

5.1.4. Modelagem da Dispersão de Óleo e Efluentes

São descritas a seguir as modelagens realizadas para as atividades de produção de óleo e gás da plataforma P-52, englobando dispersão de óleo em potencial caso de acidente, e os descartes de água de produção e fluido de preenchimento dos dutos (água aditivada).

Para cada caso particular, serão apresentadas as simulações das trajetórias e dispersões, assim como, as premissas, parâmetros e valores utilizados como dados de entrada nos modelos.

A. Modelo para Dispersão de Efluentes

Tanto para a modelagem de dispersão da água produzida quanto para a da água aditivada descartada dos dutos foi utilizado o modelo OOC Model.

O modelo do Comitê de Operadores *Offshore* para Fluidos de Perfuração e Água Produzida, conhecido como OOC Model é um programa computacional para o cálculo do comportamento de fluidos, dos cascalhos de perfuração ou do descarte da água produzida, no ambiente marinho. Em um contrato firmado entre a Exxon Company USA e o Comitê da Exxon Production Research Company (EPR) foi desenvolvida a modelagem de dispersão do fluido de perfuração e de descarte de água produzida, entregando-os, em 1983, com um relatório descritivo, o qual continha um guia para o usuário do programa desenvolvido.

Desde esta data, o modelo para descarte de água produzida, bem como melhoria sucessiva no modelo de fluidos/cascalhos, vêm sendo implementados e disponibilizados para os membros do Comitê pela Brandsma Engenharia. Em 1999, os modelos foram acoplados e, juntamente com o relatório revisado, foram disponibilizados ao Comitê (EPRC, 1999).

O modelo é usado para simulações numéricas do comportamento de descargas a partir de um único ponto com diâmetro circular submerso, orientado para qualquer direção. A taxa de vazão desta descarga é assumida como constante. O efluente descartado é modelado como uma série de fluidos miscíveis à água que contêm partículas que podem ser mais pesadas (cascalhos) ou mais leves (gotas de óleo) que o fluido ambiente. Este fluido ambiente, chamado doravante de corpo receptor, é descrito pela sua profundidade local, temperatura, salinidade e velocidade da corrente.

As saídas do modelo são compostas pelos cálculos de trajetória e forma da pluma feita pela descarga, pelas concentrações dos seus componentes solúveis e insolúveis na coluna d'água e por seus acúmulos nas interfaces (superfície para as partículas leves, e fundo para as partículas pesadas). O modelo prevê tridimensionalmente as concentrações na coluna d'água como função do tempo decorrido após o início da descarga, considerando as interfaces citadas como reservatórios de retirada de material do sistema, não contribuindo como fontes.

- **Descrição Geral do Desenvolvimento da Pluma da Descarga**

O modelo assume que a descarga dos efluentes água produzida e fluido de preenchimento dos dutos irá gerar um jato simples. Este mar local estará caracterizado por uma estratificação de densidade e um campo de correntes, enquanto que a água produzida deverá possuir uma tendência maior ou menor à estabilização na coluna d'água e uma orientação (para baixo ou para cima), o que definirá o seu movimento descendente ou ascendente.

Após a descarga, os fluidos ou efluentes (água produzida e fluido de preenchimento dos dutos) passarão por três estágios de fluxo:

1. Fase de jato (ou convectiva): Onde o fluido transportado é dominado pelo momento da descarga inicial e o prevalecimento das forças de coesão internas sobre as forças de arrasto. É caracterizada pela manutenção das características dos efluentes, com maior integridade e poucas trocas com o meio ao redor.
2. Fase do colapso dinâmico: Onde a água produzida procura uma profundidade de equilíbrio e onde a advecção, as diferenças de densidade e os contrastes entre seus gradientes são as principais forças direcionando o seu transporte. O colapso refere-se à perda de integridade do efluente descartado, sendo o momento onde a penetração de água do mar se inicia, causando mistura e diluição na descarga do efluente.
3. Fase de dispersão passiva: Onde o efluente já perdeu completamente as suas características dinâmicas e todo o transporte das partículas é determinado por processos de difusão e advecção. Não há identificação do fluido descartado (água produzida e água aditivada) como um efluente, estando ele completamente misturado e diluído.

A seguir são apresentados os resultados da simulação, respectivamente, do descarte do fluido de preenchimento dos dutos (água aditivada), a ocorrer ao final da fase de instalação, e da água produzida, que ocorrerá ao longo de toda a fase de produção.

A.1. Modelo para Dispersão do Fluido de Preenchimento dos Dutos

✓ Premissas

Com o intuito de reproduzir, ao máximo, dados representativos da realidade operacional no desenvolvimento da simulação, foram assumidas certas premissas aplicadas na utilização destes dados pelo modelo.

a) Quanto ao GRID

O grid foi especificado de forma que a plataforma PRA-1 ficasse alinhada ao seu eixo Norte-Sul (que não corresponde ao geográfico), deslocado para seu lado esquerdo em função do efeito causado pela “barreira” representada pela estrutura da PRA-1.

no deslocamento da água aditivada descartada. O alinhamento de todo o grid foi feito de forma que este eixo X (N-S) coincidissem com a direção da corrente, permitindo mais facilmente a determinação das coordenadas dos pontos onde o modelo apresenta os perfis de concentração na coluna d’água.

A profundidade máxima sensibilizada pela descarga da água aditivada foi especificada em rodadas sucessivas do modelo, a partir de 100 metros de profundidade, verificou-se então que a água aditivada não passaria de 50 metros de profundidade, sendo assim, o grid foi refinado para uma batimetria de 50 metros melhorando a visualização dos resultados.

b) Quanto à descarga da água aditivada

O lançamento foi simulado como sendo feito na profundidade de 10 metros.

c) Quanto à concentração de descarte da água aditivada e limite de toxicidade

Conforme especificado no item 2.4.E, o fluido de preenchimento será uma mistura de água do mar, adicionada de biocida NIPACIDE GT (glutaraldeído > 30,0% e metanol 0,25%) numa concentração de 416,7 ppm, corante (fluoresceína 20%) a 25 ppm, e sequestrante de oxigênio SISBRAX SQO-40C (metabissulfito de sódio > 37% e sais de cobalto < 0,1%) a 216,2 ppm.

Para determinar a área da pluma de descarte onde serão observados efeitos tóxicos aos organismos, foram considerados os resultados dos testes de toxicidade aguda (com o microcrustáceo *Mysidopsis juniae*) e crônica (com o desenvolvimento embrionário do ouriço *Lytechinus variegatus*) realizados com os compostos NIPACIDE GT e SISBRAX SQO-40C em conjunto (item 2.4.G e Anexo 2-IV), especialmente a CENO (concentração limite de efeito não observável) e a CL50 (concentração letal a 50% dos organismos-teste).

Conforme apresenta o Quadro 5.1.4-1 a seguir, os resultados dos testes foram expressos em percentual da amostra original do fluido a ser descartado. A amostra original (solução-mãe) foi considerada como 100%, e os resultados encontrados para a toxicidade

representam a diluição em que foram registradas a CENO (concentração de efeito não observável) e a CL50 (concentração letal a 50% dos organismos-teste).

Quadro 5.1.4-1. Resultados dos testes de toxicidade crônica (*Lytechinus variegatus*) e aguda (*Mysidopsis juniae*), com o fluido a ser utilizado no alagamento das linhas de coleta e escoamento de óleo e gás da UEP P-52.

PRODUTO	<i>Lytechinus variegatus</i> (teste crônico)	<i>Mysidopsis juniae</i> (teste agudo)
NIPACIDE GT (416,7 ppm) + SISBRAX SQO-40C (200 ppm)	CENO: 0,013%	CL ⁵⁰ : 0,49%

Fonte: Labtox Tecnologia Ambiental

Legenda: CL50 – concentração letal a 50% dos organismos-teste
CENO – concentração de efeito não observável

O fluido de preenchimento dos dutos trata-se de uma mistura de produtos, logo não existe um valor de concentração do fluido de preenchimento (água aditivada) e sim de cada substância que o compõe. Levando em consideração tal afirmação, aliada ao fato que uma das entradas do modelo é a concentração do efluente a ser modelado, foi selecionado apenas um dos produtos componente do fluido de preenchimento dos dutos (biocida NIPACIDE GT). Para determinar a concentração de entrada no modelo e a de corte (limite de toxicidade), foram consideradas, respectivamente, a concentração inicial do produto selecionado no momento do descarte e a sua concentração proporcional de acordo com o resultado dos testes de toxicidade (Quadro 5.1.4-2).

Quadro 5.1.4-2. Concentrações do biocida NIPACIDE GT (glutaraldeído > 30,0% e metanol 0,25%) utilizadas como entrada no modelo e como corte para delimitação da área efetivamente tóxica aos organismos.

CONCENTRAÇÃO DE ENTRADA	CONCENTRAÇÕES DE CORTE	
	SEGUNDO CENO	SEGUNDO CL50
416,7 ppm	0,013% de 416,7 ppm = 0,054 ppm	0,49% de 416,7 ppm = 2,04 ppm

Legenda: CL50 – concentração letal a 50% dos organismos-teste
CENO – concentração de efeito não observável

Como as concentrações de corte mencionadas no Quadro 5.1.4-2 são as concentrações do biocida na diluição em que foram registradas a CENO e a CL50, vale ressaltar que qualquer que fosse o produto selecionado seria obtida a mesma área de dispersão da pluma do fluido descartado. Registra-se, então, que na região onde for encontrado 0,013% da concentração do biocida originalmente descartado (416,7 ppm = 100%), por exemplo, também terá 0,013% da concentração inicial de seqüestrante de oxigênio (216,2 ppm = 100%).

d) Quanto à determinação dos parâmetros ambientais

Os valores utilizados nas simulações são representativos de condições médias sazonais características para a região do campo, apresentados no estudo ambiental (Item 5.1.2).

✓ Dados de Entrada da Simulação

O modelo utiliza um sistema próprio de coordenadas, devendo ser indicada a extensão da área avaliada ao longo dos eixos E-W e N-S, bem como os intervalos de discretização da malha nos quais são calculados os parâmetros avaliados na evolução da modelagem. São informados também os seguintes parâmetros:

- Composição da água aditivada: temperatura, salinidade e concentração do poluente;
- Dados da descarga: vazão, duração, raio da tubulação, orientação e localização;
- Dados do ambiente: batimetria, perfil de velocidades de correntes, altura e período de onda, velocidade do vento e temperatura do ar;
- Dados estruturais da plataforma PRA-1: comprimento, largura, calado operacional, diâmetro característico das estruturas submersas e espaçamento entre elas.

Todos os dados são apresentados em unidades do sistema inglês, o que demanda uma conversão em sua entrada e saída de informações para o sistema GKS.

Também deverão ser informados os tempos da simulação, sendo estes referentes ao tempo total da descarga e o passo de evolução do modelo.

Os principais dados de entrada do modelo são apresentados no Quadro 5.1.4-3 seguir.

Quadro 5.1.4-3. Valores das variáveis de entrada do modelo

DESCRIÇÃO	VALOR
Vazão	550,00 m ³ /hr
Raio da tubulação do descarte	0,75 ft
Profundidade de descarte	10 m (32,8 ft)
Volume de água descartada	8.800,00 m ³
Ângulo vertical de descarga (em graus referentes à horizontal – positivo para baixo e negativo para cima)	90°
Azimute de descarte, graus do norte	90°
Duração do descarte	57600 s (16 h)
Temperatura da água aditivada em °C	7°
Salinidade da água aditivada em ppm	35
Intensidade da corrente em ft/s	0,30 m/s (0,65 ft/s)
Direção das correntes, em graus	180° (para Sul)
Temperatura da água do mar	24,90 °C (0 m) e 23,74 °C (50 m)
Salinidade da água do mar	36,72 (0 m) e 36,73 (50 m)
Altura de onda significativa	1 m
Período de onda significativa	6 s
Velocidade do vento (ft/sec)	6,8 m/s
Temperatura do ar à superfície do mar	23,3 °C

✓ Resultados

As Figuras 5.1.4-1 e 5.1.4-2 mostram a representação da dispersão de concentração na pluma verticalmente. A Figura 5.1.4-1, a seguir, mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 250 metros e chegando a uma profundidade máxima aproximada de 30 metros até atingir o equilíbrio.

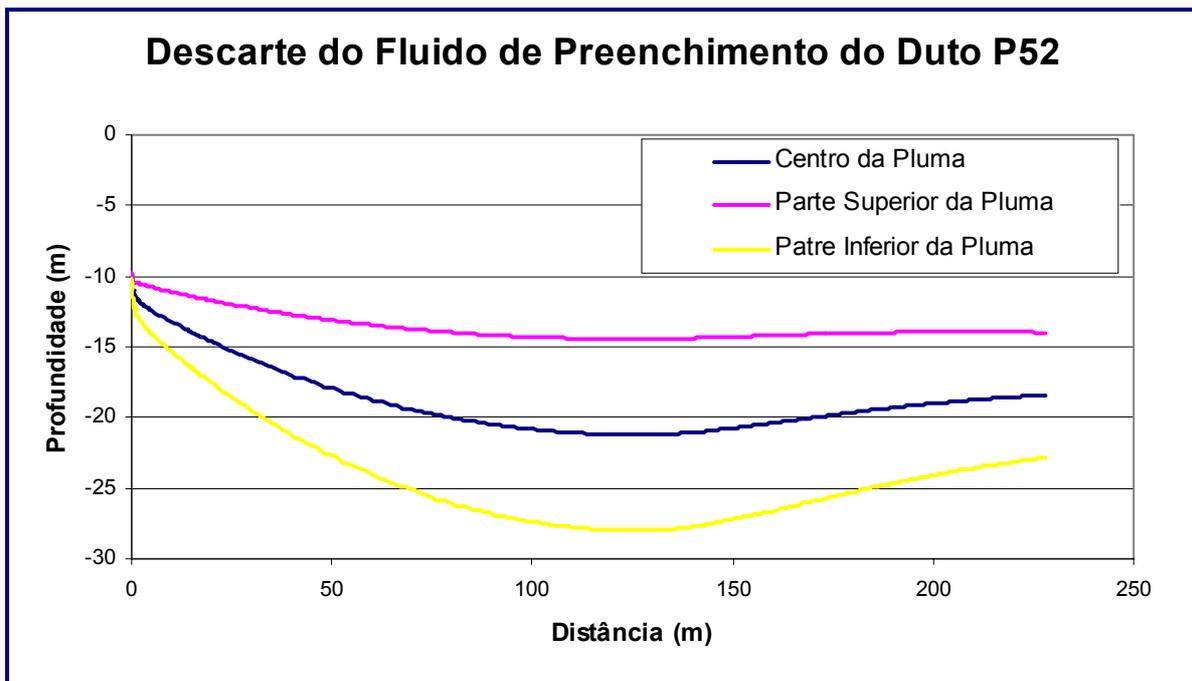


Figura 5.1.4-1. Comportamento vertical da pluma em campo próximo.

A partir da Figura 5.1.4-2, a seguir, nota-se que a pluma de descarte, para atingir a concentração da CL50 (2,04 ppm), deslocando-se no sentido preferencial da corrente, chega a uma distância de aproximadamente 175 metros do local de descarte e a uma profundidade máxima aproximada de 25 metros. Para a pluma atingir a concentração da CENO (0,054 ppm) ela percorre cerca de 1100 metros desde o local de descarte, chegando a uma profundidade máxima aproximada de 40 metros. Ressalta-se que, apesar de não serem observados efeitos tóxicos aos organismos a partir da linha da CENO, o fluido de preenchimento só será completamente diluído na água do mar a partir de aproximadamente 1150 metros de distância do local de descarte.

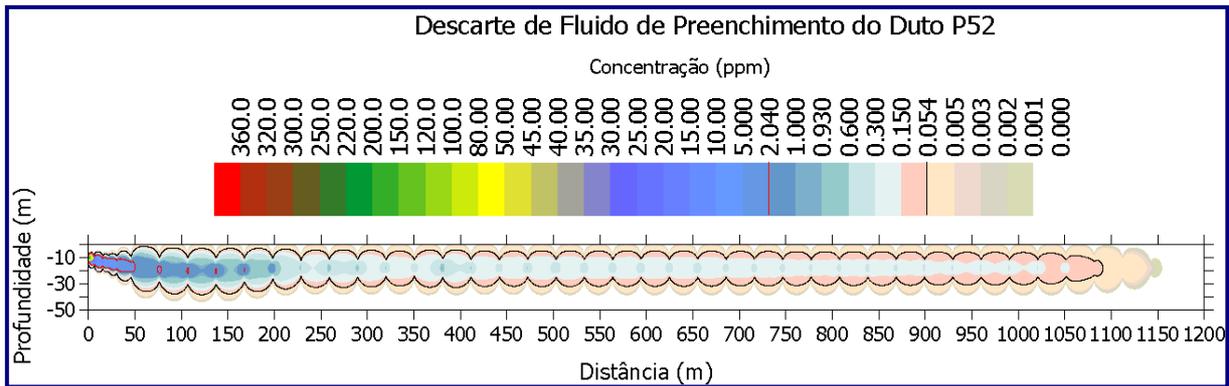


Figura 5.1.4-2. Comportamento vertical da pluma ao longo de todo o caminho percorrido. A linha vermelha delimita a área com concentração acima da CL50 (2,04 ppm), enquanto que a linha preta delimita a área com concentração acima da CENO (0,054 ppm).

A Figura 5.1.4-3, a seguir, mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 250 metros e com uma abertura lateral de aproximadamente 15 metros tanto para a direita quanto para a esquerda a partir do centro da pluma.

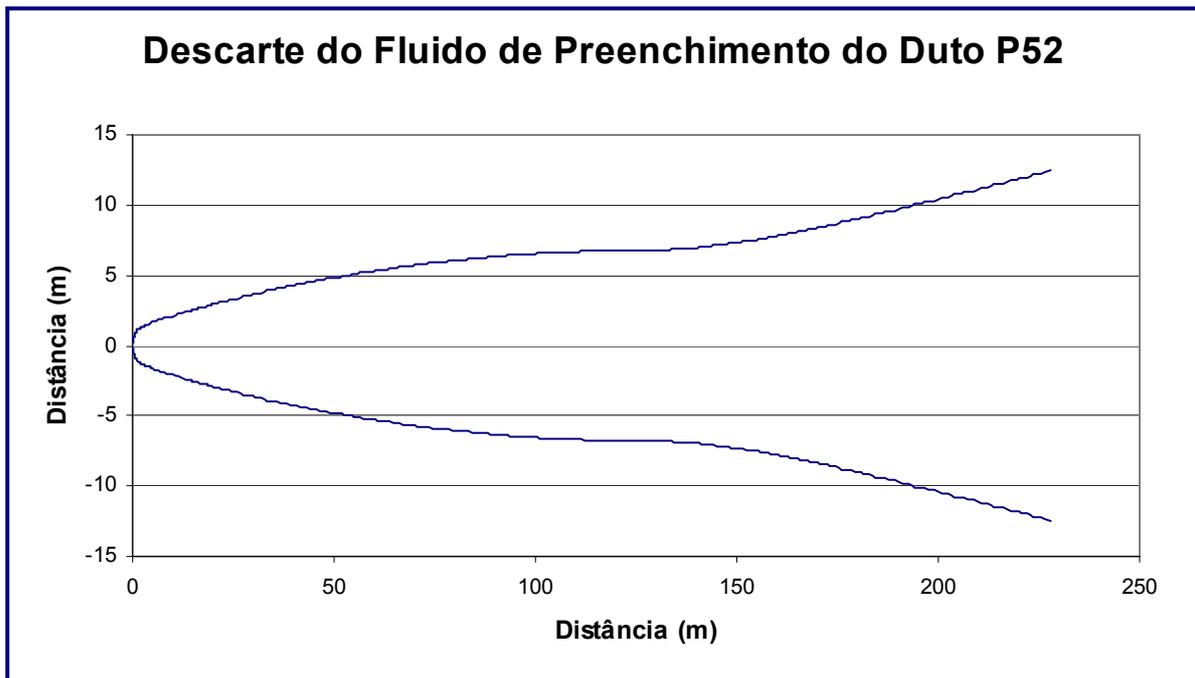


Figura 5.1.4-3. Dispersão horizontal da pluma em campo próximo.

A.2. Modelo para Dispersão de Água Produzida

✓ Premissas

Com o intuito de reproduzir, ao máximo, dados representativos da realidade operacional no desenvolvimento da simulação, foram assumidas certas premissas aplicadas na utilização destes dados pelo modelo.

a) Quanto ao GRID

O grid foi especificado de forma que a plataforma PRA-1 ficasse alinhada ao seu eixo Norte-Sul (que não corresponde ao geográfico), deslocado para seu lado esquerdo em função do efeito causado pela “barreira” representada pela estrutura da PRA-1 no deslocamento da água de produção descartada. O alinhamento de todo o grid foi feito de forma que este eixo X (N-S) coincidissem com a direção da corrente, permitindo mais facilmente a determinação das coordenadas dos pontos onde o modelo apresenta os perfis de concentração na coluna d’água.

b) Quanto à descarga da água produzida

O lançamento foi simulado como sendo feito na superfície do mar local.

c) Quanto à determinação dos parâmetros ambientais

Os valores utilizados nas simulações são representativos de condições médias sazonais características para a região do campo, apresentados no estudo ambiental (Item 5.1.2).

d) Quanto à inclusão da concentração de óleo na água produzida

Densidade da partícula de óleo na água produzida igual a 1,02 ppm.

✓ Dados de Entrada da Simulação

O modelo utiliza um sistema próprio de coordenadas, devendo ser indicada a extensão da área avaliada ao longo dos eixos E-W e N-S, bem como os intervalos de discretização da malha nos quais são calculados os parâmetros avaliados na evolução da modelagem. São informados também os seguintes parâmetros:

- Composição da água produzida: temperatura, salinidade e concentração de óleo;
- Dados da descarga: vazão, duração, raio da tubulação, orientação e localização;
- Dados do ambiente: batimetria, perfil de velocidades de correntes, altura e período de onda, velocidade do vento e temperatura do ar;
- Dados estruturais da plataforma: comprimento, largura, calado operacional, diâmetro característico das estruturas submersas e espaçamento entre elas.

Todos os dados são apresentados em unidades do sistema inglês, o que demanda uma conversão em sua entrada e saída de informações para o sistema GKS.

Também deverão ser informados os tempos da simulação, sendo estes referentes ao tempo total da descarga e o passo de evolução do modelo.

Os principais dados de entrada do modelo são apresentados a seguir no Quadro 5.1.4-4.

Quadro 5.1.4-4. Valores das variáveis de entrada do modelo

DESCRIÇÃO	VALOR
Fluxo do volume descartado	3747,68 bbl/hr
Raio da tubulação do descarte	1,0 ft (10" – 0,3 m)
Ângulo vertical de descarga (em graus referentes à horizontal – positivo para baixo e negativo para cima)	90°
Azimute de descarte, graus do norte	90°
Duração da descarga	contínua
Temperatura da água produzida em °C	40°
Salinidade da água produzida em ppm	189,75
Descrição da partícula a modelar	Óleo
Densidade da partícula (g/cm ³)	1,02
Intensidade da corrente em ft/s	0,30 m/s (0,98 ft/s)
Direção das correntes, em graus	180° (para Sul)
Temperatura da água do mar	25,00 °C (0 m) e 23,74 °C (50 m)
Salinidade da água do mar	36,72 (0 m) e 36,73 (50 m)
Altura de onda significativa	2 m (6,5 ft)
Período de onda significativa	6 s
Velocidade do vento (ft/sec)	6,7 m/s (22,21 ft/s)
Temperatura do ar à superfície do mar	24,0 °C

✓ Resultados

As Figuras 5.1.4-4 e 5.1.4-5 representam a dispersão de concentração na pluma verticalmente.

A Figura 5.1.4-4 mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 450 metros e chegando a uma profundidade aproximada de 80 metros até atingir o equilíbrio.

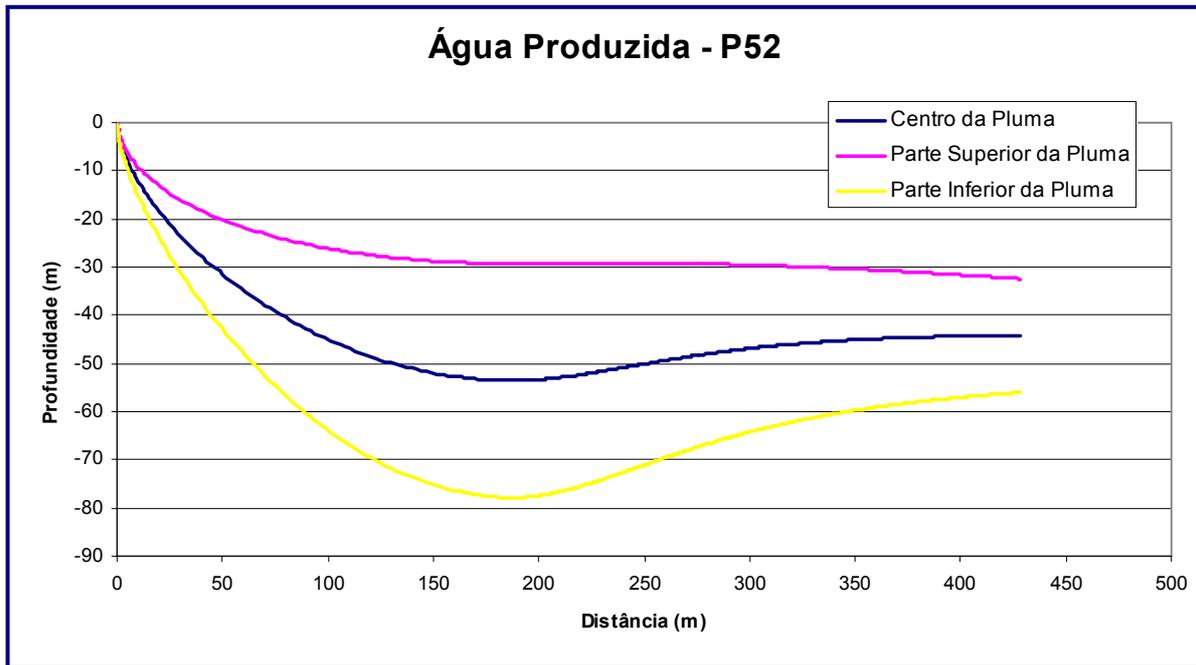


Figura 5.1.4-4. Comportamento vertical da pluma em campo próximo.

A partir da Figura 5.1.4-5, nota-se que a pluma, para atingir a concentração desejada, chega a uma distância aproximada de 1150 metros do local de descarte e atinge uma profundidade aproximada de 100 metros, deslocando-se no sentido preferencial da corrente.

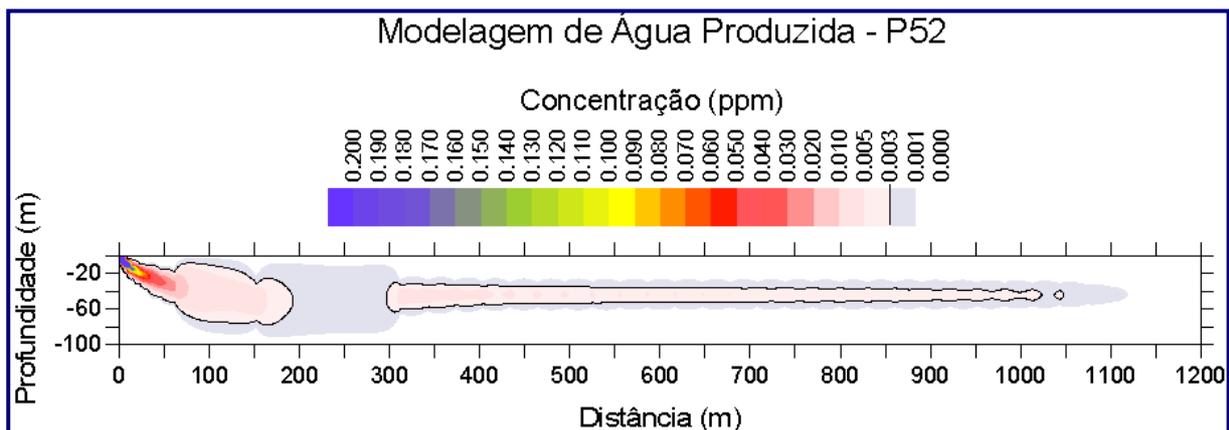


Figura 5.1.4-5. Comportamento vertical da pluma ao longo de todo o caminho percorrido.

A Figura 5.1.4-6, a seguir, mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 450 metros e com uma abertura lateral de aproximadamente 60 metros tanto para a direita quanto para a esquerda à partir do centro da pluma.

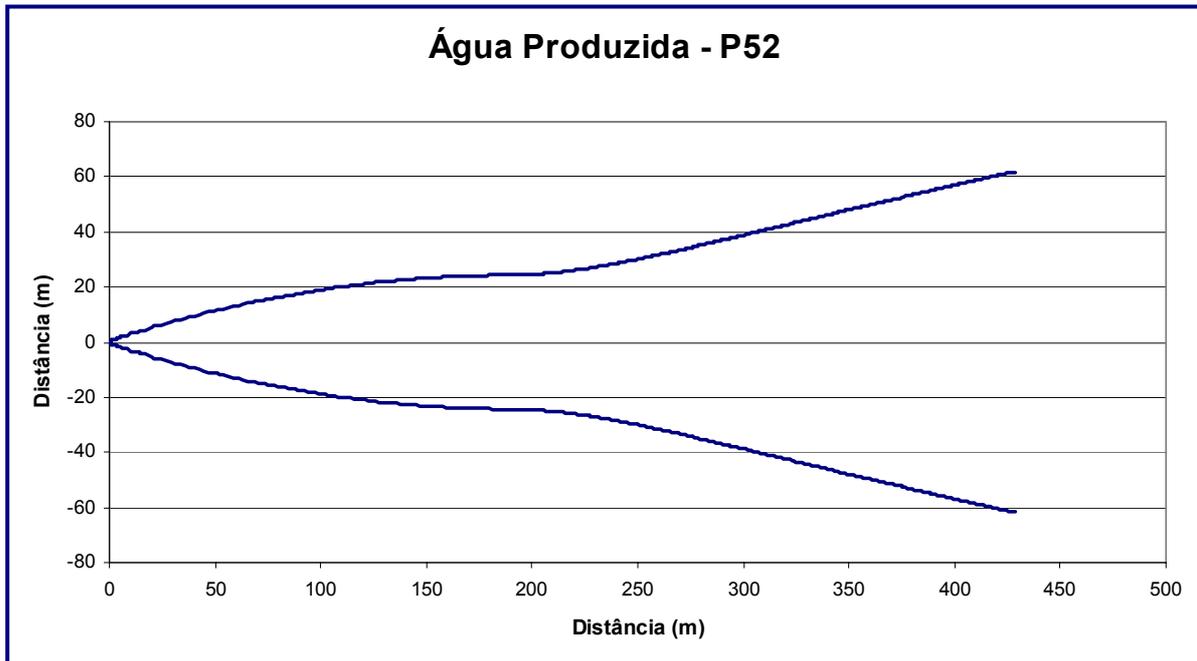


Figura 5.1.4-6. Dispersão horizontal da pluma em campo próximo.

B. Modelo para Dispersão do Óleo

Para a modelagem de um potencial acidente com petróleo na plataforma P-52, na Bacia de Campos, foi utilizado o sistema de modelos OILMAP da Applied Science Associates (ASA) mostrando a trajetória e transformações biogeoquímicas do óleo após um vazamento. Baseado no relatório da ASA para a plataforma P-52 (Anexo 5-I), serão descritos os detalhes da modelagem para um possível acidente com óleo.

As simulações para um potencial acidente com petróleo na Bacia de Campos foram realizadas a partir do poço de maior produção (7-RO-19H-RJS), cujas coordenadas especificadas pela PETROBRAS estão citadas no Quadro 5.1.4-5.

Quadro 5.1.4-5. Localização do poço de maior produção (7-RO-19H-RJS) ligado à plataforma P-52.

UTM – DATUM ARATU	GEODÉSICA – DATUM SAD69
Norte: 7.577.772	21° 54' 07,570" S
Leste: 419.200	39° 46' 55,940" W

Fonte: ASA, 2003.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade da mancha atingir a área de estudo, a partir de 3 (três) classes de derramamento: pequeno (8 m^3), médio (200 m^3) e pior caso (90.000 m^3), correspondente à perda de controle do poço produtor de maior vazão. Os resultados mostraram que, mesmo para

esta condição catastrófica de derrame, a probabilidade da mancha chegar à costa é matematicamente inexistente em condições de verão e igual a 15% em condições de inverno. Entretanto, os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação entre a trajetória e destino de uma mancha simulada e o padrão de circulação na região (ver item 5.1.2). As condições meteoceanográficas da região onde se localiza a plataforma P-52 são caracterizadas, principalmente, pela dinâmica associada à Corrente do Brasil nesta área da plataforma continental.

✓ Premissas, Parâmetros e Valores Utilizados

Primeiramente foi definida a área de estudo para o ponto de derramamento. Nesta área, foi definido um conjunto de duas grades computacionais, ou malhas com uma certa quantidade de blocos menores, sobrepostas ao mapa digital da área de estudo. Uma das grades define quais células ou blocos correspondem à área de terra e quais as áreas de água, com a interface definindo a linha de costa. A linha de costa, por sua vez, é uma série de blocos que limita a extensão à qual a mancha de óleo pode se movimentar em uma determinada direção. A outra grade ou malha compreendendo apenas a região de água define o campo de circulação.

Os conjuntos de dados de entrada e parâmetros do modelo que definem um cenário são: ponto de derramamento, tipo de óleo, data, horário e duração do derramamento, campo de corrente, arquivo de dados meteorológicos, opções de saída, e parâmetros de simulação. Os resultados de cada simulação correspondem então a um único cenário, definido pelo arquivo de entrada de dados e parâmetros.

O modelo de trajetória e transformações biogeoquímicas simula o transporte e a degradação do óleo a partir de derramamentos instantâneos ou contínuos. O modelo apresenta os resultados das simulações através da localização da mancha, concentração do óleo de superfície e sub-superfície versus tempo. O sistema também calcula e apresenta graficamente o balanço de massa do óleo derramado, em termos da porcentagem de óleo na superfície, na coluna d'água, evaporado, na linha de costa e fora da área de estudo.

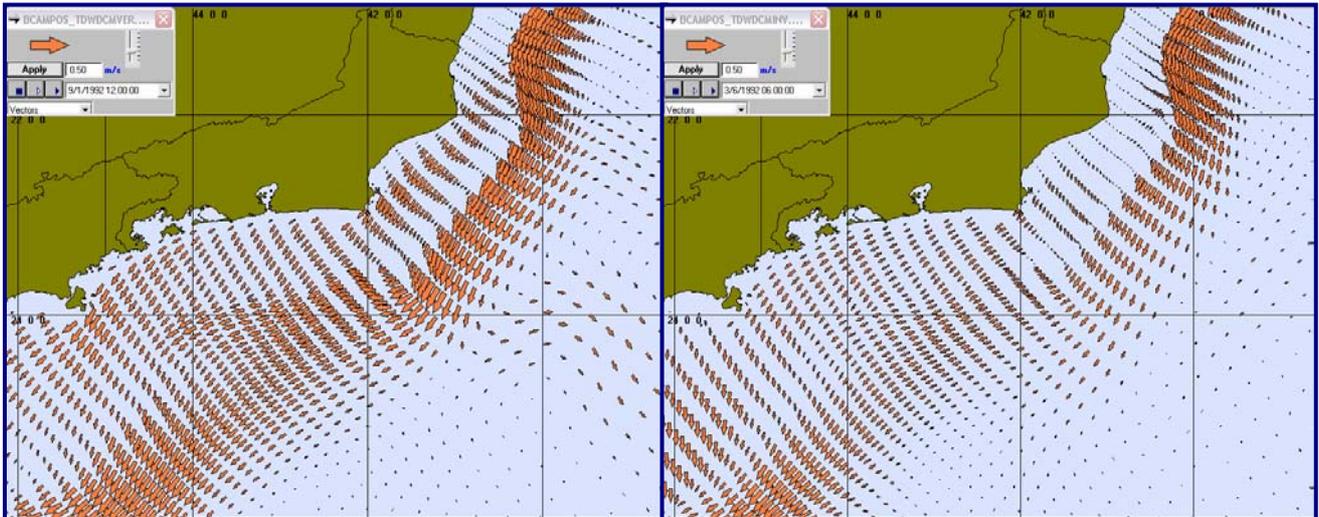
Os processos de transformações biogeoquímicas no modelo incluem dispersão, evaporação, entranhamento ou arrastamento, dispersão natural ou por suspensão e emulsificação. Uma descrição detalhada dos processos biogeoquímicos representados no modelo, bem como suas formulações matemáticas são apresentadas em ASA (1997).

A dispersão e o espalhamento da mancha são representados no modelo pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980, 1982), utilizando-se a abordagem de mancha espessa. O processo de evaporação baseia-se na formulação analítica parametrizada em termos de exposição à evaporação (Mackay *et al.*, 1980, 1982). Os processos de entranhamento e arrastamento 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 coeficiente de entranhamento ou arrastamento, como uma função da viscosidade do óleo, baseia-se em Delvigne & Hulsen (1994). O processo de emulsificação do óleo, em função de perdas de evaporação e alterações na porcentagem de água na mistura, baseia-se em Mackay *et al.* (1980, 1982). A interação do óleo com o litoral e linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada

de Reed *et al.* (1989) que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção dependendo do tipo da costa e de um índice de remoção exponencial.

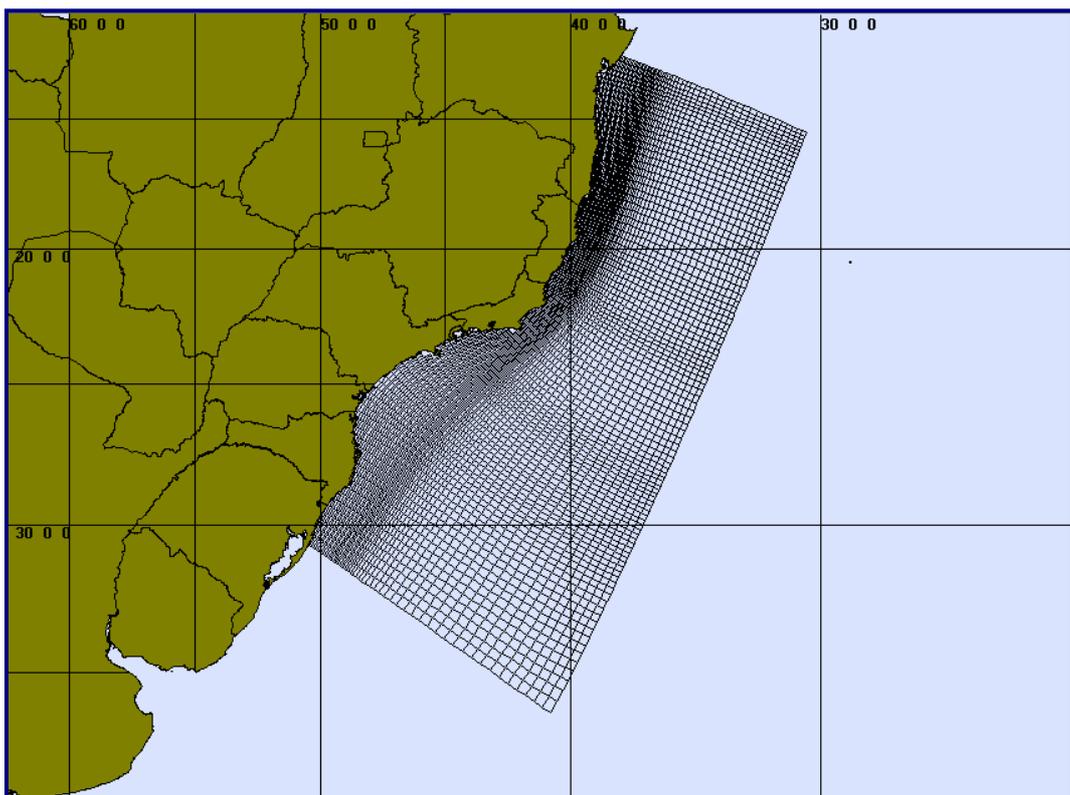
Para caracterização dos padrões de circulação foram utilizados campos de velocidades gerados pelo modelo POCM (WOCE Parallel Ocean Climate Model) ajustado para modelar as correntes oceânicas da costa sudeste do Brasil, acoplado a um modelo implementado no mesmo domínio (ASA) visando a introdução de respostas da plataforma à forçantes locais. Os campos de velocidade de baixa frequência foram fornecidos pelo Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) para o ano de 1992 com resultados a cada 3 dias, cobrindo a região oceânica compreendida entre as latitudes de 13° e 30° S, e as longitudes de 30° e 50° W. O campo hidrodinâmico resultante da combinação destes modelos, e utilizado como base para o modelo de óleo, apresenta resultados a cada 3 horas para o ano de 1992.

Na Figura 5.1.4-7 são apresentados campos de velocidades típicos observados nos resultados do modelo para verão e inverno, onde se destaca a definição da Corrente do Brasil. Na Figura 5.1.4-8 observa-se a grade utilizada no modelo hidrodinâmico.



Fonte: ASA, 2003.

Figura 5.1.4-7. Exemplos ilustrativos de campos de velocidades obtidos com os modelos hidrodinâmicos para verão (esquerda) e inverno (direita) no ano de 1992.

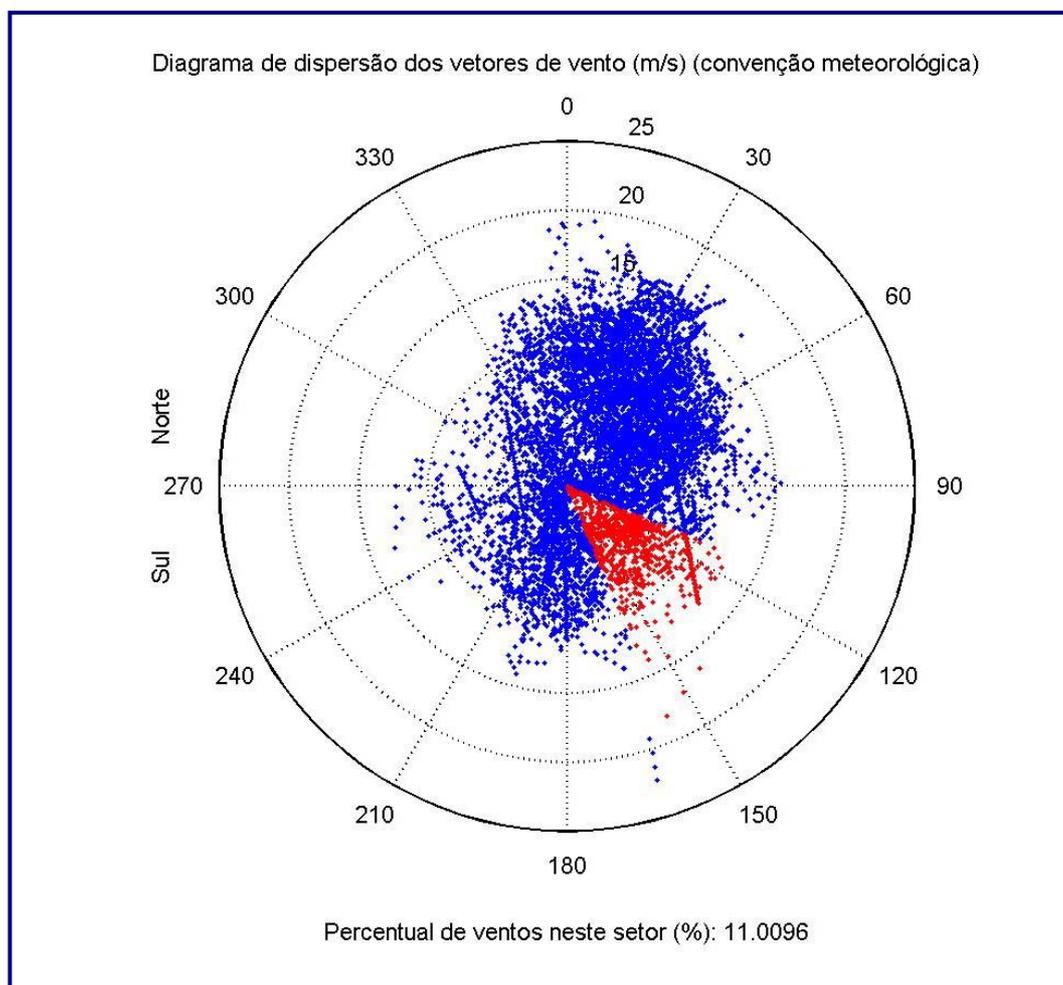


Fonte: ASA, 2003.

Figura 5.1.4-8. Grade utilizada no modelo.

Os dados de vento utilizados no modelo, foram medidos em uma bóia oceanográfica localizada no campo de Albacora (Bacia de Campos). Estes dados foram fornecidos pelo

Centro de Pesquisas da PETROBRAS (CENPES) para o ano de 1992 com intervalo de amostragem de 3 horas. A Figura 5.1.4-9 apresenta o diagrama de dispersão para a série temporal fornecida, onde foi adotada a convenção meteorológica, isto é, a direção do vento corresponde à direção de onde este sopra.



Fonte: ASA, 2003.

Figura 5.1.4-9. Diagrama de dispersão do vento para o ano de 1992 na Bacia de Campos.

O Quadro 5.1.4-6 apresenta a distribuição de ocorrência conjunta de intensidades e direções do vento obtida para os dados fornecidos. Esta tabela demonstra que os ventos mais freqüentes são de NE (17,4%) e NNE (16,9%). Os ventos com velocidades médias máximas (9,8 m/s) sopraram de NNE; e os ventos mais fortes registrados vieram de SSE (22,3 m/s) e N (19,3 m/s). Observando-se a freqüência conjunta, o vento mais comum soprou de NE com velocidades variando entre 8 e 9 m/s.

Quadro 5.1.4-6. Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o ano de 1992 na Bacia de Campos. (Fonte: ASA, 2003)

Ocorrência conjunta de intensidade (m/s) e direção do Vento.
Obs.: a direção é medida em graus e para o sentido utiliza-se a convenção meteorológica que é de onde o vento vem .

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total	Porc.	Dir.med.
0.0- 1.0	9	13	7	9	11	15	21	13	14	17	10	8	8	10	9	3	177	2.0	156
1.0- 2.0	10	24	15	18	20	25	8	7	20	29	17	19	15	13	10	12	262	3.0	153
2.0- 3.0	18	17	15	24	28	39	24	18	28	45	26	15	16	11	17	27	368	4.2	147
3.0- 4.0	24	27	39	55	66	36	43	90	73	42	16	18	10	12	20	28	599	6.8	126
4.0- 5.0	27	49	113	91	46	53	78	65	47	49	19	25	9	12	19	30	732	8.4	95
5.0- 6.0	30	45	105	129	49	107	108	53	64	40	24	13	6	4	26	20	823	9.4	97
6.0- 7.0	75	113	102	154	87	76	54	61	48	43	22	17	10	2	14	28	906	10.3	74
7.0- 8.0	61	124	123	154	104	28	43	44	51	32	27	12	15	6	10	24	858	9.8	65
8.0- 9.0	93	210	382	225	52	38	38	33	47	59	13	19	6	3	10	36	1264	14.4	51
9.0-10.0	105	135	146	142	26	49	19	17	46	17	2	7	11	2	4	28	756	8.6	48
10.0-11.0	94	150	167	90	17	25	11	5	30	14	0	4	6	0	0	30	643	7.3	38
11.0-12.0	85	149	100	66	11	6	17	11	7	6	1	0	2	0	0	14	475	5.4	36
12.0-13.0	57	147	78	26	11	5	12	7	5	3	0	2	2	0	0	11	366	4.2	32
13.0-14.0	26	101	60	15	12	0	0	5	0	4	0	2	0	0	0	9	234	2.7	32
14.0-15.0	14	83	34	2	6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	141	1.6	30
15.0-16.0	7	65	21	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	1.1	26
16.0-17.0	2	17	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0.3	29
17.0-18.0	3	8	7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0.2	28
18.0-19.0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.1	9
19.0-20.0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.0	21
20.0-21.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0	162
21.0-22.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0	163
22.0-23.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.0	163
Total	746	1477	1522	1200	547	502	477	436	480	401	177	161	116	75	139	300	8756		
Porc.	8.5	16.9	17.4	13.7	6.2	5.7	5.4	5.0	5.5	4.6	2.0	1.8	1.3	0.9	1.6	3.4			
Vel.med.	9.0	9.8	8.6	7.5	6.4	5.9	5.9	5.9	6.0	5.6	4.8	5.2	5.3	3.6	4.6	6.9			
Vel.max.	19.3	18.0	17.6	14.8	15.3	12.6	16.3	22.3	13.0	14.1	11.4	13.1	12.4	9.9	9.7	13.8			
Percts(0,9)	12.0	14.0	12.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	7.0	8.0	9.0	7.0	7.6	11.0			

Com base nas informações fornecidas pela PETROBRAS, as características definidas para o óleo cru são apresentadas no Quadro 5.1.4-7.

Quadro 5.1.4-7. Características do óleo modelado.

CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO	
Grau API	28
Pressão de Saturação	236,6 kgf/cm ² a 65° C
Razão de Solubilidade	128,65 m ³ /m ³ a 65° C
Viscosidade do Óleo	1,984 cP a 65° C

✓ Descrição dos Cenários

Utilizando-se o OILMAP em modo probabilístico, é possível levar em consideração a variabilidade das forçantes ambientais e a partir da análise destes resultados simular os cenários determinísticos críticos de verão e de inverno. No modo probabilístico, as simulações de derramamento foram realizadas através da variação aleatória do início do derramamento dentro do período para o qual se dispunha de dados de vento (1º de janeiro a 31 de dezembro de 1992). Uma vez identificado o instante de início do derrame, o campo de velocidades associado ao mesmo (mesmo dia e mês) é também identificado e utilizado ao longo do período de simulação. As múltiplas trajetórias foram então utilizadas para a produção de curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da grade computacional (área de estudo). Os resultados em forma gráfica são apresentados como contornos de probabilidade da presença de óleo na água e na costa.

Estas probabilidades de presença de óleo e tempo de deslocamento da mancha podem ser correlacionadas a recursos naturais armazenados no banco de dados (GIS), de forma a auxiliar na avaliação de impactos ambientais e na análise de vulnerabilidade ambiental.

O modelo analisa o vazamento a partir da superfície do oceano, mesmo sendo, o possível acidente, originado em águas profundas. Isto se justifica pelo estado atual da arte em modelagem, que não contempla o comportamento do óleo proveniente do fundo até alcançar a superfície, assim como pela irrelevância nos resultados de uma pequena variação do local de surgência do óleo na superfície oceânica, por se tratar de uma região onde os padrões hidrodinâmicos apresentam uma pequena variação.

Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteoceanográficas, em cada cenário probabilístico foi realizada uma série de 300 simulações com o modelo OILMAP. Os cenários probabilísticos são resumidos no Quadro 5.1.4-8

Quadro 5.1.4-8. Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo.

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME (m ³)	ESTAÇÃO DO ANO	TEMPO
P52_VER_8_20PPM	ÓLEO CRÚ	8 (a)	Verão	Até atingir 20 mg/L
P52_INV_8_20PPM	ÓLEO CRÚ	8 (a)	Inverno	Até atingir 20 mg/L
P52_VER_200_6HORAS	ÓLEO CRÚ	200 (b)	Verão	6 horas
P52_INV_200_6HORAS	ÓLEO CRÚ	200 (b)	Inverno	6 horas
P52_VER_200_9HORAS	ÓLEO CRÚ	200 (b)	Verão	9 horas
P52_INV_200_9HORAS	ÓLEO CRÚ	200 (b)	Inverno	9 horas
P52_VER_PIORCASO_6HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Verão	6 horas
P52_INV_PIORCASO_6HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Inverno	6 horas
P52_VER_PIORCASO_9HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Verão	9 horas
P52_INV_PIORCASO_9HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Inverno	9 horas
P52_VER_PIORCASO_12HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Verão	12 horas
P52_INV_PIORCASO_12HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Inverno	12 horas
P52_VER_PIORCASO_36HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Verão	36 horas
P52_INV_PIORCASO_36HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Inverno	36 horas
P52_VER_PIORCASO_60HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Verão	60 horas
P52_INV_PIORCASO_60HORAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Inverno	60 horas
P52_VER_PIORCASO_30DIAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Verão	30 dias
P52_INV_PIORCASO_30DIAS	ÓLEO CRÚ	pioor caso (c)	Inverno	30 dias

Fonte: ASA, 2003.

Definição dos volumes, segundo CONAMA 293:

- a. Pequeno: 8 m³
- b. Médio: 200 m³
- c. Pior caso: 90.000,0 m³ em 30 (trinta) dias, de acordo com o Relatório de Análise de Surgência para o poço 7-RO-19H-RJS (Anexo 5-II).

✓ Simulações Probabilísticas

Para simular os cenários probabilísticos, e produzir as curvas de contorno, demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo, foram considerados como forçantes hidrodinâmicas, os campos de correntes obtidos através da modelagem e os dados de vento medidos na Bacia de Campos para o ano de 1992. As Figuras 5.1.4-10 e 5.1.4-11 mostram os contornos de probabilidade da presença de óleo para os cenários de pior caso de acidentes na plataforma P-52 ocorrendo durante os meses de verão (Novembro a Março) e inverno (Maio a Setembro). Somente para o cenário catastrófico de derrame de 90.000 m³ durante o inverno é que existe a probabilidade da mancha chegar em águas costeiras (Figura 5.1.4-12). Praticamente em

todas as simulações, a mancha se deslocou para sudoeste seguindo a orientação da Corrente do Brasil.

A Figura 5.1.4-12 mostra os contornos de probabilidade da mancha atingir áreas específicas da linha de costa para o cenário de derrame de pior caso, no inverno, para a Plataforma P-52. Mesmo para o cenário catastrófico de derrames de 90.000 m³ em condições de inverno, a probabilidade da mancha atingir **áreas específicas** do litoral do Rio de Janeiro entre Arraial do Cabo (RJ) e o Cabo de Búzios (RJ) é de no máximo 5% conforme indicado na escala de cores.

Cabe ressaltar que todas as simulações realizadas não levam em conta ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Ações Emergenciais. As simulações probabilísticas mostram que para todos os tipos de vazamentos, a probabilidade da mancha atingir a costa está centrada na região que vai de Arraial do Cabo (RJ) à Armação de Búzios (RJ) (Figura 5.1.4-13), sendo de no máximo 15% no período de inverno.

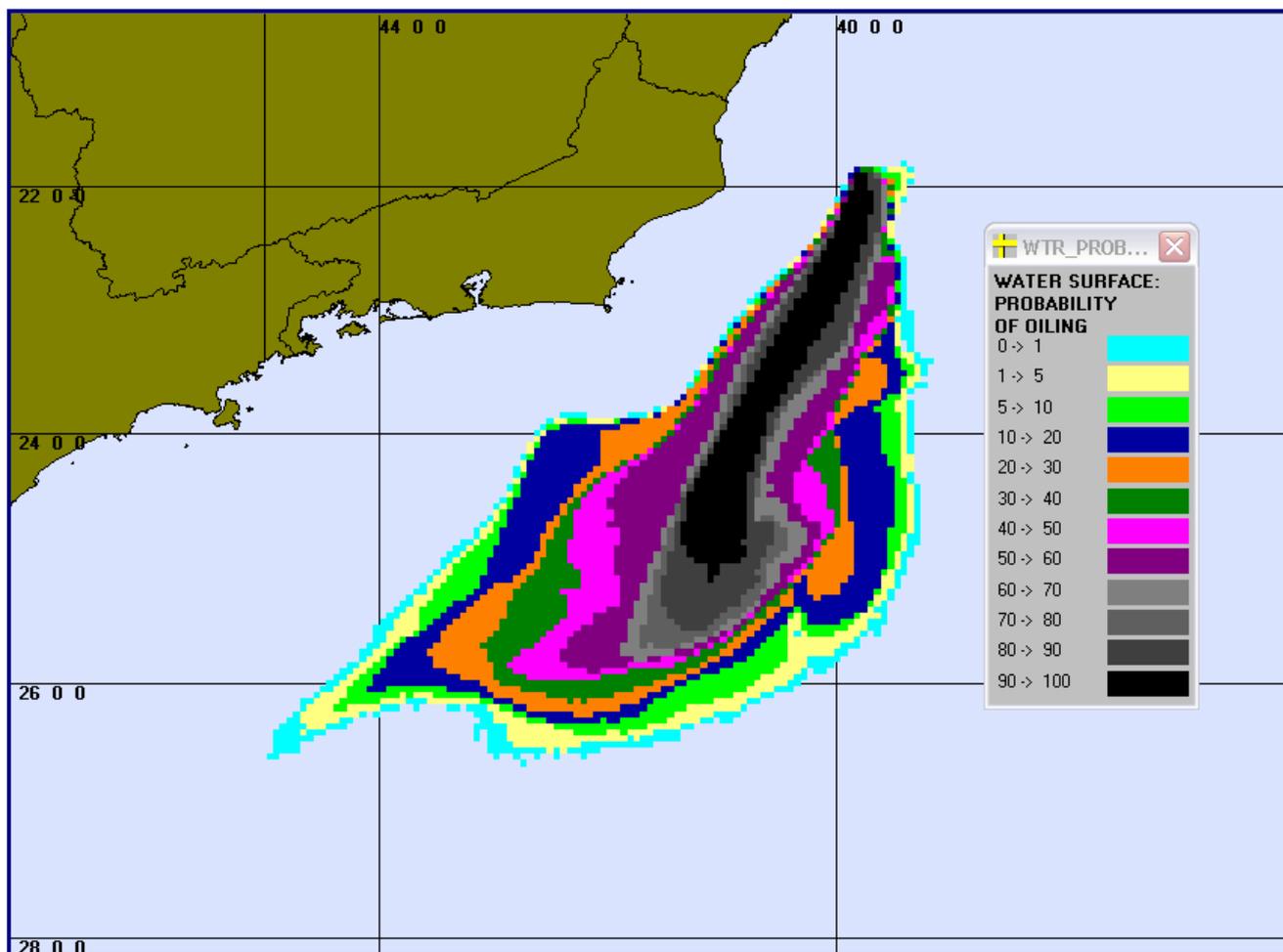


Figura 5.1.4-10.- Cenário P52 - VERÃO / PIORCASO/ 30DIAS. Contorno de probabilidades para um acidente ocorrido na plataforma P-52 durante os meses de verão (Janeiro a Fevereiro) com derrame de 90.000m³ após 30 dias. (Fonte: ASA, 2003).

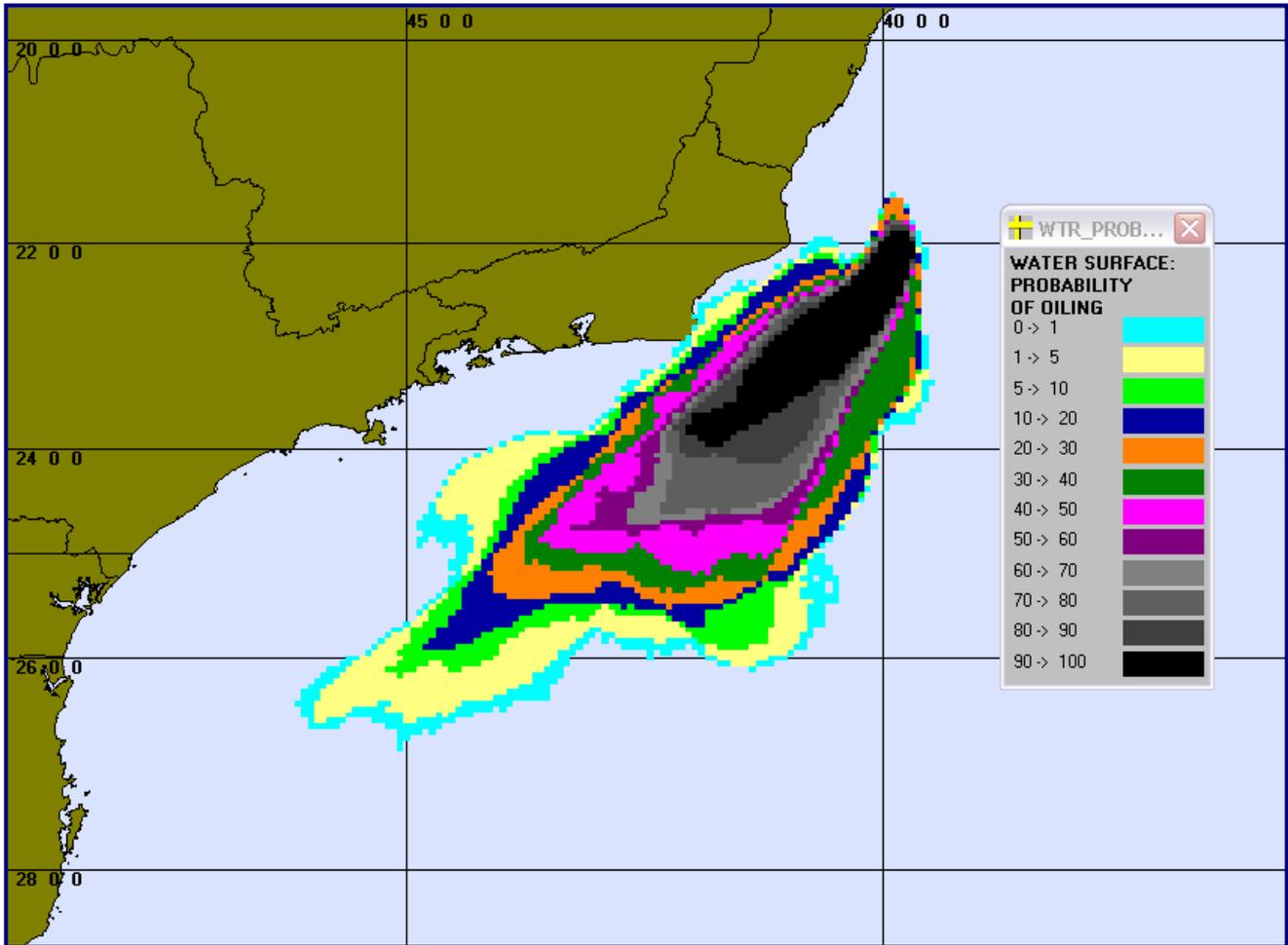


Figura 5.1.4-11. Cenário P-52- INVERNO / PIOR CASO / 30 DIAS. Contorno de probabilidades para um acidente ocorrido na plataforma P-52 durante os meses de inverno (Maio a Agosto) com derrame de 90.000m³ após 30 dias.(Fonte: ASA, 2003).

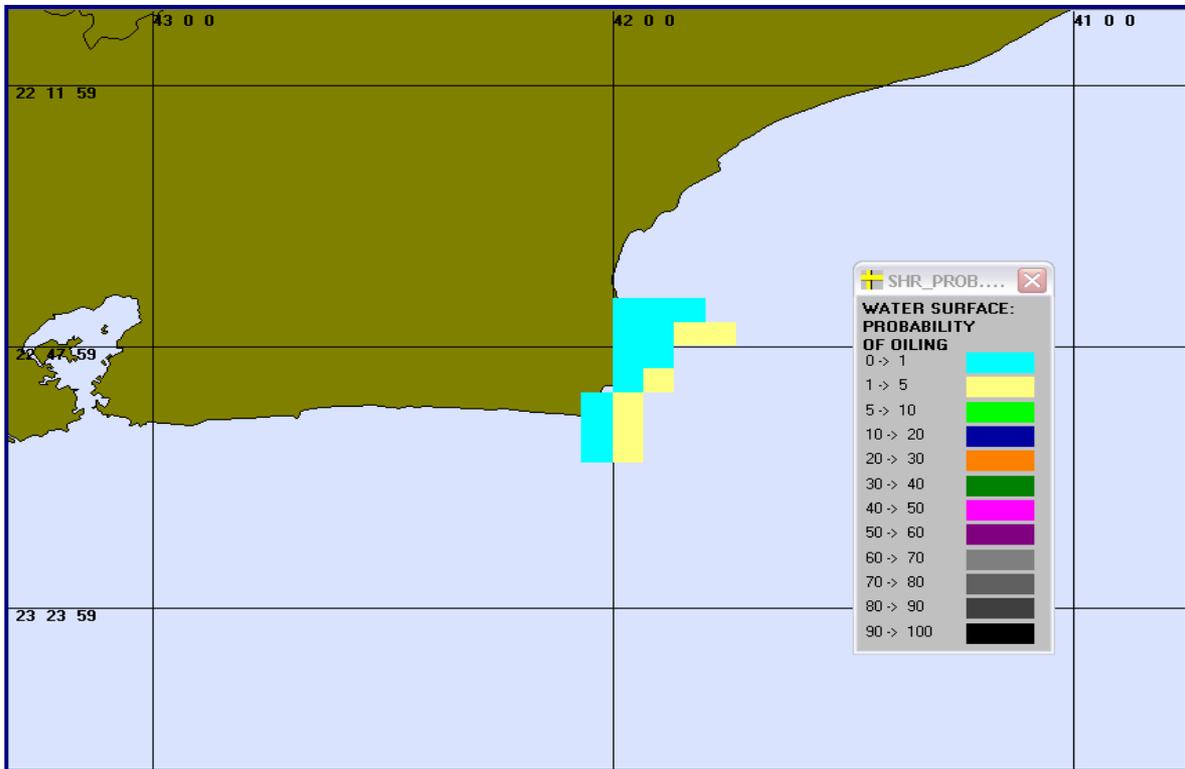


Figura 5.1.4-12. Cenário P-52 INVERNO / PIOR CASO / 30 DIAS. Contorno de probabilidades de toque na linha de costa (área específica), para um acidente ocorrido durante os meses de inverno (Maio a Setembro) (Fonte: ASA, 2003).

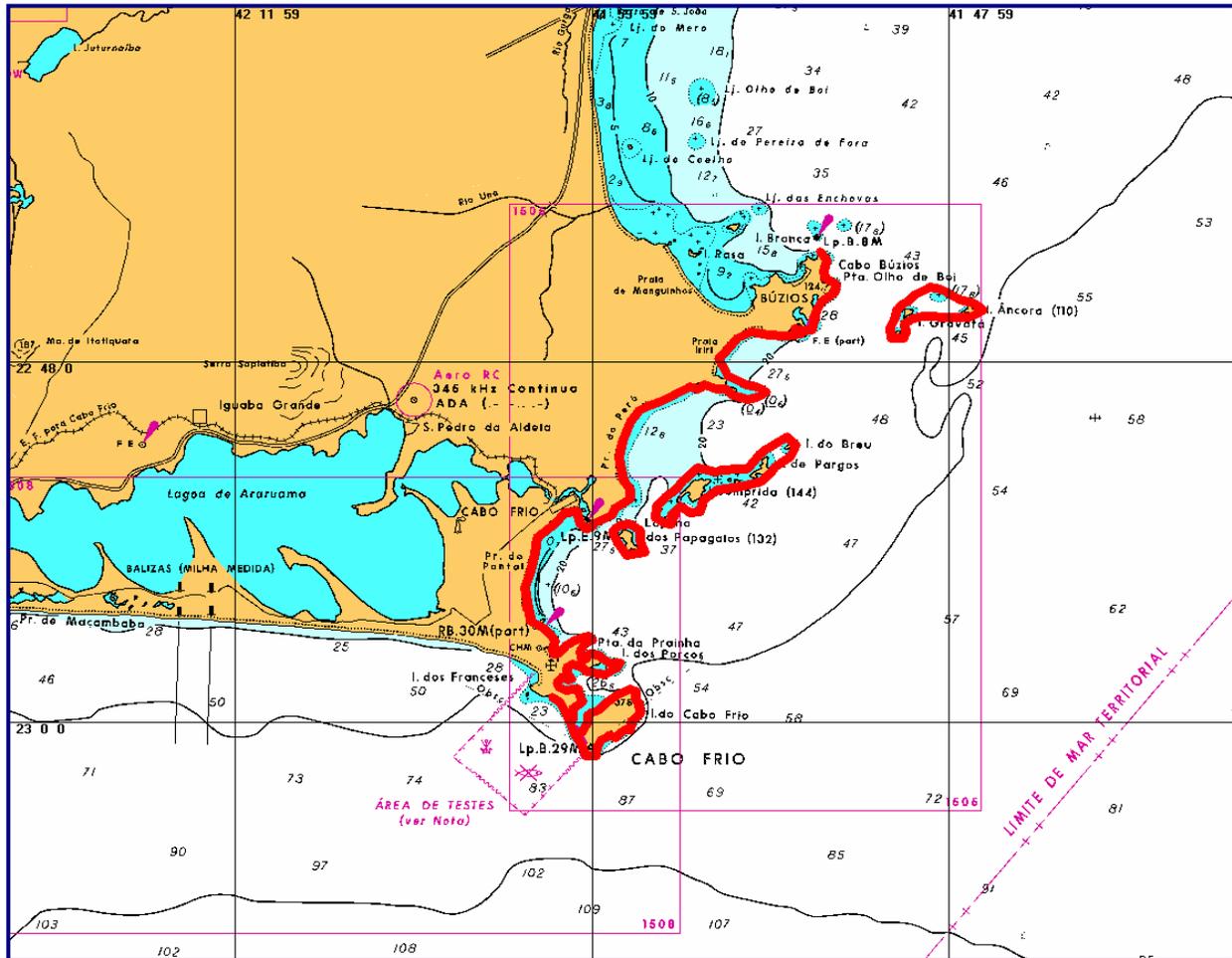


Figura 5.1.4-13. Área total de toque na linha de costa para um acidente ocorrendo durante os meses de inverno (Maio a Agosto) (Fonte: ASA, 2003).

Originalmente, para os cenários de “pior caso”, seriam realizadas simulações probabilísticas com duração definida em função do tempo para que a pseudo-concentração da mancha alcance o limite de 20 mg/L. A pseudo-concentração da mancha é calculada a partir do volume de óleo na superfície e coluna d’água vezes a área da mancha vezes 1,5 a altura de onda significativa. Entretanto, para o volume de 90.000 m³, e considerando apenas os processos de evaporação, espalhamento, entranhamento, esta condição nunca seria atingida, como mostra a Figura 5.1.4-14, a seguir. Devido a tal fato, as simulações dos cenários de “pior caso” foram definidas para 30 dias.

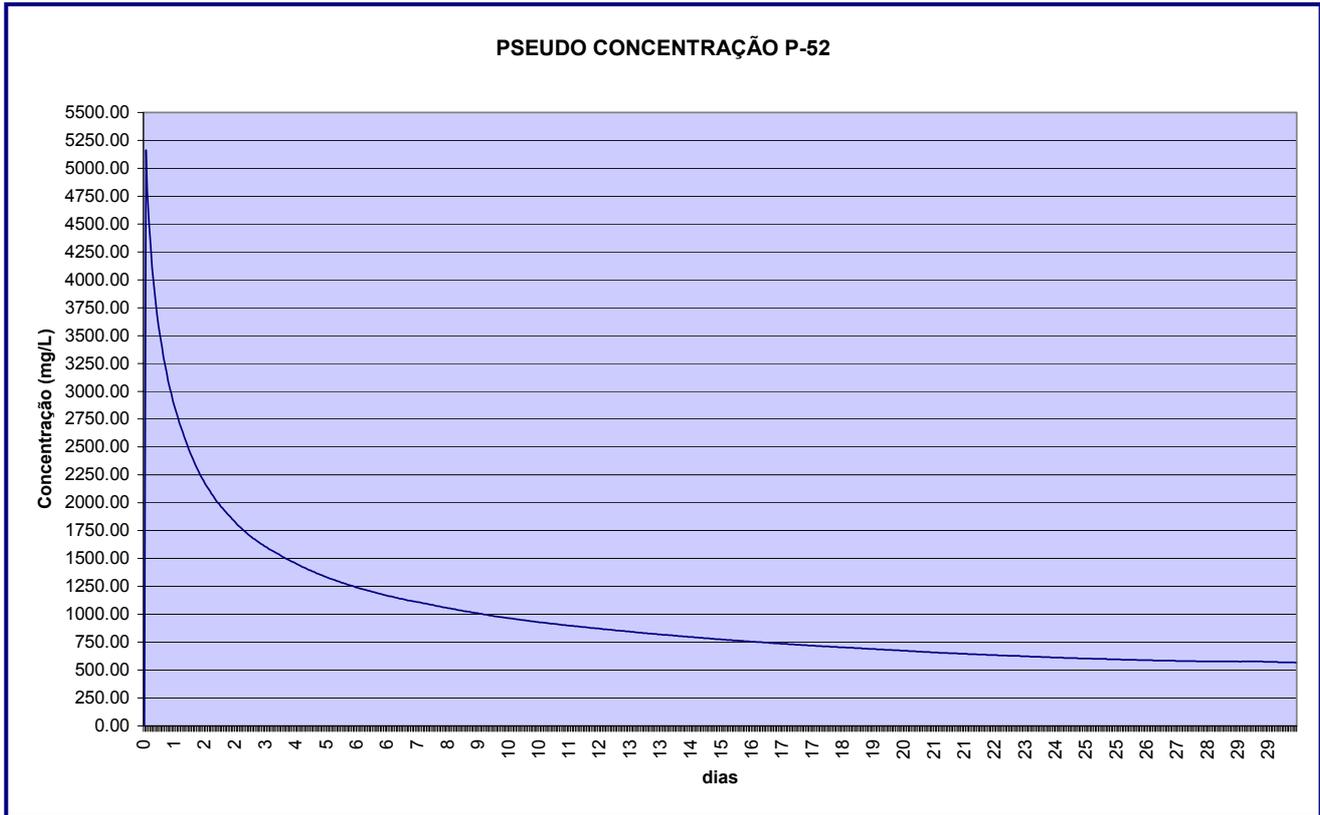


Figura 5.1.4-14. Evolução temporal da pseudo-concentração da mancha para o cenário P-52 INVERNO / PIOR CASO / 30DIAS (Fonte: ASA, 2003).

O Quadro 5.1.4-9 mostra que para o cenário de pior caso em um acidente ocorrido durante os meses de inverno (Maio a Agosto); o percentual de simulações que impactaram a linha de costa, o menor período de tempo para atingir a costa e o tempo médio para o óleo atingir a costa.

Quadro 5.1.4-9. Resumo do resultado da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de inverno (Maio a Agosto) (100 simulações).

CENÁRIO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA
P-52_INV_PIORCASO_30DIAS	628	670,5	15%

Fonte: ASA, 2003.

✓ Simulações Determinísticas

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Para as simulações de inverno, foi considerado como mais crítico o cenário que levou o maior volume de óleo à costa. Para as simulações de verão, foi considerado como mais crítico o cenário no qual a mancha mais se aproxima da costa. Em ambos cenários foi considerado um vazamento de 90.000 m³.

O Quadro 5.1.4-10, a seguir, apresenta um resumo dos cenários críticos de verão e inverno para um caso de vazamento de petróleo a partir do poço produtor de maior vazão (7-RO-19H-RJS).

Quadro 5.1.4-10. Resumo dos cenários determinísticos críticos de verão e inverno para um vazamento de 90.000 m³ na plataforma P-52.

CENÁRIO	DATA DE INÍCIO	VOLUME QUE CHEGA À COSTA (m ³)	TEMPO MÍNIMO PARA CHEGAR À COSTA (H)
VERÃO	28/02/1992 22:00	-	-
INVERNO	29/07/1992 21:00	8.100	628

Fonte: ASA, 2003.

A Figura 5.1.4-15 apresenta o resultado da simulação determinística do pior caso para inverno na plataforma P-52. Este cenário foi simulado por 30 dias, com a trajetória por onde percorreu a mancha demarcada pela cor verde. Esta figura também mostra, em vermelho, os pontos de costa atingidos pelo acidente, o contorno de espessura da mancha ao final de 30 dias, e um gráfico na parte inferior direita, mostrando o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água).

A Figura 5.1.4-16 mostra a posição da mancha no instante do primeiro toque na costa, após 26 dias e 4 horas. A área total da mancha neste instante é de aproximadamente 5.556 km², e como mostra o gráfico de balanço de massa, aproximadamente 46.800 m³ (52%) de óleo se encontra na superfície, 34.200 m³ (38%) evaporou e 8.100 m³ (9%) encontra-se na coluna d'água.

De forma semelhante, a Figura 5.1.4-17 apresenta o resultado da simulação determinística para o pior caso de vazamento para verão na plataforma P-52. A menor distância que a mancha alcança da costa é de 107 km a partir da Ilha de Cabo Frio em 8 dias e 22 horas.

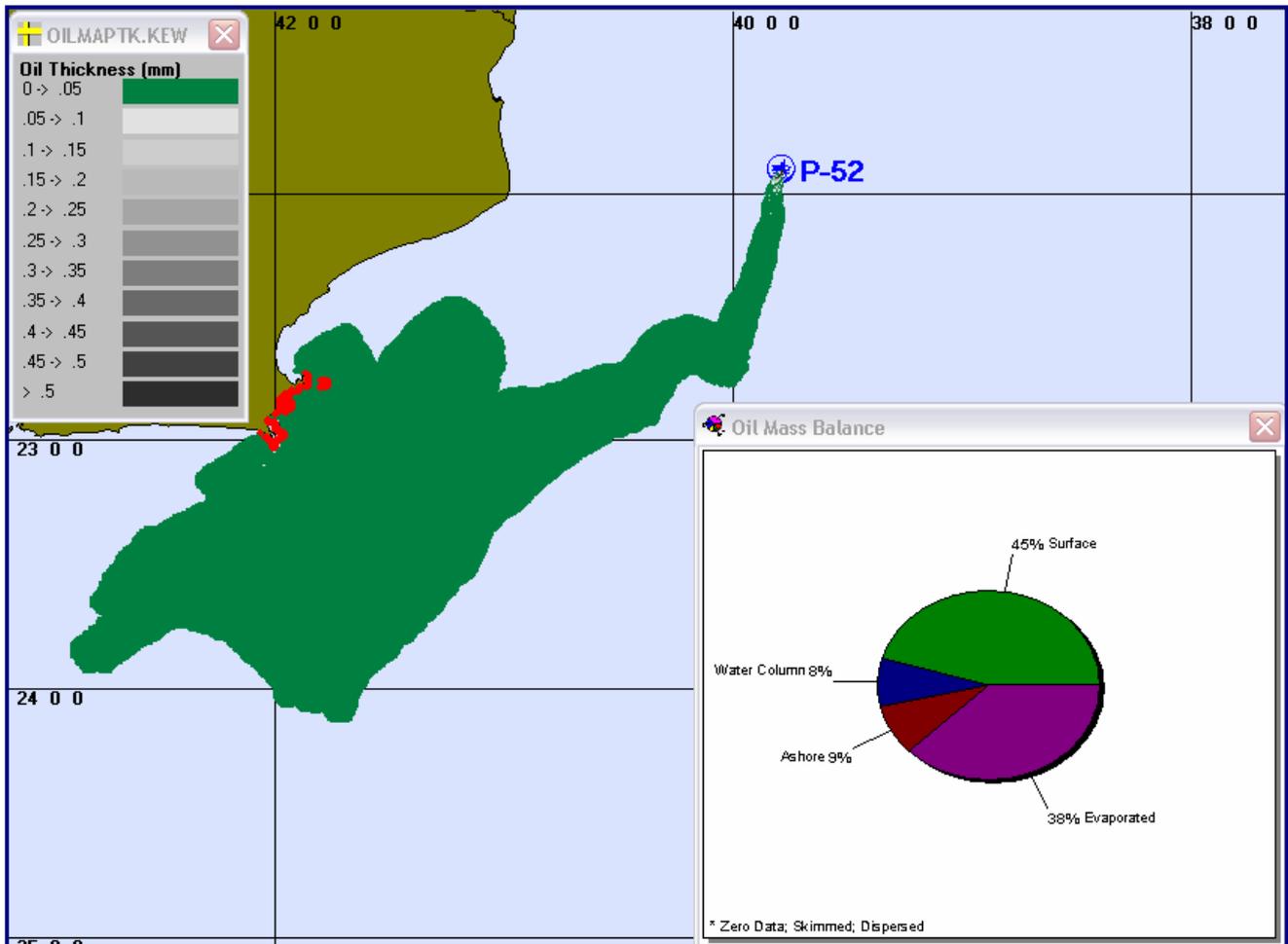


Figura 5.1.4-15. Cenário de pior caso de vazamento no inverno para a plataforma P-52. (Fonte: ASA, 2003)

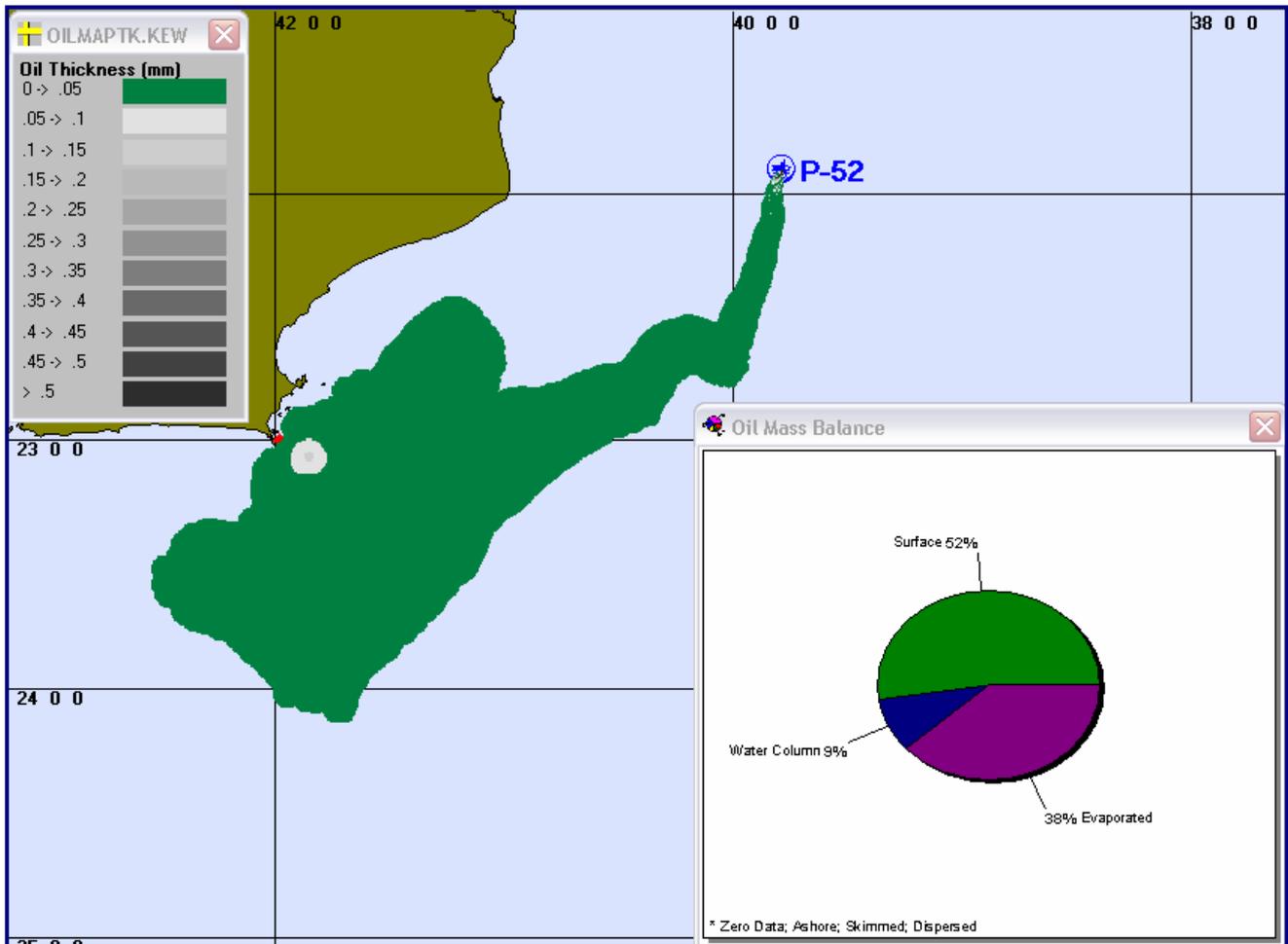


Figura 5.1.4-16. Instante do primeiro toque na costa para o cenário de pior caso de vazamento no inverno para a plataforma P-52. Fonte: ASA (2003)

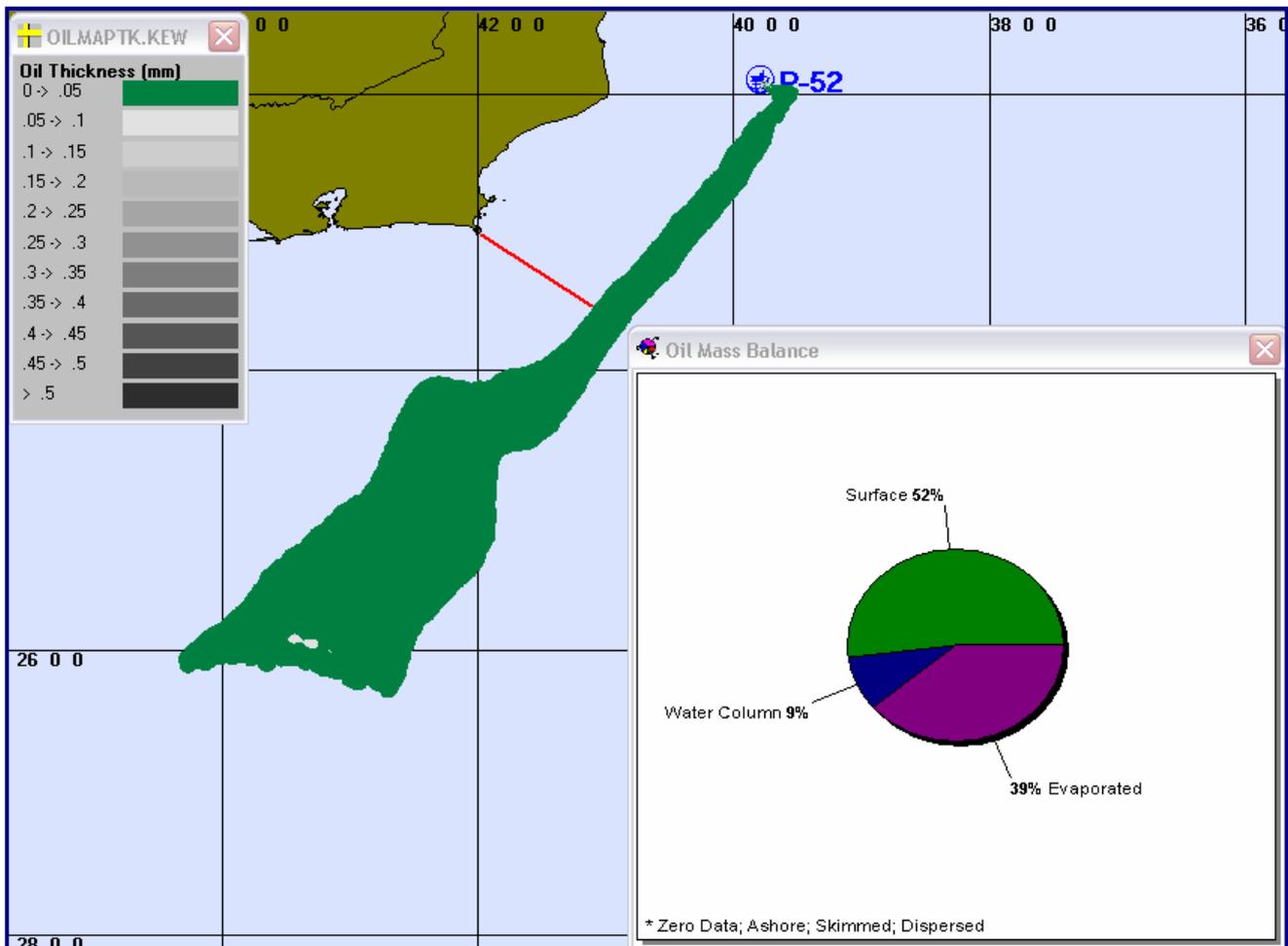


Figura 5.1.4-17. Cenário de pior caso de vazamento no verão para a plataforma P-52.
Fonte: ASA (2003).