

Modelagem do Descarte de Água Produzida a partir do FPSO Maromba, no Bloco BC-20, Bacia de Campos



**Modelagem do Descarte de
Água Produzida a partir do FPSO Maromba,
no Bloco BC-20, Bacia de Campos**

Revisão 00

Março / 2011



A **ASA South America** é responsável pelo conteúdo do presente relatório incluindo: tecnologias, metodologias, especificações técnicas, desenhos, figuras, cópias, diagramas, fórmulas, modelos, amostras, e fluxogramas.

A utilização deste material deverá ser compatível com o escopo do projeto/trabalho contratado, fazendo-se expressa menção ao nome da **ASA South America** como autora do estudo. Da mesma forma, quando a equipe técnica da **ASA** for incorporada na equipe técnica da empresa contratante, esta deverá ser mencionada, e referenciada, como: “consultores da **ASA South America**”. Qualquer dúvida ou alteração desta conduta deverá ser discutida entre o cliente e a **ASA South America**.

ASA (Applied Science Associates South America), 2010. Modelagem do Descarte de Água Produzida a partir do FPSO Maromba, no Bloco BC-20, Bacia de Campos. Relatório Técnico, Revisão 00 (30 de março de 2011). 36pp+Anexos.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	1
I INTRODUÇÃO	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	I-2
II CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE E COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE	II-1
III MODELAGEM DA DILUIÇÃO E DISPERSÃO DE EFLUENTES	III-1
III.1 MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO	III-1
III.1.1 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE CAMPO PRÓXIMO	III-3
III.1.2 RESULTADOS DA DILUIÇÃO DO CAMPO PRÓXIMO.....	III-4
IV CONSIDERAÇÕES FINAIS	IV-1
V BIBLIOGRAFIA	V-1
VI EQUIPE TÉCNICA.....	VI-1
ANEXO A DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS CORMIX.....	A-1
ANEXO B ANÁLISE DOS DADOS DE TEMPERATURA E SALINIDADE	B-1
ANEXO C RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES.....	C-1

LISTA DE TABELAS

Tabela I-1 - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) do ponto de descarte.	I-2
Tabela II-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba.	II-1
Tabela II-2 - Características do efluente de água produzida para a modelagem a partir do FPSO Maromba.	II-1
Tabela II-3 - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo <i>Lytechinus variegatus</i> realizados com amostras de água produzida.	II-2
Tabela II-4 - Composição e concentrações limite da legislação para o efluente de água produzida.	II-3
Tabela III-1 - Dados de entrada adotados no CORMIX para o FPSO Maromba.	III-4
Tabela III-2 - Resultados das simulações do campo próximo do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba.	III-5
Tabela III-3 - Concentração dos parâmetros simulados no ponto de descarte, além da concentração limite da legislação e valores correspondentes à diluição no campo próximo para a água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno.	III-10

LISTA DE FIGURAS

- Figura I-1** - Localização do FPSO Maromba, localizado no Bloco BC-20, na Bacia de Campos. Fonte: *NASA Landsat Program - Landsat 5 TM*. I-3
- Figura III-1** - Trajetória horizontal (visão superficial) da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno (as linhas mais finas representam os limites laterais da pluma e a linha mais grossa representa a linha central da pluma). III-6
- Figura III-2** - Profundidades em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno (as linhas mais finas representam os limites laterais da pluma e a linha mais grossa representa a linha central da pluma). III-7
- Figura III-3** - Diluição em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno. III-8
- Figura III-4** - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba no período de verão (as linhas vermelhas representam os limites laterais da pluma e a linha azul representa a linha central da pluma). III-9
- Figura III-5** - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba no período de inverno (as linhas vermelhas representam os limites laterais da pluma e a linha azul representa a linha central da pluma). III-9

RESUMO

Este relatório apresenta os resultados das simulações numéricas do processo de dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba, localizado no Bloco BC-20, Bacia de Campos.

Os padrões de circulação característicos da região foram estimados a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA South America**.

Para o descarte da água produzida foram realizadas simulações utilizando a vazão de 23.000 m³/dia e dois critérios ambientais: Resolução CONAMA nº 357/05 e Concentração de Efeito Não Observado (CENO). As simulações foram conduzidas com o CORMIX, desenvolvido na *Cornell University*, que simula o comportamento da pluma de efluentes no campo próximo.

Os resultados das simulações do descarte de água produzida mostraram que a diluição do campo próximo é suficiente para que os parâmetros considerados na composição deste efluente estejam enquadrados na legislação considerada (*i.e.* CONAMA 357/05) em distâncias de, aproximadamente, 75 m do ponto de descarte. No caso do critério ambiental mais conservativo (CENO), cuja diluição de 128 vezes é necessária, o enquadramento da água produzida também é alcançado dentro do domínio do campo próximo, a cerca de 20 m do ponto de descarte.

De acordo com estes resultados, não foi necessária a realização das simulações de campo afastado, uma vez que todos os critérios ambientais foram atingidos dentro do domínio do campo próximo. Dessa forma, alterações na qualidade da água do corpo receptor serão esperadas em distâncias inferiores a 80 m do ponto de descarte. Estes resultados evidenciam, portanto, que em distâncias inferiores ao estabelecido como a máxima distância permitida para a zona de mistura na Resolução CONAMA nº 393/07 (*i.e.* 500 m), o descarte deste tipo de efluente a partir do FPSO Maromba estará em conformidade com ambos os critérios ambientais considerados.

I INTRODUÇÃO

Neste relatório é apresentada a modelagem computacional da diluição e dispersão de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba, localizado no Bloco BC-20, Bacia de Campos.

Para estudos de modelagem, como o realizado neste trabalho, são necessários: (a) um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (morfologia da linha de costa e fundo oceânico), (b) padrões de circulação local e em larga escala, (c) séries temporais de vento de longa duração, e (d) características físico-químicas dos constituintes do efluente simulado.

A caracterização dos padrões de circulação na região foi realizada a partir dos resultados de um modelo hidrodinâmico implementado pela equipe da **ASA South America**, baseado no POM¹ (ASA, 2011). Neste relatório são apresentados os dados meteorológicos e oceanográficos utilizados na caracterização ambiental e na modelagem hidrodinâmica. Além disso, é descrito o modelo hidrodinâmico e seu processo de avaliação, com comparações entre dados observacionais e os resultados simulados.

Para o estudo do comportamento da pluma de água produzida, o processo foi dividido entre campo próximo (zona de diluição inicial, onde prevalecem os efeitos oriundos da velocidade inicial de ejeção e a diferença de densidade entre o efluente e o meio) e campo afastado (região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica local no transporte e diluição da pluma). Ressalta-se que neste relatório são apresentados apenas os resultados das simulações de campo próximo, uma vez que os critérios ambientais considerados foram alcançados dentro deste domínio. O campo próximo foi simulado utilizando-se o modelo CORMIX, desenvolvido na *Cornell University*.

¹ *Princeton Ocean Model*

A seguir, o Capítulo I, além de apresentar os objetivos desse estudo, fornece informações sobre a área em questão. O Capítulo II apresenta as características do descarte de efluentes a partir do FPSO Maromba e a modelagem do fator de diluição do campo próximo é apresentada no Capítulo III. Por fim, no Capítulo IV os resultados obtidos neste estudo são discutidos.

O Anexo A apresenta a descrição do modelo de campo próximo CORMIX, e o Anexo B apresenta as informações do campo termohalino utilizadas neste modelo. O Anexo C apresenta, respectivamente, um resumo dos dados de entrada utilizados na modelagem das plumas de efluentes (de acordo com o Termo de Referência CGPEC/DILIC/IBAMA nº 011/2009).

I.1 ÁREA DE ESTUDO

As simulações do descarte de efluentes foram realizadas a partir do FPSO Maromba, localizado no Bloco BC-20, na Bacia de Campos, conforme mostra a Figura I-1. As coordenadas dos pontos de descarte foram especificadas pela PETROBRAS e se encontram listadas na Tabela I-1.

Tabela I-1 - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) do ponto de descarte.

PONTO DESCARTE	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
FPSO Maromba	23°28'09,26"S	41°14'28,84"W	~ 150

Fonte: PETROBRAS.

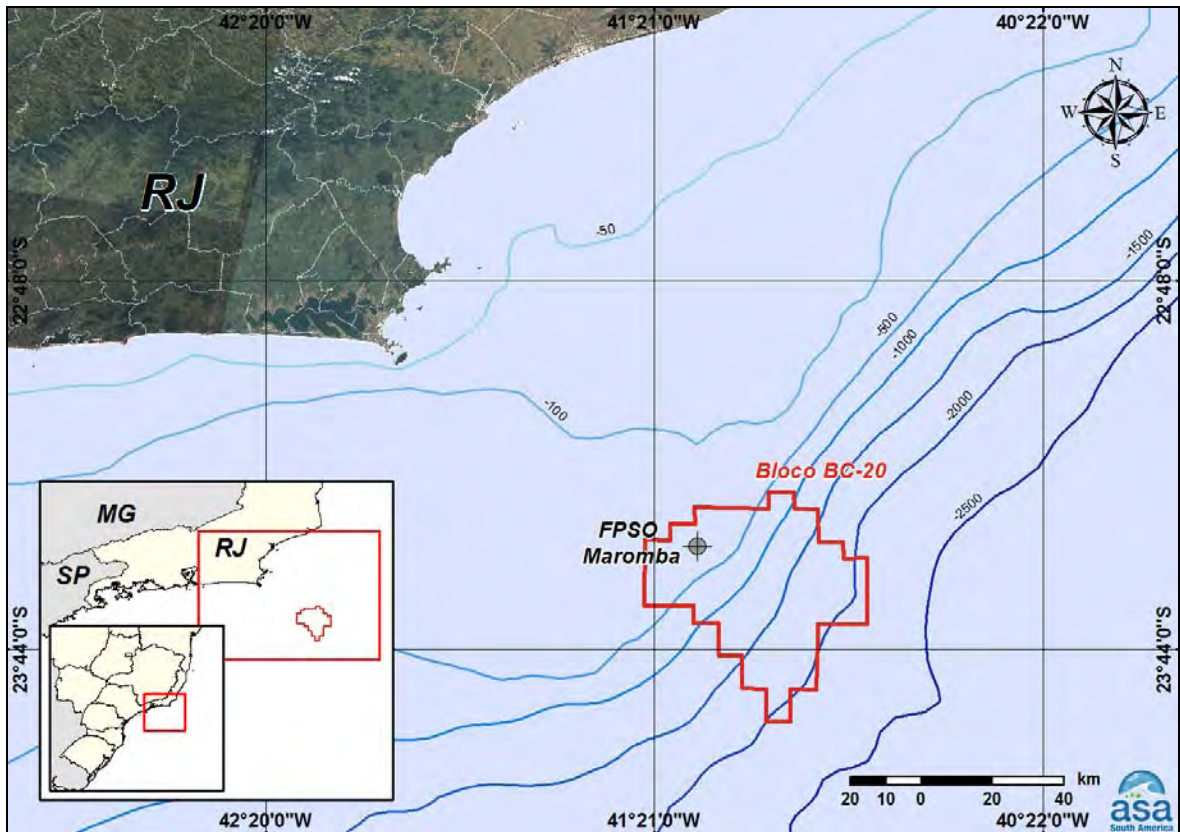


Figura I-1 - Localização do FPSO Maromba, localizado no Bloco BC-20, na Bacia de Campos. Fonte: NASA Landsat Program - Landsat 5 TM².

² Cortesia do Global Land Cover Facility (www.landcover.org):

NASA (National Aeronautics and Space Administration). Landsat Program, 2004, Landsat TM scene L5216076_07620040428, L1T, USGS, Sioux Falls. 28/04/2004. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/landsat/>>. Acesso em 10/01/2011.

II CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE E COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE

Na Tabela II-1 são apresentadas as características do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba, consideradas na modelagem. A Tabela II-2 apresenta as características do efluente, fornecidas pela PETROBRAS.

Tabela II-1 - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba.

DIÂMETRO TUBULAÇÃO	ORIENTAÇÃO DA TUBULAÇÃO	LÂMINA D'ÁGUA	ALTURA DE DESCARTE	VAZÃO DO EFLUENTE
6"	Vertical	~ 150 m	Superfície	23.000 m ³ /d

Fonte: PETROBRAS.

Tabela II-2 - Características do efluente de água produzida para a modelagem a partir do FPSO Maromba.

PARÂMETROS PARA MODELAGEM DO EFLUENTE	
Temperatura do efluente	50,0 °C
Salinidade do efluente	82,0 mg/L
Densidade do efluente	1.054,3 kg/m ³

Fonte: PETROBRAS.

Como critério ambiental foi utilizada a concentração correspondente à Concentração de Efeito Não Observado (CENO), referente ao efluente de água produzida, obtida nos testes de toxicidade com o equinodermo *Lytechinus variegatus*. A Tabela II-3 apresenta o valor da CENO, e o fator de diluição desta para o efluente simulado. Assim, a concentração do critério ambiental ficou definida como a concentração no efluente tratado diluído pelo fator de diluição da CENO apresentada nesta tabela.

Tabela II-3 - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo *Lytechinus variegatus* realizados com amostras de água produzida.

EFLUENTE	CENO*	
	%	FATOR DE DILUIÇÃO
Água produzida	0,78	1:128

* Concentração de Efeito Não Observado.

Fonte: PETROBRAS.

Para efeitos de avaliação da diluição da água produzida, descartada a partir do FPSO Maromba, foram considerados ainda os parâmetros constituintes desta. A composição e as concentrações do efluente fornecidas pela PETROBRAS, além das concentrações da legislação, segundo o Art. 18 da Resolução do CONAMA³ de nº 357/05 (Brasil, 2005), referentes aos padrões de qualidade para Águas Salinas de Classe 1, são apresentadas na Tabela II-4.

Dessa forma, como critério ambiental para as simulações de água produzida, neste relatório, foram utilizadas as concentrações existentes na legislação e o valor da CENO.

³ Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Tabela II-4 - Composição e concentrações limite da legislação para o efluente de água produzida.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE DESCARTE (mg/L)	LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 (mg/L)
Zinco	< 0,01	0,09
Vanádio	< 0,01	–
Chumbo	< 0,02	0,01
Níquel	< 0,01	0,025
Manganês	0,087	0,1
Ferro	0,766	0,3
Cobre	< 0,01	0,005
Cromo	< 0,01	0,05
Cádmio	< 0,01	0,005
Bário	2,956	1
Arsênio	< 0,01	0,01
Mercurio	< 0,0001	0,0002
HPA's	0,137	–
Benzeno	0,176	0,7
Tolueno	0,084	0,215
Xilenos	0,018	–
BTEX	0,281	–
Fenóis	0,218	0,06
Óleos e Graxas	10,0	1,0
Carbono Orgânico Total - COT	232,3	3,0
Nitrogênio Amoniacal Total	82,0	0,4
Salinidade	82,0	–

III MODELAGEM DA DILUIÇÃO E DISPERSÃO DE EFLUENTES

A modelagem do transporte de plumas de efluentes compreende a modelagem de dois domínios conhecidos por campo próximo e campo afastado. O campo próximo corresponde à zona de diluição inicial onde prevalecem os efeitos oriundos da fonte ativa (difusor), caracterizado pela velocidade inicial de ejeção (quantidade de movimento inicial do jato) e a diferença de densidade entre o efluente e o meio (quantidade de empuxo inicial do jato). Esta zona possui escala espacial da ordem de metros a dezenas de metros e escala temporal da ordem de segundos a centenas de segundos.

O campo afastado compreende a região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica passiva, e ambiental, na diluição da pluma. À medida que o efluente se afasta do ponto de lançamento diminuem os efeitos associados à velocidade inicial de ejeção, e passam a predominar os efeitos associados à velocidade do ambiente. A região onde ocorre a transição entre estes dois efeitos define os limites entre estes domínios. A escala espacial do campo afastado é da ordem de centenas de metros a quilômetros e a escala temporal da ordem de horas a dias.

De acordo com os resultados obtidos, a diluição calculada para os efluentes utilizados neste estudo é suficiente para que os critérios ambientais considerados sejam atingidos dentro do domínio do campo próximo. Dessa forma, é apresentada a seguir, apenas a modelagem do fator de diluição obtido no campo próximo.

III.1 MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO

O modelo CORMIX⁴, desenvolvido na *Cornell University* sob contrato e aprovação da EPA⁵ dos EUA, foi utilizado para simular o campo próximo do

⁴ *Cornell Mixing Zone Expert System (www.cormix.info)*

⁵ *Environmental Protection Agency*

descarte do efluente a partir do FPSO Maromba. A descrição deste modelo encontra-se no Anexo A.

As simulações de campo próximo foram divididas entre os períodos de verão e inverno, de forma a reproduzir a variabilidade sazonal das forçantes meteorológicas e oceanográficas na região de estudo.

Os valores de corrente, utilizados nas simulações do comportamento da pluma dos efluentes no campo próximo, foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico implementado na região (ASA, 2011). Considerando a simplificação quanto às correntes assumida pelo CORMIX (*i.e.* intensidade e direção de correntes constante) e a complexidade e importância do regime de fluxo neste domínio, optou-se por uma abordagem mais conservativa na determinação do fator de diluição do campo próximo.

Dessa forma, utilizou-se um valor constante de intensidade de corrente correspondente ao percentil de 10% dos valores observados no modelo hidrodinâmico utilizado (Tabela III-1). Ou seja, 90% dos valores de intensidade da corrente observados no modelo hidrodinâmico são superiores (mais intensos) do que o valor utilizado nas simulações de campo próximo. Este valor foi utilizado com base nas exigências para avaliação de plumas de efluentes da EPA (Brandsma, 2004), de forma a fornecer a mínima diluição inicial, uma vez que a diluição do efluente tende a ser maior com o aumento da intensidade da corrente ambiente, que propicia um maior entranhamento do efluente na coluna d'água.

As informações do campo termohalino utilizadas no CORMIX foram obtidas do Atlas Eletrônico de dados do WOCE⁶, e são apresentadas no Anexo B.

As características do descarte e dos efluentes do FPSO Maromba, utilizadas nas simulações do campo próximo, foram apresentadas no Capítulo II. Para a representação do efluente nestas simulações foi utilizado um composto conservativo, uma vez que este sofre apenas os processos físicos da diluição sem sofrer os efeitos dos processos bioquímicos.

⁶ *World Ocean Circulation Experiment (WOCE)*.

III.1.1 Descrição das Simulações de Campo Próximo

A versão do CORMIX considerada possui algumas limitações quanto aos dados de entrada para aplicação no descarte de efluentes em mar aberto, sendo uma delas relativa à geometria de lançamento. O CORMIX considera lançamentos orientados para baixo apenas até um ângulo vertical de 45°, insuficiente para a representação da condição do FPSO Maromba, cujo ângulo vertical de lançamento é de 90°.

Para que a limitação quanto ao ângulo de lançamento pudesse ser contornada, foi necessário realizar a inversão do descarte do efluente. Este procedimento foi realizado através de uma adaptação do procedimento proposto por Brandsma (op. cit.). Dessa forma, ao invés de ser descartado próximo à superfície da água, passou a se considerar um descarte próximo ao fundo.

Para que a física envolvida nesse processo seja mantida, são necessários alguns ajustes à geometria invertida. O caso real envolve um descarte de um efluente mais denso que o corpo receptor, lançado próximo à superfície em locais de profundidade de 150 m. O caso invertido envolve um descarte de um efluente menos denso que o corpo receptor, descartado próximo ao fundo num local de 150 m de profundidade. A densidade do efluente foi recalculada, em função da densidade ambiente, de forma que a aceleração do efluente mais denso (*i.e.* aceleração com que o efluente afunda) fosse a mesma do efluente menos denso (*i.e.* aceleração com que o efluente sobe em direção à superfície). Devido à sazonalidade da densidade ambiente, é calculado um valor de densidade do efluente diferente para cada período. Os resultados são, então, convertidos novamente para o sistema real para apresentação.

A Tabela III-1 apresenta os dados de entrada adotados nas simulações de verão e inverno com o modelo CORMIX para o descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba.

Tabela III-1 - Dados de entrada adotados no CORMIX para o FPSO Maromba.

PARÂMETROS		DADOS DE ENTRADA	
		VERÃO	INVERNO
Ambiente	Profundidade média (m)	150,0	150,0
	Profundidade de descarte (m)	150,0	150,0
	Velocidade ambiente (m/s)	0,1	0,1
	Coefficiente de Manning	0,01	0,01
	Velocidade do vento (m/s) ⁷	5,0	5,0
	Densidade ambiente na superfície (kg/m ³)	1.024,21	1.025,47
	Densidade ambiente no fundo (kg/m ³)	1.026,89	1.026,88
Efluente	Vazão do efluente (m ³ /s)	0,27	0,27
	Densidade do efluente (<i>non-fresh</i>)	998,40	999,55
	Tipo de poluente	conservativo	conservativo
Descarte	A margem mais próxima está a	direita	direita
	Distância até a margem mais próxima (m)	5.000,0	5.000,0
	Diâmetro da porta (m)	0,1524	0,1524
	Altura da porta (m)	0,0	0,0
	Ângulo vertical THETA	90°	90°
Zona de Mistura	Região de interesse (m)	50.000,0	50.000,0
	Intervalos para apresentação de resultados	20,0	20,0

III.1.2 Resultados da Diluição do Campo Próximo

A Tabela III-2 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para o descarte do efluente de água produzida a partir do FPSO Maromba. Nela se observa que a diluição é menor no período de verão (254 vezes) que no de inverno (374 vezes).

⁷ Dado de entrada necessário para o correto funcionamento do modelo, mas desconsiderado na modelagem do campo próximo.

Tabela III-2 - Resultados das simulações do campo próximo do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	253,9	373,9
Espessura da pluma (m)	9,3	11,9
Comprimento do campo próximo (m)	57,2	75,2
Profundidade terminal da pluma (m)	37,4	46,4

A Figura III-1 e a Figura III-2 apresentam as trajetórias horizontais e verticais, em relação à distância do ponto de descarte de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba, baseado nos resultados do campo próximo calculados nos períodos de verão e inverno. A Figura III-3 apresenta a diluição da pluma de água produzida em relação à distância do ponto de descarte.

Observa-se que a diluição aumenta à medida que a pluma/jato se afasta do ponto de descarte. A profundidade máxima que a pluma atinge é de, aproximadamente, 54 m no período de inverno, a cerca de 32 m do ponto de descarte, e de 44 m no de verão, a cerca de 23 m do ponto de descarte.

Através da análise dos resultados do FPSO Maromba apresentados a seguir, observa-se que a diluição calculada é suficiente para que o critério ambiental relativo à CENO (*i.e.* diluição de 128 vezes) seja atingido dentro dos limites do campo próximo.

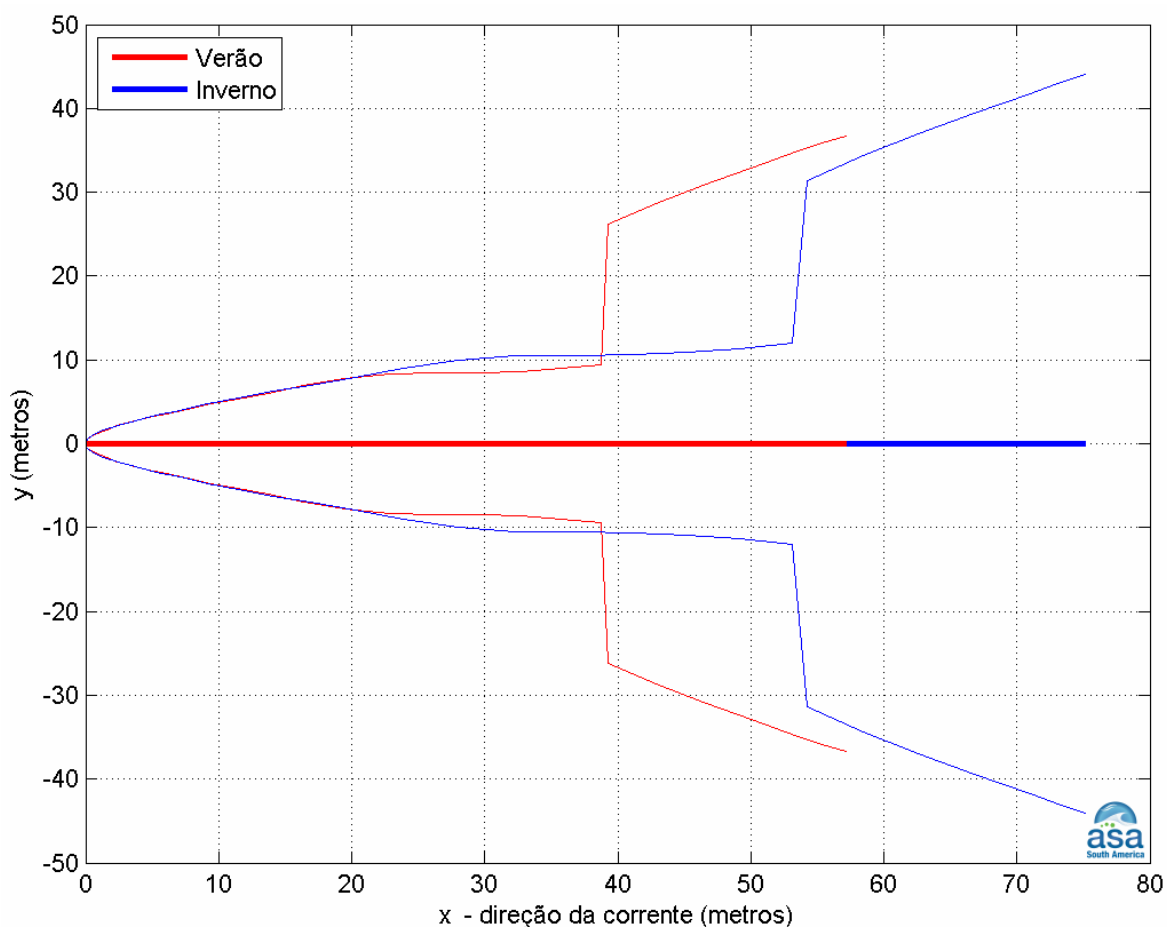


Figura III-1 - Trajetória horizontal (visão superficial) da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno (as linhas mais finas representam os limites laterais da pluma e a linha mais grossa representa a linha central da pluma).

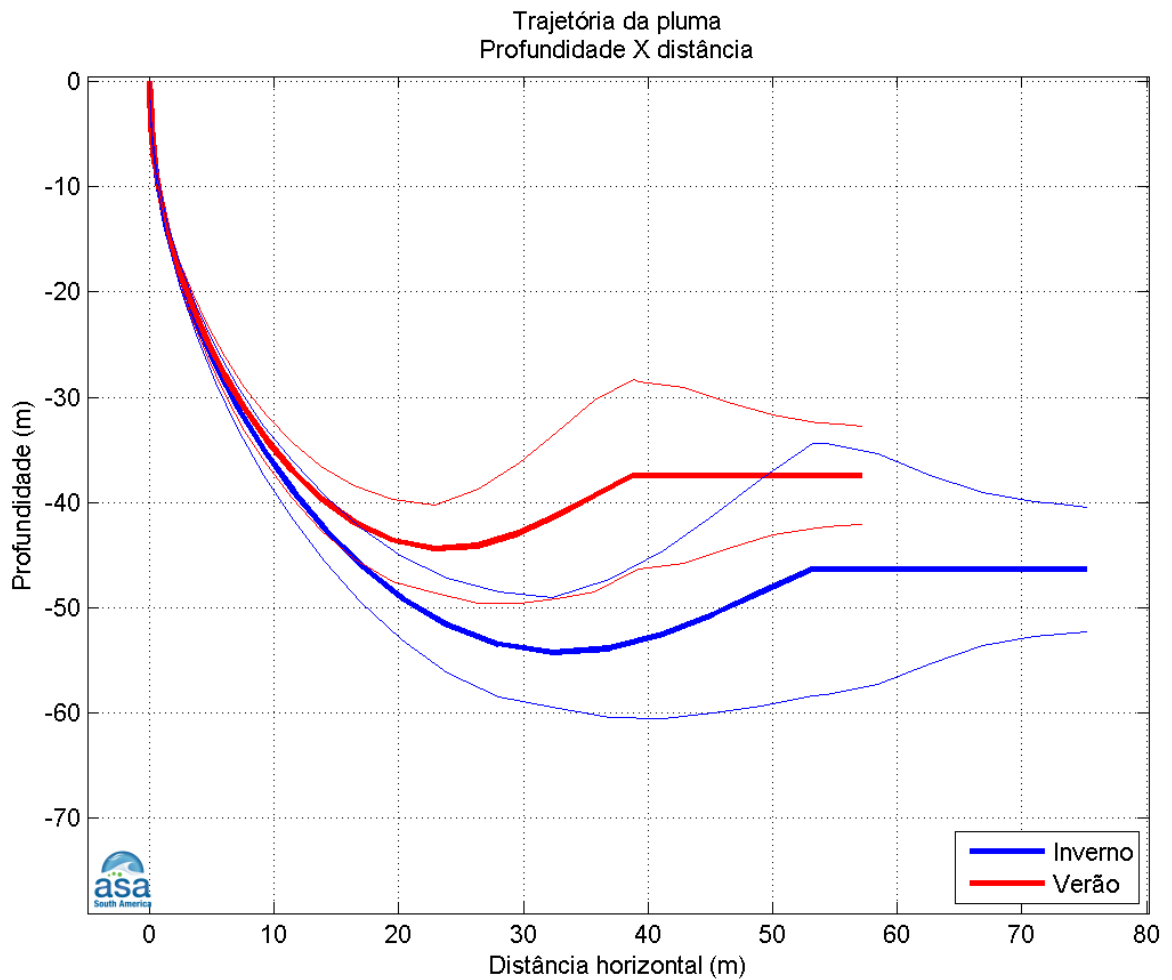


Figura III-2 - Profundidades em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno (as linhas mais finas representam os limites laterais da pluma e a linha mais grossa representa a linha central da pluma).

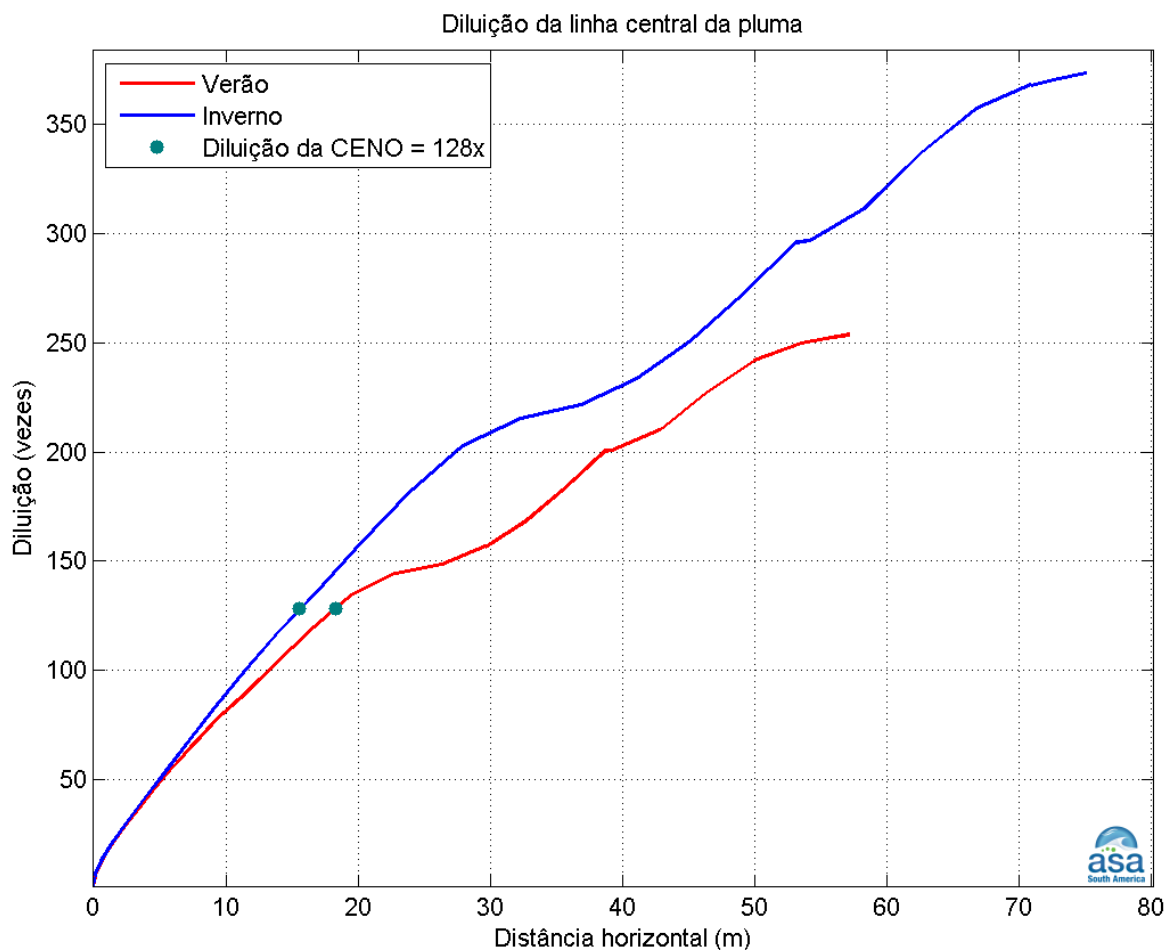


Figura III-3 - Diluição em relação à distância do ponto de descarte da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno.

A Figura III-4 a seguir, apresenta uma visualização tridimensional da pluma de água produzida para o período de verão, e a Figura III-5 para o período de inverno. Nestas figuras, a razão de aspecto da escala vertical foi alterada para permitir uma melhor visualização.

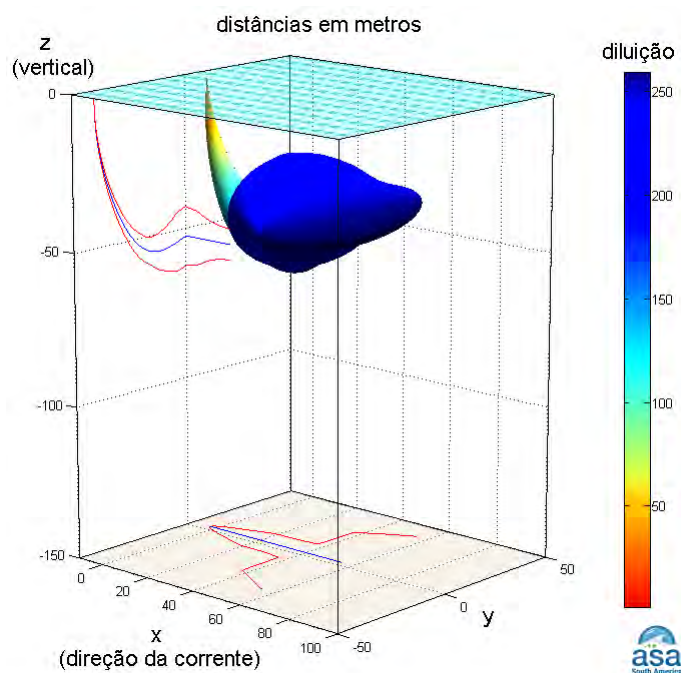


Figura III-4 - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba no período de verão (as linhas vermelhas representam os limites laterais da pluma e a linha azul representa a linha central da pluma).

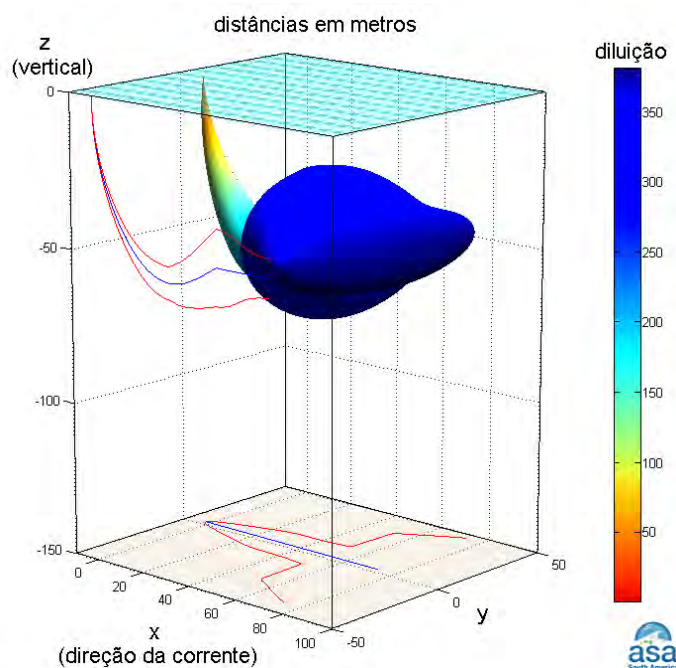


Figura III-5 - Visualização tridimensional do campo próximo da pluma de água produzida descartada a partir do FPSO Maromba no período de inverno (as linhas vermelhas representam os limites laterais da pluma e a linha azul representa a linha central da pluma).

A Tabela III-3 apresenta as concentrações iniciais dos componentes presentes na água produzida, as concentrações limite da legislação (CONAMA 357/05) e as concentrações correspondentes à diluição no final do campo próximo. No caso da salinidade, foi utilizado como critério o valor médio de salinidade do meio para os períodos de verão e inverno (obtidos nos dados apresentados no Anexo B).

Conforme se observa nesta tabela, dos parâmetros constituintes deste efluente, que possuem limite estabelecido na legislação (CONAMA 357/05), a diluição inicial no campo próximo é suficiente para que todos estejam enquadrados neste critério ambiental, dentro deste domínio, em distâncias de, aproximadamente, 75 m.

Tabela III-3 - Concentração dos parâmetros simulados no ponto de descarte, além da concentração limite da legislação e valores correspondentes à diluição no campo próximo para a água produzida descartada a partir do FPSO Maromba nos períodos de verão e inverno.

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE DESCARTE (mg/L)	LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 (mg/L)	CONCENTRAÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO (mg/L)	
			VERÃO	INVERNO
Zinco	< 0,01	0,09	0,00004	0,00003
Vanádio	< 0,01	–	0,00004	0,00003
Chumbo	< 0,02	0,01	0,00008	0,00005
Níquel	< 0,01	0,025	0,00004	0,00003
Manganês	0,087	0,1	0,00034	0,00023
Ferro	0,766	0,3	0,00302	0,00205
Cobre	< 0,01	0,005	0,00004	0,00003
Cromo	< 0,01	0,05	0,00004	0,00003
Cádmio	< 0,01	0,005	0,00004	0,00003
Bário	2,956	1	0,01165	0,00791
Arsênio	< 0,01	0,01	0,00004	0,00003
Mercurio	< 0,0001	0,0002	0,0000004	0,0000003
HPA's	0,137	–	0,00054	0,00037
Benzeno	0,176	0,7	0,00069	0,00047
Tolueno	0,084	0,215	0,00033	0,00022
Xilenos	0,018	–	0,00007	0,00005
BTEX	0,281	–	0,00111	0,00075
Fenóis	0,218	0,06	0,00086	0,00058
Óleos e Graxas	10,0	1,0	0,03940	0,02675
Carbono Orgânico Total	232,3	3,0	0,91529	0,62129
Nitrogênio Amoniacal Total	82,0	0,4	0,32309	0,21931
Salinidade	82,0	–	36.657,4	36.175,4

IV CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório apresenta o estudo numérico realizado para a determinação da diluição e dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba, localizado no Bloco BC-20, Bacia de Campos.

Com este objetivo, a modelagem foi conduzida através da separação de dois domínios conhecidos por campo próximo e campo afastado. De acordo com os resultados das simulações, a diluição calculada no campo próximo é suficiente para que este efluente esteja enquadrado nos critérios ambientais considerados neste estudo. Desta forma, foram realizadas apenas as simulações de campo próximo, simuladas com o modelo CORMIX, desenvolvido na *Cornell University*.

Para a determinação da área de influência do descarte foram conduzidas simulações considerando as variações sazonais das forçantes meteorológicas e oceanográficas, através da seleção dos períodos de verão e inverno. Para representação dos efluentes, foi utilizado um composto conservativo.

Para o descarte da água produzida foram realizadas simulações utilizando a vazão de 23.000 m³/dia. Como critérios ambientais foram utilizadas as concentrações existentes na Resolução do CONAMA nº 357/05, referentes ao Art. 18, correspondentes aos padrões de qualidade para Águas Salinas de Classe 1, e a diluição correspondente à Concentração de Efeito Não Observado (CENO).

Os resultados das simulações do descarte de água produzida mostraram que a diluição do campo próximo é suficiente para que os parâmetros considerados na composição deste efluente estejam enquadrados na legislação considerada (*i.e.* CONAMA 357/05) em distâncias de, aproximadamente, 75 m do ponto de descarte.

No caso do critério ambiental mais conservativo (CENO), cuja maior diluição é necessária (128 vezes), o enquadramento da água produzida é alcançado a cerca de 20 m do ponto de descarte.

Desta forma, alterações na qualidade da água do corpo receptor serão esperadas em distâncias inferiores a 80 m do ponto de descarte. Estes resultados evidenciam, portanto, que em distâncias inferiores ao estabelecido como a distância máxima de 500 m permitida para a zona de mistura na Resolução do CONAMA nº 393/07 (Brasil, 2007), o descarte deste tipo de efluente a partir do FPSO Maromba estará enquadrado em ambos os critérios ambientais considerados.

V BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2011. Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sudeste Brasileira, Bacias de Campos e Santos. **Relatório Técnico**, Revisão 00 (16 de fevereiro de 2011). 103pp+Anexos.

BRANDSMA, M.G., 2004. Modeling of Cooling Water, ORV Cold-Water and Cavern Leaching Brine Plumes from Main Pass Energy Hub. **Technical Report**. Ecology and Environmental, Inc; 23 February 2004. 83pp.

BRASIL, 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 18 mar. 2005.

BRASIL, 2007. Resolução CONAMA nº 393, de 08 de agosto de 2007. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 09 ago. 2007.

VI EQUIPE TÉCNICA

Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.

Profissional	Ana Carolina da Rocha Lammardo
Empresa	Applied Science Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	325047
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Eduardo Yassuda
Empresa	Applied Science Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	060.184.738.5
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	94066
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Gabriel Clauzet
Empresa	Applied Science Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	1031373
Responsável pela(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Marco Antonio Corrêa
Empresa	Applied Science Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	434236
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Mariana Coppedê Cussioli
Empresa	Applied Science Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	5141104
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

Profissional	Maurício Person Lammardo
Empresa	Applied Science Consultoria Ltda.
Registro no Conselho de Classe	000.000.000-0
Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental	272165
Responsável pelo(s) Capítulo(s)	TODOS
Assinatura	_____

ANEXO A DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS CORMIX

O CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*), desenvolvido na *Cornell University*, é um sistema de modelos computacionais desenvolvido para a análise, previsão e planejamento do descarte de efluentes em diferentes corpos d'água (Jirka *et al.*, 1996). Este modelo possui aprovação do órgão ambiental dos EUA, e é utilizado em consultorias e órgãos ambientais de vários outros países (entre eles a CETESB de São Paulo).

A ênfase do sistema se dá na previsão da geometria e das características de diluição da zona de mistura inicial, permitindo que valores aceitáveis de qualidade de água sejam calculados e discutidos.

Embora a metodologia do CORMIX considere condições ambientais estacionárias (descarte contínuo, profundidade constante, intensidade e direção de correntes constante), o sistema representa uma ferramenta adequada de previsões qualitativas (*e.g.*, classificação de fluxos) e quantitativas (*e.g.*, taxas de diluição, trajetórias de plumas) dos processos de misturas resultantes de diferentes configurações de descartes, e em vários tipos de corpos d'água, incluindo rios, lagos, reservatórios, estuários e águas costeiras.

Estas simplificações dinâmicas se justificam uma vez que os processos do campo próximo possuem durações curtas e ocorrem em curtas distâncias, não exigindo dessa forma, da representação da dinâmica local que ocorre em escalas maiores.

O CORMIX é composto por três subsistemas:

- (a) CORMIX1, utilizado para a análise de lançamentos pontuais abaixo da superfície (*submerged single port discharges*);
- (b) CORMIX2, para a análise de múltiplos lançamentos pontuais (difusores multiorifícios) abaixo da superfície (*submerged multiport diffuser discharges*);
- (c) CORMIX3, para a análise de lançamentos superficiais (*surface discharges*) não submersos e com escoamento de superfície livre (*i.e.* canais).

No presente estudo foi utilizado o subsistema CORMIX1 da versão 4.1GT do CORMIX.

A.1 BIBLIOGRAFIA

JIRKA, G.H.; DONEKER, R.L. & HINTON, S.W., 1996. User's manual for CORMIX. A hydrodynamic mixing zone model and decision support system for pollutant discharges into surface waters. U.S. Environmental Protection Agency. 152pp.

ANEXO B ANÁLISE DOS DADOS DE TEMPERATURA E SALINIDADE

Os dados de temperatura e salinidade utilizados na modelagem de dispersão de efluentes, relativos à seção apresentada na Figura B-1, foram obtidos no Atlas Eletrônico de dados do WOCE⁸. Este experimento fez parte do *World Climate Research Programme* (WRCP), um programa realizado por um conjunto de mais de 30 países, em um esforço sem precedentes para coleta e observação dos oceanos durante a década de 1990⁹.

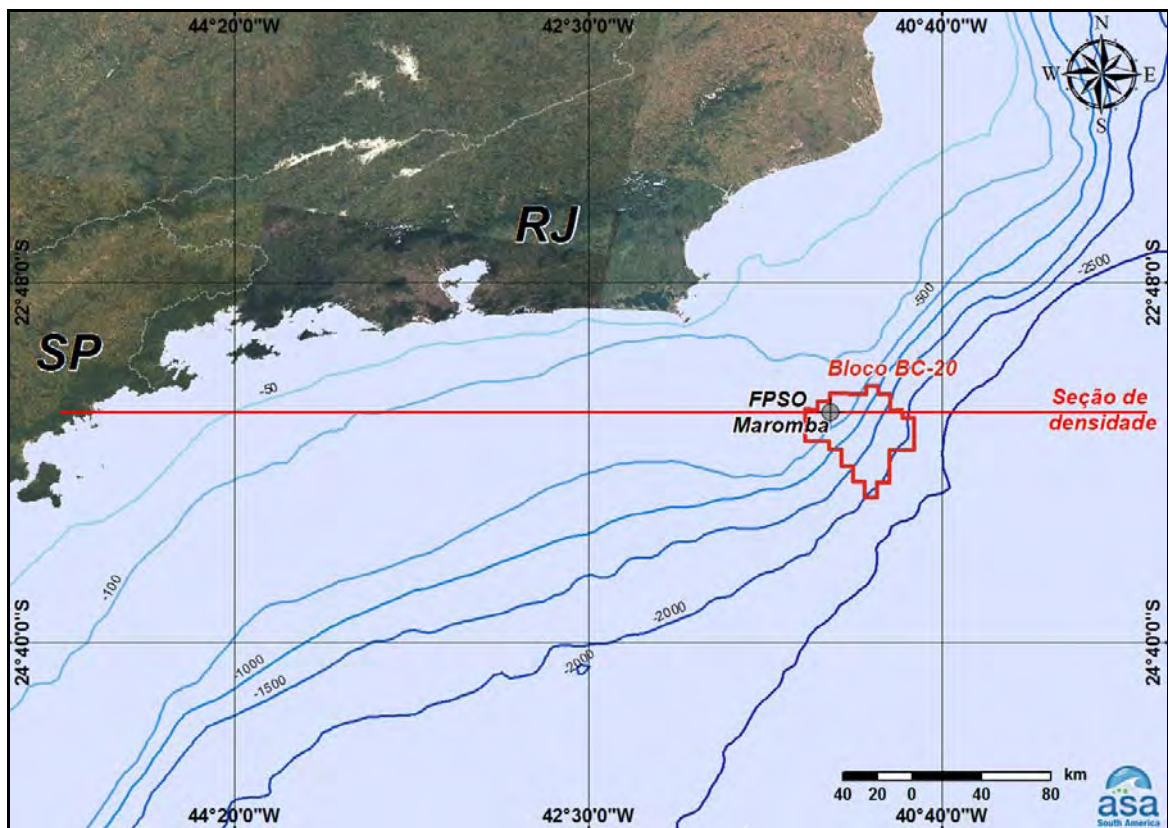


Figura B-1 - Localização da seção vertical de densidade obtida para as simulações de dispersão de efluentes a partir do FPSO Maromba.

⁸ *World Ocean Circulation Experiment*. Cópias destes dados são distribuídas em DVD a partir do *WOCE Global Dataset* (versão 3.0) do *National Oceanographic Data Center* (NODC) dos Estados Unidos, ou disponíveis em: <http://woce.nodc.noaa.gov/woce_v3/wocedata_1/>.

⁹ O conjunto completo de todas as referências do WOCE está disponível em: <http://woce.nodc.noaa.gov/woce_v3/wocedata_1/wocedocs/bibliography/index.htm>.

Os dados de hidrografia são provenientes do *WOCE Hydrographic Program*¹⁰ (via CTD e amostras de água), complementados com informações de temperatura de superfície obtidas via satélite (NOAA-n AVHRR).

As Figuras B-2 e B-3 apresentam o perfil vertical do campo de densidade médio calculado com base nestes dados, ao longo de 23,5°S, com cerca de 570 km de extensão, para os períodos de verão (janeiro a março) e de inverno (junho a agosto), respectivamente.

Os procedimentos de análise, filtragem e interpolação, realizados nesses dados, foram realizados em quatro etapas:

1. Para selecionar a região e período de interesse, foi utilizado o *software*¹¹ ODV, resultando em vários arquivos *ascii* (contendo as informações de longitude, latitude, dado e *flag*), de temperatura e salinidade mensais, um para cada nível vertical escolhido;
2. Antes de serem interpolados, os dados foram filtrados, utilizando a opção de exclusão das estações ruins (no ODV), além da exclusão dos dados que estivessem fora do intervalo de confiança. Este intervalo foi estabelecido com base em um conjunto de dados climatológicos interpolados segundo a metodologia de Levitus & Boyer (1994);
3. No *software* SURFER foi realizada a análise prévia de variância (variograma) e a posterior interpolação, realizada com o método de krigagem;
4. Os arquivos no formato *ascii* foram compostos em arquivos sazonais de temperatura e salinidade e convertidos para o formato *netcdf* através do *software* FERRET¹².

¹⁰ *WOCE Hydrographic Program Office. Scripps Institution of Oceanography. University of California, San Diego. La Jolla, CA 92093 - S. Diggs, J. Kappa, D. Kinkade, and J. Swift, September 2002.*

¹¹ *Ocean Data View. Disponível em: <<http://odv.awi.de/en/software/download/>>.*

¹² Disponível em: <<http://ferret.pmel.noaa.gov/Ferret/home>>.

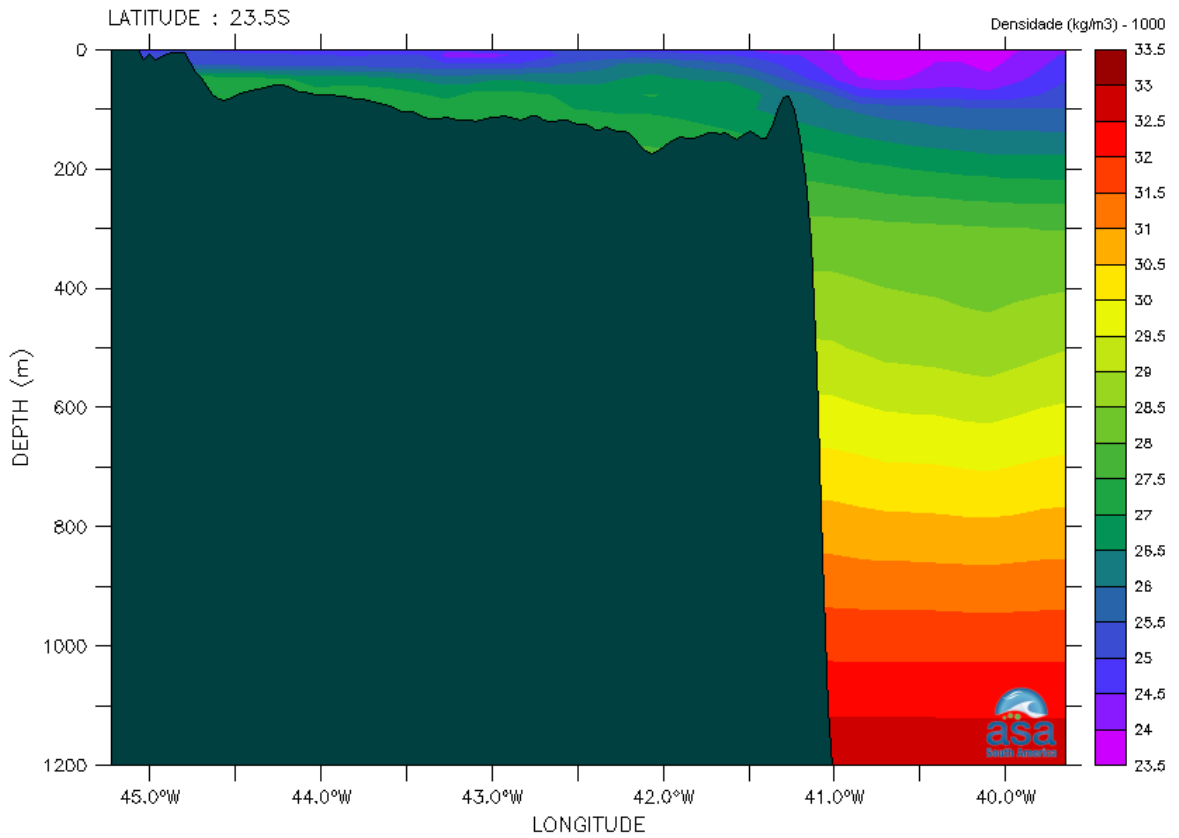


Figura B-2 - Seção vertical de densidade (kg/m³) ao longo de 23,5°S para o período de janeiro a março (verão).

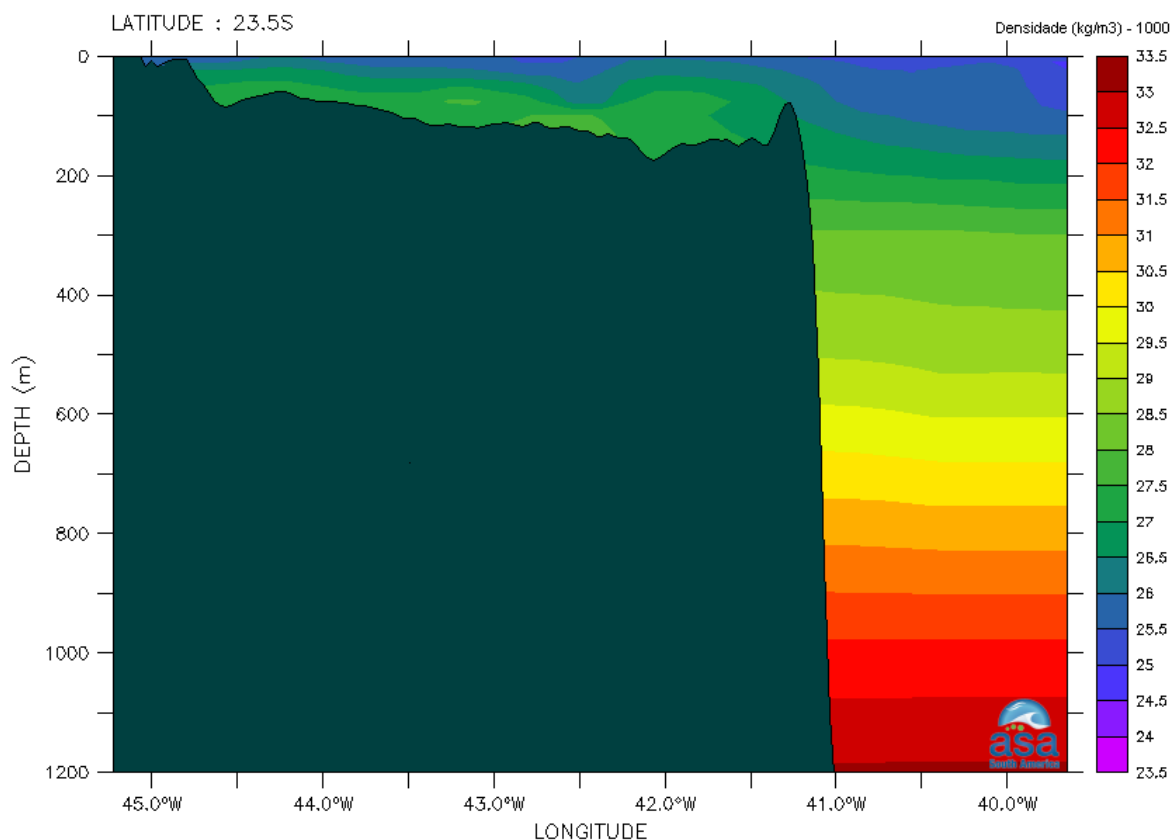


Figura B-3 - Seção vertical de densidade (kg/m³) ao longo de 23,5°S para o período de junho a agosto (inverno).

B.1 BIBLIOGRAFIA

LEVITUS, S. & BOYER, T.P., 1994. World Ocean Atlas 1994. Technical Report Vol. 4, National Oceanographic Data Center, Ocean Climate Laboratory. 117 pp.

ANEXO C RESUMO DOS DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

A Tabela C-1, a seguir, apresenta um resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas de água produzida descartadas a partir do FPSO Maromba, localizado na Bacia de Campos, de acordo com o TR nº 011/2009 - CGPEC/DILIC/IBAMA.

Tabela C-1 - Resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba.

	DADOS	JUSTIFICATIVA
DESCRIÇÃO		
Local descarte (coordenadas geodésicas)	23°30'48,72" e 41°03'51,40"W (SAD 69)	Item I.1
Profundidade da lâmina d'água local (m)	1.165,0	Item I.1
DADOS DO DESCARTE		
Vazão (bbl/h)	6.197,5	Item II
Fluxo volume descartado (m/s)	–	*
Raio da tubulação de descarga (ft)	0,1524	Item II
Profundidade descarga (ft)	superfície	Item II
Volume de água descartada (m ³)	–	*
Ângulo vertical de descarga (em graus referentes à horizontal positivo para baixo e negativo para cima)	90°	Item II
Azimute de descarga	–	*
Duração de descarga (s)	–	Item II
Temperatura do efluente (°C)	50,0	Item II
Salinidade do efluente	82,0	Item II
Densidade efluente (g/cm ³)	1,0543	Item II
Estrutura da plataforma	–	*
DADOS DO AMBIENTE		
Campo próximo		
Intensidade da corrente (m/s)	0,0966 - 0,0998	Item III.1.1
Direção das correntes (°)	–	*
Temperatura da água do mar (°)	–	*
Salinidade da água do mar	–	*
Densidade do mar (g/cm ³)	1,02422 - 1,02689	Anexo B
Altura de onda significativa (ft)	–	*
Período de onda significativa (s)	–	*
Velocidade de vento (ft/s)	5,0	*
Temperatura do ar à superfície do mar (°C)	–	*
Descrição da partícula a modelar	Composto conservativo	Item III.1.1

* Informação não necessária ou não utilizada na modelagem.

Tabela C-1 - Resumo dos dados de entrada utilizados nas modelagens de dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida a partir do FPSO Maromba (continuação).

	DADOS	JUSTIFICATIVA
DADOS DO AMBIENTE (cont.)		
Campo afastado		
Intensidade da corrente (m/s)	–	*
Direção das correntes (°)	–	*
Temperatura da água do mar (°)	–	*
Salinidade da água do mar	–	*
Densidade do mar (g/cm ³)	–	*
Altura de onda significativa (ft)	–	*
Período de onda significativa (s)	–	*
Velocidade de vento (ft/sec)	–	*
Temperatura do ar à superfície do mar (°C)	–	*
Descrição da partícula a modelar	–	*
Duração da simulação (s)	–	*
DADOS DO EFLUENTE		
Princípio ativo	–	*
Concentração inicial (ppm)	–	*
CEO (%)	–	*
CENO (%)	0,78	Item II
VC (%)	–	*
DADOS DE SAÍDA DA PLUMA		
Campo próximo		
Espessura (m)	9,3 - 11,9	Item III.1.2
Comprimento (m)	57,2 - 75,2	Item III.1.2
Profundidade (m)	37,4 - 46,4	Item III.1.2
Concentração (ppm)	–	*
Campo afastado		
Espessura (m)	–	*
Comprimento (m)	–	*
Profundidade (m)	–	*
Concentração (ppm)	–	*

* Informação não necessária ou não utilizada na modelagem.

C.1 BIBLIOGRAFIA

ASA (Applied Science Associates South America), 2011. Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sudeste Brasileira, Bacias de Campos e Santos. **Relatório Técnico**, Revisão 00 (16 de fevereiro de 2011). 103pp+Anexos.