

Modelagem do Descarte de Cascalho e Fluidos de Perfuração para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha



E&P

Revisão 01
Ago/2008



PETROBRAS

Modelagem do Descarte de Cascalho e Fluidos de Perfuração para o Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha

**Revisão 01
Agosto / 2008**



E&P

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|--------|
| RESUMO | 1 |
| I INTRODUÇÃO | I-1 |
| I.1 ÁREA DE ESTUDO | I-1 |
| I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO | I-2 |
| I.1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO..... | I-7 |
| II MODELO HIDRODINÂMICO | II-1 |
| II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL..... | II-1 |
| II.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM | II-3 |
| II.1.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS..... | II-6 |
| II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E FORÇANTES | II-7 |
| II.2.1 BATIMETRIA | II-7 |
| II.2.2 ESTRUTURA TERMOHALINA | II-8 |
| II.2.3 MARÉS | II-9 |
| II.2.4 DADOS DE VENTO..... | 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-6 |
| III.3 CENÁRIOS DE DESCARTE DE PARTÍCULAS | III-8 |
| III.3.1 PONTO DE DESCARTE..... | III-8 |
| III.3.2 ESPECIFICAÇÕES DOS PROCESSOS DE PERFURAÇÃO E DESCARTE | III-8 |
| III.3.3 CARACTERIZAÇÃO DO CASCALHO E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO | III-9 |
| III.3.4 CRITÉRIO DE CORTE ADOTADO NA APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS..... | III-13 |
| III.3.5 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS | III-13 |
| IV RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES | IV-1 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| IV.1 FASE I | IV-2 |
| IV.2 FASE II | IV-4 |
| IV.3 FASE III | IV-6 |
| IV.4 FASE IV | IV-7 |
| IV.5 FLUIDO EXCEDENTE | IV-7 |
| IV.6 DESCARTE TOTAL | IV-8 |
| V CONCLUSÕES | V-1 |
| VI BIBLIOGRAFIA | VI-1 |
| VII EQUIPE TÉCNICA | VII-1 |

TABELAS

| TABELA | PÁG. |
|---|-------------|
| Tabela III.2.2-1 - Perfis médios de densidade, típicos de verão e inverno, para a região do Bloco BM-J-1. | III-7 |
| Tabela III.3.1-1 - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) do ponto de descarte de partículas no Bloco BM-J-1. | III-8 |
| Tabela III.3.3-1 - Classes granulométricas e velocidades de queda para cascalhos das fases sem <i>riser</i> do <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1. | III-9 |
| Tabela III.3.3-2 - Classes granulométricas e velocidades de queda para cascalhos das fases com <i>riser</i> do <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1. | III-10 |
| Tabela III.3.3-3 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a bentonita, no <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1. | III-10 |
| Tabela III.3.3-4 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a baritina, no <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1. | III-11 |
| Tabela III.3.3-5 - Especificações do descarte de cascalho e fluidos de perfuração para o <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1. | III-12 |
| Tabela III.3.5-1 - Cenários elaborados para o estudo de cascalho e fluidos de perfuração para o <i>Lead F-2</i> , localizado no Bloco BM-J-1. | III-14 |
| Tabela IV-1 - Máxima espessura depositada e área coberta por sedimentos com espessuras maiores que 1 mm para o <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1. | IV-1 |
| Tabela V-1 - Resumo dos resultados das simulações de todas as fases de perfuração do <i>Lead F-2</i> , localizado no Bloco BM-J-1. | V-2 |

FIGURAS

| FIGURA | PÁG. |
|--|-------|
| Figura I.1-1 - Localização do ponto de descarte de cascalho e fluidos de perfuração, <i>Lead F-2</i> , no Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha. | I-2 |
| Figura I.1.1-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de verão. | I-3 |
| Figura I.1.1-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de inverno. | I-4 |
| Figura I.1.1-3 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos da Reanálise do NCEP para os dias: (a) 1 ^o de junho de 2003 e (b) 15 de junho de 2003, às 18 GMT. | I-5 |
| Figura I.1.1-4 - Campos de vento e pressão atmosférica obtidos da Reanálise do NCEP para o dia 2 de janeiro de 2003, às 18 GMT. | I-6 |
| Figura I.1.2-1 - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. | I-8 |
| Figura I.1.2-2 - Transporte médio ao longo da costa, baseado na distribuição de correntes obtidas nas 5 estações amostradas de 2000 a 2004 - 11°S (Schott <i>et al.</i> , 2005). | I-9 |
| Figura I.1.2-3 - Série temporal do perfil de corrente nos primeiros 300 metros da coluna d'água, obtido a partir de dados com ADCP invertido no ponto do fundeio K2 (Schott & Molinari, 2002). | I-10 |
| Figura I.1.2-4 - Dados de correntes coletados na Bacia de Jequitinhonha (BM-J-1) pela PETROBRAS durante o período de 8 de março a 20 de maio de 2004. Painel superior: componentes <i>u</i> e <i>v</i> ; painel inferior: <i>stick plot</i> . | I-11 |
| Figura II.2.1-1 - Batimetria projetada no domínio considerado no modelo hidrodinâmico, com destaque para a região em torno do Bloco BM-J-1. | II-8 |
| Figura II.2.2-1 - Campos de temperatura e salinidade projetados na grade do modelo hidrodinâmico. | II-9 |
| Figura II.2.3-1 - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, projetado na grade do modelo hidrodinâmico (escala de cores com espaçamento irregular). | II-10 |
| Figura II.2.4-1 - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico. | II-11 |
| Figura III.2.1-1 - <i>Stick plots</i> de correntes obtidas a partir do modelo hidrodinâmico, que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo para um período típico de verão na região do Bloco BM-J-1. | III-4 |

| FIGURA | PÁG. |
|---|-------------|
| Figura III.2.1-2 - <i>Stick plots</i> de correntes obtidas a partir do modelo hidrodinâmico, que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo para um período típico de inverno na região do Bloco BM-J-1. | III-5 |
| Figura III.2.2-1 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de 15°S , na região do Bloco BM-J-1, durante o período de verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE. | III-6 |
| Figura III.2.2-2 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de 15°S , na região do Bloco BM-J-1, para o período de inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE. | III-7 |
| Figura IV.1-1 - Cenário BM-J-1_FI_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do <i>Lead F-2</i> , ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem <i>riser</i>), no período de verão. | IV-2 |
| Figura IV.1-2 - Cenário BM-J-1_FI_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do <i>Lead F-2</i> , ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem <i>riser</i>), no período de inverno. | IV-3 |
| Figura IV.2-1 - Cenário BM-J-1_FII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do <i>Lead F-2</i> , ao final da Fase II (diâmetro de 17½", sem <i>riser</i>), no período de verão. | IV-4 |
| Figura IV.2-2 - Cenário BM-J-1_FII_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do <i>Lead F-2</i> , ao final da Fase II (diâmetro de 17½", sem <i>riser</i>), no período de inverno. | IV-5 |
| Figura IV.3-1 - Cenário BM-J-1_FIII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do <i>Lead F-2</i> , ao final da Fase III (diâmetro de 12¼", com <i>riser</i>), no período de verão. | IV-6 |
| Figura IV.5-1 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1, no período de verão. | IV-8 |
| Figura IV.5-2 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do <i>Lead F-2</i> , Bloco BM-J-1, no período de inverno. | IV-9 |

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 do Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha, a partir do *Lead F-2*.

A Bacia de Jequitinhonha está inserida na região da Bifurcação da Corrente Sul-Equatorial (BICSE), uma zona de formação e divisória entre fluxos conhecidos (Corrente do Brasil - CB e Corrente Norte do Brasil - CNB). Conforme observado nos dados da região, sobre a plataforma, há uma dinâmica bastante variada apresentando regiões localizadas onde há amplificações do sinal de maré e reversões completas no fluxo (para norte-nordeste) ao longo de toda a costa.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi obtida através de resultados do modelo numérico hidrodinâmico desenvolvido a partir do código de domínio público do *Princeton Ocean Model (POM)*, ajustado para modelar as correntes oceânicas na região do Estado da Bahia.

Foram conduzidas simulações do descarte de material, utilizando oito intervalos de classe de tamanhos para os cascalhos (dados para o Campo de Manati) e a granulometria dos principais constituintes sólidos dos fluidos de perfuração (bentonita e baritina), além da formulação de Watson (1969) para o cálculo das velocidades de queda das partículas.

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 (em direção ao quadrante sul) do ponto de descarte (fases sem *riser*), em direção ao quadrante sul (fases com *riser*, verão) e em direção ao quadrante norte (fases com *riser*, inverno), sendo que em 95% da área afetada as espessuras foram inferiores a 8 cm. Considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, a área de influência total do material descartado variou de 17.512 m² (no inverno) a 32.510 m² (no verão).

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS no desenvolvimento de Estudos Ambientais na Bacia de Jequitinhonha, apresenta-se este trabalho de modelagem computacional da distribuição espacial (área de influência e espessura) de cascalho e fluidos de perfuração no Bloco BM-J-1, a partir do *Lead F-2*. Essa avaliação foi conduzida através da utilização de um sistema de modelos computacionais conhecido como MUDMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.**

Foram conduzidas simulações do descarte de material, utilizando oito intervalos de classe de tamanhos para os cascalhos (dados para o Campo de Manati) e a granulometria dos principais constituintes sólidos dos fluidos de perfuração (bentonita e baritina), além da formulação de Watson (1969) para o cálculo das velocidades de queda das partículas.

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. Por fim, no Capítulo V são apresentadas as conclusões do presente estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

A figura I.1-1 apresenta a localização do *Lead F-2* no Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha, para o qual foram feitas as simulações de descarte de cascalho e fluidos de perfuração.

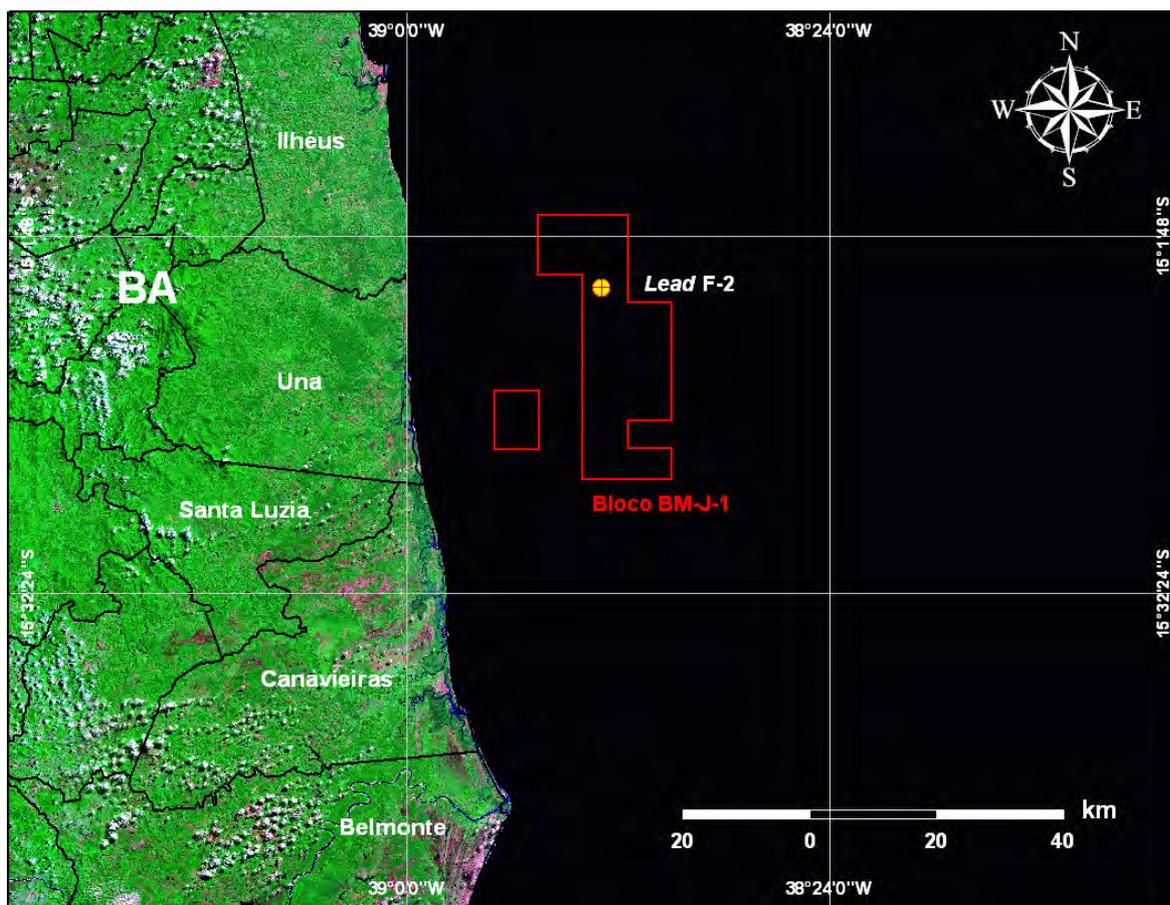


Figura I.1-1 - Localização do ponto de descarte de cascalho e fluidos de perfuração, Lead F-2, no Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha.

I.1.1 Características Meteorológicas da Região

A região Nordeste do Brasil apresenta alta variabilidade climática (Climanálise, 1996). A principal estação chuvosa (incluindo o norte e leste da região), responsável por 60% da chuva anual, ocorre de abril a julho e a estação seca ocorre de setembro a dezembro, para a maior parte da região (Rao *et al.*, 1993). Esta variabilidade pluviométrica interanual está associada às variações nos padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, modulando assim os índices pluviométricos da região Nordeste (Hastenrath, 1984; Moura & Shukla, 1981).

As figuras I.1.1-1 e I.1.1-2 apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 - 2001) de Reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança de posicionamento sazonal dos sistemas dominantes sobre a região Nordeste do Brasil (Alta Subtropical do Atlântico Sul – ASAS e da Zona de Convergência Intertropical – ZCIT), que se posicionam mais ao sul nos meses de verão.

A circulação atmosférica na região Nordeste é influenciada por quatro sistemas de circulação, denominados Sistemas de Correntes Perturbadas de Sul, Norte, Leste e Oeste. O sistema proveniente do sul, representado pelas frentes polares que alcançam a região na primavera/verão, das áreas litorâneas até o sul da Bahia, traz chuvas frontais e pós-frontais. No inverno, esses sistemas frontais chegam até o litoral de Pernambuco, enquanto o sertão permanece sob a ação da alta tropical.

Janeiro - Fevereiro - Março

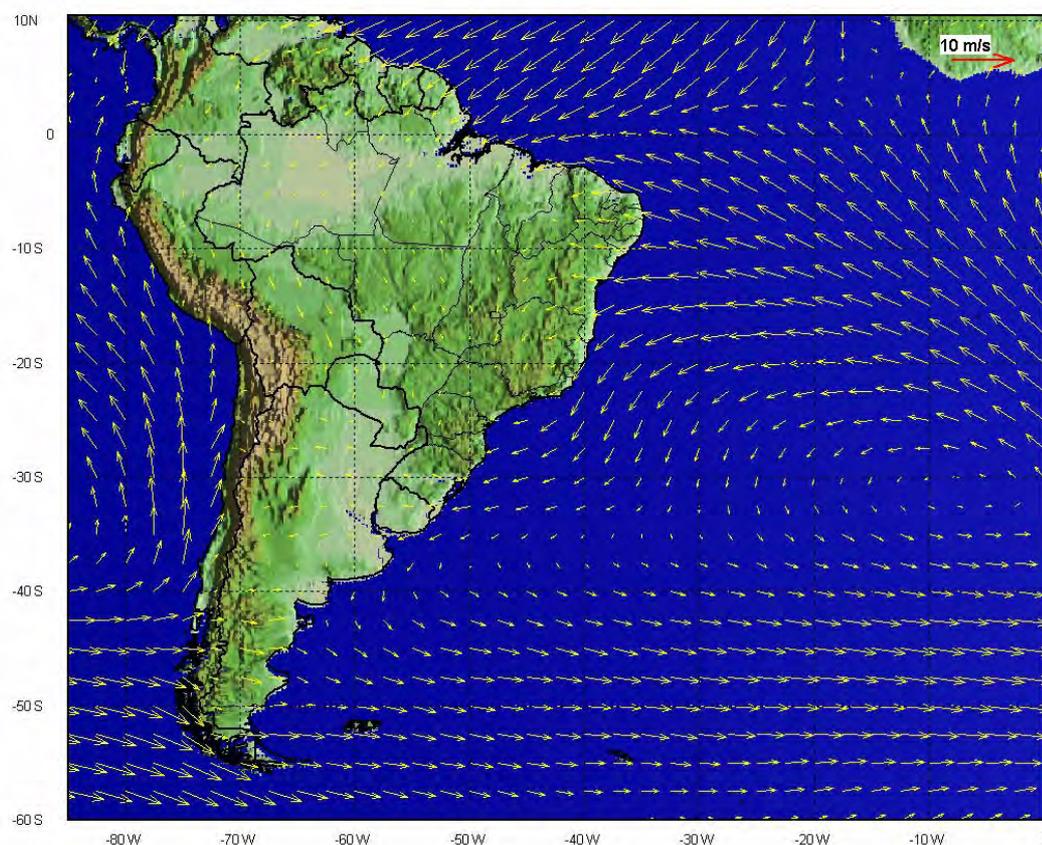


Figura I.1.1-1 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de verão.

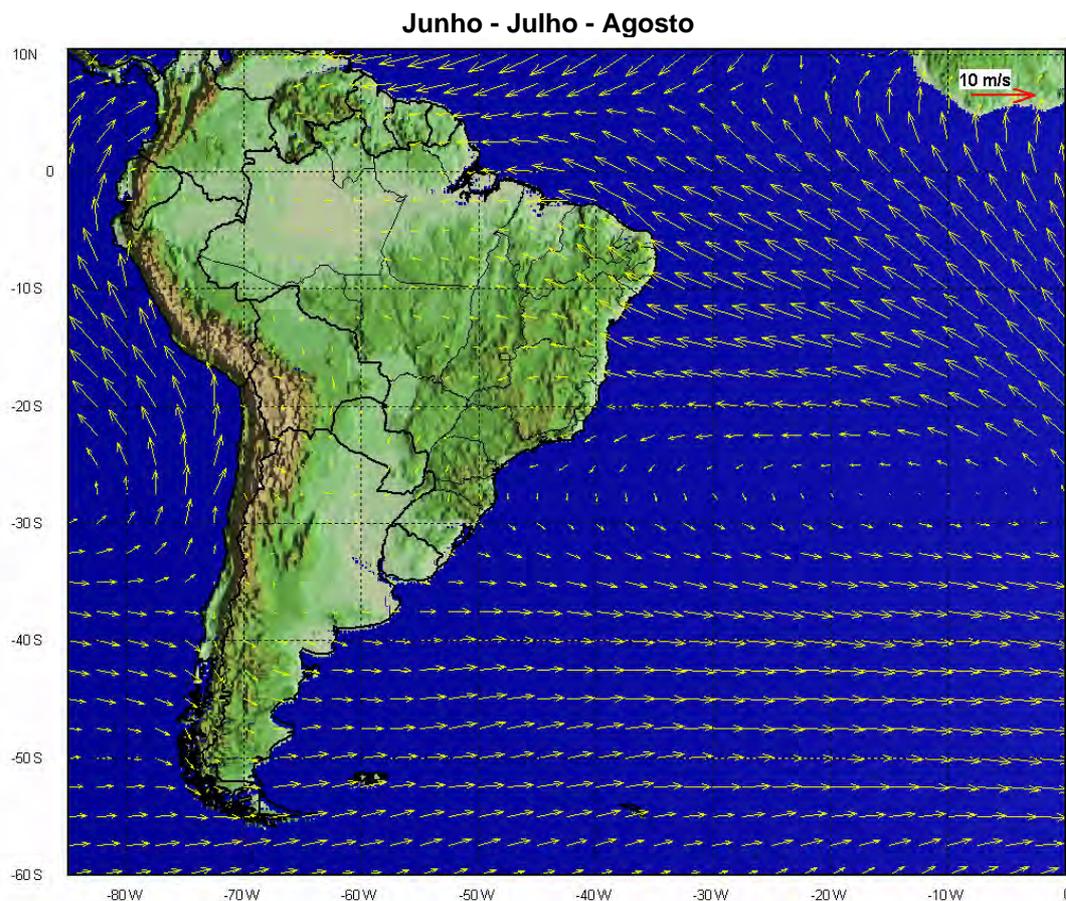


Figura I.1.1-2 - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento NCEP no período de inverno.

O Sistema de Correntes Perturbadas de Norte é representado pelo deslocamento sazonal da ZCIT (mais ao sul no verão), como pode ser visto na figura I.1.1-1, provocando chuvas do verão ao outono. Por outro lado, as perturbações de leste, que são provocadas pela convergência dos Alísios com a brisa marítima, são mais frequentes no inverno e, normalmente, provocam chuvas abundantes no litoral, raramente alcançando as escarpas do Planalto da Borborema (800 m) e da Chapada Diamantina (1.200 m). Por fim, o sistema de correntes de oeste, trazidas pelas linhas de Instabilidade Tropical (IT), ocorrem desde o final da primavera até o início do outono, raramente alcançando os estados do Piauí e Maranhão.

A figura I.1.1-3 ilustra situações típicas de inverno através dos campos de vento a 10 metros e pressão atmosférica reduzida ao nível médio do mar, obtidas da Reanálise do NCEP, para os dias 1º e 15 de junho de 2003, às 18 GMT. Os campos mostram uma situação de predomínio dos Alísios (a) e uma situação onde o regime de ventos é dominado pela passagem de sistemas frontais (b). Os

efeitos orográficos da topografia local são também detectáveis, amplificando a componente meridional do campo de vento.

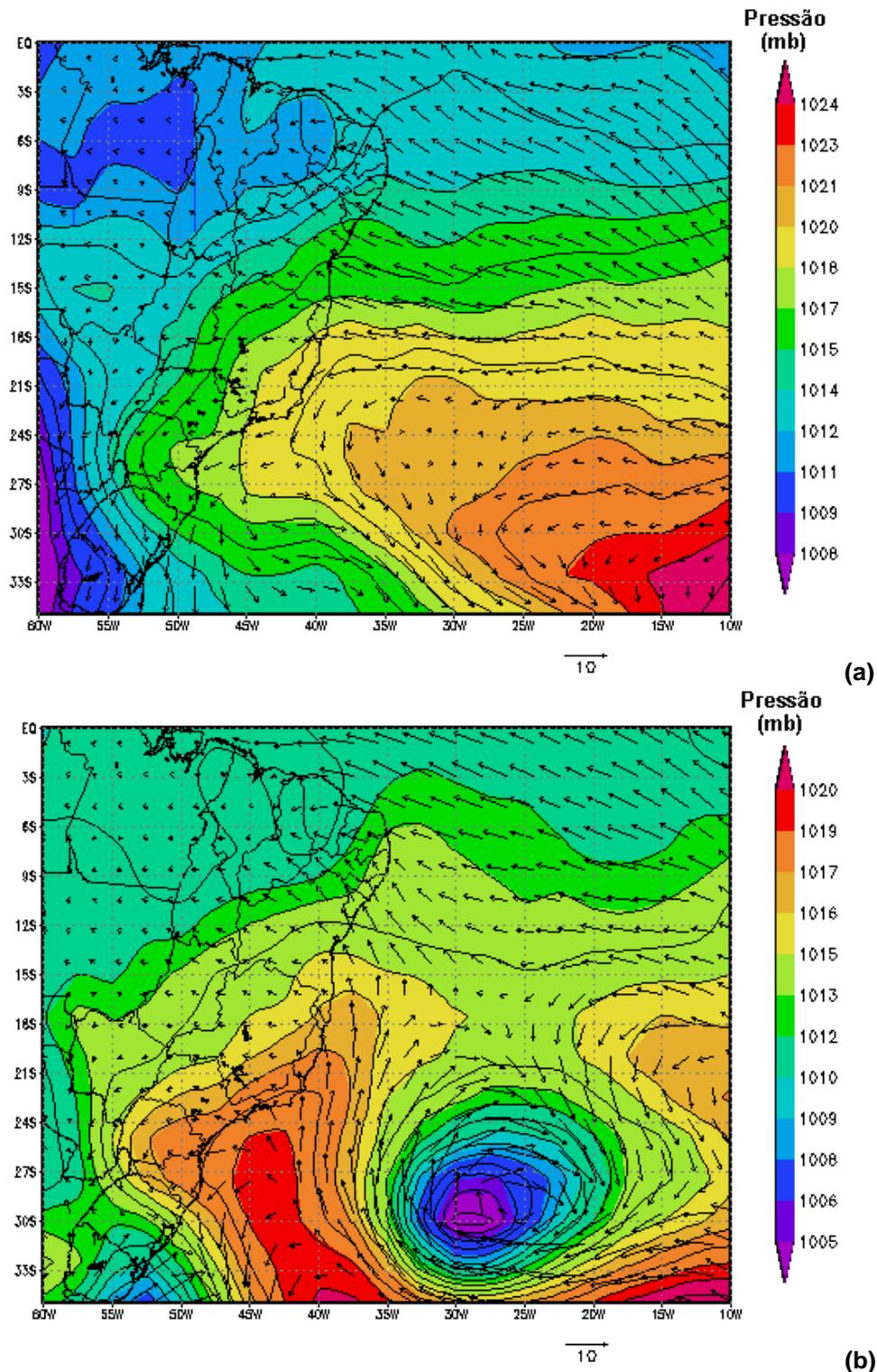


Figura I.1.1-3 - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos da Reanálise do NCEP para os dias: (a) 1^o de junho de 2003 e (b) 15 de junho de 2003, às 18 GMT.

Perturbações do padrão típico da Alta Sub-tropical do Atlântico Sul (ASAS), como ilustrado na figura I.1.1-3, diretamente relacionadas a deslocamentos de sistemas frontais, influenciam fortemente a região, através da intensificação (no inverno) do padrão sudeste (jatos) do vento.

A figura I.1.1-4 ilustra a situação típica de verão, no dia 2 de janeiro de 2003, às 18 GMT, onde a ASAS e os Alísios de leste-nordeste são predominantes.

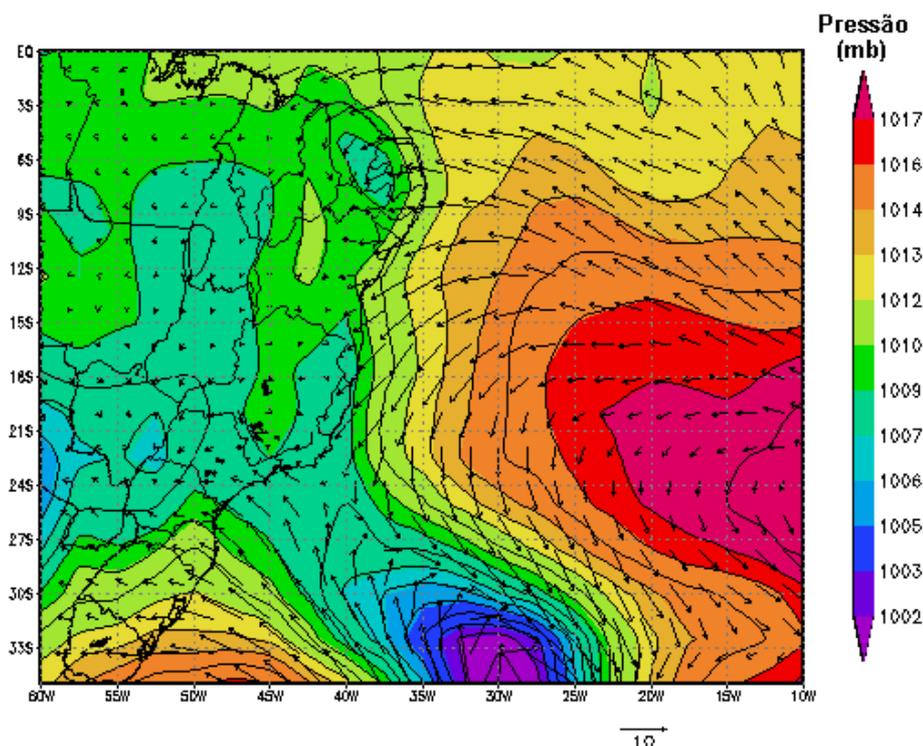


Figura I.1.1-4 - Campos de vento e pressão atmosférica obtidos da Reanálise do NCEP para o dia 2 de janeiro de 2003, às 18 GMT.

Em meso e pequena escala, a circulação gerada pelo vento sobre a região de plataforma está fortemente influenciada pelos efeitos da brisa marinha e pela intensificação da componente meridional do vento. Este fato é explicado pelo efeito da barreira orográfica, mudando localmente o padrão do vento imposto pela larga escala através dos Alísios de sudeste (no inverno) e de leste e nordeste (no verão).

1.1.2 Características Oceanográficas da Região

Toda a região localizada acima da Cadeia Vitória-Trindade é uma zona de formação e divisória entre fluxos superficiais e sub-superficiais (*i.e* Corrente do Brasil - CB e Corrente Norte do Brasil - CNB). Este processo, conhecido como Bifurcação da Corrente Sul-Equatorial (BICSE), é relativamente pouco estudado do ponto de vista observacional, embora já bastante discutido em literatura relacionada (*e.g.* Stramma & Schott, 1996; Stramma & England, 1999; Rodrigues *et al.*, 2007).

Embora relativamente pouco documentado, o conhecimento sobre a dinâmica oceânica da região permite o reconhecimento de escalas de movimento (pequena a grande) e a inter-relação entre as mesmas. Deste modo, processos físicos como os perfis médios da Sub-Corrente Norte do Brasil e as características das massas d'água na área, estabelecidas em Schott *et al.* (2005), são aplicáveis à toda a região compreendida acima do Parcel de Abrolhos, até atingir a zona de predomínio dos fluxos equatoriais zonais. Portanto os dados e conclusões de literatura, apresentadas a seguir, têm relação direta com a dinâmica oceânica adjacente a Bacia do Jequitinhonha. Por outro lado, estes dados e conclusões de literatura não contêm informação suficiente sobre o que ocorre nas camadas superficiais e em região de plataforma interna, em especial na área de interesse. Assim, campanhas de monitoramento (medições) nesta área são meritorias quando executadas, já que só o acúmulo das mesmas permite identificar a integração entre movimentos de pequena e grande escala, acima mencionada.

Sobre a plataforma, a dinâmica mostra diversas feições, apresentando desde amplificações de maré sobre o Parcel de Abrolhos e nas proximidades da Baía de Todos os Santos (BTS), até reversões do fluxo principal para norte, padrão já confirmado por medições da PETROBRAS na área (ASA, 2004). A plataforma continental é bastante estreita, apresentando, em algumas áreas, um talude continental abrupto e recortado. Nas áreas mais estreitas, o efeito da circulação do talude e oceano aberto se faz mais presente. Especificamente sobre o talude, pouco se conhece a respeito da circulação média e suas variabilidades. Supõe-se que o padrão de corrente de contorno oeste em regime permanente, contribua

diretamente para a formação do fluxo da Corrente do Brasil (melhor definido ao sul do Parcel de Abrolhos).

Por estas razões, a representação da circulação hidrodinâmica, na área de estudo, depende da escala (espacial e temporal) dos movimentos que se pretenda representar. Uma representação da circulação em grande escala, é apresentada na figura I.1.2-1, que ilustra as feições superficiais médias da corrente, a partir dos resultados climatológicos de uma simulação numérica realizada com o OCCAM¹.

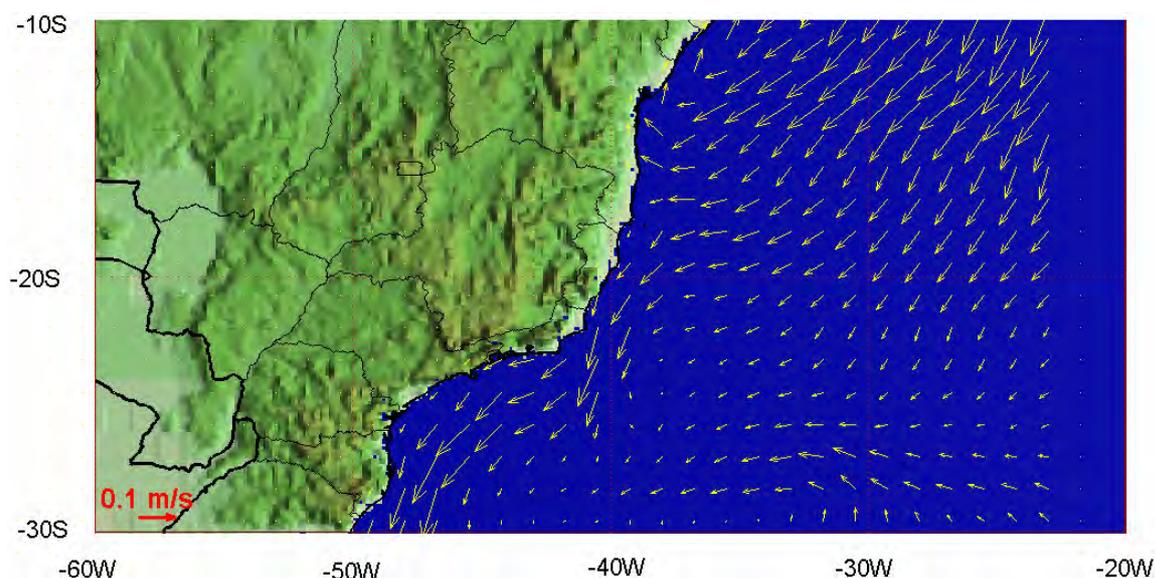


Figura I.1.2-1 - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM

De acordo com Rodrigues *et al.* (2007), considerando a circulação média anual, a BICSE ocorre em torno de 14° S próximo a superfície, deslocando-se em direção ao sul com o aumento da profundidade, alcançando 27°S a 1.000 m. A variabilidade sazonal da latitude de bifurcação é mais acentuada nos 400 m superficiais, onde atinge uma posição mais ao sul em julho e mais ao norte em novembro.

Recentemente, Schott *et al.* (op. cit.) analisaram dados de correntes coletados na radial sul do projeto CLIVAR²; a radial compunha-se por 5 (cinco) fundeios

¹ *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project* – Climatologia realizada a partir dos últimos 4 anos de uma simulação de 14 anos.

² *Climate Variability and Predictability*.

(K1 a K5), dispostos entre 36°W e 34°W, perpendicularmente à costa do Brasil, entre as latitudes de 10°S-11°S. Embora relativamente distantes da região em foco neste estudo, este amplo conjunto de dados (séries temporais obtidas em várias profundidades para março de 2000 a agosto de 2004) consolidou informações essenciais para o entendimento dos padrões de circulação em talude e oceano profundo na região nordeste do Brasil. A figura I.1.2-2 apresenta o transporte médio (em Sverdrups³) obtido a partir destes dados, ilustrando a estrutura vertical das correntes de contorno oeste nesta área: em sub-superfície, uma corrente intensa para norte-nordeste, associada à Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB); e em maiores profundidades, uma corrente para sul, também bastante intensa, associada à circulação da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). Observa-se que a SCNB já se encontra bem definida nesta região, corroborando com hipóteses de que a BICSE ocorra ao sul de 11°S.

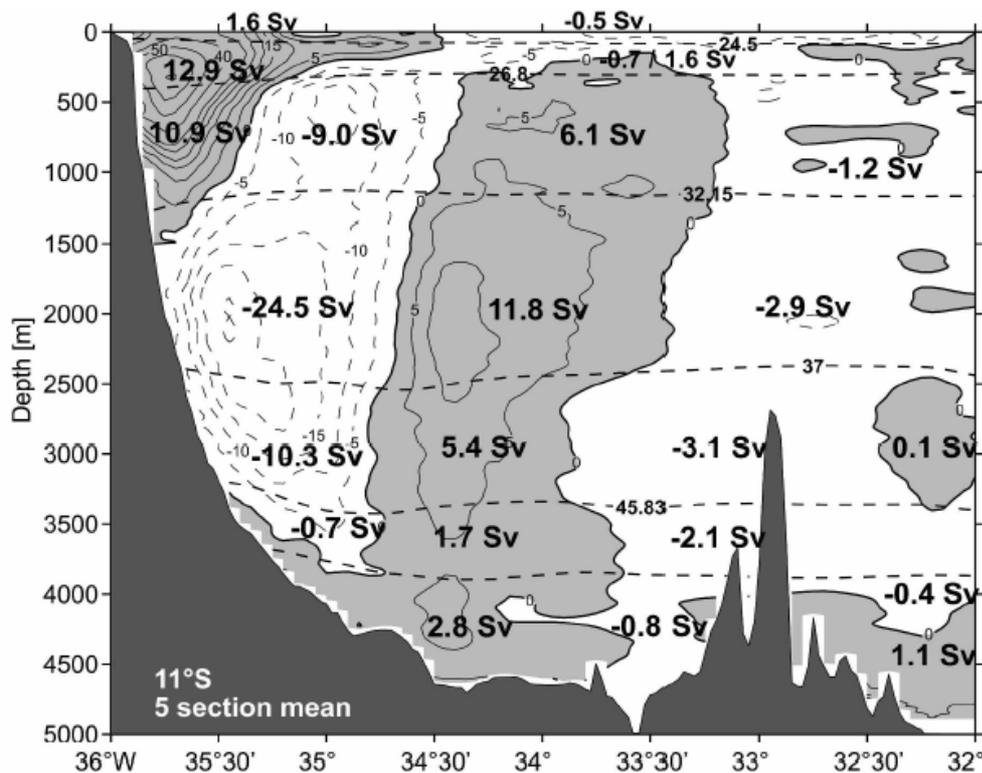


Figura I.1.2-2 - Transporte médio ao longo da costa do Sergipe, baseado na distribuição de correntes obtidas nas 5 estações amostradas de 2000 a 2004 - 11°S (Schott et al., 2005).

³ Unidade de volume transportado; é igual a 10⁶ m³ por segundo.

No entanto, na superfície, para profundidades inferiores a 100 m, mas ainda em mar aberto, há períodos em que a intensidade da SCNB diminui consideravelmente, como indicado na figura I.1.2-3, que ilustra os resultados publicados, próximos à superfície, no fundeio K2 (ADCP invertido - Schott & Molinari, 2002). A ASA não teve acesso a esses dados, não tendo sido possível realizar uma análise mais detalhada, mas de acordo com esta figura, observa-se a existência de uma variação temporal na posição vertical da SCNB, havendo períodos em que seu núcleo se aprofunda, e outros em que se observa o afloramento do mesmo.

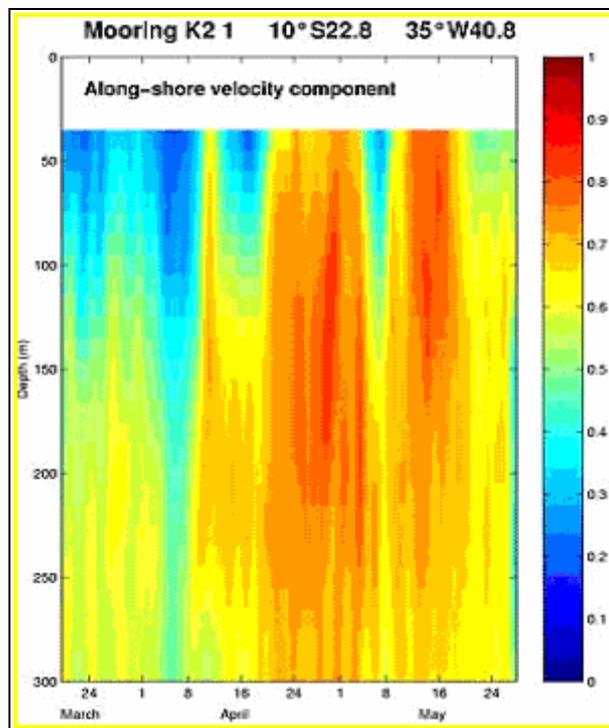


Figura I.1.2-3 - Série temporal do perfil de corrente nos primeiros 300 metros da coluna d'água, obtido a partir de dados com ADCP invertido no ponto do fundeio K2 (Schott & Molinari, 2002).

A figura I.1.2-4 apresenta dados de correntes coletados na Bacia de Jequitinhonha (BM-J-1, 15°04'59,3"S; 38°43'50,6"W) pela PETROBRAS, a 20 m de profundidade, durante o período de 8 de março a 20 de maio de 2004, (PETROBRAS, 2004).

Os primeiros 20 dias de dados estão bastante consistentes, apresentando variações anômalas nos últimos dias de coleta. Estes últimos instantes estão

realmente comprometidos, conforme informação pessoal, quando estes dados foram enviados a **ASA**. Após a interrupção da série, entre os dias 25 de março e 10 de abril, os dados estão estacionários na direção, o que chama atenção, já que mesmo sob forte influência do fluxo SSE presente no talude, há comprovadamente alguma variabilidade na direção zonal do mesmo (em decorrência da atuação direta do vento local). Em torno do dia 28 de abril, há uma mudança abrupta de comportamento, mudança esta associável ao padrão de vento (que se intensifica para norte neste período), fazendo com que o conjunto de dados passe a apresentar freqüentes inversões, respondendo a um padrão já típico de inverno.

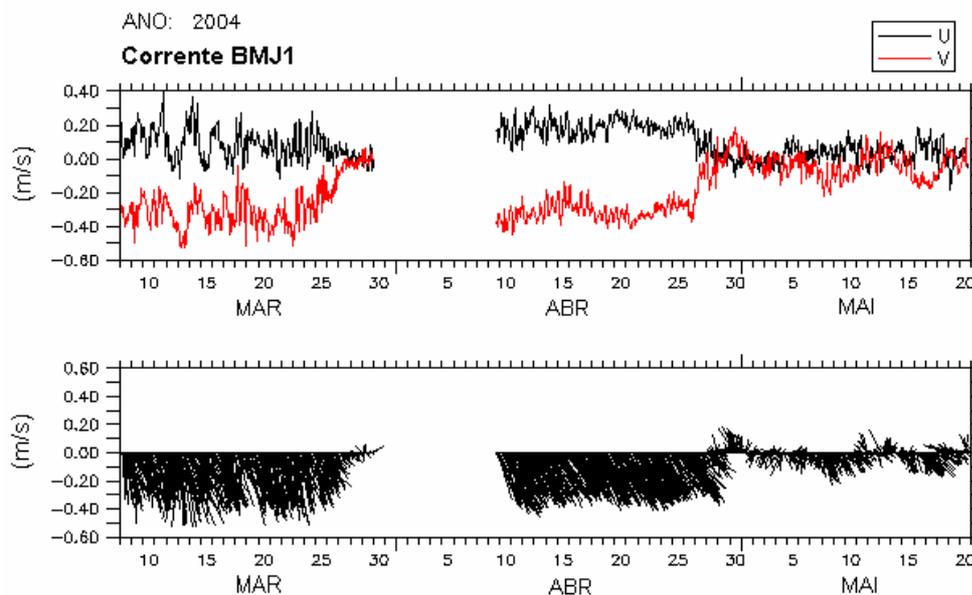


Figura I.1.2-4 - Dados de correntes coletados na Bacia de Jequitinhonha (BM-J-1) pela PETROBRAS durante o período de 8 de março a 20 de maio de 2004. Painel superior: componentes u e v ; painel inferior: stick plots.

II MODELO HIDRODINÂMICO

Nesta etapa do trabalho descreve-se o modelo hidrodinâmico e sua implementação na Bacia de Jequitinhonha e adjacências, com o intuito de reproduzir a dinâmica local e, conseqüentemente, o campo base de correntes necessário para a finalização do estudo proposto.

O código numérico em uso, baseado no POM e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**, é o mesmo descrito em trabalhos anteriores (ASA, 2004), diferindo apenas em relação a alterações específicas nas condições de contorno e no *setup* das condições iniciais do modelo. A implementação aqui apresentada utiliza como forçantes principais o campo termohalino e baroclínico de fundo projetado de um modelo de larga escala (OCCAM), campos tridimensionais de ventos (Reanálise do NCEP) e as principais componentes de maré, originárias do CSR3⁴.

Este modelo, já apresentado a PETROBRAS (ASA, 2007), forneceu resultados consistentes com os dados anteriormente utilizados para validação em região de plataforma, dados disponibilizados sobre o talude continental e com informações de larga escala, provenientes de medições afastadas da região de estudo e de modelos globais. Estes resultados, entretanto, são específicos para um dado período e determinados pelo atual nível de conhecimento na área de estudo. A extrapolação dos mesmos no espaço e no tempo é sempre possível, sendo esta uma das vantagens da utilização de ferramentas numéricas. No entanto, é recomendável manter margens de segurança suficientes na análise dos resultados.

II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado para a simular as condições na plataforma continental foi baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987), e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**. A formulação deste modelo possui estrutura

⁴ Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas.

tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas escritas na forma de fluxo, sob as aproximações de Boussinesq e hidrostáticas. 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 2^a 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:

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

onde

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

Nesta formulação está incluído o submodelo de fechamento turbulento, para o cálculo dos coeficientes de mistura turbulenta vertical. O fechamento turbulento de 2^a 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 acima mencionados, o modelo adota soluções largamente utilizadas na literatura, como gradeamento do tipo *C* de Arakawa e métodos de integração diferenciados 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 do POM

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:

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

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

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

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

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

Conservação de Temperatura Potencial:

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

Conservação de Salinidade:

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

Equação de Estado:

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

Equação da Energia Cinética Turbulenta:

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

Equação da Turbulência em Macro Escala:

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

sendo,

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

$$\tilde{W} \equiv 1 + E_2 \left(\frac{l}{kL} \right)^2 \quad (\text{III.1.1-11})$$

$$(L)^{-1} \equiv (\eta - z)^{-1} + (H + z)^{-1} \quad (\text{III.1.1-12})$$

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);
 F_H, F_S = parametrização (em termos de processos de mistura horizontal) para processos de pequena escala não resolvidos diretamente pela grade do modelo.
 $q^2/2$ = energia cinética turbulenta;
 l = escala característica de comprimento para o movimento turbulento;
 \tilde{W} = função proximidade-do-contorno;
 k = constante de von Karman ($k=0,4$);
 $F_{q^2, q^2 l}$ = termos horizontais de mistura para q^2 e $q^2 l$.

II.1.2 Condições de Contorno Adotadas

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Em áreas com aporte fluvial significativo para a escala do domínio, os valores de vazão, temperatura e salinidade dos rios são diretamente especificados nos contornos. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (Mellor & Yamada, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. Opcionalmente, fluxos de calor e sal (evaporação) podem ser incluídos. No fundo, são aplicadas as condições dinâmicas descritas em Mellor & Yamada (op. cit.). A velocidade de arrasto é calculada como uma função empírica da energia cinética turbulenta, por sua vez, decorrente do fechamento turbulento de segunda ordem.

Nos contornos artificiais são aplicadas, ao modelo, condições de contorno para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas condições de contorno são definidas para elevação da superfície do mar, velocidades do modo externo (2D), velocidades do modo interno (3D), temperatura, salinidade, velocidade vertical e energia cinética turbulenta.

Nas componentes perpendiculares à fronteira são aplicadas condições radiacionais em função da elevação, do tipo $H\bar{U} \pm C_e \eta = BC^2$, onde $C_e = \sqrt{gH}$ é a velocidade de fase da onda que chega ao sistema, η é a elevação do nível do mar e B, um coeficiente, empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição esta descrita por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \text{ (condição análoga aplicada à salinidade)} \quad (\text{III.1.2-1})$$

II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E FORÇANTES

II.2.1 Batimetria

A modelagem hidrodinâmica teve como objetivo a reprodução da circulação da região costeira, talude e oceano profundo ao largo da Bacia de Jequitinhonha. Assim, foi considerado um domínio de larga escala, com maior grau de adensamento sobre as regiões de transição entre a plataforma e oceano profundo, *i.e.* talude continental. A grade final gerada para o litoral da Bahia possui dimensão horizontal máxima de 140x350x24 pontos, com resolução espacial média de 2,5 km na área em foco (figura II.2.1-1).

A grade geral implementada representa a atualização de um compromisso entre os objetivos do projeto, a capacidade computacional atual e a descrição dos processos hidrodinâmicos relevantes para a região de interesse.

Os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN⁵ números 1, 1.100, 1.131 e 1.200, para a região das bacias Camamu-Almada e Jequitinhonha, e complementados em águas profundas com dados do ETOPO2, do NGDC/NOAA⁶.

Em relação a discretização da batimetria no domínio modelado, agregam-se às características dinâmicas e morfológicas locais, questões relacionadas à ausência e/ou baixa qualidade de dados batimétricos/altimétricos da região. Em regiões não hidrografadas ou com baixa qualidade/resolução nos dados, foram usados recursos como o georreferenciamento de fotos de satélite, relatos de navegantes, entre outros, para complementar os níveis requeridos à base de dados da **ASA SOUTH AMERICA** na região, visando o ajuste fino da batimetria à linha de costa (figura II.2.1-1).

⁵ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

⁶ *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*

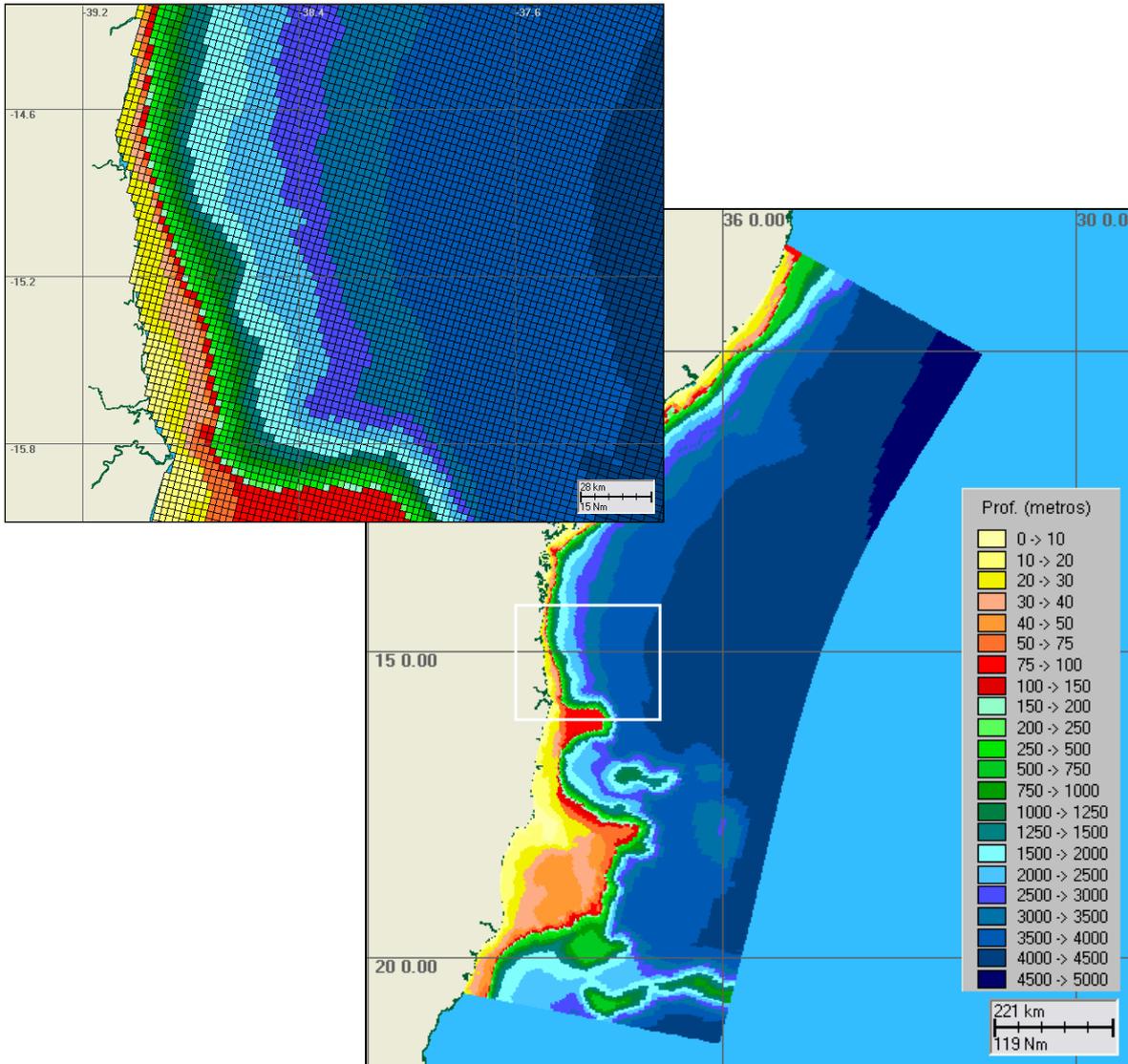


Figura II.2.1-1 - Batimetria projetada no domínio considerado no modelo hidrodinâmico, com destaque para a região em torno do Bloco BM-J-1.

II.2.2 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM, foram obtidos a partir de resultados do OCCAM. A figura III.2.2-1 ilustra estes campos, projetados na grade do modelo, para um instante de verão.

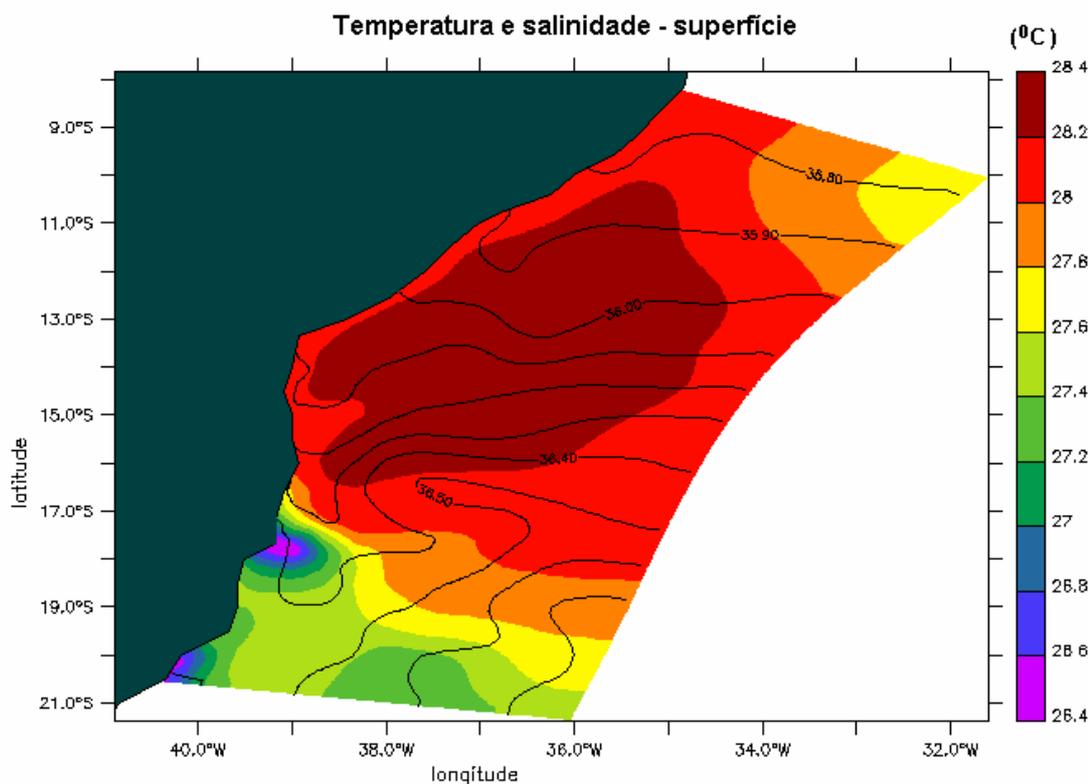


Figura II.2.2-1 - Campos de temperatura e salinidade projetados na grade do modelo hidrodinâmico.

II.2.3 Marés

Embora usadas somente nos contornos abertos (não se ativou o potencial de maré neste domínio, devido à relativa pequena escala do domínio para o fenômeno), o campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é proveniente do CSR3 (www.csr.utexas.edu), que por sua vez baseia-se em conjunto de dados (*tracks*) de satélite (Topex/Poseidon). Este campo foi projetado em toda a grade, de forma a permitir 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 , no caso, as diurnas e semi-diurnas. A figura II.2.3-1 ilustra a amplitude e fase da componente M_2 , projetada na grade do modelo.

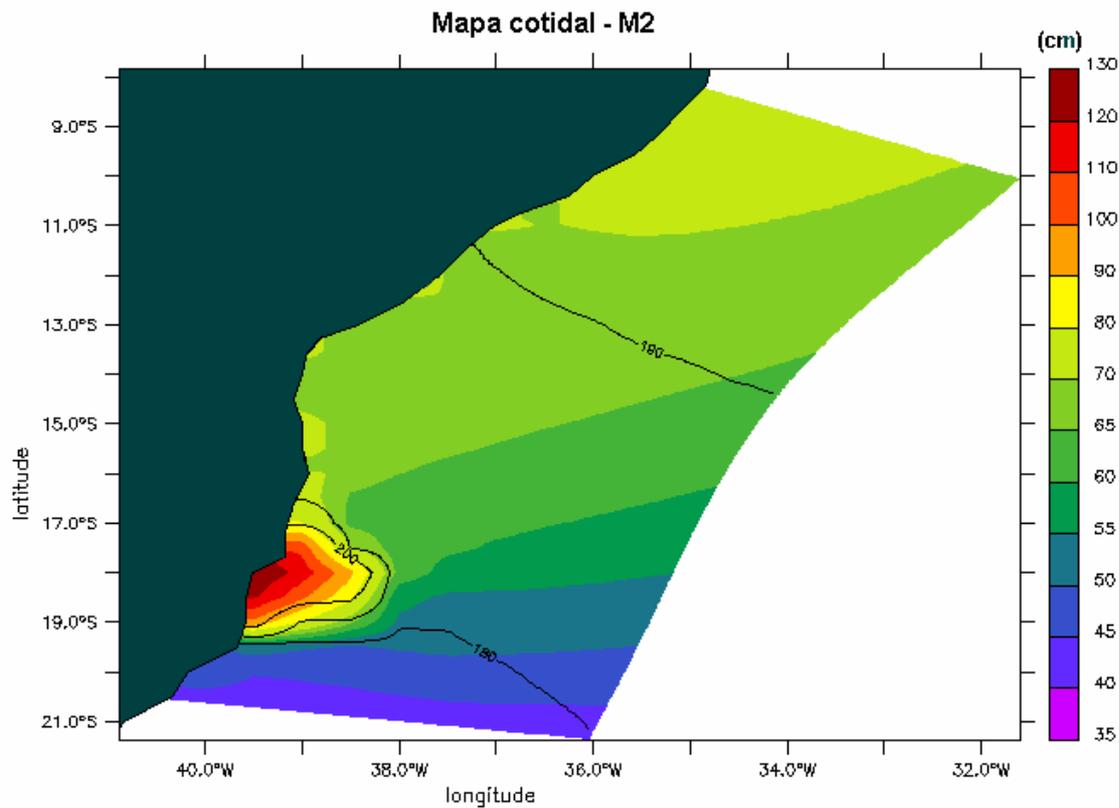


Figura II.2.3-1 - Mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré, projetado na grade do modelo hidrodinâmico (escala de cores com espaçamento irregular).

II.2.4 Dados de Vento

O campo de vento utilizado como forçante do modelo hidrodinâmico foi gerado a partir de uma composição entre séries temporais pontuais de dados costeiros obtidos junto à INFRAERO (no caso quatro séries localizadas em Vitória, Ilhéus, Salvador e Aracaju) e resultados extraídos de Reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. A figura II.2.4-1 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade do modelo.

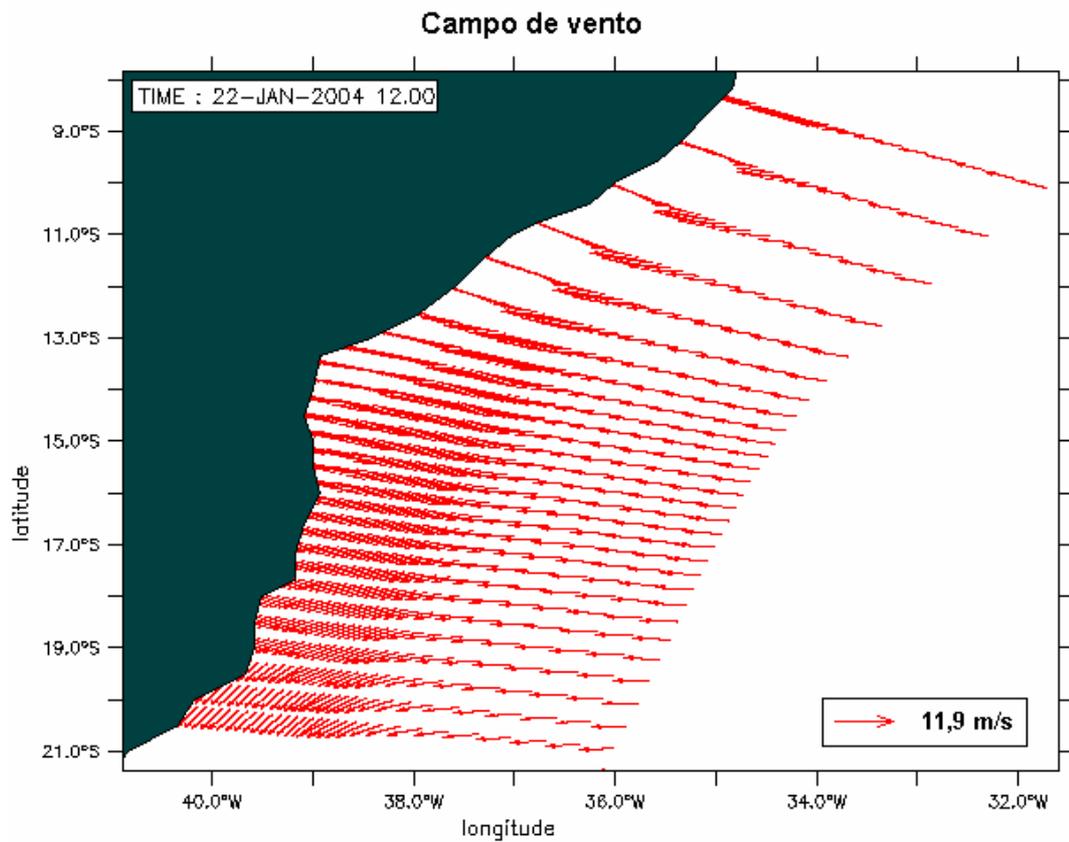


Figura II.2.4-1 - Campo de vento NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

III MODELAGEM DO DESCARTE DE CASCALHO E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

A modelagem do descarte de cascalho e fluidos de perfuração 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, 1994; Spaulding *et al.*, 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 no Bloco BM-J-1, foi definida a área de estudo para o ponto de descarte. Nessa área, foi estabelecida uma grade computacional (*i.e.* campo de correntes) e definido o campo termohalino, utilizado como dado de entrada no MUDMAP e no cálculo da velocidade de queda das partículas.

III.2.1 Campo de Correntes

O campo de correntes utilizado foi obtido a partir dos resultados do modelo hidrodinâmico descrito no Capítulo II. As figuras III.2.1-1 e III.2.1-2 apresentam os *stick plots* das correntes que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo, para períodos típicos de verão e inverno na região do Bloco BM-J-1.

Nota-se que o modelo reproduz o padrão de correntes superficiais observado na região (descrito no Item I.1.2). As intensidades são da ordem de 0,5 m/s, com direção predominante para sul no verão, e para norte no inverno. As intensidades diminuem a medida em que se desce na coluna d'água e a direção do fluxo se mantém a mesma até aproximadamente 100 m. O modelo simula uma corrente fraca fluindo para norte, tanto no inverno quanto no verão, em torno de 200 m de profundidade. Esta corrente está associada ao fluxo da Sub-Corrente Norte do Brasil, que em região de oceano aberto apresenta intensidades maiores. O fluxo próximo ao fundo é para sul, com intensidades da ordem de 0,2 m/s, associado à Corrente de Contorno Oeste Profunda, que também se apresenta mais intensa em região de oceano aberto.

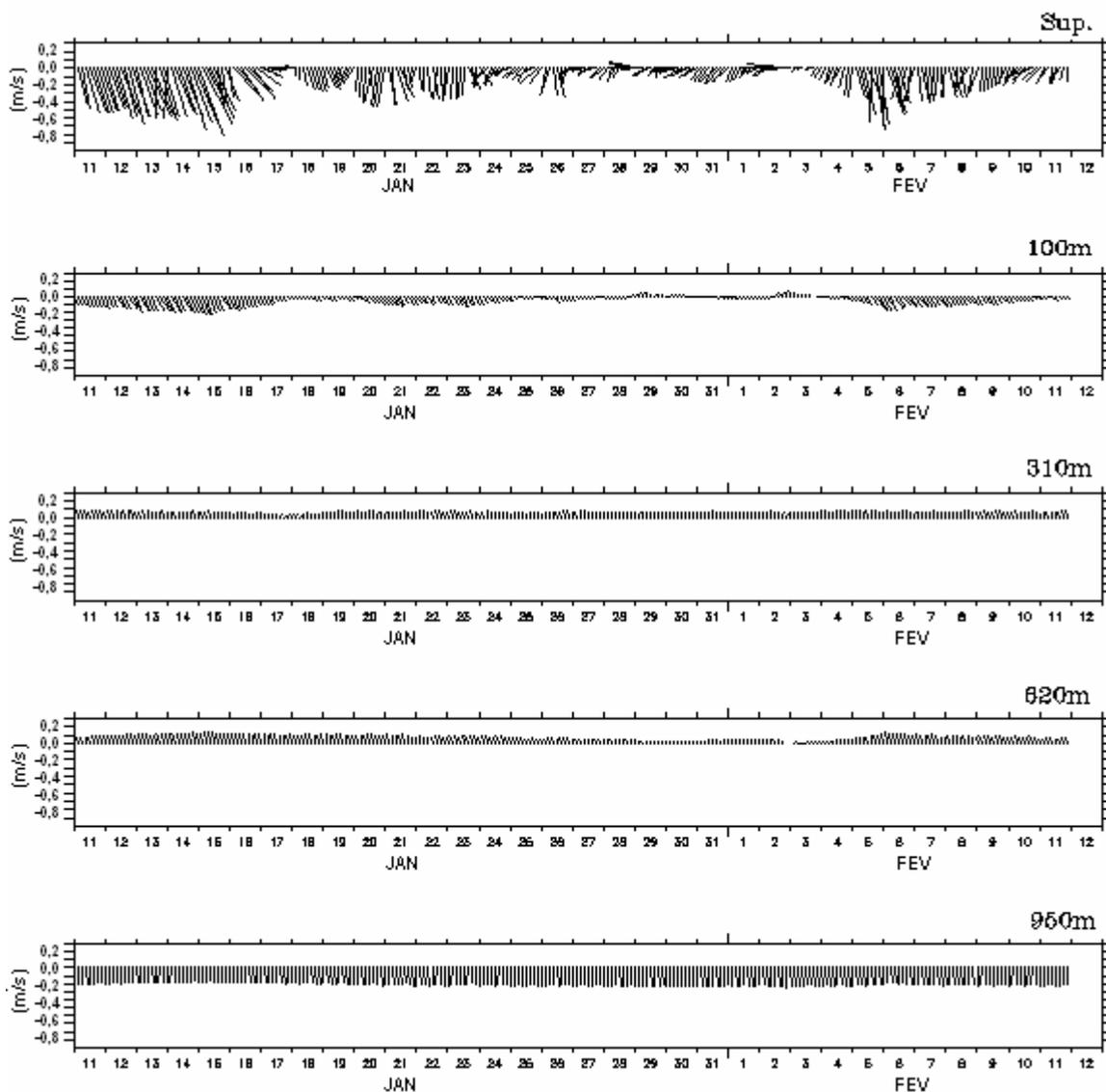


Figura III.2.1-1 - Stick plots de correntes obtidas a partir do modelo hidrodinâmico, que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo para um período típico de verão na região do Bloco BM-J-1.

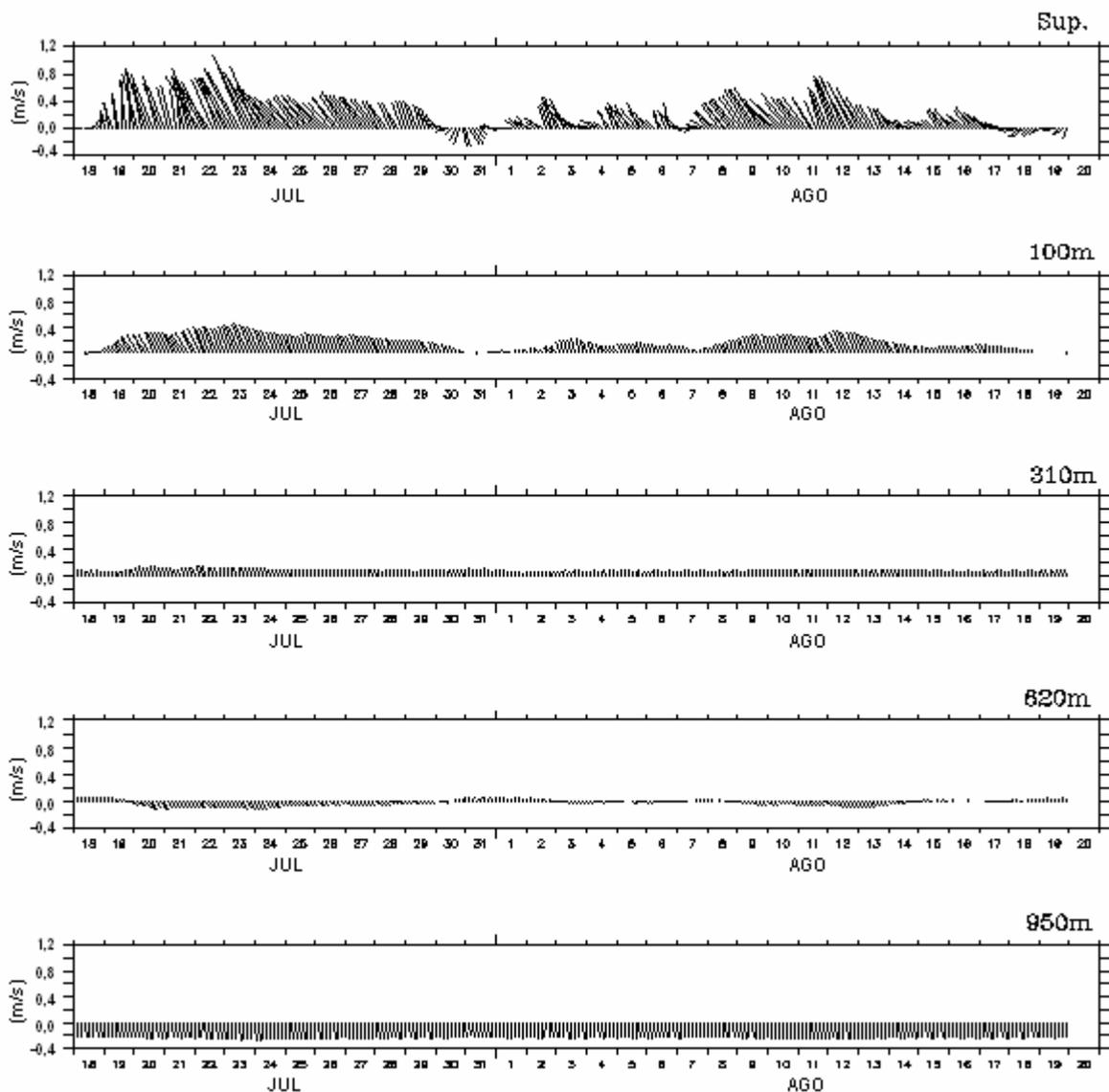


Figura III.2.1-2 - Stick plots de correntes obtidas a partir do modelo hidrodinâmico, que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo para um período típico de inverno na região do Bloco BM-J-1.

III.2.2 Campo Termohalino

Os dados de densidade são utilizados pelo MUDMAP para o cálculo da velocidade de deposição das partículas. Sendo possível e, desde que as séries temporais possuam significado estatístico, prioriza-se a utilização de dados para este cálculo, buscando considerar uma estrutura de densidade o mais próxima da realidade possível, daí a escolha dos dados do WOCE⁷ para caracterizar o campo termohalino local.

As figuras III.2.2-1 e III.2.2-2 apresentam secções verticais ao longo de 15°S do campo de densidade médio calculado para períodos típicos de verão e inverno na região do Bloco BM-J-1, 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 os perfis de densidade típicos de verão e inverno obtidos para a região, utilizados como dados de entrada no MUDMAP.

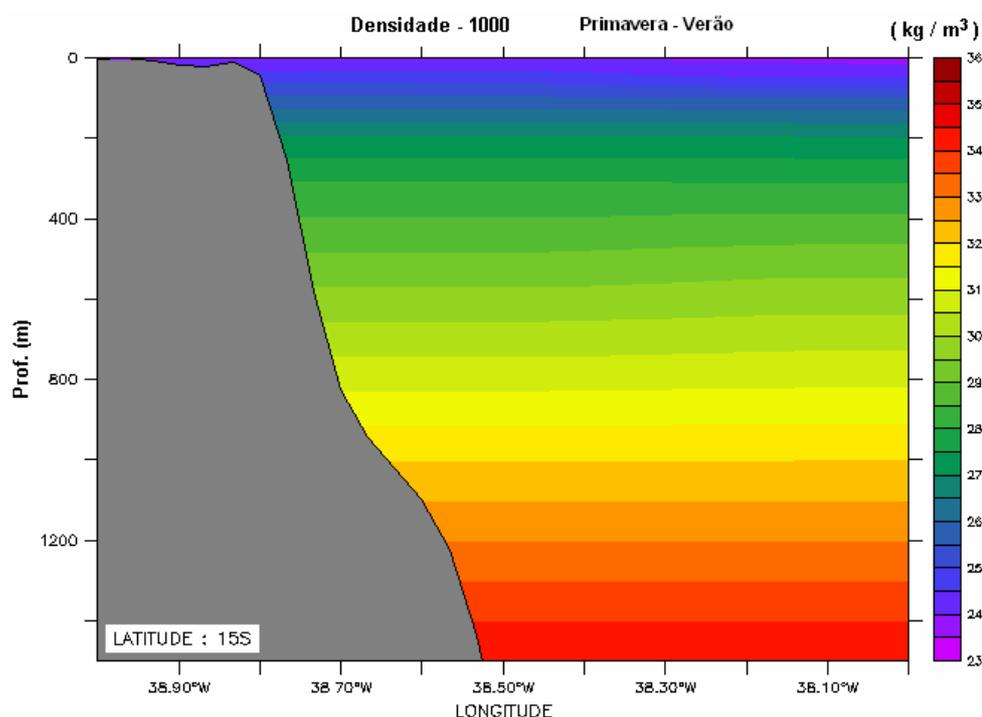


Figura III.2.2-1 - Seção vertical de densidade (kg/m³) ao longo de 15°S, na região do Bloco BM-J-1, durante o período de verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

⁷ World Ocean Circulation Experiment.

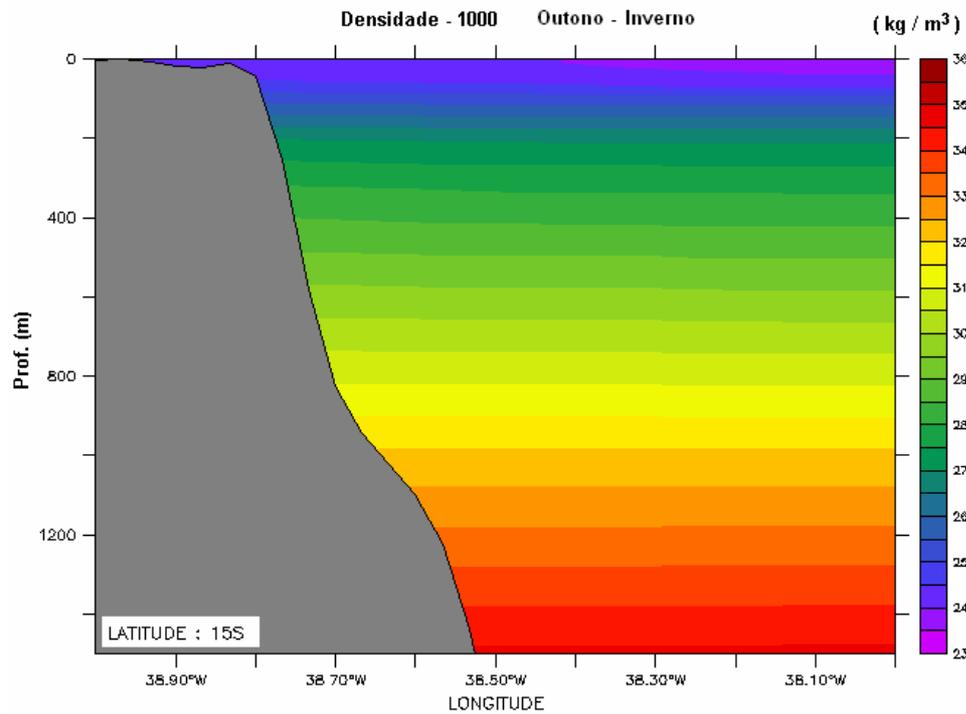


Figura III.2.2-2 - Seção vertical de densidade (kg/m³) ao longo de 15°S, na região do Bloco BM-J-1, para o período de inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

Tabela III.2.2-1 - Perfis médios de densidade, típicos de verão e inverno, para a região do Bloco BM-J-1.

| PROFUNDIDADE (m) | DENSIDADE DA ÁGUA DO MAR (kg/m ³) | |
|------------------|---|---------|
| | VERÃO | INVERNO |
| 0 | 1.023,7 | 1.024,1 |
| 25 | 1.024,3 | 1.024,3 |
| 50 | 1.024,7 | 1.024,4 |
| 75 | 1.025,2 | 1.024,8 |
| 100 | 1.025,6 | 1.025,3 |
| 200 | 1.027,0 | 1.027,0 |
| 300 | 1.027,9 | 1.027,9 |
| 500 | 1.029,1 | 1.029,1 |
| 1.000 | 1.032,0 | 1.032,1 |

III.3 CENÁRIOS DE DESCARTE DE PARTÍCULAS

Os cenários simulados foram definidos de forma a abranger as condições características dos períodos de verão e inverno na região onde se localiza o Bloco BM-J-1. 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 Ponto de Descarte

As simulações do descarte de partículas foram realizadas a partir do *Lead F-2*, Bloco BM-J-1, indicado na figura I.1-1, cujas coordenadas foram especificadas pela PETROBRAS e se encontram listadas na tabela III.3.1-1.

Tabela III.3.1-1 - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) do ponto de descarte de partículas no Bloco BM-J-1.

| POÇO | BLOCO | LATITUDE | LONGITUDE | LÂMINA D'ÁGUA (m) |
|-----------------|--------|----------------|----------------|-------------------|
| <i>Lead F-2</i> | BM-J-1 | 15°06'14,16" S | 38°43'25,29" W | 965 |

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 fluido de perfuração para a sonda e todo o material retirado do poço será descartado no fundo do mar, depositando-se próximo à cabeça de poço. A perfuração com *riser* corresponde à etapa com retorno de fluido de perfuração e cascalho para a superfície, sendo o descarte realizado 2 m abaixo da superfície do mar. Para efeitos de modelagem o descarte das fases com *riser* foi efetuado em superfície, e das fases sem *riser*, 5 m acima do fundo do mar. Durante a perfuração serão descartados o cascalho e o fluido, considerou-se, ainda, que 36% do fluido estava aderido ao cascalho. A porcentagem de fluido aderido é a média encontrada na análise de quatro poços do Campo de Manati, localizado no Bloco BCAM-40.

O processo de perfuração será composto por quatro fases distintas: Fases I e II sem *riser*, e Fases III e IV com *riser*. O início da perfuração se dará com um

poço de diâmetro 36” e intervalo de 65 m, com a utilização de fluido de perfuração convencional. Na Fase II a perfuração será realizada com broca de 17½” de diâmetro, com intervalo de 670 m, utilizando fluidos de perfuração convencional e salgado tratado com amido (STA). Toda a fase será perfurada com fluido convencional e, ao final, este será substituído pelo STA, que é um fluido mais completo, com o objetivo de inibir o inchamento de argilas e conseqüentes complicações na descida do revestimento. Portanto, ao final desta fase será descartado o fluido STA excedente. A perfuração das Fases III (diâmetro de poço de 12¼”) e IV (diâmetro de 8½”,) será realizada utilizando o fluido de perfuração salgado (KCl) tratado com polímero catiônico, completando os intervalos de 1.100 m e 1.160 m, respectivamente.

III.3.3 Caracterização do Cascalho e Fluidos de Perfuração

Nas simulações de descarte de cascalhos foi utilizada a granulometria fornecida pela PETROBRAS para o Campo de Manati (oito classes de tamanho de grão), localizado no Bloco BCAM-40 (tabelas III.3.3-1 e III.3.3-2). Salienta-se que as porcentagens (referentes à cada classe granulométrica) são médias obtidas a partir dos resultados de análises efetuadas para quatro poços perfurados, com a utilização de fluido base aquosa, no Campo de Manati (MNT-3, MNT-4, MNT-5 e MNT-6). Como não foram realizadas análises para os cascalhos gerados durante a Fase I, devido à impossibilidade de coleta do material, considerou-se a mesma granulometria da Fase II seguindo orientação da PETROBRAS.

Tabela III.3.3-1 - Classes granulométricas e velocidades de queda para cascalhos das fases sem riser do Lead F-2, Bloco BM-J-1.

| INTERVALO DO TAMANHO DE GRÃO (mm) | % Fases I (36”) e II (17½”) | VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s) | |
|--------------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------|
| | | VERÃO | INVERNO |
| 25,4 – 12,7 | 0,67 | 56,50063 | 56,49095 |
| 12,7 – 6,30 | 10,27 | 39,84565 | 39,83882 |
| 6,30 – 3,35 | 15,70 | 28,33435 | 28,32948 |
| 3,35 – 2,00 | 16,57 | 20,97994 | 20,97633 |
| 2,00 – 1,00 | 12,45 | 15,39613 | 15,39347 |
| 1,00 – 0,50 | 15,20 | 10,30966 | 10,30786 |
| 0,50 – 0,25 | 12,64 | 6,27534 | 6,27420 |
| 0,25 | 16,49 | 4,33556 | 4,33474 |

Tabela III.3.3-2 - Classes granulométricas e velocidades de queda para cascalhos das fases com riser do Lead F-2, Bloco BM-J-1.

| INTERVALO DO TAMANHO DE GRÃO (mm) | % | | VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s) | |
|-----------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------|----------|
| | Fase III (12¼") | Fase IV (8½") | VERÃO | INVERNO |
| 25,4 – 12,7 | 0,45 | 0,35 | 56,71489 | 56,71456 |
| 12,7 – 6,30 | 15,70 | 4,76 | 39,99680 | 39,99657 |
| 6,30 – 3,35 | 13,42 | 4,74 | 28,44192 | 28,44175 |
| 3,35 – 2,00 | 12,24 | 6,16 | 21,05974 | 21,05961 |
| 2,00 – 1,00 | 12,98 | 7,16 | 15,45496 | 15,45487 |
| 1,00 – 0,50 | 13,70 | 7,89 | 10,34960 | 10,34954 |
| 0,50 – 0,25 | 10,59 | 15,07 | 6,30053 | 6,30049 |
| 0,25 | 20,93 | 53,88 | 4,35365 | 4,35362 |

Para os fluidos foram utilizadas as granulometrias de seus principais constituintes sólidos (bentonita e baritina), baseadas no trabalho realizado pela UFF (2007), conforme as tabelas III.3.3-3 e III.3.3-4.

Tabela III.3.3-3 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a bentonita, no Lead F-2, Bloco BM-J-1.

| GRANULOMETRIA (CLASSIFICAÇÃO DE SHEPARD, 1954) | % | INTERVALO DO TAMANHO DE GRÃO (mm) | | VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s) | | | |
|--|------|-----------------------------------|---------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | VERÃO | | INVERNO | |
| | | | | fases sem riser | fases com riser | fases sem riser | fases com riser |
| % Areia Fina: | 1,0 | 0,2500 | 0,12500 | 2,64044 | 2,65272 | 2,63988 | 2,65270 |
| % Areia Muito Fina: | 8,1 | 0,1250 | 0,06250 | 0,87967 | 0,88409 | 0,87947 | 0,88408 |
| % Silte grosso: | 42,8 | 0,0625 | 0,03120 | 0,23454 | 0,23575 | 0,23448 | 0,23574 |
| % Silte médio: | 23,4 | 0,0312 | 0,01560 | 0,05905 | 0,05936 | 0,05904 | 0,05936 |
| % Silte fino: | 13,1 | 0,0156 | 0,00780 | 0,01478 | 0,01486 | 0,01478 | 0,01486 |
| % Silte Muito fino: | 6,4 | 0,0078 | 0,00390 | 0,00370 | 0,00371 | 0,00369 | 0,00371 |
| % Argila: | 5,2 | 0,0039 | 0,00195 | 0,00092 | 0,00093 | 0,00092 | 0,00093 |

Tabela III.3.3-4 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a baritina, no Lead F-2, Bloco BM-J-1.

| GRANULOMETRIA (CLASSIFICAÇÃO DE SHEPARD, 1954) | % | INTERVALO DO TAMANHO DE GRÃO (mm) | | VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s) | | | |
|--|------|--|---------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | | | VERÃO | | INVERNO | |
| | | | | fases sem <i>riser</i> | fases com <i>riser</i> | fases sem <i>riser</i> | fases com <i>riser</i> |
| % Silte grosso: | 15,2 | 0,0625 | 0,03120 | 0,60013 | 0,60235 | 0,60003 | 0,60234 |
| % Silte médio: | 18,5 | 0,0312 | 0,01560 | 0,15325 | 0,15382 | 0,15323 | 0,15382 |
| % Silte fino: | 18,2 | 0,0156 | 0,00780 | 0,03843 | 0,03857 | 0,03843 | 0,03857 |
| % Silte Muito fino: | 14,1 | 0,0078 | 0,00390 | 0,00961 | 0,00965 | 0,00961 | 0,00965 |
| % Argila: | 34,0 | 0,0039 | 0,00195 | 0,00240 | 0,00241 | 0,00240 | 0,00241 |

As velocidades de deposição das partículas de cascalho e sólidos dos fluidos, apresentadas nas tabelas III.3.3-1 a III.3.3-4, foram calculadas segundo a formulação de Watson (1969), onde são considerados o tamanho das partículas, densidade das partículas, densidade do fluido ambiente e viscosidade dinâmica da água:

$$V_t = \frac{\sqrt{9 Z^2 \mu^2 + \frac{4}{3} W R^3 (\rho_{particula} - \rho_{fluido}) g} - 3 Z \mu}{W R \rho_{fluido}}$$

onde

V_t = velocidade de queda (cm/s);

Z = coeficiente de arraste viscoso, constante adimensional, igual a 0,622;

W = coeficiente de arraste de pressão, constante adimensional, igual a 0,5305;

μ = viscosidade dinâmica, poise (dina-s/cm²), 10⁻²;

$\rho_{particula}$ = densidade (g/cm³) da partícula;

ρ_{fluido} = densidade (g/cm³) do fluido ambiente;

g = aceleração da gravidade, igual a 980 cm/s²;

R = raio da partícula (cm).

A tabela III.3.3-5 apresenta os volumes e a caracterização do cascalho e fluidos de perfuração descartados no poço estudado, segundo informações fornecidas pela PETROBRAS.

Tabela III.3.3-5 - Especificações do descarte de cascalho e fluidos de perfuração para o Lead F-2, Bloco BM-J-1.

| 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) |
|------|-------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------|---------------------------------|--|----------------------------------|-----------------------|--|---|
| I | 36" | 65 | 31,2 | 5 m acima do fundo do mar | cascalho | - | 61,43 | 2.500 | - | - | - |
| | | | | | fluido | Convencional | 184,28 | 1.048 | Bentonita | 2.250 | 71,5 |
| II | 17½" | 670 | 229,7 | 5 m acima do fundo do mar | cascalho | - | 156,11 | 2.500 | - | - | - |
| | | | | | fluido | Convencional | 312,22 | 1.048 | Bentonita | 2.250 | 71,5 |
| | | | | | | Salgado Tratado com Amido (STA) | 156,11 (excedente)* | 1.174 | Bentonita Baritina | 2.250 4.200 | 28,6 400,4 |
| III | 12¼" | 1.100 | 406,2 | 2 m abaixo da superfície do mar | cascalho | - | 119,90 | 2.500 | - | - | - |
| | | | | | fluido | Polímero Catiônico | 333,82 | 1.258 | Baritina | 4.200 | 630,2 |
| | | | | | | Polímero Catiônico | 109,82 (excedente)* | 1.258 | Baritina | 4.200 | 630,2 |
| IV | 8½" | 1.160 | 464,0 | 2 m abaixo da superfície do mar | cascalho | - | 61,48 | 2.500 | - | - | - |
| | | | | | fluido | Polímero Catiônico | 120,50 | 1.258 | Baritina | 4.200 | 630,2 |
| | | | | | | Polímero Catiônico | 408,42 (excedente)* | 1.258 | Baritina | 4.200 | 630,2 |

*Nas simulações do descarte do fluido excedente (Fases II, III e IV) foi considerado o descarte instantâneo de todo o volume de fluido excedente.

Obs: A densidade dos fluidos de perfuração apresentadas na tabela são densidades médias obtidas dos dados disponibilizados pela PETROBRAS.

III.3.4 Critério de Corte Adotado na Apresentação dos Resultados

Na apresentação dos resultados foi adotado o critério de corte de espessuras de 1 mm. Este critério foi definido em função de:

- Segundo Henrik *et al.* (2006), o limite do PNEC (*Predicted No Effect Concentration or Predicted No Effect Change*) para soterramento de organismos em operações de descarte de cascalhos e fluidos de perfuração é de 0,65 cm (6,5 mm).
- Em áreas dragadas nos EUA (regiões costeiras), organismos (considerando diferentes espécies e estágios de vida) precisariam de espessuras superiores a 1 mm para sofrer efeitos letais significativos (ASA, 2003). Para o descarte de cascalhos e fluidos de perfuração, efetuados em região *offshore*, esta seria uma espessura bastante conservativa.

III.3.5 Descrição dos Cenários

A tabela III.3.5-1 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-J-1. Ao todo, foram simulados 8 cenários contemplando: **1 ponto de descarte** e **4 fases de perfuração** (sem e com *riser*).

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

- BM-J-1 identifica o ponto de descarte no Bloco BM-J-1 (*Lead F-2*);
- FI, FII, FIII e FV indicam as fases de perfuração/descarte;
- EXCE indica o descarte de fluido excedente ao final das Fases II, III e IV.
- VER e INV identificam os períodos de verão e inverno, respectivamente.

Tabela III.3.5-1 - Cenários elaborados para o estudo de cascalho e fluidos de perfuração para o Lead F-2, localizado no Bloco BM-J-1.

| FASES DE PERFURAÇÃO/DESCARTE | CENÁRIOS | |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|
| | VERÃO | INVERNO |
| FASE I | BM-J-1_FI_VER | BM-J-1_FI_INV |
| FASE II | BM-J-1_FII_VER | BM-J-1_FII_INV |
| FASE II - EXCEDENTE | BM-J-1_FII_EXCE_VER | BM-J-1_FII_EXCE_INV |
| FASE III | BM-J-1_FIII_VER | BM-J-1_FIII_INV |
| FASE III - EXCEDENTE | BM-J-1_FIII_EXCE_VER | BM-J-1_FIII_EXCE_INV |
| FASE IV | BM-J-1_FIV_VER | BM-J-1_FIV_INV |
| FASE IV - EXCEDENTE | BM-J-1_FIV_EXCE_VER | BM-J-1_FIV_EXCE_INV |

Nas simulações do descarte de partículas são considerados cascalhos e sólidos de fluidos com diferentes características (e.g. velocidade de deposição), portanto, as simulações são realizadas por um período suficiente para permitir a deposição da parcela significativa das partículas descartadas. Para as fases sem *riser*, já que os descartes são efetuados junto à cabeça do poço, a duração da simulação para cada fase, considerada neste trabalho, é igual à duração do descarte adicionada de dois dias. Para as fases com *riser*, como as partículas devem percorrer toda a coluna d'água para se depositarem, a duração da simulação para cada fase é igual à duração do descarte adicionada de cinco dias.

IV RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O modelo MUDMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Sub-item III.3.5 e fornecer informações sobre a distribuição espacial do cascalho e sólidos dos fluidos descartados durante as operações de perfuração na Bacia de Jequitinhonha. A tabela IV-1 fornece as características da deposição de material calculadas pelo MUDMAP para o ponto simulado. A tabela lista a área coberta por depósitos de sedimento com espessuras iguais ou 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. Salienta-se que não são apresentadas áreas e extensões para os cenários onde houve deposição de espessuras inferiores a 1 mm.

Tabela IV-1 - Máxima espessura depositada e área coberta por sedimentos com espessuras maiores que 1 mm para o Lead F-2, Bloco BM-J-1.

| FASE | ÁREA (m ²) COBERTA POR ESPESSURAS ≥ 1 mm | | EXTENSÃO MÁXIMA HORIZONTAL (m) A PARTIR DO PONTO DE DESCARTE ATÉ O CONTORNO DE 1 mm | | ESPESSURA MÁXIMA DEPOSITADA (mm) | |
|----------|--|---------|--|-----------|-------------------------------------|---------|
| | VERÃO | INVERNO | VERÃO | INVERNO | VERÃO | INVERNO |
| I | 12.703 | 13.570 | 113 (SSW) | 126 (SSW) | 205,0 | 176,0 |
| II | 14.895 | 16.652 | 114 (S) | 127 (SSE) | 518,0 | 414,0 |
| II-EXCE | — | — | — | — | 0,11 | 0,12 |
| III | 23.150 | — | 192 (SSW) | — | 1,20 | 0,68 |
| III-EXCE | — | — | — | — | 0,0097 | 0,0006 |
| IV | — | — | — | — | 0,32 | 0,24 |
| IV-EXCE | — | — | — | — | 0,0361 | 0,0035 |
| TOTAL | 32.510 | 17.512 | 192 (SSW) | 127 (SSE) | 583,0 | 524,0 |

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 para o ponto simulado.

IV.1 FASE I

A figura IV.1-1 apresenta os resultados das simulações para a Fase I (sem riser) do descarte de partículas do *Lead* F-2, Bloco BM-J-1, em condição de verão. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 21 cm e a área de deposição está distribuída em 12.703 m². As maiores espessuras concentraram-se nas proximidades (cerca de 4 m a sul-sudeste) do ponto de descarte.

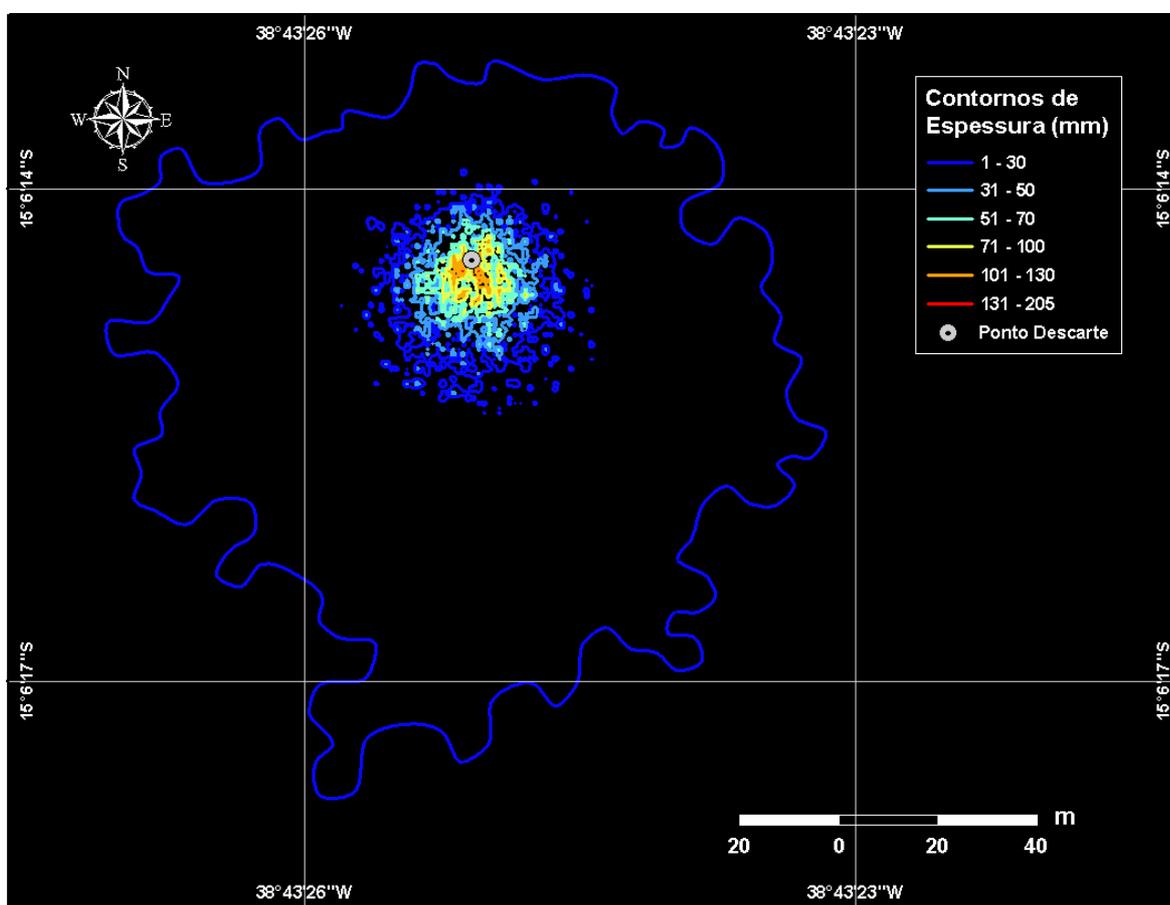


Figura IV.1-1 - Cenário BM-J-1_FI_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do *Lead* F-2, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem riser), no período de verão.

A figura IV.1-2 apresenta os resultados das simulações para a Fase I (sem riser) do descarte de partículas do Lead F-2, Bloco BM-J-1, em condição de inverno. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 18 cm e a área de deposição está distribuída em 13.570 m². As maiores espessuras concentraram-se nas proximidades (cerca de 4 m a sul-sudoeste) do ponto de descarte.

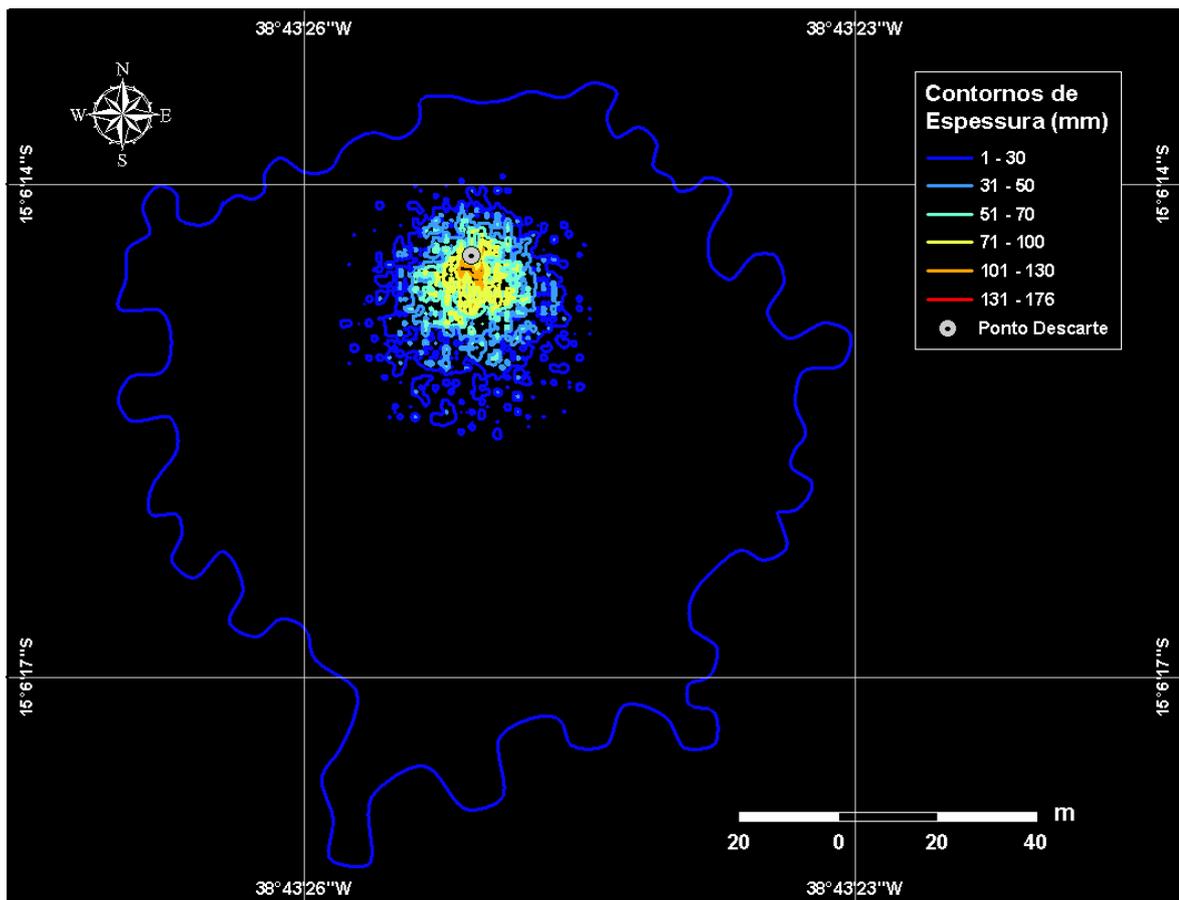


Figura IV.1-2 - Cenário BM-J-1_FI_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Lead F-2, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem riser), no período de inverno.

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 Lead F-2, Bloco BM-J-1, em condição de verão. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 52 cm e a área de deposição está distribuída em 14.895 m². As maiores espessuras concentram-se nas proximidades (5 m a sul-sudeste) do ponto de descarte.

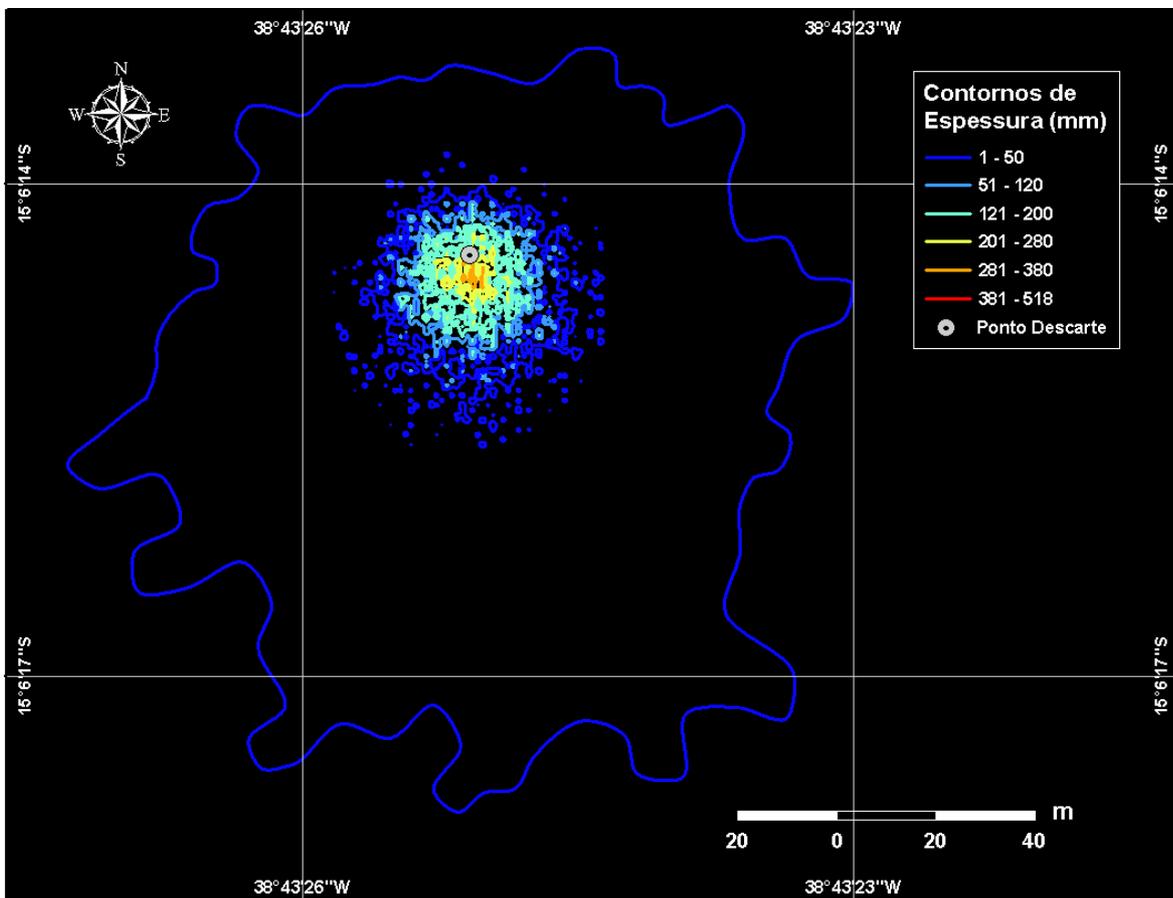


Figura IV.2-1 - Cenário BM-J-1_FII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Lead F-2, ao final da Fase II (diâmetro de 17½", sem riser), no período de verão.

A figura IV.2-2 apresenta os resultados da simulação para a Fase II (sem riser) do descarte de partículas do *Lead* F-2, Bloco BM-J-1, em condição de inverno. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 41 cm e a área de deposição está distribuída em 16.652 m². As maiores espessuras concentram-se nas proximidades (6 m a sul-sudeste) do ponto de descarte.

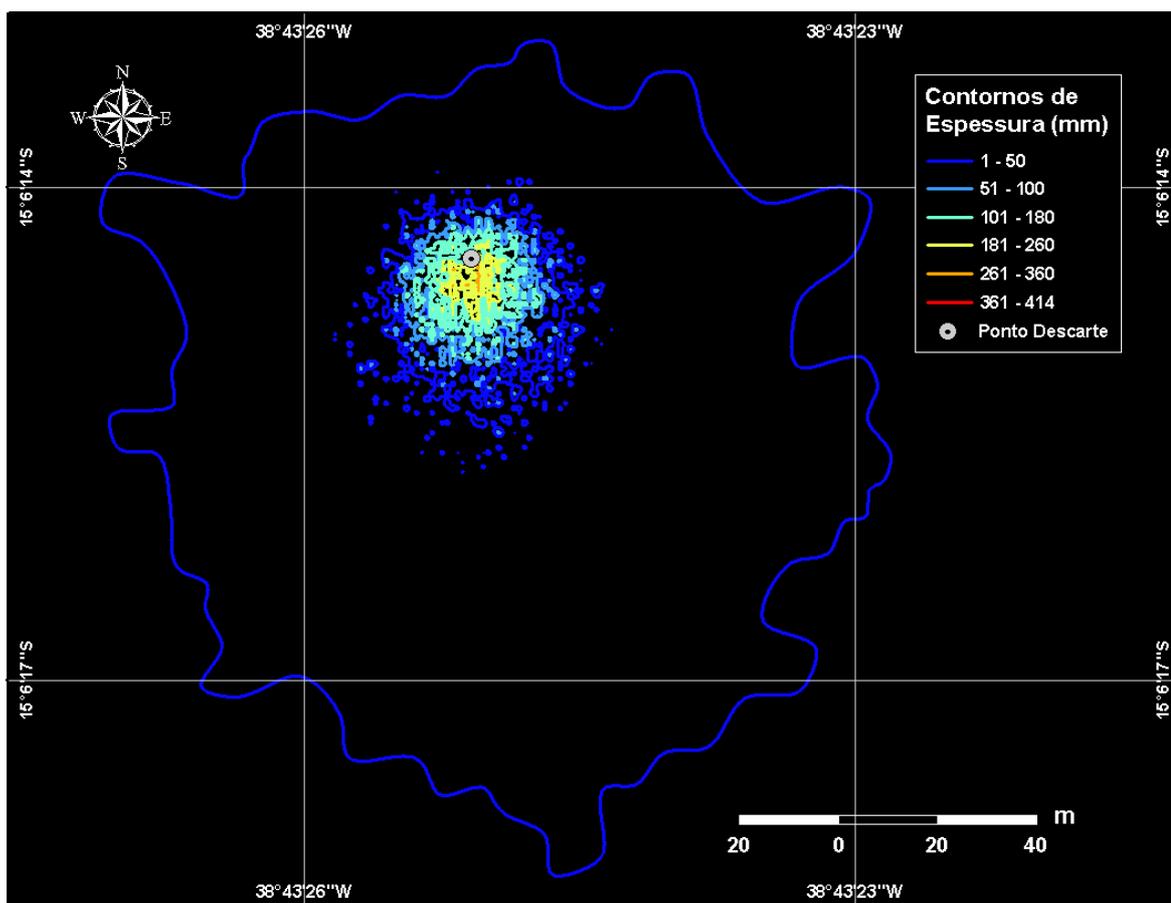


Figura IV.2-2 - Cenário BM-J-1_FII_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do *Lead* F-2, ao final da Fase II (diâmetro de 17½", sem riser), no período de inverno.

IV.3 FASE III

A figura IV.3-1 apresenta os resultados da simulação para a Fase III (com *riser*) do descarte de partículas do *Lead* F-2, Bloco BM-J-1, em condição de verão. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 0,12 cm e a área de deposição está distribuída em 23.150 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 79 m a sudoeste e 90 m a sul-sudoeste do ponto de descarte.

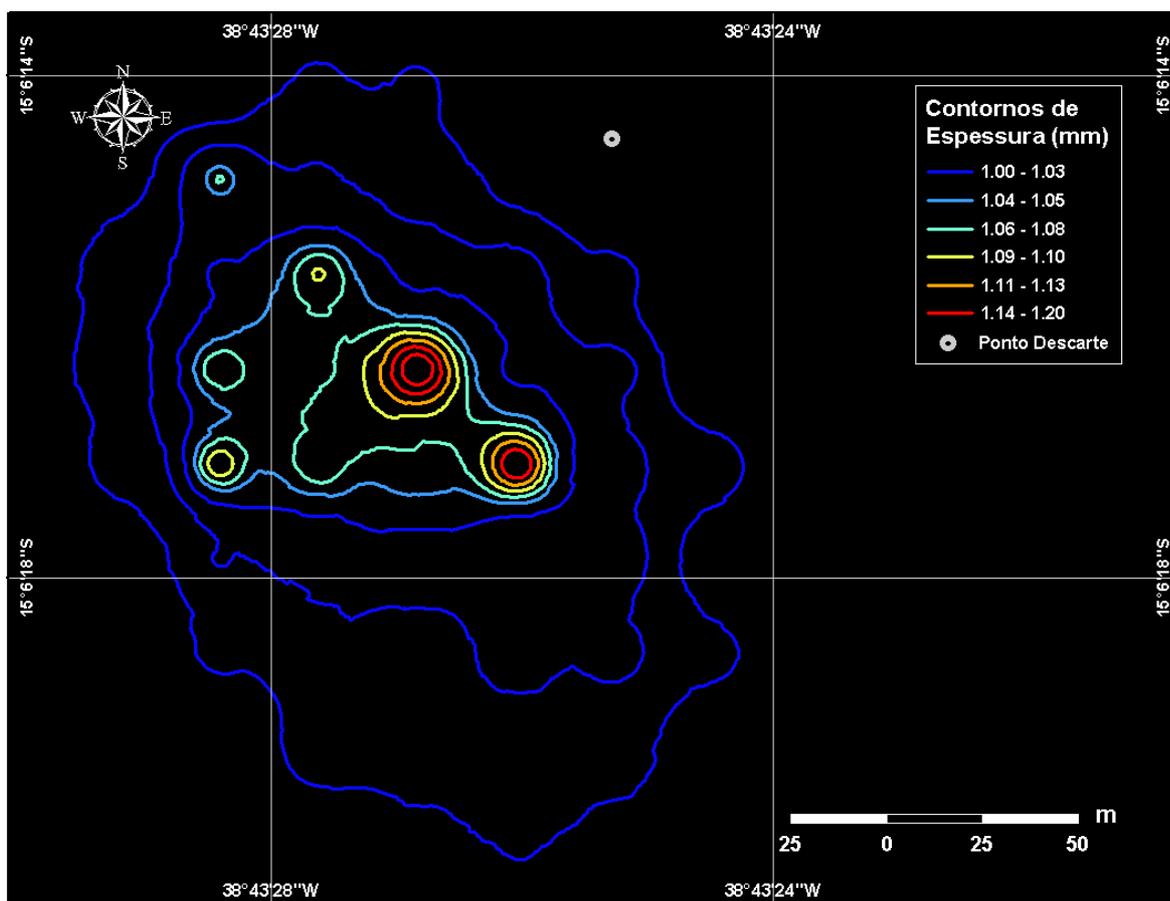


Figura IV.3-1 - Cenário BM-J-1_FIII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do *Lead* F-2, ao final da Fase III (diâmetro de 12¼", com *riser*), no período de verão.

Em condições de inverno, como a simulação para a Fase IV (com *riser*) apresentaram espessuras inferiores a 1 mm, não são apresentadas figuras ilustrativas para a deposição de partículas destes casos. As maiores espessuras calculadas foram de 0,68 mm e se concentraram, em média, 340 m a norte-noroeste do ponto de descarte.

IV.4 FASE IV

Como a simulação para a Fase IV (com *riser*), do descarte de partículas do *Lead* F-2, Bloco BM-J-1, em condições de verão e inverno, apresentaram espessuras inferiores a 1 mm, não são apresentadas figuras ilustrativas para a deposição de partículas destes casos. No verão, as maiores espessuras calculadas foram de 0,032 mm e se concentraram, em média, 205 m ao sul do ponto de descarte. Enquanto que no inverno, as maiores espessuras calculadas foram de 0,024 mm e se concentraram, em média, 75 m a norte-noroeste do ponto de descarte.

IV.5 FLUIDO EXCEDENTE

Ao final das Fases II, III e IV (sem *riser*), o fluido STA, utilizado para inibir o inchamento de argilas, foi descartado na própria locação do *Lead* F-2. Como as simulações apresentaram espessuras inferiores a 1 mm, não são apresentadas figuras ilustrativas nestes casos. A tabela IV.5-1 apresenta as maiores espessuras calculadas e as distâncias destas maiores concentrações em relação ao ponto de descarte.

Tabela IV.5-1 - Espessuras máximas e distâncias destas concentrações máximas em relação ao ponto de descarte apresentadas nos descartes de fluido excedente.

| FASE | ESPESSURA MÁXIMA DEPOSITADA (mm) | | DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO PONTO DE DESCARTE (m) | |
|----------|----------------------------------|---------|---|--------------|
| | VERÃO | INVERNO | VERÃO | INVERNO |
| II-EXCE | 0,11 | 0,12 | 122 (S) | 160 (S) |
| III-EXCE | 0,0097 | 0.0006 | 1.680 (SSE) | 18.360 (NNW) |
| IV-EXCE | 0,0361 | 0,0035 | 1.670 (SSE) | 18.530 (NNW) |

IV.6 DESCARTE TOTAL

A figura IV.5-1 apresenta a área de abrangência e espessuras previstas ao final de toda a operação de descarte de partículas no *Lead* F-2, localizado no Bloco BM-J-1, durante o período de verão. Os maiores valores de espessura são referentes às fases descartadas no fundo (Fases I e II, sem *riser*), com cerca de 58 cm, e estão concentrados nas proximidades (~5 m a sul-sudeste) do ponto de descarte. A área total de abrangência do material descartado foi de, aproximadamente, 32.510 m², sendo que em 98% desta as espessuras são inferiores a 7,5 cm.

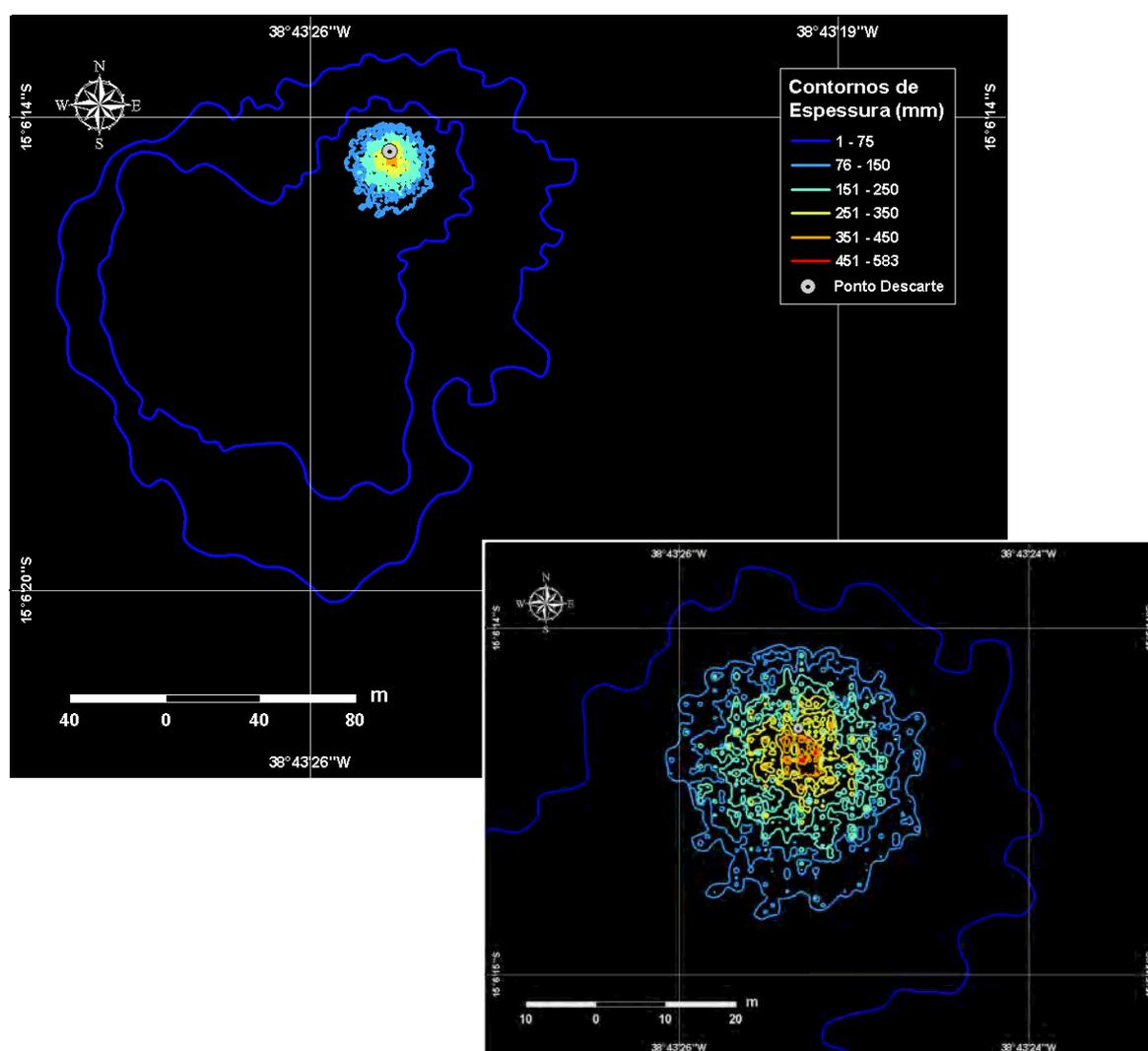


Figura IV.5-1 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do *Lead* F-2, Bloco BM-J-1, no período de verão.

A figura IV.5-2 apresenta a área de abrangência e espessuras previstas ao final de toda a operação de descarte de partículas no *Lead* F-2, localizado no Bloco BM-J-1, durante o período de inverno. Os maiores valores de espessura são referentes às fases descartadas no fundo (Fases I e II, sem *riser*), com cerca 52 cm, e estão concentrados nas proximidades (~6 m a sul-sudeste) do ponto de descarte. A área total de abrangência do material descartado foi de, aproximadamente, 17.512 m², sendo que em 95% desta as espessuras são inferiores a 7,5 cm.

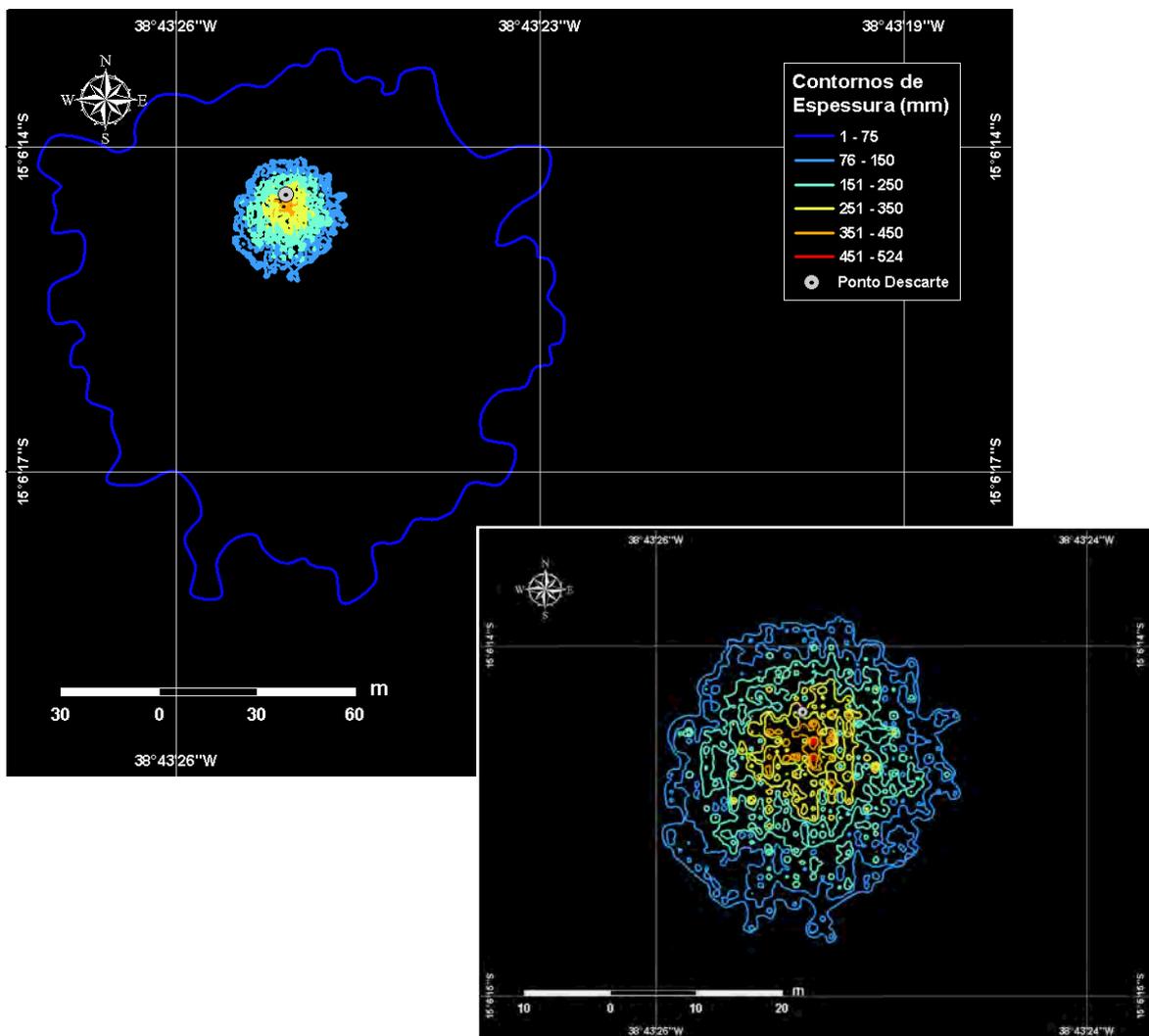


Figura IV.5-2 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do *Lead* F-2, Bloco BM-J-1, no período de inverno.

V CONCLUSÕES

O MUDMAP foi utilizado para simular a deposição de cascalhos e fluidos provenientes do descarte das operações de perfuração no Bloco BM-J-1, Bacia de Jequitinhonha.

A realização em separado das simulações sem e com *riser* permitiu concluir que a maior influência sobre o assoalho oceânico (*i.e.* maiores espessuras depositadas) é consequência do descarte sem *riser*, onde o acúmulo de material é maior, alcançando espessuras de até 51,8 cm (Fase II no verão). Já os resultados obtidos para as fases com *riser* mostraram espessuras de partículas no fundo inferiores, com no máximo 0,12 cm (Fase III no verão). 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).

Os resultados das simulações, considerando as fases de deposição sem *riser*, apresentaram uma distribuição de espessuras mais uniforme, principalmente em função da menor intensidade das correntes de fundo nessa região. Em ambas as fases sem *riser* (I e II), as partículas apresentaram uma tendência de maior deposição nas proximidades do ponto de descarte (cerca de 4 m a sul-sudoeste e 5 m a sul-sudeste). Na Fase II as espessuras depositadas e a área de influência são maiores que na Fase I, devido ao maior volume de cascalhos e fluidos descartados, respectivamente, na Fase II.

Os resultados das simulações, considerando as fases de deposição com *riser*, apresentaram uma tendência de maior deposição para o quadrante sul no verão e a norte-noroeste do ponto de descarte no inverno. Na Fase III as espessuras depositadas são maiores que na outra fase com *riser* (Fase IV), em função do maior volume de cascalhos descartados na mesma, além da duração do descarte ser inferior (406,2 h na Fase III e 464,0 h na Fase IV). Ressalta-se que a profundidade local (LDA de 965 m) aliada as correntes superficiais intensas, resultaram em maior dispersão do material e depósitos pouco significativos (< 1 mm) na Fase III (inverno) e na Fase IV (verão e inverno).

Comparando os resultados dos descartes realizados durante os períodos de verão e inverno, observam-se maiores espessuras depositadas durante o verão, associadas a menores áreas de influência. No inverno, o espalhamento das partículas é maior (maior intensidade das correntes neste período,

figuras III.2.1-1 e III.2.1-2), levando a menores espessuras de deposição, associada a maiores áreas de influência.

A tabela V-1 resume os resultados finais, considerando o processo ao final de toda a operação, para o poço estudado. Como se observa, nas fases sem *riser* o acúmulo preferencial das partículas se deu nas proximidades do ponto de descarte, com tendência de dispersão em direção ao quadrante sul (direção predominante das correntes de fundo, figuras III.2.1-1 e III.2.1-2). Já nas fases com *riser*, a direção preferencial de acúmulo de partículas ocorreu nas direções sul-sudoeste/sul-sudeste e norte-noroeste, coerente com as correntes predominantes nas camadas superficiais durante o verão e inverno, respectivamente (figuras III.2.1-1 e III.2.1-2). De maneira geral, as maiores espessuras foram observadas nas proximidades do ponto de descarte nas fases sem *riser* e para o quadrante sul (verão) e norte (inverno) nas fases com *riser*.

Tabela V-1 - Resumo dos resultados das simulações de todas as fases de perfuração do Lead F-2, localizado no Bloco BM-J-1.

| POÇO | CONDIÇÃO SAZONAL | FASES | ESPESSURA MÁXIMA (cm) | DIREÇÃO PREFERENCIAL DE ACÚMULO DA ESPESSURA MÁXIMA | DISTÂNCIA (m) A PARTIR DO PONTO DE DESCARTE DE ACÚMULO DA ESPESSURA MÁXIMA |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------------|---|--|
| Lead F-2 | VERÃO | sem <i>riser</i> | 20,5 (Fase I) | proximidades do ponto de descarte / SSE | 4 (SSE) |
| | | sem <i>riser</i> | 51,8 (Fase II) | proximidades do ponto de descarte / SSE | 5 (SSE) |
| | | sem <i>riser</i> | 0,011 (Fase II - excedente) | S | 122 (S) |
| | | com <i>riser</i> | 0,120 (Fase III) | SSW | 79 (SW) |
| | | com <i>riser</i> | 0,00097 (Fase III - excedente) | SSE | 1.680 (SSE) |
| | | com <i>riser</i> | 0,032 (Fase IV) | S | 205 (S) |
| | | com <i>riser</i> | 0,00361 (Fase IV - excedente) | SSE | 1.670 (SSE) |
| | INVERNO | sem <i>riser</i> | 17,6 (Fase I) | proximidades do ponto de descarte / SSW | 4 (SSW) |
| | | sem <i>riser</i> | 41,4 (Fase II) | proximidades do ponto de descarte / SSE | 6 (SSE) |
| | | sem <i>riser</i> | 0,012 (Fase II - excedente) | S | 160 (S) |
| | | com <i>riser</i> | 0,068 (Fase III) | NNW | 340 (NNW) |
| | | com <i>riser</i> | 0,00006 (Fase III - excedente) | NNW | 18.360 (NNW) |
| | | com <i>riser</i> | 0,024 (Fase IV) | NNW | 75 (NNW) |
| | | com <i>riser</i> | 0,00035 (Fase IV - excedente) | NNW | 18.530 (NNW) |

Para o *Lead* F-2 modelado, as maiores espessuras calculadas foram de 58,3 cm no verão e 52,4 cm no inverno. Considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, a área de influência total do material descartado foi de 32.510 m² no verão e 17.512 m² no inverno. Salienta-se que, tanto no verão quanto no inverno, 95% das áreas afetadas apresentam espessuras inferiores a 7,5 cm.

VI BIBLIOGRAFIA

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

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

ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, INC.), 2003. Weavers Cove Energy Final Report. Technical Report. December 12th, 2003.

ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES SOUTH AMERICA), 2004. Estudo Integrado de Caracterização Ambiental e Modelagem Matemática da Dinâmica e de Derrame de Óleo na Bacia de Camamu-Almada para a Atividade de Perfuração do Bloco BM-CAL-5 com a Inserção de Dados Atualizados. Relatório Técnico, abril de 2004. 173p.

ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES SOUTH AMERICA), 2007. Modelagem do Transporte e Dispersão de Óleo do Mar para o Bloco BMJ-1. Relatório Técnico, novembro de 2007. 139pp.

BLUMBERG, A.F. & MELLOR, G.L., 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.

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

HASTENRATH, S. 1984. Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. **Mon. Wea. Rev.**, 112, 1097-1107p.

HENRIK, R.; REED, M.; DURGUT, I. & DITLEVSEN, M.K., 2006. The use of the diagenetic equations to predict impact on sediment due to discharges of drill cuttings and muds. In: 9th IMEMS Proceedings. October, 2006. CD-ROM. p. 4-25 of drilling discharges section.

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.

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.

MOURA, A. D., & J. SHUKLA, 1981. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. **J. Atmos. Sci.**, 38, 2653-2675p.

RAO, V.B.; LIMA, M. & FRANCHITO, S.H. 1993. Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil. **Journal Of Climate**, 6, 1754-1763p.

RODRIGUES, R. R., L. M. ROTHESTEIN, & M. WIMBUSH., 2007. Seasonal Variability of the South Equatorial Current Bifurcation in the Atlantic Ocean: A Numerical Study. **Journal of Physical Oceanography**, 37, 16-30.

SCHOTT FA & R MOLINARI, 2002: Tropical Atlantic Workshop, 19-22 August 2002, Ifm Kiel, Germany. **CLIVAR Exchanges**, 26.

SCHOTT FA, DENGLER M., ZANTOPP R., STRAMMA L., FISCHER J. & P. BRANDT, 2005. The Shallow and Deep Western Boundary Circulation of the South Atlantic at 5°-11°S, **Journal of Physical Oceanography**, 35, 2031-2053.

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.

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.

STRAMMA L. AND F SCHOTT, 1996. Western equatorial circulation and interhemispheric exchange. In: Krauss, W. (Ed.), The Warmwatersphere of the North Atlantic Ocean. **Gebr. Borntraeger**, Berlin, Stuttgart, pp. 195-227.

STRAMMA L. AND M. ENGLAND, 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, no C9, 20863-20883.

UFF (UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE), 2007. Laudo técnico de análise granulométrica de bentonita e baritina. UFF, Departamento de Geoquímica, julho/2007.

WATSON, R.L., 1969. Modified Ruber's Law Accurately Predicts Sediment Settling Velocities. **Water Resources Research**. 5(5): p. 1147-1150.

VII EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.

| | |
|--|--------------------------------|
| Profissional | Ana Carolina da Rocha Lammardo |
| 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 pelo(s) Capítulo(s) | TODOS |
| 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 pelo(s) Capítulo(s) | TODOS |
| 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 pelo(s) Capítulo(s) | III a VI |
| Assinatura | _____ |

| | |
|--|----------------------|
| Profissional | Gabriel Clauzet |
| Empresa | ASA Consultoria Ltda |
| Registro no Conselho de Classe | |
| Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental | 1031373 |
| 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 a III |
| Assinatura | _____ |