

**> MODELAGEM DA DISPERSÃO DO
MATERIAL PARTICULADO E FLUIDO
DE PERFURAÇÃO.
BLOCO BM-S-9**



RELATÓRIO

PARA: HABTEC ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL LTDA.

Março, 2004

REL008-PA-02

> ÍNDICE

I_ INTRODUÇÃO.....	3
II_ DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	3
III_ METODOLOGIA	4
III_1. MODELO UTILIZADO.....	4
III_2. POSIÇÃO DO CENTRO DE MASSA.....	5
III_3. DISTRIBUIÇÃO DE CONCENTRAÇÃO.....	6
IV_ CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA DA REGIÃO	8
IV.1_ CIRCULAÇÃO DA BAOCIA SUDOESTE DO ATLÂNTICO	8
IV.2_ A CIRCULAÇÃO NA BACIA DE SANTOS	10
IV.2_ A CIRCULAÇÃO NA BACIA DE SANTOS	10
IV.3_ DADOS DE CORRENTE UTILIZADOS NA MODELAGEM.....	13
IV.4_ TRATAMENTO DOS DADOS	16
V_ RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
V_1. FASE II.....	19
V_1. FASE III.....	21
V_1. FASE IV	24
V_1. FASE V	26
VI_ CONCLUSÃO	29
VII_ BIBLIOGRAFIA	30



I_ INTRODUÇÃO

O relatório a seguir apresenta os resultados obtidos na modelagem numérica da dispersão do material particulado e dos fluidos a serem despejados no mar pela atividade de perfuração no bloco BM-S-9. Para contextualizar a questão, descrições da atividade de perfuração, da oceanografia da região e da metodologia utilizada são também apresentadas.

II_ DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE

Na região do bloco BM-S-8, na Bacia de Santos, será realizada pela PETROBRAS, a perfuração de um poço exploratório situado na latitude 25° 32' 59,67" S e na longitude 43° 30' 45" W, em um lâmina d'água de 2206 metros.

A perfuração ocorrerá em cinco fases, atingindo a profundidade final de 6100 metros abaixo da superfície do mar ou 3894 metros abaixo do fundo local, sendo que para fins de modelagem serão consideradas apenas as fases 2, 3, 4 e 5.

A FASE II ocorrerá entre as profundidades de 2206 (solo oceânico) e 2700 metros, com broca de 26" e duração de aproximadamente 36 horas. Nessa fase não há utilização de *riser* e por conseqüência, todo o material gerado pela perfuração é retornado ao largo do poço.

Nas fases seguintes (III, IV e V) o fluido de perfuração e o material particulado são retornados para a plataforma pelo *riser*, onde um sistema de controle de sólidos separa o particulado do fluido. A maior parte do fluido é re-injetada no poço e outra é descartada juntamente com o cascalho, na forma de fluido aderido.

Na FASE III será utilizada uma broca de 22", entre as profundidades de 2700 a 3260 metros, tendo aproximadamente 180 horas de perfuração. A duração da FASE IV será de 380 horas e será utilizada uma broca de 10^{3/4}" para perfurar entre as profundidades de 3260 a 5650 metros. Na FASE V (broca de 7") a perfuração ocorre entre as profundidades de 5650 a 6100 metros de profundidade, num total de 125 horas de perfuração.

Os volumes dos fluidos de perfuração e do material particulado descartados ao longo da perfuração pode ser encontrado na Tabela 1.



Tabela 1: Síntese das etapas da perfuração a serem modeladas.

FASE	Tipo de Fluido	Densidade do Fluido (g/cm ³)	Densidade do Cascalho (g/cm ³)	Volume de Cascalho (m ³)	Volume de Fluido (m ³)	Tempo de Perfuração (horas)
II	Convencional	1,04	2,2 a 2,4	169	302	36
III	Salgado (KCl) com Polímero	1,44	2,3 a 2,5	137	170	180
IV	Sintético (BR MUL)	1,32	2,3 a 2,6	143	178	380
V	Salgado (KCl) com Polímero	1,44	2,3 a 2,6	16	151	125

O fluido convencional, utilizado na FASE II é um fluido a base de água industrial, bentonita, bicarbonato de sódio e soda cáustica. Nas fases 3 e 5 é utilizado um fluido a base de água industrial, biopolímeros, polímeros catiônicos e cloretos, enquanto que na fase 4 é utilizado o fluido BR MUL, a base de parafina, solução saturada de NaCl, cal hidratada, ácidos graxos, argila organofílica e ácidos graxos polimerizados.

III_ METODOLOGIA

Para simular o transporte de constituintes no oceano a PROOCEANO desenvolveu o STROLL (Sistema de Transporte Lagrangeano). O STROLL é formado por módulos e possibilita o estudo do comportamento de diversos poluentes e/ou contaminantes na coluna d'água.

III_1. Modelo utilizado

O STROLL é capaz de simular a trajetória e concentração em três dimensões e ao longo do tempo, e, no caso de material particulado, a deposição no fundo do mar.

Além de dados pontuais, como condição inicial e de contorno, o STROLL permite a utilização de forçantes que variem em até 4 dimensões (latitude, longitude, profundidade e tempo).

O módulo responsável pelo transporte do material particulado e fluidos de perfuração é baseado na teoria de *puff-gaussianos*. Modelos assim concebidos são bastante utilizados



atualmente por sua capacidade de simular a emissão e dispersão em condições não homogêneas e por adaptarem-se bem a condições de fraca advecção (Zanetti, 1990), como certas condições encontradas no oceano.

Nesta abordagem a emissão contínua de um determinado material é tratada como uma série de emissões instantâneas, sendo a concentração final, a soma da contribuição de cada elemento (*puff*) gerado.

Considerando uma fonte com taxa de emissão $Q \text{ m}^3/\text{s}$, a cada intervalo de tempo $\Delta t \text{ s}$, um novo elemento de volume $Q\Delta t \text{ m}^3$ é introduzido no ambiente. A contribuição deste elemento será dada de acordo com a posição do seu centro de massa $p(x, y, z, t)$ e do desvio padrão da distribuição gaussiana $\sigma(t)$.

III_2. Posição do centro de massa

A cada passo de tempo, o centro de massa da nuvem é advectado horizontalmente de acordo com as correntes submarinas $u(x, y, z)$ e $v(x, y, z)$ e verticalmente segundo a velocidade de queda. A componente vertical das correntes é desprezada uma vez que sua ordem de grandeza é bastante inferior à velocidade de queda (cerca de 1000 vezes menor).

As componentes horizontais u e v podem ser obtidas tanto por medições diretas quanto por dados modelados. A velocidade vertical w é função do raio da partícula e da diferença de densidade entre o constituinte e a água do mar e é descrita pela equação abaixo (Watson, 1969), a mesma utilizada pelo modelo OOC (Brandsma, 1999):

$$w(z) = \frac{\sqrt{9z^2\mu^2 + \frac{4}{3}WR^3(\rho_{partícula} - \rho(z)_{água})g} - 3z\mu}{WR\rho_{água}}$$

eq. 1: Cálculo da velocidade de queda das partículas

Com isso, o deslocamento do centro de massa a cada tempo é dado por:

$$p(x, y, z, t) = p(x, y, z, t - 1) + [u(x, y, z, t)\Delta t + v(x, y, z, t)\Delta t + w(z)\Delta t]$$

eq. 2: Deslocamento do centro de massa do *puff* a cada intervalo de tempo.



III_3. Distribuição de concentração

O oceano pode ser considerado horizontalmente isotrópico em relação à difusão, com isso, o campo de concentração de um material em difusão pode ser descrito por:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_h \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) + D_v \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$$

eq. 3: Equação de difusão para meios com difusão horizontal isotrópica

Onde D_h é a difusividade horizontal e D_v , a difusividade vertical.

Pouco se conhece sobre a difusividade vertical nos oceanos, em parte devido à sua pouca importância em problemas de engenharia em comparação à difusividade horizontal, sendo a razão entre a primeira e a segunda, da ordem de 1/30 (Csanady, 1972).

Portanto, optou-se na formulação conceitual do modelo, por desprezar a difusividade vertical para trabalhar com a integração vertical da concentração. O modelo fornece, portanto, a concentração promediada verticalmente por camada de profundidade.

Com isso, a solução gaussiana da eq. 3 torna-se:

$$c(x, y, z, p, t) = \frac{V}{2\pi\sigma_h^2(t)} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x-p)^2}{\sigma_h^2(t)} + \frac{(y-p)^2}{\sigma_h^2(t)}\right]\right\}$$

eq. 4: Solução gaussiana para a equação de difusão.

Onde o desvio padrão $\sigma_h(t)$ é função do coeficiente de difusão D_h e do tempo t , dado por (Csanady, 1972):

$$\sigma_h(t) = 2D_h t$$

eq. 5: Desvio padrão da distribuição gaussiana de concentração.

A difusividade D_h pode ser obtida através da formulação de Smagorinsky

$$D_h = C\Delta x\Delta y \frac{1}{2} \left| \nabla \mathbf{V} + (\nabla \mathbf{V})^T \right|$$

eq. 6: Cálculo da difusividade horizontal.

Onde



$$\frac{1}{2} \left| \nabla \mathbf{V} + (\nabla \mathbf{V})^T \right| = \left[(\partial u / \partial x)^2 + (\partial v / \partial x + \partial u / \partial y)^2 / 2 + (\partial v / \partial y)^2 \right]^{1/2}$$

e C é a constante de Smagorinsky, cujos valores para o oceano variam da ordem de 0,1 a 0,2 (Oye *et al.*, 1985a e b).

A eq. 1 representa o campo de concentração associado a cada *puff*. A soma da contribuição de todos os elementos resulta no campo de concentração gerado pela fonte.

$$c(x, y, z, t) = \sum_{p=1}^{np} c(x, y, z, p, t)$$

eq. 7: Campo de concentração gerado pela fonte.

A Figura 1 contém uma representação esquemática do princípio utilizado pelos modelos *puff-gaussianos*.

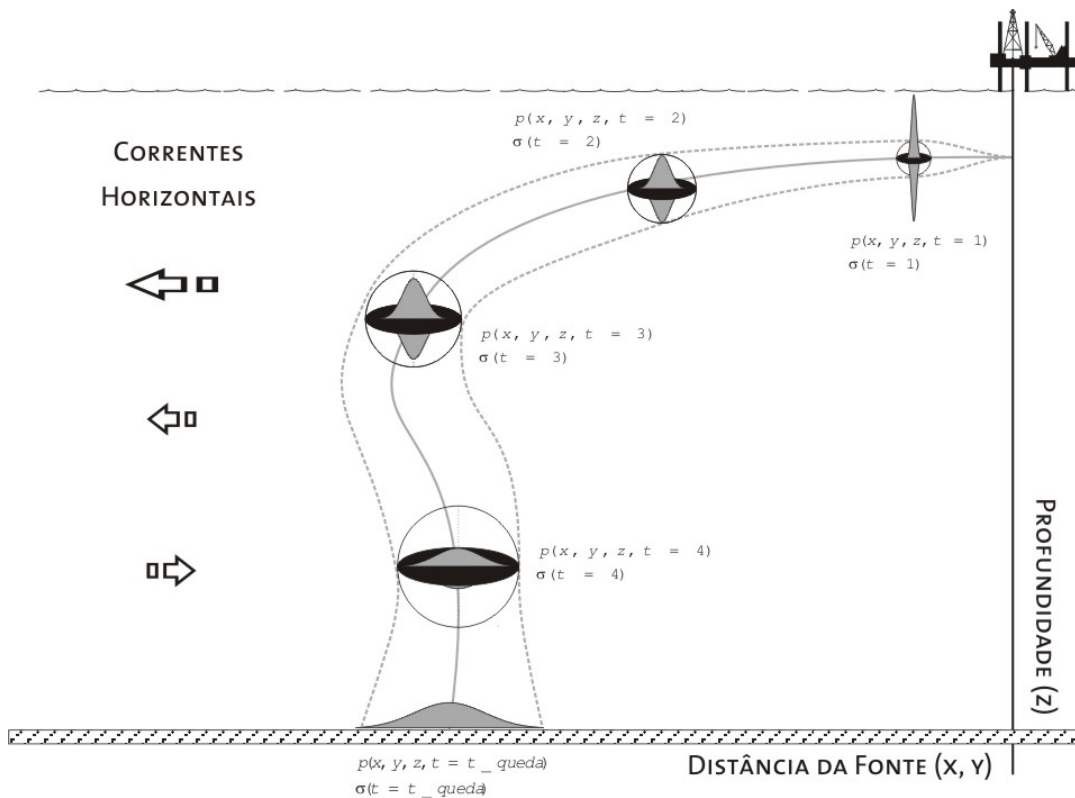


Figura 1: Representação esquemática do modelo puff-gaussiano.



IV_ CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA DA REGIÃO

IV.1_ CIRCULAÇÃO DA BACIA SUDOESTE DO ATLÂNTICO

A circulação oceânica da Bacia de Santos está sob a influência do giro subtropical do Atlântico sul (Figura 2) que faz parte da circulação de larga escala que ocorre nas bacias dos oceanos mundiais (Apel, 1987). Esta circulação é complexa e apresenta características e padrões que variam ao longo da coluna d'água.

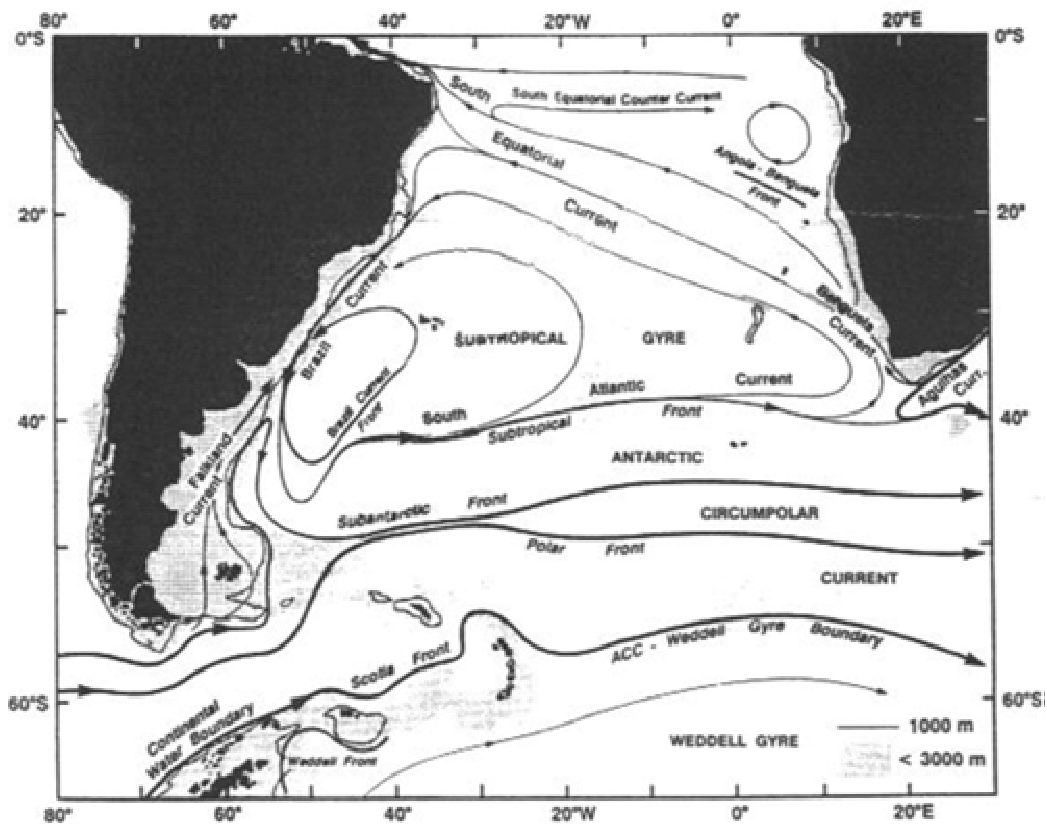


Figura 2: Ilustração esquemática do Giro Subtropical do Atlântico Sul. Retirado de Peterson e Stramma (1991).

A coluna d'água desta região é formada por uma sucessão de diversas massas d'água, que são corpos de água definidos por valores característicos de temperatura e salinidade (pares T-S), que ocupam uma posição definida na coluna d'água oceânica e que apresentam história comum de formação (Miranda, 1991). Normalmente, até os primeiros três quilômetros de profundidade nesta região são encontradas as seguintes



massas d'água: Água Costeira (AC), Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN), que são descritas a seguir, seguindo Silva et al. (1982).

A Água Tropical (AT) é definida por valores de salinidade maiores que 36 e de temperatura maiores que 18°C e ocupa a camada mais superficial da coluna d'água.

Água Costeira (AC) – água de salinidade abaixo de 33 devido à influência que sofre do aporte de águas provenientes do continente.

Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – apresenta um mínimo de temperatura de 6°C e um máximo de 18°C; e a salinidade oscilando entre 34,5 e 36. Massa d'água situada entre a Água Tropical e a Água Intermediária Antártica. É formada na Convergência Subtropical.

Água Intermediária Antártica (AIA) – apresenta valores de temperatura entre 2,75°C e 5°C e de salinidade entre 34,1 e 34,5. É proveniente da Convergência Antártica e apresenta um mínimo de salinidade entre 700 e 1100 metros de profundidade.

Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – apresenta valores de temperatura entre 2,0°C e 4°C e de salinidade entre 34,7 e 35,0. É formada no Hemisfério Norte na junção das Correntes da Groenlândia e Labrador.

A poucos graus de latitude, ao sul de sua área de formação (região de bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial), a Corrente do Brasil é rasa, quente e salina sendo formada basicamente por AT fluindo junto à quebra da plataforma com transporte de 4 Sv ($4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$). No entorno da latitude de 20°S, a Corrente do Brasil se encontra mais afastada da costa, em virtude do alargamento da plataforma continental. A partir desta latitude, recebe efetiva contribuição da ACAS, torna-se mais profunda e aumenta seu transporte, que é de aproximadamente 6 Sv, mas é ainda estreita com cerca de 75 km de largura. Próximo à latitude de 20,5° S a corrente se depara com a cordilheira submarina Vitória-Trindade e flui preferencialmente através da passagem mais próxima à costa. A partir desta latitude, a corrente adquire caráter meandrante. A velocidade em superfície ao largo de Cabo Frio é em torno de 0,5 m/s e o transporte é da ordem de 9 Sv, sendo que mais da metade do fluxo é confinado aos primeiros 200 metros de coluna d'água. Abaixo de 26°S, AT, ACAS, AIA e APAN fluem consonantemente na direção do pólo Sul. Em cerca de 28°S, a espessura da ACAS se estende até 750 m e a corrente apresenta-se organizada até esta profundidade, com transporte da ordem de 16 Sv ao largo do Cabo de Santa Marta (Silveira *et al.* 2000).



A Figura 3 ilustra a dinâmica das correntes na Bacia sudoeste do Atlântico.

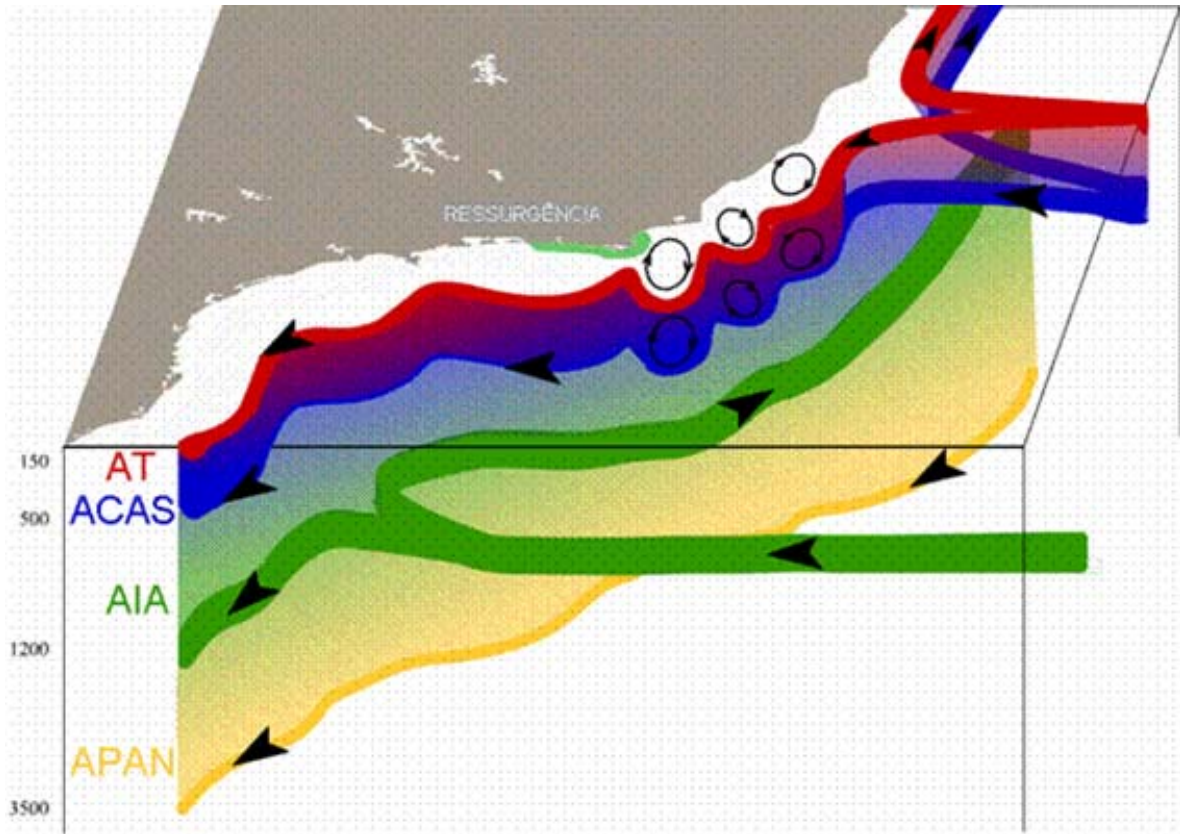


Figura 3: Ilustração da dinâmica das correntes da Bacia Sudoeste do Atlântico

IV.2_A CIRCULAÇÃO NA BACIA DE SANTOS

IV.2_A CIRCULAÇÃO NA BACIA DE SANTOS

A Bacia de Santos possui plataforma continental mais estreita nas proximidades de Cabo Frio (50 Km) e Cabo de Santa Marta (70 Km), onde a isóbata de 200m aproxima-se da costa, e mais larga na parte central (230 Km), em frente ao litoral do Estado de São Paulo, onde a mesma isóbata encontra-se mais afastada da linha costeira (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**).



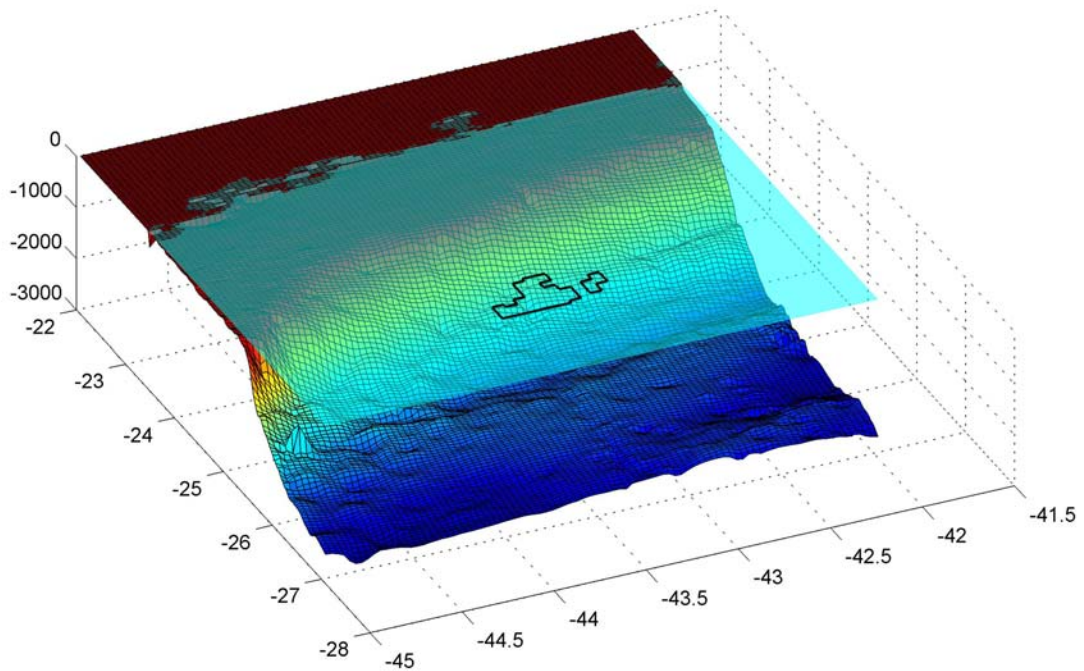


Figura 4: Batimetria da região da Bacia de Santos com detalhe para a área do bloco BM-S-9.

O comprimento da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) ao longo da costa é de aproximadamente 1100Km. A topografia é geralmente suave, com isóbatas paralelas à linha de costa. O talude continental tem largura média de 120 Km e é formado pelo talude superior, estreito e íngreme, cuja base localiza-se entre as isóbatas de 400 e 500 m e pelo talude inferior, mais largo que o superior e com a base situada em torno de 2000m de profundidade (Silva, 1995 apud Santos, 2000).

A Plataforma Continental Sudeste pode ser dividida em três regiões; Plataforma Continental Externa (PCE), região que vai da costa até a segunda região chamada de Quebra da Plataforma Continental (QPC), situada sobre a isóbata de 200m aproximadamente e Talude Continental (TC), entre a QPC e a profundidade de 3000m (Castro, 1995).

Santos (2000) realizou uma extensa análise de dados de corrente medidos durante 17 meses na Bacia de Santos, onde foram analisados dados de corrente coletados em 3



linhas de fundeio C1, C2 e C3, cada uma sobre uma das regiões anteriormente descritas (Figura 5), e em diversos níveis.

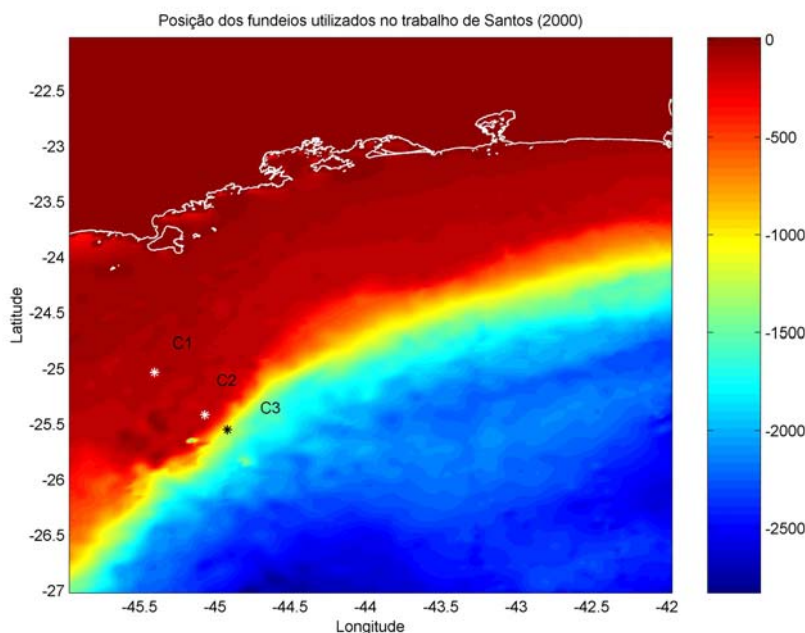


Figura 5: Batimetria da região da Bacia de Santos com as posições dos fundeios utilizados por Santos (2000)

Santos (2000) classifica a circulação da Bacia de Santos, em cada uma das três regiões. Na PCE há predominância do fluxo para SW em todas as estações do ano e em todas as profundidades amostradas. Este fluxo apresenta grande variabilidade devido à sua alternância com o fluxo para nordeste e à ocorrência de correntes intensas em todas as direções. As inversões da corrente nessa região ocorrem na média a cada oito dias.

Nessa região as intensidades das correntes são, em geral, menores que as da quebra da plataforma e do talude continental.

O fluxo para nordeste foi mais freqüente nos meses de inverno em relação à primavera e ao verão. Durante o inverno, os ventos de quadrante sul podem tornar as correntes para nordeste mais intensas e freqüentes que as para sudoeste nesta região. Esses ventos são característicos das frentes frias que são mais freqüentes de março a novembro. Na primavera os ventos prevaletentes são de leste e nordeste forçando o direcionamento para sudoeste.



A presença da Corrente do Brasil na PCE ocorreu de maneira esporádica. Outra importante característica é a condição barotrópica do fluxo, ou seja, a velocidade praticamente não varia ao longo da coluna d'água.

As regiões da QPC e TC são dominadas pelo fluxo para sudoeste da Corrente do Brasil, cujas intensidades atingem valores maiores do que 1 m/s e possuem direção bem definida, entre 225° (SW) a 180° (S), apresentando pequena variabilidade temporal. No nível de 698 m no Talude Continental predomina o fluxo para nordeste associado à Água Intermediária Antártica.

IV.3_DADOS DE CORRENTE UTILIZADOS NA MODELAGEM

A situação ideal para a realização de qualquer simulação numérica seria a existência de uma rede de medições *in situ* com resolução espacial e temporal adequada para que pudessem ser utilizadas na modelagem. Porém, tal situação está longe de ocorrer nos oceanos, sobretudo no Atlântico Sul.

Dessa forma a escolha dos dados a serem utilizados na modelagem torna-se item fundamental e deve ser bastante criteriosa, pois os resultados obtidos serão diretamente influenciados por tal escolha.

Na região da bacia de Santos existem poucas fontes de dados correntométricos com duração suficiente para a realização da modelagem. A Figura 6 mostra duas fontes de dados disponíveis para utilização: o projeto World Ocean Circulation Experiment (WOCE) e Circulação Oceânica da Região Oeste do Atlântico Sul (COROAS).



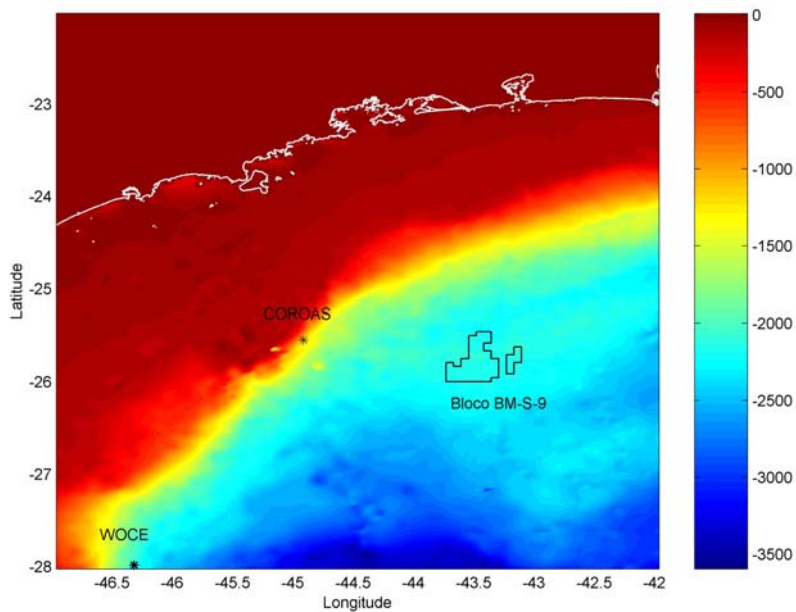


Figura 6: Posicionamento dos fundeios disponíveis próximos à região do bloco BM-S-9.

Os dados obtidos pelo projeto WOCE têm duração de 510 dias (1,4 anos) nos níveis de profundidade de 280 a 2100 metros, estando distante cerca de 360 km do bloco BM-S-8. Os fundeios do projeto COROAS possuem duração de 693 dias (1,9 anos) amostrando os níveis de 0 a 700 metros, a uma distância de aproximadamente 13 km dos blocos. Esses dados estão mais próximos dos blocos em questão, em relação aos do WOCE, porém, não possuem informações para níveis mais profundos que 700 metros.

Além de distantes do bloco, ambas as bases de dados são pontuais, não caracterizando espacialmente a região estudada.

A alternativa utilizada para esse caso foi utilizar dados fornecidos pelo projeto *Ocean Data Assimilation Experiments do Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – GFDL*, que disponibiliza resultados globais obtidos pelo modelo *Modular Ocean Model – MOM* com resolução espacial de $1^\circ \times 1^\circ$. Nesse projeto foram gerados 20 anos de dados globais, entre 1981 e 1999, em 40 níveis (da superfície a 4400 metros).

Os resultados desse experimento são coerentes com a dinâmica das correntes na região.



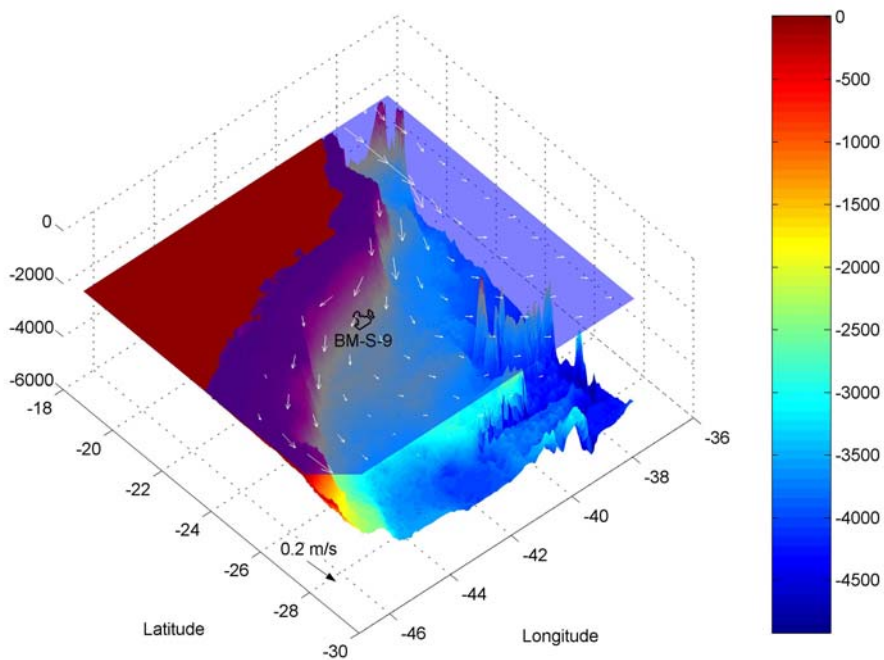


Figura 7: Campo de correntes obtidos do Modular Ocean Model para a região da Bacia de Santos para o nível de superfície.

De acordo com Santos (2000), o campo de correntes em superfície na região da Bacia de Santos apresenta correntes nas direções sul/sudoeste, mais intensas junto à quebra da Plataforma e menores na região mais próxima à costa, como os obtidos pelo MOM (Figura 7).



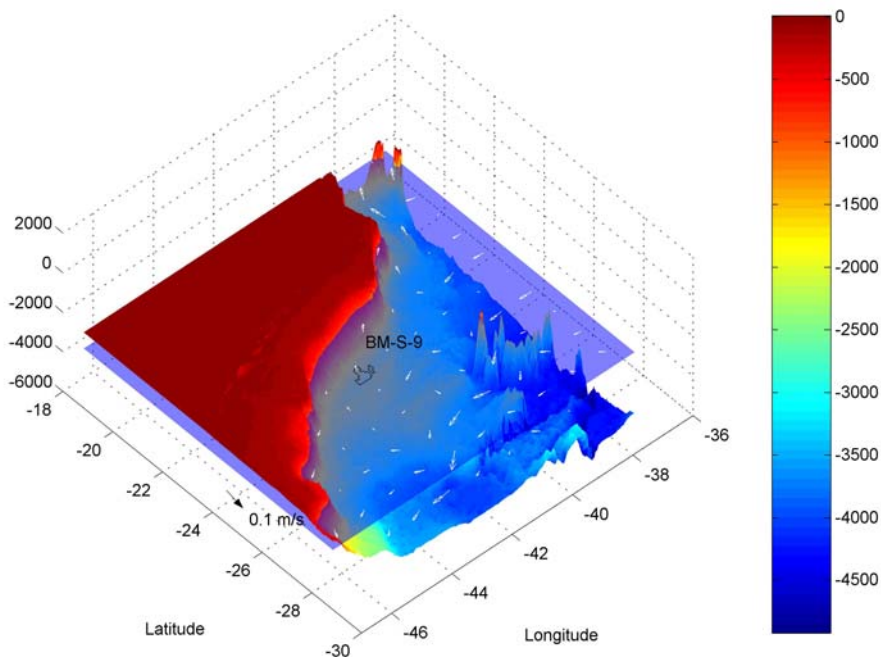


Figura 8: Campo de correntes obtidos do Modular Ocean Model para a região da Bacia de Santos para o nível de 800 metros.

Ainda segundo Santos (2000), a 700m, o fluxo nessa região possui direção nordeste, concordando com resultados obtidos pelo MOM (Figura 8).

Dessa forma, tendo em vista a extensa duração, variação espacial (horizontal e vertical) e coerência com a dinâmica da região, optou-se pelos dados do MOM para a realização das modelagens.

IV.4_ TRATAMENTO DOS DADOS

Para utilizar na modelagem uma base de dados que representasse de maneira consistente a dinâmica das correntes da região, optou-se por realizar uma promediação dos dados do MOM. Com isso obteve-se um campo de corrente tri-dimensional que representa o estado médio em 20 anos da região da Bacia de Santos. Para verificar se a média seria, nesse caso, um bom estimador, foram calculados também os valores de desvio-padrão. Como pode ser observado na Figura 9 a Figura 12, os desvios-padrão das componentes meridional (v) e zonal (u) da corrente na região do bloco BM-S-8 são pequenos em relação à média (em torno 5% do valor médio), o que comprova que o estado médio obtido representa de forma adequada a série de 20 anos de dados.

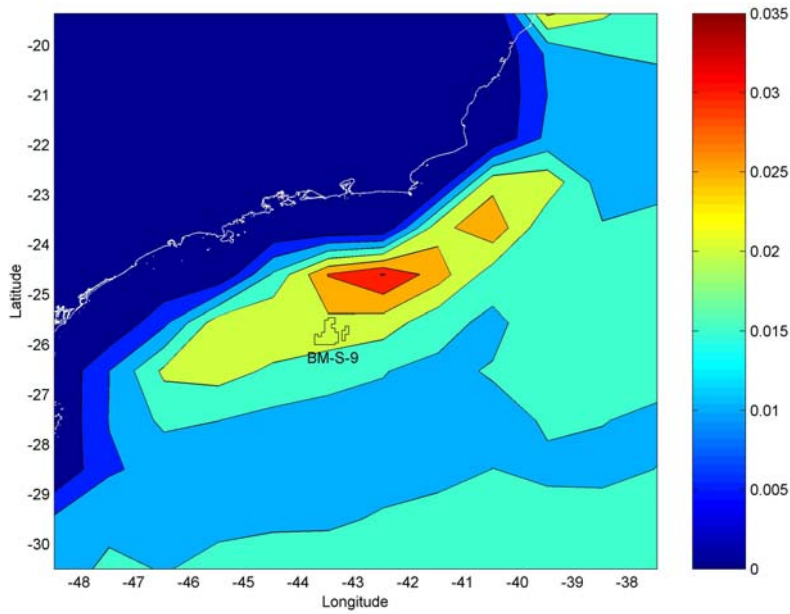


Figura 9: Campo de desvio padrão obtido dos dados do Modular Ocean Model para a componente U da corrente no nível de superfície.

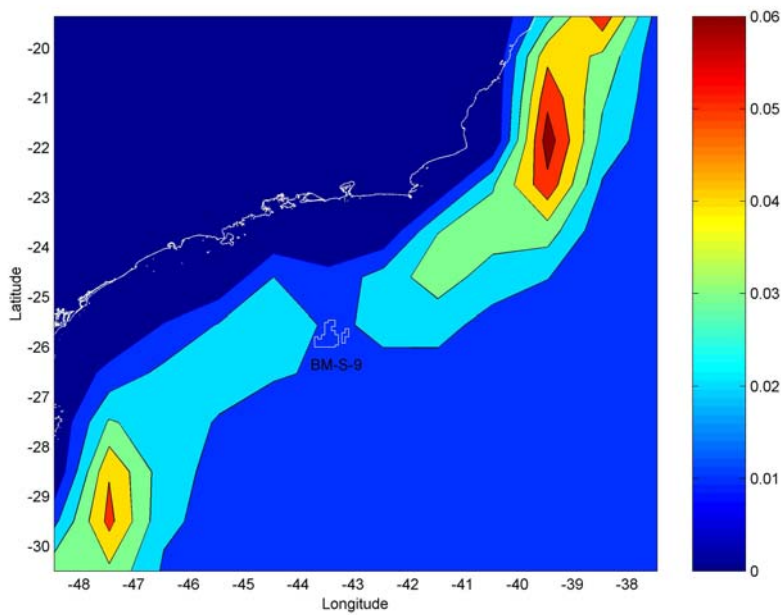


Figura 10: Campo de desvio padrão obtido dos dados do Modular Ocean Model para a componente V da corrente no nível de superfície.



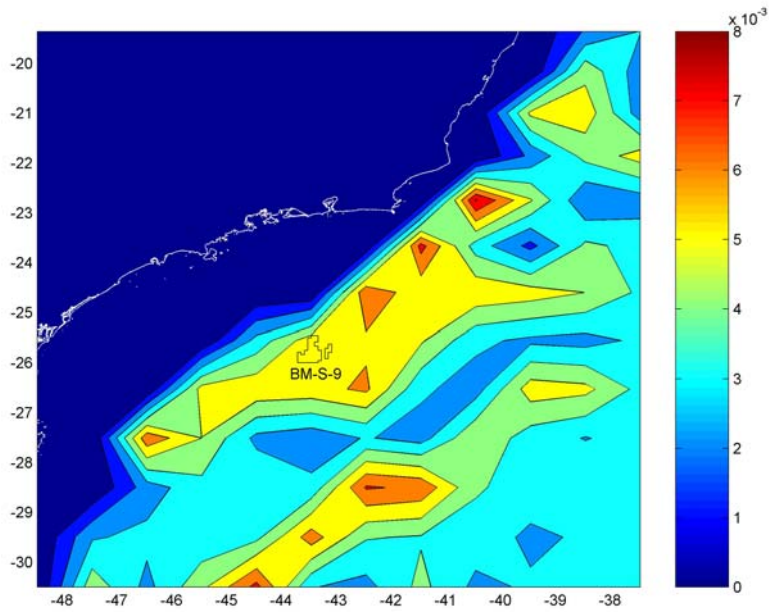


Figura 11: Campo de desvio padrão obtido dos dados do Modular Ocean Model para a componente U da corrente no nível de 800 metros.

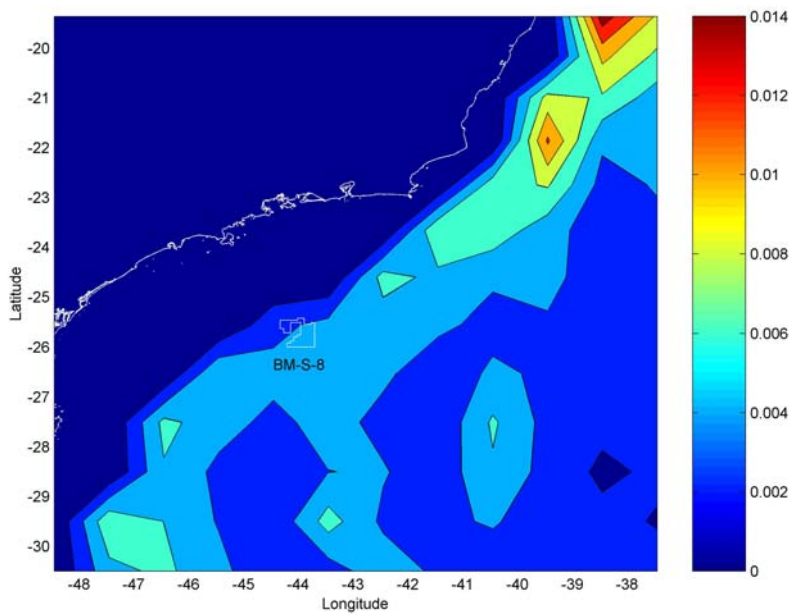


Figura 12: Campo de desvio padrão obtido dos dados do Modular Ocean Model para a componente V da corrente no nível 800 metros.



V_ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas simulações numéricas serão apresentados por fase. Para as fases onde o descarte ocorre sem a utilização de *riser* serão apresentados gráficos de evolução temporal da deposição do material (em perspectiva) e do raio de impacto do poço (em planta). Para as fases com *riser* será destacada a trajetória tridimensional dos centros de massa e a evolução da deposição dos grãos no tempo.

V_1. FASE II

A seguir é apresentada a evolução temporal da deposição do material descartado na FASE II em perspectiva (Figura 13) e em planta (Figura 14).

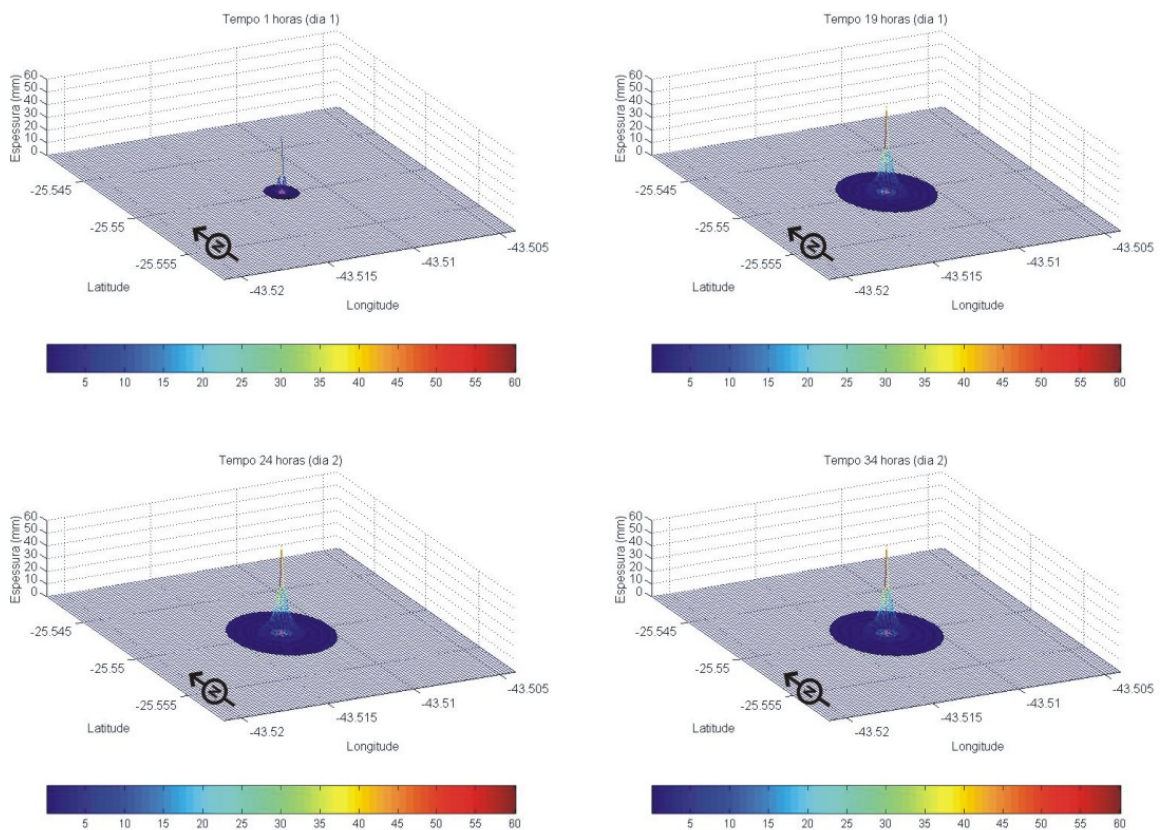


Figura 13: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE II do bloco BM-S-9. Visão em perspectiva.



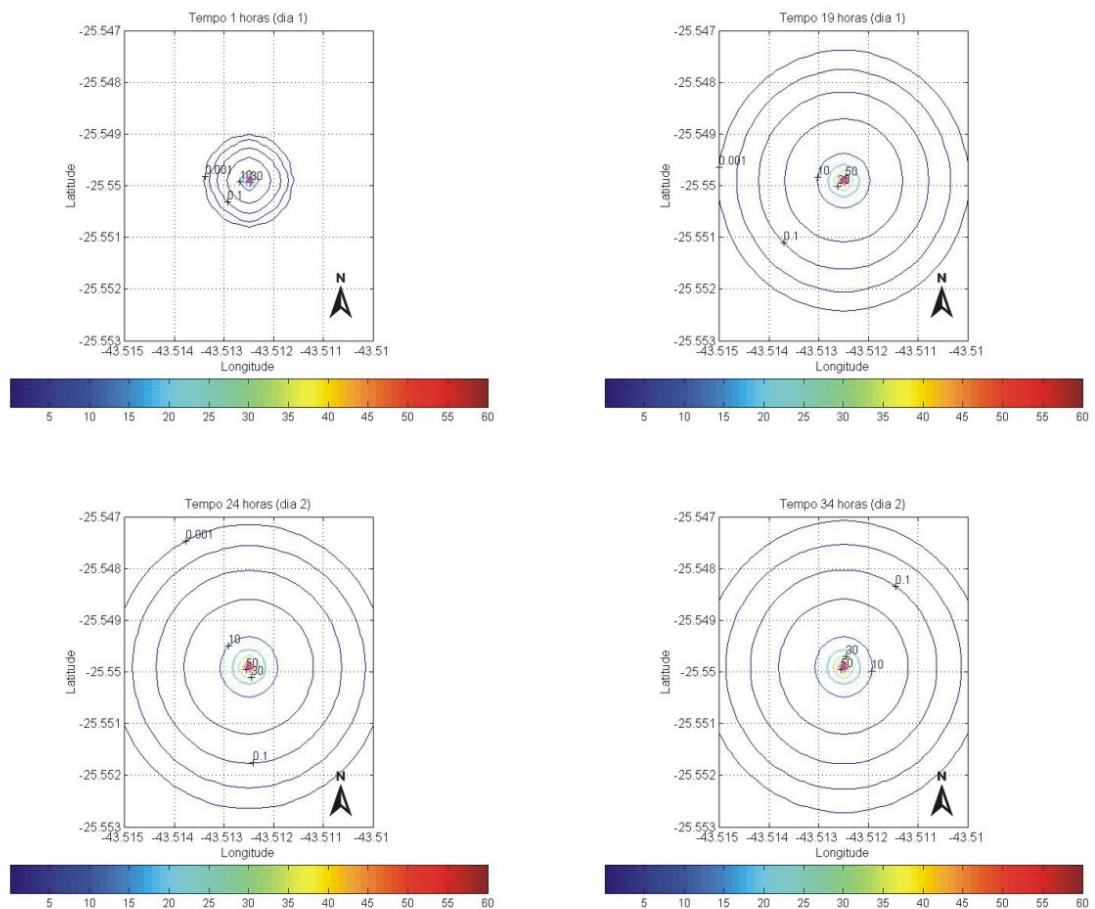


Figura 14: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE II do bloco BM-S-9. Visão em planta.

A espessura máxima formada pelo material descartado nesta fase é de aproximadamente 60 milímetros e localiza-se ao redor do poço. Considerando um limiar de 0,1 mm, a região de impacto desta fase está restrita a um raio de cerca de 222 metros, ocupando uma área de 0,1 km². Por ser descartado sem *riser* (a 7 metros do fundo), o material produzido pela perfuração nesta fase acumula-se próximo ao poço, pois o tempo de queda não é suficiente para haja ação significativa das correntes. Pelo mesmo motivo a dispersão é bastante reduzida quando comparada com as fases III, IV E V, acarretando uma maior espessura acumulada no fundo.



V_1. FASE III

Na Figura 15 é apresentada a trajetória dos centros de massa modelados para a FASE III.

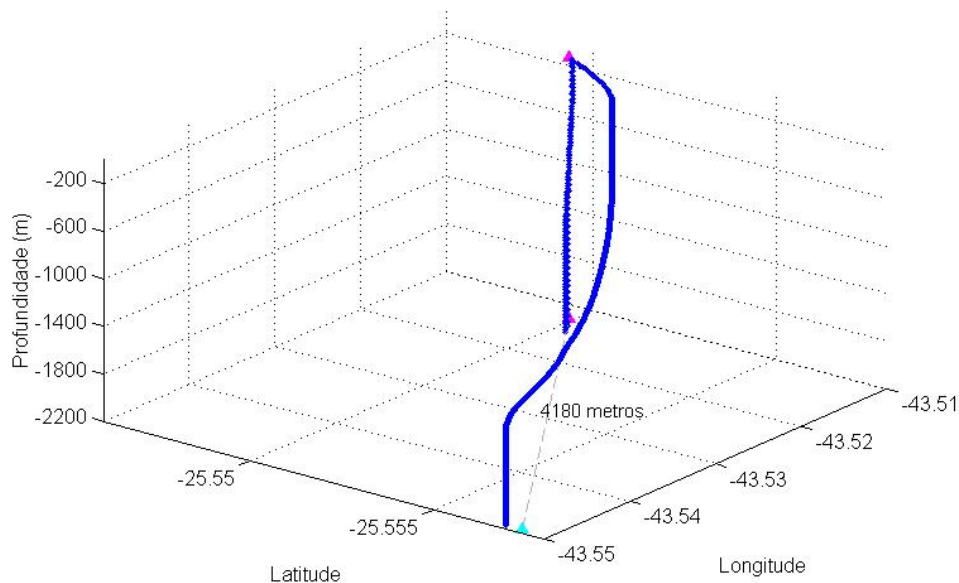


Figura 15: Trajetória dos centros de massa modelados para a FASE III do bloco BM-S-9.

Nota-se que a distância máxima alcançada pelos grãos de menor diâmetro é de aproximadamente 4,1 Km. As partículas rumam em direção SW, descrevendo uma trajetória sinuosa devido à variabilidade espacial das correntes. Observa-se ainda que há um maior deslocamento horizontal quando estas se encontram nas camadas superficiais, concordando com a dinâmica da circulação da região descrita no item IV.

A variação temporal da deposição do material descartado na FASE III encontra-se na ilustrada nos gráficos da Figura 16 e da Figura 17.



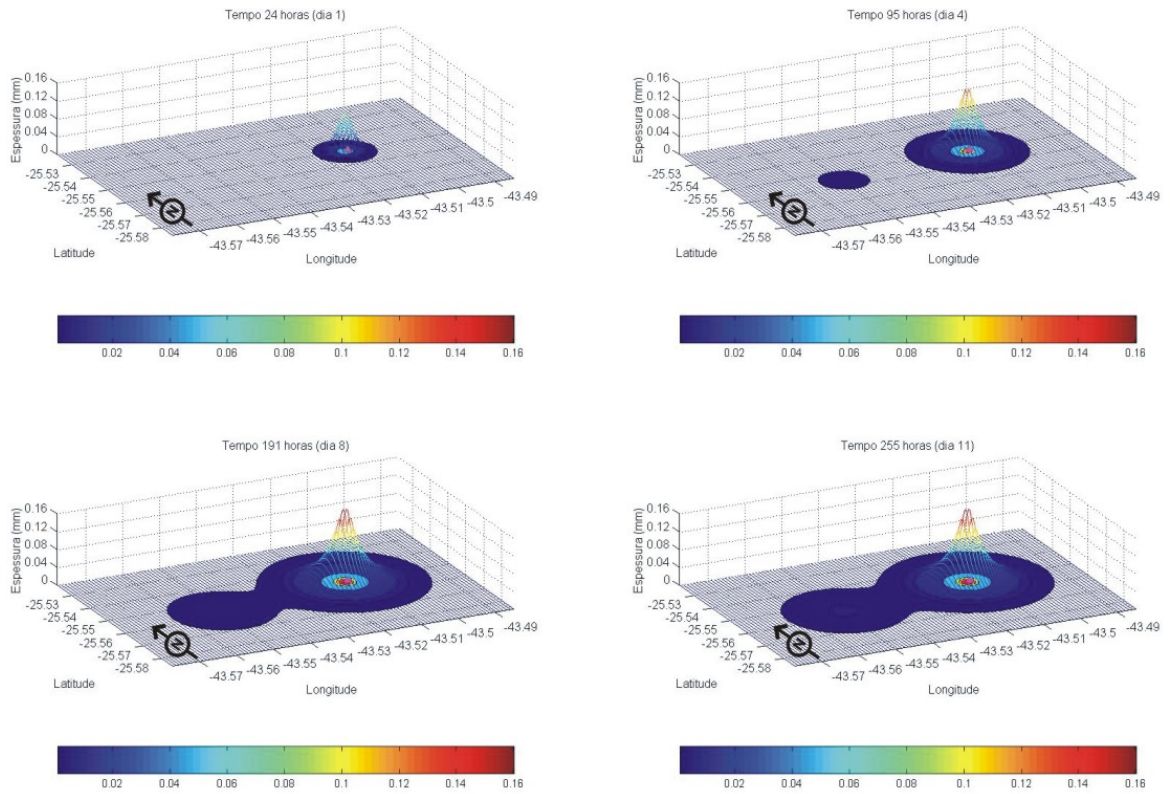


Figura 16: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE III do bloco BM-S-9. Visão em perspectiva.



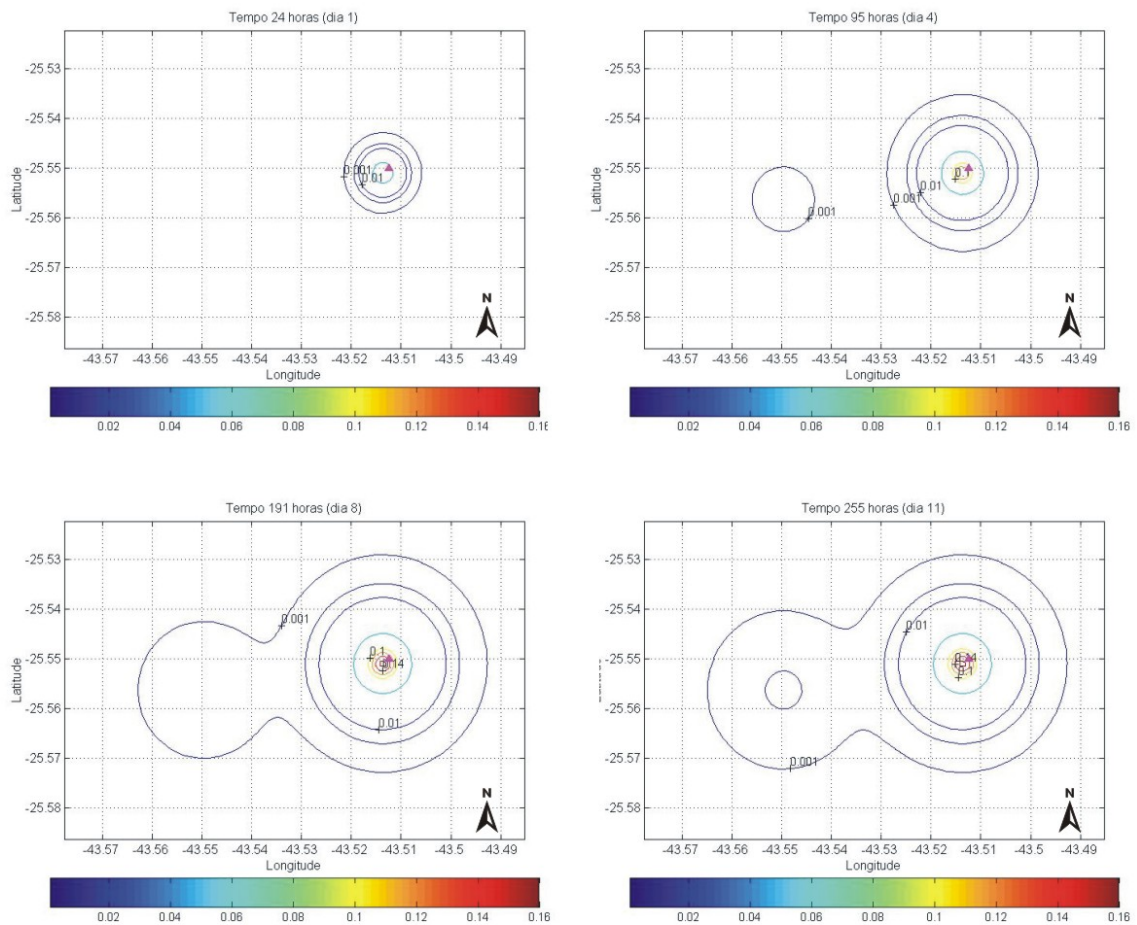


Figura 17: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE III do bloco BM-S-9. Visão em planta.

Observa-se um deslocamento preferencial para SW na dispersão do material. O tempo de perfuração dessa fase foi de 180 horas, entretanto a maior área de influência decorrente dessa fase foi atingida no final da simulação (255 horas), quando todo o material (incluindo os menores grãos) já havia atingido o solo.

Com 95 horas de simulação tem início a deposição do material particulado mais fino, a sudoeste da área de deposição principal. Essa parcela do material, em função da menor velocidade de queda, percorre uma maior distância horizontal antes da deposição.

Ao fim da simulação, a espessura máxima encontrada é de 0,16 mm, a 330 metros do poço abrangendo uma área de influência de cerca de 24 Km².



V_1. FASE IV

Na Figura 18 é apresentada a trajetória dos centros de massa modelados para a FASE IV.

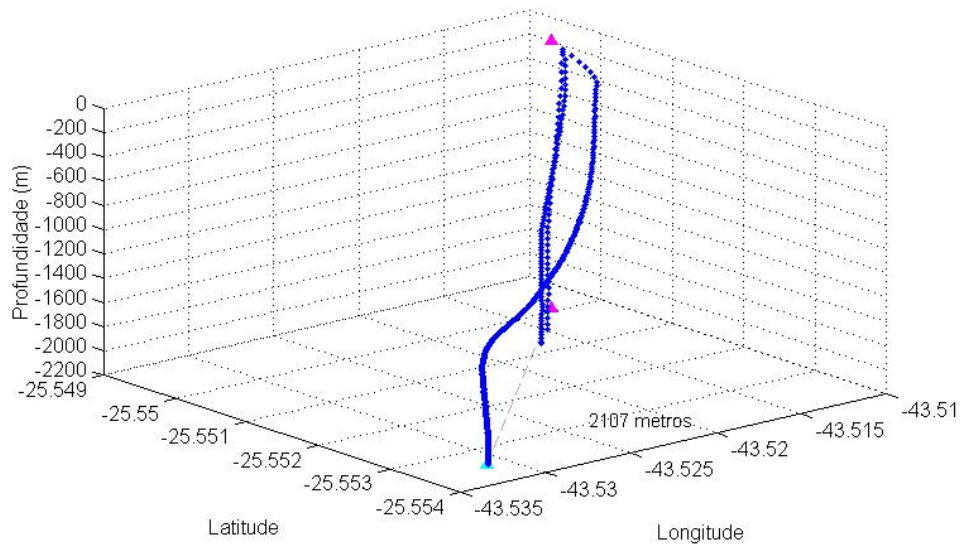


Figura 18: Trajetória dos centros de massa modelados para a FASE IV do bloco BM-S-9.

Nota-se uma distância máxima de aproximadamente 2,1 Km associada aos grãos de menor diâmetro. Conforme observado na FASE III, a trajetória das partículas obedece à variabilidade espacial das correntes.

Na Figura 19 e Figura 20 são apresentados gráficos da evolução temporal da deposição do material particulado despejado pela FASE IV.

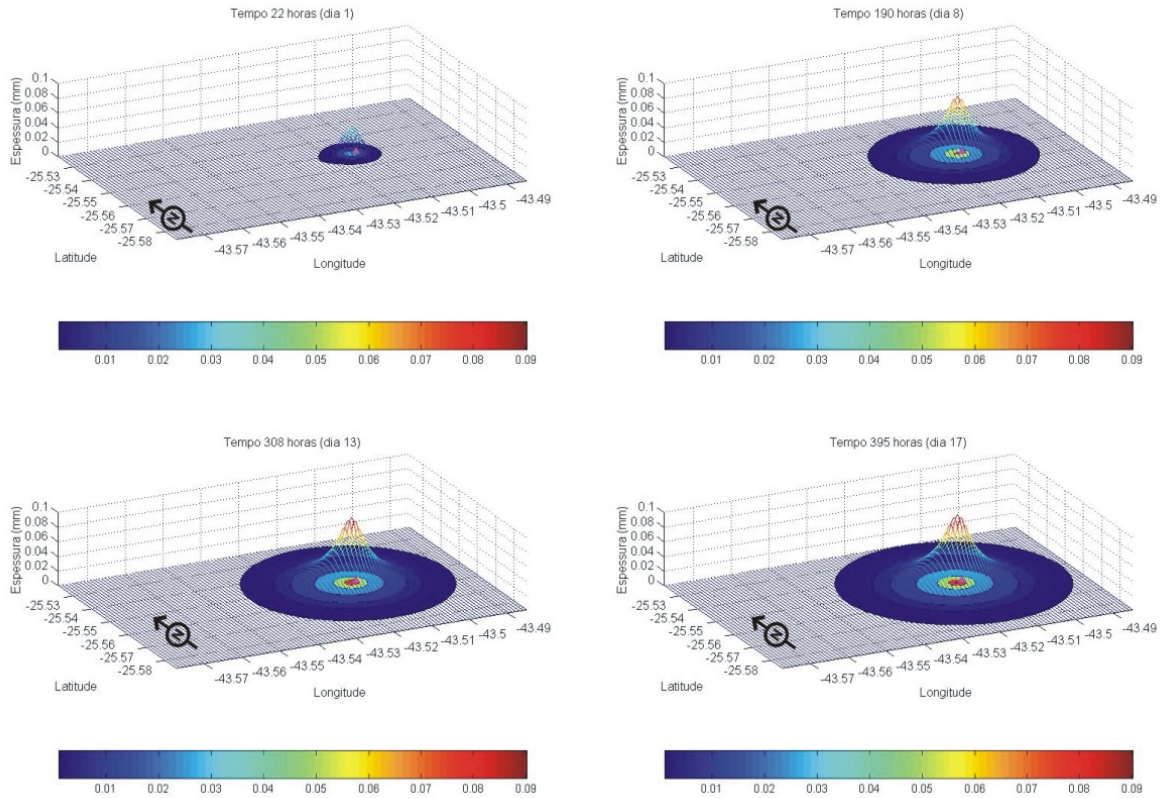


Figura 19: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE IV do bloco BM-S-9. Visão em perspectiva.



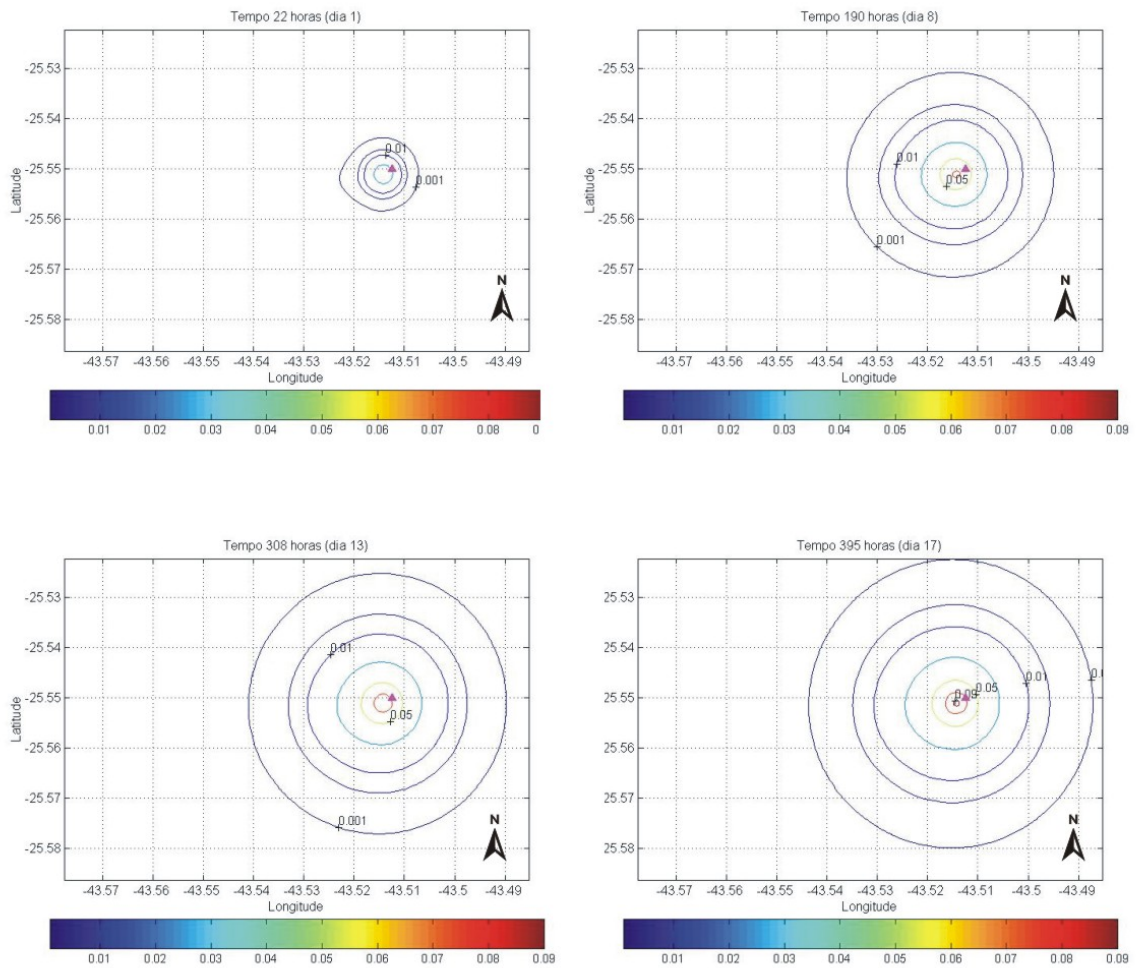


Figura 20: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE IV do bloco BM-S-9. Visão em planta.

A espessura máxima encontrada nesta fase é de 0,09 mm (10^{-4} m), e seu raio de influência é de aproximadamente 3,3 Km (equivalente a uma área de aproximadamente 34 Km²).

V_1. FASE V

Na Figura 21 é apresentada a trajetória dos centros de massa modelados para a FASE V.



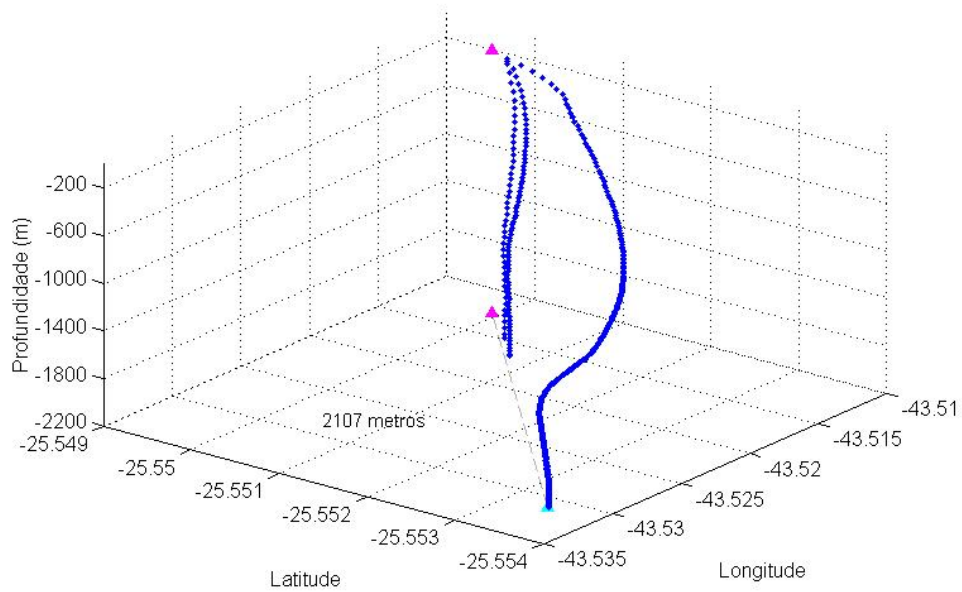


Figura 21: Trajetória dos centros de massa modelados para a FASE V do bloco BM-S-9.

Nota-se uma distância máxima de aproximadamente 2,1 Km associada aos grãos de menor diâmetro. O deslocamento das partículas acompanha a direção das correntes descritas no item IV_.

Na Figura 22 e Figura 23 e são apresentados gráficos da evolução temporal da deposição do material particulado despejado pela FASE V.



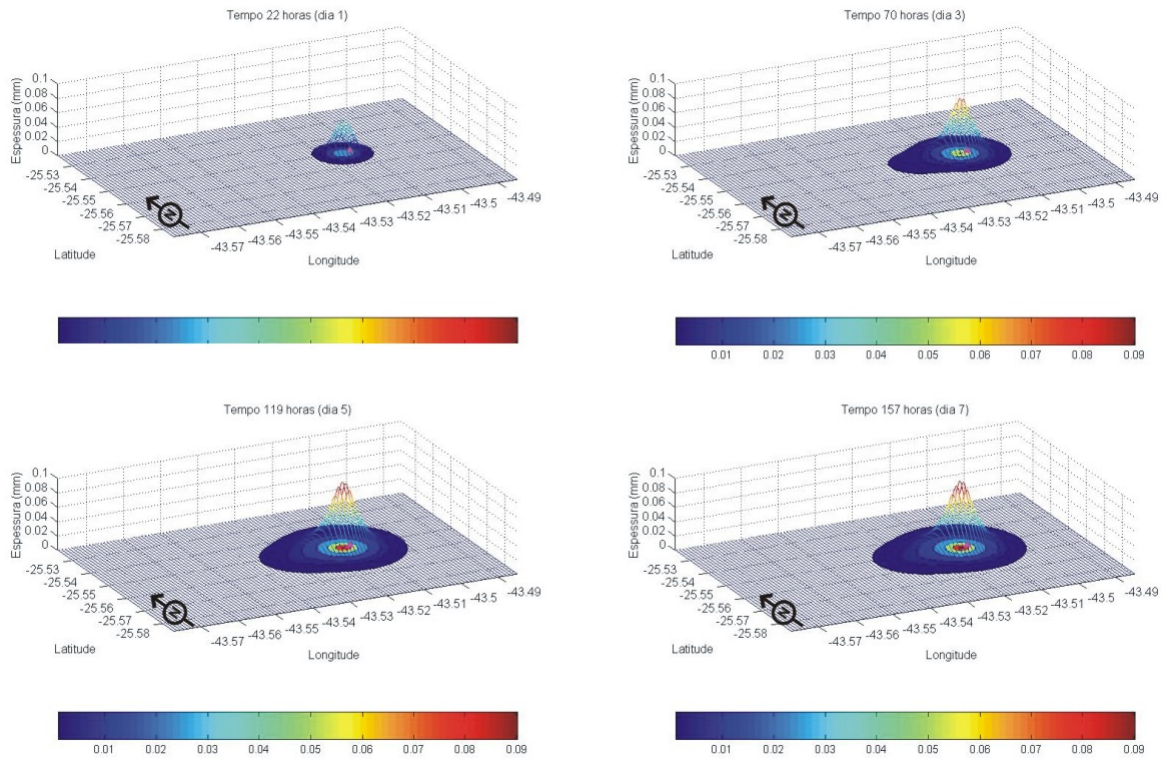


Figura 22: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE V do bloco BM-S-9. Visão em perspectiva.



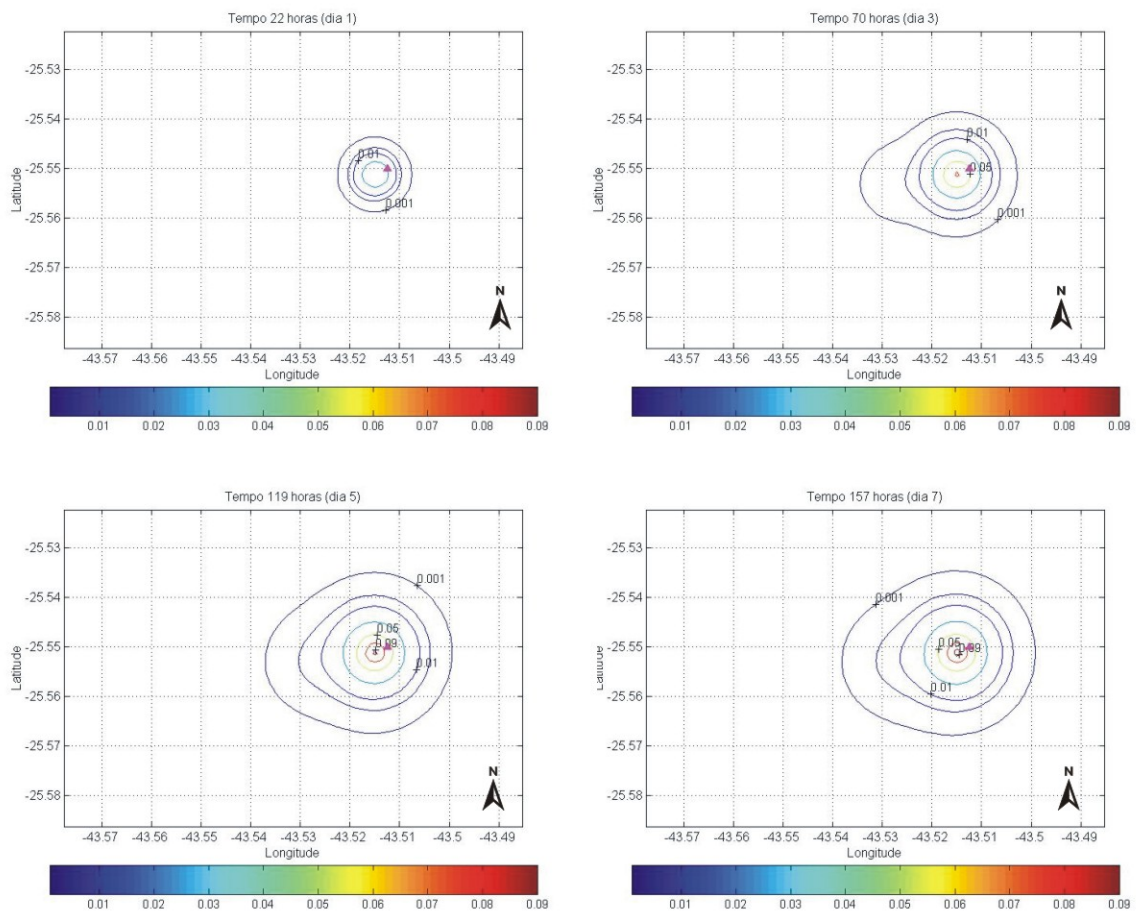


Figura 23: Evolução temporal da deposição do material descartado na FASE V do bloco BM-S-9. Visão em planta.

A espessura máxima de material depositado no fundo nesta fase é de aproximadamente 0,09 mm. O raio de influência é de 1,7 Km, com uma área de 9 Km².

VI_ CONCLUSÃO

Analisando os resultados das simulações de dispersão do material a ser produzido pela atividade de perfuração do poço CARIOCA situado no bloco BM-S-9, pode-se concluir:

- A deposição do material em todas as fases ocorre na direção SW em relação ao poço, devido à influência das correntes predominantes na região.
- A distância máxima atingida pelo material é de cerca de 5,5 Km do poço na FASE III e a maior área de influência é de 34 Km², na FASE IV.



- A maior espessura foi estimada em 6 cm (60 mm) na FASE II, justificada pelo descarte sem utilização do *riser*.

VII_ BIBLIOGRAFIA

BLUMBERG, A.F., and G.L. MELLOR, A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model, in *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, Vol. 4, edited by N.Heaps, pp. 208, American Geophysical Union, Washington, D.C.,1987.

BRANDSMA, M.G. AND SMITH, J. P., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model—Report and User Guide. Exxon Production Research Company. Production Operations Division. Report EPR.29PR.99.

CASTRO, B.M. , 1996. Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo. Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. 248 p.

CSANADY, G. T., 1972. *Turbulent Diffusion in the Environment*. Geophysics and Astrophysics Monographs, Vol.3, 247 pp., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht: Holland.

MIRANDA, L.B., 1991. Análise de massas d´água dos oceanos.notas de aula do curso, Univ. de São Paulo, São Paulo.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part I: Description of the model and model simulations, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1676-1692, 1985a.

OEY, L.-Y., G.L. MELLOR, and R.I. HIRES, A three-dimensional simulation of the Hudson-Raritan estuary. Part II: Comparison with observation, *J. Phys. Oceanogr.*, 15, 1693-1709, 1985b.

SANTOS, M.C.A., 2000. A Corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 169p.



- SILVA, M.P. , 1995. Caracterização físico-química das massas de água da Bacia de Santos durante o Projeto COROAS. Verão e inverno de 1993. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. 135p.
- SILVEIRA, I.C.A., A.C.K. SCMHIDT, E.J.C. CAMPOS, S.S. GODOI & Y. IKEDA, 2000. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. Rev. bras. oceanogr., 48(2):171-183(C11).
- STRAMMA, L., 1991. Gesotrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic, J. Mar. Res., 49, 281-294.
- WATSON, R.L., 1969. Modified Rubey's Law Accurately Precidts Sediment Settling Velocities. Water Resources Research, 5(5), 1147-1150.
- ZANNETI, P., 1990. Air Pollution Modeling, Theories Computational Methods and Available Software. Ed. Southampton, London.

