

8.8. AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS RISCOS

8.8.1 Considerações Iniciais

Conforme mencionado no item 6.5 deste EIA, o correto dimensionamento e avaliação da viabilidade ambiental de atividades de produção de óleo, independente da região onde serão implantadas, devem levar em consideração, além de seu desenvolvimento normal, os riscos inerentes ao processo de produção como um todo.

Tendo em vista a aplicação de uma metodologia mais adequada de avaliação ambiental dos efeitos decorrentes do eventual derramamento de óleo, optou-se por descrever as interferências deste tipo de acidente sobre o meio ambiente de forma associada à análise de riscos da atividade, apresentada nos itens 8.1 a 8.6.

Assim, são apresentados, neste item, os principais aspectos relacionados ao derramamento acidental de óleo no mar, a partir da FPSO, incluindo a descrição da modelagem de dispersão da pluma de óleo e a avaliação de suas repercussões no ambiente marinho.

8.8.2. Modelagem da dispersão do óleo

8.8.2.1. Introdução

Para o estudo da modelagem da trajetória e transformações biogeoquímicas de um potencial acidente com petróleo no Projeto Bijupirá & Salema, na Bacia de Campos, foi aplicado o sistema de modelos OILMAP (da Applied Science Associates – ASA - utilizado pela sua joint-venture brasileira – ASATM Brasil).

As informações sobre o padrão de circulação na região foram aqueles apresentados no Estudo de Impacto Ambiental, assumindo o comportamento constante da corrente em seus valores médios de 0,45 m/s na direção de 200°. Os dados de vento foram obtidos do modelo atmosférico do “National Center for Environmental Prediction (NCEP)” e “National Center for Atmospheric Research (NCAR)” que são disponibilizados pelo “Climate Diagnostic Center” da “National Oceanographic and Atmospheric Agency (NOAA)”.

Foram conduzidas simulações probabilísticas para determinar contornos de probabilidade da mancha atingir a área de estudo, a partir do derramamento de 206.700 m³ (segundo determinação da Resolução CONAMA 293/2001, a descarga de pior caso) nas coordenadas planejadas para o posicionamento da FPSO. Os resultados mostraram que, mesmo para esta condição extrema de derrame, a probabilidade da mancha chegar à costa é matematicamente inexistente. O arquivo digital “TrajetóriaFinal.exe” (CD Anexo), apresenta o comportamento da mancha residual durante 36 dias e 21 horas, que é o tempo calculado na modelagem para que ela atinja

0.05 mm de espessura. É também apresentado o balanço de massa do óleo vazado, considerando as frações que evaporaram, ficaram na coluna d'água e na superfície.

Avaliações complementares aos resultados do modelo revelaram uma forte predominância do padrão da circulação na região na trajetória e destino da mancha simulados. As condições meteo-oceanográficas desta região do Projeto são caracterizadas pela dinâmica associada à Corrente do Brasil e feições batimétricas, sendo estas mais atuantes na área sobre a plataforma continental. A estrutura e posicionamento de seus meandros e vórtices podem gerar situações de correntes locais mais ou menos intensas, com influência direta no transporte superficial resultante.

O objetivo principal deste trabalho é a modelagem da trajetória e transformações biogeoquímicas de um potencial derramamento de óleo nas coordenadas de instalação da FPSO do Projeto Bijupirá & Salema. Esta avaliação foi conduzida através da utilização de um sistema de modelos computacionais conhecido como **OILMAP**, desenvolvido pela **Applied Sciences Associates (ASA)** dos EUA. A ASA tem mais de 20 anos de experiência com estudos de impacto ambiental causados por acidentes com petróleo. No Brasil, os trabalhos da ASA e o suporte técnico de seus modelos computacionais são realizados por sua joint-venture – **ASATM Brasil**.

Para estudos de modelagem, como o realizado neste trabalho, são necessários:

- um conhecimento detalhado das características geomorfológicas do local (contornos da linha de costa e oceano),
- padrões de circulação local e em larga escala,
- séries temporais de vento de longa duração (preferencialmente de bóias *offshore* e/ou estação meteorológica costeira).

Uma descrição abreviada do modelo OILMAP é apresentada no Apêndice A deste relatório. Os cenários simulados, bem como os dados de entrada e hipóteses simplificadoras assumidas durante as simulações são apresentados na Seção 2; as características químicas do óleo utilizada nas simulações são apresentadas na Seção 3; a descrição dos cenários de simulação, na Seção 4; os resultados das simulações e as prováveis trajetórias de um acidente nos locais de estudo são apresentados na Seção 5; e as conclusões e recomendações do estudo são apresentadas na Seção 6.

8.7.2.2 Formulação do modelo e dados de entrada

O sistema OILMAP, representando o estado-da-arte em sistemas de modelos para simulação de derramamento de óleo, foi utilizado neste estudo para previsão da trajetória e transformações biogeoquímicas de potenciais acidentes com petróleo na Bacia de Campos.

Primeiramente foi definida a área de estudo para o ponto de derramamento. Nesta área, foi definida um conjunto de duas grades computacionais, ou malhas com uma certa quantidade de blocos menores, sobreposta ao mapa digital da área de estudo. Uma grade define quais as células ou blocos correspondem a área de terra e quais a área 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.

O conjunto de dados de entradas 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 subsuperfície ao longo do 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 do área de estudo.

A simulação se inicia no momento especificado pelo arquivo de entrada e quando a liberação do óleo começa, o modelo calcula a trajetória da mancha e transformações biogeoquímicas para cada ponto da grade. Estas transformações (por exemplo: evaporação e espalhamento) que o modelo simula, resultam em uma distribuição de massa sobre quanto deste óleo se move para os pontos de grades circundantes, o quanto adentra na coluna d'água e o quanto evapora. O modelo então calcula a quantidade de óleo em cada bloco e, quais as propriedades resultantes após as moléculas mais leves terem sido evaporadas e as mais pesadas terem adentrado na coluna d'água. O modelo repete estes cálculos para todos os pontos da grade em cada passo de tempo simulado. Os processos biogeoquímicos do óleo que eventualmente entra em contato com a linha de costa são calculados em função de quanto se prende à costa e quanto pode ser ressuspensão, caso as condições meteoceanográficas se alterem.

No modo probabilístico, como utilizado neste trabalho, o modelo pode ser aplicado para determinar as trajetórias mais prováveis para os derramamentos em bases mensais, sazonais, ou anuais. Os resultados deste tipo de simulação incluem mapas mostrando as probabilidades de contato com óleo em cada ponto da grade computacional, na linha de costa, e o tempo de deslocamento da mancha.

8.7.2.3. Área de Estudo

As simulações para um potencial acidente com petróleo na área do Projeto Bijupirá & Salema foram realizadas a partir de 1 ponto de derrame (Figura 8.8.2-a), cujas coordenadas são as da locação prevista para a FPSO (22° 38' 23"S e 040° 25' 48" W) :

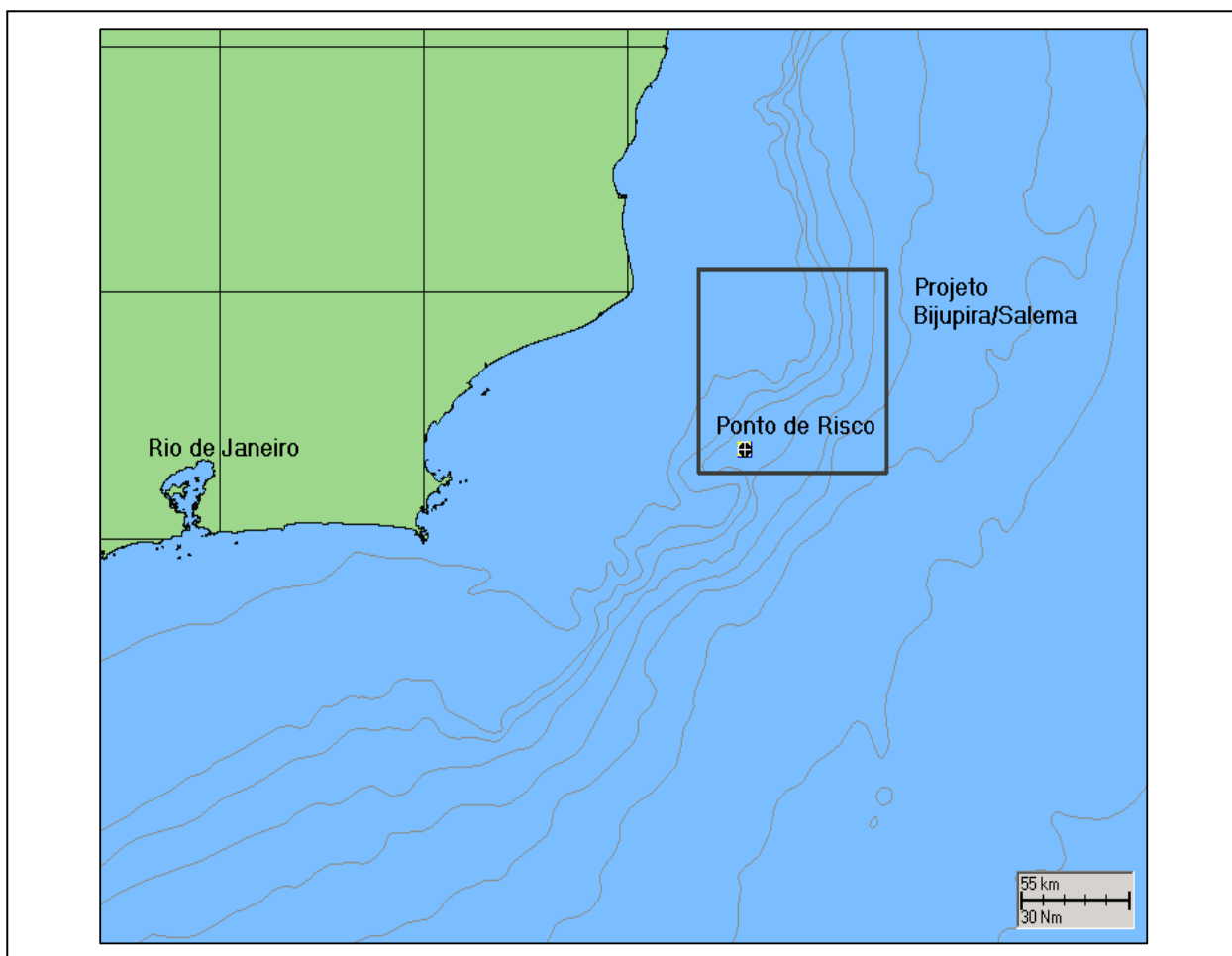


Figura 8.8.2-a– Região de Estudo, com o ponto do derramamento simulado

Para caracterização dos padrões de circulação foram utilizadas as informações contidas no Diagnóstico Ambiental deste EIA.

A circulação oceânica nesta área da plataforma é alvo de um interesse científico particular devido às feições batimétricas. Parte significativa do fluxo da Corrente do Brasil (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 3000 m (Stramma *et al.*, 1990 *apud* Lima, 1997), enquanto o outro flui seguindo a linha da quebra da plataforma, onde se estende até o fundo, com uma significativa parte fluindo sobre a plataforma externa, que algumas vezes localiza-se aquém da isóbata de 100 m (Signorini, 1978).

A circulação na camada superficial sobre a quebra da plataforma e no talude é caracterizada pelo fluxo da Corrente do Brasil para sul. Esta corrente representa o limite ocidental do giro subtropical do Atlântico Sul. Poucas medições de correntes foram feitas na CB. As primeiras medições diretas foram feitas por Evans & Signorini (1985), nas latitudes de 20° 30' S e 23°S, as quais apresentaram um fluxo confinado aos primeiros 400 m de profundidade, com uma contra-corrente no sentido norte abaixo destes 400 m iniciais. Na parte norte da área, acima do Cabo de São Tomé, a direção da corrente é para 180°, variando para 220° na região de Cabo Frio. Isto está altamente

coerente com a variação da linha de costa (e das isóbatas). Esta mudança afeta significativamente a Corrente do Brasil, induzindo a formação de vórtices e meandros.

A componente que se desloca para sul cobre os primeiros 400 metros da coluna d'água, englobando a Água Tropical e grande parte da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). O volume estimado transportado pela Corrente do Brasil na região da quebra da plataforma e do talude na latitude de 22° S é de $5,5 \pm 2,6$ Sv (Lima, 1997).

Imagens AVHRR, usadas por Garfield em 1990, parecem indicar um padrão de meandramento regular entre o Cabo de São Tomé e Cabo Frio, com a separação ocasional de vórtices ciclônicos (Lima, 1997).

Próximo ao Cabo de São Tomé (22°S), a CB parece ocupar a maior parte da plataforma durante o verão. Medidas diretas de corrente feitas por Harari *et al.* em 1993 mostram que a circulação sobre a plataforma interna próxima ao Cabo de São Tomé se dá predominantemente em direção ao sul no verão, alternando entre sudoeste e nordeste durante o inverno, com a magnitude média de 30 a 50 cm/s. Nos primeiros 100 metros da coluna d'água, a velocidade da corrente pode chegar a 1 m/s (Castro e Miranda, 1999).

A água que flui para sudoeste durante o verão é reforçada pelos ventos predominantes, que sopram principalmente de nordeste nesta estação, devido à influência da Alta Subtropical do Atlântico Sul. 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 e Miranda, 1999).

Outra consequência do predomínio dos ventos de NE é a ressurgência, fenômeno no qual a ACAS penetra sobre a plataforma, levando águas frias em direção à costa. Estes eventos são muito comuns na região de Cabo Frio. Ventos fortes de sudoeste podem impedir a ocorrência do fenômeno nesta área, deslocando a massa fria ressurgida para as proximidades do Cabo de São Tomé, mais ao norte.

A velocidade da corrente relativa à contribuição da maré é baixa, de cerca de 5 cm/s, e quase em sua totalidade, no eixo perpendicular à plataforma.

A ação forçante residual de ondas aprisionadas na costa, com sentido de propagação norte (para o Equador) é um possível mecanismo para explicar algumas anomalias no campo de correntes. Maiores estudos para esclarecimento deste fator ainda estão sendo desenvolvidos (Lima, 1997).

Como parâmetros ambientais para a simulação realizada, foram considerados valores constantes de corrente de 45 cm/s com azimute de 200° e a maré de enchente local com o valor de 5 cm/s e direção perpendicular à costa.

Para este estudo, foram utilizados dados de vento obtidos do modelo atmosférico do "National Center for Environmental Prediction (NCEP)" e "National Center for Atmospheric Research (NCAR)" que são disponibilizados no site www.cdc.noaa.gov/cdc do "Climate Diagnostic Center" da "National Oceanographic and Atmospheric Agency (NOAA)".

Nas simulações foram utilizados ventos da Estação 15790 com coordenadas 21° 54' 15.8" S e 039° 22' 12.0" W. As séries temporais utilizadas foram extraídas do modelo NCEP para elevação de 10 metros entre 1 de Janeiro de 1990 e 1 de Janeiro de 2000. A Figura 8.8.2-b mostra as rosas de vento anual e mensal calculada para a estação 15790, utilizando-se a série temporal descrita acima (1990 a 2000). A Figura 8.8.2-c mostra as rosas de vento sazonais calculadas para o mesmo período (1990 a 2000).

Estas figuras demonstram, em concordância com o descrito no EIA, que os ventos predominantes são de NNE e NE. No outono e inverno, aumenta a frequência de ventos provenientes do quadrante E-SE, embora a predominância dos ventos continue sendo de NNE. Conforme demonstrado na Figura 3, ao longo do ano, a intensidade média dos ventos na região é de aproximadamente 6 m/s, com máximas de 14 m/s. A análise dos resultados apresentados nas rosas de ventos permitem definir os meses de setembro a fevereiro como simulações de verão, e março a agosto como simulações de inverno.

2002/2/4

15790.WNE

Lon(deg) Lat(deg) Start Date End Date days Sample Time
-39.38 -21.90 1990/1/1 1999/12/30 3650 6hrs

LEGEND

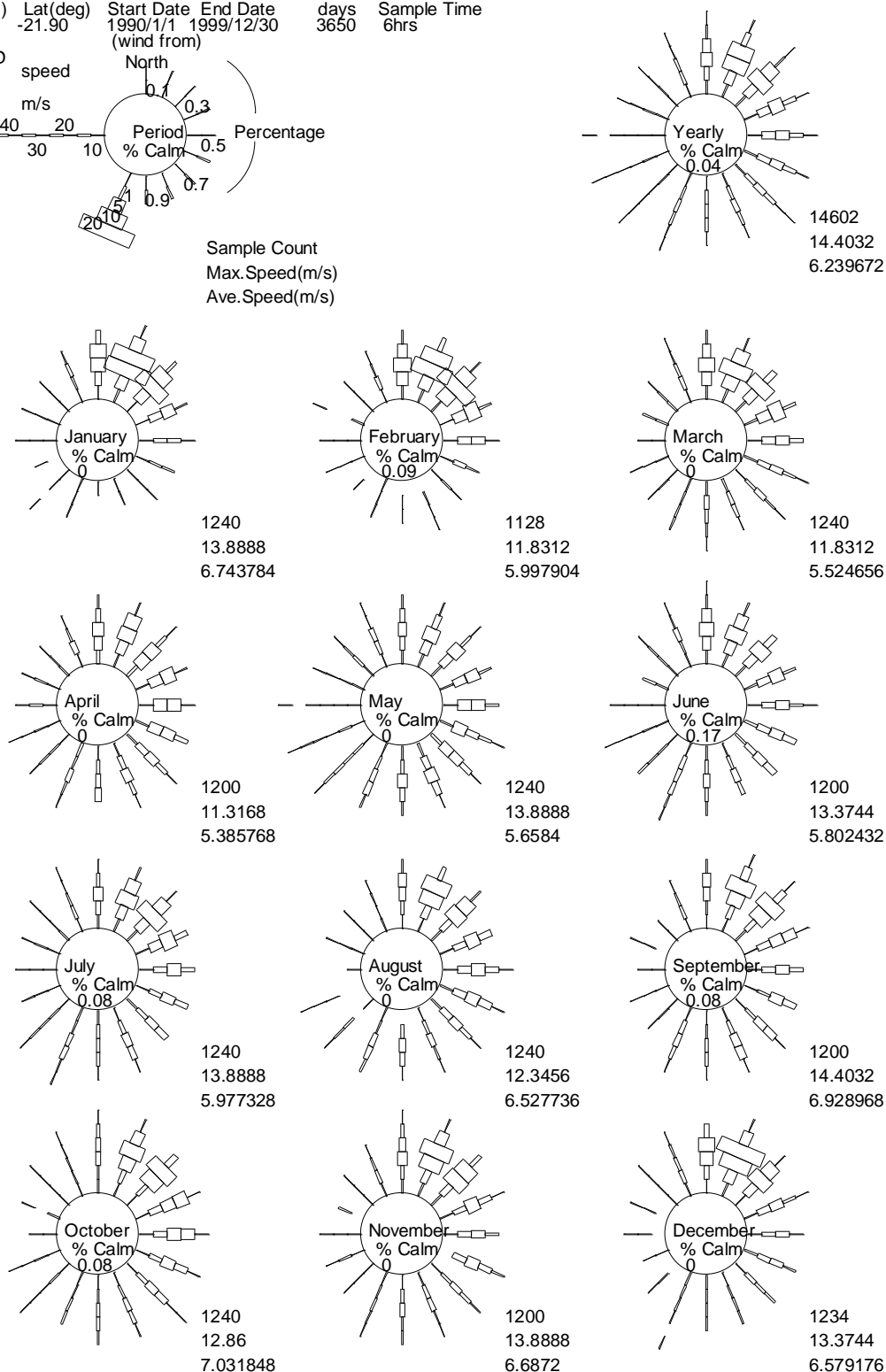
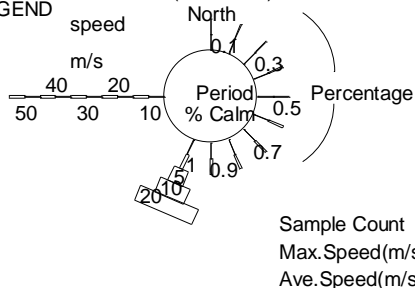


Figura 8.8.2-b. Rosas de vento anual e mensal calculadas para a estação 15790.

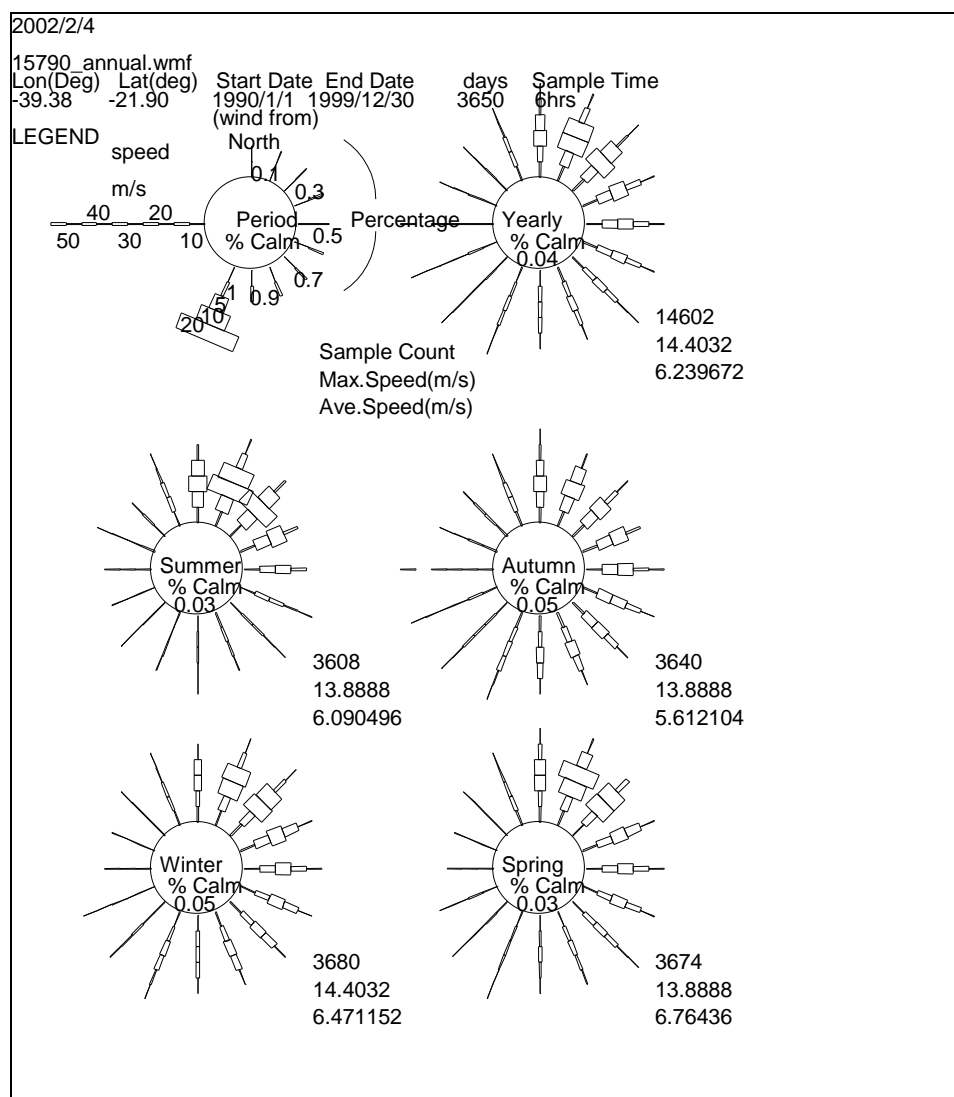


Figura 8.8.2-c. Rosas de vento sazonais calculadas para a estação 15790.

8.7.2.4. Caracterização do óleo

As características dos óleos produzidos nos dois campos são muito semelhantes, sendo utilizado então os valores para o óleo cru de Bijupirá, que será representativo de uma maior parcela produzida. Estes valores são apresentados abaixo:

- API 30°
- Densidade: 0,8833 g/cm³
- Viscosidade Dinâmica: 1,26 cP a 20°C

8.7.2.5. Descrição dos Cenários

Utilizando-se o OILMAP em modo probabilístico, é possível levar em consideração à variabilidade das forçantes ambientais. Neste modo, 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 (1990 a 2000). 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, na costa, ou tempo de deslocamento da mancha decorrido após início do derramamento. Nos estudos de avaliação de impacto ambiental e análise de risco, 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 em termos da probabilidade da presença de óleo em recursos importantes.

Para que se pudesse incorporar a variabilidade das forçantes meteo-oceanográficas, em cada cenário probabilístico foi realizada uma série de 200 simulações com o modelo OILMAP. A seguir são apresentadas as descrições dos cenários simulados para a posição definida para localização da FPSO (indicada na Figura 8.8.2-d).

❖ Cenários Probabilísticos

Cenário 1-3M – Gerado a partir dos resultados do modelo OILMAP em modo probabilístico. Foram efetuadas 200 simulações com o derramamento de 206.700 m³ (1,3 milhões de barris - representativo da descarga de pior caso), utilizando-se correntes médias (representativas da Corrente do Brasil), correntes de maré (representadas pela componente M2), e ventos extraídos do modelo NCEP/NOAA para a estação 15790, com início do derramamento (ano, mês, hora, e minuto) determinado aleatoriamente entre os meses de Janeiro e Dezembro, dentro dos 10 anos de dados de vento (1990 a 2000).

Cenário 1-3M VERÃO – Gerado a partir dos resultados do modelo OILMAP em modo probabilístico. Também foram efetuadas 200 simulações com os mesmos parâmetros da simulação anterior, apenas determinando seu início aleatoriamente entre os meses de Setembro e Fevereiro, dentro dos 10 anos de dados de vento (1990 a 2000).

Cenário 1-3M INVERNO – Gerado a partir dos resultados do modelo OILMAP em modo probabilístico. Foram efetuadas 200 simulações com os mesmos parâmetros da simulação geral, com início do derramamento (ano, mês, hora, e minuto) determinado aleatoriamente entre os meses de Março e Agosto, dentro dos 10 anos de dados de vento (1990 a 2000).

❖ Cenários Determinísticos

A análise dos resultados das simulações probabilísticas permitiu identificar os vários padrões assumidos pelos derramamentos, incluindo os cenários prováveis em caso de acidente. A seguir é apresentada a descrição de um cenário de trajetória de uma

mancha de óleo que se enquadra dentro da classe “estatisticamente provável” para a modelagem desta descarga de pior caso.

Cenário TRAJECT(12-Fev-99) – Corresponde à simulação durante 30 dias do deslocamento da mancha, apresentando a trajetória e destino do óleo para o vazamento do volume da descarga de pior caso durante 24 horas. A simulação também utilizou os mesmos parâmetros da modelagem probabilística, sendo utilizada a data fictícia de 12 de fevereiro de 1999, para sua correlação à série prevista de dados de ventos.

8.8.2.6 Resultados das Simulações

❖ Simulações Probabilísticas

O modelo OILMAP foi utilizado para simular cenários (descritos na Seção anterior), produzindo as curvas de contorno, e demonstrando a probabilidade da presença de óleo em cada ponto da área de estudo. Nestas simulações foram consideradas como forçantes hidrodinâmicas, o campo de correntes médias (representativos da Corrente do Brasil), e correntes de maré geradas pela componente semi-diurna M2. A Figura 8.8.2-d mostra os contornos de probabilidade para o cenário 1-3M. Conforme mostra a figura, para o caso da descarga de pior caso, a probabilidade da mancha chegar à Costa Brasileira é estatisticamente nula. Praticamente em todas as 200 simulações, a mancha se deslocou para sudoeste seguindo a orientação da corrente média (45 cm/s a 200°). O formato de cone da distribuição dos contornos de probabilidade é resultado da ação conjunta do processo de espalhamento (“spreading”) da mancha e do transporte pelas correntes de maré (5 cm/s com direção perpendicular à costa).

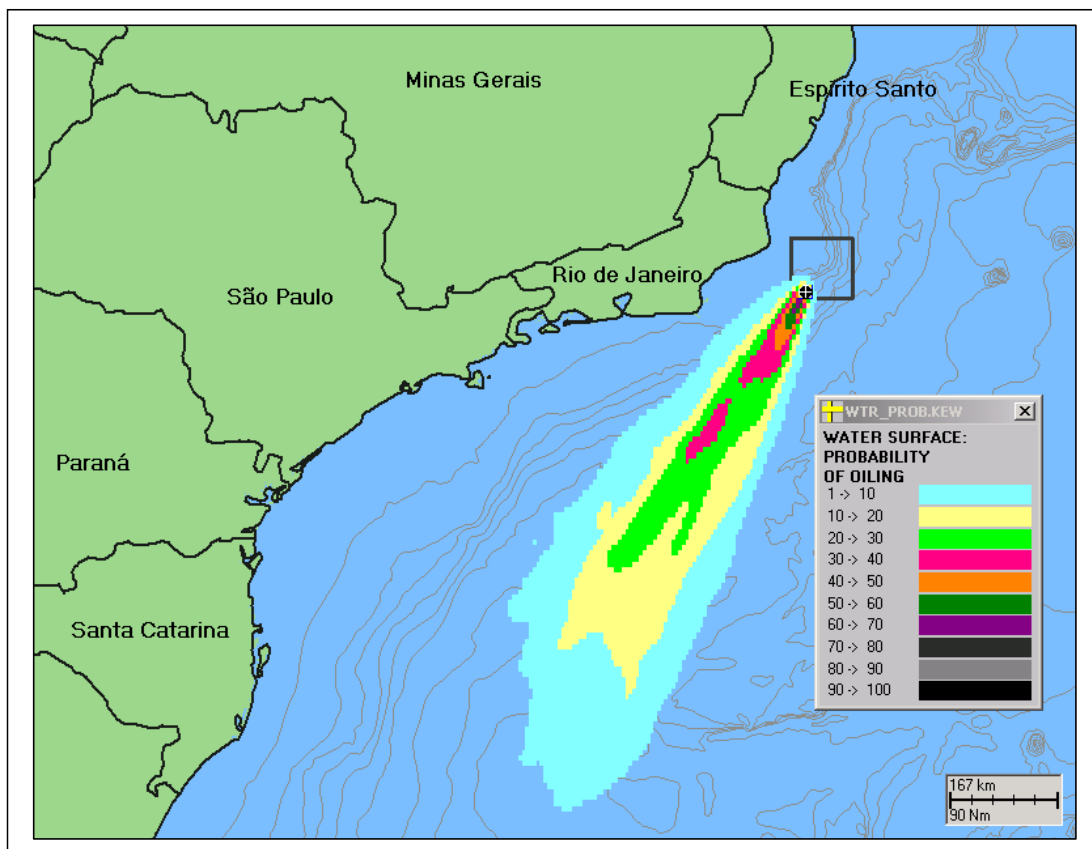


Figura 8.8.2-d. Cenário 1-3M. Contorno de probabilidades para um acidente em qualquer época do ano, considerando o Campo de Ventos, Circulação Oceânica e Marés.

A Figura 8.8.2-e apresenta os contornos de probabilidade para o cenário de acidente ocorrendo durante os meses de inverno (Março a Agosto). Nestas condições, a probabilidade da mancha chegar à Costa Brasileira é estatisticamente nula. Assim como no cenário anual, a mancha se deslocou para sudoeste seguindo a orientação da corrente média (45 cm/s a 200°). Em virtude do regime de vento na região não apresentar uma variação anual significativa (Figura 8.8.2-b), a distribuição dos contornos de probabilidade para os meses de inverno apresenta um padrão semelhante ao anual.

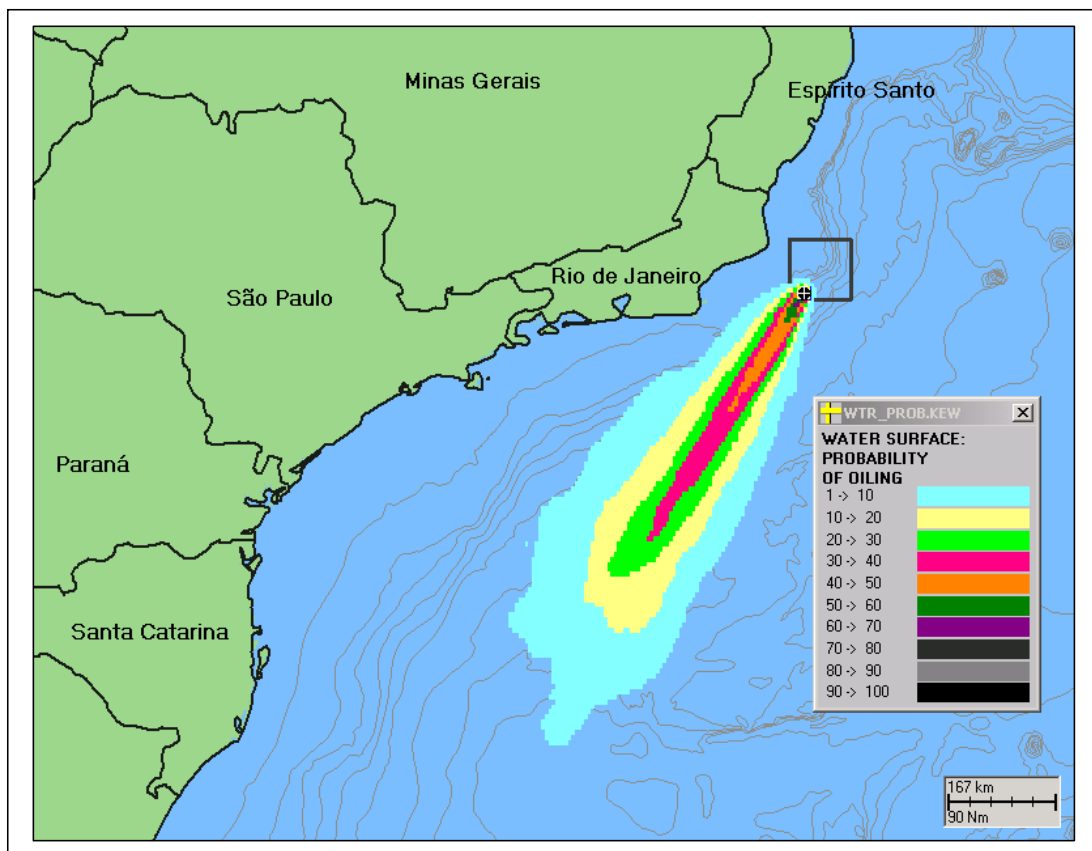


Figura 8.8.2-e Cenário 1-3M_INVERNO. Contorno de probabilidades para um acidente durante os meses de inverno (Março a Agosto), considerando o Campo de Ventos, Circulação Oceânica, e Marés.

A Figura 8.8.2-f mostra os contornos de probabilidade para o cenário de acidente ocorrendo durante os meses de verão (Setembro a Fevereiro). Nestas condições, a probabilidade da mancha chegar à Costa Brasileira também é estatisticamente nula. Assim como no cenário anual, a mancha se deslocou para sudoeste seguindo a orientação da corrente média (45 cm/s a 200°). Em virtude do regime de vento na região não apresentar uma variação anual significativa (Figura 8.8.2-b), a distribuição dos contornos de probabilidade também apresenta um padrão semelhante ao anual.

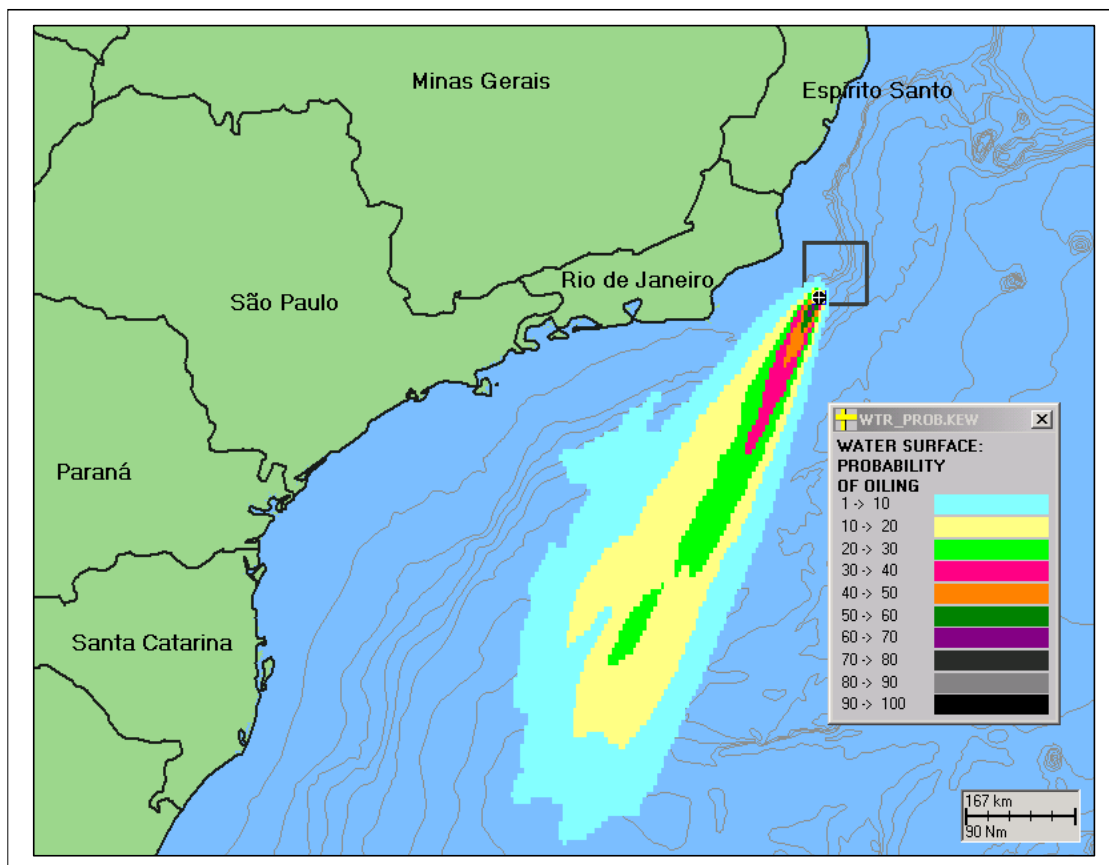


Figura 8.8.2-f – Cenário 1-3M_VERÃO. Contorno de probabilidades para um acidente durante os meses de verão (Setembro a Fevereiro), considerando o Campo de Ventos, Circulação Oceânica e Marés.

❖ Simulação de um Cenário Específico

Conforme descrito anteriormente, a análise do resultado das simulações probabilísticas permitiu identificar os vários padrões de derramamentos, incluindo os cenários prováveis em caso de acidente.

Os resultados do modelo OILMAP para o cenário *TRAJECT(12-Fev-99)* com derramamento de 206.700 m³ (1,3 milhões de barris), ocorrido em 12 de fevereiro de 1999, são mostrados na Figura 8.8.2-g. Nela pode ser constatada a trajetória percorrida pela mancha ao longo dos 30 dias, a posição final provável da mancha de óleo, e o balanço de massa ao final da simulação. Durante esta simulação, a distância mais próxima da costa ocorreu no quinto dia, quando o baricentro da mancha passou a 103 km da região de Cabo Frio, por fora da isóbata de 1.000 metros. A Figura 8.8.2-g mostra o balanço de massa ao final do período de simulação, onde mais de 88% do óleo já tinha evaporado.

A simulação é apresentada no arquivo “TrajetóriaFinal.exe”, que apresenta uma animação da modelagem realizada até o instante em que a mancha chegou a uma espessura de 0,05 mm sobre a superfície, o que ocorreu após 36 dias e 21 horas do vazamento simulado.

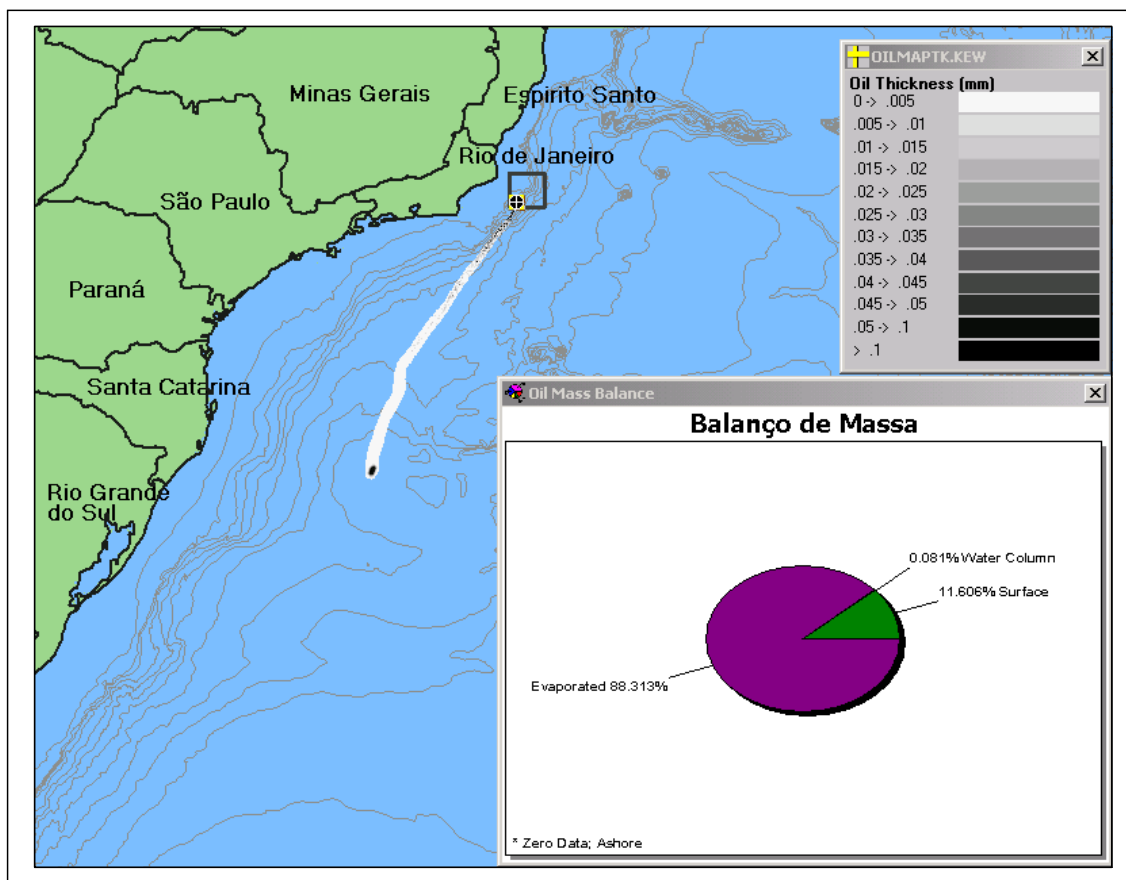


Figura 8.8.2-g –Cenário TRAJECT(12-Fev-99). Trajetória percorrida pela mancha de óleo após 30 dias, com a posição final provável da mancha de óleo após 30 dias, e o balanço de massa ao final da simulação.

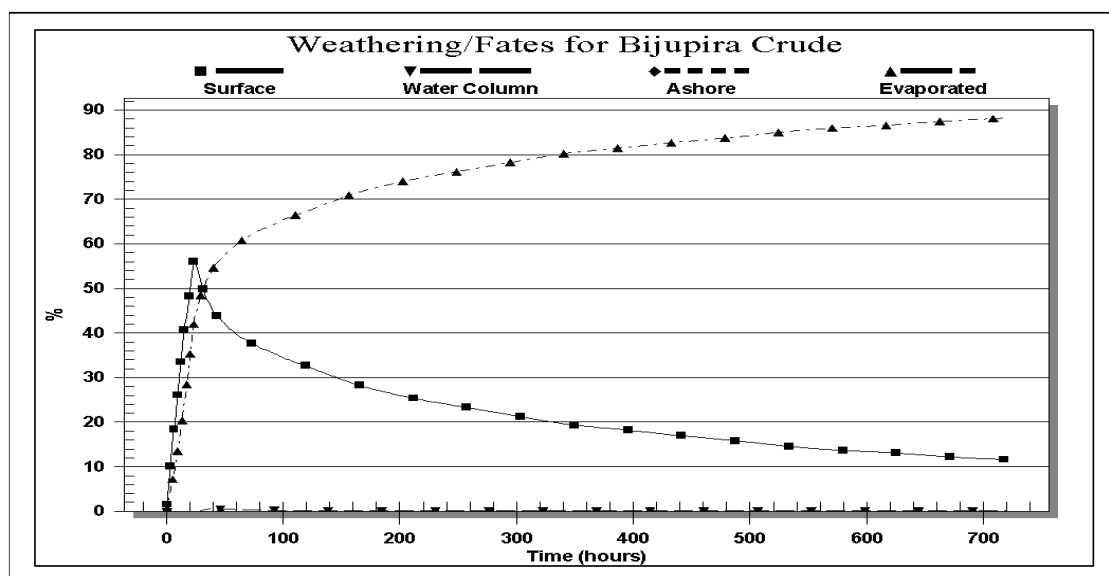


Figura 8.8.2-h– Balanço de massa para o cenário TRAJECT(12-Fev-99).

8.8.2.7. Conclusões

Foram conduzidas simulações probabilísticas do modelo OILMAP para determinar os contornos de probabilidade da mancha de um eventual vazamento e verificar se esta atingiria a área de estudo da atividade de produção do Projeto Bijupirá & Salema. Todos os cenários utilizaram o tipo de óleo característico do campo e um vazamento de 206.700 m³ (1,3 milhões de barris), referentes à descarga de pior caso.

A análise dos resultados destas simulações probabilísticas permitiu identificar vários padrões de derramamentos, incluindo os cenários prováveis em caso de acidente. Foi então, realizada uma simulação de um caso específico para estudar a trajetória e transformações destes casos prováveis.

Os resultados mostraram que mesmo para esta condição extrema de derrame, a probabilidade da mancha chegar à costa é estatisticamente inexistente.

Os resultados do modelo revelaram uma forte correlação entre a trajetória e destino de uma mancha simulada com o padrão de circulação na região, evidenciando a necessidade de monitoramento intenso da corrente local nos acompanhamentos dos procedimentos de combate vazamentos na região do projeto.

8.8.3. Efeitos ambientais do derramamento acidental de óleo



Figura 8.8.3-a – Filme de óleo no mar.

Fonte: http://www.seas.columbia.edu/columbia/departments/chemical_engineering/courses

8.8.3.1 Procedimentos metodológicos

A metodologia adotada para a avaliação das repercussões ambientais dos eventos acidentais de derramamento de óleo nos campos de Bijupirá e Salema assemelha-se à adotada para a avaliação de impactos ambientais, porém com adequações associadas essencialmente à natureza das fontes geradoras do impacto.

Inicialmente, é necessário esclarecer que, para efeito de uma melhor distinção entre os impactos decorrentes do desenvolvimento normal da atividade de produção e aqueles originados por derramamento de óleo, optou-se por adotar, convencionalmente, a expressão “impacto ambiental” apenas para a primeira situação, e “efeito ambiental”, para a segunda. Assim, este item se refere apenas aos efeitos ambientais decorrentes de derramamentos acidentais de óleo.

A avaliação dos impactos ambientais, apresentada no Capítulo 6 deste documento, trata essencialmente de ações planejadas, em sua maioria implementadas em um horizonte temporal relativamente longo (associado à longa duração do Projeto) e com um propósito definido. São ainda ações absolutamente necessárias ao desenvolvimento da atividade de produção. Assim, critérios como natureza ou qualificação (positivo ou negativo) e reversibilidade se aplicam neste caso, na medida em que as fontes geradoras e os fatores ambientais impactados são bastante diversificados.

No caso de derramamento de óleo, praticamente todos os efeitos ambientais decorrentes podem ser considerados negativos e reversíveis, embora em escala temporal variável. Além disso, quanto à sua natureza, um evento acidental de derramamento muitas vezes corresponde a uma significativa alteração ambiental em um curto intervalo de tempo.

Assim, para a avaliação dos efeitos ambientais do derramamento acidental de óleo foram adotados apenas os critérios indicados a seguir:

Incidência – de forma semelhante ao caso dos impactos ambientais, efeitos **diretos** decorrem diretamente da presença do óleo no ambiente marinho, enquanto que efeito **indireto**, por sua vez, é ocasionado por um efeito direto.

Duração – de acordo com este critério, foi considerado efeito de **curto prazo** aquele que cessa em um curto período de tempo após o derramamento, restrito a dias ou semanas. Efeitos de **médio prazo** permanecem algum tempo após o evento, podendo durar alguns meses, enquanto que efeitos de **longo prazo** persistem após longo tempo decorrido após o acidente. É importante ressaltar que este critério é essencialmente comparativo entre todos os efeitos identificados.

Abrangência espacial – os efeitos ambientais do derramamento foram considerados **regionais** quando se referem ao espaço geográfico em torno da mancha de dispersão do óleo. Adotou-se ainda a classificação de efeitos **estratégicos**, nos casos em que seu rebatimento espacial não pode ser previsto ou precisamente delimitado, especialmente em relação àqueles que incidem sobre o meio socioeconômico.

Esses critérios permitem uma avaliação da importância dos efeitos ambientais, independente das características do ambiente em que incidem. Já a avaliação quanto à sua magnitude tem por objetivo dimensionar o grau da alteração provocada no meio ambiente. Para a mensuração da magnitude dos efeitos ambientais, foi determinada uma escala qualitativa, em que os graus de alteração ambiental são avaliados como de ordem **baixa**, **média** ou **alta**, em função do grau de comprometimento do fator ou fatores ambientais afetados.

A avaliação global dos efeitos ambientais de situações de derramamento acidental de óleo, por sua vez, torna-se mais complexa, na medida em que cria a necessidade de se conjugar critérios de probabilidade e severidade às alterações ambientais decorrentes. Assim, deve-se considerar que derramamentos envolvendo volumes reduzidos podem ser mais prejudiciais ao meio ambiente em virtude de sua relativamente alta probabilidade de ocorrência. Por outro lado, derramamentos de grandes volumes, apesar de provocarem alterações ambientais mais graves, podem não significar tanto no contexto da avaliação global dos efeitos ambientais dos acidentes.

Na avaliação apresentada a seguir, optou-se por descrever apenas os efeitos ambientais do derramamento da descarga de pior caso, pelo simples fato de que, para esta situação, o próprio EIA contempla dados objetivos, tanto em relação à sua probabilidade de ocorrência durante o desenvolvimento das atividades de produção, quanto em relação à trajetória da pluma do óleo acidentalmente derramado. Os efeitos ambientais advindos de descargas diferentes deste volume, de modo geral, são, obviamente, proporcionais à sua severidade. Portanto, considerações a respeito das descargas pequena, média e grande foram tecidas apenas quando pertinente, tendo sido contempladas com maior ênfase na síntese da avaliação ambiental dos riscos, ao final deste item (8.8).

Tendo em vista todos esses fatores, descrevem-se a seguir os efeitos ambientais decorrentes dos acidentes envolvendo derramamento de óleo considerados relevantes, referentes à descarga de pior caso, os quais se encontram sintetizados no item Síntese Conclusiva (8.8.3.2-c) e na Matriz de Avaliação dos Efeitos Ambientais do Derramamento Acidental de Óleo (Quadro 8.8.2-a), apresentados em seguida.

8.8.3.2 Avaliação ambiental do derramamento

a. Considerações iniciais

Para a avaliação ambiental dos incidentes de derramamento, tornam-se necessários alguns esclarecimentos iniciais a respeito das características físico-químicas do óleo, bem como de seu comportamento no ambiente marinho, conforme descrito a seguir.

Segundo Thomas *et al* (2001), o petróleo no estado líquido é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com odor característico e cor variando entre o negro e o castanho claro. É constituído basicamente por uma mistura de compostos químicos orgânicos (hidrocarbonetos), e pode ser normalmente separado em frações de acordo com a faixa de ebulição dos compostos.

Além dos hidrocarbonetos, outros constituintes também podem ocorrer, sob a forma de compostos orgânicos que contêm outros elementos, sendo os mais comuns o nitrogênio, o enxofre e o oxigênio. Metais também podem ocorrer, como sais de ácidos orgânicos.

Os hidrocarbonetos, de acordo com sua estrutura, são classificados em saturados (alcanos ou parafinas), insaturados (olefinas) e aromáticos (arenos), conforme caracterização apresentada a seguir:

- **Saturados (alcanos ou parafinas)**

São compostos alifáticos que freqüentemente respondem por uma grande fração dos componentes do óleo cru. São comuns na gasolina e vários outros combustíveis. Geralmente, os hidrocarbonetos leves (C_2 a C_5) são gasosos; aqueles com peso molecular intermediário, líquidos (C_6 a C_8); e os mais pesados, sólidos. Os alcanos podem ser considerados comparativamente inertes. Como exemplo, podem ser citados o metano, o etano, o propano, o butano e outros.

- **Insaturados (olefinas)**

São compostos insaturados dos quais os mais comuns são os alcenos. Constituem um grupo extremamente reativo. Embora sejam biologicamente metabolizados em grande quantidade, dificilmente são preservados na natureza. Não estão normalmente presentes no óleo cru, sendo normalmente derivados do refino.

- **Aromáticos (arenos)**

Os hidrocarbonetos aromáticos possuem em sua composição um anel de benzeno. Vários aromáticos foram identificados como carcinogênicos potenciais em animais de laboratório.

Há um consenso geral de que a toxicidade do óleo cru aumenta ao longo das séries de hidrocarbonetos. Assim, parafinas são menos tóxicas que olefinas, que, por sua vez, são menos tóxicas que os aromáticos.

A fim de se conhecer melhor a constituição do petróleo, o American Petroleum Institute (API) realizou análises em amostras de petróleo de diferentes origens, chegando às seguintes conclusões (Thomas *et al*, 2001):

- Todos os petróleos contêm substancialmente os mesmos hidrocarbonetos, em diferentes quantidades;
- A quantidade relativa de cada grupo de hidrocarbonetos presente varia muito de petróleo para petróleo;
- A quantidade relativa dos compostos individuais dentro de cada grupo de hidrocarbonetos, no entanto, é da mesma ordem de grandeza para diferentes petróleos.

Grandes derramamentos ocorridos nas últimas décadas, como o do Amoco Cadiz (1978, na Grã-Bretanha), o do Exxon Valdez (1989, no Alaska) e o do Braer (1995, na Escócia), têm gerado inúmeros estudos a respeito das transformações e efeitos do óleo sobre o ecossistema marinho. Além disto, a própria comunidade científica e a indústria do petróleo têm empenhado esforços no sentido de contribuir para o melhor entendimento desta questão. Estes esforços resultaram numa vasta bibliografia

atualmente existente, que consolida uma base consistente de dados, nos quais se baseiam as informações apresentadas a seguir.

Segundo Patin (1999), complexos processos de transformação do óleo no ambiente marinho iniciam-se a partir dos primeiros segundos de contato entre o óleo e a água do mar. A progressão, duração e resultados destas transformações dependem das propriedades e composição do óleo, características do derramamento e condições ambientais. As principais características das transformações do óleo são o seu dinamismo, especialmente nos primeiros estágios, e a íntima interação entre os mecanismos físicos, químicos e biológicos de dispersão e degradação dos componentes do óleo até o seu completo desaparecimento como substâncias originais. De forma similar a um organismo vivo intoxicado, o ecossistema marinho destrói, metaboliza e deposita as quantidades excessivas de hidrocarbonetos, transformando-os em substâncias mais comuns e seguras.

- Transporte físico

A distribuição do óleo derramado na superfície da água do mar ocorre sob a influência de forças gravitacionais. Este processo é controlado pela viscosidade do óleo e pela tensão superficial da água.

Durante os primeiros dias depois do derramamento, uma parte considerável do óleo se transforma na fase gasosa. Além dos compostos voláteis, a mancha de óleo perde rapidamente hidrocarbonetos solúveis. O restante, a fração mais viscosa, permanece enquanto a mancha se espalha.

Alterações posteriores ocorrer sob o impacto combinado de fatores meteorológicos e hidrológicos, dependendo principalmente da força e direção dos ventos, ondas e correntes. Uma mancha de óleo normalmente se desloca na mesma direção dos ventos. Enquanto se torna menos espessa, especialmente após uma espessura crítica de 0,1 mm, a mancha começa a se desintegrar em fragmentos individualizados que se espalham por áreas mais amplas e distantes. Tempestades e turbulência aceleram a dispersão da mancha e seus fragmentos. Uma parte considerável do óleo se dispersa na água em forma de gotículas que podem ser transportadas por longas distâncias a partir do local do derramamento.

- Dissolução

A maioria dos componentes do óleo é solúvel até um certo grau, especialmente os hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos leves. Compostos polarizados formados como resultado da oxidação de algumas frações do óleo no ambiente marinho também se dissolvem na água do mar. Em relação à evaporação, a dissolução leva mais tempo para ocorrer. As condições hidrodinâmicas e físico-químicas na superfície da água afetam fortemente o desenvolvimento do processo.

- Emulsificação

A emulsificação do óleo no ambiente marinho depende primariamente da composição do óleo e do regime turbulento da água. As emulsões mais estáveis, como a água-em-

óleo, contêm de 30 a 80% de água. Estas emulsões normalmente aparecem após fortes tempestades nas áreas de derramamentos de óleos pesados com um alto teor de frações não-voláteis. Podem persistir no ambiente marinho por mais de 100 dias na forma de uma peculiar “mousse de chocolate”. A estabilidade destas emulsões normalmente aumenta com a diminuição da temperatura.

As emulsões reversas, como as de óleo-em-água (gotículas de óleo em suspensão na água), são muito menos estáveis porque as forças de tensão superficial rapidamente decrescem com a dispersão do óleo. Este processo pode ser retardado com o auxílio de emulsificantes, substâncias com propriedades hidrofílicas usadas para eliminar derramamentos de óleo. Os emulsificantes auxiliam na estabilização de emulsões oleosas e promovem a formação de gotículas microscópicas e invisíveis a partir do óleo em dispersão. Este processo acelera a decomposição do óleo na coluna d'água.

- Oxidação e destruição

Transformações químicas do óleo na superfície da água e na coluna d'água começam a surgir pelo menos um dia após o óleo ter entrado no ambiente marinho. A natureza oxidante do óleo envolve reações fotoquímicas sob a influência de ondas ultravioletas do espectro solar. Estes processos são catalisados por alguns elementos-traço como o vanádio e é inibido por componentes de sulfato. O produto final da oxidação (hidroperóxidos, fenóis, ácidos carboxílicos, cetonas, aldeídos e outros) geralmente apresenta maior hidrossolubilidade. Pesquisas experimentais também demonstraram um aumento na toxicidade destes compostos (Izrael, Tsiban, 1988). As reações da foto-oxidação, em particular da fotólise, dão início à polimerização e decomposição das moléculas mais complexas dentre os componentes do óleo, levando ao aumento da viscosidade do óleo e promovendo a formação de agregados oleosos sólidos (GESAMP, 1977, 1993).

- Sedimentação

Cerca de 10 a 30% do óleo é absorvido pelas partículas em suspensão na coluna d'água e são depositados no fundo. Isto ocorre principalmente próximo a zona costeira e em águas rasas, onde o material particulado é mais abundante e a água mais intensamente revolvida. EM águas profundas, distantes da costa, a sedimentação do óleo (exceto para as frações mais pesadas) é um processo extremamente lento.

Simultaneamente ao processo descrito acima, ocorre também o processo de biosedimentação. Espécies filtradoras do plâncton e outros organismos absorvem o óleo emulsificado, sedimentando o óleo no fundo a partir de produtos de seu metabolismo e de restos. As formas suspensas de óleo e seus componentes passam por intensa decomposição biológica e química (principalmente microbiana) na coluna d'água. Entretanto, esta situação se modifica assim que o óleo alcança o assoalho marinho. Diversos estudos de campo e experimentais demonstraram que a taxa de decomposição do óleo depositado no sedimento decresce abruptamente. O processo de oxidação diminui, especialmente sob condições anaeróbicas, geralmente associadas à este ambiente. As frações pesadas de óleo acumuladas dentro do sedimento podem ser preservadas por meses ou até anos.

- Degradação microbiana

O destino final da maioria das substâncias do petróleo no ambiente marinho tem sido definida a partir da transformação e da degradação inerentes a atividade microbiana. Cerca de uma centena de espécies conhecidas de bactérias e fungos são capazes de utilizar componentes de óleo para sustentar seu crescimento e metabolismo. Em áreas livres de componentes de petróleo, sua proporção geralmente não excede 0,1 a 1,0% da abundância total de comunidades de bactérias heterotróficas. Em áreas poluídas por óleo, esta proporção aumenta para 1,0 a 10,0% (Atlas, 1993).

O processo bioquímico da degradação do óleo com participação de microorganismos incluem diversos tipos de reações enzimáticas baseadas em oxigenase, dehidrogenase, e hidrolases. Estas reações causam diversas transformações bioquímicas nos compostos aromáticos e alifáticos e em outras substâncias originais do óleo, além de transformar também produtos intermediários da degradação do óleo.

O grau e a taxa de biodegradação dos hidrocarbonetos dependem em primeira instância, da estrutura de suas moléculas. Os compostos parafínicos (alcanos) são biodegradados mais rápido do que as substâncias aromáticas e naftênicas. Quanto maior a complexidade molecular da estrutura (maior número de átomos de carbono e grau de ramificação da cadeia), assim como maior peso molecular, menor a taxa de decomposição microbiana. Além disso, esta taxa depende do estado físico do óleo, incluindo o grau de dispersão. Os fatores ambientais que mais influenciam na taxa de biodegradação dos hidrocarbonetos incluem: temperatura, concentração de nutrientes e de oxigênio, composição de espécies e abundância de microorganismos capazes de degradar óleo. Esta complexidade entre fatores que influenciam o processo de biodegradação e a variabilidade de composições de óleo faz com que interpretar e comparar dados acerca da taxa e da escala da biodegradação do óleo no ambiente marinho seja extremamente difícil.

- Agregação

Agregados de óleo na forma de borras de petróleo podem ser encontrados atualmente tanto em águas costeiras ou oceânicas, quantos nas praias. Estas substâncias derivam do óleo cru, após a evaporação e dissolução de suas frações mais leves, da emulsificação dos resíduos do óleo, e da transformação química e microbiológica. A composição química destes agregados de óleo é extremamente mutante. Entretanto, geralmente inclui asfaltenos (>50%) e componentes de alto peso molecular das frações mais pesadas do óleo.

Os agregados de óleo são geralmente cinza claro, marrons, marrons escuros ou uma borra preta pegajosa. Sem apresentar uma forma específica, podem variar de tamanho entre 1mm e 10 cm, podendo chegar a 50 cm. Sua superfície atua como substrato para o desenvolvimento de bactérias, algas unicelulares e outros microorganismos. Além disso, diversos invertebrados como gastrópodos, poliquetas e crustáceos, resistentes aos impactos do óleo, utilizam estes agregados como abrigo.

Agregados de óleo podem persistir por períodos que variam de um mês a um ano em águas abrigadas ou por vários anos no oceano aberto (Benzhitiski, 1980). Eles

completam seu ciclo a partir de uma lenta degradação na coluna d'água, na costa (se foram lavados pelas correntes), ou no fundo do mar (se perderem a capacidade de flutuar).

- Autopurificação

Como resultado do processo apresentado acima, o óleo no ambiente marinho perde rapidamente suas propriedades originais e se desintegram em frações de hidrocarbonetos. Estas frações possuem diferentes composições químicas e estruturas, e persistem em diferentes formas de migração. Após passar por transformações radicais, alcançam um equilíbrio termodinâmico com os parâmetros do ambiente. Seu conteúdo cai gradualmente com resultado da dispersão e da degradação. Eventualmente, os componentes originais e intermediários desaparecem, formando dióxido de carbono e água. Esta autopurificação do ambiente marinho acontece inevitavelmente, contanto que a carga de poluição não exceda determinados limites.

A poluição por derramamento de óleo no mar tem se tornado uma das maiores ameaças à biota marinha, devido ao incremento da exploração petrolífera nos últimos anos. Os derramamentos de óleo podem exercer efeitos devastadores na vida marinha de acordo com a quantidade derramada, a profundidade local e a proximidade com a costa (Levinton, 1995).

O derramamento de óleo no ambiente pode afetar os organismos direta (contato físico e ingestão) ou indiretamente (alteração do habitat e ingestão de alimento contaminado). Ao ser derramado na água, o óleo é diluído, mas se concentra na camada superficial, sendo lentamente dispersado. Assim, o efeito do óleo é maior em organismos que vivem na superfície do mar. Porém, seu efeito pode se estender aos organismos bentônicos quando grandes quantidades de óleo são incorporadas a partículas sedimentares (Leighton, 2000).

Derramamentos de óleo têm sido normalmente contidos por bóias, e são, às vezes, dispersos por emulsificadores. Dispersantes químicos têm sido usados extensivamente, porém oferecem maiores perigos à vida marinha. Sendo assim, é necessário o uso moderado dessas substâncias para prevenir a mortalidade de organismos (Levinton, 1995).

b. Avaliação dos efeitos ambientais dos incidentes de derramamento

São descritas e avaliadas a seguir as principais repercussões ambientais decorrentes do derramamento de óleo no mar a partir da FPSO Fluminense, considerando apenas a descarga de pior caso (206.700 m³).

❖ Efeitos sobre a qualidade da água

A partir da introdução de grandes volumes de óleo na água do mar, observa-se que a qualidade da água superficial é a mais afetada da coluna d'água, tendo sua coloração, odor e transparência afetadas e impedindo sua utilização até mesmo para a

navegação. É nessa área (superfície) que se concentram as maiores concentrações do óleo derramado.

A tendência à formação de emulsões e as condições meteorológicas e oceanográficas no momento do incidente são fatores que influenciam decisivamente na abrangência espacial do derramamento, dificultando a avaliação precisa das alterações da qualidade da água.

Pode-se constatar, entretanto, que um pequeno percentual de hidrocarbonetos se dissolve na água, concentrando-se principalmente nos primeiros metros da coluna d'água, que sofrem a ação de mistura por ventos. Estes hidrocarbonetos compreendem as frações mais leves, principalmente os aromáticos (benzeno, tolueno e etilbenzeno), que são compostos tóxicos.

Além dos hidrocarbonetos, os derramamentos de óleo também introduzem compostos orgânicos e metais de componentes e concentrações variáveis em função das características do próprio óleo.

O óleo a ser produzido nos campos de Bijupirá e Salema (item 3.8.3 deste EIA) pode ser classificado como médio-leve, apresentando entre 50 e 70% de parafinas e 20% de naftênicos (Thomas *et al*, 2001). Observa-se a presença de vanádio, níquel, sódio e molibidênio, porém sempre em baixas concentrações. Os teores de sal e água também são bastante reduzidos, com valores inferiores a 0,05% do óleo. Possui baixo teor de hidrocarbonetos pesados, não tendo sido identificada a presença de H₂S.

Além desses fatores, é importante mencionar que, segundo a modelagem da dispersão do óleo, após 30 dias do derramamento, 88% do óleo já teria evaporado (item 8.8.2 deste documento).

Tendo em vista essas informações, este efeito pode ser avaliado como de incidência direta, regional e de médio prazo, considerando também as transformações que o óleo deverá sofrer em contato com a água do mar. Sua magnitude foi considerada média, tendo a dinâmica da região oceânica, que contribuirá decisivamente para a atenuação deste efeito.

❖ Efeitos sobre a qualidade do ar

Segundo os resultados da modelagem de dispersão do óleo realizada, no final de 30 dias após o derramamento, a mancha teria atingido a distância de 900 km, deslocando-se na direção sudoeste, empurrada pelos ventos de nordeste. Ao final desse tempo, 88 % do óleo teria se evaporado.

Conforme a modelagem da dispersão do óleo, o centro de massa da mancha se desloca a distância diária de 30 km à velocidade média de 0,347 m/s. A pluma de poluição, por sua vez, deverá se deslocar com velocidade maior na mesma direção da mancha de óleo. Pode-se prever que, desde o primeiro instante do derramamento, começa a se formar uma pluma de vapor de hidrocarbonetos. Todavia, a concentração máxima da pluma ocorreria depois do final do incidente, quando todo o óleo estaria exposto ao tempo.

Dependendo das concentrações de hidrocarbonetos dessa pluma, poderia ser formada uma pluma de *smog* fotoquímico com a presença de altas concentrações daqueles poluentes indicativos (SO_2 , NO_x , CO , O_3 e material particulado fino). O *Smog* é o resultado da interação da luz com os constituintes da atmosfera. Há inúmeras espécies de oxidantes no *Smog*. Os efeitos característicos da pluma de *Smog* sobre os seres humanos são a irritação da garganta e dos olhos, a sensação de odores e a redução da visibilidade. Causa ainda danos aos vegetais e animais.

A degradação dos hidrocarbonetos conduz, além da formação de NO , NO_2 e O_3 , à formação de compostos carbonílicos (aldeídos), de cetonas, hidrocarbonílicas e dicarbonílicas, ácidos orgânicos, nitratos orgânicos (incluindo nitrato peroxiacila), ácidos inorgânicos e, na presença de SO_2 , de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Essa primeira geração de produtos passa por reações adicionais que levam à formação de um amplo espectro de novos produtos de reação. Muitos dos VOCs criados no ar são também ativos fotoquimicamente. Entre eles, estão os aldeídos, acetonas, os peróxidos e os nitratos acila. A absorção de luz solar por esses compostos contribuem para a formação de radicais livres, que por sua vez levam à formação de uma segunda geração de compostos.

Os impactos da pluma de *Smog* sobre a saúde humana são muito amplos, visto que há formação de partículas finas inaláveis, de ácidos, como o ácido sulfúrico e o ácido nítrico e de ozônio (que é também um gás de efeito estufa), assim como de dióxido de nitrogênio, que, ao sofrer fotodissociação, cria condições para a geração de uma grande variedade de poluentes em combinação com os VOCs e o ozônio. Alguns deles podem causar mutações biológicas, tais como o radical nitrato, os nitroarenos e nitrosaminos.

Em condições normais de clima, em 30 dias ocorre a passagem de pelo menos duas frentes frias pela região da BC. No verão, o tempo é perturbado mais frequentemente. Nos períodos em que há uma frente fria na região, os ventos de nordeste são modificados e podem desaparecer, cedendo lugar aos ventos de norte, e em outra fase, aos ventos de sudoeste. Somente nas horas finais da passagem da frente fria é que os ventos de sul e sudeste soem soprar de modo significativo. Nesse caso, a pluma de *Smog* derivada da mancha de óleo poderia atingir o continente, entretanto, em concentrações muito baixas.

Este último fator reveste-se de extrema importância na avaliação do efeito do derramamento sobre a qualidade do ar, uma vez que os limites estabelecidos para as emissões de diversos poluentes atmosféricos estão intimamente relacionados à questão da saúde humana. Assim, observa-se que, embora os hidrocarbonetos lançados na atmosfera pela evaporação do óleo derramado possam sofrer transformações quimicamente importantes, a magnitude de seus efeitos poderia ser considerada média, tendo em vista sua dispersão na atmosfera e a ausência de populações humanas nas proximidades da região possivelmente atingida pelo derramamento. Este efeito foi ainda considerado de incidência direta, de médio prazo e de abrangência regional.

❖ Efeitos sobre a qualidade do sedimento

Conforme mencionado anteriormente, complexos processos de transformação no ambiente marinho começam a se desenvolver assim que óleo entre em contato com a água do mar. A progressão, duração e o resultado dessas transformações dependem das propriedades e composição do óleo e da interação de mecanismos físicos, químicos e biológicos (Patin, 1999).

O óleo derramado no mar sofre uma série de processos, como transporte físico pelos ventos e correntes, dissolução das frações com baixo peso molecular e emulsificação de frações não-voláteis, como resultado do regime turbulento da água, oxidação e outras transformações químicas. Por fim, as frações mais pesadas sedimentam-se sobre o substrato.

A sedimentação do óleo se dá em função de sua adsorção ao material em suspensão na coluna d'água. Este processo ocorre principalmente na zona costeira, onde há maior disponibilidade de partículas e mistura vertical mais intensa, sendo menos importante em áreas profundas, afastadas da costa.

Ocorrem simultaneamente processos de biossedimentação, nos quais organismos filtradores absorvem o óleo emulsificado, depositando-os no fundo juntamente com seus metabólitos ou restos mortais.

As formas suspensas do óleo sofrem intensa decomposição química e biológica. Entretanto, esta ação é dramaticamente reduzida quando o óleo atinge o fundo marinho, com a redução dos processos de oxidação. Ocorre, então, a acumulação de óleo nos sedimentos, onde o mesmo pode permanecer por anos.

O óleo também pode agregar-se na forma de agregados de alcatrão, resultantes dos processos físicos e químicos citados, formados por compostos de alto peso molecular das frações mais pesadas. Estes agregados podem existir por anos no oceano aberto, podendo acabar por sedimentar-se no fundo oceânico.

Conforme relatado para o caso do acidente com o petroleiro Braer (FEMAR, 2000), a longo prazo, as áreas mais importantes, em termos de contaminação, eram as bacias sedimentares mais profundas, distantes centenas de quilômetros do local do derramamento.

Com base nas características descritas acima, conclui-se que a sedimentação do óleo em oceano aberto é um processo extremamente lento e pouco expressivo, que atinge basicamente suas frações mais pesadas. Tais frações correspondem a um pequeno percentual do volume derramado, principalmente considerando as características do óleo a ser produzido em Bijupirá e Salema, que possui baixo teor de pesados.

Assim, este efeito foi considerado de incidência direta, regional, de longo prazo e baixa magnitude.

❖ Efeitos sobre as comunidades planctônicas

Os efeitos do óleo no plâncton variam entre o fito, zoo e ictioplâncton. De forma geral, ocorre morte e sedimentação destes organismos ao entrarem em contato com o óleo, que se encontra mais concentrado na camada superficial.

A presença destes compostos na água causa um declínio substancial na produção fitoplanctônica. Além disso, seus componentes tóxicos impedem o funcionamento da membrana celular, prejudicando a absorção de nutrientes, vitaminas e elementos-traço necessários para a produção primária (Levinton, 1995). No Canal de São Sebastião (SP), onde funciona um terminal marítimo da PETROBRAS, foram encontradas células de algumas diatomáceas, como *Eucampia cornuta*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia* sp, *Proboscia alata* e *Rhizosolenia* sp, com deformação na valva celular (Gianesella *et al.*, 1999).

Para as microalgas situadas abaixo da camada superficial, mesmo que a coluna d'água esteja livre de substâncias tóxicas e com disponibilidade de nutrientes, pode ocorrer morte e queda do crescimento devido à limitação de luz. Neste caso, o óleo afetaria indiretamente os organismos ao bloquear a passagem de luz para a coluna d'água.

No zooplâncton, além do efeito direto do óleo por contato físico, entupimento dos aparatos respiratórios e alimentares e ingestão de compostos tóxicos, há a possibilidade de morte por ingestão de alimentos contaminados. Copépodos como *Paracalanus quasimodo* e *Temora stylifera* têm sido relatados como os mais sensíveis do zooplâncton (Gianesella *et al.*, 1999).

A sobrevivência e desenvolvimento do ictioplâncton (ovos e larvas de peixes) são também afetados negativamente, sendo extremamente sensíveis à toxicidade química do óleo. Larvas de salmão do Pacífico apresentaram alta mortalidade e altas taxas de deformidade física quando expostas a concentrações entre 0,4 e 1,0 ppb de hidrocarbonetos aromáticos não-voláteis (Leighton, 2000).

Ressalta-se que variações no fitoplâncton afetam diretamente todos os demais componentes da cadeia alimentar marinha (i.e., pequenos crustáceos, moluscos e peixes), pois o fitoplâncton representa a base de todos os demais níveis tróficos. A alteração da penetração da luz, e, conseqüentemente, dos processos fotossintéticos do fitoplâncton, gera conseqüências indiretas sobre toda a biota, uma vez que a produção primária sustenta a energia trófica do sistema oceânico (HABTEC, 2000).

O efeito do óleo nestes organismos varia de acordo com a quantidade derramada. No caso da descarga de pior caso, foi considerado de abrangência regional, incidência direta e/ou indireta, com duração de curto prazo e de média magnitude, tendo em vista a dinâmica do ambiente oceânico e das próprias comunidades planctônicas.

❖ Efeitos sobre as comunidades bentônicas

Os efeitos do óleo no bentos ocorrem por contato físico, entupimento de aparatos alimentares e respiratórios, perda de alimento e toxicidade química direta ou indireta. Invertebrados podem ser eliminados do sedimento contaminado durante muitos anos, desde que o óleo possa persistir no sedimento (Leighton, 2000). O óleo prejudica ainda a reprodução em invertebrados (Levinton, 1995).

O bentos de substrato inconsolidado é o mais atingido, pois geralmente os organismos são mais sensíveis. O acidente do Amoco Cadiz, na costa da Grã-Bretanha, causou devastação total de anfípodos, que demoraram a recolonizar a área afetada (Poggiale & Dauvin, 2001). Numa área localizada próximo a Santa Bárbara, Califórnia, foi observado aumento de nematódeos em sedimentos com hidrocarbonetos, em detrimento dos taxa maiores, como poliquetas, gamarídeos, oligoquetas e bivalves (Steichen *et al.*, 1996).

O acidente com o Florida, ao largo de Cape Cod, Massachusetts, onde os hidrocarbonetos aromáticos tóxicos constituíram 41% da concentração total de hidrocarbonetos, gerou efeitos devastadores no bentos com substituição de uma fauna diversa de moluscos e poliquetas por uma pobre, com poucas espécies (Levinton, 1995). O poliqueta *Capitella capitella* passou a dominar em substratos inconsolidados durante muitos anos. Substâncias tóxicas foram encontradas em mariscos mais que um ano após o derramamento, tornando seu consumo extremamente perigoso para o homem. A reprodução de mexilhões foi fortemente prejudicada.

Todos estes casos estão associados a áreas costeiras e/ou de recifes. Como a sedimentação do óleo em oceano aberto é extremamente lenta e pouco expressiva, este efeito foi considerado de baixa magnitude e regional. Sua incidência poder ser direta e/ou indireta e de longo prazo, tendo em vista a possibilidade de permanência do óleo por longos períodos no sedimento.

❖ Efeitos sobre as comunidades nectônicas

Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) são conhecidos por serem carcinogênicos para os mamíferos, sendo os maiores contaminantes em ambientes marinho-costeiros. Eles variam amplamente em termos de peso molecular e são adsorvidos a partículas sedimentares, devido às suas propriedades hidrofóbicas. Podem causar várias anormalidades no tecido de peixes, ou até mesmo câncer. Testes em laboratório acusaram indução de câncer em mamíferos e possibilidade de degradação dos HAPs por bactéria do sedimento. Porém, a taxa da degradação é muito mais baixa para formas com alto peso molecular (Leighton, 2000).

Os organismos nectônicos mais afetados pelo óleo são as aves marinhas e os mamíferos, conforme reportado nos acidentes do Exxon Valdez (Alaska) e Amoco Cadiz (costa da Grã-Bretanha). Peixes adultos são menos sensíveis e geralmente podem escapar do óleo, ficando expostos apenas ao óleo eventualmente disposto na coluna d'água por adsorção a partículas. Em caso de derramamento em águas rasas, peixes adultos podem estar mais expostos ao óleo ou compostos químicos derivados. O peixe também pode ser afetado pela alteração de recursos alimentares e do habitat, especialmente em áreas próximas à costa, estreitos e estuários (Leighton, 2000).

Na região de dispersão da pluma de derramamento de óleo, não foi observada a presença de ilhas ou qualquer outro tipo de ambiente propício ao estabelecimento de comunidades nectônicas que incluam aves ou mamíferos que realizam isolamento térmico através da pele. Assim, nesta região, as comunidades nectônicas

possivelmente afetadas pelos efeitos deste incidente seriam compostas basicamente de peixes, quelônios e cetáceos.

O efeito do óleo nestes organismos foi considerado regional, de incidência direta e/ou indireta e de médio prazo. Sua magnitude foi avaliada como média, tendo em vista a área a ser potencialmente atingida. Cabe ressaltar, entretanto, que, considerando a composição da fauna possivelmente afetada, os efeitos do óleo estariam relacionados principalmente à distribuição espacial dos organismos.

❖ Efeitos sobre as atividades pesqueiras

No caso da ocorrência de um acidente de grandes proporções, poderão ocorrer interferências com a modalidade de pesca oceânica, já que a presença da mancha de óleo irá atuar diretamente sobre os estoques pesqueiros, interferindo, assim, indiretamente, na realização desta atividade.

Os cardumes tenderão a se deslocar para áreas afastadas do local por onde a mancha se espalhar, gerando uma readequação da atividade aos novos locais de captura. Este fato poderá significar custos adicionais de combustível, alimentação e gelo, dentre outros, caso os cardumes se desloquem para áreas mais afastadas dos locais habituais de pesca, podendo, inclusive, levar a mudanças nos pontos de desembarque do pescado, bem como significar uma redução no número de pescado capturado.

Este efeito foi avaliado como indireto, regional, de médio prazo e de média magnitude, devido, principalmente, à abrangência da área potencialmente passível de ser afetada, que se estende do Rio de Janeiro até o sul de Santa Catarina.

❖ Efeitos sobre as atividades turísticas

De acordo com as simulações realizadas, no caso da ocorrência de um derramamento acidental de óleo (descarga de pior caso), o ponto mais próximo que a pluma chegará da costa, será a 103 km do município de Cabo Frio, por fora da isóbata de 1000 m. Deste modo, não haverá interferência direta com a atividade turística.

Entretanto, a simples divulgação da existência de acidente com vazamento de óleo deverá implicar na diminuição do fluxo de turistas para a região, e conseqüente perda de receitas das cidades litorâneas da Área de Influência, principalmente daquelas vinculadas às atividades de prestação de serviços e comércio.

Este efeito foi avaliado como indireto, regional, de curto prazo e de média magnitude, devido à abrangência da área potencialmente passível de ser afetada, que se estende do Rio de Janeiro até Santa Catarina, bem como à importância das receitas oriundas das atividades de turismo, na composição do montante de arrecadação de diversas cidades litorâneas.

❖ Efeitos sobre o tráfego marítimo

No caso da ocorrência de derramamento acidental, pode-se prever a ocorrência de interferências diretas sobre o tráfego de embarcações na região, seja em relação aos

barcos de pesca ou de turismo, seja com a navegação de cabotagem em geral, uma vez que o deslocamento da mancha poderá, eventualmente, determinar alterações nas rotas de navegação, o que, por sua vez, pode levar a eventuais aumentos de percurso.

Este efeito foi avaliado como direto, regional, de curto prazo e de baixa magnitude, devido à existência de rotas alternativas, além da possibilidade de manutenção de algumas rotas, independente da presença da mancha.

❖ Efeitos sobre o tráfego aéreo

No caso da ocorrência de um derramamento acidental destas proporções, deverá haver um aumento significativo no número de viagens aéreas de e para a FPSO Fluminense, em função do transporte de equipamentos e pessoal especializados e para retirada de trabalhadores, além da intensa utilização de helicópteros para transporte de profissionais de comunicação (jornalistas), para noticiar o acidente.

Este efeito foi avaliado como indireto, estratégico, de curto prazo e de baixa magnitude, devido à boa infra-estrutura de transporte aéreo presente nas proximidades da região dos campos de Bijupirá e Salema, com destaque para os heliportos de Macaé e Campos dos Goytacazes, no Estado do Rio de Janeiro.

❖ Efeitos sobre a infra-estrutura portuária

De acordo com os dados obtidos na simulação, o ponto mais próximo que a mancha chegará da costa dista 103 km de Cabo Frio. Entretanto, a infra-estrutura portuária poderá ser afetada em decorrência das possíveis modificações de rotas de embarcações, que poderão vir a demandar outros portos, que não os usualmente utilizados. Esta alteração de itinerários poderá vir a ocasionar a sobrecarga de alguns portos.

Por outro lado, no caso de um acidente de grandes proporções, os portos mais próximos do local do acidente deverão sofrer uma pressão adicional sobre sua infra-estrutura, em decorrência do fluxo das embarcações que irão participar das operações de contenção da mancha.

Este efeito foi avaliado como indireto, estratégico, de curto prazo e de baixa magnitude, devido ao número significativo de portos existentes no litoral próximo à área de abrangência deste efeito.

❖ Efeitos sobre a infra-estrutura de disposição final de resíduos

A simulação efetuada para a ocorrência de derramamento acidental considerou que podem ser lançados ao mar, durante as 24 horas de vazamento, até 206.000 m³ de óleo. Assim, caso haja um derramamento de grandes proporções, em decorrência das atividades de contenção a serem adotadas, será gerado um volume bastante significativo de resíduos sólidos e oleosos. Estes resíduos irão demandar a seleção de locais adequados para sua disposição final.

Este efeito foi avaliado como indireto, estratégico, de curto prazo e de média magnitude, devido, principalmente, ao volume de óleo que pode vir a ser lançado, acidentalmente, no mar.

❖ Efeitos sobre a infra-estrutura de serviços

A ocorrência de um acidente de grandes proporções irá demandar, em um primeiro momento, a contratação de empresas especializadas na contenção do óleo lançado ao mar. Posteriormente, terão que ser contratadas firmas e/ou universidades, para o desenvolvimento de programas de monitoramento ambiental das consequências do derramamento sobre o ecossistema marinho. Ambas as atividades irão significar o emprego de diversos profissionais altamente capacitados.

Este efeito foi, ao contrário de todos os demais, foi avaliado como positivo, indireto, estratégico, longo prazo e de média magnitude, devido ao volume de serviços a serem contratados e de informações sobre o ecossistema marinho brasileiro a serem geradas.

❖ Efeitos sobre as plataformas situadas na trajetória da dispersão do óleo

Devido às atividades de perfuração e produção de óleo e gás na Bacia de Campos, esta região apresenta hoje uma grande concentração de unidades fixas e flutuantes e uma intensa movimentação de embarcações que prestam apoio a essas atividades.

A região abriga atualmente 14 plataformas fixas de produção, 17 plataformas flutuantes de produção, 11 FPSO, 34 plataformas móveis de perfuração e completação, 3 navios cisterna, 10 navios especiais (lançamento de linhas, manuseio de âncora etc.) e outras 15 embarcações.

No caso de um vazamento destas proporções, as unidades de perfuração e produção em atividade na área atingida pela pluma poderão ter sua rotina de atividades alterada. Especial atenção deverá ser dada a essas estruturas, conforme prevê o Plano de Emergência Individual (item 8.8), no sentido de evitar que o óleo delas se aproxime e ameace a segurança de seus equipamentos e operários.

Nessa situação, trabalhos que utilizem eletricidade e soldas ou gerem calor, assim como trabalhos em espaços confinados ou áreas com ventilação inadequada poderão ser temporariamente interrompidos por questões de segurança, devido à presença de gases tóxicos, inflamáveis ou explosivos na região de dispersão da pluma.

Deverá ser mobilizado também um contingente responsável pela limpeza, reparo e substituição de algum tipo de material possivelmente afetado. Tais atividades poderão levar à necessidade de pessoal trabalhando além da borda das plataformas, acima d'água, sob mau tempo ou em outras condições que gerem um maior risco de acidentes.

Além disso, a utilização de pessoal nessas condições adversas leva a um aumento na carga de trabalho individual. Esta sobrecarga, adicionada ao estresse inerente a situações de emergência, torna todos os funcionários mais susceptíveis a acidentes, mesmo que não estejam diretamente relacionados às ações de controle.

Tendo em vista estes fatores, este efeito foi considerado direto, regional, de curto prazo e de média magnitude, considerando que se encontram na trajetória da pluma apenas as seguintes unidades: Avare (FSO), no campo de Marimbá-Leste, SBM-2, no campo de Corvina, e EMH-1, no campo de Bicudo.

Os resultados da avaliação dos efeitos ambientais possivelmente decorrentes do derramamento acidental de óleo, referente à descarga de pior caso, encontram-se sintetizados no Quadro 8.8.3-a e discutidos, de forma global, no item apresentado a seguir (Síntese Conclusiva).

c. Síntese Conclusiva

Através da análise geral da Matriz de Avaliação dos Efeitos Ambientais do Derramamento Acidental de Óleo (Quadro 8.8.3-a), pode-se constatar que a maioria das repercussões ambientais identificadas foi considerada de média magnitude, apesar do grande volume (206.700 m³). Esta avaliação decorre principalmente do fato de que a mancha de óleo formada, embora sofra dispersão para regiões distantes, deverá permanecer no oceano por um período de tempo relativamente curto.

Embora haja registros de grandes catástrofes relacionadas a derramamentos de óleo, conforme mencionado em diversos itens deste EIA, o caso do Projeto Bijupirá e Salema reveste-se de uma peculiaridade essencial no que diz respeito à magnitude dos efeitos ambientais possivelmente decorrentes de tal incidente: sua distância da região costeira. A dinâmica do ambiente oceânico deverá contribuir decisivamente para a atenuação destes efeitos, de um modo geral.

De fato, segundo FEMAR (2000), em geral, uma superfície de óleo não resulta em altos níveis de óleo dissolvido ou dispersado na coluna d'água e o seu impacto na vida marinha é grandemente restrito àqueles animais que vivem nas camadas superficiais da água ou na costa; por exemplo, aves e mamíferos marinhos podem ficar cobertos com óleo. O impacto dos derramamentos que ficam na superfície do mar, em peixes e moluscos que habitam as camadas intermediárias e mais profundas da coluna d'água, é geralmente limitado à acumulação de pequenas quantidades de óleo em seu tecido, que podem afetar sua capacidade de comercialização como fonte de alimentação humana, mas que tem mostrado não ter efeitos de longo prazo.

A maior parte dos efeitos incidentes sobre o meio físico-biótico foi considerada de incidência direta, enquanto que, para o meio socioeconômico, o contrário pode ser observado. Pode-se constatar ainda que os efeitos sobre o meio socioeconômico tendem a desaparecer em um período mais curto, em relação aos efeitos sobre os fatores do meio físico-biótico.

Quanto à abrangência espacial, os efeitos possivelmente decorrentes do derramamento que incidem sobre o meio físico-biótico foram considerados regionais, enquanto que a abrangência espacial da maioria dos efeitos sobre o meio socioeconômico é de difícil delimitação, principalmente no que se refere à repercussão sobre a infra-estrutura portuária e de serviços.

INSERIR MATRIZ – Quadro 8.8.3-a

Nesse contexto, cabe observar (Figura 8.8.3-a, a seguir) que a pluma de dispersão do óleo não deverá atingir áreas costeiras. O mais próximo que a mancha chegará da costa, segundo a modelagem realizada, deve ser a 103 km de Cabo Frio, no quinto dia após o incidente, por fora da isóbata de 1.000 m.

A figura mostra que a região oceânica atingida por um potencial derramamento compreende áreas sobre o talude continental ao largo da costa brasileira entre o Cabo de São Tomé e o Cabo de Santa Marta Grande. Conforme descrito no diagnóstico ambiental (Capítulo 5) e referido na análise da vulnerabilidade ambiental (item 5.2.4 – Plano de Emergência Individual), nesta região, registra-se a presença de diversas espécies de peixes de interesse comercial, como atuns, bonitos, serras, cavalas, tainhas e sardinhas.

No que se refere à fauna de quelônios, essa área é de alta relevância na medida em que são registradas rotas migratórias e áreas de desova das espécies *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Lepidochelys olivacea* e *Dermochelys coriacea*. São observadas, ainda, rotas de migração de cetáceos entre áreas de reprodução, mais ao norte, e áreas de alimentação, mais ao sul, principalmente das baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) e franca (*Eubalena australis*).

Com relação à fauna bentônica da região oceânica, destaca-se a presença de corais azooxantelados nas águas frias e escuras do talude, que vêm merecendo destaque em diversos trabalhos, estando associados muitas vezes à presença de reservatórios de óleo e gás.

Todos esses fatores até aqui comentados são importantes, mas não suficientes para uma análise realista e equilibrada dos efeitos ambientais do derramamento de tal volume de óleo no mar. Torna-se essencial ainda tecer comentários a respeito do que significa este tipo de incidente no contexto da análise de risco efetuada, conforme apresentado a seguir.

A análise da probabilidade de acidentes envolvendo derramamento de óleo, apresentada no item 5.2.2 do Plano de Emergência Individual, revela que a maioria das hipóteses acidentais consideradas improváveis envolvem descargas de 8 a 200 m³. Todas estas hipóteses apresentam probabilidade de ocorrência $\leq 1,5\%$. Também nesta faixa de probabilidade encontra-se a descarga de pior caso ($< 1,5\%$), sendo sua frequência da ordem de um evento a cada 1.000 anos.

Das hipóteses consideradas prováveis, apenas uma teria 100% de probabilidade de ocorrer durante o período de desenvolvimento do Projeto Bijupirá & Salema, que envolve a descarga de < 8 m³ de óleo. Assim, foi observado, de modo geral, que descargas maiores têm, grosso modo, menor probabilidade de ocorrer durante a produção.

Além disso, de acordo com a concepção do *turret* da FPSO, vazamentos de óleo tendem a ser facilmente detectados, inclusive visualmente, reduzindo os volumes liberados (item 8.2.3 da Análise de Risco).

INSERIR MAPA DE VULNERABILIDADE – Figura 8.8.3-a

Esta análise permite considerar que, embora a avaliação dos efeitos decorrentes do derramamento dessas proporções revele uma considerável interferência no meio ambiente, trata-se de uma possibilidade altamente remota, no contexto das hipóteses acidentais envolvendo derramamento de óleo identificadas na Análise de Riscos.

Por outro lado, no contexto mundial de derramamentos acidentais de óleo, pode-se constatar que a descarga de pior caso do Projeto Bijupirá e Salema representaria seguramente um dos maiores incidentes relatados na história. Os acidentes que resultaram em derramamento das maiores descargas já reportados ocorreram com navios transportadores, e não, com plataformas de produção.

O incidente mais grave ocorreu em 1979, com o Atlantic Express, na costa de Tobago (ITOPF, 1995), onde foram lançadas no mar 280.000 toneladas de óleo, volume próximo do que seria derramado da FPSO Fluminense no caso da descarga de pior caso (<http://www.sivamar.org/pesquisa/polho1.htm>).

Conforme referido no item 8.3.2 da Análise de Risco, de acordo com os dados apresentados no periódico *Offshore*, em setembro de 1989, constata-se que, após um pico de ocorrência de acidentes em plataformas móveis verificado no biênio 1981/1982, o número de incidentes desta natureza vem decrescendo ao longo do tempo (dados referentes ao período de 1977 a 1988).

Além disso, segundo o estudo intitulado "Impact of Oil and Related Chemicals and Wastes on the Marine Environment", produzido pelo GESAMP e mencionado no "Marine Pollution Bulletin" (setembro, 1993), independentemente do volume derramado, o importante é que houve uma significativa redução da contaminação por óleo em escala global. Estimativas feitas em 1981 mostravam que 3,2 milhões de toneladas de óleo por ano entravam no ambiente marinho provenientes das mais diversas fontes, enquanto que, em estimativas mais recentes, feitas em 1990, esse valor foi bem menor: 2,35 milhões de toneladas.

Embora haja um verdadeiro dissenso em relação à contribuição do volume de óleo derramado por fonte poluidora, a maioria dos autores concorda com a porcentagem relativa de cada uma delas. A Figura 8.8.3-b, a seguir, mostra essa participação média relativa de cada uma das fontes.

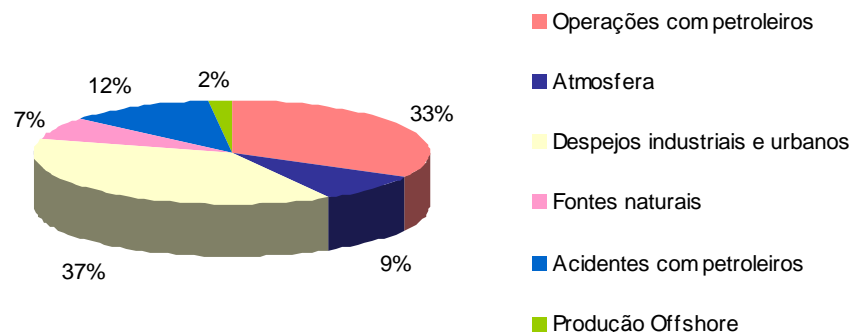


Figura 8.8.3-b: Contribuição relativa de óleo derramado no ambiente marinho, por fonte poluidora.

Fonte: <http://www.sivamar.org/pesquisa/polho1.htm> (modificado)

Nesta figura, merece destaque especial, para a presente análise, a reduzida participação relativa da poluição por óleo originada pelas atividades de produção *offshore*. Por outro lado, operações e acidentes com petroleiros, juntos, respondem por 45% do total, indicando a necessidade de atenção especial às operações de transferência a serem realizadas no Projeto Bijupirá e Salema.

Destaca-se ainda que entre 15 e 30% de todo o óleo despejado no Mar do Norte, em 1990 (cerca de 19.080 toneladas), foi consequência de operações *offshore*: desse total, apenas 7% foi causado por derramamentos acidentais (acidentes e explosões) (Nihoul e Ducroty, 1994 *apud* <http://www.sivamar.org/pesquisa/polho1.htm>).

Essa análise global permite considerar o derramamento de 206.700 m³ de óleo na região dos campos de Bijupirá e Salema em evento altamente improvável e de efeitos ambientais, em geral, de média magnitude, de médio prazo e que não deverão atingir áreas costeiras.

Apesar disso, grande importância deve ser dada ao planejamento de ações voltadas para a prevenção e remediação de incidentes desta natureza, qualquer que seja a sua dimensão, conforme apresentado no Plano de Emergência Individual (item 8.9).