

Modelagem do Descarte de Cascalhos e Fluidos de Perfuração para os Blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, Bacia Potiguar



E&P

Revisão 00
Maio/2009

 **PETROBRAS**

Modelagem do Descarte de Cascalhos e Fluidos de Perfuração para os Blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, Bacia Potiguar

Revisão 00

Maio / 2009



E&P

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO	I-2
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO	I-2
I.1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO.....	I-4
II MODELAGEM HIDRODINÂMICA	II-1
II.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL.....	II-1
II.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS.....	II-3
II.1.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS.....	II-6
II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E FORÇANTES	II-7
II.2.1 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E BATIMETRIA.....	II-7
II.2.2 FORÇANTES.....	II-8
III MODELAGEM DO DESCARTE DE CASCALHOS 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 PONTOS DE DESCARTE	III-8
III.3.2 ESPECIFICAÇÕES DOS PROCESSOS DE PERFURAÇÃO E DESCARTE	III-8
III.3.3 CARACTERIZAÇÃO DE CASCALHOS E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO.....	III-9
III.3.4 CRITÉRIO DE CORTE ADOTADO NA APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	III-17
III.3.5 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS	III-17
IV RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	IV-1
IV.1 DEPÓSITOS NO ASSOALHO OCEÂNICO.....	IV-1
IV.1.1 FASE I	IV-2

IV.1.2	FASE II	IV-4
IV.1.3	FASE III	IV-6
IV.1.4	FASE IV	IV-8
IV.1.5	FASE V	IV-10
IV.1.6	DESCARTE TOTAL	IV-11
IV.1.7	ÁREA DE INFLUÊNCIA TOTAL	IV-13
IV.2	CONCENTRAÇÕES NA COLUNA D'ÁGUA	IV-14
IV.2.1	FASE II	IV-17
IV.2.2	FASE III	IV-20
V	CONSIDERAÇÕES FINAIS	V-1
VI	BIBLIOGRAFIA	VI-1
VII	EQUIPE TÉCNICA	VII-1

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁG.
Tabela III.2.2-1 - Perfis médios de densidade, típicos de verão e inverno, para a região do Poço Ararazul, no Bloco BM-POT-16.	III-7
Tabela III.3.1-1 - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) dos poços e vértices localizados nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17.	III-8
Tabela III.3.3-1 - Classes granulométricas e velocidades de queda para cascalhos das fases sem riser no Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	III-10
Tabela III.3.3-2 - Classes granulométricas e velocidades de queda para cascalhos das fases com riser no Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	III-10
Tabela III.3.3-3 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a bentonita, fases sem e com riser do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	III-11
Tabela III.3.3-4 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a baritina, fases com riser do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	III-11
Tabela III.3.3-5 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	III-13
Tabela III.3.3-6 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração das fases sem riser para o Poço Cajá, Bloco BM-POT-17.	III-14
Tabela III.3.3-7 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração das fases sem riser para o Poço Papagaio, Bloco BM-POT-17.	III-15
Tabela III.3.3-8 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração das fases com riser para o Poço Pitu, Bloco BM-POT-17.	III-16
Tabela III.3.5-1 - Cenários elaborados para o estudo de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Ararazul, localizado no Bloco BM-POT-16.	III-18
Tabela III.3.5-2 - Cenários elaborados para simular a concentração de sólidos em suspensão.	III-19
Tabela IV.1-1 - Máxima espessura depositada e área coberta por sedimentos com espessuras maiores que 1 mm para o Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	IV-2
Tabela IV.2-1 - Resultados dos testes de toxicidade e concentração de sólidos presentes nos fluidos de perfuração.	IV-15
Tabela IV.2-2 - Características da diluição da pluma na coluna d'água para o Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.	IV-16
Tabela V-1 - Resumo dos resultados das simulações de todas as fases de perfuração do poço simulado.	V-2

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁG.
Figura I.1-1 - Localização dos pontos considerados no estudo de descarte de partículas e dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, Bacia Potiguar.	I-2
Figura I.1.1-1 - Vento em superfície característico do verão (a) e inverno austral (b). Figura ilustrativa baseada em climatologia (1958-1997) de Reanálise do NCEP (<i>National Centers for Environmental Prediction</i>).	I-3
Figura I.1.2-1 - Representação esquemática da circulação média e anéis anticiclônicos na porção oeste do oceano Atlântico Tropical; em vermelho, trajetórias das massas de água quentes, e em azul, trajetórias da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). As correntes indicadas são: Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Equatorial (SCE), Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Corrente Sul Equatorial (CSE), e Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP). Adaptado de Dengler <i>et al.</i> (2004).	I-4
Figura I.1.2-2 - Transporte médio (Sv) em 5°S calculado a partir de medições efetuadas por ADCP/LADCP em cruzeiros realizados entre 1990–2004 (adaptado de Schott <i>et al.</i> , 2005). Na figura, os valores positivos indicam fluxo para norte e os negativos, para sul; as linhas pontilhadas mostram os valores de sigma.	I-6
Figura II.2.1-1 - Batimetria projetada na grade computacional utilizada nas simulações de circulação hidrodinâmica para a Bacia Potiguar e adjacências. O detalhe é o zoom da área demarcada.	II-7
Figura II.2.2-1 - Campo de correntes superficial resultante da simulação hidrodinâmica, em um instante de agosto de 2002.	II-9
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 Poço Ararazul, no Bloco BM-POT-16.	III-4
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 Poço Ararazul, no Bloco BM-POT-16.	III-5
Figura III.2.2-1 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de 4,1°S na região do Bloco BM-POT-16, 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 4,1°S na região do Bloco BM-POT-16, para o período de inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.	III-7

FIGURA	PÁG.
Figura IV.1.1-1 - Cenário BMPOT16_FI_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem <i>riser</i>), no período de verão.	IV-3
Figura IV.1.1-2 - Cenário BMPOT16_FI_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem <i>riser</i>), no período de inverno.	IV-4
Figura IV.1.2-1 - Cenário BMPOT16_FII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase II (diâmetro de 26", sem <i>riser</i>), no período de verão.	IV-5
Figura IV.1.2-2 - Cenário BMPOT16_FII_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase II (diâmetro de 26", sem <i>riser</i>), no período de inverno.	IV-6
Figura IV.1.3-1 - Cenário BMPOT16_FIII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com <i>riser</i>), no período de verão.	IV-7
Figura IV.1.3-1 - Cenário BMPOT16_FIII_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com <i>riser</i>), no período de inverno.	IV-8
Figura IV.1.4-1 - Cenário BMPOT16_FIV_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase IV (diâmetro de 12¼", com <i>riser</i>), no período de verão.	IV-9
Figura IV.1.4-1 - Cenário BMPOT16_FIV_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase IV (diâmetro de 12¼", com <i>riser</i>), no período de inverno.	IV-10
Figura IV.1.6-1 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, no período de verão.	IV-11
Figura IV.1.6-2 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, no período de inverno.	IV-12
Figura IV.1.7-1 - Área de influência total, considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, ao final das operações de descarte nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 no período de verão.	IV-13

FIGURA	PÁG.
Figura IV.1.7-2 - Área de influência total, considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, ao final das operações de descarte nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 no período de inverno.	IV-14
Figura IV.2.1-1 - Cenário BMPOT16_FII_VER_CONV. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão.	IV-17
Figura IV.2.1-2 - Cenário BMPOT16_FII_VER_CONV. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão. Na figura são demarcadas as concentrações referentes a 1 e 5 mg/L.	IV-18
Figura IV.2.1-3 - Cenário BMPOT16_FII_INV_CONV. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno.	IV-19
Figura IV.2.1-4 - Cenário BMPOT16_FII_INV_CONV. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno. Na figura são demarcadas as concentrações referentes a 1 e 5 mg/L.	IV-19
Figura IV.2.2-1 - Cenário BMPOT16_FIII_VER_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão.	IV-20
Figura IV.2.2-2 - Cenário BMPOT16_FIII_VER_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão. Na figura são demarcadas as concentrações de 1 e 5 mg/L, além das concentrações referentes aos testes de toxicidade.	IV-21
Figura IV.2.2-3 - Cenário BMPOT16_FIII_INV_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno.	IV-22
Figura IV.2.2-4 - Cenário BMPOT16_FIII_INV_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com <i>riser</i>) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno. Na figura são demarcadas as concentrações de 1 e 5 mg/L, além das concentrações referentes aos testes de toxicidade.	IV-22

RESUMO

O modelo MUDMAP da *Applied Science Associates, Inc (ASA)* foi utilizado para estudar o transporte, dispersão e deposição de cascalhos e sólidos dos fluidos de perfuração no assoalho oceânico, decorrentes das atividades de perfuração de poços petrolíferos marítimos, nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, localizados na Bacia Potiguar.

A região onde se encontra a Bacia Potiguar está sob influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), que nesta região flui para norte-noroeste em águas profundas, impulsionada pelos fortes e constantes ventos Alísios, que ali predominam praticamente o ano todo. Na Plataforma Continental, há amplificação dos sinais locais (*i.e.*, maré e vento local) compondo-se ao sinal principal gerado pela CNB ao largo.

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)*.

Foram conduzidas simulações do descarte de material utilizando as velocidades de queda sugeridas por Brandsma & Smith (1999) para cascalhos perfurados com fluidos de base aquosa. Para cascalhos perfurados com fluido de base sintética, foram utilizadas velocidades de queda sugeridas em MAPEM (2004). Para os sólidos dos fluidos foram utilizadas granulometria dos principais constituintes sólidos dos fluidos de perfuração de base aquosa e sintética, e suas velocidades de queda foram calculadas segundo a formulação de Watson (1969).

A realização em separado das simulações das fases de perfuração, sem e com *riser*, permitiu concluir que as maiores pilhas de cascalhos 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, as maiores espessuras foram observadas nas proximidades do ponto de descarte nas fases sem *riser* (nas direções sul/sudeste) e nas direções norte-noroeste (verão) e norte-nordeste (inverno) nas fases com *riser*.

Adicionalmente, neste relatório, são apresentados os resultados de sólidos na coluna d'água dos fluidos de perfuração para a Fase II (sem *riser*) e a Fase III (com *riser*); estas fases foram selecionadas para representar os cenários mais críticos das fases sem e com *riser*, devido à maior vazão de descarte (volume/tempo) das mesmas. Os resultados mostram que, em uma distância inferior a 4,0 m do ponto de descarte, a pluma de sólidos em suspensão alcança concentrações da ordem de 1 mg/L. As altas concentrações localizam-se muito próximas do ponto de descarte e sua permanência na coluna d'água está limitada ao período do próprio descarte.

I INTRODUÇÃO

Com o objetivo de dar suporte a PETROBRAS no desenvolvimento de estudos ambientais na Bacia Potiguar, apresenta-se este trabalho de modelagem computacional da distribuição espacial (área de influência, espessuras e concentrações na coluna d'água) de cascalhos e sólidos dos fluidos de perfuração para o Poço Ararazul localizado no Bloco BM-POT-16, cujos resultados foram replicados para os poços Cajá, Papagaio e Pitu localizados no Bloco BM-POT-17, e para os vértices sudoeste de ambos dos blocos.

O Poço Ararazul foi selecionado por apresentar características mais críticas quando comparado aos demais poços, entre elas: maior volume de cascalhos gerados e maior proximidade em relação à costa.

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

Nas simulações foram utilizadas as velocidades de queda sugeridas por Brandsma & Smith (1999) para cascalhos perfurados com fluido de base aquosa. Para cascalhos perfurados com fluido de base sintética, foram utilizadas velocidades de queda sugeridas em MAPEM (2004). Para os fluidos de perfuração foi utilizada a granulometria dos seus principais constituintes sólidos (bentonita e baritina). As velocidades de queda das partículas foram calculadas utilizando-se a formulação de Watson (1969).

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, além de discutir os propósitos do estudo, fornece informações sobre a área em questão. O Capítulo II descreve o modelo hidrodinâmico, discretização do domínio e forçantes utilizadas. 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 considerações finais do presente estudo.

I.1 ÁREA DE ESTUDO

A figura I.1-1 apresenta a localização dos poços Ararazul, Cajá, Papagaio e Pitu nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, além dos vértices sudoeste dos mesmos, selecionados para o estudo do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração na Bacia Potiguar.

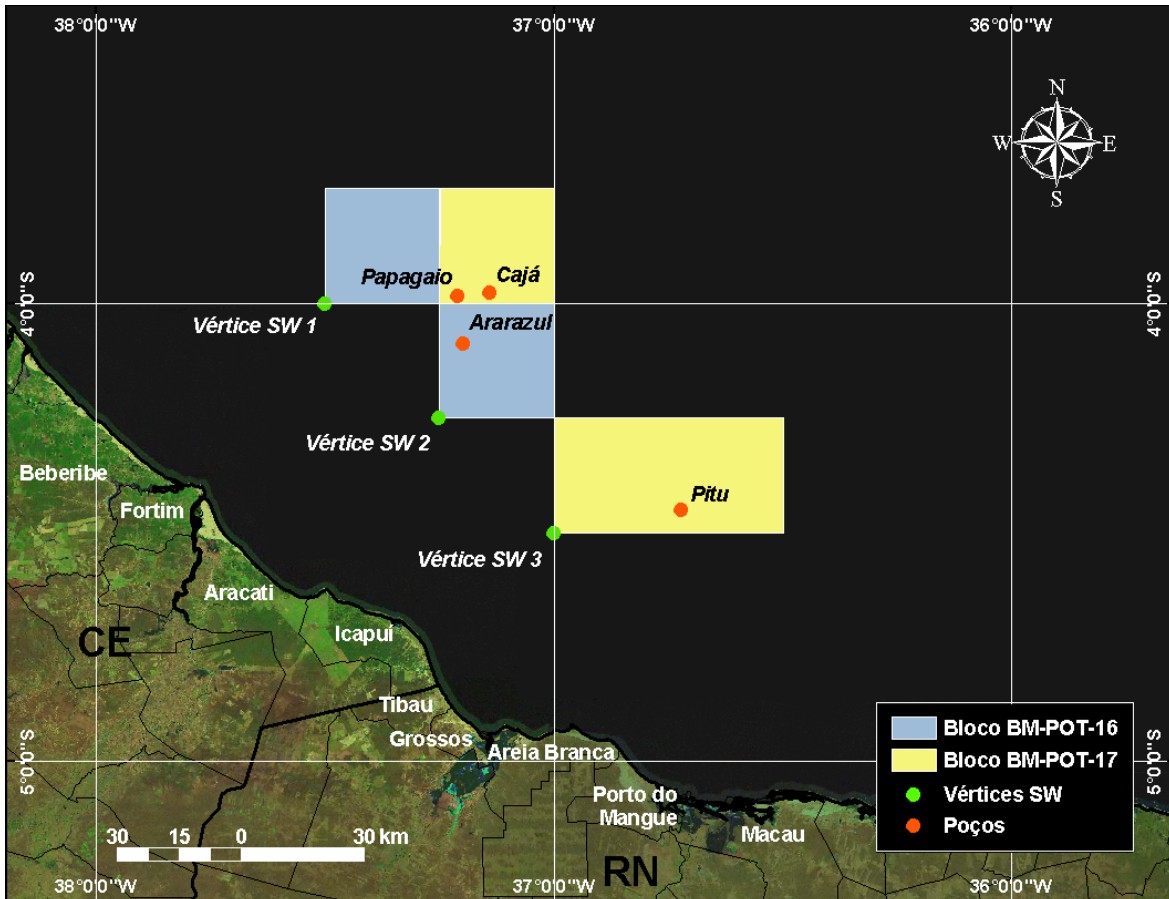


Figura I.1-1 - Localização dos pontos considerados no estudo de descarte de partículas e dos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, Bacia Potiguar.

I.1.1 Características Meteorológicas da Região

A região Nordeste do Brasil está submetida a um dos principais sistemas meteorológicos atuantes nos trópicos, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que pode ser definida como uma região de baixa pressão onde ocorre convergência dos ventos Alísios de sudeste provenientes do Hemisfério Sul, com os Alísios de nordeste provenientes do Hemisfério Norte (figura I.1.1-1).

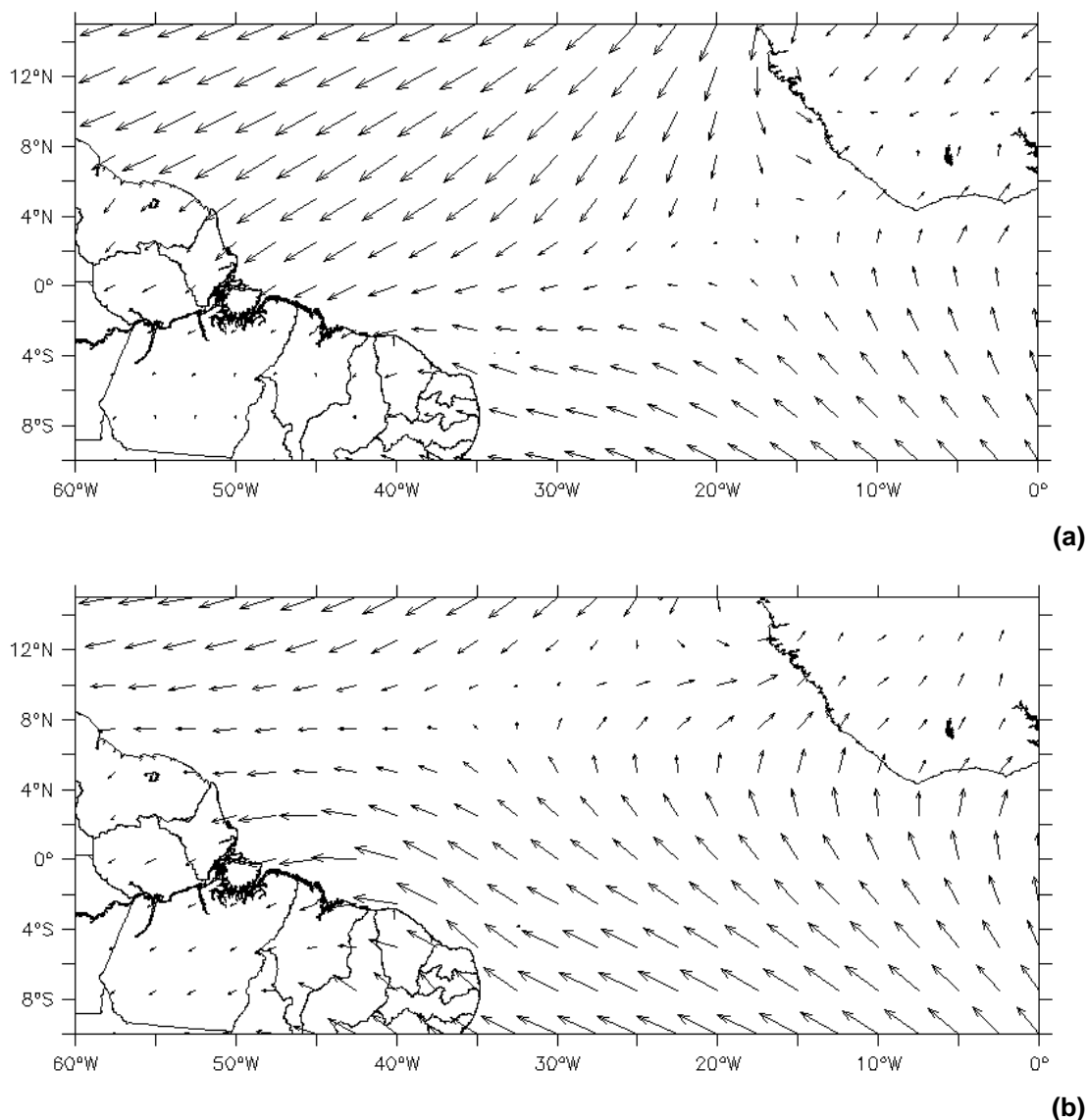


Figura I.1.1-1 - Vento em superfície característico do verão (a) e inverno austral (b).
Figura ilustrativa baseada em climatologia (1958-1997) de Reanálise do NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Este sistema corresponde à principal fonte de precipitação na região tropical e é responsável por condições de mau tempo sobre uma extensa área com intenso desenvolvimento vertical das nuvens. A localização da ZCIT, bem como a intensidade do processo convectivo, variam ao longo do ano: no período de verão do Hemisfério Sul (HS), a ZCIT está em sua posição mais ao sul, em torno de 2°S, enquanto que no inverno se desloca para sua posição mais ao norte, em torno de 8°N (figura I.1.1-1).

I.1.2 Características Oceanográficas da Região

A figura I.1.2-1 ilustra o regime de correntes presentes na porção oeste do Oceano Atlântico Tropical. Este sistema de correntes complexo integra a célula de revolvimento meridional¹ do Atlântico, sendo responsável por importantes transferências meridionais de massas de água quentes e frias.

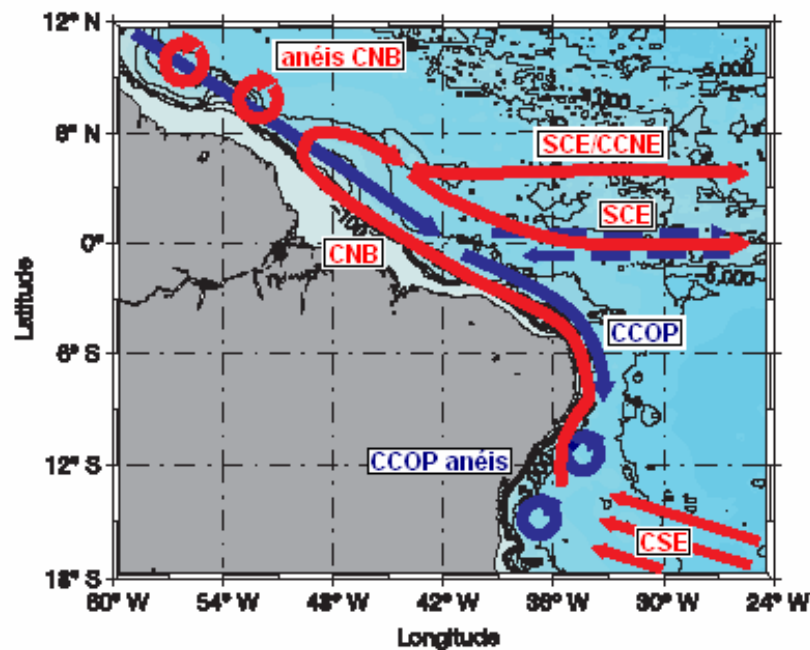


Figura I.1.2-1 - Representação esquemática da circulação média e anéis anticiclônicos na porção oeste do oceano Atlântico Tropical; em vermelho, trajetórias das massas de água quentes, e em azul, trajetórias da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN). As correntes indicadas são: Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Equatorial (SCE), Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), Corrente Sul Equatorial (CSE), e Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP). Adaptado de Dengler et al. (2004).

¹ Meridional Overturning Cell.

As regiões de talude e oceânica da Bacia Potiguar estão sob influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), originada na bifurcação da Corrente Sul-Equatorial, e da Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP), fluxo profundo, responsável pelo transporte da Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) para o Hemisfério Sul.

Na região em estudo, a CNB flui para norte-noroeste, acompanhando aproximadamente o contorno da plataforma continental, impulsionada pelos fortes e constantes ventos Alísios que predominam na região praticamente o ano todo. A CNB é caracterizada pelo predomínio de águas quentes ($>20^{\circ}\text{C}$), podendo atingir 29°C durante os meses do verão e salinidade elevada ($>36,4$) (Miranda,1982).

A estrutura vertical dos campos de corrente e termohalinos na área mostra-se altamente estratificado em região oceânica, por sua vez influenciando diretamente a circulação de plataforma *externa* na área (homogênea na vertical). Este padrão pode ser observado na secção de correntes medida na latitude 5°S , conforme ilustra figura I.1.2-2 (adaptada de Schott *et al.*, 2005). Embora ligeiramente deslocado do foco do estudo, este padrão pode ser generalizado para toda a área (Bacia Potiguar).

A subsidência do fluxo da CNB em direção sul é conhecida, gerando na costa Nordeste do Brasil a Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB), que permanece em sub-superfície até a sua zona de formação. Este fluxo permanece associado a ACAS (Água Central do Atlântico Sul) e sujeito a variabilidades sazonais na profundidade média do seu núcleo. O fluxo da CNB (ou SCNB) é compensado em maiores profundidades pela APAN, para sul.

Na Plataforma Continental, há amplificação dos sinais locais (*i.e.* maré e vento local) compondo-se ao sinal principal gerado pela CNB. A maré passa a atuar efetivamente na advecção e dispersão de material em suspensão em pontos localizados na plataforma intermediária e interna, onde seu sinal é sensivelmente amplificado.

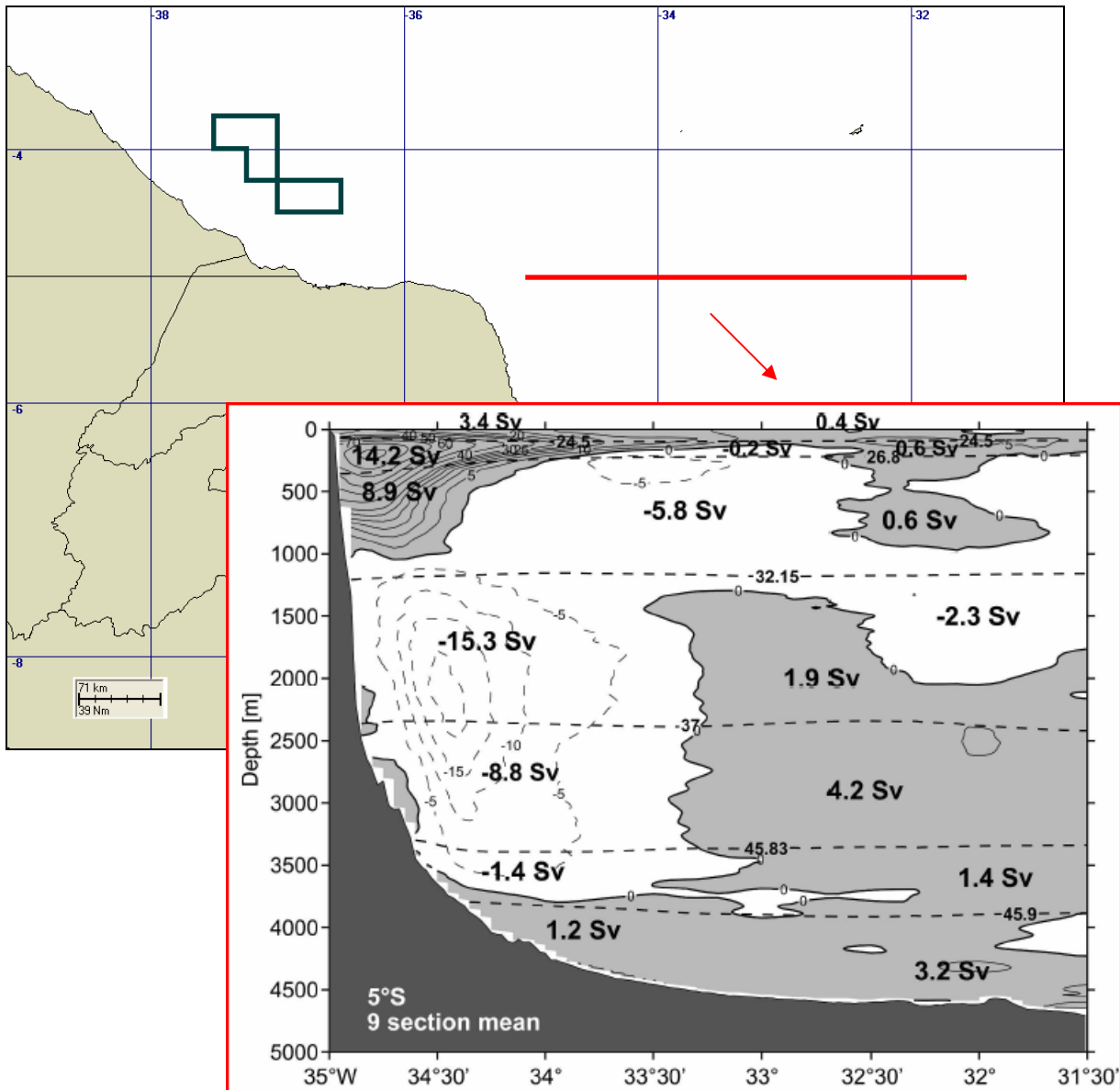


Figura I.1.2-2 - Transporte médio (Sv) em 5°S calculado a partir de medições efetuadas por ADCP/LADCP em cruzeiros realizados entre 1990–2004 (adaptado de Schott et al., 2005). Na figura, os valores positivos indicam fluxo para norte e os negativos, para sul; as linhas pontilhadas mostram os valores de sigma.

II MODELAGEM HIDRODINÂMICA

Nesta etapa do trabalho descreve-se o modelo hidrodinâmico e sua implementação na Bacia Potiguar e adjacências, 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, implementado na área pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**.

O modelo utiliza como forçantes, marés do CSR3², campos tridimensionais de ventos de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP³ e resultados de modelos globais (no caso experimentos da Bacia Atlântica com o HYCOM⁴) para a definição das condições baroclínicas iniciais e de contorno.

Este modelo, já apresentado a PETROBRAS (ASA, 2006), foi validado para região costeira do Pólo Industrial de Guamaré, em períodos que definem os padrões esperados (inverno e verão), apresentando bons coeficientes de ajuste: de 9% para marés e em torno de 24% para as componentes do campo de correntes. Estes resultados, entretanto, são específicos para um dado período e determinados pelo atual nível de conhecimento na área de estudo. A extrapolação desses resultados 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 foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987), e implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**. O código fonte desse modelo é de domínio público e disponível *on-line*⁵.

² Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas.

³ *National Centers for Environmental Prediction*.

⁴ *HYbrid Coordinate Ocean Model*.

⁵ <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>.

A formulação deste modelo possui estrutura 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 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 2ª 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:

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

sendo,

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

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

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

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 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:

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

II.2 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO E FORÇANTES

II.2.1 Discretização do Domínio e Batimetria

A grade final gerada para a região da Bacia Potiguar possui dimensão horizontal máxima de 150x280 pontos, com resolução espacial máxima de 1,8 km na área em foco (figura II.2.1-1). Nessa grade foram utilizadas 15 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região. A grade geral implementada representa um compromisso entre os objetivos do projeto, a capacidade computacional para o período de execução do modelo e a descrição dos processos hidrodinâmicos relevantes para a região de interesse.

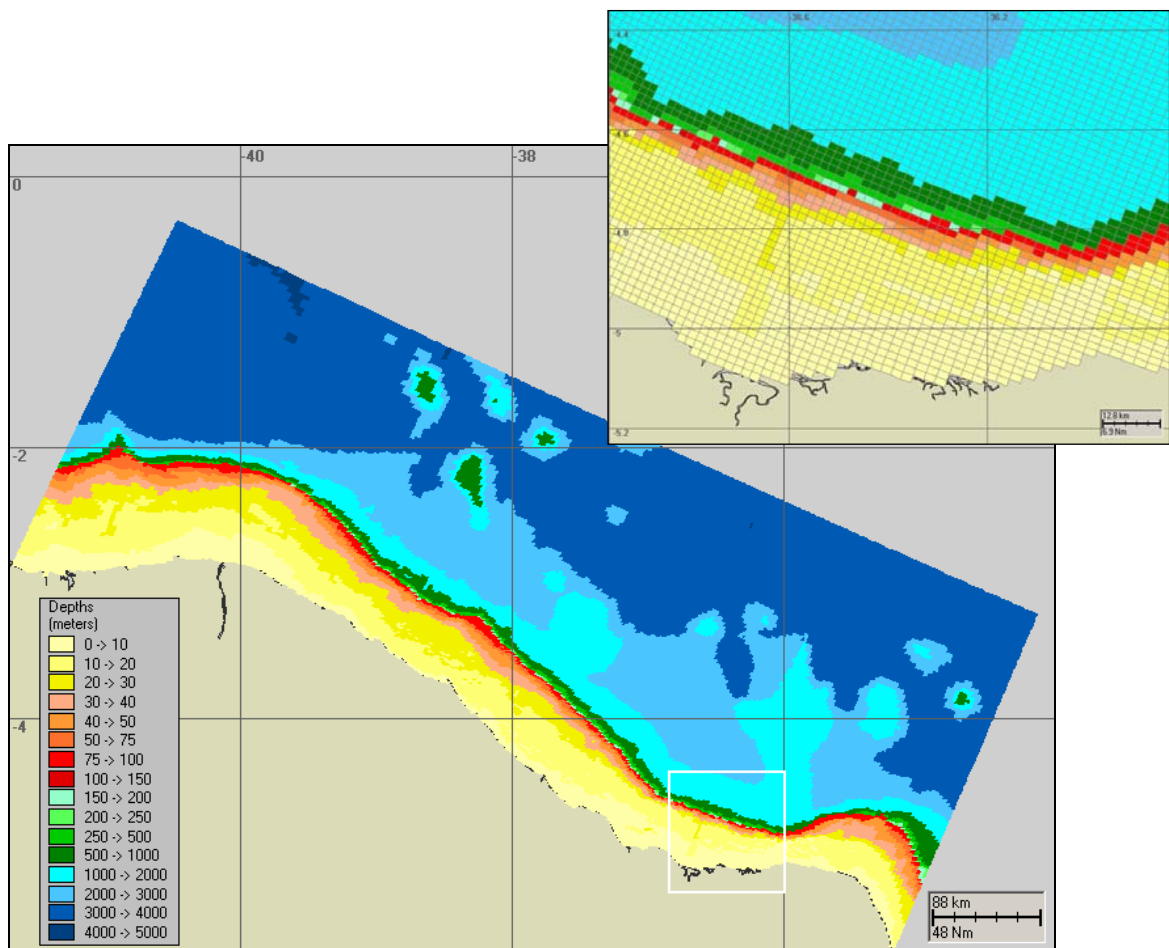


Figura II.2.1-1 - Batimetria projetada na grade computacional utilizada nas simulações de circulação hidrodinâmica para a Bacia Potiguar e adjacências. O detalhe é o zoom da área demarcada.

Os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN⁶. Para a região da Bacia Potiguar, os pontos digitalizados foram extraídos das cartas náuticas da DHN números 500, 504, 511, 600, 700, 702, 710, 720, 800, 803 e 900.

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).

II.2.2 Forçantes

As forçantes utilizadas foram definidas a partir da caracterização ambiental da área. Os principais padrões atuando localmente são relativos à amplificação da maré na região de plataforma e a importância da Corrente Norte do Brasil a partir do talude. Os dados de vento utilizados como forçantes foram provenientes de reanálises do NCEP, interpolados e projetados na grade. A elevação do nível do mar de alta frequência (maré) foi incorporada ao modelo hidrodinâmico, utilizando-se como forçante nos contornos os dados do modelo global de maré do CSR3 da Universidade do Texas. A variação de nível de baixa frequência, o campo termohalino nos contornos (climatológico), o campo inicial (pré-aquecimento) e as componentes barotrópicas e baroclínicas de borda (campo remoto) foram todos extraídos de uma implementação no Atlântico Equatorial do modelo HYCOM (Chassignet *et al.*, 2006).

Para ilustrar o campo típico de correntes na região, e corroborar a caracterização ambiental apresentada, a figura II.2.2-1 apresenta um campo de velocidades instantâneo com resolução de 1/16 da grade original.

⁶ Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

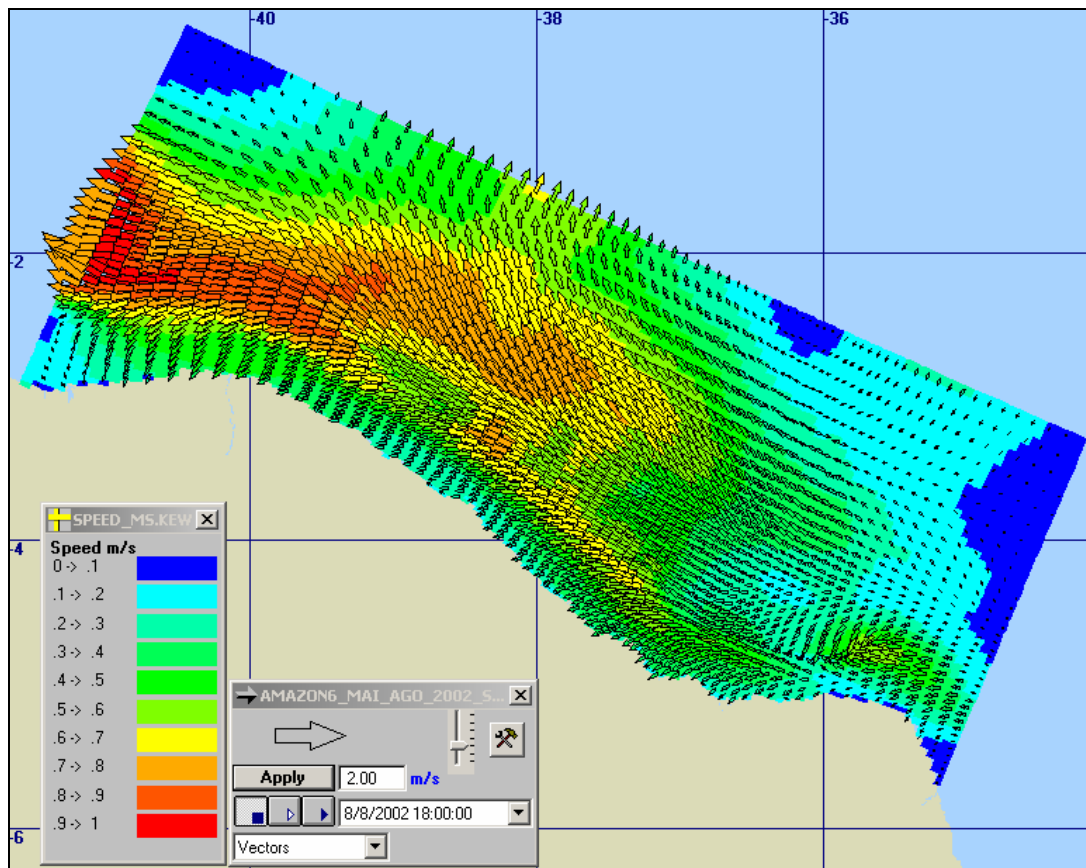


Figura II.2.2-1 - Campo de correntes superficial resultante da simulação hidrodinâmica, em um instante de agosto de 2002.

III MODELAGEM DO DESCARTE DE CASCALHOS E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

A modelagem do descarte de cascalhos 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 cascalhos e fluidos de perfuração nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17, 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

A região de estudo (blocos BM-POT-16 e BM-POT-17) ocupa parte do talude continental e região oceânica da Bacia Potiguar, estando sob influência da Corrente Norte do Brasil (CNB), e da Corrente de Contorno Oeste Profunda (CCOP), descritas no Subitem I.1.2. Para as simulações de descarte de cascalhos e fluidos de perfuração, foram considerados campos de corrente tridimensionais, evoluindo no tempo, para períodos típicos de verão (novembro) e inverno (maio), obtidos a partir dos resultados do modelo hidrodinâmico descrito no Capítulo II.

As figuras III.2.1-1 e III.2.1-2 apresentam os diagramas *stick plots* das correntes que caracterizam as camadas de superfície, intermediárias e próximas ao fundo, de acordo com os resultados do modelo hidrodinâmico, para a região do Poço Ararazul (Bloco BM-POT-16). Observam-se, nas camadas superiores, correntes dirigidas para o quadrante norte, associadas à CNB. Nas camadas intermediárias ocorre uma diminuição da intensidade, associada à transição para o regime de correntes profundas; próximo ao fundo, a direção predominante do fluxo é para o quadrante sul, associado à CCOP.

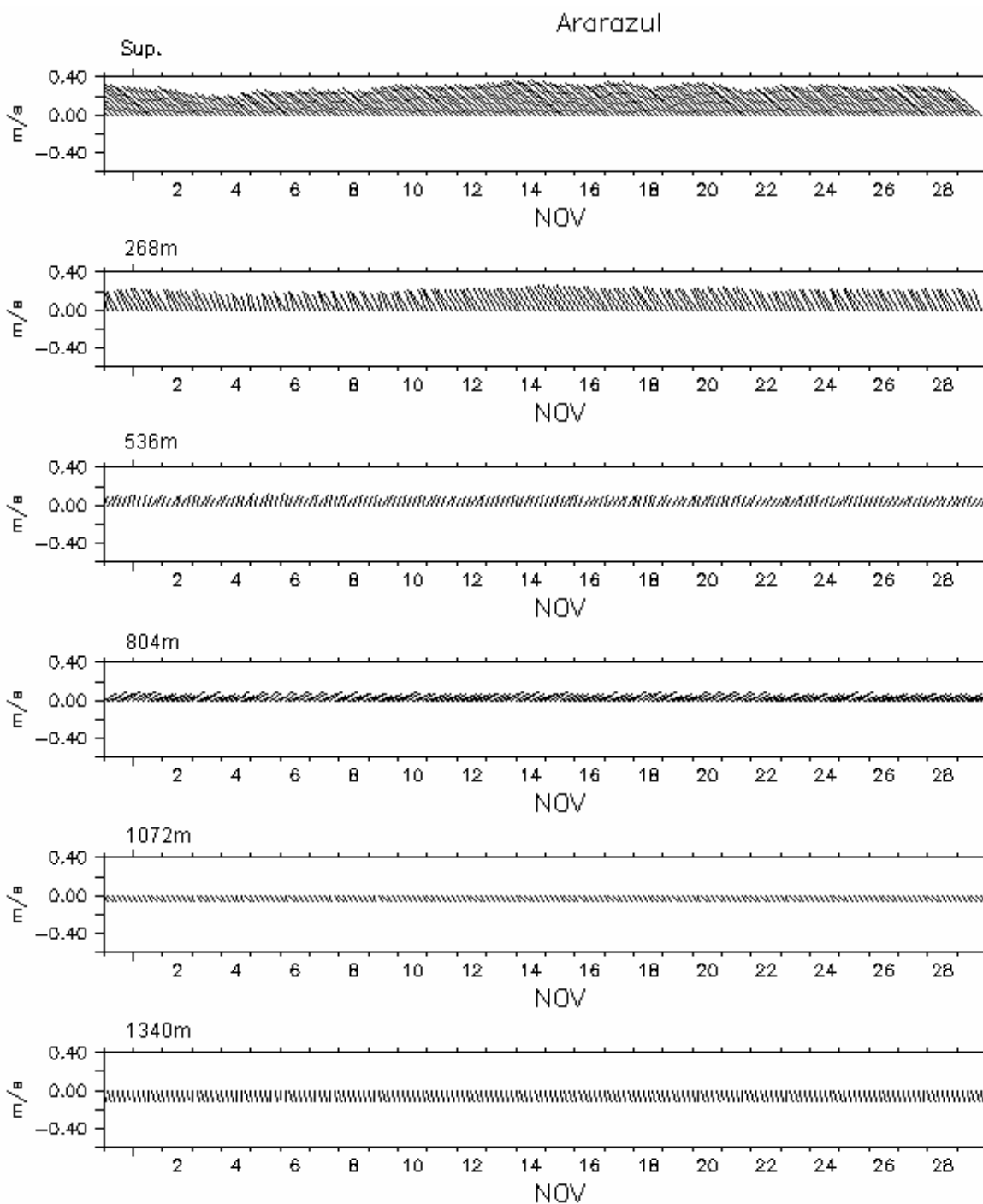


Figura III.2.1-1 - Stick plots de correntes obtidas a partir do modelo hidrodinâmico, que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo para um período típico de verão na região do Poço Ararazul, no Bloco BM-POT-16.

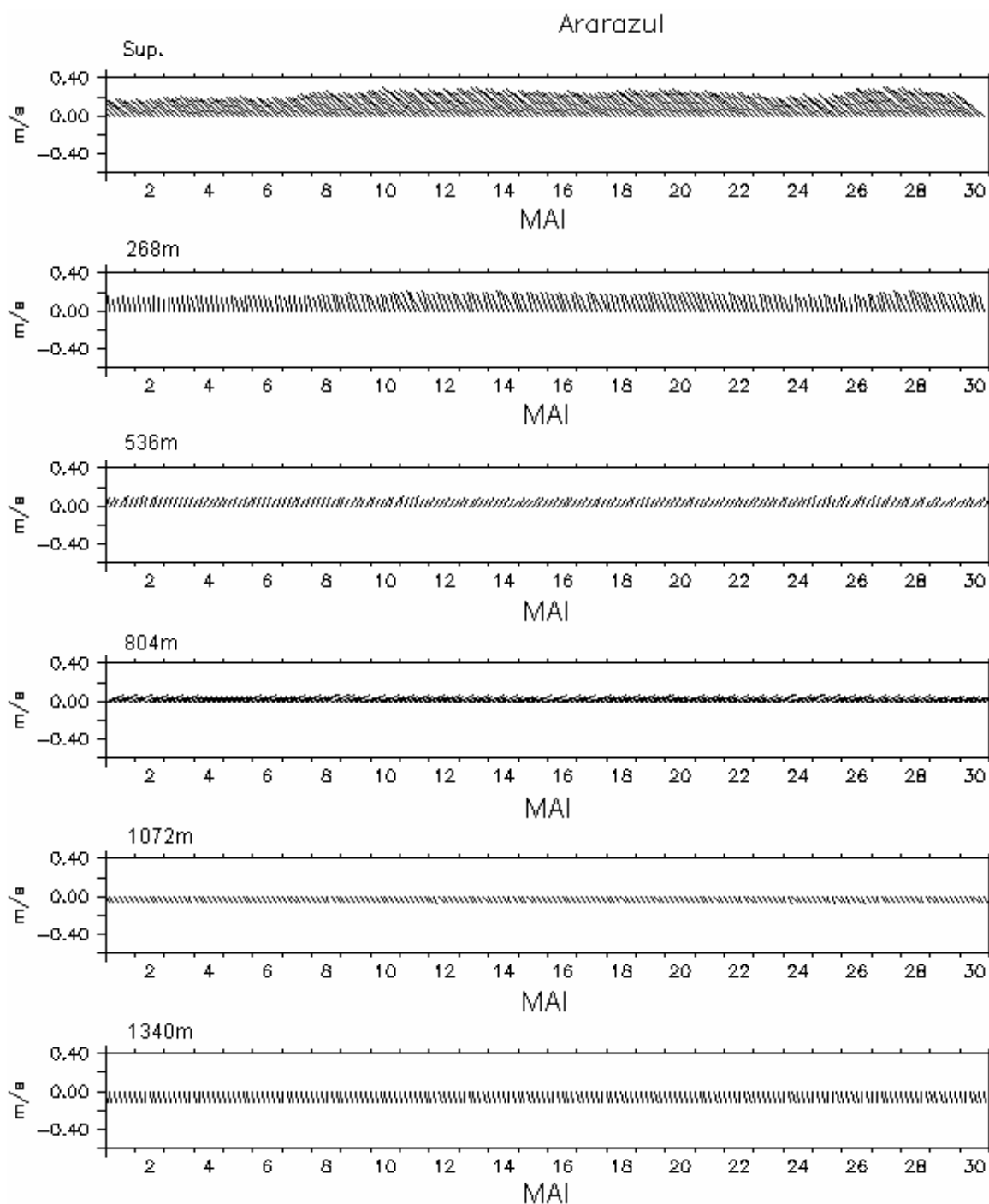


Figura III.2.1-2 - Stick plots de correntes obtidas a partir do modelo hidrodinâmico, que caracterizam as camadas superficiais, intermediárias e próximas ao fundo para um período típico de inverno na região do Poço Ararazul, no Bloco BM-POT-16.

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 de temperatura e salinidade do Atlas Eletrônico do WOCE⁷ para caracterizar o campo termohalino local.

As figuras III.2.2-1 e III.2.2-2 apresentam as secções verticais dos campos médios de densidade, típicos para os períodos de verão e inverno na região do Poço Ararazul (BM-POT-16). Estes dados foram analisados, filtrados e interpolados no espaço.

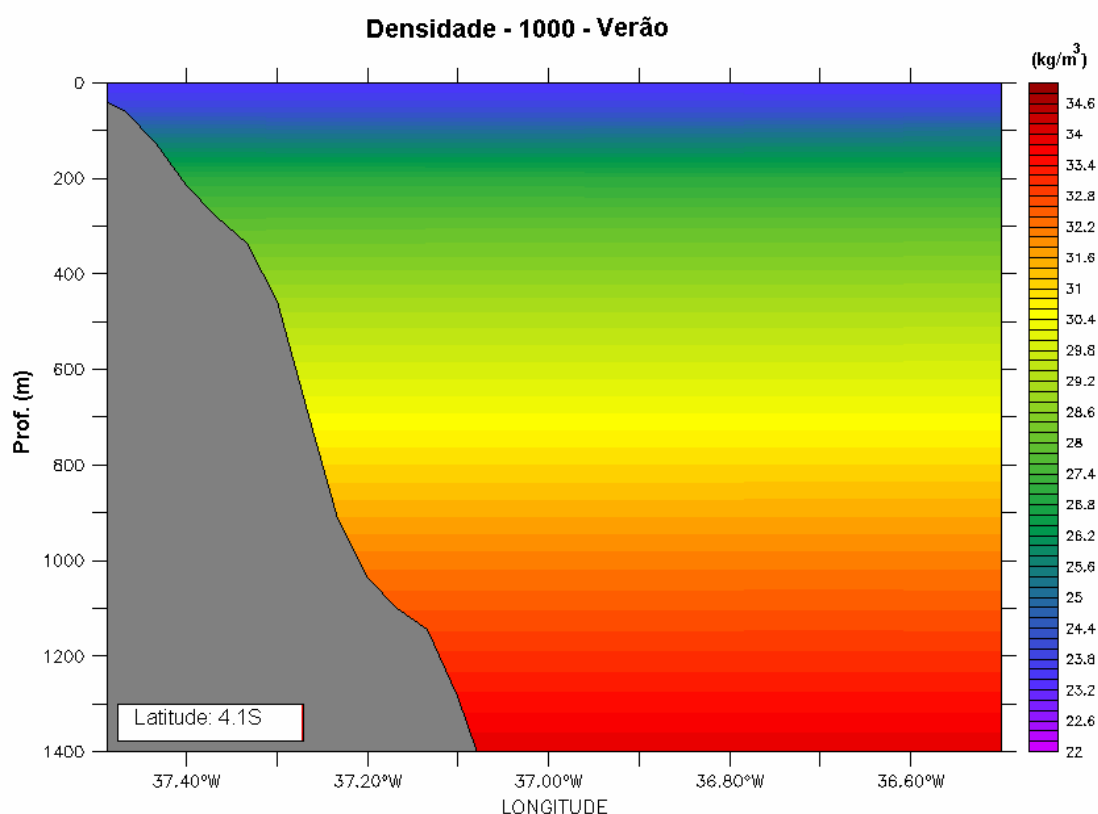


Figura III.2.2-1 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de $4,1^\circ\text{S}$ na região do Bloco BM-POT-16, durante o período de verão. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

⁷ World Ocean Circulation Experiment.

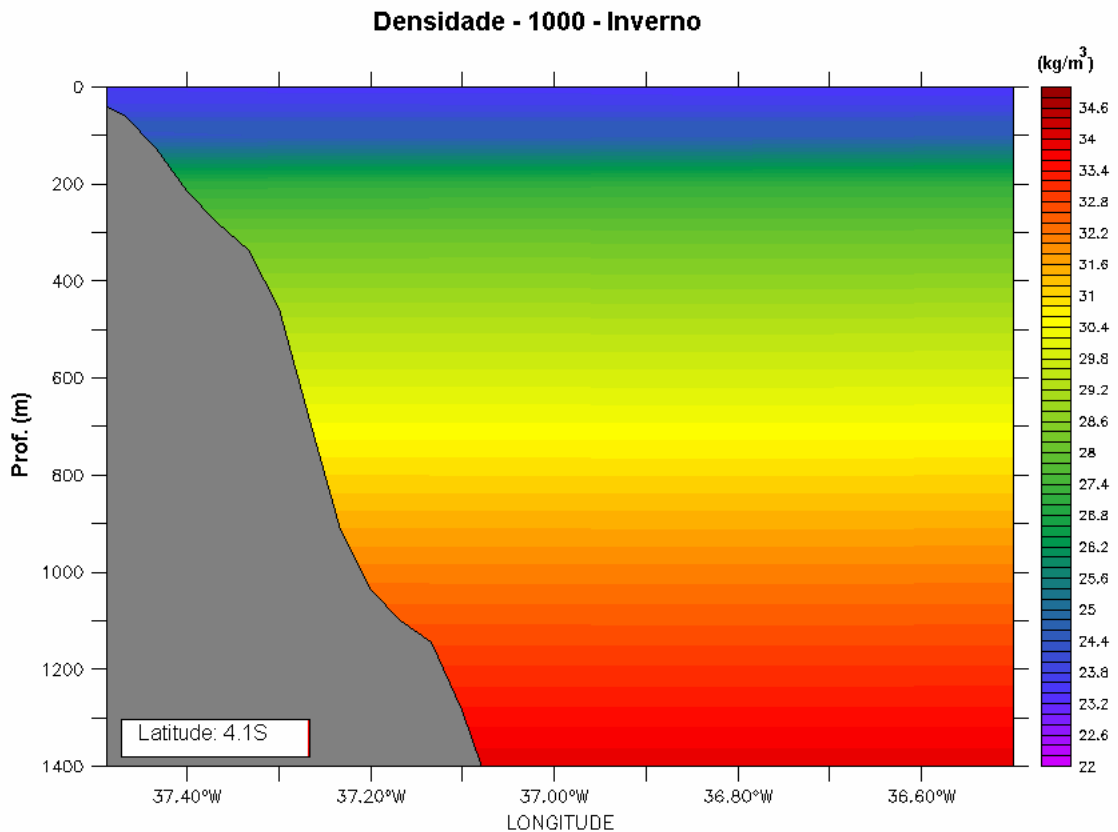


Figura III.2.2-2 - Seção vertical de densidade (kg/m^3) ao longo de $4,1^\circ\text{S}$ na região do Bloco BM-POT-16, para o período de inverno. Dados provenientes do Atlas do WOCE.

A tabela III.2.2-1 apresenta os perfis de densidade típicos para a região do Poço Ararazul, Bacia Potiguar, utilizados como dados de entrada no MUDMAP, para os períodos simulados.

Tabela III.2.2-1 - Perfis médios de densidade, típicos de verão e inverno, para a região do Poço Ararazul, no Bloco BM-POT-16.

PROFUNDIDADE (m)	DENSIDADE DA ÁGUA DO MAR (kg/m^3)	
	VERÃO	INVERNO
0	1.023,36	1.023,5
100	1.025,0	1.024,4
200	1.027,0	1.027,1
500	1.029,3	1.029,3
1.000	1.032,1	1.032,0
1.500	1.034,4	1.034,4

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 localizam os blocos BM-POT-16 e BM-POT-17. 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 no Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, indicado na figura I.1-1, cujas coordenadas foram especificadas pela PETROBRAS e se encontram listadas na tabela III.3.1-1. Esta tabela apresenta, também, as coordenadas dos poços Cajá, Papagaio e Pitu no Bloco BM-POT-17, e vértices sudoeste dos blocos, para os quais os resultados das simulações foram replicados.

Tabela III.3.1-1 - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) dos poços e vértices localizados nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17.

POÇO	BLOCO	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
Poço Ararazul	BM-POT-16	04°05'11,03"S	37°11'55,06"W	1.400 m
Poço Cajá	BM-POT-17	03°58'30,04"S	37°08'22,86"W	1.818 m
Poço Papagaio	BM-POT-17	03°59'00,48"S	37°12'37,09"W	1.556 m
Poço Pitu	BM-POT-17	04°26'59,25"S	36°43'18,63"W	2.094 m
Vértice SW 1	BM-POT-16	04°00'00,00"S	37°30'00,00"W	~ 125 m
Vértice SW 2	BM-POT-16	04°15'00,00"S	37°15'00,00"W	~ 125 m
Vértice SW 3	BM-POT-17	04°30'00,00"S	37°00'00,00"W	~ 250 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 fluido de perfuração para a sonda

e todo o material retirado do poço é 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 cascalhos para a superfície, sendo o descarte realizado na superfície do mar.

Para a perfuração do Poço Ararazul será utilizada a sonda NS-21 e o processo de perfuração será composto por quatro fases distintas: Fases I e II sem *riser*, e Fases III, IV e V com *riser*.

O início da perfuração se dará com um poço de diâmetro 36" e intervalo de cerca de 58 m, com a utilização de fluido de perfuração convencional. Na Fase II a perfuração se dá com o poço de 26" de diâmetro, utilizando fluido de perfuração convencional, perfazendo um intervalo de 442 m. A perfuração com *riser*, Fases III, IV e V, se dará com fluido sintético (BR-MUL), que não será descartado (nas simulações considerou-se apenas a porcentagem aderida ao cascalho). A Fase III (17½") terá intervalo de 950 m, a Fase IV (12¼") de 1.250 m e a Fase V (8½") de 600 m.

Adicionalmente, na modelagem consideram-se os descartes das fases sem *riser* efetuados 2,5 m acima do fundo do mar. Enquanto que, os descartes das fases com *riser*, foram efetuados 1 m abaixo da superfície do mar através de uma tubulação de 19,75".

III.3.3 Caracterização de Cascalhos e Fluidos de Perfuração

Como não existem informações consolidadas sobre a granulometria dos cascalhos gerados nas operações de perfuração da Bacia Potiguar, nas simulações foram utilizadas as velocidades de queda sugeridas por Brandsma & Smith (1999) para cascalhos perfurados com fluido de base aquosa (tabela III.3.3-1, fases sem *riser*). Para cascalhos perfurados com fluido de base sintética (BR-MUL) foram utilizadas velocidades de queda sugeridas em MAPEM⁸ (2004), medidas em laboratório para o Poço Kittyhawk (tabela III.3.3-2, fases com *riser*), uma vez que Brandsma & Smith (op. cit.) não fazem sugestão para cascalhos perfurados com fluido de base sintética.

⁸ Monitoramento Ambiental em Atividades Marítimas de Perfuração.

Salienta-se que as velocidades de queda foram recalculadas, utilizando-se a formulação de Watson (1969), para a densidade real dos cascalhos descartados ($2,6 \text{ kg/m}^3$) e as densidades da água do mar da região onde se localiza o Bloco BM-POT-16.

Tabela III.3.3-1 - Velocidades de queda (cm/s) para cascalhos perfurados com fluido de base aquosa, fases sem riser do Poço Ararazul (adaptado de Brandsma & Smith, 1999).

CLASSE	FRAÇÃO DE VOLUME	VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s)	
		VERÃO	INVERNO
1	4,272E-2	0,00013	0,00013
2	3,204E-2	0,00161	0,00161
3	3,738E-2	0,02080	0,02080
4	1,602E-2	0,22194	0,22194
5	1,068E-2	1,38409	1,38408
6	9,612E-2	3,86350	3,86347
7	8,544E-2	9,49682	9,49676
8	8,010E-2	13,11868	13,11860
9	1,335E-1	25,22672	25,22657

Tabela III.3.3-2 - Velocidades de queda (cm/s) para cascalhos perfurados com fluido de base sintética, fases com riser do Poço Ararazul (adaptado de MAPEM, 2004).

CLASSE	FRAÇÃO DE VOLUME	VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s)	
		VERÃO	INVERNO
1	1,000E-1	35,12847	35,12903
2	1,000E-1	33,17701	33,17754
3	1,000E-1	30,90585	30,90635
4	1,125E-1	28,30452	28,30498
5	4,250E-2	25,05366	25,05406
6	2,000E-2	19,53608	19,53639
7	6,250E-3	13,05214	13,05235
8	1,875E-2	6,61431	6,61442

Para os fluidos foram utilizadas as granulometrias de seus principais constituintes sólidos (bentonita e baritina) fornecidas pela PETROBRAS, baseadas em análises de laboratório realizadas pela Universidade Federal Fluminense em 2008, conforme as tabelas III.3.3-3 e III.3.3-4. Estas tabelas também apresentam as velocidades de queda calculadas segundo a formulação de Watson (1969).

Tabela III.3.3-3 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a bentonita, fases sem e com riser do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.

GRANULOMETRIA	%	VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s)			
		SEM RISER		COM RISER	
		Verão	Inverno	Verão	Inverno
Areia muito grossa	0,3	14,15213	14,14895	13,98052	13,98076
Areia grossa	0,3	9,42887	9,42672	9,31258	9,31275
Areia média	0,6	5,66353	5,66218	5,59060	5,59070
Areia fina	2,7	2,67727	2,67658	2,63989	2,63994
Areia muito fina	7,7	0,89293	0,89268	0,87947	0,87949
Silte grosso	40,8	0,23817	0,23810	0,23448	0,23449
Silte médio	22,6	0,05997	0,05995	0,05904	0,05904
Silte fino	14,4	0,01501	0,01501	0,01478	0,01478
Silte muito fino	6,7	0,00375	0,00375	0,00369	0,00369
Argila	3,9	0,00094	0,00094	0,00092	0,00092

Tabela III.3.3-4 - Classes granulométricas e velocidades de queda para a baritina, fases com riser do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.

GRANULOMETRIA	%	VELOCIDADE DE QUEDA (cm/s)	
		Verão	Inverno
Areia grossa	0,2	15,55458	15,55480
Areia média	0,4	9,91651	9,91666
Areia fina	2,6	5,33780	5,33788
Areia muito fina	10,7	2,08845	2,08849
Silte grosso	44,7	0,60003	0,60004
Silte médio	17,5	0,15323	0,15323
Silte fino	11,2	0,03843	0,03843
Silte muito fino	6,9	0,00961	0,00961
Argila	5,8	0,00240	0,00240

A seguir, apresenta-se a formulação de Watson (1969), utilizada no cálculo de velocidade de queda das partículas, 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).

As tabelas III.3.3-5 a III.3.3-7 apresentam os volumes e a caracterização de cascalhos e fluidos de perfuração descartados no Poço Ararazul, localizado no Bloco BM-POT-16, segundo informações fornecidas pela PETROBRAS. São apresentadas, também, as informações relativas aos poços Cajá, Papagaio e Pitu, no Bloco BM-POT-17, para os quais os resultados das simulações foram replicados. Vale ressaltar que apenas nas fases com *riser* será utilizado fluido de perfuração sintético (BR-MUL), e apenas a porcentagem aderida ao cascalho será descartada.

Tabela III.3.3-5 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.

FASE	DIÂMETRO DO POÇO	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"	58	6,8	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	46	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
					fluido	Convencional	471	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
II	26"	442	26,5	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	182	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
					fluido	Convencional	698	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
III	17½"	950	42,0	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	188	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
					fluido	BR-MUL	43	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
IV	12¼"	1.250	160,2	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	107	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
					fluido	BR-MUL	25	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
V	8½"	600	154,0	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	25	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
					fluido	BR-MUL	6	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13

* Foi utilizada a granulometria da bentonita para estes sólidos, uma vez que a densidade destes é similar.

OBS 1: a fim de se trabalhar com cenários mais conservadores, foram considerados inclusive os sólidos dos fluidos solúveis em água.

OBS 2: a densidade do fluido BR-MUL é referente a densidade da fração orgânica (n-parafina) aderida ao cascalho.

N.A. = não aplicável.

Tabela III.3.3-6 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Cajá, Bloco BM-POT-17.

FASE	DIÂMETRO DO POÇO	INTERV. DA FASE (m)	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"	67	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	0	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	Convencional	0	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
II	26"	395	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	0	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	Convencional	0	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
III	12¼"	1.100	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	0	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	0	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
IV	8½"	1.840	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	76	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	17	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13

* Foi utilizada a granulometria da bentonita para estes sólidos, uma vez que a densidade destes é similar.

OBS 1: a fim de se trabalhar com cenários mais conservadores, foram considerados inclusive os sólidos dos fluidos solúveis em água.

OBS 2: a densidade do fluido BR-MUL é referente a densidade da fração orgânica (n-parafina) aderida ao cascalho.

OBS 3: o Poço Cajá é uma reentrada no Poço 1-BRSA-90-CES, que foi perfurado em 2001, até a profundidade de 3.380,0 m (ao final da Fase III). Portanto, até esta profundidade não haverá geração de cascalho ou utilização de fluido.

N.A. = não aplicável.

Tabela III.3.3-7 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Papagaio, Bloco BM-POT-17.

FASE	DIÂMETRO DO POÇO	INTERV. DA FASE (m)	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"	58	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	46	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	Convencional	517	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
II	26"	486	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	200	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	Convencional	766	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
III	17½"	900	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	178	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	41	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
IV	12¼"	1.200	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	103	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	24	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
V	8½"	662	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	27	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	6	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13

* Foi utilizada a granulometria da bentonita para estes sólidos, uma vez que a densidade destes é similar.

OBS 1: a fim de se trabalhar com cenários mais conservadores, foram considerados inclusive os sólidos dos fluidos solúveis em água.

OBS 2: a densidade do fluido BR-MUL é referente a densidade da fração orgânica (n-parafina) aderida ao cascalho.

N.A. = não aplicável.

Tabela III.3.3-8 - Especificações do descarte de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Pitu, Bloco BM-POT-17.

FASE	DIÂMETRO DO POÇO	INTERV. DA FASE (m)	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"	58	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	46	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	Convencional	676	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
II	26"	348	2,5 m acima do fundo do mar	cascalhos	N.A.	143	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	Convencional	855	1.068,0	Bicarbonato sódio* Bentonita	2.160 2.250	1,43 71,45
III	17½"	800	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	158	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	36	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
IV	12¼"	900	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	77	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	18	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13
V	8½"	700	1 m abaixo da superfície do mar	cascalhos	N.A.	29	2.600,0	N.A.	N.A.	N.A.
				fluido	BR-MUL	7	780,0	Cal hidratada* Argila organofílica* Baritina	2.280 2.280 4.200	28,50 5,72 691,13

* Foi utilizada a granulometria da bentonita para estes sólidos, uma vez que a densidade destes é similar.

OBS 1: a fim de se trabalhar com cenários mais conservadores, foram considerados inclusive os sólidos dos fluidos solúveis em água.

OBS 2: a densidade do fluido BR-MUL é referente a densidade da fração orgânica (n-parafina) aderida ao cascalho.

N.A. = não aplicável.

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.

Na apresentação dos resultados para a coluna d'água foram adotadas as concentrações de corte de 1 mg/L e 5 mg/L, sugeridas pelo IBAMA por serem valores que representam alterações significativas na concentração de sedimentos em suspensão em relação aos valores usuais encontrados no oceano.

III.3.5 Descrição dos Cenários

A tabela III.3.5-1 apresenta os cenários elaborados para as simulações de descarte de cascalhos e fluidos de perfuração selecionados para caracterizar as operações de perfuração realizadas na Bacia Potiguar. Ao todo, foram simulados 10 cenários contemplando: **1 ponto de descarte, 5 fases de perfuração** (sem e com *riser*) e **2 condições sazonais** (verão e inverno).

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

- BMPOT16 identifica o ponto de descarte no Bloco BM-POT-16 (Poço Ararazul);
- FI, FII, FIII, FIV e FV indicam as fases de perfuração/descarte;
- VER e INV identificam os períodos de verão e inverno, respectivamente.

Tabela III.3.5-1 - Cenários elaborados para o estudo de cascalhos e fluidos de perfuração para o Poço Ararazul, localizado no Bloco BM-POT-16.

FASES DE PERFURAÇÃO/DESCARTE	CENÁRIOS	
	VERÃO	INVERNO
FASE I	BMPOT16_FI_VER	BMPOT16_FI_INV
FASE II	BMPOT16_FII_VER	BMPOT16_FII_INV
FASE III	BMPOT16_FIII_VER	BMPOT16_FIII_INV
FASE IV	BMPOT16_FIV_VER	BMPOT16_FIV_INV
FASE V	BMPOT16_FV_VER	BMPOT16_FV_INV

Nas simulações do descarte de partículas são considerados cascalhos e sólidos dos fluidos com diferentes características (e.g. velocidade de deposição), portanto, as simulações são realizadas por um período suficiente para permitir a deposição significativa das partículas descartadas (*i.e.*, deposição com espessuras ≥ 1 mm).

Para as fases sem *riser*, já que os descartes são efetuados junto à cabeça do poço, a duração da simulação, considerada neste trabalho, é igual à duração do descarte adicionada de três dias. E 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 seis dias.

A tabela III.3.5-2 apresenta os cenários elaborados para simular a concentração de sólidos de fluidos na coluna d'água. Para representar a área de influência na coluna d'água, foram selecionadas a Fase II (sem *riser*) e a Fase III (com *riser*), por serem os cenários mais críticos das fases sem e com *riser*, devido à maior vazão de descarte (volume/tempo) das mesmas, além de

utilizarem os fluidos convencional e BR-MUL, os dois tipos de fluidos de perfuração considerados neste estudo.

Foram simulados 4 cenários que contemplam: **1 ponto de descarte** (Poço Ararazul), **2 fases de perfuração** (sem *riser* e com *riser*) e **2 condições sazonais** (verão e inverno).

A terminologia utilizada para a identificação dos cenários de coluna d'água é a seguinte:

- BMPOT16 identifica o ponto de descarte no Bloco BM-POT-16 (Poço Ararazul);
- FII e FIII indicam as fases de perfuração/descarte;
- VER E INV indicam os períodos sazonais de verão e inverno, respectivamente;
- CONV e BRMUL indicam, respectivamente, os fluidos convencional e BR-MUL.

Tabela III.3.5-2- Cenários elaborados para simular a concentração de sólidos em suspensão.

FASES DE PERFURAÇÃO	CENÁRIOS	
	VERÃO	INVERNO
FASE II	BMPOT16_FII_VER_CONV	BMPOT16_FII_INV_CONV
FASE III	BMPOT16_FIII_VER_BRMUL	BMPOT16_FIII_INV_BRMUL

IV RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

O modelo MUDMAP foi utilizado para simular os cenários descritos no Subitem III.3.5 e fornecer informações sobre a distribuição espacial de cascalhos e sólidos de fluidos descartados durante as operações de perfuração do Poço Ararazul no Bloco BM-POT-16. Para melhor visualização e interpretação dos resultados de deposição no assoalho oceânico e na coluna d'água, optou-se por apresentá-los separadamente em: “Depósitos no Assoalho Oceânico” e “Concentrações na Coluna D'Água”.

Os resultados de concentrações na coluna d'água são apresentados apenas para a Fase II (sem *riser*) e Fase III (com *riser*), selecionadas para representar a área de influência por serem os descartes mais críticos em termos de vazão de descarte (maior volume em relação ao tempo de descarte).

IV.1 DEPÓSITOS NO ASSOALHO OCEÂNICO

A tabela IV.1-1 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 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. O critério de corte em 1 mm foi adotado em função dos estudos descritos no Subitem III.3.4.

Na modelagem do descarte de partículas do Poço Ararazul, em todas as fases de descarte e em ambos os períodos simulados, 100% do cascalho depositou-se durante o período simulado. No caso dos sólidos dos fluidos, a porcentagem depositada durante todo o período da simulação foi de 100% nas fases sem *riser*, e de 57% a 62% nas fases com *riser*. Esta diferença se dá pelo fato de que os descartes com *riser* são efetuados na superfície do mar, portanto, ficam mais tempo sobre a influência das correntes ao longo da coluna d'água.

Em resumo, os depósitos de sedimento significativos (com espessuras superiores ou iguais a 1 mm), gerados durante as operações de descarte do Poço Ararazul, correspondem principalmente aos cascalhos descartados.

Tabela IV.1-1 - Máxima espessura depositada e área coberta por sedimentos com espessuras maiores que 1 mm para o Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.

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	3.871,0	3.878,0	43,0 (S)	43,0 (S)	69,0	70,0
II	5.961,0	5.978,0	54,0 (S)	54,0 (S)	270,0	270,0
III	80.335,0	81.229,0	471,0 (NW)	330,0 (NE)	2,2	2,3
IV	15.073,0	15.098,0	304,0 (NW)	253,0 (NNW)	1,2	1,3
V	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,27	0,33
TOTAL	145.126,0	140.974,0	535,0 (NW)	386,0 (NW)	337,0	343,0

N.D. = não dectado.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nas simulações para os depósitos no assoalho oceânico. Para facilitar a compreensão dos resultados, são apresentadas as distribuições espaciais de cascalhos e fluidos de perfuração ao final de cada fase e ao final das operações de descarte para o ponto simulado, divididos em verão e inverno.

IV.1.1 Fase I

A figura IV.1.1-1 apresenta os resultados das simulações para a Fase I (sem riser) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de verão. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 6,9 cm e as maiores espessuras concentraram-se nas proximidades (cerca de 3,0 m a sudeste) do ponto de descarte. A área de deposição está distribuída em, aproximadamente, 3.871 m².

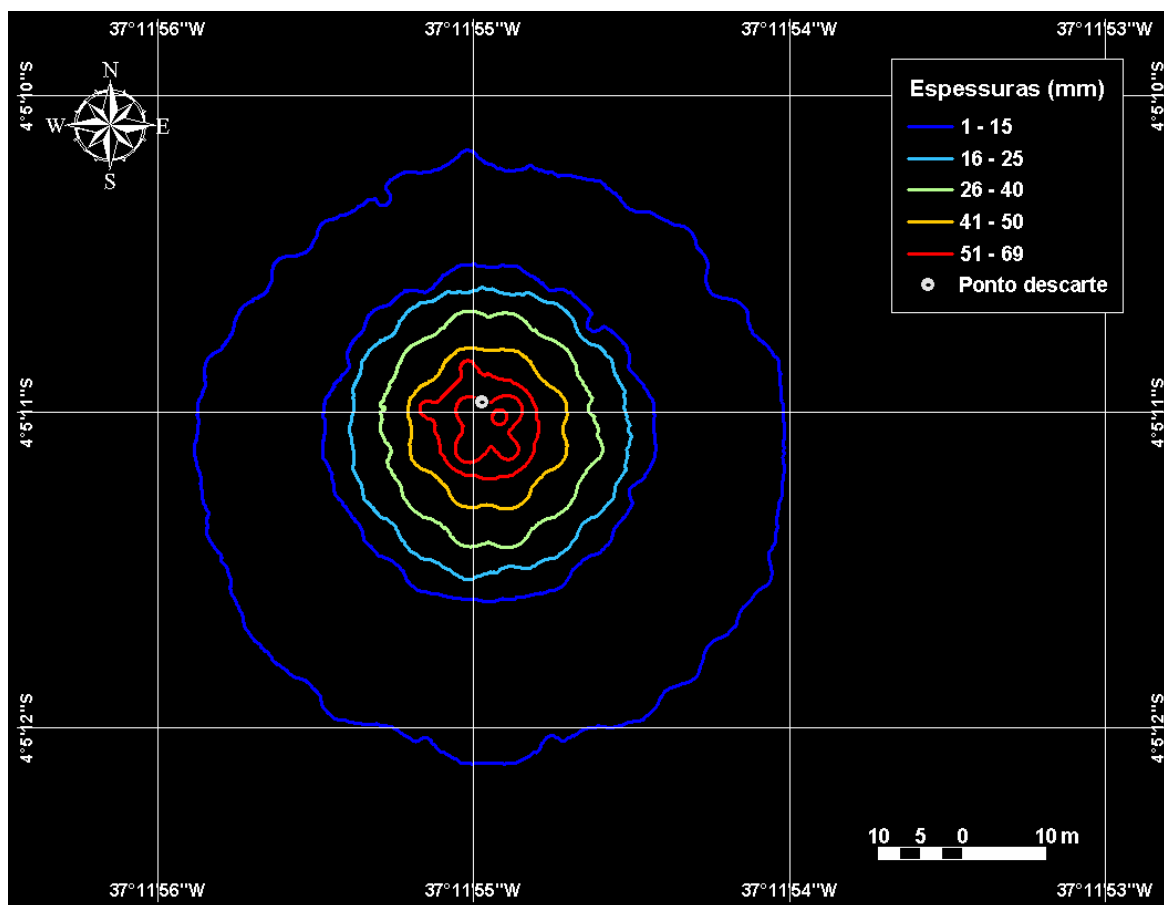


Figura IV.1.1-1 - Cenário BMPOT16_FI_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem riser), no período de verão.

A figura IV.1.1-2 apresenta os resultados das simulações para a Fase I (sem *riser*) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de inverno. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 7,0 cm e a área de deposição está distribuída em 3.878 m². As maiores espessuras concentraram-se nas proximidades (cerca de 3,0 m a sudeste) do ponto de descarte.

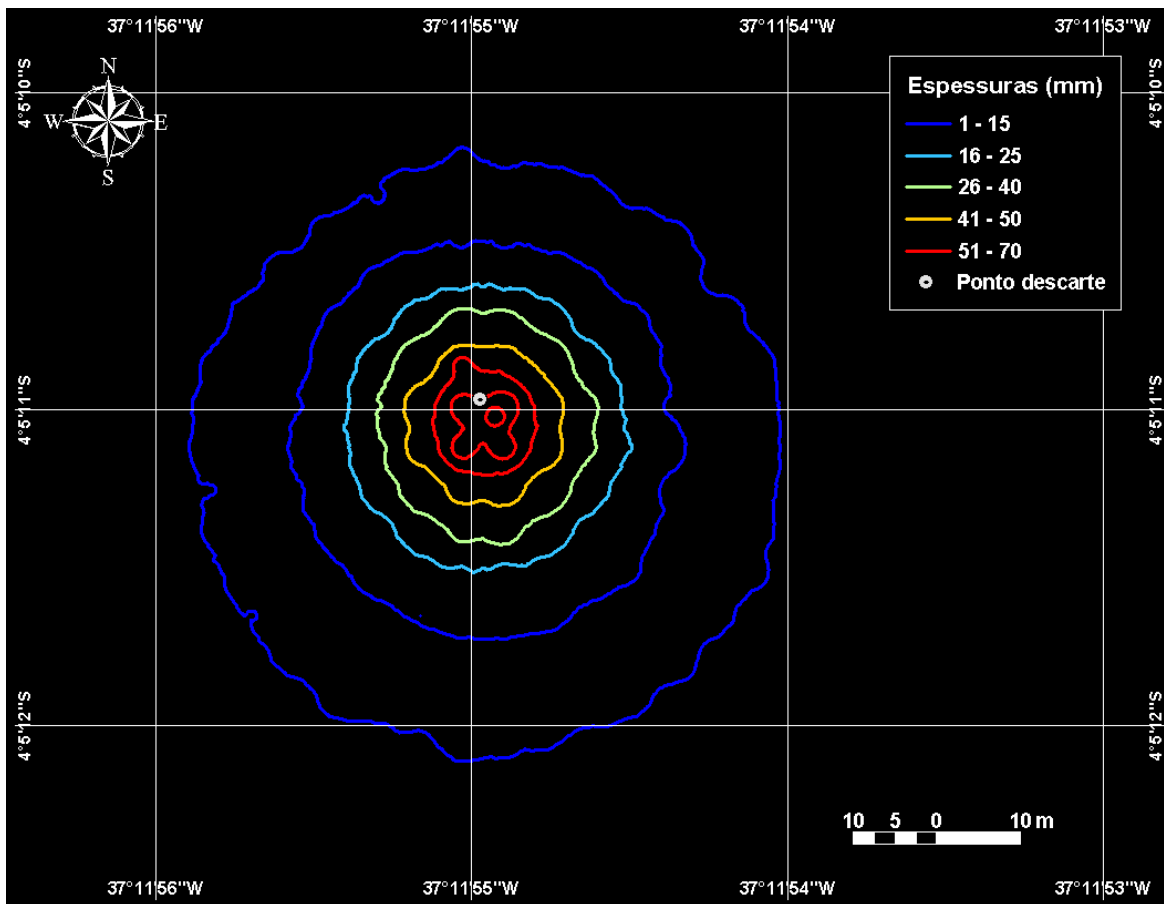


Figura IV.1.1-2 - Cenário *BMPOT16_FI_INV*. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase I (diâmetro de 36", sem riser), no período de inverno.

IV.1.2 Fase II

A figura IV.1.2-1 apresenta os resultados da simulação para a Fase II (sem *riser*) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de verão. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 27 cm e as maiores espessuras concentram-se nas proximidades (6,0 m ao sul) do ponto de descarte. A área de deposição está distribuída em cerca de 5.961 m².

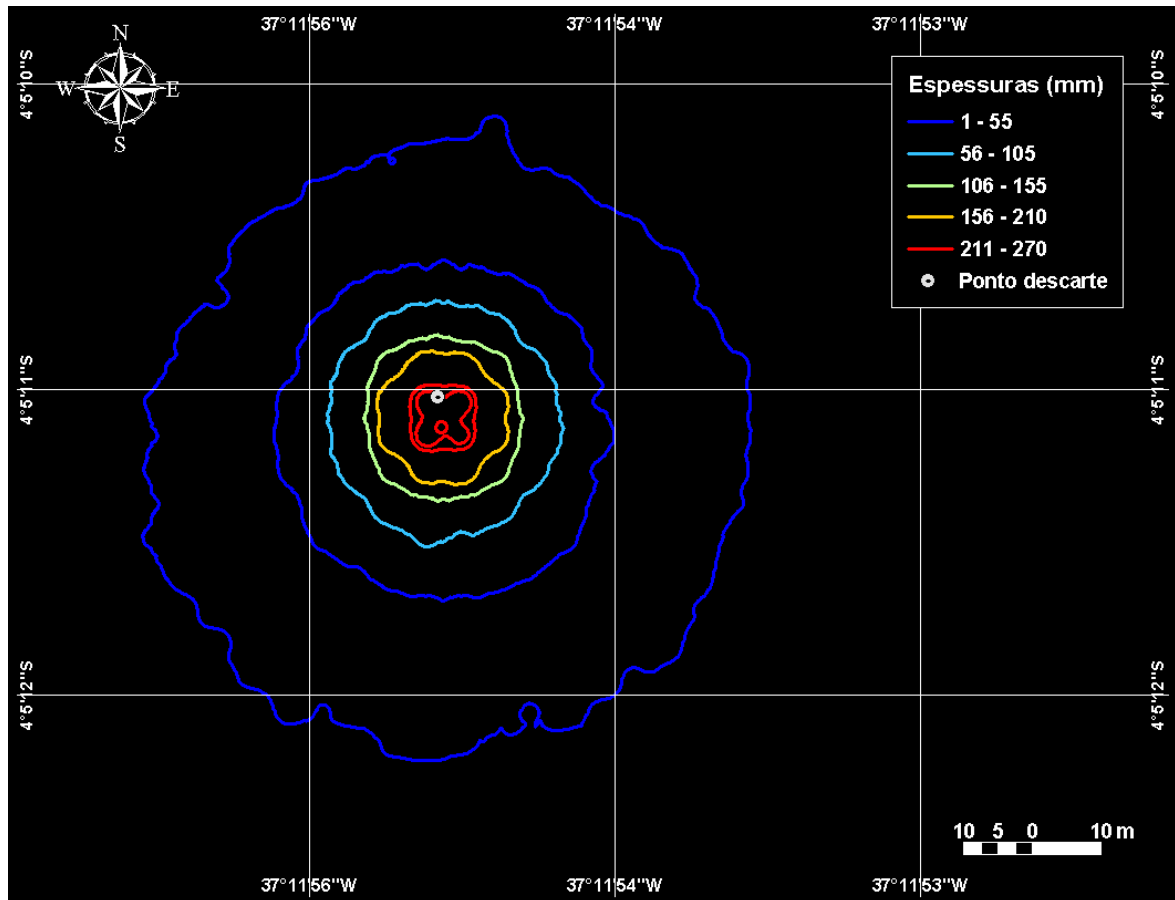


Figura IV.1.2-1 - Cenário BMPOT16_FII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase II (diâmetro de 26", sem riser), no período de verão.

A figura IV.1.2-2 apresenta os resultados da simulação para a Fase II (sem *riser*) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de inverno. Observa-se que a espessura máxima depositada também foi de, aproximadamente, 27 cm e as maiores espessuras concentram-se nas proximidades (6,0 m ao sul) do ponto de descarte. A área de deposição está distribuída em cerca de 5.978 m².

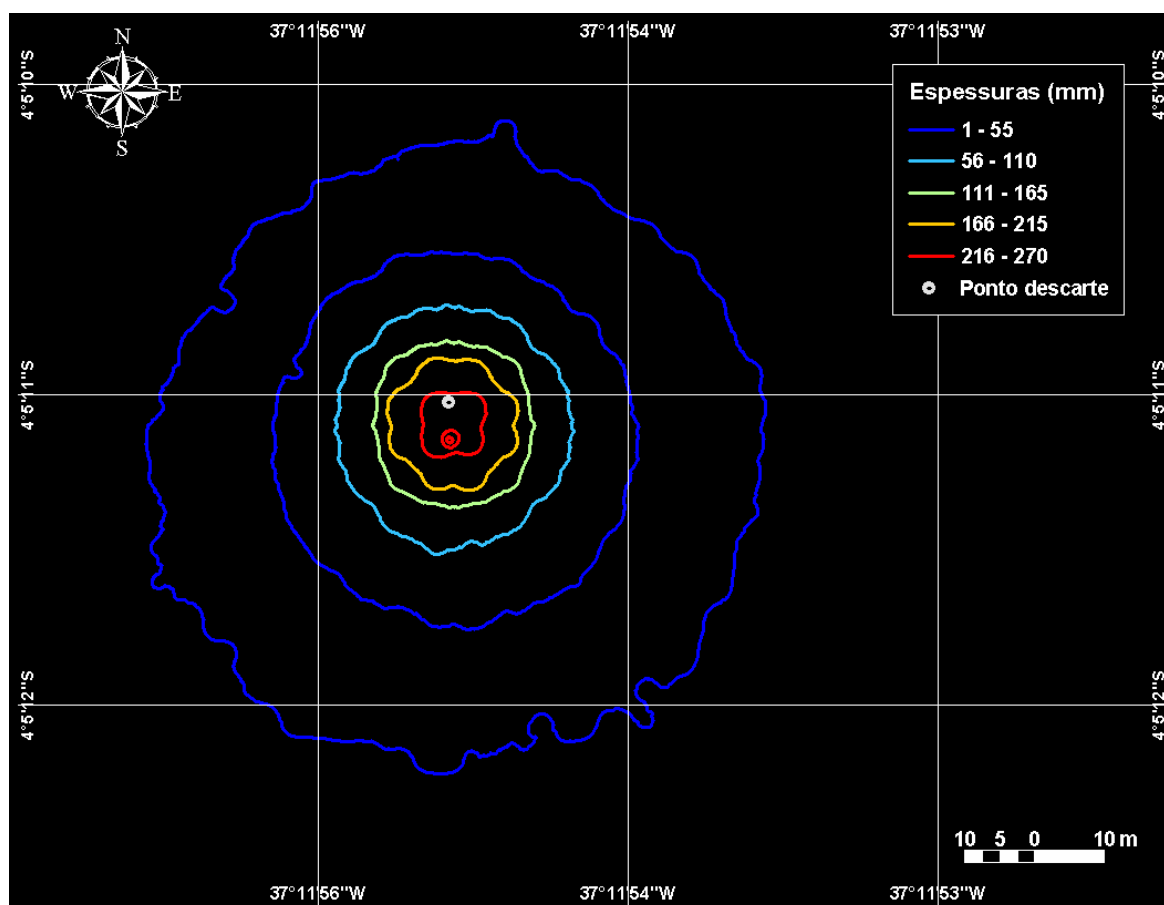


Figura IV.1.2-2 - Cenário BMPOT16_FII_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase II (diâmetro de 26", sem riser), no período de inverno.

IV.1.3 Fase III

A figura IV.1.3-1 apresenta os resultados da simulação para a Fase III (com riser) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de verão. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 0,22 cm e a área de deposição está distribuída em cerca de 80.335 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 309 m a noroeste do ponto de descarte.

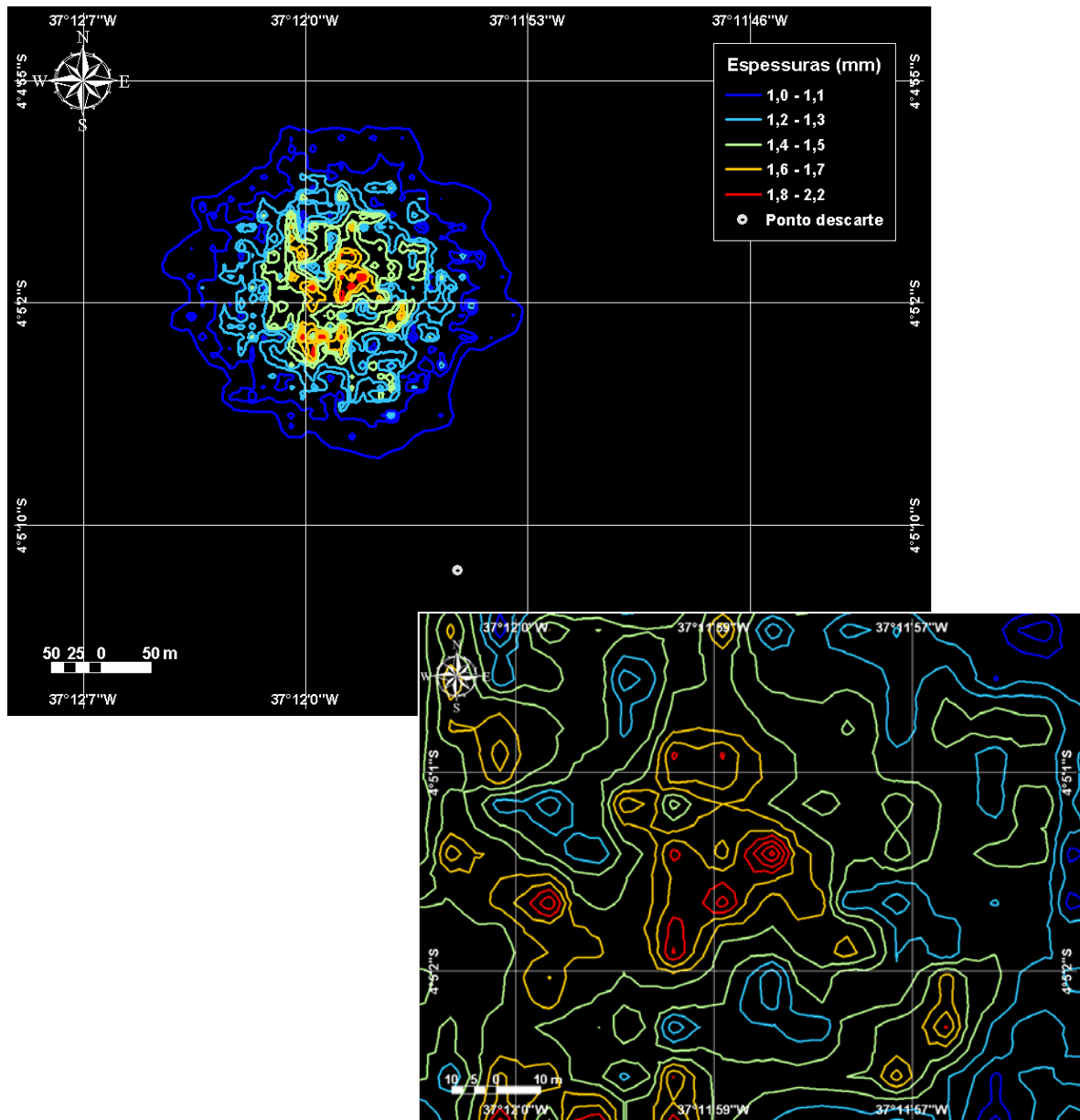


Figura IV.1.3-1 - Cenário BMPOT16_FIII_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), no período de verão.

A figura IV.1.3-2 apresenta os resultados da simulação para a Fase III (com riser) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de inverno. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 0,23 cm e a área de deposição está distribuída em cerca de 81.229 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 195 m a nordeste do ponto de descarte.

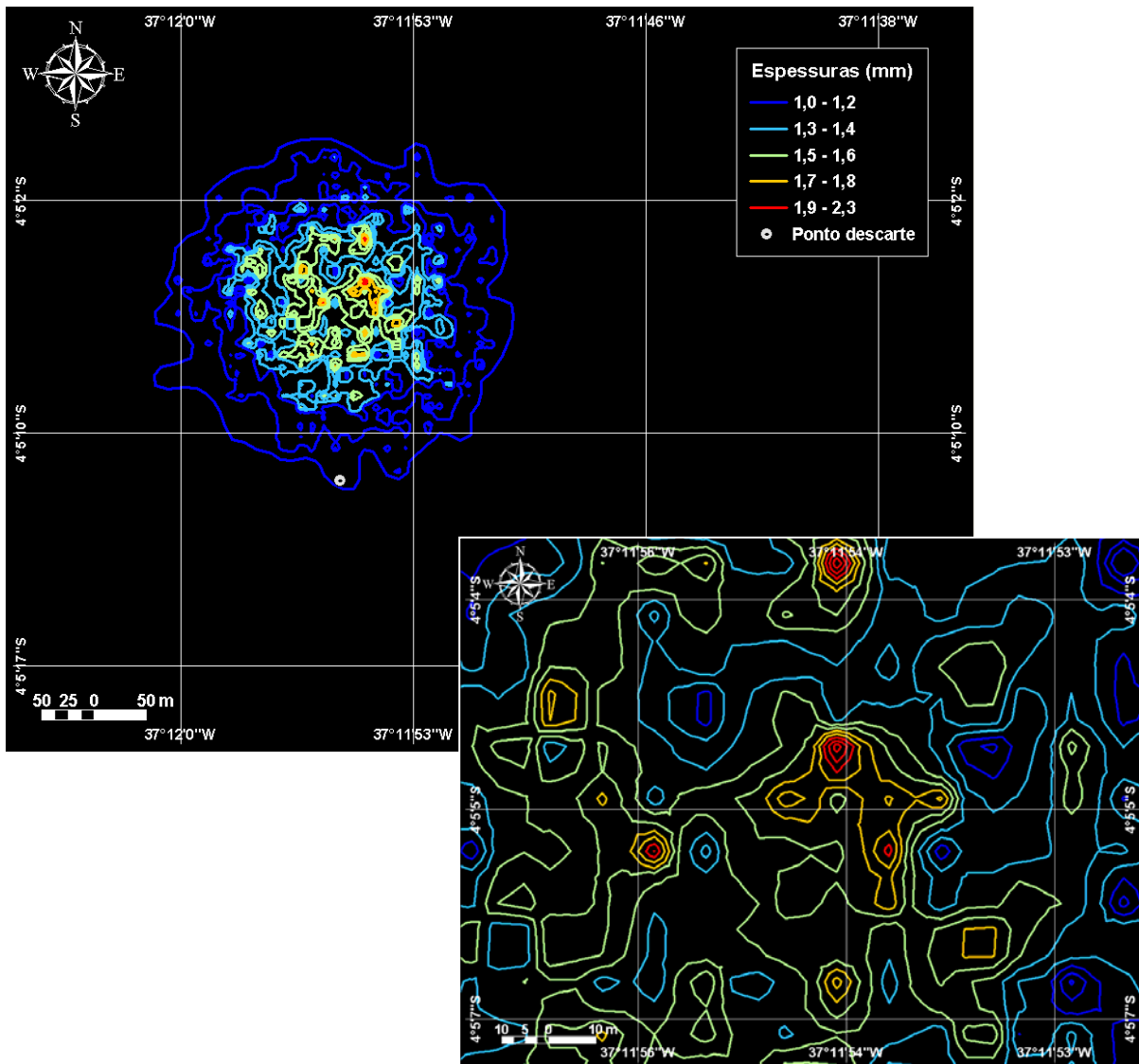


Figura IV.1.3-2 - Cenário BMPOT16_FIII_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase III (diâmetro de 17½", com riser), no período de inverno.

IV.1.4 Fase IV

A figura IV.1.4-1 apresenta os resultados da simulação para a Fase IV (com riser) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, 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 cerca de 15.073 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 376 m a norte-noroeste do ponto de descarte.

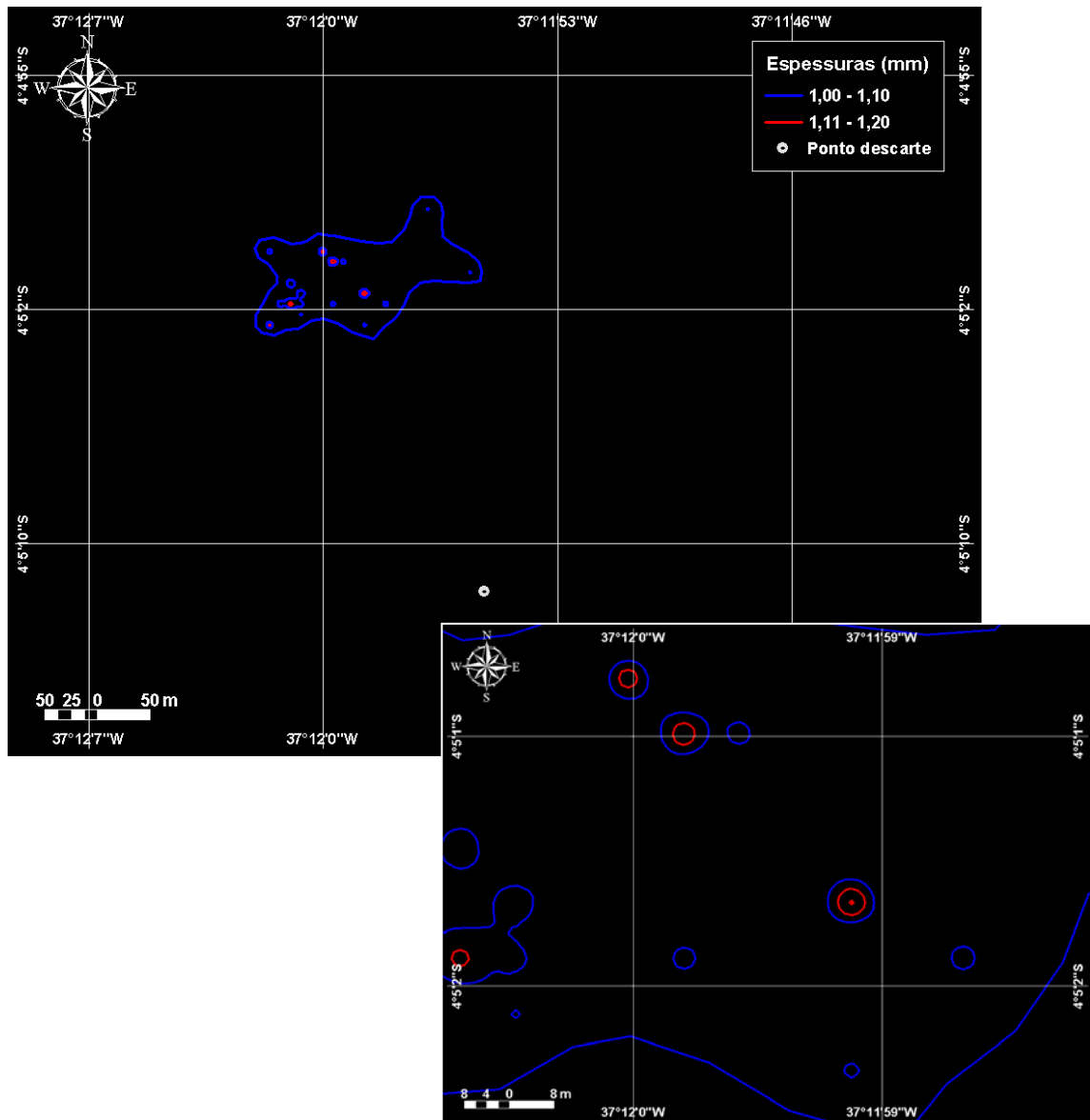


Figura IV.1.4-1 - Cenário BMPOT16_FIV_VER. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase IV (diâmetro de 12¼", com riser), no período de verão.

A figura IV.1.4-2 apresenta os resultados da simulação para a Fase IV (com riser) do descarte de partículas do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, em condição de inverno. Observa-se que a espessura máxima depositada foi de, aproximadamente, 0,14 cm e a área de deposição está distribuída em cerca de 15.098 m². As maiores espessuras concentram-se, em média, 184 m a nordeste do ponto de descarte.

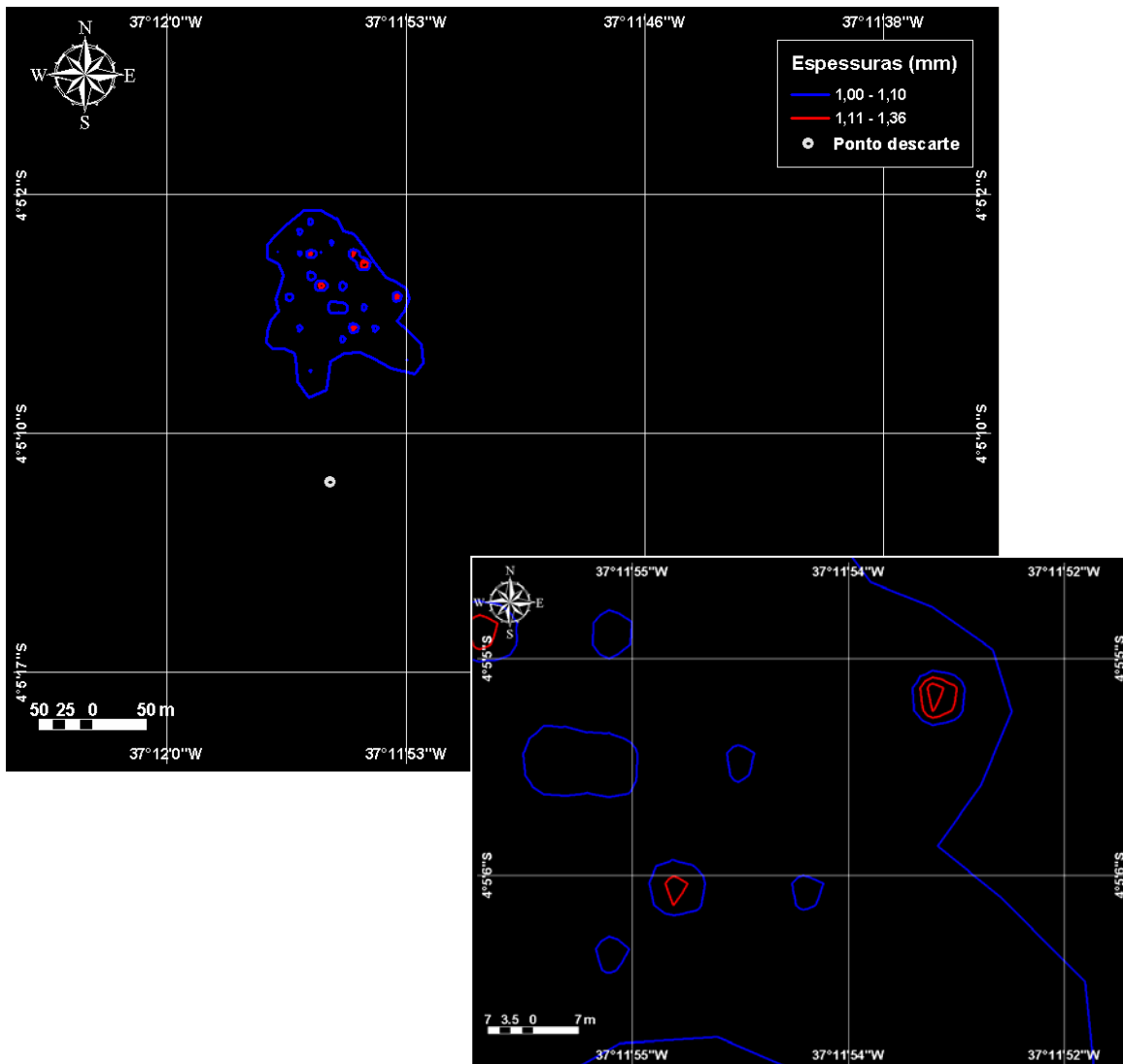


Figura IV.1.4-2 - Cenário BMPOT16_FIV_INV. Área de abrangência e contornos de espessuras médias calculadas para o descarte de partículas do Poço Ararazul, ao final da Fase IV (diâmetro de 12¼", com riser), no período de inverno.

IV.1.5 Fase V

As simulações da Fase V (com *riser*), do descarte de partículas do Poço Ararazul (Bloco BM-POT-16), em condições de verão e inverno, apresentaram espessuras inferiores a 1 mm, assim, não são apresentadas figuras ilustrativas para a deposição de partículas destes casos. No verão, as maiores espessuras calculadas foram de 0,27 mm e se concentraram, em média, 278 m a noroeste do ponto de descarte. No inverno, as maiores espessuras calculadas foram de 0,33 mm e se concentraram, em média, 145 m a norte do ponto de descarte.

IV.1.6 Descarte Total

A figura IV.1.6-1 apresenta a área de abrangência e espessuras previstas ao final de toda a operação de descarte de partículas no Poço Ararazul, localizado no Bloco BM-POT-16, 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 33,7 cm, e estão concentrados nas proximidades (~6,0 m ao sul) do ponto de descarte. A área total de abrangência do material descartado foi de, aproximadamente, 145.126 m², sendo que em 99% desta as espessuras são inferiores a 6,5 cm.

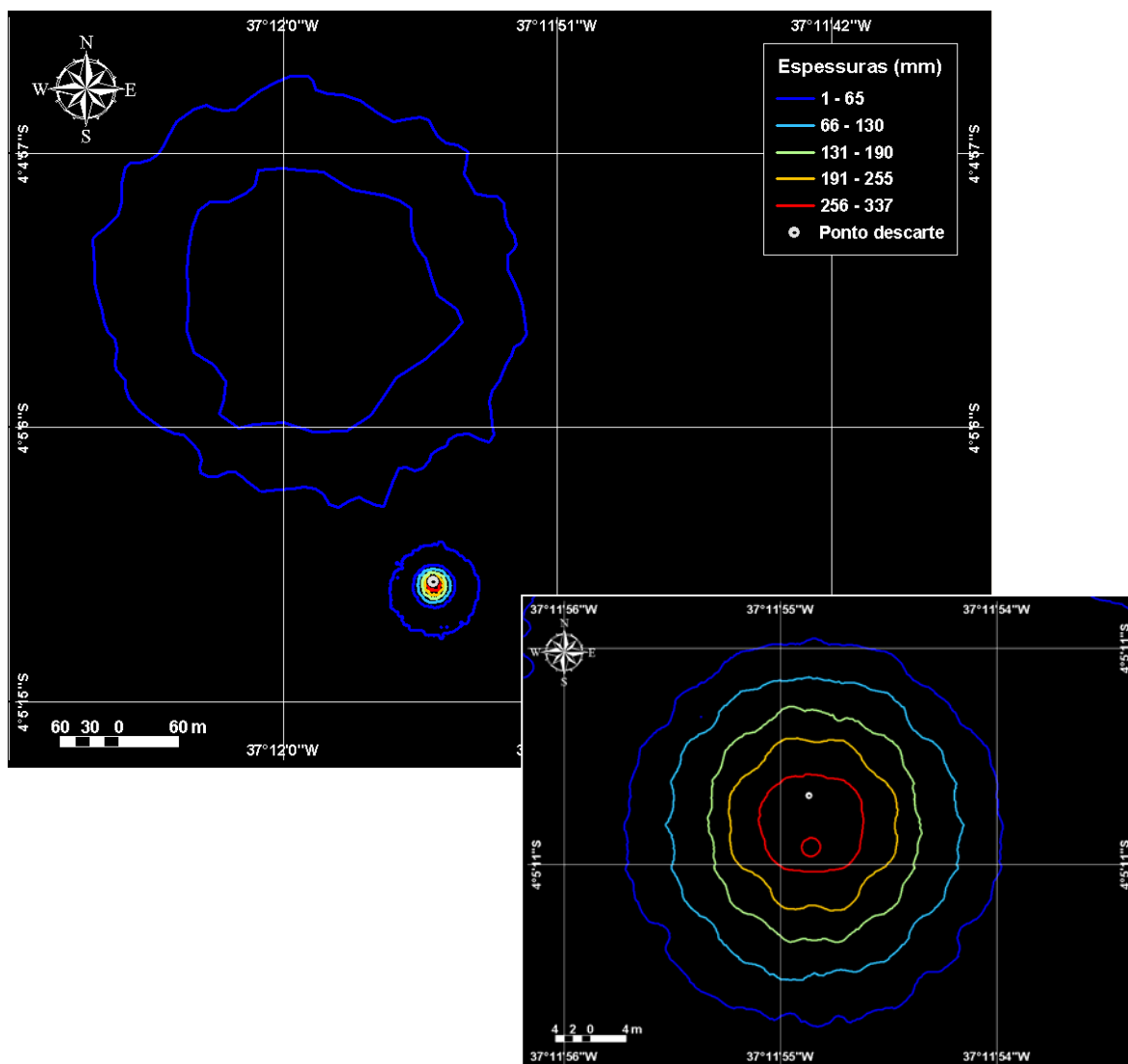


Figura IV.1.6-1 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, no período de verão.

A figura IV.1.6-2 apresenta a área de abrangência e espessuras previstas ao final de toda a operação de descarte de partículas no Poço Ararazul, localizado no Bloco BM-POT-16, 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 34,3 cm, e estão concentrados nas proximidades (~6,0 m ao sul) do ponto de descarte. A área total de abrangência do material descartado foi de, aproximadamente, 140.974 m², sendo que em 99% desta as espessuras são inferiores a 7,0 cm.

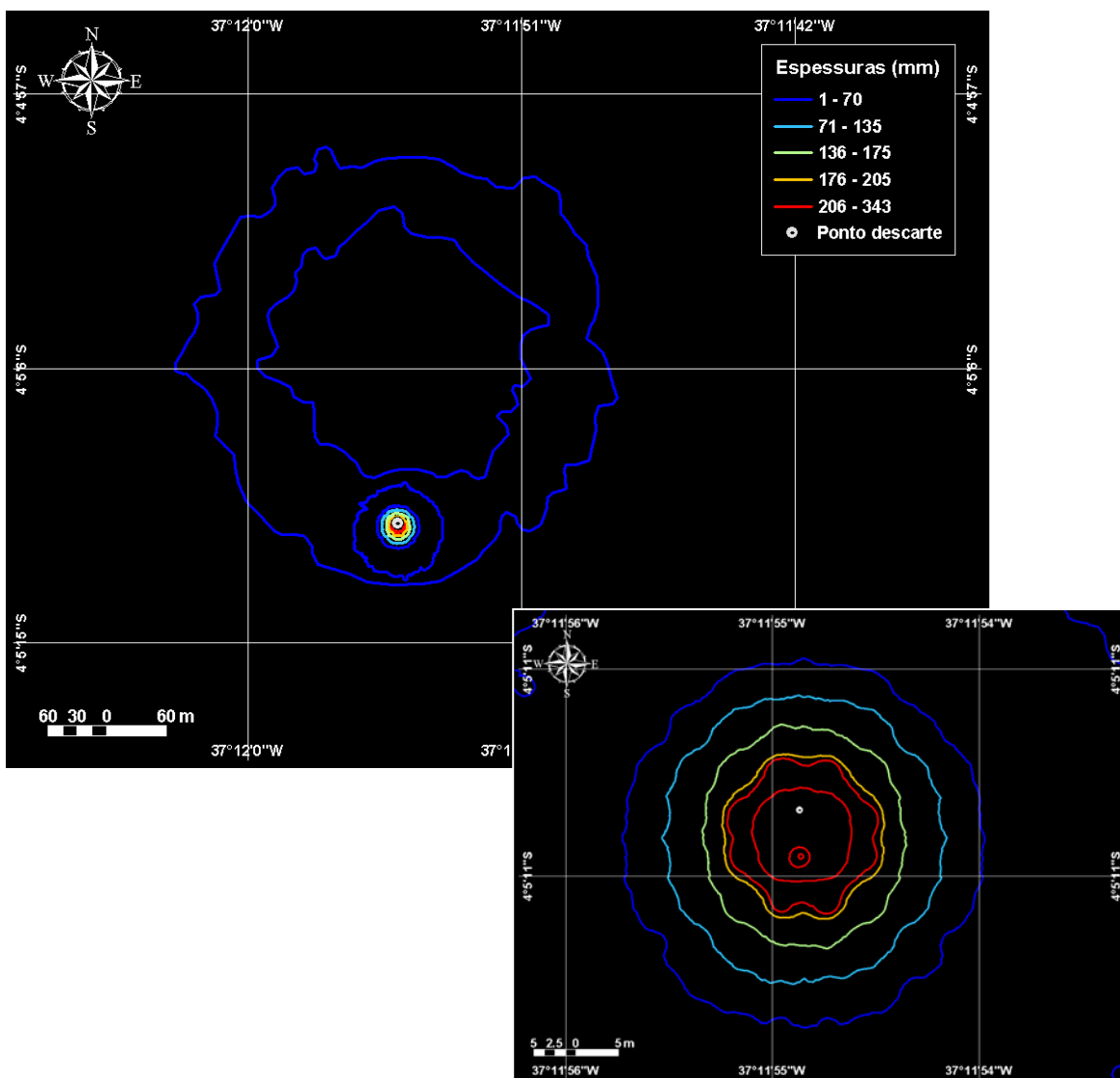


Figura IV.1.6-2 - Área de abrangência e espessuras médias calculadas para o descarte de partículas ao final das operações de descarte (todas as fases) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, no período de inverno.

IV.1.7 Área de Influência Total

As figuras IV.1.7-1 e IV.1.7-2 apresentam as áreas de influência totais de verão e inverno, respectivamente, para as espessuras previstas ao final de toda a operação de descarte de partículas no Poço Ararazul (Bloco BM-POT-16) e replicadas para os poços Cajá, Papagaio e Pitu no Bloco BM-POT-17, além dos vértices sudoeste dos dois blocos. Como apresentado acima, no verão a área de influência total no Poço Ararazul, considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, foi de 145.126 m²; enquanto no inverno, foi de 140.974 m².

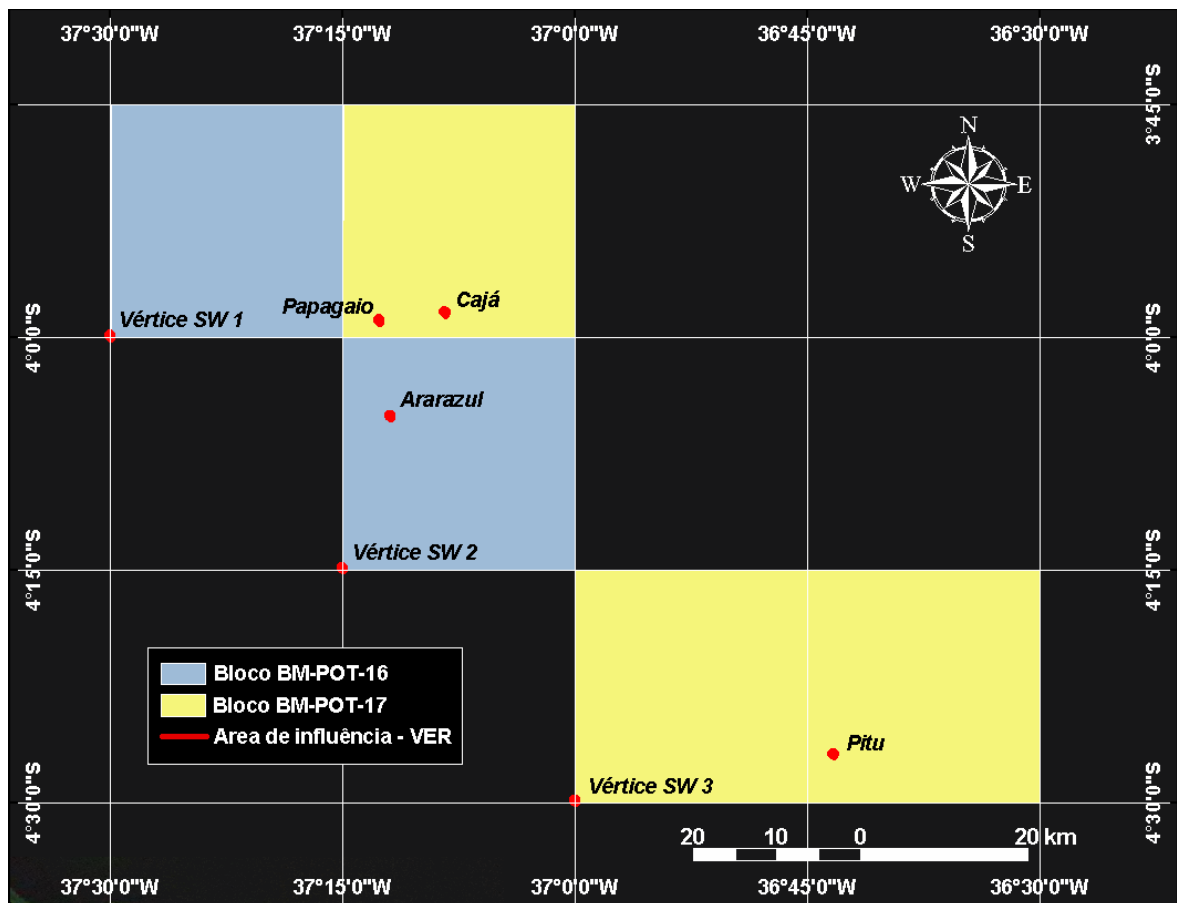


Figura IV.1.7-1 - Área de influência total, considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, ao final das operações de descarte nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 no período de verão.

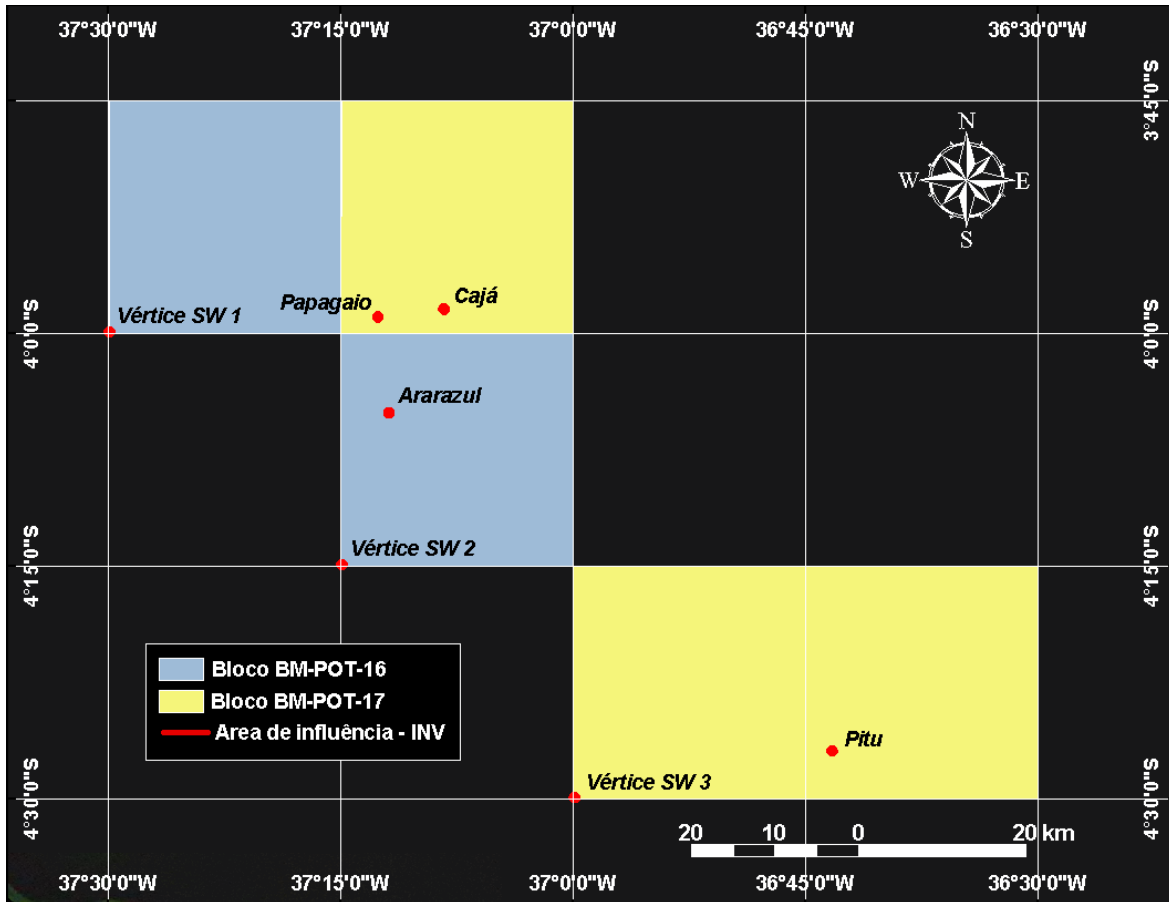


Figura IV.1.7-2 - Área de influência total, considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, ao final das operações de descarte nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 no período de inverno.

IV.2 CONCENTRAÇÕES NA COLUNA D'ÁGUA

Como descrito no Subitem III.3.3, na perfuração dos poços nos blocos BM-POT-16 e BM-POT-17 serão utilizados dois tipos de fluidos, sendo eles: fluidos convencionais e BR-MUL (sintético). A tabela IV.2-1 apresenta as concentrações dos resultados dos testes de toxicidade (laudos de toxicidade elaborados pelo laboratório LABTOX, fornecidos pela PETROBRAS) e as concentrações totais de sólidos presentes nestes fluidos (retiradas das fichas do fabricante). As concentrações máximas na coluna d'água esperadas logo após o descarte correspondem às concentrações totais de sólidos presentes nos fluidos de perfuração. As comparações dos resultados da modelagem com os testes de toxicidade contidas neste estudo fazem parte das recentes solicitações do IBAMA

para apresentação dos sólidos na coluna d'água. Na tabela IV.2-1, observa-se que, para o fluido convencional, as concentrações de sólidos são inferiores às concentrações dos testes de toxicidade.

Tabela IV.2-1 - Resultados dos testes de toxicidade e concentração de sólidos presentes nos fluidos de perfuração.

PARÂMETROS		FLUIDO	
		Convencional	BR-MUL
TOXICIDADE AGUDA	CL50 (ppm)	> 1.000.000,00	548.412,49
	Código do Laudo	L4494MJA	L1051MJA
	Data do Laudo	27/11/2008	10/07/2003
	Laboratório	LABTOX	LABTOX
TOXICIDADE CRÔNICA	CENO (ppm)	N.I.	3.906,00
	CEO (ppm)	> 1.000.000,00	7.813,00
	VC (ppm)	N.I.	5.524,30
	Código do Laudo	L4494LVC	L1051LVC
	Data do Laudo	03/11/2008	30/07/2003
	Laboratório	LABTOX	LABTOX
Concentração total de sólidos no fluido (ppm)		72.880,00	725.350,00

OBS 1: A concentração de sólidos no fluido de perfuração foi considerada em massa/volume. No caso dos resultados de toxicidade, como não foi possível identificar se a unidade ppm utilizada é massa/massa ou massa/volume, optou-se por considerar massa/volume para termos valores mais conservativos no caso dos sólidos nos fluidos;

OBS 2: Os resultados dos testes de toxicidade são referentes à fração particulada suspensa (FPS).

N.I. = não inferido.

Para representar a área de influência na coluna d'água referente aos descartes a partir do Poço Ararazul, foram selecionadas a Fase II (sem *riser*) e a Fase III (com *riser*), por serem os cenários mais críticos das fases sem e com *riser*, respectivamente, devido à maior vazão de descarte (volume/tempo) das mesmas, além de utilizarem os fluidos convencional e BR-MUL, os dois tipos de fluidos de perfuração considerados neste estudo.

A tabela IV.2-2 apresenta as características da diluição da pluma de sólidos na coluna d'água para os descartes do Poço Ararazul, localizado no Bloco BM-POT-16, para as fases de descarte selecionadas. A tabela fornece a

concentração de sólidos ao final dos estágios 1 e 2 (vide descrição no Subitem III.1.1) e as distâncias necessárias para alcançar as concentrações de 1 mg/L e 5 mg/L, além da CENO. Observa-se, na tabela IV.2-2, que as concentrações de sólidos diminuem rapidamente ao final dos estágios 1 e 2, correspondentes às diluições de até $8,2 \times 10^7$ vezes nas fases sem *riser* e de até $4,2 \times 10^6$ vezes nas fases com *riser*. As distâncias até a concentração de 1 mg/L variaram de 3,0 m a 4,0 m, enquanto que, para a concentração de 5 mg/L, as distâncias variaram de 2,7 m a 3,5 m.

Tabela IV.2-2 - Características da diluição da pluma na coluna d'água para o Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16.

CENÁRIO	TIPO DE FLUIDO	CONCENTRAÇÃO (mg/L) AO FINAL DOS ESTÁGIOS 1 E 2 DA PLUMA	DISTÂNCIA ATÉ A CENO (m)	DISTÂNCIA ATÉ 5 mg/L (m)	DISTÂNCIA ATÉ 1 mg/L (m)
BMPOT16_FII_VER_CONV	Conv	0,000884	N.A.	3,5	4,0
BMPOT16_FII_INV_CONV	Conv	0,000946	N.A.	3,5	4,0
BMPOT16_FIII_VER_BRMUL	BR-MUL	0,1767	<2,0	2,7	3,0
BMPOT16_FIII_INV_BRMUL	BR-MUL	0,1691	<2,0	2,7	3,0

N.A. = não aplicável.

A seguir, são apresentados os resultados, na forma gráfica, das concentrações de sólidos na coluna d'água para os descartes das fases selecionadas. Estes resultados são referentes apenas aos estágios 1 e 2 da pluma, dentro dos quais as concentrações de corte (1 e 5 mg/L) foram atingidas.

Os resultados de sólidos nos estágios 1 e 2 da pluma são apresentados considerando o último instante do descarte, na forma de duas figuras por fase: visão tridimensional da pluma de sólidos (com a concentração ao longo da coluna d'água) e a concentração de sólidos *versus* a distância horizontal percorrida pela pluma (com a delimitação das concentrações de 1 e 5 mg/L, além das concentrações dos testes de toxicidade).

IV.2.1 Fase II

As figuras IV.2.1-1 e IV.2.1-2 apresentam os resultados de concentração de sólidos na coluna d'água referente aos estágios 1 e 2 da pluma para o descarte de fluido convencional da Fase II (sem riser) no Poço Ararazul, no verão.

Observa-se que a concentração inicial dilui rapidamente, passando de 72.880,0 mg/L para 0,000884 mg/L em cerca de 6,7 m do ponto de descarte. A concentração de 5 mg/L é atingida em, aproximadamente, 3,5 m de distância do ponto de descarte; e a concentração de 1 mg/L, em torno de 4,0 m. A influência significativa da pluma de sólidos em suspensão ocorre apenas na camada de fundo (até 5 m acima do fundo do mar).

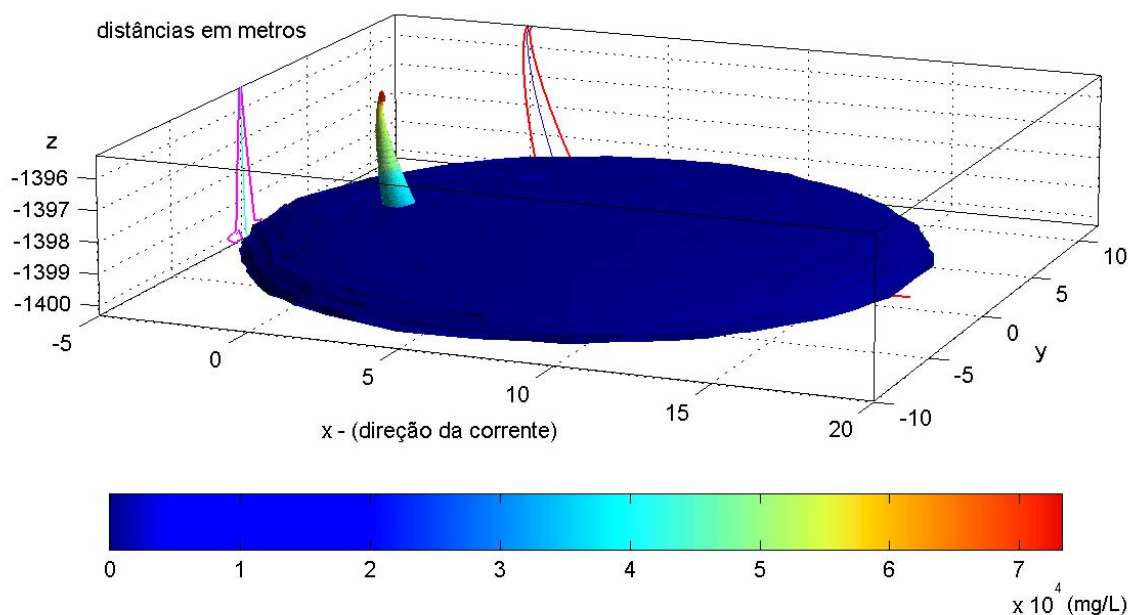


Figura IV.2.1-1 - Cenário BMPOT16_FII_VER_CONV. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão.

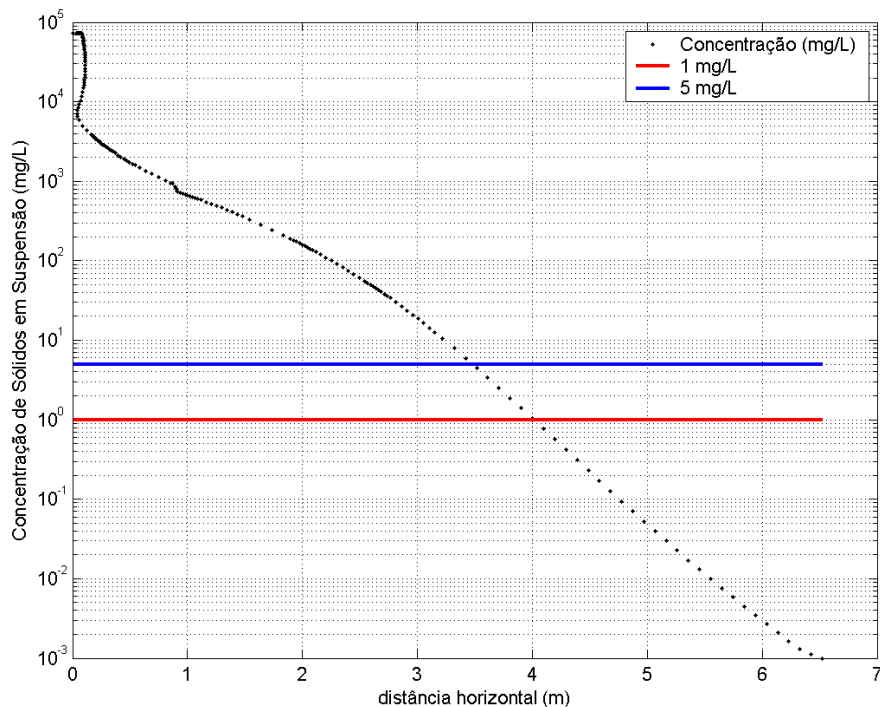


Figura IV.2.1-2 - Cenário BMPOT16_FII_VER_CONV. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão. Na figura são demarcadas as concentrações referentes a 1 e 5 mg/L.

As figuras IV.2.1-3 e IV.2.1-4 apresentam os resultados de concentração de sólidos na coluna d'água referente aos estágios 1 e 2 da pluma para o descarte de fluido convencional da Fase II (sem riser) no Poço Ararazul, no inverno.

Observa-se que a concentração inicial dilui rapidamente, passando de 72.880,0 mg/L para 0,000946 mg/L em cerca de 6,5 m do ponto de descarte. A concentração de 5 mg/L é atingida em, aproximadamente, 4,0 m de distância do ponto de descarte; e a concentração de 1 mg/L, em torno de 3,5 m. A influência significativa da pluma de sólidos em suspensão ocorre apenas na camada de fundo (até 5 m acima do fundo do mar).

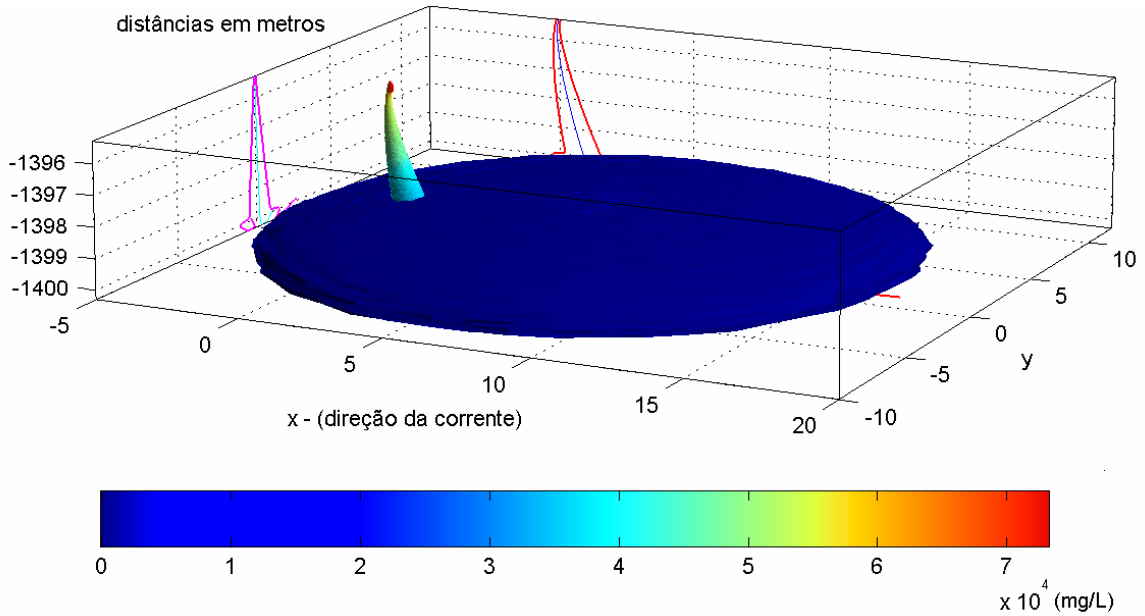


Figura IV.2.1-3 - Cenário BMPOT16_FII_INV_CONV. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno.

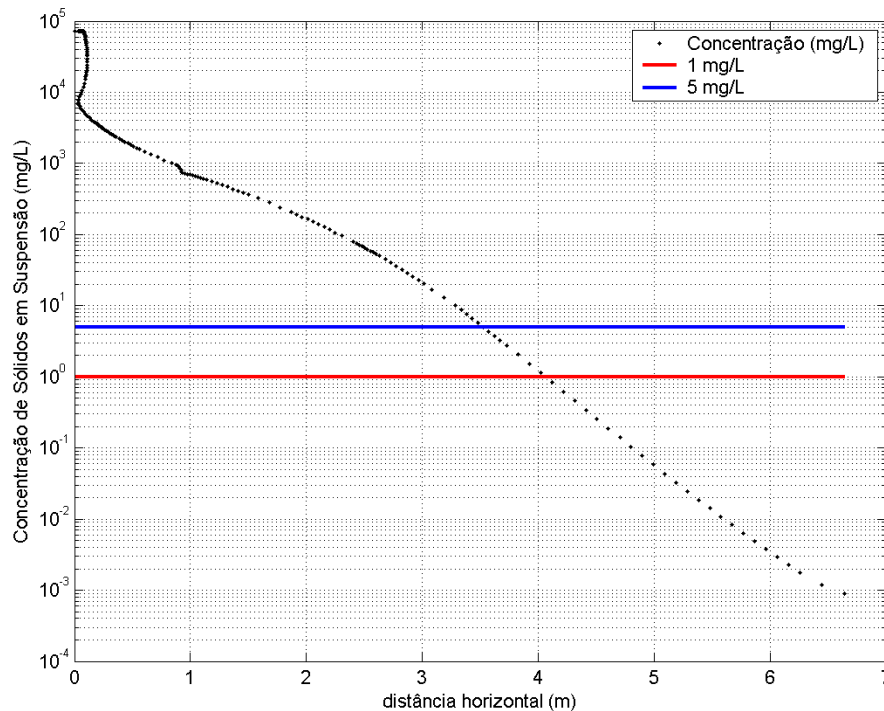


Figura IV.2.1-4 - Cenário BMPOT16_FII_INV_CONV. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido convencional da Fase II (sem riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno. Na figura são demarcadas as concentrações referentes a 1 e 5 mg/L.

IV.2.2 Fase III

As figuras IV.2.2-1 e IV.2.2-2 apresentam os resultados de concentração de sólidos na coluna d'água referente aos estágios 1 e 2 da pluma para o descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com *riser*) no Poço Ararazul, no verão.

Observa-se que a concentração inicial dilui rapidamente, passando de 725.350,0 mg/L para 0,1767 mg/L em cerca de 10 m do ponto de descarte. A influência do descarte de sólidos, acima dos valores de toxicidade mais restritivos (CENO), não ultrapassa a distância de 2,0 m do ponto de descarte. A concentração de 5 mg/L é atingida em, aproximadamente, 2,7 m de distância; e a concentração de 1 mg/L, em torno de 3,0 m. A profundidade máxima onde existe influência significativa da pluma de sólidos em suspensão (*i.e.*, concentrações superiores a 1 mg/L) é de, aproximadamente, 2,0 m.

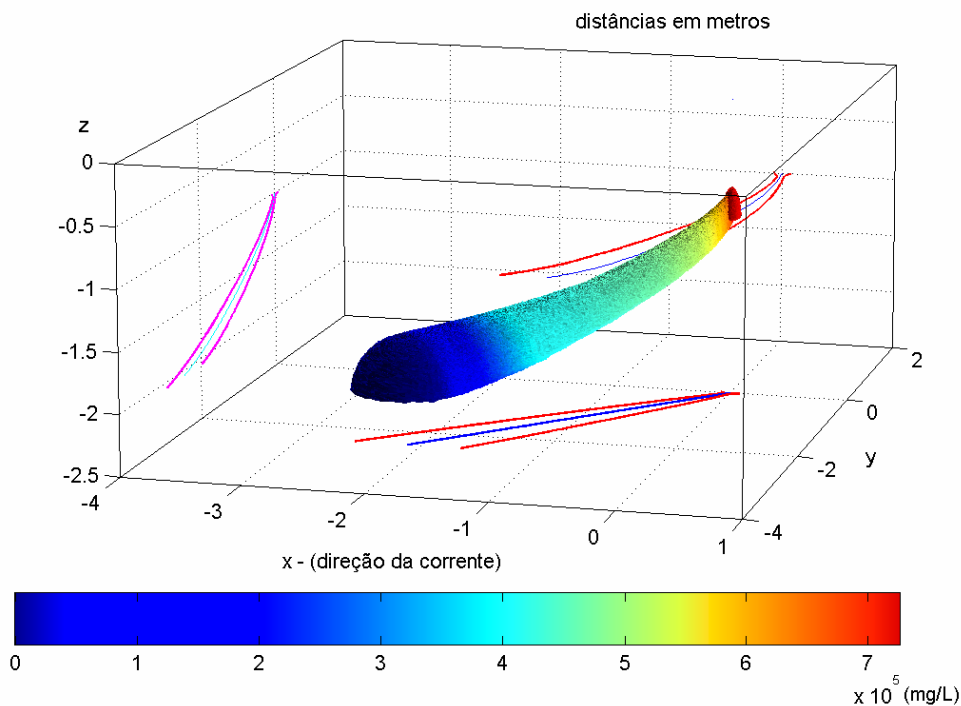


Figura IV.2.2-1 - Cenário BMPOT16_FIII_VER_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com *riser*) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão.

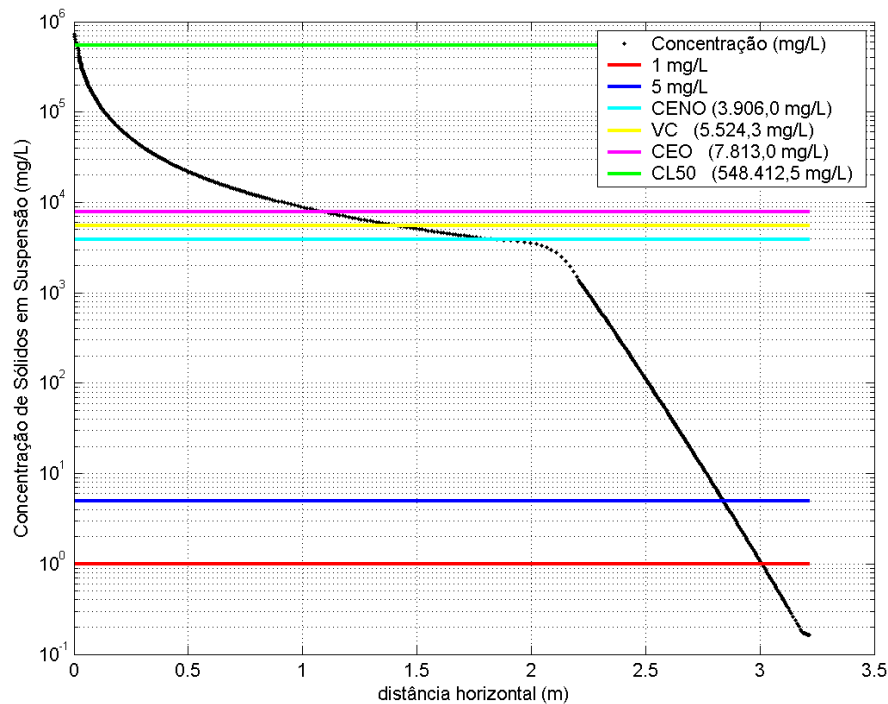


Figura IV.2.2-2 - Cenário BMPOT16_FIII_VER_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o verão. Na figura são demarcadas as concentrações de 1 e 5 mg/L, além das concentrações referentes aos testes de toxicidade.

As figuras IV.2.2-3 e IV.2.2-4 apresentam os resultados de concentração de sólidos na coluna d'água referente aos estágios 1 e 2 da pluma para o descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com riser), no inverno. Observa-se que a concentração inicial dilui rapidamente, passando de 725.350,0 mg/L para 0,1691 mg/L em cerca de 3,5 m do ponto de descarte. A influência do descarte de sólidos, acima dos valores de toxicidade mais restritivos (CENO), não ultrapassa a distância de 2,0 m do ponto de descarte. A concentração de 5 mg/L é atingida em, aproximadamente, 2,7 m de distância; e a concentração de 1 mg/L, em torno de 3,0 m. A profundidade máxima onde existe influência significativa da pluma de sólidos em suspensão (*i.e.*, concentrações superiores a 1 mg/L) é de, aproximadamente, 2,0 m.

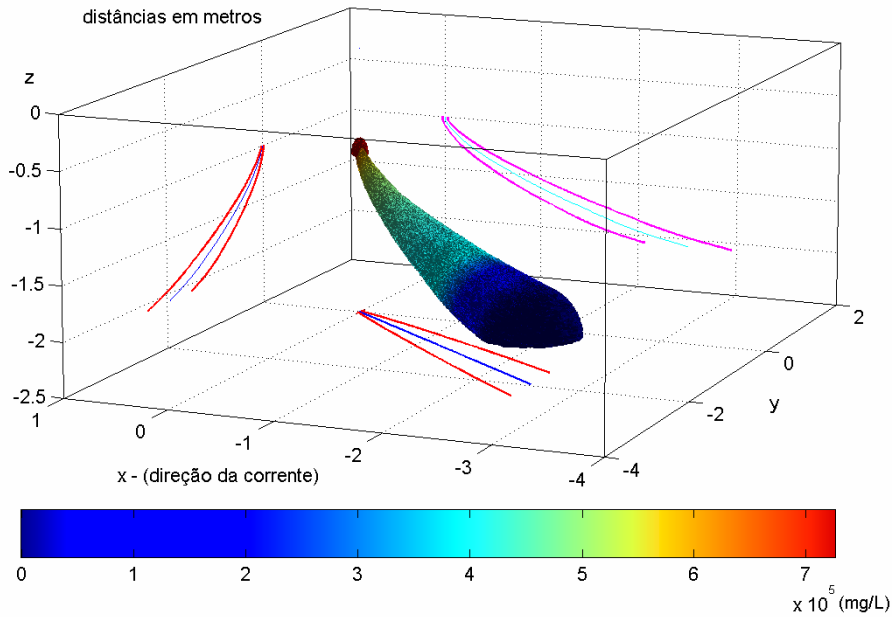


Figura IV.2.2-3 - Cenário BMPOT16_FIII_INV_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão nos estágios 1 e 2 da pluma: instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno.

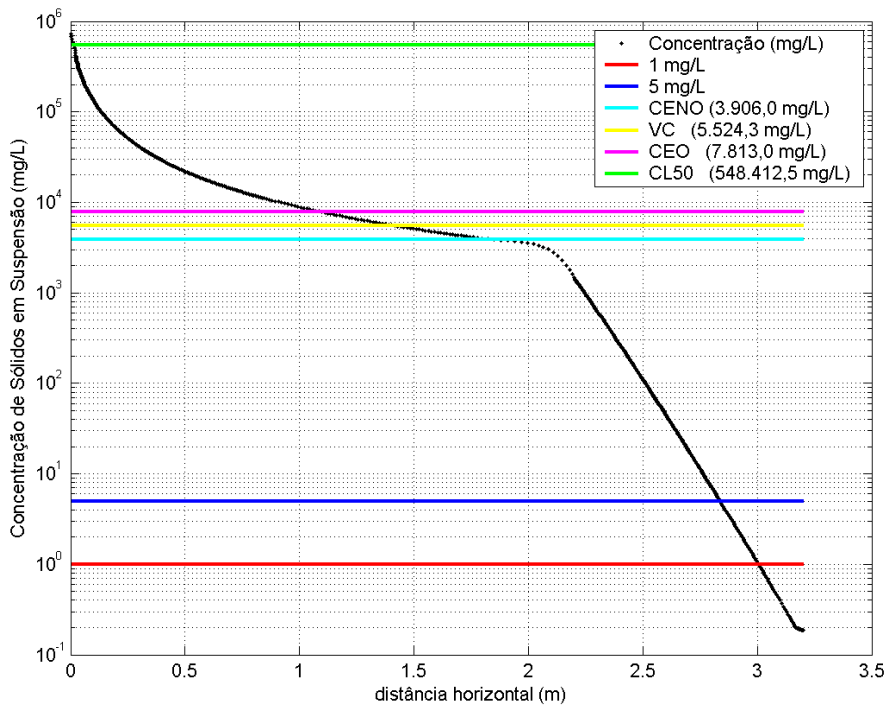


Figura IV.2.2-4 - Cenário BMPOT16_FIII_INV_BRMUL. Concentração de sólidos em suspensão em relação à distância horizontal nos estágios 1 e 2 da pluma referente ao instante final do descarte de fluido BR-MUL da Fase III (com riser) do Poço Ararazul, Bloco BM-POT-16, durante o inverno. Na figura são demarcadas as concentrações de 1 e 5 mg/L, além das concentrações referentes aos testes de toxicidade.

V CONSIDERAÇÕES FINAIS

O MUDMAP foi utilizado para simular a deposição de cascalhos e fluidos provenientes do descarte das operações de perfuração na Bacia Potiguar, referente ao Poço Ararazul localizado no Bloco BM-POT-16, cujos resultados foram replicados para os poços Cajá, Papagaio e Pitu no Bloco BM-POT-17 e para os vértices sudoeste de ambos os blocos.

Nas simulações foram utilizadas as velocidades de queda sugeridas por Brandsma & Smith (1999) para cascalhos perfurados com fluidos de base aquosa. Para cascalhos perfurados com fluido de base sintética, foram utilizadas velocidades de queda sugeridas em MAPEM (2004). Para os sólidos dos fluidos foram utilizadas granulometria dos principais constituintes sólidos dos fluidos de perfuração de base aquosa e sintética, e suas velocidades de queda foram calculadas segundo a formulação de Watson (1969).

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 27,0 cm (Fase II). Já os resultados obtidos para as fases com *riser* mostraram espessuras de partículas no fundo inferiores, com no máximo 0,23 cm (Fase III no período de inverno). 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).

A tabela V-1 resume os resultados finais, considerando o processo ao final de toda a operação, para o poço estudado.

Os resultados das simulações, considerando as fases de deposição sem *riser* (Fases I e II), mostraram que as partículas apresentaram uma tendência de maior deposição nas proximidades do ponto de descarte (cerca de 3-6 m na direção sul/sudeste) tanto no verão como no inverno. As espessuras depositadas são maiores na Fase II, devido ao maior volume de cascalhos descartados. Em ambos os períodos simulados, as espessuras e áreas de influência possuem mesma ordem de grandeza, uma vez que as correntes de fundo não apresentam diferenças significativas de velocidade (ver figuras III.2.1-1 e III.2.1-2).

Os resultados das simulações, considerando as fases de deposição com *riser* (Fases III a V), mostraram uma tendência de maior deposição a norte-noroeste (verão) e a norte-nordeste (inverno) do ponto de descarte. No verão, a direção preferencial de acúmulo das partículas foi influenciada pelas correntes predominantes nas camadas superficiais (figura II.2.1-1); já no inverno, pelas correntes predominantes nas camadas superficiais e intermediárias (figura II.2.1-2). As espessuras depositadas são maiores na Fase III, em função do maior volume de cascalhos descartados na mesma. Adicionalmente, nas fases com *riser*, mesmo com menor intensidade das correntes (nas camas superficiais e intermediárias), o inverno apresentou áreas de influência (por fase de descarte) relativamente maiores. No período de verão, as correntes apresentaram maior intensidade, o que propiciou um maior espalhamento das partículas e menores espessuras depositadas e, conseqüentemente, menores áreas de deposição acima do corte de 1 mm adotado.

Tabela V-1 - Resumo dos resultados das simulações de todas as fases de perfuração do poço simulado.

POÇO	CONDIÇÃO SAZONAL	FASES	ESPESSURA MÁXIMA (cm)	DISTÂNCIA (m) A PARTIR DO PONTO DE DESCARTE E DIREÇÃO PREFERENCIAL DE ACÚMULO DA ESPESSURA MÁXIMA
Ararazul (BM-POT-16)	VERÃO	sem <i>riser</i>	6,9 (Fase I)	3,0 (SE)
		sem <i>riser</i>	27,0 (Fase II)	6,0 (S)
		com <i>riser</i>	0,22 (Fase III)	309,0 (NW)
		com <i>riser</i>	0,12 (Fase IV)	376,0 (NNW)
		com <i>riser</i>	0,027 (Fase V)	278,0 (NW)
	INVERNO	sem <i>riser</i>	7,0 (Fase I)	3,0 (SE)
		sem <i>riser</i>	27,0 (Fase II)	6,0 (S)
		com <i>riser</i>	0,23 (Fase III)	195,0 (NE)
		com <i>riser</i>	0,13 (Fase IV)	184,0 (NE)
		com <i>riser</i>	0,033 (Fase V)	145,0 (N)

De maneira geral, as maiores espessuras foram observadas nas proximidades do ponto de descarte nas fases sem *riser* (nas direções sul/sudeste) e nas direções norte-noroeste (verão) e norte-nordeste (inverno) nas fases com *riser*.

Para o Poço Ararazul modelado, as maiores espessuras calculadas foram de 33,7 cm no verão e 34,3 no inverno. Considerando espessuras iguais ou superiores a 1 mm, a área de influência total do material descartado foi de, aproximadamente, 145.126 m² no verão e 140.974 m² no inverno, sendo que 99% das mesmas apresentou depósitos com espessuras inferiores a 6,5 cm.

Para representar as concentrações de sólidos na coluna d'água referentes aos fluidos de perfuração, foram selecionadas duas fases de perfuração: Fase II (sem *riser*) e Fase III (com *riser*). Estas fases foram selecionadas para representar o cenário mais crítico das fases sem e com *riser*, devido à maior vazão de descarte (volume/tempo) das mesmas, além de utilizarem fluidos convencional e BR-MUL, os dois tipos de fluidos de perfuração considerados neste estudo.

A partir dos resultados apresentados para os estágios 1 e 2 da pluma, observa-se que para o fluido BR-MUL, em uma distância inferior a 2,0 m do ponto de descarte, as concentrações de sólidos já alcançaram os valores do teste de toxicidade mais restritivo (CENO). Para o fluido convencional, as concentrações de sólidos são inferiores às concentrações dos testes de toxicidade. Os resultados das simulações mostram também que, em uma distância de cerca de 4,0 m do ponto de descarte, a pluma de sólidos em suspensão alcança concentrações da ordem de 1 mg/L. As altas concentrações localizam-se muito próximas do ponto de descarte e sua permanência na coluna d'água está limitada ao período do próprio descarte.

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), 2006. Modelagem Numérica da Hidrodinâmica do Pólo de Guamaré. Relatório Técnico (maio de 2006). 70pp.

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.

BRANDSMA, M.G. & J.P. SMITH, 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model – Report and User Guide. Exxon Production Research Company, December 1999.

CHASSIGNET, E.P., H.E. HURLBURT, O.M. SMEDSTAD, G.R. HALLIWELL, P.J. HOGAN, A.J. WALLCRAFT, AND R. BLECK, 2006: Ocean prediction with the Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM). In: Ocean Weather Forecasting: An Integrated View of Oceanography, Chassignet, E.P., and J. Verron (Eds.), Springer, 413-426.

DENGLER, M., F. A. SCHOTT, C. EDEN, P. BRANDT, J. FISCHER & J. ZANTOPP, 2004. Break-up of the Atlantic Deep Western Boundary Current into Eddies at 80 S. *Nature*, Vol. 432, 23/30, p. 1018 -1020.

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.

MAPEM, 2004. Monitoramento ambiental em atividades de perfuração exploratória marítima: águas profundas / Editores Elírio Ernestino Toldo Jr; Ricardo Norberto Ayup-Zouain Porto Alegre : Elírio E. Toldo Jr./ Ricardo N. Ayup-Zouain. CR-Rom.

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.

MIRANDA, L.B. 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião. **Tese de Livre-Docente**, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 194 p.

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.

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	Camila Cantagallo Devids
Empresa	ASA Consultoria Ltda
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	2393696
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	IV a VI
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	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	980855
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
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)	TODOS
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	_____



CADASTRO TÉCNICO FEDERAL
EQUIPE ASA SOUTH AMERICA

 <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p>  <p>CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE</p>			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
325047	216.695.528-29	06/11/2009	06/02/2010
<p>Nome/Razão Social/Endereço</p> <p>Ana Carolina da Rocha Lammardo R. Fidalga, 711 Vila Madalena SAO PAULO/SP 05432-070</p>			
<p>Este certificado comprova a regularidade no</p> <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Controle da Poluição Gestão Ambiental</p>			
<p>Observações:</p> <p>1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente:</p> <p>2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema.</p> <p>3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente.</p> <p>4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.</p>		<p>A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie.</p> <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">fja1.aufe.cxi.wq87</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
2393696	287.483.888-82	19/11/2009	19/02/2010
Nome/Razão Social/Endereço Camila Cantagallo Devids Rua Dr. Antonio de Padua Sales, 176 Jardim Aurelia CAMPINAS/SP 13033-590			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Controle da Poluição Ecosistemas Terrestres e Aquaticos Gestão Ambiental</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">ml5x.hqtq.2teh.frk2</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
94066	094.409.448-11	06/11/2009	06/02/2010
Nome/Razão Social/Endereço EDUARDO AYRES YASSUDA Rua Fidalga, 711 Vila Madalena SAO PAULO/SP 05432-070			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0 Gestão Ambiental Recursos Hídricos Qualidade da Água			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente: 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">4liu.r33l.qwpm.jdlu</p>	



[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
980855	215.493.268-13	09/11/2009	09/02/2010
Nome/Razão Social/Endereço Erika Naomi de Souza Tominaga RUA FIDALGA, 711 VILA MADALENA SAO PAULO/SP 05432-070			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> <p>Gestão Ambiental</p>			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">cqx6.gt12.fxhn.ayct</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</p> </div>  </div>			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
1031373	188.764.658-20	14/01/2010	14/04/2010
Nome/Razão Social/Endereço Gabriel Clauzet Rua Girassol, 584 - apto.402B Vila Madalena SAO PAULO/SP 05433-001			
Este certificado comprova a regularidade no <div style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</div> Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0 Auditoria Ambiental Ecossistemas Terrestres e Aquaticos Educação Ambiental Gestão Ambiental Recursos Hídricos			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <div style="text-align: center;"> Autenticação prlj.5g38.ykuu.bgx5 </div>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

 Ministério do Meio Ambiente Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis 			
CADASTRO TÉCNICO FEDERAL CERTIFICADO DE REGULARIDADE			
Nr. de Cadastro:	CPF/CNPJ:	Emitido em:	Válido até:
434231	118.305.938-89	11/11/2009	11/02/2010
Nome/Razão Social/Endereço Maria Regina Fonseca Guimarães Rua Fidalga, 711 Vila Madalena SAO PAULO/SP 05432-070			
Este certificado comprova a regularidade no <p style="text-align: center;">Cadastro de Instrumentos de Defesa Ambiental</p> <p>Consultor Técnico Ambiental - Classe 5.0</p> Controle da Poluição Ecossistemas Terrestres e Aquaticos Educação Ambiental Qualidade da Água Recursos Hídricos			
Observações: 1 - Este certificado não habilita o interessado ao exercício da(s) atividade(s) descrita(s), sendo necessário, conforme o caso de obtenção de licença, permissão ou autorização específica após análise técnica do IBAMA, do programa ou projeto correspondente. 2 - No caso de encerramento de qualquer atividade especificada neste certificado, o interessado deverá comunicar ao IBAMA, obrigatoriamente, no prazo de 30 (trinta) dias, a ocorrência para atualização do sistema. 3 - Este certificado não substitui a necessária licença ambiental emitida pelo órgão competente. 4 - Este certificado não habilita o transporte de produtos ou subprodutos florestais e faunísticos.		A inclusão de Pessoas Físicas e Jurídicas no Cadastro Técnico Federal não implicará por parte do IBAMA e perante terceiros, em certificação de qualidade, nem juízo de valor de qualquer espécie. <p style="text-align: center;">Autenticação</p> <p style="text-align: center;">d1j2.ff4p.n34b.m3pu</p>	

[Imprimir tela](#) [Fechar janela](#)

