

II.5.4.2 – MODELAGEM DE DISPERSÃO DE CASCALHOS E FLUIDOS DE PERFURAÇÃO

A. Introdução

Este relatório apresenta as premissas teóricas, a abordagem metodológica, informações sobre os dados que serão empregados na execução e os resultados da modelagem de cascalho/lama de produção para o poço HARPIA. O planejamento da atividade de perfuração se coaduna com os interesses dos órgãos ambientais reguladores e também serve de premissa para os investimentos da empresa na área de perfuração. Portanto um dos principais objetivos deste relatório é estimar, através de modelos numérico-analíticos, alguns parâmetros (concentração, espessura e evolução temporal) das plumas e dos depósitos de lama e /ou cascalho.

B. Metodologia

O modelo empregado neste trabalho é o ‘Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model’ (OCC), desenvolvido pela Exxon Production Research Company (EPR) (Brandsma, 1999).

O Modelo OCC é um programa computacional capaz de prever o comportamento de água de produção, fluido de perfuração e de lama/cascalho descarregado no meio ambiente.

B.1. As fases da dispersão da pluma de descarte

Na aplicação do Modelo OCC assume-se que o material descarregado é originado de uma fonte única em um local específico. O lançamento ocorre para um ambiente que é caracterizado por parâmetros específicos de temperatura, densidade e correntes. O material descarregado pode ter flutuabilidade positiva ou negativa, podendo ser descarregado e direcionado para cima ou para baixo.

Após ser descarregado, o material segue três regimes distintos de fluxo (Figura II.5.4.2-1). O primeiro é a fase convectiva (ou de jato), onde o material é dominado pelo momentum da descarga inicial, entranhamento e por arrasto, onde

o efluente entra ativamente no fluido ambiente. O segundo regime é a fase de colapso dinâmico, onde o material se ajusta à profundidade de equilíbrio, onde a advecção (do jato e do meio) e os gradientes de densidade são as principais forças atuantes. O estágio final é o da dispersão passiva na qual a pluma de descarga perdeu seu caráter dinâmico e os fenômenos de difusão e advecção do meio são os principais mecanismos de transporte. Assim, o transporte do material descarregado devido à ação das correntes e do assentamento, ocorre durante todas as fases do desenvolvimento da pluma.

No contexto deste trabalho, diferentes tipos de plumas podem ser discretizadas. O termo pluma ou nuvem refere-se ao material descarregado na coluna d'água, sob ação dos regimes de descida convectiva, colapso dinâmico, ou dispersão passiva. O termo pluma dinâmica refere-se somente à ação dos regimes da fase de jato e colapso dinâmico.

A pluma na fase de jato (convectiva) insere-se no fluido em função da ação do fluxo do jato e das correntes do ambiente. A fase de jato termina e o colapso dinâmico começa quando a pluma encontra o seu nível neutro de flutuabilidade, ou quando ocorre impacto com o fundo, ou aflora na superfície. Neste ponto o movimento vertical é retardado e o espalhamento horizontal se torna dominante.

À medida que a pluma diminui de espessura na direção vertical, a tendência ao colapso diminui. A turbulência no ambiente tende a cessar o caráter coerente da pluma. A fase de colapso continua até que o espalhamento devido aos mecanismos dinâmicos se torne menor que a taxa de espalhamento causado pela dispersão turbulenta do meio.

Neste ponto, a fase de dispersão passiva se inicia, no qual são formadas 'nuvens' de partículas no fim da pluma dinâmica. Estas 'nuvens' consistem em pequenos grupos de partículas sólidas. Cada 'nuvem' possui sua própria distribuição de concentração no espaço e no tempo, onde a sobreposição da distribuição de diferentes nuvens de partículas pode ocorrer.

O Modelo OCC calcula a concentração dos componentes da descarga em um dado ponto, somando as contribuições de todas as 'nuvens' de um dado componente, localizadas dentro de um intervalo de três desvios-padrão do ponto de interesse.

As ‘nuvens’ são transportadas pela corrente e se expandem com o tempo de maneira difusiva. O Modelo OCC analisa cada ‘nuvem’ até o final da simulação, ou até que esta esteja completamente depositada no fundo. O sistema de coordenadas pode ser observado na Figura II.5.4.2- 2.

A parte do modelo que trata das fases dinâmicas (descida convectiva e colapso dinâmico) é baseada nas formulações de Koh e Chang (1973). Em relação à dispersão passiva, emprega-se um método Lagrangeano explícito desenvolvido para o OCC.

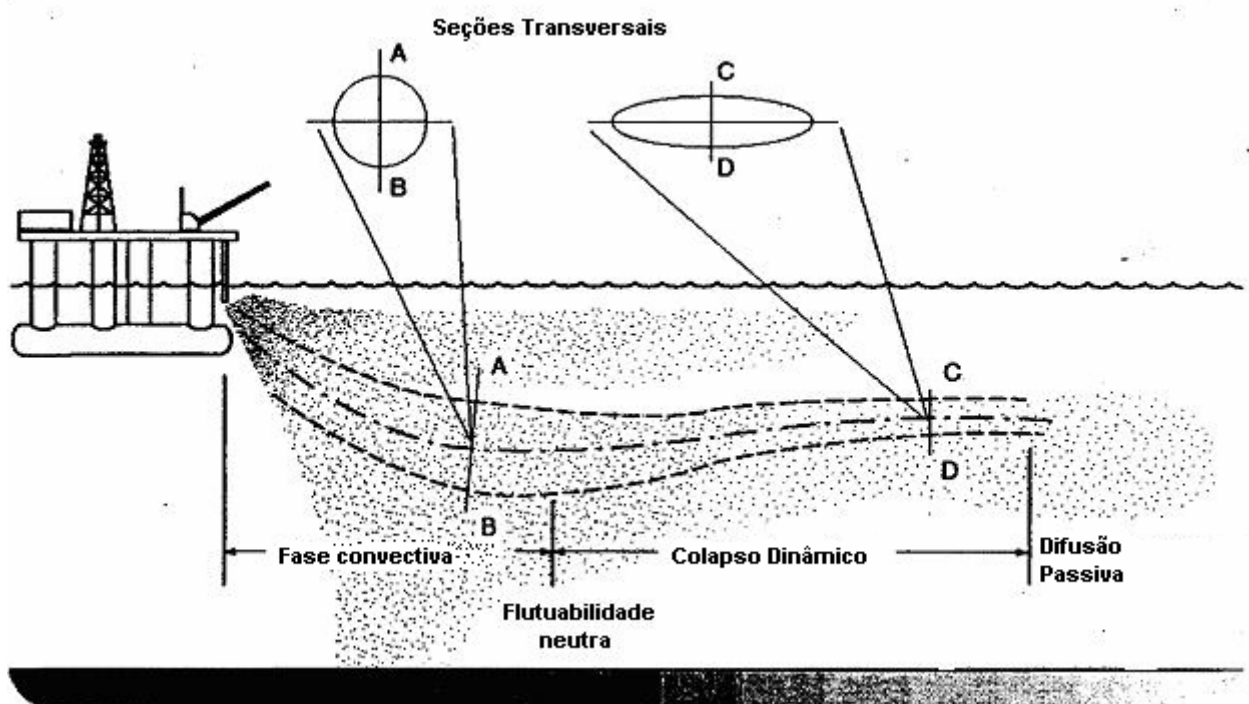


Figura II.5.4.2- 1: Etapas da descarga do efluente de perfuração.

B.1.1. As fases de Jato e de Colapso dinâmico

Na fase inicial do descarte a taxa de mudança do fluxo de massa é igual à taxa de entranhamento do jato no fluido ambiente, menos a massa perdida por deposição ao longo do arco descrito por este. Na fase de jato a equação governante do fluxo de massa é:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q) = E\rho_a - \sum_i (S_i\rho_i) \quad \text{Eq.(1)}$$

onde:

ds	o incremento ao longo do comprimento do arco do jato
ρ	a densidade do jato
$Q = \pi b^2 \left \vec{U} \right $	a vazão
b	o raio do jato
\vec{U}	a velocidade do jato
E	o entranhamento
ρ_a	densidade do ambiente
S	o coeficiente de deposição

A quantidade de movimento ao longo do eixo do jato é igual ao fluxo de fluuabilidade, mais o entranhamento de movimento, menos a taxa de deposição de movimento, mais a força de arrasto.

A taxa de mudança do fluxo de movimento pode ser descrita pela equação:

$$\frac{d}{ds}(\rho Q \vec{U}) = \pi b^2 g(\rho - \rho_a) \vec{J} + E \rho_a \vec{U}_a - \sum_i (S_i \rho_i \vec{U}) + \vec{F}_D \quad \text{Eq.(2)}$$

onde:

G	a aceleração gravitacional
\vec{J}	o vetor unitário na direção vertical
\vec{U}_a	a velocidade no ambiente
$F_D = C_D \rho_a b (U_a \sin \gamma)^2$	a força de arrasto
C_D	o coeficiente de arrasto
γ	o ângulo entre o arco do jato e o vetor velocidade ambiente

A conservação do fluxo de fluabilidade ao longo do eixo do jato pode ser equacionada da seguinte maneira: o entranhamento menos a parcela que sai da região do jato. Correspondendo a seguinte equação:

$$\frac{d}{ds}(Q(\rho_a(0) - \rho)) = E(\rho_a(0) - \rho_a) - \sum_i S_i(\rho_a(0) - \rho_i) \quad \text{Eq.(3)}$$

A taxa de variação do iésimo constituinte ao longo do eixo do jato é igual à taxa do volume do constituinte saindo da pluma por unidade de comprimento.

$$\frac{dP_i}{ds} = -S_i \quad \text{Eq.(4)}$$

Ainda nesta fase tem-se a separação de alguns componentes do efluente, estes se separam da parte principal da pluma por dois mecanismos, a velocidade de queda diferenciada ou ainda pela diferença de densidade entre o meio e efluente associada às velocidades de descarga. Essa razão entre o momentum (quantidade de movimento) da pluma e sua fluabilidade em relação ao meio é chamada de número densimétrico de Froude (Eq. 5). Para números de Froude pequenos têm-se grandes diferenças entre a densidade do efluente e do meio associadas a baixas taxas de descarga e o contrário para números de Froude grandes.

$$F_r = \frac{\left| \vec{U} \right| - \left| \vec{U}_a \right| \cos \gamma \varphi_a}{\sqrt{gb \frac{\Delta \rho}{\rho_a(0)}}} \quad \text{Eq.(5)}$$

E que o coeficiente de entranhamento é dependente;

$$C_e = \frac{0.0806 + 0.7835 \frac{\sin \varphi_a}{\eta F_r}}{1 + 5 \frac{\left| \vec{U} \right| \cos \gamma \cos \varphi_a}{\left| \vec{U} \right| - \left| \vec{U}_a \right| \cos \gamma \cos \varphi_a}} \quad \text{Eq.(6)}$$

E por fim o entranhamento que está intrinsecamente ligado ao coeficiente de entranhamento;

$$E = 2\pi b C_e \left| \left| \vec{U} \right| - \left| \vec{U}_a \right| \cos \gamma \cos \varphi_a \right| \quad \text{Eq.(7)}$$

onde:

φ_a Ângulo no plano horizontal entre a linha central do jato e o vetor velocidade ambiente.

η Constante de proporcionalidade, no caso com valor de 2.25 polegadas.

B.1.2. Fase de dispersão passiva

O esquema de dispersão utilizado nesta etapa é um modelo lagrangeano. O transporte se dá através de uma dada classe de partículas, ou fluido, que saem da fase dinâmica da pluma (fases de Jato e de Colapso), as chamadas nuvens de partículas, são perseguidas ao longo do tempo e do espaço, onde ficam a deriva da advecção e da difusão dos campos hidrodinâmicos do meio.

Para cada nuvem individual assume-se uma distribuição Gaussiana nas três dimensões. Cada uma é advectada, difundida e depositada independente do passo de tempo global, tendo relação com as correntes do ambiente, com os coeficientes de dispersão e as velocidades de decantação. O resultado é uma distribuição de nuvens de partícula variável no tempo, da qual pode-se calcular a concentração em qualquer ponto, através da soma das contribuições das nuvens.

A concentração é calculada como uma distribuição de uma nuvem Gaussiana:

$$C = \frac{m}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{Eq.(8)}$$

Onde se considera que o eixo principal da nuvem esteja alinhado com o sistema de coordenadas; e x , y , z são as coordenadas do ponto de interesse; x_0 , y_0 , z_0 são as coordenadas do centróide da nuvem; σ_x^2 , σ_y^2 , σ_z^2 são as variâncias da nuvem e m é a massa contida na nuvem.

A nuvem é advectada horizontalmente de acordo com as correntes locais. Não havendo componente vertical da advecção. A advecção da nuvem é calculada da seguinte maneira:

$$X_{novo} = X_{antigo} + u_a \Delta t \quad \text{Eq.(9)}$$

$$Z_{novo} = Z_{antigo} + w_a \Delta t \quad \text{Eq.(10)}$$

Onde X , Z são as coordenadas horizontais da nuvem, u_a , w_a são as velocidades ambientes locais e Δt é o passo de tempo. O sistema de coordenadas pode ser observado na Figura II.5.4.2- 2.

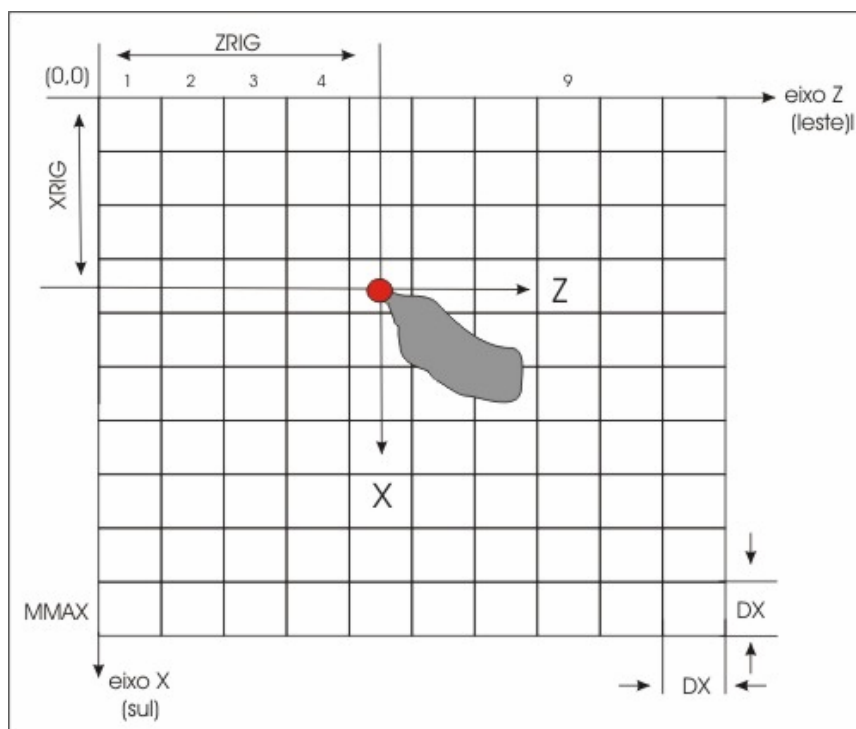


Figura II.5.4.2- 2: Sistema de coordenadas do Modelo OOC.

B.2. Condições e requisitos para a modelagem

O Modelo OOC utiliza como dados de entrada valores relacionados às características da descarga, da plataforma e variáveis ambientais. Portanto parâmetros e pré-definições devem ser estabelecidos para entrada no modelo OCC, a saber (Tabela II 5.4.2-1):

Tabela II. 5.4.2- 1: Requisitos de entrada no modelo OOC

Fase	Diâmetro da Broca (polegadas)
Profundidade(m)	Profundidade da área de interesse
Comprimento da seção (m)	Comprimento da seção de perfuração
Depositado no poço (m ³)	Volume que ficou retido no poço
Volume de cascalho/lama (m ³)	Volume da descarga
Volume de cascalho (m ³)	Volume de sólidos despejados
Volume de lama (m ³)	Volume de lama despejada
Taxa de diluição	Taxa de diluição desejada
Diâmetro da partícula de sólido (mm)	Diâmetro médio da partícula do(s) constituinte(s)
Densidade do sólido (g/cm ³)	Densidade do(s) constituinte(s)
Fração do sólido (%)	Fração do volume do(s) constituinte(s)
Densidade do Fluido (lb/gal)	Densidade do Fluido de Perfuração
Fração do Fluido (%)	Fração do volume do fluido
Duração do descarte (hora)	Tempo de duração da descarga
Altura significativa da onda (m)	Parâmetro estatístico de onda
Período (s)	Período de pico da onda significativa
Velocidade do vento (m/s)	Velocidade do vento média
Temperatura do ar (°C)	Temperatura atmosférica
Local de despejo	Localização vertical do efluente

Alguns parâmetros podem ser substituídos como é o caso do perfil de densidade do ambiente, perfis de temperatura e salinidade são parâmetros conservativos e pode-se calcular a partir destes, o perfil de densidade do meio.

A batimetria pode ser definida por um plano 2-D (X-Z), ou por uma profundidade constante especificada em pés. Perfis de velocidade e direção de corrente podem ser fornecidos com o estabelecimento das camadas de profundidades.

Especificações do estado do mar, como estabelecimento dos parâmetros altura significativa de onda, período correspondente, velocidade do vento e temperatura do ar.

Em relação aos efeitos de turbulência gerados pela plataforma, o modelo introduz flutuações aleatórias durante a dispersão. Os efeitos são calculados com base nas dimensões das estruturas da plataforma (extensão, tamanho e diâmetro das estruturas submersas e o espaçamento entre estas estruturas). Estes cálculos são feitos de forma aproximada.

C. Dados utilizados

Considerou-se como valor para o raio do emissor da descarga 12,19 cm. Nas três primeiras fases este emissor efetuou a descarga a uma profundidade de 734.87 m e nas duas últimas fases em uma profundidade de 9.63 cm. O restante das informações, para as diferentes fases, estão representadas na seção de resultados respectivos de cada fase.

As velocidades de queda das partículas (Tabela II.5.4.2- 2) foram calculadas através da lei de Rubey modificada (Equação 11)(Watson, 1969) em função dos dados referentes à granulometria, densidade e viscosidade do meio (Equação 11).

$$V = \frac{\sqrt{9Z^2\mu^2 + \frac{4}{3}WR^3(\rho_{part} - \rho_{flui})g - 3Z\mu}}{WR\rho_{flui}} \quad \text{Eq.(11)}$$

Onde:

V	Velocidade de queda (cm/s)
Z	Coeficiente de arrasto viscoso (adimensional) 0,622
W	Coeficiente de arrasto de pressão (adimensional) 0,5305
μ	Viscosidade dinâmica do meio (poise, dina-sec/cm ²)
ρ	Densidade (g/cm ³)
G	Aceleração da gravidade (980 cm/s ²)
R	Raio da partícula (cm)

Tabela II.5.4.2- 2: Classes de velocidade de decantação

Classes de diâmetro (cm)	Densidade (g/cm ³)	Veloc. de queda (cm/s)
1,27	2,10	39,95
0,889	2,10	33,40
0,635	2,10	28,1913
0,508	2,10	0,82

As velocidades de decaimento foram baseadas nas granulometrias e densidade do sedimento, a qual era igual em todas as fases. No caso da granulometria esta se baseou nas diferentes fases de perfuração, como pode ser visto na Tabela II.5.4.2-3.

Tabela II. 5.4.2- 3: Classes de granulometria para as diferentes fases de perfuração

Classes de granulometria do cascalho gerado por fase de perfuração	
Diâmetro do poço (")	Diâmetro médio do material (cm)
36	1,27
26	0,635
17 ½	0,889
12 ¼	0,635
8 ½	0,508

Em relação aos parâmetros oceanográficos; no perfil de corrente(Tabela II. 5.4.2-) foram utilizadas séries temporais, obtidas através de um correntômetro Aanderaa RCM8, fundeado em 27° 59' 24"S e 46° 20' 24"W (Muller *et al*, 1998). Este perfil de corrente é resultado de algumas estatísticas feitas a partir das médias diárias de dados do WOCE, nas profundidades de 280 à 1430 metros. Quanto aos valores de intensidade e direção da corrente nas camadas superiores, de 0 e 15 metros, foram usadas médias de dados obtidos por bóias de deriva na região, extraídos do banco de dados do projeto PNBÓIA (www.dhn.mar.mil.br/chm/pnboia/default.htm).

O dados utilizados na caracterização do perfil de salinidade e de temperatura (Tabela II.5.4.2-5) representam uma média de medições, disponíveis no BNDO

(Banco Nacional de Dados Oceanográficos) da Marinha do Brasil, para o mês de junho e na região oceânica da Bacia de Santos (Figura II.5.4.2-3).

Tabela II. 5.4.2- 4: Valores de intensidade e direção de corrente

profundidade (m)	Velocidade (cm/s)	Direção (°)
0	21,0	225
15	21,0	225
280	10,3	214
530	7,9	218
930	3,7	218
1430	3,2	202
1910	3,2	202

Tabela II. 5.4.2- 5: Valores de temperatura e salinidade

Profundidade (m)	Temperatura (°C)	Salinidade
0	23,0	36,5
200	17,0	35,2
400	13,0	35,0
600	7,5	34,5
800	4,8	34,2
1000	3,8	34,25
1200	3,2	34,5
1400	3,5	34,7
1600	3,8	34,9
1800	3,9	34,95
1910	3,9	35,0

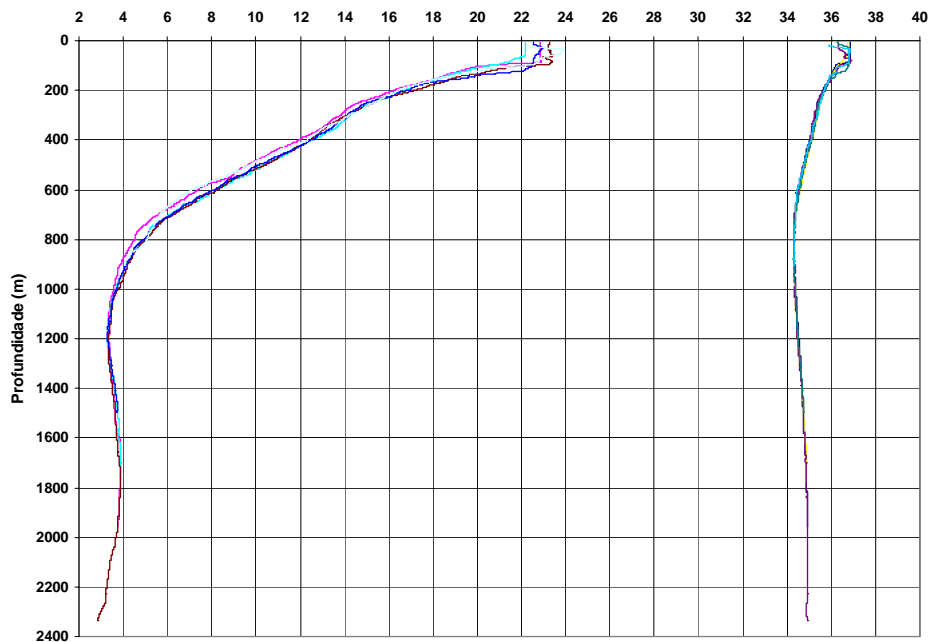


Figura II.5.4.2- 3: Diagramas T-S para o mês de junho, na região oceânica da Bacia de Santos.

As condições de estado do mar e vento foram consideradas como sendo as predominantes na região, segundo Violante-Carvalho (1998), como altura significativa de onda utilizamos 1,8 metro e um período de 10 segundos. Em relação ao vento, foi utilizada uma intensidade de 5,77 m/s e quanto a temperatura do ar, consideramos 28° C.

D. Resultados

D.1. Fase de perfuração de 36” de diâmetro

Nesta fase o efluente de cascalho/lama de perfuração foi modelado com uma vazão de 54,41 m³/h, constituído de uma fração sólida com densidade de 2,10 g/cm³ com diâmetro de grão em torno de 1,27 cm, correspondendo a 2,75% do volume de descarga. Já a fração fluída apresentou densidade de 1,024 g/cm³, perfazendo 97,25% do volume de descarga. A densidade média da descarga destes dois componentes foi de 1,054 g/cm³. O descarte foi realizado próximo ao

fundo, sob uma lâmina d'água de aproximadamente 1910 metros, com duração de 24 horas.

A massa despejada foi de 1.377.301,33 Kg ou 3.036.426,07 lbs e a massa acumulada no fundo totalizou 103.703,92 Kg ou 228.628 lbs. Portanto, a proporção da massa acumulada no fundo foi de 7,53%, o restante depositou-se fora da área de interesse ou é composta por um material mais fino de decantação mais longa.

A seguir, serão apresentados mapas de concentração de sólidos no fundo, da espessura destes depósitos no fundo (em vista planar e lateral) e as concentrações dos sólidos na coluna d'água (em vista longitudinal e radial), em diferentes instantes do processo de descarte.

As análises dos mapas a seguir foram feitas, levando-se em conta os limites de 1g (0,001 Kg) para os resultados de concentração no fundo e para a espessura dos depósitos adotou-se o limite de 0,01 mm (0,001 cm).

D.1.1. Concentração de sólidos combinados na coluna de água

A concentração máxima observada no perfil longitudinal é de aproximadamente 100 mg/l, a qual é observada até uma distância de cerca de 1 m do ponto de descarte, tendendo a diminuir a partir desta (Figura II.5.4.2–4).

Uma característica que pode ser normalmente observada através das seções longitudinais é a segmentação da pluma devido à composição variada, tanto a diferença de densidade quanto a velocidade de queda diferenciada de cada fração influenciam nestas separações. Nesta fase, este processo não pode ser claramente observado uma vez que o descarte é feito no fundo.

No perfil radial a concentração máxima é de aproximadamente 60 mg/l, sendo esta localizada abaixo da profundidade de 1900 m (Figura II.5.4.2-5).

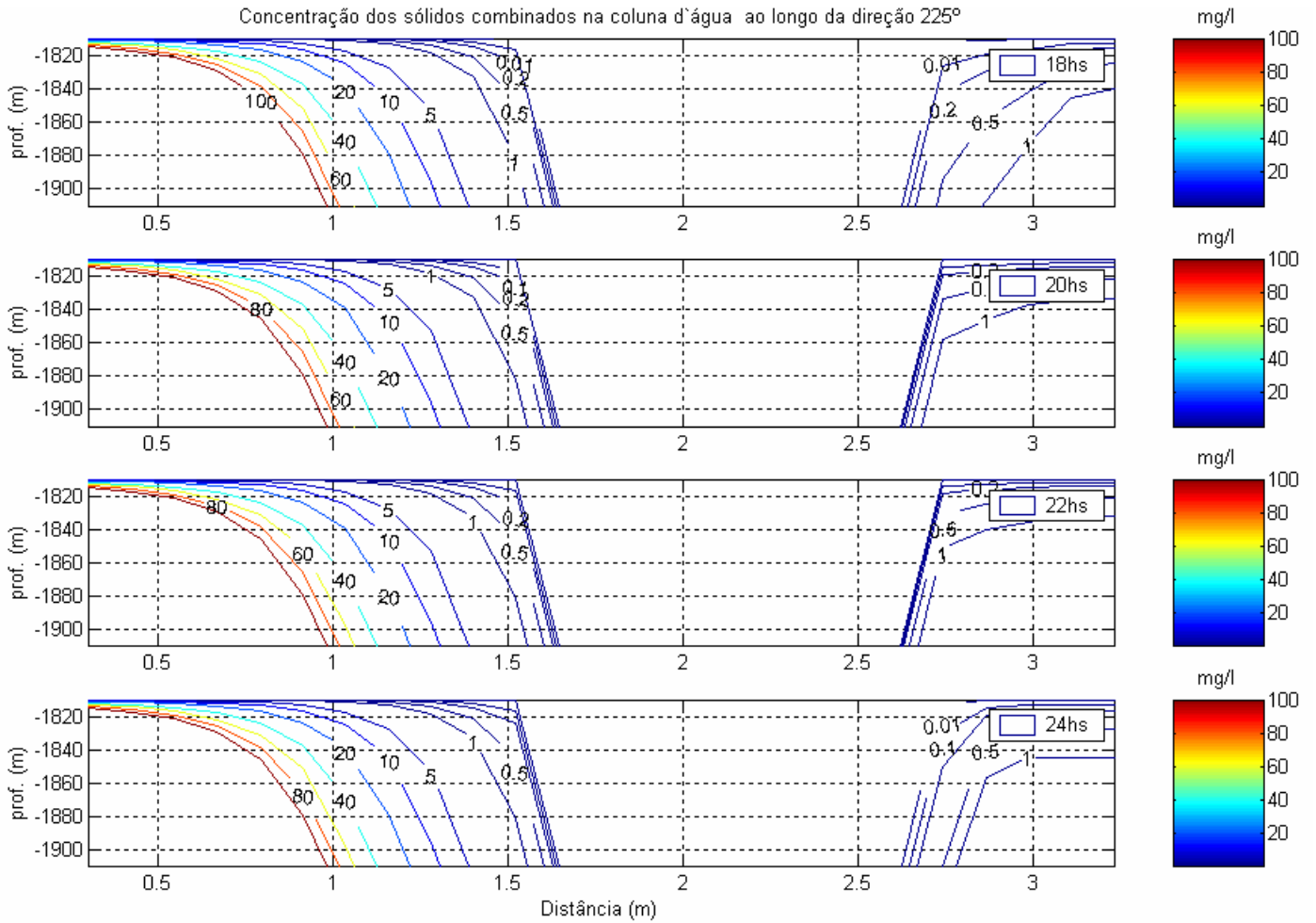


Figura II.5.4.2- 4: Vista longitudinal da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 18, 20, 22 e 24 horas após o descarte.

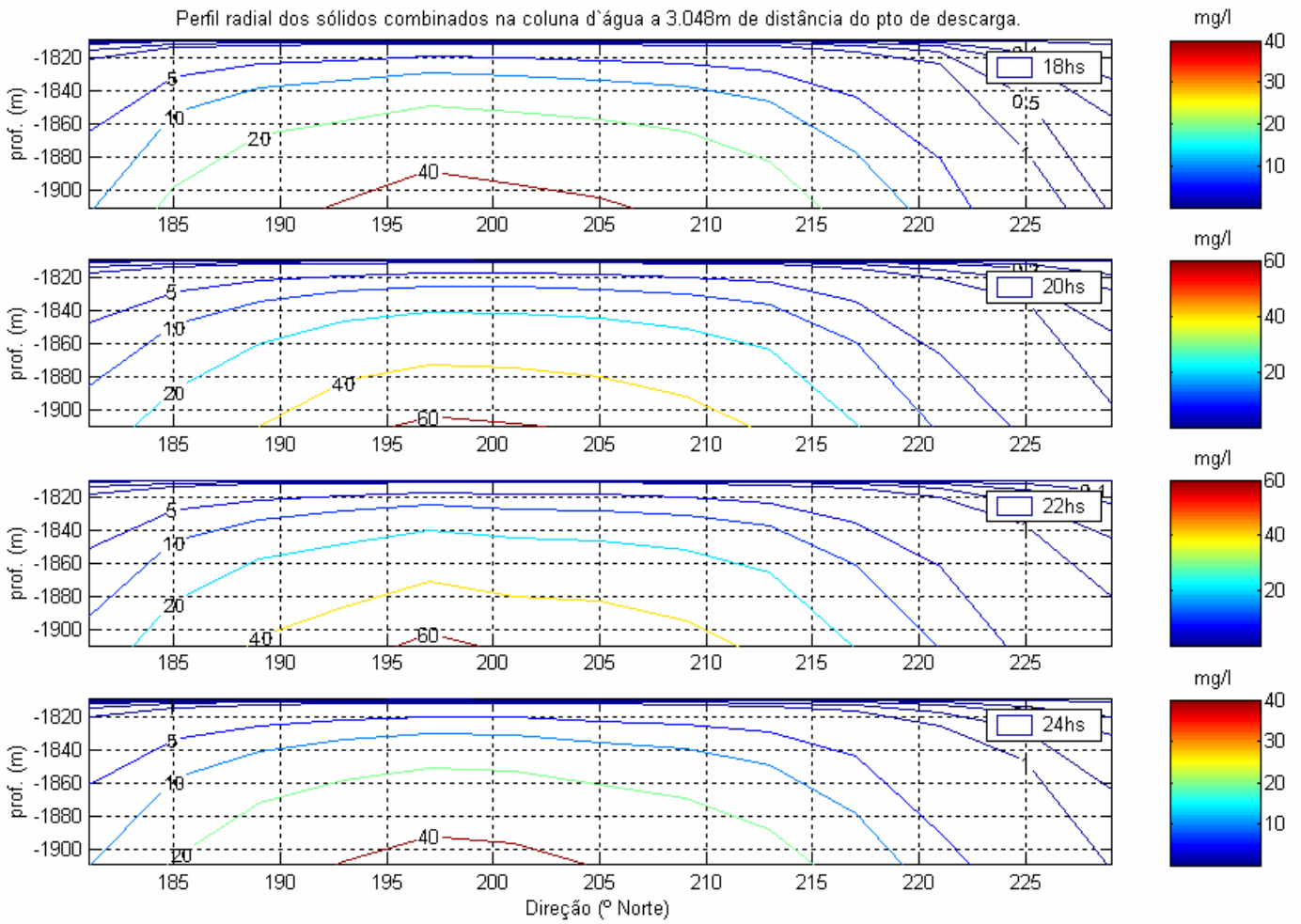


Figura II.5.4.2- 5: Vista radial da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 18, 20, 22 e 24 horas após o descarte e a 205° deste ponto .

D.1.2. Concentração e espessura de sólidos combinados no fundo

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 22 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $49.860,41 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-6).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 22 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001\text{cm}$ apresenta uma área de $35.082,59 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-9) e este depósito chega aproximadamente a $3,0 \text{ cm}$ de altura (Figura II.5.4.2-12).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 24 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $50.348,64 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-7).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 24 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001\text{cm}$ apresenta uma área de $35.607,56 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-10) e este depósito chega aproximadamente a $3,5 \text{ cm}$ de altura (Figura II.5.4.2-13).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 26 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $50.370,82 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-8).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 26 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001\text{cm}$ apresenta uma área de $35.620,90 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-11) e este depósito chega aproximadamente a $3,5 \text{ cm}$ de altura (Figura II.5.4.2-14).

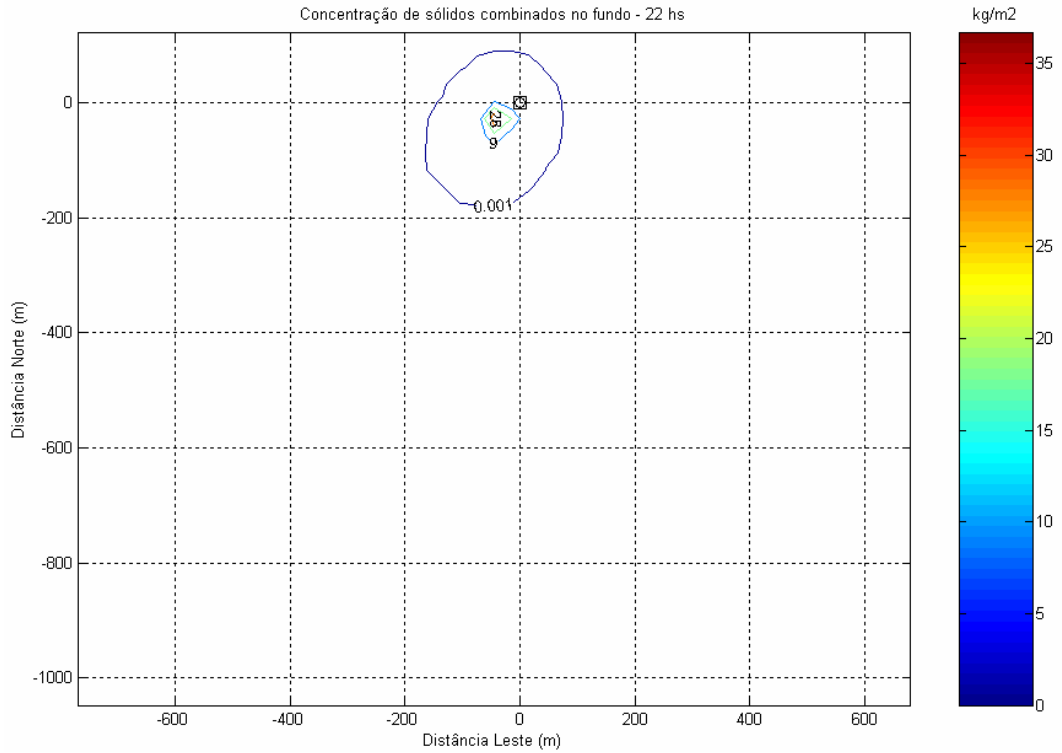


Figura II.5.4.2- 6: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 22 horas após o descarte

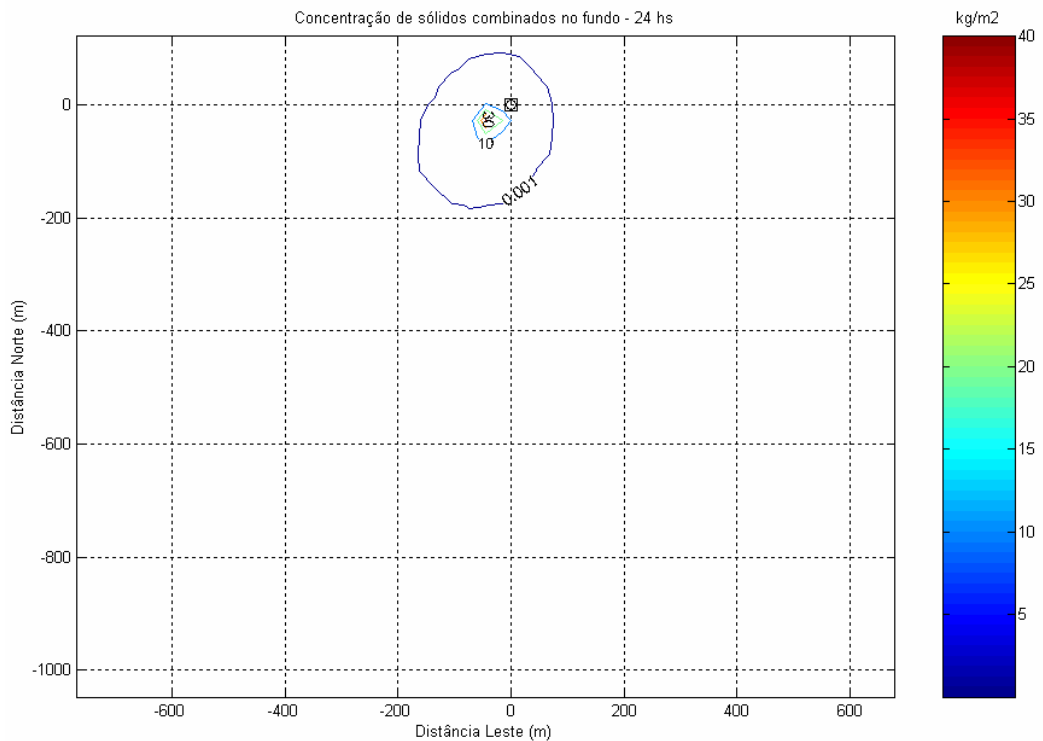


Figura II.5.4.2- 7: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 24 horas após o descarte.

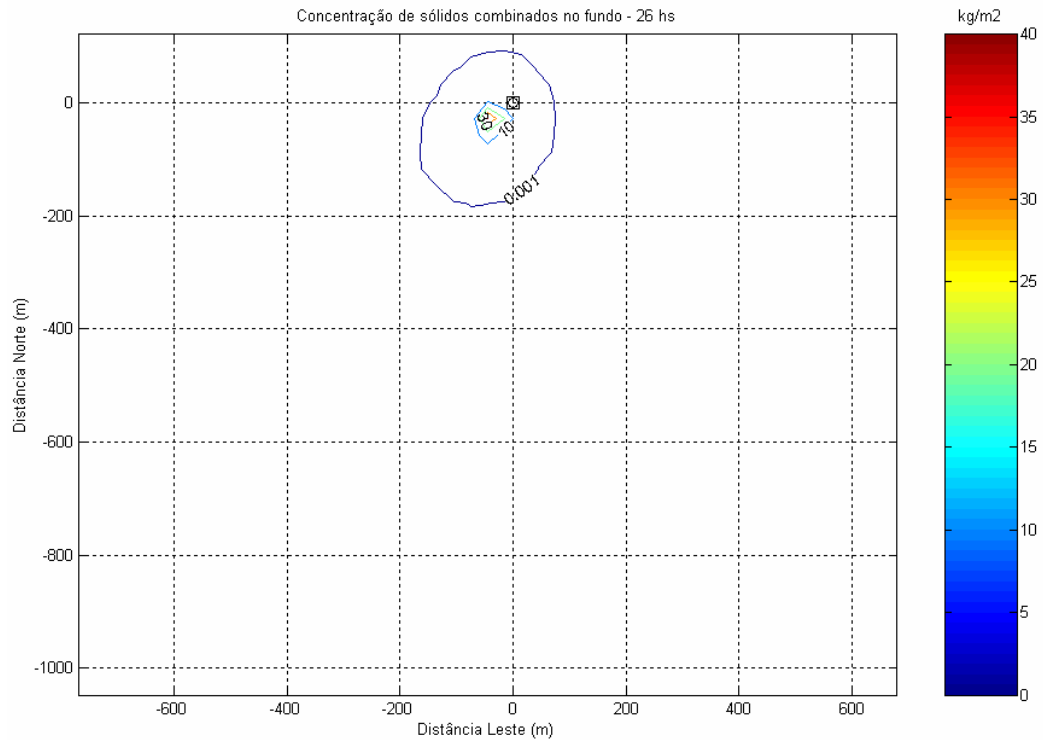


Figura II.5.4.2- 8: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 26 horas após o descarte.

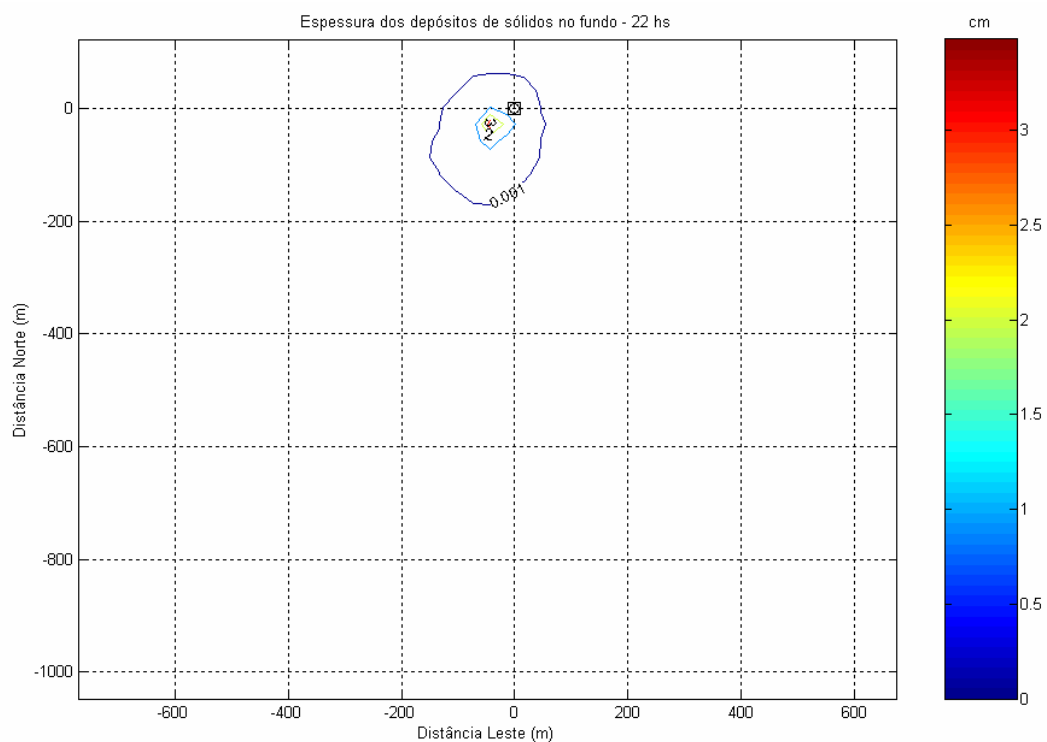


Figura II.5.4.2- 9: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 22 horas após o descarte.

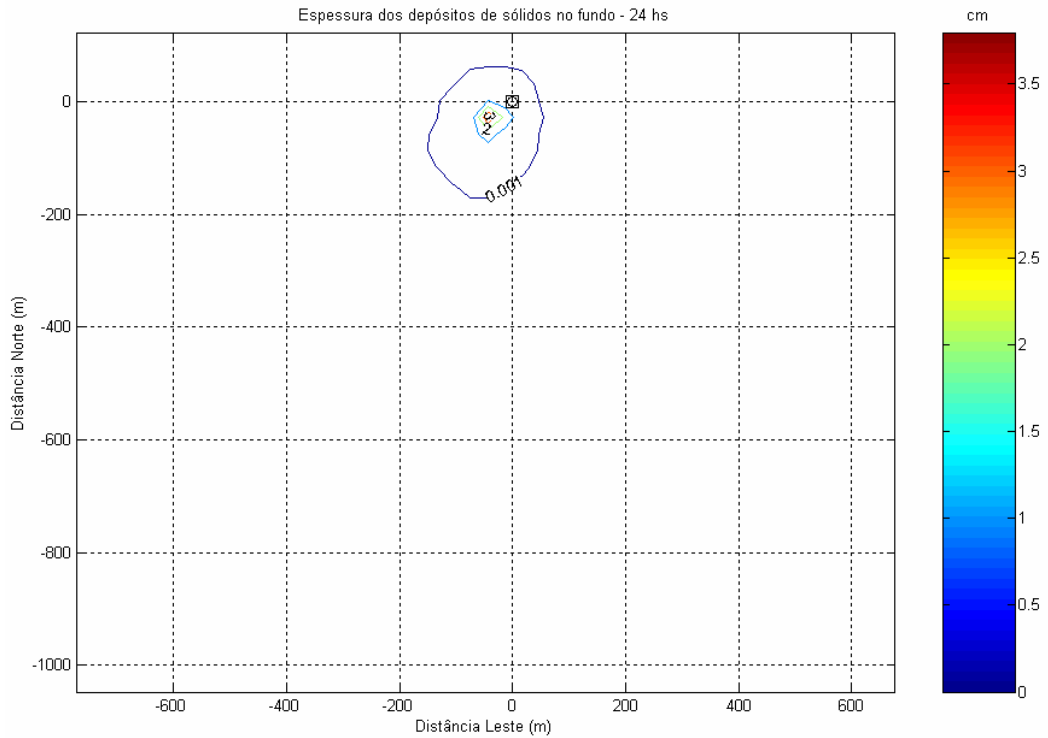


Figura II.5.4.2- 10: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 24 horas após o descarte

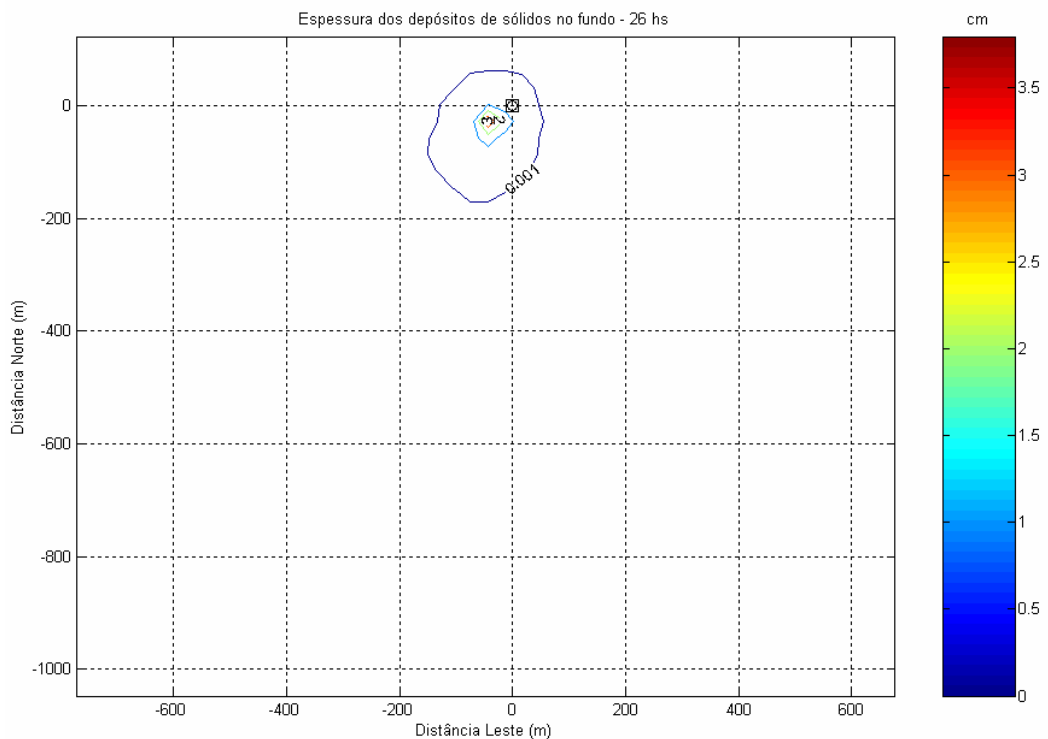


Figura II.5.4.2- 11: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 26 horas após o descarte.

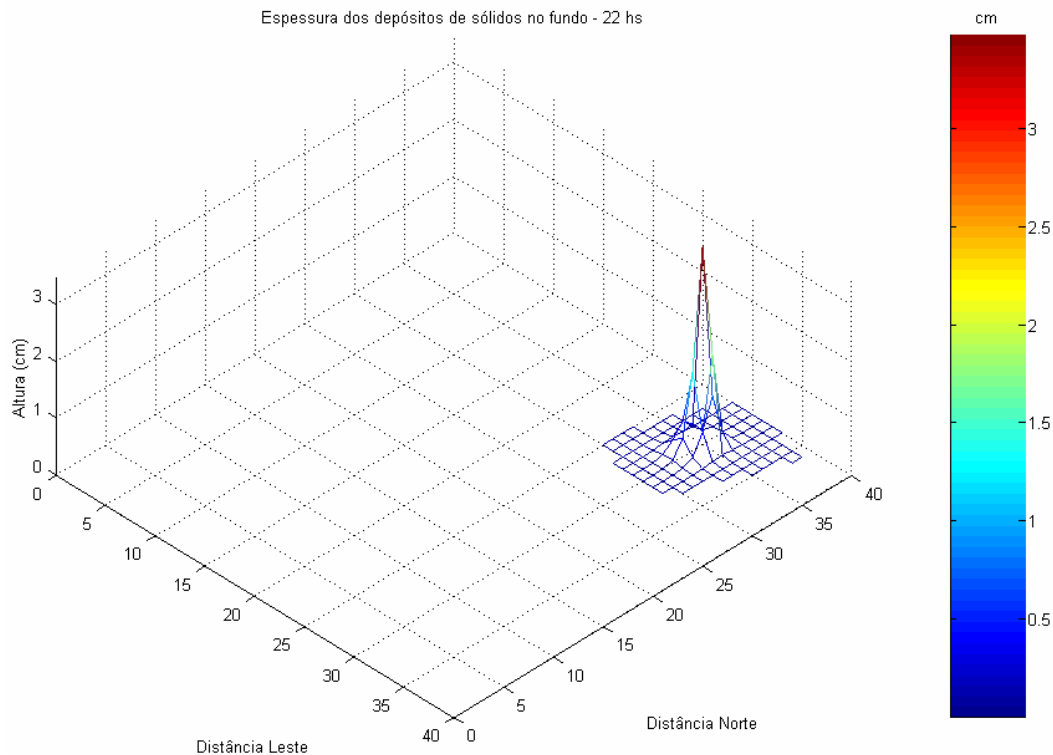


Figura II.5.4.2- 12: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 22 horas após o descarte.

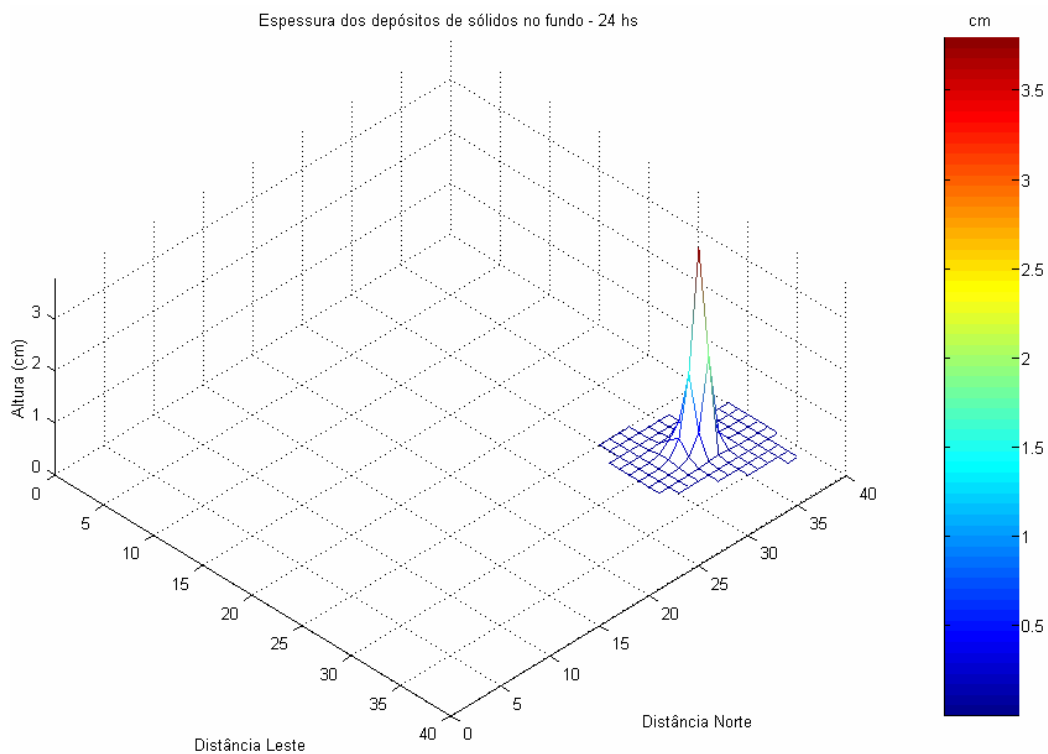


Figura II.5.4.2-13: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 24 horas após o descarte.

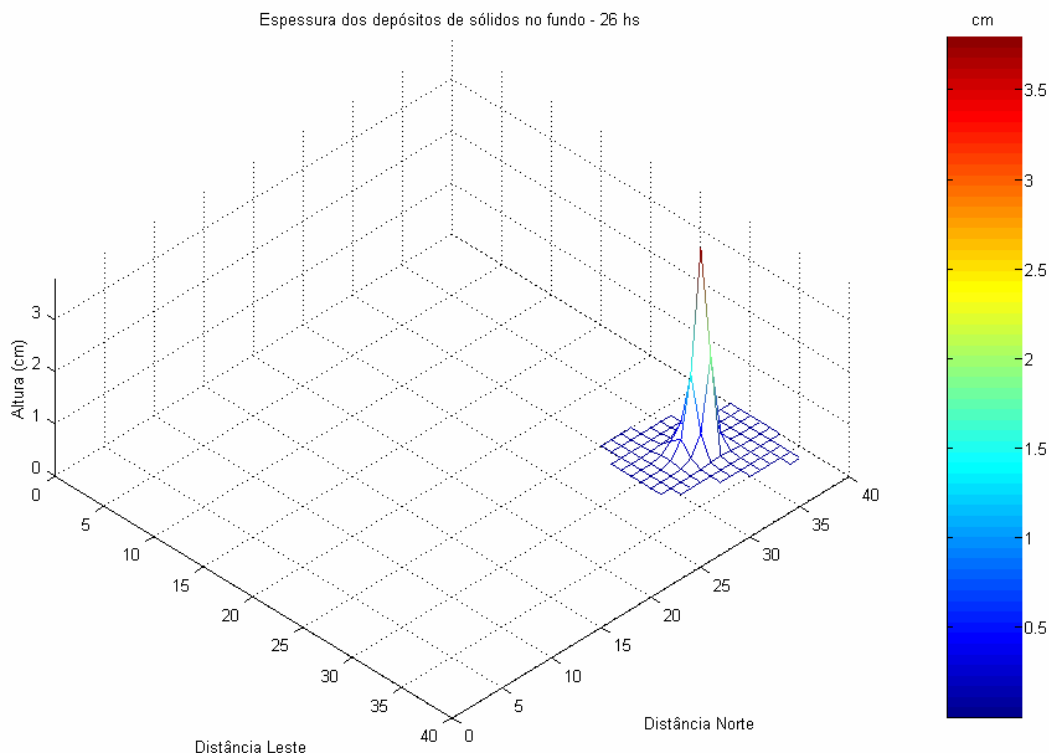


Figura II.5.4.2- 14: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 26 horas após o descarte.

D.2. Fase de perfuração de 26" de diâmetro

Nesta fase o efluente de cascalho/lama de perfuração foi modelado com uma vazão de $19,083 \text{ m}^3/\text{h}$, constituído de um sólido de densidade igual a $2,10 \text{ g/cm}^3$ (Tabela II.5.4.2-2), com diâmetro de grão em torno $0,635 \text{ cm}$, corresponde a 38,8% do volume de descarga. A fração fluída apresentou densidade de $1,16 \text{ g/cm}^3$, perfazendo 61,2% do volume de descarga. A densidade média da descarga destes dois componentes foi de $1,524 \text{ g/cm}^3$. O descarte foi realizado novamente próximo ao fundo, sob uma lâmina d'água de aproximadamente 1910 metros, com duração de aproximadamente 24 horas.

A massa despejada foi de 697.981,11 Kg ou 1.538.783,13 lbs e a massa acumulada no fundo totalizou 51.311,73 Kg ou 113.123 lbs. Portanto, a proporção da massa acumulada no fundo foi de 7,35%, o restante depositou-se fora da área de interesse ou é composta por um material mais fino de decantação mais longa.

A seguir, serão apresentados mapas de concentração de sólidos no fundo, da espessura destes depósitos no fundo (em vista planar e lateral) e as concentrações dos sólidos na coluna d'água (em vista longitudinal e radial), em diferentes instantes do processo de descarte.

As análises dos mapas a seguir foram feitas, levando-se em conta os limites de 1g (0,001 Kg) para os resultados de concentração no fundo, e para a espessura dos depósitos adotou-se o limite de 0,01 mm (0,001 cm).

D.2.1. Concentração de sólidos combinados na coluna de água

A concentração máxima observada no perfil longitudinal é de aproximadamente 100 mg/l, a qual é observada até uma distância de cerca de 65 cm do ponto de descarte, tendendo a diminuir a partir desta (Figura II.5.4.2-15).

Uma característica que pode ser normalmente observada através das seções longitudinais é a segmentação da pluma devido à composição variada, tanto a diferença de densidade quanto a velocidade de queda diferenciada de cada fração influenciam nestas separações. Nesta fase, este processo não pode ser claramente observado uma vez que o descarte é feito no fundo.

No perfil radial a concentração máxima é de aproximadamente 100 mg/l e está localizada abaixo de 1880 m de profundidade (Figura II.5.4.2-16).

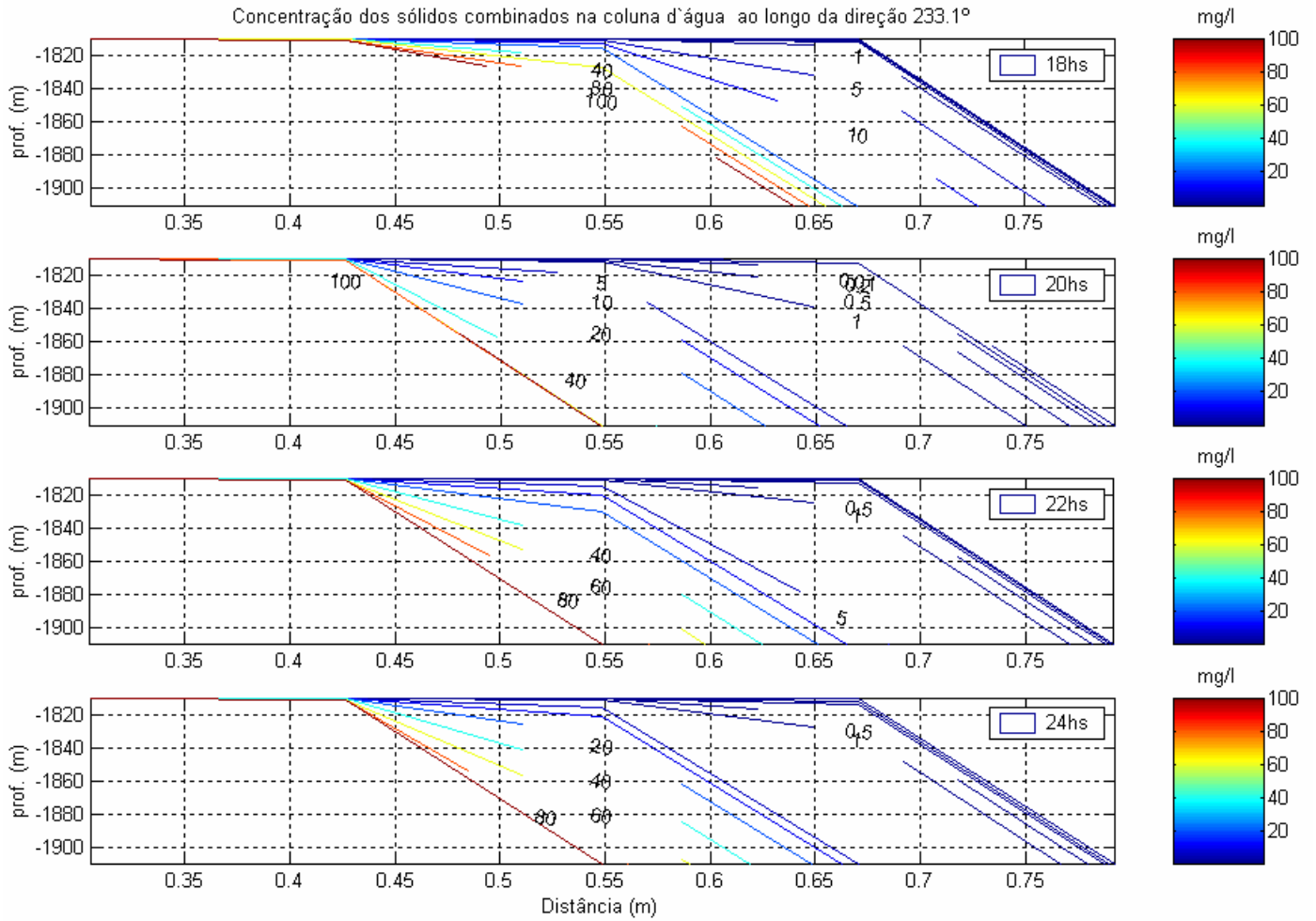


Figura II.5.4.2- 15: Vista longitudinal da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 18, 20, 22 e 24 horas após o descarte.

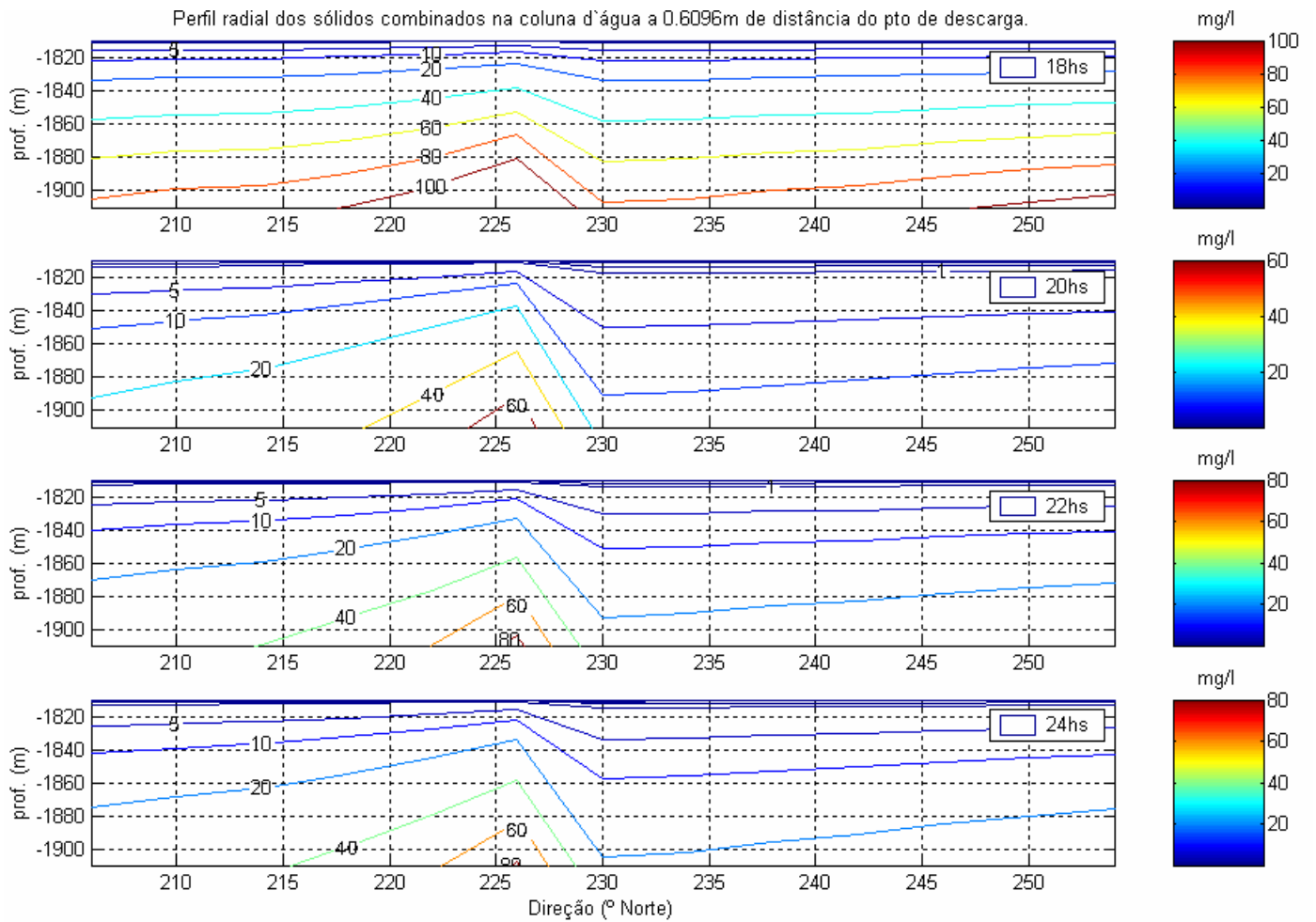


Figura II.5.4.2-16: Vista radial da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 18, 20, 22 e 24 horas após o descarte e a 243° deste ponto .

D.2.2. Concentração e espessura de sólidos combinados no fundo

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 22 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $46.521,14 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-17).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 22 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ cm}$ apresenta uma área de $36.174,20 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-20) e este depósito chega aproximadamente a 10 cm de altura (Figura II.5.4.2-23).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 24 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $46.692,39 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-18).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 24 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ cm}$ apresenta uma área de $36.668,56 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-21) e este depósito chega aproximadamente a 12 cm de altura (Figura II.5.4.2-24).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 26 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $46.692,46 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-19).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 26 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ cm}$ apresenta uma área de $36.668,70 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-22) e este depósito chega aproximadamente a 12 cm de altura (Figura II.5.4.2-25).

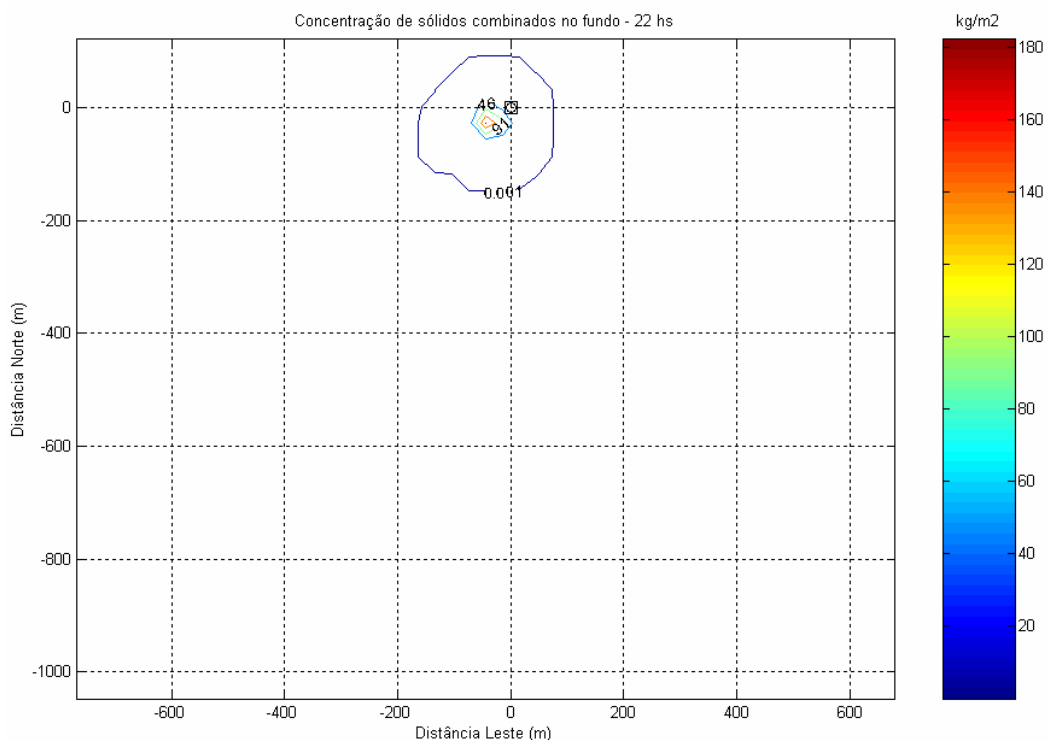


Figura II.5.4.2- 17: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 22 horas após o descarte.

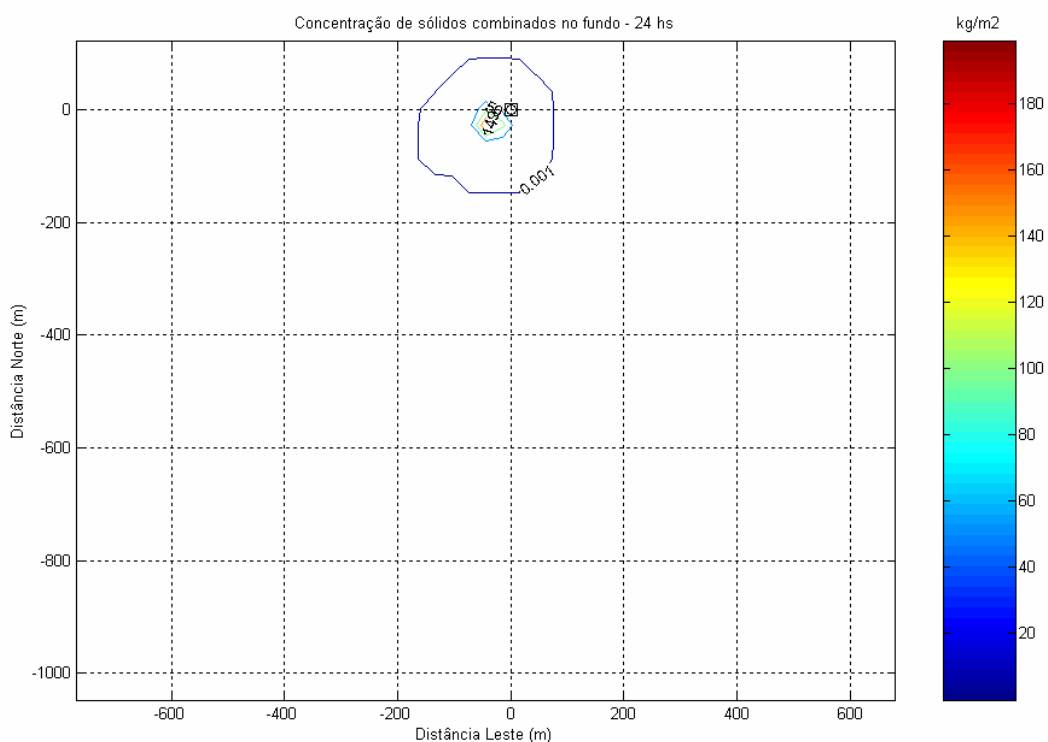


Figura II.5.4.2- 18: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 24 horas após o descarte

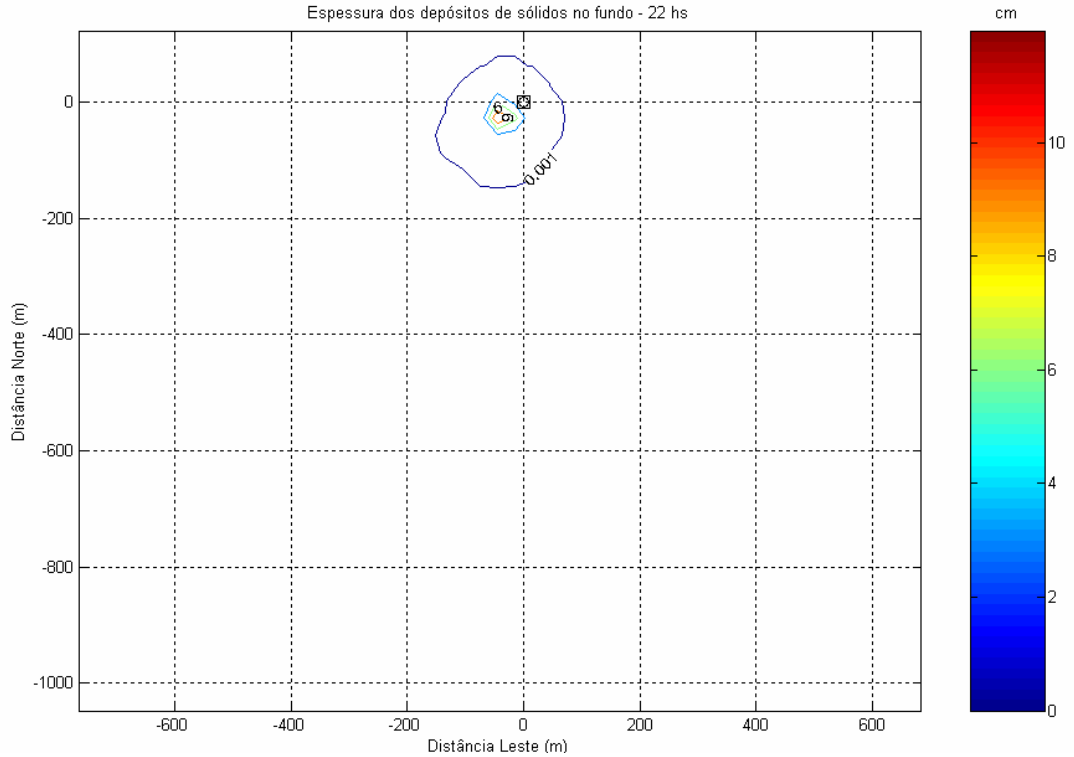


Figura II.5.4.2- 19: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 26 horas após o descarte.

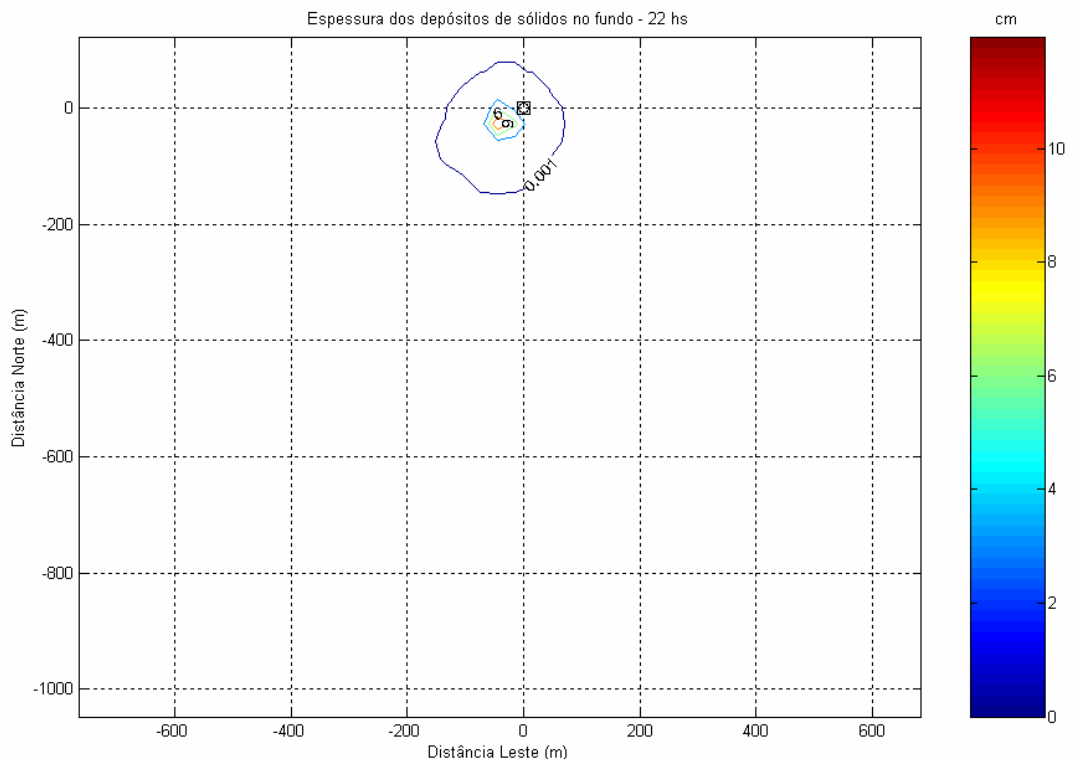


Figura II.5.4.2- 20: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 22 horas após o descarte.

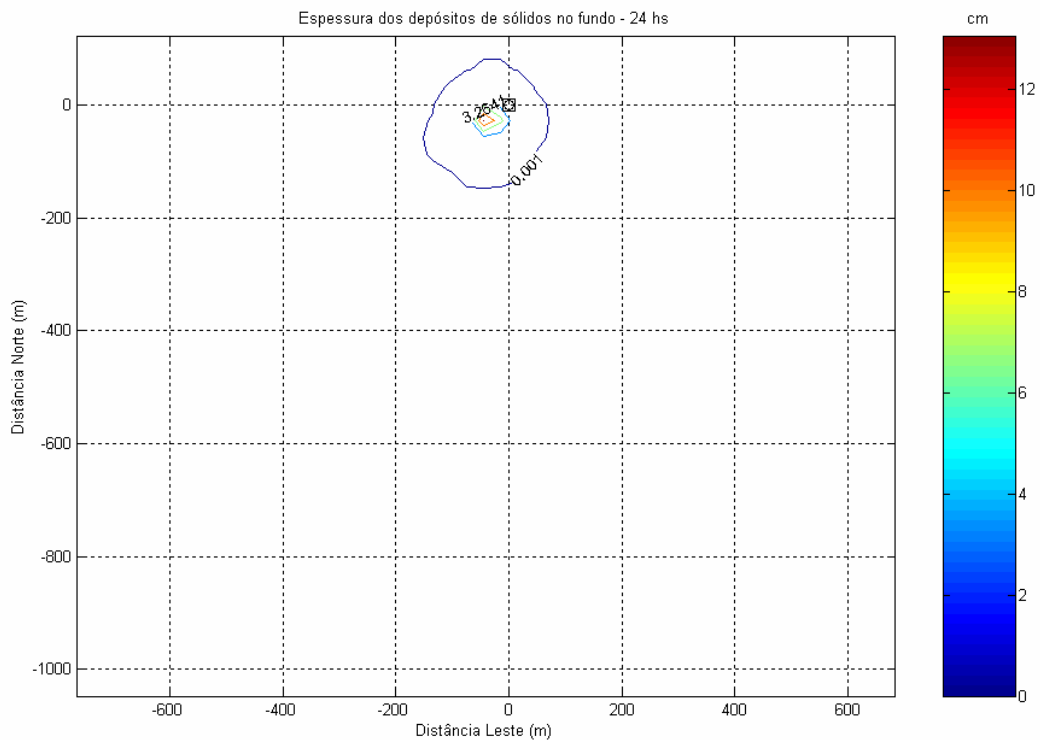


Figura II.5.4.2- 21: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 24 horas após o descarte.

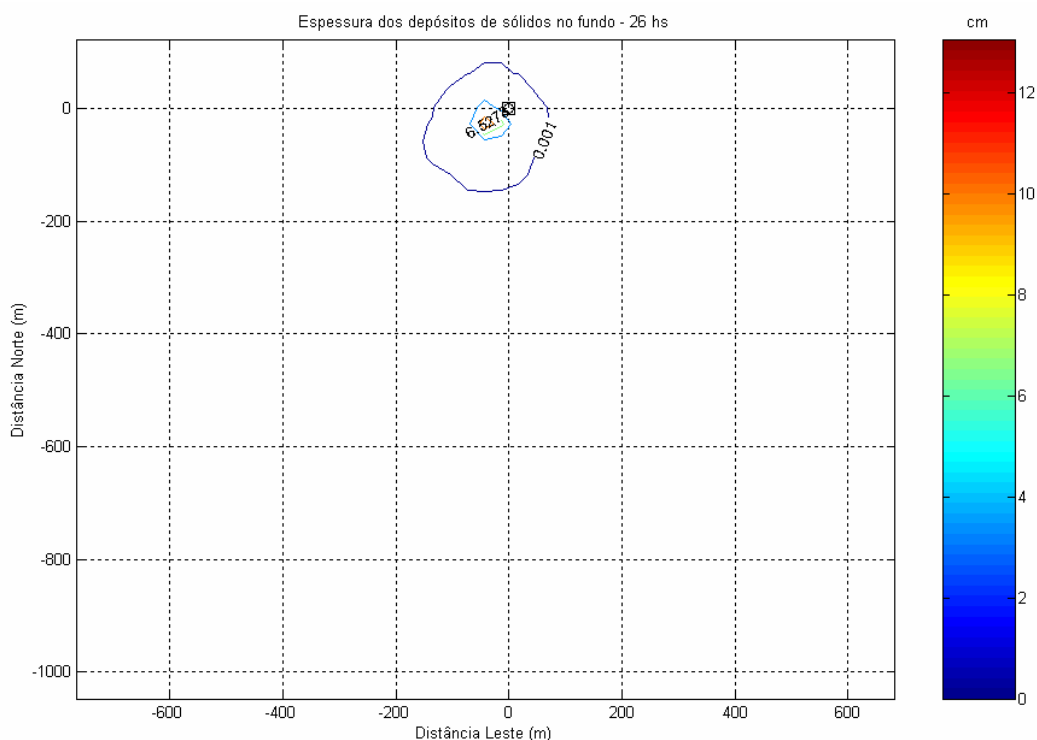


Figura II.5.4.2-22: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 26 horas após o descarte

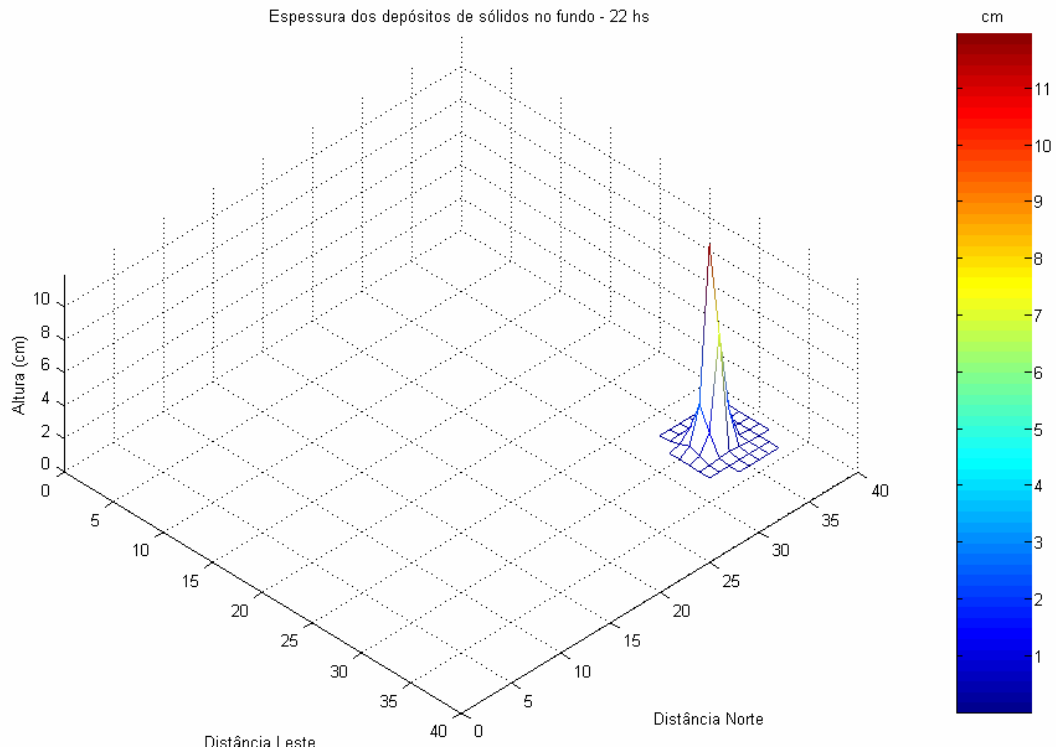


Figura II.5.4.2-23: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 22 horas após o descarte.

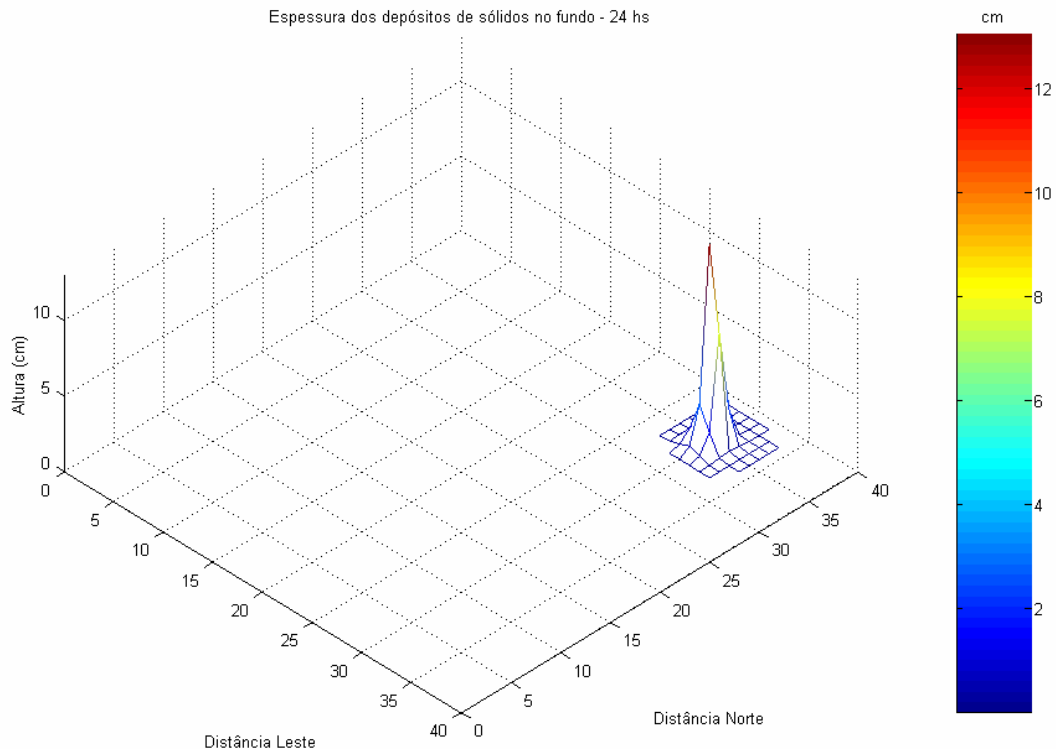


Figura II.5.4.2-24: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 24 horas após o descarte.

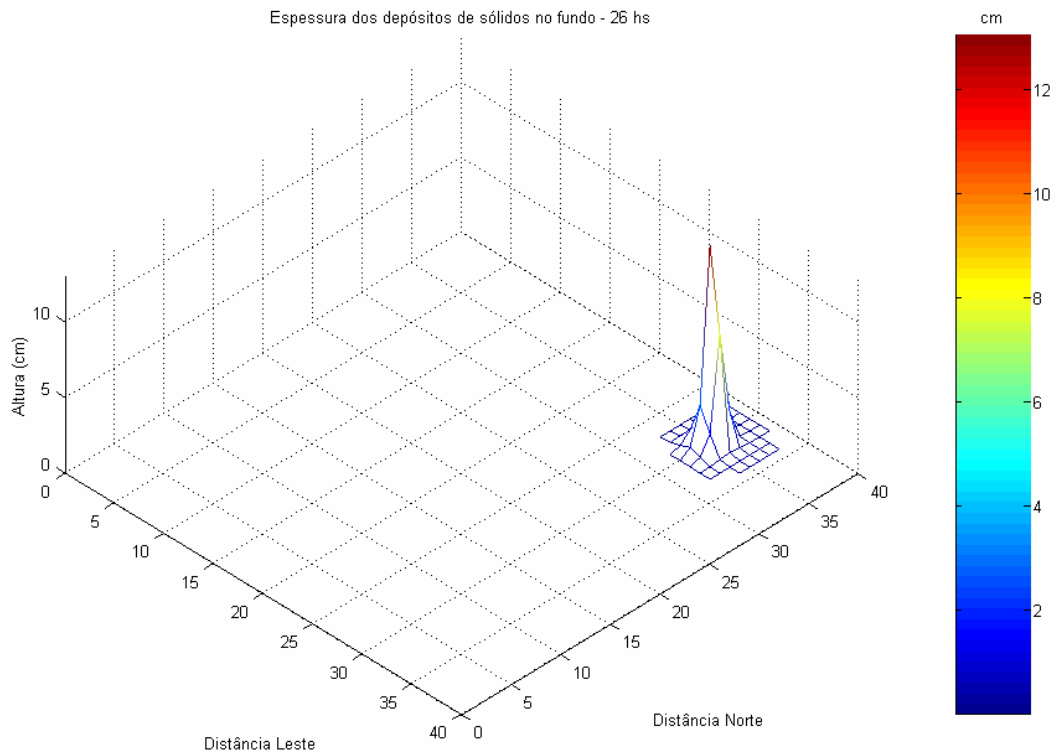


Figura II.5.4.2- 25: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 26 horas após o descarte.

D.3. Fase de perfuração de 17 ½” de diâmetro

Nesta fase o efluente de cascalho/lama de perfuração foi modelado com uma vazão de 5,305 m³/h, constituído de um sólido de densidade igual a 2,10 g/cm³ (Tabela II.5.4.2-2), com diâmetro de grão em torno 0,889 cm, corresponde a 52,8% do volume de descarga. A fração fluída apresentou densidade de 1,198 g/cm³, perfazendo 47,2% do volume de descarga. A densidade média da descarga destes dois componentes foi de 1,674 g/cm³. O descarte foi realizado próximo à superfície, com duração de aproximadamente 72 horas.

A massa despejada foi de 639.856,27 Kg ou 1.410.639,94 lbs e a massa acumulada no fundo totalizou 58.239,45 Kg ou 128.396 lbs. Portanto, a proporção da massa acumulada no fundo foi de 9,1%, o restante depositou-se fora da área de interesse ou é composta por um material mais fino de decantação mais longa.

A seguir, serão apresentados mapas de concentração de sólidos no fundo, da espessura destes depósitos no fundo (em vista planar e lateral) e as concentrações dos sólidos na coluna d'água (em vista longitudinal e radial), em diferentes instantes do processo de descarte.

As análises dos mapas a seguir foram feitas, levando-se em conta os limites de 1g (0,001 Kg) para os resultados de concentração no fundo, e para a espessura dos depósitos adotou-se o limite de 0,01 mm (0,001 cm).

D.3.1. Concentração de sólidos combinados na coluna de água

A concentração máxima observada no perfil longitudinal é de aproximadamente 0,2 mg/l, a qual é observada até uma distância de cerca de 400 m do ponto de descarte, tendendo a diminuir a partir desta (Figura II.5.4.2-26).

Uma característica que pode ser normalmente observada através das seções longitudinais é a segmentação da pluma devido à composição variada, tanto a diferença de densidade quanto a velocidade de queda diferenciada de cada fração influenciam nestas separações. Nesta fase, este processo não pode ser claramente observado uma vez que o descarte é feito no fundo.

No perfil radial a concentração máxima é de aproximadamente 5 mg/l, entre a superfície e a profundidade de 500 metros (Figura II.5.4.2-27)

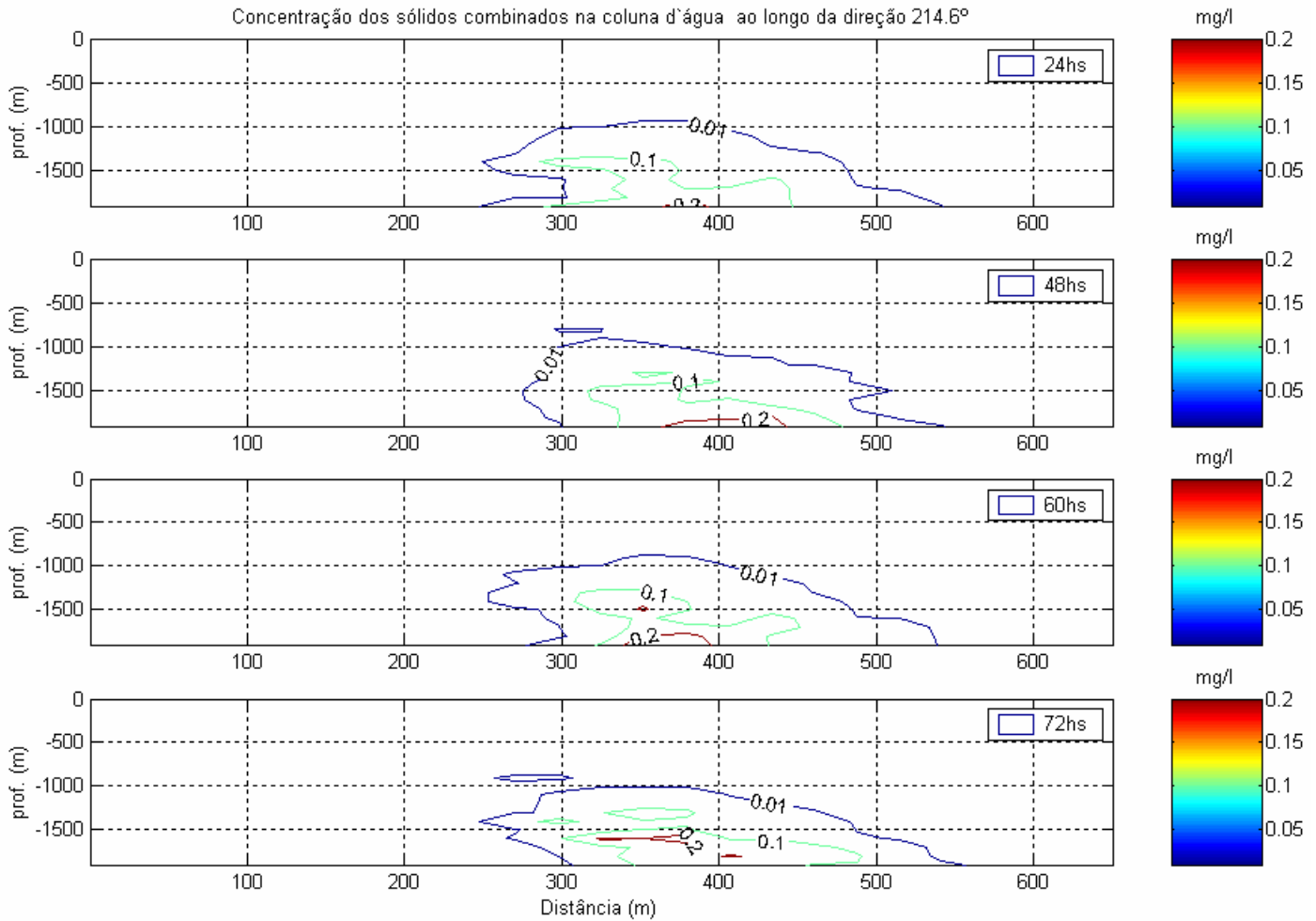


Figura II.5.4.2- 26: Vista longitudinal da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 24, 48, 60 e 72 horas após o descarte.

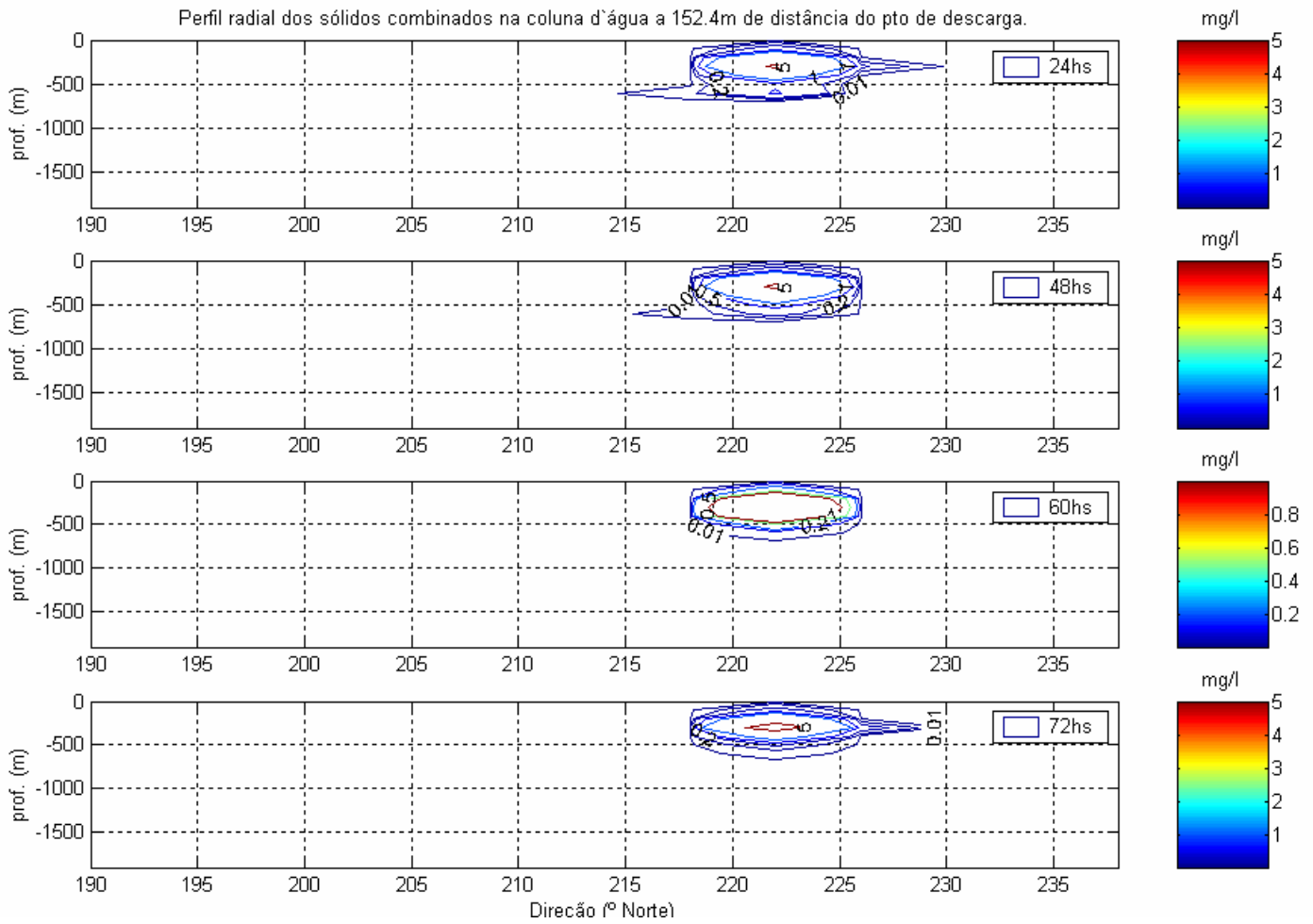


Figura II.5.4.2- 27: Vista radial da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 24, 48, 60 e 72 horas após o descarte e a 214^o deste ponto .

D.3.2. Concentração e espessura de sólidos combinados no fundo

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 48 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de 0,001 Kg/m² apresenta uma área de 391.540,10 m² (Figura II.5.4.2-28).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 48 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de 0,001cm apresenta uma área de 248.472,38 m² (Figura II.5.4.2-34) e este depósito chega aproximadamente a 0,8 cm de altura (Figura II.5.4.2-40).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 72 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de 0,001 Kg/m² apresenta uma área de 414.553,83 m² (Figura II.5.4.2-29).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 72 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de 0,001cm apresenta uma área de 269.061,07 m² (Figura II.5.4.2-35) e este depósito chega aproximadamente a 1,2 cm de altura (Figura II.5.4.2-41).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 84 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de 0,001 Kg/m² apresenta uma área de 416.545,83 m² (Figura II.5.4.2-30).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 84 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de 0,001cm apresenta uma área de 270.652,04 m² (Figura II.5.4.2-36) e este depósito chega aproximadamente a 1,2 cm de altura (Figura II.5.4.2-42).

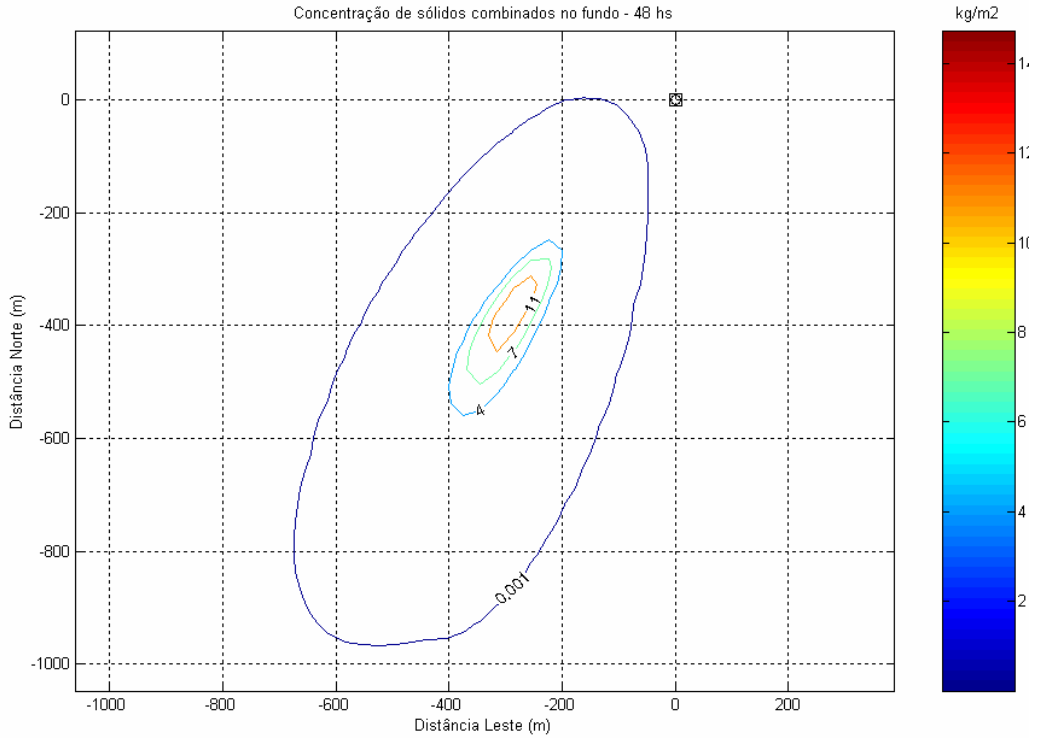


Figura II.5.4.2- 28: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 48 horas após o descarte.

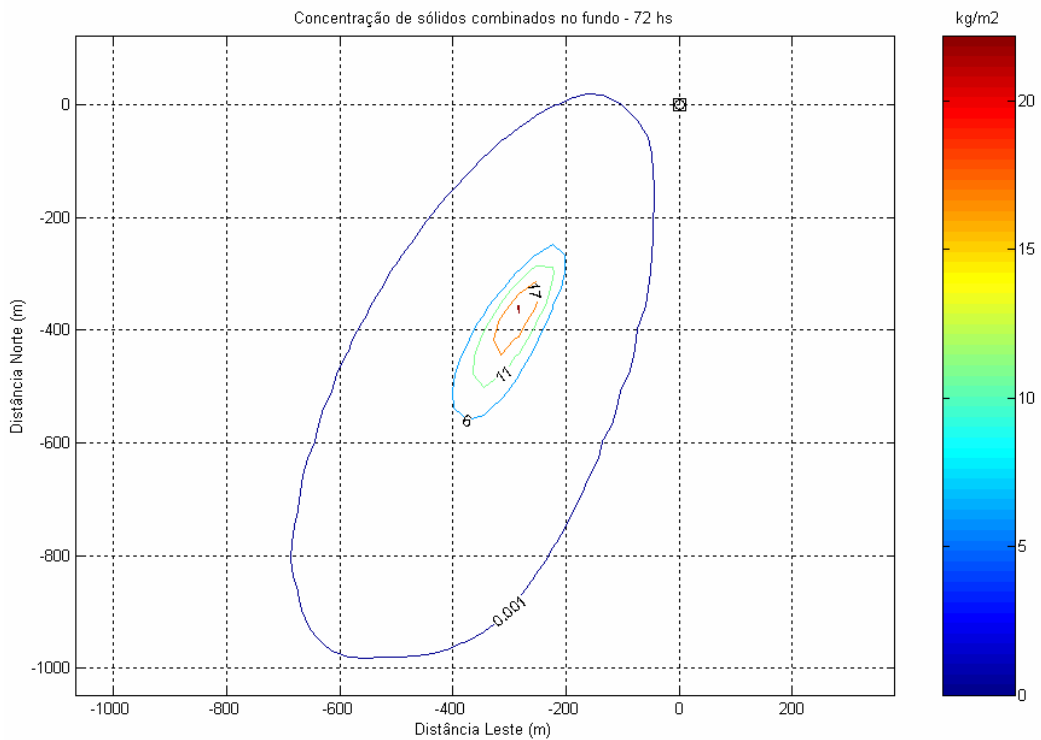


Figura II.5.4.2-29: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 72 horas após o descarte.

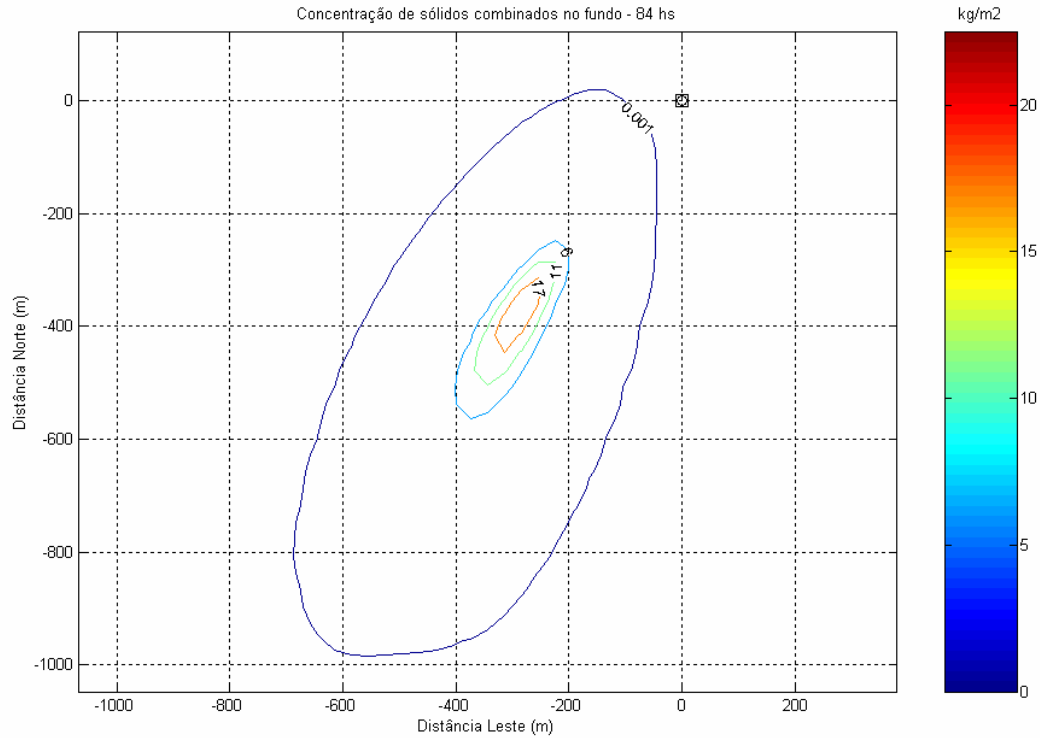


Figura II.5.4.2-30: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 84 horas após o descarte.

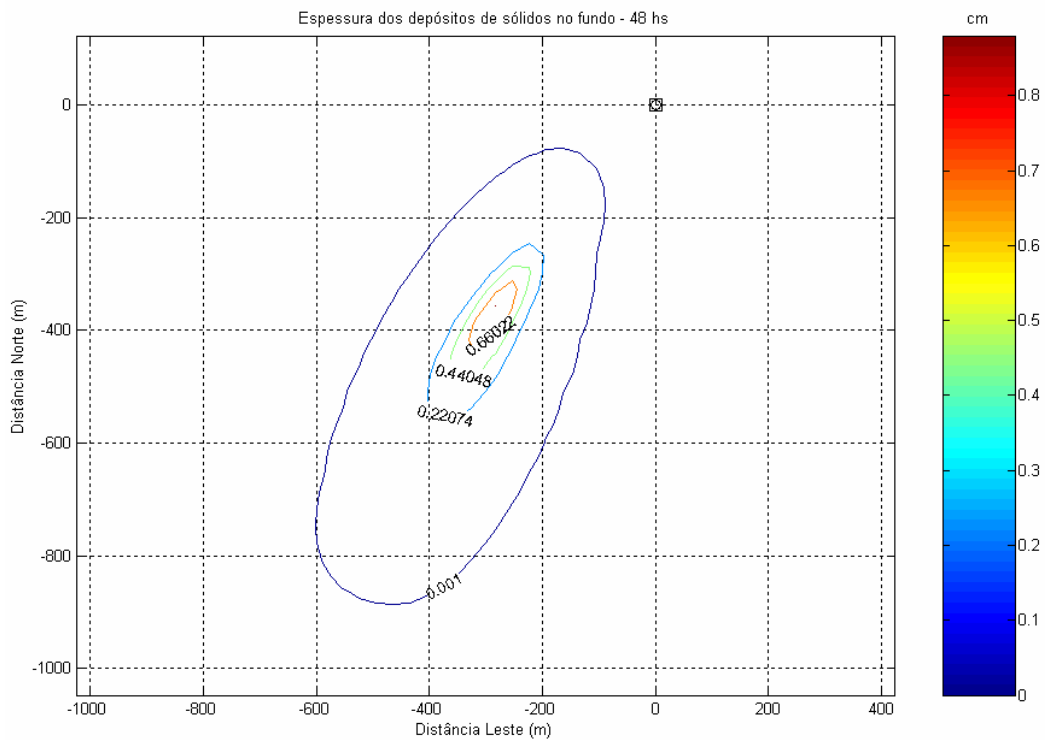


Figura II.5.4.2- 31: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 48 horas após o descarte.

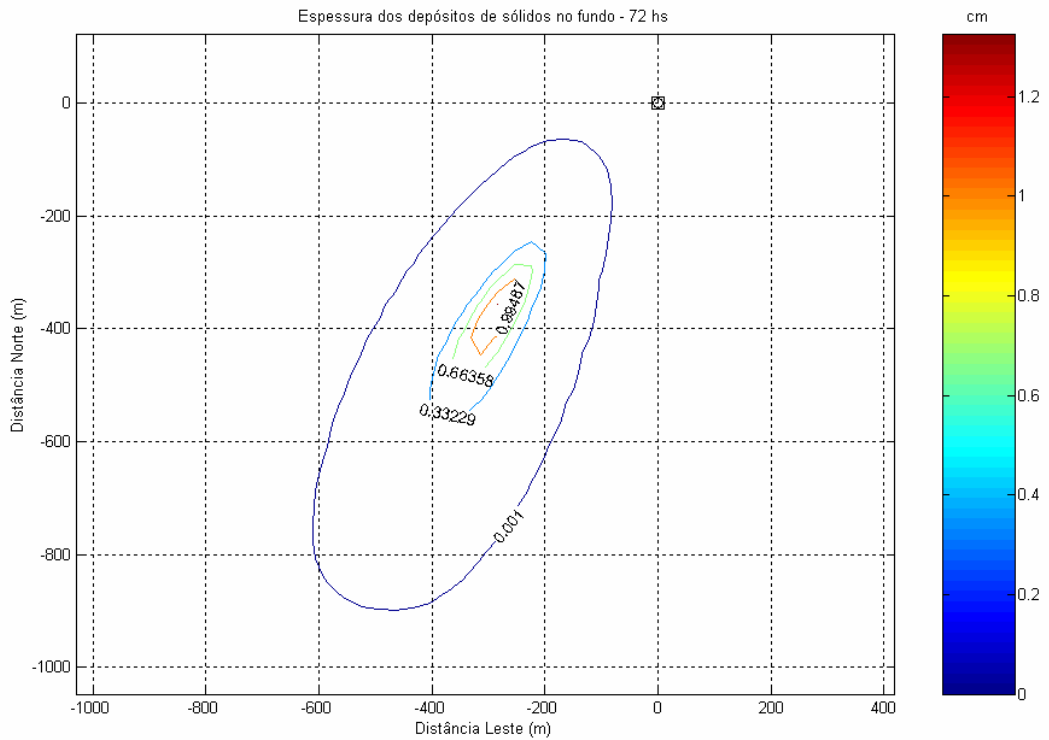


Figura II.5.4.2- 32: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 72 horas após o descarte.

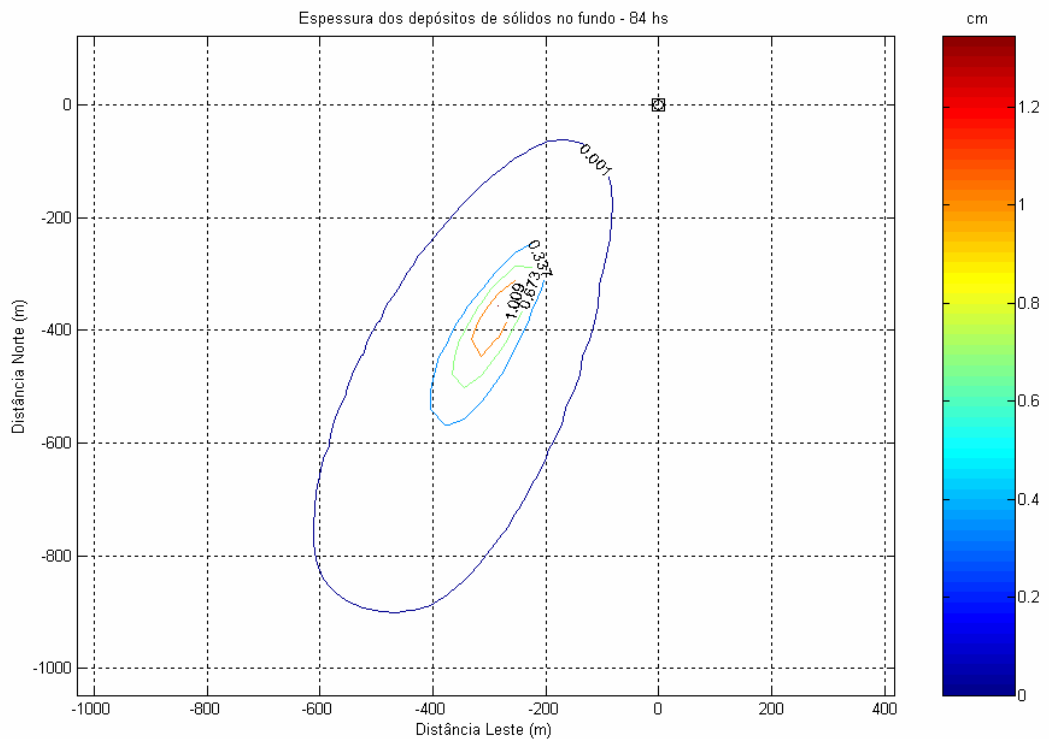


Figura II.5.4.2- 33: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 84 horas após o descarte.

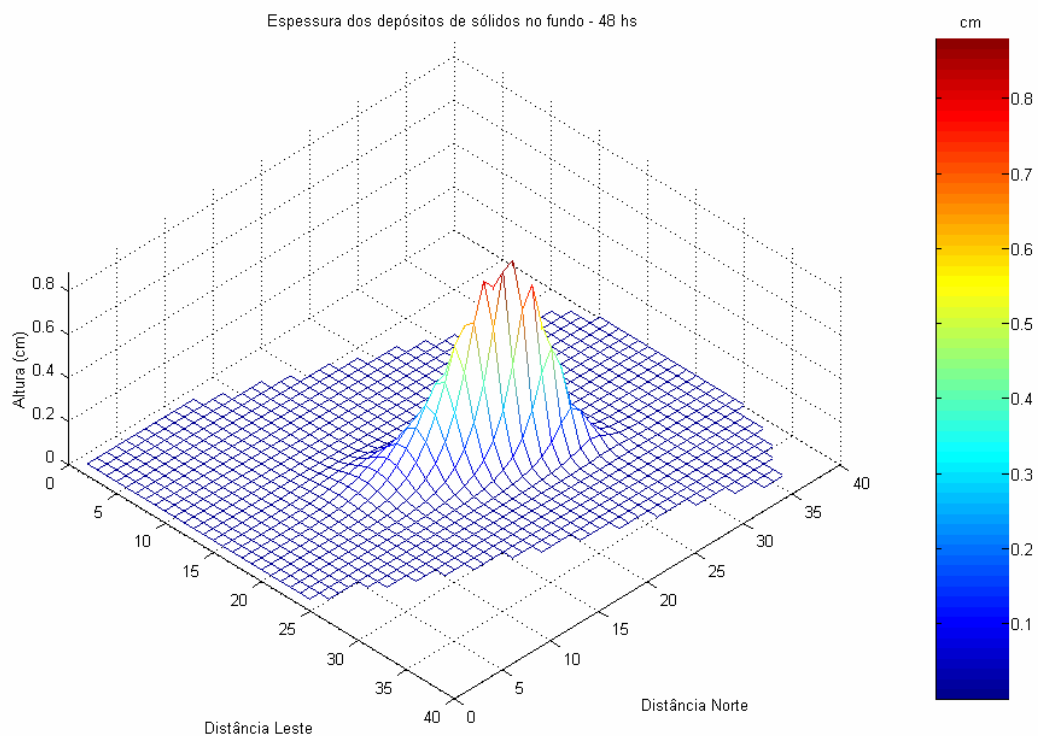


Figura II.5.4.2- 34: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 48 horas após o descarte.

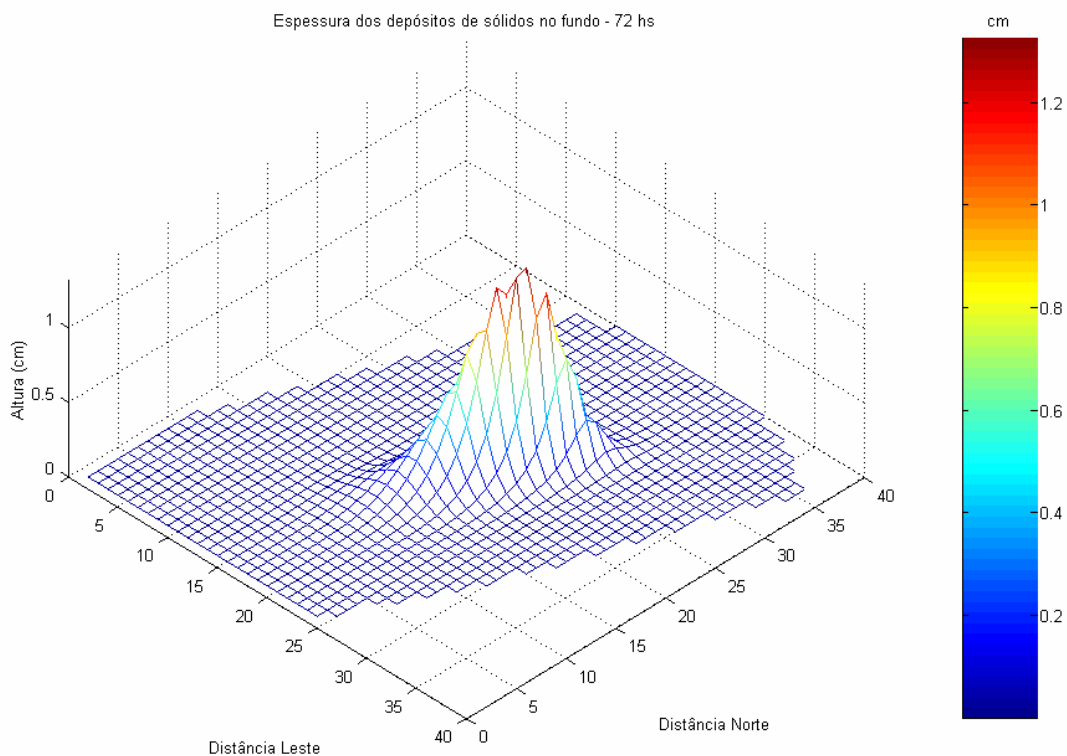


Figura II.5.4.2- 35: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 72 horas após o descarte.

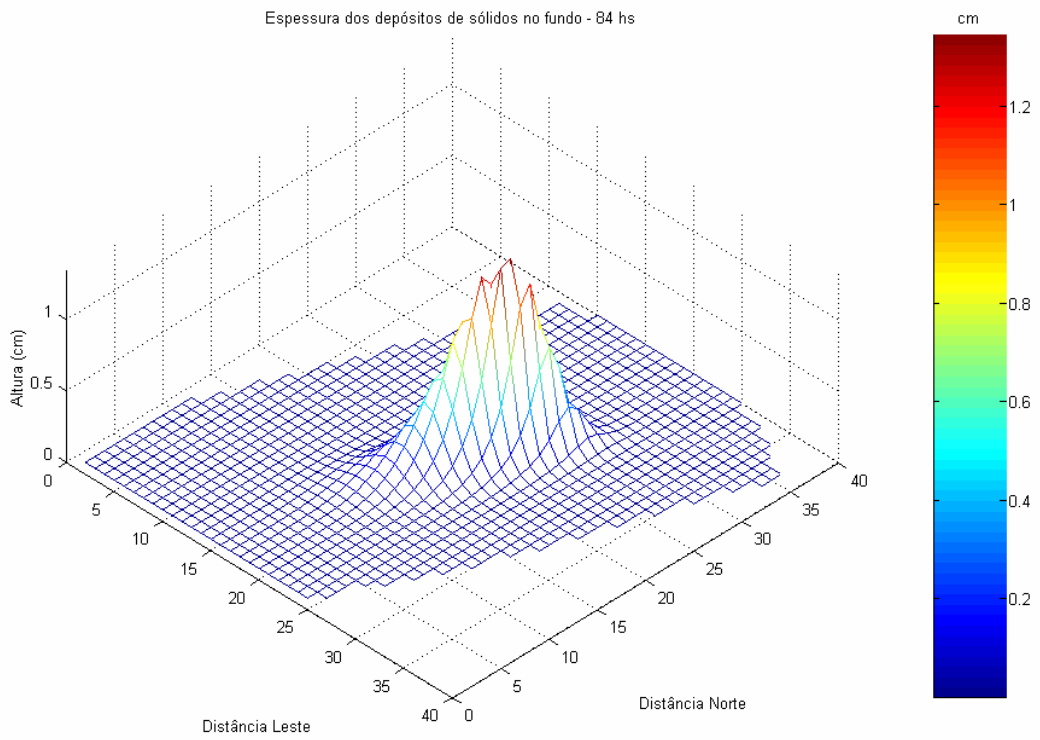


Figura II.5.4.2- 36: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 84 horas após o descarte.

D.4. Fase de perfuração de 12 ¼” de diâmetro

Nesta fase o efluente de cascalho/lama de perfuração foi modelado com uma vazão de 1,365 m³/h, constituído de um sólido de densidade igual a 2,10 g/cm³ (Tabela II.5.4.2-2), com diâmetro de grão em torno 0,635 cm, corresponde a 41,4% do volume de descarga. A fração fluída apresentou densidade de 1,198 g/cm³, perfazendo 58,6% do volume de descarga. A densidade média da descarga destes dois componentes foi de 1,571 g/cm³. O descarte foi realizado próximo a superfície, com duração de aproximadamente 216 horas.

A massa despejada foi de 463.186,41 Kg ou 1.021.150,04 lbs e a massa acumulada no fundo totalizou 352.648,13 Kg ou 777.456 lbs. Portanto, a proporção da massa acumulada no fundo foi de 76,13%, o restante depositou-se fora da área de interesse ou é composta por um material mais fino de decantação mais longa.

A seguir, serão apresentados mapas de concentração de sólidos no fundo, da espessura destes depósitos no fundo (em vista planar e lateral) e as concentrações dos sólidos na coluna d'água (em vista longitudinal e radial), em diferentes instantes do processo de descarte.

As análises dos mapas a seguir foram feitas, levando-se em conta os limites de 1g (0,001 Kg) para os resultados de concentração no fundo, e para a espessura dos depósitos adotou-se o limite de 0,01 mm (0,001 cm).

D.4.1. Concentração de sólidos combinados na coluna de água

A concentração máxima observada no perfil longitudinal é de aproximadamente 0,2 mg/l, a qual é observada a uma distância de cerca de 500 m do ponto de descarte (Figura II.5.4.2-37).

Uma característica que pode ser normalmente observada através das seções longitudinais é a segmentação da pluma devido à composição variada, tanto a diferença de densidade quanto a velocidade de queda diferenciada de cada fração influenciam nestas separações. Nesta fase, este processo não pode ser claramente observado uma vez que o descarte é feito no fundo.

No perfil radial a concentração máxima é de aproximadamente 0,1 mg/l, sendo esta localizada no fundo (Figura II.5.4.2-38).

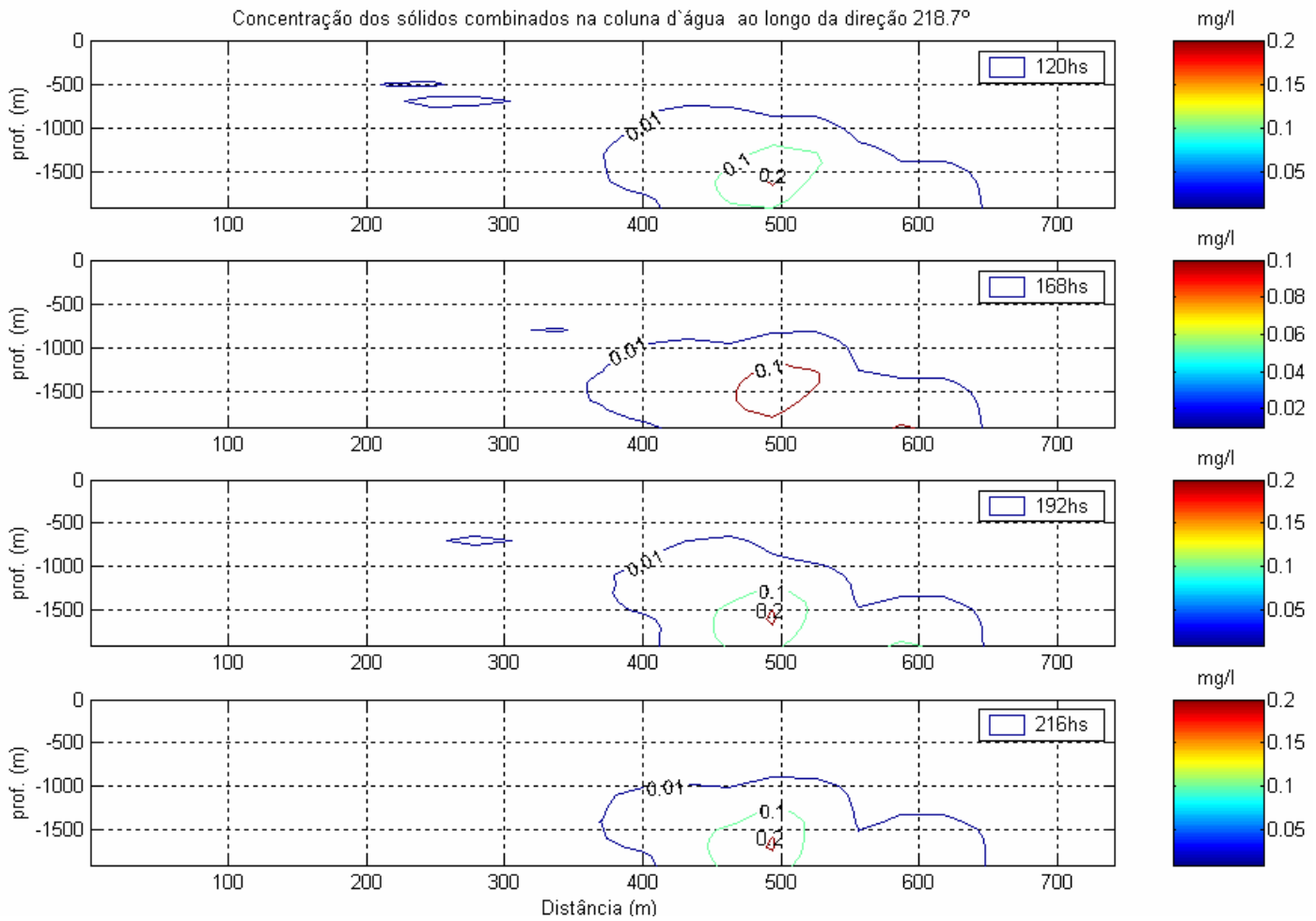


Figura II.5.4.2- 37: Vista longitudinal da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 120, 168, 192 e 216 horas após o descarte.

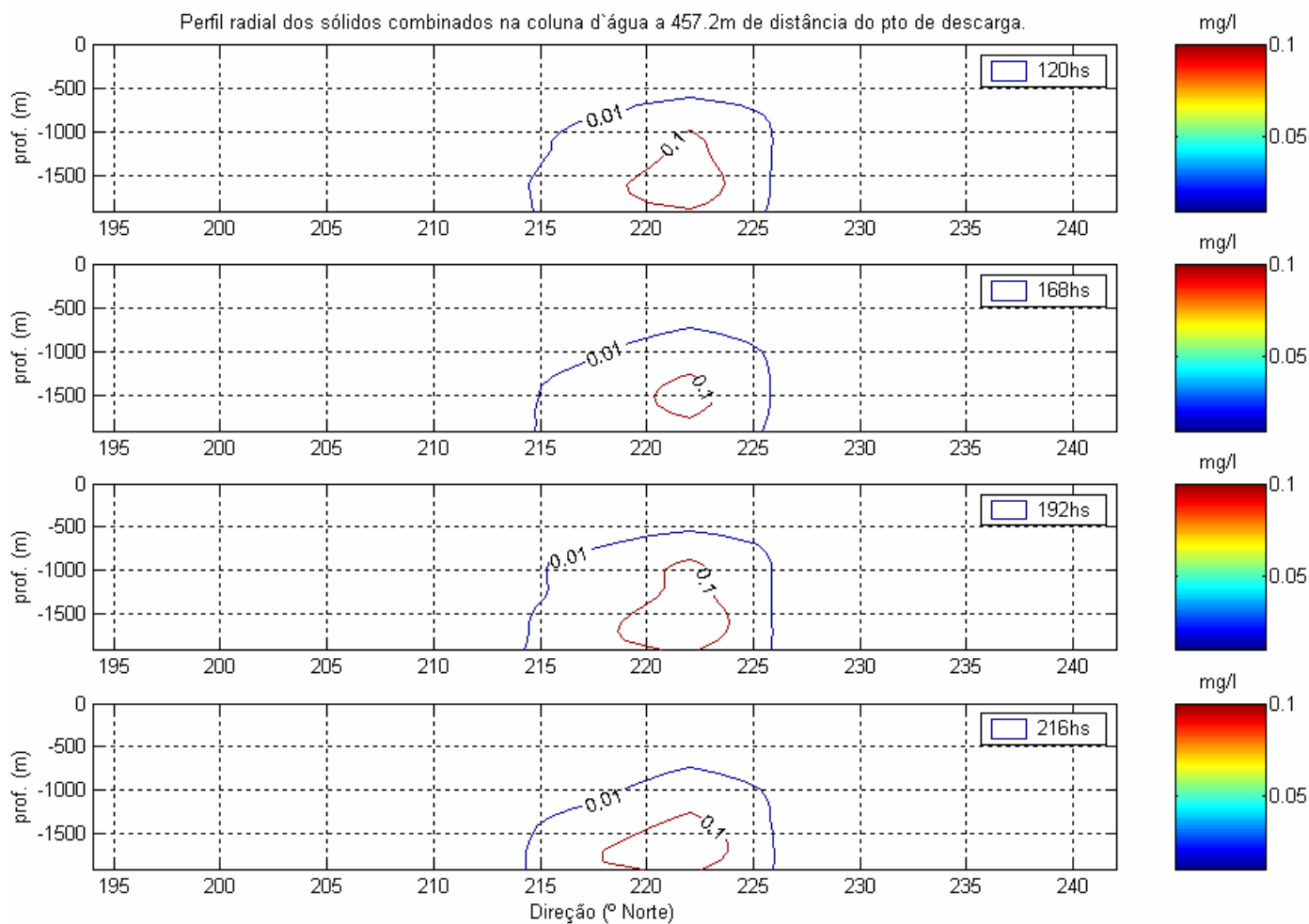


Figura II.5.4.2- 38: Vista longitudinal da concentração dos sólidos na coluna d'água, em 120, 168, 192 e 216 horas após o descarte a 219° deste ponto .

D.4.2. Concentração e espessura de sólidos combinados no fundo

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 120 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $432.673,86 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-39).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 120 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001\text{cm}$ apresenta uma área de $253.880,18 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-40) e este depósito chega aproximadamente a $0,45 \text{ cm}$ de altura (Figura II.5.4.2-41).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 216 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $476.621,10 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-42).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 216 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001\text{cm}$ apresenta uma área de $292.360,03 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-43) e este depósito chega aproximadamente a $0,8\text{cm}$ de altura (Figura II.5.4.2-44).

Na concentração de sólidos combinados no fundo, 228 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001 \text{ Kg/m}^2$ apresenta uma área de $477.647,70 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-45).

Na espessura dos depósitos de sólidos combinados no fundo, 228 horas após o início do descarte, observa-se que a isolinha de $0,001\text{cm}$ apresenta uma área de $293.153,05 \text{ m}^2$ (Figura II.5.4.2-46) e este depósito chega aproximadamente a $0,8 \text{ cm}$ de altura (Figura II.5.4.2-47).

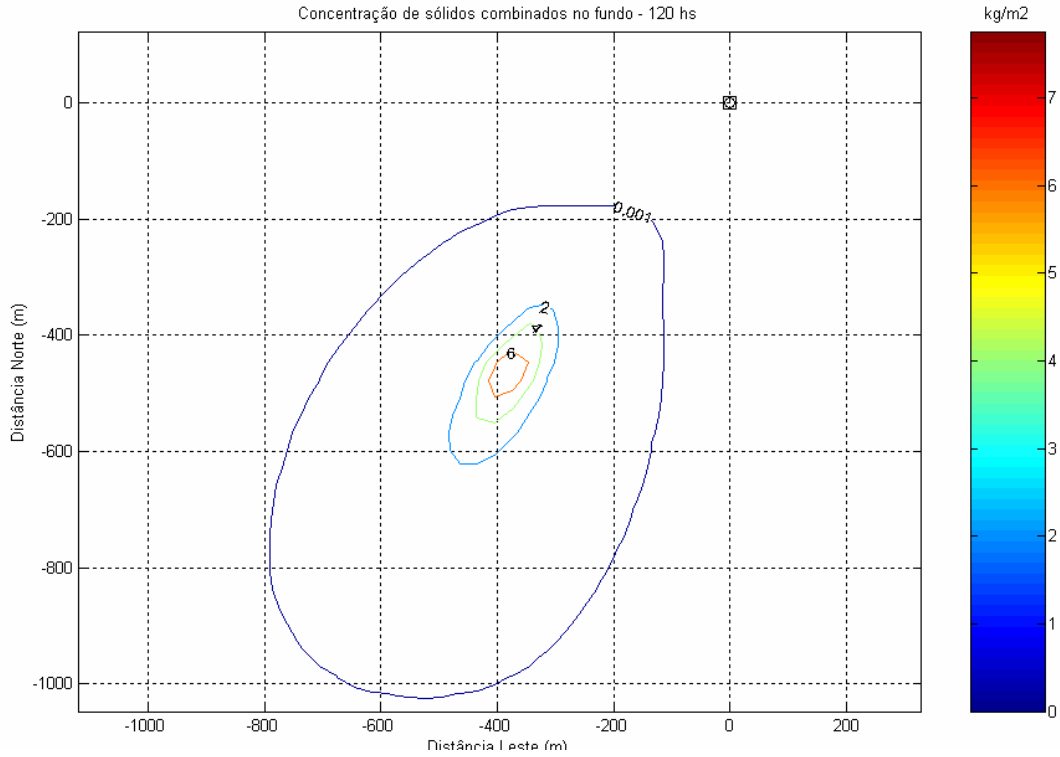


Figura II.5.4.2- 39: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 120 horas após o descarte.

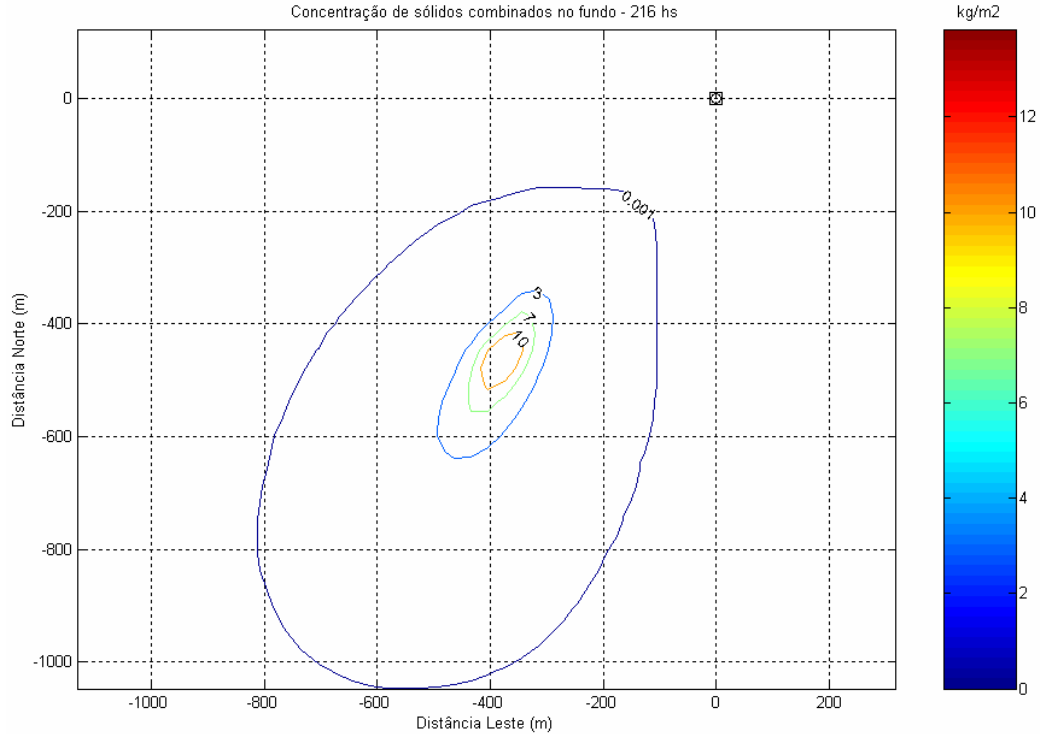


Figura II.5.4.2- 40: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 216 horas após o descarte.

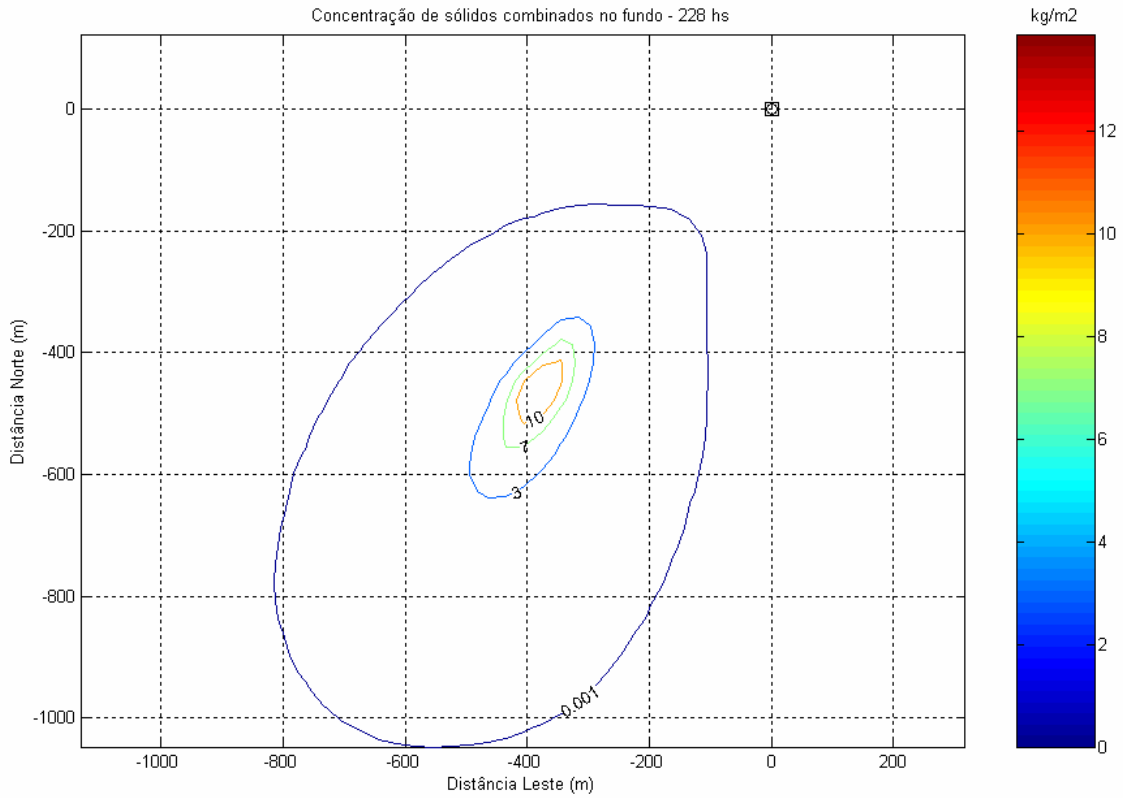


Figura II.5.4.2- 41: Vista planar da concentração dos sólidos no fundo, 228 horas após o descarte.

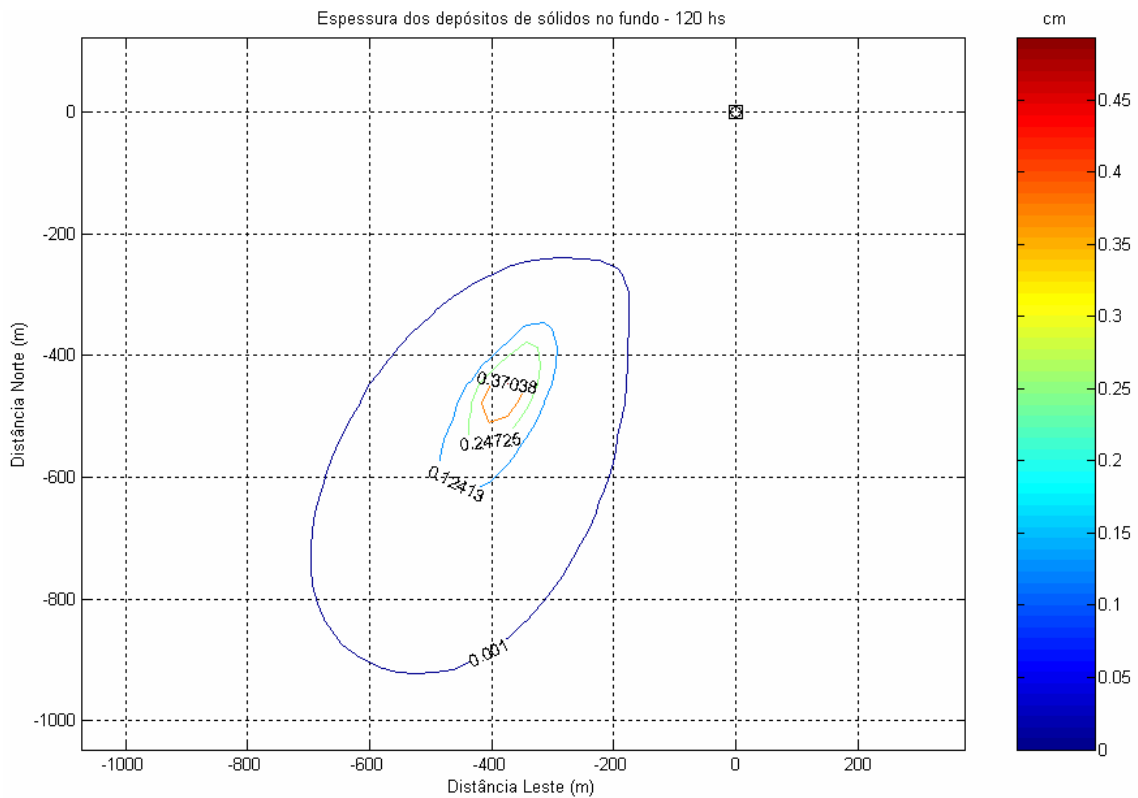


Figura II.5.4.2- 42: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 120 horas após o descarte.

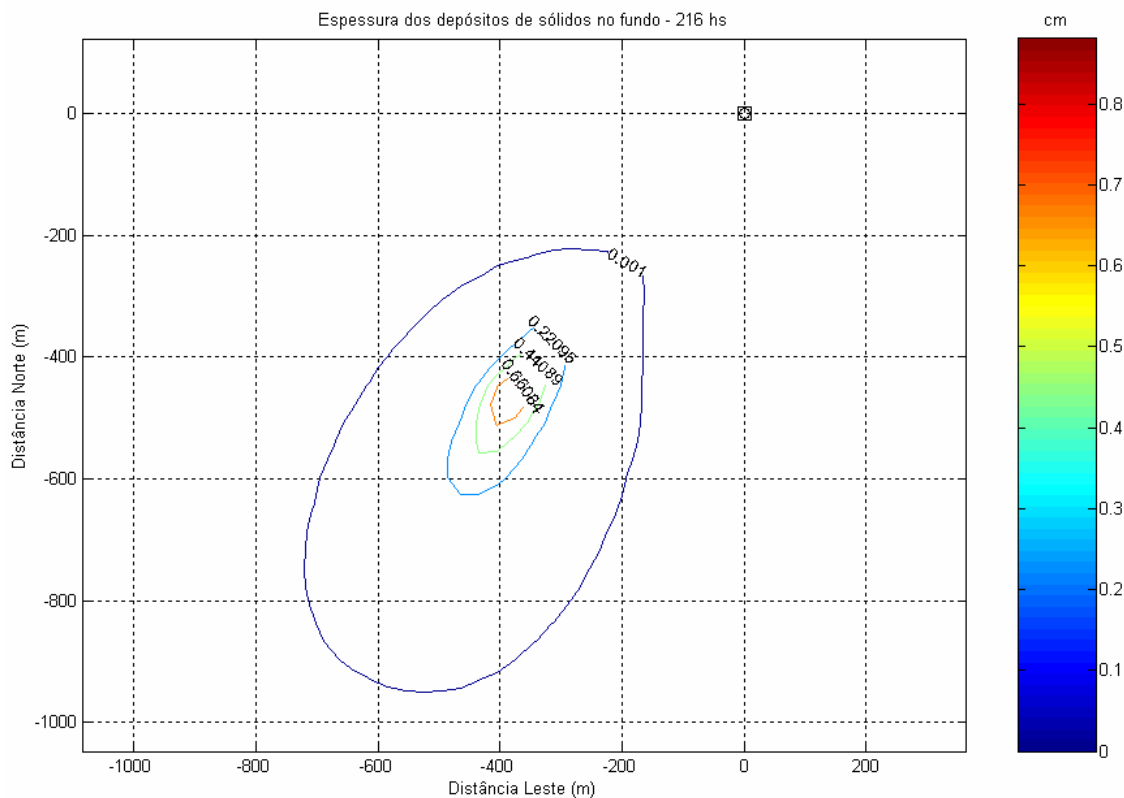


Figura II.5.4.2- 43: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 216 horas após o descarte.

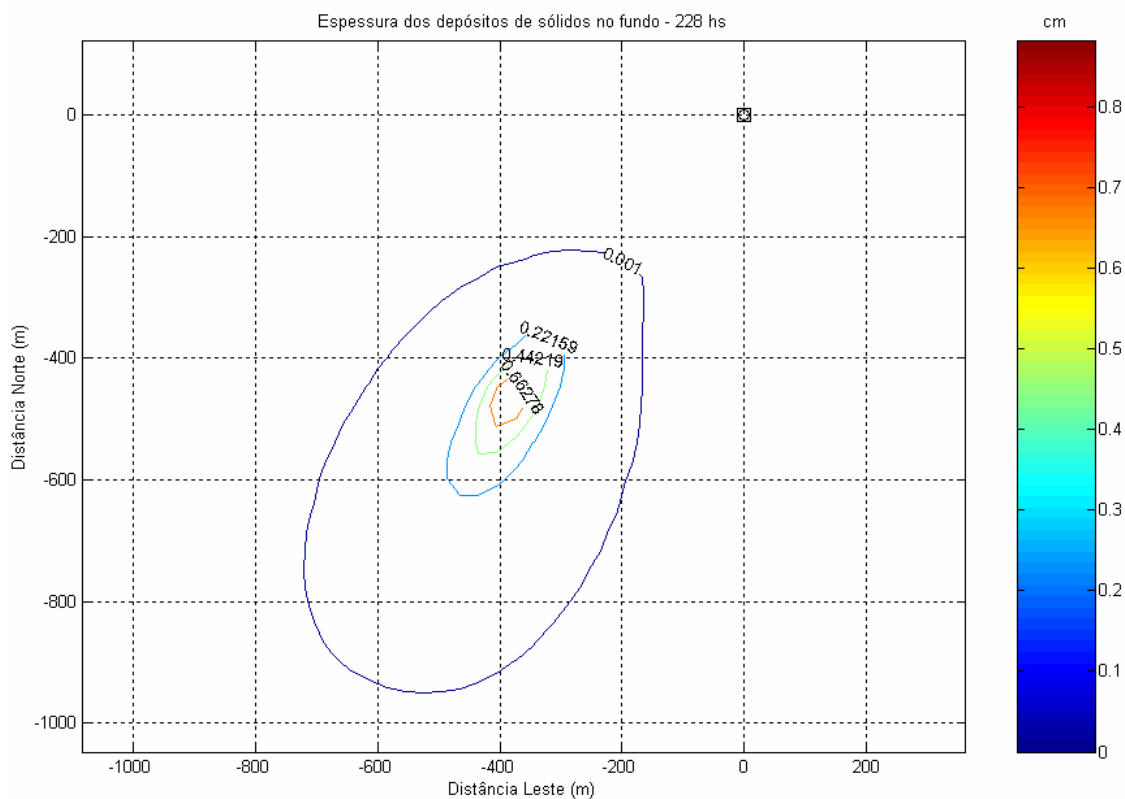


Figura II.5.4.2- 44: Vista planar da espessura do depósito de sólidos no fundo, 228 horas após o descarte.

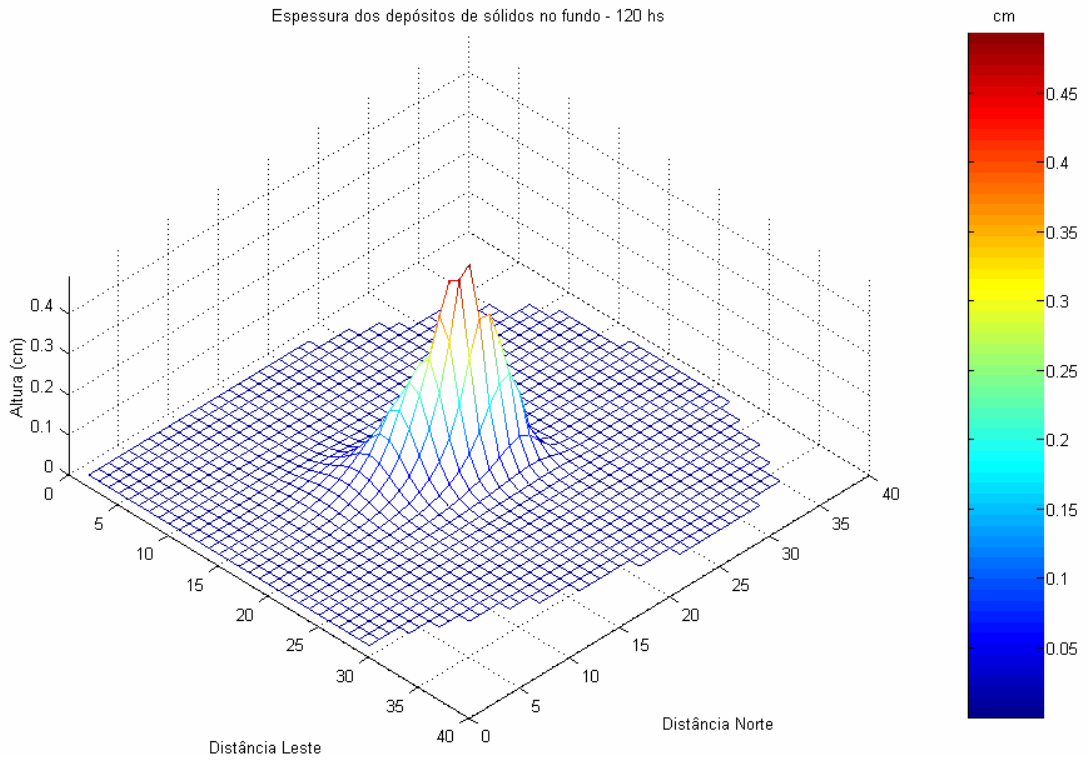


Figura II.5.4.2-45: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 120 horas após o descarte.

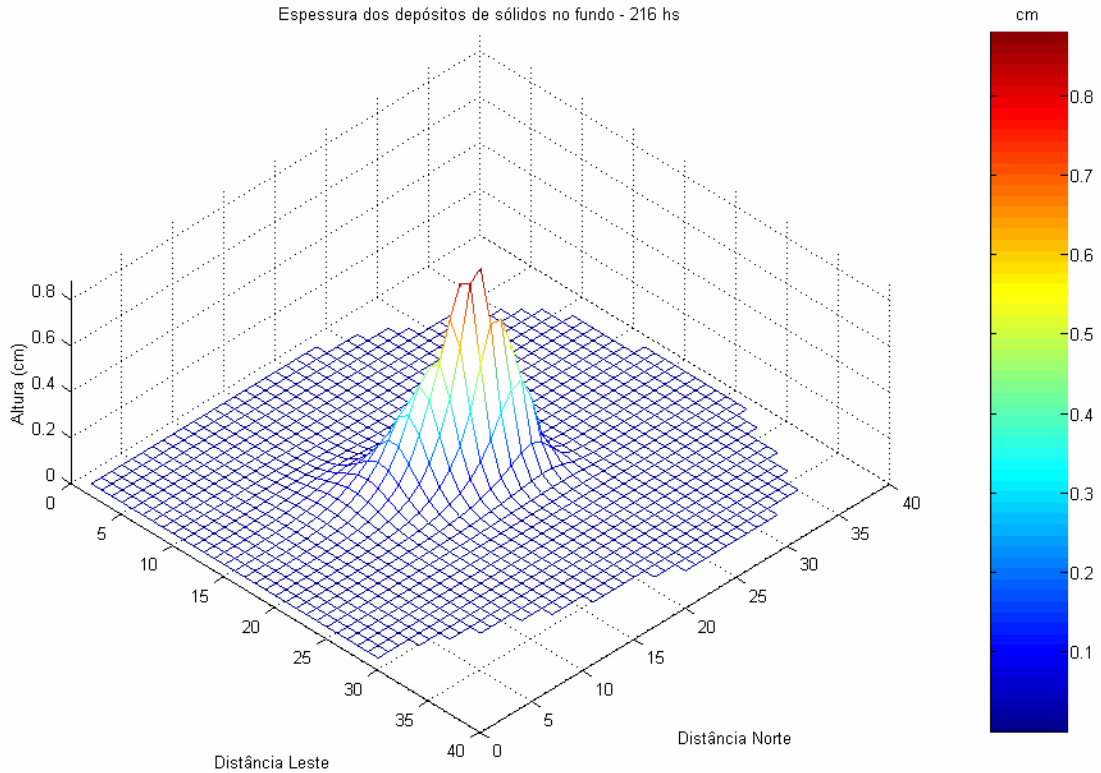


Figura II.5.4.2- 46: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 216 horas após o descarte.

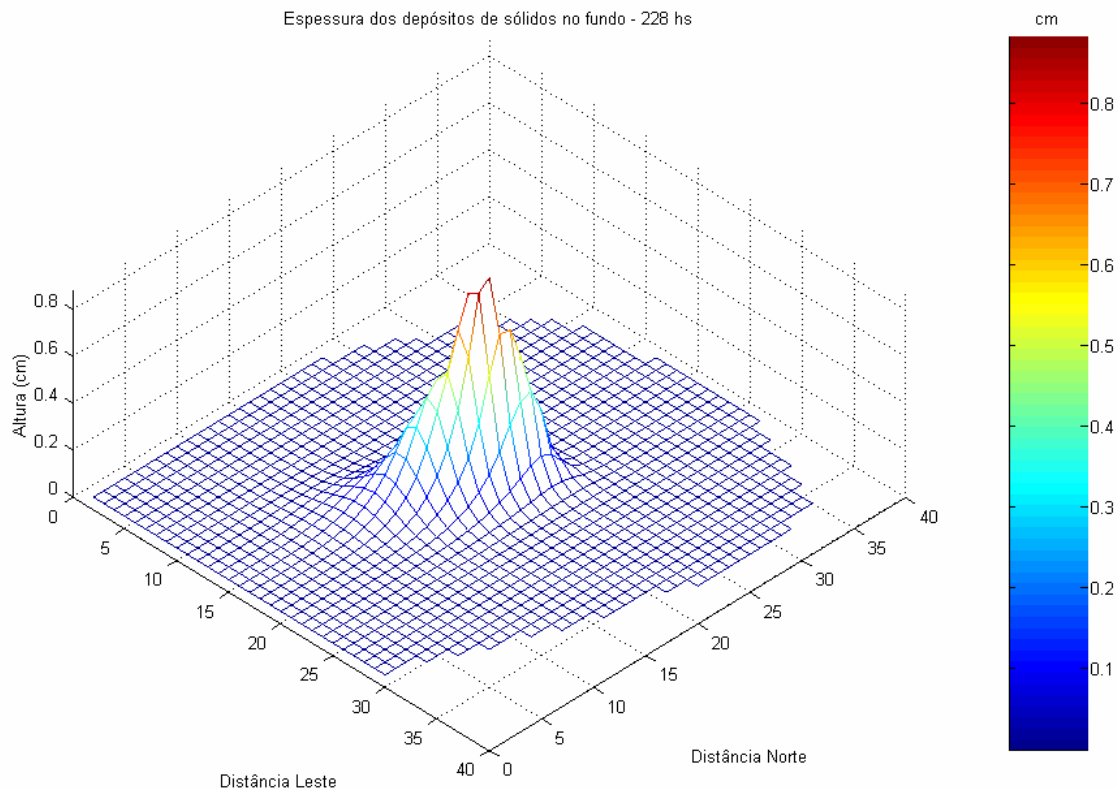


Figura II.5.4.2-47: Vista lateral da espessura do depósito de sólidos no fundo, 228 horas após o descarte.

E. REFERÊNCIAS

BRANDSMA, M. G.; SMITH, J.P. (1999). Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model – Report and User Guide. ExxonMobil Production Operations Division. Relatório EPR.29PR.99, 168 p.

KOH, R.C.Y.; CHANG, Y. (1973). Mathematical Models for Barge Ocean Disposal of Wastes. Relatório, U.S. EPA. EPA-6602-73-029. 97 p.

MULLER, T. J.; IKEDA, Y.; ZANGENBERG, N. & NONATO, L. V. 1998. Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20°S and 28°S. Journal of Geophysical Research, vol. 103, nº C3, p. 5429-55437.

VIOLANTE-CARVALHO, N, 1998. Investigação sobre a evolução do clima de ondas na Bacia de Campos e a correlação com as situações meteorológicas associadas. Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 188p.

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