



RELATÓRIO TÉCNICO [REV. 02]
**MODELAGEM DE FLUIDO DE
PREENCHIMENTO**
CAMPO DE MARLIM LESTE
FPSO – Cidade de Niterói

/CAMPO DE MARLIM LESTE
FPSO – Cidade de Niterói

Preparado para:
HABTEC / Petrobras

Preparado por:
Bruna Cerrone
Revisado por:
Francisco dos Santos

31 de outubro de 2007

PROOCEANO

AV. RIO BRANCO, 311 / 1224 CENTRO
CEP 20.0040-009 RIO DE JANEIRO RJ
TEL | FAX +55 21 2532-5666
WWW.PROOCEANO.COM.BR

RELATÓRIO TÉCNICO [REV.02]

MODELAGEM DE FLUIDO DE PREENCHIMENTO

FPSO – Cidade de Niterói

Preparado para:
HABTEC / Petrobras

Preparado por:
Bruna Cerrone
Revisado por:
Francisco dos Santos

31 de outubro de 2007

SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO.....	4
II. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO	4
III. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM	14
III.1. Modelo Adotado.....	14
III.2. Descrição da Atividade	15
IV. RESULTADOS	16
V. CONCLUSÃO	23
VI. BIBLIOGRAFIA	24

I. INTRODUÇÃO

Este relatório estuda, através da modelagem numérica, o destino físico do fluido de preenchimento das linhas de coleta do FPSO Cidade de Niterói, a ser descartado no entorno da locação da unidade, no Campo de Marlim Leste – Bacia de Campos. De particular interesse é a variação na diluição da concentração inicial do fluido, cuja presença na coluna d'água será aqui monitorada.

A metodologia usada no estudo bem como os resultados apresentados visam atender às exigências do Termo de Referência Nº. 013/07, emitido pela Coordenadoria Geral de Petróleo e Gás - CGPEG/IBAMA para o licenciamento da atividade.

II. CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO

O FPSO está localizado à 22° 29' 45,96" S e 39° 56' 13,26" W, na Bacia de Campos, e a referência mais próxima em terra é o Cabo de São Tomé, distante 120 km, aproximadamente. A profundidade local é cerca de 1370 metros.



Figura 1: Localização prevista para o FPSO Cidade de Niterói.

A escassez de dados disponíveis para a costa brasileira torna difícil estabelecer um perfil de corrente típico da região para utilizar como forçante no modelo de dispersão. Nessa simulação foi identificado um perfil de corrente e de temperatura e salinidade utilizando a técnica de análise de funções ortogonais empíricas (EOF), que é uma poderosa ferramenta no auxílio à compreensão da variabilidade de fenômenos oceanográficos através de séries temporais.

As séries escolhidas são resultantes de modelagem numérica com condições de contorno e iniciais obtidas por Fragoso (2004) e se ajustam às principais características descritas na literatura.

A análise de EOF oferece, como resultado, uma descrição resumida da variabilidade espacial e temporal do fenômeno, associada a cada modo normal estatístico. Trata-se da decomposição dos dados em modos normais, onde é possível obter a variação temporal associada a cada um destes modos e, também, a quantificação da representatividade de cada modo dentro da variância total dos dados.

Para a obtenção dos perfis típicos usados na modelagem foi conduzida a análise de EOF escalar, considerando, assim, que as componentes u e v são independentes e não correlacionáveis.

Os perfis sintéticos construídos são resultado do primeiro modo da EOF, modo este que representa a maior parte da variância. Quanto à variação temporal, optou-se por utilizar a moda deste dado, de forma a representar a situação mais recorrente no tempo.

A Tabela 1 apresenta a variância explicada pelo primeiro modo da EOF, calculada para as componentes u e v da corrente, e para temperatura e salinidade.

Tabela 1: Variância explicada pelo Primeiro Modo da EOF.

Parâmetro	Variância (%)
Componente u	89%
Componente v	77%
Temperatura	80%
Salinidade	49%

Nas Figura 2 e Figura 3 são apresentados os perfis sintéticos obtidos pelo primeiro modo da EOF para a componente u e para a componente v da corrente, respectivamente.

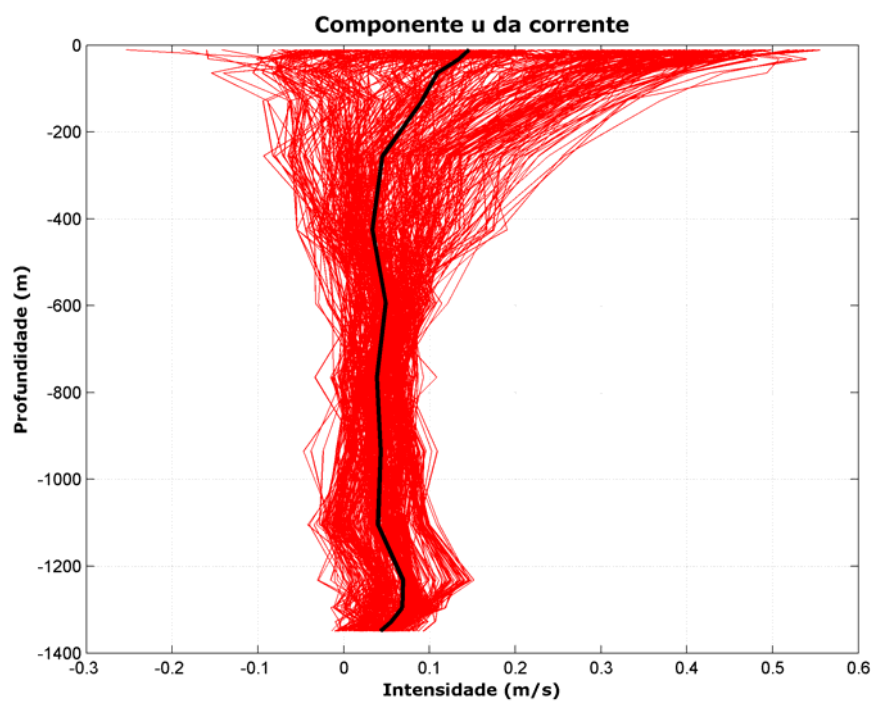


Figura 2: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais (vermelho) para a componente u da corrente.

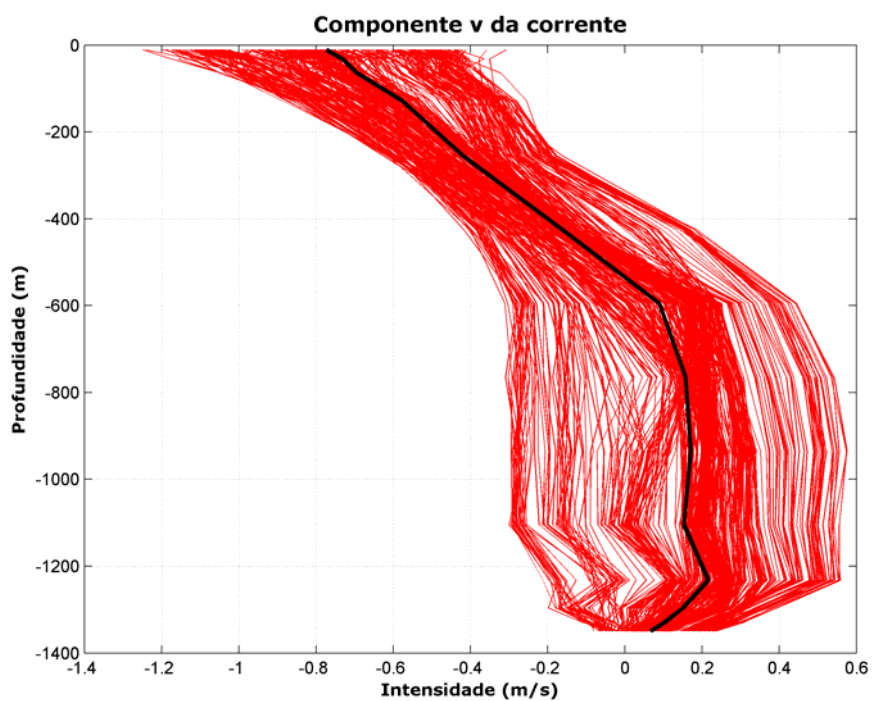


Figura 3: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a componente v da corrente.

Os dados obtidos nos perfis sintéticos das componentes da corrente podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores das componentes da corrente utilizadas na simulação.

profundidade (m)	u (m/s)	v (m/s)
10.6	0.146	-0.773
31.9	0.134	-0.732
63.7	0.109	-0.695
127.5	0.091	-0.578
254.9	0.045	-0.419
424.8	0.033	-0.162
594.8	0.049	0.089
764.7	0.039	0.157
934.6	0.043	0.171
1104.6	0.040	0.153
1232.0	0.069	0.216
1295.8	0.068	0.150
1327.6	0.055	0.105
1348.9	0.043	0.067

A série original de dados utilizada para o cálculo da EOF, em todos os seus níveis, pode ser observada na Figura 4. É possível perceber uma predominância de correntes no sentido S-SE em todo o período na superfície. A partir dos 600 m de são notadas inversões e a corrente passa a ter sentido predominantemente N-NE.

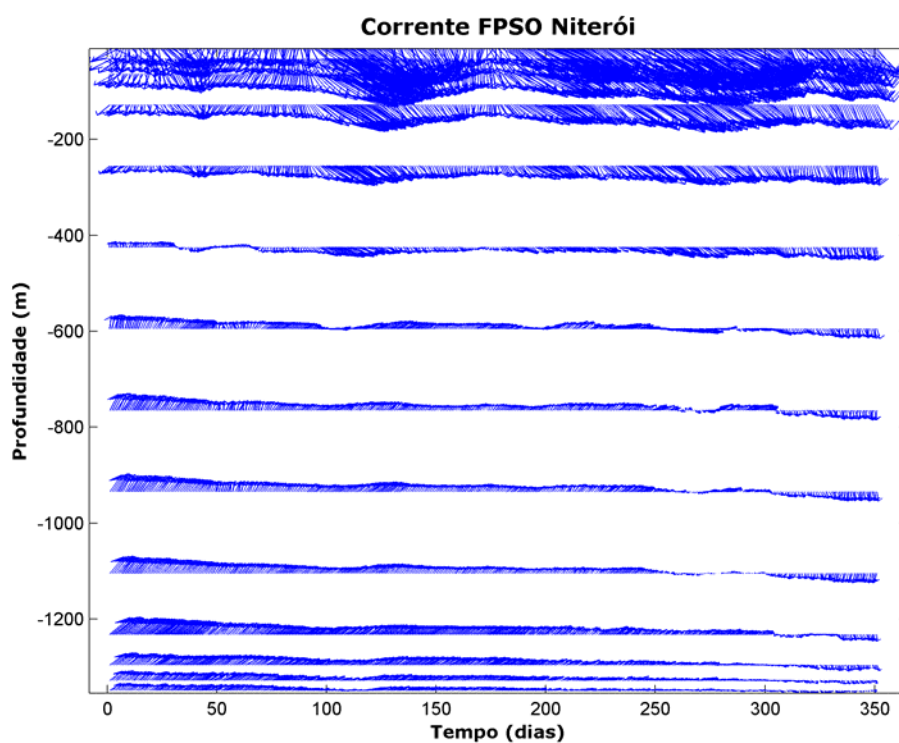


Figura 4: Série temporal de correntes na região do FPSO – Cidade de Niterói utilizada na análise de EOF para elaboração do perfil sintético de corrente.

O perfil de correntes obtido pelas componentes u e v pode ser observado na Figura 5, onde fica evidenciada a representatividade deste perfil, frente à série de dados utilizada. Ele mantém as principais características da série original apresentada na Figura 4, onde o fluxo superficial está direcionado mais para sul enquanto nas camadas mais ao fundo a direção é norte.

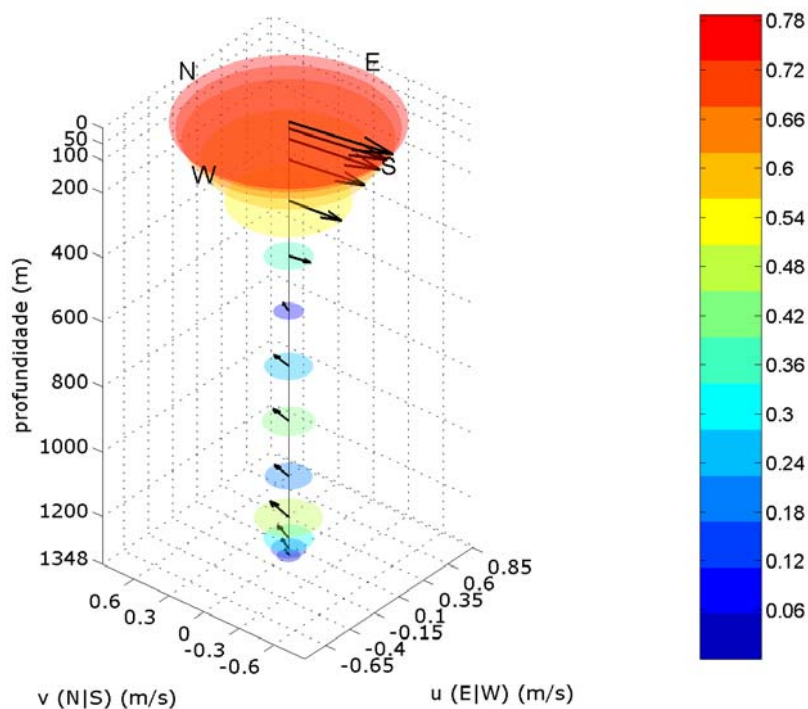


Figura 5: Perfil de correntes utilizado para as simulações. Os círculos envolvendo os vetores são proporcionais à velocidade e seus valores (m/s) podem ser observados na escala de cor ao lado.

Na Figura 6 é apresentado o perfil obtido para a temperatura e na Figura 7 o perfil sintético da salinidade.

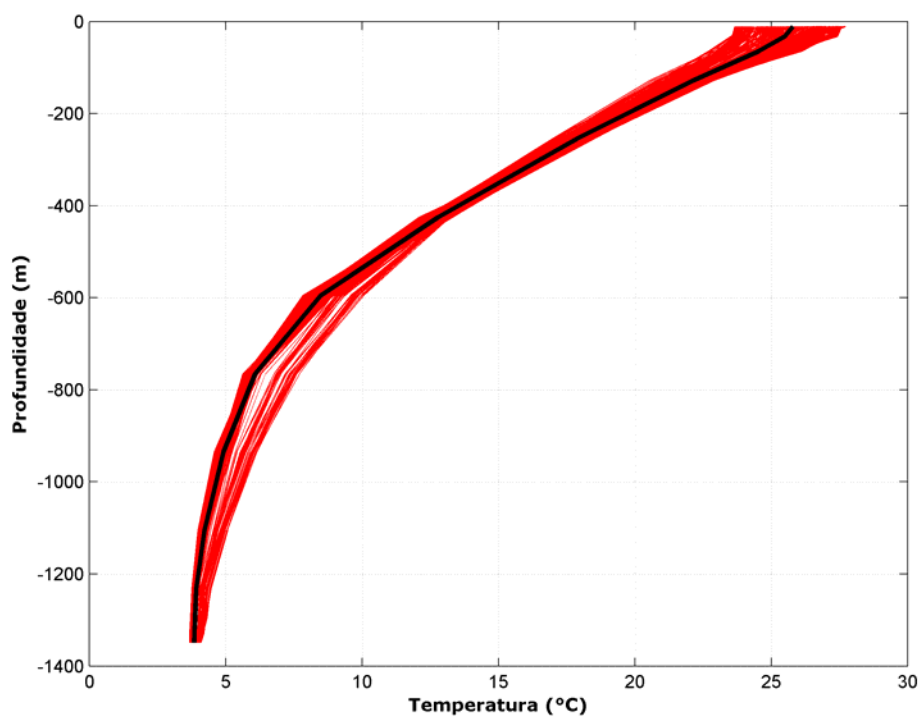


Figura 6: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a temperatura.

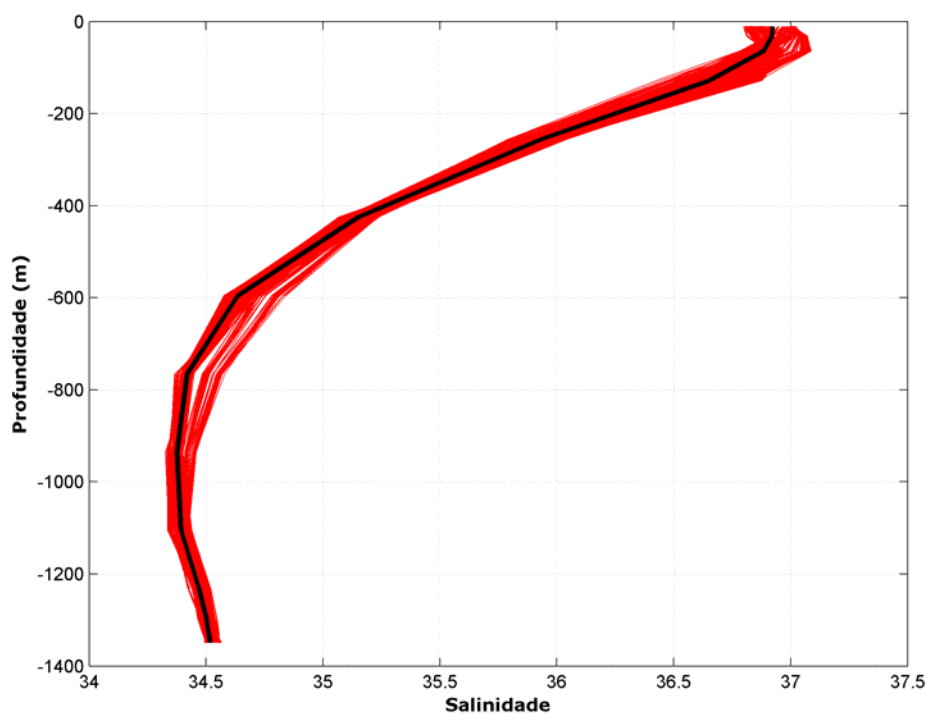


Figura 7: Perfil sintético obtido (preto) a partir das séries temporais dos perfis utilizados (vermelho) para a salinidade.

Os dados extraídos nos perfis sintéticos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados de temperatura e salinidade com a profundidade

profundidade (m)	temperatura (°C)	salinidade
10.6	27.56	36.92
31.9	27.17	36.92
63.7	25.79	36.88
127.5	22.76	36.65
254.9	18.25	35.93
424.8	12.96	35.15
594.8	8.59	34.64
764.7	6.27	34.42
934.6	5.00	34.37
1104.6	4.27	34.39
1232.0	3.94	34.47
1295.8	3.92	34.50
1327.6	3.90	34.51
1348.9	3.88	34.52

Segundo Melo Filho (1991), o litoral brasileiro pode ser dividido, quanto ao clima de ondas, em 2 regiões. A região que vai do litoral sul até Cabo Frio é caracterizado pelo domínio de ondulações com períodos relativamente longos, diferente do encontrado acima de Cabo Frio, onde o clima é dominado por ondas com períodos mais curtos. Desta forma, os resultados encontrados por Violante-Carvalho (1998), na Bacia de Campos, podem ser utilizados para o estudo em questão. Segundo o autor, de todas as situações encontradas, a mais comum, com ocorrência de 25,07% durante o período considerado, é um mar em desenvolvimento de Norte/Norte-Nordeste com ondulação de Sul/Sudeste. Na Tabela 4 são apresentados os valores utilizados nas simulações.

Tabela 4: Altura significativa e período de pico utilizado.

Altura significativa (m)	Período (s)
1,0	5,0

Para determinação dos valores de vento e temperatura do ar na superfície do mar utilizados na modelagem foram utilizados dados da reanálise global do NCEP (Centro Nacional de Previsão Ambiental – em inglês).

Dos pontos de grade mais próximos ao ponto de descarte foram extraídas séries temporais das médias diárias das componentes u e v do vento a 10 metros de altura e da temperatura do ar a 2 metros. As séries analisadas compreendem o período entre janeiro de 2000 e setembro de 2007.

O vento utilizado na modelagem representa a classe de intensidade mais recorrente associada à direção principal do vento no período. A temperatura do ar utilizada também foi obtida a partir da análise de recorrência. Estes dados podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Intensidade do vento e temperatura do ar, utilizados.

vento (m/s)	temperatura do ar (°C)
7.3	26.0

III. ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

III.1. Modelo Adotado

O modelo escolhido para este trabalho é conhecido pelo nome OOC (*Offshore Operators Committee*) e foi desenvolvido especialmente para simulações de descarte de efluentes de plataformas de petróleo.

O modelo OOC simula o comportamento de uma pluma de efluente desde o momento de descarte até um instante e distância determinados pelo usuário. Para tanto, o modelo trabalha em três módulos distintos, encarregados, cada um, de uma diferente fase da pluma.

O primeiro módulo cuida da diluição inicial da pluma, representada em um modelo integral. Este módulo acompanha a evolução do efluente do momento em que o mesmo deixa a fonte até que encontre uma superfície horizontal (fundo ou superfície do mar) ou até que estabilize-se no nível de flutuação neutra. Esta fase, também conhecida como *fase de jato*, ocorre enquanto o efluente possui movimento próprio, dado pela diferença de densidade com o meio ou pela velocidade de saída da fonte.

Finda a primeira etapa, o efluente se espalhará na profundidade em que estabilizou-se devido, ainda, à diferença de densidade com o meio. Esta diferença tende a diminuir com o tempo e, em dado momento, sua contribuição para o espalhamento do efluente será inferior àquela dada pela turbulência do ambiente. Neste momento tem início a última fase, de dispersão passiva, onde o efluente, a não ser pela velocidade vertical associada a cada constituinte particulado, não possui movimento próprio e segue apenas a dinâmica local. O OOC aplica a dispersão passiva separadamente para cada constituinte do efluente.

Com o OOC, é possível obter resultados para a concentração de traçadores conservativos ao longo da coluna d'água. Estes resultados são gerados em grades cuja resolução é determinada pelo usuário no início da simulação.

Uma descrição detalhada do modelo é encontrada em Brandsma & Smith (1999).

III.2. Descrição da Atividade

O volume a ser descartado no mar é de 325 m³ a uma vazão de 120 m³/h, correspondendo a uma duração de 9750 s (2,7 horas). O lançamento será efetuado ao nível do mar (0,208 ft de profundidade – devido ao raio da fonte) e a densidade do efluente (1.025 kg/m³) possui valor semelhante a das águas oceânicas superficiais. Um resumo das características do descarte é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Características do descarte.

Parâmetro	unidade	valor
Vazão	bbl/h	754.78
Fluxo do volume descartado	ft/s	2.15
raio da tubulação de descarga	ft	0.417
volume de água descartada	m ³	325.00
ângulo vertical da descarga	º	90.0
azimute de descarga	º	0.0 ¹
duração da descarga	s	9750.00
temperatura do efluente	ºC	24.52
salinidade do efluente		37.00
densidade efluente	g/cm ³	1.025

A composição e a toxicidade do contaminante a ser monitorado ao longo do estudo pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7: Composição e Toxicidade do contaminante.

composição	toxicidade crônica
THPS a 75% (50 ppm) + Bissulfito de Sódio (200 ppm) + Sal Quaternário de Amônio (10 ppm) + Fluoresceína 20% (40 ppm)	CENO = 0.78%

O fluido será monitorado ao longo do descarte até o limiar da Concentração de Efeito Não-Observado (CENO) que é de 0,78% da concentração inicial.

¹ Seguindo o sentido da corrente

IV. RESULTADOS

Para avaliar o tempo em que os valores de concentração da pluma se estabilizam, foi realizada uma análise comparativa em função do valor inicial com o tempo para diversas distâncias da fonte.

Na Figura 8 é apresentada a variação temporal dos percentuais máximos da concentração inicial obtidos a determinadas distâncias da fonte. As linhas azuis representam a que distância do ponto de lançamento as informações foram extraídas e a linha em vermelho, o percentual da CENO. O passo de tempo utilizado foi de 0,5 hora.

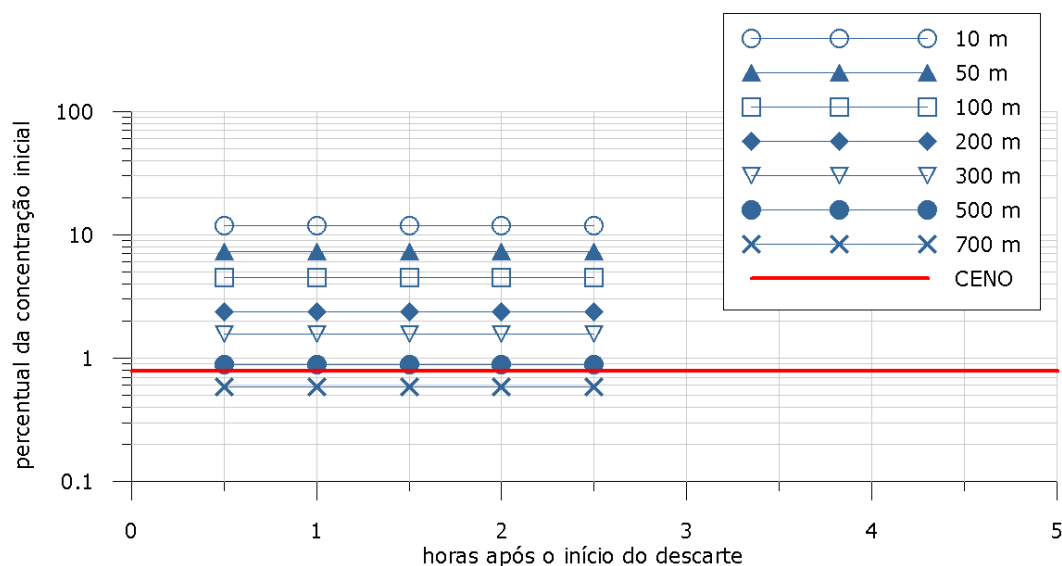


Figura 8: Percentual da concentração inicial após o início do descarte para diversas distâncias da fonte.

Nota-se que a partir de 0,5 h após o início do descarte, os níveis de concentração são constantes, para todas as distâncias em que os valores foram obtidos. Observa-se também que a partir dos 700 m da fonte não serão encontradas concentrações acima de 0,78% do valor inicial. Três horas após o início do descarte não são observados indícios da pluma no mar.

Para representar a pluma gerada na modelagem, serão apresentados dois diferentes tipos de gráfico. O primeiro gráfico representa um corte longitudinal na pluma e possibilita visualizar a variação da concentração inicial em profundidade com a distância da fonte. No segundo tipo, perfis radiais ao ponto de descarte foram extraídos, representando cortes

transversais ao sentido preferencial da corrente, permitindo estimar a largura da pluma além dos níveis de concentração no centro de massa.

Foram projetadas três grades para estimar os níveis de concentração em profundidade com a distância da fonte. A primeira grade cobre a região de 0 a 20 metros de distância da fonte. A estimativa de concentração foi realizada após 1 hora de descarte e o resultado obtido é apresentado na Figura 9.

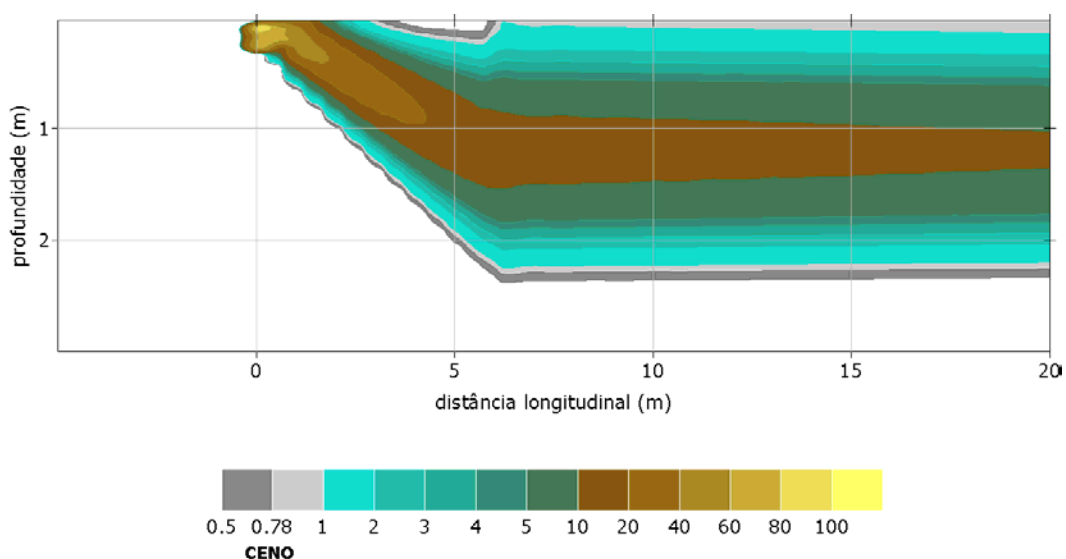


Figura 9: Perfil longitudinal de percentual da concentração inicial de fluido de preenchimento descartado para as distâncias até 20 m da fonte.

Nota-se uma forte diluição até 5 m da fonte. A 20 m, a concentração máxima presente na pluma é de 20% do valor na fonte.

A segunda grade projetada estende-se de 20 a 200 m. A estimativa realizada com 1 hora após o início do descarte pode ser observada na Figura 10.

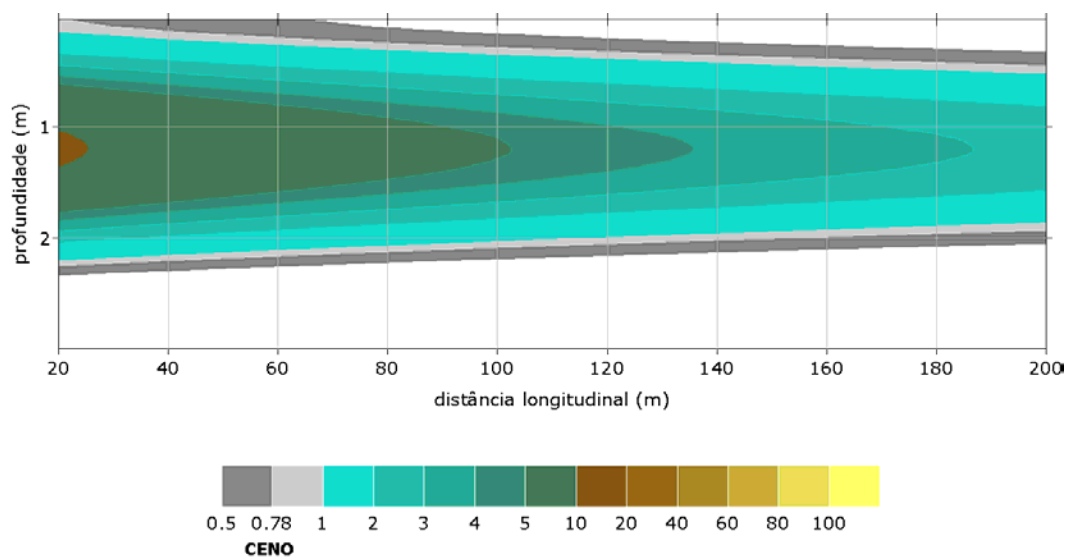


Figura 10: Perfil longitudinal de percentual da concentração inicial de fluido de preenchimento descartado para as distâncias de 20 até 200 m da fonte.

Nota-se que a 30 m de distância da fonte os níveis máximos de concentração já se encontram a 10% da concentração inicial. A 200 m da fonte o nível máximo obtido está a 3% da concentração inicial.

Para a distância de 200 m a 800 m foi projetada uma terceira grade. O resultado obtido após 1 hora do início do descarte está representado na Figura 11.

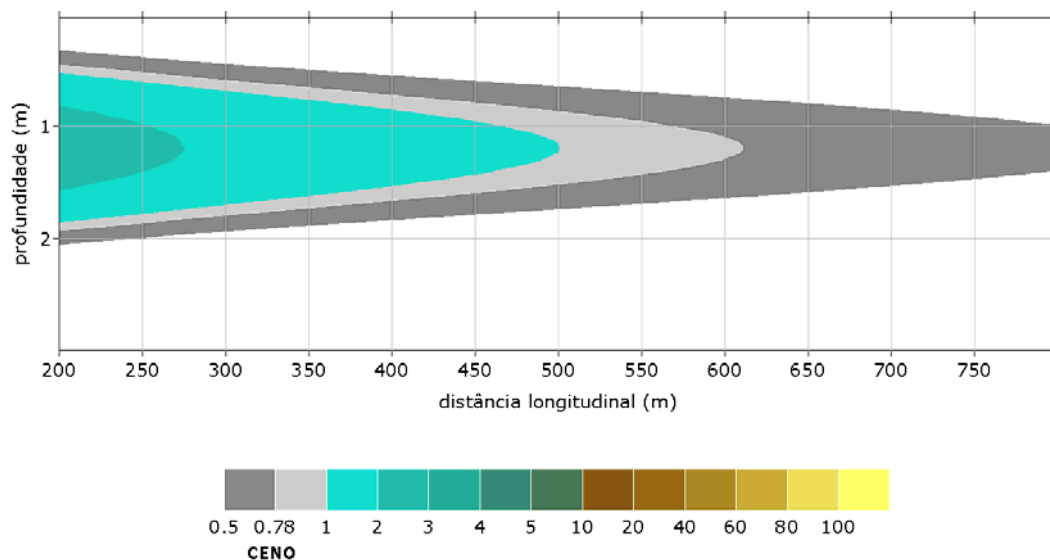


Figura 11: Perfil longitudinal de percentual da concentração inicial de fluido de preenchimento descartado para as distâncias de 200 até 800 m da fonte.

Nesta grade encerra-se a concentração de interesse. A aproximadamente 620 m de distância da fonte, os valores já encontram-se abaixo da CENO.

Conhecendo a velocidade na profundidade ocupada pela pluma é possível estimar o tempo necessário em que a última partícula do fluido atinge a distância onde os valores de concentração estão abaixo da CENO (aproximadamente 620 m). Com uma velocidade de 0,8 m/s o tempo estimado é de 775 s (12,9 minutos).

Uma integração dos resultados obtidos nas 3 grades projetadas é apresentada na Figura 12.

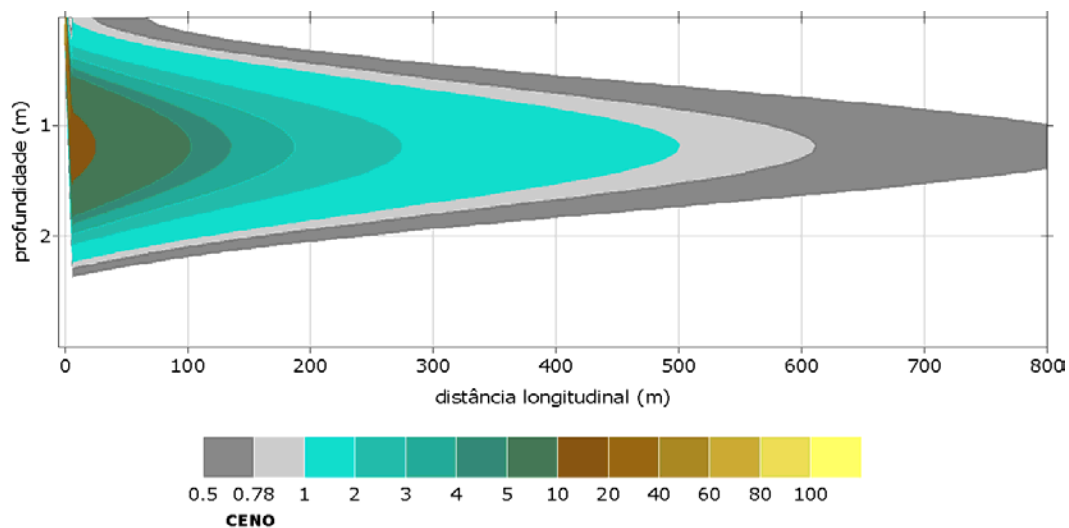


Figura 12: Integração dos resultados obtidos nas três grades projetadas.

Para que se conheça, também, o espalhamento lateral da pluma, a mesma será apresentada aqui por perfis radiais ao ponto de descarte (situado no ponto $[0,0]$) extraídos de forma a identificar a região de maior concentração do fluido.

O posicionamento das radiais pode ser observado na Figura 13, enquanto o resultado de concentração obtido é apresentado na Figura 14.

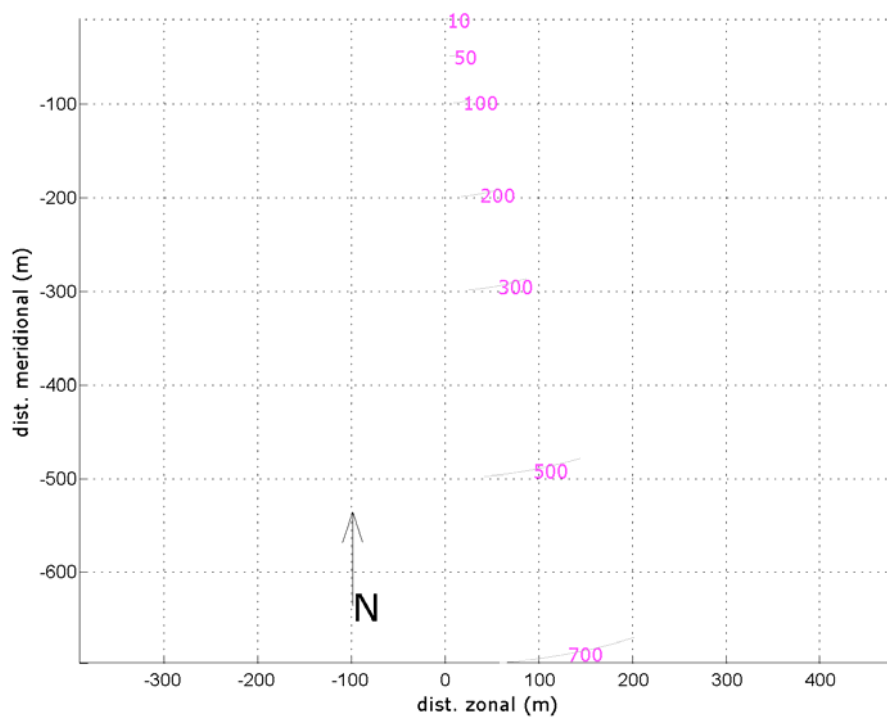


Figura 13: Posicionamento das radiais onde foram extraídos perfis da concentração inicial do fluido descartado a partir do FPSO – Cidade de Niterói.

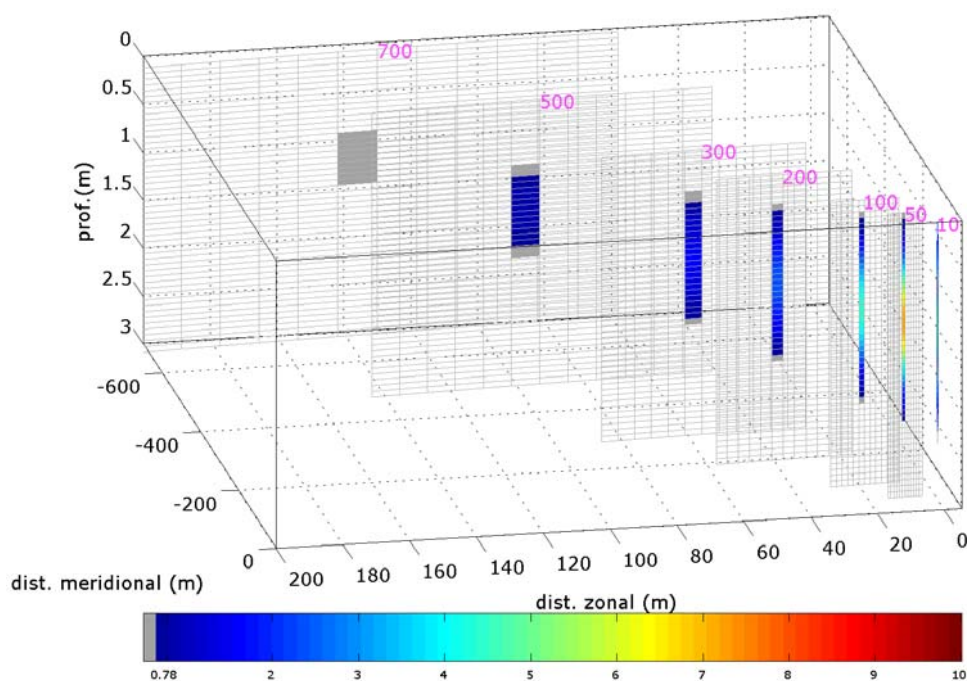


Figura 14: Perfis radiais da concentração inicial do fluido decorrente do descarte. A escala em cores representa a porcentagem da concentração.

Considerando o limiar de 0,5% a pluma ocupa a coluna d'água da superfície até a profundidade de aproximadamente 2,5 m nas radiais de 10 m e 50 m. Na radial de 100 m, a concentração máxima do fluido é cerca de 5% da concentração inicial. Com o afastamento da fonte a pluma perde em comprimento e ganha em largura. Na radial de 700 m da fonte a pluma possui uma largura em torno de 30 m e já não apresenta valores acima de 0,78% da concentração inicial, confirmando o resultado apresentado na Figura 11.

V. CONCLUSÃO

Com a metodologia proposta foi possível simular o descarte de fluido de preenchimento das linhas a partir do FPSO Cidade de Niterói na Bacia de Campos. Foi monitorada a variação da concentração do fluido com a distância à jusante da fonte.

Foram projetadas três grades para estimar os níveis de concentração em profundidade com a distância da fonte. Observou-se que a menos de 5 m do ponto de lançamento, a concentração máxima estimada foi de 20% do valor inicial. A 200 m da fonte o nível máximo obtido se mostrou a 3% da concentração inicial e, a aproximadamente 620 m de distância da fonte, os valores já encontram-se abaixo do CENO.

Os perfis extraídos de radiais em relação ao ponto de descarte confirmaram os resultados obtidos nos perfis de concentração com a distância da fonte, além de permitir uma estimativa da largura da pluma. Na radial de 700 m, o nível máximo de concentração encontrado foi menor que 0,78% da concentração inicial e a largura obtida foi de aproximadamente 30 m.

Foi estimado que após 12,9 minutos do término do descarte não serão mais observadas concentrações acima do CENO na coluna d'água.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Brandsma, M., & Smith, J., 1999. Offshore Operators Committee Mud and Produced Water Discharge Model Report and User Guide. ExxonMobil Upstream Research Co.
- Fragoso, M.R., 2004. Um Modelo Numérico da Circulação Oceânica para as Bacias Leste e Sudeste do Brasil . Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 191p.
- Melo Filho, E.,1982. Investigação sobre a Análise da Agitação Marítima. Tese de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Vilolante-Carvalho, N., 1998. Investigação sobre a Evolução do Clima de Ondas na Bacia de Campos e a Correlação com as Situações Meteorológicas Associadas. Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 186p.