

II.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 do FPU P-53, englobando dispersão de óleo em potencial caso de acidente, e o descarte de água de produção e fluido de preenchimento dos dutos (água aditivada).

Os modelos são ferramentas matemáticas utilizadas na análise ambiental com o objetivo de estimar, através de equações, possíveis cenários ambientais; ainda que, estes cenários não representem fielmente a realidade, tanto pelas inúmeras limitações existentes nos modelos quanto pela grande complexidade da natureza.

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 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 do descarte da água produzida. O modelo foi finalizado em 1983, com um relatório descritivo, o qual continha um guia para o usuário do programa desenvolvido.

A partir desta data, o modelo para descarte de água produzida, bem como melhorias sucessivas no modelo de fluidos/cascalhos, vêm sendo implementados e disponibilizados para os membros do Comitê de Operadores *Offshore* 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 gerada 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 em função do tempo decorrido após o início da descarga, considerando as interfaces citadas como reservatórios de retirada de material do sistema, não como fontes.

✓ *Descrição Geral do Desenvolvimento da Pluma da Descarga*

O modelo assume que a descarga do efluente água produzida ou fluido de preenchimento de dutos e linhas irá gerar um jato simples. Este mar local estará caracterizado por uma estratificação de densidade e um campo de correntes, o que levará o efluente a ter 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 efluentes (água produzida e fluido de preenchimento dos dutos) passarão por três estágios de fluxo:

- ★ Fase de jato (ou convectiva): onde o fluido transportado é dominado pelo momento da descarga inicial e o prevaecimento das forças de coesão internas sobre as forças de arrasto. É caracterizada pela manutenção das características dos efluentes, com maior integridade e poucas trocas destes com o meio ao redor.

- ★ Fase de 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.
- ★ 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 ou água aditivada) como um efluente distinto, estando ele completamente misturado e diluído na água do mar.

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

A.1 - Modelo para Dispersão de Água Aditivada

Para o empreendimento foram modelados 02 (dois) pontos de desalagamento, um localizado na FPU P-53 (para descarte do fluido contido na linha de produção com maior volume) e o outro na PRA-1 (para descarte do fluido contido oleoduto).

✓ Premissas

Com o intuito de reproduzir, ao máximo, dados representativos da realidade operacional, durante o desenvolvimento da simulação foram assumidas certas premissas aplicadas na utilização do modelo.

a) Quanto ao GRID

O grid foi especificado de forma que as unidades ficassem alinhadas 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 das unidades 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, no caso da PRA-1, e na superfície, no caso do FPU P-53. Para a modelagem do desalagamento do oleoduto de exportação, foi considerado seu volume total (2350 m³). Já para as linhas de produção, foi considerada a linha de maior volume (produção + gás *lift*), referente ao Poço P11 (350 m³).

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

Conforme especificado no item 2.4.E, o fluido de preenchimento do oleoduto e das linhas de fluxo que compõem o sistema de produção da P-53 será uma mistura de água do mar, com o biocida FONGRABAC THPS numa concentração de 100 ppm, o seqüestrante de oxigênio SISBRAX SQO-40C a 160 ppm, e o corante Fluorene R2, a 40 ppm. As Fichas de Segurança destes produtos são apresentadas no Anexo 2-III deste EIA.

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 a mistura dos compostos FONGRABAC THPS, SISBRAX SQO-40C e Fluorene R2 (item 2.4.G e Anexo 2-III), especialmente a CENO (concentração limite de efeito não observável – toxicidade crônica) e a CL₅₀ (concentração letal a 50% dos organismos-teste – toxicidade aguda).

Conforme apresenta o Quadro II.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 e a CL₅₀.

Quadro II.5.1.4-1 - Resultados dos testes de toxicidade crônica (*Lytechinus variegatus*) e aguda (*Mysidopsis juniae*), com o fluido de preenchimento a ser utilizado no alagamento das linhas de fluxo e oleoduto da P-53.

PRODUTO	<i>Lytechinus variegatus</i> (teste crônico)	<i>Mysidopsis juniae</i> (teste agudo)
FONGRABAC THPS (100 ppm) + SISBRAX SQO-40C (160ppm) + FLUORENE R2 (40 ppm)	CENO: 0,024%	CL ₅₀ : 0,71%

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

Para determinar a concentração de entrada no modelo e a concentração de corte (limite de toxicidade), foram consideradas respectivamente, a concentração inicial do fluido de preenchimento no momento do descarte e a sua toxicidade proporcional de acordo com o resultado dos testes de toxicidade, com especial ênfase na toxicidade crônica, mais conservativa para avaliação da toxicidade (Quadro II.5.1.4-2).

Quadro II.5.1.4-2 - Concentração do fluido de preenchimento (300 ppm) utilizada como entrada no modelo e como corte para delimitação da área efetivamente tóxica aos organismos.

CONCENTRAÇÃO DE ENTRADA	CONCENTRAÇÕES DE CORTE
	CENO
300 ppm	0,024% de 300ppm = 0,072 ppm

Legenda: CENO – concentração de efeito não observável

d) Quanto à determinação dos parâmetros ambientais

Os valores utilizados nas simulações são representativos de condições médias sazonais características para a região do descarte, 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 das unidades: 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 na entrada ou saída de informações para o sistema GKS.

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

✓ *Resultados para a unidade PRA-1*

Os principais dados de entrada do modelo para o caso da PRA-1 (para descarte do fluido contido no oleoduto) são apresentados no Quadro II.5.1.4-3 seguir.

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

DESCRIÇÃO	VALOR
Vazão	503,18 m ³ /hr
Raio da tubulação do descarte	0,16 ft
Profundidade de descarte	10 m (32,8 ft)
Volume de água descartada	2350,00 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	104400 s (29 h)
Temperatura da água aditivada em °C	10°
Salinidade da água aditivada em ppm	36.72
Intensidade da corrente em ft/s	0,50 m/s (1,64 ft/s)
Direção das correntes, em graus	180° (para Sul)
Temperatura da água do mar	24,00 °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	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 II.5.1.4-1 e II.5.1.4-2 mostram o comportamento da dispersão da pluma obtido com o modelo. A Figura II.5.1.4-1, a seguir, mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 100 metros a partir do ponto de descarte, e chegando a uma profundidade máxima aproximada de 15 metros até atingir o equilíbrio.

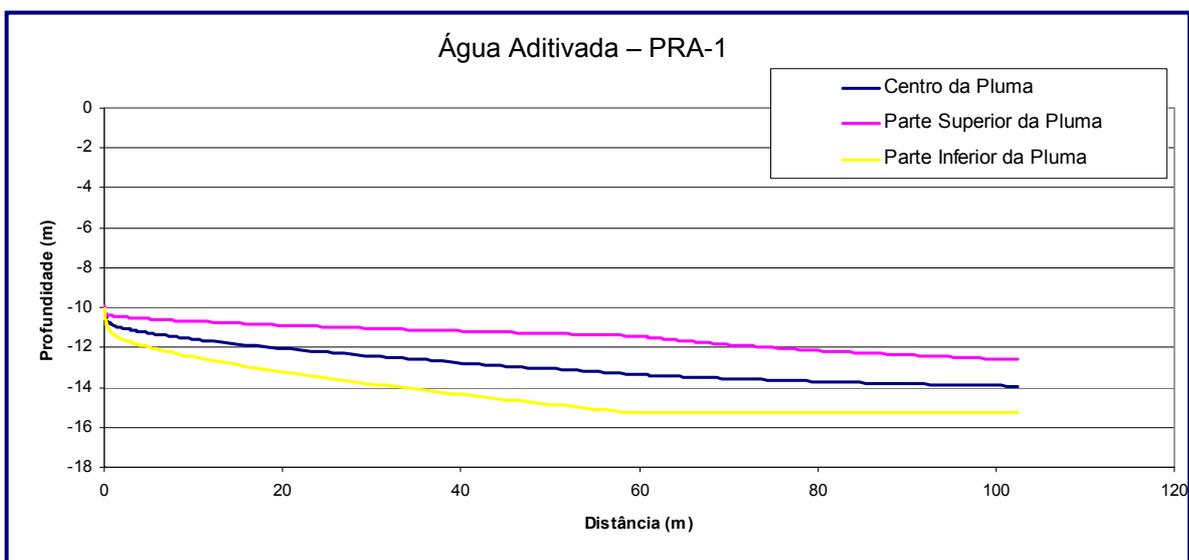


Figura II.5.1.4-1 - Comportamento vertical da pluma em campo próximo.

A partir da Figura II.5.1.4-2, a seguir, nota-se que, a pluma de descarte, para atingir a concentração da CENO (0,072 ppm), deslocando-se no sentido preferencial da corrente, chega a uma distância de aproximadamente 1000 metros do local de descarte e a uma profundidade máxima aproximada de 30 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 1800 metros de distância do local de descarte.

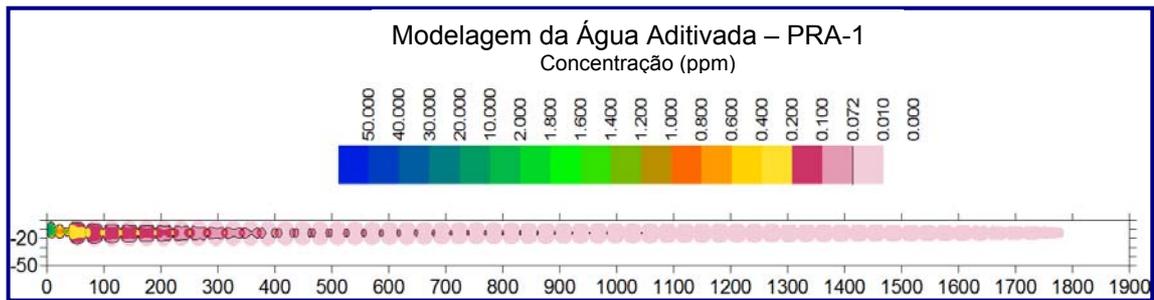


Figura II.5.1.4-2 - Comportamento vertical da pluma ao longo de todo o caminho percorrido. A linha preta delimita a área com concentração acima da CENO (0,072 ppm).

A Figura II.5.1.4-3, a seguir, mostra o comportamento horizontal da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 100 metros e com uma abertura lateral de aproximadamente 3 metros, tanto para a direita quanto para a esquerda, a partir do centro da pluma. A abertura máxima da pluma com concentração superior a do CENO é de aproximadamente 300 metros.

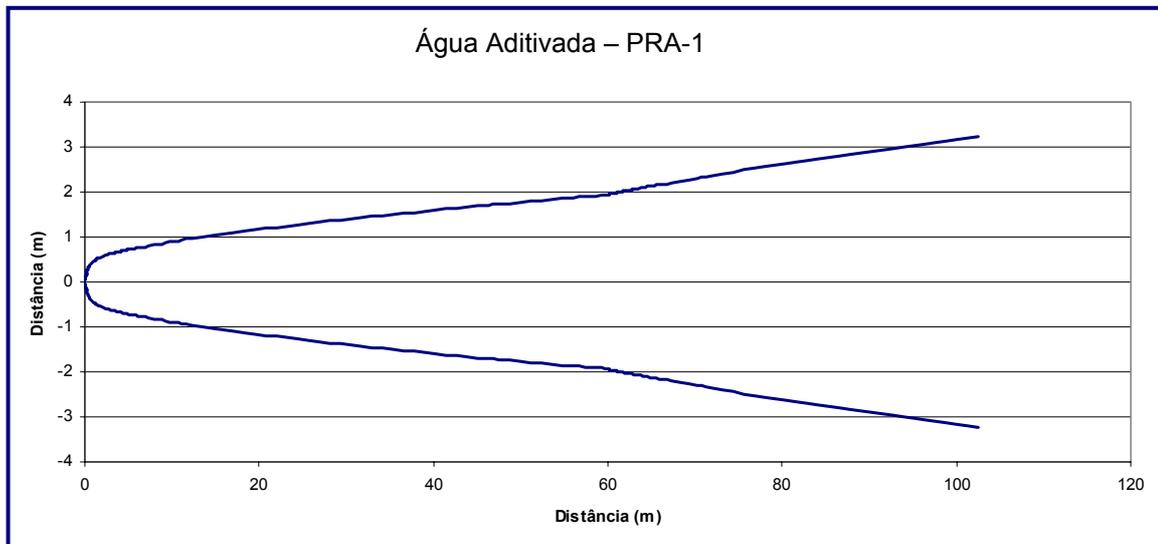


Figura II.5.1.4-3 - Dispersão horizontal da pluma em campo próximo.

✓ *Resultados para a unidade FPU-P53*

Os principais dados de entrada do modelo para o caso do FPU P53 (para desalagamento das linhas) são apresentados no Quadro II.5.1.4-4 seguir.

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

DESCRIÇÃO	VALOR
Vazão	314,49 m ³ /hr
Raio da tubulação do descarte	0,16 ft
Profundidade de descarte	superfície
Volume de água descartada	350,00 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	25200 s (7h)
Temperatura da água aditivada em °C	10°
Salinidade da água aditivada em ppm	36.72
Intensidade da corrente em ft/s	0,50 m/s (1,64 ft/s)
Direção das correntes, em graus	180° (para Sul)
Temperatura da água do mar	24,00 °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	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 II.5.1.4-4 e II.5.1.4-5 mostram o comportamento da dispersão da pluma obtido com o modelo. A Figura II.5.1.4-4, a seguir, mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 100 metros a partir do ponto de descarte e chegando a uma profundidade máxima aproximada de 4,5 metros até atingir o equilíbrio.

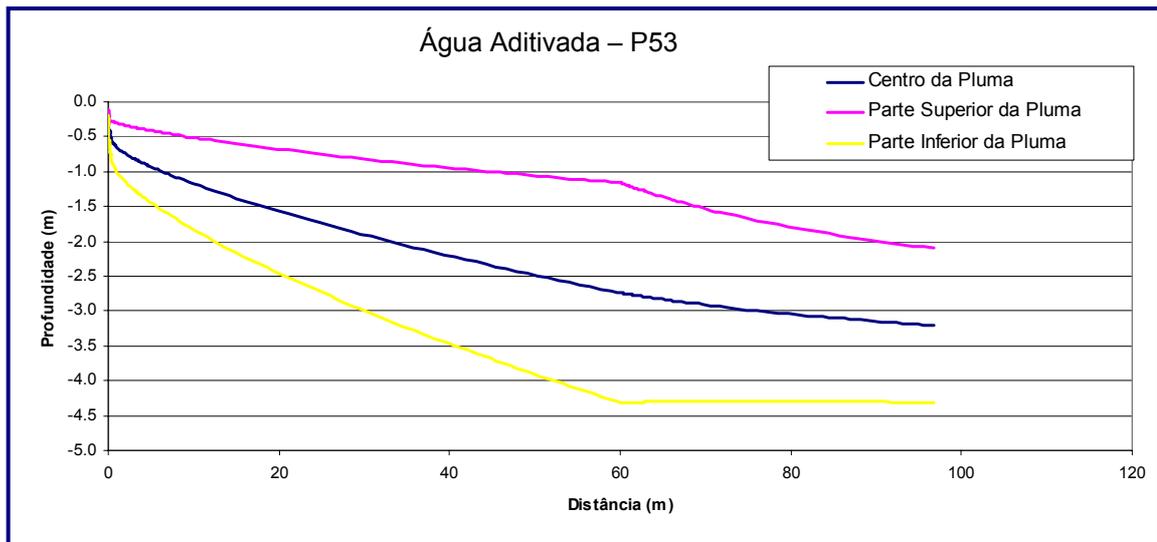


Figura II.5.1.4-4 - Comportamento vertical da pluma em campo próximo.

A partir da Figura II.5.1.4-5 a seguir, nota-se que a pluma do efluente, para atingir a concentração da CENO (0,072 ppm), deslocando-se no sentido preferencial da corrente, chega a uma distância de aproximadamente 750 metros do local de descarte e a uma profundidade máxima aproximada de 20 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 1800 metros de distância do local de descarte.

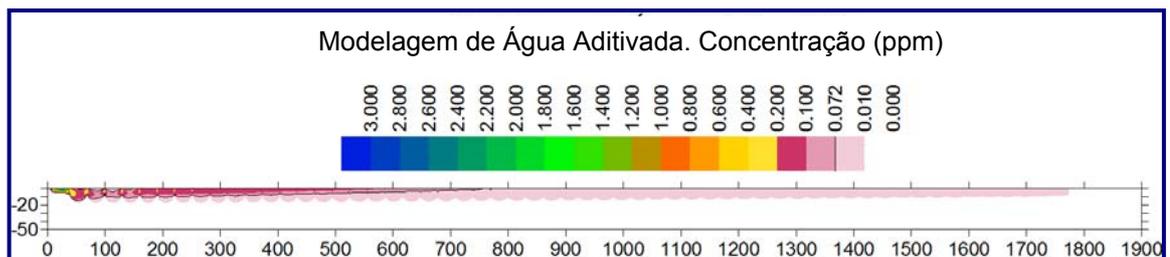


Figura II.5.1.4-5 - Comportamento vertical da pluma ao longo de todo o caminho percorrido. A linha preta delimita a área com concentração acima da CENO (0,072 ppm).

A Figura II.5.1.4-6, a seguir, mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 100 metros e com uma abertura lateral de aproximadamente 3 metros, tanto para a direita quanto para a esquerda, a partir do centro da pluma. A abertura máxima

da pluma com concentração superior a do CENO é de aproximadamente 300 metros.

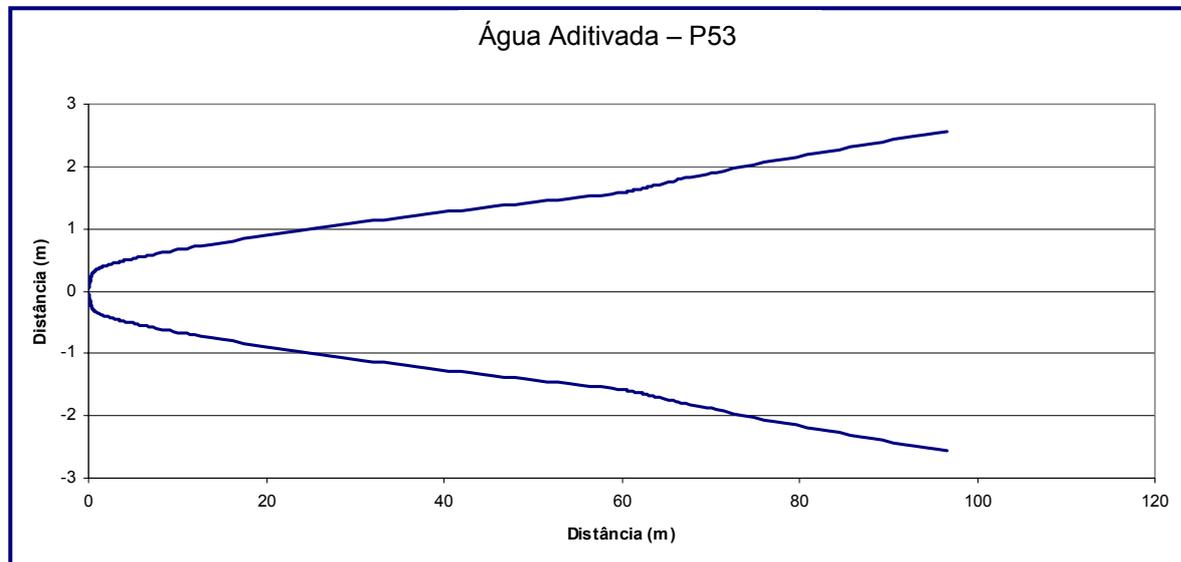


Figura II.5.1.4-6 - Dispersão horizontal da pluma em campo próximo.

A.2 - Modelo para Dispersão de Água Produzida

✓ *Premissas*

Com o intuito de reproduzir, ao máximo, dados representativos da realidade operacional, durante o desenvolvimento da simulação foram assumidas certas premissas, aplicadas na utilização do modelo.

a) *Quanto ao GRID*

O *grid* foi especificado de forma que o FPU P-53 ficasse alinhado 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 unidade 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 0,944 g/cm³.

✓ *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;

Todos os dados são apresentados em unidades do sistema inglês, o que demanda uma conversão na entrada ou saída de informações para o sistema GKS. Também deverão ser informados os tempos da simulação, sendo estes referentes ao tempo total da descarga e ao passo de evolução do modelo. Os

principais dados de entrada do modelo são apresentados a seguir no Quadro II.5.1.4-5.

Quadro II.5.1.4-5 - Valores das variáveis de entrada do modelo.

DESCRIÇÃO	VALOR
Fluxo do volume descartado	6.526,73 bbl/hr
Raio da tubulação do descarte	0,75 ft
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	38°
Salinidade da água produzida em ppm	80,35
Descrição da partícula a modelar	Óleo
Densidade da partícula (g/cm ³)	0,944
Intensidade da corrente em ft/s	0,50 m/s (1,64 ft/s)
Direção das correntes, em graus	180° (para Sul)
Temperatura da água do mar	24,00 °C e 23,74 °C
Salinidade da água do mar	36,72 e 36,73
Altura de onda significativa	1 m (3,28 ft)
Período de onda significativa	6 s
Velocidade do vento (ft/sec)	6,8 m/s (22,3 ft/s)
Temperatura do ar à superfície do mar	23,3 °C

✓ Resultados

As Figuras II.5.1.4-7 e II.5.1.4-8 mostram o comportamento da dispersão da pluma obtido com o modelo. A Figura 5.1.4-7 mostra o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 450 metros de distância da origem do lançamento e chegando a uma profundidade máxima aproximada de 40 metros, até atingir o equilíbrio. No campo próximo verifica-se que a pluma ativa não toca a superfície.

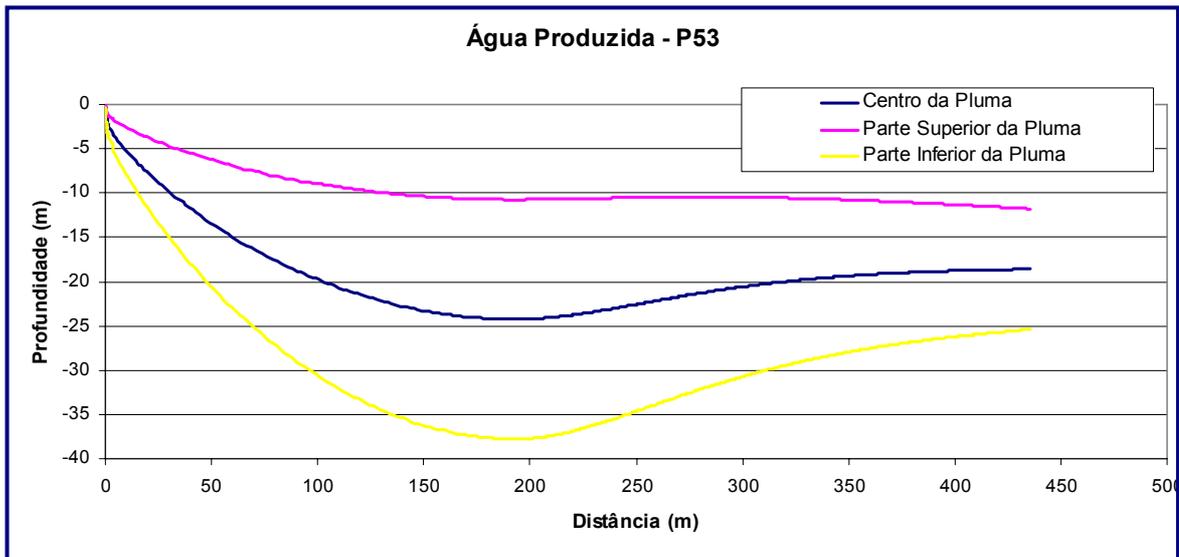


Figura II.5.1.4-7 - Comportamento vertical da pluma em campo próximo.

A partir da Figura 5.1.4-8, nota-se que a pluma, para atingir a concentração de zero ppm de óleo, chega a uma distância aproximada de 1800 metros do local de descarte e atinge uma profundidade aproximada de 40 metros, deslocando-se no sentido preferencial da corrente.

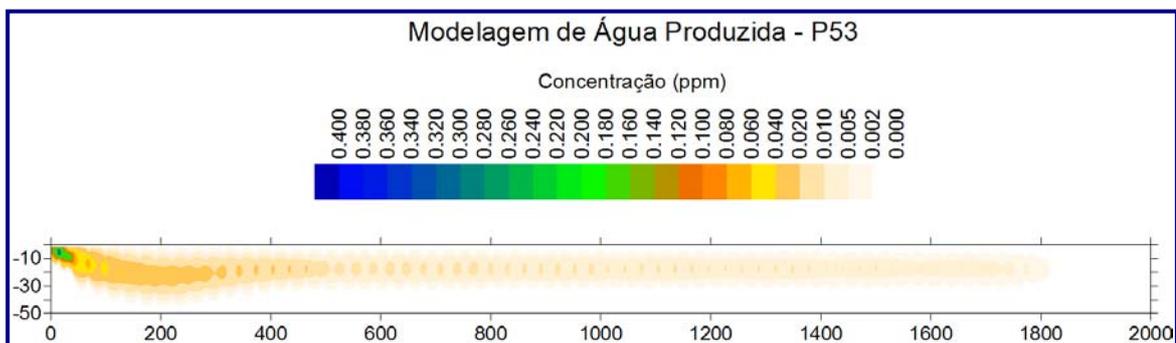


Figura II.5.1.4-8 - Comportamento vertical da pluma ao longo de todo o caminho percorrido.

A Figura II.5.1.4-9, a seguir, mostra em planta, o comportamento da pluma no campo próximo, até se estabilizar na coluna d'água, percorrendo aproximadamente 450 metros desde o ponto de lançamento e com uma abertura lateral máxima de aproximadamente 35 metros, tanto para a direita quanto para

a esquerda, a partir do centro da pluma. A abertura máxima da pluma até a concentração de óleo chegar a zero é de aproximadamente 300 metros.

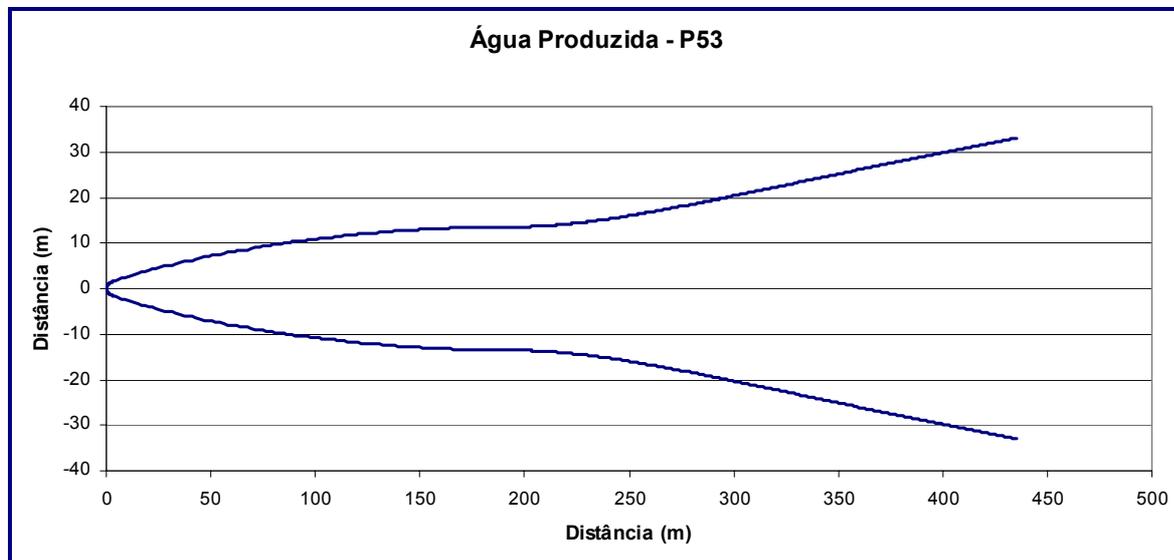


Figura II.5.1.4-9 - Dispersão horizontal da pluma em campo próximo.

B - Modelo para Dispersão do Óleo

Para a modelagem de um potencial acidente com petróleo na Bacia de Campos envolvendo a unidade P-53, 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 o FPU P-53 (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 da perda de controle do poço P3H (pior caso) e a partir do FPU P-53 (8 e 200 m³), cujas coordenadas estão apresentadas no Quadro II.5.1.4-6.

Quadro II.5.1.4-6 - Localização do poço P3H e do FPU P-53.

POÇO / UEP	GEODÉSICA – DATUM SAD69
Poço P3H	22° 27' 1" S e 39° 57' 24" W
FPU P-53	22° 25' 21" S e 39° 57' 32" W

Fonte: PETROBRAS.

Foram conduzidas 300 simulações determinísticas para determinar os contornos de probabilidade da mancha atingir áreas específicas na região de estudo, a partir de 3 (três) classes de volume de derramamento: pequeno (8 m^3), médio (200 m^3) e pior caso (78.915 m^3), correspondente ao volume lançado no oceano pela perda de controle do poço P3H vazando durante 30 dias. O relatório da análise de urgência do poço é apresentado no Anexo 5-II deste EIA.

Neste relatório são apresentadas duas probabilidades de toque na costa. A primeira se refere à probabilidade da mancha tocar pontos específicos do litoral. A segunda se refere à relação entre o número de cenários em que o óleo chega à costa e o total de cenários simulados, sendo a probabilidade de toque na costa matematicamente inexistente em condições de verão e igual a 78,3% em condições de inverno.

Os resultados da modelagem revelaram uma forte correlação da trajetória e do destino de uma mancha simulada com o padrão de circulação na região. As condições meteoceanográficas da região prevista para a futura locação do FPU P-53 são caracterizadas, principalmente, pela dinâmica associada à Corrente do Brasil e ao padrão barotrópico associado às oscilações de maré.

✓ *Premissas, Parâmetros e Valores Utilizados*

Primeiramente foi definida a área de estudo (Bacia de Campos) 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 às áreas de água, com a interface definindo a linha de costa. A linha de costa, por sua vez, é representada por uma série de blocos, que limita a extensão à qual a mancha de óleo pode se movimentar. 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 (8 e 200 m³) ou contínuos (pior caso). O modelo apresenta os resultados das simulações através da localização da mancha e 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) *apud* ASA (2004).

A dispersão e o espalhamento da mancha são representados no modelo pela formulação espesso-fino de Mackay *et al.* (1980, 1982) *apud* ASA (2004), 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) *apud* ASA (2004). Os processos de entranhamento e arrastamento são modelados utilizando-se a formulação de Delvigne & Sweeney (1988) *apud* ASA (2004) 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) *apud* ASA (2004). 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) *apud* ASA (2004). A interação do óleo com o litoral e linha de costa é modelada com base em uma versão simplificada de Reed *et al.* (1989) *apud* ASA (2004), que formula o problema em termos de uma capacidade de retenção, dependendo do tipo de 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 South America*), 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 II.5.1.4-10 são apresentados exemplos ilustrativos de campos de velocidades obtidos com os modelos hidrodinâmicos para verão e inverno no ano de 1992., onde se destaca a definição da Corrente do Brasil. Na Figura 5.1.4-11 observa-se a grade utilizada no modelo hidrodinâmico.

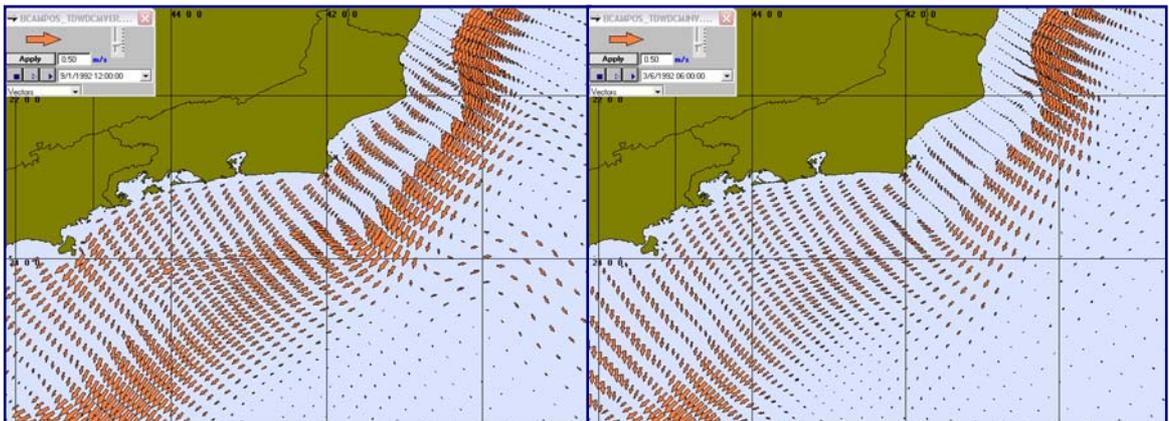


Figura 5.1.4-10 - Exemplos ilustrativos de campos de velocidades obtidos com os modelos hidrodinâmicos para verão (esquerda) e inverno (direita) no ano de 1992. Fonte: ASA, 2004.

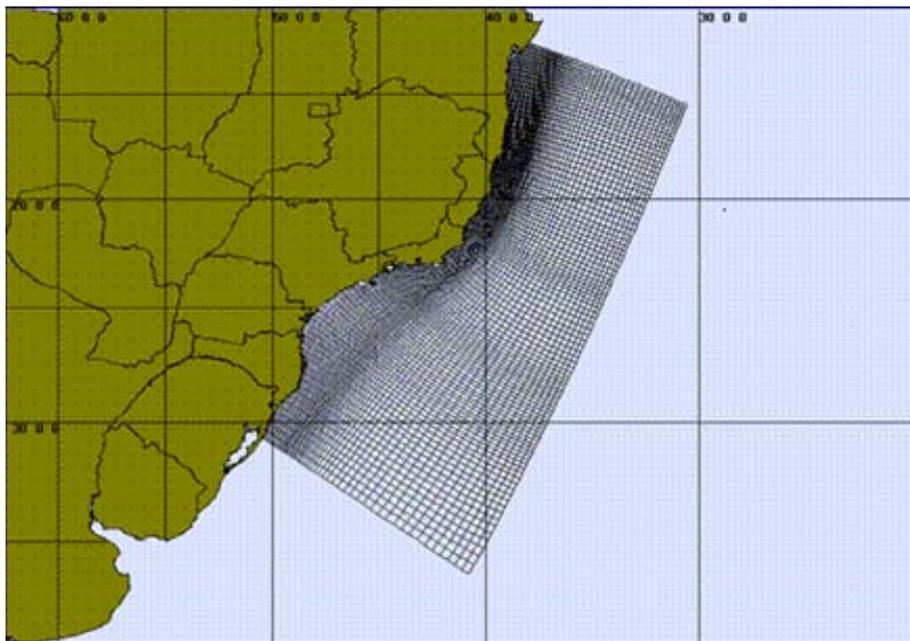


Figura II.5.1.4-11 - Grade utilizada no modelo. Fonte: ASA, 2004.

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 5.1.4-12 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.

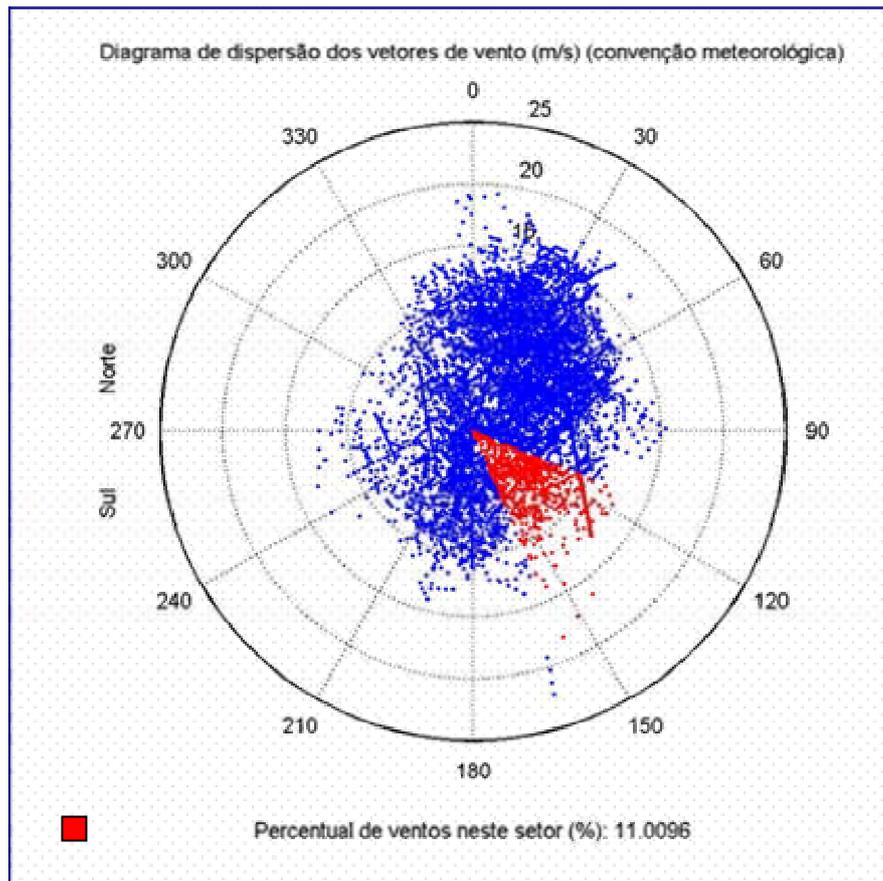


Figura II.5.1.4-12 - Diagrama de dispersão do vento para o ano de 1992 na Bacia de Campos. Fonte: ASA, 2004.

O Quadro II.5.1.4-7 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 II.5.1.4-7 - Diagrama de ocorrência conjunta de intensidade e direção do vento para o ano de 1992 na Bacia de Campos.

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.

Porc. Dir.med.	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Total
0.0- 1.0 2.0 156	9	13	7	9	11	15	21	13	14	17	10	8	8	10	9	3	177
1.0- 2.0 3.0 153	10	24	15	18	20	25	8	7	20	29	17	19	15	13	10	12	262
2.0- 3.0 4.2 147	18	17	15	24	28	39	24	18	28	45	26	15	16	11	17	27	368
3.0- 4.0 6.8 126	24	27	39	55	66	36	43	90	73	42	16	18	10	12	20	28	599
4.0- 5.0 8.4 95	27	49	113	91	46	53	78	65	47	49	19	25	9	12	19	30	732
5.0- 6.0 9.4 97	30	45	105	129	49	107	108	53	64	40	24	13	6	4	26	20	823
6.0- 7.0 10.3 74	75	113	102	154	87	76	54	61	48	43	22	17	10	2	14	28	906
7.0- 8.0 9.8 65	61	124	123	154	104	28	43	44	51	32	27	12	15	6	10	24	858
8.0- 9.0 14.4 51	93	210	382	225	52	38	38	33	47	59	13	19	6	3	10	36	1264
9.0-10.0 8.6 48	105	135	146	142	26	49	19	17	46	17	2	7	11	2	4	28	756

Fonte: ASA, 2004.

Com base nas informações fornecidas pela Petrobras, o óleo tipo MARLIM LESTE foi utilizado em todas as simulações (anexo II.2-1). As características definidas para o óleo cru são apresentadas no Quadro II.5.1.4-8.

Quadro II.5.1.4-8 - Características do óleo modelado.

CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO	
Grau API	17,8°
Densidade	0,944 g/cm³
Viscosidade Dinâmica do Óleo	866,187 cP a 25° C

✓ **Descrição dos Cenários**

Utilizando-se o OILMAP em modo probabilístico, é possível levar em consideração a variabilidade das forçantes ambientais. 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 dos cenários determinísticos 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 do sistema de modelos utilizado (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 pouca 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 II.5.1.4-9.

Quadro 5.1.4-9 - Cenários considerados nas simulações probabilísticas de derrames de óleo.

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME (m ³)	ESTAÇÃO ANO	TEMPO
P53_VER_8_20PPM	MARLIM LESTE	8	Verão	1 hora
P53_INV_8_20PPM	MARLIM LESTE	8	Inverno	1 hora
P53_VER_200_6HORAS	MARLIM LESTE	200	Verão	6 horas
P53_INV_200_6HORAS	MARLIM LESTE	200	Inverno	6 horas
P53_VER_200_20PPM	MARLIM LESTE	200	Verão	7 horas
P53_INV_200_20PPM	MARLIM LESTE	200	Inverno	7 horas
P53_VER_PIORCASO_6HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Verão	6 horas
P53_INV_PIORCASO_6HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Inverno	6 horas
P53_VER_PIORCASO_9HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Verão	9 horas
P53_INV_PIORCASO_9HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Inverno	9 horas
P53_VER_PIORCASO_12HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Verão	12 horas
P53_INV_PIORCASO_12HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Inverno	12 horas

(continua)

Quadro 5.1.4-9 (conclusão)

CENÁRIO	PRODUTO	VOLUME (m ³)	ESTAÇÃO ANO	TEMPO
P53_VER_PIORCASO_36HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Verão	36 horas
P53_INV_PIORCASO_36HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Inverno	36 horas
P53_VER_PIORCASO_60HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Verão	60 horas
P53_INV_PIORCASO_60HORAS	MARLIM LESTE	78.915	Inverno	60 horas
P53_VER_PIORCASO_30DIAS	MARLIM LESTE	78.915	Verão	30 dias
P53_INV_PIORCASO_30DIAS	MARLIM LESTE	78.915	Inverno	30 dias

Fonte: ASA, 2004.

Definição dos volumes, segundo a CONAMA 293/01, e critério de parada para cada volume:

- ★ Pequeno: 8 m³; 20 ppm
- ★ Médio: 200 m³; 20 ppm
- ★ Pior caso: 78.915 m³; 30 dias.

✓ *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 5.1.4-13 e 5.1.4-15 mostram, respectivamente, os contornos de probabilidade da presença de óleo para os cenários de pior caso de acidentes envolvendo *blowout* de poço, ocorrendo durante os meses de verão (janeiro a março) e inverno (junho a agosto).

Somente para o cenário catastrófico de derrame de 78.915 m³ durante o inverno é que existe a probabilidade da mancha chegar em águas costeiras, sendo esta igual a 78,3% do total das simulações realizadas; já para o cenário catastrófico de verão, esta probabilidade é matematicamente inexistente. Praticamente em todas as simulações, a mancha se deslocou para sudoeste, seguindo a orientação da Corrente do Brasil.

A Figura II.5.1.4-17 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 o FPU P-53. Para o cenário catastrófico de derrame de 78.915 m³ em condições de inverno, a maior probabilidade da mancha atingir **áreas específicas** do litoral do estado do Rio de Janeiro fica entre 70 e 80% para os municípios de Arraial do Cabo (RJ) e Armação de Búzios (RJ).

Cabe ressaltar que todas as simulações realizadas não levam em conta ações provenientes de Planos de Contingência e Planos de Ações Emergenciais.

Observa-se que de acordo com o apresentado no item II.8.1 – Análise de Riscos Ambientais, a frequência de ocorrência de um acidente envolvendo *blowout* de poços da P-53 é de 1 evento a cada 1000 anos.

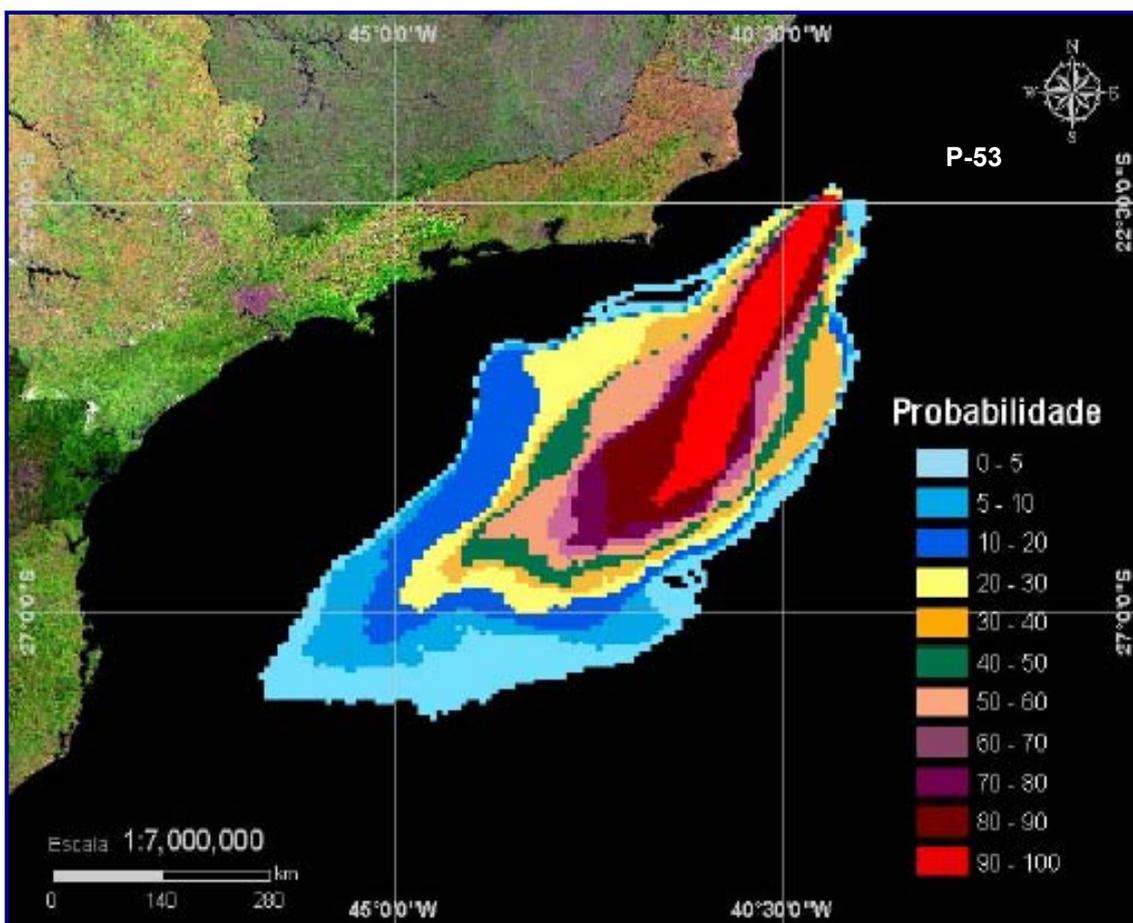


Figura II.5.1.4-13 - Cenário P53 - VERÃO / PIOR CASO/ 30DIAS. Contorno de probabilidades para um acidente ocorrido no poço P3H durante os meses de verão (Janeiro a Março), com derrame de 78.915 m³ durante 30 dias. Fonte: ASA, 2004.

A Figura II.5.1.4-14 mostra um cenário para cada uma das classes de probabilidade de toque da mancha na região de estudo. A figura 5.1.4-14, que é um desmembramento da figura 5.1.4-13, esclarece, através de uma visualização diferente, que o contorno de probabilidade total mostrado anteriormente não representa o deslocamento de uma única mancha, mas sim a sobreposição de 300 simulações de onde então, se calcula a probabilidade de toque para cada célula da grade do modelo.

Figura II.5.1.4-14 - *Contorno de cada classe de probabilidade para um acidente ocorrido no poço P3H durante os meses de verão (Janeiro a Março) com derrame de 78.915 m³ durante 30 dias.(A3)*

Figura II.5.1.4-14 - Contorno de cada classe de probabilidade para um acidente ocorrido no poço P3H durante os meses de verão (Janeiro a Março) com derrame de 78.915 m³ durante 30 dias. (A3)

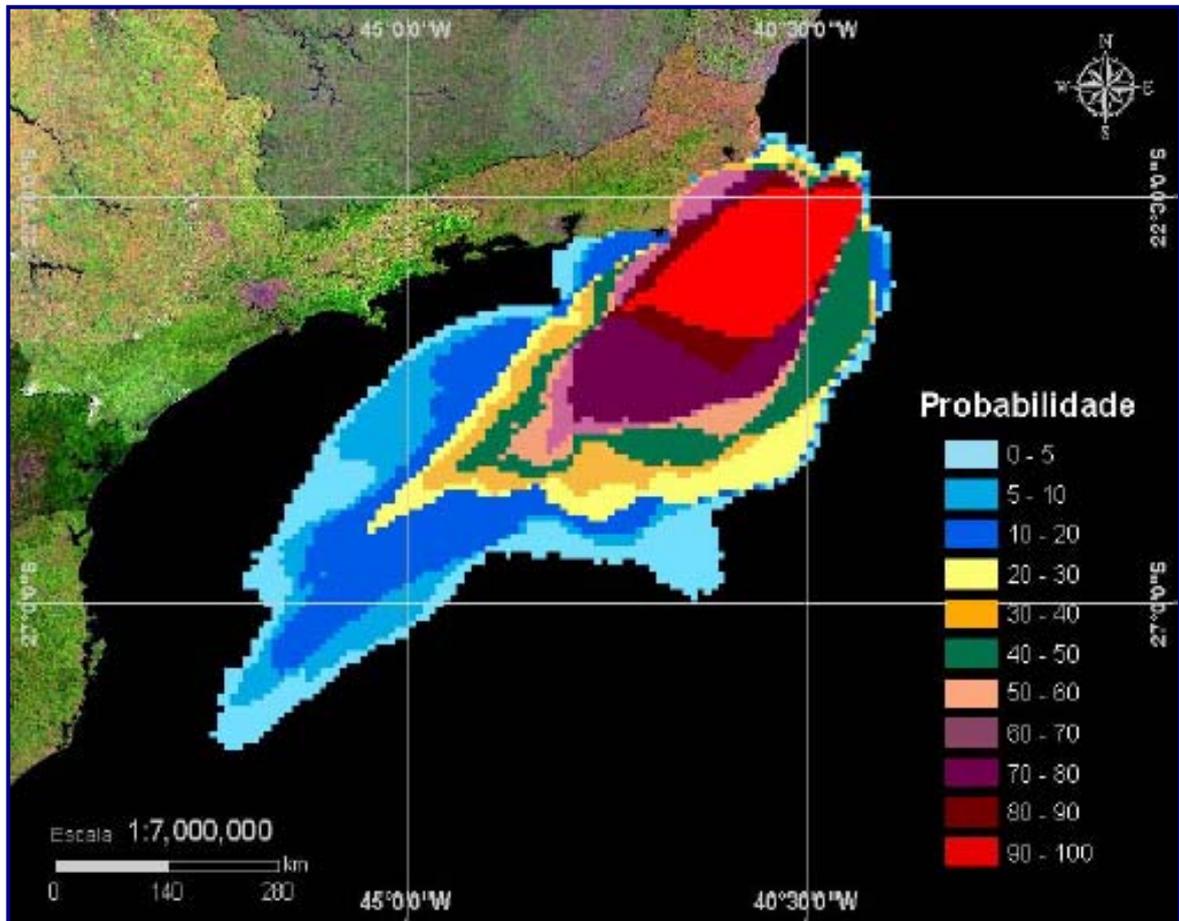


Figura II.5.1.4-15 - Cenário P-53- INVERNO / PIOR CASO / 30 DIAS. Contorno de probabilidades para um acidente ocorrido no poço P3H durante os meses de inverno (Junho a Agosto) com derrame de 78.915 m³ após 30 dias. Fonte: ASA, 2004.

A Figura II.5.1.4-16 mostra um cenário para cada uma das classes de probabilidade de toque da mancha na região de estudo. A Figura 5.1.4-16, que é um desmembramento da Figura 5.1.4-15, esclarece, através de uma visualização diferente que o contorno de probabilidade total mostrado anteriormente não representa o deslocamento de uma única mancha, mas sim, a sobreposição de 300 simulações, de onde, então, se calcula a probabilidade de toque para cada célula da grade do modelo.

Figura II.5.1.4-16 - Contorno de cada classe de probabilidade para um acidente ocorrido no poço P3H durante os meses de inverno (Junho a Agosto) com derrame de 78.915 m³ após 30 dias. (A3)

Figura II.5.1.4-16 - Contorno de cada classe de probabilidade para um acidente ocorrido no poço P3H durante os meses de inverno (Junho a Agosto) com derrame de 78.915 m³ após 30 dias. (A3)

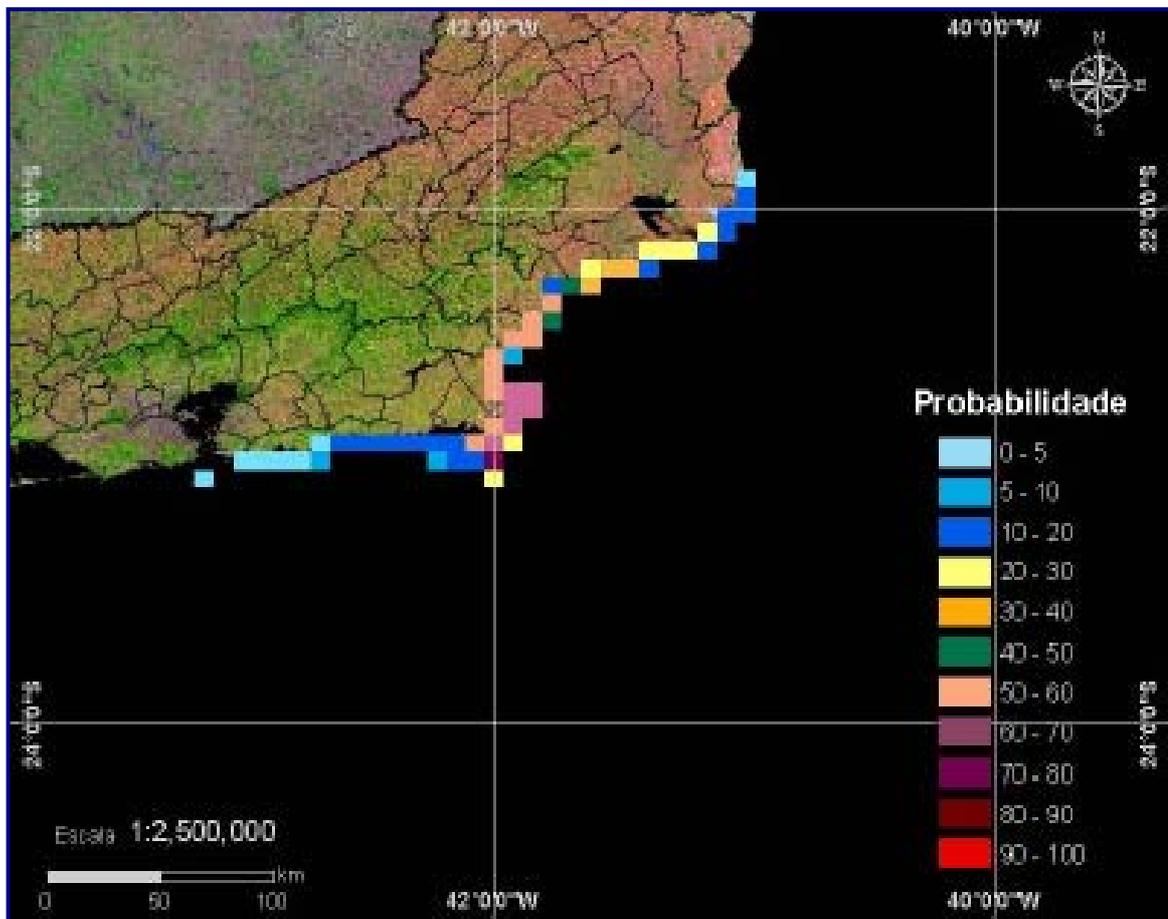


Figura II.5.1.4-17 - Cenário P-53 INVERNO / PIOR CASO / 30 DIAS. Contorno de probabilidades de toque na linha de costa (área específica), para um acidente ocorrido durante os meses de inverno (Junho a Agosto). Fonte: ASA, 2004.

A Figura 5.1.4-18 apresenta o volume médio de óleo por km de costa atingida para simulações em condições de inverno e após 30 dias de simulação. O município de Campos dos Goytacazes (RJ) se destaca, com um volume médio da ordem de 70 m³ por km de linha de costa.

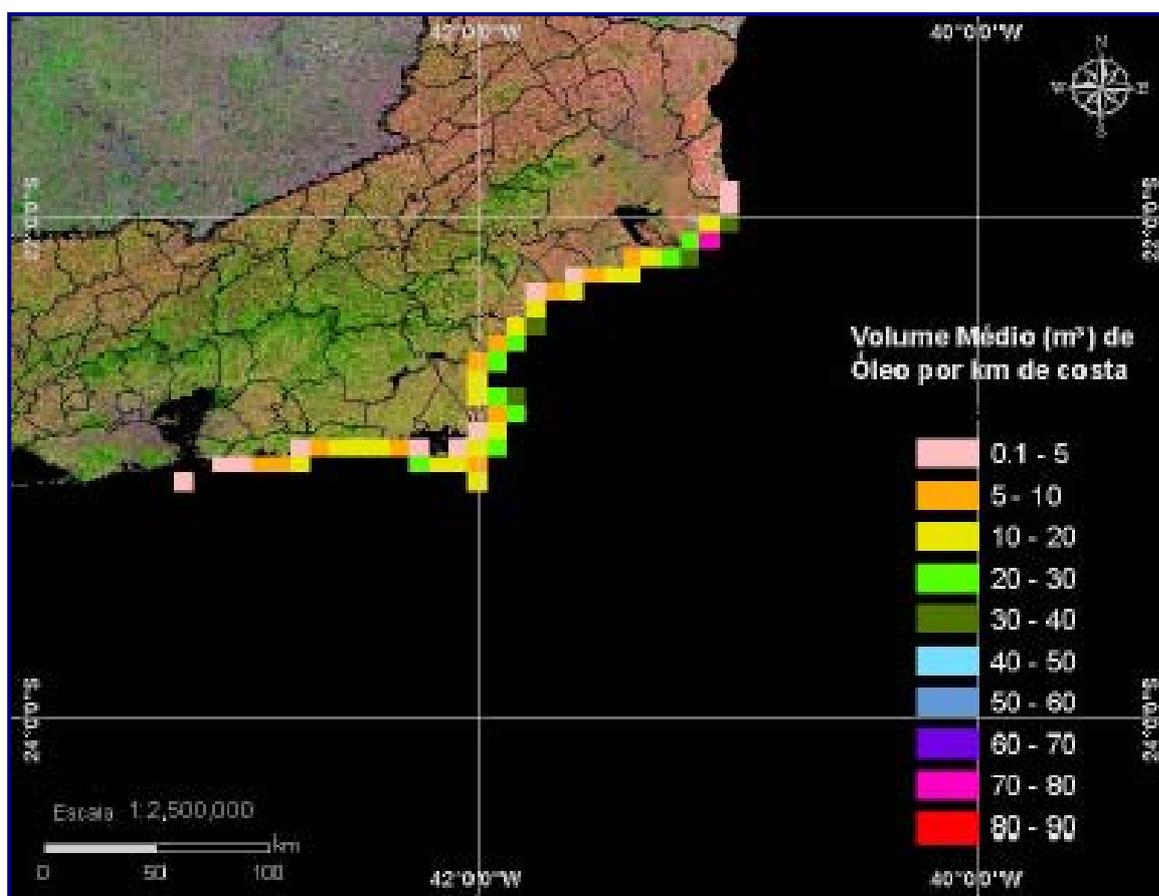


Figura II.5.1.4-18 - Cenário P-53 INVERNO / PIOR CASO / 30 DIAS OLEOMED.
Volume médio de óleo por km que, segundo simulação, chegaria à costa no período de inverno (junho a agosto), considerando evento de blowout seguido de vazamento por 30 dias, caso não houvesse ação nenhuma de contenção. Fonte: ASA, 2004.

A Figura II.5.1.4-19 mostra o volume máximo de óleo por km de costa passível de atingir a região de estudo em condições de inverno e após 30 dias. Observa-se um máximo de cerca de 130 m³ no município de Campos dos Goytacazes (RJ).

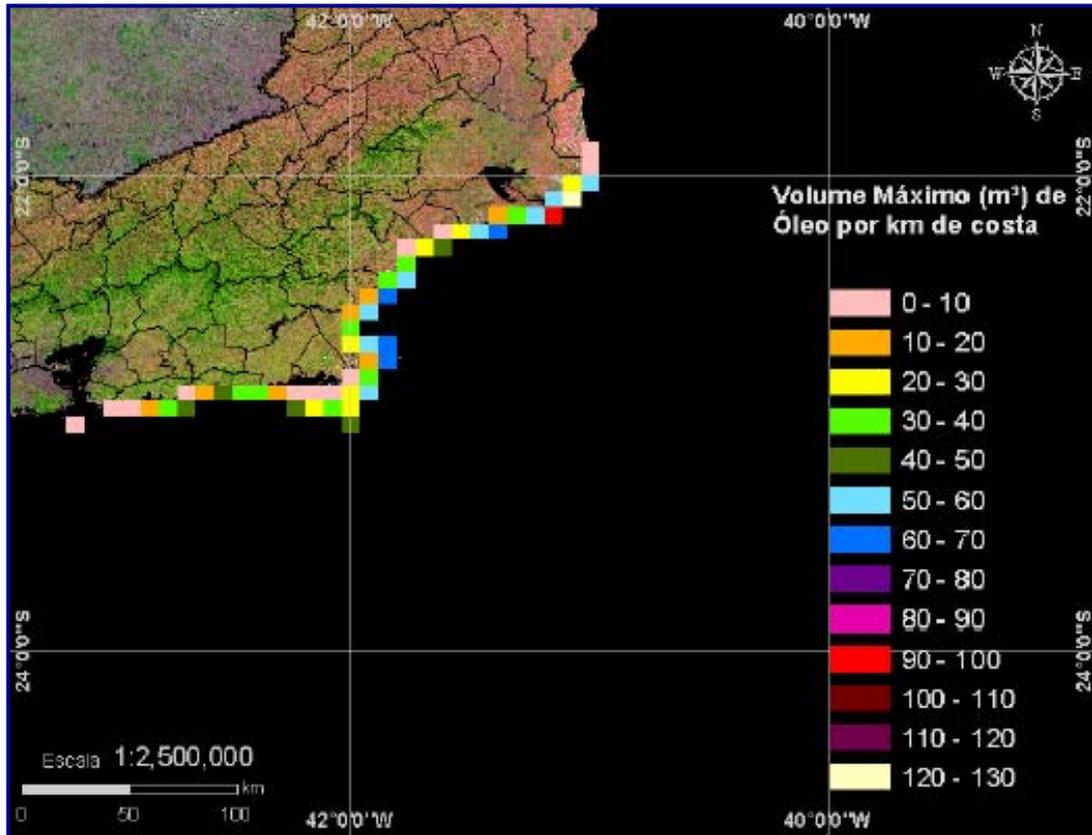


Figura II.5.1.4-19 - Cenário P53 / INV / PIORCASO / 30DIAS / OLEOMAX. Volume máximo de óleo por km que, segundo simulação, chegaria à costa no período de inverno (junho a agosto), considerando evento de blowout seguido de vazamento por 30 dias, caso não houvesse ação nenhuma de contenção. Fonte: ASA, 2004.

O Quadro II.5.1.4-10 mostra o percentual de simulações com toque na linha de costa, o menor período de tempo para o óleo atingir a costa e o tempo médio para o óleo atingir a costa, considerando a ocorrência do cenário de pior caso durante os meses de inverno (Junho e Agosto).

Quadro 5.1.4-10 - Resumo do resultado da modelagem probabilística de pior caso ocorrendo durante os meses de inverno (Junho a Agosto) (300 simulações).

CENÁRIO	TEMPO MÍNIMO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	TEMPO MÉDIO PARA ATINGIR A COSTA (HORAS)	PERCENTAGEM DE SIMULAÇÕES COM TOQUE NA COSTA
P-53_INV_PIORCASO_30DIAS	220	460	78,3%

Fonte: ASA, 2004.

✓ *Simulações Determinísticas*

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os cenários determinísticos críticos de verão e inverno. Para essas simulações foram consideradas, como mais críticas, situações distintas para o verão e o inverno, uma vez que foi observado toque na costa somente para a condição de inverno. Em ambas as condições (verão e inverno), foram considerados vazamentos de 78.915 m^3 ($109,6 \text{ m}^3/\text{h}$).

Para a condição de verão, foi considerado como mais crítico o cenário no qual o óleo mais se aproxima da linha de costa, uma vez que ele não chega a tocá-la. Neste caso, a menor distância da mancha em relação à costa foi de 82 km, na altura de Arraial do Cabo.

Para a condição de inverno, foram consideradas duas situações: (1) cenário no qual se observa a maior quantidade de óleo na costa, e (2) cenário que apresenta o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa. O Quadro II.5.1.4-11 apresenta um resumo das informações relativas ao toque do óleo na costa para estes cenários.

Quadro II.5.1.4-11 - Resumo dos cenários determinísticos críticos de inverno para um vazamento de 78.915 m^3 a partir do poço P3H.

CENÁRIO	DATA DE INÍCIO	VOLUME QUE CHEGA À COSTA (m^3)	TEMPO MÍNIMO PARA CHEGAR À COSTA (H)
INVERNO_VOL	19/07/1992	19.666,2	619
INVERNO_TOQUE	30/07/1992	122	225

Fonte: ASA, 2004.

Nas Figuras II.5.1.4-20, II.5.1.4-22 e II.5.1.4-24 são apresentados os contornos de espessura no momento final das simulações dos cenários críticos. Nestas figuras, a cor cinza representa a região por onde a mancha se deslocou durante os 30 dias de duração do derrame e, portanto, não está associada a uma espessura. A mancha final é aquela representada pela escala de cores indicada nas figuras.

A Figura II.5.1.4-20 apresenta o resultado da simulação determinística de 30 dias para o pior caso em condições de verão. A menor distância da mancha em

relação à costa ocorre nas proximidades do município de Arraial do Cabo, a, aproximadamente, 82 km de distância da linha de costa.

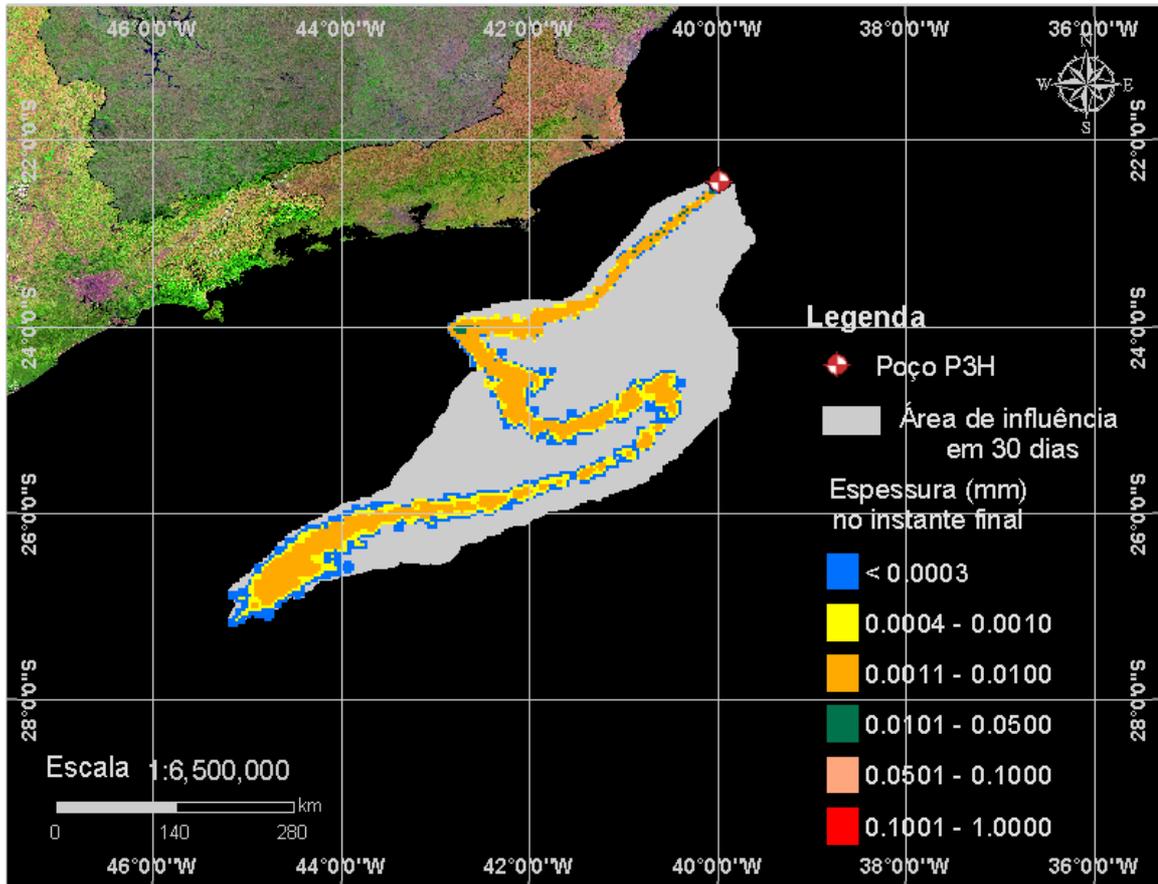


Figura II.5.1.4-20 - Cenário determinístico de pior caso de vazamento no verão para o poço P3H. Fonte: ASA, 2004.

Na Figura II.5.1.4-21 é apresentado um gráfico com o balanço de massa (óleo na superfície, na costa, evaporado e na coluna d'água) para a simulação de pior caso no período de verão. Observa-se que a evaporação apresenta um importante papel na redução da massa de óleo nesse período, não havendo acúmulo de óleo na linha de costa nem na coluna d'água.

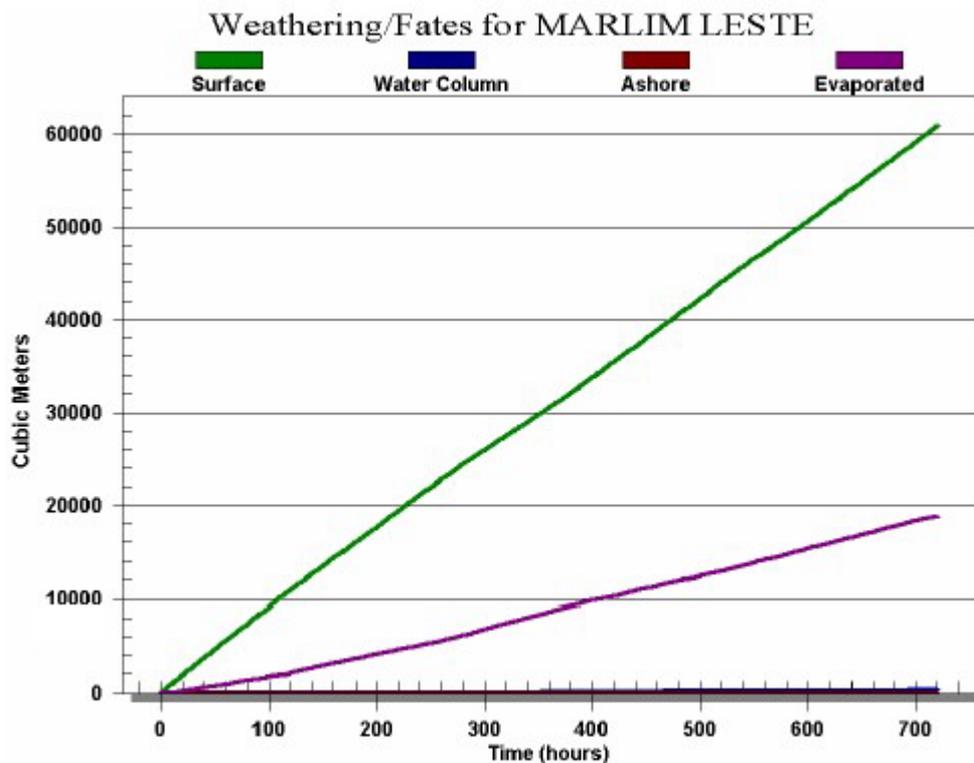


Figura II.5.1.4-21 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no verão para o poço P3H. Fonte: ASA, 2004.

A Figura II.5.1.4-22 apresenta os resultados das simulações determinísticas para o pior caso de vazamento, para inverno, no poço P3H, utilizando o critério de maior volume de óleo na costa.

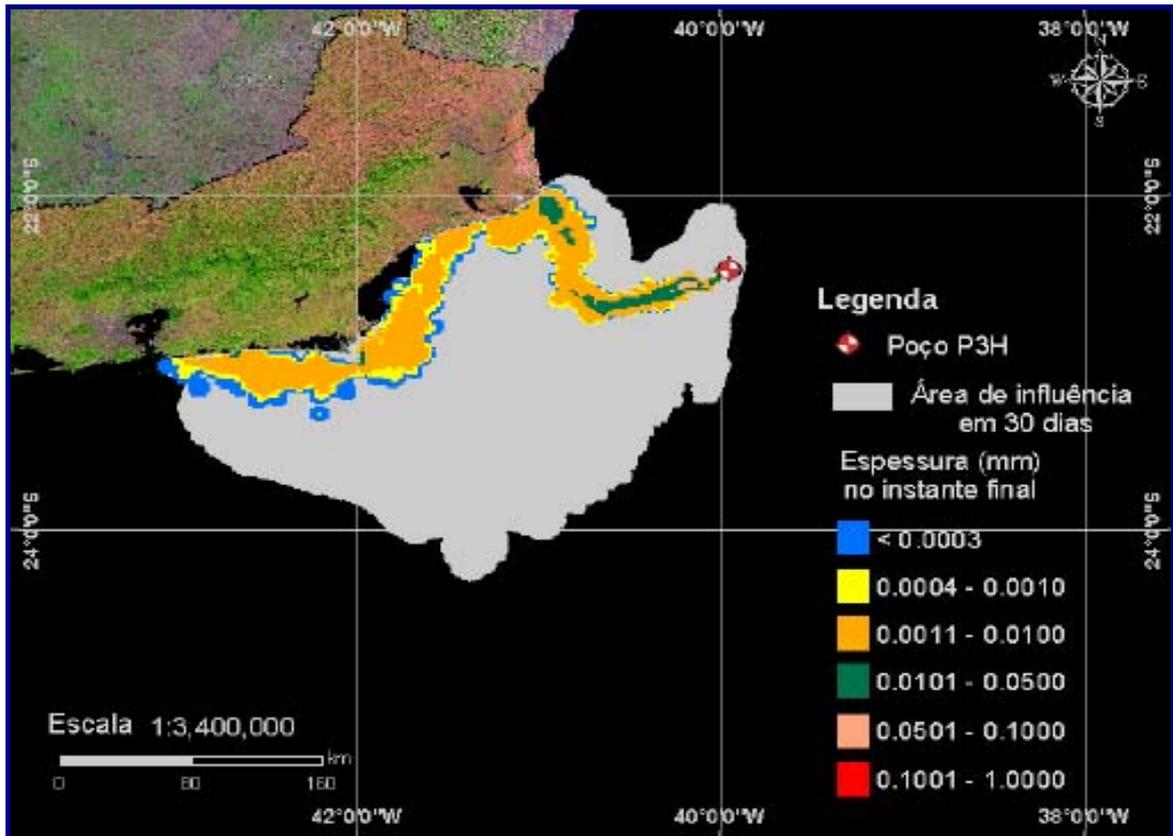


Figura II. 5.1.4-22 - Cenário determinístico de pior caso de vazamento no inverno para o poço P3H, sendo considerado o critério de maior volume de óleo na costa. Fonte: ASA, 2004.

A Figura II.5.1.4-23 apresenta o gráfico de balanço de massa para o cenário com derrame de volume de pior caso, simulado por 30 dias, em condições de inverno, sendo considerado o critério de maior volume de óleo na costa. Observa-se que parte considerável do volume derramado é depositado na costa após aproximadamente 26 dias e 16 horas (ou 640 horas) do início da simulação. Assim como na simulação de verão, o processo de evaporação é o principal responsável pela redução da massa de óleo no inverno.

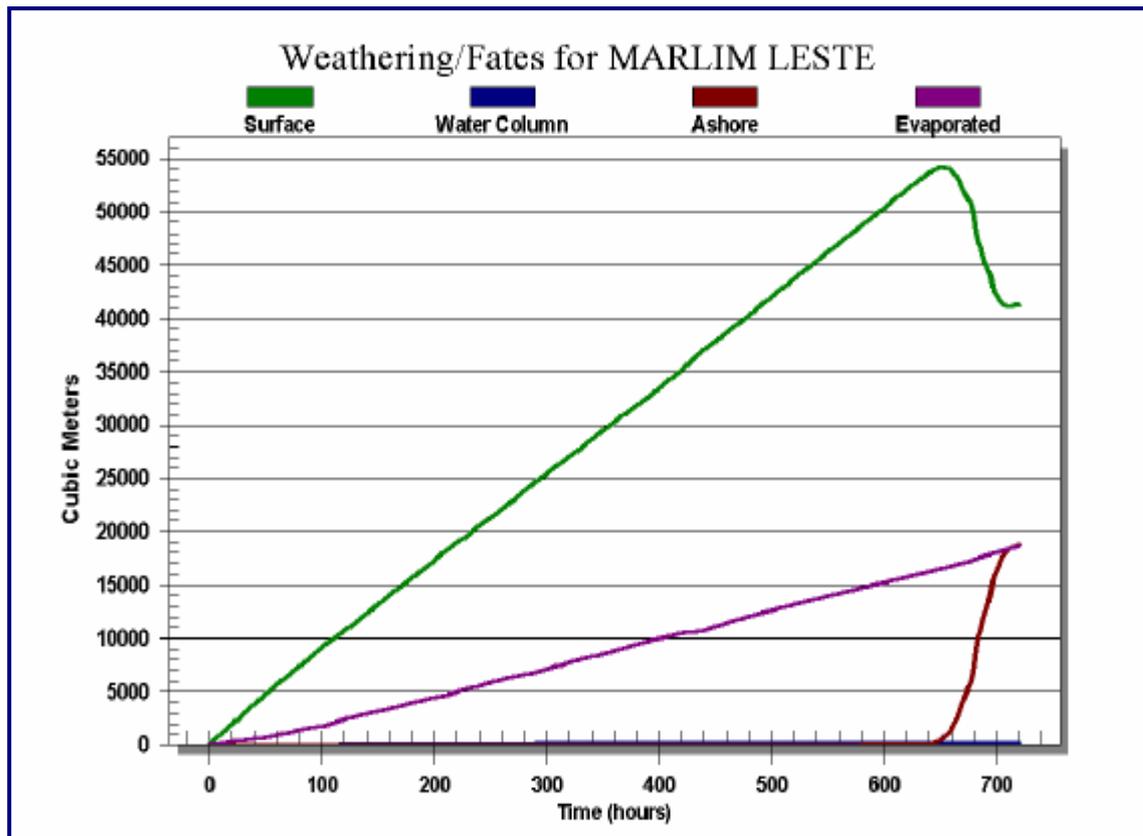


Figura II.5.1.4-23 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no inverno para o poço P3H, considerando-se como critério a maior quantidade de óleo na costa. Fonte: ASA, 2004.

A Figura 5.1.4-24 apresenta os resultados das simulações determinísticas para o pior caso de vazamento, para inverno, no poço P3H, considerando o critério de menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa. O instante do primeiro toque na costa ocorre após 9 dias e 9 horas (ou 225 horas).

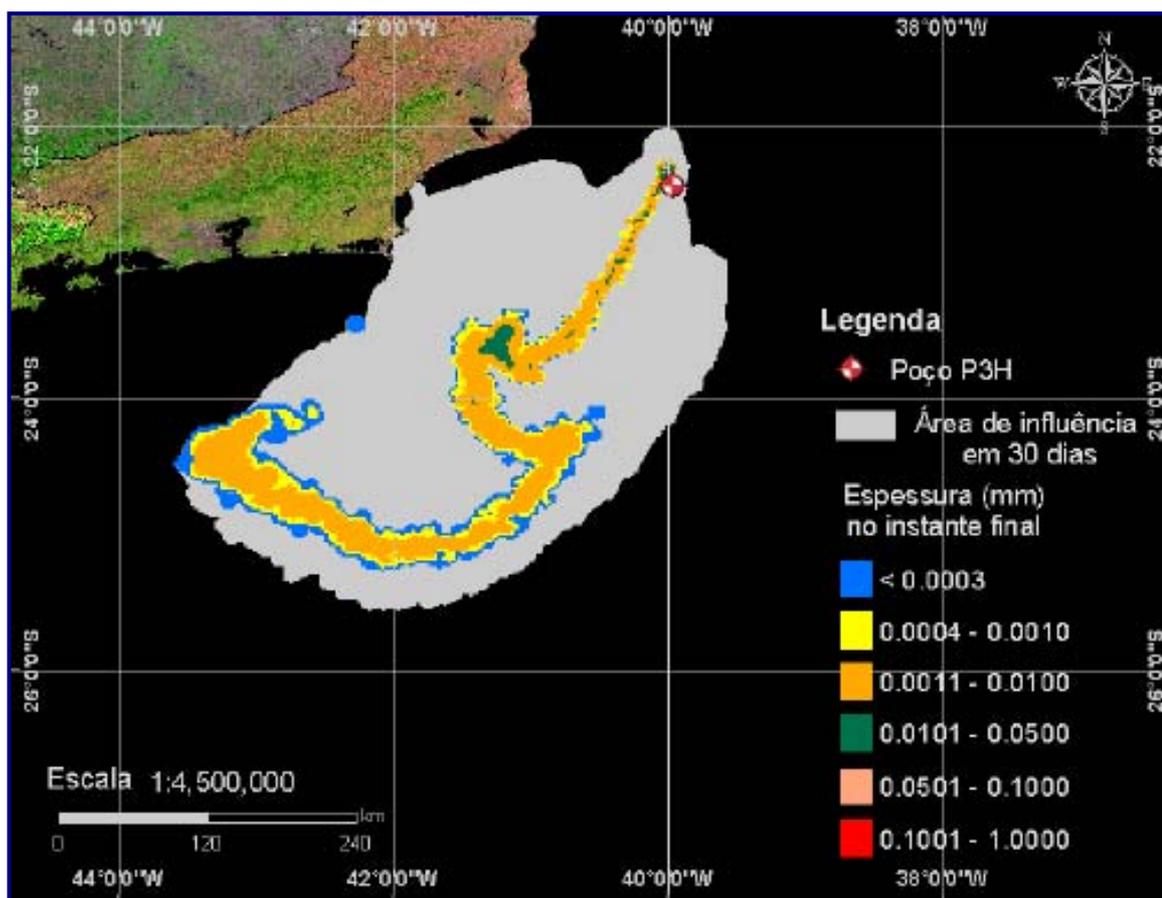


Figura II.5.1.4-24 - Cenário determinístico de pior caso de vazamento no inverno para o poço P3H, considerando como critério o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa. Fonte: ASA, 2004.

Na Figura II.5.1.4-25 é apresentado um gráfico com o balanço de massa para o cenário com derrame de volume de pior caso, simulado por 30 dias, em condições de inverno, no instante do primeiro toque do óleo na costa. Observa-se que, assim como nas demais simulações, a evaporação apresenta um importante papel na redução da massa de óleo nesse período. O volume de óleo na linha de costa, neste caso, é muito reduzido e não é observado nenhum acúmulo de óleo na coluna d'água.

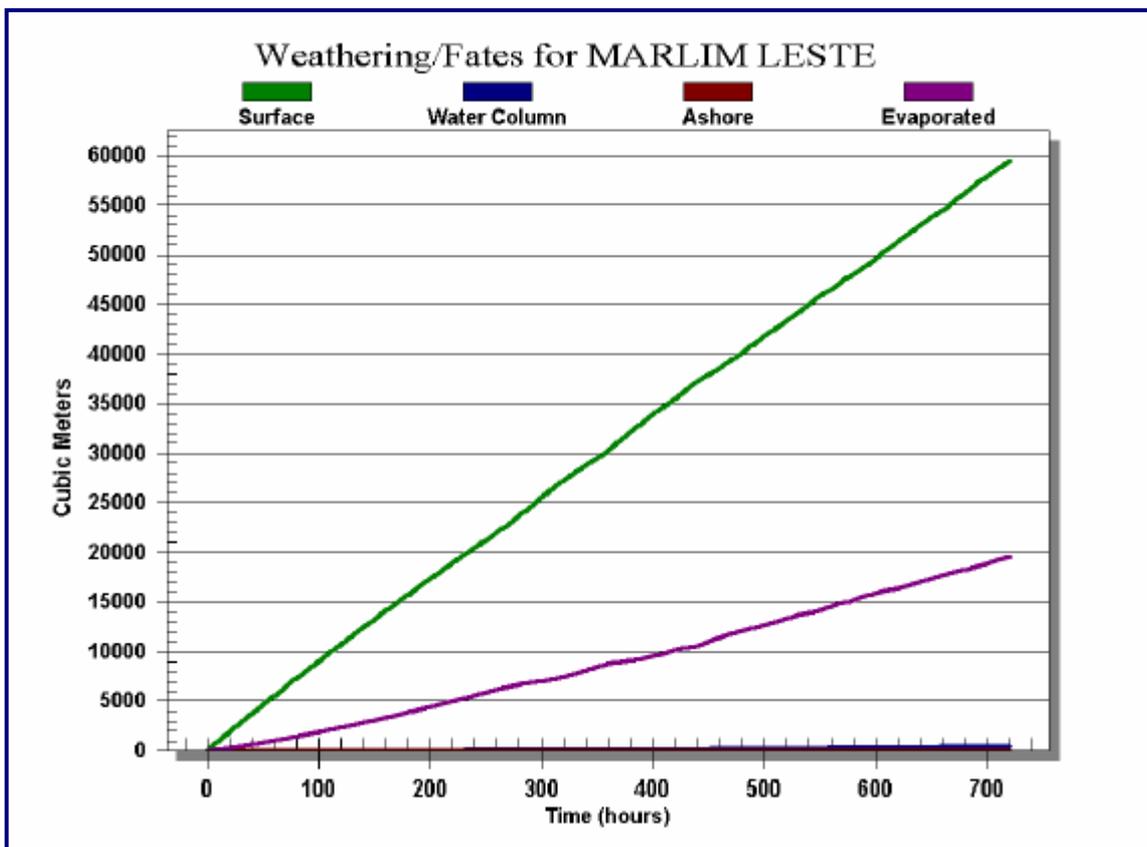


Figura II.5.1.4-25 - Balanço de massa para o cenário de pior caso de vazamento no inverno para o poço P3H, considerando-se como critério o menor tempo para o primeiro toque do óleo na costa. (Fonte:ASA,2004).