

Modelagem do Descarte de Cascalho e Fluidos de Perfuração no Bloco BM-S-8, Bacia de Santos



E&P

Revisão 00
Jan/2006

BR **PETROBRAS**

Modelagem do Descarte de Cascalho e Fluidos de Perfuração no Bloco BM-S-8, Bacia de Santos

**Revisão 00
Janeiro / 2006**



E&P

CONTROLE DE REVISÕES

REV.	DESCRIÇÃO	DATA
00	Documento Original	30/01/2006

	Original	Rev. 01	Rev. 02	Rev. 03	Rev. 04	Rev. 05	Rev. 06	Rev. 07	Rev. 08
Data	30/01/06								
Elaboração									
Verificação									
Aprovação									

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO	I-1
I.1.1 PADRÕES DE CIRCULAÇÃO NA REGIÃO	I-2
I.1.2 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO	I-3
II MODELO HIDRODINÂMICO	II-1
II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL.....	II-1
II.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS.....	II-2
II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E FORÇANTES	II-5
II.2.1 BATIMETRIA	II-5
II.2.2 ESTRUTURA TERMOHALINA	II-7
II.2.3 VENTOS.....	II-10
II.2.4 MARÉS.....	II-10
III MODELAGEM DO DESCARTE DE CASCALHO E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO	III-1
III.1 MODELO MUDMAP	III-1
III.1.1 ASPECTOS TEÓRICOS.....	III-2
III.2 DADOS DE ENTRADA.....	III-3
III.2.1 CAMPO DE CORRENTES	III-3
III.2.2 CAMPO TERMOHALINO	III-4
III.3 CENÁRIOS DE DESCARTE DE PARTÍCULAS	III-5
III.3.1 PONTOS DE DESCARTE	III-5
III.3.2 ESPECIFICAÇÕES DOS PROCESSOS DE PERFURAÇÃO E DESCARTE	III-5
III.3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CASCALHO E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO	III-6
III.3.4 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS	III-8
IV RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	IV-1
IV.1 FASE I	IV-3
IV.2 FASE II	IV-4
IV.3 FASE III	IV-6

IV.4 FASE IV	IV-14
IV.5 FASE V	IV-16
IV.6 DESCARTE TOTAL	IV-23
V CONCLUSÕES	V-1
VI BIBLIOGRAFIA	VI-1
VII EQUIPE TÉCNICA.....	VII-1

TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela III.2.2-1 - Perfil médio de densidade para a região do Poço B, Bloco BM-S-8.	III-5
Tabela III.3.3-1 - Especificações do descarte de cascalho e fluidos de perfuração para o Poço B, Bloco BM-S-8.	III-7
Tabela III.3.4-1 - Cenários elaborados para o estudo de cascalho e fluidos de perfuração no Bloco BM-S-8 para o Poço B.	III-8
Tabela IV-1 - Máximas espessuras depositada e áreas cobertas por sedimentos com espessuras maiores que 1 mm para o Poço B, Bloco BM-S-8.	IV-1
Tabela IV-2 - Área total da pluma e concentrações máximas de sólidos na coluna d'água para o descarte de fluidos excedentes da Fase II (sem <i>riser</i>) do Poço B, Bloco BM-S-8.	IV-2
Tabela IV-3 - Área total da pluma e concentrações máximas de sólidos na coluna d'água para o descarte de fluidos excedentes da Fase III (com <i>riser</i>) do Poço B, Bloco BM-S-8.	IV-2
Tabela IV-4 - Área total da pluma e concentrações máximas de sólidos na coluna d'água para o descarte de fluidos excedentes da Fase V (com <i>riser</i>) do Poço B, Bloco BM-S-8.	IV-3
Tabela V-1 - Resumo dos resultados das simulações de todas as fases de perfuração do Poço B, Bloco BM-S-8.	V-2

FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1-1 - Localização do ponto de descarte de cascalho e fluidos de perfuração, no Bloco BM-S-8, Bacia de Santos.	I-2
Figura I.1.2-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.	I-4
Figura I.1.2-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.	I-4
Figura II.2.1-1 - Pontos batimétricos utilizados na região da costa sudeste do Brasil.	II-5
Figura II.2.1-2 - Batimetria interpolada para a região da grade da costa sudeste do Brasil.	II-6
Figura II.2.1-3 - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da costa sudeste do Brasil, com detalhe na região de interesse.	II-7
Figura II.2.2-1 - Temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, na superfície, para o verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	II-8
Figura II.2.2-2 - Temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, na superfície, para o inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	II-8
Figura II.2.2-3 - Secção vertical de temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, ao longo de 25,6°S, para o verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	II-9
Figura II.2.2-4 - Secção vertical de temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, ao longo de 25,6°S, para o inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE	II-9
Figura II.2.3-1 - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-10
Figura II.2.4-1 - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	II-11
Figura III.2.1-1 - Perfil médio de correntes calculado para o ponto de descarte localizado no Bloco BM-S-8.	III-3
Figura III.2.2-1 - Secção vertical de densidade (kg/m ³) ao longo de 25,6°S, na região do Poço B, Bloco BM-S-8. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	III-4
Figura IV.1-1 - Cenário BMS8_B_FI. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem riser).	IV-4

FIGURA	PÁG.
Figura IV.2-1 - Cenário BMS8_B_FII. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase II (diâmetro de 26", sem riser).	IV-5
Figura IV.3-1 - Cenário BMS8_B_FIII. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser).	IV-6
Figura IV.3-2 - Detalhe da figura IV.3-1.	IV-7
Figura IV.3-3 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 10 min após o início da simulação.	IV-8
Figura IV.3-4 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 1 hora após o início da simulação.	IV-9
Figura IV.3-5 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 6 horas após o início da simulação.	IV-10
Figura IV.3-6 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 12 horas após o início da simulação.	IV-11
Figura IV.3-7 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 24 horas após o início da simulação.	IV-12
Figura IV.3-8 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 2 dias após o início da simulação.	IV-13
Figura IV.3-9 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 4 dias após o início da simulação.	IV-14

FIGURA	PÁG.
Figura IV.4-1 - Cenário BMS8_B_FIV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase IV (diâmetro de 14 ³ / ₄ " , com <i>riser</i>).	IV-15
Figura IV.4-2 - Detalhe da figura IV.4-1.	IV-16
Figura IV.5-1 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 10 min após o início da simulação.	IV-17
Figura IV.5-2 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 1 hora após o início da simulação.	IV-18
Figura IV.5-3 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 6 horas após o início da simulação.	IV-19
Figura IV.5-4 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 12 horas após o início da simulação.	IV-20
Figura IV.5-5 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 24 horas após o início da simulação.	IV-21
Figura IV.5-6 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 2 dias após o início da simulação.	IV-22
Figura IV.5-7 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8 ¹ / ₂ " , com <i>riser</i>), 4 dias após o início da simulação.	IV-23
Figura IV.6-1 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do Poço B, Bloco BM-S-8.	IV-24
Figura IV.6-2 - Detalhe da figura IV.6-1.	IV-25

RESUMO

O modelo MUDMAP da **Applied Science Associates (ASA), Inc.** foi utilizado para estudar o transporte, dispersão e deposição do cascalho e fluidos de perfuração no assoalho oceânico, decorrentes das atividades de perfuração de poços petrolíferos marítimos no Bloco BM-S-8, localizado na Bacia de Santos, a partir de simulações para o Poço B.

As condições meteorológicas e oceanográficas da região onde se localiza a Bacia de Santos mostram que, sobre a plataforma, o padrão de circulação predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da Corrente do Brasil (CB). A partir do talude e em oceano profundo, os mesmos padrões são observados, mas com predomínio sensível de correntes médias superficiais para sul-sudoeste, relacionadas à presença da CB.

Conforme solicitado no Parecer Técnico ELPN/IBAMA Nº 225/05, foram conduzidas simulações do descarte de material utilizando valores de granulometria associados às fases de perfuração do poço estudado. A realização em separado das simulações das fases de perfuração, sem e com *riser*, permitiu concluir que as maiores pilhas de cascalho sobre o assoalho oceânico estão associadas às fases de descarte sem *riser*. Os resultados obtidos para as fases com *riser* mostram espessuras inferiores. De maneira geral, considerando toda a operação, as maiores espessuras concentraram-se nas proximidades (fases sem *riser*) e à sudoeste (fases com *riser*) do ponto de descarte.

São apresentadas neste estudo as concentrações de sólidos em suspensão decorrentes dos descartes de fluidos excedentes de base aquosa, de acordo com a solicitação apresentada no Parecer Técnico ELPN/IBAMA Nº 225/05. As concentrações máximas calculadas de sólidos na coluna d'água foram de 40 mg/L, logo após o descarte, e estas decresceram rapidamente com a dispersão da pluma ao longo do tempo. Após quatro dias de simulação, a pluma atinge concentrações inferiores a 1 mg/L, com orientação preferencial de dispersão dos sólidos para leste-nordeste (sem *riser*) e oeste-sudoeste (com *riser*).

I INTRODUÇÃO

Conforme solicitado no Parecer Técnico ELPN/IBAMA Nº 225/05, neste trabalho é apresentada a modelagem computacional da distribuição espacial (área de influência e espessura) de cascalho e fluidos descartados na perfuração no Bloco BM-S-8, em todas as fases da perfuração do Poço B.

Neste estudo, também são apresentadas as concentrações de sólidos em suspensão decorrentes dos descartes de fluidos excedentes (de base aquosa), considerando descartes instantâneos. As distribuições de concentração de sólidos em suspensão foram avaliadas para os descartes de fluido excedente, por serem estes os maiores volumes de particulados finos descartados em curto espaço de tempo.

Toda a avaliação foi conduzida através da utilização de um sistema de modelos computacionais conhecido como MUDMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.**

A caracterização dos padrões de circulação e transporte na região foi obtida a partir de resultados de um modelo de meso-escala desenvolvido pela equipe da **ASA SOUTH AMERICA**, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM).

O Capítulo I discute o propósito do estudo e fornece informações sobre a área de estudo. O Capítulo II descreve o modelo hidrodinâmico. O Capítulo III descreve o modelo MUDMAP utilizado na modelagem de descarte de partículas, os cenários simulados, suas características e os dados de entrada. Os resultados das simulações são apresentados no Capítulo IV. No Capítulo V são apresentadas as conclusões do presente estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

A figura I.1-1 apresenta a localização do Poço B, selecionado para o estudo do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração no Bloco BM-S-8, localizado na Bacia de Santos.

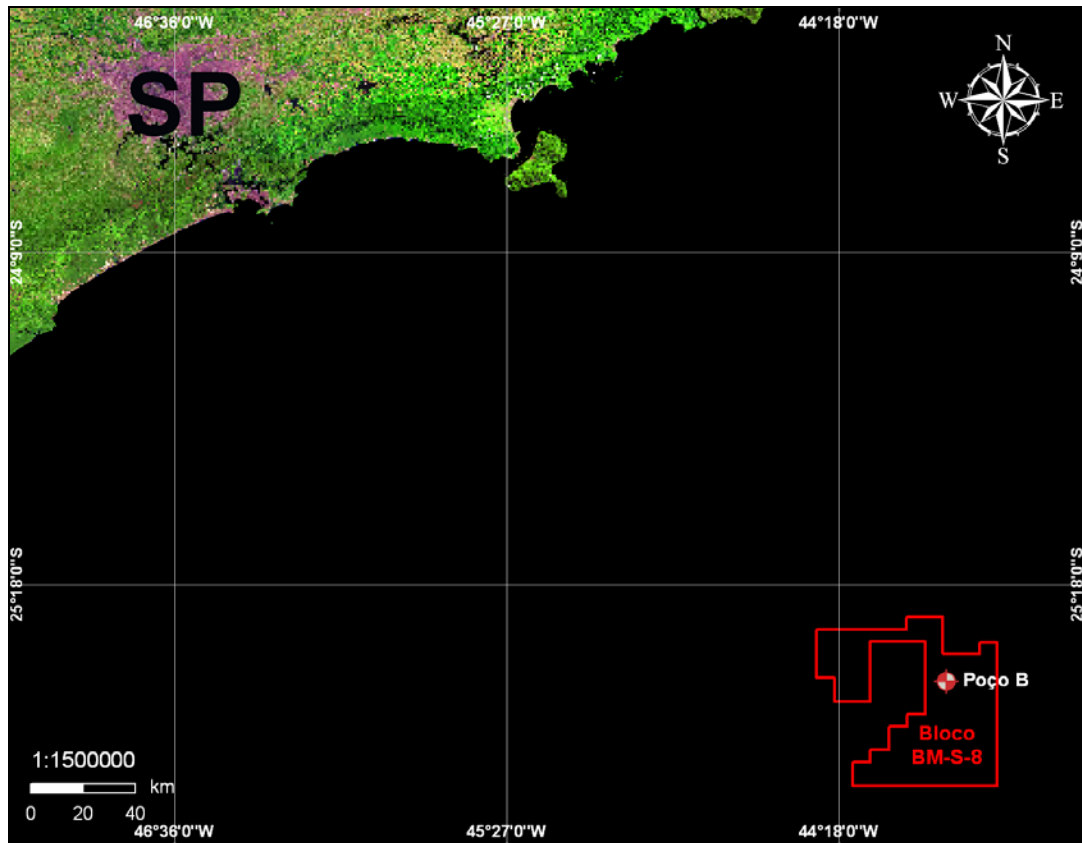


Figura I.1-1 - Localização do ponto de descarte de cascalho e fluidos de perfuração, no Bloco BM-S-8, Bacia de Santos.

I.1.1 Padrões de Circulação na Região

A circulação oceânica nesta área é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, dependendo de fatores morfológicos e dinâmicos locais. Sobre a plataforma há amplificação natural do sinal de maré e intensificação dos padrões meteorológicos locais, *i.e.*, brisa marinha. Sobreposto a estes sinais, existe a presença energética da passagem de frentes, com pronunciada causalidade remota. No oceano profundo a composição da passagem de frentes e do fluxo determinado pela Corrente do Brasil (CB) é preponderante. Considerando-se o relativo conhecimento existente sobre a circulação da maré na região, o principal padrão no oceano a ser descrito é a CB.

Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e se divide em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (Stramma *et al.*, 1990), enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).

As primeiras medições diretas foram feitas por Evans & Signorini (1985) nas latitudes de 20°30'S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo a formação de vórtices e meandros. O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de $5,5 \pm 2,6$ Sv (Lima, 1997).

A corrente que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos predominantes que, nessa estação, provêm principalmente de nordeste devido à influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção nordeste nas porções interna e média da plataforma (Castro & Miranda, 1998). Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a “ressurgência” de águas frias (Água Central do Atlântico Sul) em regiões costeiras.

1.1.2 Características Meteorológicas da Região

A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste do Brasil é dominada pela ação da ASAS, pela passagem de sistemas frontais sobre a região e por circulações locais.

A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região sudeste devido ao deslocamento da ASAS é caracterizado pelo predomínio de ventos de nordeste no verão e ventos de leste no inverno. Este padrão é ilustrado na figura I.1.2-1 e na figura I.1.2-2, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 – 2001) das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP¹. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e o padrão de ventos gerados por esse sistema.

¹ National Centers for Environmental Prediction.

Janeiro - Fevereiro - Março

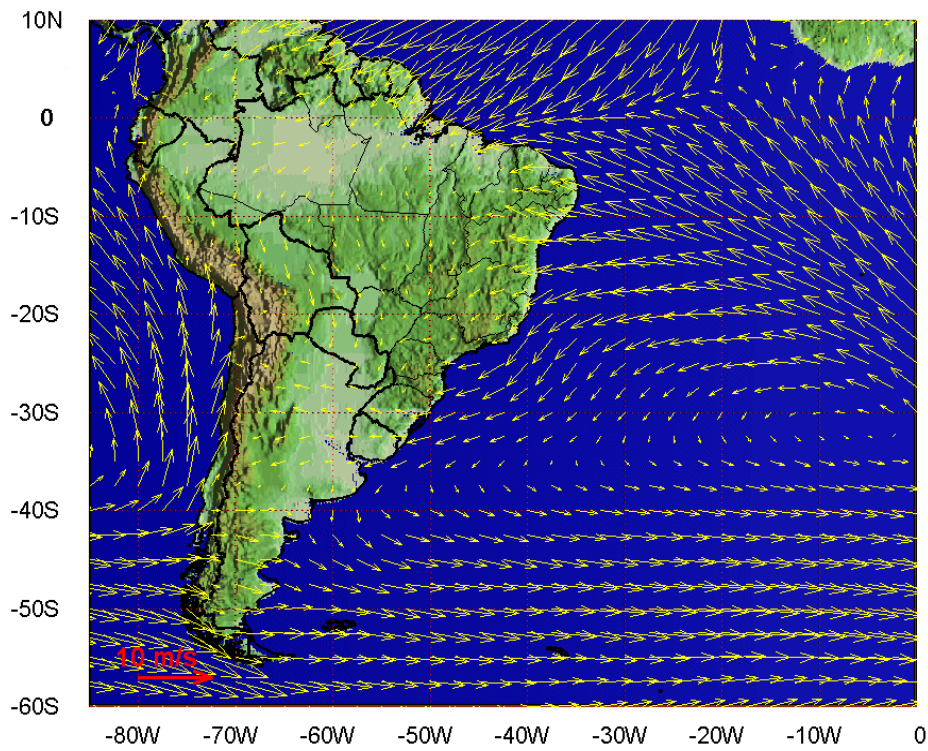


Figura I.1.2-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de verão.

Junho - Julho - Agosto

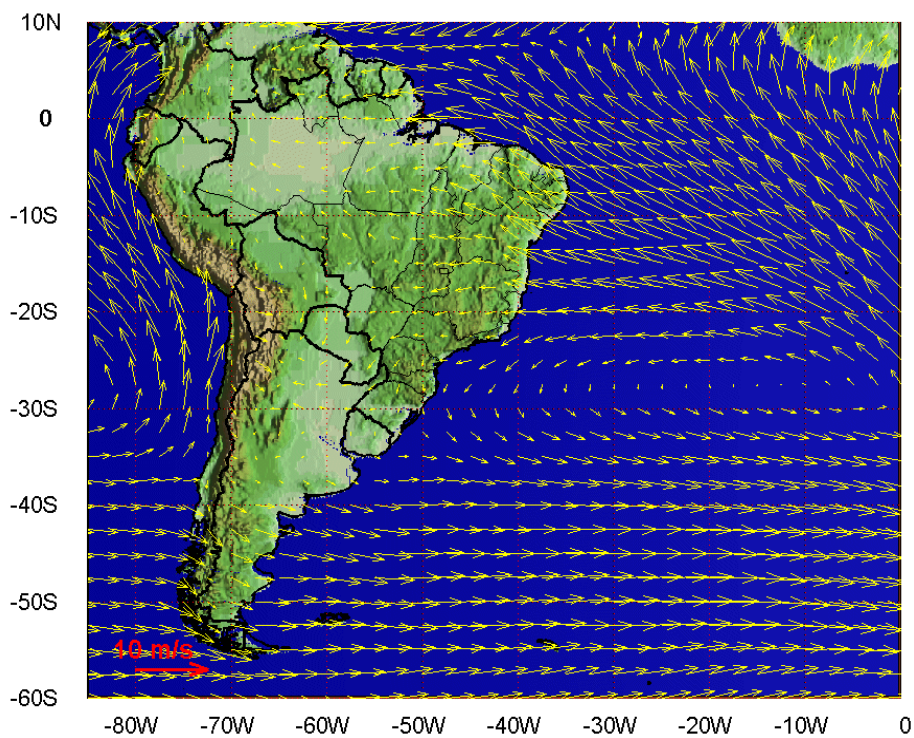


Figura I.1.2-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento à 10 m no período de inverno.

Os sistemas frontais atuam durante o ano todo sobre o Brasil com freqüências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas, como se pode notar no estudo de Oliveira (1986). De acordo com o Boletim de Monitoramento e Análise Climática (Climanálise, 1996), que apresentou uma estatística de sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil entre os anos de 1975 a 1984 e 1987 a 1995, a média ficou entre 4 e 7 sistemas mensais atuando sobre a costa do sudeste brasileiro, com valores máximos nos meses de inverno e valores mínimos nos meses de verão.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste, são regiões frontogenéticas, ou seja, são regiões onde as frentes podem se intensificar ou se formar (Satyamurty & Mattos, 1989). Em meso e micro escalas, o escoamento de baixos níveis sobre a plataforma continental está fortemente influenciado pelo efeito de circulações termicamente induzidas (brisas marinha e terrestre).

II MODELO HIDRODINÂMICO

Nesta etapa do trabalho descreve-se o modelo hidrodinâmico e sua implementação na Bacia de Santos, com o intuito de reproduzir a dinâmica local e, conseqüentemente, o campo base de correntes necessário para a finalização do estudo proposto. Foi utilizado um modelo baseado no POM (Blumberg & Mellor, 1987), implementado na área pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**.

II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo utilizado tem estrutura tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas sob as aproximações de Boussinesq e hidrostática. Este modelo permite também a utilização de grades curvilíneas, de coordenadas σ na vertical e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de 2ª ordem.

No sistema de coordenadas σ , a coordenada z é escalonada de acordo com a profundidade da coluna d'água local, conforme mostra a equação abaixo, onde D é a profundidade local, η a elevação da superfície e H a profundidade média local:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{D} \quad (\text{II.1-1})$$

onde

$$D(x, y, t) = H(x, y) + \eta(x, y, t)$$

O modelo inclui um submodelo de fechamento turbulento, para o cálculo dos coeficientes de mistura turbulenta vertical. O fechamento turbulento de 2ª ordem utiliza os resultados das equações da energia cinética turbulenta e da escala de comprimento de turbulência, no cálculo dos coeficientes cinemáticos de viscosidade e de difusão turbulenta de calor e sal na vertical (Mellor & Yamada, 1982). Esses cálculos são efetuados com base em relações empíricas, que utilizam constantes estabelecidas em experimentos de laboratório e em

observações de campo. Com o fechamento turbulento de 2^a ordem, o modelo reproduz de maneira mais realística as camadas de Ekman, de superfície e de fundo.

Além dos aspectos específicos acima mencionados, o modelo adota soluções largamente utilizadas na literatura, como gradeamento do tipo C de *Arakawa* e métodos de integração diferentes na horizontal e na vertical – integração horizontal e temporal explícita e vertical implícita. Por meio desses procedimentos, elimina-se a restrição temporal na vertical, permitindo o uso de maior resolução nas camadas de Ekman de superfície e de fundo.

O modelo apresenta uma superfície livre e dois intervalos de tempo distintos, um para o modo de oscilação externo e outro para o interno. O modo externo (barotrópico) usa um intervalo de tempo menor, baseado na condição de estabilidade computacional de Courant-Friedrichs-Levy (CFL). O modo interno (baroclínico) usa um intervalo de tempo mais longo (*splitting mode*).

II.1.1 Equações Básicas

O modelo hidrodinâmico aqui descrito é baseado em uma formulação tridimensional prognóstica com aproximação hidrostática. As variáveis potencialmente prognósticas são: as três componentes da velocidade (u , v e w), a temperatura (T), a salinidade (S), a energia cinética turbulenta ($q^2/2$), a escala turbulenta (l), e a elevação da superfície (η).

O conjunto de equações básicas utilizadas no código é descrito abaixo. Consideremos um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com x crescendo para Leste, y para Norte e z para cima, no qual as coordenadas horizontais (*i.e.*, x , y) referem-se ao espaço computacional. A superfície livre está localizada em $z = \eta(x, y, t)$ e o fundo em $z = -H(x, y)$. Neste sistema as equações de conservação e a equação de estado são escritas como:

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.1.1-1})$$

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left[A_M \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-3})$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{II.1.1-4})$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_{(H)} \quad (\text{II.1.1-5})$$

Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_S \quad (\text{II.1.1-6})$$

Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (\text{II.1.1-7})$$

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ + \frac{2g}{\rho_o} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-8})$$

Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x}(q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y}(q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z}(2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_q \frac{\partial}{\partial z}(q^2 l) \right] \\ + l E_1 K_M \left[\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \end{aligned} \quad (\text{II.1.1-9})$$

sendo,

$$F_{q^2, q^2 l} = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_H \frac{\partial q^2, q^2 l}{\partial y} \right) \quad (\text{II.1.1-10})$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (\text{II.1.1-11})$$

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{kL} \right)^2 \quad (\text{II.1.1-12})$$

onde

- U, V, W = componentes do vetor velocidade (m/s);
 F = parâmetro de Coriolis (s^{-1});
 ρ_0 = densidade de referência (kg/m^3);
 ρ = densidade *in situ* (kg/m^3);
 P = pressão (N/m^2);
 K_M = coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulenta (m^2/s);
 K_H = coeficiente cinemático vertical de difusão turbulenta de calor e sal (m^2/s);
 g = aceleração da gravidade (m/s^2);
 Θ = temperatura potencial ($^{\circ}C$);
 S = salinidade (PSU);
 A_M = coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulenta (m^2/s);
 A_H = coeficiente cinemático horizontal de difusão turbulenta de calor e sal (m^2/s);
 $q^2 / 2$ = energia cinética turbulenta;
 L = escala característica de comprimento para o movimento turbulento;
 \tilde{W} = função proximidade-do-contorno;

K = constante de von Karman ($k=0,4$);
 F_{q^2, q^2l} = termos horizontais de mistura para q^2 e q^2l .

II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E FORÇANTES

II.2.1 Batimetria

Os dados de profundidade da base batimétrica da **ASA SOUTH AMERICA** foram obtidos através da digitalização de cartas náuticas da DHN². Para a região da plataforma continental foram digitalizadas as cartas náuticas DHN números: 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e planície abissal foi também utilizada uma base batimétrica global³. O conjunto completo destes pontos é apresentado na figura II.2.1-1.

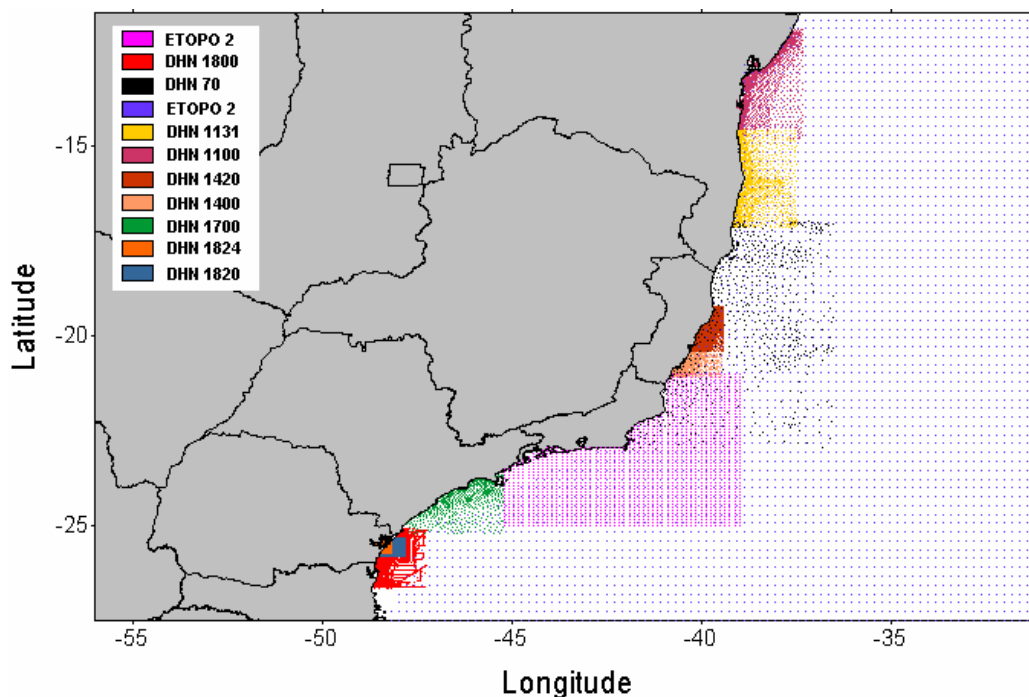


Figura II.2.1-1 - Pontos batimétricos utilizados na região da costa sudeste do Brasil.

² Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

³ ETOPO 2, National Geophysical Data Center (NGDC), da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Descontinuidades e ondulações decorrentes do uso de fontes diversas de dados foram previamente corrigidas. O conjunto final de dados batimétricos foi interpolado com uma resolução horizontal regular de aproximadamente 711 m. O resultado obtido nessa interpolação pode ser observado na figura II.2.1-2.

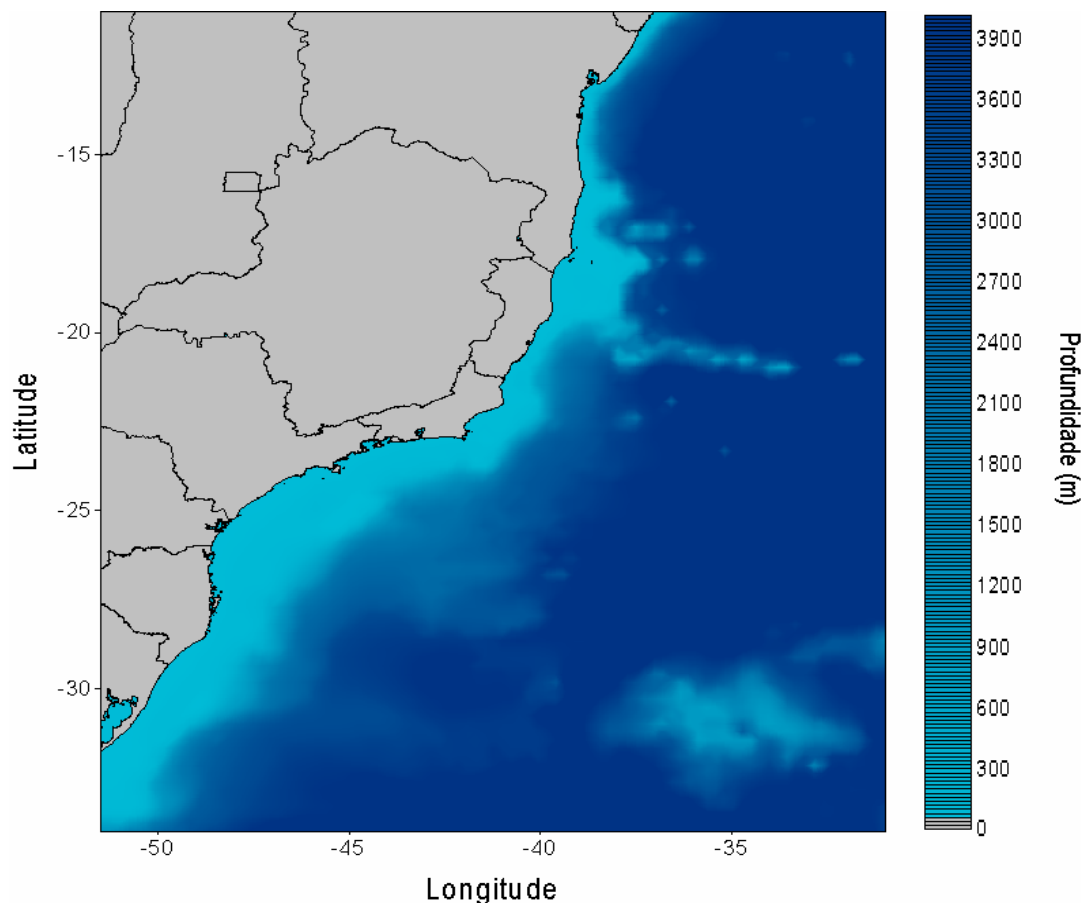


Figura II.2.1-2 - Batimetria interpolada para a região da grade da costa sudeste do Brasil.

Para a representação discreta do domínio definido para o modelo hidrodinâmico, foi utilizada uma grade curvilínea, ortogonal e com resolução horizontal variável. A grade geral implementada representa um compromisso entre a necessidade de descrever os processos hidrodinâmicos na região de interesse, os recursos computacionais e o tempo de processamento necessário. A figura II.2.1-3 mostra a grade computacional do modelo hidrodinâmico com detalhe na região de interesse.

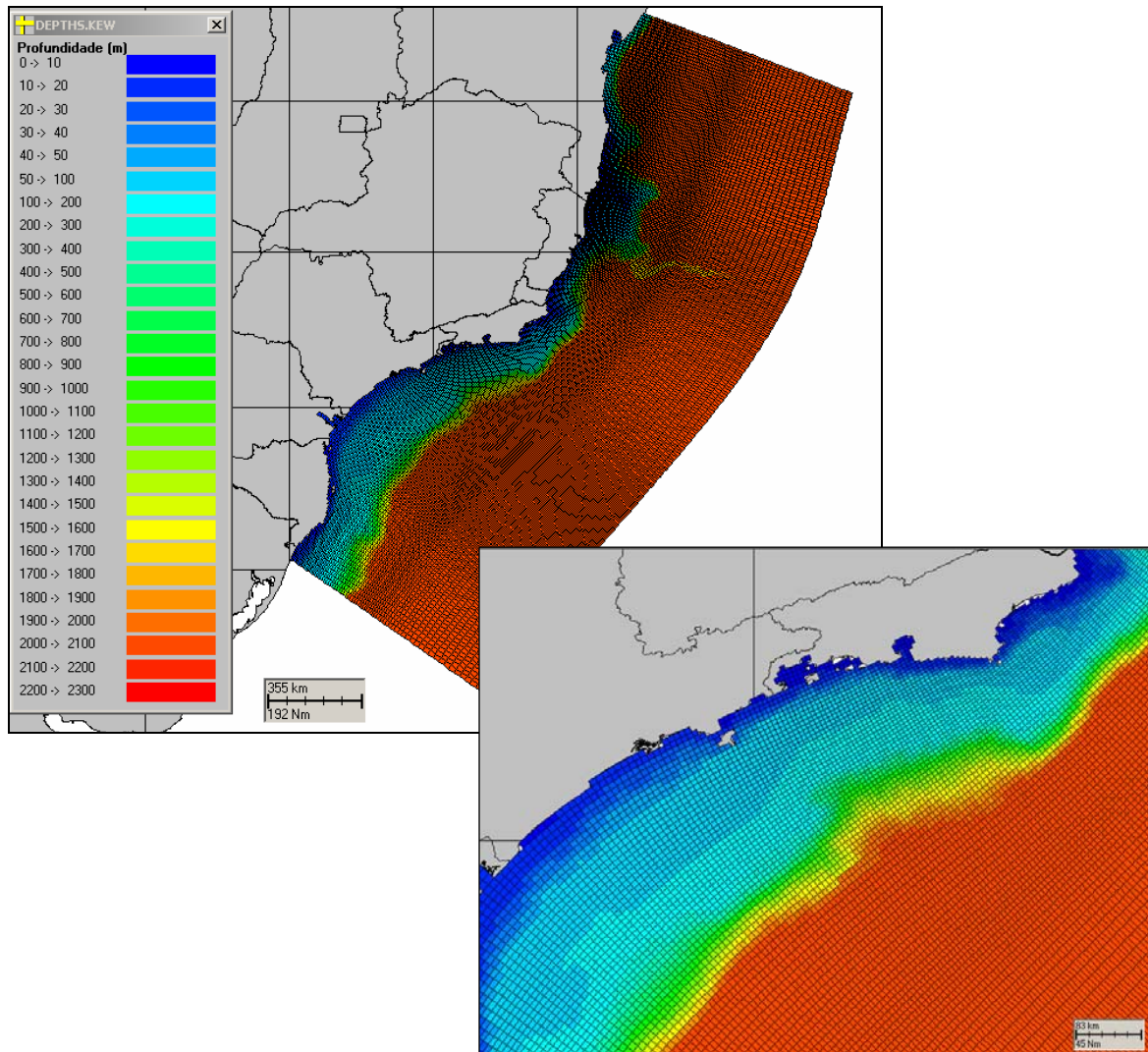


Figura II.2.1-3 - Grade computacional utilizada nas simulações da circulação hidrodinâmica da costa sudeste do Brasil, com detalhe na região de interesse.

II.2.2 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade, originários do WOCE⁴, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM, foram analisados, interpolados e projetados na grade 3D. As figuras II.2.2-1 e II.2.2-1 ilustram os padrões obtidos para a superfície, nos períodos de verão e inverno, enquanto as figuras II.2.2-3 e II.2.2-4 apresentam secções verticais ao longo de 25,6°S para estes períodos.

⁴ World Ocean Circulation Experiment – II.

Temperatura e salinidade no verão

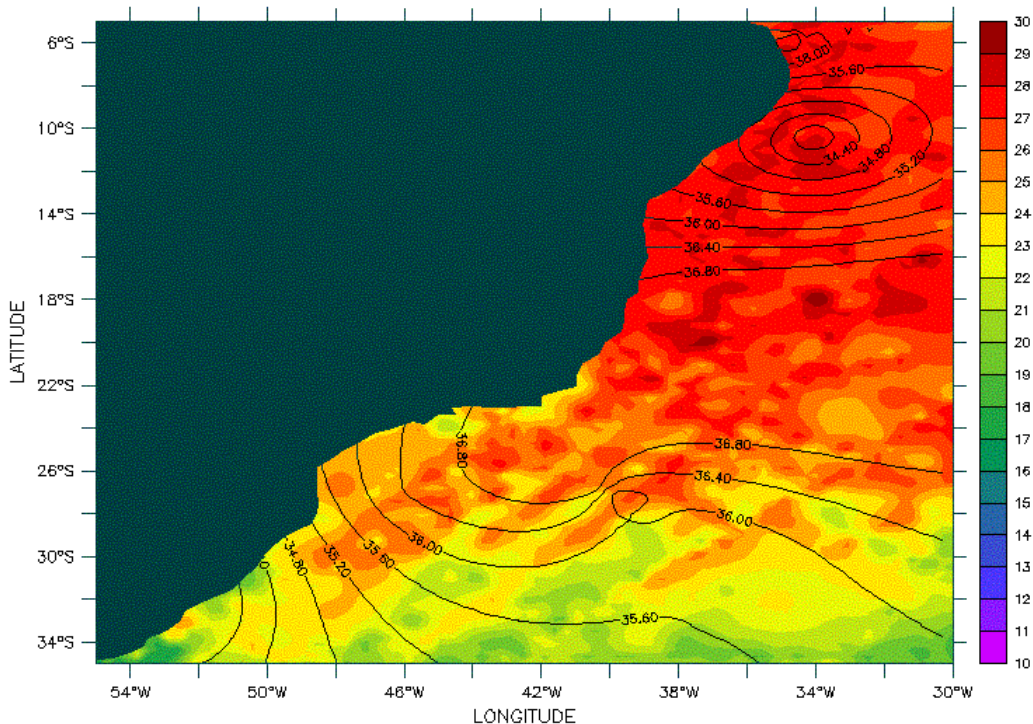


Figura II.2.2-1 - Temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, na superfície, para o verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

Temperatura e salinidade no inverno

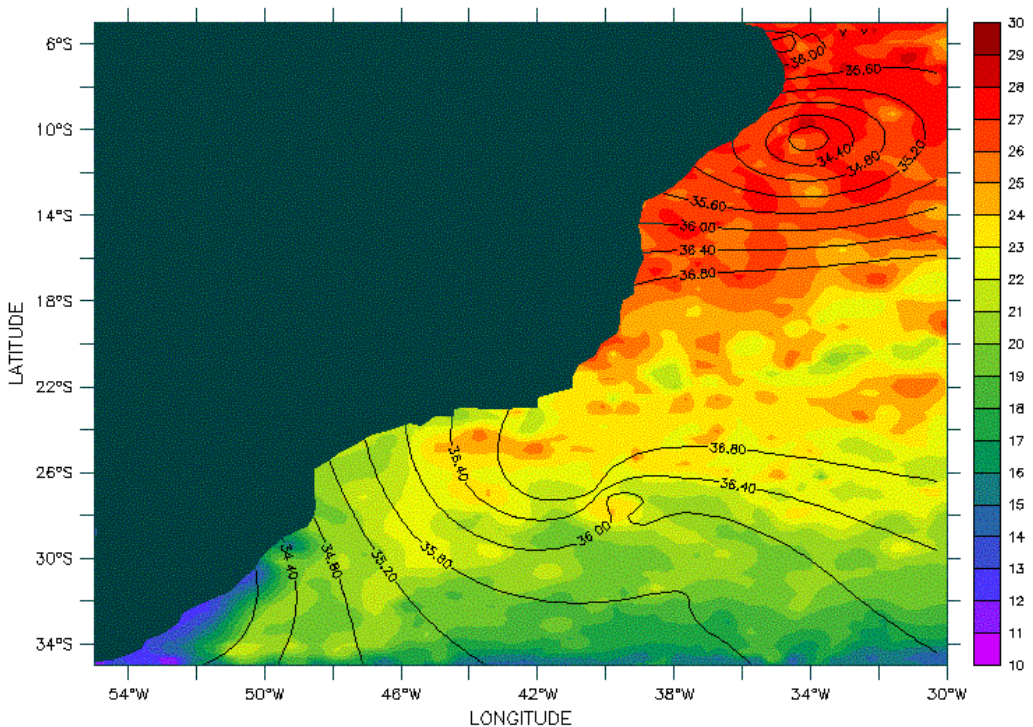


Figura II.2.2-2 - Temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, na superfície, para o inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

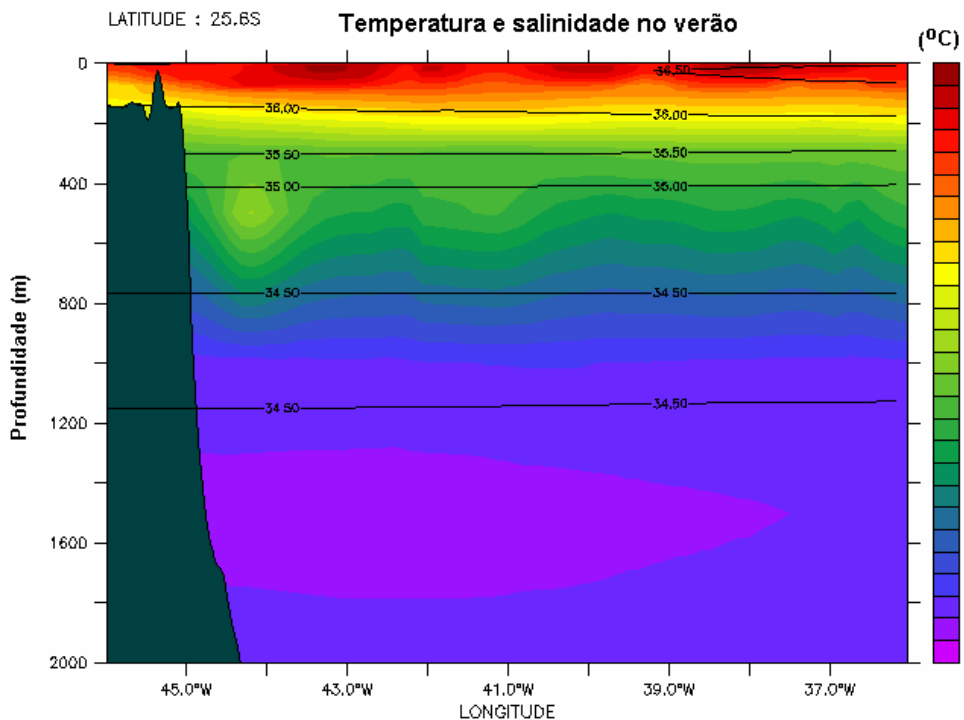


Figura II.2.2-3 - Secção vertical de temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, ao longo de 25,6°S, para o verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

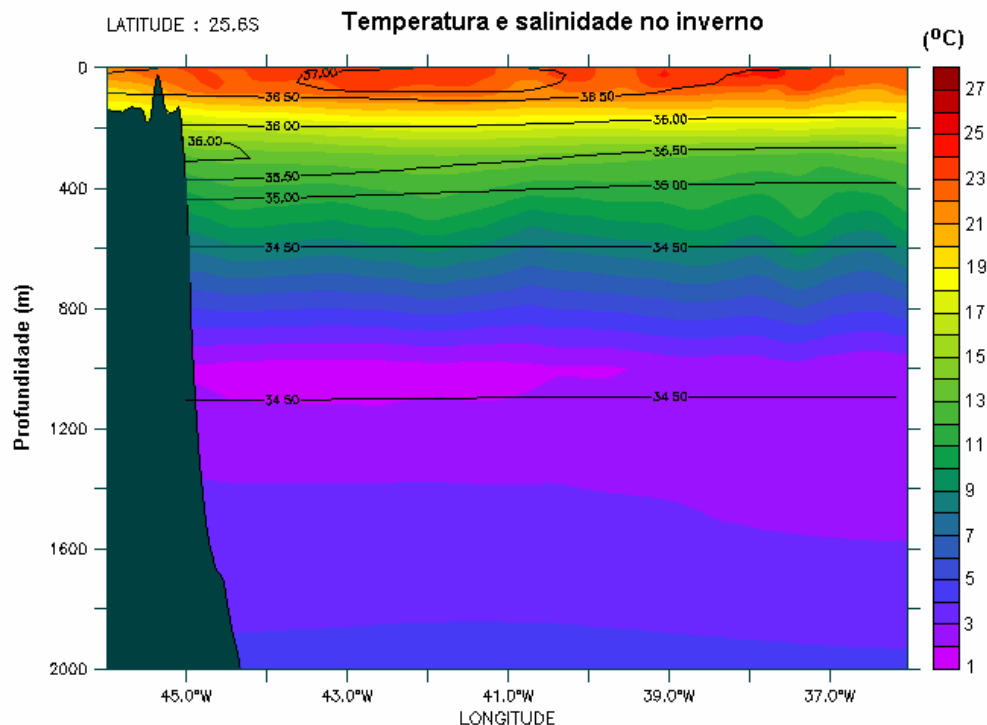


Figura II.2.2-4 - Secção vertical de temperatura (°C) com isolinhas de salinidade (PSU) sobrepostas, ao longo de 25,6°S, para o inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

II.2.3 Ventos

O campo de vento utilizado como forçante foi extraído das reanálises do modelo de circulação geral do NCEP para as simulações de calibração e de longo período. A figura II.2.3-1 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade do modelo.

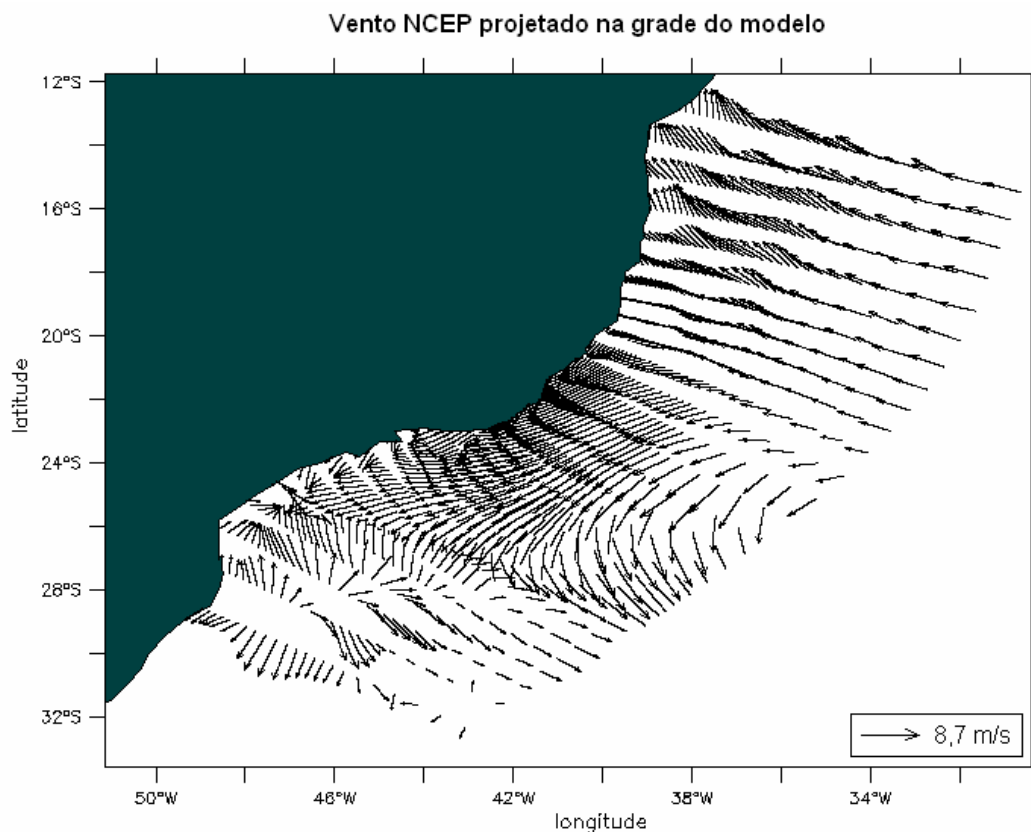


Figura II.2.3-1 - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

II.2.4 Marés

Embora usadas somente nos contornos abertos (não se ativou o potencial de maré neste domínio, devido à relativamente pequena escala para o fenômeno), o campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é projetado em toda a grade, de tal forma que permita focalizações automáticas em áreas de interesse (redução eventual do domínio).

Foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da M_2 . Nesta área as principais componentes nas bandas diurnas e semi-diurnas são M_2 , S_2 , K_2 , N_2 , O_1 , Q_1 , K_1 . A figura II.2.4-1 apresenta um exemplo para a amplitude da componente M_2 , com as isolinhas de fase sobrepostas, ambas projetadas na grade do modelo.

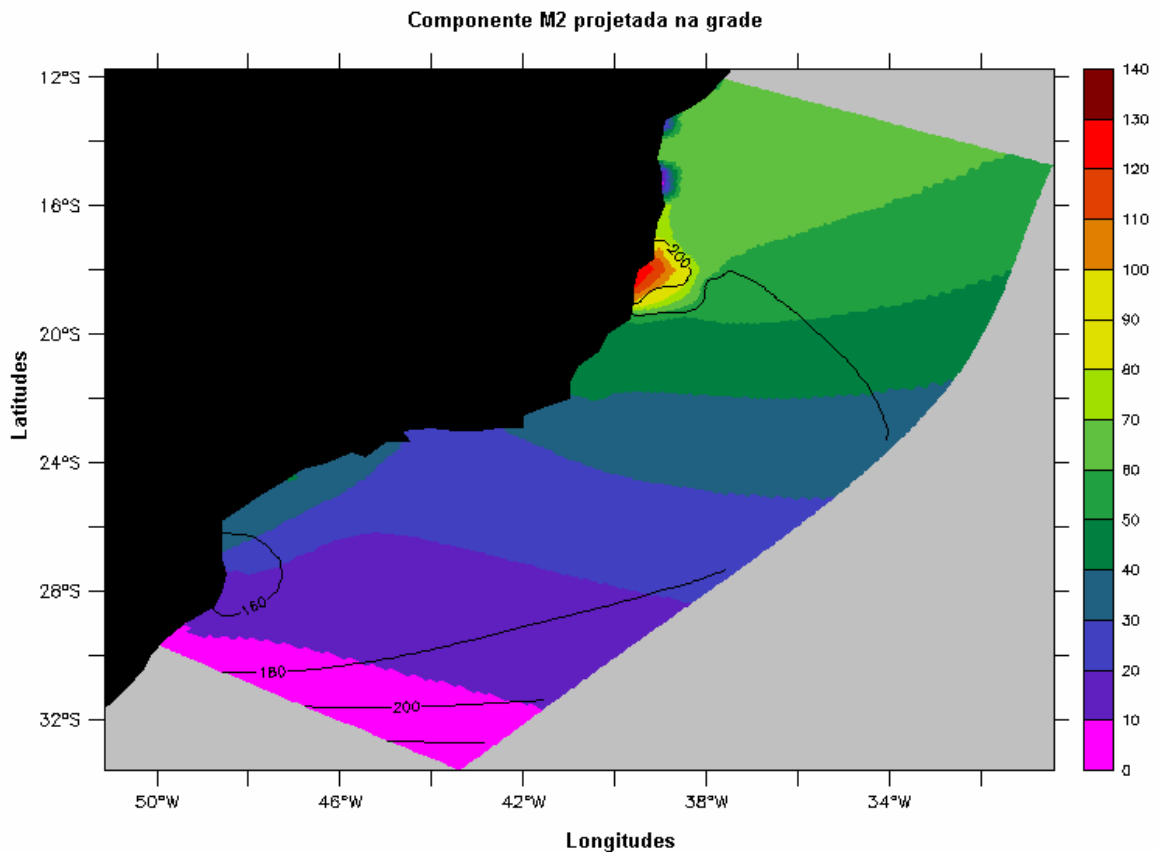


Figura II.2.4-1 - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

III MODELAGEM DO DESCARTE DE CASCALHO E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

A modelagem de cascalho foi realizada utilizando-se o modelo MUDMAP, desenvolvido pela **ASA**, constituído por um sistema de modelos computacionais para a previsão do transporte, dispersão e deposição de cascalhos e fluidos de perfuração e dispersão de águas de produção (ASA, 2000; Spaulding *et al.*, 1994; Spaulding, 1994).

III.1 MODELO MUDMAP

O modelo MUDMAP é composto por uma série de componentes integrados. O modelo de descarte em si simula o movimento e a distribuição de materiais descartados no ambiente (na superfície e coluna d'água e no assoalho oceânico). Para efetuar esses cálculos, o modelo baseia-se em dados ambientais como correntes e propriedades de densidade da coluna d'água, dados geográficos como proximidade da linha de costa e parâmetros físicos que definem as propriedades do material descartado, além de informações sobre o processo de descarte (volume, duração, etc.).

As espessuras médias de material depositado são calculadas em função das partículas acumuladas no assoalho oceânico e da área onde estas estão distribuídas. No cálculo das espessuras, leva-se em consideração a massa total de sedimento presente em cada célula da grade, a área da célula, a porosidade e a densidade do material descartado.

O sistema é controlado através de uma interface gráfica (baseada em uma escala de cores), que consiste em: (1) um sistema integrado de modelos computacionais, de forma a permitir a interação entre os modelos de dispersão no campo próximo e no campo afastado, (2) um sistema de informação geográfica, (3) ferramentas de gerenciamento de informações ambientais para fornecer os dados de entrada dos modelos e (4) uma interface para visualização dos resultados.

III.1.1 Aspectos Teóricos

As equações que governam o modelo (conservação de massa, quantidade de movimento, empuxo e fluxo de partículas sólidas) são formuladas utilizando-se a teoria integral de pluma e, então, resolvidas com a técnica de integração numérica Runge Kutta.

O MUDMAP é baseado na formulação originalmente desenvolvida por Koh & Chang (1973) e estendida pelos trabalhos de Brandsma & Sauer (1983), conhecido como modelo OOC, para os estágios 1 e 2 do movimento da pluma. No campo afastado (difusão passiva) é empregado o método lagrangiano de trajetória de partículas utilizado no sistema de modelagem de derrames de óleo OILMAP (ASA, 1999). O modelo fornece a dinâmica da pluma, a distribuição das concentrações no campo próximo, a concentração e os padrões de deposição no fundo no campo afastado.

O sistema MUDMAP utiliza três estágios independentes, mas integrados, para a simulação do transporte e dispersão dos materiais descartados. A independência é necessária devido às diferentes escalas de tempo do processo de diluição da pluma entre os estágios. Dessa forma, os estágios são:

- **Estágio 1 - convectivo dinâmico descendente/ascendente:** simula a diluição e o espalhamento iniciais do material na vizinhança imediata do local de despejo. O material descende se for mais denso que a água no ponto de descarte e ascende se a densidade for menor que a da água;
- **Estágio 2 - colapso dinâmico:** estima o crescimento e diluição da pluma e como esta impacta a superfície ou o fundo, ou se mantém aprisionada por um forte gradiente de densidade na coluna d'água;
- **Estágio 3 – dispersivo (campo afastado):** onde o modelo simula o transporte e dispersão do material devido às correntes locais e campos de turbulência.

III.2 DADOS DE ENTRADA

Inicialmente, para a elaboração dos cenários de descarte de cascalho e fluidos de perfuração na Bacia de Santos, foi definida a área de estudo para os pontos de descarte. Nessa área, foi estabelecida uma grade computacional (*i.e.* campo de correntes) e definido o campo termohalino, fundamental para o cálculo das velocidades de deposição das partículas descartadas.

III.2.1 Campo de Correntes

O campo de correntes utilizado foi obtido a partir dos resultados do modelo hidrodinâmico descrito no Capítulo II. A figura III.2.1-1 apresenta o perfil médio de correntes para o ponto de descarte.

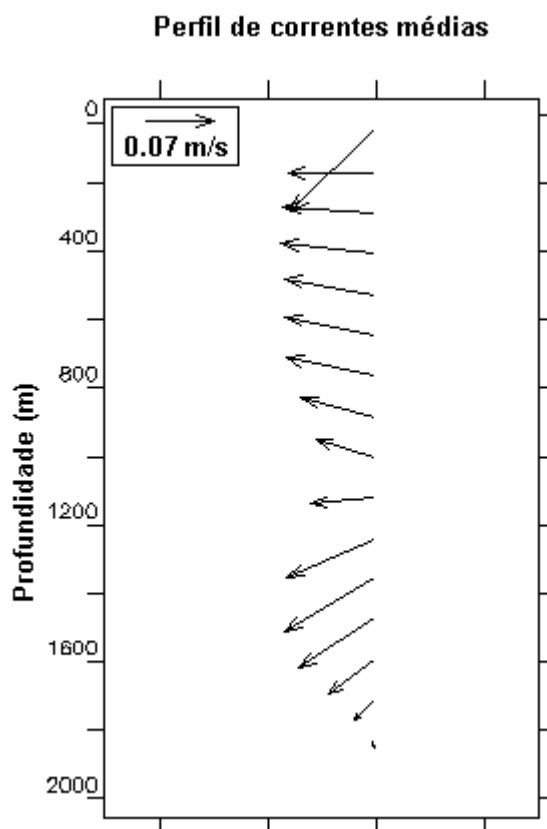


Figura III.2.1-1 - Perfil médio de correntes calculado para o ponto de descarte localizado no Bloco BM-S-8.

III.2.2 Campo Termohalino

A figura III.2.2-1 apresenta uma secção vertical ao longo de 25,6°S do campo de densidade médio calculado para a região do poço em estudo, com base em dados de temperatura e salinidade obtidos do Atlas Eletrônico dos dados do WOCE. Estes dados foram analisados, filtrados e interpolados no espaço. A tabela III.2.2-1 apresenta o perfil de densidade obtido para a região do Bloco BM-S-8, utilizado como dado de entrada no MUDMAP.

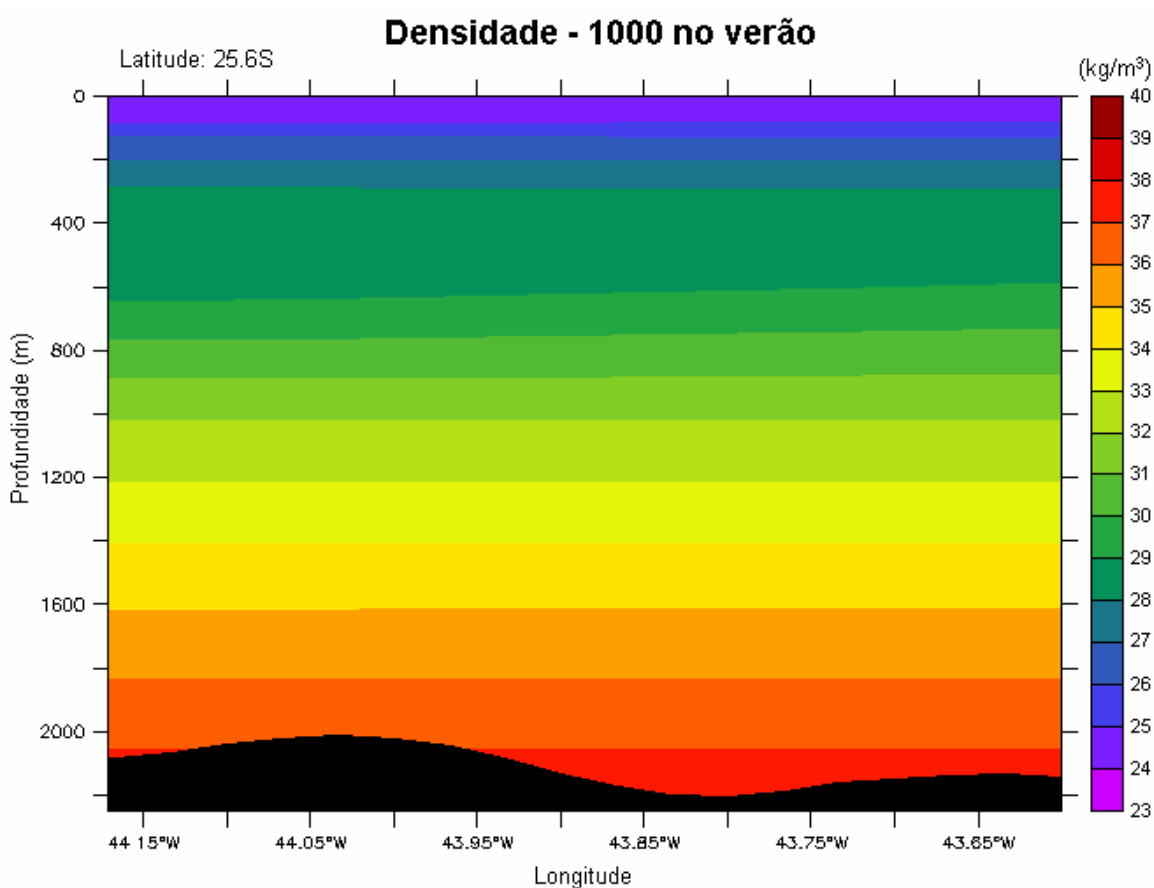


Figura III.2.2-1 - Secção vertical de densidade (kg/m³) ao longo de 25,6°S, na região do Poço B, Bloco BM-S-8. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

Tabela III.2.2-1 - Perfil médio de densidade para a região do Poço B, Bloco BM-S-8.

PROFUNDIDADE (m)	DENSIDADE (kg/m ³)
0	1024,2
10	1024,0
25	1024,1
50	1024,3
75	1024,6
100	1025,6
200	1026,9
300	1028,1
500	1028,1
1.000	1031,9
1.500	1034,5
2.000	1036,7

III.3 CENÁRIOS DE DESCARTE DE PARTÍCULAS

Os cenários simulados foram definidos de forma a abranger condições médias na região onde se localiza o Bloco BM-S-8. As informações que definem os cenários de descarte são: ponto de descarte, período de simulação, informações sobre o processo de descarte e propriedades do material descartado.

III.3.1 Pontos de Descarte

As simulações do descarte de partículas foram realizadas na região da Bacia de Santos, no Poço B, indicado na figura I.1-1, cujas coordenadas foram especificadas pela PETROBRAS como 25°38'08"S e 43°34"W (*datum* SAD69), em local com lâmina d'água de 2.130 m.

III.3.2 Especificações dos Processos de Perfuração e Descarte

O processo de perfuração é dividido em duas etapas: sem *riser* e com *riser*. Até a instalação do *riser*, não existe retorno de cascalhos para a sonda e todo o material retirado do poço é descartado no fundo do mar, depositando-se próximo

à cabeça do poço. A perfuração com *riser* corresponde à etapa com retorno de fluido de perfuração e cascalho para a superfície, sendo o descarte realizado na superfície do mar.

O processo de perfuração do Poço B, Bloco BM-S-8, será composto por cinco fases distintas: Fases I e II sem *riser*, e Fases III, IV e V com *riser*.

O início da perfuração se dará por jateamento (diâmetro da broca de 36”), com a utilização de água do mar e intervalo de 70 m. Na Fase II a perfuração será realizada com broca de 26”, perfurando um intervalo de 500 m e utilizando o fluido convencional.

A Fase III será perfurada com uma broca de 17½” de diâmetro e espaçador de 22”, com intervalo de 1.150 m, utilizando o fluido de perfuração salgado (KCl) tratado com polímero catiônico. Na Fase IV será perfurado um intervalo de 2.200 m com broca de 14¾” de diâmetro e espaçador de 16”, utilizando o fluido de perfuração BR-MUL (sintético). Na Fase V será utilizada uma broca de 8½” de diâmetro para perfurar um intervalo de 450 m, utilizando o fluido salgado (KCl) tratado com polímero catiônico.

Nas simulações das Fases II, III e V foram considerados nas simulações os volumes de fluido aderidos ao cascalho, além do fluido excedente descartado ao final de cada fase. Na Fase IV, devido ao uso de fluido sintético, o volume excedente será retornado ao fabricante e, portanto, foi simulado apenas o descarte do fluido aderido ao cascalho.

III.3.3 Caracterização do Cascalho e Fluidos de Perfuração

A tabela III.3.3-1 apresenta os volumes e a caracterização do cascalho e fluidos de perfuração descartados no poço estudado, segundo informações fornecidas pela PETROBRAS e provenientes do banco de dados da [ASA SOUTH AMERICA](#). Vale ressaltar todos os fluidos descartados são de base aquosa.

As velocidades de deposição das partículas foram calculadas segundo os pressupostos em Dyer (1986), Lima & Luz (2001) e Luz & Lima (2001). Nesses cálculos são considerados o tamanho das partículas, a densidade do material, a densidade do meio onde este será descartado, além da viscosidade dinâmica da água.

Tabela III.3.3-1 - Especificações do descarte de cascalho e fluidos de perfuração para o Poço B, Bloco BM-S-8.

FASE	DIÂMETRO DA BROCA	INTERV. DA FASE (m)	DURAÇÃO DO DESCARTE (horas)	PROF. DO DESCARTE (m)	MATERIAIS	TIPO DE FLUIDO	VOLUME EFETIVAMENTE DESCARTADO (m ³)	DENS. MÉDIA (kg/m ³)	CONSTITUINTES SÓLIDOS	DENS. DOS SÓLIDOS (kg/m ³)	CONC. DE SÓLIDOS NO FLUIDO (kg/m ³)	TAMANHO MÉDIO DA PARTÍCULA (mm)	MASSA PERCENTUAL (%)	VEL. DE DEPOSIÇÃO (cm/s)
I	36"	70	72	fundo do mar	cascalho	-	46	2.500	folhelho/argilito	2.500	-	1,0 – 6,5	54	39,7569
												6,5 – 12,5	40	72,3749
												12,5 – 18,0	5	92,0064
												> 18,0	1	96,8191
II	26"	500	48	fundo do mar	cascalho	-	171	2.500	folhelho/argilito	2.500	-	1,27	10	13,4317
												6,35	50	59,4663
					fluido excedente*	convencional	286	1.140	bentonita	2.250	71,5	0,001 – 0,01	50	0,0032
												0,01 – 0,07	50	0,0481
III	17 ½"	1.150	106	superfície do mar	cascalho	-	282	2.483	folhelho/argilito arenito marga calcilito halita	2.500 2.400 2.500 2.500 2.160	-	1,27	10	13,4381
												8,89	50	70,2304
												12,70	40	83,9414
					fluido aderido	KCl com polímero	301	1.440	baritina	4.200	630,2	0,001 – 0,01	50	0,0025
fluido excedente**	905	0,01 – 0,07	50	0,1270										
IV	14 ¾"	2.200	318	superfície do mar	cascalho	-	285	2.169	halita calcilito	2.160 2.500	-	2,54	10	20,2116
												6,35	50	52,5426
												10,16	40	66,4617
					fluido aderido	BR-MUL	20	1.320	baritina	4.200	691,1	0,001 – 0,01	50	0,0025
												0,01 – 0,07	50	0,1270
V	8 ½"	450	107	superfície do mar	cascalho	-	16	2.556	calcilito coquina folhelho	2.500 2.710 2.500	-	2,54	10	22,4351
												6,35	50	57,6330
												10,16	40	72,9006
					fluido aderido	KCl com polímero	234	1.440	baritina	4.200	4.200	0,001 – 0,01	50	50
fluido excedente**	704	0,01 – 0,07	50	50										

* No caso da Fase II, sem *riser*, o descarte do fluido excedente foi considerado/simulado em conjunto com o descarte do cascalho e fluido aderido.

** Nas simulações de descarte de fluidos excedentes das Fases III e V (com *riser*), considerou-se o descarte de todo o volume de fluidos instantaneamente, ou seja, no instante inicial da simulação.

III.3.4 Descrição dos Cenários

A tabela III.3.4-1 apresenta os cenários elaborados para as simulações de descarte de cascalho e fluidos de perfuração selecionados para caracterizar as operações de perfuração realizadas no Bloco BM-S-8. Ao todo, foram simulados 8 cenários contemplando: **1 ponto de descarte, 5 fases de perfuração** (sem e com riser) e **3 descartes de fluidos excedentes** (Fases III e IV).

A terminologia utilizada para a identificação dos cenários é a seguinte:

- BMS8 indica o bloco onde será perfurado o poço;
- B identifica o nome do Poço B;
- FI, FII, FIII, FIV e FV indicam as fases de perfuração/descarte;
- EXCE indica o descarte de fluidos excedentes das fases com riser.

Tabela III.3.4-1 - Cenários elaborados para o estudo de cascalho e fluidos de perfuração no Bloco BM-S-8 para o Poço B.

FASES	POÇO B
FASE I	BMS8_B_FI
FASE II	BMS8_B_FII
	BMS8_B_FII_EXCE
FASE III	BMS8_B_FIII
	BMS8_B_FIII_EXCE
FASE IV	BMS8_B_FIV
FASE V	BMS8_B_FV
	BMS8_B_FV_EXCE

Como os descartes de fluidos e cascalhos geram plumas de concentração de sólidos na coluna d'água, principalmente quando são lançados grandes volumes em curto espaço de tempo, foram realizadas simulações para determinar essas concentrações. Nestas foram contemplados somente os descartes de fluidos excedentes, das fases sem (Fase II) e com riser (Fases III e V).

Portanto, nas simulações de descarte de fluidos excedentes, considerou-se o descarte de todo o volume de fluidos instantaneamente, ou seja, no instante inicial da simulação. A duração total das simulações, neste caso, foi de quatro dias, para avaliar a dispersão e diluição da pluma de sólidos em suspensão ao longo do tempo.

Uma vez que os descartes de fluidos aderidos aos cascalhos das fases com *riser* apresentam menores volumes e a duração dos mesmos são maiores (mais que 100 horas) estas simulações não foram realizadas, pois seriam geradas concentrações de sólidos inferiores às observadas nos descartes de fluidos excedentes.

IV RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O modelo MUDMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no item III.3.4 e fornecer informações sobre a distribuição espacial de partículas no fundo e as concentrações de sólidos na coluna d'água durante as operações de descarte de cascalhos e fluidos de perfuração no Bloco BM-S-8.

A tabela IV-1 fornece as características da deposição de material calculadas pelo MUDMAP para o ponto de descarte simulado. A tabela lista a área coberta por depósitos de sedimento com espessuras maiores que 1 mm, a extensão horizontal máxima do ponto de descarte até o contorno da mesma espessura e a espessura máxima depositada nessa região.

O critério de corte em 1 mm foi definido em função da metodologia de cálculo de espessura adotada pelo modelo. Como descrito no item III.1, a espessura é função da massa de sedimentos, área depositada, porosidade e densidade das partículas descartadas. Desta forma, como o volume de material descartado é pequeno em relação à profundidade local e área de deposição, o cálculo de espessuras médias não permite uma resolução significativa para valores inferiores a 1 mm.

Tabela IV-1 - Máximas espessuras depositadas e áreas cobertas por sedimentos com espessuras maiores que 1 mm para o Poço B, Bloco BM-S-8.

FASE	ÁREA (m ²) COBERTA POR ESPESSURAS ≥ 1 mm	EXTENSÃO MÁXIMA HORIZONTAL (m) A PARTIR DO DE DESCARTE ATÉ O CONTOURNO DE 1 mm	ESPESSURA MÁXIMA DEPOSITADA (mm)
I	533	20 (NE)	597,00
II	1.100	25 (NE)	1.970,00
III	327.158	540 (SW)	6,30
IV	627.986	790 (SW)	6,17
V	–	–	0,40
TOTAL	627.986	790 (SW)	2.450,00

As tabelas IV-2 a IV-4 fornecem as características e concentrações dos sólidos presentes na coluna d'água calculadas pelo MUDMAP para o descarte de fluidos excedentes das Fases II, III e V. As tabelas listam a área total da pluma e a concentração máxima de sólidos na coluna d'água ao longo da simulação.

Tabela IV-2 - Área total da pluma e concentrações máximas de sólidos na coluna d'água para o descarte de fluidos excedentes da Fase II (sem riser) do Poço B, Bloco BM-S-8.

TEMPOS	ÁREA TOTAL (km ²) DA PLUMA	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (mg/L) NA COLUNA D'ÁGUA
10 min	0,55	0,115
1 hora	1,00	0,088
6 horas	3,56	0,032
12 horas	6,13	0,016
24 horas	11,00	0,008
2 dias	23,80	0,004
4 dias	50,20	0,002

Tabela IV-3 - Área total da pluma e concentrações máximas de sólidos na coluna d'água para o descarte de fluidos excedentes da Fase III (com riser) do Poço B, Bloco BM-S-8.

TEMPOS	ÁREA TOTAL (km ²) DA PLUMA	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (mg/L) NA COLUNA D'ÁGUA
10 min	0,40	40,00
1 hora	0,84	17,00
6 horas	3,38	4,00
12 horas	5,83	2,20
24 horas	11,37	1,20
2 dias	31,32	0,50
4 dias	121,00	0,25

Tabela IV-4 - Área total da pluma e concentrações máximas de sólidos na coluna d'água para o descarte de fluidos excedentes da Fase V (com riser) do Poço B, Bloco BM-S-8.

TEMPOS	ÁREA TOTAL (km ²) DA PLUMA	CONCENTRAÇÃO MÁXIMA (mg/L) NA COLUNA D'ÁGUA
10 min	0,40	30,00
1 hora	0,84	12,50
6 horas	3,38	3,20
12 horas	5,83	1,80
24 horas	11,37	1,00
2 dias	31,32	0,38
4 dias	121,00	0,18

A seguir, são apresentados graficamente os resultados obtidos nas simulações com o MUDMAP. Para facilitar a compreensão dos resultados, são apresentadas as distribuições espaciais do cascalho e fluidos de perfuração ao final de cada fase e ao final das operações de descarte no Poço B. São Também apresentados os resultados referentes às concentrações de sólidos em suspensão dos descartes de fluidos excedentes para as fases sem *riser* (Fase II) e com *riser* (Fases III e V).

IV.1 Fase I

A figura IV.1-1 apresenta os resultados da simulação para a Fase I (sem *riser*) do descarte de partículas do Poço B. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 60 cm, e a área de deposição está distribuída em 533 m². As maiores espessuras concentram-se nas proximidades (2 m a nordeste) do ponto de descarte.

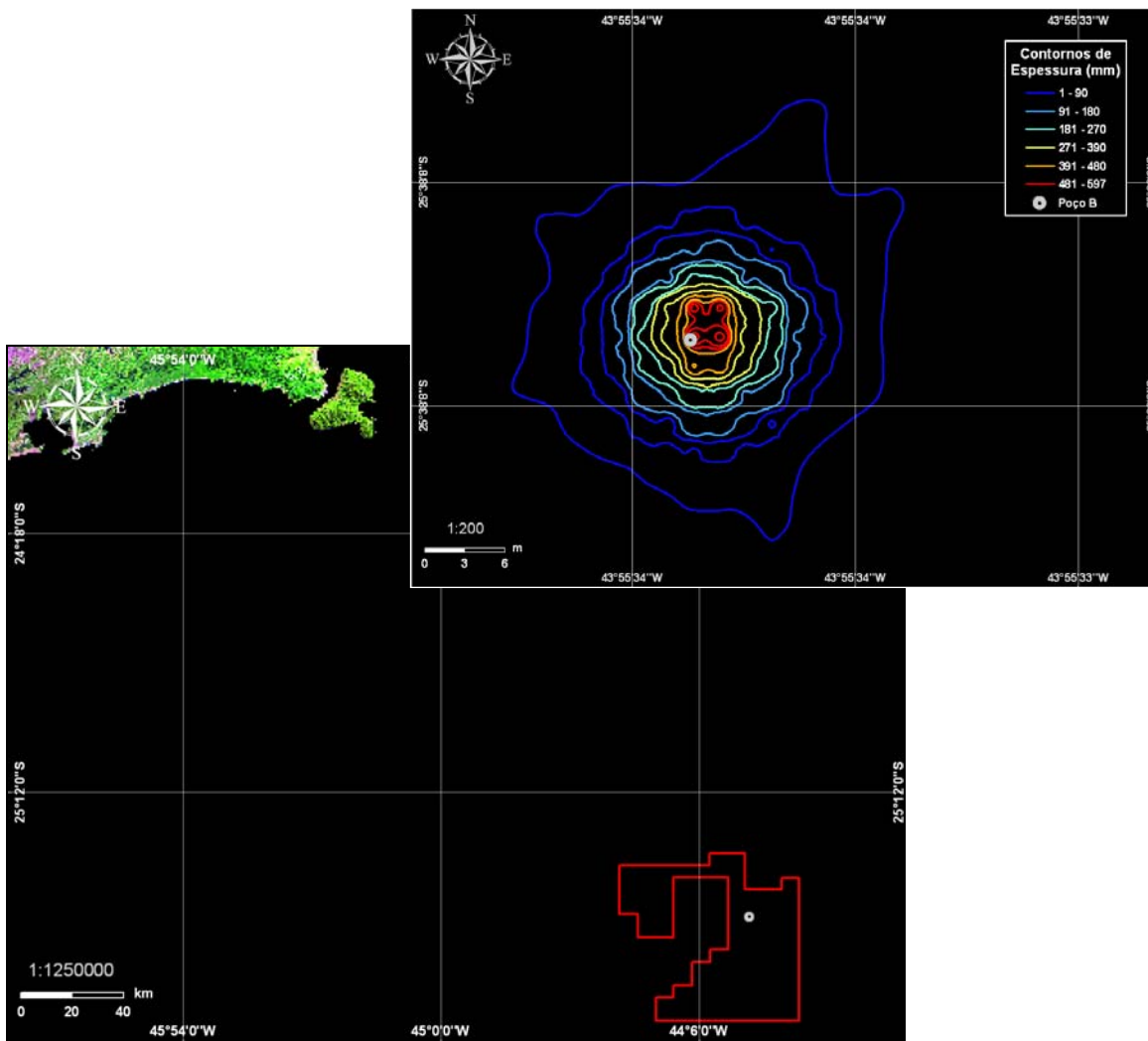


Figura IV.1-1 - Cenário BMS8_B_FI. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem riser).

IV.2 Fase II

A figura IV.2-1 apresenta os resultados da simulação para a Fase II (sem riser) do descarte de partículas do Poço B. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de 197 cm, e a área de deposição está distribuída em 1.100 m². As maiores espessuras concentram-se nas proximidades (em média, 2 m a leste) do ponto de descarte.

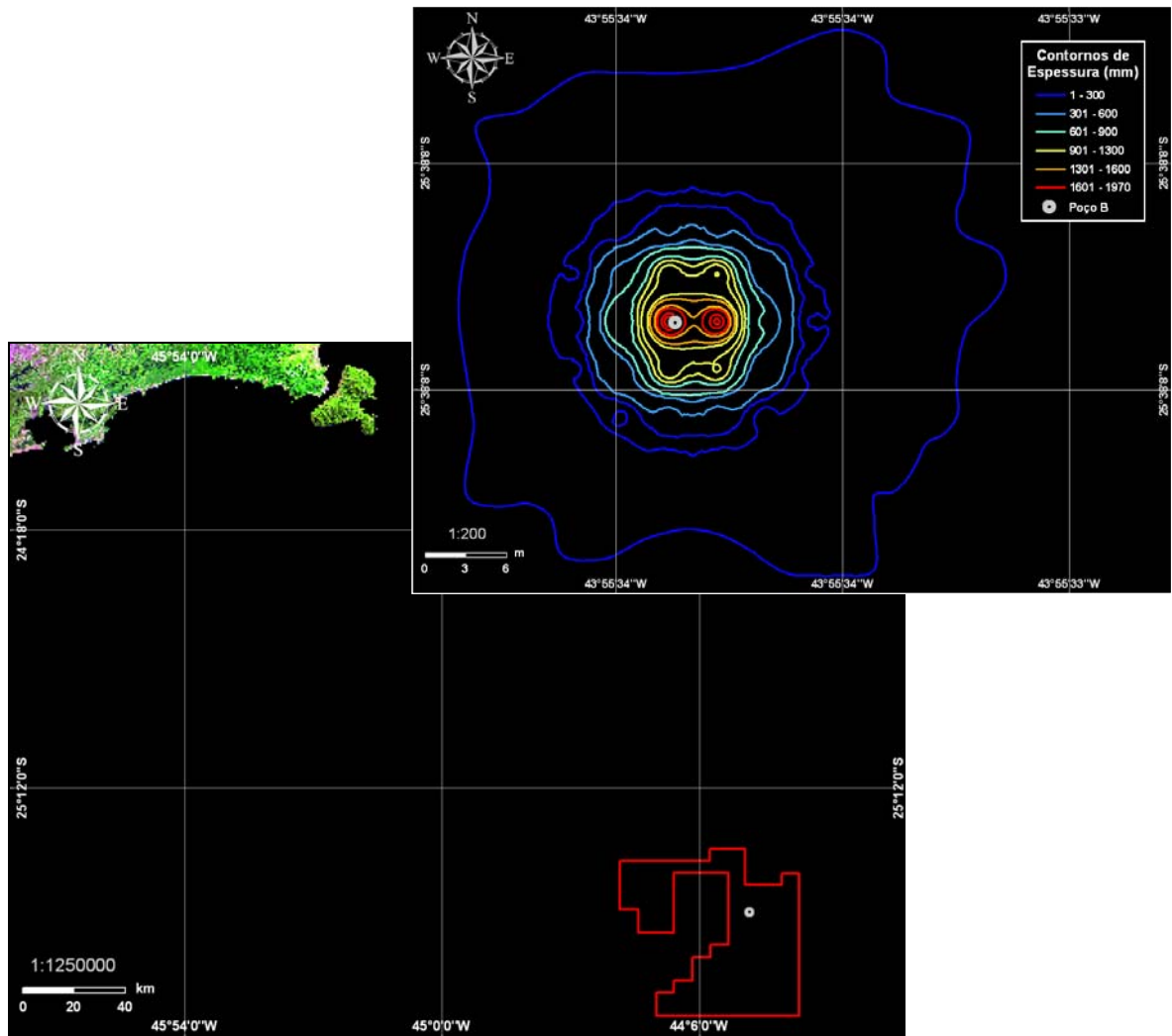


Figura IV.2-1 - Cenário BMS8_B_FII. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase II (diâmetro de 26", sem riser).

Como a simulação do descarte de fluido excedente da Fase II apresentou concentrações de sólidos na coluna d'água inferiores a 1 mg/L, não são apresentadas figuras ilustrativas para este cenário. Os resultados mostraram que 50% do volume é depositado no fundo e os outros 50% permanecem próximo ao fundo em concentrações de no máximo 0,115 mg/L, logo após o descarte, decrescendo rapidamente ao longo do tempo e atingindo concentrações inferiores a 0,004 mg/L a partir do segundo dia de simulação. A direção preferencial de dispersão da pluma foi para leste-nordeste.

IV.3 Fase III

As figuras IV.3-1 e IV.3-2 apresentam os resultados da simulação para a Fase III (com *riser*) do descarte de partículas do Poço B. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 6 mm, e a área de deposição está distribuída em 327.158 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 180 m a oeste-sudoeste do ponto de descarte.

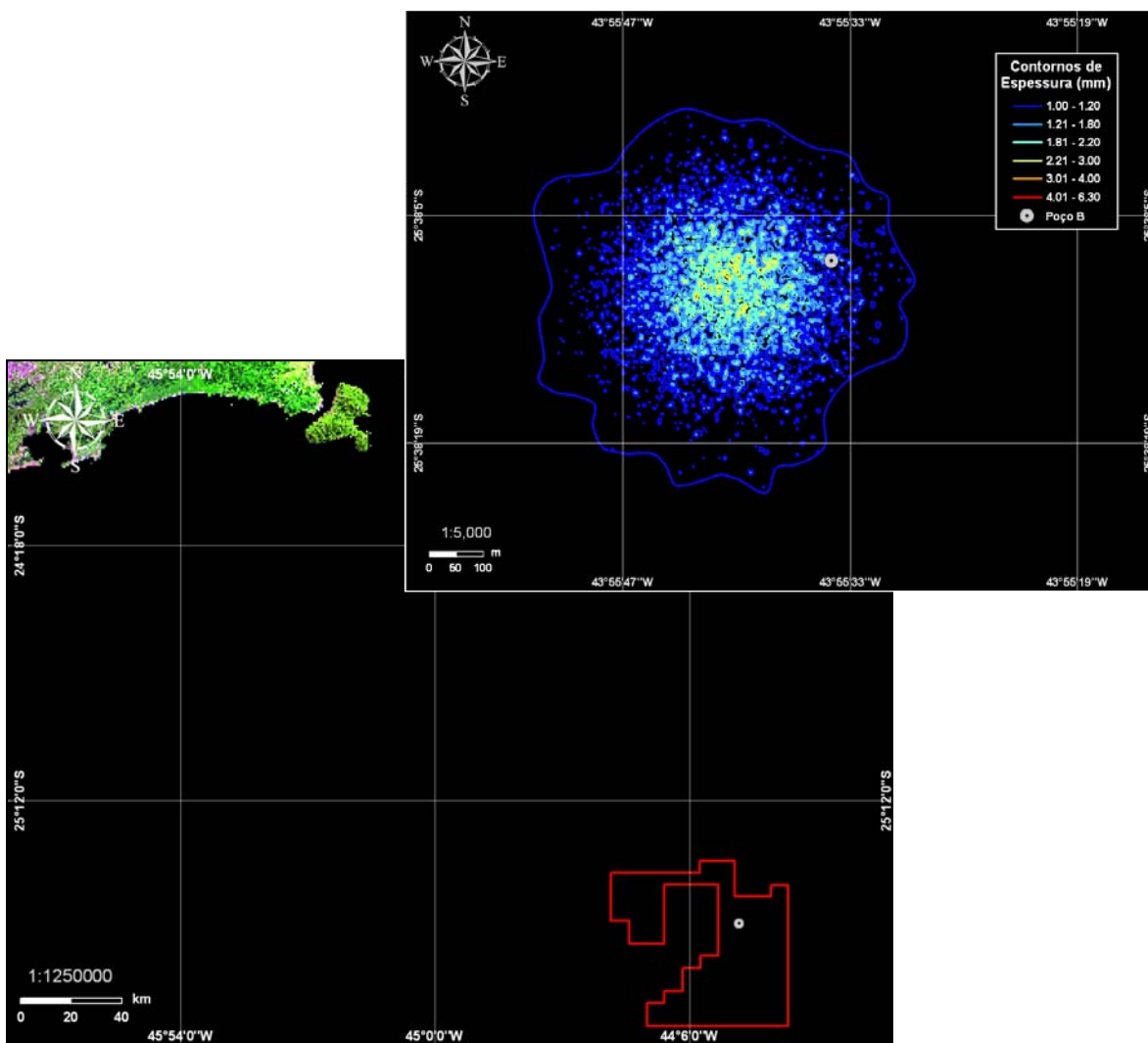


Figura IV.3-1 - Cenário BMS8_B_FIII. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser).

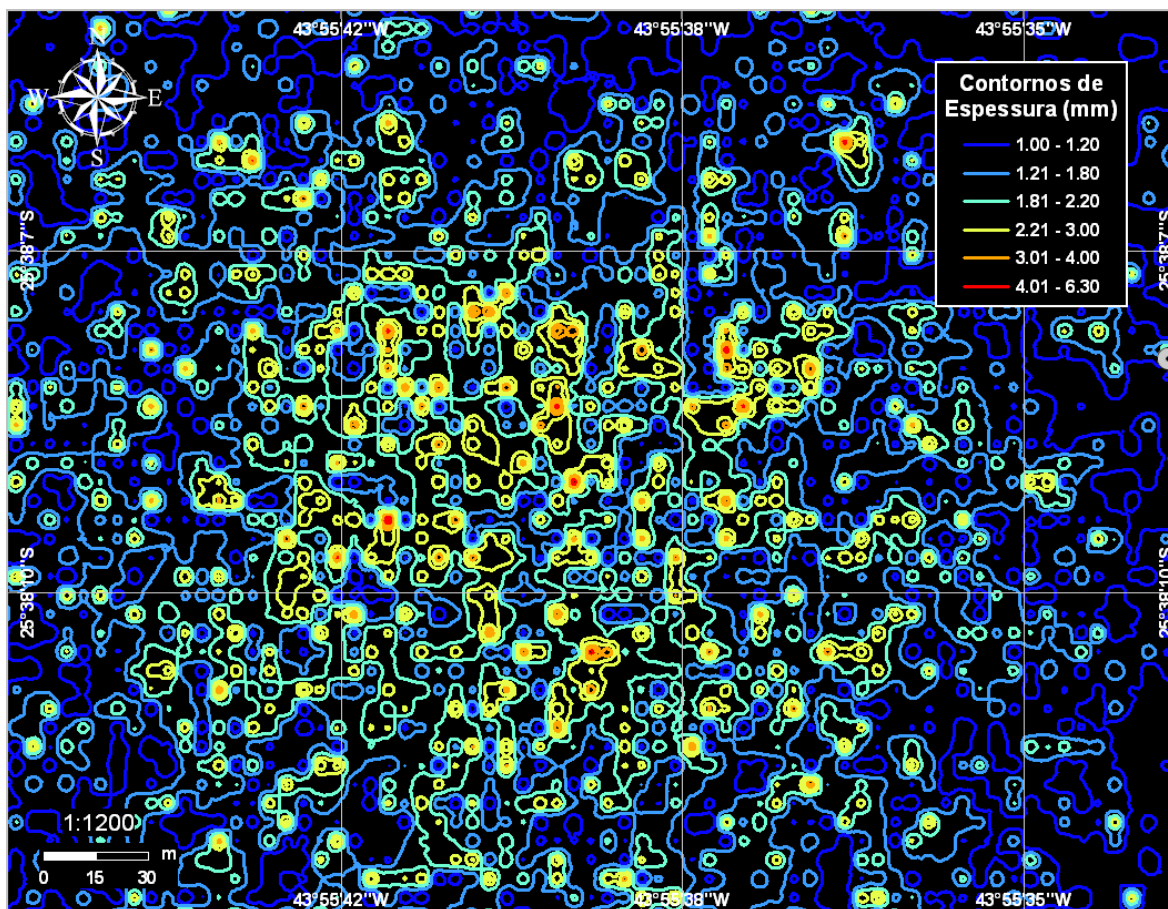


Figura IV.3-2 - Detalhe da figura IV.3-1.

As figuras IV.3-3 a IV.3-9 apresentam as concentrações de sólidos na coluna d'água resultantes do descarte de fluido excedente da Fase III, do Poço B. As figuras apresentam as concentrações para os instantes correspondentes a 10 min, 1 h, 6 h, 12 h, 24 h, 2 dias e 4 dias após o início da simulação. Observa-se que as concentrações máximas calculadas foram de 40 mg/L, logo após o descarte, decrescendo rapidamente ao longo do tempo e atingindo concentrações inferiores a 1 mg/L a partir do segundo dia de simulação. A direção preferencial de dispersão da pluma foi para oeste-sudoeste.

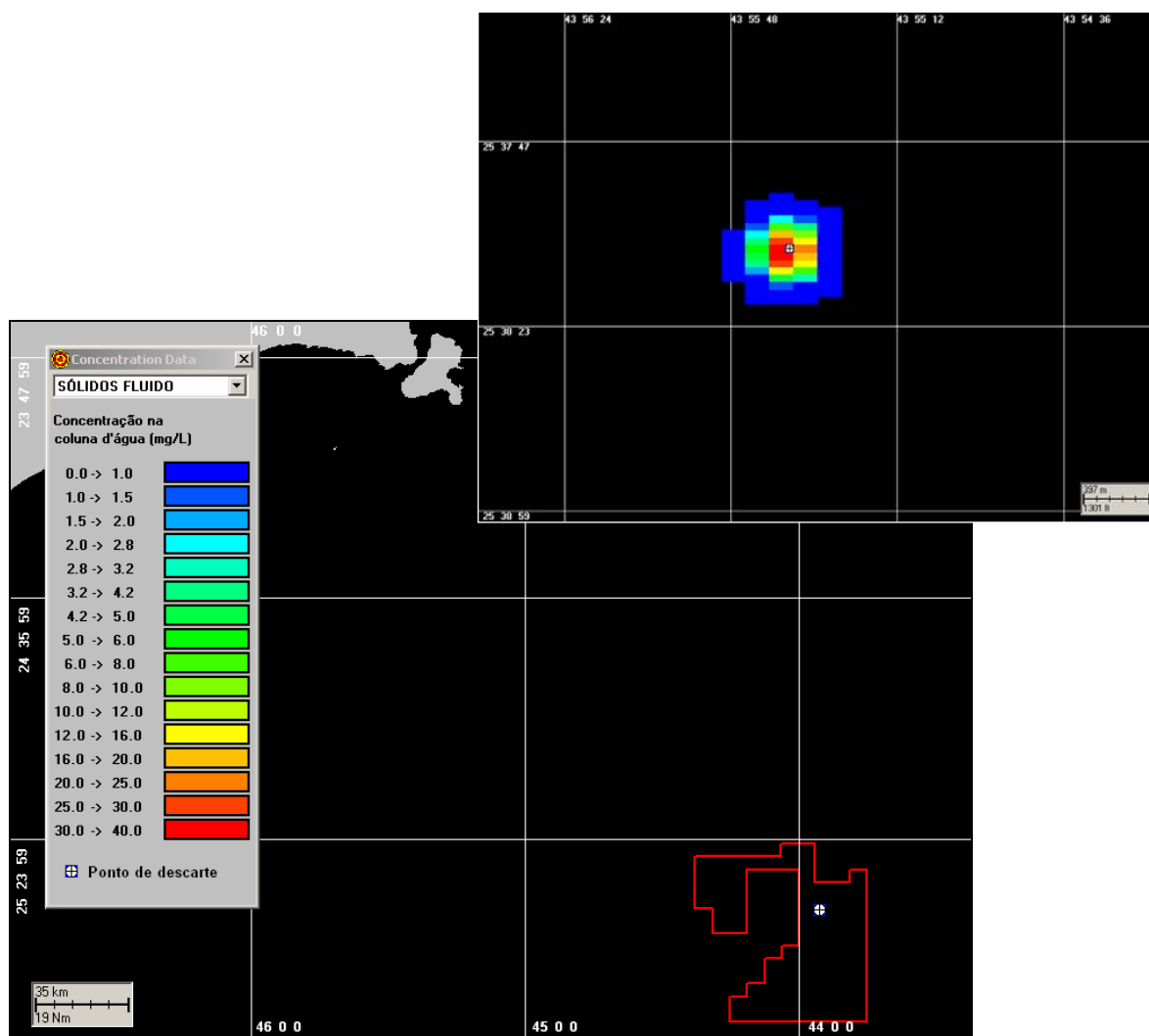


Figura IV.3-3 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 10 min após o início da simulação.

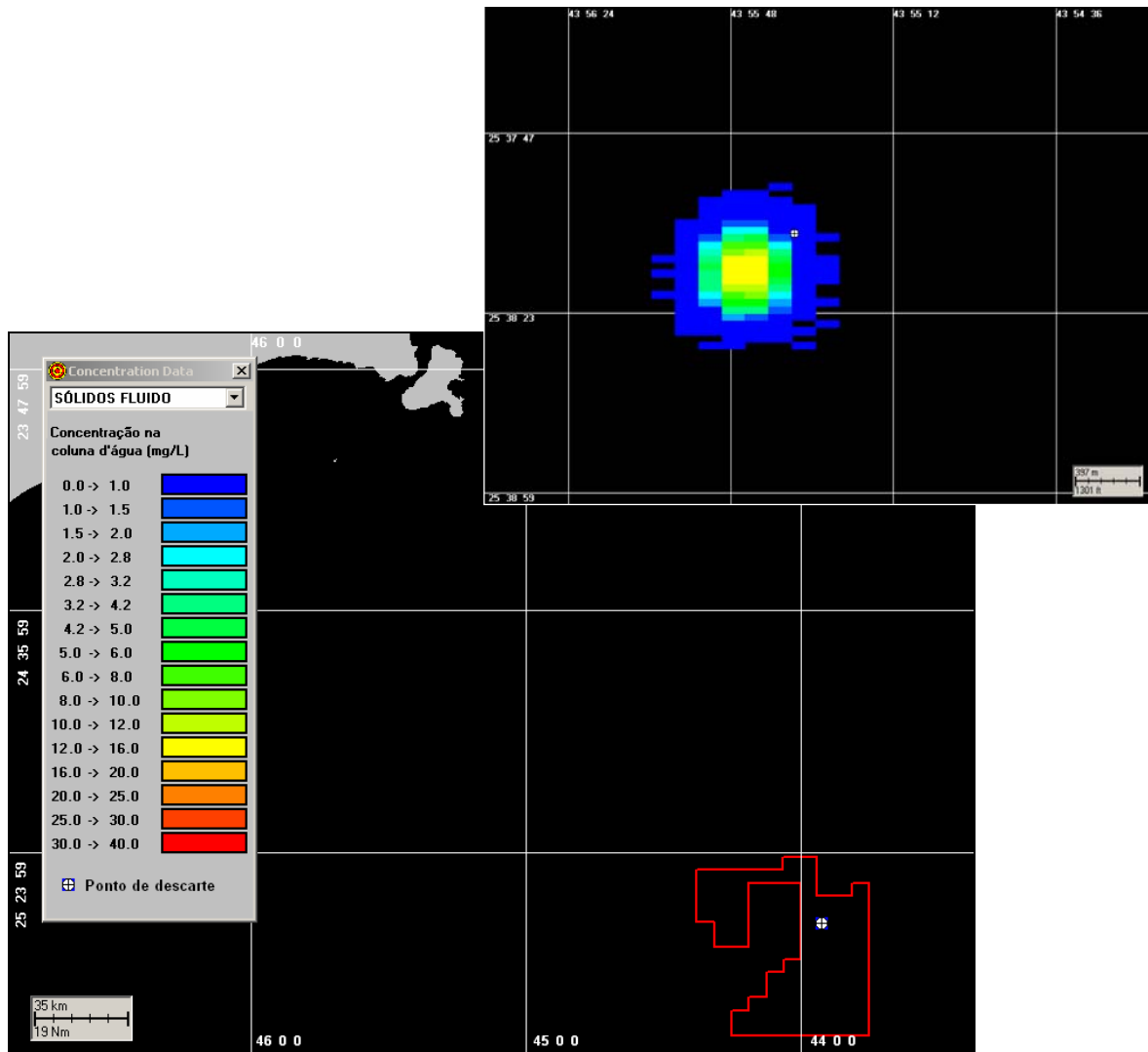


Figura IV.3-4 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 1 hora após o início da simulação.

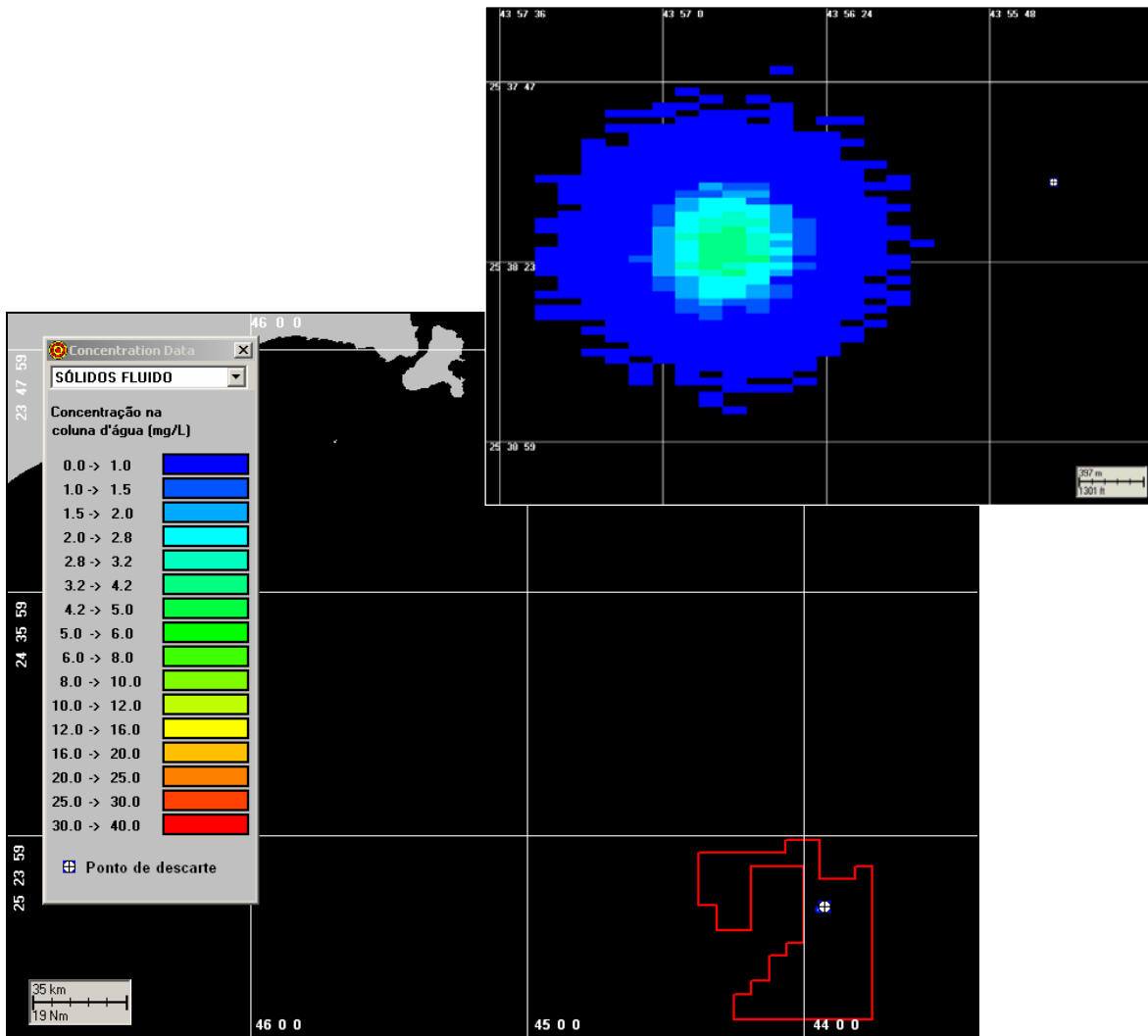


Figura IV.3-5 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 6 horas após o início da simulação.

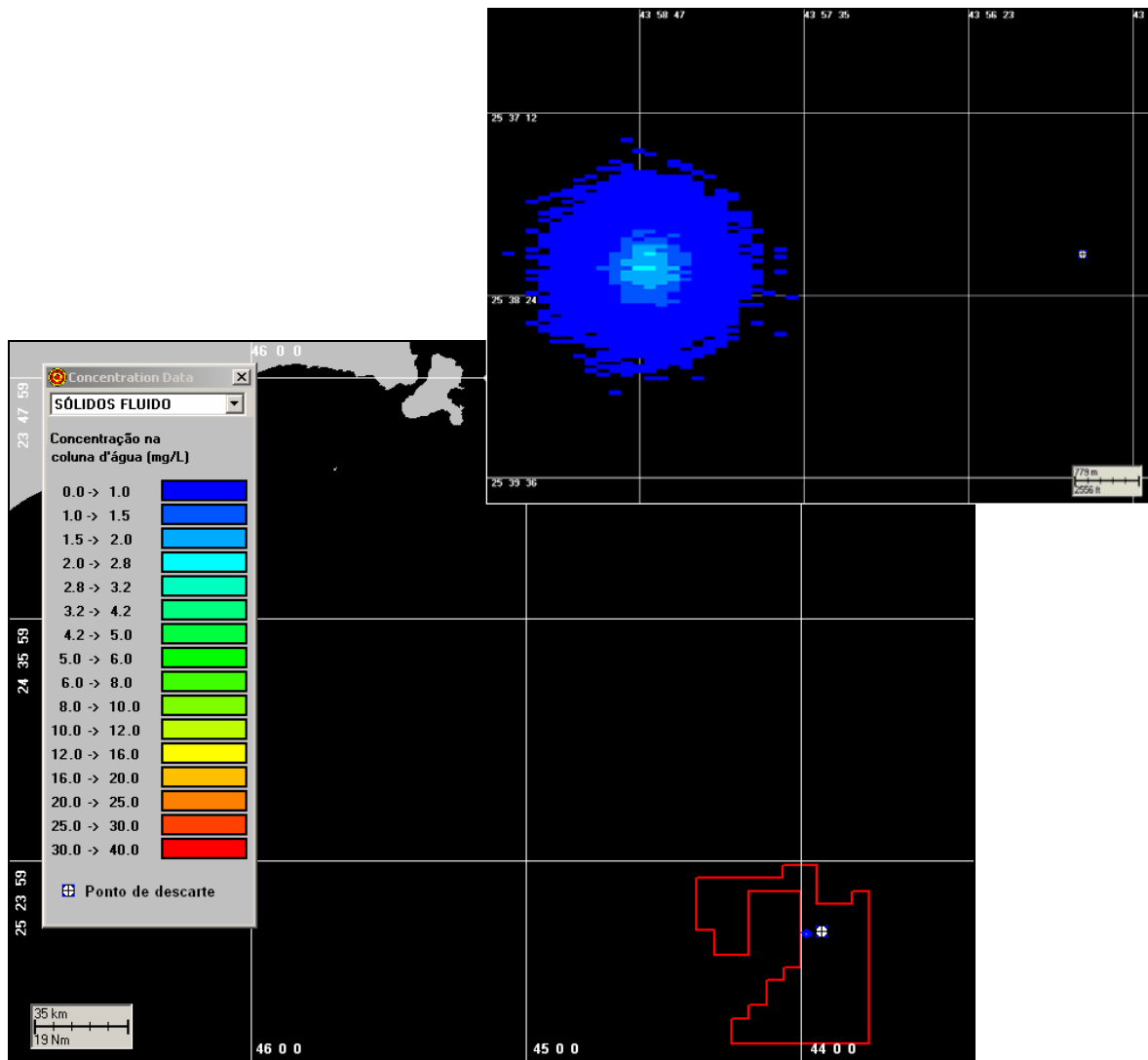


Figura IV.3-6 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 12 horas após o início da simulação.

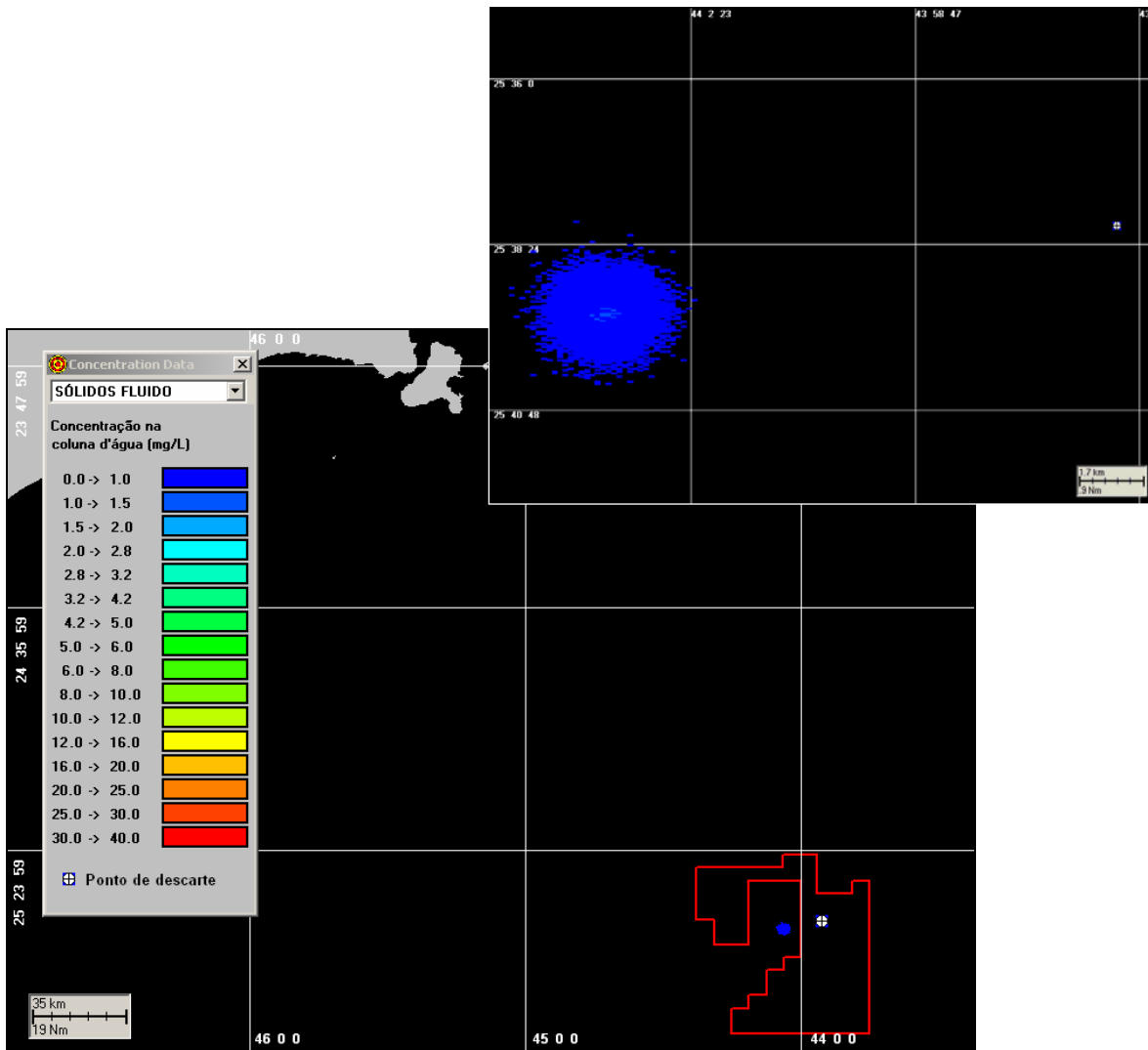


Figura IV.3-7 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 24 horas após o início da simulação.

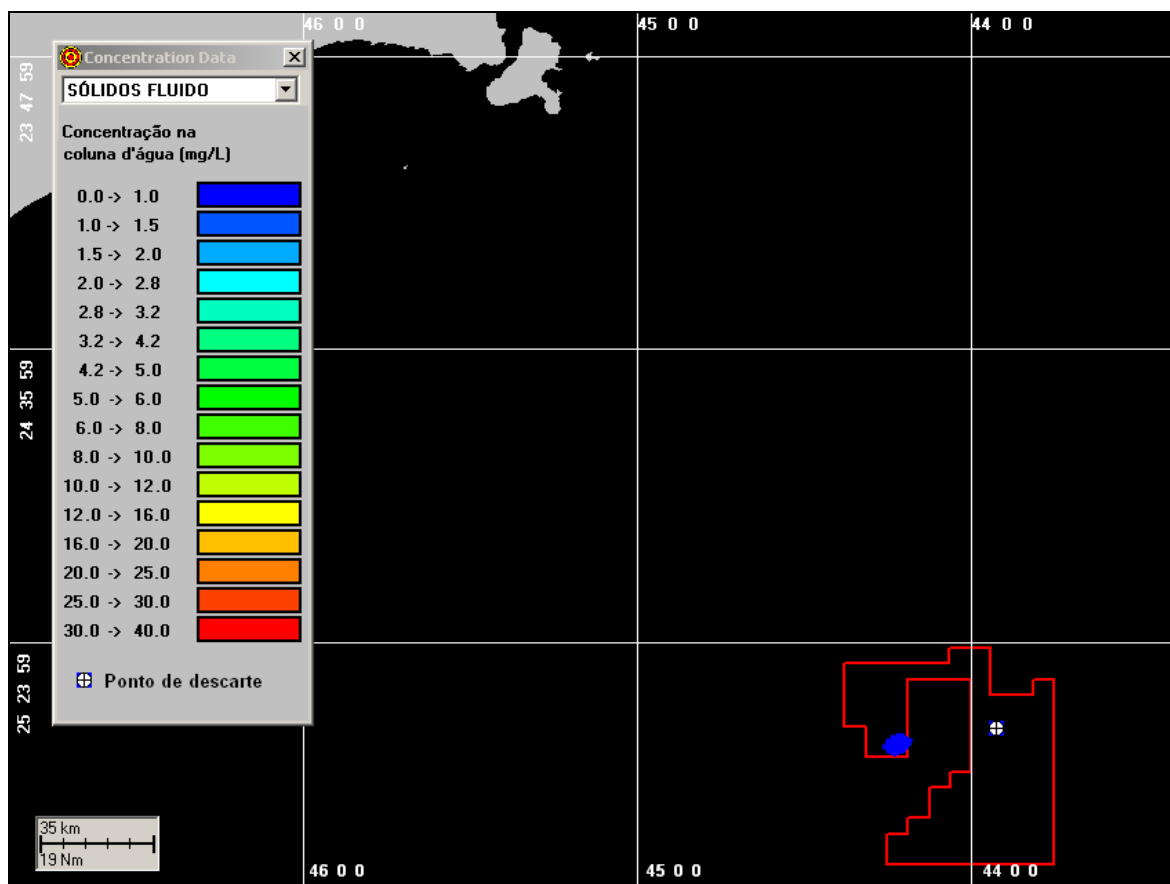


Figura IV.3-8 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 2 dias após o início da simulação.

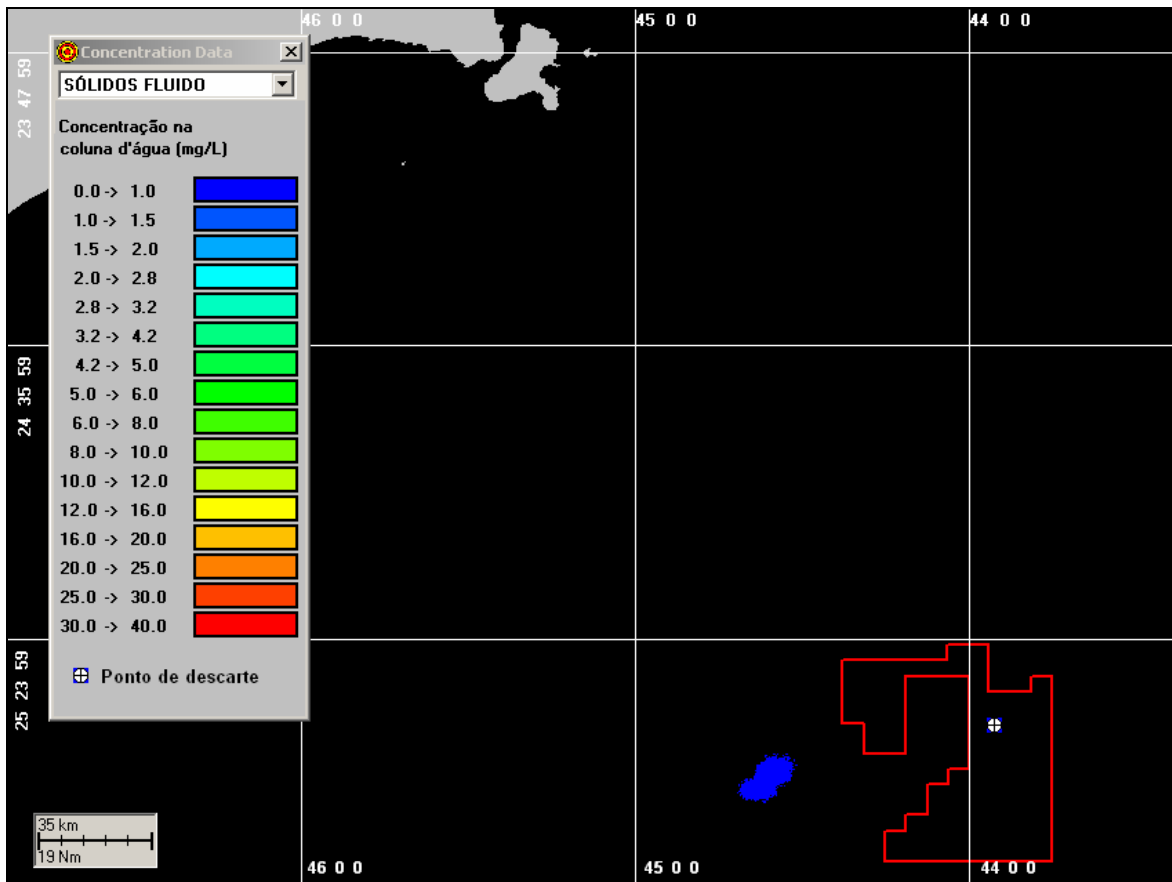


Figura IV.3-9 - Cenário BMS8_B_FIII_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), 4 dias após o início da simulação.

IV.4 Fase IV

As figuras IV.4-1 e IV.4-2 apresentam os resultados da simulação para a Fase IV (com *riser*) do descarte de partículas do Poço B. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 6 mm, e a área de deposição está distribuída em 627.986 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 210 m a sudoeste do ponto de descarte.

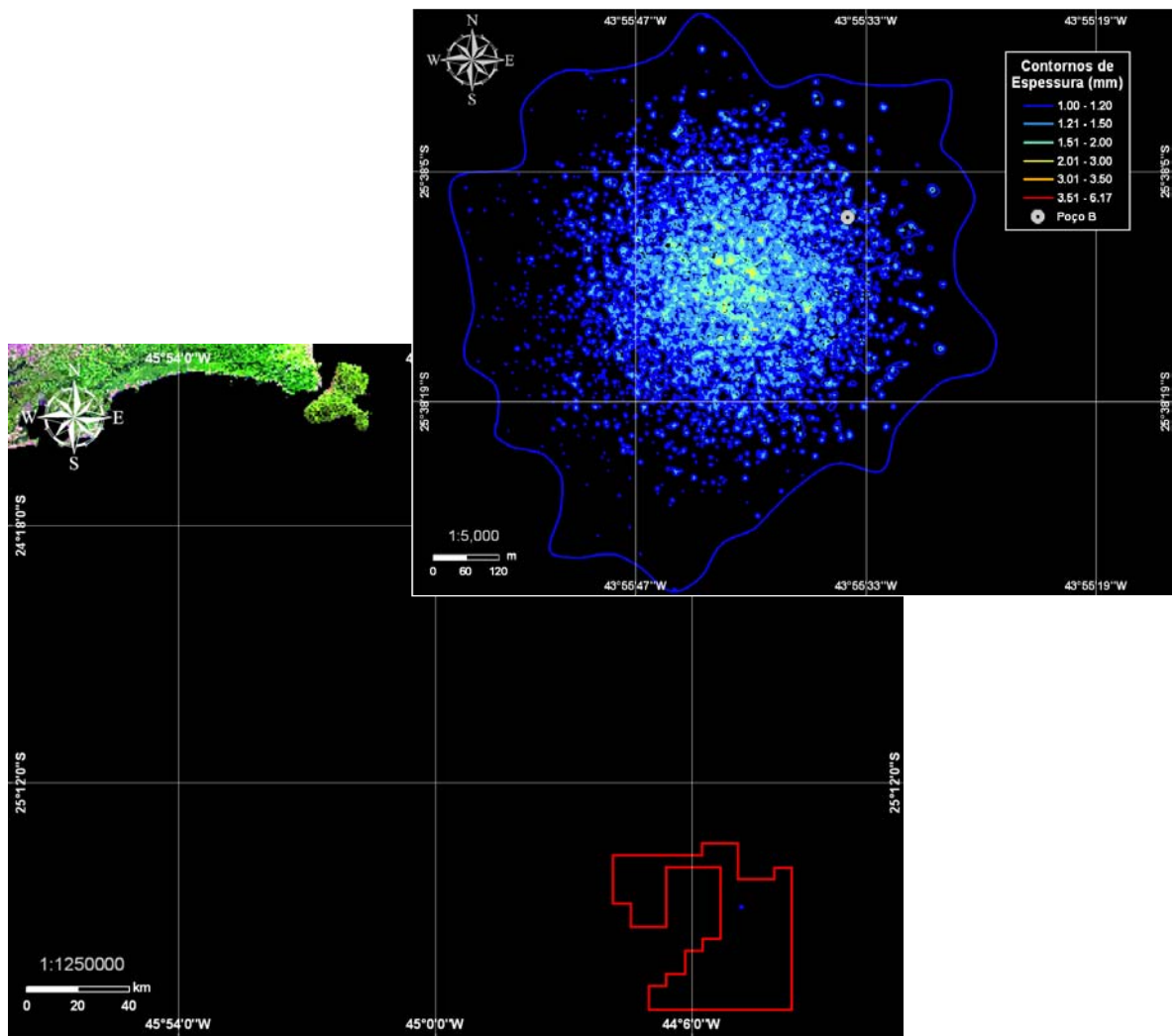


Figura IV.4-1 - Cenário BMS8_B_FIV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase IV (diâmetro de 14¾", com riser).

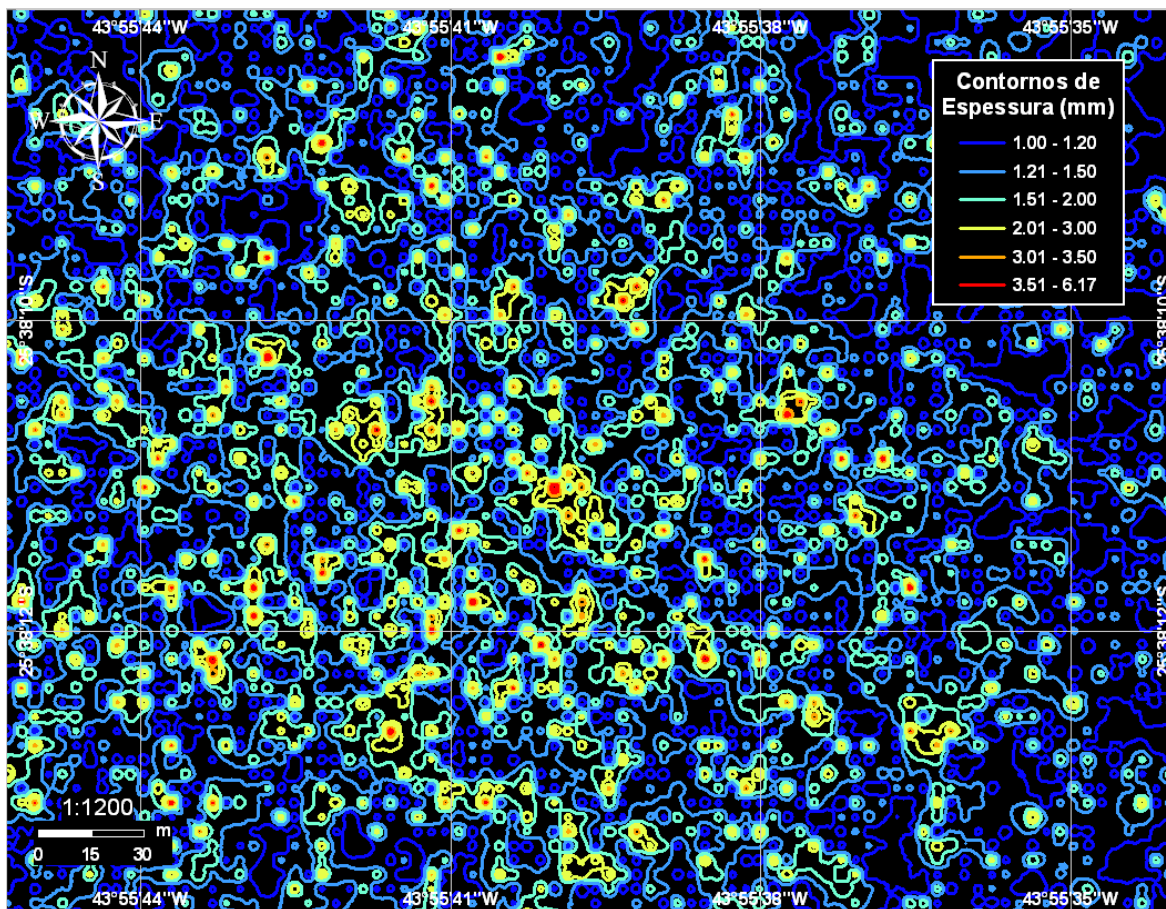


Figura IV.4-2 - Detalhe da figura IV.4-1.

IV.5 Fase V

Como a simulação para a Fase V (com *riser*) dos descartes de partículas apresentou como resultado espessuras depositadas inferiores a 1 mm, não são apresentadas figuras ilustrativas para este cenário. As maiores espessuras foram de 0,4 mm, com acúmulo preferencial na direção oeste-sudoeste.

As figuras IV.5-1 a IV.5-7 apresentam as concentrações de sólidos na coluna d'água resultantes do descarte de fluido excedente da Fase V, do Poço B. As figuras apresentam as concentrações para os seguintes tempos de simulação: 10 min, 1 h, 6 h, 12 h, 24 h, 2 dias e 4 dias após o início da simulação. Observa-se que as concentrações máximas calculadas foram de 30 mg/L, logo após o descarte, decrescendo rapidamente ao longo do tempo e atingindo concentrações inferiores a 1 mg/L a partir do primeiro dia de simulação. A direção preferencial de

dispersão da pluma, assim como no descarte de fluido excedente da Fase III, foi para oeste-sudoeste.

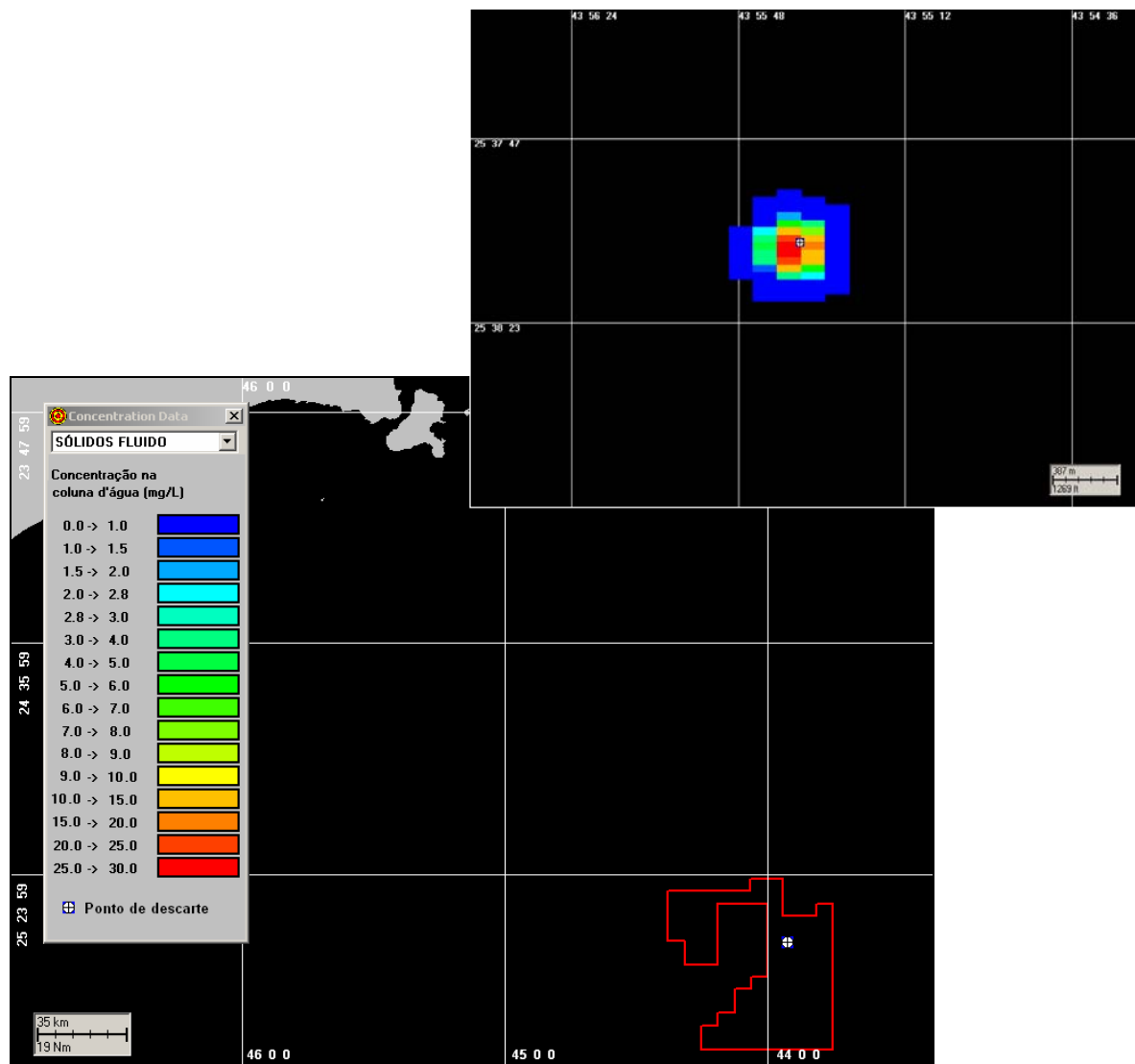


Figura IV.5-1 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 10 min após o início da simulação.

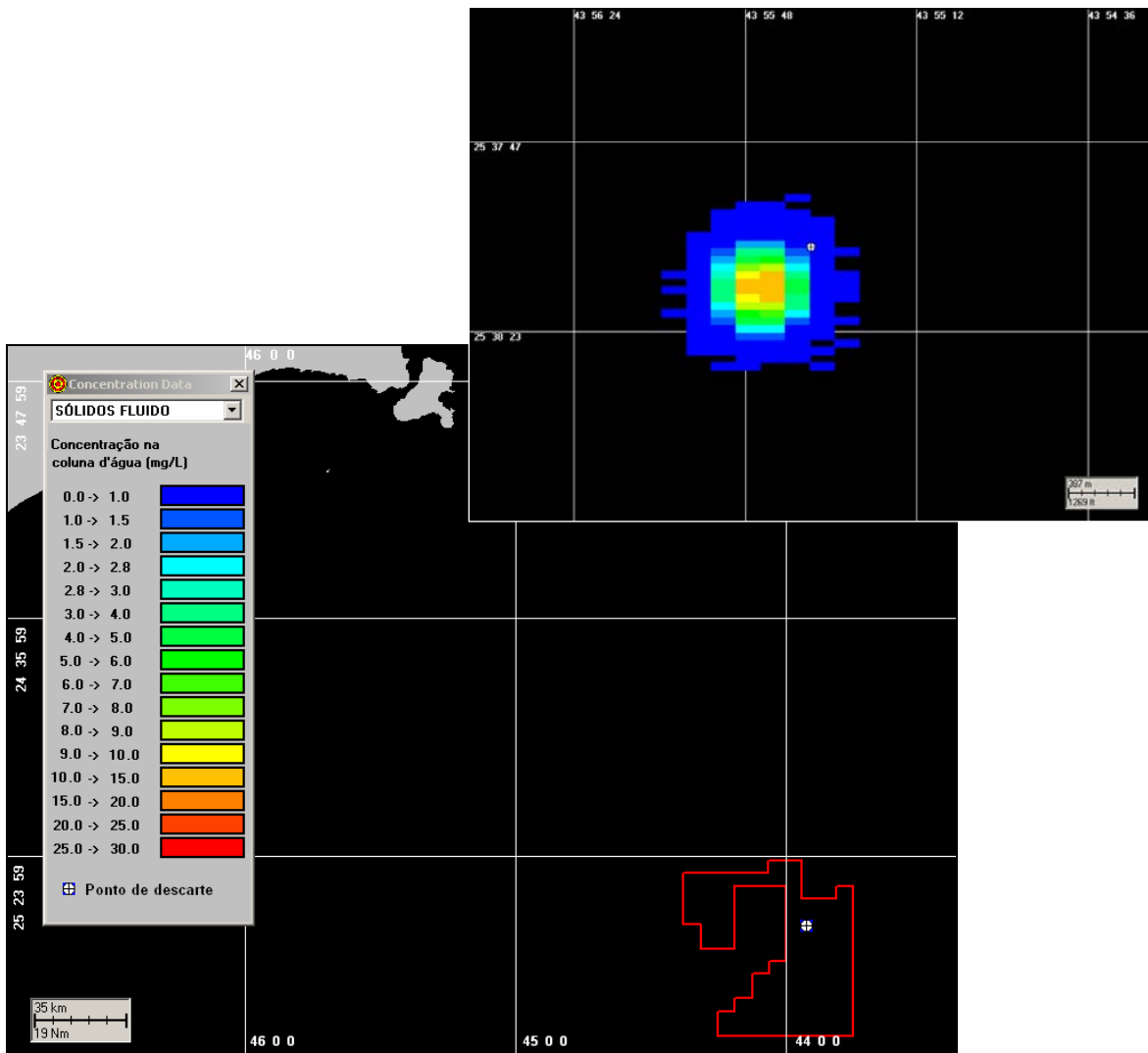


Figura IV.5-2 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 1 hora após o início da simulação.

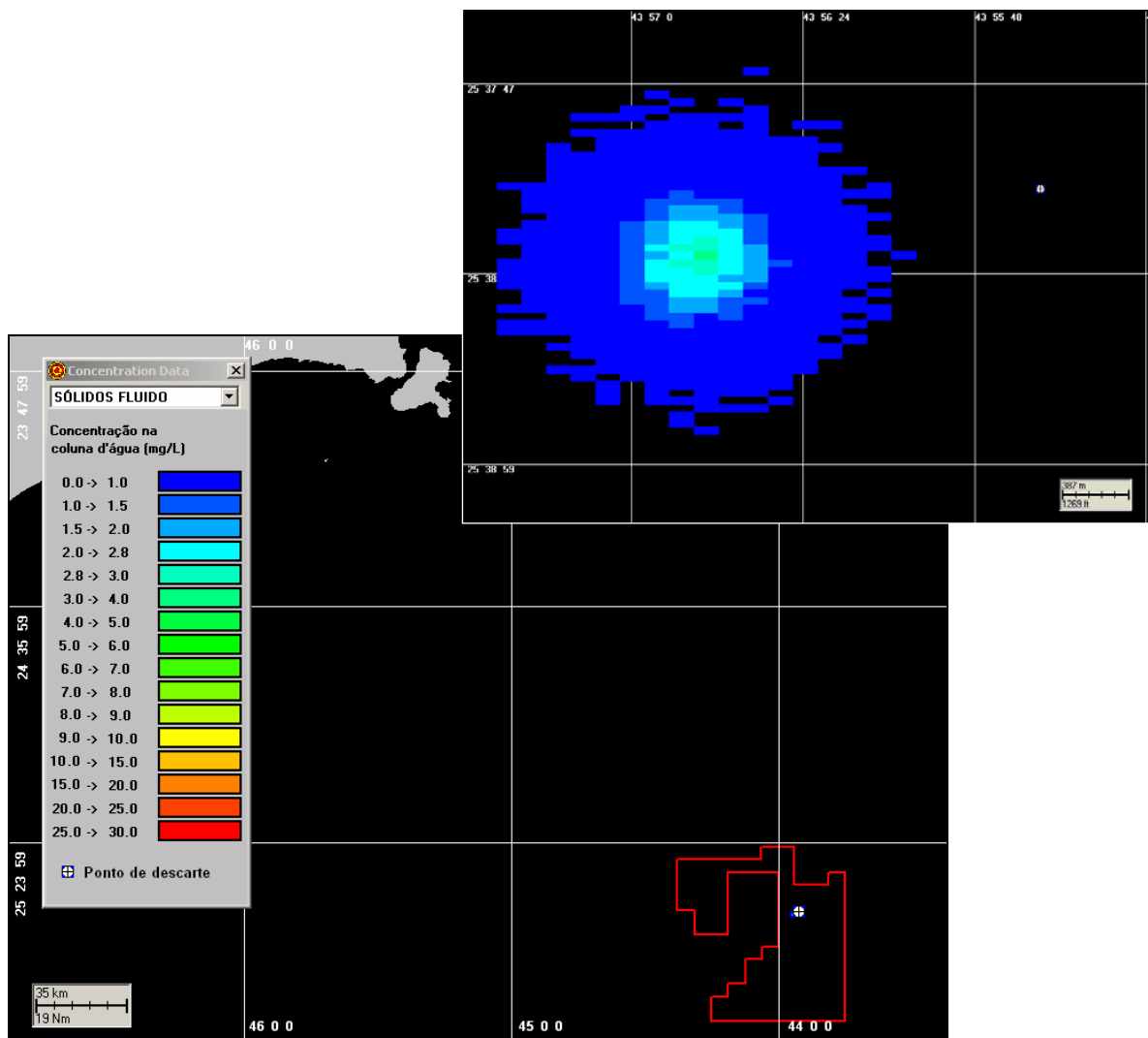


Figura IV.5-3 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 6 horas após o início da simulação.

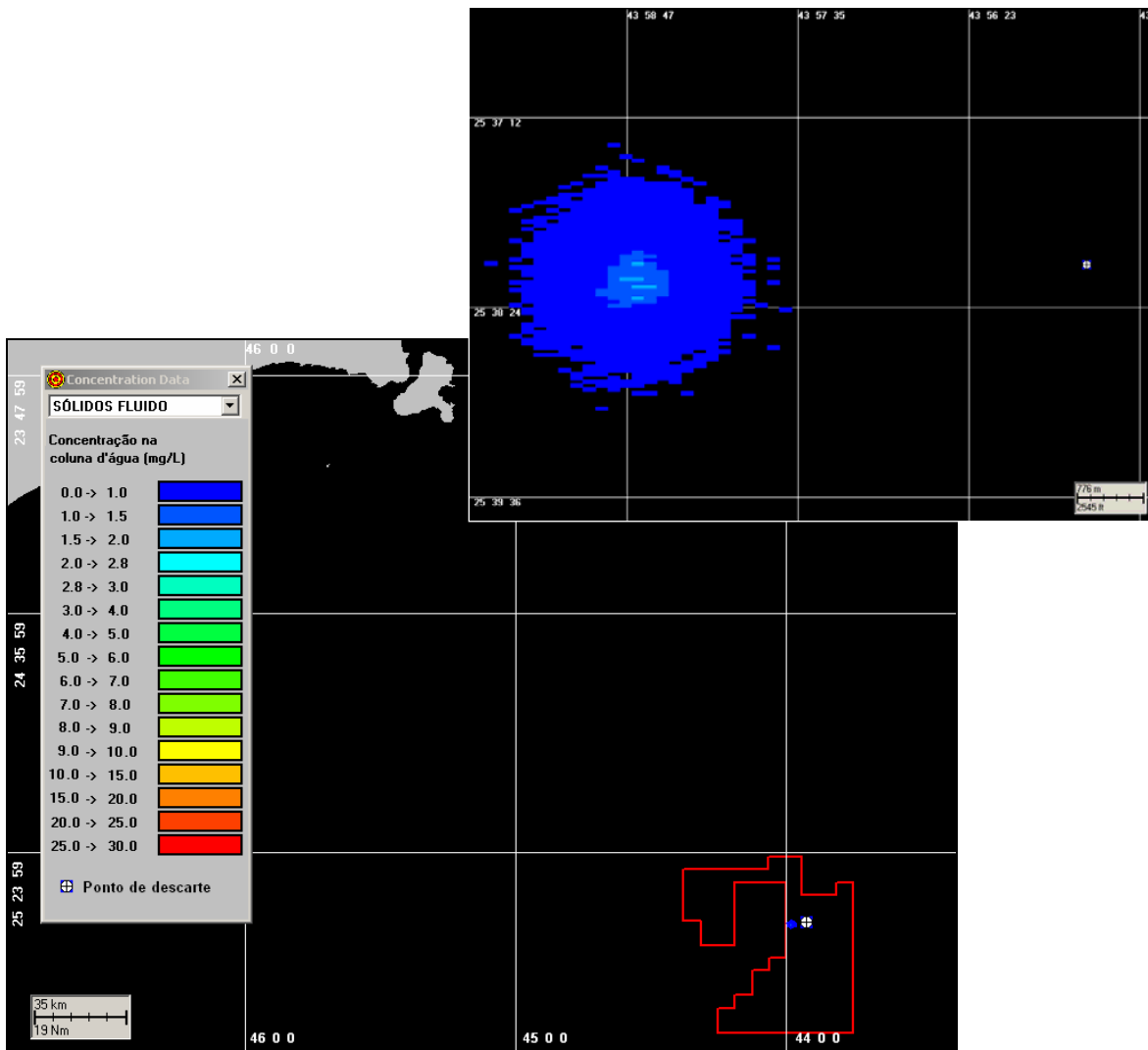


Figura IV.5-4 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 12 horas após o início da simulação.

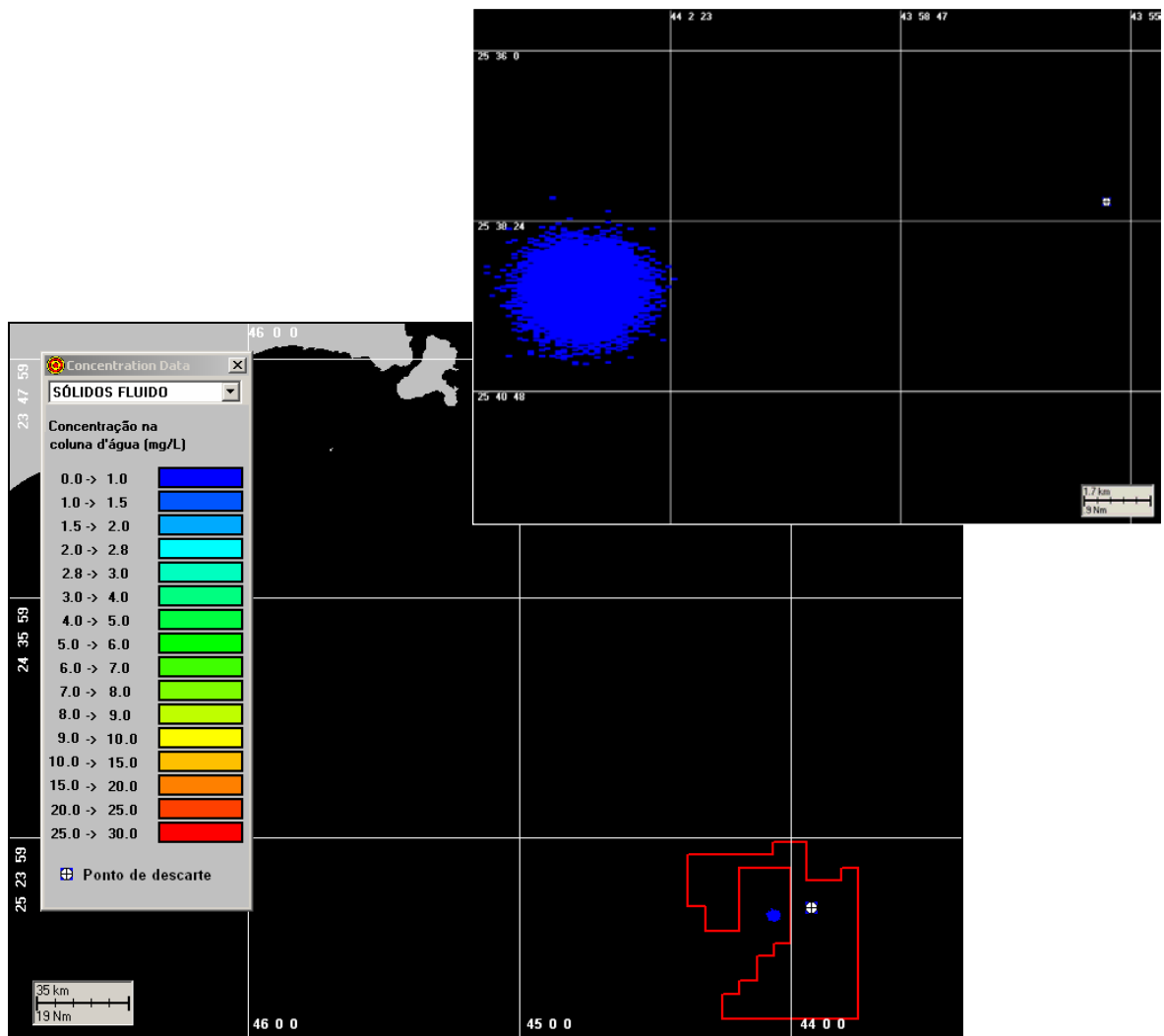


Figura IV.5-5 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 24 horas após o início da simulação.

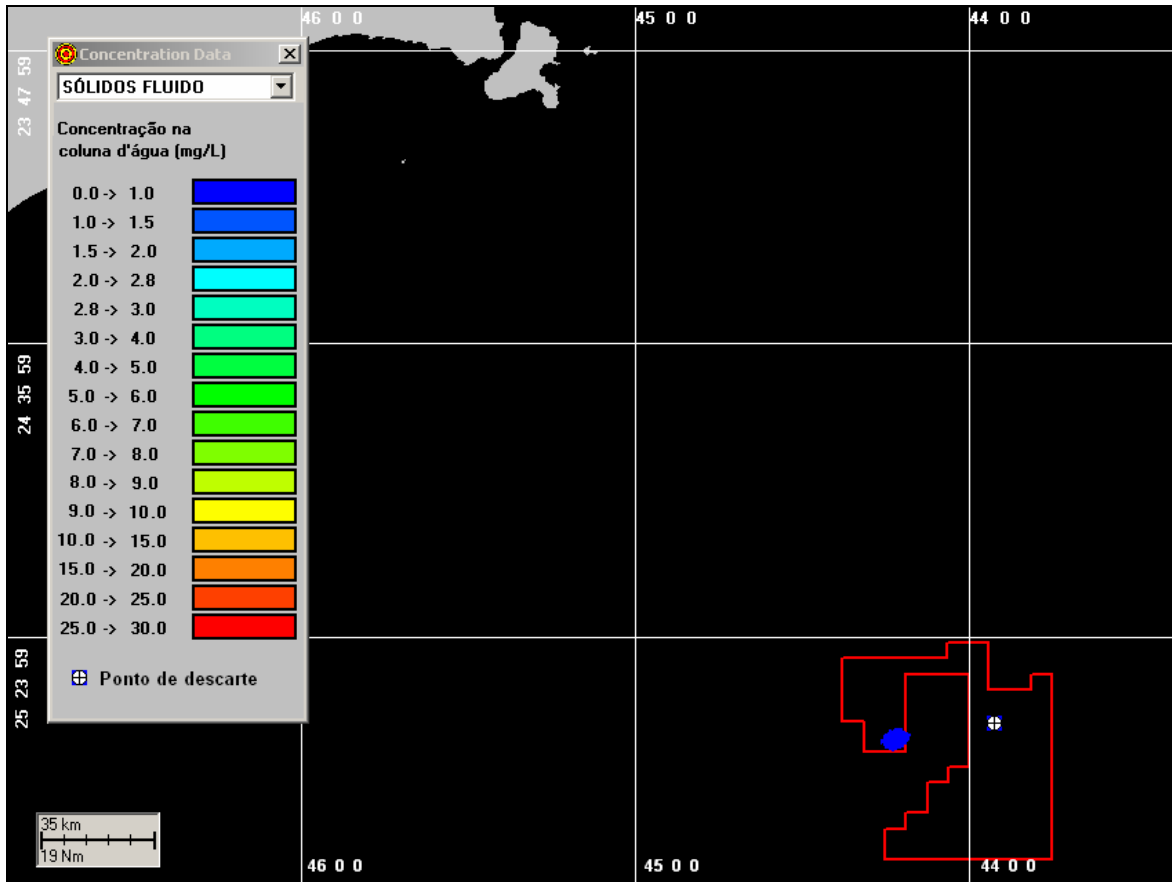


Figura IV.5-6 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 2 dias após o início da simulação.

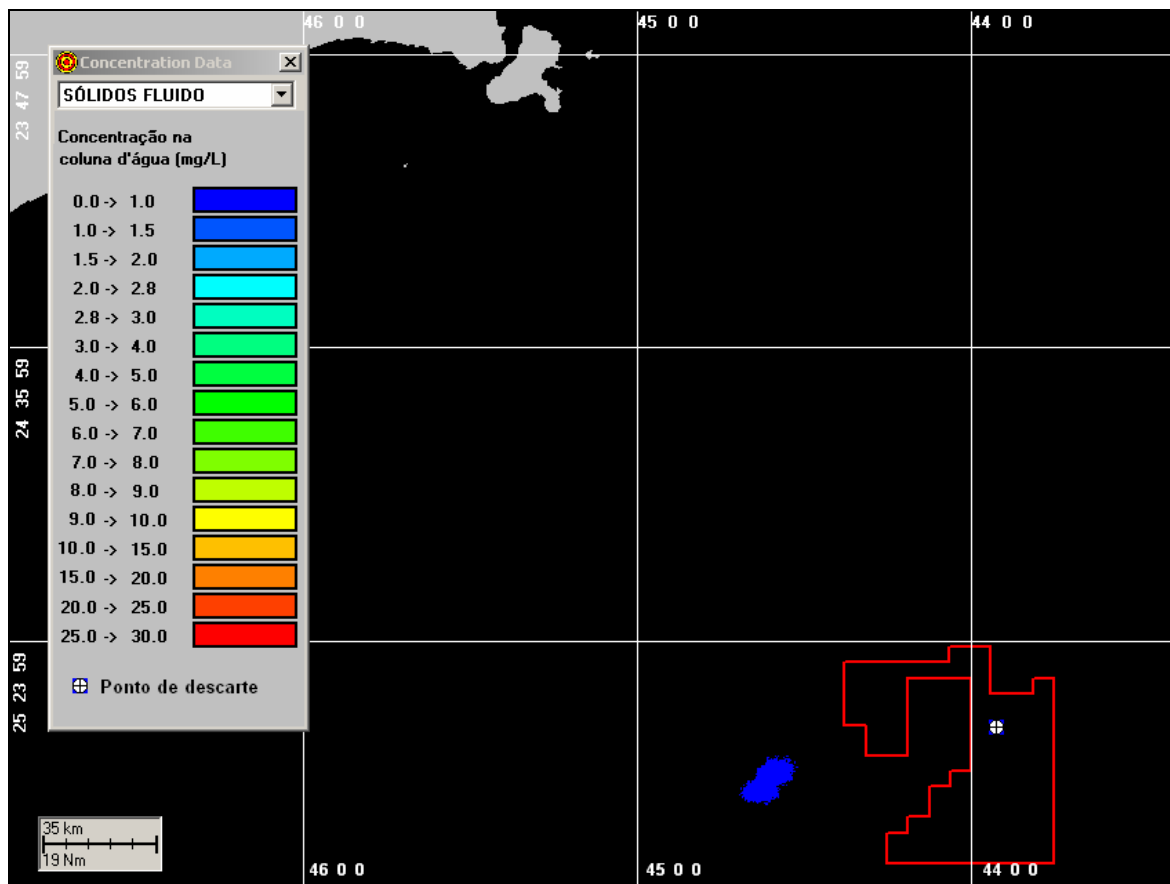


Figura IV.5-7 - Cenário BMS8_B_FV_EXCE. Concentrações de sólidos na coluna d'água referentes ao descarte de fluido excedente do Poço B, Bloco BM-S-8, ao final da Fase V (diâmetro de 8½", com riser), 4 dias após o início da simulação.

IV.6 Descarte Total

As figuras IV.6-1 e IV.6-2 apresentam a área de abrangência e espessuras previstas ao final de toda a operação de descarte de partículas no Poço B, localizado no Bloco BM-S-8. As maiores espessuras são observadas nas fases descartadas no fundo (Fases I e II, sem riser), com aproximadamente 245 cm, e estão concentradas, nas proximidades (2 m a leste-nordeste) do ponto de descarte. A área total de abrangência do material descartado é de 627.986 m², sendo que grande parte da mesma (~627.680 m²) apresenta espessuras inferiores a 10 cm.

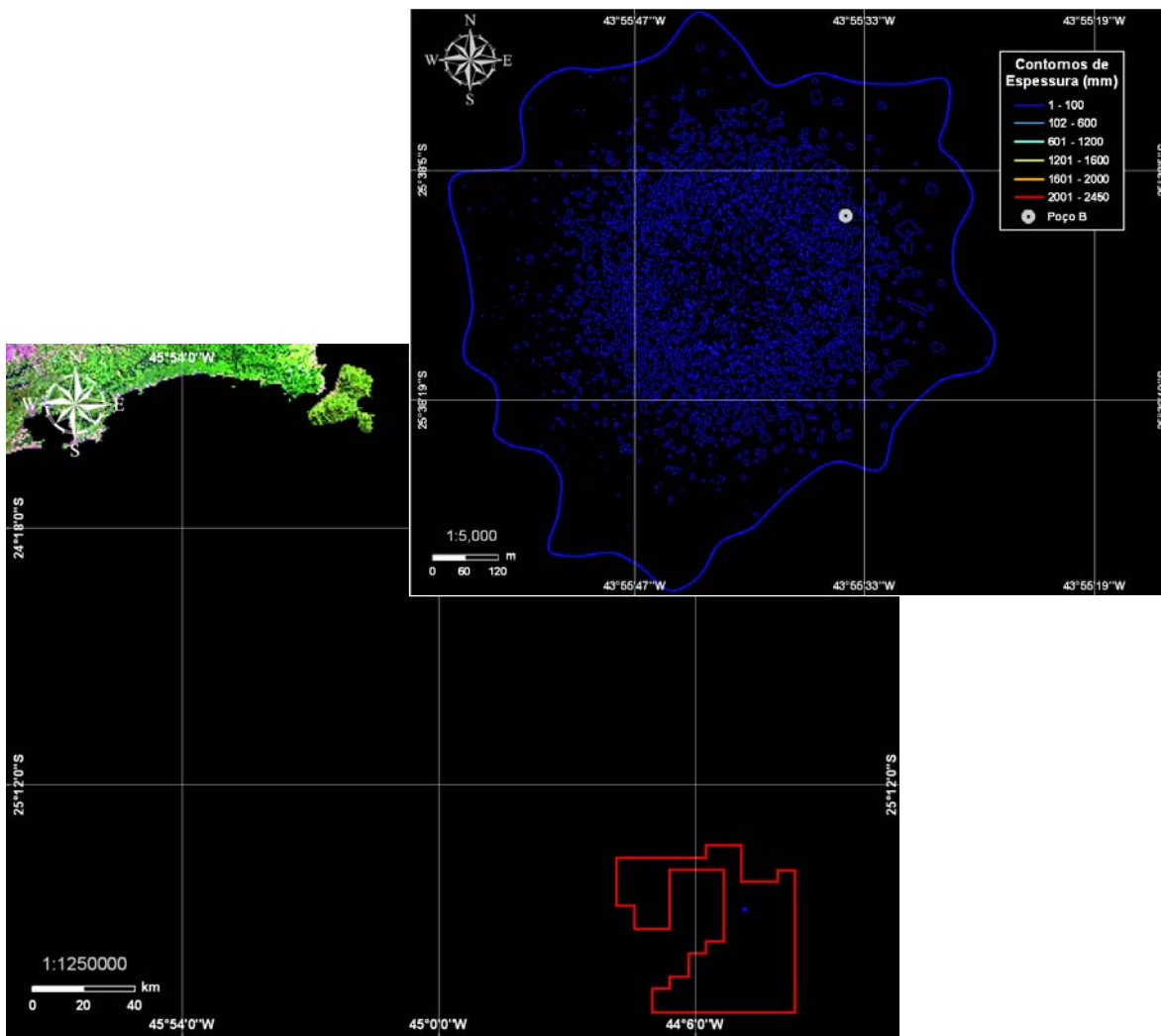


Figura IV.6-1 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do Poço B, Bloco BM-S-8.

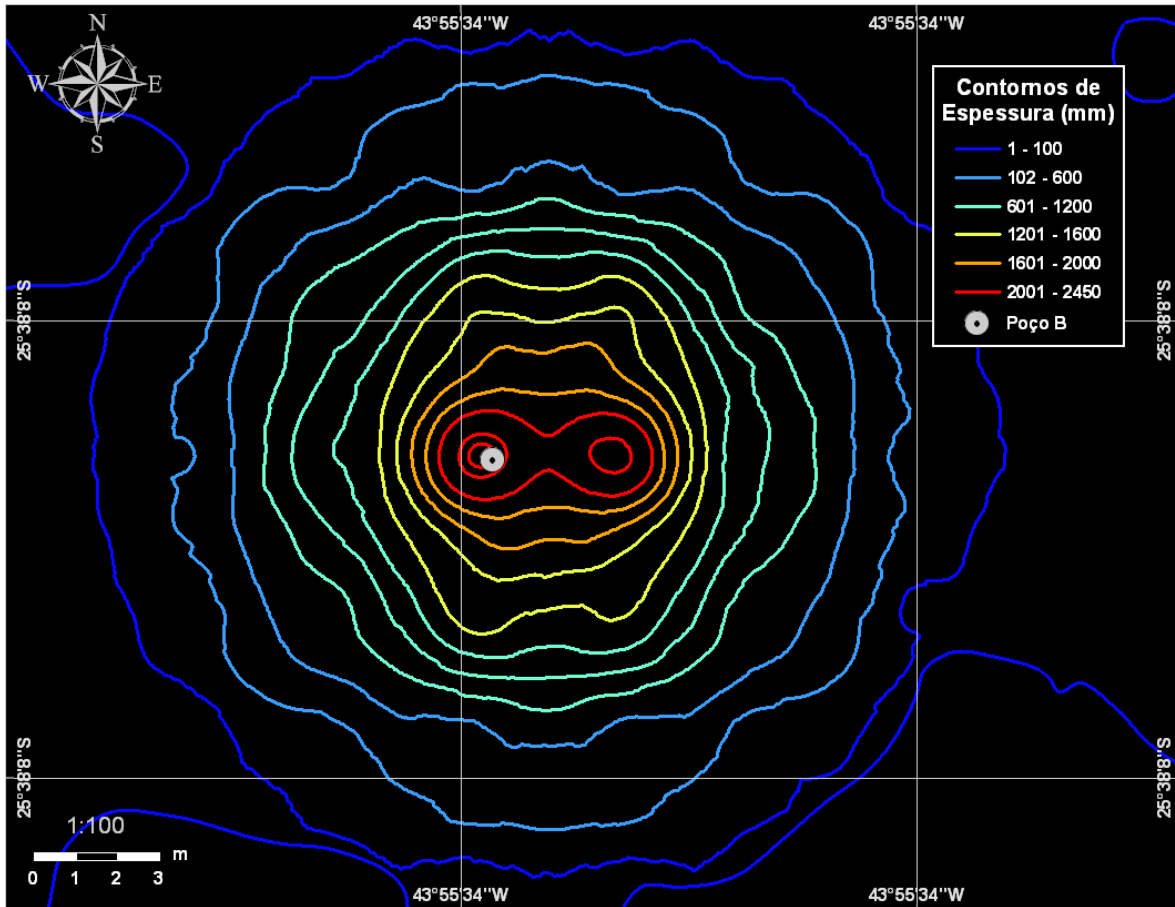


Figura IV.6-2 - Detalhe da figura IV.6-1.

V CONCLUSÕES

O MUDMAP foi utilizado para simular a deposição de cascalho e fluidos, além da dispersão e diluição dos fluidos excedentes, provenientes do descarte das operações de perfuração do poço B localizado no Bloco BM-S-8, Bacia de Santos.

A realização em separado das simulações sem e com *riser* permitiu concluir que a maior influência sobre o assoalho oceânico é consequência do descarte sem *riser*, onde o acúmulo de material é maior, alcançando espessuras de até 197 cm (Fase II). Já os resultados obtidos para as fases com *riser* mostraram espessuras de partículas no fundo inferiores, com no máximo 6,3 mm (Fase III). Tal resultado se deve ao fato do descarte das fases com *riser* ser efetuado próximo à superfície do mar (*i.e.* maior tempo sob a ação das correntes na coluna d'água).

Comparando as fases descartadas no fundo, a simulação da Fase II foi a que apresentou as maiores espessuras, 197 cm, devido ao maior volume de material descartado em relação à Fase I. Nos descartes efetuados em superfície, as Fases II e IV apresentaram as maiores espessuras, aproximadamente 6 mm, devido ao maior volume de material descartado em relação à Fase V. Ainda sobre os descartes em superfície, a Fase IV foi a que apresentou a maior área de abrangência, em função da maior duração do descarte (318 horas).

A tabela V-1 resume os resultados finais, considerando o processo ao final de toda a operação de descarte do Poço B. Como pode ser observado, nas fases sem *riser* o acúmulo preferencial das partículas se deu nas proximidades do ponto de descarte. Já nas fases com *riser*, a direção preferencial de acúmulo de partículas ocorreu na direção oeste-sudoeste.

De maneira geral, para o Poço B, as maiores espessuras calculadas foram de 245 cm e a área de abrangência total, considerando espessuras maiores que 1 mm, foi de 627.986 m². Neste caso, 99% da área afetada está coberta por espessuras inferiores a 10 cm.

Tabela V-1 - Resumo dos resultados das simulações de todas as fases de perfuração do Poço B, Bloco BM-S-8.

POÇO	FASES	ESPESSURA MÁXIMA (cm)	DIREÇÃO PREFERENCIAL DE ACÚMULO DA ESPESSURA MÁXIMA
B	sem riser	59,70 (Fase I)	proximidades do ponto de descarte
	sem riser	197,00 (Fase II)	proximidades do ponto de descarte
	com riser	0,63 (Fase III)	~ 180 (WSW)
	com riser	0,62 (Fase IV)	~ 210 (SW)
	com riser	0,04 (Fase V)	~ 170 (WSW)

Nas simulações realizadas para determinar as concentrações de sólidos na coluna d'água, decorrentes do descarte de fluidos excedentes, as concentrações máximas calculadas de sólidos foram maiores nas fases com *riser* (40 mg/L na Fase III e 30 mg/L na Fase V) do que na fase sem *riser* (0,12 mg/L na Fase II), em função dos diferentes volumes descartados.

No descarte da fase sem *riser*, após quatro dias de simulação, a pluma de sólidos na coluna d'água atingiu concentrações inferiores a 0,002 mg/L, com direção preferencial de dispersão para leste-nordeste.

Nos descartes das fases com *riser*, após quatro dias de simulação, a pluma de sólidos na coluna d'água atingiu concentrações inferiores a 0,5 mg/L e a direção preferencial de dispersão da pluma de sólidos em suspensão foi para oeste-sudoeste.

VI BIBLIOGRAFIA

APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, Inc. (ASA), 1999. OILMAP Technical and User's Manuals, Narragansett, RI.

APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, Inc. (ASA), 2000. User's Manuals for MUDMAP, Version 3.5, Narragansett, RI.

BLUMBERG, A.F. & G.L. MELLOR, 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: N.S. Heaps (Ed.), **Coastal and Estuarine Sciences 4: Three-dimensional Coastal Ocean Models**. American Geophysical Union, pp. 1-16.

BRANDSMA, M.G. & SAUER, T.C., 1983. The OOC model: Prediction of short term fate of drilling mud in ocean. Part I: Model description, Part II: Model results. **Proceedings of Workshop on an Evaluation of Effluent Dispersion and Fate Models for OCS Plataforms**, Santa Barbara, California, February 7-10.

CASTRO FILHO, B.M.C. & MIRANDA, L.B., 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 40° N and 34° S. **The Sea**. John Wiley & Sons, Inc. 11: p. 209-251.

CLIMANÁLISE, 1996. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Edição comemorativa de 10 anos. Outubro.

DYER, K.R., 1986. **Coastal and estuarine sediment dynamics**. John Wiley & Sons Ltd.

EVANS, D.L. & SIGNORINI, S.R., 1985. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, 315, p. 48-50.

KOH, R.C.Y. & CHANG, Y.C., 1973. Mathematical modeling for barged ocean disposal of waste. Environmental Protection Agency Technology Series EPA

660/2-73-029, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.

LIMA, J.A.M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22°S. Tese de doutorado. University of New South Wales, Austrália.

LIMA, R.M.F. & LUZ, J.A.M., 2001. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Rev. Esc. Minas**, vol. 54, nº 2: p.155-159. ISSN 0370-4467.

LUZ, J.A.M. & LIMA, R.M.F., 2001. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Regime turbulento e intermediário. **Rev. Esc. Minas**, vol. 54, nº 3: p. 215-218. ISSN 0370-4467.

MELLOR, G.L. & YAMADA, T., 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, nº 4, 851-875.

OLIVEIRA, A.S., 1986. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia. INPE-4008-TDL/239.

SATYAMURTI, P. & MATTOS, L.F., 1989. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon.Wea. Rev.**, 108:410-520.

SIGNORINI, S. S., 1978. On the Circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Res.**, 25, p. 481-490.3.

SPAULDING, M.L., ISAJI, T. & HOWLETT, E., 1994. MUDMAP: A model to predict the transport and dispersion of drill muds and production water. Applied Science Associates, Inc, Narragansett, RI.

SPAULDING, M.L., 1994. MUDMAP: A numerical model to predict drill fluid and production water dispersion, Offshore, Houston, Texas, March 1993. Applied Science Associates, Inc, Narragansett, RI.

STRAMMA, L.; IKEDA, Y. & PETERSEN, R.G., 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region, **Deep-Sea. Res.**, 37(12): p. 1875-1886.

VII EQUIPE TÉCNICA**Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.**

Profissional	Ana Carolina da Rocha
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pela(s) Capítulo (s)	TODAS
Assinatura	

Profissional	Andrea Gallo Xavier
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	58617
Responsável pela(s) Capítulo (s)	TODAS
Assinatura	

Profissional	André Paim Ferraz Rodrigues
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	618096
Responsável pela(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	Carlos Eduardo Simão
Empresa	ASA Consultoria
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434226
Responsável pela(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	Daniel Constantino Zacharias
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	638533
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I e II
Assinatura	

Profissional	Eduardo Yassuda
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	060.184.738.5
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	94066
Responsável pela(s) Capítulo (s)	TODAS
Assinatura	

Profissional	Erika Naomi de Souza Tominaga
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	980855
Responsável pela(s) Capítulo (s)	IV
Assinatura	

Profissional	José Edson Pereira
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	326336
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I e II
Assinatura	

Profissional	Maria Regina Fonseca Guimarães
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434231
Responsável pela(s) Capítulo (s)	I e II
Assinatura	

Profissional	Marco Antônio Corrêa
Empresa	ASA Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434236
Responsável pela(s) Capítulo (s)	III, IV e V
Assinatura	

Profissional	Maurício Person Lammardo
Empresa	ASA Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	272165
Responsável pela(s) Capítulo (s)	II e IV
Assinatura	

