_ CARACTERÍSTICAS DOS DESCARTES**

O poço em questão será situado à 44° 14' 17,31" W e 24° 30' 14,15" S, na região norte da Bacia de Santos, em uma lâmina d'água de aproximadamente 468 metros, como ilustrado na Figura 1.





**Figura 1: Localização do poço exploratório no Campo de Mexilhão.**

A perfuração será feita em cinco seções. Nas seções 1 e 2, o descarte do material ocorrerá diretamente da cabeça do poço, a 1 e 2,5 metros de distância do assoalho submarino (467 e 465,5 metros de profundidade, respectivamente). Nas demais seções o material retornará à sonda através do *riser* e será descartado próximo à superfície, a 12 metros de profundidade (456 metros de distância do fundo).

Dois diferentes tipos de descarte são previstos na operação. O primeiro, feito durante as seções, é formado pelo cascalho gerado e uma parcela aderida do fluido usado na perfuração. O segundo tipo ocorre ao final de cada uma das 3 primeiras fases e corresponde ao descarte do volume de fluido excedente.



Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos descartes a serem realizados.

**Tabela 1: Quadro-resumo dos descartes a serem realizados durante a perfuração.**

seção	riser	diâm. broca	prof. (m)	efluente	vol (m3)	duração (h)
1	não	36"	467.0	cascalho + fluido aderido	80.30	6.0
				fluido excedente	134.90	4.7
2	não	30"	465.5	cascalho + fluido aderido	303.30	9.0
				fluido excedente	425.70	14.9
3	sim	12"	12.0	cascalho + fluido aderido	364.90	140.0
				fluido excedente	739.10	25.8
4	sim	12"	12.0	cascalho + fluido aderido	231.50	493.0
5	sim	12"	12.0	cascalho + fluido aderido	39.30	334.0

Fonte: Mi-Swaco.

### III\_ ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

#### III\_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 em um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento que deixa a fonte até que encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que estabilize-se 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 a primeira etapa, o efluente se espalhará na profundidade em que estabilizou-se devido ainda à diferença de densidade com o 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, 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.

Com o OOC, é possível obter resultados para a concentração de sólidos suspensos e a espessura dos acúmulos de fundo formados pela decantação do material. Estes resultados são gerados pelo modelo em grades cuja resolução é determinada pelo usuário no início da simulação.

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

### **III\_2. CARACTERÍSTICA DAS SIMULAÇÕES**

Os efeitos dos descartes de sólidos no mar variam consideravelmente de acordo com a distância entre a fonte e o assoalho marinho. Nas seções onde o descarte é feito próximo ao fundo (sem uso do *riser*), o material tende a formar uma pilha de deposição maior que àquela 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 forças locais e cobrindo uma área maior quando depositado. Esta diferença pode ter pouca influência para regiões costeiras, todavia, para regiões *offshore* como no caso deste estudo é prudente a utilização de grades diferentes para cada tipo de descarte.

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 não terá resolução suficiente para mapear com exatidão a região de maior espessura. Da mesma forma, uma grade de alta resolução não cobrirá uma área suficientemente grande como a que se espera para a deposição do material descartado com *riser*.

Propõe-se, como solução, o uso de duas diferentes grades para este tipo de estudo. A primeira (grade 1) possui uma resolução espacial de 3 m, cobrindo uma área de 90000 m<sup>2</sup>, a segunda (grade 2) possui um espaçamento de 10,5 m (e uma área de 1110000 m<sup>2</sup> ou 1,11 km<sup>2</sup>).



A grade 1 foi usada para monitorar a região de maior deposição, tanto para as seções sem *riser* quanto as com *riser*. Por sua vez, a grade 2 foi adotada para estimar a área da pilha de deposição.

Na Tabela 2 é apresentada a relação das simulações realizadas no estudo quanto à grade utilizada e o efluente.

**Tabela 2: Relação das simulações realizadas com o modelo OOC.**

nº	simulação	seção	grade	efluente
1	SOL_SEC1_G1	1	1	cascalho + fluido aderido
2	FLU_SEC1_G1	1	1	fluido excedente
3	SOL_SEC1_G2	1	2	cascalho + fluido aderido
4	FLU_SEC1_G2	1	2	fluido excedente
5	SOL_SEC2_G1	2	1	cascalho + fluido aderido
6	FLU_SEC2_G1	2	1	fluido excedente
7	SOL_SEC2_G2	2	2	cascalho + fluido aderido
8	FLU_SEC2_G2	2	2	fluido excedente
9	SOL_SEC3_G1	3	1	cascalho + fluido aderido
10	FLU_SEC3_G1	3	1	fluido excedente
11	SOL_SEC3_G2	3	2	cascalho + fluido aderido
12	FLU_SEC3_G2	3	2	fluido excedente
13	SOL_SEC4_G1	4	1	cascalho + fluido aderido
14	SOL_SEC4_G2	4	2	cascalho + fluido aderido
15	SOL_SEC5_G1	5	1	cascalho + fluido aderido
16	SOL_SEC5_G2	5	2	cascalho + fluido aderido

Para a descrição dos descartes no modelo OOC são necessários os seguintes parâmetros:

- vazão (bbl/h);
- raio da fonte (pés);
- profundidade de descarte (pés);
- inclinação vertical (graus);
- direção (graus);
- duração do descarte (s);
- densidade da mistura (lb/gal);



Todas as simulações realizadas consideraram uma fonte de raio 0,1 pé, paralela à superfície do mar e orientada para jusante.

O modelo OOC apresenta um melhor desempenho em descartes de curta duração. Neste estudo, optou-se por uma duração de 30 minutos (1800 s) para representar cada descarte realizado. Os resultados obtidos para a pilha de deposição são então multiplicados por um fator de escala, calculado pela razão entre a duração do descarte na operação e a duração do descarte simulado. O fator de escala para cada simulação é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3: Fatores de escala usados nas simulações de cada seção.**

seção	efluente	duração (h)	fator de escala
1	cascalho + fluido aderido	6	12
	fluido excedente	4.7	9.4
2	cascalho + fluido aderido	9	18
	fluido excedente	14.9	29.8
3	cascalho + fluido aderido	140	280
	fluido excedente	25.8	51.6
4	cascalho + fluido aderido	493	986
5	cascalho + fluido aderido	334	668

As informações restantes são apresentadas da Tabela 4 a Tabela 8.

**Tabela 4: Parâmetros utilizados na simulação dos descartes da seção 1.**

seção 1	Unidade	cascalho + fluido aderido	fluido excedente
vazão	bbbl/h	84.18	180.53
profundidade	pé	1532.15	1532.15
densidade dos cascalhos	g/cm <sup>3</sup>	2.60	-
densidade do fluido	g/cm <sup>3</sup>	1.38	1.38
densidade da mistura	g/cm <sup>3</sup>	2.20	1.38

**Tabela 5: Parâmetros utilizados na simulação dos descartes da seção 2.**

seção 2	Unidade	cascalho + fluido aderido	fluido excedente
vazão	bbbl/h	211.97	179.70
profundidade	pé	1527.23	1527.23
densidade dos cascalhos	g/cm <sup>3</sup>	2.60	-
densidade do fluido	g/cm <sup>3</sup>	1.38	1.38
densidade da mistura	g/cm <sup>3</sup>	2.20	1.38





**Tabela 6: Parâmetros utilizados na simulação dos descartes da seção 3.**

<b>seção 3</b>	<b>Unidade</b>	<b>cascalho + fluido aderido</b>	<b>fluido excedente</b>
<b>vazão</b>	bb/h	16.39	180.19
<b>profundidade</b>	pé	39.37	39.37
<b>densidade dos cascalhos</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.60	-
<b>densidade do fluido</b>	g/cm <sup>3</sup>	1.07	1.07
<b>densidade da mistura</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.18	1.07

**Tabela 7: Parâmetros utilizados na simulação dos descartes da seção 4.**

<b>seção 4</b>	<b>Unidade</b>	<b>cascalho + fluido aderido</b>
<b>vazão</b>	bb/h	2.95
<b>profundidade</b>	pé	39.37
<b>densidade dos cascalhos</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.60
<b>densidade do fluido</b>	g/cm <sup>3</sup>	1.50
<b>densidade da mistura</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.48

**Tabela 8: Parâmetros utilizados na simulação dos descartes da seção 5.**

<b>seção 5</b>	<b>Unidade</b>	<b>cascalho + fluido aderido</b>
<b>vazão</b>	bb/h	0.74
<b>profundidade</b>	pé	39.37
<b>densidade dos cascalhos</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.60
<b>densidade do fluido</b>	g/cm <sup>3</sup>	1.50
<b>densidade da mistura</b>	g/cm <sup>3</sup>	2.48

Como considera-se que cada descarte é composto por uma fração sólida e outra líquida, no modelo são também inseridas descrições das partículas sólidas presentes na mistura. A saber:

- densidade (g/cm<sup>3</sup>);
- relação entre o volume de cada classe de grão ( $v$ ) e o volume total ( $vtot$ );
- velocidade de queda (pés/s);

Essas informações são apresentadas da Tabela 9 a Tabela 13.



**Tabela 9: Informações usadas como entrada na seção 1 no modelo OOC.**

seção 1	sólidos	v/vtot	densidade (g/cm <sup>3</sup> )	diam (mm)	vel. queda (pés/s)
cascalho + fluido aderido	barita 1	0.0001	4.25	0.0117	0.0010
	barita 2	0.0008	4.25	0.0350	0.0093
	barita 3	0.0001	4.25	0.0583	0.0253
	menores grãos	0.0672	2.60	2.5400	0.7001
	grãos médios	0.2690	2.60	8.8900	1.3262
	maiores grãos	0.3362	2.60	12.7000	1.5866
fluido excedente	barita 1	0.0108	4.25	0.0117	0.0010
	barita 2	0.0667	4.25	0.0350	0.0093
	barita 3	0.0091	4.25	0.0583	0.0253

**Tabela 10: Informações usadas como entrada na seção 2 no modelo OOC.**

seção 2	sólidos	v/vtot	densidade (g/cm <sup>3</sup> )	diam (mm)	vel. queda (pés/s)
cascalho + fluido aderido	barita 1	0.0001	4.25	0.0117	0.0010
	barita 2	0.0008	4.25	0.0350	0.0093
	barita 3	0.0001	4.25	0.0583	0.0253
	menores grãos	0.0673	2.60	1.2700	0.4819
	grãos médios	0.3363	2.60	8.8900	1.3262
	maiores grãos	0.2690	2.60	12.7000	1.5866
fluido excedente	barita 1	0.0004	4.25	0.0117	0.0010
	barita 2	0.0025	4.25	0.0350	0.0093
	barita 3	0.0003	4.25	0.0583	0.0253

**Tabela 11: Informações usadas como entrada na seção 3 no modelo OOC.**

seção 3	tipo de grão	v/vtot	densidade (g/cm <sup>3</sup> )	diam (mm)	vel. queda (pés/s)
cascalho + fluido aderido	bentonita 1	0.0003	1.70	0.0117	0.0002
	bentonita 2	0.0017	1.70	0.0350	0.0020
	bentonita 3	0.0002	1.70	0.0583	0.0054
	menores grãos	0.0726	2.60	1.2700	0.4819
	grãos médios	0.3631	2.60	8.8900	1.3262
	maiores grãos	0.2905	2.60	12.7000	1.5866
fluido excedente	bentonita 1	0.0010	1.70	0.0117	0.0002
	bentonita 2	0.0063	1.70	0.0350	0.0020
	bentonita 3	0.0009	1.70	0.0583	0.0054



**Tabela 12: Informações usadas como entrada na seção 4 no modelo OOC.**

seção 4	tipo de grão	v/vtot	densidade (g/cm3)	diam (mm)	vel. queda (pés/s)
cascalho + fluido aderido	barita 1	0.0001	4.25	0.0117	0.0010
	barita 2	0.0009	4.25	0.0350	0.0093
	barita 3	0.0001	4.25	0.0583	0.0253
	bentonita 1	0.0001	1.70	0.0117	0.0002
	bentonita 2	0.0009	1.70	0.0350	0.0020
	bentonita 3	0.0001	1.70	0.0583	0.0054
	menores grãos	0.4449	2.60	1.2700	0.4819
	grãos médios	0.3559	2.60	8.8900	1.3262
	maiores grãos	0.0890	2.60	12.7000	1.5866

**Tabela 13: Informações usadas como entrada na seção 5 no modelo OOC.**

seção 5	tipo de grão	v/vtot	densidade (g/cm3)	diam (mm)	vel. queda (pés/s)
cascalho + fluido aderido	barita 1	0.0001	4.25	0.0117	0.0010
	barita 2	0.0008	4.25	0.0350	0.0093
	barita 3	0.0001	4.25	0.0583	0.0253
	bentonita 1	0.0001	1.70	0.0117	0.0002
	bentonita 2	0.0008	1.70	0.0350	0.0020
	bentonita 3	0.0001	1.70	0.0583	0.0054
	menores grãos	0.0891	2.60	1.2700	0.4819
	grãos médios	0.4453	2.60	8.8900	1.3262
	maiores grãos	0.3562	2.60	12.7000	1.5866

O cálculo das velocidades de queda baseia-se em uma modificação da Lei de Rubey (Brandsma e Smith, 1999), cuja fórmula é:

$$V_{queda} = \frac{\sqrt{9Z^2 \mu^2 + \frac{4}{3} WR^3 (\rho_{particula} - \rho_{água}) g} - 3Z\mu}{WR\rho_{água}}$$

onde:  $V_{queda}$  é a velocidade de queda (cm/s);

$Z$  é o coeficiente de arrasto viscoso (adimensional e igual a 0,622);

$W$  é o coeficiente de arrasto de pressão (adimensional e igual a 0,5305);



$\mu$  é a viscosidade dinâmica do meio (0,018 poise);

$\rho_{particula}$  é a densidade da partícula (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{água}$  é a densidade da água (1,025 g/cm<sup>3</sup>);

$g$  é a aceleração da gravidade (cm/s<sup>2</sup>);

$R$  é o raio da partícula (cm).

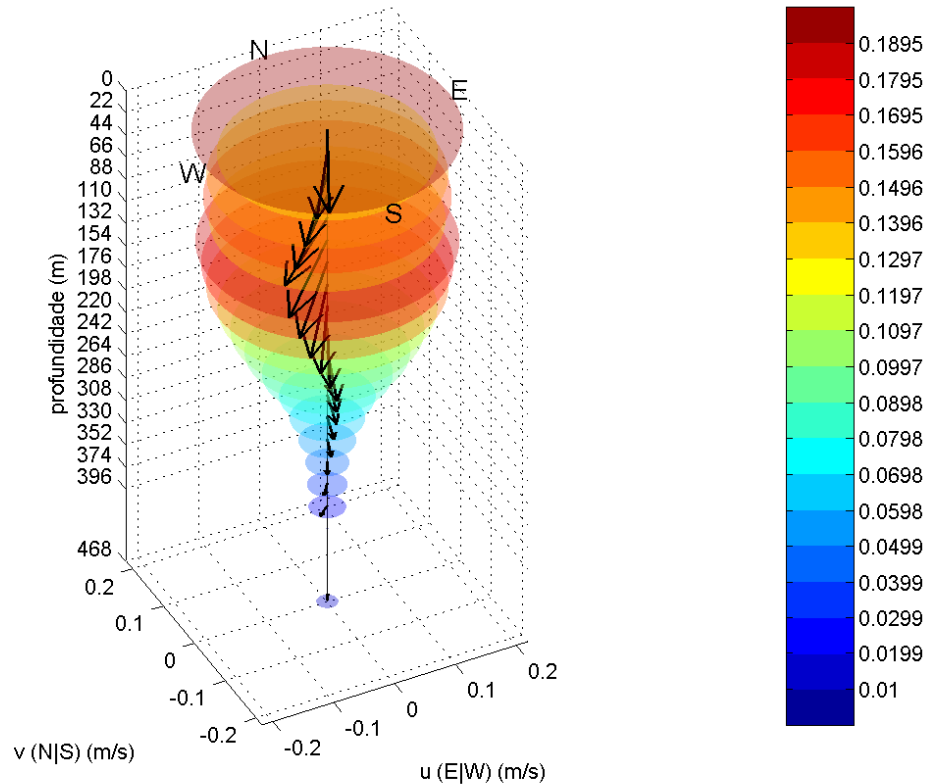
### **III\_3. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS**

A falta da disponibilidade de dados de corrente medidos ao longo da costa brasileira com quantidade e duração suficientes faz com que aspectos da dinâmica oceânica ainda sejam desconhecidos. Sabe-se que a Corrente do Brasil (CB) é a principal feição presente nas primeiras centenas de metros da região considerada neste estudo. Em linhas gerais, pode-se classificá-la como uma corrente de contorno oeste que flui do norte para o sul sobre a região da quebra da plataforma continental, desde a superfície até 500 m de profundidade, aproximadamente (Peterson & Stramma, 1990; Silveira et al, 2001). Pouco se conhece a respeito da variabilidade espaço-temporal da CB, embora hoje admita-se que tal variabilidade possa ser considerável e a noção de que a CB apresente um fluxo constante como um rio seja cada vez menos aceita.

Associadas à CB, existem feições transientes como *eddies* (feições meandantes) e vórtices, detectados por imagens de satélites e medições diretas (Schmid et al., 1995). Abaixo da CB há uma corrente fluindo em sentido oposto, a Contra Corrente Intermediária (CCI, Lima, 1997). A profundidade na qual a CCI flui parece variar entre 800 e 400 m, aproximadamente, dependendo da região.

Portanto, em virtude do desconhecimento da dinâmica das correntes, torna-se difícil estabelecer um perfil de corrente típico da região para utilizar como forçante no modelo de dispersão. Nessa simulação foi utilizado então um perfil de corrente (Figura 2) e de temperatura e salinidade (Figura 3) resultante de modelagem numérica com condições de contorno e iniciais obtidas por Fragoso (2004) e que se ajustam às principais características descritas na literatura.

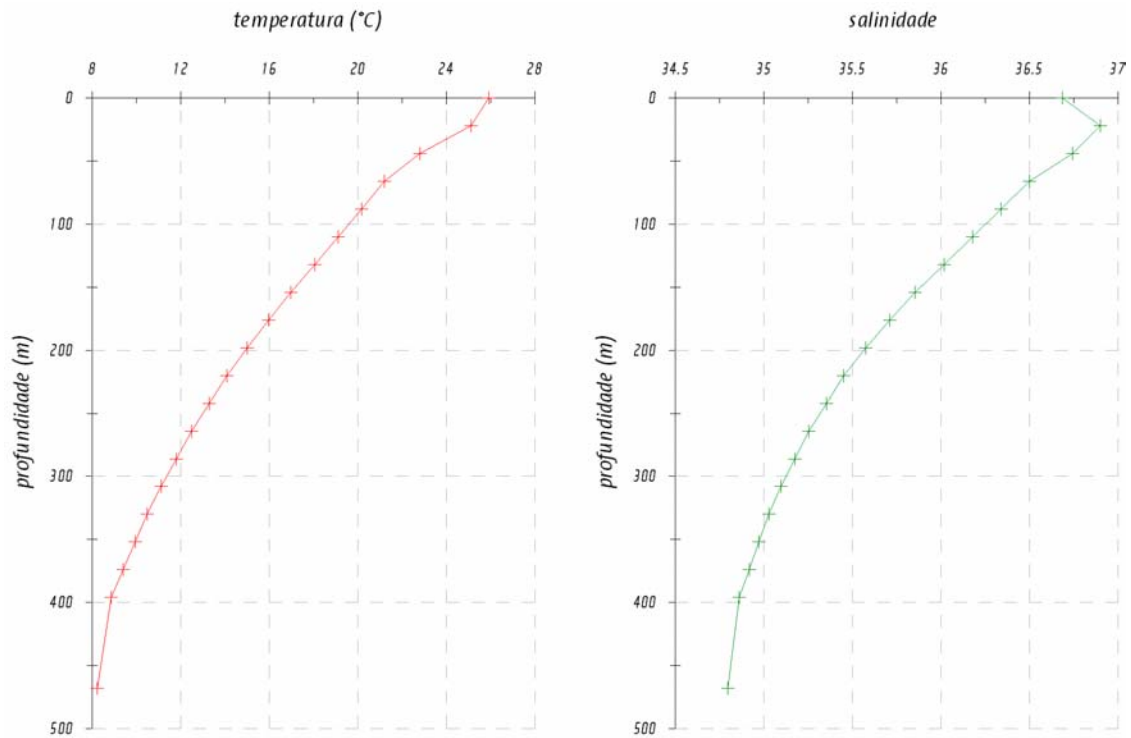




**Figura 2: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (em m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.**

A maior intensidade de corrente encontra-se na superfície (aproximadamente 0,2 m/s). O núcleo de correntes de alta intensidade entre 60 e 150 metros de profundidade (em torno de 0,18 m/s) concorda em intensidade, direção e posição na coluna d'água com a descrição na literatura do núcleo da CB.

Á partir de 200 m, as correntes começam a diminuir de intensidade e mudar a direção até apontarem para norte, indicando o início da CCI, de sentido norte com núcleo entre 600m e 1000m.



**Figura 3: Perfis verticais de temperatura e salinidade utilizados nas simulações numéricas.**

Os perfis de temperatura e salinidade também apresentam comportamento conhecido, com valores de 26 °C e 36,75 na superfície, decrescendo com o aumento da profundidade até atingirem valores em torno de 8°C e 34,7 no fundo.

Os dados utilizados para a elaboração destes perfis se encontram na Tabela 14.

**Tabela 14: Dados oceanográficos utilizados nas simulações**

profundidade (m)	temperatura (°C)	salinidade	u (m/s)	v (m/s)
0	25.91	36.69	-0.09	-0.18
22	25.12	36.90	-0.09	-0.14
44	22.82	36.74	-0.11	-0.14
66	21.21	36.50	-0.12	-0.14
88	20.17	36.34	-0.13	-0.12
110	19.13	36.18	-0.13	-0.14
132	18.06	36.02	-0.12	-0.14
154	16.98	35.86	-0.10	-0.15
176	15.98	35.71	-0.08	-0.14
198	15.01	35.57	-0.06	-0.13
220	14.09	35.45	-0.04	-0.11
242	13.29	35.35	-0.03	-0.09
264	12.49	35.25	-0.02	-0.07
286	11.80	35.17	-0.02	-0.05
308	11.12	35.10	-0.01	-0.04
330	10.49	35.03	-0.01	-0.03
352	9.95	34.97	-0.02	-0.02
374	9.41	34.92	-0.02	-0.02
396	8.85	34.86	0.00	0.00
468	8.22	34.80	0.01	0.01

## IV\_ RESULTADOS

### IV\_1. PILHAS DE DEPOSIÇÃO

O modelo OOC não fornece diretamente os valores de espessura de acumulação de sedimentos no leito oceânico e sim a massa de sólidos  $M$  em cada ponto da grade simulada. Para a obtenção da espessura foi usada a seguinte equação:

$$E = \frac{L(1 + \varepsilon)}{\rho_{\text{sólidos}}}$$

Onde  $\varepsilon$  é o índice de vazios,  $\rho_{\text{sólidos}}$  é a densidade do material e  $L$ , a carga de sólidos por área, obtida dividindo-se a massa por ponto de grade  $M$  pela área de cada célula ( $\Delta x^2$ ).

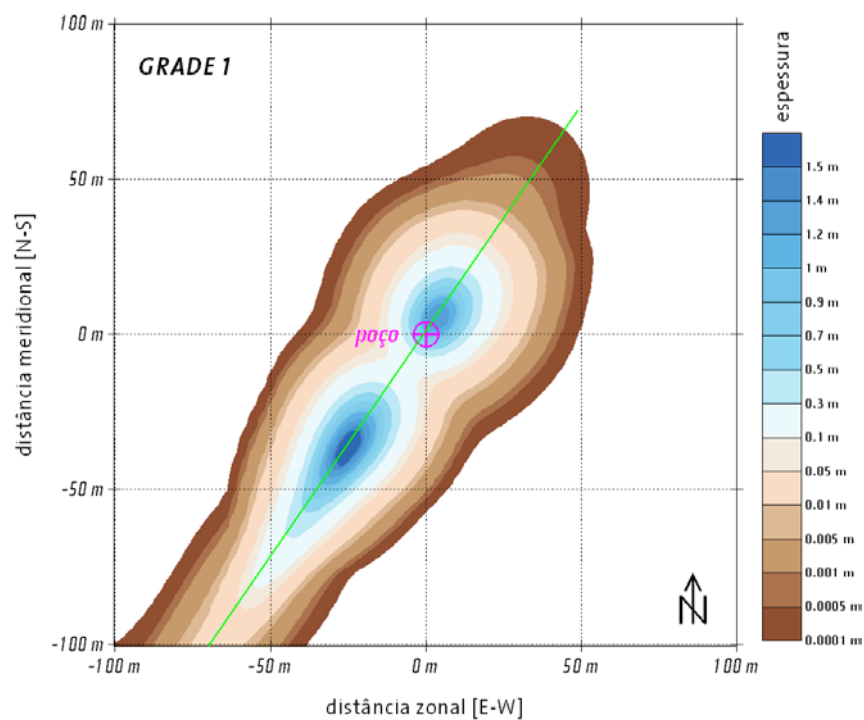
$$L = M / \Delta x^2$$



O valor assumido para o índice de vazios foi de 1,108, que corresponde a 30% de água intersticial na pilha. Esta porcentagem é a mesma utilizada no projeto MAPEM (Freitas et al. 2002).

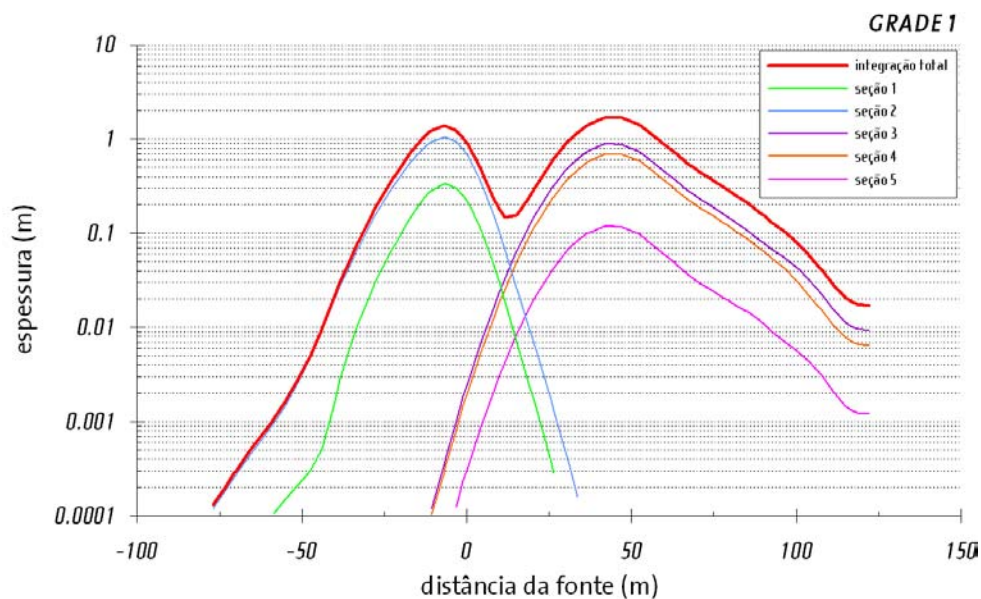
Os acúmulos de material no leito marinho foram calculados 24 horas após os descartes de cada seção sem *riser* e 48 horas após o descarte da seção com *riser*.

A pilha de deposição estimada pelas simulações realizadas com a grade 1 é apresentada na Figura 4 e os perfis longitudinais respectivos a cada seção na Figura 5.



**Figura 4: Pilha de deposição do material descartado na fase com riser e sem riser estimada pela grade 1.**





**Figura 5: Perfis longitudinais de espessura das pilhas de deposição nas fases com riser e sem riser estimados pela grade 1.**

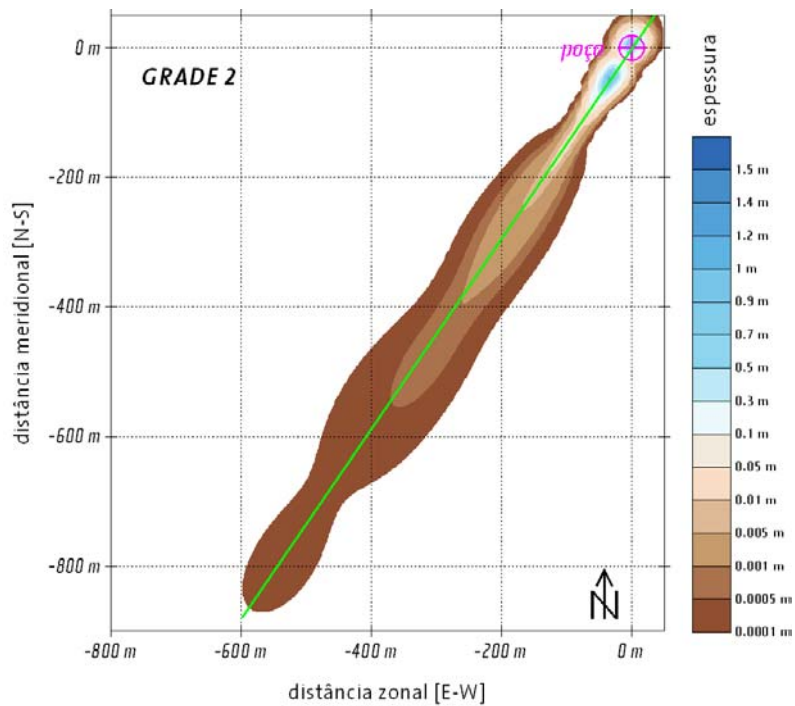
A deposição ocorre na direção SW-NE e duas regiões principais de deposição foram encontradas. O cume localizado à NE do poço, devido ao sentido das correntes próximo ao fundo, está associado aos descartes das seções sem *riser*. Sua espessura é de cerca de 1,4 m e situa-se à aproximadamente 15 m do ponto de descarte. Em direção a NE são encontradas espessuras superiores a 0,1 mm com até 75 metros de distância do poço.

Ao contrário do esperado, o maior cume é creditado aos descartes das seções com *riser* e situa-se à SW do poço. A maior espessura (1,73 m) encontra-se, neste sentido, em torno de 50 metros do poço.

Este fato pode ser explicado tanto pela pouca profundidade local, que não contribui para um grande espalhamento do material descartado na superfície, quanto pelo maior volume descartado nas seções 3 e 4.

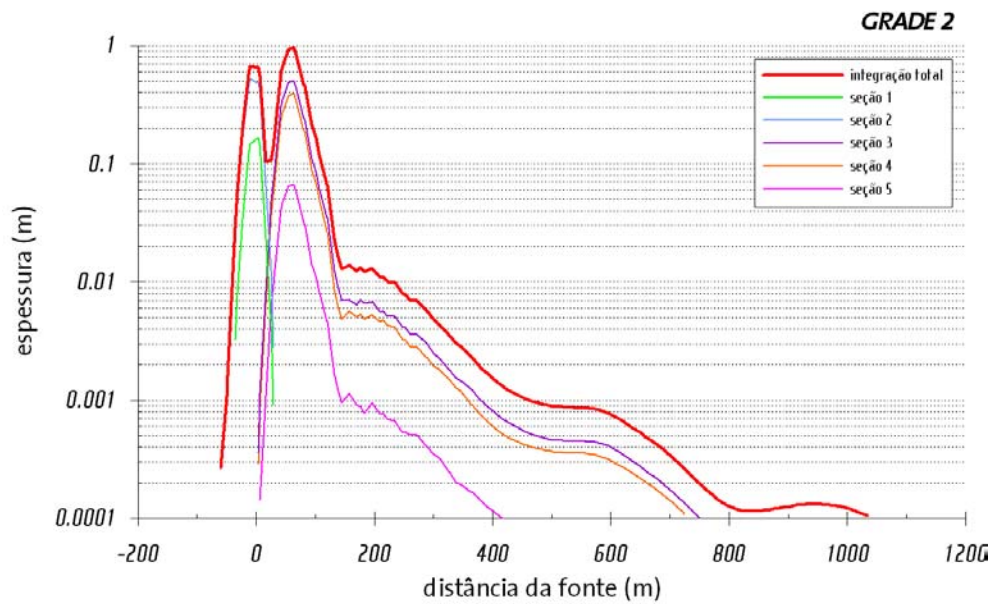
A Figura 5 mostra que, individualmente, a maior contribuição na espessura da pilha é dada pela seção 2, entretanto, a soma das seções com *riser* (especialmente as seções 3 e 4), forma uma espessura superior.

Nota-se que para SW do poço ainda existem regiões de espessura superior a 0,1 mm nos extremos da grade 1, impedindo que se avalie a área de influência da pilha. Para tanto, é necessária a análise dos resultados gerados nas simulações com a grade 2 (Figura 6).



**Figura 6: Pilha de deposição do material descartado na fase com riser e sem riser estimada pela grade 2.**

Com o uso da grade 2 é possível analisar uma maior área. Considerando o limiar de 0,1 mm, estima-se em 0,11 km<sup>2</sup> a região coberta pela pilha de deposição ao final da operação. Os perfis longitudinais extraídos de cada seção são apresentados na Figura 7.



**Figura 7: Perfis longitudinais de espessura das pilhas de deposição nas fases com riser e sem riser estimados pela grade 2.**

Analisando os perfis das seções com *riser* individualmente, nota-se que o material descartado nas seções 4 e 5 forma espessuras superiores ao limiar de 0,1 mm até cerca de 750 m de distância do poço. No entanto, integrando os resultados destes descartes, espessuras superiores ao limiar são encontradas até 1000 metros distantes do poço.

A espessura máxima encontrada com o somatório de todos descartes simulados com a grade 2 é de 1,06 m. Comparando este resultado com o encontrado pela grade 1, nota-se que a utilização da grade 2 suavizou a pilha de deposição, o que já era esperado.

Na Tabela 15 é apresentado um quadro resumo dos resultados obtidos para deposição do material descartado.

**Tabela 15: Quadro resumo dos resultados obtidos para as pilhas de deposição.**

SIMULAÇÃO	ESPESSURA MÁXIMA	ÁREA	CONSERVAÇÃO DE MASSA
	(m)	(m2)	(%)
SOL_SEC1_G1	0.338	4145.87	100
FLU_SEC1_G1	0.002	1507.41	99
seção 1	0.339	4338.31	-
SOL_SEC2_G1	1.052	6555.26	100
FLU_SEC2_G1	0.003	3102.48	93
seção 2	1.054	7005.86	
<b>integração sem riser</b>	<b>1.393</b>	<b>7101.01</b>	
SOL_SEC3_G1	0.907	6968.26	91
SOL_SEC4_G1	0.705	6771.50	91
SOL_SEC5_G1	0.121	5345.21	91
<b>integração com riser</b>	<b>1.734</b>	<b>7461.91</b>	
<b>integração total</b>	<b>1.734</b>	<b>12317.07</b>	
SOL_SEC1_G2	0.195	5173.14	100
FLU_SEC1_G2	0.004	758.09	95
seção 1	0.197	5175.96	
SOL_SEC2_G2	0.682	6999.35	96
FLU_SEC2_G2	0.002	2787.92	53
seção 2	0.683	7096.31	
<b>integração sem riser</b>	<b>0.880</b>	<b>7192.61</b>	
SOL_SEC3_G2	0.555	70079.46	99
SOL_SEC4_G2	0.431	63276.71	99
SOL_SEC5_G2	0.074	19436.36	99
<b>integração com riser</b>	<b>1.059</b>	<b>111117.12</b>	
<b>integração total</b>	<b>1.059</b>	<b>115927.25</b>	



## ***IV\_2. SÓLIDOS EM SUSPENSÃO***

A seguir serão discutidos os resultados obtidos para as plumas de sólidos em suspensão formadas durante os descartes. Para todos os descartes serão apresentados gráficos da variação da concentração de sólidos e dos limites verticais e horizontais da pluma (em relação ao seu centro de massa) com a distância à jusante da fonte. Nesta etapa será considerado um valor de 1 mg/L de sólidos em suspensão como limiar.

As plumas obtidas para os descartes na seção 1 são apresentados na Figura 8. Estes gráficos representam o comportamento das plumas durante as fases dinâmicas da dispersão.



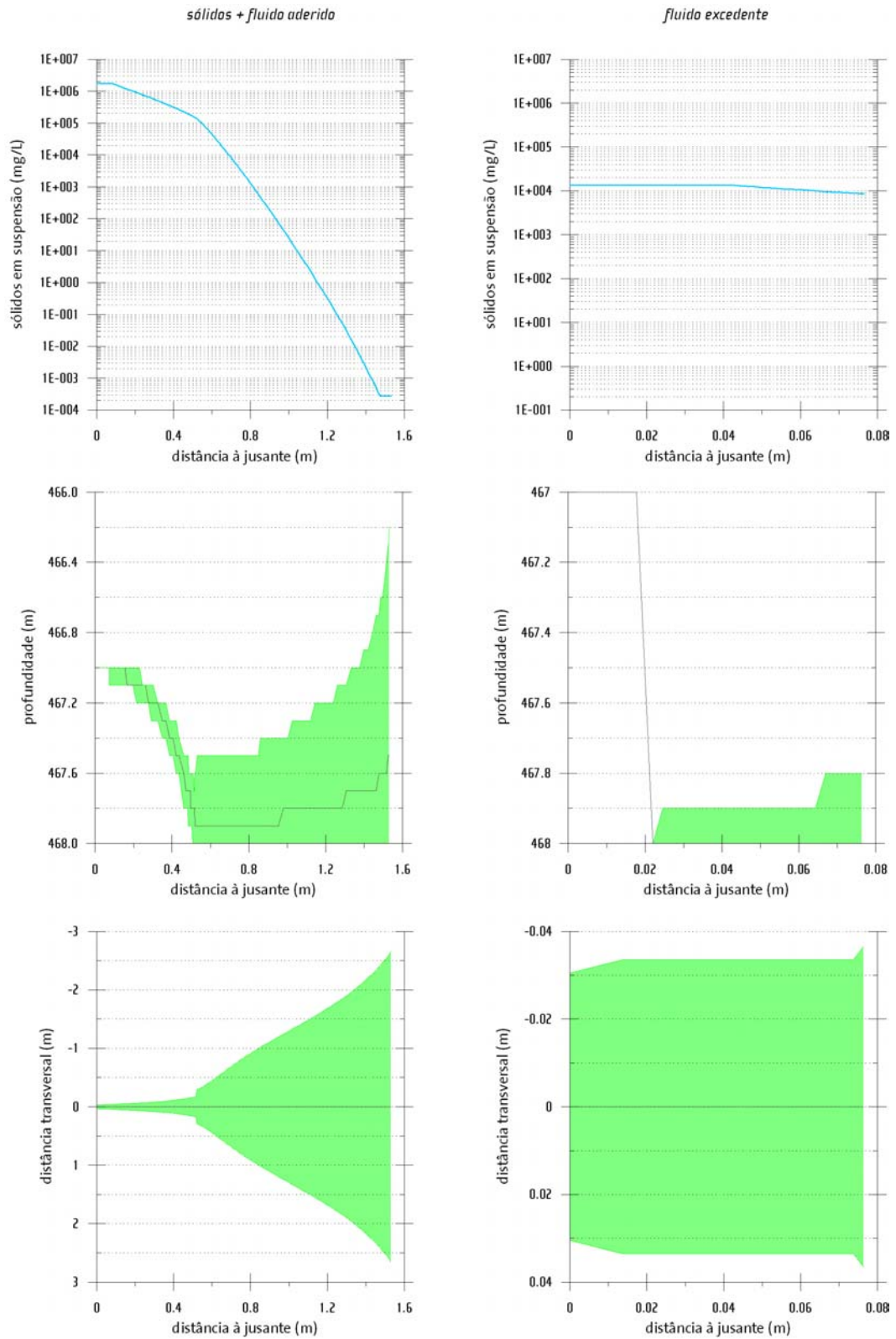


Figura 8: Plumas de sólidos em suspensão para os descartes da seção 1



Na saída da fonte da seção 1, a pluma decorrente do descarte de cascalho e fluido aderido, apresenta uma concentração de  $10^6$  mg/L (1 Kg/L). Com o aumento da distância à jusante, esta concentração apresenta um forte gradiente, terminando a fase dinâmica com aproximadamente 0,3 mg/L.

A pluma atinge o assoalho submarino a uma distância de 0,5 m da fonte. A influência deste toque pode ser notada na inflexão das curvas de sólidos em suspensão nesta distância, no aumento do diâmetro horizontal da pluma (que atinge um máximo de 5 m – 2,5 m para a cada lado do movimento) e no seu soerguimento ao final da fase dinâmica.

A pluma derivada do descarte de fluido excedente encontra o solo rapidamente. Sua largura é inferior a 10 cm e os valores de sólidos em suspensão não variam muito ao longo das fases dinâmicas, mantendo-se próximo à  $10^4$  mg/L (10 g/L).

Na Figura 9 são apresentados os descartes da seção 2.



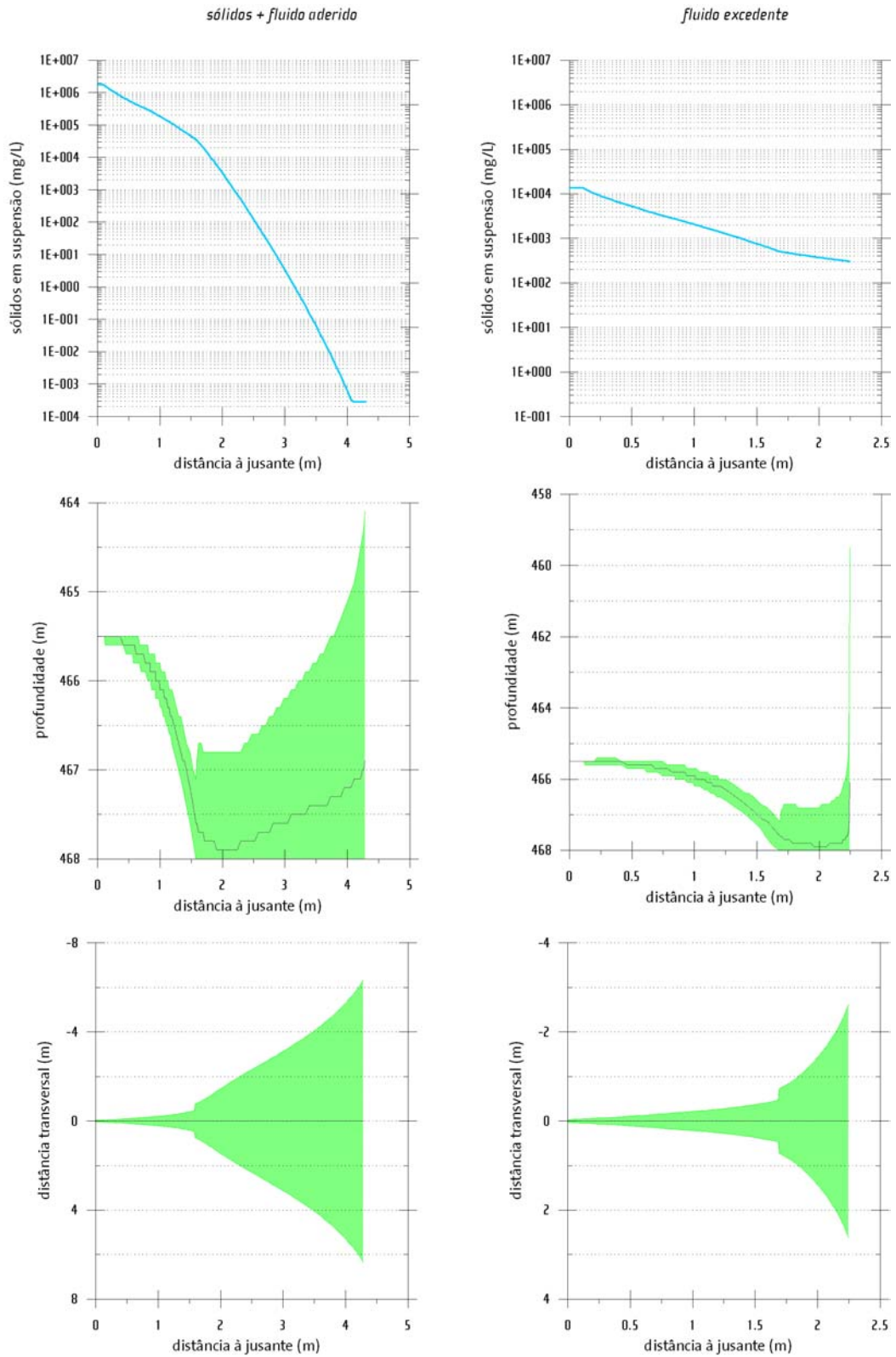


Figura 9: Plumas de sólidos em suspensão para os descartes da seção 2



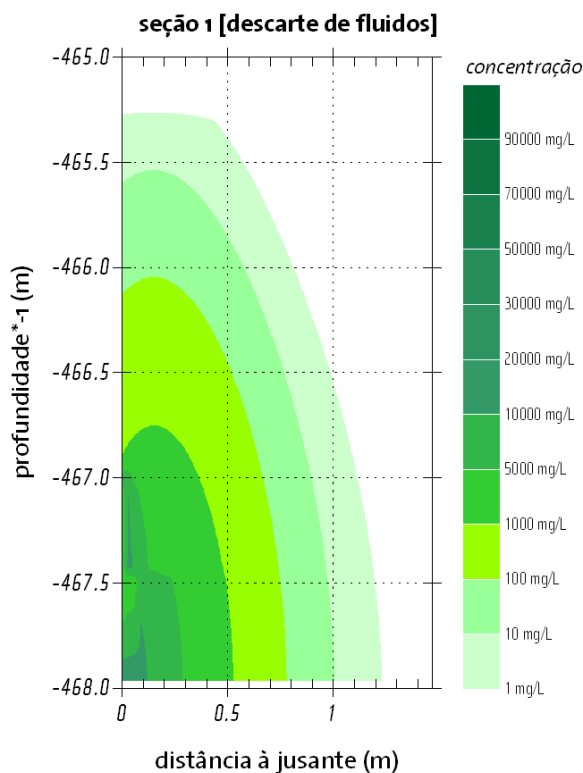


O comportamento da pluma de cascalho e fluido aderido nesta seção é semelhante ao da seção 1 e atinge o solo com aproximadamente 1,5 m à jusante da fonte. No final da fase dinâmica a largura da pluma é de aproximadamente 12 m e o valor de sólidos em suspensão no seu centro de massa é de 0,3 mg/L.

A pluma de fluido excedente atinge o solo a 1,5 m da fonte, apresentando uma largura de 1,8 m. Ao término da fase dinâmica a pluma tem aproximadamente 6 m de largura e 0,3 g/L de sólidos em suspensão.

As plumas formadas pelo descarte de fluido excedente nas duas seções sem riser apresentam concentrações ainda elevadas ao final da fase dinâmica (acima de 100 mg/L). Para que se conheça seu alcance, perfis longitudinais da pluma foram extraídos na posição do centro de massa.

O perfil extraído para o descarte de fluido excedente na seção 1 é apresentado na Figura 10.

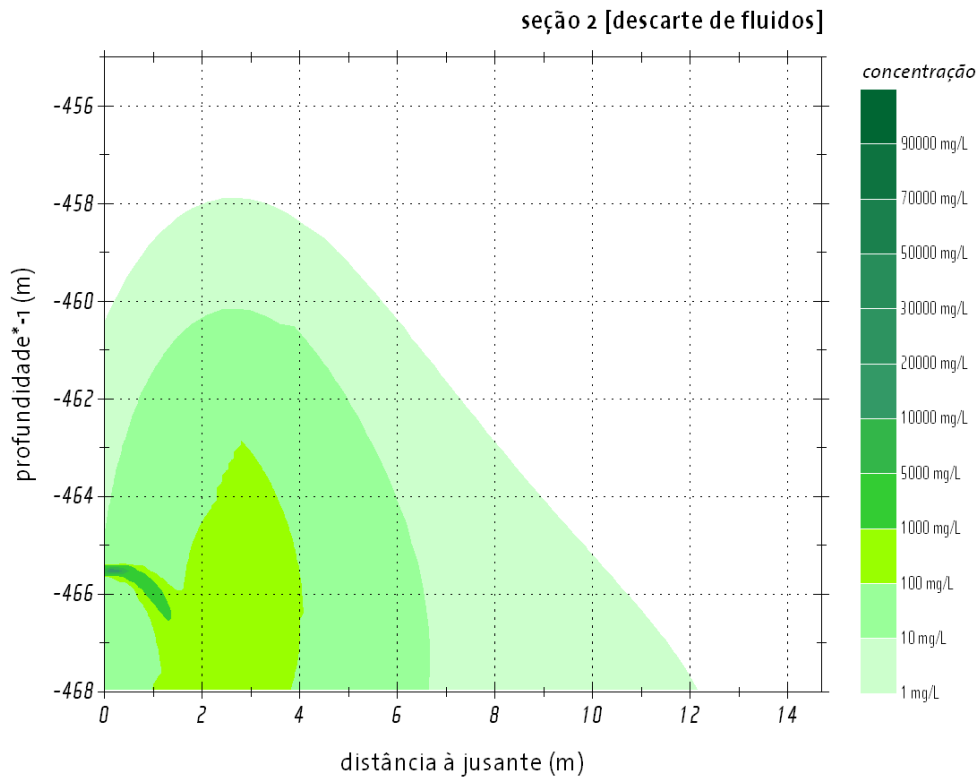


**Figura 10: Perfil longitudinal da pluma formada do descarte de fluido na seção 1.**

A região de maior concentração restringe-se aos primeiros 10 centímetros de distância da fonte. A 0,5 m da fonte a concentração é de aproximadamente 5000 mg/L e após 1,20 m, a concentração já é inferior a 1 mg/L.

Os mesmos resultados são apresentados para a seção 2 na Figura 11.





**Figura 11: Perfil longitudinal da pluma formada do descarte de fluido na seção 2.**

Nesta seção, a pluma atinge o solo com concentrações entre 100 e 1000 mg/L. A profundidade mínima atingida pela pluma é de 458 m e a 12 m de distância à jusante da fonte os valores de sólidos em suspensão é inferior a 1 mg/L.

Na Figura 12 estão os resultados obtidos para as plumas formadas pelos descartes da seção 3.

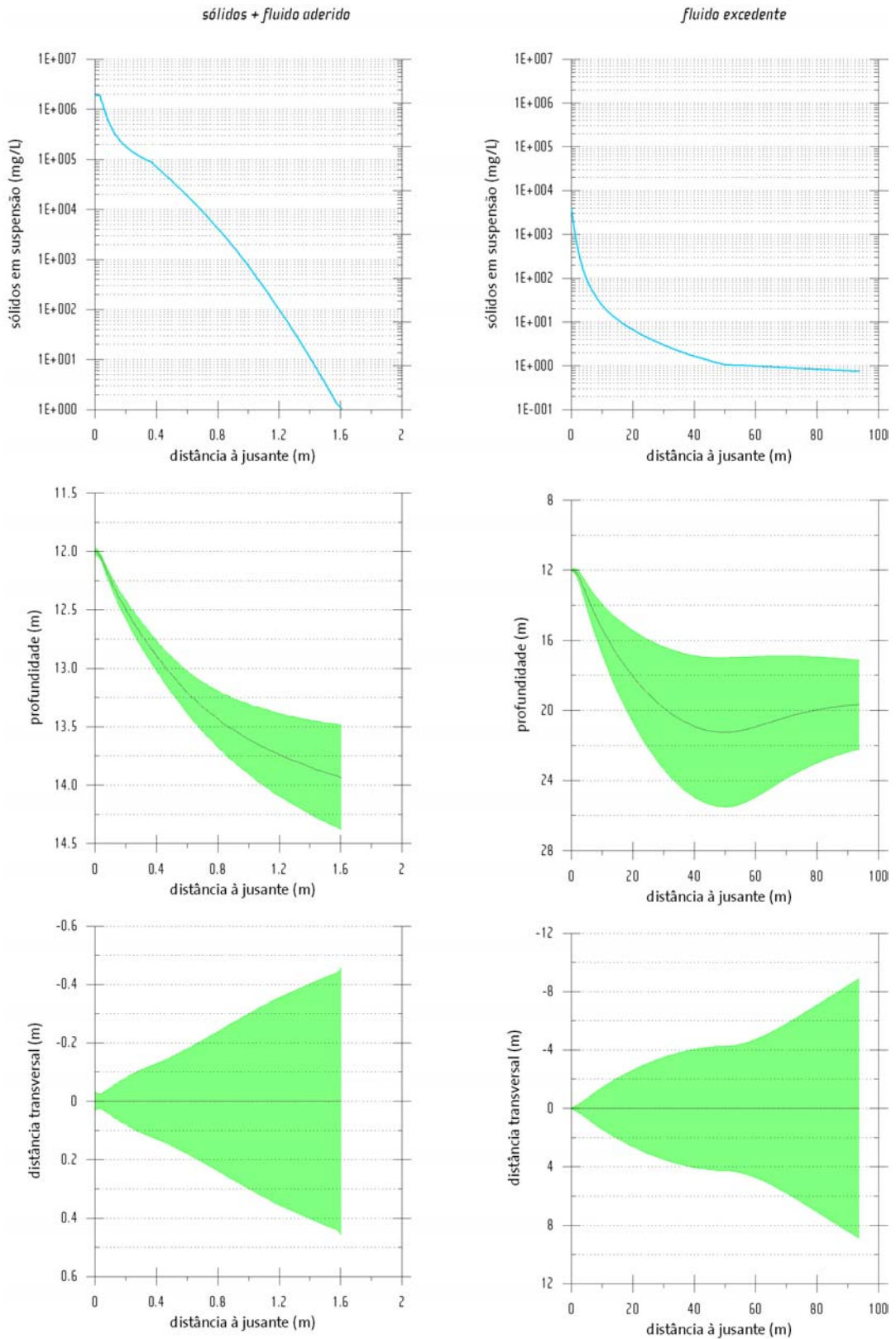


Figura 12: Plumas de sólidos em suspensão para os descartes da seção 3.

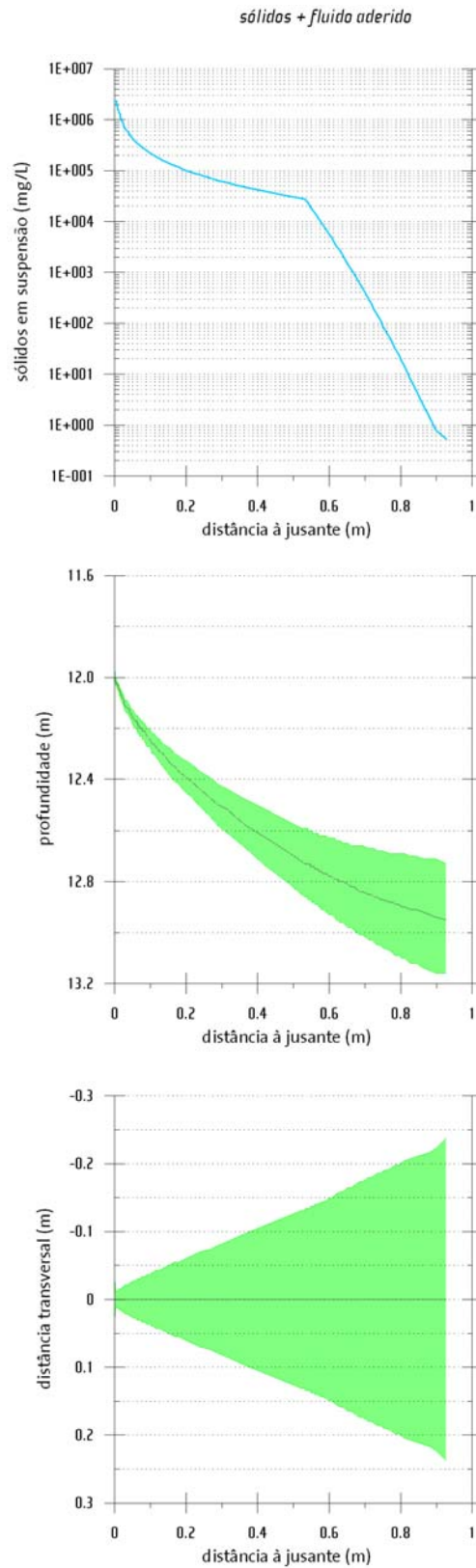


A pluma de sólidos em suspensão decorrente do descarte de cascalhos e fluidos na seção 3 encerra a fase dinâmica com 1,6 m de distância da fonte. O material, descartado aos 12 m de profundidade, inicia um movimento descendente que logo é estabilizado. A maior profundidade atingida pela pluma é próxima a 14,5 m e sua largura não ultrapassa 1 m. Os valores de sólidos em suspensão apresentam forte gradiente com o aumento da distância da fonte e variam de 2 kg/L na fonte até 1 mg/L ao final das fases dinâmicas.

A pluma formada pelo descarte de fluido excedente apresenta a fase dinâmica mais extensa do estudo, atingindo quase 100 m de distância da fonte. A profundidade máxima alcançada por esta pluma está em torno de 26 m, com uma largura de 8 m. Apesar da grande extensão, os valores de sólidos em suspensão já estão bastante reduzidos em regiões próximas à fonte e variam de 3 g/L no ponto de descarte e 0,9 mg/L ao final do campo próximo.

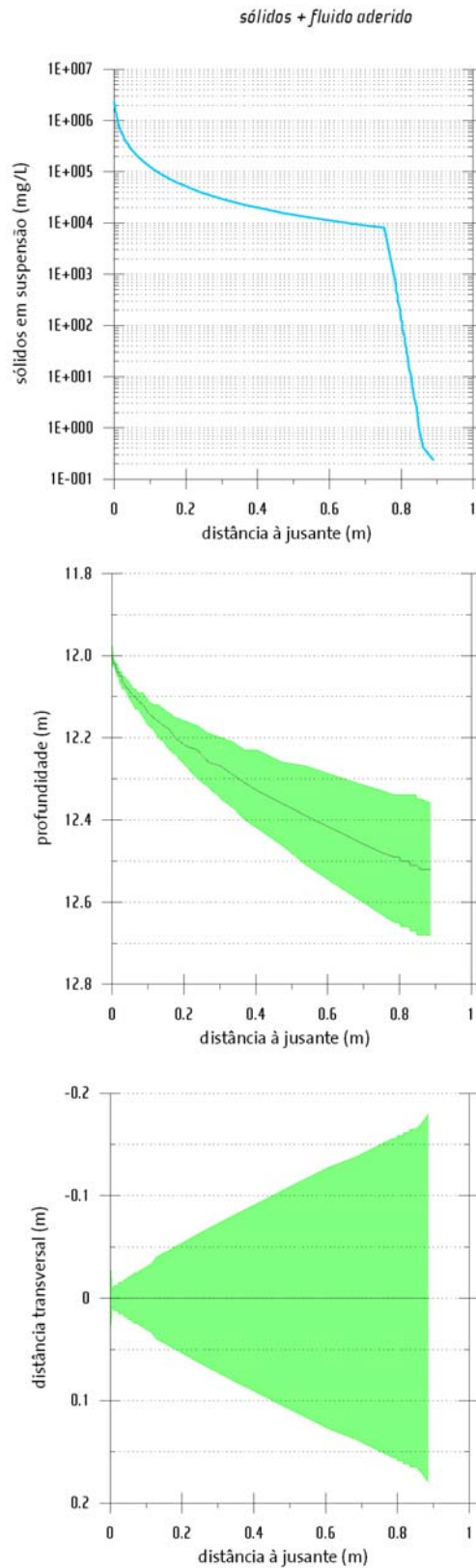
Na Figura 13 e na Figura 14 são apresentadas as plumas de sólidos em suspensão referentes a seção 4 e a seção 5, respectivamente.





**Figura 13: Plumas de sólidos em suspensão para os descartes da seção 4.**





**Figura 14: Plumas de sólidos em suspensão para os descartes da seção 5.**



Ambas as seções apresentam comportamento semelhante e terminam suas fases dinâmicas em torno de 0,9 m de distância da fonte. No entanto, os valores de concentração na seção 4 decaem mais rápido do que os apresentados na seção 5.

A profundidade em que a pluma começa a estabilizar-se é maior na seção 4 (em torno 13,2 m) e a extensão apresentada ao final da fase dinâmica é de 0,5 m, para a seção 4, e de 0,3 m, para a seção 5.



## V\_ CONCLUSÃO

Dezesseis simulações numéricas foram realizadas para determinar o comportamento do material descartado no mar, proveniente da atividade de perfuração de um poço exploratório no Campo de Mexilhão. O cenário ambiental utilizado nas modelagens procurou reproduzir as principais características oceanográficas da região do bloco.

Foram simulados tanto os sólidos em suspensão na coluna d'água, quanto a acumulação dos sólidos no leito marinho nas diversas fases da perfuração, por influência dos cascalhos e também da parte sólida dos fluidos descartados. Os acúmulos no leito marinho foram calculados em duas diferentes grades, de forma a bem avaliar tanto a região de maior espessura quanto a área total da deposição.

O acúmulo de material deu-se na direção NE-SW do poço, concordando com a hidrodinâmica descrita para a região. A máxima espessura encontrada foi de 1,73 m, localizada a cerca de 50 metros para SW do poço.

Considerando um limiar de  $1 \times 10^{-4}$  m (0,1 mm), a área coberta pela pilha é de 0,11 km<sup>2</sup>, obtida nas simulações com a grade 2.

Os principais responsáveis pela espessura máxima obtida são os descartes realizados nas seções 3 e 4. As regiões de deposição distantes do poço são devidas aos descartes nas seções com *riser*.

A fase dinâmica de maior extensão foi encontrada na seção de 3, provavelmente devido à distância entre o ponto de descarte e o assoalho marinho. Apesar de mais extensa, os valores de sólidos em suspensão no centro de massa desta pluma ficam abaixo de 1 g/L, a uma distância inferior a 10 m da fonte e inferiores a 1 mg/L a 60 m.

As plumas formadas do descarte de fluido excedente nas seções sem *riser* completam as fases dinâmicas rapidamente, entretanto, os valores de sólidos em suspensão permanecem elevados. Observando-se os gráficos da fase passiva, nota-se que a seção 1 termina em 1,2 m e a seção 2 em 12 m.





## **VI\_ BIBLIOGRAFIA**

- Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. ExxonMobil Upstream Research Co.
- Fragoso, M.R., 2004. Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil . Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 191p.
- Freitas, C. M. D. S., Pivel, M. A. G., Comba, J. L. D., 2002. Environmental Monitoring of Offshore Drilling for Petroleum Exploration – MAPEM. Capítulo 4: Discharge Modeling of Cuttings and Drilling Fluids.
- Lima, J. A. M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22° S. Tese de Doutorado. The University of New South Wales. Austrália, 164 p.
- Peterson, R.G. and L. Stramma, 1990: "Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean." *Progress in Oceanography*, 26, pp. 1-73.
- Schmid, C., H. Schäfer, G. Podestá & W. Zenk, 1995. "The Vitória Eddy and Its Relation to the Brazil Current." *Journal of Physical Oceanography*, 25: pp. 2532-2546.
- Silveira, I. C.A. da; A. K. Schmidt; E.J.D. Campos; S. S. de Godoi; Y. Ikeda, 2001. "A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira." *Rev. Bras. Oceanogr.*, 48(2), pp. 171-183.

