

# Modelagem do Descarte de Efluentes a partir dos Projetos Piloto de Guar e Desenvolvimento da Produo de Iracema, Bacia de Santos



E&P

Revisão 00  
Jun/2010



**Modelagem do Descarte de Efluentes a  
partir dos Projetos Piloto de Guar e  
Desenvolvimento da Produção de Iracema,  
Bacia de Santos**

Revisão 00

Junho / 2010



E&P







## ÍNDICE GERAL

RESUMO .....	1
I INTRODUO .....	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO .....	I-2
II CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE E COMPOSIO DOS EFLUENTES .....	II-1
II.1 ÁGUA PRODUZIDA .....	II-1
II.2 URS .....	II-3
III MODELAGEM DO FATOR DE DILUIO NO CAMPO PRÓXIMO .....	III-1
III.1 DESCRIO DAS SIMULAOES DE CAMPO PRÓXIMO .....	III-1
III.1.1 ÁGUA PRODUZIDA .....	III-2
III.1.2 URS .....	III-4
IV MODELAGEM DA DILUIO NO CAMPO AFASTADO .....	IV-1
IV.1 DESCRIO DOS CENÁRIOS SIMULADOS .....	IV-1
IV.1.1 CENÁRIOS PROBABILÍSTICOS .....	IV-1
IV.1.2 CENÁRIOS DETERMINÍSTICOS .....	IV-9
V MODELAGEM DE DESCARTE DE EFLUENTES A PARTIR DO PILOTO DE GUAR E DP DE IRACEMA .....	V-1
V.1 RESULTADOS DA DILUIO DO CAMPO PRÓXIMO .....	V-1
V.1.1 PILOTO DE GUAR .....	V-1
V.1.2 DP DE IRACEMA .....	V-7
V.2 RESULTADOS DAS SIMULAOES PROBABILÍSTICAS .....	V-12
V.2.1 PILOTO DE GUAR .....	V-13
V.2.2 DP DE IRACEMA .....	V-19
V.3 RESULTADOS DAS SIMULAOES DETERMINÍSTICAS .....	V-25
V.3.1 PILOTO DE GUAR .....	V-26
V.3.2 DP DE IRACEMA .....	V-39
VI CONSIDERAOES FINAIS .....	VI-1
VII BIBLIOGRAFIA .....	VII-1
VIII EQUIPE TÉCNICA .....	VIII-1
ANEXO A     DESCRIO DO SISTEMA DE MODELOS CORMIX .....	A-1
ANEXO B     DESCRIO DO SISTEMA DE MODELOS CHEMMAP .....	B-1

---

ANEXO C	CONDIÇÕES DOS INSTANTES INICIAIS DAS SIMULAÇÕES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS .....	C-1
ANEXO D	RELATÓRIO DE ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	D-1

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela I-1</b> - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) dos pontos de lançamento e coordenadas do Piloto de Tupi-NE. ....	I-2
<b>Tabela II-1</b> - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte de água produzida a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. ....	II-1
<b>Tabela II-2</b> - Características do efluente de água produzida para a modelagem a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. ....	II-1
<b>Tabela II-3</b> - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo <i>Lytechinus variegatus</i> realizados com amostras de água produzida. ....	II-2
<b>Tabela II-4</b> - Composição e concentrações limite da legislação para o efluente de água produzida. ....	II-2
<b>Tabela II-5</b> - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte do efluente da URS a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. ....	II-3
<b>Tabela II-6</b> - Características do efluente da URS descartado a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. ....	II-3
<b>Tabela II-7</b> - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo <i>Lytechinus variegatus</i> realizados com amostras do efluente da URS do FPSO Brasil. ....	II-4
<b>Tabela III-1</b> - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o Piloto de Guar. ....	III-3
<b>Tabela III-2</b> - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o DP de Iracema. ....	III-4
<b>Tabela III-3</b> - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o Piloto de Guar (URS). ....	III-6
<b>Tabela III-4</b> - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o DP de Iracema (URS). ....	III-6
<b>Tabela V-1</b> - Resultados das simulações do campo próximo do descarte de água produzida a partir do Piloto de Guar. ....	V-1
<b>Tabela V-2</b> - Concentração dos parâmetros simulados no ponto de lançamento, além da concentração limite da legislação e valores correspondentes  diluição no campo próximo para a água produzida descartada a partir do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno. ....	V-4
<b>Tabela V-3</b> - Resultados das simulações do campo próximo do descarte do efluente da URS a partir do Piloto de Guar. ....	V-4
<b>Tabela V-4</b> - Resultados das simulações do campo próximo do descarte de água produzida a partir do DP de Iracema. ....	V-7
<b>Tabela V-5</b> - Concentração do parâmetro simulado no ponto de lançamento além da concentração limite da legislação e valores correspondentes  diluição no campo próximo para a água produzida descartada a partir do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno. ....	V-10

---

<b>Tabela V-6</b> - Resultados das simulações do campo próximo do descarte do efluente da URS a partir do DP de Iracema. ....	V-10
<b>Tabela V-7</b> - Diluições médias calculadas para a água produzida descartada a partir do Piloto de Guará a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-14
<b>Tabela V-8</b> - Diluições médias calculadas para o efluente da URS do Piloto de Guará sem e com a adição de biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-15
<b>Tabela V-9</b> - Diluições médias calculadas para a água produzida descartada a partir do DP de Iracema a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-20
<b>Tabela V-10</b> - Diluições médias calculadas para o efluente da URS do DP de Iracema sem e com a adição de biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-21
<b>Tabela V-11</b> - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas da água produzida descartada a partir do Piloto de Guará a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-26
<b>Tabela V-12</b> - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas do efluente da URS do Piloto de Guará sem e com a adição do biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-31
<b>Tabela V-13</b> - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas da água produzida descartada a partir do DP de Iracema a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-40
<b>Tabela V-14</b> - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas do efluente da URS do DP de Iracema sem e com a adição do biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno. ....	V-44

## LISTA DE FIGURAS

- Figura I-1** - Localiza dos Pilotos de Guar e Tupi NE, e do DP de Iracema, Bacia de Santos. Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. .... I-3
- Figura IV-1** - Grade *habitat/depth* utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para o Piloto de Guar. No detalhe inferior são apresentadas a localiza do ponto, da grade e o continente como referência..... IV-3
- Figura IV-2** - Grade *habitat/depth* utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para o DP de Iracema. No detalhe inferior são apresentadas a localiza do ponto, da grade e o continente como referência..... IV-4
- Figura IV-3** - Grade *habitat/depth* utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para a URS do Piloto de Guar, com e sem adio de biocida. No detalhe inferior, a localiza do ponto de descarte, da grade e a costa como referência. .... IV-7
- Figura IV-4** - Grade *habitat/depth* utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para a URS do DP de Iracema, com e sem adio de biocida. No detalhe inferior, a localiza do ponto de descarte, da grade e a costa como referência. .... IV-8
- Figura V-1** - Diluio em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno. .... V-2
- Figura V-2** - Profundidades em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno. .... V-3
- Figura V-3** - Diluio em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno. .... V-5
- Figura V-4** - Profundidades em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno. .... V-6
- Figura V-5** - Diluio em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno. .... V-8
- Figura V-6** - Profundidades em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno. .... V-9
- Figura V-7** - Diluio em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno. .... V-11
- Figura V-8** - Profundidades em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno. .... V-12
- Figura V-9** - Diluies calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar, simulada no período de verão, após 24 horas..... V-14

---

<b>Figura V-10</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de inverno, após 24 horas. ....	V-15
<b>Figura V-11</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição do biocida, simulada no período de verão, após 24 horas. ....	V-16
<b>Figura V-12</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição do biocida, simulada no período de inverno, após 24 horas. ....	V-17
<b>Figura V-13</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará com a adição do biocida, simulada no período de verão, após 1 hora. ....	V-18
<b>Figura V-14</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará com a adição do biocida, simulada no período de inverno, após 1 hora. ....	V-19
<b>Figura V-15</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de verão, após 24 horas. ....	V-20
<b>Figura V-16</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de inverno, após 24 horas. ....	V-21
<b>Figura V-17</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição do biocida, simulada no período de verão, após 24 horas. ....	V-22
<b>Figura V-18</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição do biocida, simulada no período de inverno, após 24 horas. ....	V-23
<b>Figura V-19</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição do biocida, simulada no período de verão, após 1 hora. ....	V-24
<b>Figura V-20</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição do biocida, simulada no período de inverno, após 1 hora. ....	V-25
<b>Figura V-21</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. ....	V-27
<b>Figura V-22</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de inverno (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. ....	V-28
<b>Figura V-23</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. ....	V-29
<b>Figura V-24</b> - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. ....	V-30
<b>Figura V-25</b> - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição de biocida, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. ....	V-32

---

- Figura V-26** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio de biocida, simulada no período de inverno (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-33
- Figura V-27** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-34
- Figura V-28** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-35
- Figura V-29** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, simulada no período de verão (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-36
- Figura V-30** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, simulada no período de inverno (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-37
- Figura V-31** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-38
- Figura V-32** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-39
- Figura V-33** - Diluies calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de verão (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-40
- Figura V-34** - Diluies calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de inverno (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-41
- Figura V-35** - Diluies calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-42
- Figura V-36** - Diluies calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-43
- Figura V-37** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adio de biocida, simulada no período de verão (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-45
- Figura V-38** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adio de biocida, simulada no período de inverno (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-46

- Figura V-39** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-47
- Figura V-40** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas. .... V-48
- Figura V-41** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-49
- Figura V-42** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, simulada no período de inverno (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-50
- Figura V-43** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-51
- Figura V-44** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora. .... V-52

## RESUMO

Este relatório apresenta os resultados das simulaes numéricas do processo de dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida e efluentes da unidade de remoção de sulfatos (URS) a partir dos Projetos Piloto de Guar e de Desenvolvimento da Produo (DP) de Iracema, localizados na área do Pré-Sal, Bacia de Santos.

O campo de correntes característico dos padrões de circulação na região foi obtido a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), adaptado e implementado pela **ASA South America**.

No estudo do comportamento das plumas 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). O campo próximo foi simulado utilizando-se o modelo CORMIX da *Cornell University*. Para simular a diluição da pluma no campo afastado, foi utilizado o modelo CHEMMAP, desenvolvido pela **Applied Science Associates (ASA), Inc.** Este modelo simula a diluição de produtos químicos (e.g. dispersão, entranhamento, deposição, dissolução, evaporação) e sua distribuição na superfície e coluna d'água, nos sedimentos e na costa. Com os resultados das simulações  possível determinar a probabilidade de ocorrência e a concentração dos compostos químicos considerados.

Para o descarte da água produzida foram realizadas simulações com duração de 24 horas, utilizando a vazão de 18.000 m<sup>3</sup>/dia e dois critérios ambientais: Resolução do CONAMA de não 357/05 e Concentração de Efeito Não Observado (CENO).

Os resultados das simulações do descarte de água produzida mostraram que, em distância inferior a 67 m do ponto de descarte, os parâmetros constituintes deste efluente são enquadrados na legislação considerada (CONAMA 357/05). Para enquadramento no critério ambiental mais conservativo (CENO),  necessária uma diluição maior, alcançada em distância inferior a 100 m do ponto de lançamento. Os resultados para água produzida mostram, portanto, que o

descarte de água produzida enquadra-se, em ambos os critérios ambientais considerados, em uma distância inferior ao estabelecido como a máxima distância permitida para a zona de mistura na Resolução do CONAMA de nº 393/07 (*i.e.* 500 m).

Para o descarte de efluente da URS foram realizadas simulações com duração de 24 horas para o efluente sem adição de biocida, e simulações de 1 hora (tempo de adição do biocida) para o efluente com biocida, utilizando a vazão de 6.000 m<sup>3</sup>/dia. Como critério ambiental considerou-se diluição correspondente à CENO.

Os resultados das simulações para o descarte de efluente da URS mostraram que a diluição suficiente para o enquadramento no critério ambiental (CENO) é alcançada em distâncias inferiores a 40 m.

## I INTRODUÇÃO

Neste relatório é apresentada a modelagem computacional de dispersão de efluentes (água produzida e da unidade de remoção de sulfatos – URS) descartados a partir dos Projetos Piloto de Guará e Desenvolvimento da Produção (DP) de Iracema, localizados na Área do Pré-Sal, Bacia de Santos.

Essa avaliação foi conduzida através da separação de dois domínios conhecidos por campo próximo e campo afastado. O campo próximo foi simulado com o modelo CORMIX da *Cornell University* e o campo afastado com o sistema de modelos computacionais conhecido como CHEMMAP, desenvolvido pela ***Applied Science Associates (ASA), Inc.*** dos EUA.

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 (preferencialmente de bóias *offshore* e/ou estação meteorológica costeira), e (d) características físico-químicas dos constituintes presentes no 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 *Princeton Ocean Model* (POM), e apresentada em ASA (2009). 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.

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 Piloto de Guará e DP de Iracema. O Capítulo III descreve a modelagem do fator de diluição do campo próximo enquanto o Capítulo IV descreve o modelo CHEMMAP utilizado na modelagem do campo afastado. Os resultados das simulações no campo próximo e no campo

afastado são apresentados no Capítulo V. Por fim, no Capítulo VI os resultados obtidos neste estudo são discutidos.

Os Anexos A e B apresentam, respectivamente, a descrição dos modelos CORMIX e CHEMMAP. O Anexo C, por sua vez, apresenta as condições meteorológicas e oceanográficas referentes aos instantes iniciais das simulações determinísticas críticas, apresentadas neste estudo. Ao final, o Anexo D apresenta o relatório de análise de dados e modelagem hidrodinâmica (ASA, 2009).

## I.1 ÁREA DE ESTUDO

As simulações da dispersão de efluentes foram realizadas a partir dos Projetos Piloto de Guará e DP de Iracema, localizados na Baía de Santos, no litoral do Estado de São Paulo, conforme mostra a figura I-1. Inicialmente, o estudo também contemplaria simulações para o Piloto de Tupi-NE, porém, devido à proximidade deste com o DP de Iracema, aproximadamente 60 km, e o fato de ambos estarem numa área que apresenta características meteorológicas e oceanográficas similares, este ponto não foi contemplado no estudo de modelagem. Adicionalmente, as características dos efluentes utilizados para a modelagem são representativas para os três projetos, uma vez que os mesmos possuem características semelhantes e ainda não entraram em operação. Portanto, os resultados observados através deste estudo podem ser utilizados para o projeto Piloto de Tupi-NE, sem prejuízo de resultados observados.

As coordenadas dos pontos de lançamento foram especificadas pela PETROBRAS e se encontram listadas na tabela I-1.

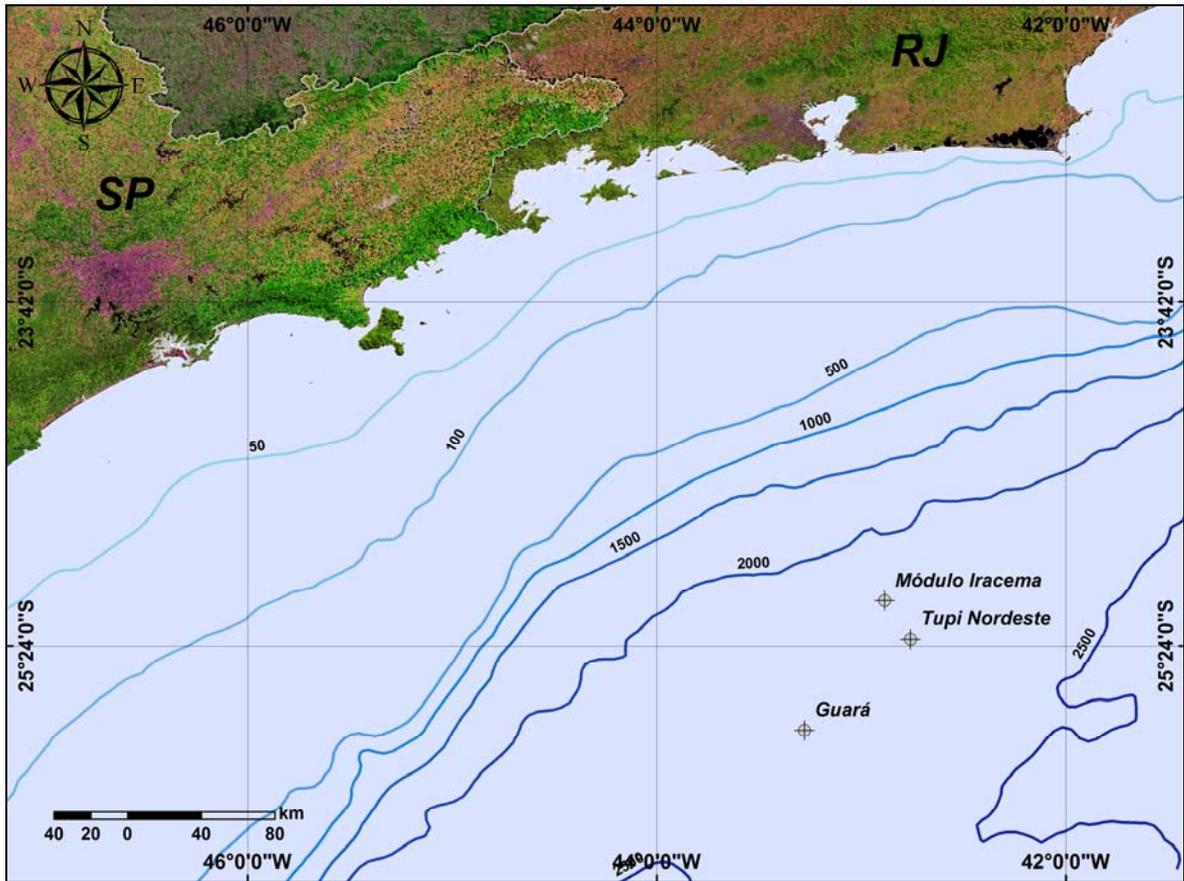
**Tabela I-1** - Coordenadas (SAD 69) e lâmina d'água (m) dos pontos de lançamento e coordenadas do Piloto de Tupi-NE.

PONTO DESCARTE	LATITUDE	LONGITUDE	LÂMINA D'ÁGUA (m)
Piloto de Guará	25°49'00,54"S	43°16'34,92"W	~ 2.141*
DP de Iracema	24°10'40,13"S	42°53'04,10"W	~ 2.337**
Piloto de Tupi-NE	25°22'04,93"S	42°45'29,68"W	~ 2.337**

\* Informações cedidas pela PETROBRAS.

\*\* Carta náutica da DHN<sup>1</sup> nº 01.

<sup>1</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.



**Figura I-1** - Localiza dos Pilotos de Guar e Tupi NE, e do DP de Iracema, Bacia de Santos. Fonte: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> MIRANDA, E.E. de & COUTINHO, A.C. (Coord.), 2002. Brasil Visto do Espaço. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2002. CD-ROM.



## II CARACTERÍSTICAS DO DESCARTE E COMPOSIO DOS EFLUENTES

### II.1 ÁGUA PRODUZIDA

Na tabela II-1 são apresentadas as características do descarte de água produzida considerada na modelagem a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. 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 Piloto de Guar e DP de Iracema.

DIÂMETRO TUBULAO	ORIENTAO TUBULAO	LÂMINA D'ÁGUA	ALTURA DE DESCARTE	VAZÃO DO EFLUENTE
10"	Vertical	Piloto de Guar ~ 2.141 m DP de Iracema ~ 2.337 m	Superfície	18.000 m <sup>3</sup> /d

Fonte: PETROBRAS.

**Tabela II-2** - Características do efluente de água produzida para a modelagem a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema.

PARÂMETROS PARA MODELAGEM DO EFLUENTE	
Temperatura do efluente	40,0 C
Densidade do efluente	1.040,0 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: PETROBRAS.

Como critério ambiental foi utilizada a concentrao correspondente  Concentrao de Efeito Não Observado (CENO), referente ao efluente de água produzida, obtida nos testes de toxicidade com o equinodermo *Lytechinus variegatus*. Uma vez que ainda não existem amostras de água produzida para estas áreas piloto, foram utilizadas informaçoes existentes para a Bacia de Campos, especificadas pela PETROBRAS. A tabela II-3 apresenta o valor da CENO, e o fator de diluio desta para o efluente simulado. Assim, a concentrao do critério ambiental ficou definida como a concentrao no efluente tratado diluído pelo fator de diluio 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	0,39	1:256

\* Concentração de Efeito Não Observado.

Fonte: PETROBRAS.

Para efeitos de avaliação da diluição da água produzida, descartada a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema, foram considerados ainda os parâmetros constituintes de um efluente referente ao Poço 1-SPS-55<sup>3</sup>, localizado no Bloco BM-S-9 (Área de Guará). A composição e as concentrações do efluente fornecidas pela PETROBRAS, além das concentrações da legislação, segundo o Art. 18 da Resolução do CONAMA<sup>4</sup> de nº 357/05 (Brasil, 2005), referentes aos parâmetros observados nesta água produzida, são apresentadas na tabela II-4.

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

COMPONENTES	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO (mg/L)	LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 (mg/L)
Sódio	66.377,0	-
Potássio	4.161,0	-
Magnésio	2.350,0	-
Cálcio	17.420,0	-
Bário	38,0	1,0
Estrôncio	2.899,0	-
Ferro total	0,1	0,3*
Cloreto	137.985,0	-
Brometo	1.500,0	-
Sulfato	134,0	-
Bicarbonato	251,0	-
Acetato	126,0	-
Alcalinidade total	367,0	-
pH	7,3	6,5 - 8,5
Salinidade (NaCl)	227.685,0	-

\* concentração limite para Fe dissolvido

<sup>3</sup> Fluido aquoso obtido a partir de teste de formação neste poço, uma vez que o mesmo ainda não entrou em produção.

<sup>4</sup> Conselho Nacional do Meio Ambiente

Dessa forma, como critério ambiental, neste relatório, foram utilizadas as concentraes existentes na legislao e a CENO referente  água produzida.

## II.2 URS

Na tabela II-5 são apresentadas as características do descarte de efluente da URS a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. A adio de biocida no efluente da URS  realizada uma vez por semana, durante o período de, aproximadamente, 1 hora. A tabela II-6 apresenta as características do efluente da URS consideradas neste estudo, fornecidas pela PETROBRAS.

**Tabela II-5** - Parâmetros utilizados para a modelagem das plumas de descarte do efluente da URS a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema.

DIÂMETRO TUBULAO+	ORIENTAO TUBULAO+	LÂMINA D'ÁGUA	ALTURA DE DESCARTE+	VAZÃO DO EFLUENTE
16"	Horizontal	Piloto de Guar ~ 2.141 m DP de Iracema ~ 2.337 m	5 m acima da superfície da água	6.000 m <sup>3</sup> /d

+ Como a URS destes pilotos ainda não entrou em operao, foram adotados os mesmos parâmetros utilizados na modelagem do efluente da unidade de dessulfatao da área de Tupi.

**Tabela II-6** - Características do efluente da URS descartado a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema.

PARÂMETROS PARA MODELAGEM DO EFLUENTE DA URS DO FPSO BRASIL *	
Temperatura do efluente	20,3 C
Salinidade do efluente	40,0
Densidade do efluente	1.028,0 kg/m <sup>3</sup>

\* Como ainda não foram realizados testes na área do Piloto de Guar e DP de Iracema, foram adotados os valores de um efluente conhecido (FPSO Brasil).

Como critério ambiental foi utilizada a concentrao correspondente  Concentrao de Efeito Não Observado (CENO) referente ao efluente da URS do FPSO Brasil sem e com a adio de biocida, obtidas nos testes de toxicidade com o equinodermo *Lytechinus variegatus*, e fornecidos pela PETROBRAS. Esse efluente foi utilizado uma vez que ainda não foram realizados testes na área do Piloto de Guar e DP de Iracema. A tabela II-7 apresenta os valores de CENO, além do fator de diluio destes para o efluente da URS. Assim, a concentrao

do critério ambiental ficou definida como a concentração no efluente tratado diluído pelos fatores de diluição das CENOs apresentadas nesta tabela.

**Tabela II-7** - Resultados dos testes de toxicidade com o equinodermo *Lytechinus variegatus* realizados com amostras do efluente da URS do FPSO Brasil.

EFLUENTE	CENO*	
	%	FATOR DE DILUIÇÃO
Sem adição de biocida	12,5	1:8
Com adição de biocida	1,56	1:64

\* Concentração de Efeito Não Observado.

Fonte: PETROBRAS.

### **III MODELAGEM DO FATOR DE DILUIÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO**

A modelagem do transporte da pluma de efluentes compreende a modelagem do campo próximo e do campo afastado. O campo próximo corresponde à zona de diluição inicial onde prevalecem os efeitos oriundos da velocidade inicial de ejeção (quantidade de movimento inicial do jato) e a diferença de densidade entre o efluente e o meio. Por campo afastado entende-se a região onde passam a predominar os efeitos da dinâmica local no transporte e dispersão 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 domínios define os limites entre os campos próximo e afastado.

#### **III.1 DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES DE CAMPO PRÓXIMO**

O modelo CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*), da Cornell University, foi utilizado para simular o campo próximo do lançamento de efluentes descartados a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema. A descrição deste 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 (Anexo D). 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. Assim, utilizou-se um valor constante de intensidade de corrente correspondente ao percentil de 10% dos valores observados no modelo hidrodinâmico utilizado. Este valor foi utilizado com base

nas exigências para avaliação de plumas de efluentes da EPA<sup>5</sup> dos EUA (Brandsma, 2004), de forma a fornecer a mínima diluição inicial.

As informações do campo termohalino utilizadas no CORMIX foram obtidas do Atlas Eletrônico de dados do WOCE<sup>6</sup>.

As características do descarte e do efluente do Piloto de Guará e DP de Iracema, utilizadas nas simulações do campo próximo, foram apresentadas no Capítulo II. Para a representação do efluente nestas simulações foi utilizado um composto conservativo.

Apesar de considerar descartes na superfície, o CORMIX3 se aplica apenas para efluentes cuja densidade seja menor do que a do corpo receptor, dessa forma, não se aplica ao caso do efluente descartado a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema. Assim, foi necessário utilizar o CORMIX1, uma vez que o CORMIX2 considera um descarte realizado a partir de várias portas.

### **III.1.1 Água Produzida**

A versão do CORMIX considerada possui algumas limitações quanto aos dados de entrada, para aplicação no descarte de efluentes em mar aberto. Uma delas é 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 Piloto de Guará e DP de Iracema, 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

---

<sup>5</sup> Environmental Protection Agency (EPA).

<sup>6</sup> World Ocean Circulation Experiment (WOCE)

profundidade de 2.141 e 2.337 m. O caso invertido envolve um descarte de um efluente menos denso que o corpo receptor, descartado próximo ao fundo num local de 1.000 m de profundidade (máxima profundidade permitida pelo CORMIX). A densidade do efluente foi recalculada de forma que a acelera do efluente menos denso (*i.e.* acelera com que o efluente sobe em direo  superfície) fosse a mesma do efluente mais denso (*i.e.* acelera com que o efluente afunda). Os resultados são então, convertidos novamente para o sistema real para apresentao.

A tabela III-1 apresenta os dados de entrada adotados nas simulaes de verão e inverno com o modelo CORMIX1 para o Piloto de Guar e a tabela III-2 apresenta os dados de entrada adotados para o DP de Iracema.

**Tabela III-1 - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o Piloto de Guar.**

PARÂMETROS		DADOS DE ENTRADA	
		VERÃO	INVERNO
Ambiente	Profundidade média (m)	1.000,0	1.000,0
	Profundidade de descarte (m)	1.000,0	1.000,0
	Velocidade ambiente (m/s)	0,045	0,057
	Coefficiente de Manning	0,01	0,01
	Velocidade do vento (m/s) <sup>7</sup>	6,0	7,0
	Densidade ambiente na superfície (kg/m <sup>3</sup> )	1.024,26	1.025,34
	Densidade ambiente no fundo (kg/m <sup>3</sup> )	1.031,87	1.032,16
Efluente	Vazão do efluente (m <sup>3</sup> /s)	0,174	0,2083
	Densidade do efluente ("non-fresh")	1.016,49	1.017,81
	Tipo de poluente	conservativo	conservativo
Descarte	A margem mais próxima está a	esquerda	esquerda
	Distância até a margem mais próxima (m)	50.000,0	50.000,0
	Diâmetro da porta (m)	0,254	0,254
	Altura da porta (m)	0,5	0,5
	ângulo vertical THETA	90°	90°
Zona de Mistura	Região de interesse (m)	50.000,0	50.000,0
	Intervalos para apresentao de resultados	10,0	10,0

<sup>7</sup> Dado de entrada necessário para o correto funcionamento do modelo, mas desconsiderado na modelagem do campo próximo. Os valores adotados correspondem ao valor médio das intensidades médias verificadas nas análises apresentadas em ASA (2009).

**Tabela III-2 - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o DP de Iracema.**

PARÂMETROS		DADOS DE ENTRADA	
		VERÃO	INVERNO
Ambiente	Profundidade média (m)	1.000,0	1.000,0
	Profundidade de descarte (m)	1.000,0	1.000,0
	Velocidade ambiente (m/s)	0,049	0,047
	Coefficiente de Manning	0,01	0,01
	Velocidade do vento (m/s) <sup>6</sup>	6,0	7,0
	Densidade ambiente na superfície (kg/m <sup>3</sup> )	1.023,86	1.025,29
	Densidade ambiente no fundo (kg/m <sup>3</sup> )	1.031,88	1.032,11
Efluente	Vazão do efluente (m <sup>3</sup> /s)	0,2083	0,2083
	Densidade do efluente ("non-fresh")	1.016,11	1.017,72
	Tipo de poluente	conservativo	conservativo
Descarte	A margem mais próxima está a	esquerda	esquerda
	Distância até a margem mais próxima (m)	50.000,0	50.000,0
	Diâmetro da porta (m)	0,254	0,254
	Altura da porta (m)	0,5	0,5
	Ângulo vertical THETA	90°	90°
Zona de Mistura	Região de interesse (m)	50.000,0	50.000,0
	Intervalos para apresentação de resultados	10,0	10,0

### III.1.2 URS

A versão do CORMIX considerada possui algumas limitações, quanto aos dados de entrada, para aplicação no descarte de efluentes em mar aberto. Uma delas é relativa à geometria de descarte, além do fato de o lançamento ser realizado acima da linha d'água. O CORMIX considera lançamentos orientados para baixo apenas até um ângulo vertical de 45°, insuficiente para a representação da condição do Piloto de Guará e DP de Iracema, cujo ângulo vertical com que o efluente atinge a superfície do mar é de 90°.

Especificam-se no CORMIX como dados de entrada, os valores do diâmetro da tubulação de lançamento, e da vazão de lançamento ou da velocidade de lançamento do efluente. Como o CORMIX1 envolve um lançamento abaixo da superfície, e o lançamento do efluente ocorre 5,5 metros acima da linha d'água, realizou-se um estudo para quantificar a velocidade que o efluente teria quando esse atingisse a água, servindo assim como dado de entrada para inicialização do modelo. Dessa forma, assumiu-se a velocidade de lançamento como sendo a

velocidade do efluente ao atingir a superfície da água após cair, em queda livre, de uma altura de 5,5 m. Após penetrar no corpo receptor, o lançamento passa a ser considerado, não mais ocorrendo acima da superfície, e sim abaixo dessa.

Para que a limitao quanto ao ângulo de lançamento pudesse ser contornada, foi necessário realizar a inversão do descarte do efluente. Este procedimento foi realizado através de uma adaptao do procedimento proposto por Brandsma (op. cit.). Dessa forma, ao invés de ser descartado próximo  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  geometria invertida.

O caso real envolve um descarte de um efluente mais denso que o corpo receptor, lançado próximo  superfície em locais de profundidade de 2.141 e 2.337 m. O caso invertido envolve um descarte de um efluente menos denso que o corpo receptor, descartado próximo ao fundo num local de 1.000 m de profundidade (máxima profundidade permitida pelo CORMIX). A densidade do efluente foi recalculada de forma que a acelerao do efluente menos denso (*i.e.* acelerao com que o efluente sobe em direo  superfície) fosse a mesma do efluente mais denso (*i.e.* acelerao com que o efluente afunda). Os resultados são então, convertidos novamente para o sistema real para apresentao.

A tabela III-3 apresenta os dados de entrada adotados nas simulaoes de verão e inverno com o modelo CORMIX1 para o Piloto de Guar e a tabela III-4 apresenta os dados de entrada adotados para o DP de Iracema.

Tabela III-3 - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o Piloto de Guará (URS).

PARÂMETROS		DADOS DE ENTRADA	
		VERÃO	INVERNO
Ambiente	Profundidade média (m)	1.000,0	1.000,0
	Profundidade de descarte (m)	1.000,0	1.000,0
	Velocidade ambiente (m/s)	0,045	0,057
	Coefficiente de Manning	0,01	0,01
	Velocidade do vento (m/s) <sup>8</sup>	6,0	7,0
	Densidade ambiente na superfície (kg/m <sup>3</sup> )	1.024,26	1.025,34
	Densidade ambiente no fundo (kg/m <sup>3</sup> )	1.031,87	1.032,16
Efluente	Velocidade do efluente (m/s)	9,86	9,86
	Densidade do efluente ("non-fresh")	1.028,13	1.029,5
	Tipo de poluente	conservativo	conservativo
Descarte	A margem mais próxima está a	esquerda	esquerda
	Distância até a margem mais próxima (m)	50.000,0	50.000,0
	Diâmetro da porta (m)	0,4064	0,4064
	Altura da porta (m)	0,5	0,5
	Ângulo vertical THETA	90°	90°
Zona de Mistura	Região de interesse (m)	60.000,0	60.000,0
	Intervalos para apresentação de resultados	10,0	10,0

Tabela III-4 - Dados de entrada adotados no CORMIX1 para o DP de Iracema (URS).

PARÂMETROS		DADOS DE ENTRADA	
		VERÃO	INVERNO
Ambiente	Profundidade média (m)	1.000,0	1.000,0
	Profundidade de descarte (m)	1.000,0	1.000,0
	Velocidade ambiente (m/s)	0,049	0,047
	Coefficiente de Manning	0,01	0,01
	Velocidade do vento (m/s) <sup>7</sup>	6,0	7,0
	Densidade ambiente na superfície (kg/m <sup>3</sup> )	1.023,86	1.025,29
	Densidade ambiente no fundo (kg/m <sup>3</sup> )	1.031,88	1.032,11
Efluente	Velocidade do efluente (m/s)	9,86	9,86
	Densidade do efluente ("non-fresh")	1.027,74	1.029,4
	Tipo de poluente	conservativo	conservativo
Descarte	A margem mais próxima está a	esquerda	esquerda
	Distância até a margem mais próxima (m)	50.000,0	50.000,0
	Diâmetro da porta (m)	0,4064	0,4064
	Altura da porta (m)	0,5	0,5
	Ângulo vertical THETA	90°	90°
Zona de Mistura	Região de interesse (m)	60.000,0	60.000,0
	Intervalos para apresentação de resultados	10,0	10,0

<sup>8</sup> Dado de entrada necessário para o correto funcionamento do modelo, mas desconsiderado na modelagem do campo próximo. Os valores adotados correspondem ao valor médio das intensidades médias verificadas nas análises apresentadas em ASA (2009).

## **IV MODELAGEM DA DILUIO NO CAMPO AFASTADO**

Na modelagem do campo afastado foi utilizado o modelo CHEMMAP (*Chemical Discharge Model System*), desenvolvido pela **ASA** (Anexo B). O CHEMMAP  um modelo desenvolvido para a previsão da trajetória e transformaes biogeoquímicas de produtos químicos, incluindo as substâncias flutuantes, as que afundam e as substâncias solúveis, e possui um histórico de bem sucedidas aplicaes em sistemas fluviais, estuarinos e costeiros (ASA, 2008a,b).

Adicionalmente, este modelo possui a capacidade de utilizar campos de correntes e de ventos variáveis no espaço e no tempo, além de considerar a variao espacial da profundidade.

### **IV.1 DESCRIO DOS CENÁRIOS SIMULADOS**

As simulaes para a determinao da diluio de efluentes descartados a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema no campo afastado foram realizadas utilizando-se o modelo CHEMMAP em seus modos probabilístico e determinístico.

#### **IV.1.1 Cenários Probabilísticos**

Como no modo probabilístico  considerada a variabilidade das forçantes ambientais, as simulaes de comportamento da pluma são realizadas através da variao das condies meteorológicas e oceanográficas, divididas em duas condies principais correspondendo aos períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). O campo hidrodinâmico de cada período, utilizado para as simulaes do comportamento da pluma foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico (ASA, 2009; Anexo D), bem como os dados de vento utilizados.

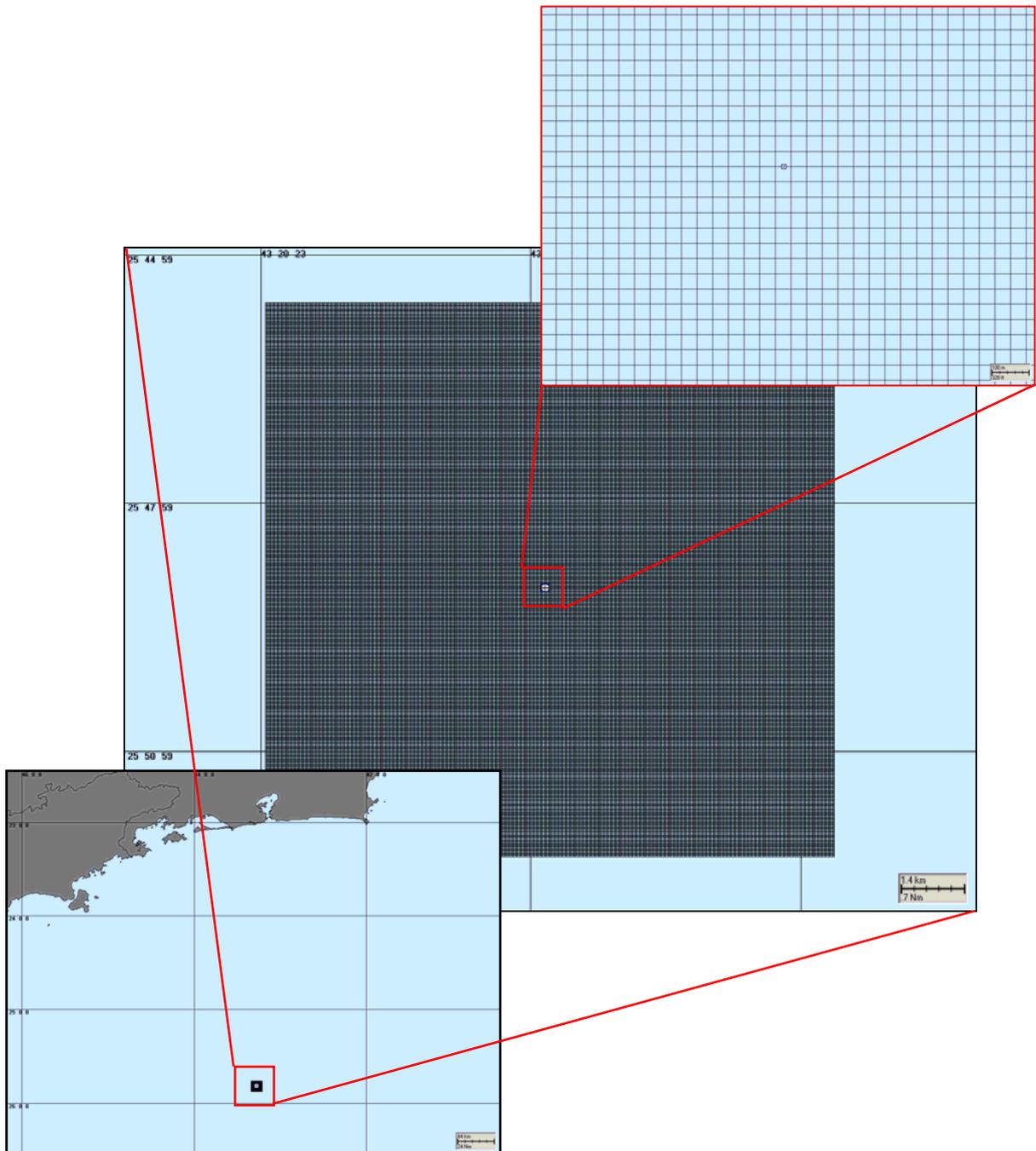
#### IV.1.1.1 Água Produzida

Para incorporar as variabilidades ambientais, cada cenário probabilístico com descarte de água produzida foi composto por uma série de 30 simulações com o modelo CHEMMAP, com duração de 24 horas, divididas em dois períodos: verão e inverno.

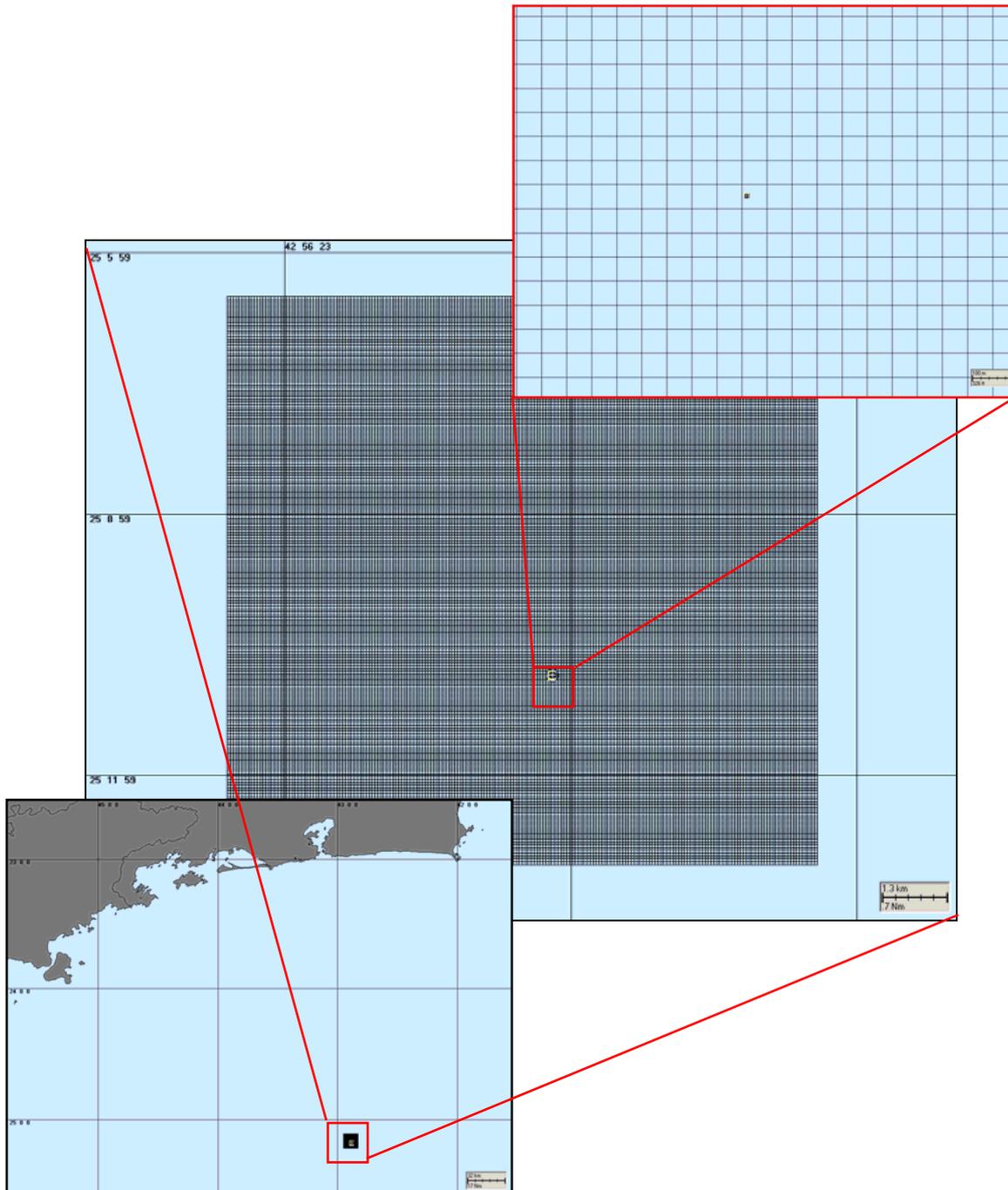
As características (composição e concentração) do efluente utilizadas nas simulações numéricas foram fornecidas pela PETROBRAS. Nas simulações do descarte de água produzida a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema, considerou-se um composto conservativo para a representação destes efluentes, uma vez que este sofre apenas os processos físicos da diluição sem os efeitos dos processos bioquímicos.

O modelo CHEMMAP foi inicializado com parâmetros calculados na modelagem do campo próximo (profundidade terminal e espessura da pluma). Quanto à diluição, ao *setup* do passo de tempo, às dimensões (extensão e resolução) da grade *habitat* e ao número de partículas do modelo CHEMMAP, estes foram ajustados de forma a reproduzir para o instante inicial, e para a região correspondente à do campo próximo, uma diluição equivalente à estimada pelo CORMIX. A partir destes parâmetros, o CHEMMAP realiza os seus cálculos de diluição utilizando uma grade tridimensional, na qual cada elemento (célula) apresenta um determinado volume. As diluições são feitas nestes volumes de tal forma que a massa total do composto simulado é conservada.

Nas simulações do descarte de efluente de água produzida a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema foram utilizadas, respectivamente, duas grades *habitat*. Para o Piloto de Guará, a grade utilizada nas simulações possui dimensão de 300x300 pontos e resolução média de 41 m (figura IV-1). Para o DP de Iracema, a grade utilizada nas simulações possui dimensão de 300x300 pontos e resolução média de 44 m (figura IV-2).



**Figura IV-1** - Grade habitat/depth utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para o Piloto de Guar. No detalhe inferior são apresentadas a localizao do ponto, da grade e o continente como referência.



**Figura IV-2** - Grade habitat/depth utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para o DP de Iracema. No detalhe inferior são apresentadas a localizao do ponto, da grade e o continente como referência.

Nas simulaes probabilísticas, para a determinao da área de influência do descarte de água produzida a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema, as múltiplas trajetórias das plumas foram utilizadas para a produo de curvas de contorno para as máximas concentraes esperadas do efluente em cada ponto

de grade e ao longo da coluna d'gua. Ou seja, ao final de cada uma das simulaes, registra-se o máximo valor de concentrao na coluna d'água para cada ponto de grade ao longo do período simulado, e ao final de todas as 30 simulaes calcula-se a média de todas as máximas obtidas. Salienta-se que as concentraes e posio das plumas observadas são correspondentes a todos os instantes a partir do início das simulaes. Ao final das simulaes, essas máximas concentraes foram convertidas para valores de diluio do efluente a partir do ponto de lançamento.

Na apresentao dos resultados, os contornos das plumas de efluente estendem-se até uma diluio 10.000 vezes inferior  concentrao de lançamento. Esse corte foi escolhido para melhorar a visualizao das plumas de probabilidade na área do empreendimento.

#### **IV.1.1.2 URS**

Para incorporar as variabilidades ambientais, cada cenário probabilístico com descarte de efluente da URS foi composto por uma série de 30 simulaes com o modelo CHEMMAP, com durao de 24 horas (para o efluente sem a adio de biocida) ou de 1 hora (tempo aproximado do descarte de efluente com a adio de biocida), ambas divididas em dois períodos: verão e inverno. Nas simulaes do descarte de efluente da URS a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema, considerou-se um composto conservativo para a representao do mesmo, uma vez que este sofre apenas os processos físicos da diluio sem os efeitos dos processos bioquímicos.

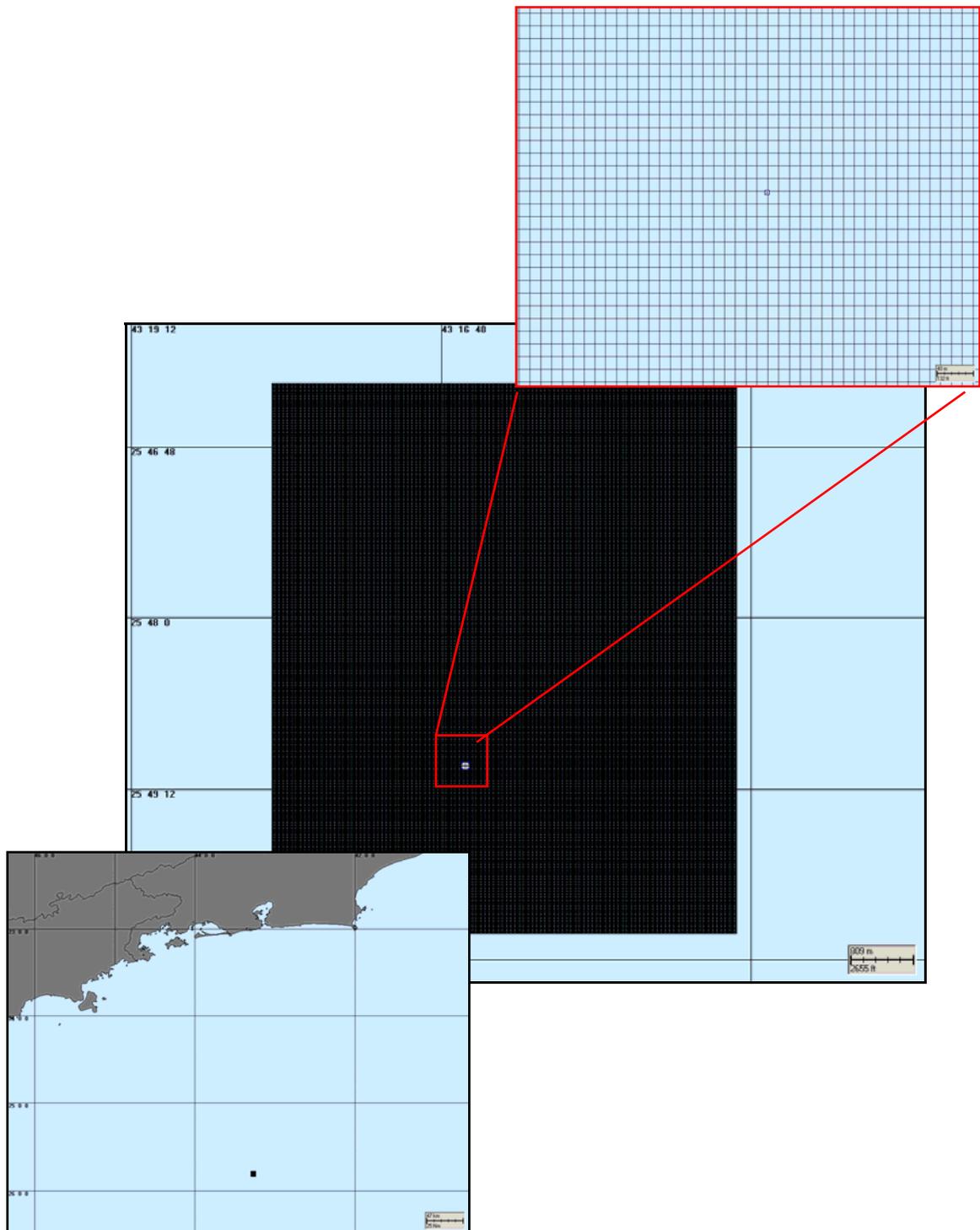
Como critério de parada adotado nas simulaes foi utilizado o tempo necessário para que a área da pluma, onde as concentraes são maiores que as referentes  CENO, apresentassem estabilidade, não variando significativamente, independente do tempo de simulao. Para tanto foram realizados testes determinísticos, nos quais se constatou que, para que isso ocorra,  necessária 1 hora (período no qual  realizada a adio de biocida, tornando o efluente mais tóxico) e 24 horas para as simulaes com o efluente sem a adio de biocida.

Ressalta-se que a simulação com biocida considera somente a presença deste parâmetro, contudo, em condições reais o efluente como um todo continuará presente no corpo receptor e, neste caso, deve-se considerar a simulação realizada para o efluente sem o biocida.

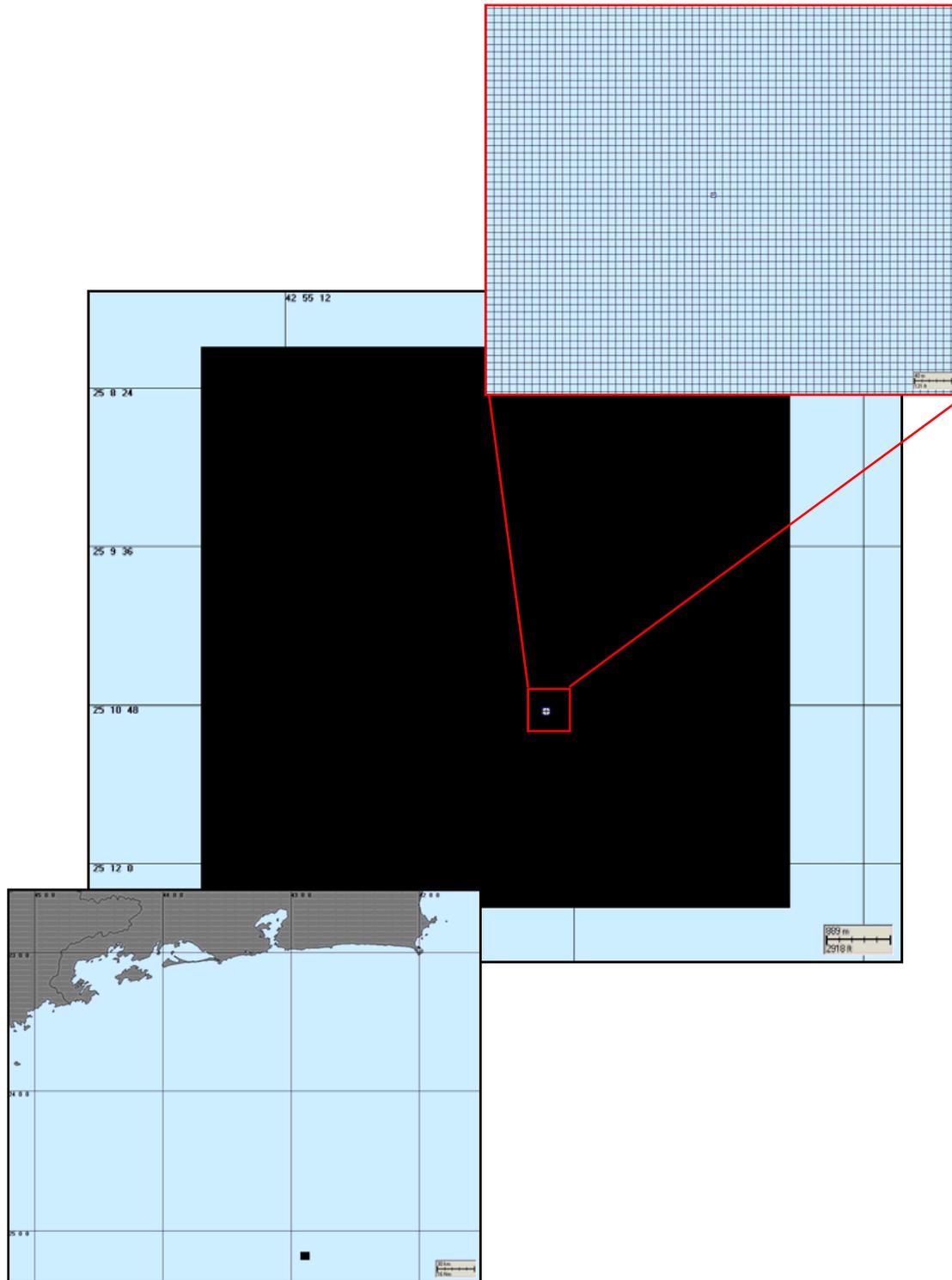
O modelo CHEMMAP foi inicializado com parâmetros calculados na modelagem do campo próximo (profundidade terminal e espessura da pluma). Quanto à diluição, ao *setup* do passo de tempo, às dimensões (extensão e resolução) da grade *habitat* e ao número de partículas do modelo CHEMMAP, estes foram ajustados de forma a reproduzir para o instante inicial, e para a região correspondente à do campo próximo, uma diluição equivalente à estimada pelo CORMIX. A partir destes parâmetros, o CHEMMAP realiza os seus cálculos de diluição utilizando uma grade tridimensional, na qual cada elemento (célula) apresenta um determinado volume. As diluições são feitas nestes volumes de tal forma que a massa total do composto simulado é conservada.

Nas simulações do descarte de efluente da URS a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema foram utilizadas, respectivamente, duas grades *habitat*. Para o Piloto de Guará, a grade utilizada nas simulações possui dimensão de 500x500 pontos e resolução média de 14 m (figura IV-3). A grade utilizada nas simulações para o DP de Iracema possui dimensão de 500x500 pontos e resolução média de 8 m (figura IV-4).

Nas simulações probabilísticas, para a determinação da área de influência do descarte de efluente da URS a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema, as múltiplas trajetórias das plumas foram utilizadas para a produção de curvas de contorno para as máximas concentrações esperadas do efluente em cada ponto de grade e ao longo da coluna d'água. Ou seja, ao final de cada uma das simulações, registra-se o máximo valor de concentração na coluna d'água para cada ponto de grade ao longo do período simulado, e ao final de todas as 30 simulações calcula-se a média de todas as máximas obtidas. Salienta-se que as concentrações e posição das plumas observadas são correspondentes a todos os instantes a partir do início das simulações. Ao final das simulações, essas máximas concentrações foram convertidas para valores de diluição do efluente a partir do ponto de lançamento.



**Figura IV-3** - Grade habitat/depth utilizada nas simulaes com o modelo CHEMMAP para a URS do Piloto de Guar, com e sem adio de biocida. No detalhe inferior, a localizao do ponto de descarte, da grade e a costa como referência.



**Figura IV-4** - Grade habitat/depth utilizada nas simulações com o modelo CHEMMAP para a URS do DP de Iracema, com e sem adição de biocida. No detalhe inferior, a localização do ponto de descarte, da grade e a costa como referência.

Na apresentação dos resultados, os contornos das plumas de efluente estendem-se até uma diluição 1.000 vezes inferior às diluições associadas à CENO mais conservativa (efluente com biocida). Esse corte foi escolhido para melhorar a visualização das plumas de probabilidade na área do empreendimento.

#### **IV.1.2 Cenários Determinísticos**

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Para essas simulações foram considerados como mais críticos os cenários que atingiram as maiores distâncias a partir do ponto de lançamento. Assim, as simulações (cenários) determinísticas fornecem como resultado a maior distância atingida pelas plumas.

No Anexo C são apresentadas as condições meteorológicas e oceanográficas, relativas ao início das simulações críticas, utilizadas nessas simulações.

O critério de parada e de apresentação dos resultados das simulações determinísticas foram os mesmos adotados para as simulações probabilísticas.



## V **MODELAGEM DE DESCARTE DE EFLUENTES A PARTIR DO PILOTO DE GUAR E DP DE IRACEMA**

A seguir, são apresentados os resultados das simulaes de campo próximo e campo afastado para os efluentes descartados a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema.

### V.1 **RESULTADOS DA DILUIO DO CAMPO PRÓXIMO**

#### V.1.1 **Piloto de Guar**

##### V.1.1.1 **gua Produzida**

A tabela V-1 apresenta os resultados das simulaes no campo próximo para o descarte do efluente de água produzida a partir do Piloto de Guar. Observa-se que a diluio  menor no período de verão (229 vezes) do que no período de inverno (262 vezes). Considerando-se que a diluio necessária para enquadramento no critério ambiental  de 256 vezes (CENO), observa-se que este fator de diluio  alcançado ainda no campo próximo, apenas no período de inverno.

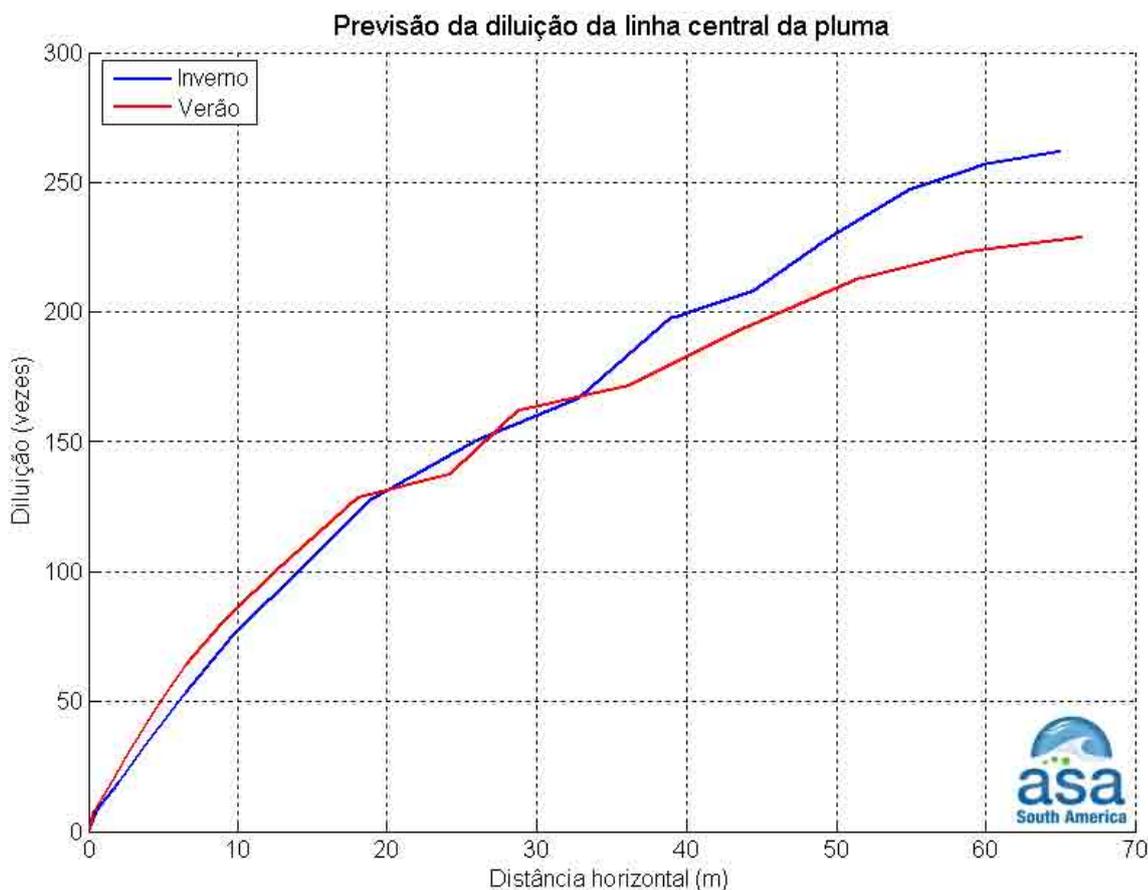
**Tabela V-1** - Resultados das simulaes do campo próximo do descarte de água produzida a partir do Piloto de Guar.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluio	228,9	262,1
Espessura da pluma (m)	7,0	9,2
Comprimento do campo próximo (m)	66,5	65,1
Profundidade terminal da pluma (m)	45,8	45,1

As figuras V-1 e V-2 apresentam as diluies e profundidades em relao às distâncias do ponto de lançamento, da pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar, baseado nos resultados do campo próximo calculados nos períodos de verão e inverno.

Observa-se que a diluio aumenta  medida que a pluma/jato se afasta do ponto de lançamento. A profundidade máxima que a pluma atinge  de,

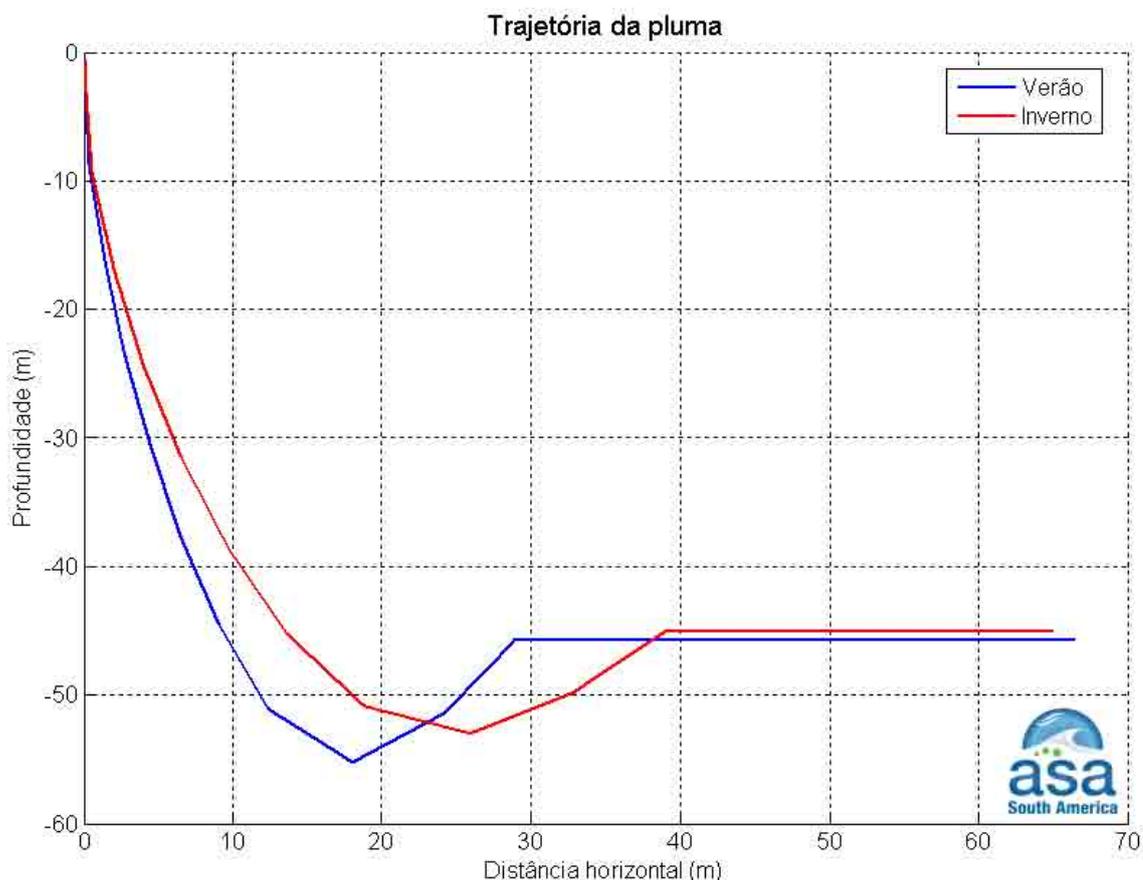
aproximadamente, 55 m para o período de verão, a cerca de 18 m do ponto de descarte. Para o período de inverno, a profundidade máxima que a pluma atinge é de, aproximadamente, 53 m, a cerca de 26 m do ponto de descarte.



**Figura V-1 - Diluição em relação à distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará nos períodos de verão e inverno.**

Através da análise dos resultados do Piloto de Guará apresentados acima, estima-se que, no período de inverno, o jato do efluente necessitaria de uma distância de, aproximadamente, 59 m a partir do ponto de lançamento para atingir uma diluição de 256 vezes. No período de verão esta diluição não é atingida dentro da região do campo próximo (figura V-1).

Quanto aos parâmetros constituintes da água produzida, ressalta-se que esta diluição é suficiente para que todos estejam enquadrados no critério ambiental considerado (CONAMA 357/05).



**Figura V-2** - Profundidades em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno.

A tabela V-2 apresenta as concentraes iniciais dos componentes presentes na água produzida, as concentraes limite da legislao (CONAMA 357/05) e as concentraes correspondentes  diluio no final do campo próximo. Ressalta-se que nesta tabela estão apresentados apenas os parâmetros que caracterizam o efluente cujas concentraes de lançamento são superiores às permitidas no corpo receptor.

Conforme se observa na tabela V-2, a diluio inicial no campo próximo  suficiente para que todos os parâmetros estudados atinjam as concentraes limite especificadas na legislao.

**Tabela V-2** - Concentração dos parâmetros simulados no ponto de lançamento, além da concentração limite da legislação e valores correspondentes à diluição no campo próximo para a água produzida descartada a partir do Piloto de Guará nos períodos de verão e inverno.

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO (mg/L)	LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 (mg/L)	CONCENTRAÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO (mg/L)	
			VERÃO	INVERNO
Bário	38,0	1,0	0,16	0,14

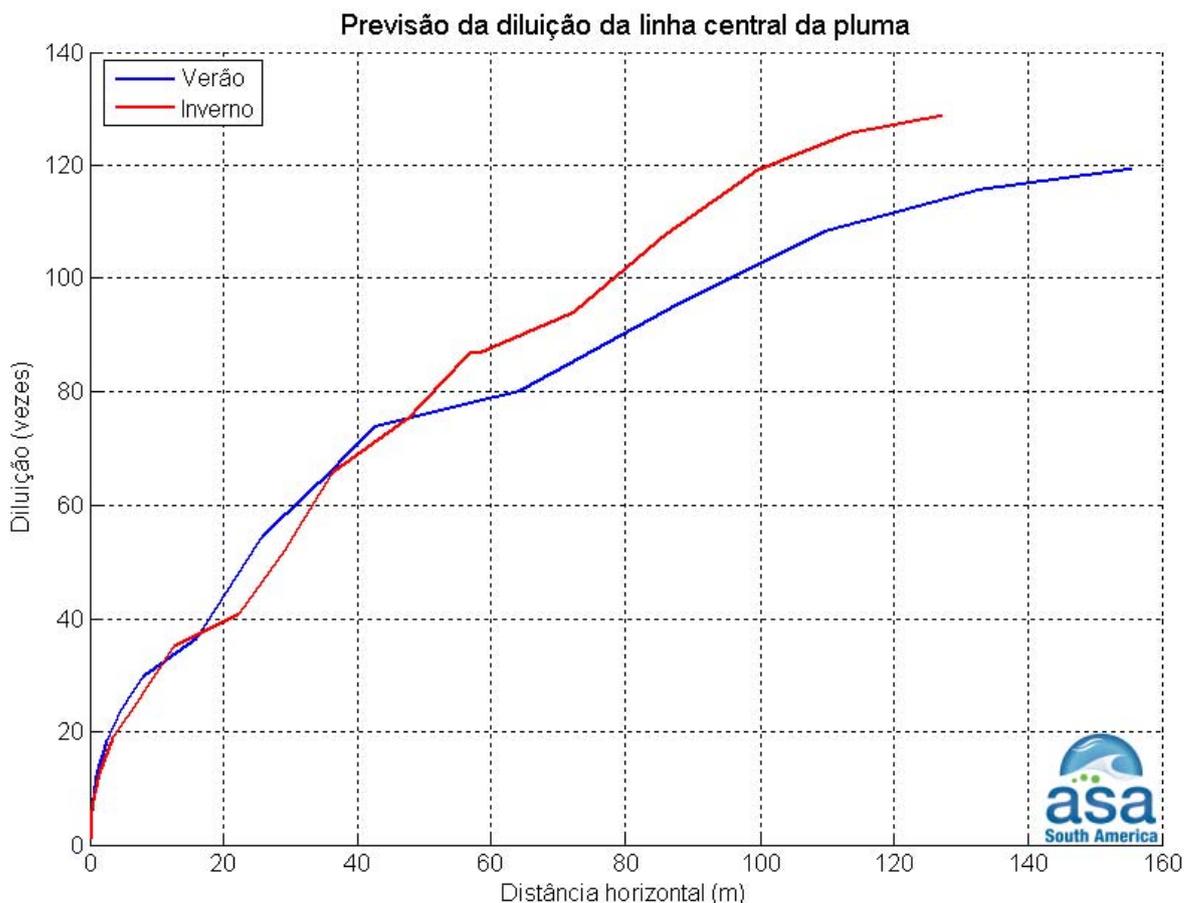
### V.1.1.2 URS

A tabela V-3 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para o descarte do efluente da URS a partir do Piloto de Guará. Observa-se que a diluição é menor no período de verão (120 vezes) que no período de inverno (129 vezes). Conforme se observa na tabela II-7, estes valores são suficientes para que o efluente alcance a diluição necessária para enquadramento no critério ambiental dentro do campo próximo.

As figuras V-3 e V-4 apresentam as diluições e profundidades em relação às distâncias do ponto de lançamento, da pluma de efluente da URS descartado a partir do Piloto de Guará, baseado nos resultados do campo próximo calculado nos períodos de verão e inverno.

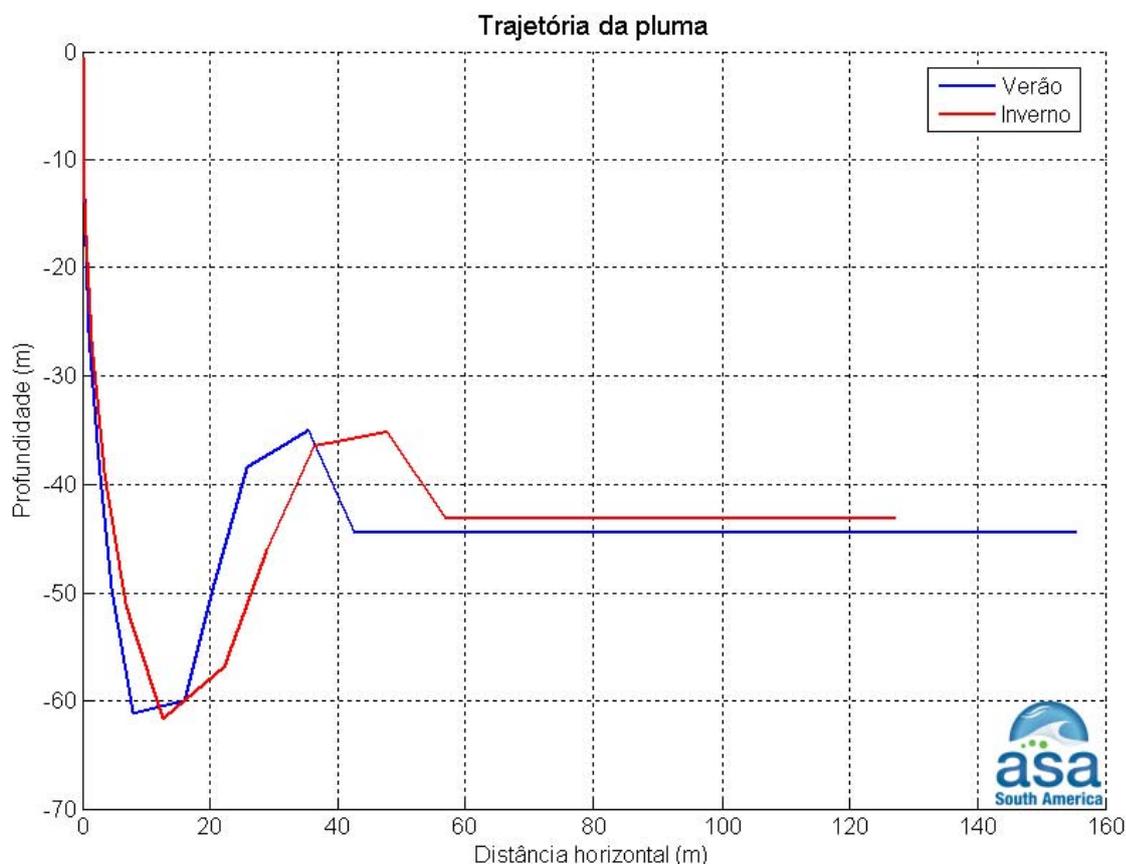
**Tabela V-3** - Resultados das simulações do campo próximo do descarte do efluente da URS a partir do Piloto de Guará.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	119,5	128,8
Espessura da pluma (m)	7,5	10,3
Comprimento do campo próximo (m)	155,6	127,2
Profundidade terminal da pluma (m)	44,4	43,1



**Figura V-3** - Diluo em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do Piloto de Guar nos períodos de verão e inverno.

Observa-se que a diluo aumenta  medida que a pluma/jato se afasta do ponto de lançamento. A profundidade máxima que a pluma atinge  de, aproximadamente, 61 m, a cerca de 8 m do ponto de descarte no período de verão, e a cerca de 13 m do ponto de descarte para o período de inverno.



**Figura V-4** - Profundidades em relação à distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do Piloto de Guará nos períodos de verão e inverno.

Através da análise dos resultados do Piloto de Guará apresentados acima, estima-se que, o jato do efluente necessitaria de uma distância inferior a 40 m a partir do ponto de lançamento para atingir uma diluição de 64 vezes (vide figura V-3). Ressalta-se que esta diluição é suficiente para o enquadramento no critério ambiental em ambos os casos simulados (CENOs referentes ao efluente com e sem biocida), conforme apresentado na tabela II-7.

## V.1.2 DP de Iracema

### V.1.2.1 Água Produzida

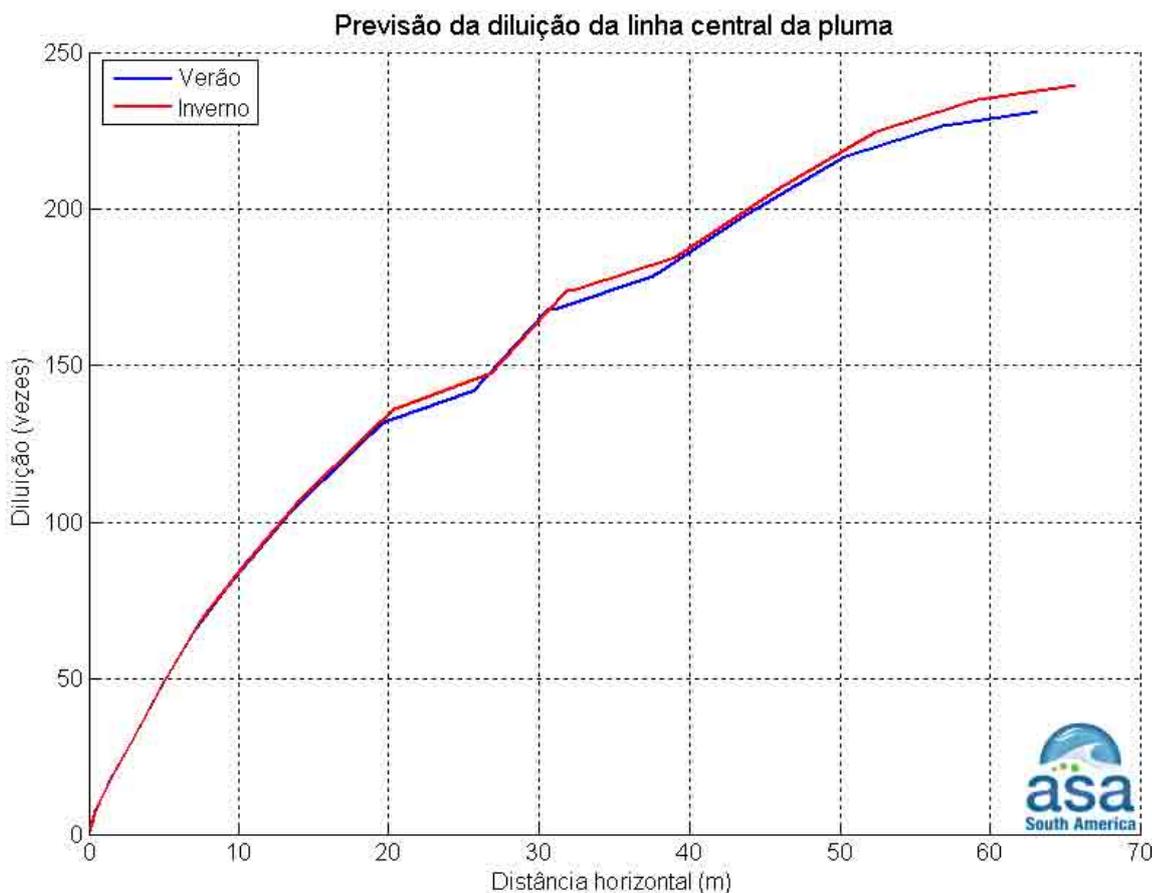
A tabela V-3 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para o descarte de água produzida a partir do DP de Iracema. Observa-se que a diluição é menor no período de inverno (231 vezes) do que no período de verão (240 vezes). Considerando-se que a diluição necessária para enquadramento no critério ambiental é de 256 vezes (CENO), observa-se que este fator de diluição não é alcançado no campo próximo, em ambos os períodos.

**Tabela V-4** - Resultados das simulações do campo próximo do descarte de água produzida a partir do DP de Iracema.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	231	239,6
Espessura da pluma (m)	7,6	7,9
Comprimento do campo próximo (m)	63,2	65,8
Profundidade terminal da pluma (m)	44,8	46,5

As figuras V-3 e V-4 apresentam, respectivamente, as diluições e profundidades em relação às distâncias do ponto de lançamento, da pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, baseado nos resultados do campo próximo calculados nos períodos de verão e inverno.

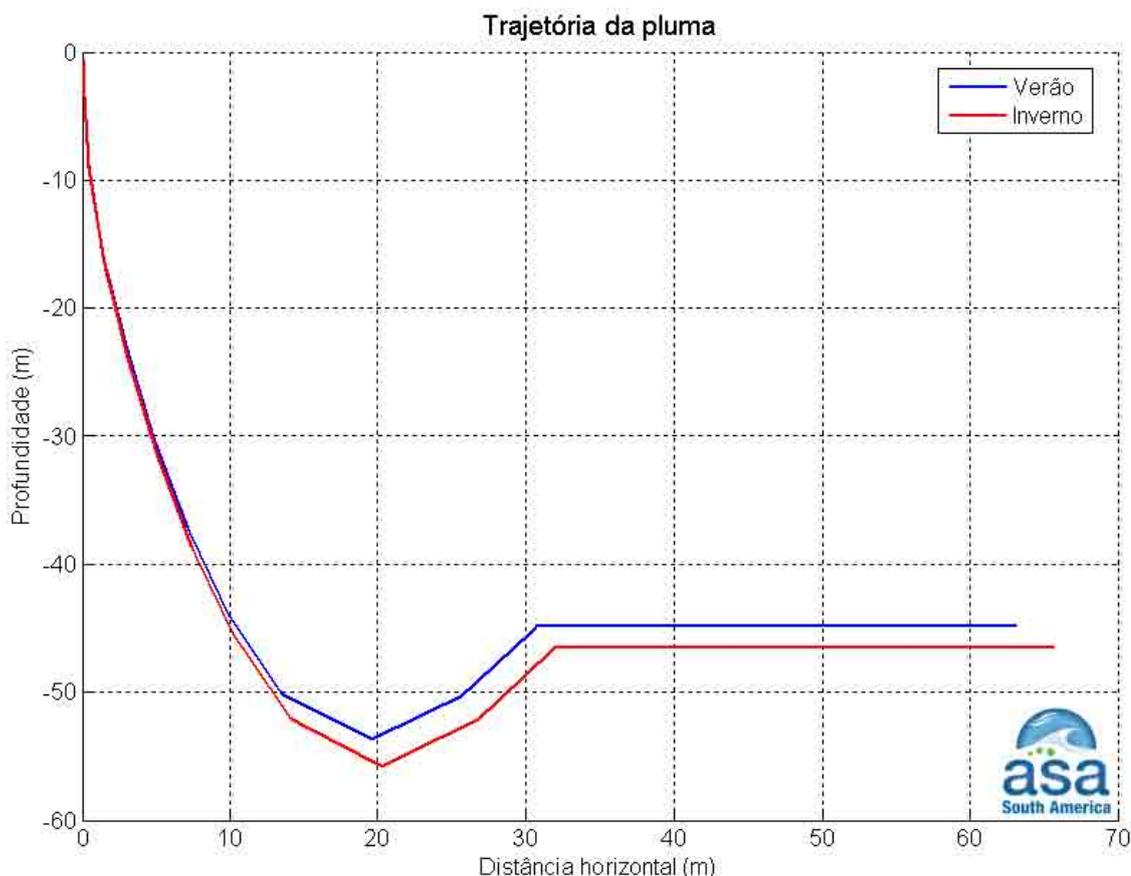
Observa-se que a diluição aumenta à medida que a pluma/jato se afasta do ponto de lançamento. A profundidade máxima que a pluma atinge é de, aproximadamente, 53 m para o período de verão, a cerca de 19 m do ponto de descarte. Para o período de inverno a profundidade máxima que a pluma atinge é de, aproximadamente, 56 m a cerca de 20 m do ponto de descarte.



**Figura V-5** - Diluição em relação à distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno.

Através da análise dos resultados do DP de Iracema apresentados acima, estima-se que, em ambos os períodos, o jato do efluente necessitaria de uma distância maior que o limite do campo próximo para atingir uma diluição de 256 vezes.

Quanto aos parâmetros constituintes da água produzida, ressalta-se que esta diluição é suficiente para que todos estejam enquadrados no critério ambiental considerado (CONAMA 357/05).



**Figura V-6** - Profundidades em relação à distância do ponto de lançamento da pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno.

A tabela V-5 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. Ressalta-se que nesta tabela estão apresentados apenas os parâmetros que caracterizam o efluente cujas concentrações de lançamento são superiores às permitidas no corpo receptor.

Conforme se observa na tabela V-4, a diluição inicial no campo próximo é suficiente para que todos os parâmetros estudados atinjam as concentrações limite especificadas na legislação.

**Tabela V-5** - Concentração do parâmetro simulado no ponto de lançamento além da concentração limite da legislação e valores correspondentes à diluição no campo próximo para a água produzida descartada a partir do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno.

PARÂMETRO	CONCENTRAÇÃO NO PONTO DE LANÇAMENTO (mg/L)	LIMITE RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 ART. 18 (mg/L)	CONCENTRAÇÃO NO CAMPO PRÓXIMO (mg/L)	
			VERÃO	INVERNO
Bário	38,0	1,0	0,16	0,15

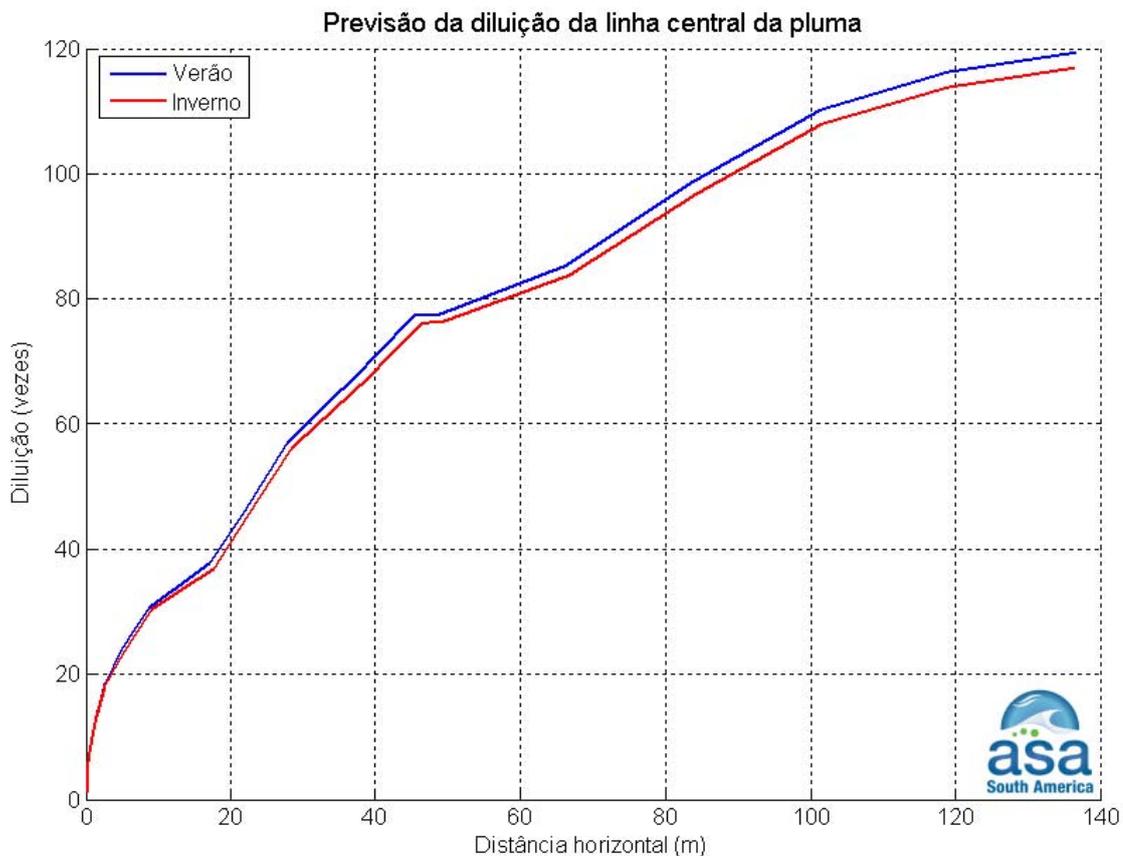
### V.1.2.2 URS

A tabela V-6 apresenta os resultados das simulações no campo próximo para o descarte do efluente da URS a partir do DP de Iracema. Observa-se que a diluição é menor no período de inverno (117 vezes) do que no período de verão (120 vezes). Conforme se observa na tabela II-7, estes valores são suficientes para que o efluente alcance a diluição necessária para enquadramento no critério ambiental dentro do campo próximo.

As figuras V-7 e V-8 apresentam as diluições e profundidades em relação às distâncias do ponto de lançamento, da pluma de efluente da URS descartado a partir do DP de Iracema, baseado nos resultados do campo próximo calculados nos períodos de verão e inverno.

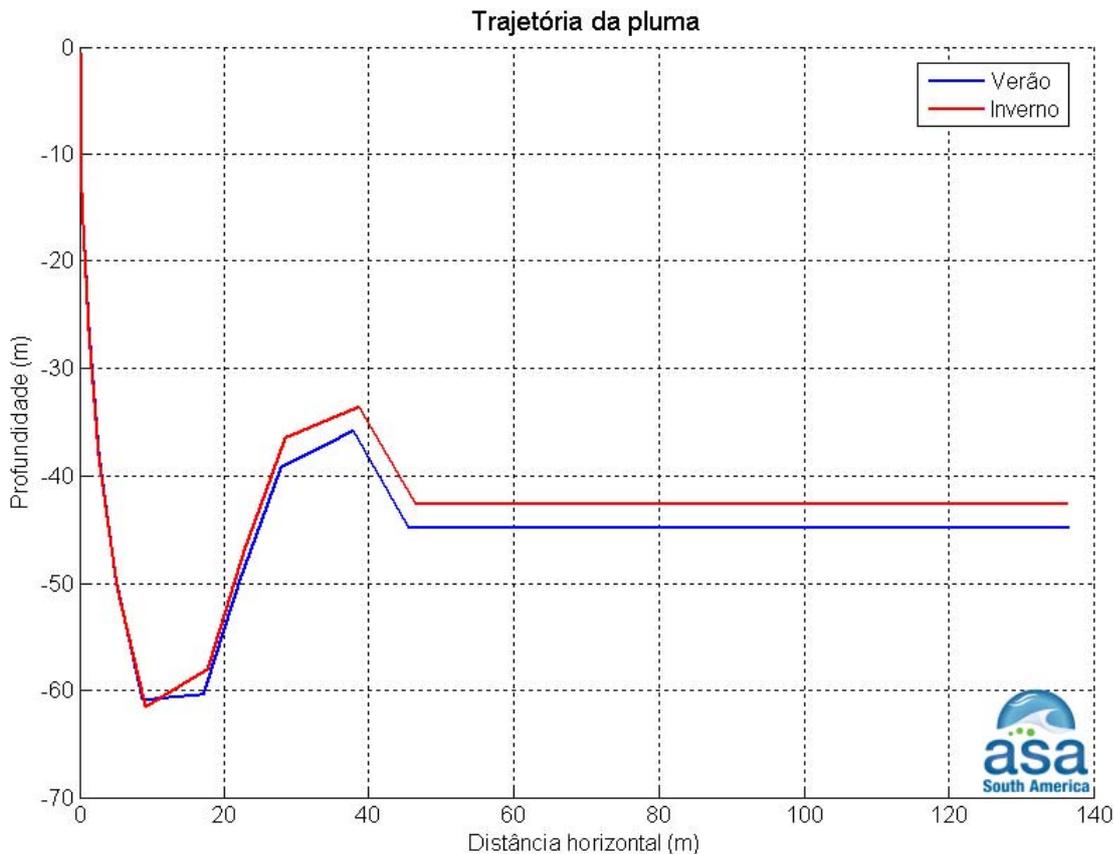
**Tabela V-6** - Resultados das simulações do campo próximo do descarte do efluente da URS a partir do DP de Iracema.

PARÂMETROS	VALORES	
	VERÃO	INVERNO
Diluição	119,5	117,0
Espessura da pluma (m)	8,5	8,8
Comprimento do campo próximo (m)	136,7	136,5
Profundidade terminal da pluma (m)	44,8	42,6



**Figura V-7** - Diluo em relao  distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno.

Observa-se que a diluo aumenta  medida que a pluma/jato se afasta do ponto de lançamento. A profundidade máxima que a pluma atinge  de, aproximadamente, 61 m a cerca de 9 m do ponto de descarte, para ambos os períodos.



**Figura V-8** - Profundidades em relação à distância do ponto de lançamento da pluma de efluente da URS do DP de Iracema nos períodos de verão e inverno.

Através da análise dos resultados do DP de Iracema apresentados acima, estima-se que, no período de verão, o jato do efluente necessitaria de uma distância de, aproximadamente, 35 m a partir do ponto de lançamento para atingir uma diluição de 64 vezes (vide figura V-7), suficiente para o enquadramento no critério ambiental em ambos os casos simulados (CENOs referentes ao efluente com e sem biocida), conforme apresentado na tabela II-7.

## V.2 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PROBABILÍSTICAS

De acordo com os resultados da modelagem de campo próximo para água produzida, apresentados no Item V.1, verifica-se que, para o Piloto de Guará as alterações significativas na qualidade da água ficarão restritas ao domínio do campo próximo no período de inverno. Já para o período de verão e em ambos os

períodos para o DP de Iracema, a diluição necessária para o enquadramento no corpo receptor ultrapassa o domínio do campo próximo.

Nos resultados da modelagem de campo próximo, apresentados no Item V.1, para os descartes provenientes das URS de Guará e Iracema, verifica-se que alterações significativas na qualidade da água ficarão restritas a este domínio.

Dessa forma, com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de futuros trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, são apresentados, a seguir, os resultados das simulações das plumas de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema, com diluições de até 10.000 vezes. Já os resultados das simulações das plumas da URS do Piloto de Guará e DP de Iracema são apresentados com diluições de até 1.000 vezes as diluições associadas à CENO mais conservativa (efluente com biocida), ou seja, uma diluição de 64.000 vezes.

Ressalta-se que a área ilustrada nas figuras representa a média das mínimas diluições obtidas em todas as 30 simulações, e não corresponde à posição da pluma em um determinado instante de tempo.

As diluições médias obtidas para os descartes a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema, durante os períodos de verão e inverno, são apresentados em função das distâncias de 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento. A distância de 500 m foi escolhida por corresponder à zona de mistura estabelecida na Resolução do CONAMA de nº 393/07 (Brasil, 2007).

## **V.2.1 Piloto de Guará**

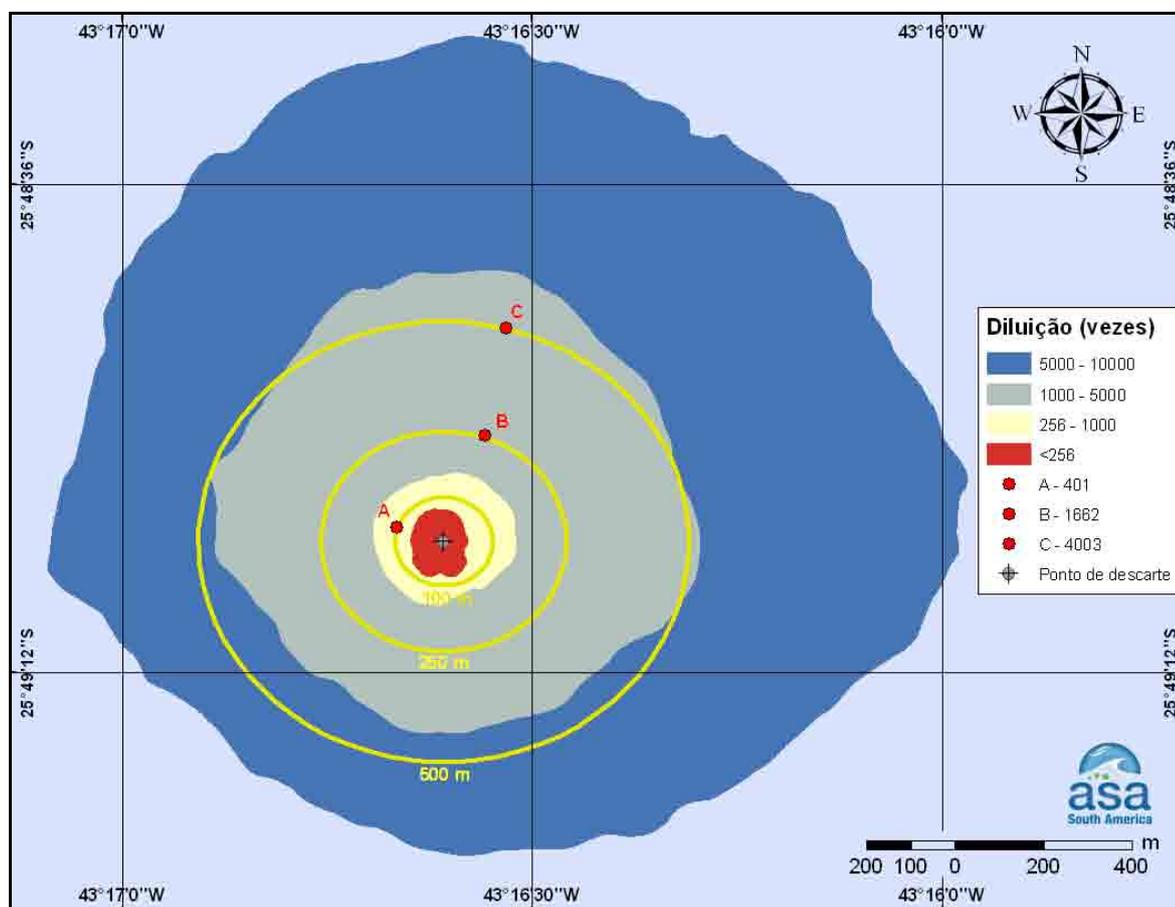
### **V.2.1.1 Água Produzida**

A tabela V-7, a seguir, apresenta as diluições médias obtidas para a água produzida, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento. Observa-se que a diluição aumenta à medida que a pluma se afasta do ponto de lançamento.

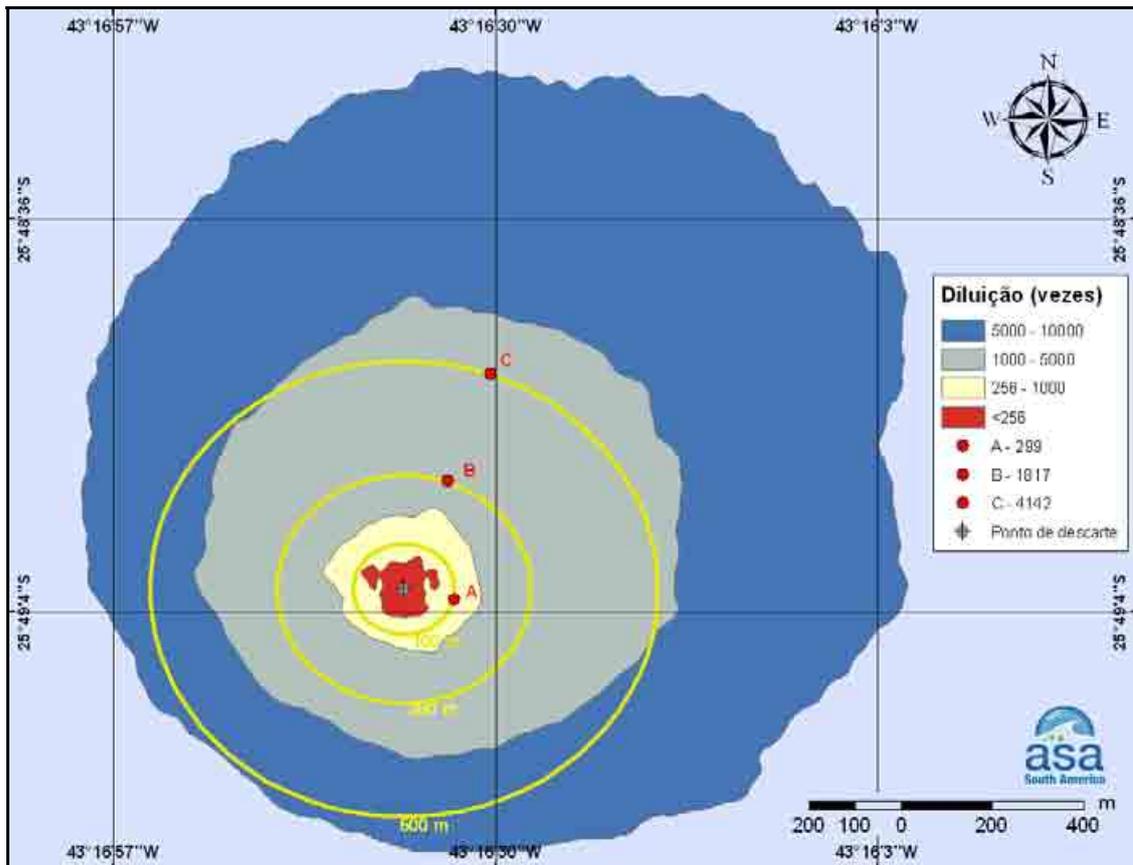
**Tabela V-7** - Diluições médias calculadas para a água produzida descartada a partir do Piloto de Guará a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

EFLUENTE	DILUIÇÃO (vezes) A 100 m		DILUIÇÃO (vezes) A 250 m		DILUIÇÃO (vezes) A 500 m	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Água Produzida	401	299	1.662	1.817	4.003	4.142

As figuras V-9 e V-10 apresentam os contornos de diluição das simulações probabilísticas para a água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



**Figura V-9** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de verão, após 24 horas.



**Figura V-10** - Diluoes calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar, simulada no período de inverno, após 24 horas.

**V.2.1.2 URS**

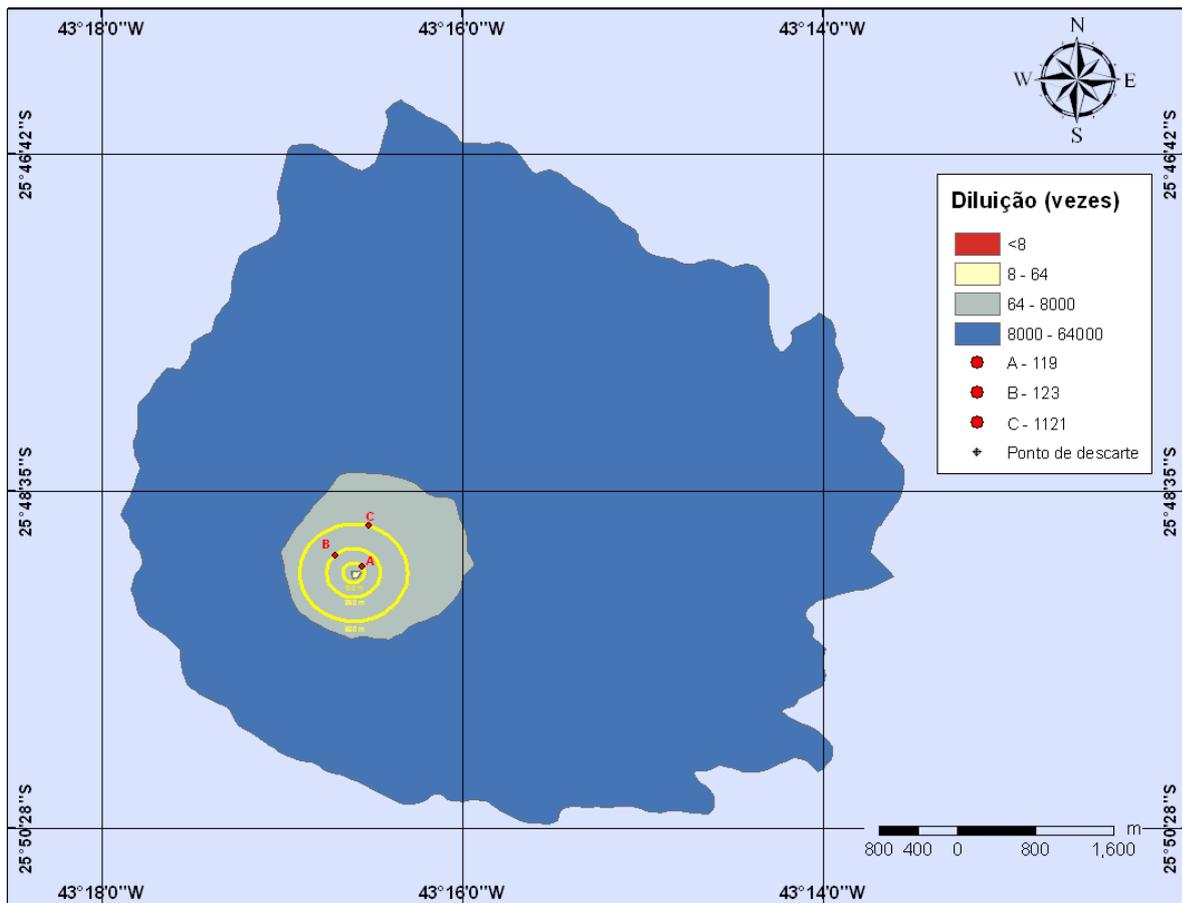
A tabela V-8, a seguir, apresenta as diluoes médias obtidas para o efluente da URS, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, considerando o efluente sem e com a adio de biocida. Observa-se que a diluo aumenta  medida que a pluma se afasta do ponto de lançamento.

**Tabela V-8** - Diluoes médias calculadas para o efluente da URS do Piloto de Guar sem e com a adio de biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

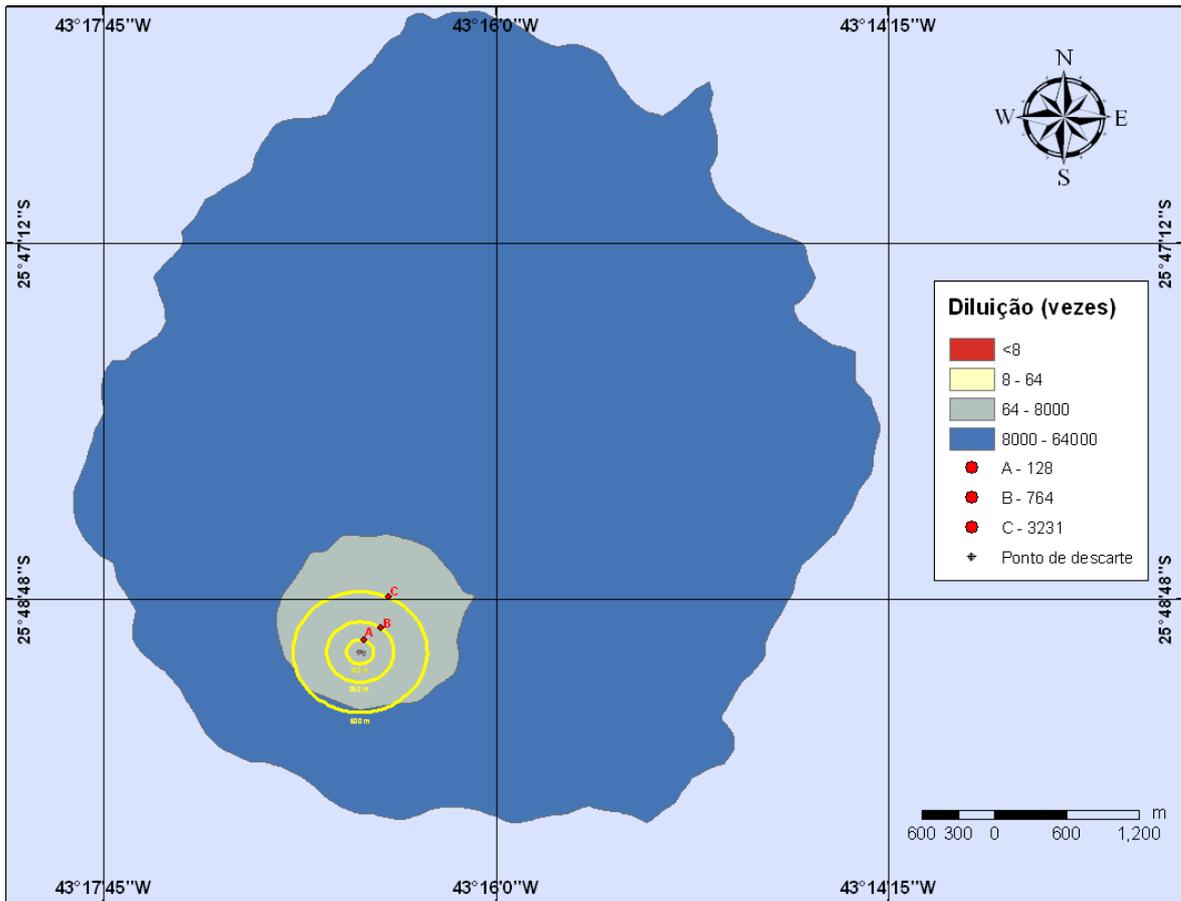
COMPONENTES	DILUIO (vezes) A 100 m		DILUIO (vezes) A 250 m		DILUIO (vezes) A 500 m	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Sem adio de biocida	119	128	623	764	2.523	3.205
Com adio de biocida	120	129	1.102	1.021	5.183	9.884

A seguir, as figuras V-11 e V-12 apresentam os contornos de diluição das simulações probabilísticas para o efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

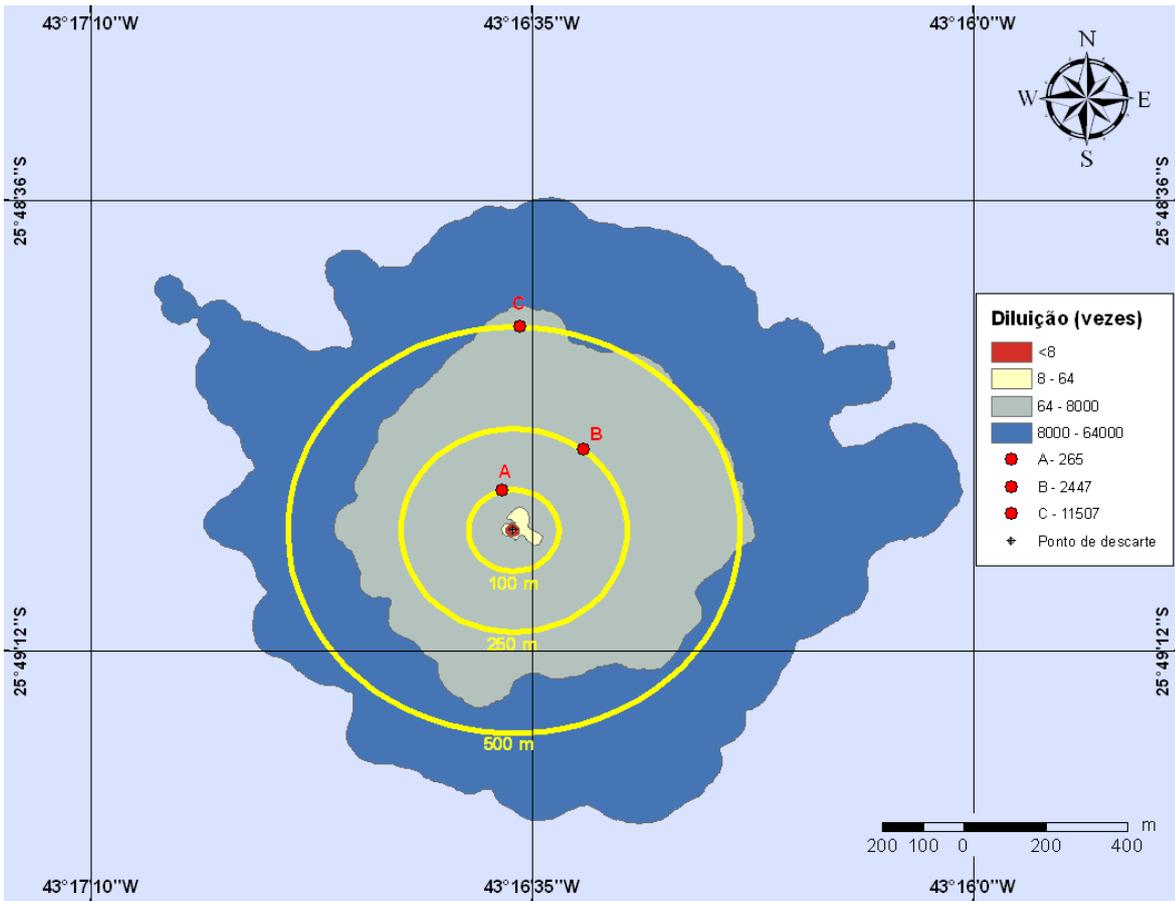
As figuras V-13 e V-14 apresentam os contornos de diluição das simulações probabilísticas para o efluente da URS do Piloto de Guará considerando a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



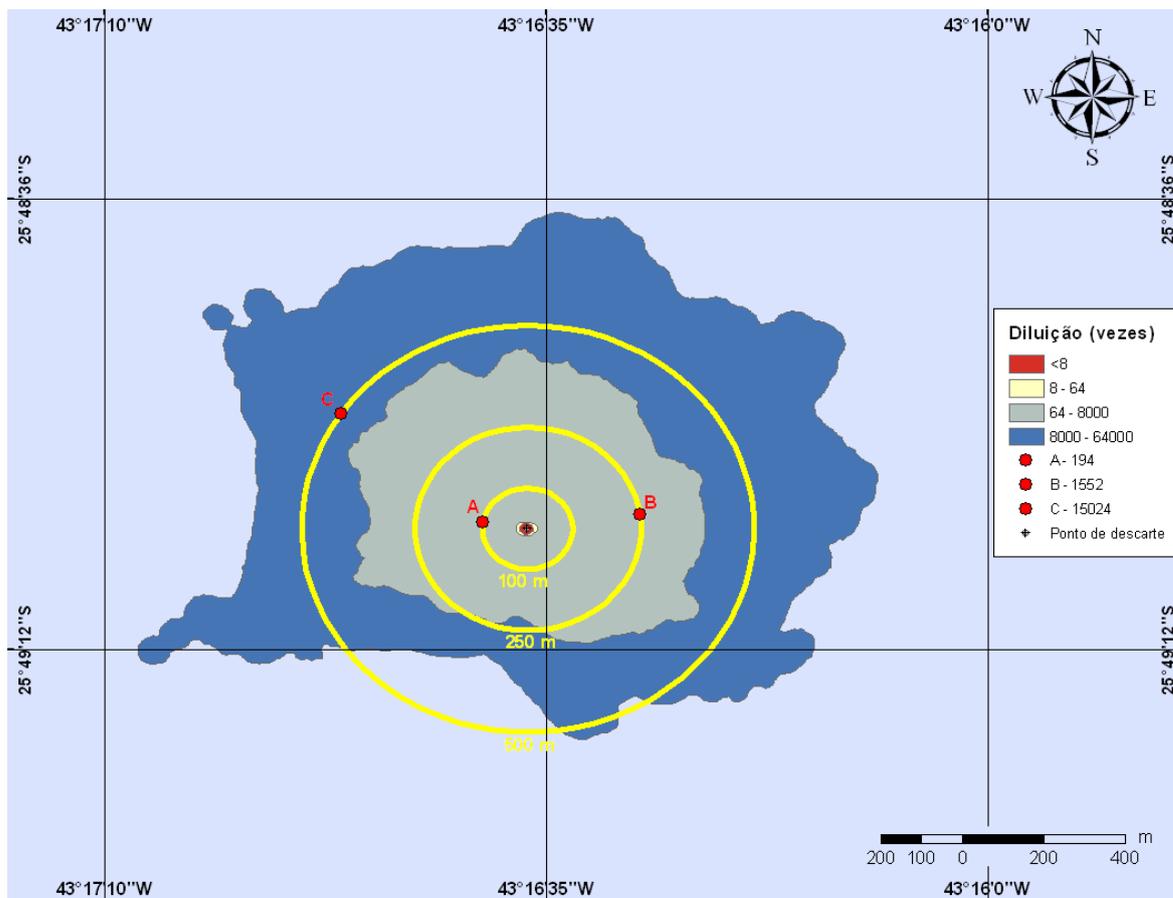
**Figura V-11** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição do biocida, simulada no período de verão, após 24 horas.



**Figura V-12** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio do biocida, simulada no período de inverno, após 24 horas.



**Figura V-13** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará com a adição do biocida, simulada no período de verão, após 1 hora.



**Figura V-14** - Diluoes calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio do biocida, simulada no período de inverno, após 1 hora.

## V.2.2 DP de Iracema

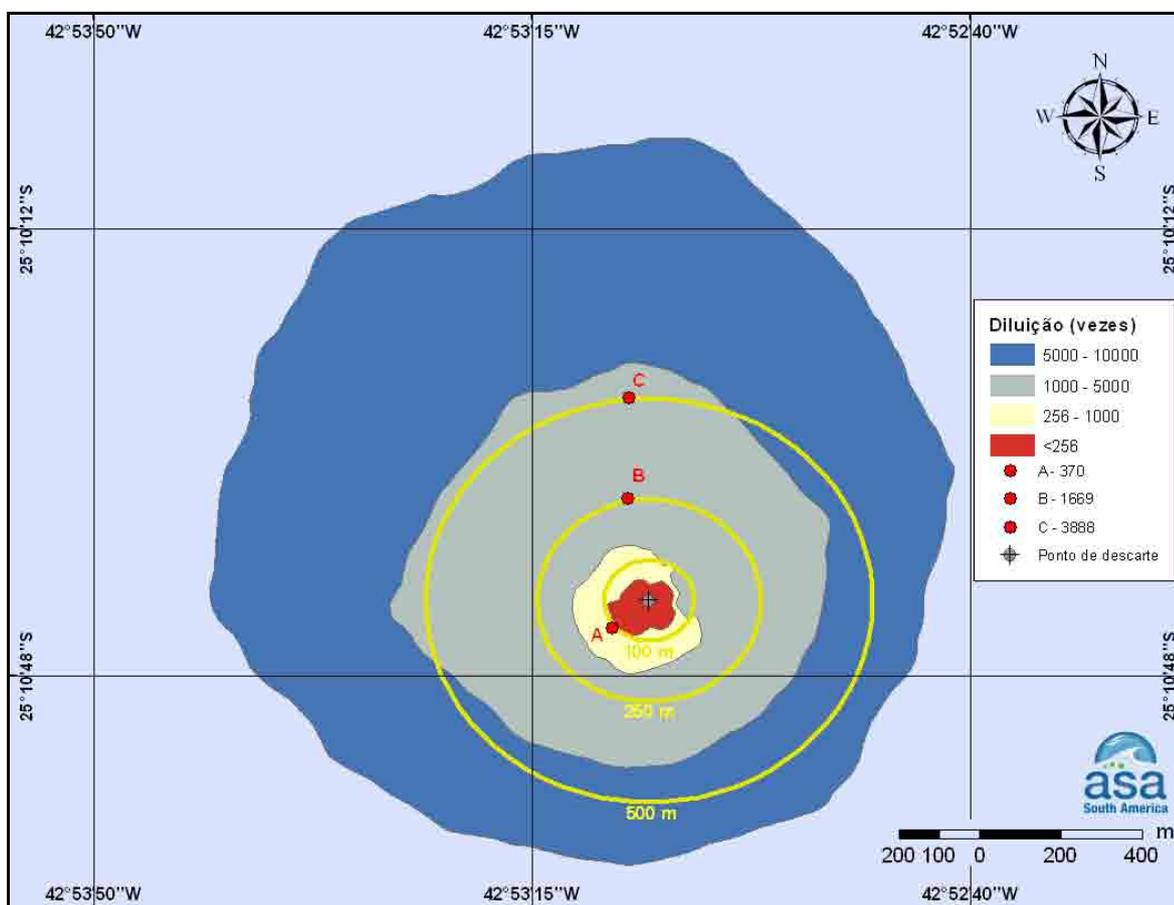
### V.2.2.1 gua Produzida

A tabela V-9, a seguir, apresenta as diluoes médias obtidas para a água produzida, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento. Observa-se que a diluo aumenta  medida que a pluma se afasta do ponto de lançamento.

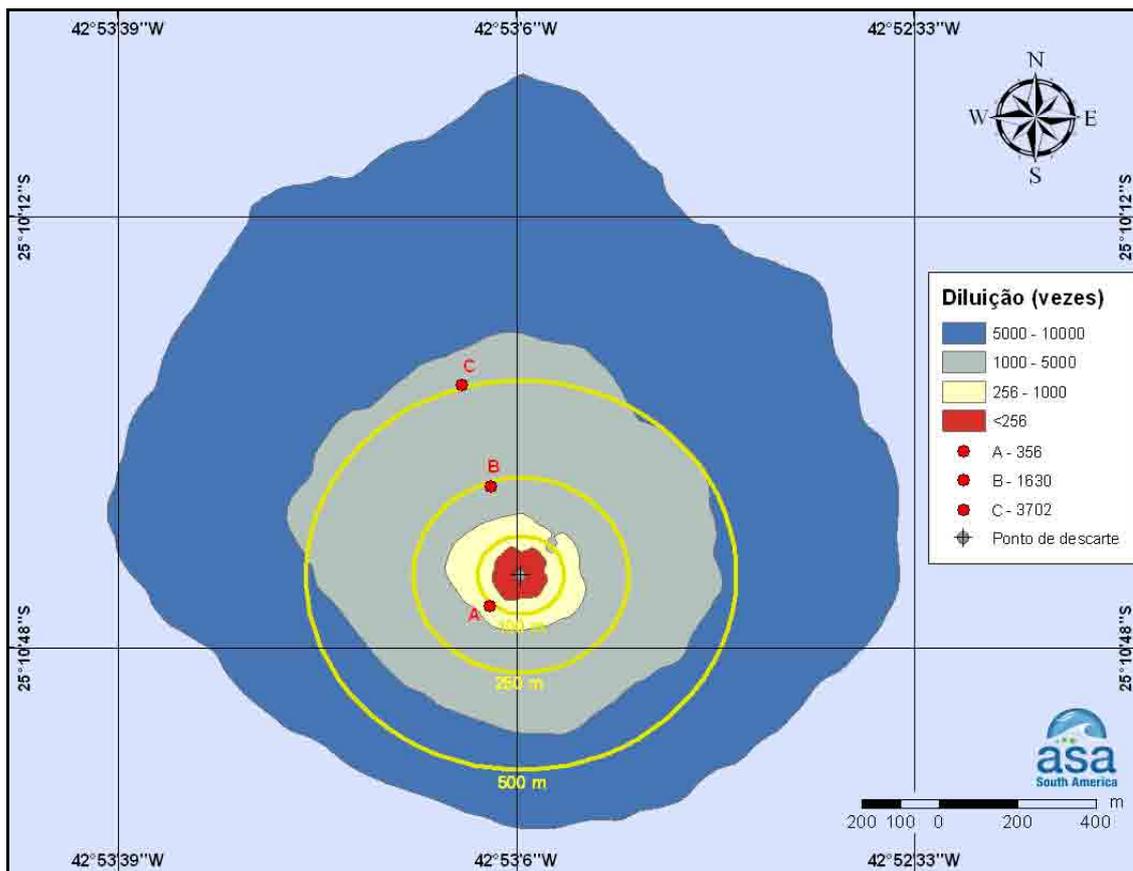
**Tabela V-9** - Diluições médias calculadas para a água produzida descartada a partir do DP de Iracema a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

EFLUENTE	DILUIÇÃO (vezes) A 100 m		DILUIÇÃO (vezes) A 250 m		DILUIÇÃO (vezes) A 500 m	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Água Produzida	370	356	1.669	1.630	3.888	3.702

As figuras V-15 a V-16 apresentam os contornos de diluição das simulações probabilísticas para a água produzida descartada a partir do DP de Iracema, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



**Figura V-15** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de verão, após 24 horas.



**Figura V-16** - Dilues calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de inverno, após 24 horas.

**V.2.2.2 URS**

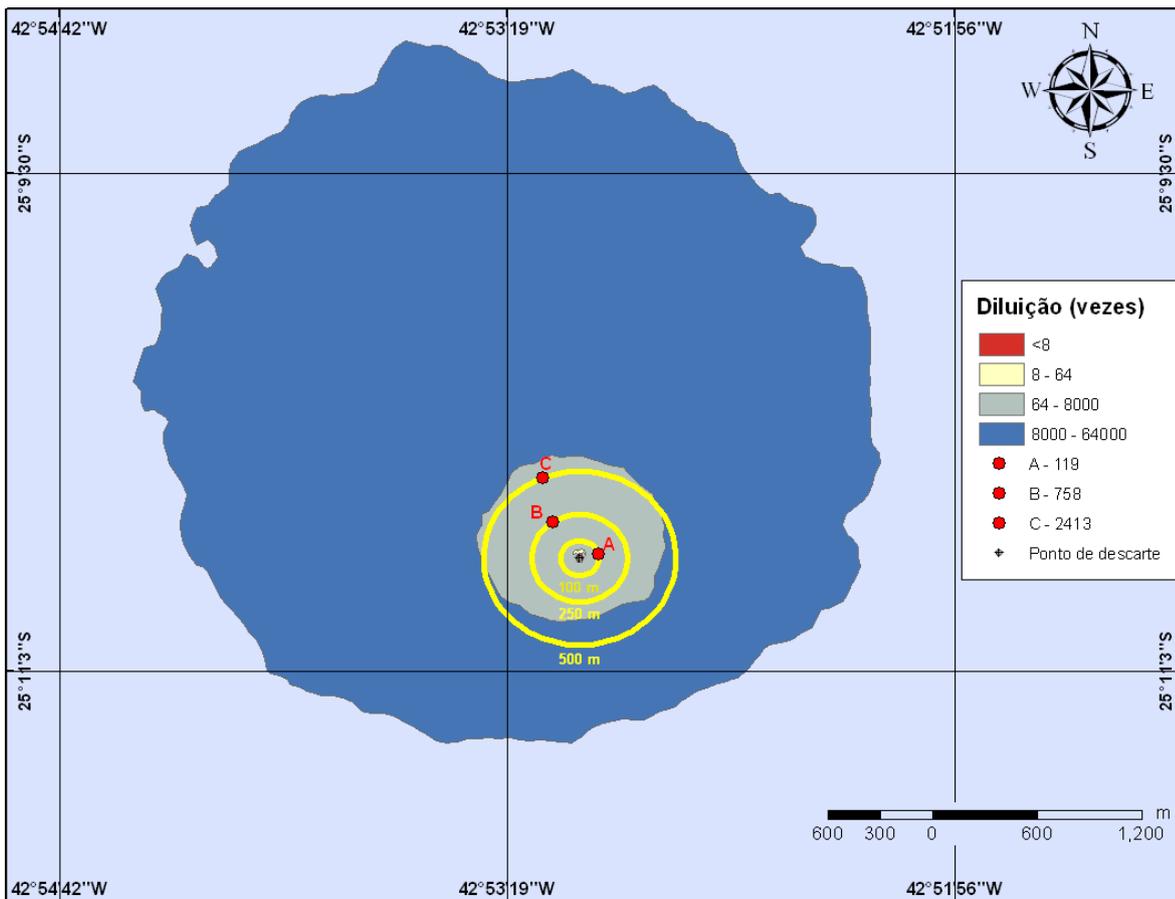
A tabela V-10, a seguir, apresenta as dilues médias obtidas para o efluente da URS, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, considerando o efluente sem e com a adio de biocida. Observa-se que a diluo aumenta  medida que a pluma se afasta do ponto de lançamento.

**Tabela V-10** - Dilues médias calculadas para o efluente da URS do DP de Iracema sem e com a adio de biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

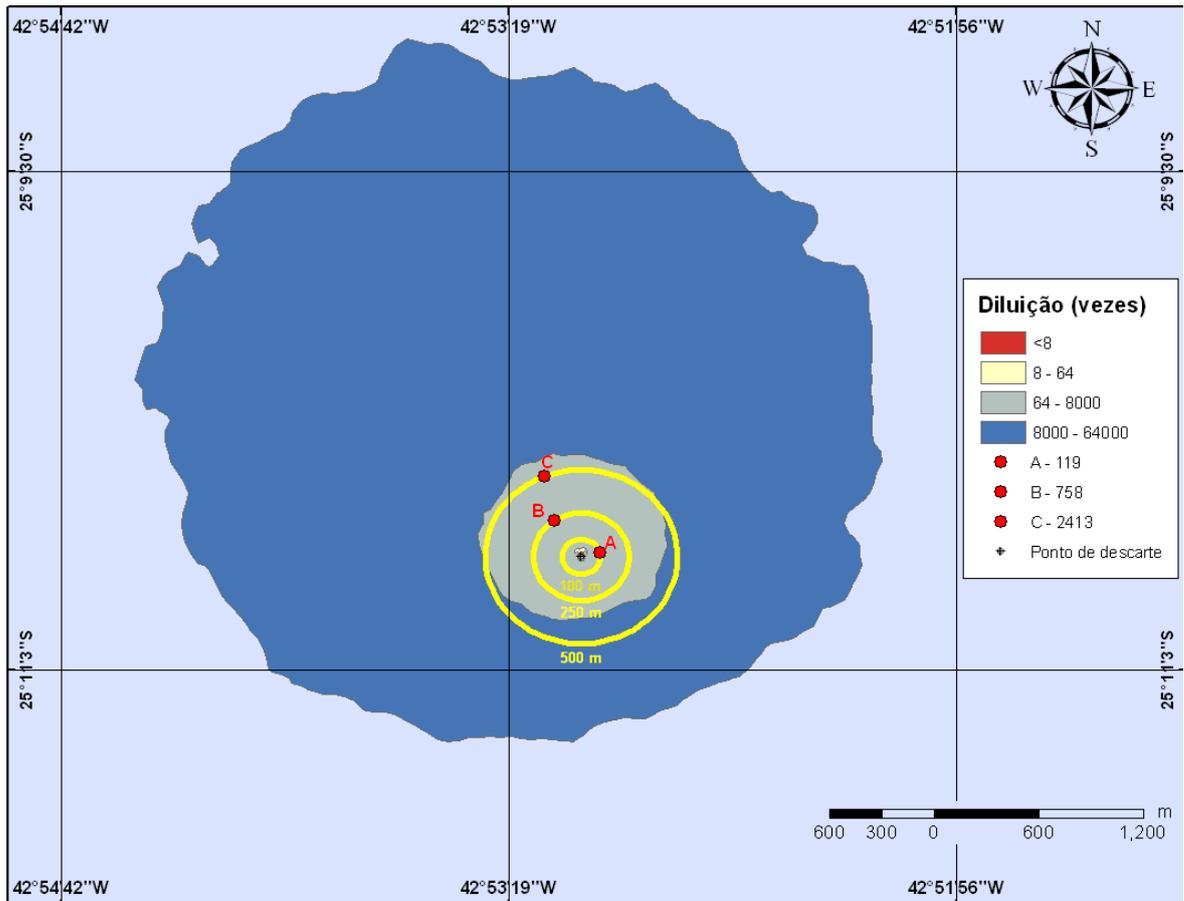
COMPONENTES	DILUIO (vezes) A 100 m		DILUIO (vezes) A 250 m		DILUIO (vezes) A 500 m	
	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Sem adio de biocida	119	116	758	610	2.413	2.083
Com adio de biocida	117	115	1.413	1.146	6.623	7.125

A seguir, as figuras V-17 e V-18 apresentam os contornos de diluição das simulações probabilísticas para o efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

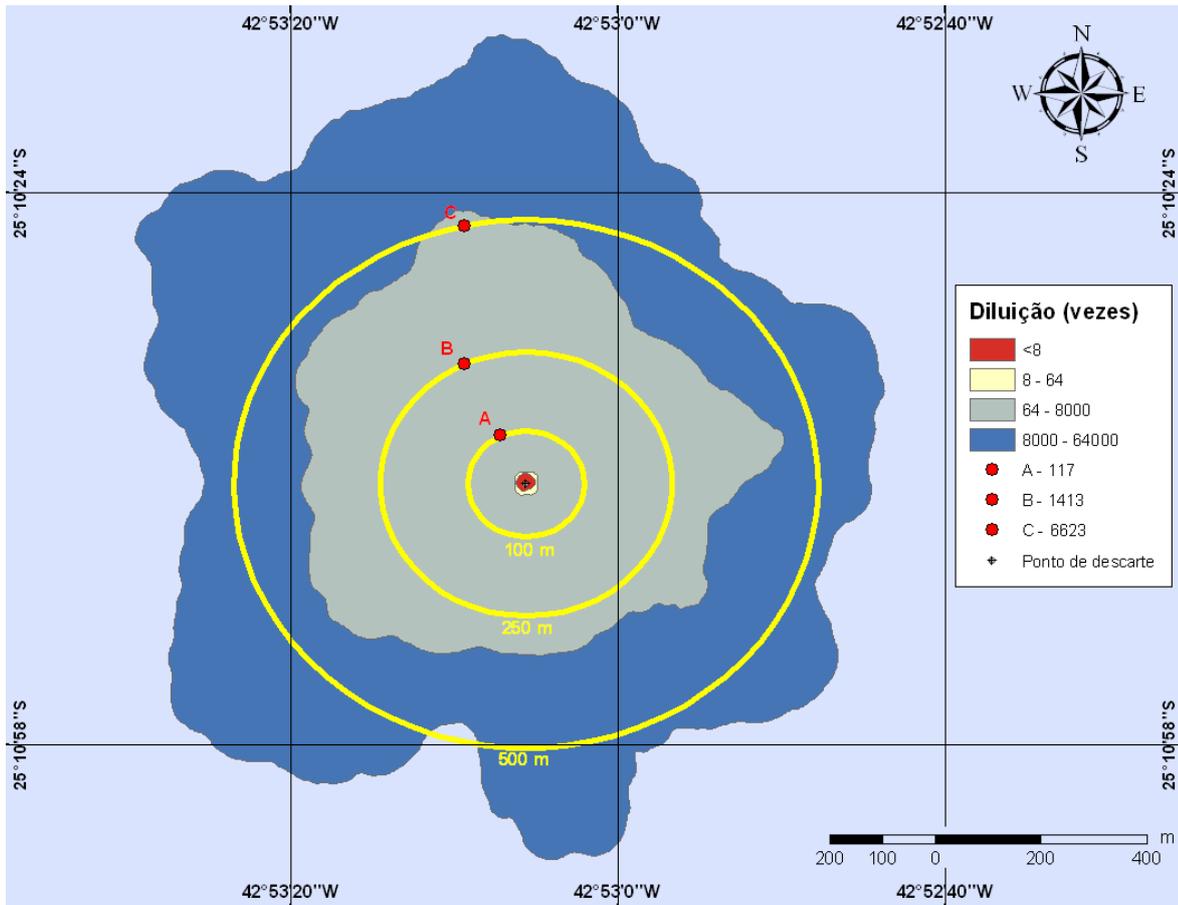
As figuras V-19 e V-20 apresentam os contornos de diluição das simulações probabilísticas para o efluente da URS do DP de Iracema considerando a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



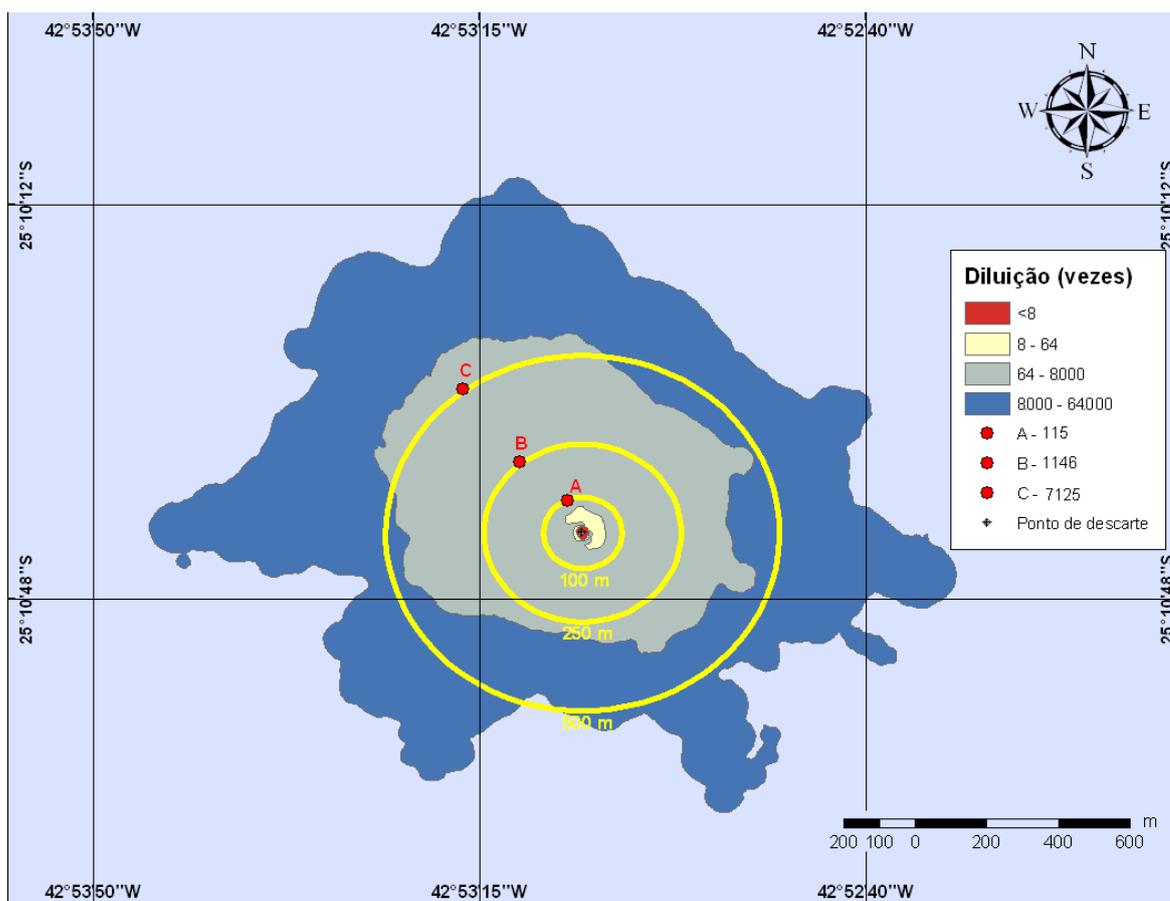
**Figura V-17** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição do biocida, simulada no período de verão, após 24 horas.



**Figura V-18** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adio do biocida, simulada no período de inverno, após 24 horas.



**Figura V-19** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição do biocida, simulada no período de verão, após 1 hora.



**Figura V-20** - Dilues calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adio do biocida, simulada no período de inverno, após 1 hora.

### V.3 RESULTADOS DAS SIMULAES DETERMINÍSTICAS

A seguir, são apresentados os resultados das simulaes determinísticas críticas de verão e de inverno para o descarte de efluentes a partir do Piloto de Guar e DP de Iracema. Para essas simulaes foram considerados como mais críticos os cenários que apresentaram as menores dilues nas proximidades do ponto de lançamento, e também os cenários que atingiram a maior distância, ao final das simulaes, do ponto de lançamento.

Nestas figuras são apresentados os contornos das plumas, utilizando o mesmo critério das simulaes probabilísticas, uma seção transversal (demarcada por uma linha pontilhada sobre a pluma) com o perfil vertical de dilues, e as mínimas dilues por camada (intervalos de profundidades) 24 horas após o instante inicial das simulaes.

### V.3.1 Piloto de Guará

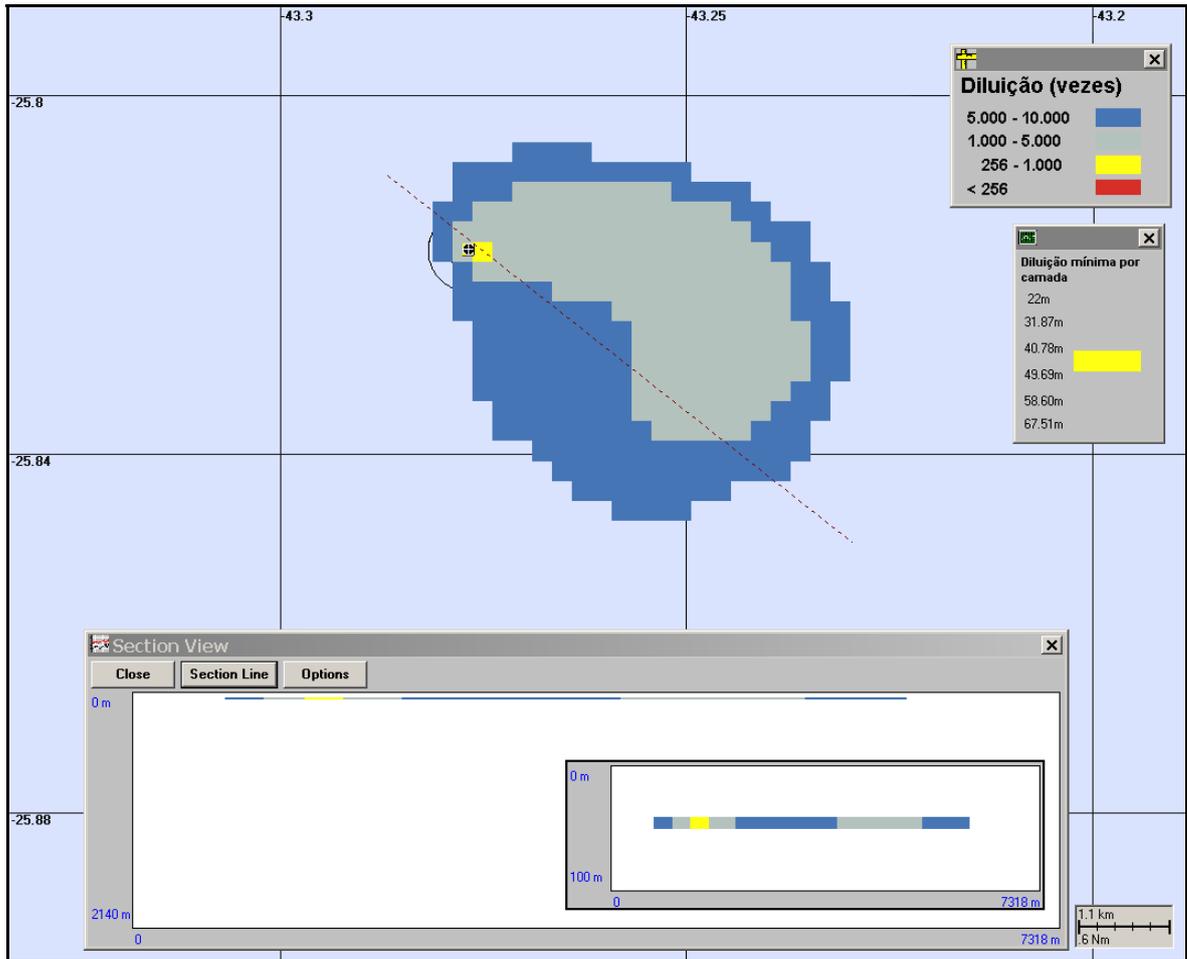
#### V.3.1.1 Água Produzida

A tabela V-11, a seguir, apresenta as diluições mínimas obtidas para a água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento.

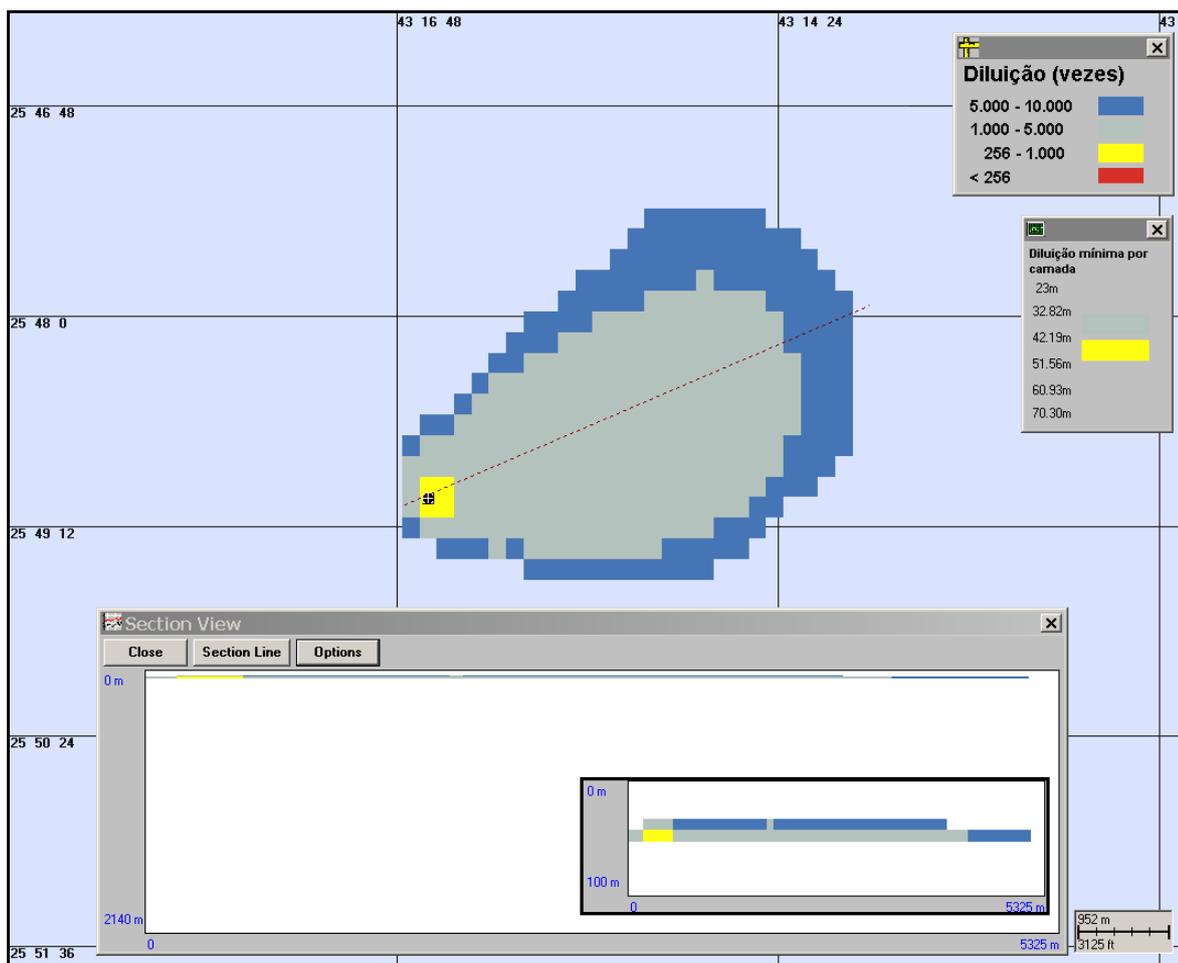
**Tabela V-11** - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas da água produzida descartada a partir do Piloto de Guará a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

EFLUENTE	SITUAÇÃO CRÍTICA	DILUIÇÃO (vezes) A 100 m		DILUIÇÃO (vezes) A 250 m		DILUIÇÃO (vezes) A 500 m	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Água Produzida	Menor diluição	392	284	1.515	964	2.541	1.204
	Maior distância	395	296	1.587	785	2.646	926

As figuras V-21 e V-22 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram as menores diluições nas proximidades do ponto de descarte para o Piloto de Guará, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

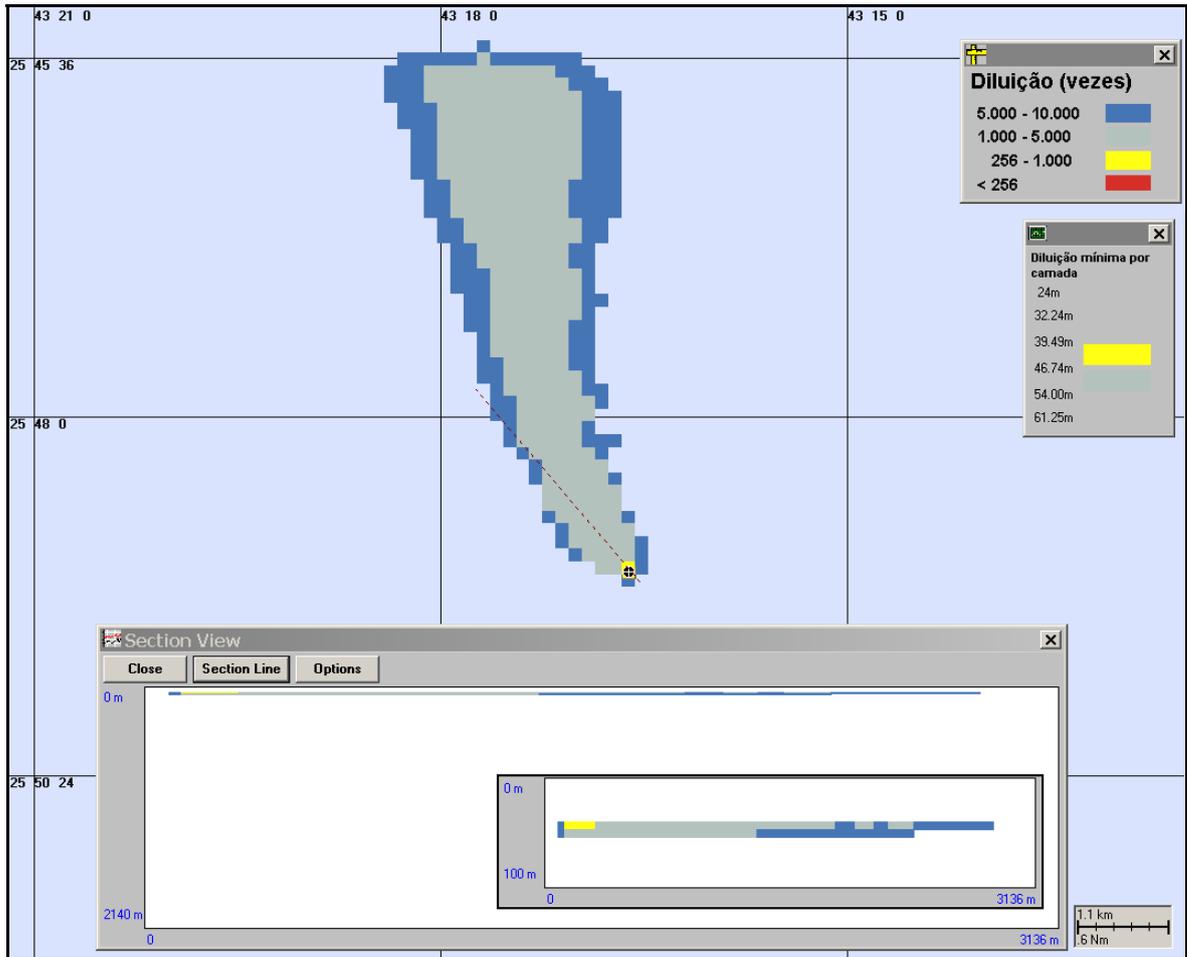


**Figura V-21** - Diluies calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar, simulada no período de verão (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

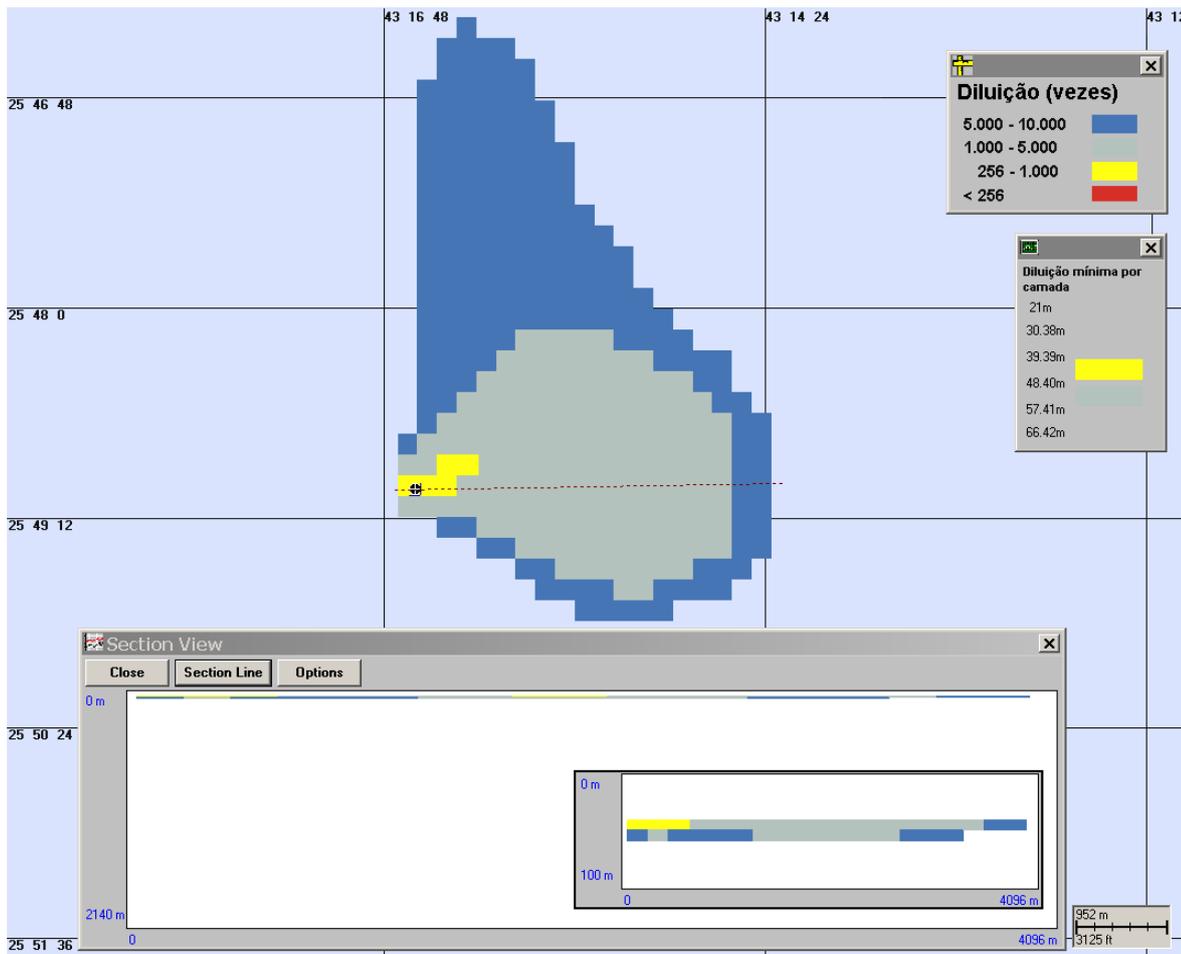


**Figura V-22** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de inverno (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

As figuras V-23 e V-24 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram a maior distância, após 24 horas, do ponto de lançamento de água produzida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



**Figura V-23** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guar, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.



**Figura V-24** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do Piloto de Guará, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.

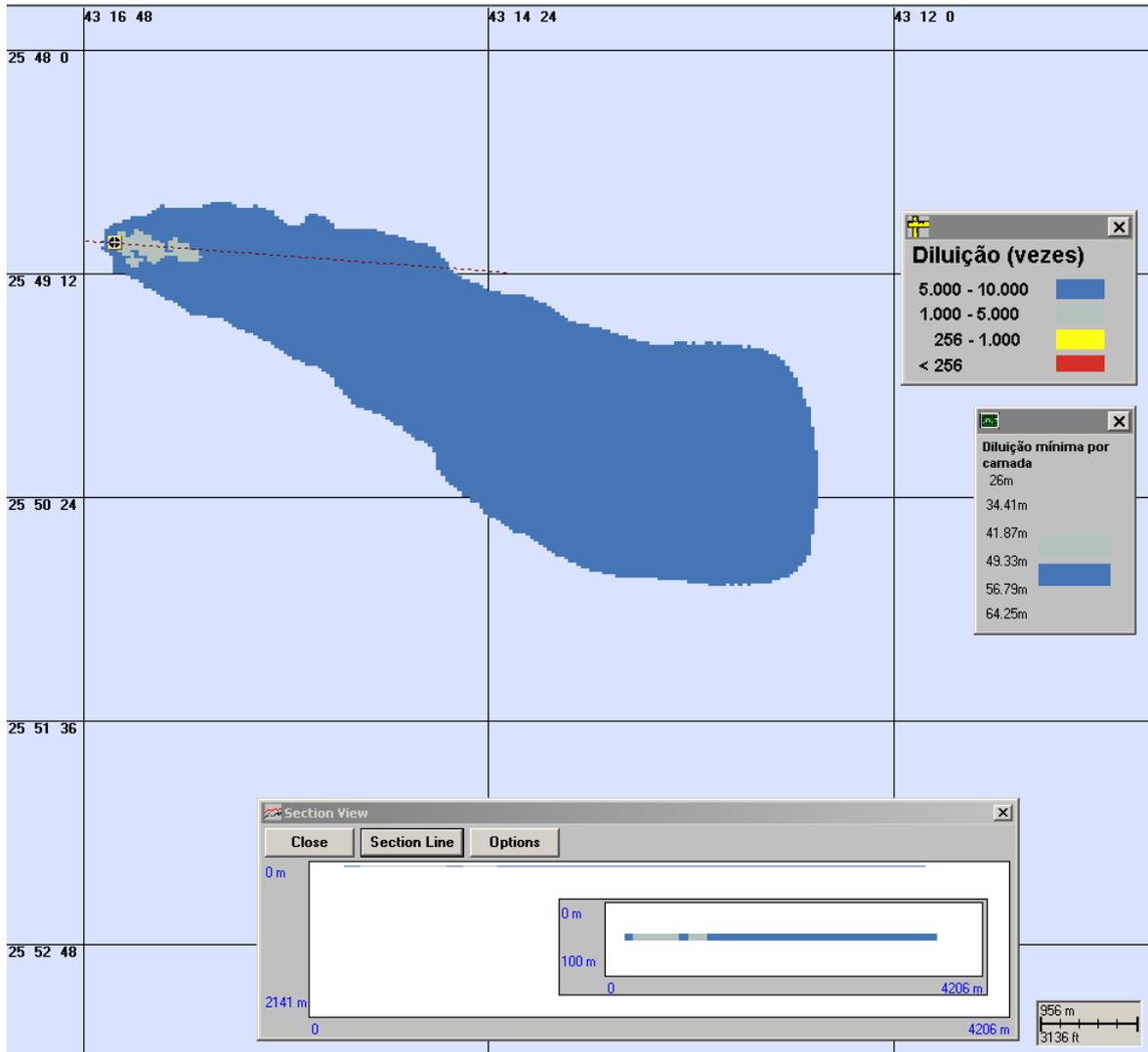
### V.3.1.2 URS

A tabela V-12, a seguir, apresenta as diluições mínimas obtidas para o efluente da URS do Piloto de Guará, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento.

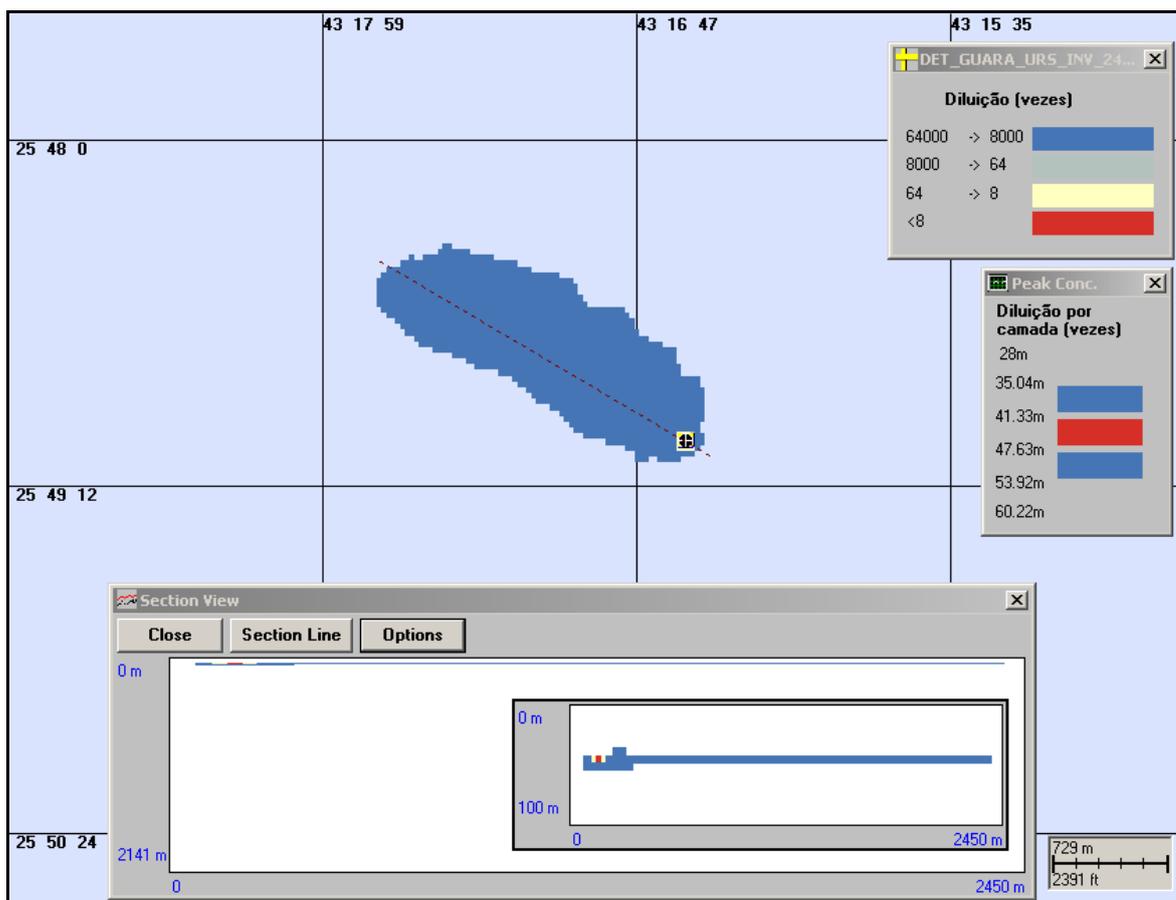
**Tabela V-12** - Diluições mínimas calculadas para as simulaes determinísticas críticas do efluente da URS do Piloto de Guar sem e com a adio do biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

COMPONENTE	SITUAÇÃO CRÍTICA	DILUIÇÃO (vezes) A 100 m		DILUIÇÃO (vezes) A 250 m		DILUIÇÃO (vezes) A 500 m	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Sem adio de biocida	Menor diluio	116	120	417	416	1.667	1.190
	Maior distância	115	123	397	699	1.587	1.011
Com adio de biocida	Menor diluio	98	118	445	592	1.333	1.425
	Maior distância	105	123	275	357	1.291	1.380

As figuras V-25 e V-26 apresentam os contornos de diluio das simulaes determinísticas que apresentaram as menores diluies nas proximidades do ponto de descarte para o efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

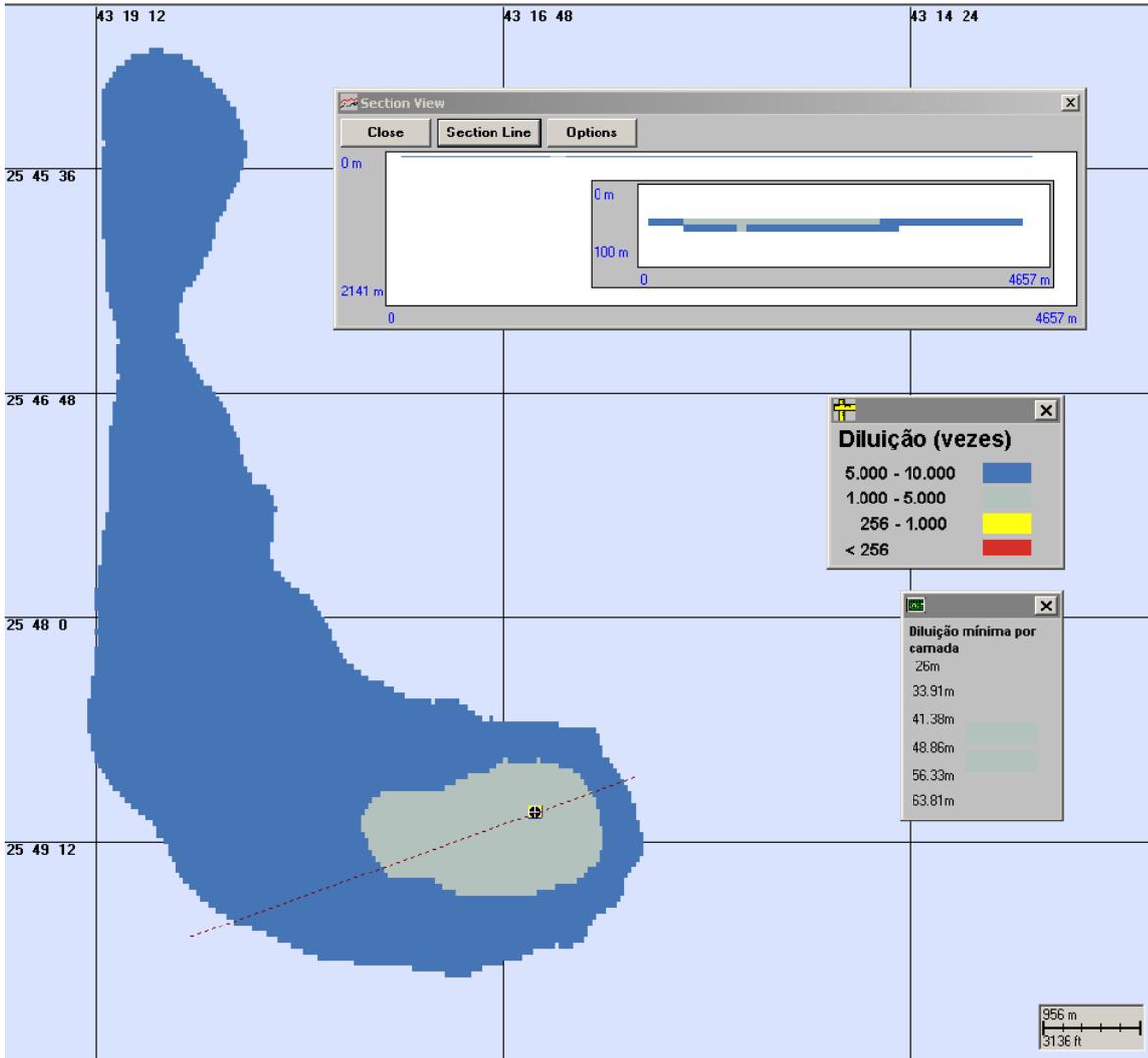


**Figura V-25** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição de biocida, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

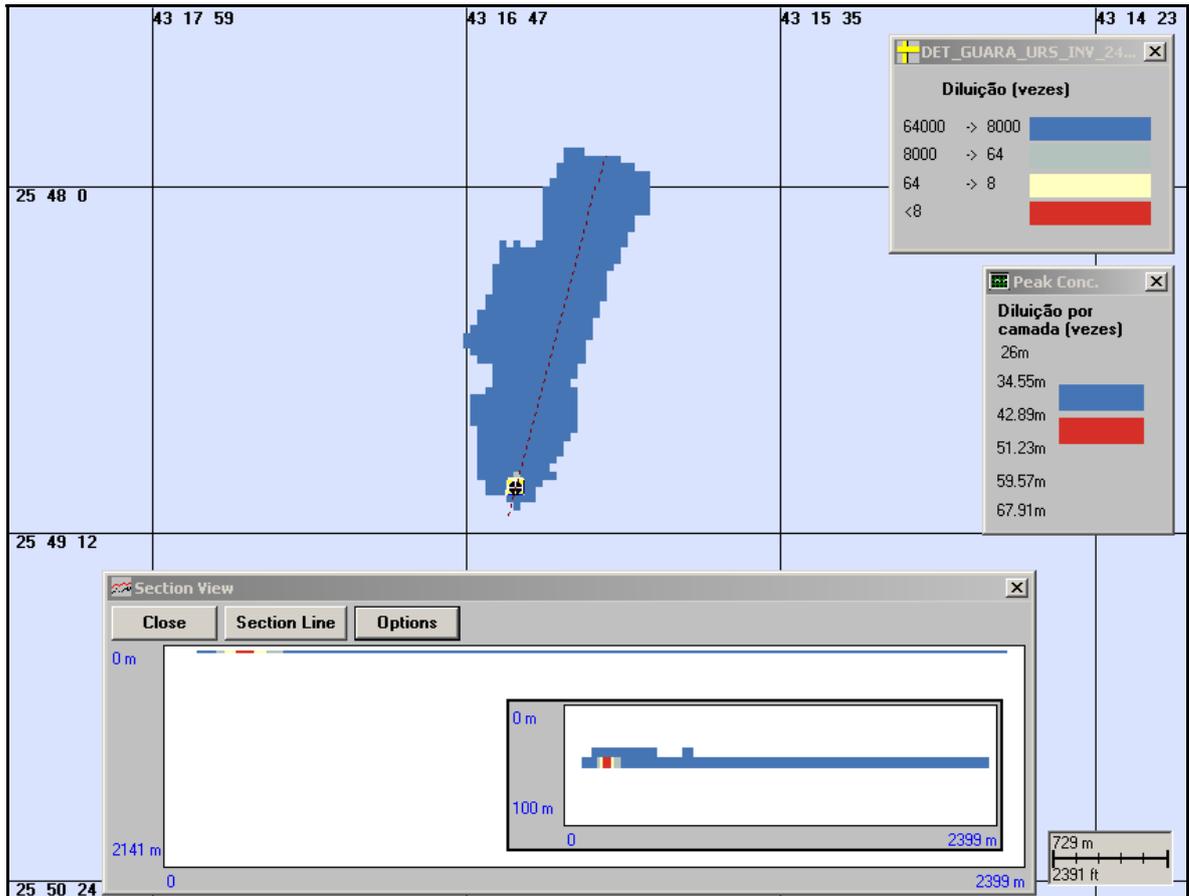


**Figura V-26** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio de biocida, simulada no período de inverno (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

As figuras V-27 e V-28 apresentam os contornos de diluio das simulaes determinísticas que apresentaram a maior distância, após 24 horas, do ponto de lançamento para o efluente da URS sem a adio de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

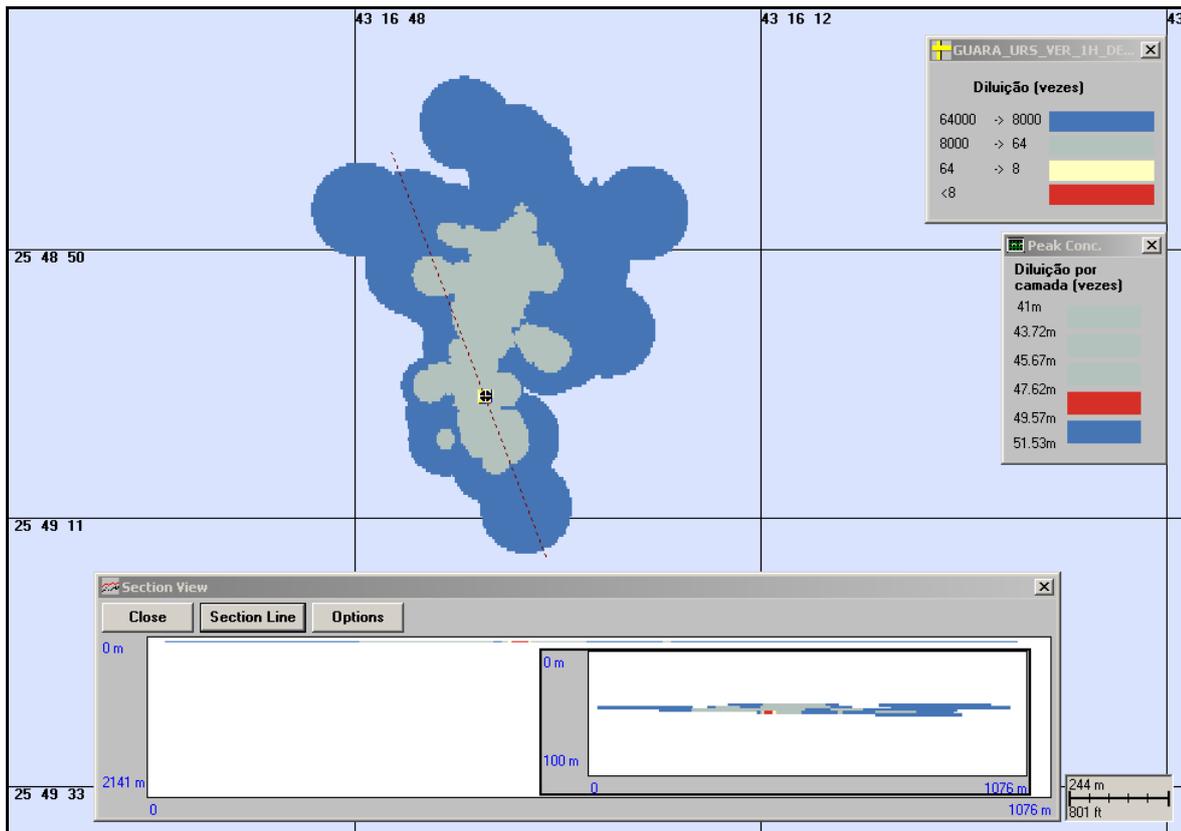


**Figura V-27** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará sem a adição de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.

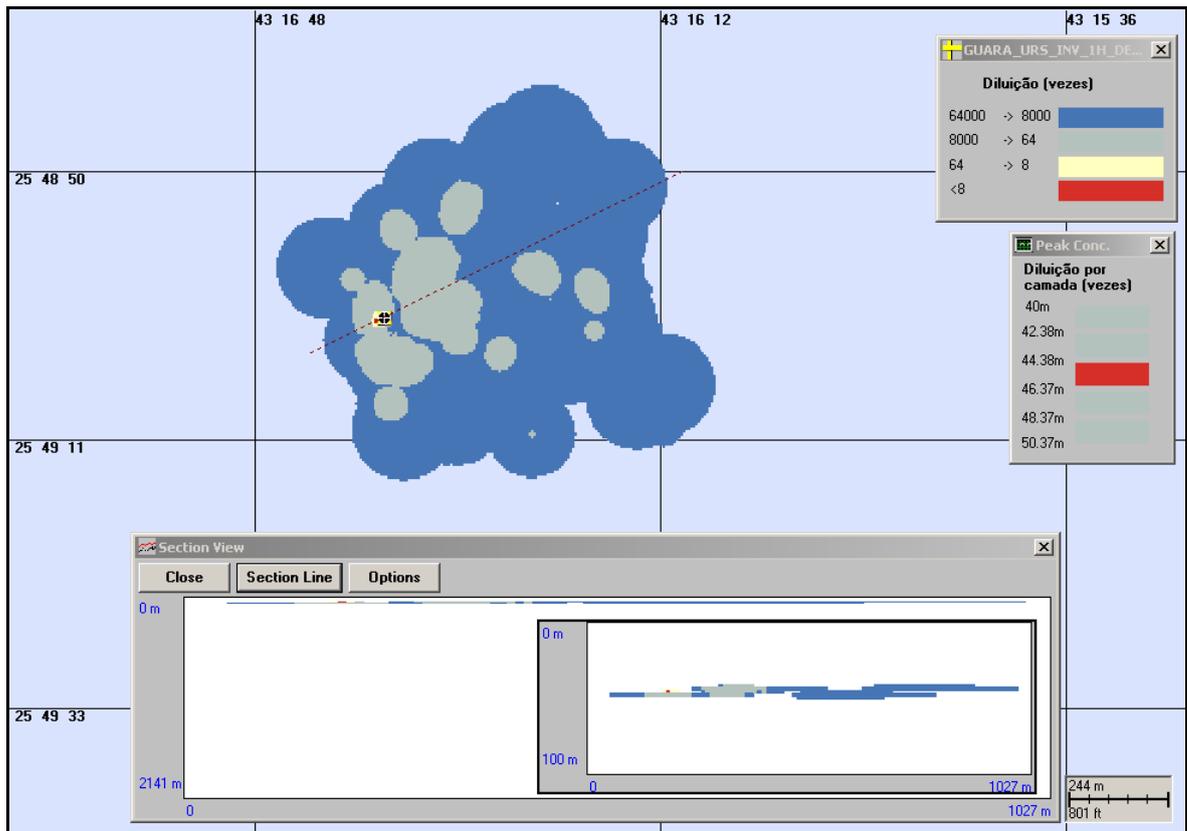


**Figura V-28** - Diluio es calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar sem a adio de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.

As figuras V-29 e V-30 apresentam os contornos de diluio das simulaes determinísticas que apresentaram as menores diluies nas proximidades do ponto de descarte para o efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

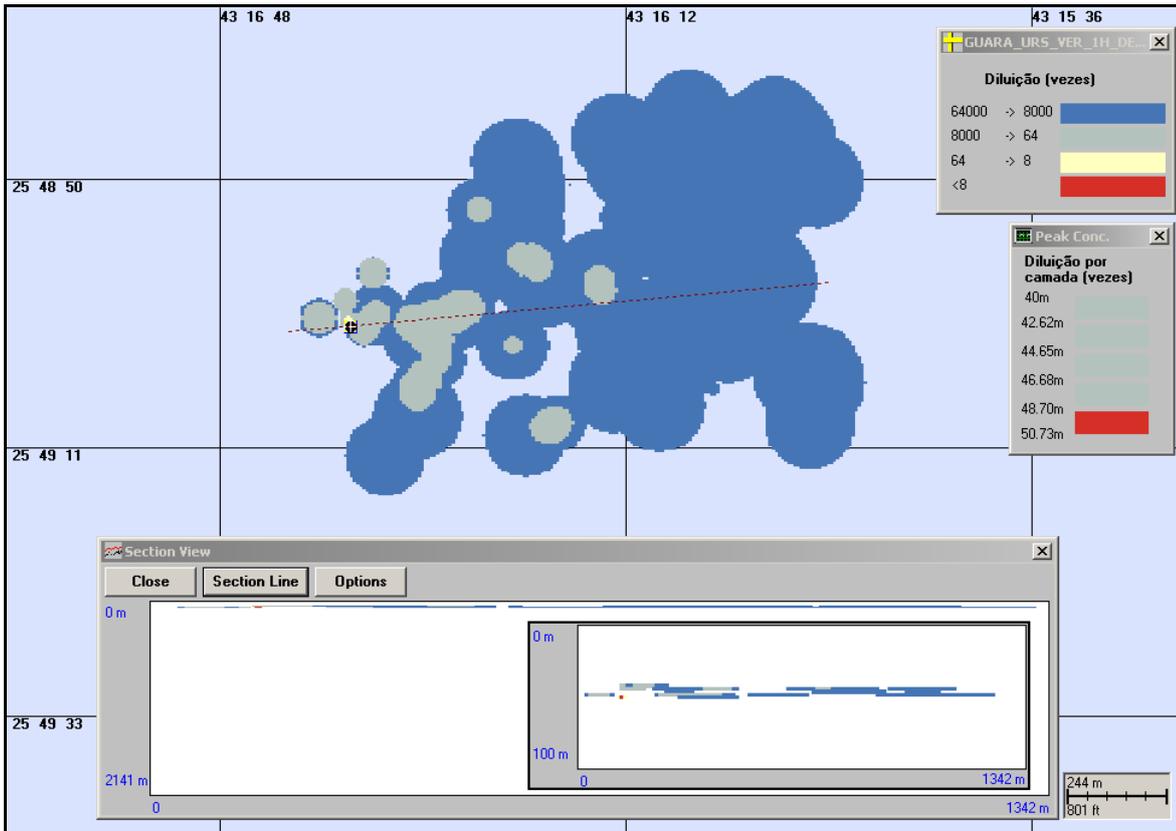


**Figura V-29** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará com a adição de biocida, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora.

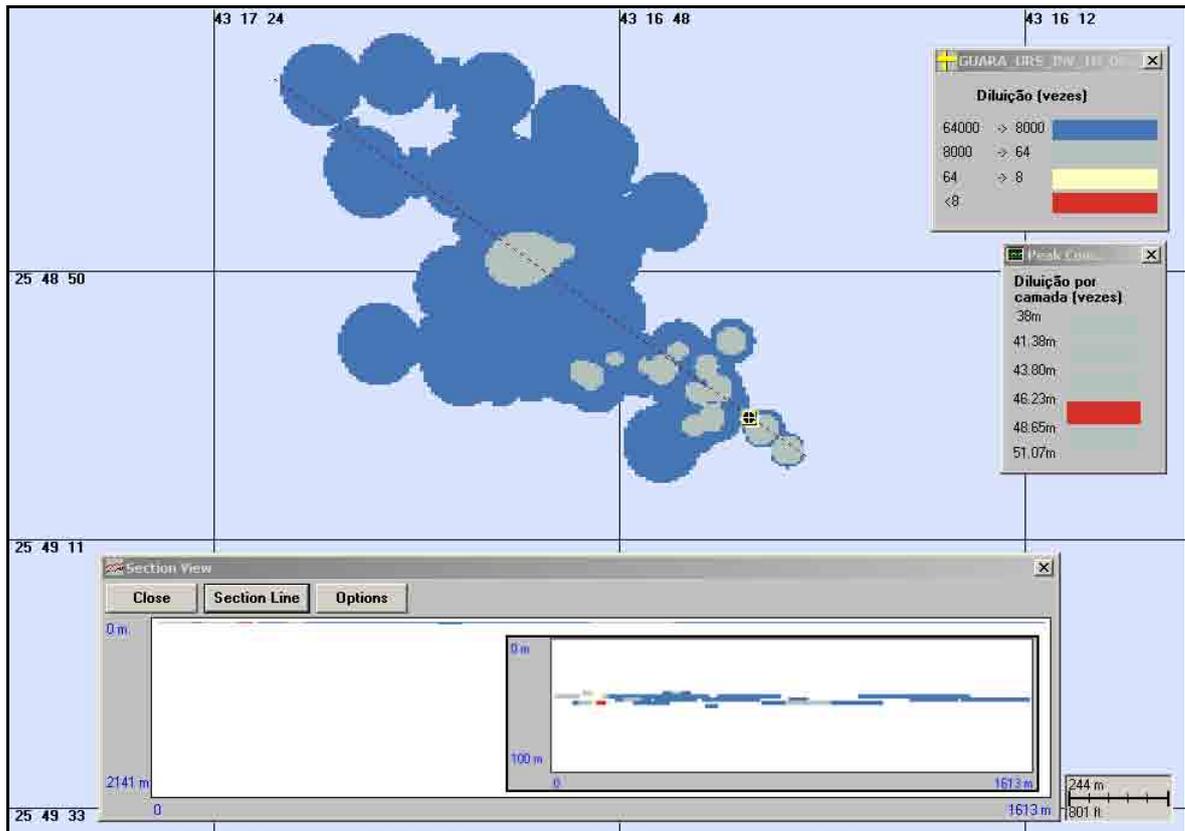


**Figura V-30** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, simulada no período de inverno (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora.

As figuras V-31 e V-32 apresentam os contornos de diluio das simulaes determinísticas que atingiram a maior distância, ao final de uma hora, do ponto de lançamento para o efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



**Figura V-31** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guará com a adição de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora.



**Figura V-32** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do Piloto de Guar com a adio de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora.

## V.3.2 DP de Iracema

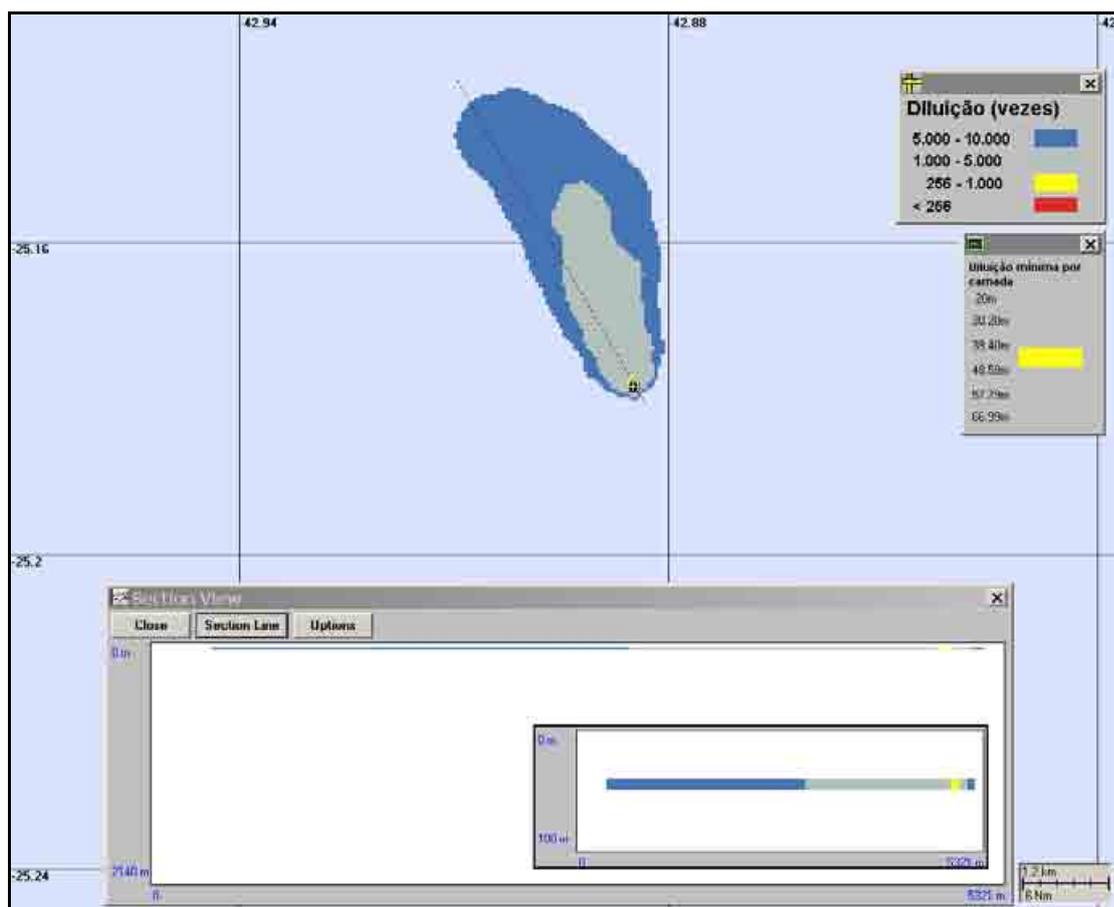
### V.3.2.1 gua Produzida

A tabela V-13, a seguir, apresenta as diluies mínimas obtidas para a água produzida descartada a partir do DP de Iracema, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento.

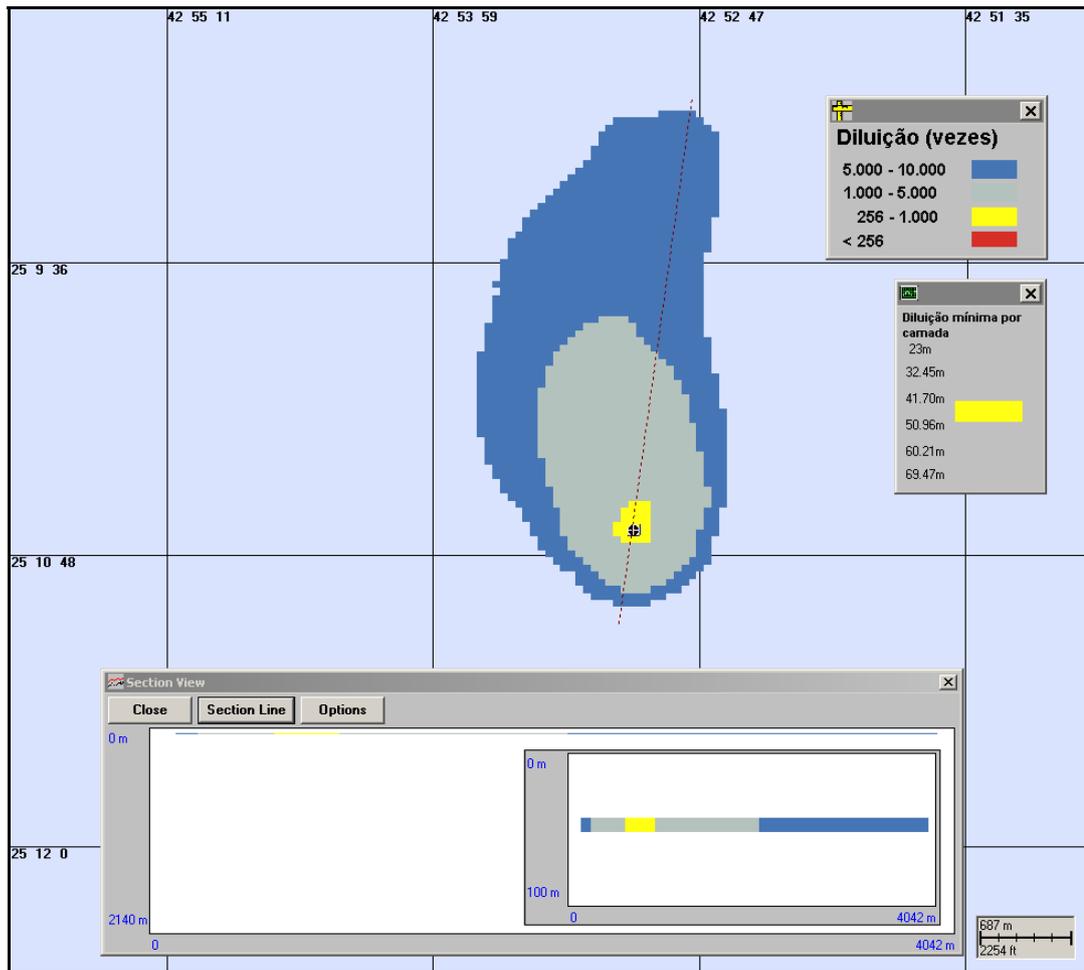
**Tabela V-13** - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas da água produzida descartada a partir do DP de Iracema a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.

EFLUENTE	SITUAÇÃO CRÍTICA	DILUIÇÃO (vezes) A 100 m		DILUIÇÃO (vezes) A 250 m		DILUIÇÃO (vezes) A 500 m	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Água Produzida	Menor diluição	361	342	1.317	870	1.415	1.291
	Maior distância	367	350	1.377	926	1.443	1.323

As figuras V-33 e V-34 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram as menores diluições nas proximidades do ponto de descarte para o DP de Iracema, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

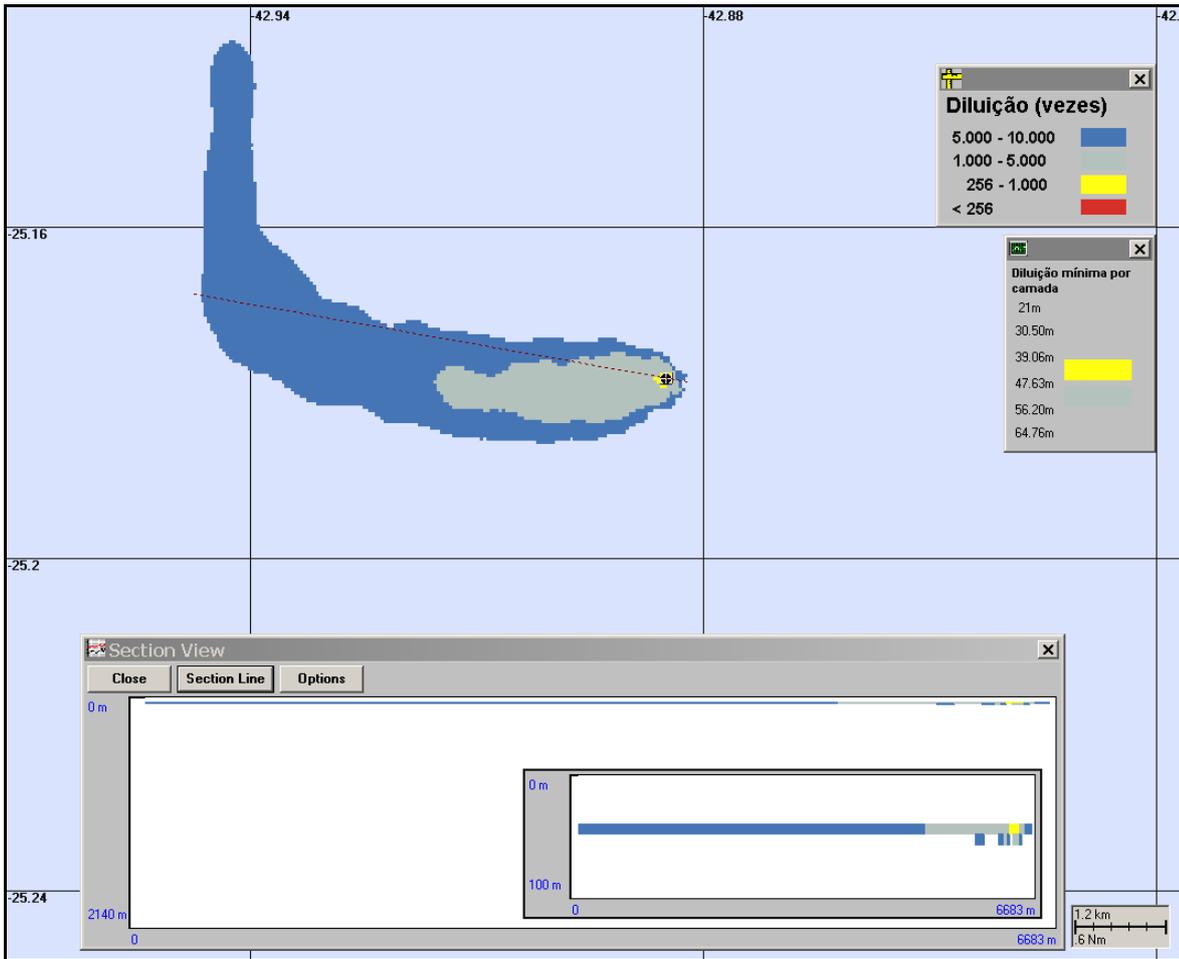


**Figura V-33** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

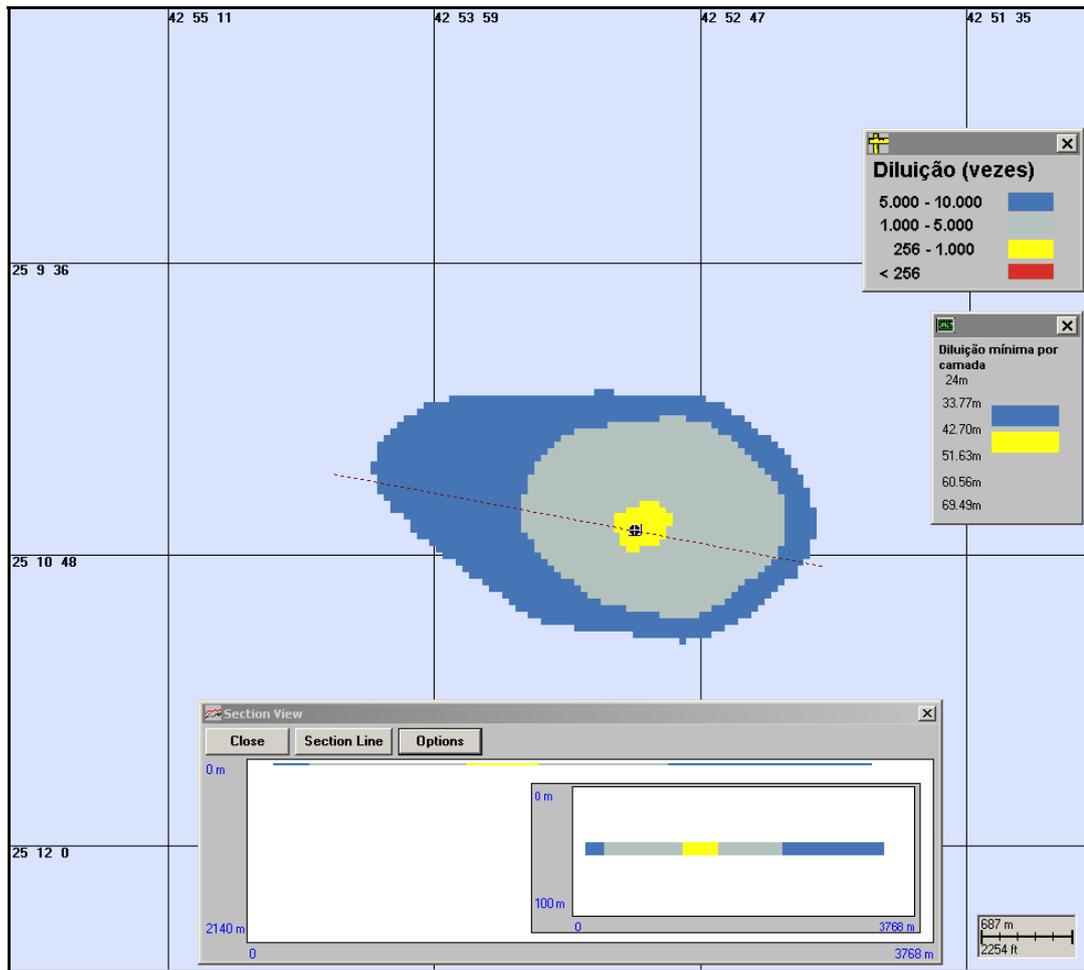


**Figura V-34** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de inverno (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

As figuras V-35 e V-36 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram a maior distância, após 24 horas, do ponto de lançamento de água produzida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



**Figura V-35** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.



**Figura V-36** - Diluições calculadas para a pluma de água produzida descartada a partir do DP de Iracema, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.

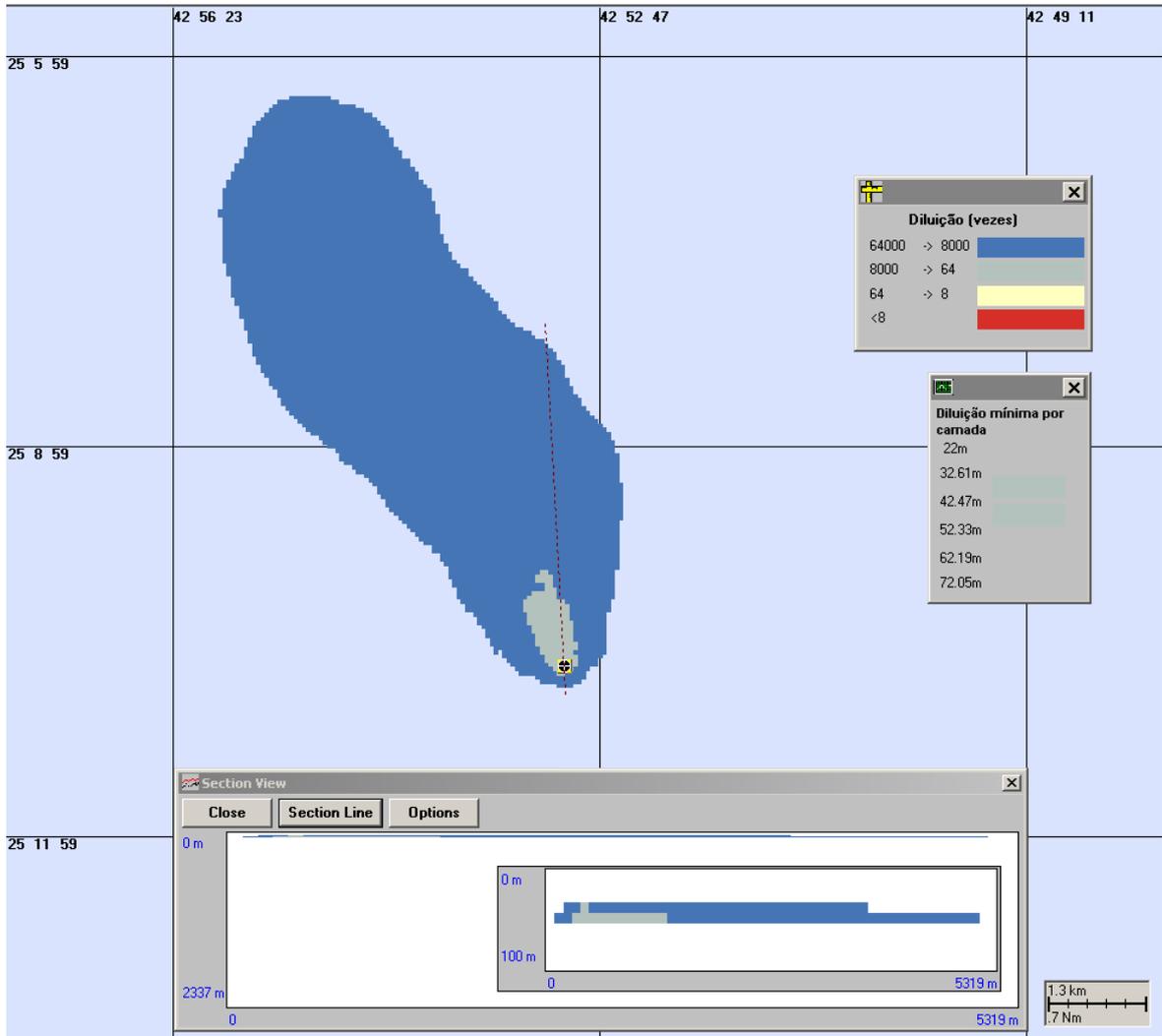
**V.3.2.2 URS**

A tabela V-14, a seguir, apresenta as diluições mínimas obtidas para o efluente da URS do DP de Iracema, durante os períodos de verão e inverno, a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento.

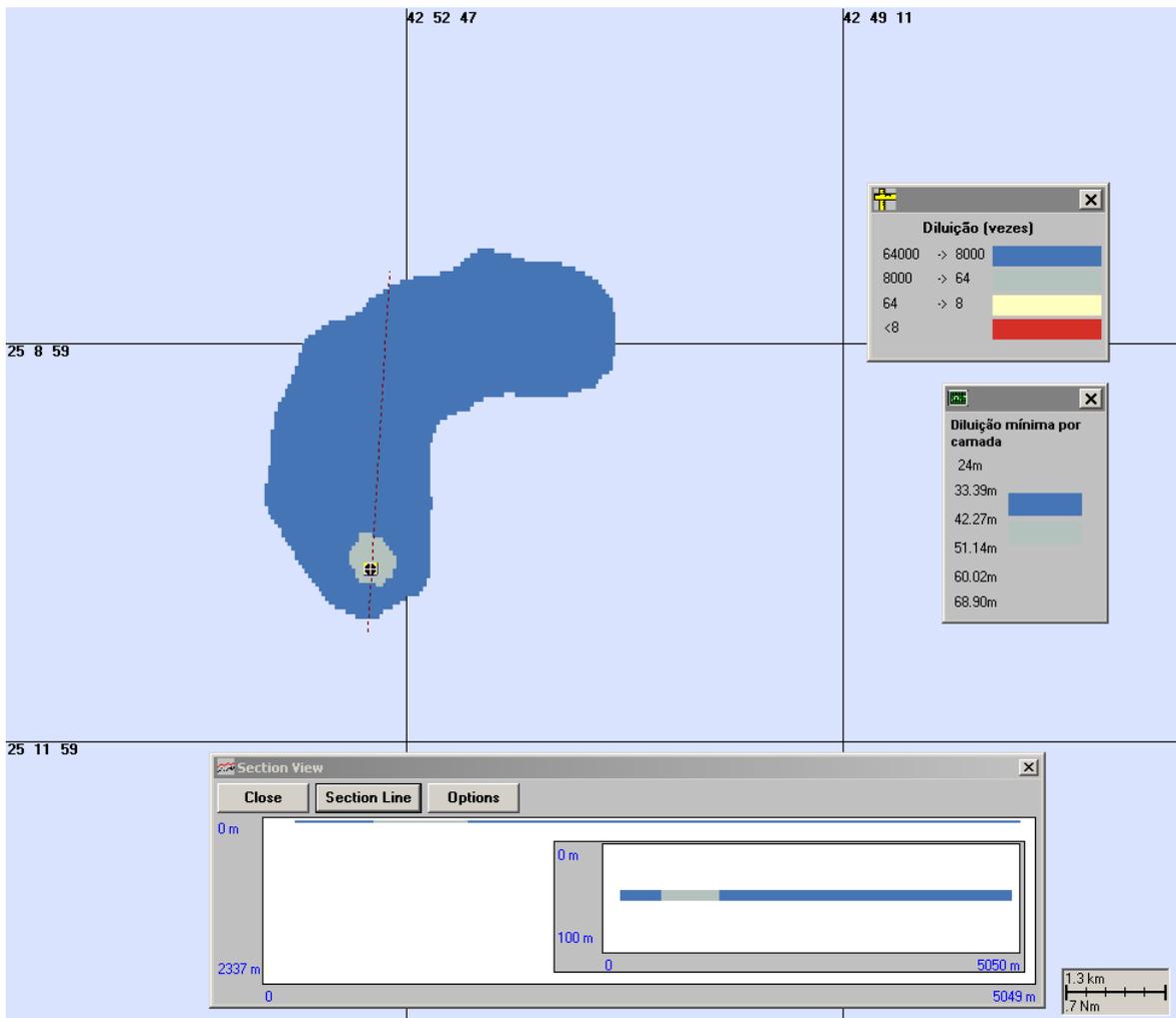
**Tabela V-14 - Diluições mínimas calculadas para as simulações determinísticas críticas do efluente da URS do DP de Iracema sem e com a adição do biocida a 100, 250 e 500 m do ponto de lançamento, nos períodos de verão e inverno.**

COMPONENTE	SITUAÇÃO CRÍTICA	DILUIÇÃO (vezes) A 100 m		DILUIÇÃO (vezes) A 250 m		DILUIÇÃO (vezes) A 500 m	
		VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO	VERÃO	INVERNO
Sem adição de biocida	Menor diluição	118	104	714	585	1.190	1.000
	Maior distância	86	70	625	510	1.042	926
Com adição de biocida	Menor diluição	109	110	893	833	1.667	1.515
	Maior distância	106	100	756	680	1.701	1.647

As figuras V-25 e V-26 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram as menores diluições nas proximidades do ponto de descarte para o efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

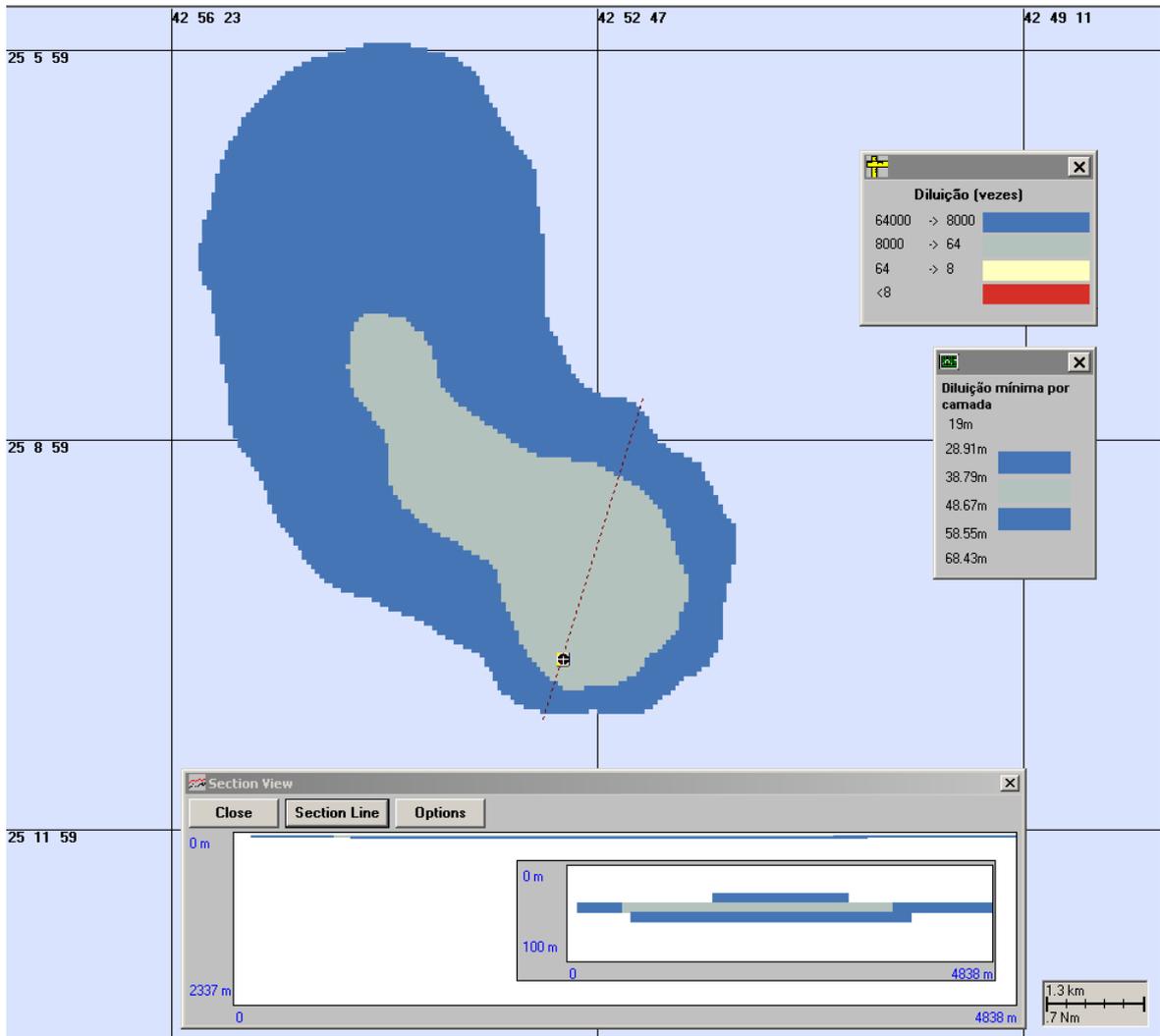


**Figura V-37** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, simulada no período de verão (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

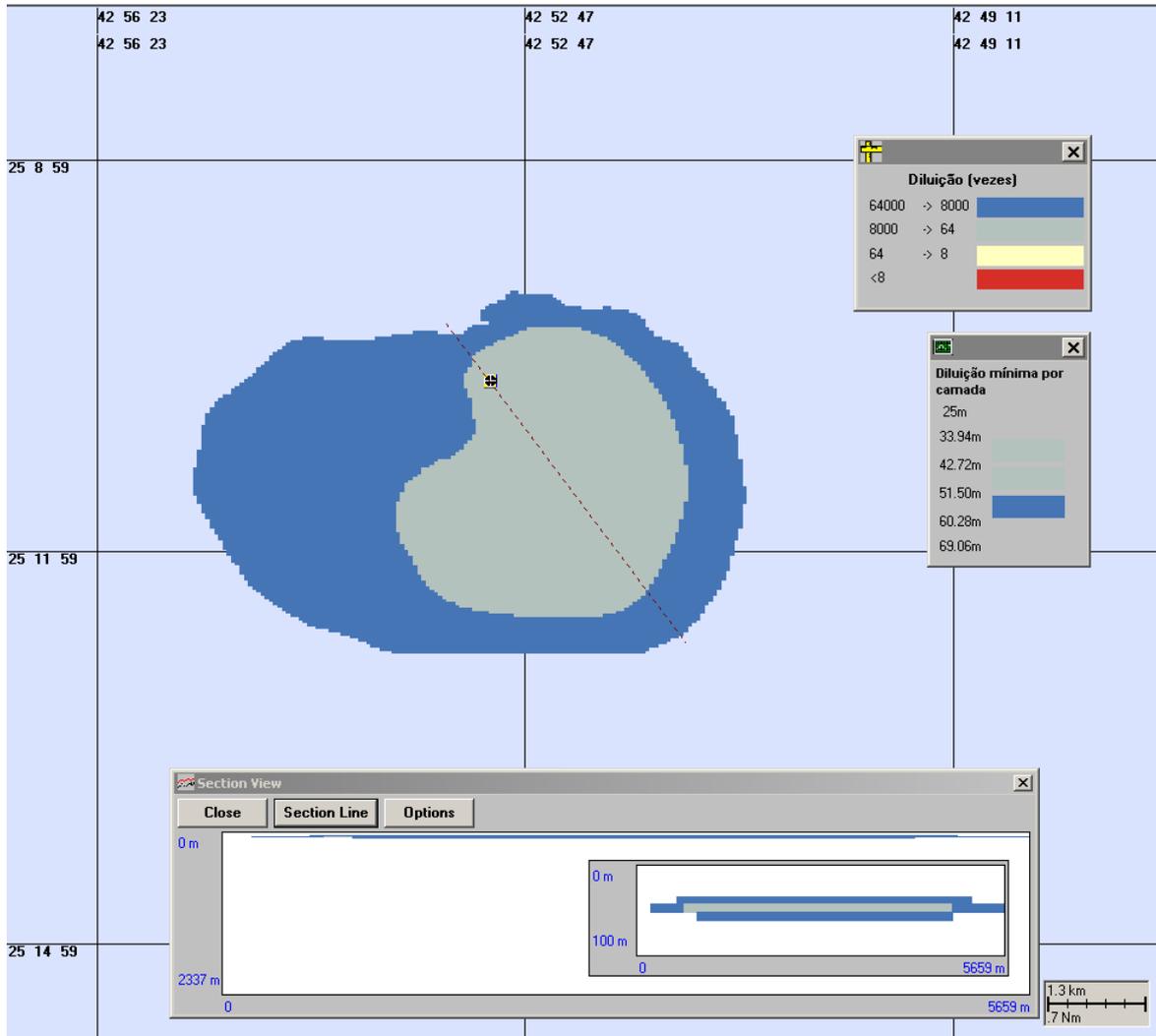


**Figura V-38** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, simulada no período de inverno (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 24 horas.

As figuras V-27 e V-28 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram a maior distância, após 24 horas, do ponto de lançamento para o efluente da URS sem a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

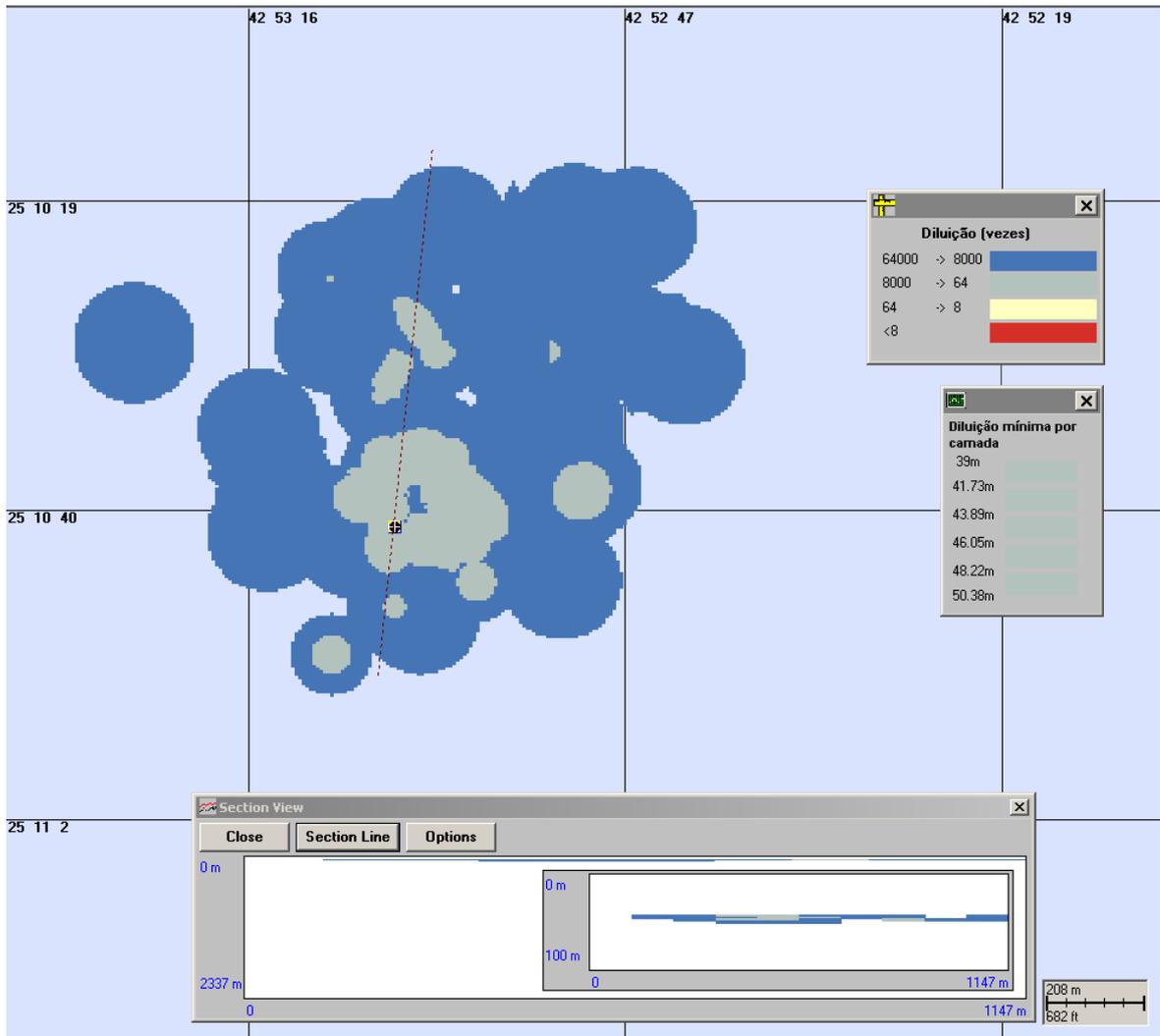


**Figura V-39** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adio de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.

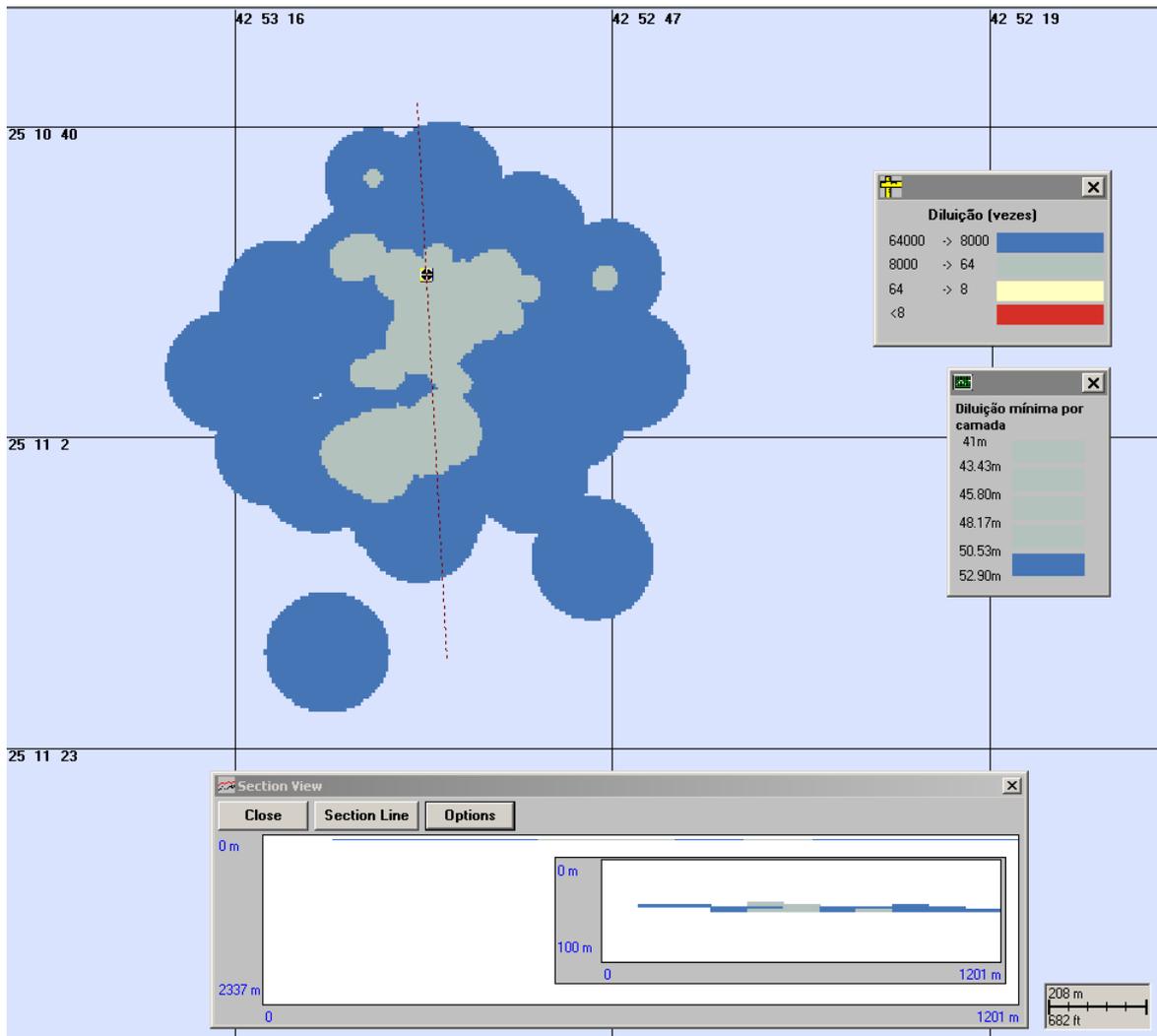


**Figura V-40** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema sem a adição de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 24 horas.

As figuras V-29 e V-30 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que apresentaram as menores diluições nas proximidades do ponto de descarte para o efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.

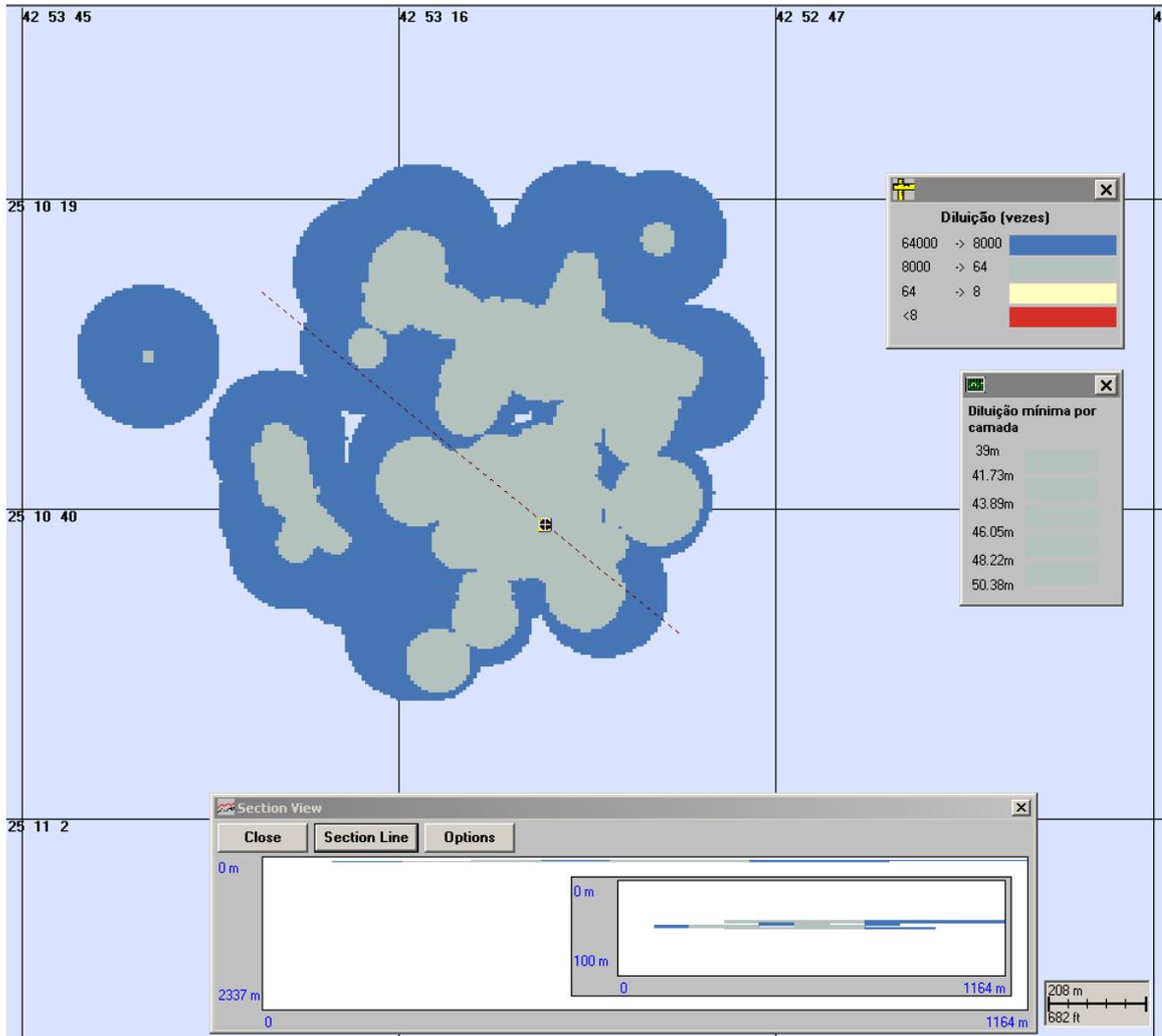


**Figura V-41** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adio de biocida, simulada no período de verão (menor diluio nas proximidades do ponto de descarte), apos 1 hora.

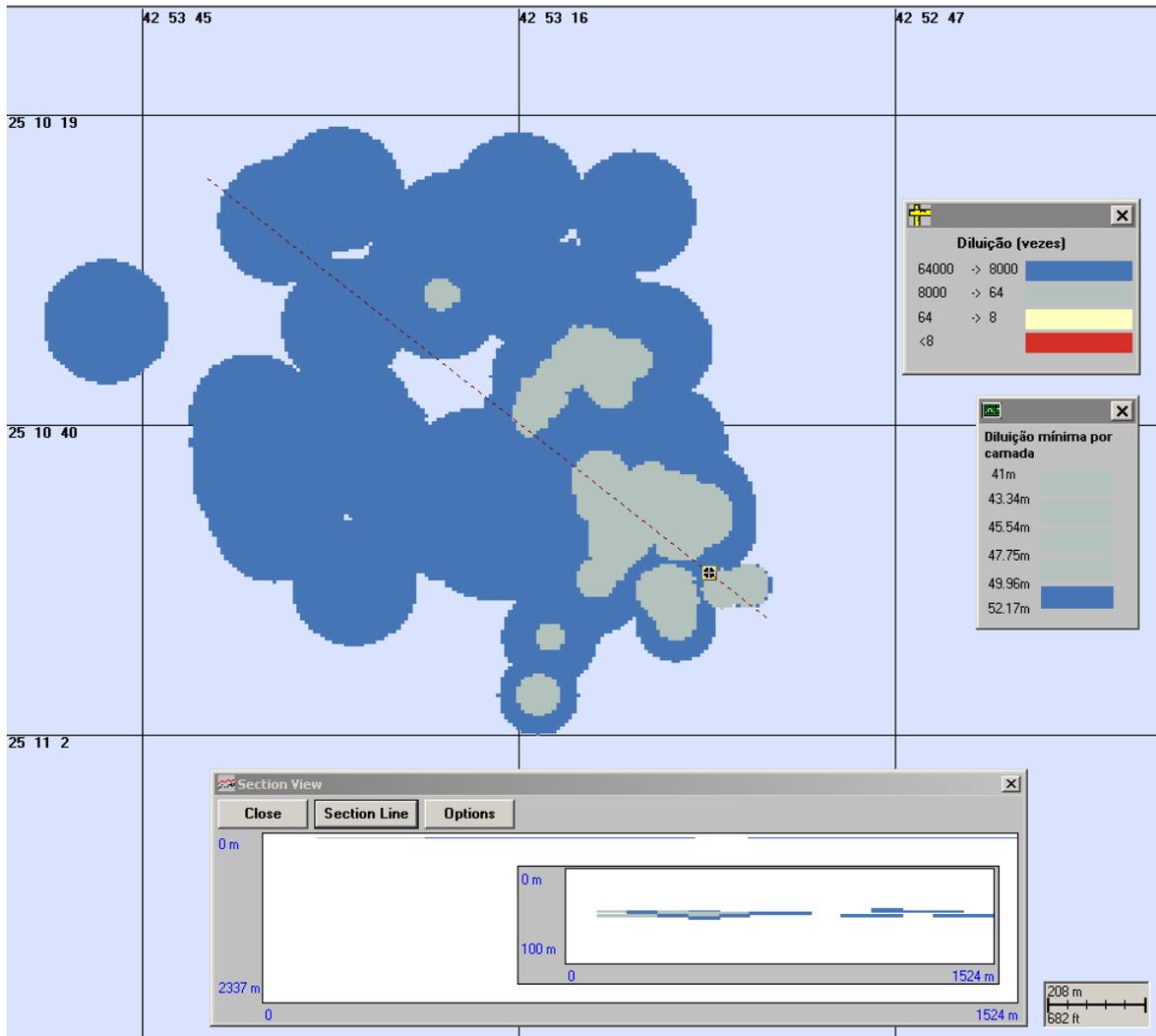


**Figura V-42** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, simulada no período de inverno (menor diluição nas proximidades do ponto de descarte), após 1 hora.

As figuras V-31 e V-32 apresentam os contornos de diluição das simulações determinísticas que atingiram a maior distância, ao final de uma hora, do ponto de lançamento para o efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, nos períodos de verão e inverno, respectivamente.



**Figura V-43** - Diluies calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adio de biocida, simulada no período de verão (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora.



**Figura V-44** - Diluições calculadas para a pluma de efluente da URS do DP de Iracema com a adição de biocida, simulada no período de inverno (maior distância a partir do ponto de descarte), após 1 hora.

## VI CONSIDERAES FINAIS

Neste relatório  apresentado o estudo realizado para a determinação da dispersão das plumas provenientes do descarte de água produzida e efluentes da unidade de remoção de sulfatos (URS) a partir dos Projetos Piloto de Guar e Desenvolvimento da Produ de Iracema, localizados na área do Pré-Sal, Bacia de Santos.

Para tanto, foram realizadas simulações de campo próximo e de campo afastado (simulações probabilísticas e determinísticas críticas). As simulações de campo próximo fornecem a diluição inicial do efluente, e servem como parâmetros de entrada para o modelo de campo afastado CHEMMAP. As simulações probabilísticas fornecem como resultado a área de influência do efluente, além dos valores médios de diluição da pluma a partir do ponto de descarte. Para as simulações determinísticas, foram considerados como mais críticos os cenários que atingiram as maiores distâncias a partir do ponto de descarte e os que apresentaram as maiores concentrações nas proximidades do ponto de descarte, nos períodos simulados.

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

Para o descarte da água produzida foram realizadas simulações com duração de 24 horas, utilizando a vazão de 18.000 m<sup>3</sup>/dia. Como critérios ambientais foram utilizadas as concentrações existentes na Resolução do CONAMA n 357/05, referentes ao Art. 18 para guas Salinas de Classe 1, correspondentes aos parâmetros considerados para água produzida, e a diluição correspondente  Concentração de Efeito Não Observado (CENO).

Para o descarte de efluente da URS foram realizadas simulações com duração de 24 horas para o efluente sem adição de biocida, e simulações de 1 hora (tempo de adição do biocida) para o efluente com biocida, utilizando a vazão de 6.000 m<sup>3</sup>/dia. Como critério ambiental considerou-se diluição correspondente  CENO.

Com o objetivo de dar suporte e orientar o desenvolvimento de futuros trabalhos de monitoramento ambiental na área do empreendimento, são apresentados neste relatório, os contornos de diluição das plumas provenientes do descarte de água produzida, até uma diluição de 10.000 vezes. Para o efluente da URS os resultados das simulações das plumas com diluições de até 1.000 vezes as diluições associadas à CENO mais conservativa (efluente com biocida).

Os resultados das simulações do descarte de água produzida mostraram que a diluição do campo próximo, de todos os casos simulados, é suficiente para que todos os parâmetros estejam enquadrados na legislação considerada (CONAMA 357/05); ou seja, em distância inferior a 67 m do ponto de descarte. Tendo como base o critério ambiental mais conservativo (CENO), o enquadramento do descarte de água produzida é alcançado em distância inferior a 100 m do ponto de lançamento. Os resultados para água produzida mostram, portanto, que o descarte deste tipo de efluente a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema estão enquadrados em todos os critérios ambientais considerados, em uma distância inferior ao estabelecido como a máxima distância permitida para a zona de mistura na Resolução do CONAMA de nº 393/07 (*i.e.* 500 m).

Os resultados das simulações para o descarte de efluente da URS, a partir do Piloto de Guará e DP de Iracema, mostraram que a diluição suficiente para o enquadramento no critério ambiental (CENO) é alcançada em distâncias inferiores a 40 m, ainda dentro dos domínios do campo próximo.

---

## VII BIBLIOGRAFIA

- ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, INC.). 2002. CHEMMAP Technical Manual, Narragansett, RI.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2007. Modelagem do Descarte de Água Produzida nas Bacias de Campos e Ceará. Relatório Técnico, Revisão 01 (16 de março de 2007). 199pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2008a. Modelagem da Dispersão de Efluente Líquido Industrial da Fosfertil Lançado no Rio Grande, Uberaba (MG). Relatório Técnico, Revisão 00 (24 de outubro de 2008). 114pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2008b. Modelagem do Descarte de Água Produzida a partir dos Emissários da UTPF de Guamaré (RN). Relatório Técnico, Revisão 01 (16 de janeiro de 2008). 87pp.
- ASA (Applied Science Associates South America), 2009. Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sul-Sudeste Brasileira, Área do Pré-Sal, Bacia de Santos. Relatório Técnico, Revisão 00 (junho de 2009). 90pp.
- BEAR, J. & A. VERRUIJT, 1987. Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases. **Kluwer Academic Publishers**.
- 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.

- CERC, 1984. Shore protection manual, Vol. I. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS, p. 115-134 apêndices.
- CSANADY, G.T., 1973. Turbulent diffusion in the environment. **D. Reidel Publishing Company**, Dordrecht, Holland, 74p.
- DELVIGNE, G.A.L. & SWEENEY, C.E. 1988. Natural dispersion of oil. **Oil & Chemical Pollution 4** (1988): p. 281-310.
- ELLIOTT, A.J. 1986. Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the North Sea. **Dt. Hydrog**: p.113-137.
- FAY, J.A. 1971. Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. In: **Proceedings at Joint Conference and Control of Oil Spills**, Washington, D.C., June 15-17.
- FRENCH, D., 2001. Chemical Spill Model (CHEMMAP) for Forecasts/Hindcasts and Environmental Risk Assessment. In: Proceedings of the 24th Arctic and Marine Oilspill (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 12-14, 2001, Environment Canada, pp.825-846.
- FRENCH, D., M. REED, K. JAYKO, S. FENG, H.M. RINES, S. PAVIGNANO, T. ISAJI, S. PUCKETT, A. KELLER, F.W. FRENCH III, D. GIFFORD, J. MCCUE, G. BROWN, E. MACDONALD, J. QUIRK, S. NATZKE, R. BISHOP, M. WELSH, M. PHILLIPS & B.S. INGRAM, 1996a. The CERCLA type A natural resource damage assessment model for coastal and marine environments (NRDAM/CME), Technical Documentation, Vol.I - V. Final Report, submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996, Contract No. 14-0001-91-C-11.

- FRENCH, D.P., H.M. RINES, T. OPISHINSKI & J. MCCUE, 1996b. Validation and Sensitivity Analysis: The CERCLA Type A Natural Resource Damage Assessment Models for Coastal and Marine Environments (NRDAM/CME) and for the Great Lakes Environments (NRDAM/GLE) Final Report, Submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996. Contract Nº. 14-01-0001-91-C-11.
- FRENCH, D., H. SCHUTTENBERG, & T. ISAJI, 1999. Probabilities of oil exceeding thresholds of concern: examples from an evaluation for Florida Power and Light. In: **Proceedings: AMOP 99 Technical Seminar**, June 2-4, 1999, Calgary, Alberta, Canada, pp. 243-270.
- FRENCH, D., N. WHITTIER, M. WARD, & C. SANTOS, 2002. Spill Hazard Evaluation for Chemicals Shipped in Bulk Using Modeling. In: **Proceedings, Sixth International Marine Environmental Seminar**, Trondheim, Norway, September 2-4, 2002.
- HINES, A.L. & R.N. MADDOX, 1985. Mass transfer fundamentals and application, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 542p.
- HOLTON, J.R., 1979. An Introduction to Dynamic Meteorology. **International Geophysics Series**, Vol 23, Academic Press NY.
- HOULT, D. P., 1972. Oil spreading on the sea. **Ann. Rev. Fluid Mech.**, p.341-368.
- 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.
- KAWAMURA, P. & D. MACKAY, 1987. The evaporation of volatile liquids. **J Hazardous Materials**, 15:343-364.

---

KOLLURU, V.S., 1992. Influence of Number of Spilllets on Spill Model Predictions. Applied Science Associates Internal Report, 1992.

LANGE, P. & H. HÜHNERFUSS, 1978. Drift response of mono-molecular slicks to wave and wind action. **Journal of Physical Oceanography**, v. 8, p. 142-150.

LEHR, W., 1996. Progress in Oil Spread Modeling, in Proceedings of the 19th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, pp. 889-894.

MACKAY, D. & R.S. MATSUGU, 1973. Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, Vol. 51, pp. 434-439.

MACKAY, D. & P.J. LEINONEN, 1977. Mathematical model of the behavior of oil spills on water with natural and chemical dispersion. Prepared for Fisheries and Environment Canada. Economic and Technical Review Report EPS-3-EC-77-19, 39p.

MACKAY, D., S. PATERSON & K. TRUDEL, 1980. A Mathematical Model Of Oil Spill Behavior. Department of Chemical and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada.

MACKAY, D., W.Y. SHIU, & K.C. MA, 1992. **Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals**, Vol. I-IV. Lewis Publ., Chelsea, Michigan.

OKUBO, A., 1971. Oceanic diffusion diagrams. **Deep Sea Research**, v. 8, p. 789-802.

THIBODEAUX, L.J. 1979. **Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water, and Soil**. John Wiley & Sons, NY 501p.

- THORPE S. A., 1984. On the determination of  $K_v$  in the near surface ocean from acoustic measurements of bubbles. **American Meteorological Society**, pp. 861-863.
- TURNER, D.B. 1970. Workbook of atmospheric dispersion estimates. Report PB-191 482. Research Triangle Park, North Carolina: Office of Air Programs, U.S. Environmental Protection Agency.
- YOUSSEF, M., 1993. The behavior of the near ocean surface under the combined action of waves and currents in shallow water. PhD Dissertation, Department of Ocean Engineering, University of Rhode Island, Narragansett, RI.
- YOUSSEF, M. & M.L. SPAULDING, 1993. Drift current under the action of wind waves. In: **Proceedings of the 16th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar**, Calgary, Alberta, Canada, p. 587-615.



## VIII EQUIPE TÉCNICA

### *Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.*

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

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

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	Applied Consultoria Ltda.
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pela(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

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

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

## **ANEXO A DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS CORMIX**

O CORMIX (*Cornell Mixing Zone Expert System*), da *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). 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.

O CORMIX é composto por três subsistemas:

- (a) CORMIX1, utilizado para a análise de descartes pontuais abaixo da superfície (*submerged single port discharges*);
- (b) CORMIX2, para a análise de múltiplos descartes pontuais abaixo da superfície (*submerged multiport diffuser discharges*); e
- (c) CORMIX3, para a análise de descartes superficiais (*buoyant surface discharges*) de efluentes cuja densidade seja menor do que a do corpo receptor.

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. No presente estudo foi utilizado o subsistema CORMIX2 da versão 4.1G do CORMIX.

### **A.1 BIBLIOGRAFIA**

- JIRKA, G.H.; R.L. DONEKER & S.W. HINTON, 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 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE MODELOS CHEMMAP**

O CHEMMAP, desenvolvido pela **ASA**, é um sistema de modelos que pode ser utilizado em Análises de Riscos, Planos de Contingência, Planos de Emergência com acompanhamento em tempo real, Relatório de Controle Ambiental (RCA), e Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) decorrentes de derrames acidentais de produtos químicos, do descarte de efluentes, e do descarte de água produzida associado às operações de óleo e gás (French, 2001; French *et al.*, 2002) em qualquer região do mundo.

### **B.1 DESCRIÇÃO DO MODELO CHEMMAP**

O CHEMMAP foi projetado em uma configuração modular na forma que diferentes tipos de modelos, bem como um conjunto de ferramentas sofisticadas de dados ambientais, possam ser acoplados dependendo do problema e situação em estudo. Através de sua interface gráfica, o CHEMMAP permite ao usuário a especificação dos cenários; animação das trajetórias, correntes e vento; importar e exportar dados ambientais; a definição da grade computacional para qualquer área dentro do domínio; gerar correntes médias ou de maré; incluir ou editar as características dos produtos químicos registrados no banco de dados; apresentar dados contidos em um SIG; e determinar o impacto ambiental em recursos naturais. As funções do SIG permitem ao usuário a entrada, manipulação e exibição de objetos na tela através de pontos, linhas e polígonos georreferenciados ao domínio definido pelo cenário. A cada objeto podem ser atribuídos dados em formato de texto, valores numéricos ou arquivos a partir de *links* externos.

O sistema CHEMMAP inclui os seguintes modelos: um modelo tridimensional de deriva e intemperismo, um modelo de impactos biológicos e um modelo probabilístico.

Para a elaboração de cenários de deriva deve ser definido um conjunto de duas grades computacionais, sobrepostas ao mapa digital da área de estudo. Uma das grades, compreendendo apenas a região de água, define o campo de circulação, podendo neste caso ser baseada em resultados de um modelo hidrodinâmico implementado na região de estudo. A outra grade pode ser uma grade *land-water* ou uma grade *habitat/depth*. A grade *land-water* define quais as células ou blocos correspondem à área de terra e quais à área de água, com a interface definida pela linha de costa. A linha de costa é representada por uma série de blocos que limita a extensão em que a mancha de químicos pode se movimentar em uma determinada direção, dependendo do tipo de costa (costões rochosos, praias, etc.). A grade *habitat/depth* alia a mesma funcionalidade da grade *land-water*, com informações de batimetria na área definida como água e os *habitats* correspondentes aos determinados tipos de costa (bancos de corais, manguezais, etc.).

O modelo de trajetória estima a distribuição do produto (massa e concentração) na superfície da água, em linhas de costa, na coluna d'água e nos sedimentos. O modelo tem estrutura tridimensional que simula, separadamente, a mancha superficial, as parcelas na coluna d'água, as parcelas do composto químico puro, as parcelas adsorvidas ao material particulado em suspensão e as parcelas dissolvidas (ASA, 2002).

Os processos biogeoquímicos simulados são: espalhamento, advecção, dispersão, evaporação-volatilização, entranhamento, dissolução, partição, deposição, adsorção e degradação.

O modelo utiliza propriedades físico-químicas para simular a trajetória e o destino da pluma de efluentes descartados em superfície ou na coluna d'água. As propriedades incluem densidade, pressão de vapor, solubilidade na água, taxa de degradação, coeficientes de partição adsorvido/dissolvido ( $K_{ow}$ ,  $K_{oc}$ ), viscosidade e tensão superficial. Essas propriedades e outras, requeridas pelo modelo para simular o transporte e destino do material descartado, estão contidas no banco de dados químicos do CHEMMAP. O banco de dados engloba uma variedade de informações na forma de texto e descritores numéricos com o qual o usuário pode identificar e caracterizar o produto químico ou a mistura. O modelo é capaz de

simular derrames de substâncias puras, produtos em soluções aquosas ou hidrofóbicas, ou substâncias em emulsões (*i.e.* mistura de material particulado em suspensão em base aquosa). Além disso, o banco de dados inclui características que definem as misturas e as soluções.

A massa do produto químico simulado é transportada pelo campo tridimensional de correntes determinado pelo modelo hidrodinâmico, considerando marés, vento, correntes oceânicas e o movimento vertical determinado pelo empuxo, assim como a dispersão.

O modelo também é capaz de simular a adsorção de produtos a partículas de sedimentos em suspensão, resultando na deposição de materiais, calculada a partir da Lei de Stokes. Partículas sedimentadas podem sofrer ressuspensão, uma vez que a velocidade no fundo ultrapasse o limite de erosão.

A pluma de efluentes é simulada segundo uma abordagem Lagrangiana, com uma série de partículas representando a massa total do composto químico de interesse. A cada passo de tempo, as partículas deslocam-se de acordo com o movimento do campo hidrodinâmico, sofrem reações biogeoquímicas e são transferidas para o próximo intervalo de tempo.

Para determinar a trajetória e o destino da mancha na superfície, no caso de manchas superficiais, o modelo estima o espalhamento superficial, o transporte da mancha (advectivo e difusivo), o entranhamento na coluna d'água e a evaporação.

O espalhamento é simulado utilizando-se o algoritmo de Fay (1971) e o entranhamento é modelado segundo Delvigne & Sweeney (1988). As manchas superficiais interagem com a linha de costa, depositando material de acordo com o tipo de costa e a viscosidade do material. Os algoritmos utilizados são aqueles desenvolvidos para derrames de óleo, como descrito em French *et al.* (1999).

Utilizando-se o CHEMMAP no modo probabilístico é possível considerar a variabilidade das forçantes ambientais. As simulações de comportamento da pluma são realizadas através de variadas condições meteorológicas e oceanográficas dentro do período de disposição de dados ambientais. Tanto os ventos quanto as correntes, ou ambos, podem variar estocasticamente.

No modo probabilístico, várias simulações são realizadas para cada cenário de descarte. Usando séries de dados de ventos e correntes para uma locação, o modelo seleciona aleatoriamente a data do descarte e as condições ambientais associadas. Como critério de parada das simulações, o modelo permite selecionar um limite (e.g. CENO, limite legal) acima do qual as probabilidades e concentrações esperadas sejam registradas. Cinco tipos de resultados são produzidos para cada parcela do químico ou mistura que se encontra na superfície da água, em linhas de costa, na coluna d'água e ou nos sedimentos, os quais podem ser apresentados em mapas de contorno:

- probabilidade de qualquer quantidade exceder o limite de concentração;
- tempo decorrido para que seja excedido o limite de concentração;
- média das máximas concentrações (ou massa) esperadas;
- pior caso (máxima concentração/massa) que pode ocorrer (e.g. pico de exposição no tempo e máximo de todas as simulações sob todas as condições ambientais simuladas);
- data e hora inicial da simulação para reproduzir o pior caso de um determinado elemento e ou local.

### **B.1.1 Formulação do Modelo**

A massa do produto químico simulado é transportada pelo campo tridimensional de correntes determinado pelo modelo hidrodinâmico, considerando marés, vento, correntes oceânicas e o movimento vertical determinado pelo empuxo e dispersão. No CHEMMAP, a pluma do produto químico é considerada como um conjunto de partículas lagrangianas contendo, cada uma delas, massa conhecida. O vetor posição ( $X_t$ ) de uma dada partícula, num determinado instante de tempo  $t$ , é definido como:

$$X_t = X_{t-1} + \Delta t(U_t + D_t + R_t) \quad (\text{C.1.1-1})$$

onde

$\Delta t$  = passo de tempo (s);

$X_{t-1}$  = vetor posição no passo de tempo anterior;

- $U_t$  = soma das componentes da velocidade advectiva nas três dimensões no instante  $t$  (m/s);
- $D_t$  = soma das componentes da velocidade difusiva nas três dimensões no instante  $t$  (m/s);
- $R_t$  = velocidade vertical das partículas na coluna d'água (m/s).

As velocidades difusivas são movimentos de subescala que não são explicitamente simulados pelo transporte da corrente ou pelo empuxo. A magnitude das componentes de  $D_t$  são proporcionais aos coeficientes de dispersão vertical e horizontal (Okubo, 1971) através da formulação *random walk* (Bear & Verruijt, 1987). Valores tpicos de coeficientes de dispersão horizontal encontram-se dentro da faixa de 0,1 m<sup>2</sup>/s, em águas estuarinas, a valores maiores ou iguais a 10 m<sup>2</sup>/s em regiões oceânicas. O coeficiente de dispersão vertical, baseado em Thorpe (1984),  considerado em função da velocidade do vento na camada de mistura de onda, aproximadamente, 1,5 vezes a altura da onda. Esta, por sua vez,  calculada através do algoritmo de CERC (1984). Em guas profundas, valores tpicos para o coeficiente de dispersão vertical são da ordem de 0,0001 m<sup>2</sup>/s, ou ainda menores.

O termo responsável pelo empuxo ( $R_t$ ), tanto positivo quanto negativo,  causado pela diferença relativa da densidade (e da força gravitacional) entre as partículas (sólidas, líquidas ou bolhas de gás) e a água adjacente. Este termo  calculado através da Lei de Stokes, na qual a velocidade de subida ou de afundamento aumenta em função da diferença de densidade entre a partícula e a água, e em proporção ao quadrado do diâmetro da partícula. Desta forma, para uma pluma flutuante, quanto menos denso o químico e quanto menor a partícula, mais rápido a pluma se aproxima da superfície. Em contrapartida, quanto mais denso o químico e quanto maior a partícula, mais rápido a pluma afundará.

O modelo simula ainda a adsorção de produtos a partículas de sedimentos em suspensão, resultando na deposição de materiais. Neste caso, a Lei de Stokes  utilizada para calcular as velocidades verticais das partículas do químico puro, ou partículas de sedimento em suspensão adsorvidas aos químicos. Se a velocidade de subida ou de afundamento supera a mistura turbulenta, as

partículas irão flutuar ou se depositar no fundo. Partículas depositadas podem ser ressuspendidas, caso a velocidade da corrente supere 0,2 m/s.

Se as correntes de superfície, fornecidas pelo modelo hidrodinâmico (ou dados observacionais), não são forçadas pelo vento, então a velocidade de deriva devida ao vento,  $u_{wc}$  e  $v_{wc}$  (m/s) (componentes zonal e meridional) são, respectivamente:

$$u_{wc} = C_w u_w \quad (\text{C.1.1-2})$$

$$v_{wc} = C_w v_w \quad (\text{C.1.1-3})$$

onde

$u_w$  = componente zonal (Leste-Oeste) da velocidade do vento (m/s);

$v_w$  = componente meridional (Norte-Sul) da velocidade do vento (m/s);

$C_w$  = fator de deriva (%).

O fator de deriva,  $C_w$ , é constante (Lange & Hühnerfuss, 1978), podendo variar entre 2,5 e 4,5%, baseado em observações. O valor *default* no modelo é 3,5%.

O ângulo de deriva é no sentido anti-horário da direção do vento (Hemisfério Sul). Assim, a velocidade de deriva devida ao vento,  $u_{wd}$  e  $v_{wd}$  (m/s), componentes Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente, são:

$$u_{wd} = u_{wc} \cos \theta + v_{wc} \sin \theta \quad (\text{C.1.1-4})$$

$$v_{wd} = -u_{wc} \sin \theta + v_{wc} \cos \theta \quad (\text{C.1.1-5})$$

onde

$u_{wc}$  = componente Leste-Oeste da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

$v_{wc}$  = componente Norte-Sul da velocidade devida à deriva do vento (m/s);

$\theta$  = ângulo de deriva ( $^\circ$ ) constante ( $\theta = C_a$ ). O valor *default* é zero.

De maneira alternativa, um algoritmo desenvolvido por Youssef (1993) e Youssef & Spaulding (1993) é utilizado no transporte induzido pelo vento na camada de mistura de onda de regiões oceânicas. Seus resultados mostram que o fator de deriva devido ao vento na superfície da água,  $C_{wo}$ , está relacionado à velocidade do vento ( $w$ ):

$$C_{wo} = 3,9088 - 0,031885w \quad (\text{C.1.1-6})$$

A deriva do vento varia entre 3% e 4% a velocidade do vento, respectivamente, para ventos com velocidade de 30 m/s a ventos fracos. De forma similar, o ângulo de deriva na superfície da água,  $C_{ao}$ , está relacionado à velocidade do vento ( $w$ ):

$$C_{ao} = 23,627 - 7,97 \log(w) \quad (\text{C.1.1-7})$$

Com o aumento da profundidade, o fator de deriva do vento diminui, enquanto o ângulo de deriva aumenta (Youssef, 1993; Youssef & Spaulding, 1993). Dessa forma, há um cisalhamento entre as águas superficiais e subsuperficiais, que faz com que as partículas se distanciem e se separem da pluma superficial. Essas funções se baseiam em formulações empíricas ajustadas aos resultados de seus modelos:

$$C_{wz} = \exp(k_{w1}w + 0,7768) \quad (\text{C.1.1-8})$$

$$k_{w1} = 1/[24,289/w - 5,26] \quad (\text{C.1.1-9})$$

$$C_{az} = k_{w2} \log_{10}(w) + k_{w3} \quad (\text{C.1.1-10})$$

$$k_{w2} = -27,28w^{-1/2} - 6,5 \quad (\text{C.1.1-11})$$

$$k_{w3} = 49,545w^{-1/2} + 23,9 \quad (\text{C.1.1-12})$$

onde

$C_{wz}$  = fator de deriva do vento;

$C_{az}$  = ângulo de deriva do vento na profundidade  $z$  ;

$k_{w1}, k_{w2}, k_{w3}$  = constantes.

Para calcular o destino e a trajetória de uma pluma superficial de um produto flutuante, o modelo leva em consideração o transporte da pluma, o espalhamento superficial, o entranhamento na coluna d'água e a evaporação.

O espalhamento ocorre devido à dois processos, modelados separadamente por algoritmos previamente desenvolvidos para manchas de óleo: (1) o balanço entre as forças gravitacional, inércia, viscosidade e tensão superficial, que aumenta a real extensão de cada partícula (espalhamento gravitacional); e (2) espalhamento e cisalhamento da corrente, que afastam as partículas umas das outras (Elliott, 1986; Lehr, 1996). Um conjunto teórico de equações para o espalhamento gravitacional foi desenvolvido quase que simultaneamente por Fay (1971) e por Hoult (1972), com uma abordagem similar. Mackay *et al.* (1980) modificaram o modelo de Fay-Hoult através da formulação de mancha espesso-fina, através de uma formulação empírica baseada no comportamento de espalhamento terminal (Fay, 1971). Estas assumem que a mancha espessa contém entre 80 a 90% da massa total associada à mancha.

No modelo CHEMMAP, as partículas na superfície da água aumentam de diâmetro de acordo com o algoritmo empírico desenvolvido por Mackay *et al.* (1980). A taxa de mudança da área superficial, para o espalhamento da mancha espessa, em m<sup>2</sup>/s, é definida por:

$$\frac{dA}{dt} = K_1 A^{1/3} \left( \frac{V}{A} \right)^{4/3} \quad (\text{C.1.1-13})$$

onde

- $A$  = área superficial da mancha (m<sup>2</sup>);
- $K_1$  = taxa de espalhamento constante (s<sup>-1</sup>);
- $V$  = volume da superfície da mancha (m<sup>3</sup>);
- $t$  = tempo (s).

A análise de sensibilidade deste algoritmo demonstrou que a solução é sensível ao número de partículas utilizadas. Com o objetivo de minimizar esta dependência, Kolluru (1992) derivou uma formulação, normalizando a solução para diferentes números de partículas superficiais.

A taxa de mudança da área superficial de uma única partícula,  $\vec{A}_{tk}$  ( $m^2/s$ ),  dada por:

$$\frac{dA_{th}}{dt} = K_1 A_{th}^{1/3} \left( \frac{V_s}{A_{th}} \right)^{4/3} \left( \frac{R_s}{R_e} \right)^{4/3} \quad (C.1.1-14)$$

onde

$A_{th}$  = área superficial de uma partícula ( $m^2$ );

$K_1$  = taxa de espalhamento constante ( $s^{-1}$ );

$V_s$  = volume de óleo de uma partícula ( $m^3$ );

$R_s$  = raio de uma partícula (m);

$R_e$  = raio efetivo da superfície da mancha (m).

O raio efetivo da mancha superficial,  $R_e$  (m), (Kolluru, op. cit.)  dado por:

$$R_e = \left[ \left( \frac{1}{\pi} \right) \sum_{n=1}^N A_{tk} \right]^{1/2} \quad (C.1.1-15)$$

onde

$N$  = número de partículas usadas para representar a mancha superficial.

No CHEMMAP, as partículas movem-se individualmente e podem tanto se separar, quanto convergir, dependendo das correntes superfciais. O algoritmo de transporte inclui, ainda, um termo de difusão turbulenta aleatória, cuja função  separar as partículas e induzir o espalhamento.

Adicionalmente, se o produto flutuando na superfície entranha na coluna d'água, ele se dispersar verticalmente para baixo, em uma gua que se move a uma velocidade mais lenta devido a resposta das forçantes meteorológicas. Caso estas partículas entranhadas voltem a superfície, elas estarão numa posição posterior  pluma da superfície, o que faz com que a pluma seja mais alongada na direção do vento.

Os processos de entranhamento são modelados utilizando-se a formulação de Delvigne & Sweeney (1988) que, explicitamente, representa índices de injeção

de óleo para dentro da coluna d'água por gotículas de óleo. O tamanho da partícula entranhada diminui com altos níveis de energia turbulenta e baixa viscosidade.

Plumas superficiais interagem com a linha de costa, dependendo das características e do tipo do material simulado e linha de costa. Os algoritmos utilizados para estes cálculos são os mesmos desenvolvidos para modelagens de óleo, em especial os desenvolvidos por French *et al.* (1999).

A dissolução de substâncias puras e de químicos de uma mancha de um solvente hidrofóbico ou de gotículas em suspensão (*i.e.* para formulações nas quais o produto está dissolvido em, ou está adsorvido à um solvente hidrofóbico) é tratada como o fluxo de massa através da área superficial da pluma ou gotícula (French *et al.* 1996a,b, 1999). O modelo desenvolvido por Mackay & Leinonem (1977) é utilizado para a dissolução da pluma superficial. A pluma (partículas) é considerada como uma placa circular e achatada, com o fluxo de massa relacionado à solubilidade e à temperatura (Hines & Maddox, 1985). Este assume uma camada não estratificada, com a maior resistência à transferência de massa a uma região estagnada hipotética (camada de água) próxima à pluma. Para gotículas em subsuperfície, a dissolução é considerada como um fluxo de massa através da área superficial da gotícula (tratada como uma esfera), num algoritmo análogo ao de Mackay & Leinonem (1977).

A taxa de dissolução de um químico puro ou solvente,  $\dot{N}_{i,d}$  (mols/s), é definida por:

$$\dot{N}_{i,d} = d \frac{N_{i,d}}{dt} = K_d (x_i C_i^s - C_i^w) A \quad (\text{C.1.1-16})$$

onde

$i$  =  $i$ -ésima componente;

$A$  = área superficial da pluma ou partícula ( $\text{cm}^2$ );

$K_d$  = coeficiente de transferência de dissolução da massa ( $\text{cm/s}$ );

$x_i$  = fração molar da fase solvente do componente (1,0 para químicos puros);

$C_i^s$  = solubilidade do produto puro da componente  $i$  ( $\text{mols/cm}^3$ );

$C_i^w$  = concentra do componente  $i$  na fase aquosa (mols/cm<sup>3</sup>).

Para químicos dissolvidos em solventes hidrofóbicos, a solubilidade do componente puro ( $C_i^s$ )  definida por:

$$C_i^s = \frac{C_i^o}{P_i} \quad (\text{C.1.1-17})$$

onde

$P_i$  = coeficiente de particionamento solvente-água para a componente  $i$ ;

$C_i^o$  = concentra da componente na fase solvente.

O coeficiente de transferência de massa para uma pluma superficial pode ser considerado similar  transferência de massa em uma placa achatada (Hines & Maddox, op. cit.). O coeficiente de transferência de dissolu da massa,  $K_{d_s}$  (m/s), :

$$K_{d_s} = \frac{ShD_{AB}}{L} \quad (\text{C.1.1-18})$$

onde

$Sh$  = número de Sherwood médio;

$L$  = diâmetro da pluma superficial (m);

$D_{AB}$  = coeficiente de difus a 25 C (m<sup>2</sup>/s).

Para o cáculo de  $D_{AB}$ , utiliza-se o método de Hayduk & Laudie (Lyman *et al.*, 1982 *apud* Hines & Maddox, 1985).

$$D_{AB} = \left[ \frac{RT}{(\mu_w^{1,14}) (V_B^{0,589})} \right] \quad (\text{C.1.1-19})$$

onde

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/mol-K);

$T$  = temperatura (K);

$\mu_w$  = viscosidade da água a 25 °C (cP);

$V'_B$  = volume molar de Le Bas (cm<sup>3</sup>/mols).

A viscosidade da água varia com a temperatura e com a seguinte equação, ajustada à dados empíricos:

$$\mu_w = \exp \left[ -24,71 + \left( \frac{4,209}{T} \right) + 0,04527T - 0,00003376T^2 \right] \quad (\text{C.1.1-20})$$

O volume molar de Le Bas de químicos orgânicos e inorgânicos representativos, foram obtidos através da regressão do peso molecular, a seguir:

$$\text{Inorgânicos: } V'_B = 2,8047(MW^{0,651}) \quad (\text{C.1.1-21})$$

$$\text{Orgânicos: } V'_B = 4,9807(MW^{0,6963}) \quad (\text{C.1.1-22})$$

onde

$MW$  = peso molecular (g/mol).

Os volumes molares para os químicos orgânicos e inorgânicos foram obtidos em Mackay *et al.* (1992).

O número de Sherwood médio é obtido através da equação:

$$Sh = 0,578Sc^{1/3} Re_L^{1/2} \quad (\text{C.1.1-23})$$

onde

$Sc$  = número do Schmidt;

$Re_L$  = número de Reynolds.

O número de Schmidt é definido por:

$$Sc = \frac{\gamma}{D_{AB}} \quad (\text{C.1.1-24})$$

$$\gamma = 10^{-6} \frac{\mu_w}{\rho_w} \quad (\text{C.1.1-25})$$

onde

$\gamma$  = viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/s);

$\rho_w$  = densidade da água (g/cm<sup>3</sup>).

O número de Reynolds é definido por:

$$Re_L = \frac{U_w L}{\gamma} \quad (\text{C.1.1-26})$$

onde

$U_w$  = velocidade do vento (m/s);

O coeficiente de transferência de massa para gotículas de subsuperfície é similar à transferência de massa para gotículas esféricas (Hines & Maddox, op. cit.). O coeficiente de transferência de dissolução da massa,  $K_{d_{ss}}$  (m/s), é definido por:

$$K_{d_{ss}} = \frac{Sh D_{AB}}{d} \quad (\text{C.1.1-27})$$

onde

$Sh$  = número de Sherwood médio;

$d$  = diâmetro da gotícula (m);

$D_{AB}$  = coeficiente de difusão a 25 °C (m<sup>2</sup>/s).

O número de Sherwood médio, para este caso, é definido como:

$$Sh = 2 + 0,552 Re_d^{0,5} Sc^{1/3} \quad (C.1.1-28)$$

onde

$Sc$  = número do Schmidt;

$Re_d$  = número de Reynolds baseado no diâmetro da gotícula.

Com o número de Reynolds,  $Re_d$ , definido por:

$$Re_d = \frac{Wd}{\gamma} \quad (C.1.1-29)$$

onde

$W$  = velocidade resultante atuando na gotícula (m/s);

Uma vez que a dissolução ocorreu, o químico na coluna d'água é tratado como parcialmente dissolvido e parcialmente adsorvido à partículas de sedimento em suspensão. Assume-se, então, um particionamento de proporções constantes entre estas frações (baseado na teoria de equilíbrio linear, utilizando-se o  $K_{oc}$  do químico em questão). Sólidos descartados na forma particulada se dissolvem e são, então, particionados entre as formas dissolvida e particulada na coluna d'água, através do equilíbrio de particionamento.

A razão entre as concentrações adsorvidas,  $C_a$ , e dissolvidas,  $C_{dis}$ , é calculada através da teoria padrão equilíbrio de particionamento, a seguir:

$$\frac{C_a}{C_{dis}} = K_{oc} C_{ss} \quad (C.1.1-30)$$

onde

$K_{oc}$  = coeficiente de partição entre o carbono orgânico e a água (adimensional);

$C_{ss}$  = concentração de materiais particulados em suspensão na coluna d'água, expresso como a massa do particulado pelo volume da água.

A massa total da fração adsorvida,  $C_a / (C_a + C_{dis})$ , afunda através da coluna d'água, a uma taxa de deposição  $V_s$ . Assume-se que o químico se adsorve a partículas de silte de 50  $\mu\text{m}$  e densidade de 1,0512  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Através da Lei de Stokes, a taxa de deposição (velocidade vertical)  de aproximadamente 3 m/dia na água do mar (densidade de 1,024  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) e águas calmas.

Assume-se que a deposição não ocorra em águas nas quais as ondas são influenciadas pelo fundo (*i.e.* ondas de águas rasas ou transicionais, ao contrário ondas de águas profundas).

A altura e o período das ondas são calculados com base em CERC (1984). O comprimento de onda  calculado através do período e da profundidade. As ondas passam de águas profundas  transicionais e, posteriormente,  ondas de águas rasas, quando a profundidade for menor que a metade do comprimento da onda (CERC, *op.cit.*).

A evaporação  calculada de acordo com a Lei de Raoult. A taxa de evaporação por unidade de rea,  $E$  ( $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ ), de um químico flutuando na superfície (Mackay & Matsugu, 1973),  definida por:

$$E = \frac{K_e MW P_{vp}}{RT} \quad (\text{C.1.1-31})$$

onde

$K_e$  = coeficiente de transferência de massa por evaporação ( $\text{m}/\text{h}$ );

$MW$  = peso molecular ( $\text{g}/\text{mol}$ );

$P_{vp}$  = pressão de vapor ( $\text{atm}$ );

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5} \text{ atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}\cdot\text{K}$ );

$T$  = temperatura ( $\text{K}$ ).

A temperatura  considerada a mesma definida para a superfície da gua. O coeficiente de transferência de massa por evaporação,  $K_e$  ( $\text{m}/\text{h}$ ),  definido por (Mackay & Matsugu, 1973):

$$K_e = 0,0292U^{0,78} L^{-0,11} S C_a^{-0,67} \quad (\text{C.1.1-32})$$

onde

$U$  = velocidade do vento a 10 m de altura (m/h);

$L$  = diâmetro da pluma ou partícula flutuante (m);

$Sc_a$  = número do Schmidt para o químico no ar.

O número de Schmidt para o químico no ar é obtido através da divisão da viscosidade cinemática do ar ( $0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$ ) pela difusividade do químico no ar,  $D_{ar}$ , baseado em Thibodeaux (1979):

$$D_{ar} = D_{ref} SQRT\left(\frac{MW_{ref}}{MW}\right) \quad (\text{C.1.1-33})$$

onde

$D_{ref}$  = difusividade no ar de um químico de referência ( $\text{cm}^2/\text{s}$ );

$MW_{ref}$  = peso molecular de um químico de referência (g/mol).

Os químicos de referência são: o cumene para  $MW > 100 \text{ g/mol}$  ( $D_{ar} = 0,0556$  e  $MW_{ref} = 120$ ; Mackay & Matsugu, 1973) e o pentano para  $MW \leq 100 \text{ g/mol}$  ( $D_{ar} = 0,071$  e  $MW_{ref} = 72,15$ ; Kawamura & Mackay, 1987).

A volatilização de químicos dissolvidos para a atmosfera é função da pressão de vapor e da solubilidade. O CHEMMAP utiliza o procedimento esquematizado por Lyman *et al.* (1982 *apud* Hines & Maddox, 1985), baseado em na Lei de Henry e no fluxo de massa. A profundidade de volatilização para as substâncias dissolvidas é limitada a camada de mistura superior, estimada a partir da profundidade de difusão ou como metade da altura da onda, estimada a partir da velocidade do vento (CERC, 1984).

A Lei de Henry utiliza a constante da Lei de Henry. Caso esta não tenha sido especificada, ela é calculada através do vapor de pressão do químico (que por sua vez está fortemente relacionado com a temperatura), solubilidade e peso molecular (Lyman *et al.* 1982 *apud* Hines & Maddox, 1985), dado por:

1) Cculo da constante da Lei de Henry ( $H$ ):

$$H = \frac{P_{vp}}{(S / MW)} \quad (\text{C.1.1-34})$$

onde

$P_{vp}$  = press de vapor (atm);

$S$  = solubilidade (mg/L);

$MW$  = peso molecular (g/mol).

2) Para  $H < 3 \times 10^{-7}$ , a volatiliza pode ser desprezada.

3) Para  $H > 3 \times 10^{-7}$ , calcula-se a constante adimensional da Lei de Henry ( $H'$ ):

$$H' = \frac{H}{RT} \quad (\text{C.1.1-35})$$

onde

$R$  = constante universal dos gases ( $8,206 \times 10^{-5}$  atm-m<sup>3</sup>/mol-K);

$T$  = temperatura (K).

4) Cculo do coeficiente de mudan da fase líquida ( $K_5$ , cm/h):

$$K_5 = 20 \sqrt{\frac{44}{MW}} \quad (\text{C.1.1-36})$$

5) Cculo do coeficiente de mudan da fase gasosa ( $K_6$ , cm/h):

$$K_6 = 3.000 \sqrt{\frac{18}{MW}} \quad (\text{C.1.1-37})$$

6) Cculo do coeficiente de transfer de massa total ( $K_7$ , cm/h):

$$K_7 = \frac{(H' K_5 K_6)}{(H' K_6 + K_5)} \quad (\text{C.1.1-38})$$

A taxa de transferência de massa da coluna d'água para a atmosfera passa a ser, então:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{K_7 m}{d} \quad (\text{C.1.1-39})$$

na qual  $m$  é a massa do poluente, considerada igualmente distribuída na profundidade  $d$ . A profundidade de volatilização para substâncias dissolvidas é limitada, no máximo, a metade da altura da onda, ou a profundidade de difusão  $d$ :

$$d = \sqrt{2D_z \Delta t} \quad (\text{C.1.1-40})$$

onde

$D_z$  = difusividade vertical ( $\text{m}^2/\text{s}$ );

$\Delta t$  = passo de tempo do modelo (s).

Um modelo de dispersão atmosférica é incorporado ao CHEMMAP com a função de estimar as concentrações das substâncias simuladas no ar, até uma camada de 2 m de altura (*i.e.* até aproximadamente a altura que uma pessoa possa ser exposta à estas). O fluxo de massa para a atmosfera é rastreado através de uma abordagem lagrangiana, análoga ao transporte na água. A substância é transportada no ar pelo vento, e sofre degradação de acordo com as taxas especificadas.

A massa se dispersa horizontalmente devido à turbulência, através de uma taxa constante especificada (coeficiente de dispersão horizontal), ou através do algoritmo de Gifford, descrito em Csanady (1973). O coeficiente de dispersão horizontal calculado pelo modelo é função da velocidade do vento e da estabilidade do ar, definida como moderadamente estável, ligeiramente estável, neutra, ligeiramente instável e moderadamente instável, baseadas em Turner (1970).

A massa também é dispersada para cima pela turbulência, que é dependente da velocidade do vento. A aproximação básica utiliza a teoria da camada

planetária e a teoria de comprimento de mistura (descrito em vários livros de dinâmica dos fluidos, e.g. Holton, 1979). Nesta teoria, a variação vertical da velocidade e atrito é definida por uma lei logarítmica. Esta fornece a seguinte relação:

$$Dz = L^2 \frac{du}{dz} \quad (\text{C.1.1-41})$$

onde

$Dz$  = taxa de mistura vertical;

$L$  = comprimento de mistura;

$\frac{du}{dz}$  = cisalhamento da velocidade vertical.

Esta pode ser aproximada como:

$$Dz = zU^* \quad (\text{C.1.1-42})$$

$$U^* = \sqrt{\frac{bs}{\rho_{ar}}} \quad (\text{C.1.1-43})$$

onde

$bs$  = tensão do fundo;

$\rho_{ar}$  = densidade do ar ( $\text{g/cm}^3$ ).

Em resumo:

$$Dz = zW_v(Cd)^{1/2} \quad (\text{C.1.1-44})$$

onde

$W_v$  = velocidade do vento a 10 m (m/h);

$Cd$  = atrito do fundo ( $\sim 0,0013$ ).

Esta fornece o coeficiente de difusão turbulenta, calculado a partir da velocidade do vento, e que permite a resolução do termo de difusão:

$$D_z * d(dC / dz) / dz \quad (C.1.1-45)$$

onde

$C$  = concentração do químico no ar, especificado na interface devido ao fluxo com a água.

Considera-se que a bioturbação nos primeiros 10 cm do sedimento misture completamente a massa do químico depositado, na escala de tempo de interesse (dias a semanas), de forma que a concentração seja calculada, simplesmente, como a massa pela área dividida por 10 cm. As concentrações do contaminante no sedimento são distribuídas entre as formas adsorvidas e dissolvidas através do equilíbrio de particionamento, como na coluna d'água. A razão de particulados para água intersticial é considerada como 0,45 (CERC, 1984).

A degradação é estimada através da taxa de decaimento constante especificada para ambiente em que a massa se encontre (*i.e.* na atmosfera, superfície ou coluna d'água ou sedimento). O algoritmo de decaimento é dado por:

$$M_t = M_0 e^{-kt} \quad (C.1.1-46)$$

onde

$t$  = tempo (dias);

$M_t$  = massa remanescente no instante  $t$  ;

$M_0$  = massa descartada no instante 0;

$k$  = taxa de decaimento instantâneo ( $\text{dia}^{-1}$ ).

A meia-vida,  $t(1/2)$ , do químico no ambiente é calculado através da equação:  $M_t / M_0 = 0,5 = e^{-kt(1/2)}$ , que pode ser reagrupada como:

$$t(1/2) = -\ln(0,5) / K = 0,693 / K \quad (C.1.1-47)$$

ou

$$k = 0,693 / t(1/2) \quad (C.1.1-48)$$

## B.2 DADOS DE ENTRADA

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são:

- ✓ localização geográfica do ponto de descarte;
- ✓ data e horário;
- ✓ duração do descarte;
- ✓ volume descartado;
- ✓ profundidade de descarte;
- ✓ tipo de produto;
- ✓ duração da simulação;
- ✓ opções de resposta (e.g. barreiras);
- ✓ campo de correntes;
- ✓ arquivo de dados meteorológicos;
- ✓ concentração de sedimentos em suspensão;
- ✓ temperatura, salinidade e densidade do corpo d'água receptor;
- ✓ opções de saída;
- ✓ parâmetros de simulação:
  - fator de vento;
  - número de partículas;
  - coeficiente de dispersão horizontal;
  - coeficiente de dispersão vertical;
  - passo de tempo do modelo.

Os resultados de cada simulação correspondem, então, a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros do modelo.

### **B.3 BIBLIOGRAFIA**

**ASA (APPLIED SCIENCE ASSOCIATES, INC.). 2002.** CHEMMAP Technical Manual, Narragansett, RI.

**BEAR, J. & A. VERRUIJT, 1987.** Modeling groundwater flow and pollution with computer programs for sample cases. Kluwer Academic Publishers.

**CERC, 1984.** Shore protection manual, Vol. I. Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, MS, p. 115-134 apêndices.

**CSANADY, G.T., 1973.** Turbulent diffusion in the environment. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 74p.

**DELVIGNE, G.A.L. & C.E. SWEENEY, 1988.** Natural dispersion of oil. *Oil & Chemical Pollution* 4 (1988): p. 281-310.

**ELLIOTT, A.J., 1986.** Shear diffusion and the spread of oil in the surface layers of the North Sea. *Dt. Hydrog*: p.113-137.

**FAY, J.A., 1971.** Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface. In: Proceedings at Joint Conference and Control of Oil Spills, Washington, D.C., June 15-17.

**FRENCH, D., 2001.** Chemical Spill Model (CHEMMAP) for Forecasts/Hindcasts and Environmental Risk Assessment. In: Proceedings of the 24th Arctic and Marine Oilspill (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 12-14, 2001, Environment Canada, pp.825-846.

**FRENCH, D.; M. REED; K. JAYKO; S. FENG; H.M. RINES; S. PAVIGNANO; T. ISAJI, S; PUCKETT; A. KELLER; F.W. FRENCH III; D. GIFFORD; J. MCCUE; G. BROWN; E. MACDONALD; J. QUIRK; S. NATZKE; R. BISHOP; M. WELSH; M. PHILLIPS & B.S. INGRAM, 1996a.** The CERCLA type A natural resource damage assessment model for coastal and marine environments (NRDAM/CME), Technical Documentation, Vol.I - V. Final Report, submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996, Contract No. 14-0001-91-C-11.

**FRENCH, D.P., H.M. RINES, T. OPISHINSKI & J. MCCUE, 1996b.** Validation and Sensitivity Analysis: The CERCLA Type A Natural Resource Damage Assessment Models for Coastal and Marine Environments (NRDAM/CME) and for the Great Lakes Environments (NRDAM/GLE) Final Report, Submitted to the Office of Environmental Policy and Compliance, U.S. Dept. of the Interior, Washington, DC, April, 1996. Contract Nº. 14-01-0001-91-C-11.

**FRENCH, D., H. SCHUTTENBERG, & T. ISAJI, 1999.** Probabilities of oil exceeding thresholds of concern: examples from an evaluation for Florida Power and Light. In: Proceedings: AMOP 99 Technical Seminar, June 2-4, 1999, Calgary, Alberta, Canada, pp. 243-270.

**FRENCH, D., N. WHITTIER, M. WARD, & C. SANTOS, 2002.** Spill Hazard Evaluation for Chemicals Shipped in Bulk Using Modeling. In: Proceedings, Sixth International Marine Environmental Seminar, Trondheim, Norway, September 2-4, 2002.

**HINES, A.L. & R.N. MADDOX, 1985.** Mass transfer fundamentals and application, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 542p.

**HOLTON, J.R., 1979.** An Introduction to Dynamic Meteorology. International Geophysics Series, Vol 23, Academic Press NY.

**HOULT, D.P., 1972.** Oil spreading on the sea. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, p.341-368.

**KAWAMURA, P. & D. MACKAY, 1987.** The evaporation of volatile liquids. *J Hazardous Materials*, 15:343-364.

**KOLLURU, V.S., 1992.** Influence of Number of Spilllets on Spill Model Predictions. Applied Science Associates Internal Report, 1992.

**LANGE, P. & H. HÜHNERFUSS, 1978.** Drift response of mono-molecular slicks to wave and wind action. *Journal of Physical Oceanography*, v. 8, p. 142-150.

**LEHR, W., 1996.** Progress in Oil Spread Modeling, in Proceedings of the 19th Arctic and Marine Oil Spill Program (AMOP) Technical Seminar, Environment Canada, pp. 889-894.

**MACKAY, D. & R.S. MATSUGU, 1973.** Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 51, pp. 434-439.

**MACKAY, D. & P.J. LEINONEN, 1977.** Mathematical model of the behavior of oil spills on water with natural and chemical dispersion. Prepared for Fisheries and Environment Canada. Economic and Technical Review Report EPS-3-EC-77-19, 39p.

**MACKAY, D., S. PATERSON & K. TRUDEL, 1980.** A Mathematical Model Of Oil Spill Behavior. Department of Chemical and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada.

**MACKAY, D., W.Y. SHIU, & K.C. MA, 1992.** Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals, Vol. I-IV. Lewis Publ., Chelsea, Michigan.

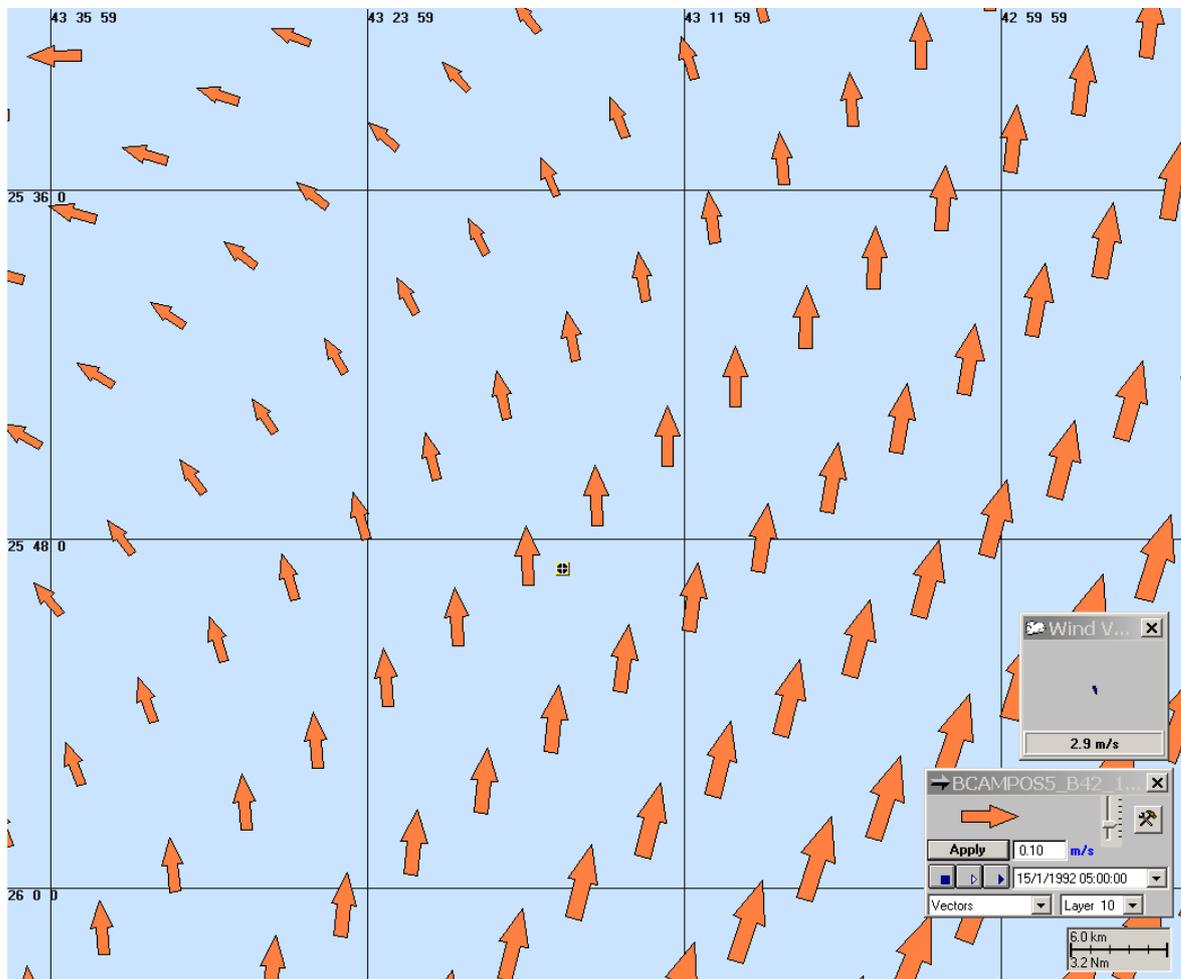
- OKUBO, A., 1971.** Oceanic diffusion diagrams. *Deep Sea Research*, v. 8, p. 789-802.
- THIBODEAUX, L.J., 1979.** Chemodynamics: Environmental Movement of Chemicals in Air, Water, and Soil. John Wiley & Sons, NY 501p.
- THORPE S.A., 1984.** On the determination of  $K_v$  in the near surface ocean from acoustic measurements of bubbles. *American Meteorological Society*, pp. 861-863.
- TURNER, D.B., 1970.** Workbook of atmospheric dispersion estimates. Report PB-191 482. Research Triangle Park, North Carolina: Office of Air Programs, U.S. Environmental Protection Agency.
- YOUSSEF, M., 1993.** The behavior of the near ocean surface under the combined action of waves and currents in shallow water. PhD Dissertation, Department of Ocean Engineering, University of Rhode Island, Narragansett, RI.
- YOUSSEF, M. & M.L. SPAULDING, 1993.** Drift current under the action of wind waves. In: Proceedings of the 16th Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar, Calgary, Alberta, Canada, p. 587-615.



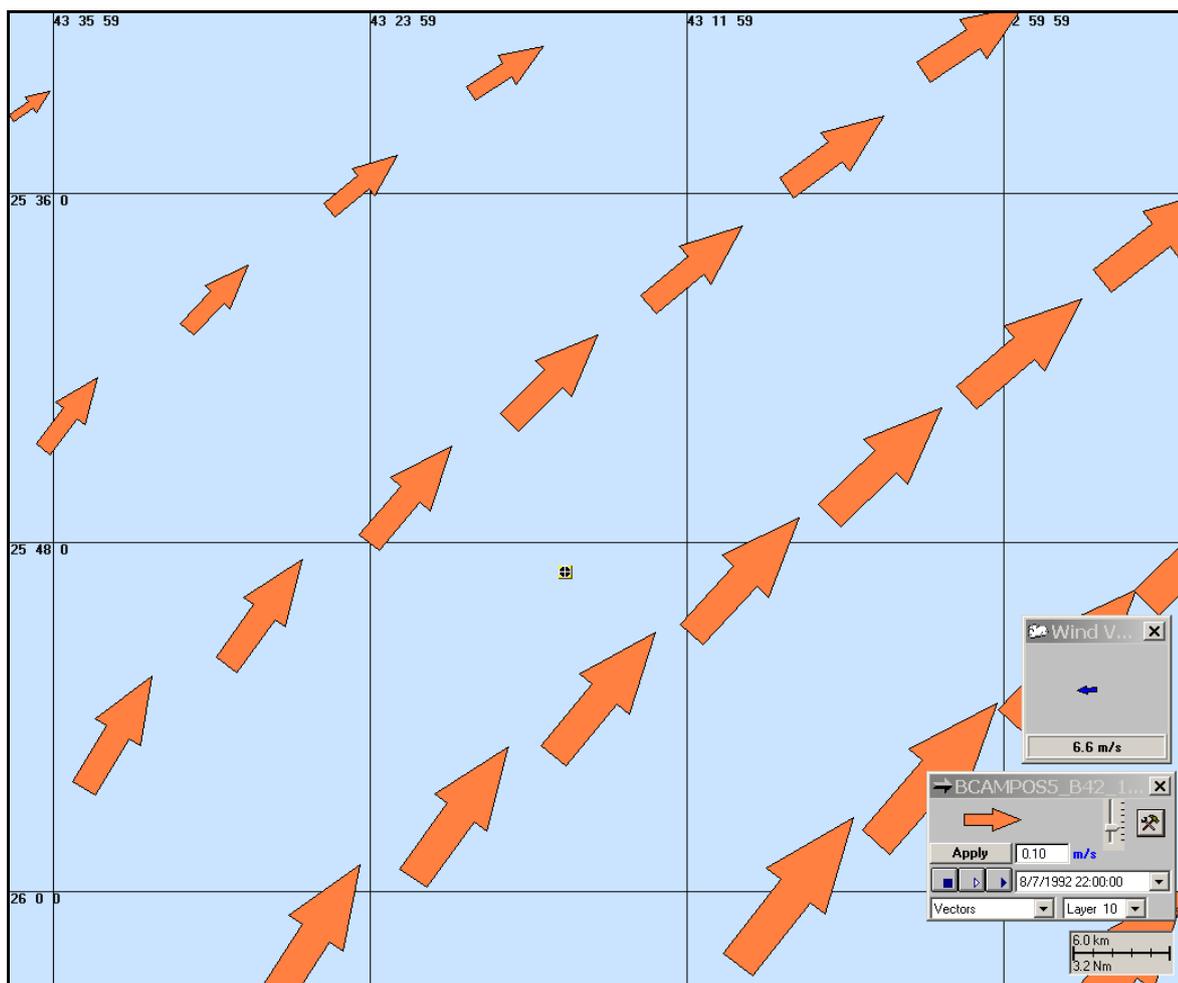
## ANEXO C CONDIES DOS INSTANTES INICIAIS DAS SIMULAES DETERMINÍSTICAS CRÍTICAS

### C.1 ÁGUA PRODUZIDA

As figuras C-1 a C-2 apresentam as condies meteorológicas e oceanográficas referentes aos instantes iniciais das simulaes determinísticas críticas do descarte de água produzida a partir do Piloto de Guar, apresentadas neste estudo.

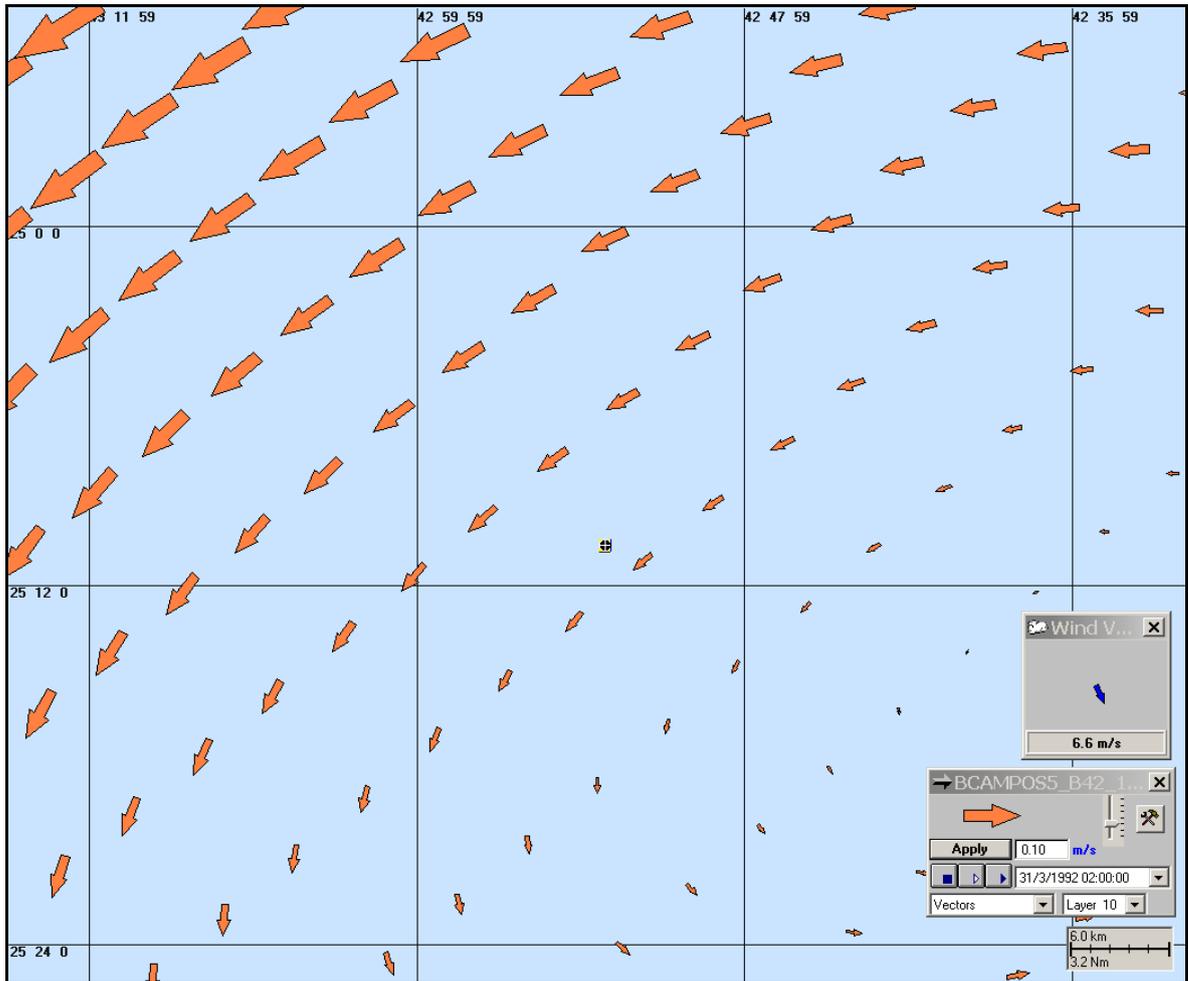


**Figura C-1** - Condies utilizadas na simulao de VERÃO para o Piloto de Guar (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente N e vento SSE.

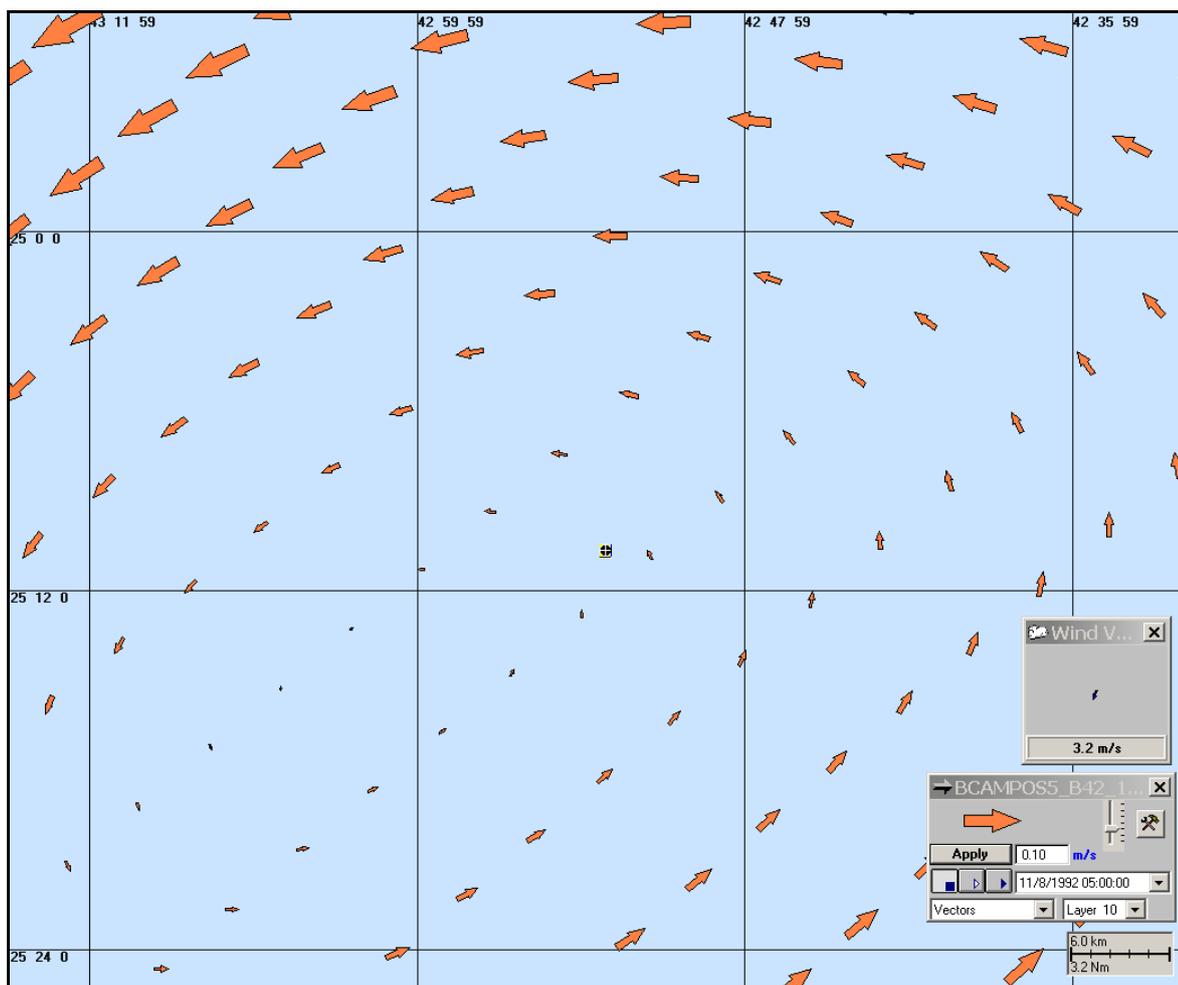


**Figura C-2** - Condições utilizadas na simulação de INVERNO para o Piloto de Guarã (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NE e vento E.

As figuras C-3 a C-4 apresentam as condições meteorológicas e oceanográficas referentes aos instantes iniciais das simulações determinísticas críticas do descarte de água produzida a partir do DP de Iracema, apresentadas neste estudo.



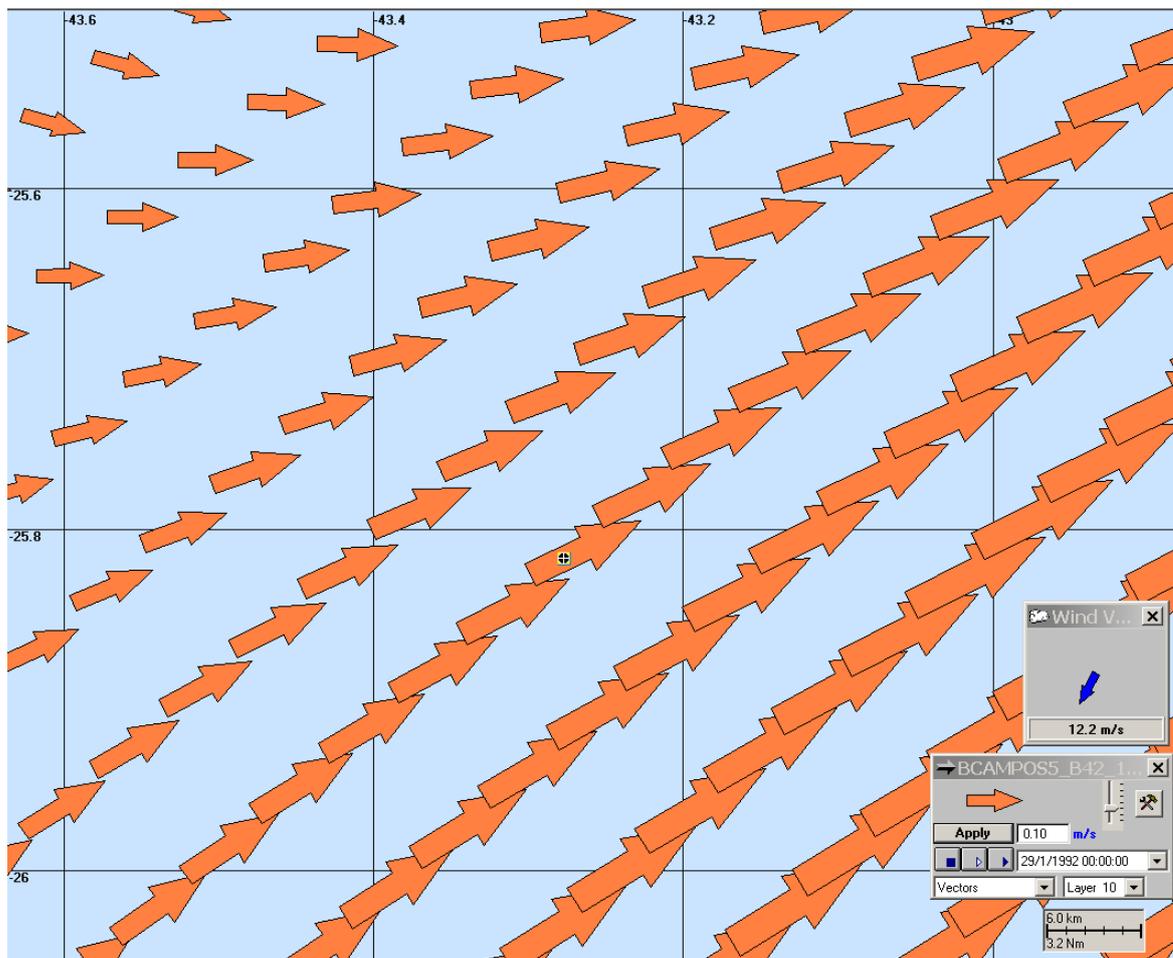
**Figura C-3** - Condições utilizadas na simulação de água produzida de VERÃO para o DP de Iracema (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente SW e vento NW.



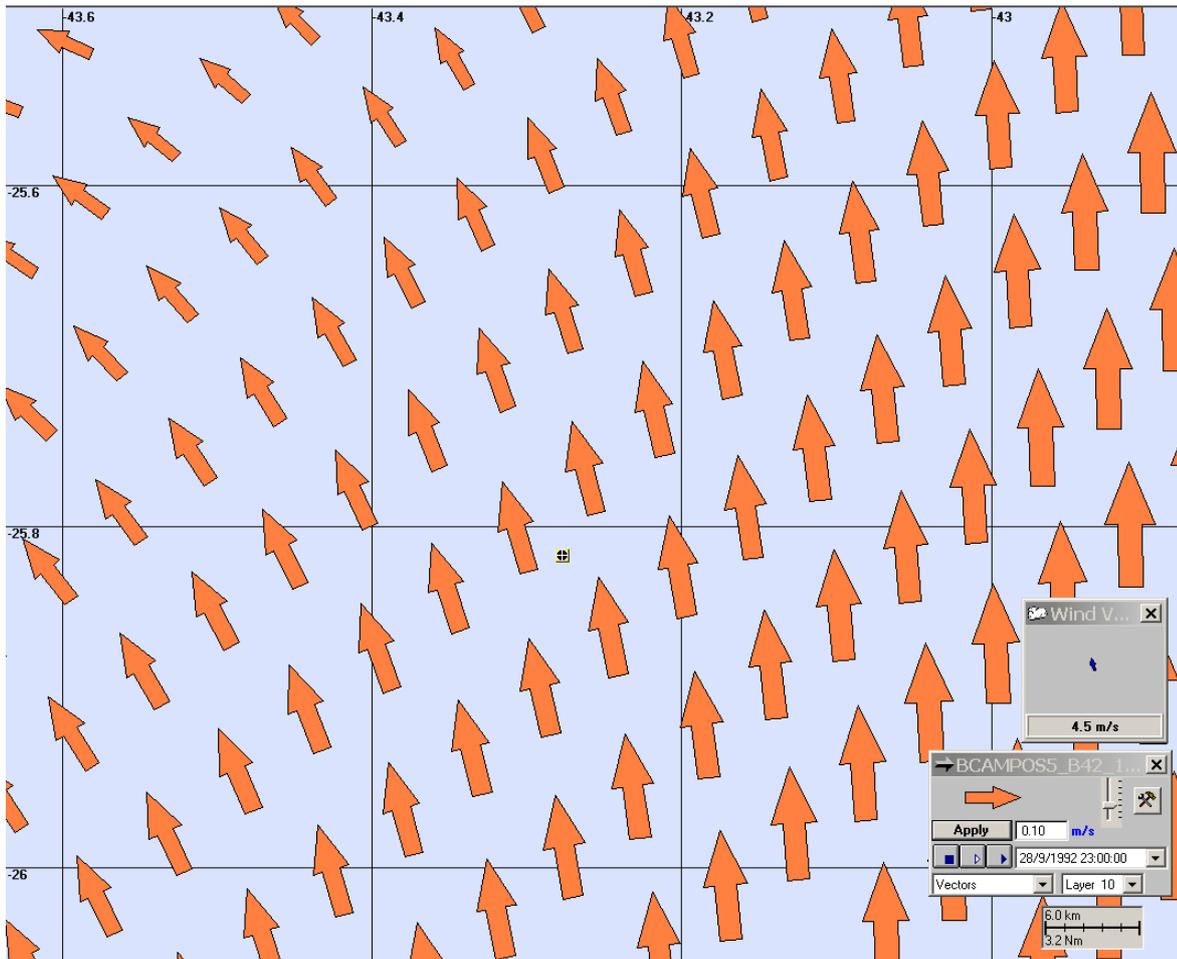
**Figura C-4** - Condições utilizadas na simulação de água produzida de INVERNO para o DP de Iracema (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NW e vento NE.

## C.2 URS

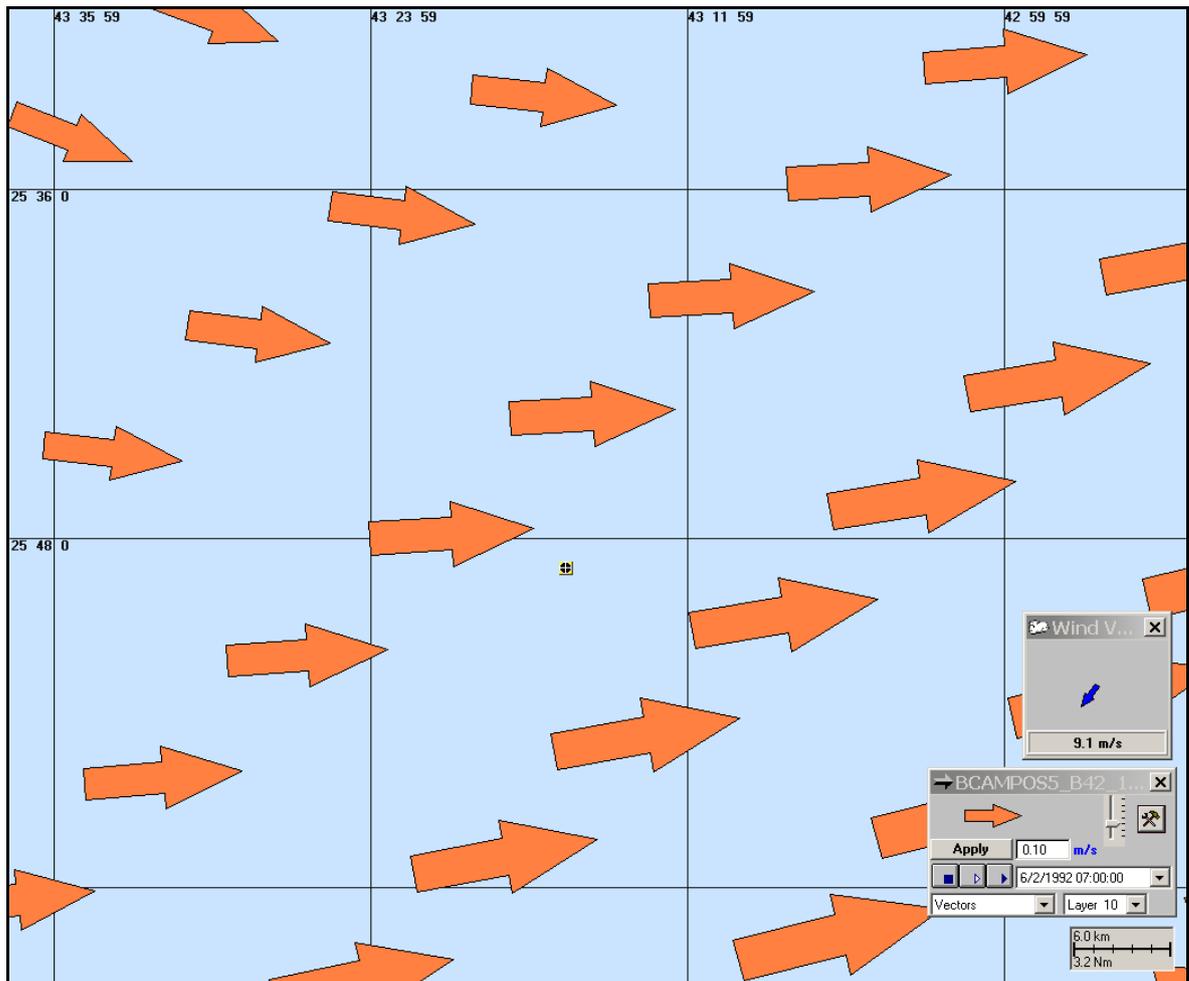
As figuras C-5 a C-8 apresentam as condições meteorológicas e oceanográficas referentes aos instantes iniciais das simulações determinísticas críticas do descarte de efluente da URS a partir do Piloto de Guarã, apresentadas neste estudo.



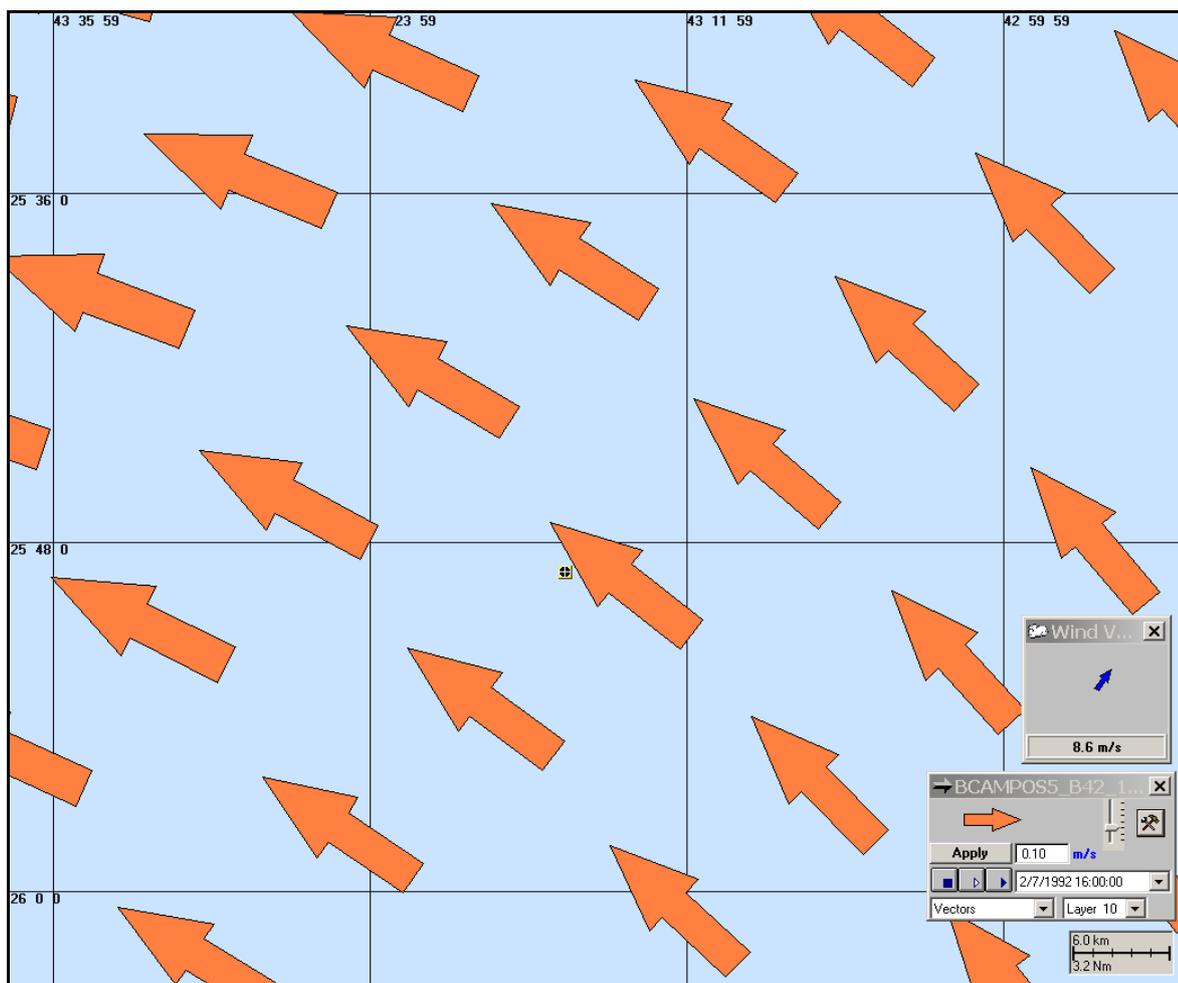
**Figura C-5** - Condies utilizadas na simulao de VERÃO para o Piloto de Guar sem adio de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NE e vento NE.



**Figura E-6** - Condições utilizadas na simulação de INVERNO para o Piloto de Guarã sem adição de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NW e vento SSE.

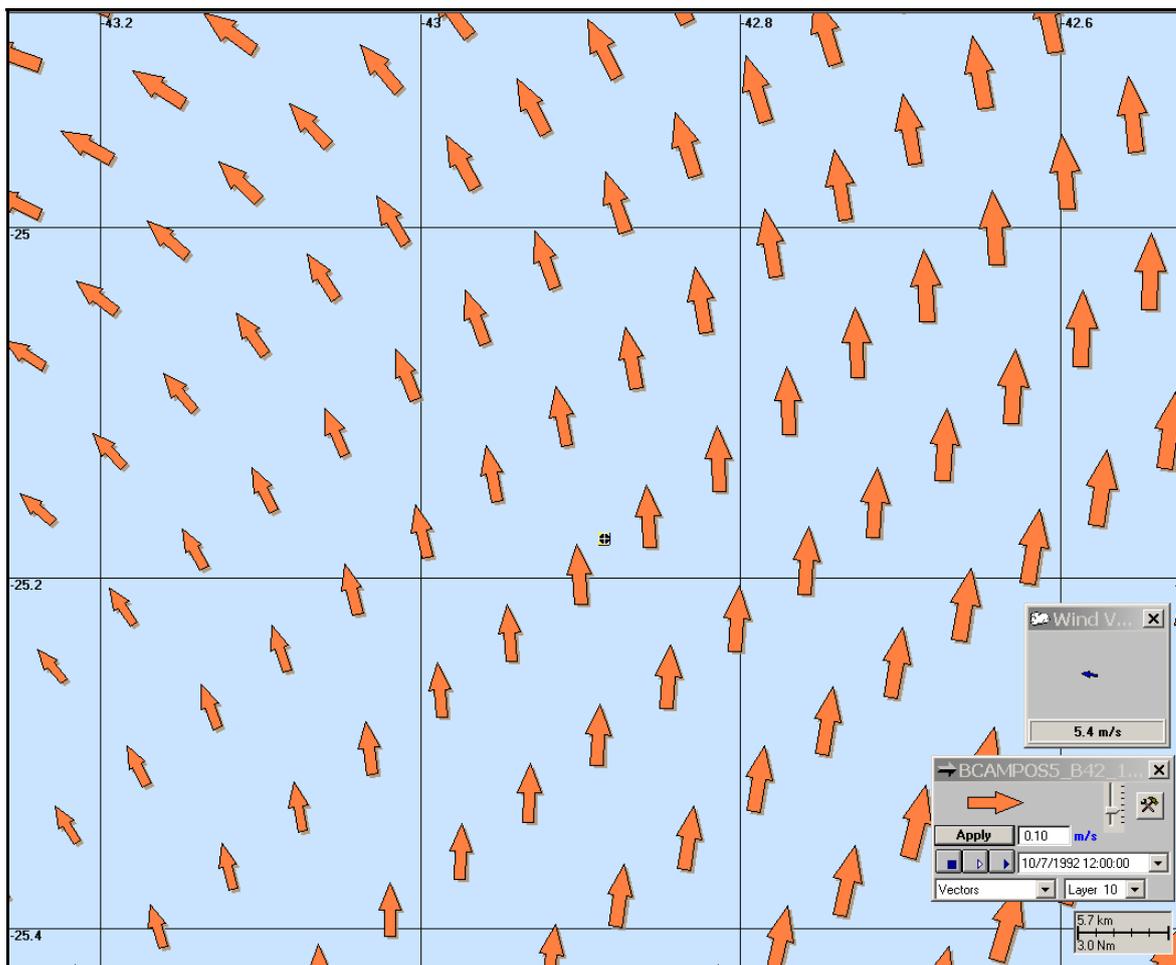


**Figura E-7** - Condies utilizadas na simulao de VERÃO para o Piloto de Guar com adio de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente E e vento NE.

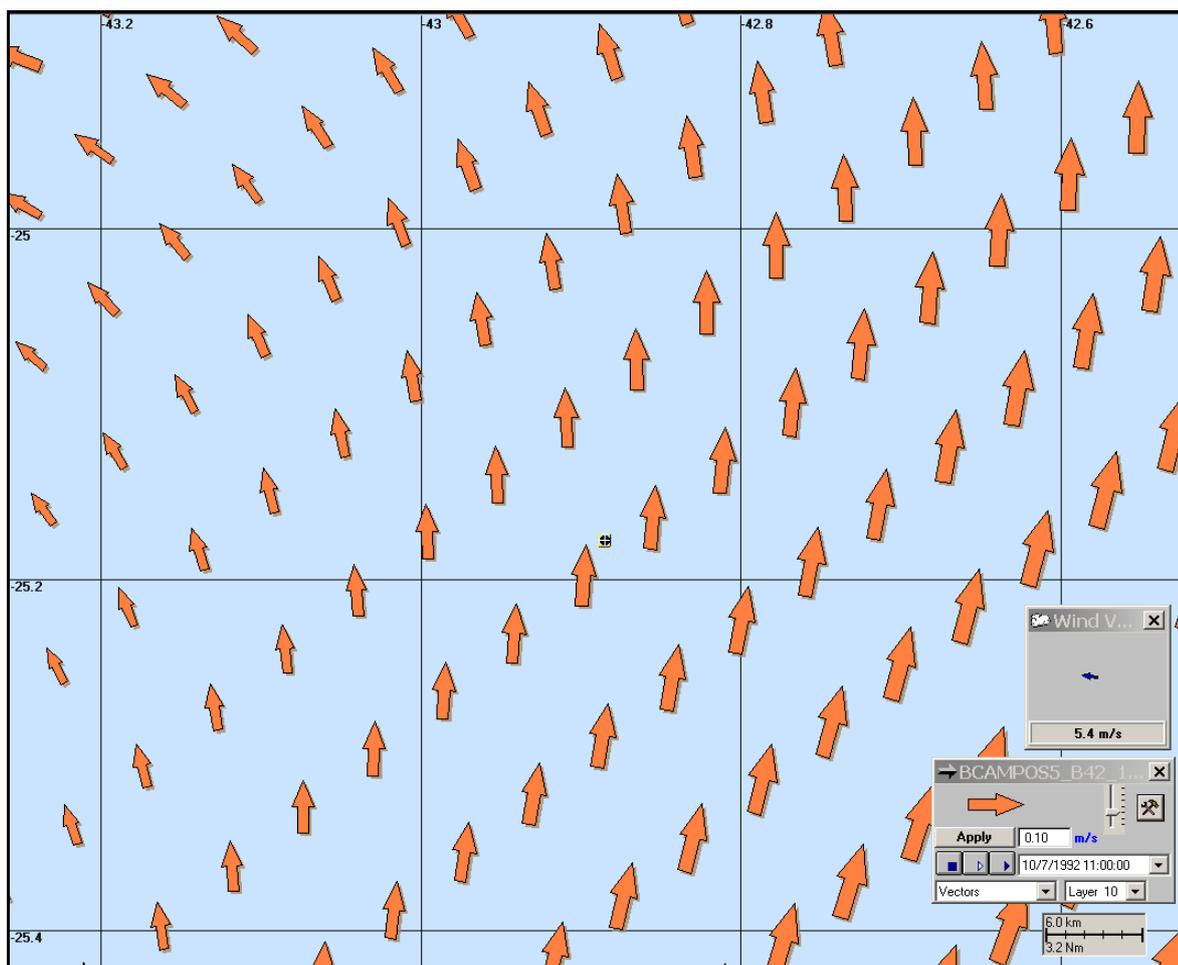


**Figura C-8** - Condições utilizadas na simulação de INVERNO para o Piloto de Guará com adição de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NW e vento SW.

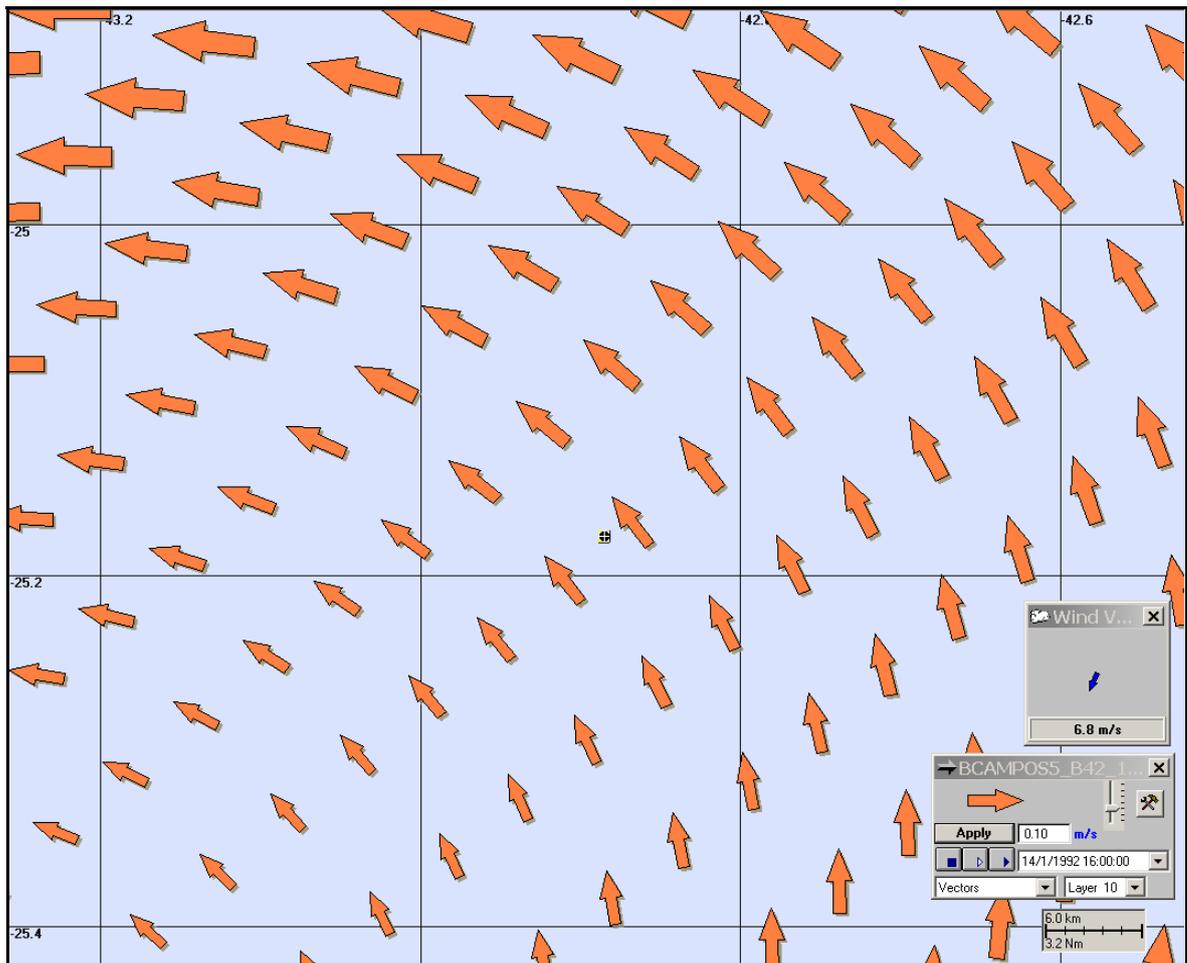
As figuras C-9 a C-12 apresentam as condições meteorológicas e oceanográficas referentes aos instantes iniciais das simulações determinísticas críticas do descarte de efluente da URS a partir do DP de Iracema, apresentadas neste estudo.



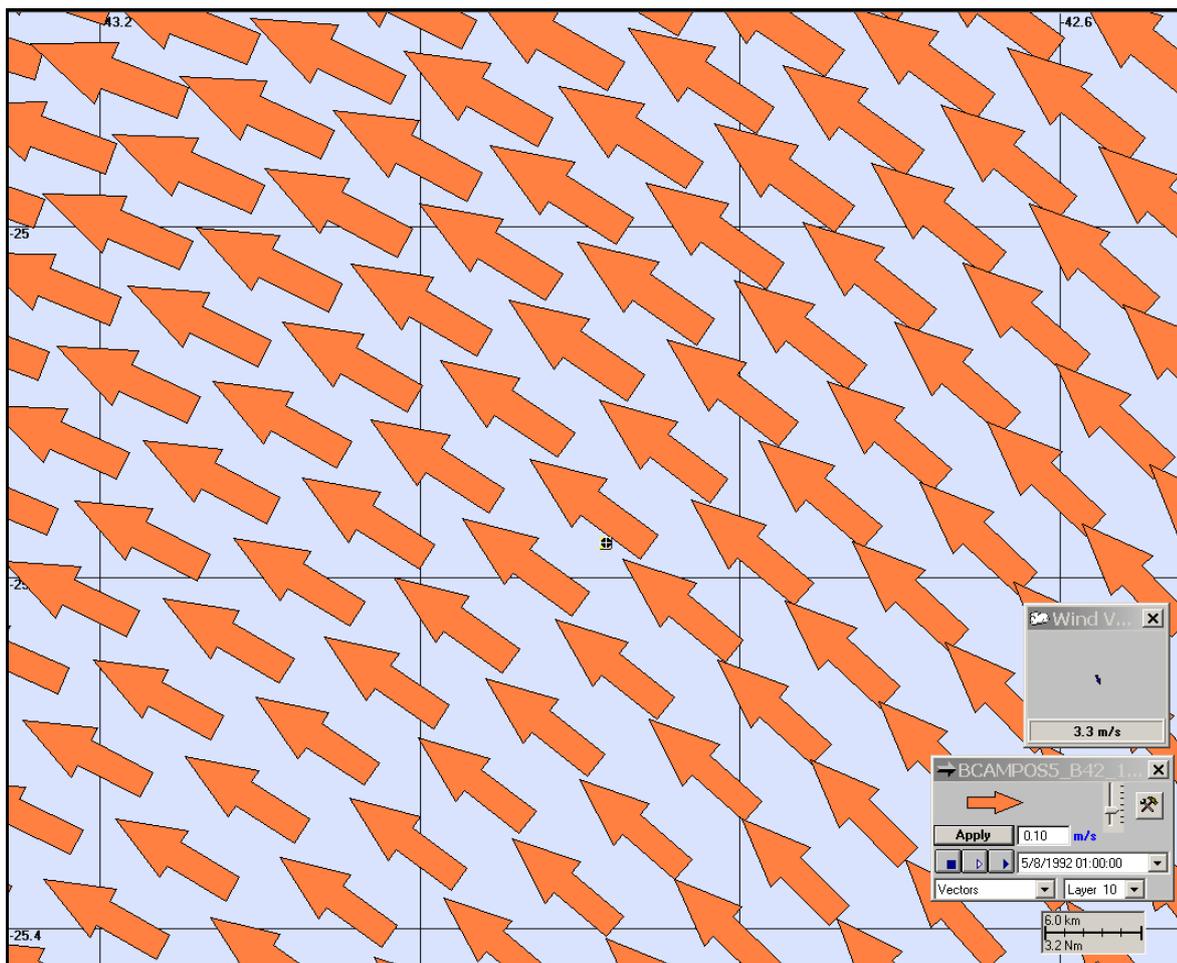
**Figura C-9** - Condições utilizadas na simulação de VERÃO para o DP de Iracema sem adição de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente N e vento E.



**Figura C-10** - Condições utilizadas na simulação de INVERNO para o DP de Iracema sem adição de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente N e vento E.



**Figura C-11** - Condições utilizadas na simulação de VERÃO para o DP de Iracema com adição de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NW e vento NE.



**Figura C-12** - Condições utilizadas na simulação de INVERNO para o DP de Iracema com adição de biocida (maior distância a partir do ponto de lançamento): corrente NW e vento NNW.

---

# ***ANEXO D RELATÓRIO DE ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM HIDRODINÂMICA***



# Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sul-Sudeste Brasileira, Área do Pré-Sal, Bacia de Santos



E&P

Revisão 00  
Jun/2009



**PETROBRAS**



# **Modelagem Hidrodinâmica para a Costa Sul-Sudeste Brasileira, Área do Pré-Sal, Bacia de Santos**

Revisão 00  
Junho / 2009



UN-BS







**ÍNDICE GERAL**

RESUMO .....	1
I INTRODUÇÃO .....	I-1
I.1 ÁREA DE ESTUDO.....	I-2
I.1.1 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO .....	I-2
I.1.2 CARACTERÍSTICAS OCEANOGRÁFICAS DA REGIÃO .....	I-8
II ANÁLISE DE DADOS.....	II-1
II.1 VENTOS .....	II-2
II.2 CORRENTES.....	II-6
II.3 ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR .....	II-16
II.4 TEMPERATURA E SALINIDADE.....	II-18
III MODELAGEM HIDRODINÂMICA .....	III-1
III.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL .....	III-1
III.1.1 EQUAÇÕES BÁSICAS DO POM .....	III-3
III.1.2 CONDIÇÕES DE CONTORNO ADOTADAS .....	III-5
III.1.3 PROCEDIMENTOS DE AQUECIMENTO (WARM UP) DO MODELO.....	III-6
III.1.4 DADOS DE ENTRADA .....	III-7
III.1.4.1 ESTRUTURA TERMOHALINA .....	III-7
III.1.4.2 VENTOS .....	III-8
III.1.4.3 MARÉS .....	III-9
III.2 DESCRIÇÃO DO OCCAM .....	III-10
III.3 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO.....	III-11
IV AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA.....	IV-1
IV.1 AVALIAÇÃO PARA A MARÉ .....	IV-1
IV.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES .....	IV-4
V CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM.....	V-1
VI BIBLIOGRAFIA .....	VI-1
VII EQUIPE TÉCNICA .....	VII-1



## LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁG.
<b>Tabela I.1.1-1</b> - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para as quatro estações do ano, no período de 1987 a 2007.	I-6
<b>Tabela I.1.2-1</b> - Amplitude (cm) e fase local ( $^{\circ}$ ) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú (SP). Fonte: FEMAR (2000).	I-13
<b>Tabela II.1-1</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7 $^{\circ}$ S e 43,1 $^{\circ}$ W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.	II-5
<b>Tabela II.1-2</b> - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7 $^{\circ}$ S e 43,1 $^{\circ}$ W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.	II-5
<b>Tabela II.2-1</b> - Localização e período de coleta dos dados de corrente	II-6
<b>Tabela II.3-1</b> - Amplitude (cm) e fase local ( $^{\circ}$ ) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP). Fonte: FEMAR (2000).	II-18



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁG.
<b>Figura I.1.1-1</b> - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de verão.	I-3
<b>Figura I.1.1-2</b> - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de inverno.	I-4
<b>Figura I.1.1-3</b> - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1 <sup>o</sup> de junho de 2003 (situação de bom tempo).	I-5
<b>Figura I.1.1-4</b> - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).	I-5
<b>Figura I.1.1-5</b> - Intensidade média anual do vento na Bacia de Santos para o período de 1987 a 2007.	I-7
<b>Figura I.1.1-6</b> - Intensidade média mensal do vento na Bacia de Santos para o período de 1987 a 2007 e para o ano de 1992.	I-8
<b>Figura I.1.2-1</b> - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).	I-9
<b>Figura I.1.2-2</b> - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).	I-10
<b>Figura I.1.2-3</b> - Representação esquemática do campo de fluxo geostrófico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv (Adaptado de Stramma <i>et al.</i> , 1990).	I-11
<b>Figura I.1.2-4</b> - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.	I-12
<b>Figura I.1.2-5</b> - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente $M_2$ .	I-14
<b>Figura II-1</b> - Mapa com a localização das estações de medição de TS, correntes, vento e elevação da superfície do mar.	II-1
<b>Figura II.1-1</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992, na posição 25,7°S e 43,1°W.	II-2
<b>Figura II.1-2</b> - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para janeiro a março de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).	II-3

FIGURA	PÁG.
<b>Figura II.1-3</b> - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para junho a agosto de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).	II-4
<b>Figura II.2-1</b> - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.	II-7
<b>Figura II.2-2</b> - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.	II-8
<b>Figura II.2-3</b> - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o verão de 1992 (meses de fevereiro e março).	II-9
<b>Figura II.2-4</b> - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o inverno de 1992 (meses de fevereiro e março).	II-10
<b>Figura II.2-5</b> - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de janeiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.	II-12
<b>Figura II.2-6</b> - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.	II-13
<b>Figura II.2-7</b> - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Verão de 1992, intervalo de amostragem: 2h.	II-14

FIGURA	PÁG.
<b>Figura II.2-8</b> - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Inverno de 1992, intervalo de amostragem: 2h.	II-15
<b>Figura II.3-1</b> - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Enchova II (RJ). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.	II-16
<b>Figura II.3-2</b> - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Bom Abrigo (SP). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.	II-17
<b>Figura II.4-1</b> - Seção vertical de densidade (kg/m <sup>3</sup> ) ao longo de 24,9ºS para o período de janeiro a março (verão), Área do Pré-Sal.	II-19
<b>Figura II.4-2</b> - Seção vertical de densidade (kg/m <sup>3</sup> ) ao longo de 24,9ºS para o período de junho a agosto (inverno), Área do Pré-Sal.	II-20
<b>Figura II.4-3</b> - Seção vertical de densidade (kg/m <sup>3</sup> ) ao longo de 25,8ºS para o período de janeiro a março (verão), Área do Pré-Sal.	II-20
<b>Figura II.4-4</b> - Seção vertical de densidade (kg/m <sup>3</sup> ) ao longo de 25,8ºS para o período de janeiro a março (inverno), Área do Pré-Sal.	II-21
<b>Figura III.1.4.1-1</b> - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. A salinidade é apresentada como isohalinas e a temperatura (°C) é apresentada através dos tons de cores.	III-7
<b>Figura III.1.4.2-1</b> - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	III-9
<b>Figura III.1.4.3-1</b> - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré M2, projetado na grade do modelo hidrodinâmico.	III-10
<b>Figura III.3-1</b> - Domínio considerado na modelagem e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Santos.	III-12
<b>Figura IV.1-1</b> - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Enchova II (RJ) durante o mês de fevereiro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h.	IV-3
<b>Figura IV.1-2</b> - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Bom Abrigo (SP) para o período de 5 de outubro a 5 de novembro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h.	IV-3
<b>Figura IV.2-1</b> - Série temporal das componentes <i>u</i> e <i>v</i> da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o Ponto PC.	IV-5

FIGURA	PÁG.
<b>Figura IV.2-2</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992.	IV-5
<b>Figura IV.2-3</b> - Série temporal das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 9 de agosto e 28 de setembro de 1992 para o Ponto PC.	IV-6
<b>Figura IV.2-4</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 5 de agosto e 28 de setembro de 1992.	IV-6
<b>Figura IV.2-5</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 6 e 28 de janeiro de 1992 para o Ponto BM333.	IV-8
<b>Figura IV.2-6</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º a 30 de janeiro de 1992.	IV-8
<b>Figura IV.2-7</b> - Série temporal medida das componentes $u$ e $v$ da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de junho e 2 de julho de 1992 para o Ponto BM333.	IV-9
<b>Figura IV.2-8</b> - Diagrama <i>stick plot</i> dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º e 30 de junho de 1992.	IV-9
<b>Figura IV.2-9</b> - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto PC (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.	IV-10
<b>Figura IV.2-10</b> - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto ACM12/BM333 (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.	IV-11
<b>Figura V-1</b> - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM na região da Bacia de Pelotas. A linha amarela indica a posição da secção transversal apresentada na figura V-2.	V-2
<b>Figura V-2</b> - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para janeiro de 1992, extraídas ao longo da linha amarela indicada na figura V-1.	V-3
<b>Figura V-3</b> - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM na região da Bacia de Pelotas. A linha amarela indica a posição da secção transversal apresentada na figura V-4.	V-4
<b>Figura V-4</b> - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para julho de 1992, extraídas ao longo da linha amarela indicada na figura V-3.	V-5

## RESUMO

Este relatório apresenta a implementação de um campo hidrodinâmico para a região sul-sudeste do Brasil, utilizado nas modelagens de dispersão de óleo e efluentes na Área do Pré-Sal, na Bacia de Santos.

Na costa sudeste brasileira, o padrão de circulação superficial está relacionado à Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em região oceânica há predomínio da CB.

A base hidrodinâmica obtida foi validada para os pontos de medições das correntes fornecidas pela PETROBRAS, reproduzindo, no período considerado, os principais padrões de circulação oceânica da região de estudo. Seu desenvolvimento foi conduzido através da utilização de um modelo numérico hidrodinâmico, baseado no código de domínio público do *Princeton Ocean Model* (POM). Este modelo foi adaptado e implementado para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (Bacias de Campos e Santos).

Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios de um modelo global, *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project* (OCCAM), somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos.



## I INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como finalidade apresentar a implementação de um modelo numérico hidrodinâmico para a região sul-sudeste do Brasil, utilizado nas simulações de dispersão de óleo e efluentes na Área do Pré-Sal.

A base hidrodinâmica obtida foi validada para os pontos de medições das correntes fornecidas pela PETROBRAS, reproduzindo, no período comparado, os principais padrões de circulação oceânica da região de estudo. Seu desenvolvimento foi conduzido através da utilização de um modelo numérico hidrodinâmico, baseado no código de domínio público do POM<sup>1</sup>. Este modelo foi adaptado e implementado para reproduzir as correntes oceânicas de plataforma e talude, presentes na costa sul-sudeste do Brasil (Bacias de Campos e Santos).

Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios de um modelo global, OCCAM<sup>2</sup>, somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos.

Especificamente neste trabalho, foram adotados como forçantes principais o campo de vento proveniente de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP e NCAR<sup>3</sup>. As forçantes de borda foram extraídas do CSR3<sup>4</sup> para marés e as variáveis baroclínicas necessárias, do experimento de modelagem global OCCAM.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados de campo disponíveis no período de implementação deste modelo. Estas comparações, assim como ilustrações do campo e discussão sobre a acurácia, representatividade e limitações dos mesmos são apresentadas neste texto.

O Capítulo I, além de discutir o propósito do estudo, fornece informações sobre a área de estudo. O Capítulo II apresenta a análise dos dados meteorológicos e oceanográficos relevantes aos estudos de modelagens

<sup>1</sup> *Princeton Ocean Model*.

<sup>2</sup> *Ocean Circulation and Climate Advanced Modelling Project - Southampton Oceanography Centre*.

<sup>3</sup> *National Centers for Environmental Prediction (NCEP) e National Center for Atmospheric Research (NCAR)*, disponibilizados pelo *Climate Diagnostics Center (CDC)* da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

<sup>4</sup> CSR3 - (Modelo global de maré do *Center for Space Research* da Universidade do Texas).

(hidrodinâmica, dispersão de óleo e efluentes). A modelagem hidrodinâmica é descrita do Capítulo III. O Capítulo IV apresenta as condições iniciais e a avaliação da mesma. Por fim, o Capítulo V apresenta as considerações finais para o presente estudo.

## **I.1 ÁREA DE ESTUDO**

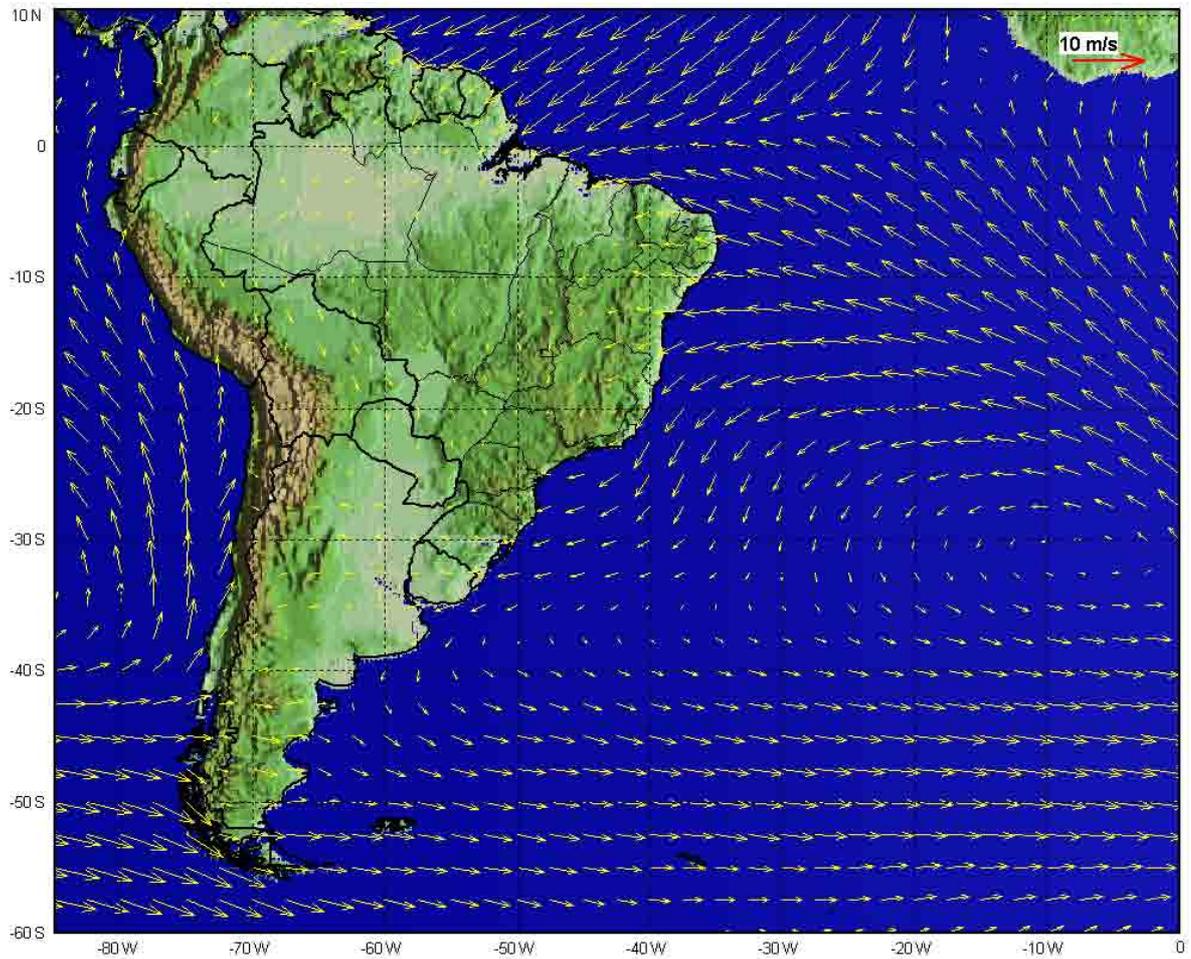
### **I.1.1 Características Meteorológicas da Região**

A circulação atmosférica de baixos níveis na região sudeste do Brasil é dominada pela ação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), pela passagem de sistemas frontais sobre a região e por circulações locais.

A variabilidade sazonal do padrão de ventos na região sudeste devido ao deslocamento da ASAS é caracterizado pelo predomínio de ventos de nordeste no verão e ventos de leste-nordeste no inverno. Este padrão é ilustrado nas figuras I.1.1-1 e I.1.1-2, que apresentam o comportamento sazonal da circulação atmosférica obtida através da média de 12 anos (1990 – 2001) de Reanálise do modelo de circulação geral do NCEP. Nessa análise foram utilizados dados de vento na altura de 10 m. Observa-se a mudança do posicionamento sazonal da ASAS e o padrão de ventos gerados por esse sistema.

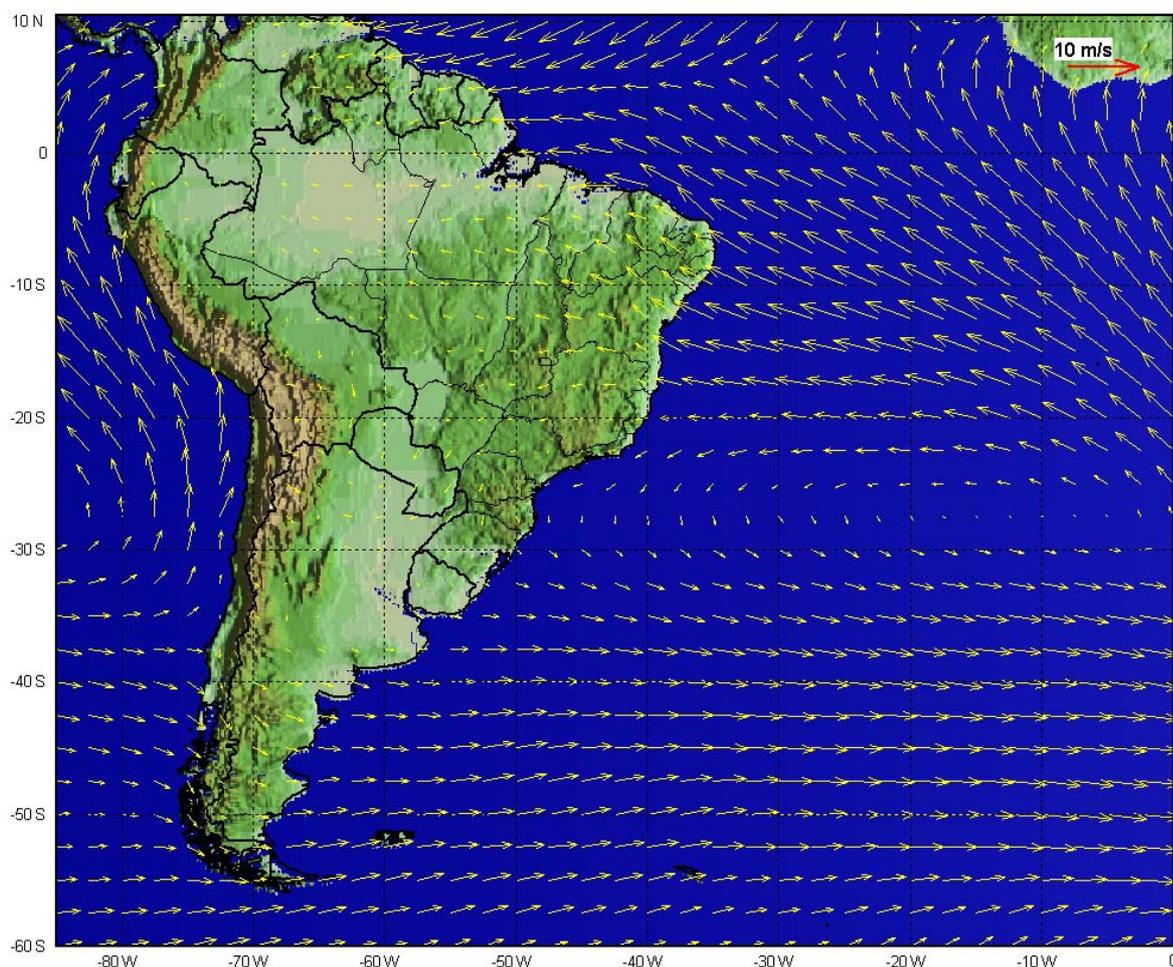
As alterações neste padrão climatológico médio da atmosfera têm relação causal com deslocamentos de sistemas atmosféricos transientes (*i.e.* sistemas frontais e ciclones extratropicais), que atuam durante o ano todo sobre todo o Atlântico sul, com frequências maiores nas latitudes mais altas e menores nas latitudes mais baixas. As perturbações geradas, bastante estabelecidas na literatura (*e.g.* Oliveira, 1986), são essenciais para a determinação das variabilidades intra-anuais na superfície oceânica.

## Janeiro-Fevereiro-Março



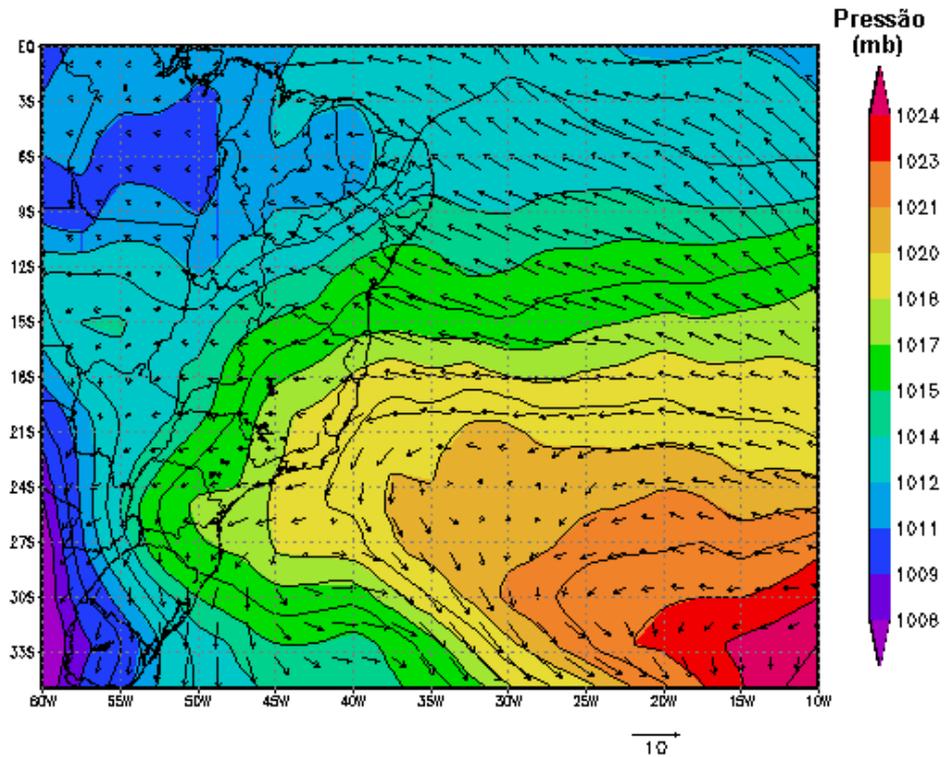
**Figura I.1.1-1** - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de verão.

## Junho-Julho-Agosto

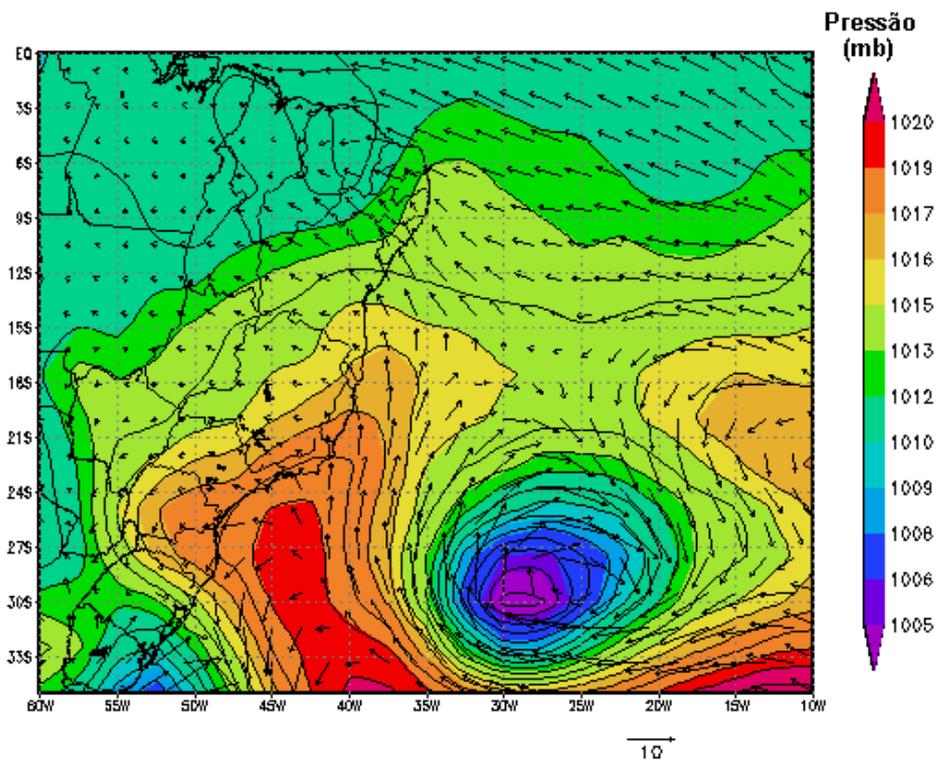


**Figura I.1.1-2** - Médias de 12 anos (1990 – 2001) do vento a 10 m no período de inverno.

O deslocamento desses sistemas está associado ao escoamento ondulatório de grande escala. A intensificação ou dissipação dos mesmos está relacionada com as características atmosféricas sobre o continente. Algumas regiões do Brasil, tais como as Regiões Sul e Sudeste são regiões frontogênicas, *i.e.* as frentes podem se formar ou se intensificar nessas regiões (Satyamurty & Mattos, 1989).



**Figura I.1.1-3** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 1º de junho de 2003 (situação de bom tempo).



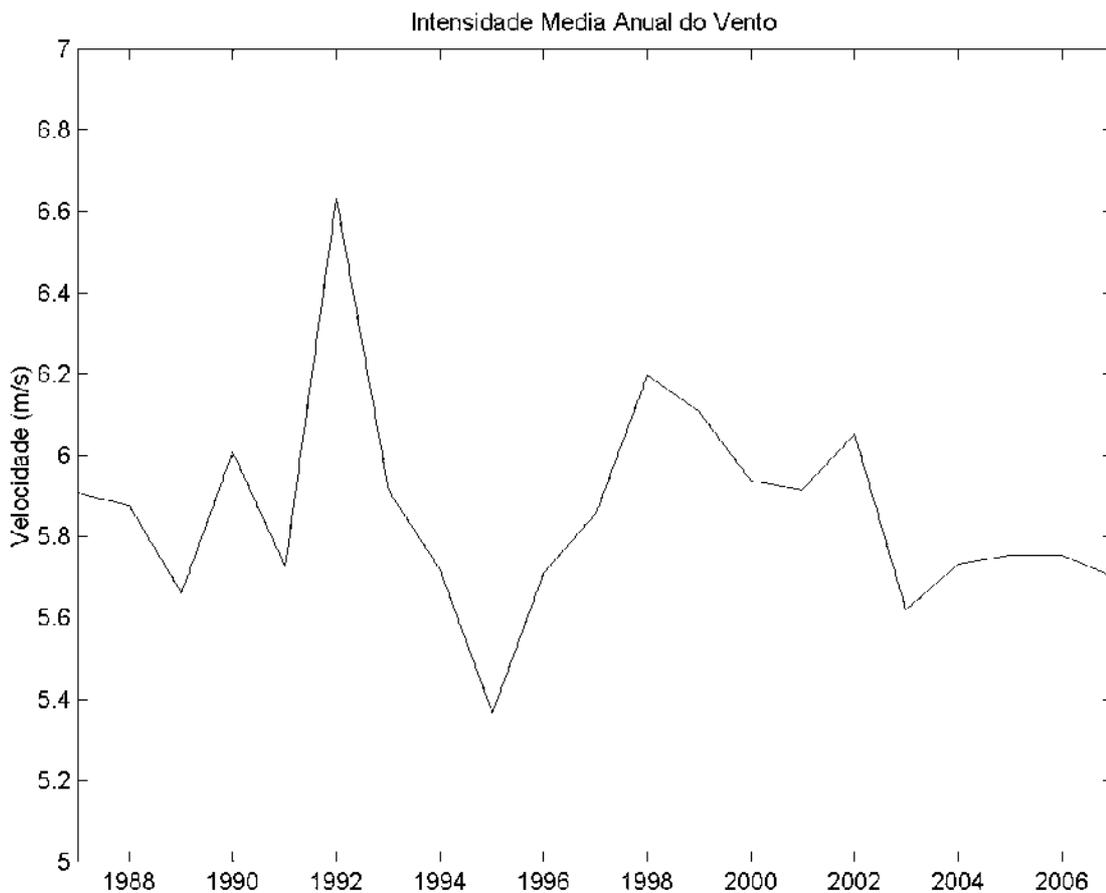
**Figura I.1.1-4** - Campo de vento e pressão atmosférica obtidos de Reanálise do NCEP para o dia 15 de junho de 2003, às 18GMT (deslocamento de um sistema frontal).

Uma estatística dos sistemas frontais que atingem a Bacia de Santos encontra-se na tabela I.1.1-1. Nesta observa-se que a média mensal desses sistemas atuando nesta região é de 3,2 sistemas nos meses de verão; 4,4 sistemas no outono; 4,4 no inverno, e 4,8 sistemas nos meses de primavera. Esta análise foi realizada a partir de dados de vento de Reanálise do NCEP, disponíveis com resolução temporal de 6 horas e espacial de 2,5°, para o período de 1987 a 2007, na posição de 25,0°S e 45,0°W.

**Tabela I.1.1-1 - Ocorrência e duração de sistemas frontais representativas da Bacia de Santos para as quatro estações do ano, no período de 1987 a 2007.**

1987 - 2007	Nº.DE FRENTES	FRENTES/MÊS	DURAÇÃO MÉDIA DAS FRENTES (H)	PERÍODO MÉDIO ENTRE FRENTES (DIA)
<i>JAN-FEV-MAR</i>				
Valores Médios	9,5	3,2	52,5	7,4
Desvios Padrão	2,4	0,8	13,4	2,1
<i>ABR-MAI-JUN</i>				
Valores Médios	13,2	4,4	53,8	5,0
Desvios Padrão	2,7	0,9	9,5	1,6
<i>JUL-AGO-SET</i>				
Valores Médios	13,3	4,4	51,9	5,1
Desvios Padrão	2,6	0,9	8,1	1,4
<i>OUT-NOV-DEZ</i>				
Valores Médios	14,3	4,8	51,9	4,2
Desvios Padrão	2,4	0,8	9,6	1,0

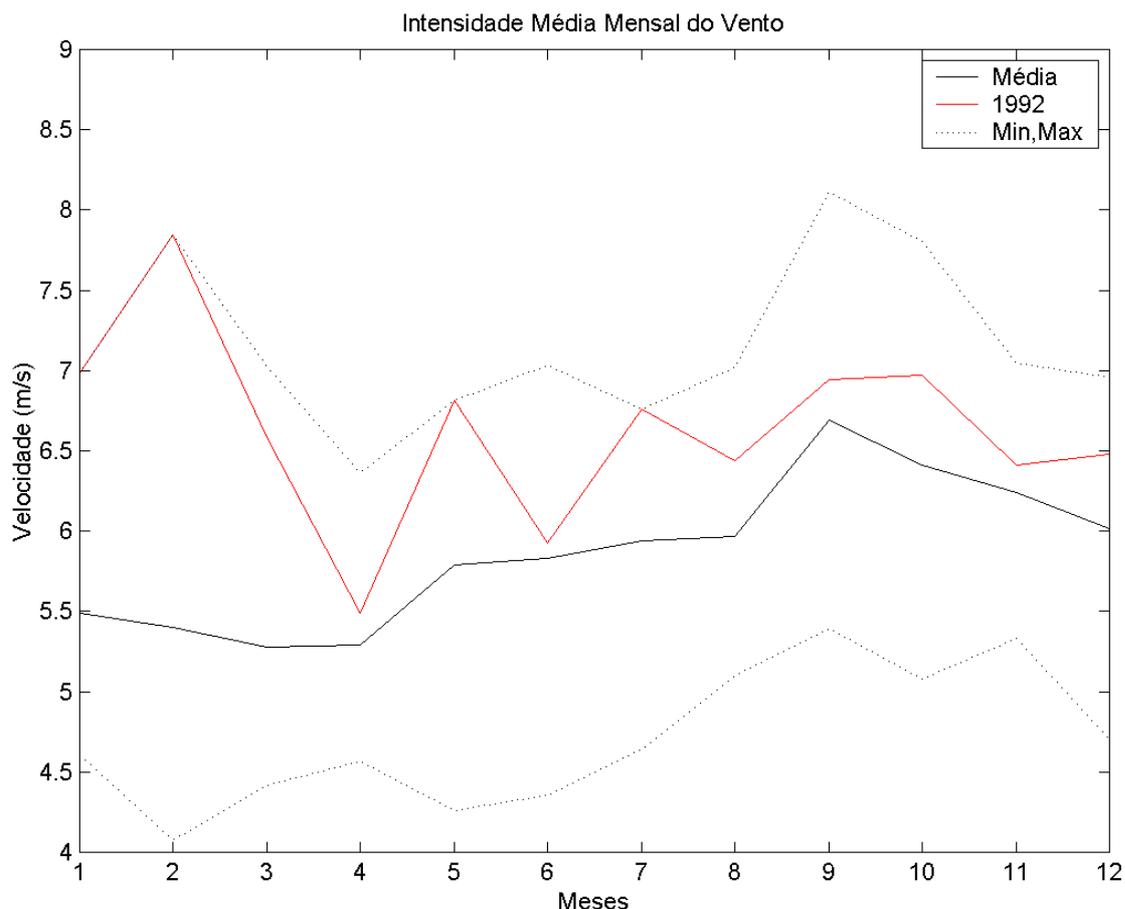
Com relação à intensidade do vento, a figura I.1.1-5 apresenta a média anual para o período 1987-2007, baseado no mesmo conjunto de dados NCEP apresentados na tabela I.1.1-1. Observa-se, na região da Bacia de Santos, que o ano de 1992 apresentou comportamento atípico em relação aos demais anos do período avaliado (1987 a 2007). Para o ano de 1992, a intensidade média anual do vento foi de 5,86 m/s, enquanto que a média para o ano de 1992 foi de 6,63 m/s.



**Figura I.1.1-5** - Intensidade média anual do vento na Bacia de Santos para o período de 1987 a 2007.

Da mesma forma, quando se observa o comportamento mensal médio da magnitude do vento (figura I.1.1-6) verifica-se que, ao longo do ano, uma maior intensidade para o ano de 1992, quando comparada à média mensal obtida para todo o período considerado (1987-2007).

Em meso e micro escalas, a variabilidade meteorológica induzida pelas brisas marinhas e terrestres também é significativa, principalmente nos padrões dinâmicos da circulação observada sobre a plataforma continental.

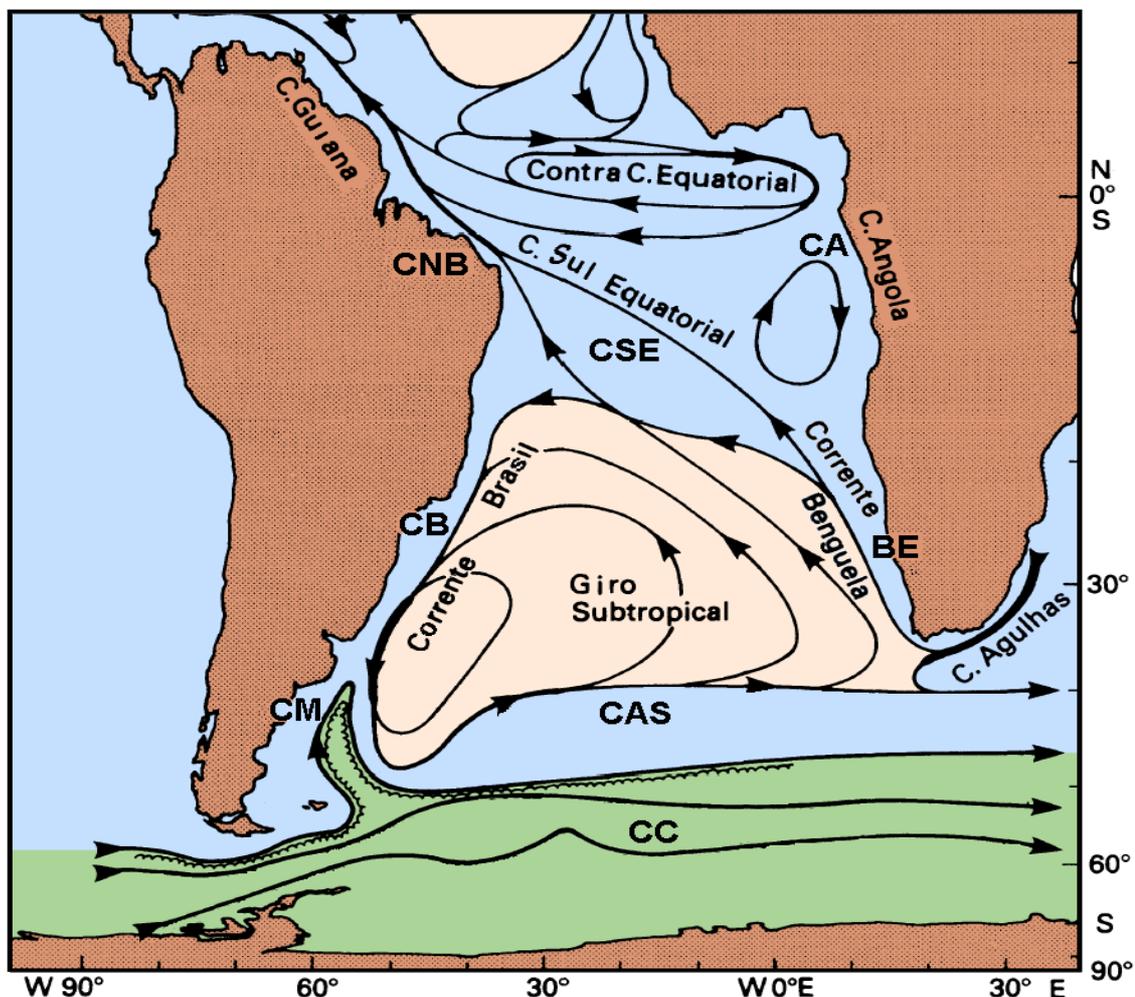


**Figura I.1.1-6** - Intensidade média mensal do vento na Bacia de Santos para o período de 1987 a 2007 e para o ano de 1992.

## I.1.2 Características Oceanográficas da Região

Na costa sudeste brasileira, o padrão de circulação está relacionado ao “Sistema Corrente do Brasil” (Godoi, 2005), sistema de correntes de contorno formadas pela Corrente do Brasil (CB), fluindo para sul-sudoeste, com seus meandros e vórtices, e pela subjacente Corrente de Contorno Intermediária (CCI), fluindo para norte-nordeste. Sobre a plataforma, o padrão predominante está relacionado ao campo de vento e à maré, com eventuais intrusões da CB. A partir do talude e em região oceânica, há predomínio do sistema CB-CCI.

A figura I.1.2-1 ilustra o Giro Sub-Tropical do Atlântico Sul na superfície, onde a CB é a corrente de contorno oeste, que se origina na bifurcação da Corrente Sul Equatorial (CSE) e se separa da costa na região da confluência com a Corrente das Malvinas (CM).

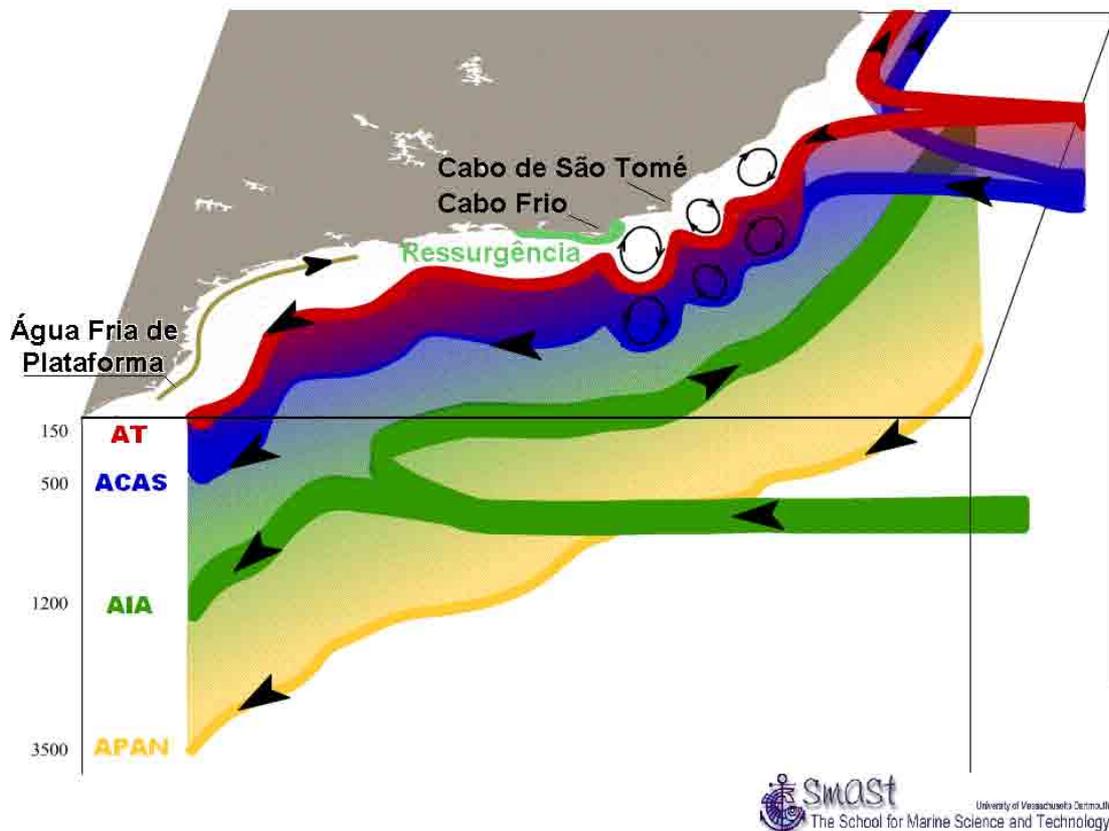


**Figura I.1.2-1** - Representação da circulação no Oceano Atlântico Sul, indicando as seguintes correntes oceânicas: Corrente Circumpolar (CC), Corrente do Atlântico Sul (CAS), Corrente de Benguela (BE), Corrente de Angola (CA), Corrente Sul Equatorial (CSE), Corrente do Brasil (CB) e Corrente das Malvinas (CM). Adaptado de Tomczak & Godfrey (1994).

A figura I.1.2-2 ilustra a estrutura vertical das correntes de contorno presentes na costa brasileira. A CB flui para sudoeste, com espessura característica de 500 m ao largo do sudeste brasileiro; a Corrente de Contorno Intermediária (CCI) flui para nordeste, ocupando porções intermediárias do talude continental,

com extensão vertical de pelo menos 700 m (Böebel *et al.*, 1999 *apud* Silveira *et al.*, 2000; Stramma & England, 1999). Abaixo da CCI, ocupando por vezes cerca de dois quilômetros de coluna de água e com uma estrutura vertical complexa, a Corrente de Contorno Profunda (CCP) flui para o sudoeste (Stramma & England, 1999).

Parte significativa do fluxo da CB passa através dos canais dos Bancos de Abrolhos e divide-se em dois ramos. Um deles flui afastado da costa, além da isóbata de 3.000 m (Stramma *et al.*, 1990), como indicado na figura I.1.2-3, enquanto o outro flui seguindo a linha de quebra da plataforma (Signorini, 1978).

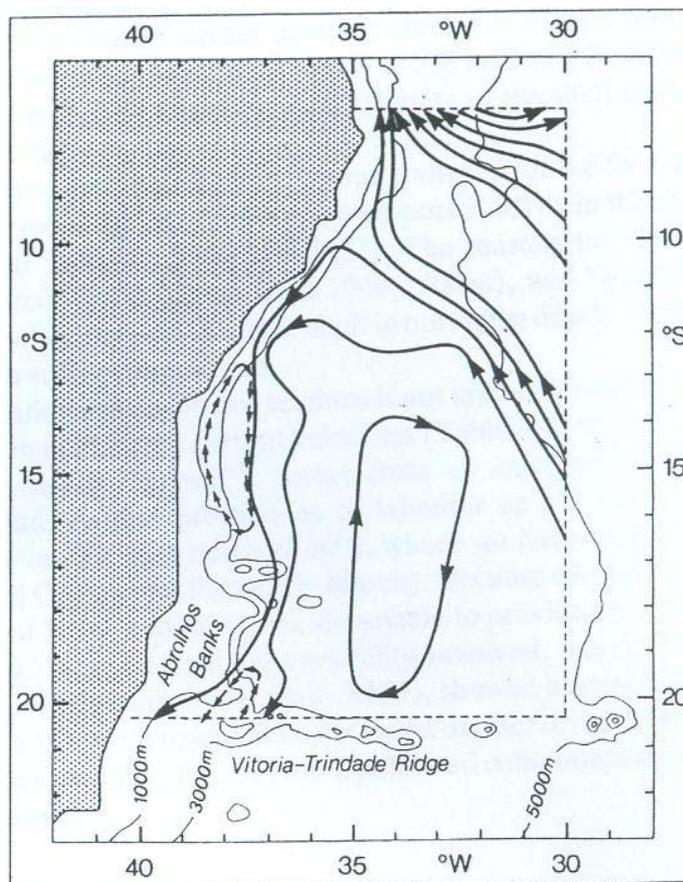


**Figura I.1.2-2** - Esquema da circulação oceânica na costa brasileira. As cores diferenciam as massas d'água existentes na região: Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).<sup>5</sup>

<sup>5</sup> <http://www.smast.umassd.edu/modeling>

Acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Esta mudança afeta significativamente a CB, induzindo a formação de vórtices e meandros, como indicado na figura I.1.2-3.

O volume estimado transportado pela CB na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22°S é de  $5,5 \pm 2,6$  Sv (Lima, 1997). Algumas regiões sobre o talude continental podem apresentar velocidades de correntes maiores que 1,0 m/s (Castro & Miranda, 1998).



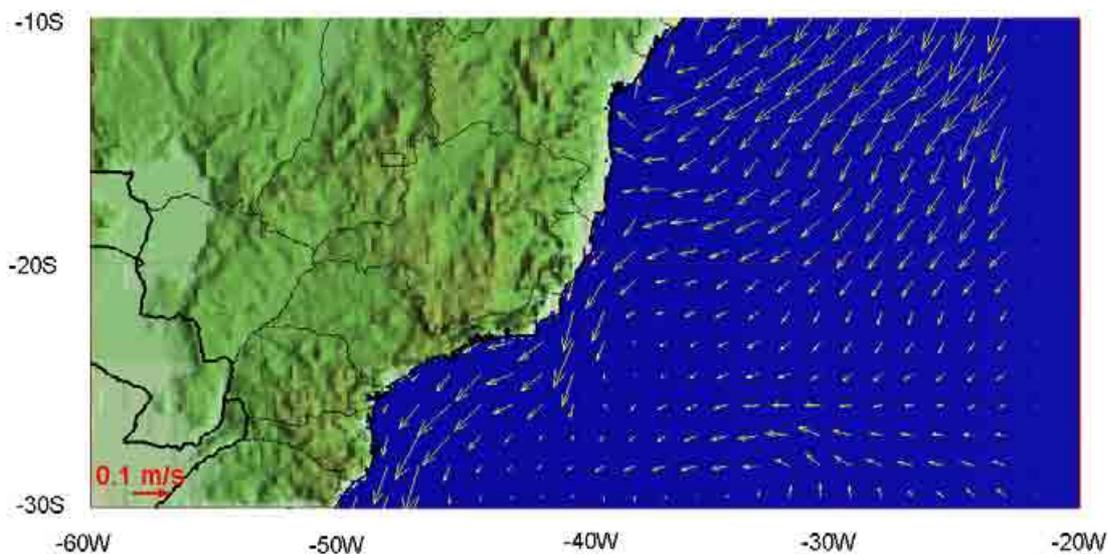
**Figura I.1.2-3** - Representação esquemática do campo de fluxo geostrofico nos primeiros 500 m, com base em dados hidrográficos históricos, coletados na região demarcada. As linhas cheias correspondem a transporte de 2 Sv e a linha tracejada de 1 Sv (Adaptado de Stramma et al., 1990).

A corrente que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos que provêm principalmente de nordeste nessa estação devido à influência da ASAS. Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência de águas frias (Água Central do Atlântico Sul – ACAS) em regiões costeiras. Esses

eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. No inverno, entretanto, a alta incidência de sistemas frontais induz a ocorrência de correntes com direção nordeste nas porções interna e média da plataforma (Castro & Miranda, 1998).

Vários modelos numéricos globais reproduzem o sistema de correntes em larga escala nesta região. O processo de *warm up* do modelo aqui apresentado foi baseado nos resultados de uma simulação de 14 anos do modelo OCCAM, disponibilizados pela Universidade de Southampton. O OCCAM foi elaborado com base no GFDL MOM<sup>6</sup>, incluindo uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. A grade, para o Oceano Atlântico Sul, é regular ( $\frac{1}{4}$  de grau), com 36 níveis (20 m de espessura próximo à superfície e 255 m em 5.500 m de profundidade). Este modelo foi inicializado com médias anuais de temperatura e salinidade do LEVITUS<sup>7</sup>, forçado na superfície com dados de vento do ECMWF<sup>8</sup> (médias mensais) e relaxado para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS.

A figura I.1.2-4 ilustra uma média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM. Nota-se o ramo Sul da CSE atingindo a costa do Brasil em torno de 15°S, bifurcando-se e originando a CNB, fluindo para Norte, e a CB, fluindo para Sul.



**Figura I.1.2-4** - Média climatológica da velocidade baroclínica calculada pelo OCCAM.

<sup>6</sup> Global Fluid Dynamics Laboratory - Modular Ocean Model.

<sup>7</sup> <http://ingrid.lidgo.columbia.edu/SOURCES/.LEVITUS94>.

<sup>8</sup> European Centre for Medium-range Weather Forecast.

Com relação à maré astronômica, observa-se, na região da Bacia de Santos, a predominância das componentes semidiurnas, conforme indicam as constantes harmônicas da FEMAR<sup>9</sup> para a estação maregráfica de Guaraú (24°22,8'S e 46°59,2'W) apresentadas na tabela I.1.2-1. Observa-se que as principais componentes para a região são M<sub>2</sub> e S<sub>2</sub>, seguidas da O<sub>1</sub>.

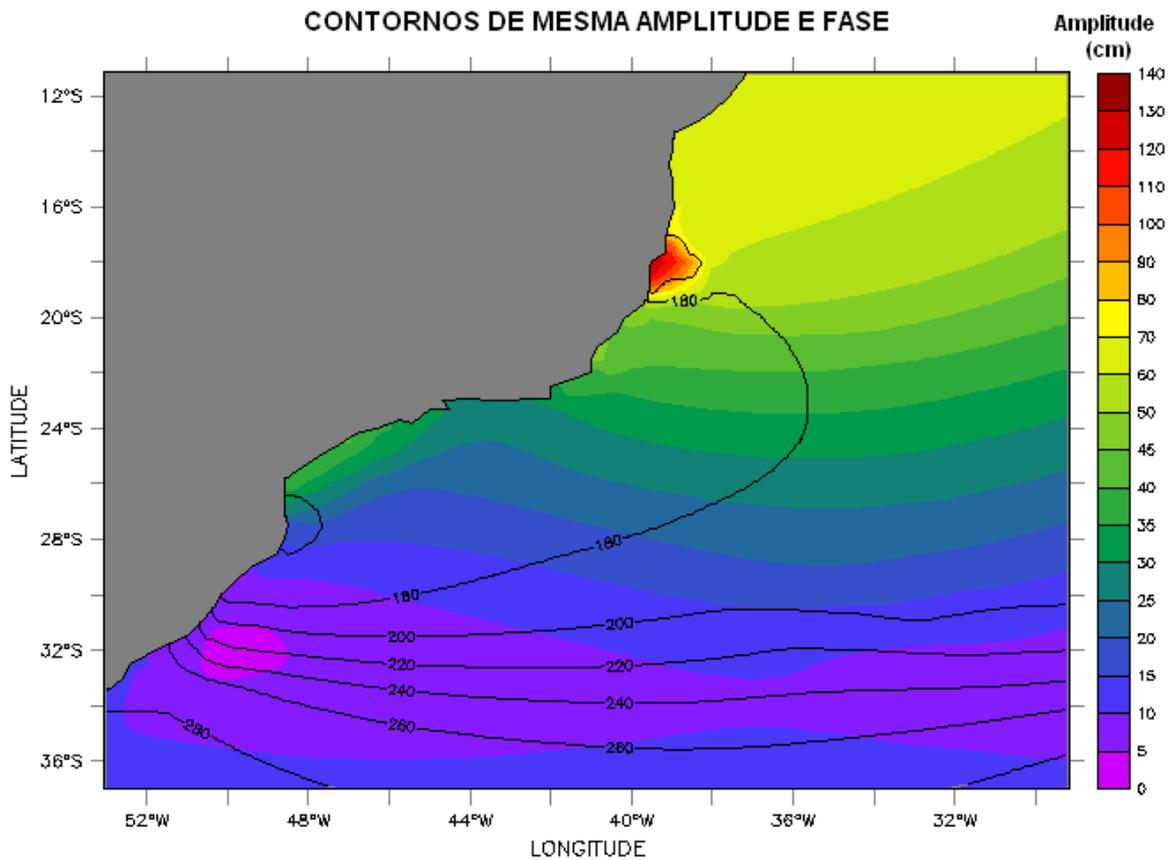
**Tabela I.1.2-1 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para a estação maregráfica de Guaraú (SP). Fonte: FEMAR (2000).**

<b>Nome da Estação :</b> GUARAÚ – SP					
<b>Localização :</b> Proximidades da Barra do Rio Peruibe					
<b>Organ. Responsável :</b> DHN					
<b>Latitude :</b> 24° 22,8' S		<b>Longitude :</b> 46° 59,2' W			
<b>Período Analisado :</b> 14/06/82 a 15/07/82			<b>N° de Componentes :</b> 82		
<b>Análise Harmônica :</b> Método Almirante Santos Fanco					
<b>Classificação :</b> Maré de Desigualdades Diurnas					
<b>Estabelecimento do Porto:</b> (HWF&C)		II H 33 min		<b>Nível Médio</b> (Zo): 80 cm acima do NR.	
<b>Média das Preamares Superiores (MHHW) :</b>		150 cm acima do NR.		<b>Média das Preamares Inferiores (MLHW) :</b> 127 cm acima do NR	
<b>Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :</b>		28 cm acima do NR.		<b>Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) :</b> 15 cm acima do NR.	
<b>CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS</b>					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	-	-	MU <sub>2</sub>	3,2	120
Ssa	-	-	N <sub>2</sub>	5,1	144
Mm	1,9	082	NU <sub>2</sub>	1,0	135
Mf	-	-	M <sub>2</sub>	34,8	078
MTM	8,7	080	L <sub>2</sub>	1,6	031
Msf	4,4	270	T <sub>2</sub>	1,4	082
Q <sub>1</sub>	3,4	061	S <sub>2</sub>	23,6	082
O <sub>1</sub>	12,8	078	K <sub>2</sub>	6,4	083
M <sub>1</sub>	2,3	359	MO <sub>3</sub>	1,8	025
P <sub>1</sub>	2,2	129	M <sub>3</sub>	5,1	195
K <sub>1</sub>	6,5	133	MK <sub>3</sub>	3,0	098
J <sub>1</sub>	1,9	169	MN <sub>4</sub>	1,2	143
OO <sub>1</sub>	0,2	313	M <sub>4</sub>	2,1	196
MNS <sub>2</sub>	1,1	105	SN <sub>4</sub>	0,3	280
2N <sub>2</sub>	0,7	210	MS <sub>4</sub>	0,1	326
<b>Referências de Nível:</b> RN-1 situada em pedra notável na encosta em frente à estação maregráfica.					
<b>Obs:</b> Não há referências a outros períodos					

Código BND0: 50237

<sup>9</sup> Fundação de Estudos do Mar.

A figura I.1.2-5 apresenta o mapa cotidal, com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude de maré para a costa sul-sudeste brasileira (CSR3<sup>10</sup>). Observa-se ser esta uma região de pequena resposta a forçante astronômica da maré; exceção feita ao platô de Abrolhos e região interna da Bacia de Santos, onde há evidente amplificação do sinal de maré.

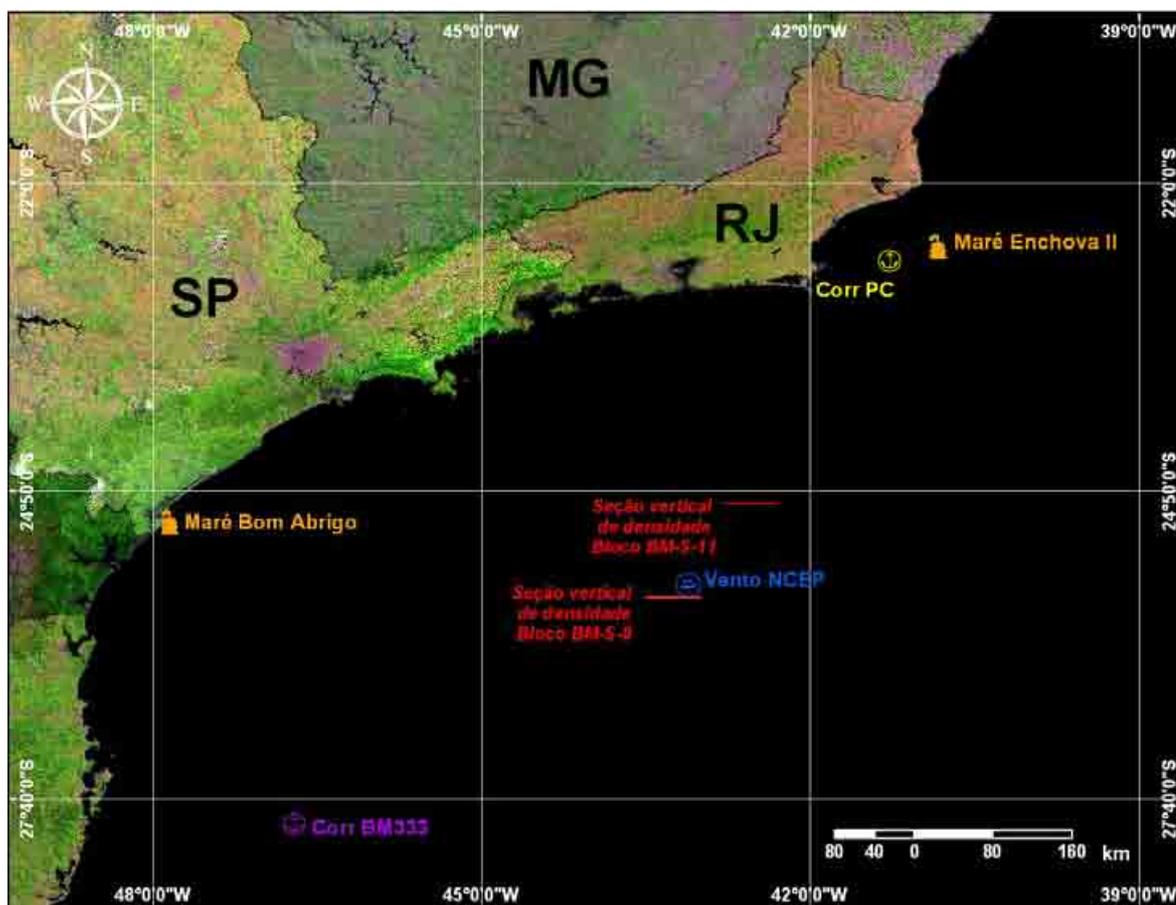


**Figura I.1.2-5 - Mapa cotidal de amplitude (cores) e fase (linhas) para a componente  $M_2$ .**

<sup>10</sup> Center for Space Research da Universidade do Texas ([www.csr.utexas.edu](http://www.csr.utexas.edu)).

## II ANÁLISE DE DADOS

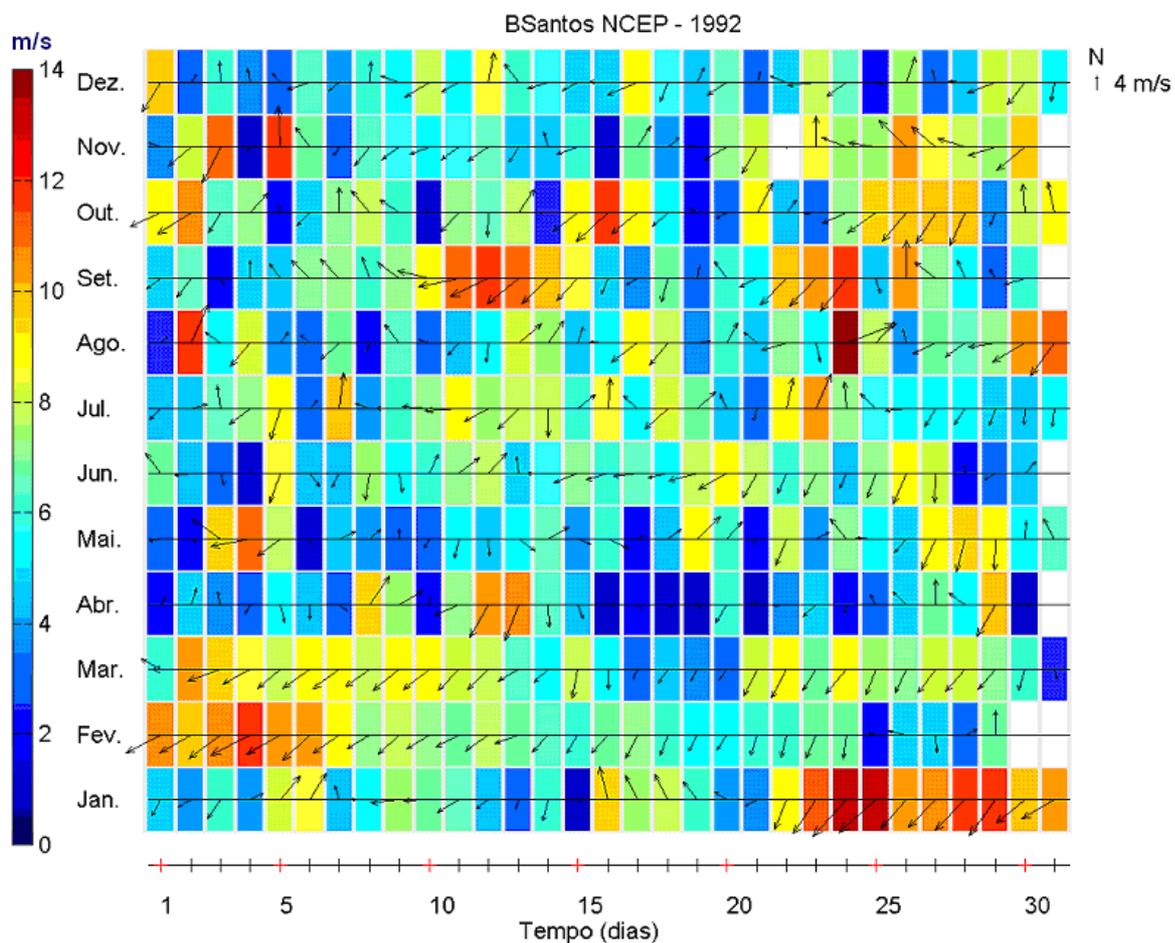
Neste capítulo são apresentadas as análises das informações (dados) pretéritas, meteorológicas e oceanográficas nas imediações da região de estudo. Esta fase teve por objetivo: (1) uma melhor compreensão da dinâmica da área, (2) identificar padrões característicos com o intuito de calibrar/validar o modelo hidrodinâmico, e (3) para aplicação direta na elaboração das simulações de derrame de óleo e descarte de efluentes. A localização dos dados disponíveis para análise é apresentada na figura II-1.



**Figura II-1** - Mapa com a localização das estações de medição de TS, correntes, vento e elevação da superfície do mar.

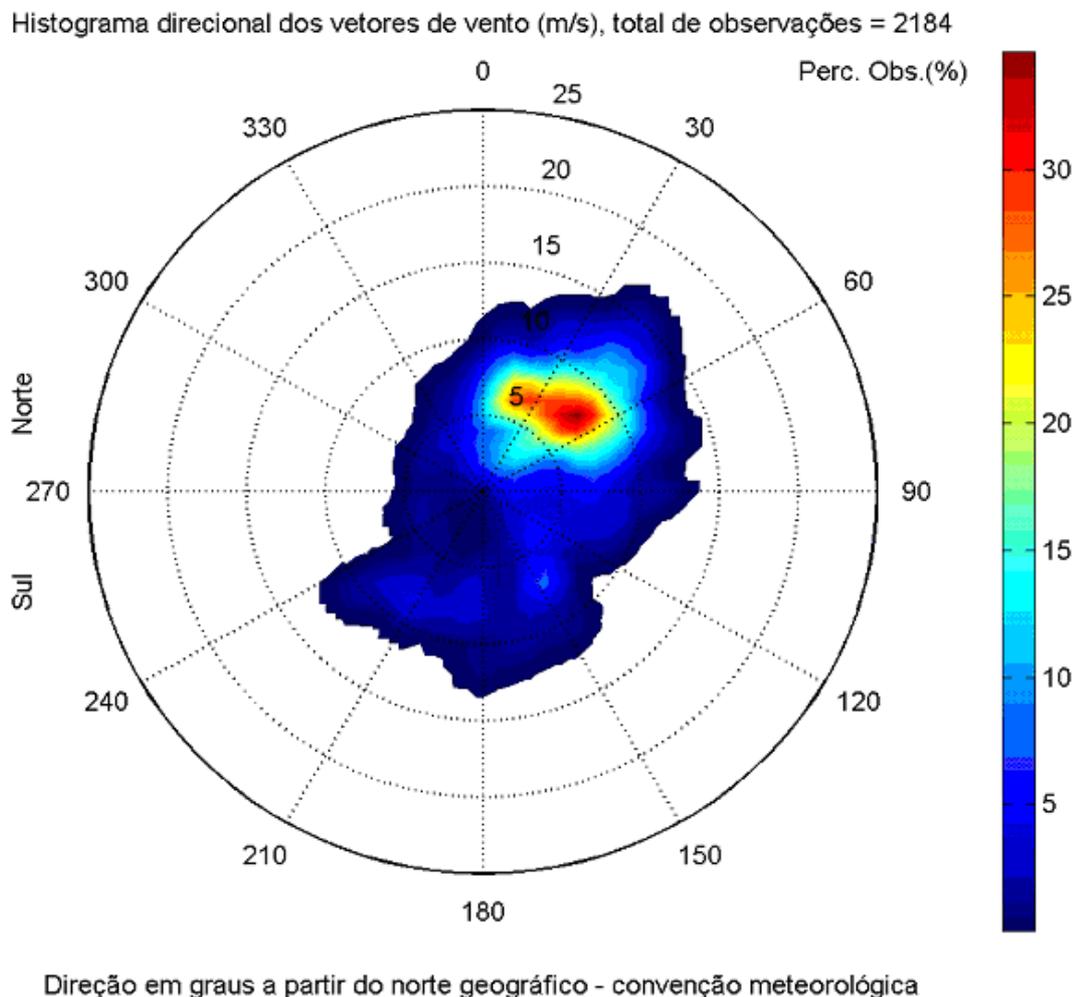
## II.1 VENTOS

Os dados de vento analisados são referentes ao período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992. Abaixo, são apresentadas análises estatísticas dos ventos NCEP/NCAR realizadas pontualmente na Área do Pré-Sal. Para estas análises foi extraída uma série temporal na região referente à posição de latitude 25,7ºS e longitude 43,1ºW. A figura II.1-1 apresenta o diagrama *stick plot* dos valores médios diários desses dados de vento.



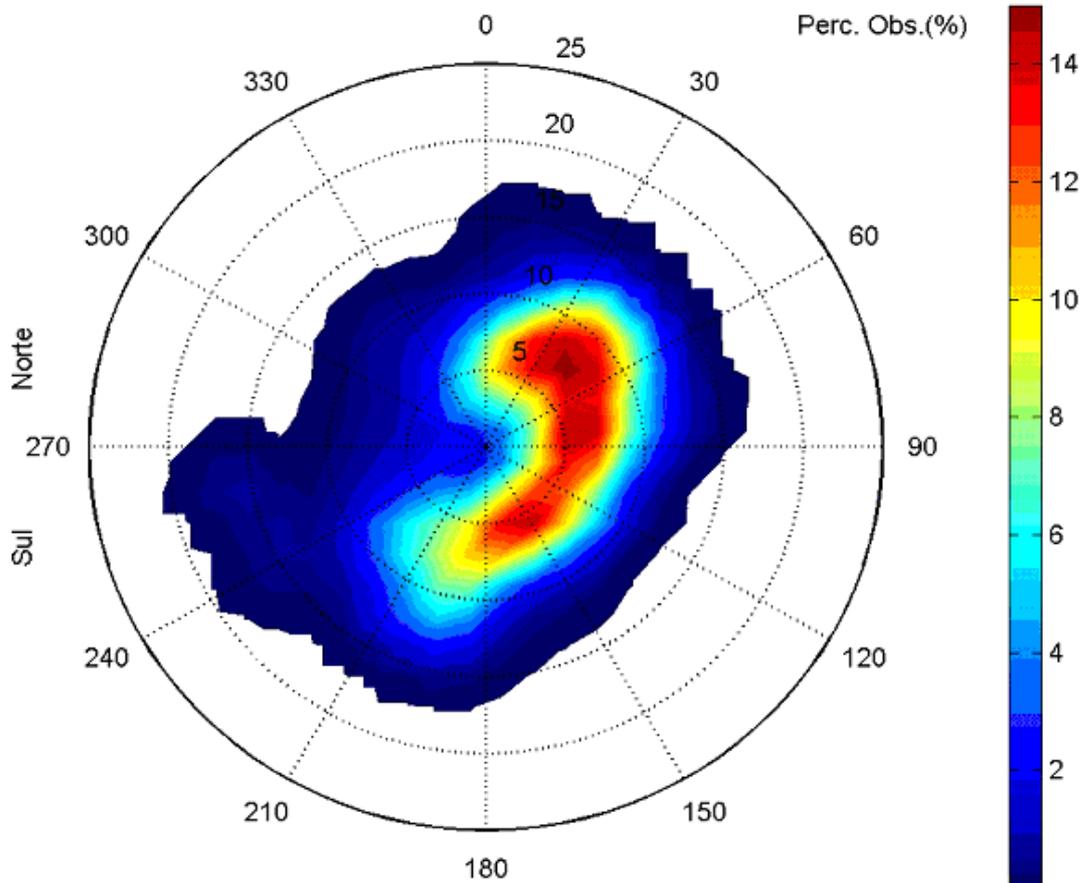
**Figura II.1-1** - Diagrama *stick plot* dos valores médios diários de dados de vento NCEP durante o período de janeiro a dezembro de 1992, na posição 25,7ºS e 43,1ºW.

As figuras II.1-2 e II.1-3 apresentam os histogramas direcionais dos dados de vento NCEP (posição 25,7°S e 43,1°W), para os períodos de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto). A direção apresentada refere-se ao norte geográfico e segue a convenção meteorológica. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vento (em m/s) e a escala de cores representa a porcentagem de incidência (Perc. Obs.). Observa-se que, durante o período de verão, os ventos mais frequentes são provenientes de nordeste; e no inverno existe um aumento de ocorrências de ventos oriundos de leste e sul.



**Figura II.1-2** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para janeiro a março de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).

Histograma direcional dos vetores de vento (m/s), total de observações = 2208



Direção em graus a partir do norte geográfico - convenção meteorológica

**Figura II.1-3** - Histograma direcional dos vetores de vento NCEP para junho a agosto de 1992, Bacia de Santos. Os círculos concêntricos indicam a intensidade do vetor de vento (m/s), enquanto que a barra de cores (lateral) indica a porcentagem de incidência (convenção meteorológica).

A tabela II.1-1 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de verão. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (34,2%) e NNE (19,6%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de NE (8,2 m/s) e ENE (8,1 m/s); e os ventos mais fortes registrados foram provenientes de NE (13,9 m/s) e NNE (12,3 m/s). Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 12,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.1-1 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7°S e 43,1°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de verão.**

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

Vel oc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Di r. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 2,0	5	8	14	5	6	2	1	0	0	4	6	1	0	6	3	7	68	3,1	33
2,0- 4,0	23	33	41	16	12	10	16	1	0	2	1	1	4	2	3	11	176	8,1	43
4,0- 6,0	57	76	78	23	16	15	23	4	10	3	7	3	0	2	7	12	336	15,4	39
6,0- 8,0	54	187	214	106	39	12	31	26	15	10	8	0	0	0	0	4	706	32,3	49
8,0-10,0	25	85	215	132	20	12	6	9	13	19	22	0	0	0	0	0	558	25,5	54
10,0-12,0	3	26	102	65	14	0	1	8	6	3	3	0	0	0	0	0	231	10,6	55
12,0-14,0	0	10	79	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96	4,4	46
Total	167	425	743	354	107	51	78	48	44	41	47	5	4	10	13	34	2171		
Porc.	7,7	19,6	34,2	16,3	4,9	2,3	3,6	2,2	2,0	1,9	2,2	0,2	0,2	0,5	0,6	1,6			
Vel. méd.	6,0	6,9	8,2	8,1	6,7	5,8	5,6	7,9	7,6	7,1	6,8	3,6	3,8	2,1	3,3	3,8			
Vel. máx.	10,4	12,3	13,9	12,5	11,4	9,0	10,3	10,7	11,9	10,0	10,4	4,5	3,9	4,1	4,6	6,7			
Perct. (0,9)	8,0	8,0	12,0	10,0	10,0	8,0	6,0	10,0	10,0	8,0	8,0	4,0	2,0	4,0	4,0	6,0			

A tabela II.1-2 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento NCEP para o período de inverno. Observa-se que os ventos mais frequentes são provenientes das direções NE (15,0%) e ENE (11,1%). Os ventos com velocidades médias máximas vieram de W (8,9 m/s) e NE (8,7 m/s); e os ventos mais fortes registrados (15,9 e 15,7 m/s) foram provenientes de WSW e W. Do total de registros dos ventos, 90% têm intensidades iguais ou inferiores a 14,0 m/s, como indicam os percentis apresentados na tabela.

**Tabela II.1-2 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento NCEP (25,7°S e 43,1°W) para o ano de 1992, na Bacia de Santos, no período de inverno.**

Obs.: a direção é medida em graus a partir do Norte geográfico, convenção meteorológica.

Vel oc. (m/s)	D I R E Ç Ã O																Tot.	Perc.	Di r. Méd.
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW			
0,0- 2,0	1	4	0	1	3	1	0	0	1	1	4	1	2	3	0	3	25	1,1	300
2,0- 4,0	15	11	9	17	15	22	17	9	8	1	11	8	2	4	13	15	177	8,0	72
4,0- 6,0	41	45	28	44	63	35	63	79	46	31	21	4	6	2	5	12	525	23,8	113
6,0- 8,0	43	83	90	84	90	45	53	48	75	46	24	5	3	3	2	13	707	32,0	91
8,0-10,0	10	65	97	50	35	21	12	4	53	27	43	8	1	2	9	4	441	20,0	73
10,0-12,0	5	15	86	41	14	0	0	2	15	38	9	2	1	0	0	0	228	10,3	68
12,0-14,0	2	14	21	8	0	0	0	0	17	16	6	2	0	0	0	0	86	3,9	106
14,0-16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	16	0,7	254
Total	117	237	331	245	220	124	145	142	215	160	118	38	23	14	29	47	2205		
Porc.	5,3	10,7	15,0	11,1	10,0	5,6	6,6	6,4	9,8	7,3	5,4	1,7	1,0	0,6	1,3	2,1			
Vel. méd.	6,1	7,5	8,7	7,6	6,6	5,9	5,8	5,7	7,6	8,4	7,4	8,4	8,9	4,7	5,5	5,0			
Vel. máx.	13,4	13,7	12,9	12,7	11,5	8,5	9,2	10,6	13,4	13,4	13,4	15,9	15,7	9,2	9,2	9,3			
Perct. (0,9)	8,0	10,0	10,0	10,0	8,0	8,0	6,0	6,0	10,0	11,0	10,0	14,0	14,0	8,0	8,0	6,0			

## II.2 CORRENTES

As informações de correntes apresentadas a seguir foram obtidas junto a PETROBRAS e ao Banco de Dados do WOCE<sup>11</sup>. A localização, profundidade e período de coleta são apresentados na tabela II.2-1. A disposição espacial dos pontos de coleta de dados de corrente é apresentada na figura II-1.

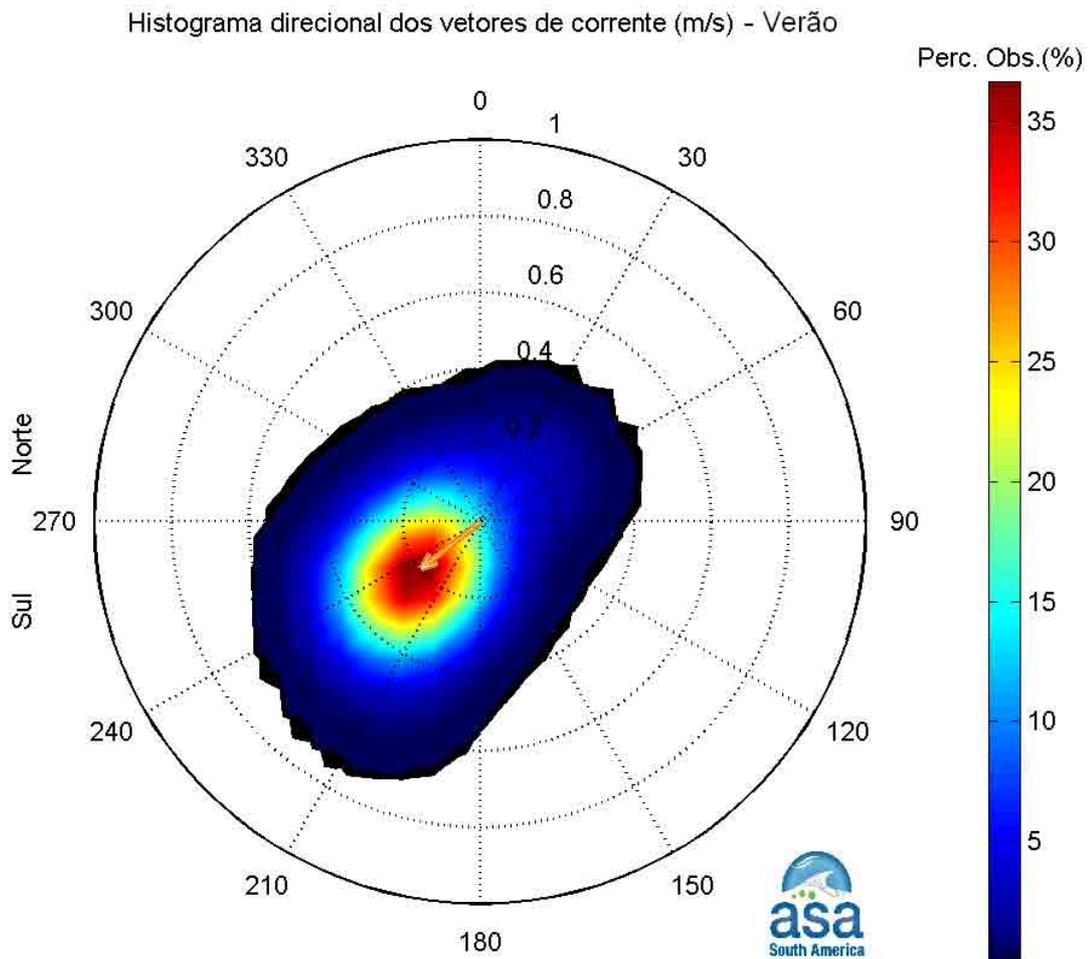
**Tabela II.2-1 - Localização e período de coleta dos dados de corrente.**

DADO	LATITUDE / LONGITUDE	PROFUNDIDADE (m)	PERÍODO
PETROBRAS - PC	22,7167°S / 41,2667°W	15	03/fev/92 a 31/dez/92
WOCE ACM12/BM333	27,9020°S / 46,7040°W	230	03/jan/91 a 26/nov/92

A figura II.2-1 e figura II.2-2 apresentam os histogramas direcionais dos vetores de corrente para os períodos de verão e inverno no Ponto PC (profundidade local de cerca de 60 m). Considerando-se o período de cobertura dos dados para este ponto, o período de verão contempla somente os meses de fevereiro e março, enquanto que, o período de inverno, os meses de junho a agosto.

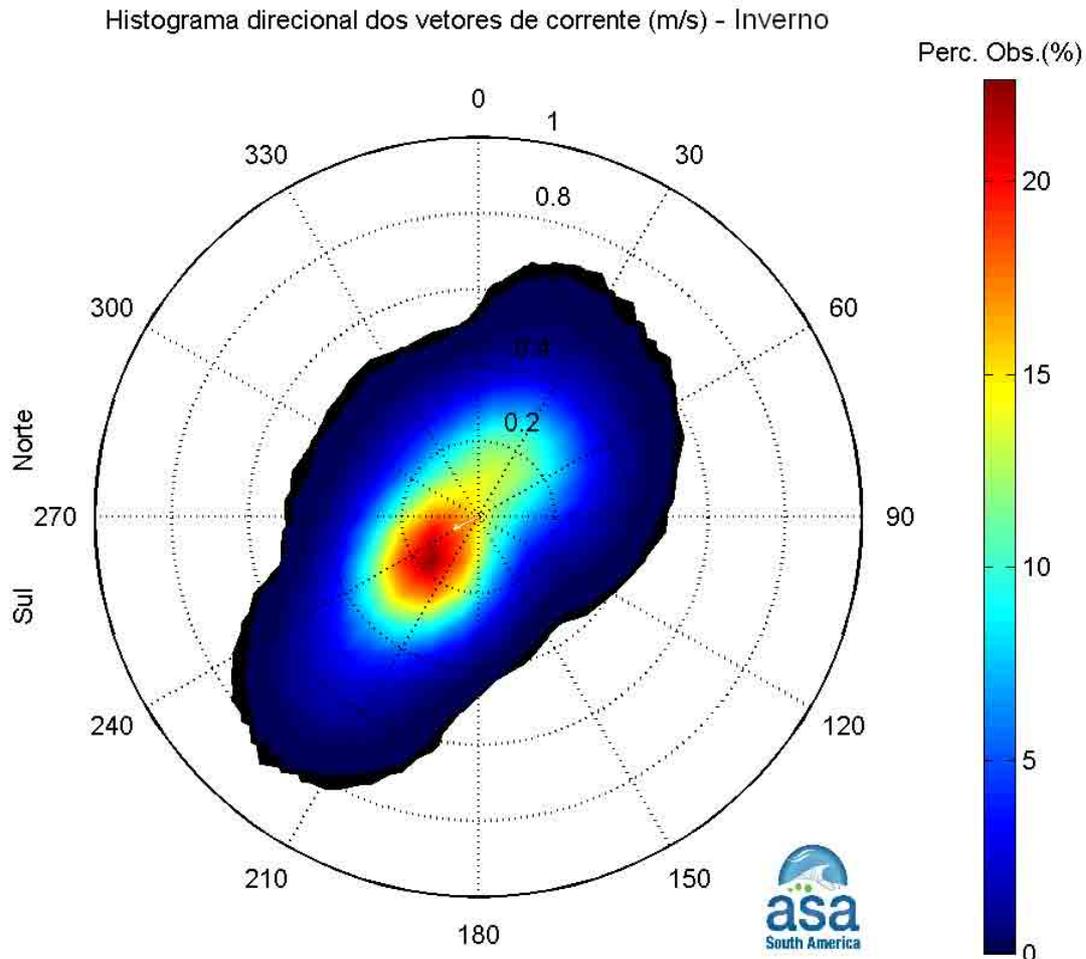
Nestes histogramas direcionais, a intensidade das correntes (em m/s) é informada pelos círculos concêntricos, a direção é informada em graus (a partir do norte geográfico) e a barra lateral de cores apresenta o percentual de ocorrência em relação ao total de observações. O intervalo de amostragem dos dados utilizados é de uma hora e o vetor no centro do histograma mostra a intensidade, a direção e o sentido da velocidade média obtida a partir dos respectivos dados.

<sup>11</sup> World Ocean Circulation Experiment.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.18 m/s

**Figura II.2-1** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de fevereiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.14 m/s

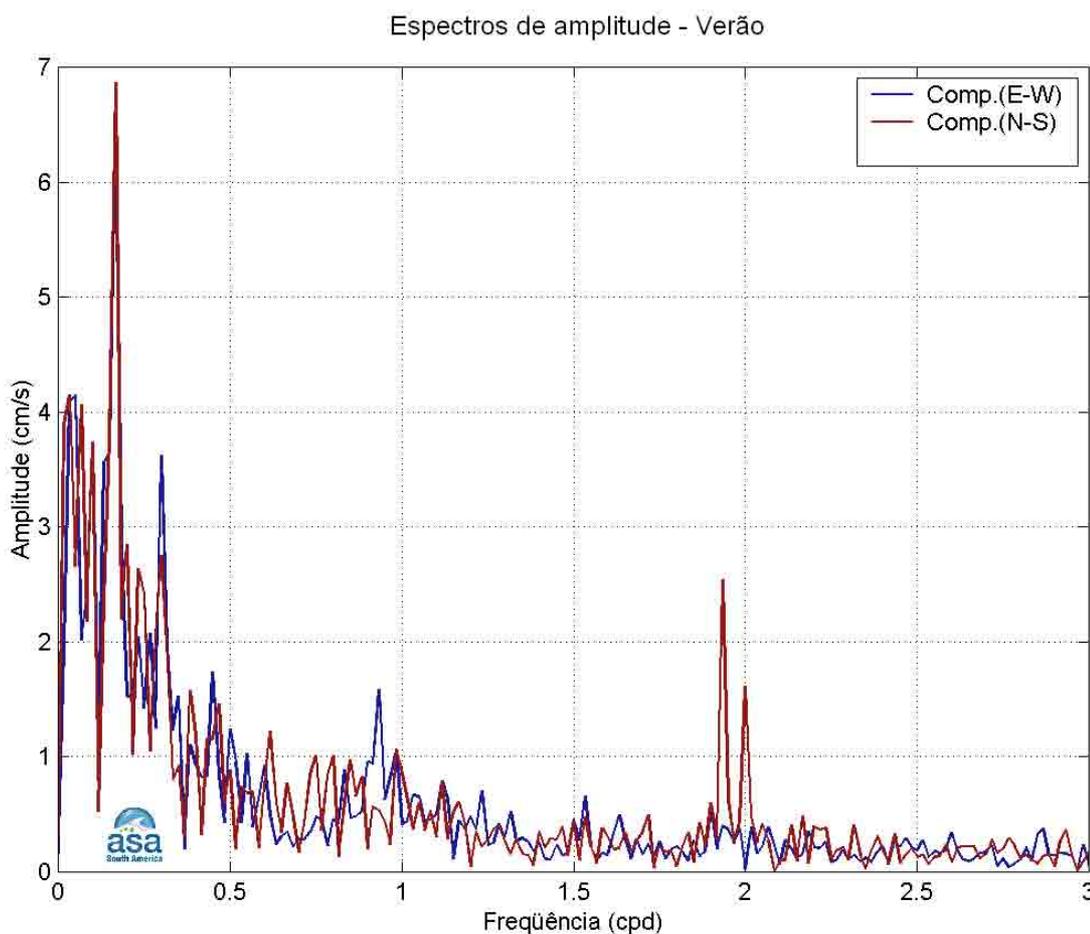
**Figura II.2-2** - Histograma direcional dos vetores de corrente no Ponto PC (PETROBRAS). Dados de corrente coletados a 15 m de profundidade, na região da Bacia de Campos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 1h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.

A observação conjunta desses dois histogramas direcionais permite notar a direção preferencial do fluxo (em torno de 240°), de onde se pode inferir a presença da Corrente do Brasil (CB) na região. Outro ponto a se destacar é que, se por um lado, as correntes durante o verão apresentam um fluxo médio coincidente com as correntes mais frequentes, por outro, durante o inverno, o fluxo médio é menos intenso do que as correntes mais frequentes. Isto se deve, principalmente, a incidência de sistemas frontais (frentes frias) na região. Ao

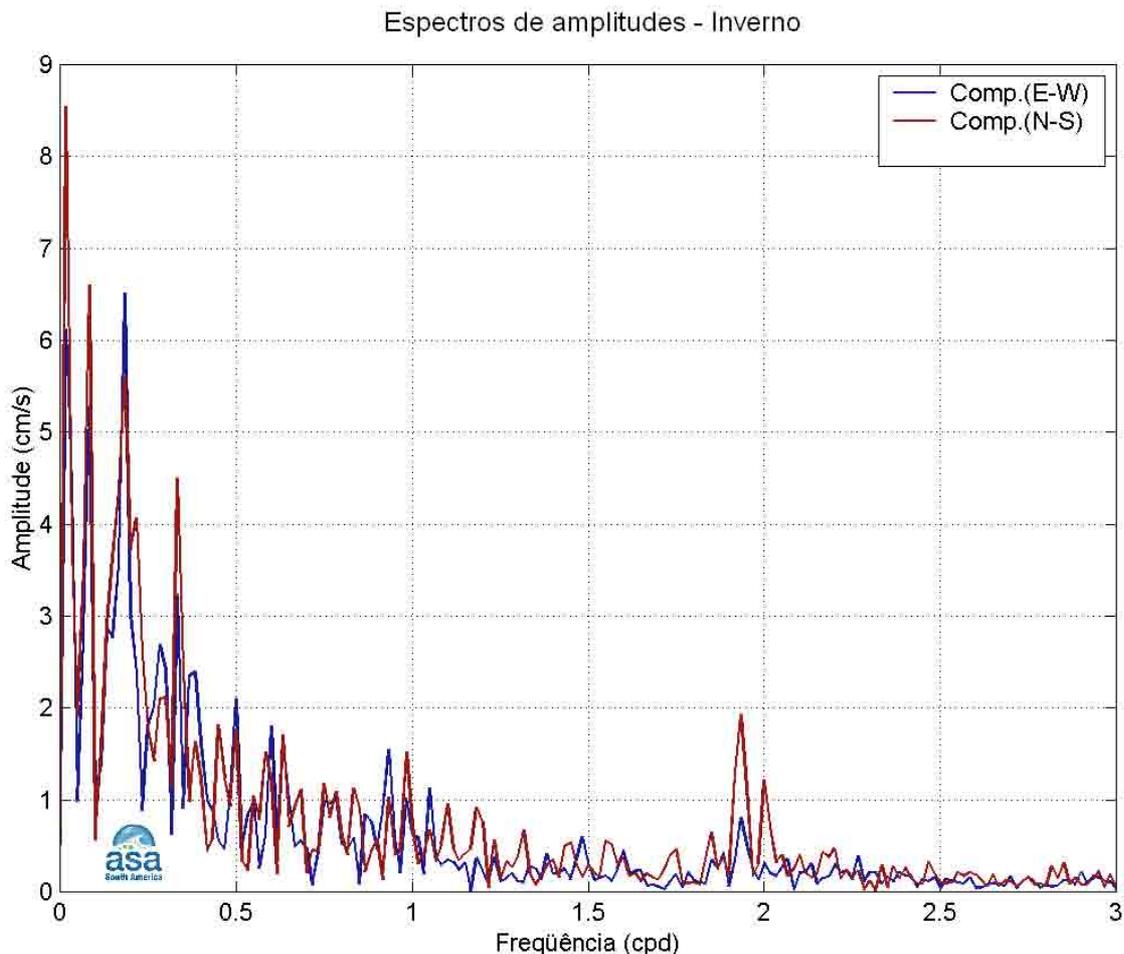
longo do Capítulo I, no Item I.1 (Características Meteorológicas da Região), demonstrou-se estatisticamente que o ano de 1992 foi atípico com relação a incidência de frentes frias na região.

Dentro deste contexto, as análises que seguem evidenciam tanto as influências periódicas como as não periódicas nas correntes na região do Ponto PC. Assim, as figuras II.2-3 e II.2-4 apresentam os espectros de amplitude das correntes para os dados no Ponto PC, para o verão e inverno, respectivamente.

A observação dos espectros de amplitudes para os ambos os períodos (verão e inverno) mostra, na faixa de baixa frequência, um maior nível energético no inverno do que no verão. Nota-se ainda a influência de oscilação de maré (2 cpd) para ambos os períodos, sendo que, durante o verão apresenta uma maior influência relativa na circulação do que durante o inverno.



**Figura II.2-3** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o verão de 1992 (meses de fevereiro e março).



**Figura II.2-4** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente no Ponto PC (PETROBRAS), coletada a 15 m de profundidade, para o inverno de 1992 (meses de fevereiro e março).

Enfim, a análise dos dados de corrente do Ponto PC mostra que a circulação naquela região é predominada pela CB, com moderada influência de maré (semi-diurna), sendo este padrão alterado por passagens de sistemas frontais (frentes frias) durante o inverno.

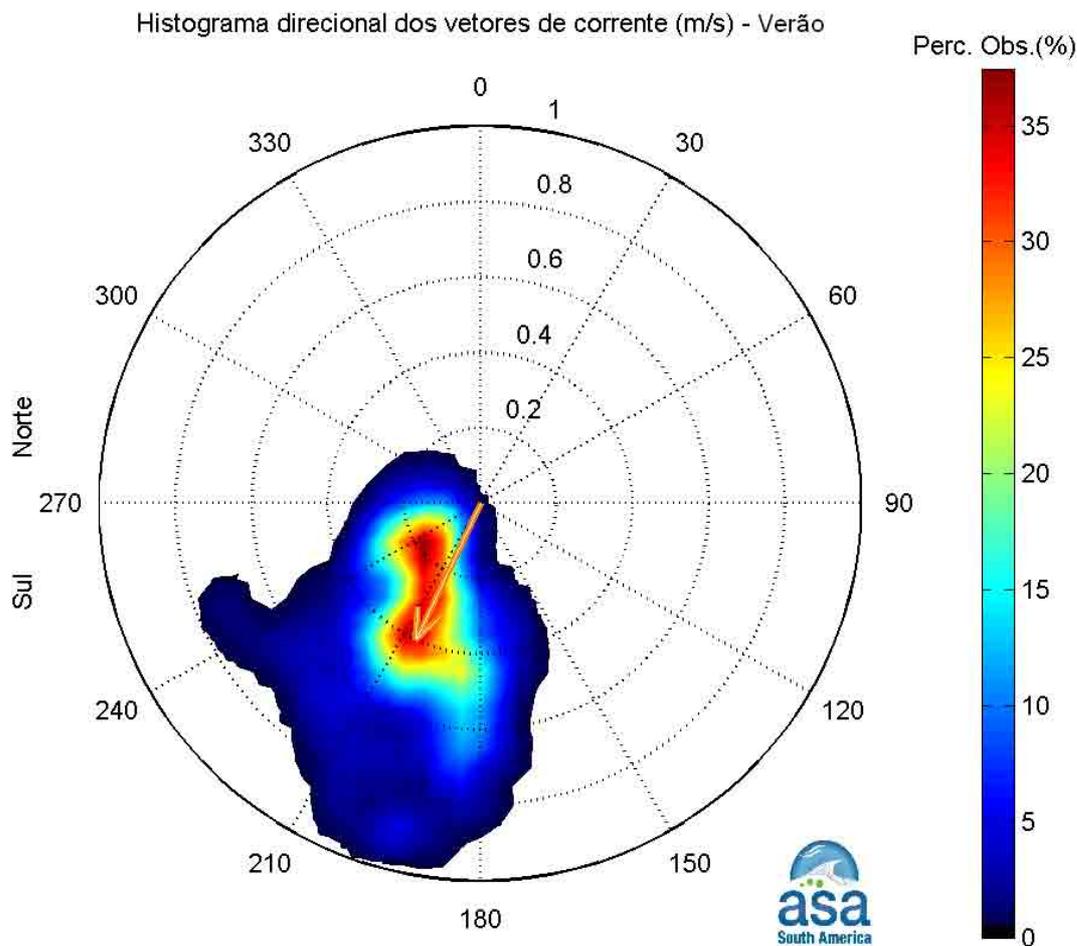
Dando sequência a análise de dados de correntes, os dados analisados a seguir foram obtidos junto ao Banco de Dados do WOCE. A localização geográfica e período de coleta são apresentados na tabela II.2-1. Nesta posição (região de talude, com lâmina d'água igual a 1.179 m) foram coletados dados em três profundidades: 230, 475 e 680 m. Porém, a análise que segue refere-se aos dados coletados na profundidade de 230m.

De maneira análoga às análises realizadas para os dados relativos ao Ponto PC, as análises dos dados do WOCE (ponto BM333, figura II-1) também são separadas em dois períodos: verão e inverno (ano 1992).

A figura II.2.-5 apresenta o histograma direcional para o período de verão (de janeiro a março de 1992) e a figura II.2-6, o análogo para o período de inverno (de junho a agosto de 1992). Neste ponto cabe lembrar que, embora em região não afastada da costa e de pouca profundidade, as análises dos dados de correntes, relativas ao Ponto PC, mostraram a presença da CB. Assim, chama-se atenção para os vetores velocidade média obtidos para o ponto BM333. Estes vetores (em cor laranja nos histogramas direcionais de correntes) apresentam valores característicos da CB na região, tanto para verão quanto para inverno.

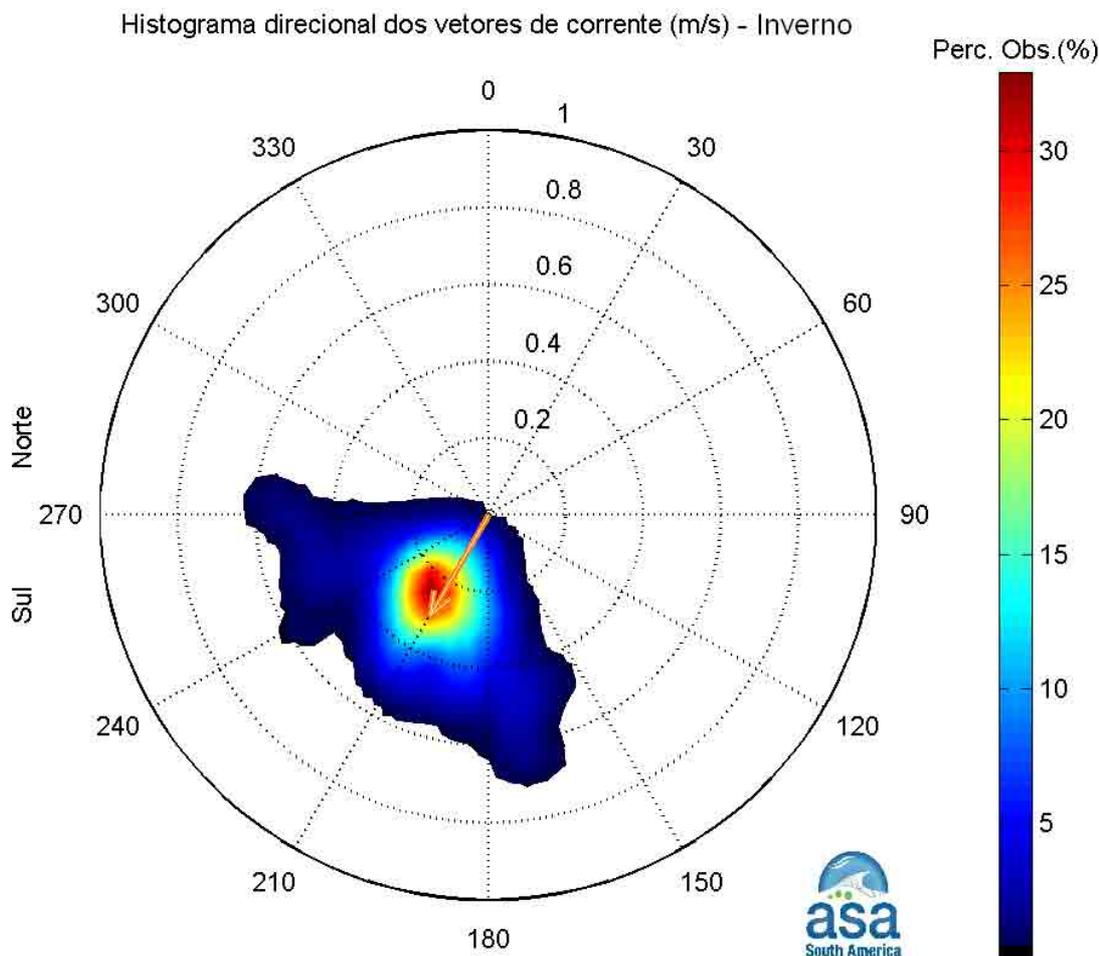
Porém, deve-se notar que, devido à incidência de sistemas frontais na região (frentes frias), o histograma direcional para o período de inverno apresenta uma dispersão maior dos vetores de correntes, assim como uma redução na intensidade do vetor velocidade média. As frentes frias tem direção de propagação oposta ao fluxo médio na região (aumentando a dispersão) e, portanto, tendem a frear tais fluxos (redução da intensidade média).

A figura II.2-7 apresenta o espectro de amplitude das correntes para os dados do fundeio AMC12/BM333 para o período de verão, e a figura II.2-8, o espectro de amplitudes das correntes para o período de inverno para o mesmo ponto de coleta. A análise de ambos os espectros de amplitudes mostra que as variações da corrente são inferiores a 15 cm/s, com uma leve influência das oscilações de maré (1 e 2 cpd), e maiores intensidades na baixa frequência.



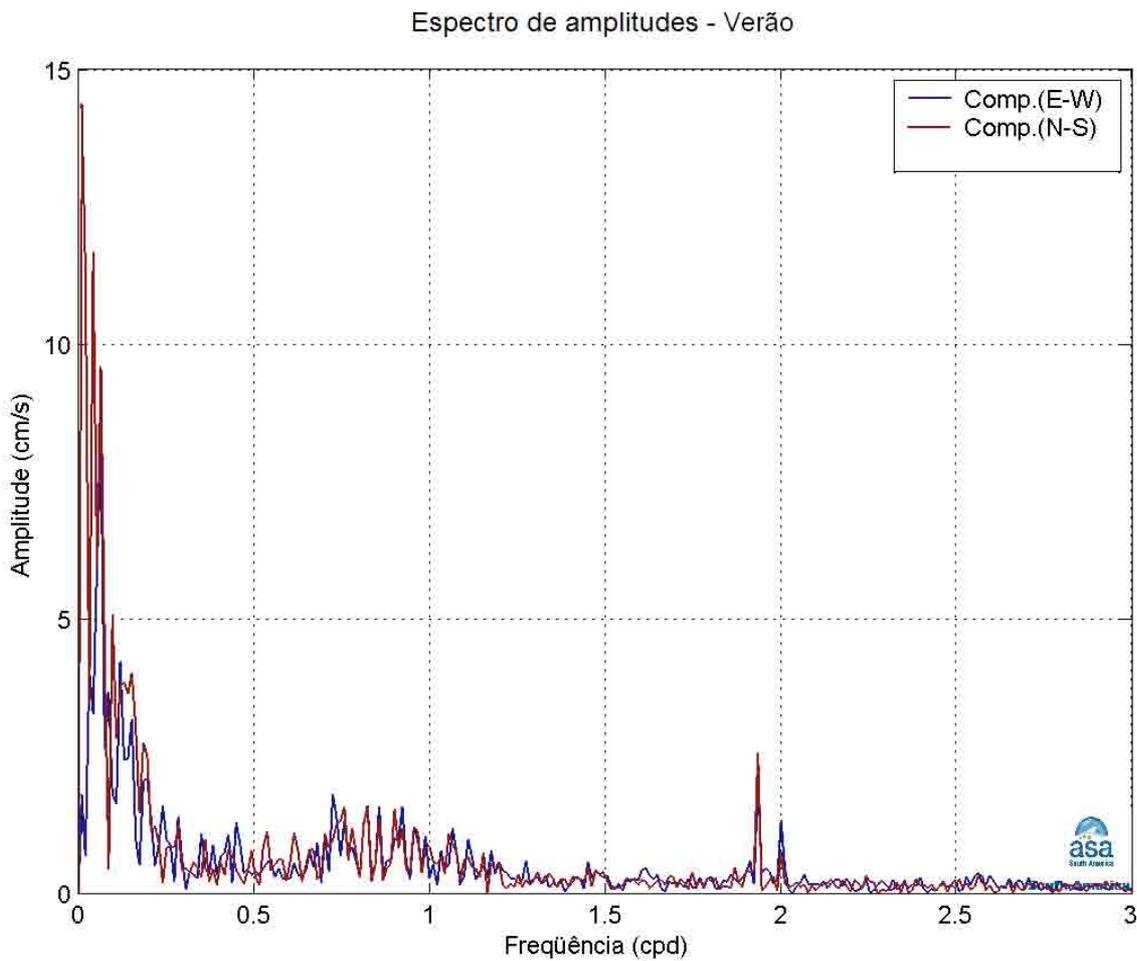
Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.4 m/s

**Figura II.2-5** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de janeiro a março de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.

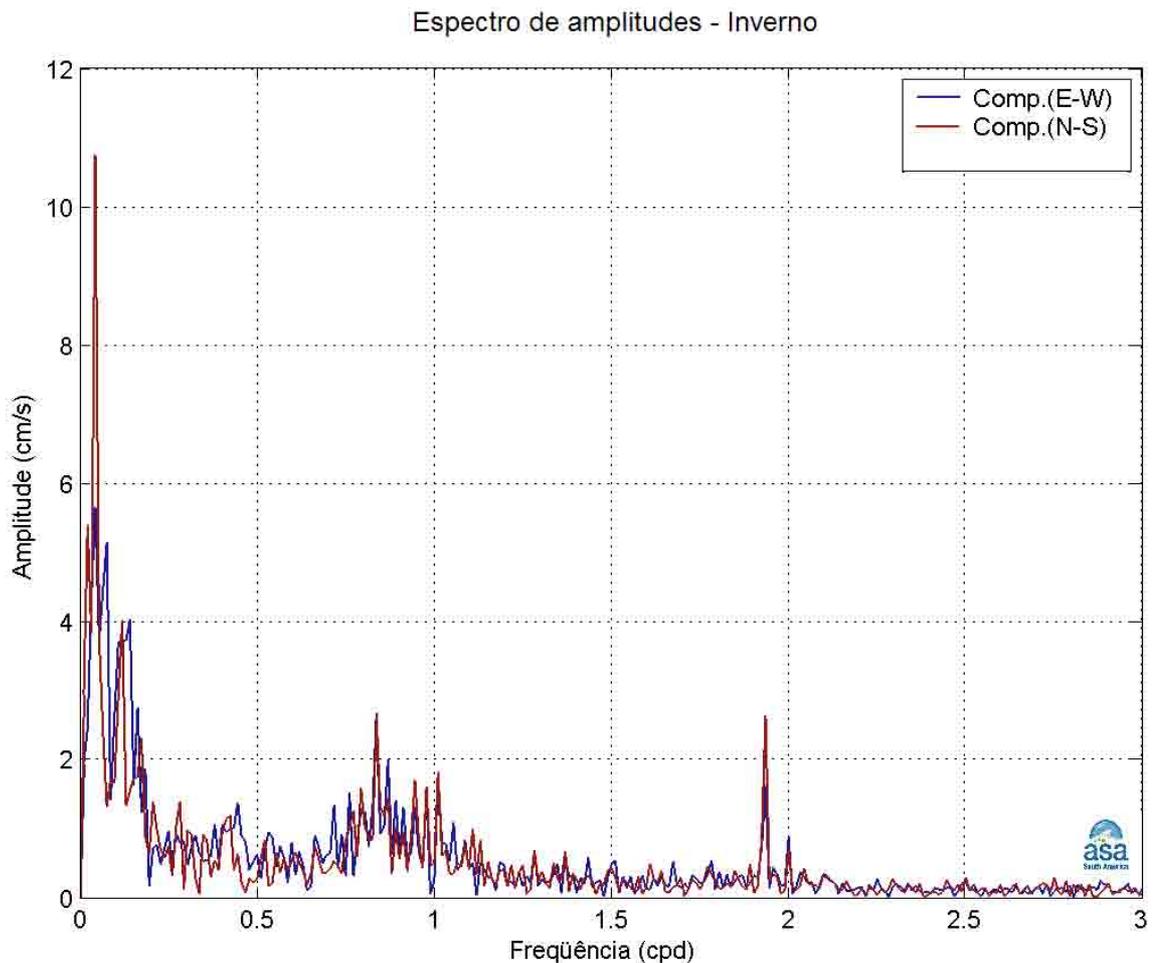


Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.3 m/s

**Figura II.2-6** - Histograma direcional dos vetores de corrente no ponto BM333 (WOCE). Dados de corrente coletados a 230 m de profundidade, na região da Bacia de Santos, para o período de junho a agosto de 1992. Intervalo de amostragem: 2h. Intensidade das correntes (m/s) indicadas pelos círculos concêntricos, direção (graus) a partir do norte geográfico e, a barra lateral de cores informa o percentual de ocorrência relativa ao número total de observações.



**Figura II.2-7** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medida a 230 m de profundidade. Verão de 1992, intervalo de amostragem: 2h.



**Figura II.2-8** - Espectro de amplitudes (cm/s) da corrente registrada no fundeio BM/333 do experimento ACM12 do WOCE, medido a 230 m de profundidade. Inverno de 1992, intervalo de amostragem: 2h.

Em suma, através das análises os dados do ponto BM333 (programa WOCE, experimento ACM12) situado na região do talude (profundidade local de cerca de 1.200 m), pode-se evidenciar a presença da CB na região. Também foi possível observar sinais associados às marés diurnas e semidiurnas (1 e 2 cpd), assim como variações de baixa frequência. Embora, muito presentes na região e em especial no ano de 1992 (já descrito como atípico quanto a atividade das frentes frias), a incursão de frentes frias não foi capaz de promover a reversão do sentido de propagação das correntes na região. Este fato se deve, primordialmente, ao predomínio (energético) da CB, dominando a direção e o sentido da corrente.

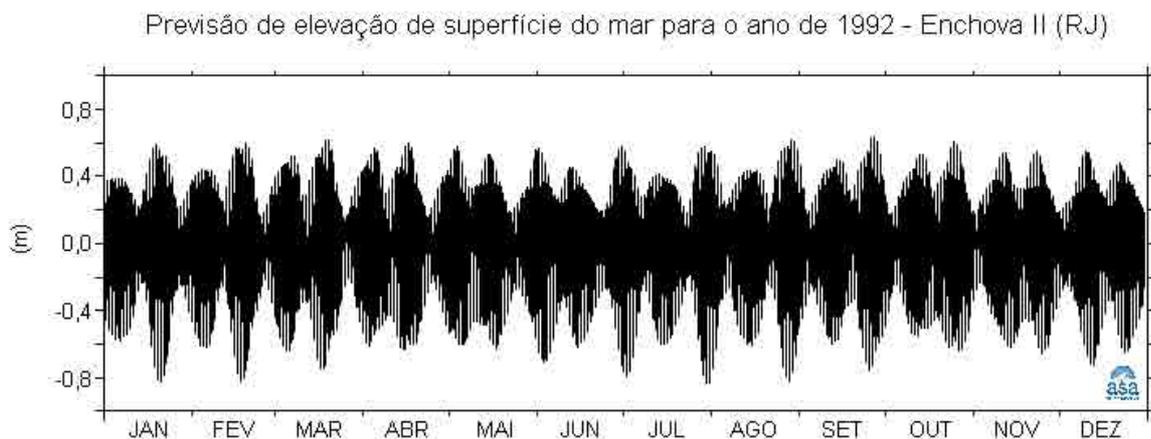
Por fim, as análises dos dados de correntes (Ponto PC e BM333) indicam que a circulação oceânica na região sul-sudeste brasileira é determinada por forçantes variadas, que se sobrepõem de modo diferenciado, segundo uma composição de maré, de frentes frias e da Corrente do Brasil (CB).

### II.3 ELEVAÇÃO DA SUPERFÍCIE DO MAR

Como não há dados de elevação de superfície do mar (coletados) disponíveis para análise na região de interesse, foram realizadas previsões harmônicas de maré para duas posições, através do Método de Schuremann (Schuremann, 1941), a partir das constantes de maré disponibilizada pela FEMAR.

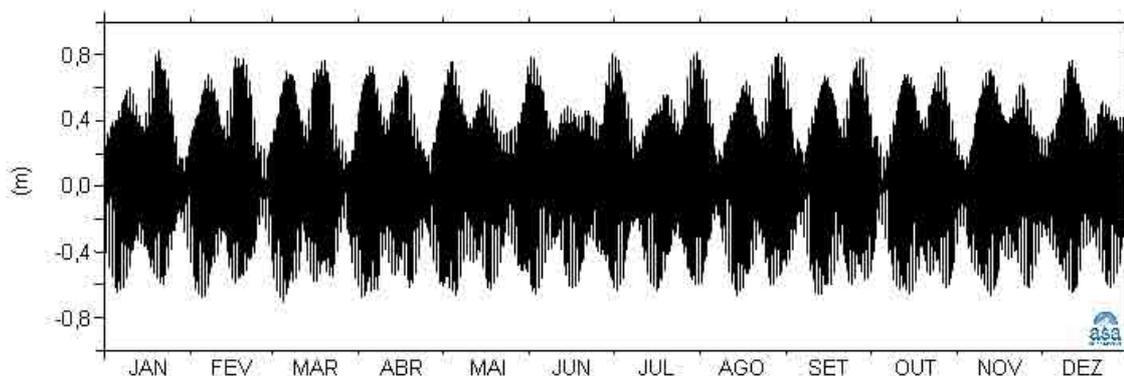
A escolha dessas posições obedeceu à disposição geográfica das estações maregráficas disponíveis pelas FEMAR na região, e a distribuição dessas no domínio de interesse. Dentro desses critérios, as estações maregráficas escolhidas para apresentar as respectivas previsões para elevação de superfície do mar foram Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP) (figura II-1).

As séries temporais da previsão da elevação de superfície do mar são mostradas nas figuras II.3-1 e II.3-2 para as estações maregráficas de Enchova II e Bom Abrigo, respectivamente.



**Figura II.3-1** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Enchova II (RJ). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR

Previsão de elevação de superfície do mar para o ano de 1992 - Bom Abrigo (SP)



**Figura II.3-2** - Previsão harmônica de maré para o período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992, na estação Bom Abrigo (SP). Previsão harmônica realizada pelo método de Schuremann (1941), a partir das constantes harmônicas disponibilizadas pela FEMAR.

A maré astronômica na região é predominantemente semidiurna. As principais componentes para a região são  $M_2$  e  $S_2$ , sendo a amplitude da  $M_2$  igual a 32,4 cm para ambas as posições e a amplitude da  $S_2$  igual 16,2 cm para Enchova II e 18,0 cm para Bom Abrigo. Quanto as componentes diurnas, a principal componente harmônica para ambas as estações maregráficas é a  $O_1$ , com amplitude da ordem de 10 cm. A tabela II.3-1 apresenta ainda os níveis de: Média das Preamares de Sizígia (MPS), Média das Baixa-mares de Sizígia (MBS), Média das Preamares de Quadratura (MPQ) e Média das Baixa-mares de Quadratura (MBQ).

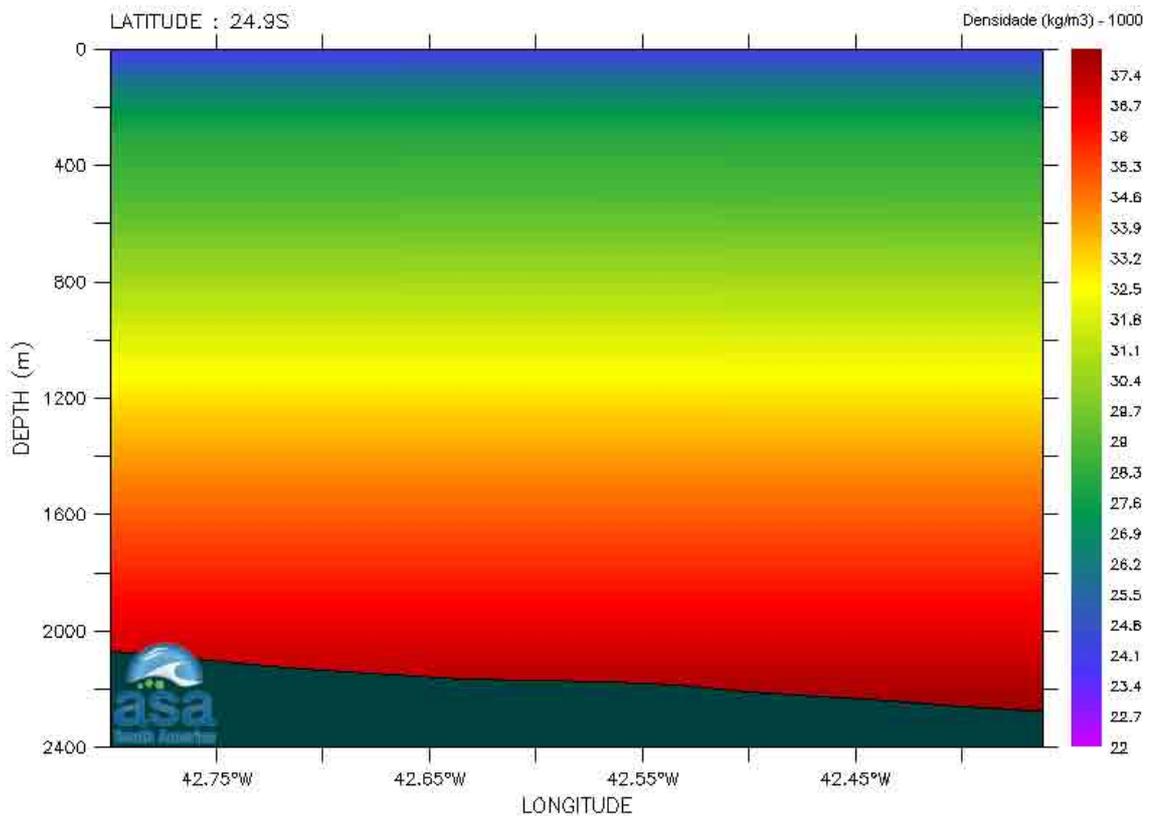
**Tabela II.3-1 - Amplitude (cm) e fase local (°) das principais componentes harmônicas para as estações maregráficas de Enchova II (RJ) e Bom Abrigo (SP).**  
Fonte: FEMAR (2000).

COMPONENTE	ENCHOVA II		BOM ABRIGO	
	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)	AMPLITUDE (cm)	FASE (°)
Q <sub>1</sub>	5,4	75,0	3,4	38,0
O <sub>1</sub>	11,3	75,0	10,6	73,0
P <sub>1</sub>	2,0	139,0	1,8	131,0
K <sub>1</sub>	6,2	144,0	5,5	131,0
2N <sub>2</sub>	0,8	83,0	1,5	161,0
N <sub>2</sub>	6,2	83,0	11,3	108,0
NU <sub>2</sub>	1,2	83,0	2,2	108,0
M <sub>2</sub>	32,4	83,0	32,4	55,0
T <sub>2</sub>	1,0	88,0	1,1	71,0
S <sub>2</sub>	16,2	88,0	18,0	71,0
K <sub>2</sub>	4,4	88,0	4,9	71,0
M <sub>4</sub>	3,5	347,0	7,4	128,0
MS <sub>4</sub>	2,8	65,0	7,1	210,0
MPS (cm)	122,0		126,0	
MBS (cm)	30,0		27,0	
MPQ (cm)	111,0		112,0	
MBQ (cm)	8,0		10,0	
Nível médio (cm)	68,0		69,0	

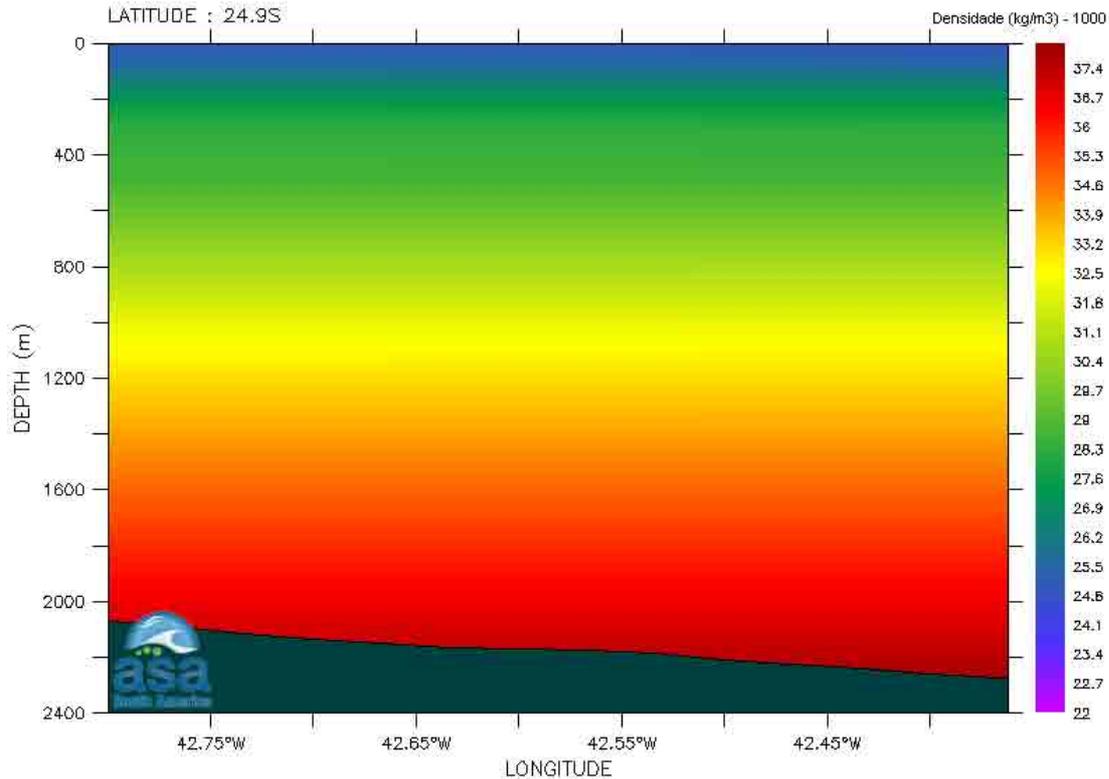
## II.4 TEMPERATURA E SALINIDADE

Dados de temperatura e salinidade, utilizados na modelagem de dispersão de efluentes, foram obtidos do Atlas Eletrônico de dados do WOCE. As figuras II.4-1 e II.4-2 apresentam as seções verticais do campo de densidade médio calculado com base nestes dados, ao longo de 24,9°S (Bloco BM-S-11), com cerca de 200 km de extensão, para os períodos de verão (janeiro a março) e de inverno (junho a agosto), respectivamente. De maneira análoga, as figuras II.4-3 a II.4-4 apresentam os campos médios calculados para os períodos de verão e de inverno, ao longo de 25,8°S (Bloco BM-S-9).

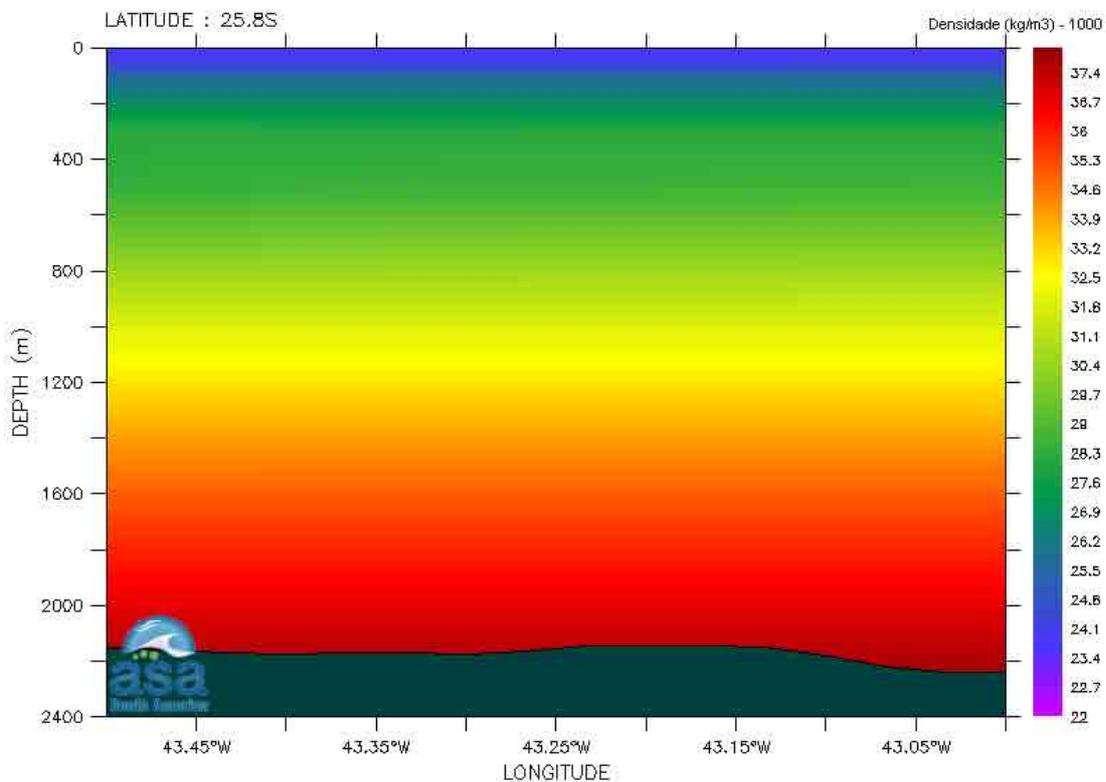
Os perfis verticais disponíveis no atlas foram obtidos através do *WOCE Hydrographic Program* (via CTD e amostras de água) e complementados com informações de temperatura de superfície obtidas via satélite (NOAA-n AVHRR). Estes dados foram analisados, filtrados e interpolados no espaço, excluindo estações consideradas pouco confiáveis e valores que estivessem fora do intervalo de confiança (estabelecido com base na climatologia do LEVITUS).



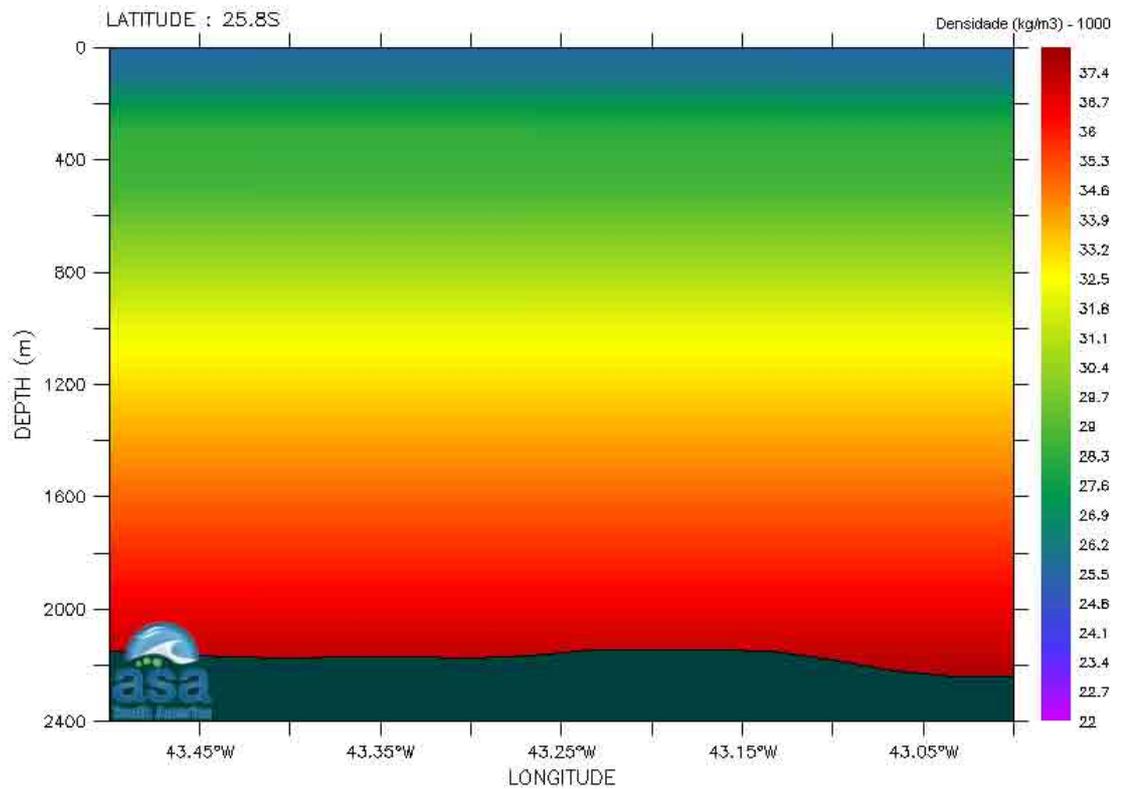
**Figura II.4-1** - Seção vertical de densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) ao longo de 24,9°S para o período de janeiro a março (verão), Área do Pré-Sal.



**Figura II.4-2** - Seção vertical de densidade (kg/m<sup>3</sup>) ao longo de 24,9°S para o período de junho a agosto (inverno), Área do Pré-Sal.



**Figura II.4-3** - Seção vertical de densidade (kg/m<sup>3</sup>) ao longo de 25,8°S para o período de janeiro a março (verão), Área do Pré-Sal.



**Figura II.4-4** - Seção vertical de densidade (kg/m<sup>3</sup>) ao longo de 25,8°S para o período de janeiro a março (inverno), Área do Pré-Sal.



### **III MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

Nesta etapa do trabalho foi implementado um modelo hidrodinâmico visando simular o campo de correntes na região sul-sudeste brasileira. Foi utilizado um modelo baseado no *Princeton Ocean Model* (POM), implementado pelo grupo de modelagem da **ASA SOUTH AMERICA**.

O modelo POM utiliza como forçantes, marés do CSR3, campos tridimensionais de ventos de Reanálise dos modelos meteorológicos NCEP/NCAR e campo termohalino tratado a partir dos resultados do OCCAM. Nas bordas abertas foram também prescritas condições climatológicas do OCCAM para elevação, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade.

Devido à extensão da área estudada na modelagem de dispersão de óleo, e ao fato de os resultados de qualquer modelo numérico apresentarem pouca confiabilidade junto às bordas de sua grade computacional, optou-se pela utilização de campos médios globais, provenientes do OCCAM, para complementar o campo hidrodinâmico simulado com o POM, ao sul do domínio, região da Bacia de Pelotas (entre Tramandaí e a Lagoa Mirim). As velocidades médias do OCCAM nesta região foram sobrepostas às variabilidades de alta frequência, extraídas dos resultados simulados pelo POM na porção sul da Bacia de Santos, possibilitando a obtenção de um campo de velocidades contínuo e homogêneo em toda região de interesse.

#### **III.1 DESCRIÇÃO DO PRINCETON OCEAN MODEL**

O modelo numérico hidrodinâmico utilizado foi baseado no POM, desenvolvido por Blumberg & Mellor (1987). O código fonte desse modelo é de domínio público e disponível *on-line*<sup>12</sup>.

A formulação deste modelo possui estrutura tridimensional, não linear, com as equações hidrodinâmicas escritas na forma de fluxo, sob as aproximações de Boussinesq e hidrostáticas. Este modelo permite também a utilização de grades

---

<sup>12</sup> <http://www.aos.princeton.edu/WWWPUBLIC/htdocs.pom>

curvilíneas, de coordenadas  $\sigma$  na vertical e a resolução das camadas turbulentas de superfície e de fundo, por meio de um submodelo de fechamento turbulento de 2ª ordem.

No sistema de coordenadas  $\sigma$ , a coordenada  $z$  é escalonada de acordo com a profundidade da coluna d'água local, conforme mostra a equação abaixo, onde  $D$  é a profundidade local,  $\eta$  a elevação da superfície e  $H$  a profundidade média local:

$$\sigma = \frac{z - \eta}{D} \quad (\text{III.1-1})$$

onde

$$D(x, y, t) = H(x, y) + \eta(x, y, t).$$

Nesta formulação também está incluído um submodelo de fechamento turbulento, para o cálculo dos coeficientes de mistura turbulenta vertical. O fechamento turbulento de 2ª ordem utiliza os resultados das equações da energia cinética turbulenta e da escala de comprimento de turbulência, no cálculo dos coeficientes cinemáticos de viscosidade e de difusão turbulenta de calor e sal na vertical (Mellor & Yamada, 1982). Esses cálculos são efetuados com base em relações empíricas, que utilizam constantes estabelecidas em experimentos de laboratório e em observações de campo. Com o fechamento turbulento de 2ª ordem, o modelo reproduz de maneira mais realística as camadas de Ekman, de superfície e de fundo.

Além dos aspectos específicos acima mencionados, o modelo adota soluções largamente utilizadas na literatura, como gradeamento do tipo *C* de *Arakawa* e métodos de integração diferentes na horizontal e na vertical – integração horizontal e temporal explícita e vertical implícita. Por meio desses procedimentos, elimina-se a restrição temporal na vertical, permitindo o uso de maior resolução nas camadas de Ekman de superfície e de fundo.

O modelo apresenta uma superfície livre e dois intervalos de tempo distintos, um para o modo de oscilação externo e outro para o interno. O modo externo (barotrópico) usa um intervalo de tempo menor, baseado na condição de estabilidade computacional de Courant-Friedrichs-Levy (CFL). O modo interno (baroclínico) usa um intervalo de tempo mais longo (*splitting mode*).

### III.1.1 Equações Básicas do POM

O modelo hidrodinâmico aqui descrito é baseado em uma formulação tridimensional prognóstica com aproximação hidrostática. As variáveis potencialmente prognósticas são: as três componentes da velocidade ( $u, v$  e  $w$ ), a temperatura ( $T$ ), a salinidade ( $S$ ), a energia cinética turbulenta ( $q^2/2$ ), a escala turbulenta ( $l$ ), e a elevação da superfície ( $\eta$ ).

O conjunto de equações básicas utilizadas no código é descrito abaixo. Consideremos um sistema de coordenadas cartesianas ortogonais, com  $x$  crescendo para Leste,  $y$  para Norte e  $z$  para cima, no qual as coordenadas horizontais (*i.e.*  $x, y$ ) referem-se ao espaço computacional. A superfície livre está localizada em  $z = \eta(x, y, t)$  e o fundo em  $z = -H(x, y)$ . Neste sistema as equações de conservação e a equação de estado são escritas como:

Equação da continuidade:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{III.1.1-1})$$

Equação de Reynolds para conservação da quantidade de movimento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial U}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial V}{\partial z} \right) \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left[ A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-3})$$

$$\rho g = -\frac{\partial P}{\partial z} \quad (\text{III.1.1-4})$$

Conservação de Temperatura Potencial:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + U \frac{\partial \Theta}{\partial x} + V \frac{\partial \Theta}{\partial y} + W \frac{\partial \Theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F(H) \quad (\text{III.1.1-5})$$

### Conservação de Salinidade:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_H \frac{\partial S}{\partial z} \right) + F_s \quad (\text{III.1.1-6})$$

### Equação de Estado:

$$\rho = \rho(S, \Theta, P) \quad (\text{III.1.1-7})$$

### Equação da Energia Cinética Turbulenta:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q^2}{\partial t} + U \frac{\partial q^2}{\partial x} + V \frac{\partial q^2}{\partial y} + W \frac{\partial q^2}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_q \frac{\partial q^2}{\partial z} \right) + 2K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] \\ + \frac{2g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{2q^3}{B_1 l} + F_{q^2} \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-8})$$

### Equação da Turbulência em Macro Escala:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (q^2 l) + U \frac{\partial}{\partial x} (q^2 l) + V \frac{\partial}{\partial y} (q^2 l) + W \frac{\partial}{\partial z} (2q^2 l) = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_q \frac{\partial}{\partial z} (q^2 l) \right] \\ + l E_1 K_M \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{l E_1 g}{\rho_0} K_H \frac{\partial \rho}{\partial z} - \frac{q^3}{B_1} \tilde{W} + F_{q^2 l} \end{aligned} \quad (\text{III.1.1-9})$$

sendo,

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

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

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

onde,

$U, V, W$  = componentes do vetor velocidade (m/s);

$f$  = parâmetro de Coriolis ( $s^{-1}$ );

$\rho_0$  = densidade de referência ( $kg/m^3$ );

$\rho$	=	densidade <i>in situ</i> (kg/m <sup>3</sup> );
$P$	=	pressão (N/m <sup>2</sup> );
$K_M$	=	coeficiente cinemático vertical de viscosidade turbulenta (m <sup>2</sup> /s);
$K_H$	=	coeficiente cinemático vertical de difusão turbulenta de calor e sal (m <sup>2</sup> /s);
$g$	=	aceleração da gravidade (m/s <sup>2</sup> );
$\Theta$	=	temperatura potencial (°C);
$S$	=	salinidade (PSU);
$A_M$	=	coeficiente cinemático horizontal de viscosidade turbulenta (m <sup>2</sup> /s);
$A_H$	=	coeficiente cinemático horizontal de difusão turbulenta de calor sal (m <sup>2</sup> /s);
$F_H, F_S$	=	parametrização (em termos de processos de mistura horizontal) para processos de pequena escala não resolvidos diretamente pela grade do modelo.
$q^2 / 2$	=	energia cinética turbulenta;
$l$	=	escala característica de comprimento para o movimento turbulento;
$\tilde{W}$	=	função proximidade-do-contorno;
$k$	=	constante de von Karman (k=0,4);
$F_{q^2, q^2 l}$	=	termos horizontais de mistura para $q^2$ e $q^2 l$ .

### III.1.2 Condições de Contorno Adotadas

As condições de contorno naturais do modelo são dadas pela velocidade normal nula nos contornos terrestres. Em áreas com aporte fluvial significativo para a escala do domínio, os valores de vazão, temperatura e salinidade dos rios são diretamente especificados nos contornos. Na superfície livre, além das condições dinâmicas locais (Mellor & Yamada, 1982), é também considerada a tensão de cisalhamento do vento. Opcionalmente, fluxos de calor e sal (evaporação) podem ser incluídos. Na modelagem em questão estes fluxos não foram considerados. No fundo, são aplicadas as condições dinâmicas descritas em Mellor & Yamada (op. cit.). A velocidade de arrasto é calculada como uma função empírica da energia cinética turbulenta, por sua vez decorrente do fechamento turbulento de segunda ordem.

Nos contornos artificiais são aplicadas, ao modelo, as condições necessárias e suficientes para a definição do comportamento das propriedades modeladas nos limites oceânicos do domínio estudado. Essas condições de contorno são definidas para as seguintes propriedades: elevação da superfície do mar, velocidades do modo externo (2D), velocidades do modo interno (3D), temperatura, salinidade, velocidade vertical e energia cinética turbulenta.

Nas componentes perpendiculares à fronteira são aplicadas condições radiacionais em função da elevação, do tipo  $H\bar{U} \pm C_e \eta = BC^2$ , onde  $C_e = \sqrt{gH}$  é a velocidade de fase da onda que chega ao sistema,  $\eta$  é a elevação da superfície livre e B é um coeficiente empírico. Nos casos da temperatura e da salinidade, disponibiliza-se esquema que permita advecção através da fronteira, condição esta descrita por:

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

Para prescrever os valores de elevação da superfície, velocidade barotrópica, temperatura e salinidade, nas bordas abertas, foi utilizada uma climatologia elaborada a partir dos resultados de uma simulação de 14 anos do OCCAM para o Atlântico Sul (grade regular com  $\frac{1}{4}$  de grau de resolução e 36 níveis, sendo 20 m de espessura próximo à superfície e 255 m em 5.500 m). O procedimento de tratamento dos dados para elaboração desta climatologia envolveu: o agrupamento de todos os instantes para cada variável em um único arquivo; a geração de 1 ano climatológico com passo de tempo de 6 horas, a conversão das variáveis com estrutura vertical para níveis sigma, e uma interpolação, para obter uma resolução espacial adequada para projeção dos dados na grade do modelo.

### **III.1.3 Procedimentos de Aquecimento (Warm up) do Modelo**

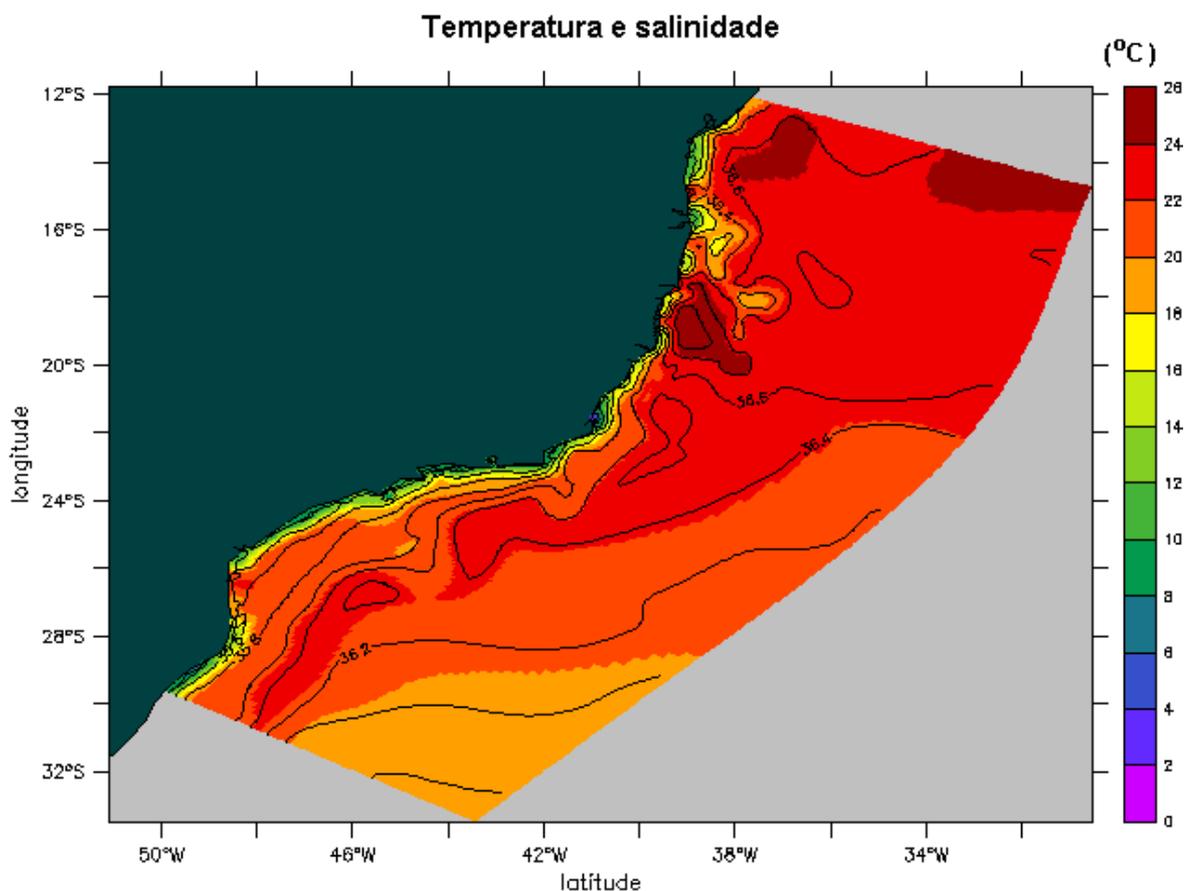
O procedimento de aquecimento do modelo baseou-se no acompanhamento da variação da energia cinética da simulação. Nesta modelagem, observou-se que a estabilização do modelo ocorreu ao final de um mês de simulação. Assim, a

simulação longa foi realizada por 13 meses, (iniciando em dezembro de 1991), descartando-se o primeiro mês (período de estabilização do modelo).

### III.1.4 Dados de Entrada

#### III.1.4.1 Estrutura Termohalina

Os campos de temperatura e salinidade, utilizados para inicialização do campo baroclínico do POM foram obtidos a partir de resultados do OCCAM. A figura III.1.4.1-1 ilustra os campos superficiais, projetados na grade do modelo.



**Figura III.1.4.1-1** - Campos de temperatura e de salinidade de superfície (a partir dos resultados do OCCAM) projetados na grade do modelo hidrodinâmico. A salinidade é apresentada como isohalinas e a temperatura (°C) é apresentada através dos tons de cores.

### III.1.4.2 Ventos

Para a realização de uma modelagem numérica que considere fenômenos em escala sinótica (como a passagem de sistemas frontais) não é adequado forçar o modelo com campos climatológicos de vento. Assim, se faz necessário escolher um determinado ano para simulação. A escolha deste ano obedece a alguns critérios, os quais são listados a seguir:

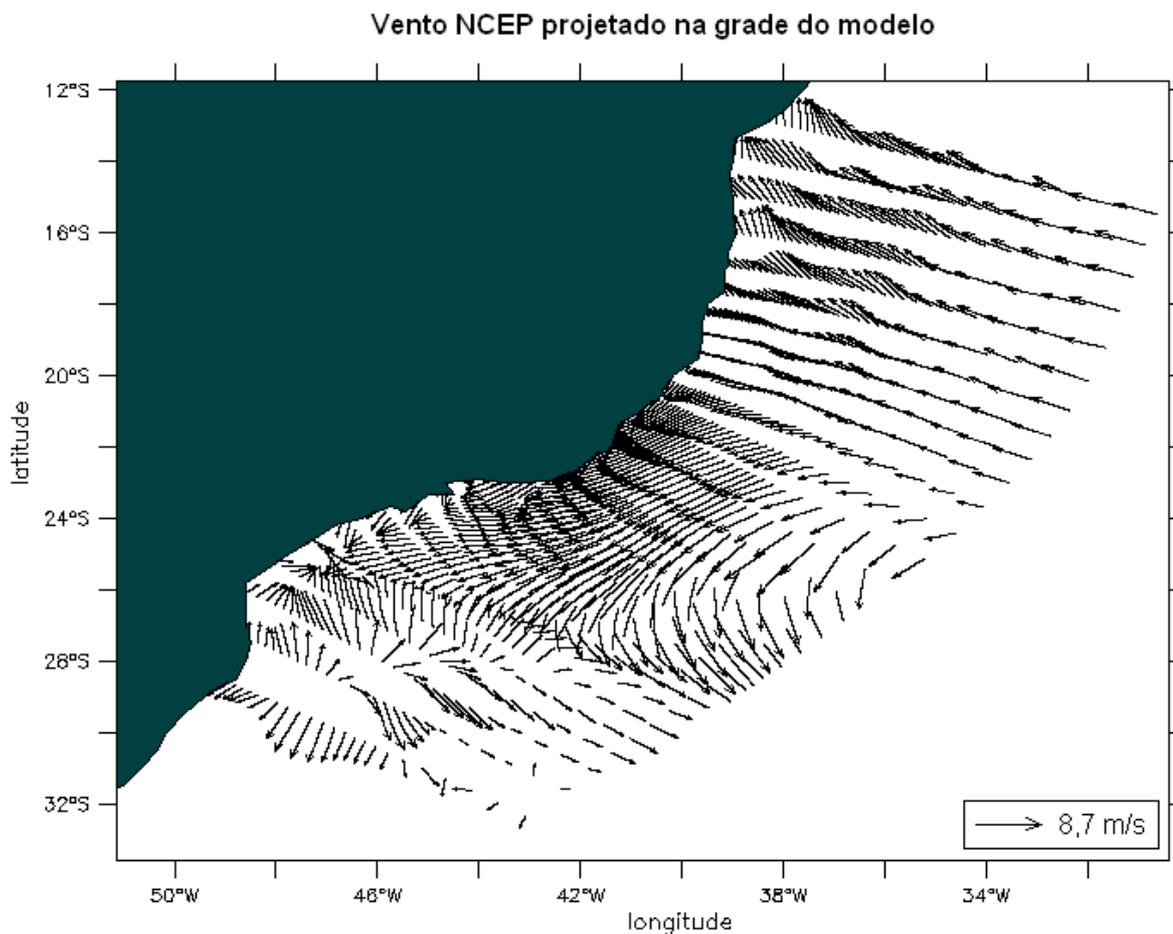
1. Representatividade dos padrões dinâmicos típicos para a região;
2. Disponibilidade de séries temporais simultâneas de ventos, de elevação de superfície e de correntes medidas na região de interesse, necessárias para forçar, calibrar<sup>13</sup> e avaliar o modelo hidrodinâmico.

Os dados de corrente disponíveis para a realização do presente estudo são referentes ao ano de 1992, assim, dados de vento foram obtidos na região para o mesmo ano. Através de análise estatística (apresentada no Subitem I.1.1), pode-se considerar 1992 como um ano representativo dos padrões dinâmicos médios da região e com valores elevados associados aos eventos extremos, sendo portanto importante para a utilização em simulações de derrame de óleo e efluentes na Bacia de Santos.

O campo de vento utilizado como forçante foi extraído de Reanálise dos modelos de circulação geral do NCEP/NCAR para as simulações de calibração e de longo período. Os valores foram interpolados no espaço e no tempo, e projetados na grade do modelo. A figura III.1.4.2-1 ilustra um instante deste campo de vento, já projetado na grade.

---

<sup>13</sup> O procedimento de calibração não é apresentado no relatório, mas os dados disponíveis também podem ser utilizados com este propósito.

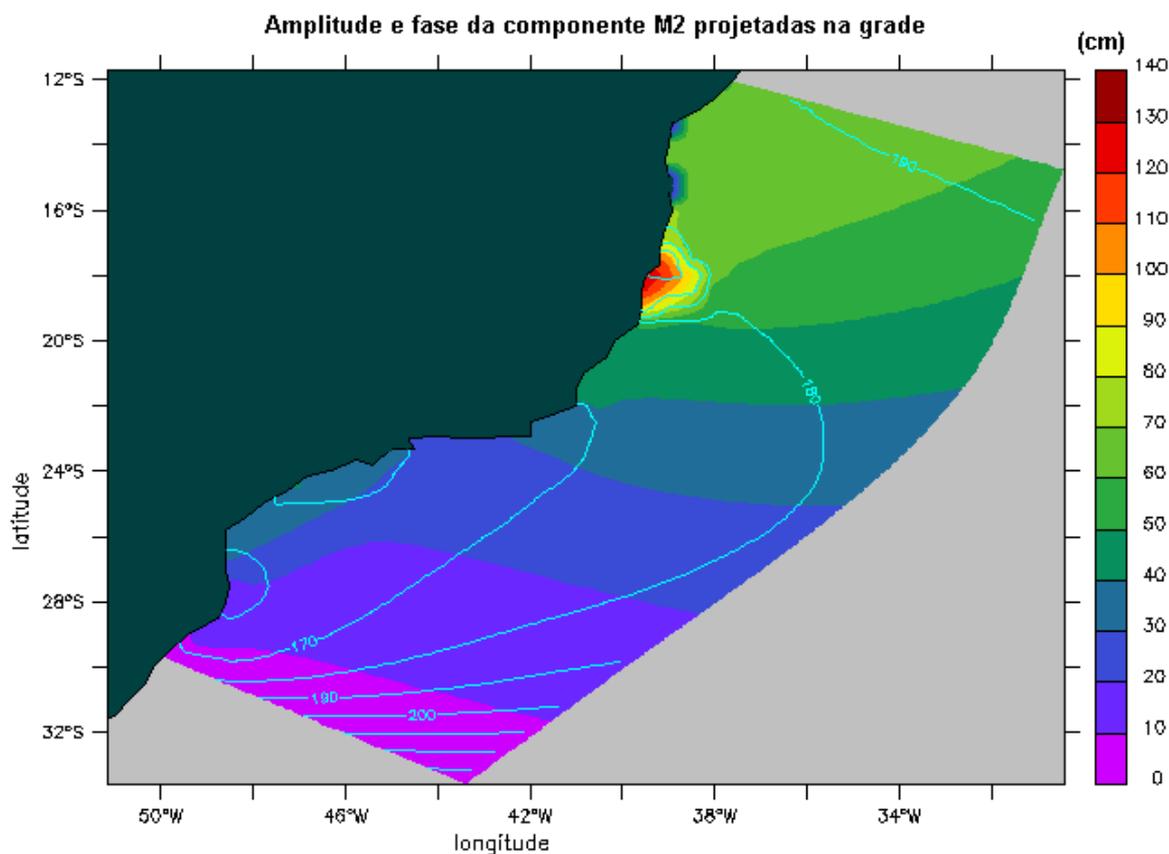


**Figura III.1.4.2-1** - Instantâneo do campo de ventos NCEP projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

### III.1.4.3 Marés

O campo de harmônicos utilizado como forçante para o POM é proveniente do CSR3. Embora utilizado apenas nos contornos abertos, este campo foi projetado em toda a grade, de tal forma a permitir uma melhor visualização do campo de maré em áreas de interesse (eventual redução do domínio).

Conforme ilustrado na figura III.1.4.3-1, foram utilizados campos com variação espacial de amplitude e fase das componentes de maré mais significativas na região, com energia superior a 10% da energia da  $M_2$ , no caso, as diurnas e semidiurnas.



**Figura III.1.4.3-1** - Mapa cotidal com as isolinhas de fase sobrepostas à amplitude da componente de maré  $M_2$ , projetado na grade do modelo hidrodinâmico.

## III.2 DESCRIÇÃO DO OCCAM

O projeto OCCAM, para desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos globais, é conduzido por pesquisadores do *Southampton Oceanography Centre*, em colaboração com pesquisadores das Universidades East Anglia e Edinburgh.

O OCCAM baseia-se no modelo oceânico de circulação geral de Bryan-Cox-Semtner (Bryan, 1969; Semtner, 1974; Cox, 1984). Este modelo utiliza equações primitivas (Bryan, op. cit.) e se diferencia de outros modelos oceânicos pelo uso da grade B de Arakawa na horizontal, e coordenadas z na vertical. É um modelo bastante utilizado pela comunidade oceanográfica, sendo o código MOM<sup>14</sup> do GFDL<sup>15</sup> (Pacanowski *et al.*, 1990; Pacanowski, 1995), a versão mais conhecida.

<sup>14</sup> Modular Ocean Model.

<sup>15</sup> Global Fluid Dynamics Laboratory.

Como condições de contorno, assume-se que a velocidade é zero sobre todos os contornos sólidos, assim como os gradientes de temperatura potencial e salinidade normais aos contornos sólidos (incluindo o fundo). O OCCAM inclui uma superfície livre e esquemas de advecção melhorados. Para condições de contorno superficiais, são utilizadas a tensão de cisalhamento do vento e fluxos de calor e água doce, na interface ar-mar. A pressão atmosférica também pode ser especificada.

Sobre o fundo oceânico, o modelo OCCAM assume que a força de fricção ( $F_b$ ) atua horizontalmente em função da corrente adjacente, e é dada por:

$$F_b = -0.001 u |u| \quad (\text{III.2-1})$$

Informações gerais, incluindo um relatório técnico especificando os detalhes da principal simulação do OCCAM, podem ser acessadas no endereço: <http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM>.

Os resultados utilizados no presente estudo são provenientes de uma simulação cuja grade para o Oceano Atlântico Sul é regular ( $\frac{1}{4}$  de grau), com 36 níveis (variando de 20 m de espessura, próximo à superfície, a 255 m em 5.500 m de profundidade).

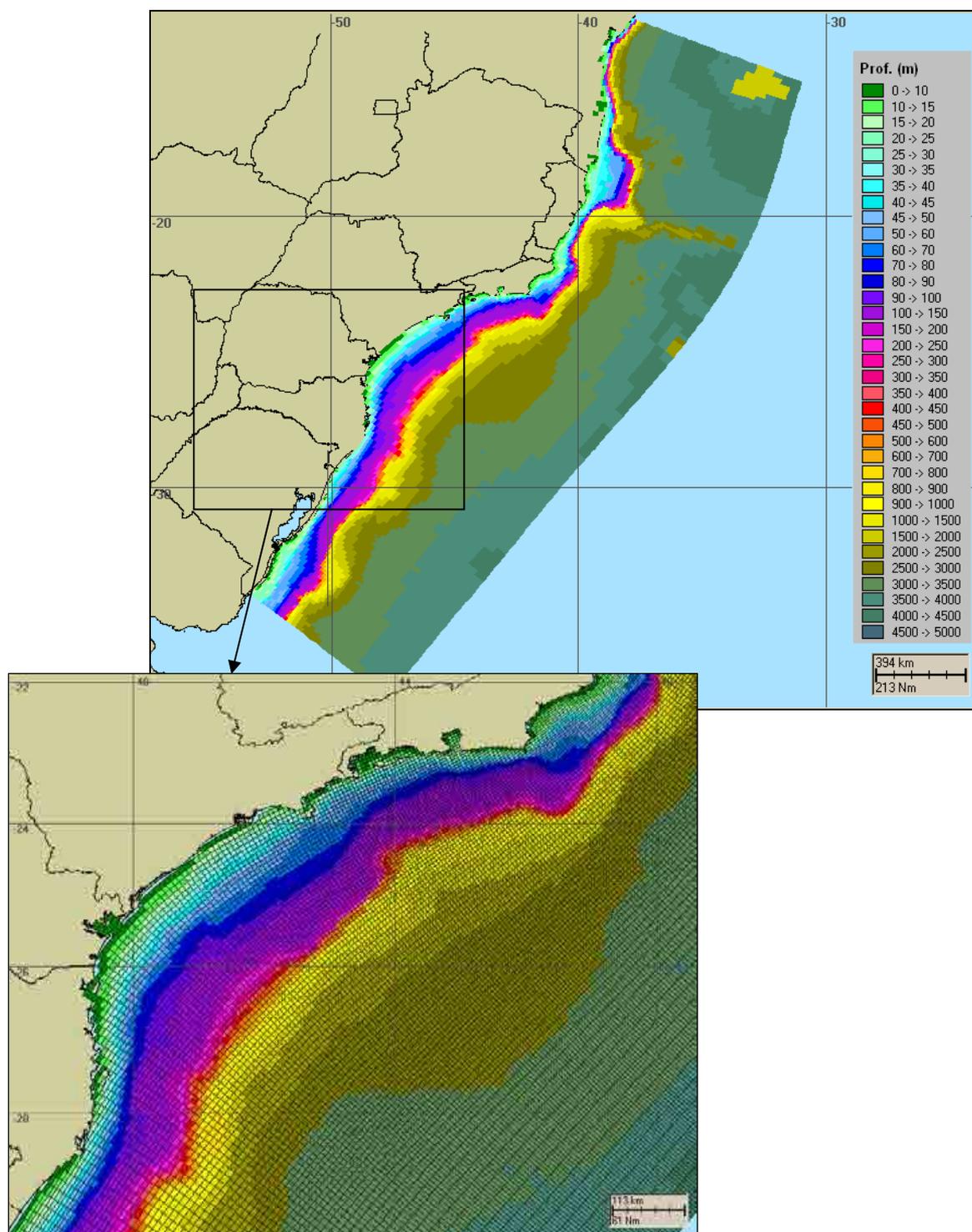
A simulação em questão foi inicializada com médias anuais de temperatura e salinidade do LEVITUS, forçada na superfície com dados de vento do ECMWF (médias mensais) e relaxada para os campos sazonais de temperatura e salinidade do LEVITUS. A batimetria foi obtida junto ao banco de dados DBDB5<sup>16</sup>.

### III.3 DISCRETIZAÇÃO DO DOMÍNIO CONSIDERADO

A grade geral implementada representa um compromisso entre a descrição dos processos hidrodinâmicos presentes na região de interesse (escala temporal e espacial), dos recursos computacionais disponíveis no período de execução da simulação e do tempo de processamento necessário. Uma grade numérica de meso-escala com dimensões de 100x300 pontos foi implementada na costa

<sup>16</sup> Digital Bathymetric Data Base 5-minute do U.S. Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO).

sul-sudeste do Brasil, com resolução média máxima de 3 km na área de foco, e está ilustrada na figura III.3-1. Nessa grade foram utilizadas 20 camadas sigma para a definição da estrutura vertical da região.



**Figura III.3-1** - Domínio considerado na modelagem e projeção da batimetria, com foco na região da Bacia de Santos.

Para a região da plataforma, os dados de profundidade foram obtidos através da digitalização dos valores batimétricos das cartas náuticas da DHN<sup>17</sup>, n<sup>os</sup> 70, 1.100, 1.131, 1.400, 1.420, 1.700, 1.800, 1.820 e 1.824. Para a representação topográfica da região do talude e da planície abissal foi também utilizada a base de dados batimétricos extraída do ETOPO 2 obtido no NGDC<sup>18</sup>, reamostradas para um espaçamento de 10'. Visando o ajuste fino da batimetria com a linha de costa e com as camadas de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizado pelos modelos matemáticos implementados na região, foram utilizadas também informações provenientes de imagens de satélite, complementando a base de dados batimétricos da **ASA SOUTH AMERICA** na área. Os resultados finais da discretização da área e da projeção da batimetria na grade numérica implementada estão ilustrados na figura III.3-1.

<sup>17</sup> Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha.

<sup>18</sup> *National Geophysical Data Center da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).*



## **IV AVALIAÇÃO DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

A metodologia de validação fundamenta-se na avaliação do modelo quanto à sua capacidade de reprodução da circulação na região em estudo. Para esta região em particular, verifica-se que sobre a plataforma continental, a circulação hidrodinâmica é fortemente influenciada pela maré e pelo vento, enquanto que no talude e região oceânica, a circulação é influenciada pelas variabilidades de grande escala, relacionadas à presença da Corrente do Brasil.

Para a avaliação da maré, foram produzidas uma previsões a partir da tabela de constantes harmônicas da FEMAR para os pontos Enchova II e Bom Abrigo, descritas no Item II.3 – Análise de Dados – Marés. As previsões harmônicas foram realizadas através do Método de Schuremann (Schuremann, 1941).

Para a avaliação das informações de correntes geradas pelo modelo hidrodinâmico, foram utilizados dois conjuntos de dados, um sobre a plataforma continental e outro na região do talude:

1. Ponto PC (PETROBRAS) - medições de superfície em região de plataforma continental (lâmina d'água igual a 15 m e coordenadas 22,7167°S; 41,2667°W), e
2. BM333 (WOCE) – medições na profundidade de 230 m em região de talude (lâmina d'água igual a 1.180 m e coordenadas 27,9020°S; 46,7040°W).

A localização dos dados utilizados na avaliação dos resultados da modelagem hidrodinâmica é apresenta na figura II-1 do Capítulo II.

### **IV.1 AVALIAÇÃO PARA A MARÉ**

A avaliação para a elevação de superfície do mar consistiu na comparação entre séries temporais de elevação de superfície calculadas pelo modelo e séries temporais de elevação de superfície resultantes da previsão harmônica.

A comparação entre os resultados do modelo e as séries utilizadas (previsões harmônicas) foi quantificada através de um coeficiente utilizado como parâmetro de comparação, Hess & Bosley (1992), cuja formulação é comumente utilizada na literatura científica para a comparação de duas séries temporais com periodicidades relativamente definidas, como é o caso das marés. O coeficiente de comparação é definido pela normalização do erro quadrático médio e é dado pela fórmula:

$$\frac{RMS}{\bar{A}} \quad (IV.1-1)$$

onde

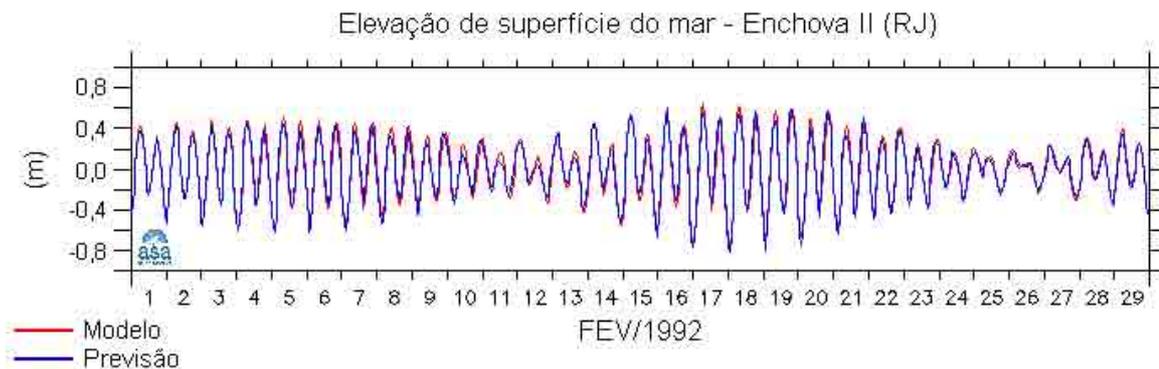
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

$\bar{A}$  = range médio do dado;

$P$  = previsão;

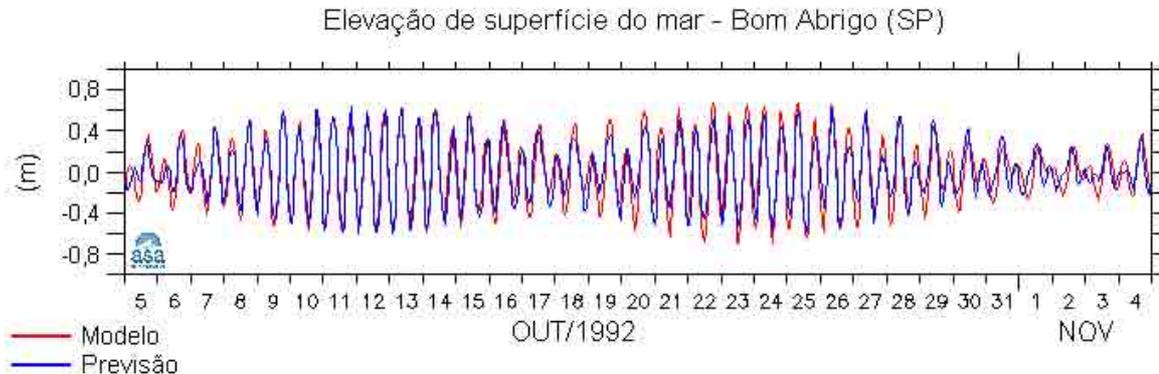
$O$  = observação.

Na figura IV.1-1 são apresentadas as séries temporais de elevação de superfície do mar para o mês de fevereiro de 1992. A elevação de superfície calculada pelo modelo é mostrada em vermelho e, em azul, a série temporal da previsão harmônica para a elevação de superfície. Através desta figura, pode-se observar uma boa concordância tanto na amplitude quanto na fase, entre os resultados obtidos com o modelo e a previsão de maré. O coeficiente de comparação obtido para este período foi de 10%, enquanto que o coeficiente de correlação linear entre as séries é de 98%.



**Figura IV.1-1** - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Enchova II (RJ) durante o mês de fevereiro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h.

De maneira análoga, para a posição geográfica de Bom Abrigo (SP), a figura IV.1-2 apresenta a série temporal de elevação de superfície como resultado do modelo numérico (em vermelho) e a previsão de maré (em azul). O coeficiente de comparação entre as séries foi de 19% e a correlação linear, 93%.



**Figura IV.1-2** - Série temporal de elevação de superfície (em metros) para a localização geográfica de Bom Abrigo (SP) para o período de 5 de outubro a 5 de novembro de 1992. Resultado do modelo em vermelho e da previsão de maré em azul. Intervalo de amostragem: 1h.

Embora o coeficiente de comparação entre as séries de elevação de superfície para a localização de Bom Abrigo seja maior que o observado para Enchova II, alguns pontos devem ser ressaltados. O primeiro deles refere-se à posição geográfica. Bom Abrigo (ver figura II-1), dentro da grade numérica

(domínio do modelo), está em uma região de interface terra-água e, portanto, submetido a processos hidrodinâmicos diferentes daqueles atuantes na região de Enchova II.

Por fim, ao considerar a extensão do domínio modelado (ver figura III.3-1) e que a distância entre os pontos validados (Enchova II e Bom Abrigo) é superior a 750 km, deve-se destacar a eficácia do modelo quanto a reprodução da elevação de superfície do mar na região.

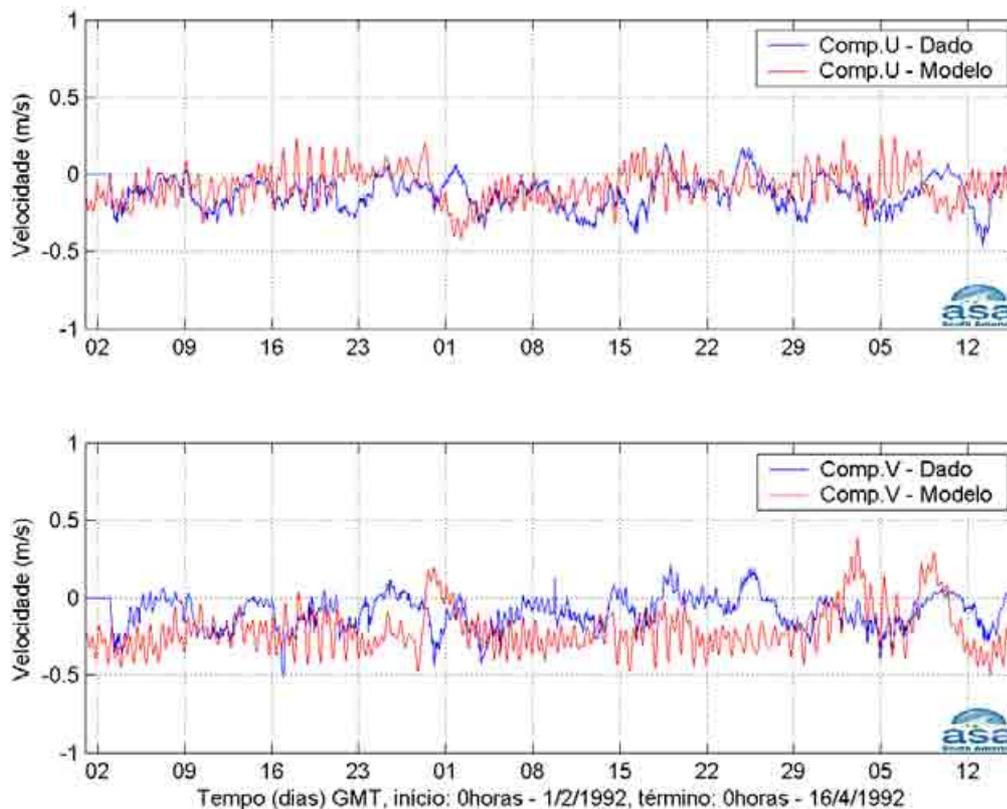
## IV.2 AVALIAÇÃO PARA AS CORRENTES

Pelo fato das correntes apresentarem um comportamento menos determinístico do que as marés, optou-se pela utilização de uma metodologia de comparação diferente da anterior. A comparação entre os resultados da modelagem e os dados foi quantificada através do cálculo da Raiz Quadrática Média (*Root-Mean-Square Error Statistic*). A raiz quadrática média é definida como (EPA, 2000):

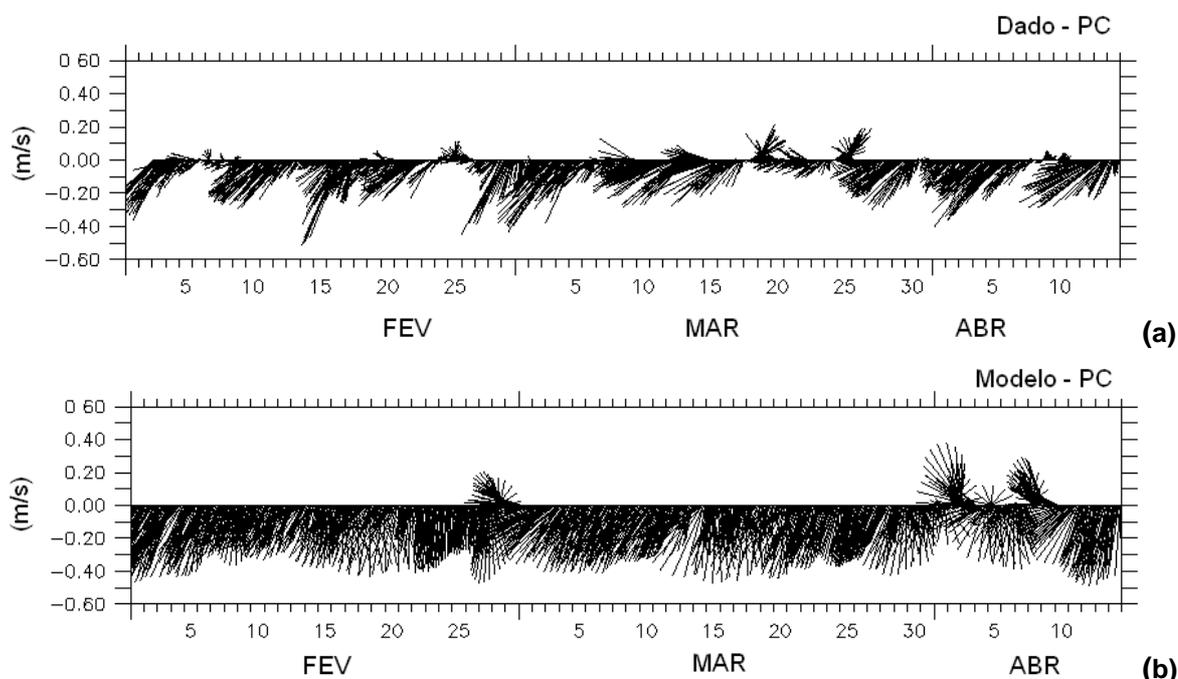
$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{dado}_i - \text{modelo}_i)^2} \quad (\text{IV.2-1})$$

A raiz quadrática média é um indicador do desvio entre o previsto pelo modelo e as observações. A raiz quadrática média ideal é nula.

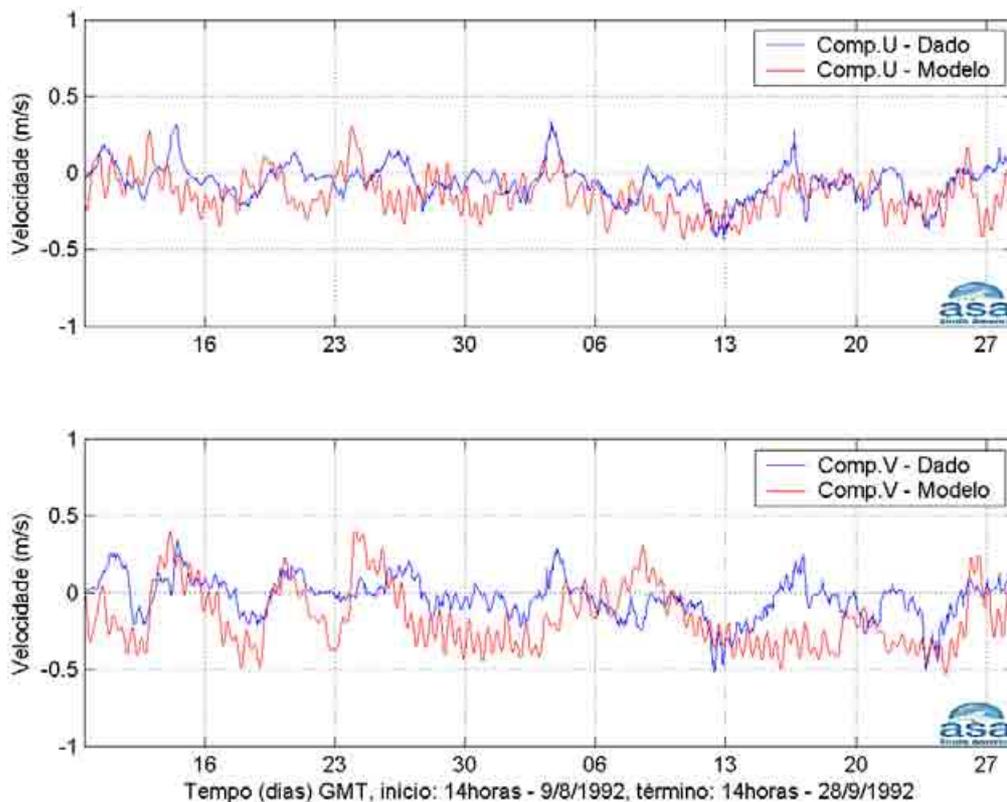
As figuras IV.2-1 e IV.2-3 apresentam, para o Ponto PC, as comparações entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S), calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), relativas a dois períodos do ano de 1992. Estes períodos foram escolhidos por apresentarem as principais características das variabilidades presentes na área para o verão e para o inverno (ver Subitem I.1.2). As figuras IV.2-2 e IV.2-4 apresentam comparações entre os resultados do modelo hidrodinâmico e correntes medidas no Ponto PC, respectivamente, para os mesmos períodos descritos acima, na forma de diagramas *stick plot*.



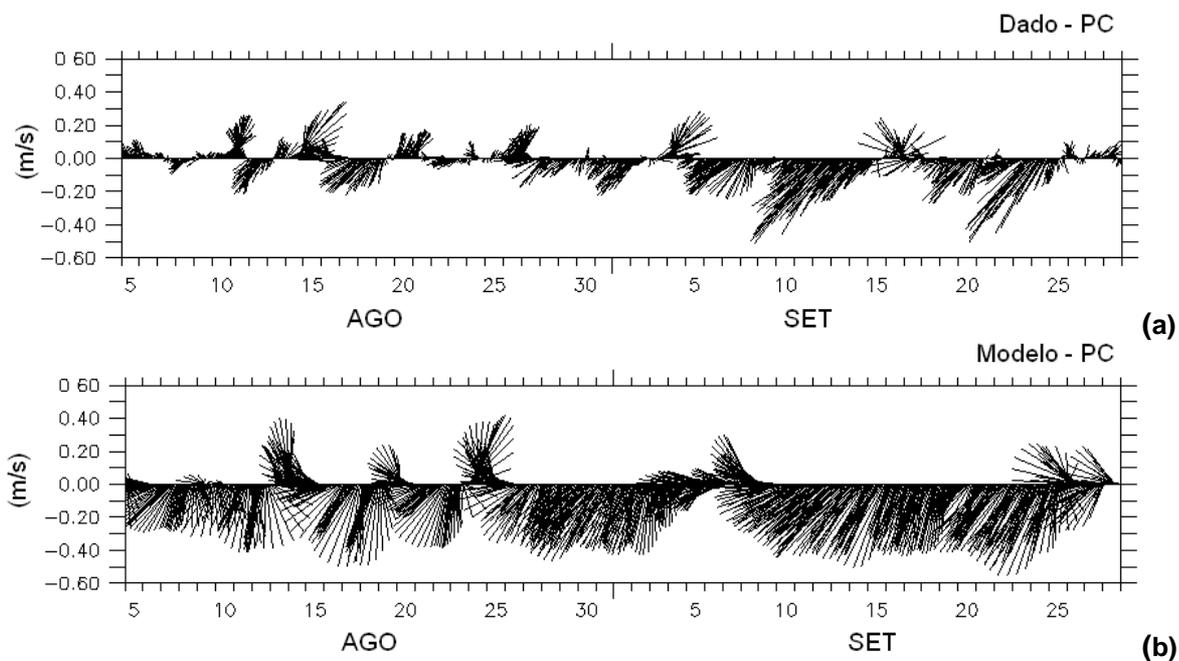
**Figura IV.2-1** - Série temporal das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992 para o Ponto PC.



**Figura IV.2-2** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1º de fevereiro e 15 de abril de 1992.



**Figura IV.2-3** - Série temporal das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 9 de agosto e 28 de setembro de 1992 para o Ponto PC.



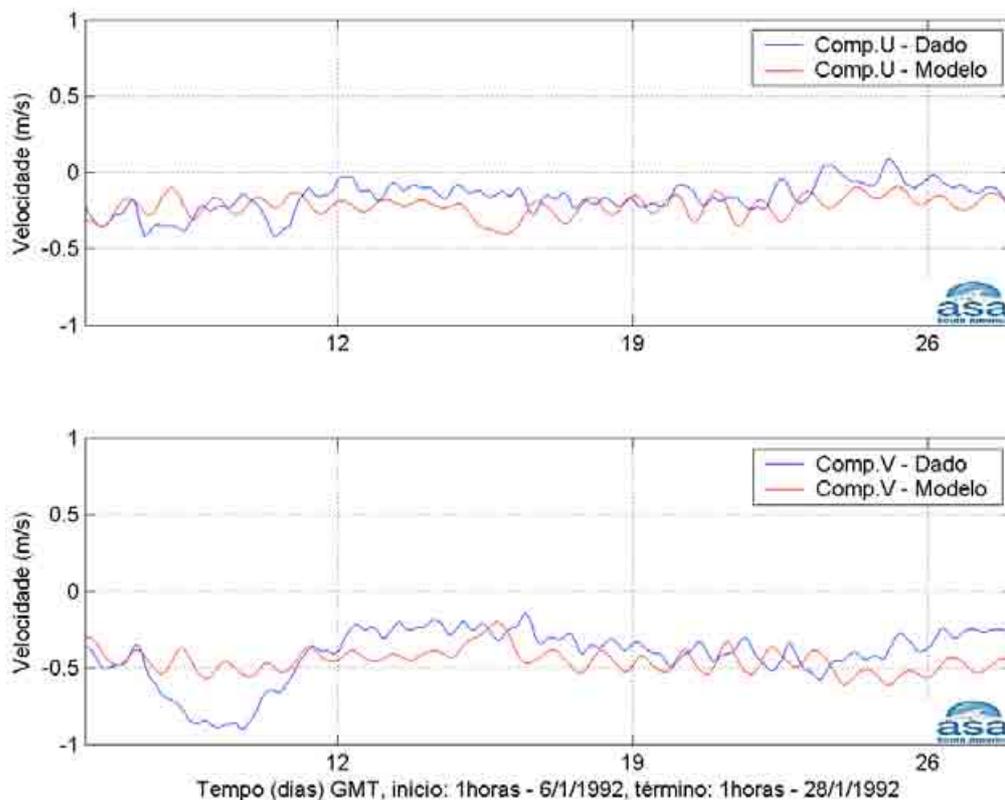
**Figura IV.2-4** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto PC (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 5 de agosto e 28 de setembro de 1992.

Para cada comparação entre dados e modelo, foi calculada a raiz quadrática média (RMS). No período de verão (1<sup>o</sup> de fevereiro e 15 de abril de 1992), a RMS foi igual a 0,15 m/s para componente  $u$  e 0,18 m/s para a componente  $v$ . Já no período de inverno (9 de agosto e 28 de setembro de 1992), a RMS foi igual 0,15 m/s para componente  $u$  e 0,20 m/s para a componente  $v$ .

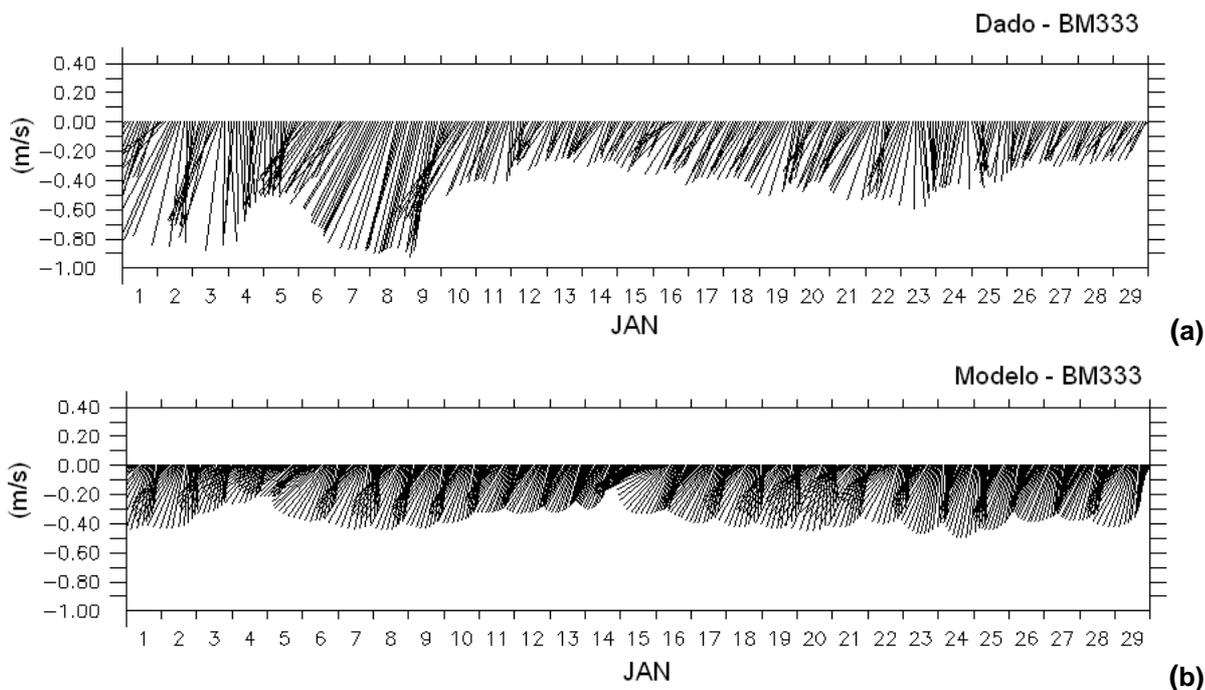
As figuras IV.2-5 e IV.2-7 apresentam, para o Ponto BM333, as comparações entre os resultados do processamento para as componentes  $u$  (E-W) e  $v$  (N-S) calculadas pelo modelo (vermelho) e medidas (azul), utilizando os períodos de 6 a 28 de janeiro de 1992 e 1<sup>o</sup> de junho a 2 de julho de 1992, representativos dos períodos de verão e inverno, respectivamente. A RMS obtida na comparação para o período de verão foi de 0,11 m/s para componente  $u$  e de 0,17 m/s para a componente  $v$ . Na comparação para o período de inverno, a RMS obtida foi de 0,12 m/s para componente  $u$  e de 0,16 m/s para a componente  $v$ .

As figuras IV.2-6 e IV.2-8 apresentam comparações entre os resultados do modelo hidrodinâmico e correntes medidas no Ponto BM333, respectivamente, para verão e inverno, na forma de diagramas *stick plot*.

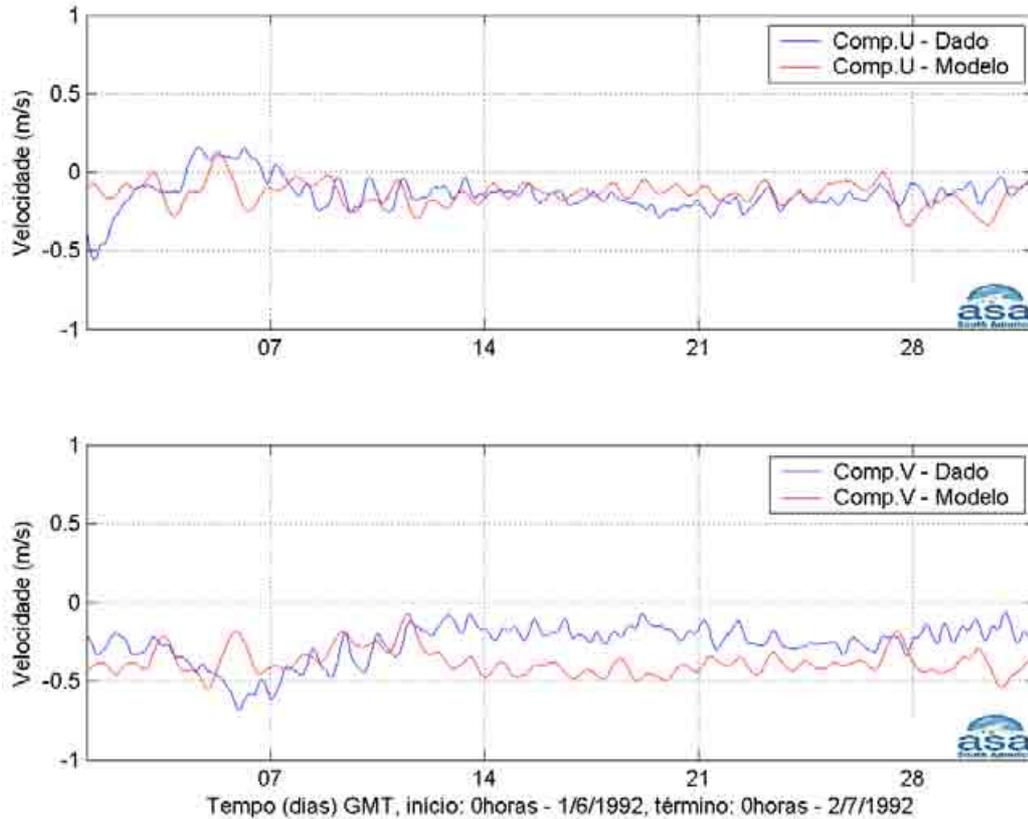
Por fim, são apresentadas nas figuras IV.2-9 e IV.2-10, comparações entre (a) histogramas direcionais para dados medidos e (b) resultados do modelo, considerando todo o ano de 1992. A análise dos histogramas complementa a validação, permitindo verificar a habilidade do modelo em reproduzir o padrão de circulação observado nos dois locais avaliados, indicando boa concordância entre as direções e intensidades médias observadas e aquelas simuladas.



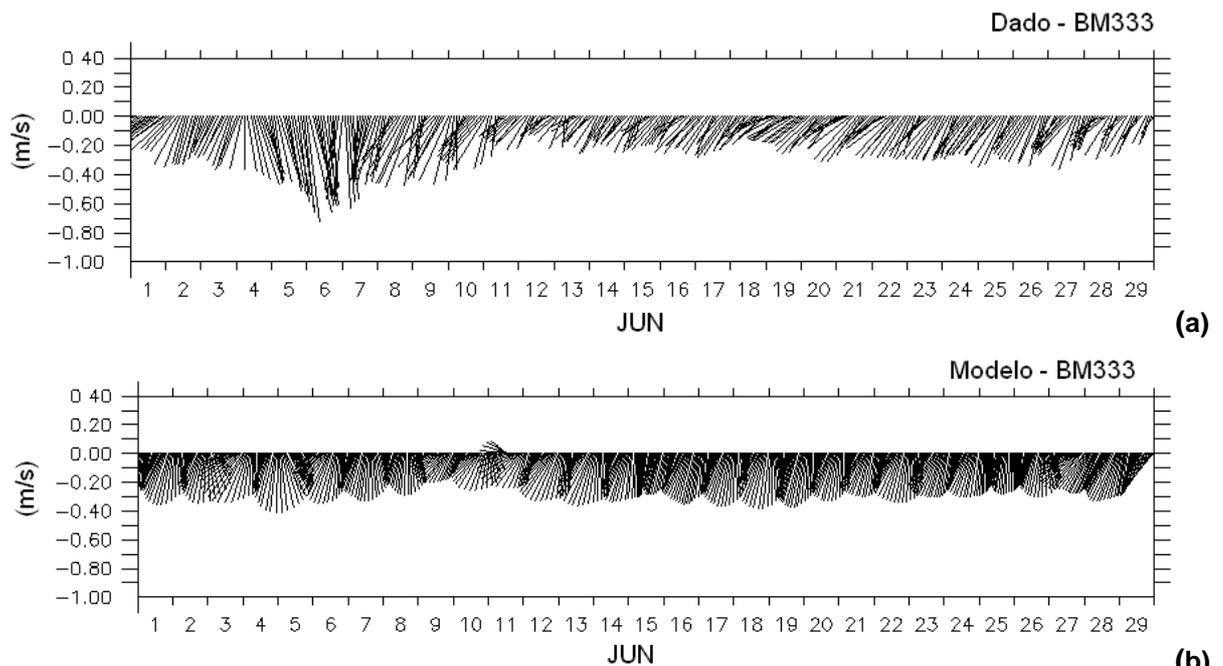
**Figura IV.2-5** - Série temporal medida das componentes *u* e *v* da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 6 e 28 de janeiro de 1992 para o Ponto BM333.



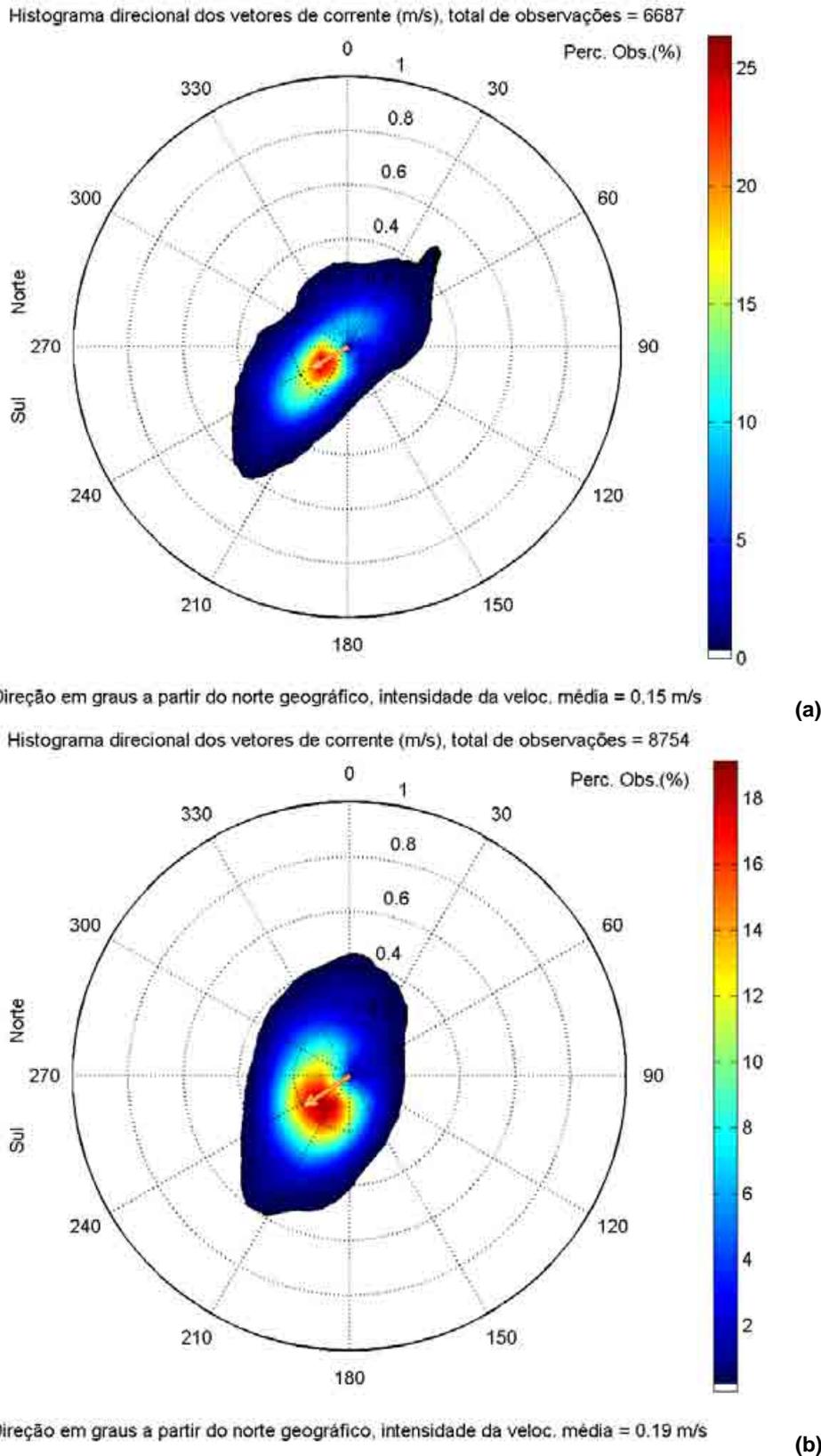
**Figura IV.2-6** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1<sup>o</sup> a 30 de janeiro de 1992.



**Figura IV.2-7** - Série temporal medida das componentes  $u$  e  $v$  da velocidade medida (azul) e a calculada pelo modelo (vermelho) entre os dias 1<sup>o</sup> de junho e 2 de julho de 1992 para o Ponto BM333.

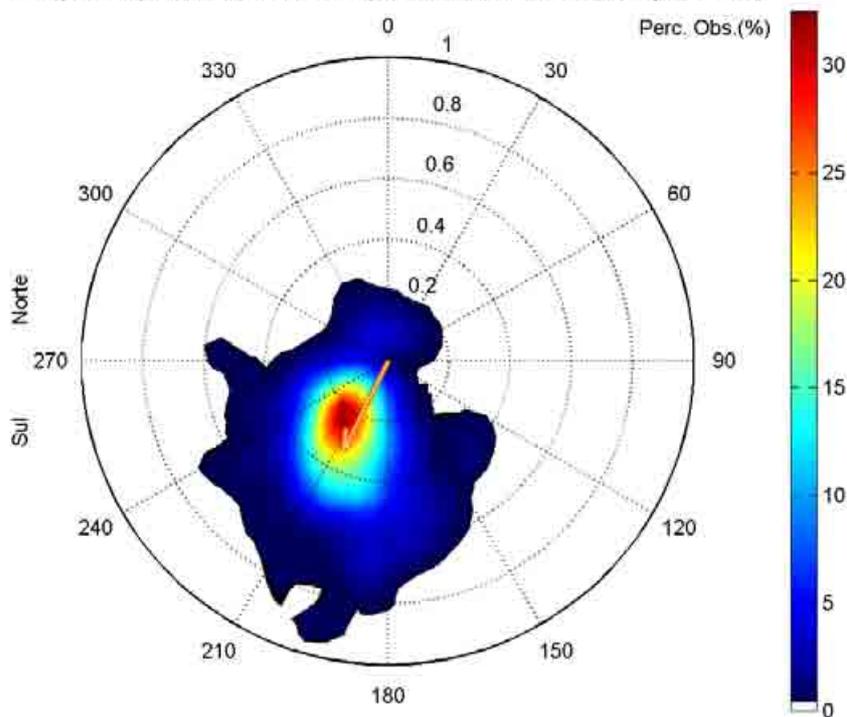


**Figura IV.2-8** - Diagrama stick plot dos vetores de corrente medida no Ponto BM333 (a) e calculada pelo modelo (b) entre os dias 1<sup>o</sup> e 30 de junho de 1992.



**Figura IV.2-9 - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto PC (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.**

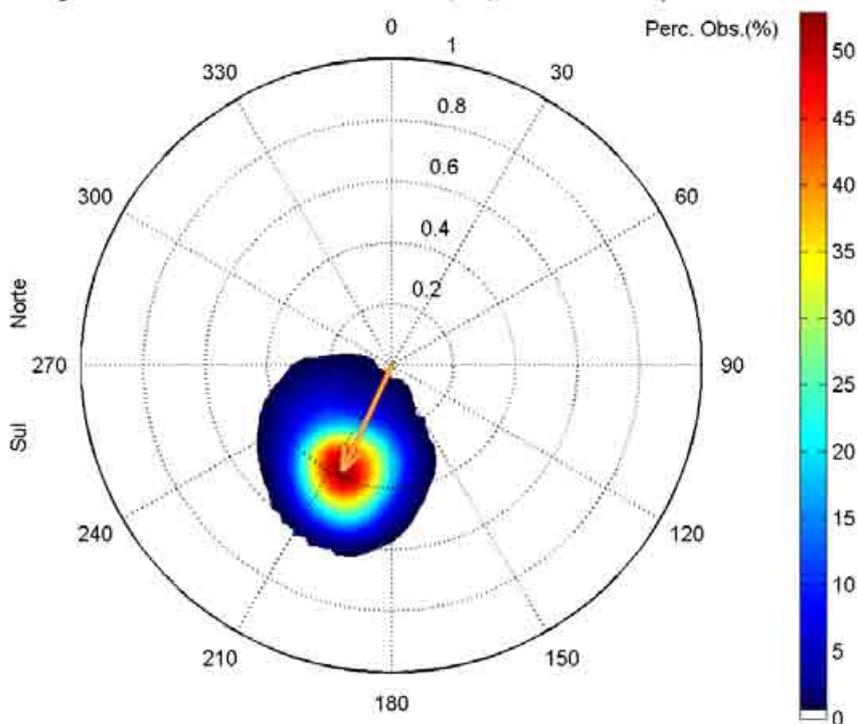
Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 7696



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.33 m/s

(a)

Histograma direcional dos vetores de corrente (m/s), total de observações = 8754



Direção em graus a partir do norte geográfico, intensidade da veloc. média = 0.38 m/s

(b)

**Figura IV.2-10** - Velocidade média e histograma direcional dos vetores de corrente medidos na região do ponto ACM12/BM333 (a), e resultantes da simulação numérica (b), para o período de janeiro a dezembro de 1992.



## V CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM

A base hidrodinâmica aqui apresentada foi obtida a partir de um modelo numérico de mesoescala, baseado no POM, adaptado e implementado pela **ASA SOUTH AMERICA**. Este modelo é tridimensional, baroclínico e prognóstico, estabilizado para variabilidades médias (climatológicas) nos campos de temperatura e salinidade. Na região da Bacia de Pelotas (não contida no domínio do POM), o campo foi complementado com base em resultados médios do OCCAM, somados às variabilidades de alta frequência simuladas pelo POM na porção sul da Bacia de Santos.

Os resultados da caracterização ambiental física e numérica apresentados, são decorrentes de um processo evolutivo de estudo, baseado em modelos numéricos na região das Bacias de Campos e Santos. A validação desse modelo, simultaneamente sobre região costeira e oceânica, é indicação de que se atingiu bons níveis de representação teórica (matemática) do padrão de circulação na costa leste do Brasil.

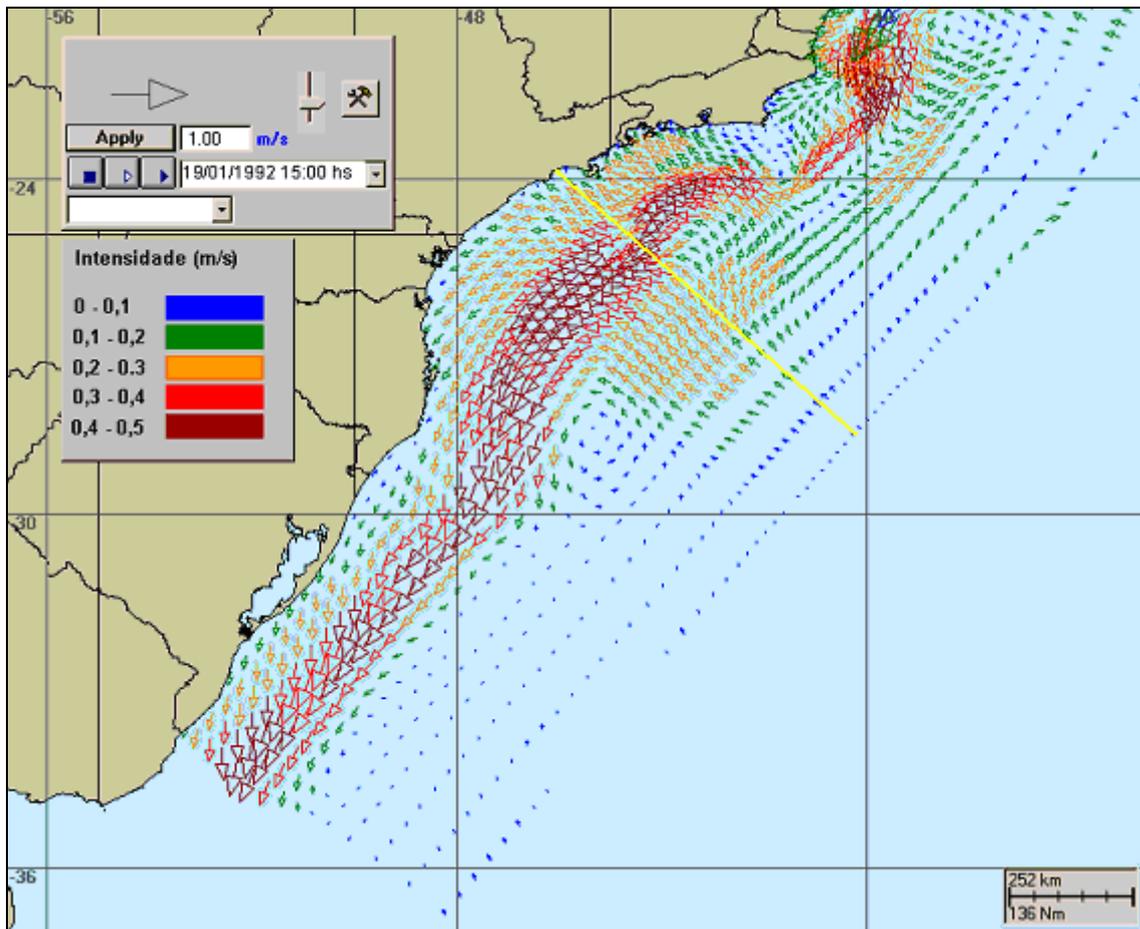
Especificamente em relação à validação do modelo obteve-se, na plataforma, coeficiente de comparação de 10% para a maré em Enchova II (RJ) e de 19% para Bom Abrigo (SP). Para as componentes zonal e meridional do campo de correntes (Ponto PC), no verão obteve-se, respectivamente, valores de *Root-Mean-Square* iguais a 0,15 m/s e 0,18 m/s. Já no período de inverno, os valores obtidos foram de 0,15 m/s para componente  $u$  e de 0,20 m/s para a componente  $v$ . Em região de talude (Ponto BM333) obteve-se, no verão, para as componentes zonal e meridional do campo de correntes, RMS iguais a 0,11 e 0,17 m/s, respectivamente. No inverno os valores obtidos foram de 0,12 m/s para componente  $u$  e 0,16 m/s para a componente  $v$ .

Do ponto de vista qualitativo, a comparação dos resultados simulados com a bibliografia, outros resultados numéricos, informações da literatura, etc., é um procedimento válido, que corrobora com a avaliação quantitativa para a verificação da capacidade do modelo numérico em reproduzir a dinâmica oceânica da região.

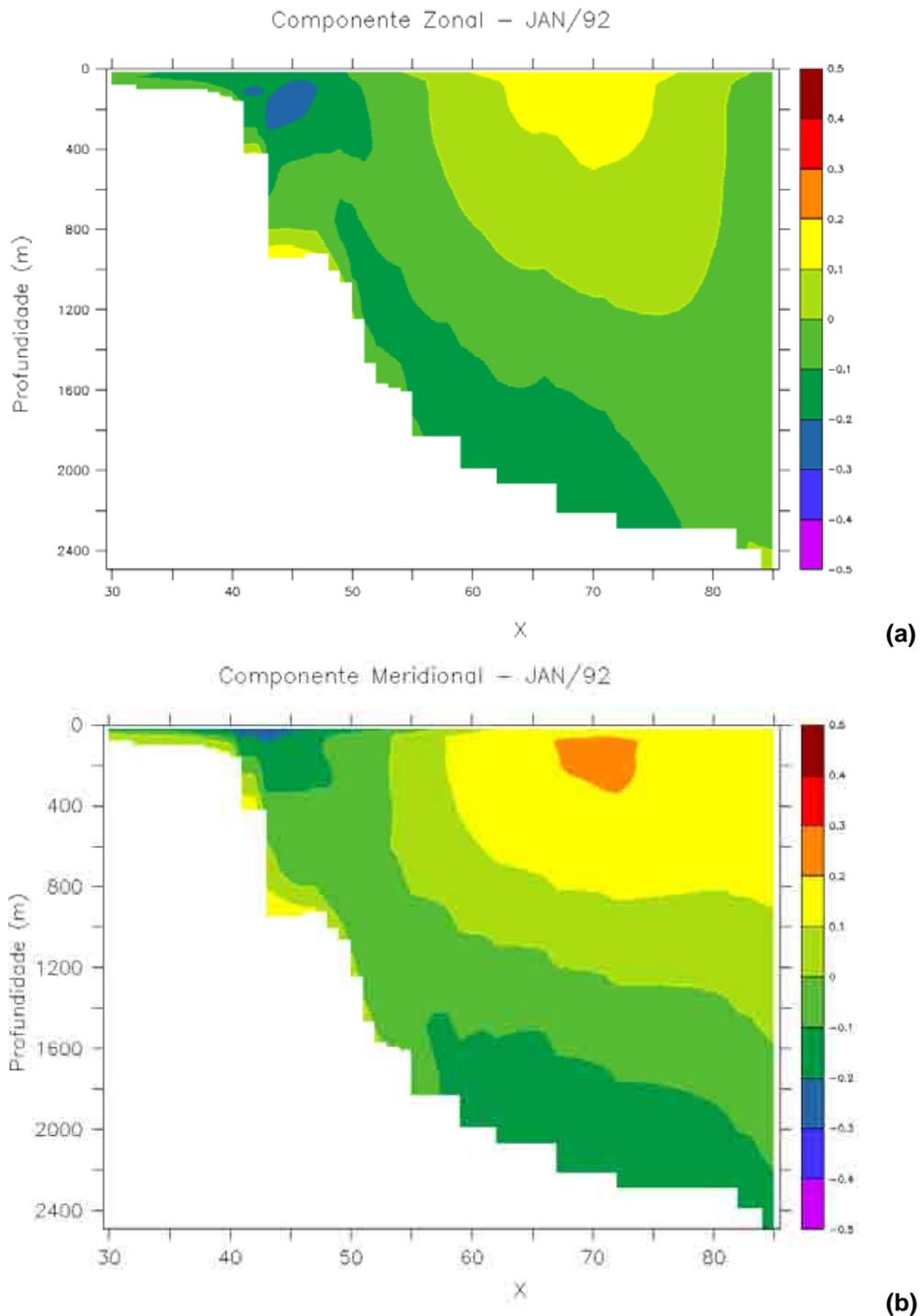
As figuras V-1 e V-2 apresentam instantâneos dos campos de superfície no verão e inverno, respectivamente. Observa-se a Corrente do Brasil como feição

dominante ao longo da costa sudeste brasileira, fluindo para sul acima do Cabo de São Tomé, e mudando a direção na região de Cabo Frio, em conformidade com o observado por Evans & Signorini (1985).

A figura V-1 ilustra o padrão de correntes obtido em situação de bom tempo (sob influência da Alta Atlântico Sul - AAS), mais comum no verão: um fluxo bem definido para sul-sudoeste sobre a plataforma e talude continental. A figura V-2 mostra as seções de velocidade zonal e meridional (médias para janeiro de 1992) ao longo da linha amarela indicada na figura V-1. Próximo à costa, o fluxo predominante é para sudoeste, com a Corrente do Brasil fluindo sobre a quebra do talude; em região oceânica, observa-se um fluxo para norte até cerca de 1.500 m de profundidade, e outro para sudeste próximo ao fundo.

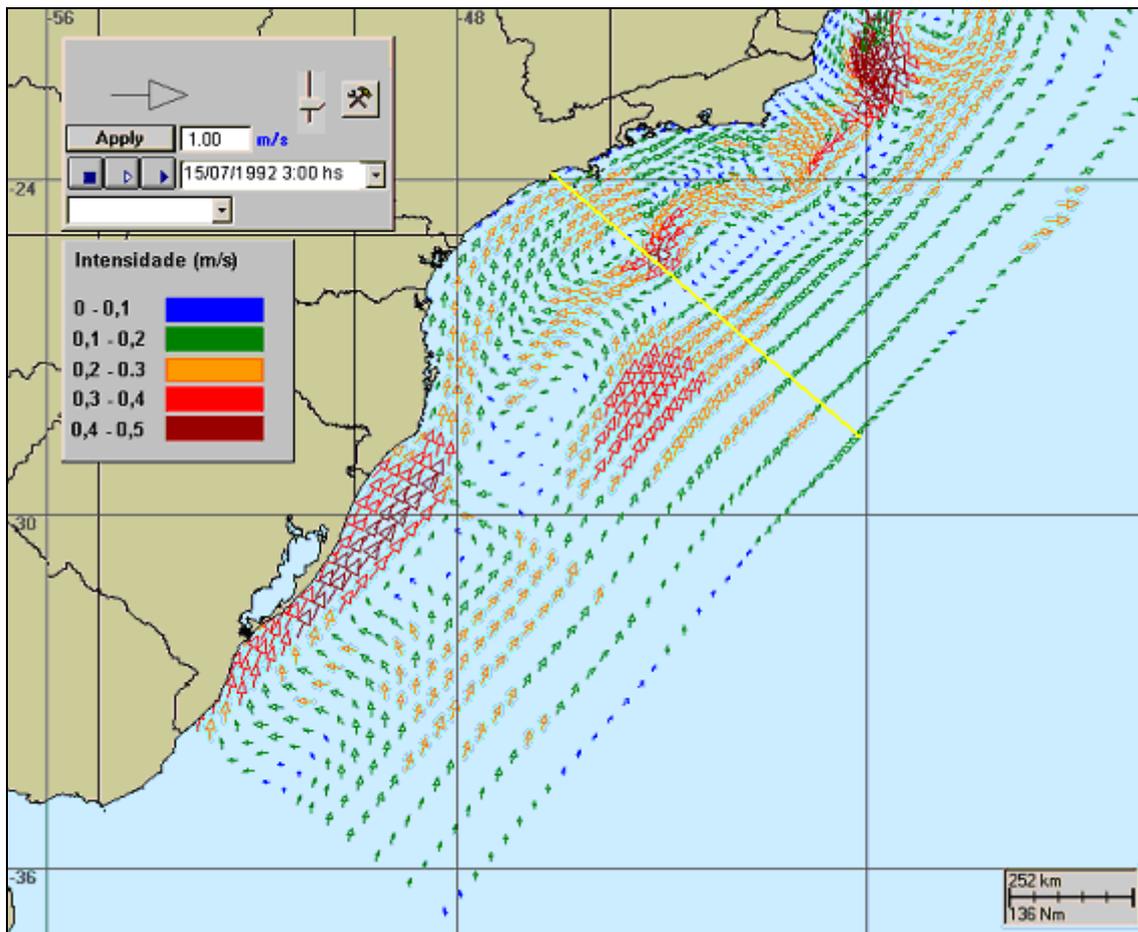


**Figura V-1** - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM na região da Bacia de Pelotas. A linha amarela indica a posição da seção transversal apresentada na figura V-2.

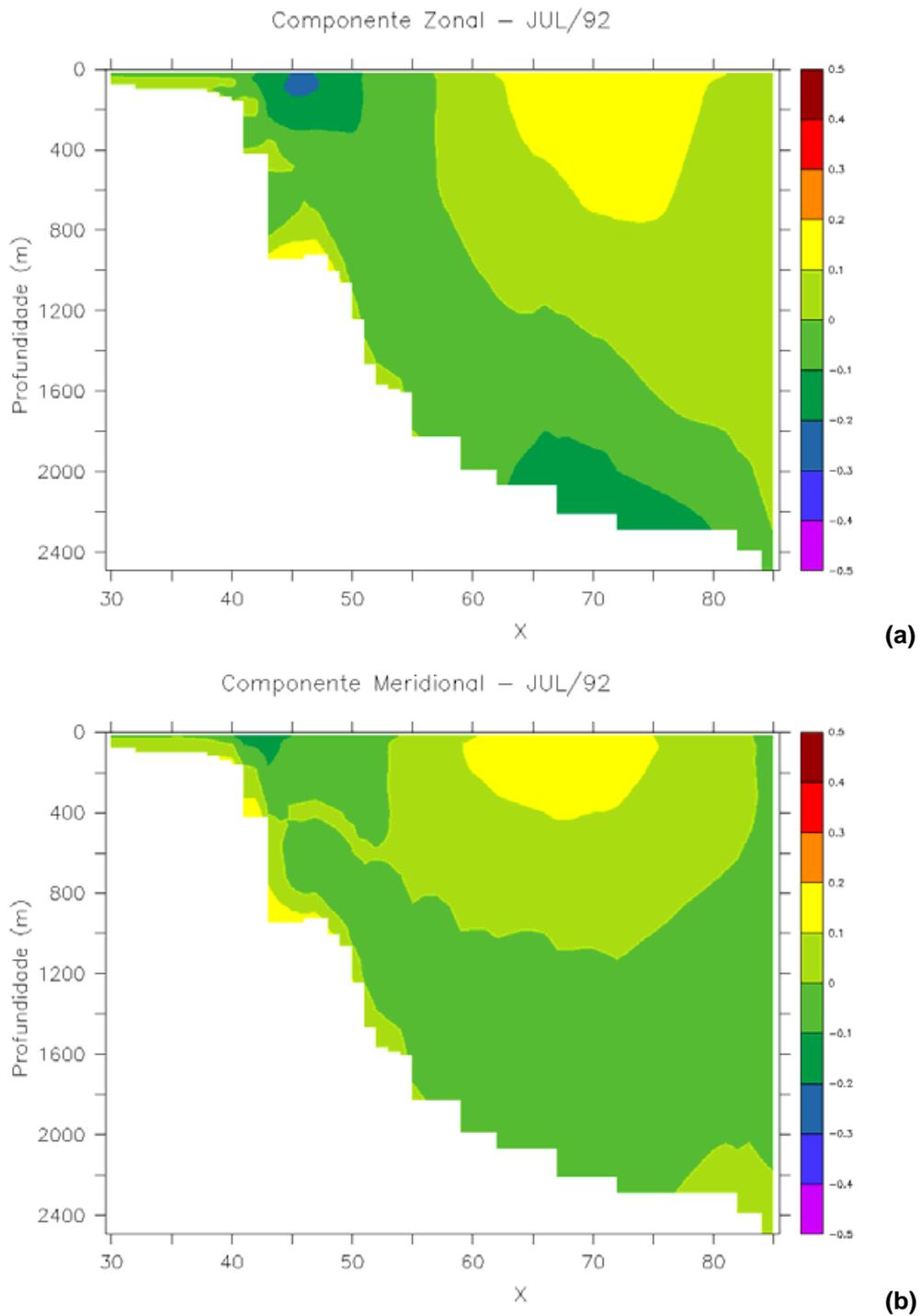


**Figura V-2** - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para janeiro de 1992, extraídas ao longo da linha amarela indicada na figura V-1.

A figura V-3 ilustra o padrão de correntes perturbado pelo deslocamento de um sistema frontal, mais frequentes no inverno; nestas ocasiões, é comum o campo de correntes inverter sobre a plataforma, apresentando direção norte-nordeste. A figura V-4 mostra as seções de velocidade zonal e meridional (médias para julho de 1992) ao longo da linha amarela indicada na figura V-3. Observa-se uma desintensificação do fluxo para sudoeste em região de plataforma, devido às inversões de fluxo, mais comuns nesta época.



**Figura V-3** - Instantâneo do campo de correntes de superfície, obtido a partir de resultados do POM, complementados por resultados do OCCAM na região da Bacia de Pelotas. A linha amarela indica a posição da secção transversal apresentada na figura V-4.



**Figura V-4** - Seções de velocidade zonal (a) e meridional (b), médias para julho de 1992, extraídas ao longo da linha amarela indicada na figura V-3.

Os índices de comparação obtidos no processo de avaliação, fato válido para qualquer estudo envolvendo modelagem numérica no oceano, devem ser compreendidos e analisados dentro de margens de erro pouco mensuráveis. Esses limites, usuais em qualquer simulação hidrodinâmica, são dados pela complexidade da circulação numa região específica, aliada à quantidade de informação anterior existente e ao fato da comparação entre os resultados do modelo e as medições realizarem-se sempre em pontos restritos no espaço e no tempo.

Embora se tenha conseguido uma boa representatividade do modelo hidrodinâmico para a região, deve-se lembrar que seus resultados são específicos para um dado período e determinados pelo atual nível de conhecimento na área de estudo. A extrapolação desses resultados no espaço e no tempo é sempre possível, sendo esta uma das vantagens da utilização de ferramentas numéricas.

## VI BIBLIOGRAFIA

BLUMBERG, A.F. & G.L. MELLOR, 1987. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. In: N.S. Heaps (Ed.), **Coastal and Estuarine Sciences 4: Three-dimensional Coastal Ocean Models**. American Geophysical Union, pp. 1-16.

BRYAN, K., 1969: A numerical method for the study of the circulation of the world ocean. **J. Comput. Phys.**, 4(3), 347-376.

CASTRO FILHO, B.M.C. & L.B. MIRANDA, 1998. Physical Oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4° N and 34° S. **The Sea**. John Wiley & Sons, Inc. 11: p. 209-251.

COX, M.D., 1984: A primitive equation 3-dimensional model of the ocean. **GFDL Ocean Group Technical Report No. 1**. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/NOAA, Princeton University, Princeton, N.J. 08542, U.S.A. 143 pp.

EVANS, D.L. & S.R. SIGNORINI, 1985. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, 315, p. 48-50.

EPA (Environmental Protection Agency), 2000. Hydrodynamic and Water Quality Model of Christina River Basin. Region III, Philadelphia, PA. **Final Report**. December 5, 2000.

FEMAR (Fundação de Estudos do Mar). 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Rio de Janeiro. 281pp.

GODOI, S. S. de, 2005. Dinâmica Quase-Geostrófica do Sistema Corrente do Brasil no Embaiamento de São Paulo. **Tese de doutorado apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo**.

HESS, K.W. & K.T. BOSLEY, 1992. Methodology for Validation of a Tampa Bay Circulation Model. **Proceedings, 2nd International Conference on Estuarine and Coastal Modeling**, Tampa, Florida, November 11-13, 1991. p. 83-94.

LIMA, J.A.M., 1997. Oceanic Circulation on the Brazilian Shelf Break and Continental Slope at 22°S. **Tese de doutorado. University of New South Wales**, Austrália.

MELLOR, G.L. & T. YAMADA, 1982. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev. Geophys. Space Phys.**, 20, nº 4, 851-875.

OLIVEIRA, A.S., 1986. Interações entre Sistemas Frontais na América do Sul e Convecção na Amazônia. INPE-4008-TDL/239.

PACANOWSKI, R.C., K. DIXON & A. ROSATI, 1990: The GFDL Modular Ocean Model users guide, version 1.0. GFDL Ocean Group Technical Report N°. 2. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, **Princeton University**, Princeton, N.J. 08542, U.S.A., 18 pp.

PACANOWSKI, R.C., 1995: MOM 2 documentation, user's guide and reference manual. GFDL Ocean Group Technical Report N°. 3. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory/ NOAA, **Princeton University**, Princeton, N.J. 08542, U.S.A., 232 pp.

SATYAMURTI, P. & L.F. MATTOS, 1989. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. **Mon.Wea. Rev.**,108:410-520.

SCHUREMANN, P., 1941. Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides. Washington, D.C., U.S. **Coast & Geodetic Surv.**, S.P. n. 98, 317p.

SEMTNER, A.J., 1974: A general circulation model for the World Ocean. **Technical Report N° 9**. Department of Meteorology, University of California, Los Angeles. 99 pp.

SIGNORINI, S.S., 1978. On the Circulation and volume transport of the Brazil Current between Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep Sea Res.**, 25, p. 481-490.3.

SILVEIRA, C.A. DA, A.C.K. SCHMIDT, E.J.D. CAMPOS, S.S. DE GODOI, & Y. IKEDA, 2000. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Rev. Bras. Oceanogr.**, 48(2): p. 171-183.

STRAMMA L. & M. ENGLAND, 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, no C9, 20863-20883.

STRAMMA, L.; Y. IKEDA & R.G. PETERSEN, 1990. Geostrophic transport in the Brazil Current region, **Deep-Sea. Res.**, 37(12): p. 1875-1886.

TOMCZAK, M. & J.S. GODFREY, 1994. Regional Oceanography: An Introduction. **Pergamon**. 422pp.



## VII EQUIPE TÉCNICA

### *Equipe da Empresa Consultora Applied Science Consultoria Ltda.*

<b>Profissional</b>	Ana Carolina R. Lammardo
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	325047
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Eduardo Yassuda
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	060.184.738.5
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	94066
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Gabriel Clauzet
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	1031373
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

<b>Profissional</b>	Maria Regina Fonseca Guimarães
<b>Empresa</b>	ASA Consultoria Ltda
<b>Registro no Conselho de Classe</b>	000.000.000-0
<b>Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental</b>	434231
<b>Responsável pelo(s) Capítulo(s)</b>	TODOS
<b>Assinatura</b>	_____

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