

# MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO – UM ESTUDO DE CASO NA BACIA DE SANTOS, BRASIL

*Oil Environmental Vulnerability Maps – A Case Study of the Santos Basin, Brazil.*

**Ágata Fernandes Romero<sup>1</sup>**  
**Paulina Setti Riedel<sup>2</sup>**  
**João Carlos Carvalho Milanelli<sup>3</sup>**  
**Ana Carolina da Rocha Lammardo<sup>4</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP**  
**Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Campus Rio Claro**  
Av. 24A, 1515, CEP: 13.506-900, Rio Claro, São Paulo, Brasil  
agatafr@gmail.com

**<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP**  
**Departamento de Geologia Aplicada, Campus Rio Claro**  
Av. 24A, 1515, CEP: 13.506-900, Rio Claro, São Paulo, Brasil  
psriedel@rc.unesp.br

**<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista – UNESP**  
**Programa de Formação de Recursos Humanos PRH 05, Campus Rio Claro**  
Av. 24A, 1515, CEP: 13.506-900, Rio Claro, São Paulo, Brasil  
jmilanelli@uol.com.br

**<sup>4</sup>ASA South America**  
Rua Fidalga, 711, CEP: 05.432-070, São Paulo, SP, Brasil  
anacarolina@asascience.com.br

## RESUMO

Devido ao forte potencial exploratório da Bacia de Santos, com novas descobertas feitas principalmente na região do pré-sal, os processos decorrentes da exploração, produção e transporte de óleo e seus derivados devem crescer. Esse crescimento pode aumentar os riscos de um derramamento de óleo. Assim, é necessário que medidas preventivas de proteção da zona costeira sejam tomadas, buscando evitar ou minimizar os impactos ocasionados pelo óleo. Os Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo são ferramentas importantes de gerenciamento da zona costeira, indicando as áreas mais vulneráveis a um derramamento de óleo. O mapa de vulnerabilidade é elaborado a partir da união de Cartas SAO e contornos de probabilidade de manchas de óleo, gerados através da modelagem numérica. Este trabalho apresenta uma proposta para elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo no Brasil, utilizando o modelo tridimensional SIMAP, capaz de representar a mancha de óleo na superfície do mar, na linha de costa e na coluna d'água. Os resultados confirmam a necessidade de avançar na abordagem da sensibilidade da costa ao óleo, incorporando às Cartas SAO informações sobre a probabilidade das áreas serem atingidas e informações sobre a área da mancha que tem potencial tóxico à biota.

**Palavras chaves:** Derramamento de Óleo, Bacia de Santos, Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo, Modelagem Numérica.

## ABSTRACT

Due the tremendous exploratory potential of the Santos Basin, where new discoveries are made mainly in the pre salt region, the processes resulting from oil (and its byproducts) exploration, production and transportation should increase. This growth could increase the risk of an oil spill. Accordingly, it is necessary that preventive measures be taken in the coastal area that would look at avoiding or minimizing the impact of an oil spill. Oil Environmental Vulnerability Maps are important administration tools for the coastal regions that indicate the more vulnerable areas for an oil spill. The

vulnerability map is made by combining the ESI Maps and probability profiles of oil slicks, created through numerical models. This paper presents a proposal to make oil environmental vulnerability maps in Brazil, using the tridimensional model SIMAP. The results demonstrate the importance of standardizing the making of these maps, which are capable of representing oil slick behavior on water surfaces and water columns. The results confirm the need for progress on the approach to coastal sensibility to oil, incorporating SAO Map information regarding the probability of these areas being affected and information concerning the oil slick area that is potentially toxic to the biota.

**Keywords:** Oil Spill, Santos Basin, Environmental Vulnerability of Oil, Numerical Modeling.

## 1. INTRODUÇÃO

A Bacia de Santos está localizada na porção sudeste da margem continental brasileira, em frente aos estados de Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, com uma área de 352.260 km<sup>2</sup> até a lâmina d'água de 3.000 metros de profundidade (ANP, 2003). Esta bacia apresenta forte potencial exploratório, com novas descobertas de grandes reservatórios de petróleo leve e gás sendo feitas a todo o momento, muitas delas nas regiões de pré-sal, em colunas d'água superiores a 1.000 metros de profundidade. A pequena distância de alguns blocos exploratórios da linha de costa, aumenta a suscetibilidade da região em estudo a um incidente de derramamento de petróleo. Um acidente em uma plataforma, como o ocorrido em abril de 2010 no Golfo do México (EUA), por exemplo, pode impactar severamente os ambientes costeiros mais próximos, causando prejuízos ambientais e econômicos.

Devido ao grande potencial exploratório da Bacia de Santos, decorrente principalmente das descobertas nas camadas exploratórias do pré-sal, os processos que envolvem a exploração, produção e transporte de petróleo tendem a crescer, aumentando o risco de derramamentos de petróleo no ambiente marinho e costeiro.

Entretanto, é difícil prever quando um derramamento de petróleo irá ocorrer, sua magnitude e a extensão dos seus impactos. São necessárias, portanto, ações preventivas que venham minimizar possíveis danos causados por um eventual acidente. Inserem-se, neste contexto, os Planos de Emergência Individuais (PEIs) para o combate à poluição por óleo e substâncias nocivas ou perigosas (BRASIL, 2000). A legislação ambiental brasileira (BRASIL, 2008) determina que mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo devam fazer parte dos PEIs de portos, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares. O mapa de vulnerabilidade ambiental ao óleo é originado da união de duas importantes ferramentas de gerenciamento de emergências com óleo: as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) e a modelagem numérica de deriva de mancha.

As Cartas SAO apresentam informações básicas essenciais para o planejamento de contingência e avaliação de danos em caso de derramamento de óleo, indicando a localização dos recursos costeiros e áreas mais sensíveis (IPIECA, 2000; BRASIL, 2004). O

Brasil segue um padrão de normas e nomenclaturas para elaboração das Cartas SAO, estabelecidas pelo órgão ambiental brasileiro (Ministério do Meio Ambiente; BRASIL, 2004), baseadas nas propostas da NOAA (1997) e PETROBRAS (ARAÚJO et al., 2001). As Cartas SAO apresentam informações sobre os recursos físicos; recursos biológicos e recursos socioeconômicos da área mapeada. Essas cartas podem contemplar três níveis de abrangência: cartas estratégicas (abrangência regional), cartas táticas (escala intermediária) e cartas operacionais (locais de alto risco ou elevada sensibilidade).

A modelagem numérica de deriva de mancha é uma importante ferramenta na elaboração de planos de contingência, sistemas de emergência, análise de risco e estudos de impacto ambiental (LI; BRIMICOMBE; RALPHS, 2000; ELHAKEEM; ELSHORBAGY; CHEBBI, 2007). Para que o combate a um derramamento seja eficiente, é importante que a equipe de emergência conheça o comportamento do óleo, as condições meteorológicas e oceanográficas no momento do vazamento e o volume de óleo que foi derramado (WADSWORTH, 1999). Na modelagem são utilizadas informações acerca das características físico-químicas do óleo e dados ambientais (e.g., intensidade e direção do vento, correntes e marés predominantes na região em estudo), buscando caracterizar o comportamento possível da mancha em caso de vazamento de óleo. Os resultados de uma simulação permitem ao usuário avaliar rapidamente os recursos que estão em risco e identificar os locais potenciais para armazenamento de equipamentos de contenção e limpeza (JAYKO; HOWLETT; 1992).

Segundo Jayko e Howlett (1992), dentre os modelos numéricos existentes, estão o modelo de trajetória e o modelo probabilístico. O modelo de trajetória prediz o deslocamento e o intemperismo sofrido pela mancha de óleo. A saída do modelo mostra a posição da mancha de óleo e o balanço de massa. No modelo probabilístico, o usuário determina um número de simulações a ser executada pelo modelo, onde apenas os dados ambientais (oceanográficos e meteorológicos) variam de forma aleatória. As múltiplas trajetórias geradas pelo modo probabilístico são resumidas em contornos de probabilidades mostrando as áreas que podem ser impactadas pelo óleo.

Para elaborar um Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo é necessário rodar um modelo em modo probabilístico, sobrepondo os contornos de probabilidade gerados à Carta SAO. Esse mapa permite

a visualização das áreas mais vulneráveis aos vazamentos, auxiliando a ação de resposta e a definição de áreas prioritárias de proteção.

Atualmente, no Brasil, os mapas de vulnerabilidade ambiental ao óleo apresentam o comportamento da mancha na superfície da água. Entretanto, este critério não é capaz de representar a dimensão real da mancha de óleo que tem potencial para causar algum impacto. Isso porque as frações tóxicas do petróleo podem estar solubilizadas na água mesmo que a mancha não seja mais visível (fração hidrossolúvel ou FHS), podendo permanecer na coluna d'água por um longo tempo causando danos ao ambiente. Segundo Wang et al. (2008), existem muitos estudos publicados sobre os modelos numéricos de deriva de mancha, entretanto, poucos deles têm seu enfoque na distribuição das frações solúveis na coluna d'água.

A representação da trajetória da mancha na superfície da água é importante para o planejamento das ações de combate a um derramamento, pois as operações de limpeza são direcionadas à remoção do óleo na superfície da água e linha de costa, entretanto, não indica a extensão real dos impactos biológicos causados pelo óleo. Um modelo numérico tridimensional (3D) avalia a trajetória e intemperismo sofrido pela mancha na superfície e sub-superfície, quantificando as concentrações dos componentes do óleo presentes na coluna d'água, apresentando as informações necessárias para avaliar o impacto biológico causado pelo derramamento (FRENCH; SCHUTTENBERG; ISAJI, 1999).

Este trabalho apresenta uma proposta para a elaboração dos Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo no Brasil, utilizando o modelo tridimensional SIMAP (*Spill Impact Model Application Package*), desenvolvido pela *Applied Science Associates* (ASA). Os resultados apresentam as probabilidades da mancha na superfície da água e na linha de costa, auxiliando nas ações de combate; e a concentração de óleo dissolvida na coluna d'água, representando o possível impacto biológico causado pelo derramamento.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Como estudo de caso, foi considerado um derramamento de óleo hipotético na Baía de Santos, próximo ao litoral sul do Estado de São Paulo (Brasil) (figura 1).

O litoral sul de São Paulo é caracterizado pela predominância de extensas faixas de areia. Em geral, as praias desta região apresentam predomínio de areia fina, com a presença de areia muito fina, com grãos bem selecionados, grau médio de arredondamento e baixa declividade (SOUZA; SOUZA, 2004). A baixa permeabilidade das praias de areia fina contribui para que estas sejam consideradas menos sensíveis do que praias de areia grossa, com maior permeabilidade. Entretanto, é importante destacar que praias de areias finas abrigam um grande número de espécies da macrofauna bentônica, principalmente na região do

mesolitoral, onde muitas aves costeiras encontram um excelente local de alimentação. Do ponto de vista biológico, praias de areia fina são mais sensíveis que as praias de areia grossa, pois apresentam maior densidade de macrofauna (DEXTER, 1983; BORZONE et al., 1996; DEFEO et al., 1992; BRAZEIRO, 2001; FERNANDES; SOARES-GOMES, 2006).

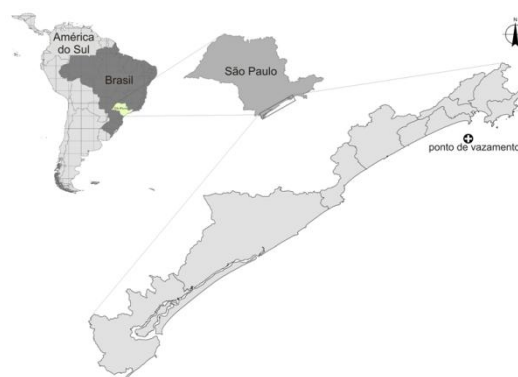


Fig. 1 – Localização do ponto de vazamento hipotético no litoral de São Paulo, Brasil.

A hidrodinâmica costeira é influenciada pelos ventos, com correntes predominantes paralelas à linha de costa. Picarelli; Harari e Camargo (2002) descrevem a presença de ondas de maré de sudoeste para nordeste e de nordeste para sudoeste. As correntes superficiais tendem a seguir a direção dos ventos, característica mais evidente durante os eventos de passagem de frente fria, com ventos de sul-sudoeste (PICARELLI; HARARI, 2006).

Um vazamento de óleo próximo ao litoral dos municípios estudados pode atingir os ambientes costeiros, dadas as características oceanográficas da área. A predominância de correntes paralelas à linha de costa favorece o transporte da mancha de óleo por todo o litoral. Uma simulação realizada através de modelagem numérica para um ponto de derrame hipotético na Baía de Santos, a aproximadamente 200 km de distância da linha de costa, resultou em uma mancha que atinge a costa do Estado de São Paulo após 30 dias do vazamento (SOARES; ALVES; PIOVESAN; 2005).

## 3. MÉTODOS

### 3.1 Modelo de derrame de óleo e impacto biológico - SIMAP

O SIMAP (*Spill Impact Model Application Package*) contém um modelo de trajetória de mancha de óleo acoplado a um modelo de impacto biológico, podendo ser utilizado para avaliar o impacto causado por um derramamento de óleo na superfície da água e na coluna d'água (ANDERSON; THOMAS, 1998; FRENCH McCAY, 2006).

O modelo de trajetória de mancha de óleo, presente no SIMAP, estima a distribuição do óleo (em massa e concentração) na superfície da água, linha de

costa, na coluna d'água e no sedimento. Os processos envolvidos na modelagem incluem: espalhamento (1), evaporação dos voláteis na superfície (2), transporte na superfície e na coluna d'água (3, 4), emulsificação (5), entranhamento (6), dissolução dos componentes solúveis (7), volatilização a partir da coluna d'água (8), adsorção e sedimentação (9), chegada na costa e degradação (10), e suas principais equações são descritas a seguir.

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

Onde,

$R_e$  é o raio efetivo da mancha na superfície (m)  
 $A_{tk}$  é área de cada partícula de óleo (m<sup>2</sup>)  
 $N$  é o número de partículas que representam a mancha

$$dm/dt = (K_s P_{vp} A/RT) F MW \quad (2)$$

Onde,

$m$  é a massa perdida a partir da mancha  
 $T$  é a temperatura (°K)  
 $P_{vp}$  é a pressão de vapor (atm)  
 $A$  é a área de mancha (m<sup>2</sup>)  
 $R$  é a constante universal do gás (8,206 x 10<sup>-5</sup> atm-m<sup>3</sup>/mole-°K)  
 $F$  é a fração da mancha remanescente  
 $MW$  é o peso molecular do componente

$$\vec{x}_t = \vec{x}_{t+1} + \Delta t \left( \vec{U} + \gamma_x \sqrt{\frac{6D_x}{\Delta t}} + \gamma_y \sqrt{\frac{6D_y}{\Delta t}} + \gamma_z \sqrt{\frac{6D_z}{\Delta t}} \right) \quad (3)$$

$$\vec{U} = \vec{U}_w + \vec{U}_t + \vec{U}_y + \vec{U}_b \quad (4)$$

Onde,

$\Delta t$  é o passo de tempo (segundos)  
 $\vec{x}_{t-1}$  é a posição da mancha em  $t - 1 = t - \Delta t$   
 $\vec{U}$  é velocidade advectiva da partícula (incluindo componentes x, y e z, m/s)  
 $\vec{U}_w$  é o componente de velocidade do vento e das ondas (m/seg)  
 $\vec{U}_t$  é o componente de velocidade das correntes de marés (m/s)  
 $\vec{U}_b$  é o componente vertical de velocidade da quebra das gotículas e partículas da mancha  
 $D_x$  é o coeficiente de dispersão horizontal na direção leste-oeste (m<sup>2</sup>/s)  
 $D_y$  é o coeficiente de dispersão horizontal na direção norte-sul (m<sup>2</sup>/s)  
 $D_z$  é o coeficiente de dispersão vertical (m<sup>2</sup>/s)  
 $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$  são números que variam de -1 a +1  
 $D_x$  e  $D_y$  apresentam o mesmo valor no modelo.

$$dF_w/dt = C_1 U_w^2 (1 - F_w/C_2) \quad (5)$$

Onde,

$U_w$  é a velocidade do vento (m/s)  
 $C_1$  é a constante empírica 2x10<sup>6</sup> para óleos que emulsificam e 0 para os demais

$C_2$  é a fração máxima de água no óleo  
 $F_{wc}$  é a fração de água no óleo

$$M_E = A \Delta t \int_{D_{min}}^{D_{max}} Q_d dD \quad (6)$$

Onde,

$M_E$  é o total de massa entranhada na coluna d'água (kg)  
 $D$  é o tamanho da partícula  
 $A$  é a área da superfície da mancha (m<sup>2</sup>)  
 $t$  é o passo de tempo (s)  
 $Q_d$  é a taxa de entranhamento (kg/m<sup>2</sup>-s)

$$dN_{id}/dt = K_d [e_i x_i C_i^s - C_i^w] A \quad (7)$$

Onde,

$N_{id}$  é a massa dissolvida do componente  $i$  (moles)  
 $i$  é o componente  $n.i$   
 $A$  é a área da superfície da mancha (cm<sup>2</sup>)  
 $K_d$  é o coeficiente de dissolução  
 $e_i$  é o fator de solubilidade de entranhamento do componente  $i$   
 $x_i$  é a fração da fase oleosa do componente  $i$   
 $C_i^s$  é a solubilidade do componente  $i$  (mols/cm<sup>3</sup>)  
 $C_i^w$  é a concentração atual do componente  $i$  na água (mol/cm<sup>3</sup>)

$$d = \sqrt{2D_z \Delta t} \quad (8)$$

Onde

$d$  é a profundidade  
 $D_z$  é a difusão vertical (m<sup>2</sup>/s)  
 $\Delta t$  é o passo de tempo do modelo (s)

$$V_A^o = \frac{dV_A}{dt} = K_{op} C_o C_p \quad (9)$$

Onde

$V_A^o$  é o volume de óleo adsorvido na coluna d'água (m<sup>3</sup>)  
 $t$  é o tempo (s)  
 $C_o$  é a concentração de óleo (m<sup>3</sup> óleo/m<sup>3</sup> água)  
 $C_p$  é a concentração de particulados (g/m<sup>3</sup>)  
 $K_{op}$  é a constante de reação

$$M_b^o = \frac{dM_{b,i}}{dt} = -K_i M_i \quad (10)$$

Onde

$M_b^o$  é a taxa de degradação (g/s)  
 $i$  é o compartimento ambiental  
 $M_{b,i}$  é a massa de óleo perdida por degradação para  $i$  (g)  
 $M_i$  é a massa de óleo sujeita a degradação (g)  
 $K_i$  é a constante de degradação (l/dia)

A massa do óleo é modelada separadamente dos componentes aromáticos de baixo peso molecular (um a três anéis aromáticos), e outros componentes voláteis e não voláteis solúveis e tóxicos. Os componentes de baixo peso molecular dissolvidos são divididos entre a coluna d'água e o sedimento (ANDERSON; THOMAS, 1998; FRENCH-McCAY, 2006).

No modelo de trajetória do SIMAP, o petróleo e derivados são representados por sete componentes (FRENCH McCAY et al., 2003): (1) Monoaromáticos voláteis; (2) Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: semi-voláteis; (3) Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: com baixa volatilidade; (4) Alifáticos voláteis; (5) Alifáticos semi-voláteis; (6) Alifáticos com baixa volatilidade; e (7) Fração residual (aromática e alifática).

Para determinar os riscos dos ambientes próximos ao ponto de vazamento, múltiplos cenários e condições de vento e corrente são necessários. Dessa forma, o modelo foi rodado em modo probabilístico, gerando contornos de probabilidades na superfície da água, coluna d'água e linha de costa. O modelo probabilístico 3D do SIMAP quantifica (FRENCH; SCHUTTENBERG; ISAJI, 1999):

1. Na superfície da água: a probabilidade do óleo atingir espessuras acima do corte determinado pelo critério de parada; o tempo mínimo necessário para exceder o corte; a massa do óleo na superfície da água;

2. Para as frações de aromáticos no sedimento e dissolvidos na água, alifáticos não dissolvidos na coluna d'água e total de hidrocarbonetos presentes no sedimento: a probabilidade de exceder a concentração determinada pelo critério de parada; o tempo mínimo necessário para exceder o corte e a concentração máxima encontrada na coluna d'água.

O modelo foi rodado em modo probabilístico para um período de cinco dias, suficientes para a mancha atingir a concentração de aromáticos dissolvidos de 6%. A simulação considerou um vazamento instantâneo, em subsuperfície, isto é, todo o óleo vazou a uma profundidade de 1m. Foi considerada uma dispersão horizontal de 5 m<sup>2</sup>/s, passo de tempo de 10 minutos e espessura mínima na superfície 0,0003mm.

Os dados de vento utilizados na modelagem foram provenientes do modelo meteorológico do "National Center for Environmental Prediction" (NCEP/NOAA), obtidos para o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2005. A temperatura considerada foi de 25°C e a salinidade 35. O modelo hidrodinâmico utilizado pertence ao banco de dados da ASA, devidamente calibrado, é representativo para a área e períodos estudados.

### 3.2 Modelagem de óleo – cenários acidentais

Foram gerados cenários representando a trajetória do óleo na superfície da água, o óleo que toca a costa e a fração dissolvida na coluna d'água. Os cenários gerados são representativos dos períodos de verão (fevereiro a abril de 2005) e inverno (maio a julho de 2005).

Durante as ações de combate, a visualização da mancha na superfície da água facilita o trabalho das equipes em campo, auxiliando na colocação das barreiras de contenção e recolhimento do óleo. Nos cenários de superfície da água foi utilizado um critério de parada baseado na espessura do óleo (300 nm),

conforme determina a legislação brasileira (BRASIL, 2002). Para representar a fração solúvel presente na coluna d'água, foi utilizado o corte determinado por teste de toxicidade aguda, expresso pela CL<sub>50</sub>, calculado segundo norma do órgão ambiental de São Paulo, CETESB L5.251 (SÃO PAULO, 1992).

O volume de óleo utilizado é o volume de descarga de pior caso, de acordo as legislações brasileiras (BRASIL, 2002; BRASIL, 2008). Para o cálculo da descarga de pior caso (DPC), foi adotada, como exemplo para o estudo de caso, a capacidade do tanque de um navio cargueiro. A duração do vazamento é instantânea, com toda a carga liberada de uma só vez no mar, simulando uma colisão, com rompimento total do casco.

O óleo utilizado foi o MF 380 (*Marine Fuel*), principal óleo combustível utilizado em navios. O MF-380 é considerado um óleo pesado, persistente e com baixa solubilidade em água, mas com elevada toxicidade. Segundo testes de toxicidade realizados pela CETESB, o organismo teste *Mysidopsis juniae* apresentou maior sensibilidade ao MF-380, onde apenas 6 ml de óleo em 100 ml de água (6%), já resultam em mortalidade por intoxicação (LOPES; MILANELLI; POFFO, 2006). O teste foi realizado de acordo com a norma CETESB L5.251 (SÃO PAULO, 1992) que estabelece o padrão dos testes de toxicidade aguda para água do mar no Brasil e a utilização do crustáceo misidáceo da espécie *Mysidopsis juniae*, na realização desses testes. A tabela 1 apresenta um resumo dos cenários acidentais, com a localização do ponto de vazamento. Foram gerados dois cenários probabilísticos (verão e inverno), com vazamento de sub-superfície (1 m).

TABELA 1 – PONTO DE VAZAMENTO E CENÁRIOS ACIDENTAIS PARA ELABORAÇÃO DE MAPA DE VULNERABILIDADE

Ponto de vazamento	Óleo	Volume (ton)	Condição sazonal	Localização da mancha
24°06'04"S 46°24'11"W	MF-380	800	Verão	Superfície
				Costa
				Coluna d'água
			Inverno	Superfície
				Costa
				Coluna d'água

Para que as informações referentes à vulnerabilidade da área ao óleo estejam claras para o gestor, os ícones dos recursos biológicos nas Cartas SAO foram colocados em quadros, de acordo com metodologia para elaboração de Cartas SAO (BRASIL, 2004) (figura 2).





Fig. 2 – Quadro utilizado nos mapas de vulnerabilidade agrupando os ícones dos recursos biológicos.

É importante ressaltar que o uso dos quadros contendo ícones dos recursos biológicos presentes em uma área, tira a especificidade das informações, sendo adotado aqui como uma forma de facilitar a visualização das informações referentes à vulnerabilidade. Por este motivo, o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental a Derrames de Óleo deve ser utilizado em conjunto com as Cartas SAO, por essas apresentarem informações cartográficas detalhadas a respeito da sensibilidade dos ambientes. Dessa forma, o gestor poderá avaliar a área afetada de forma mais completa, agregando as informações da sensibilidade, contida nas Cartas SAO, com as de vulnerabilidade.

Os mapas de vulnerabilidade são apresentados em escala apropriada para que seja possível visualizar toda a extensão da mancha de óleo, sendo utilizadas escalas referentes às cartas tácticas (1:200.000 a 1:750.000 - figuras 5 a 9).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A mancha de óleo gerada foi transportada predominantemente para sudoeste, acompanhando a direção da linha de costa, nos cenários de verão e inverno. Como a circulação superficial na região é fortemente influenciada pelo vento, as características de ventos locais favorecem o deslocamento da mancha para sudoeste, principalmente nos meses de maio e junho, correspondente aos meses de inverno utilizados na modelagem.

Nessa região do litoral brasileiro, atua o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS), que é um centro de alta pressão com temperaturas estáveis e relativamente altas associados aos ventos alísios de nordeste e leste (TESSLER; GOYA, 2005). Segundo os autores, as ondas que atingem a costa são forçadas pelos ventos alísios em boa parte do ano (ondas de nordeste). A atuação do ATAS, através dos ventos alísios pode ter colaborado no deslocamento da mancha para a direção sudoeste.

Além disso, a circulação nessa região sofre influência indireta da Corrente do Brasil, considerada a corrente mais importante ao longo da costa brasileira, fluindo na região do talude, com direção predominante para sul (SILVEIRA et al., 2000). Calil; Candella e Fragoso (2009) verificaram que o fluxo da Corrente do Brasil acompanha a orientação da quebra de plataforma,

na direção sudoeste, entre as isóbatas de 200 e 2.000 metros. Souza (2000) observou a influência da Corrente do Brasil na isóbata de 100 metros, com fluxo predominante para sudoeste. Em ambos cenários, probabilidades mais altas são encontradas próximo ao ponto onde ocorre o vazamento, diminuindo à medida que se afastam desse ponto.

Essas informações geradas a partir dos resultados de uma modelagem numérica são de extrema importância para um planejamento eficiente das ações de combate no caso de um acidente de derramamento de petróleo. Através desses resultados, é possível direcionar os esforços em campo para as áreas prioritárias, com maior probabilidade de serem atingidas pela mancha de óleo, assim como estabelecer locais estratégicos para armazenamento de equipamentos que serão utilizados durante as operações de resposta.

Um combate eficiente pode evitar que a comunidade biológica presente na região do mesolitoral e supralitoral seja atingida pelo óleo. Muitos autores descrevem os efeitos que podem ser observados em campo após um vazamento de óleo, onde as espécies presentes no mesolitoral e supralitoral são inicialmente mais impactadas (CHAN, 1973; THOMAS, 1973; CHAN, 1975; THOMAS, 1978; LINDEN et al., 1979; GEYER, 1980; CONCAWE, 1998).

A modelagem de coluna d'água para o período de inverno não apresentou óleo dissolvido na água. Isso provavelmente ocorreu devido às características físico-químicas do óleo, com baixa solubilidade em água. Entretanto, as condições de vento e corrente foram suficientes para que ocorresse o entranhamento, com a formação de gotículas de óleo que permanecem em suspensão na coluna d'água. Segundo Neff e Anderson (1981), devido às características físico-químicas do óleo combustível pesado, como sua alta viscosidade e densidade, ao invés de dissolver, o óleo tende a se misturar à coluna d'água, formando gotículas em suspensão.

Nos dois cenários (verão e inverno), a concentração de óleo entranhado na maior parte da mancha está entre 0 e 1 ppb, provavelmente devido à grande incidência de ventos com velocidade abaixo de aproximadamente 12 nós, favorecendo a ressuspensão das gotículas dispersas na coluna d'água (FRENCH et al., 1999) (figura 3). Ventos com velocidades mais intensas formam ondas que quebram na superfície da água promovendo o entranhamento do óleo. Quanto mais elevada for a velocidade do vento e consequentemente, maior turbulência, maior é o entranhamento e menores são as gotículas entranhadas. Um aumento na velocidade dos ventos locais pode ocasionar o entranhamento da mancha localizada em pontos mais afastados da área de derrame. Quando a velocidade do vento é menor que, aproximadamente, 12 nós, as gotículas maiores de óleo voltam à superfície (FRENCH; SCHUTTENBERG; ISAJI, 1999; FRENCH-McCAY; PAYNE, 2001; FRENCH-McCAY, 2002).

As menores gotículas de óleo permanecem entranhadas na coluna d'água por um período indeterminado. Quando as gotículas estão na coluna d'água, ocorre a dissolução dos componentes leves e solúveis (FRENCH-McCAY; PAYNE, 2001). Segundo os autores, alguns processos podem diminuir a taxa de entranhamento como a formação de emulsificação (aumento da viscosidade); adsorção das gotículas às partículas em suspensão, removendo o óleo da coluna d'água; a chegada da mancha na costa; e a limpeza mecânica ou queima da mancha na superfície.

De acordo com Tsvetnenko (1998), o total de hidrocarbonetos de petróleo presente na água não deve exceder 0,7 ppb. Estudo realizado no Golfo Árabe, após vazamento de petróleo registrou concentrações de hidrocarbonetos de petróleo em sub-superfície variando entre 10 µg/l (1 ppb) e 1.510 µg/l (151 ppb) (SHRIADAH, 1998). O autor considera que valores próximos a 1 ppb não representam contaminação significativa, por corresponder à concentração encontrada em ambientes não poluídos. Estudo realizado utilizando o modelo SIMAP para determinação do impacto de um vazamento de óleo (nº6 *fuel oil*) considerou concentração de 10 ppb de óleo na coluna d'água como limite da modelagem (FRENCH; SCHUTTENBERG; ISAJI, 1999). Não existe legislação no Brasil específica para regulamentar o limite de concentração de petróleo na água do mar capaz de causar impactos aos organismos marinhos. A ausência de legislação específica que padronize a elaboração de mapas de vulnerabilidade no Brasil dificulta a análise dos mapas gerados de forma abrangente, impedindo possíveis comparações ou unificações.

A presença de óleo entranhado na coluna d'água pode ocasionar uma série de danos aos organismos presentes nesse ambiente, por exemplo, com a ingestão de gotas de óleo e incorporação do óleo em partículas fecais do zooplâncton (LEE et al., 1985; CONCAWE, 1998). A exposição dos organismos a um óleo pesado pode causar danos subletais como diferenças na taxa de respiração, diminuição no consumo de oxigênio, mudança no tempo de maturação de estágios larvais, entre outros (ANDERSON et al., 1974; STROBEL; BRENOWITZ, 1981; CONCAWE, 1998). Spaulding et al. (1996), ao estudar o impacto de um vazamento de petróleo ocorrido em Rhode Island (EUA), verificaram que a pluma de óleo entranhada na coluna d'água teve grande impacto sobre os organismos bentônicos, fato comprovado pela morte de um número significativo de lagostas (SPAULDING et al., 1996).

Estudos indicam que mais de 50% da fração de hidrocarbonetos insolúveis dispersa na coluna d'água é removida pela matéria particulada em suspensão

(orgânica e inorgânica), contribuindo para o transporte do poluente da superfície para o fundo dos oceanos (LEE, 2002; GEARING et al., 1980; WADE; QUINN, 1980). Esse fenômeno ocorre mais comumente em águas rasas com ação de ondas (FRENCH-McCAY; WHITTIER, 2003).

O cenário de verão apresentou concentração de aromáticos dissolvidos com valor máximo de 5,6 ppb (figura 4). Este valor é menor do que a CL<sub>50</sub> determinada segundo método proposto pela CETESB (SÃO PAULO, 1998) para o MF-380 (6%). Essa discrepância se deve ao fato de o modelo SIMAP utilizar para o cálculo da concentração na coluna d'água, a fração de aromáticos dissolvidos (ANDERSON; THOMAS, 1998; FRENCH-McCAY, 2001; FRENCH-McCAY et al., 2003), enquanto que o método da CETESB apresenta o resultado referente à fração hidrossolúvel do petróleo. Para que seja possível avaliar os impactos decorrentes da ação dos aromáticos dissolvidos na coluna d'água, optou-se por apresentar o mapa de vulnerabilidade com a concentração expressa em valores máximos de concentração de aromáticos dissolvidos (PPB), ao invés dos contornos de probabilidades em porcentagem. Essa diferença de valores não implica em mudança no comportamento do óleo na água, que continua apresentando alta toxicidade para os organismos aquáticos, nem desqualifica o teste padronizado pela CETESB (SÃO PAULO, 1998). Entretanto, para analisar os resultados de concentração do óleo na coluna d'água, gerados pelo SIMAP, é preciso utilizar valores referentes à concentração da fração aromática dissolvida.

Após o acidente ocorrido na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, Brasil) em janeiro 2000, onde 1.300 m<sup>3</sup> de MF-380 foram derramados, foram realizadas análises toxicológicas para quantificação do possível impacto ao ambiente. A CETESB realizou o teste segundo norma técnica deste órgão ambiental para teste de toxicidade aguda em água do mar (L5.251), apresentando como resultado: CL(I)50: 6%, 96hs, sendo considerado um produto de elevada toxicidade. Na mesma época a PETROBRAS realizou teste de toxicidade aguda para o mesmo óleo, utilizando método diferente alcançando como resultado valores de concentração de 20 a 50% de fração de óleo dispersa em água. O resultado obtido pela PETROBRAS indica que o MF-380 não possui toxicidade, apresentando baixo potencial de impacto para organismos presentes na coluna d'água. Entretanto, análises realizadas em aves atingidas pelo óleo indicaram intoxicação aguda devido à presença de óleo no trato digestivo e respiratório de biguás, garças e socós (MILANELLI et al., 2000).

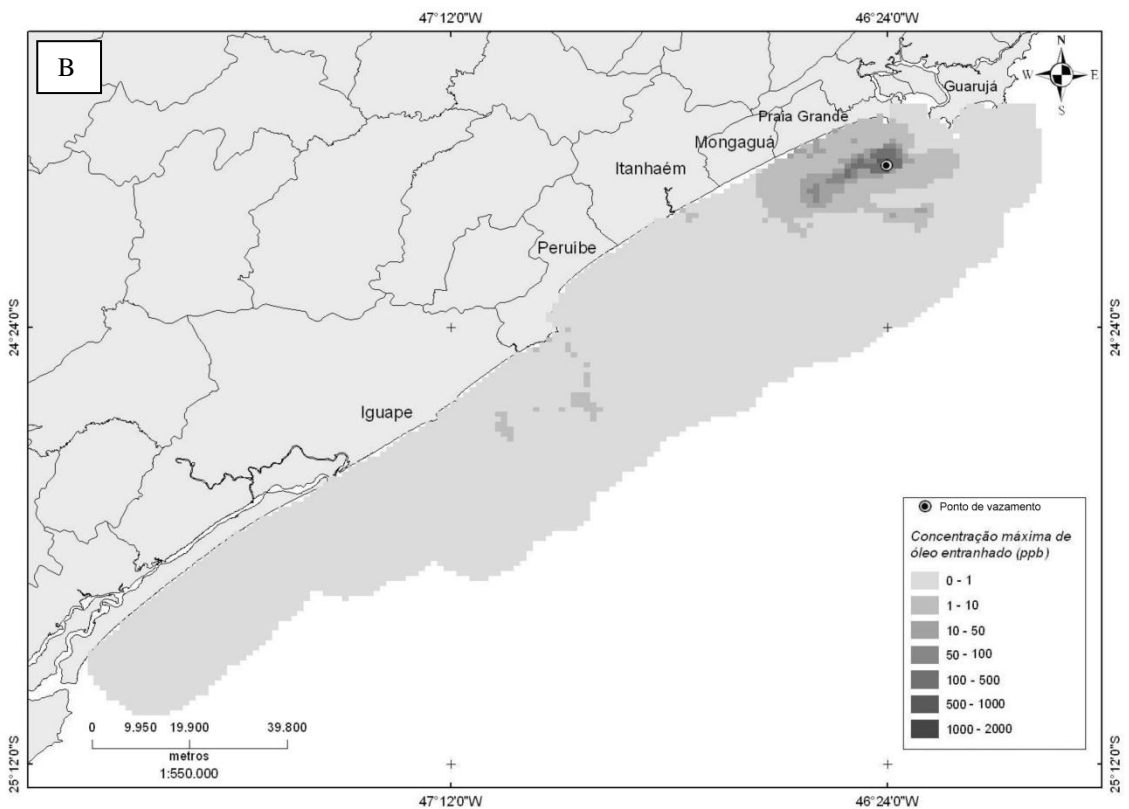
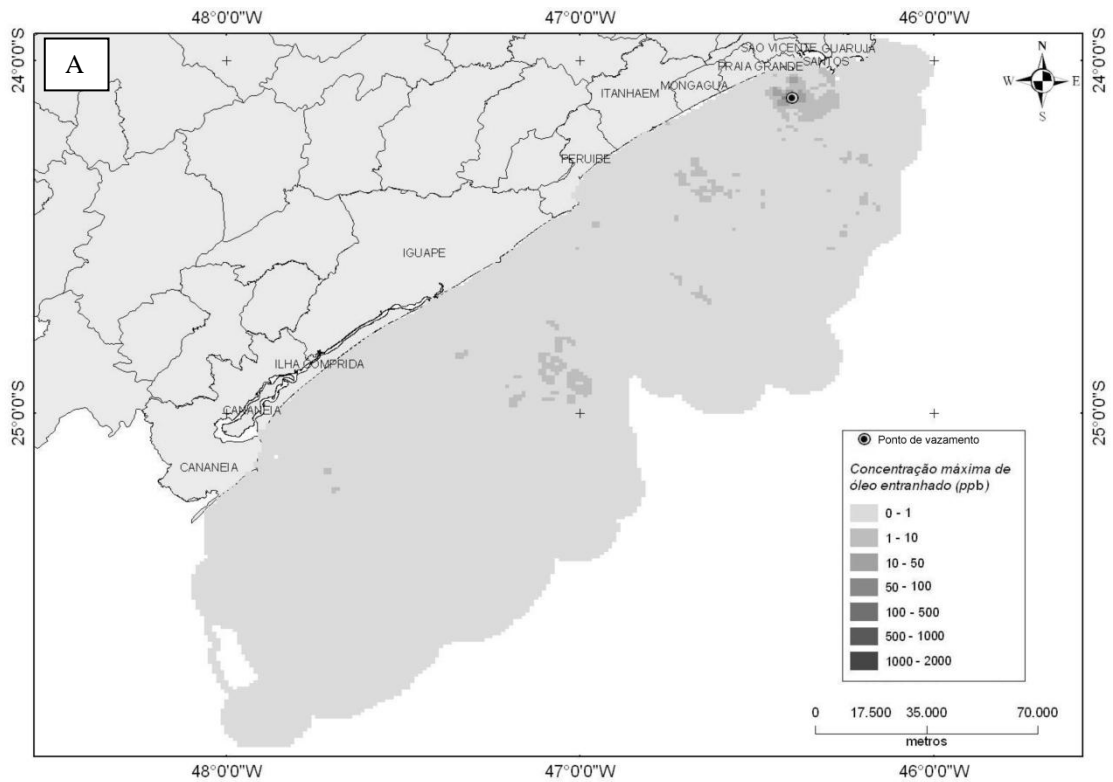


Fig. 3 - Valores máximos de concentração de óleo entranhado (ppb – coluna d’água (não representa o tamanho real da mancha). A – inverno; B – verão.

Essa diferença de valores não implica em mudança no comportamento do óleo na água, que continua apresentando alta toxicidade para os

organismos aquáticos, nem desqualifica o teste padronizado pela CETESB (SÃO PAULO, 1998). Entretanto, para analisar os resultados de concentração



do óleo na coluna d'água, gerados pelo SIMAP, é preciso utilizar valores referentes à concentração da fração aromática dissolvida.

Para que os mapas de vulnerabilidade gerados por diferentes autores possam ser comparados, e até mesmo unificados, é fundamental a padronização no método de obtenção da  $CL_{50}$ , bem como dos parâmetros a serem utilizados pelo modelo numérico.

Outros estudos foram realizados a fim de investigar o comportamento do óleo em sub-superfície como em Pinheiro et al. (2005) e Hargreaves et al. (2005) que utilizaram o modelo numérico OSCAR (Oil Spill Contingency and Response), apresentando entre os resultados, a espessura da mancha na coluna d'água e a distribuição do óleo em seções transversais. Apesar de

apresentar o comportamento do óleo na coluna d'água, os resultados obtidos pelo OSCAR não mostraram a concentração da fração solúvel, responsável pelo potencial tóxico do petróleo.

A compreensão do comportamento da mancha de óleo na coluna d'água é fundamental para a quantificação do real impacto causado por um vazamento (FRENCH-McCAY, 2001). Durante as operações de combate a um derramamento de óleo é possível visualizar e acompanhar a trajetória da mancha que se encontra apenas na superfície da água, portanto, a utilização de modelos numéricos tridimensionais como o SIMAP oferece ao gestor a possibilidade de identificar e acompanhar o possível deslocamento da mancha dissolvida ou entranhada na coluna d'água.

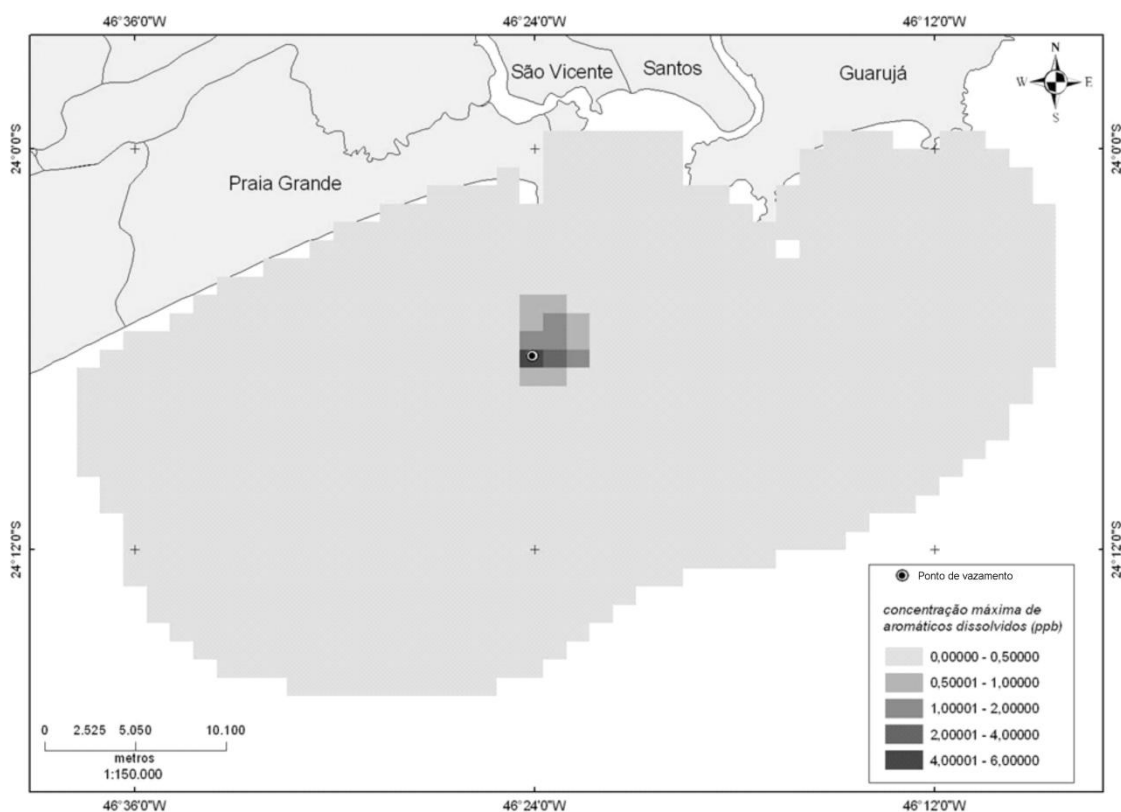


Fig. 4 - Concentração máxima de aromáticos dissolvidos na coluna d'água (ppb), cenário de verão.

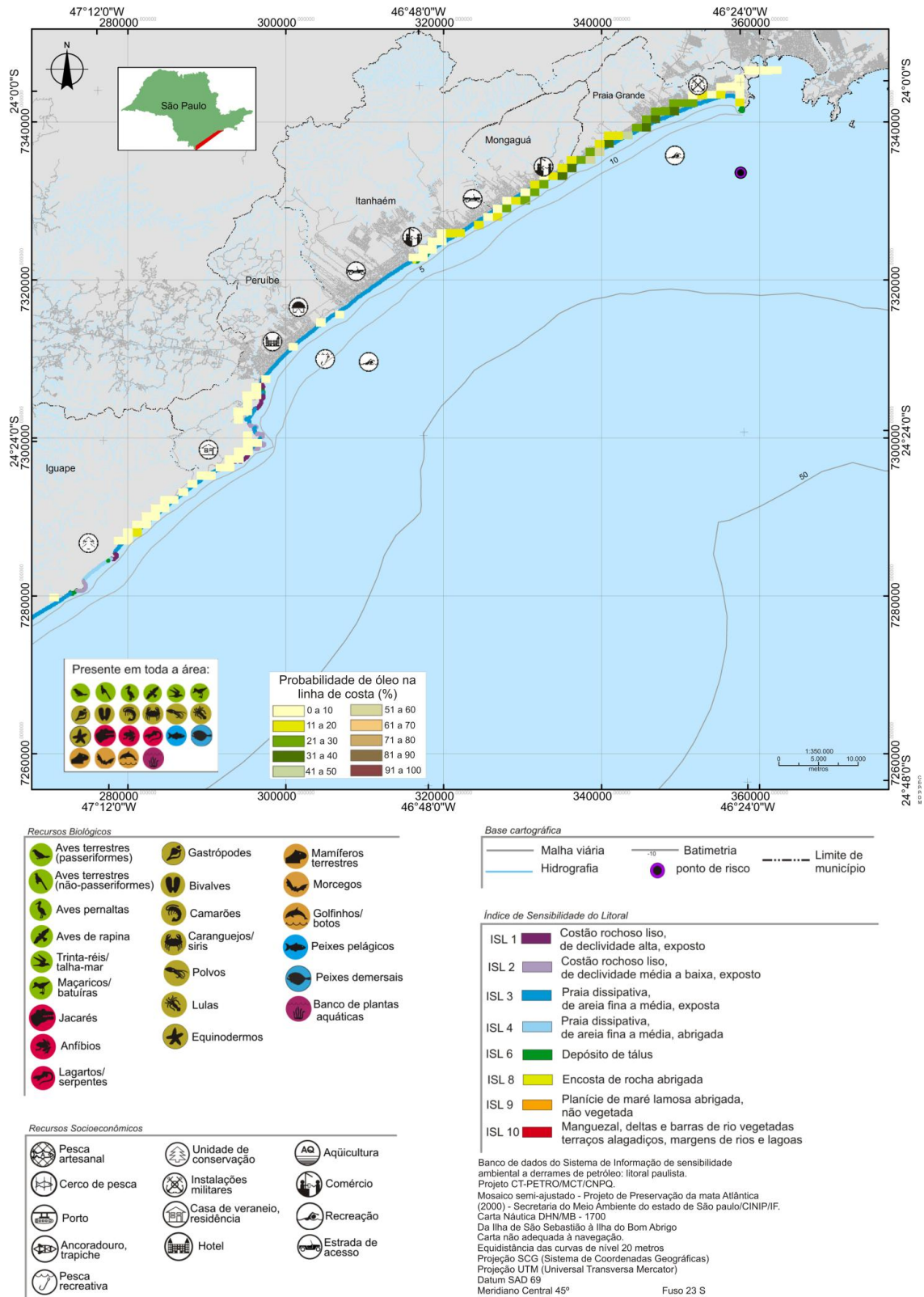


Fig. 5 – Mapa de vulnerabilidade apresentando probabilidades de toque na costa em condições de verão.

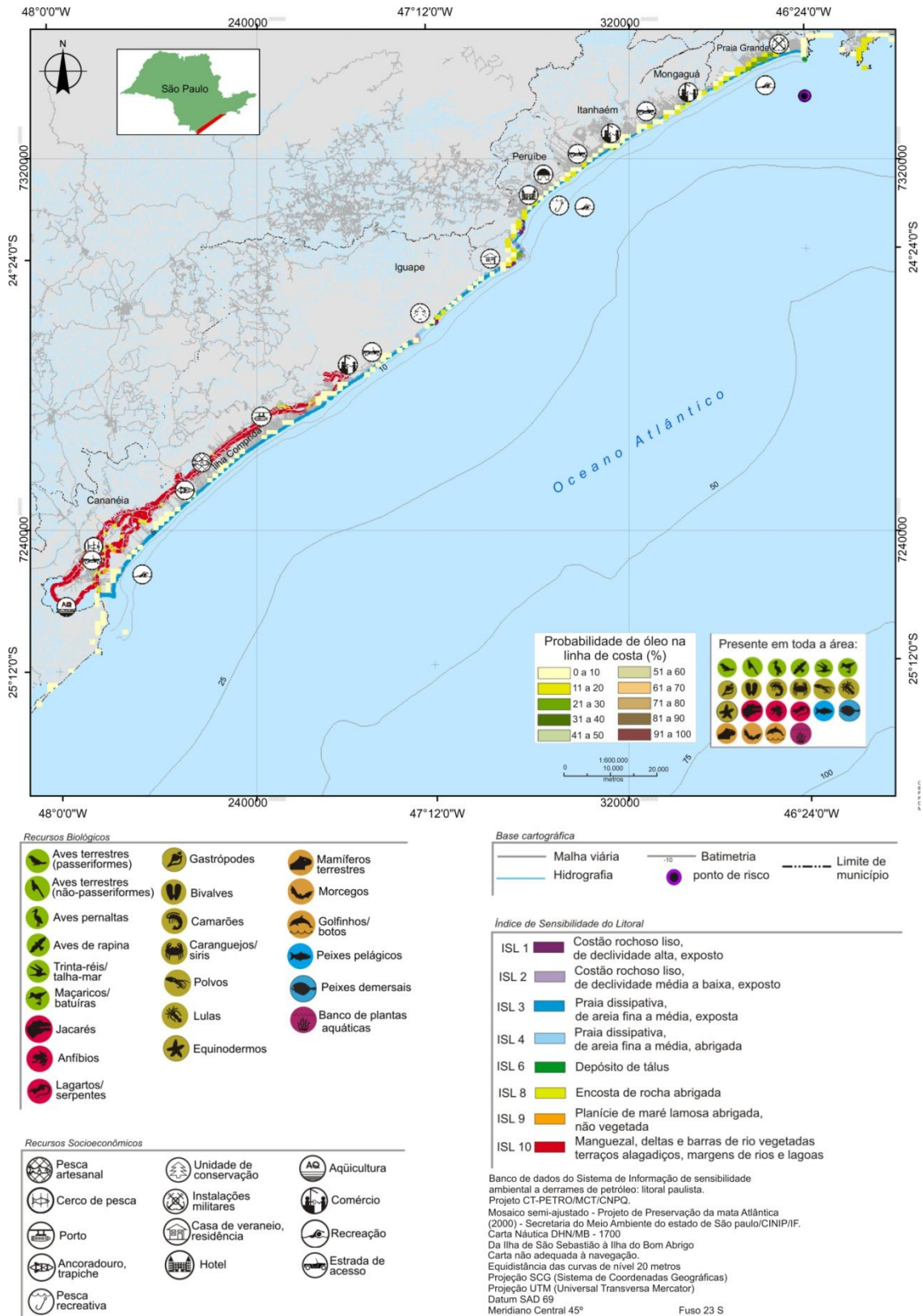


Fig. 6 – Mapa de vulnerabilidade apresentando probabilidades de toque na costa em condições de inverno.



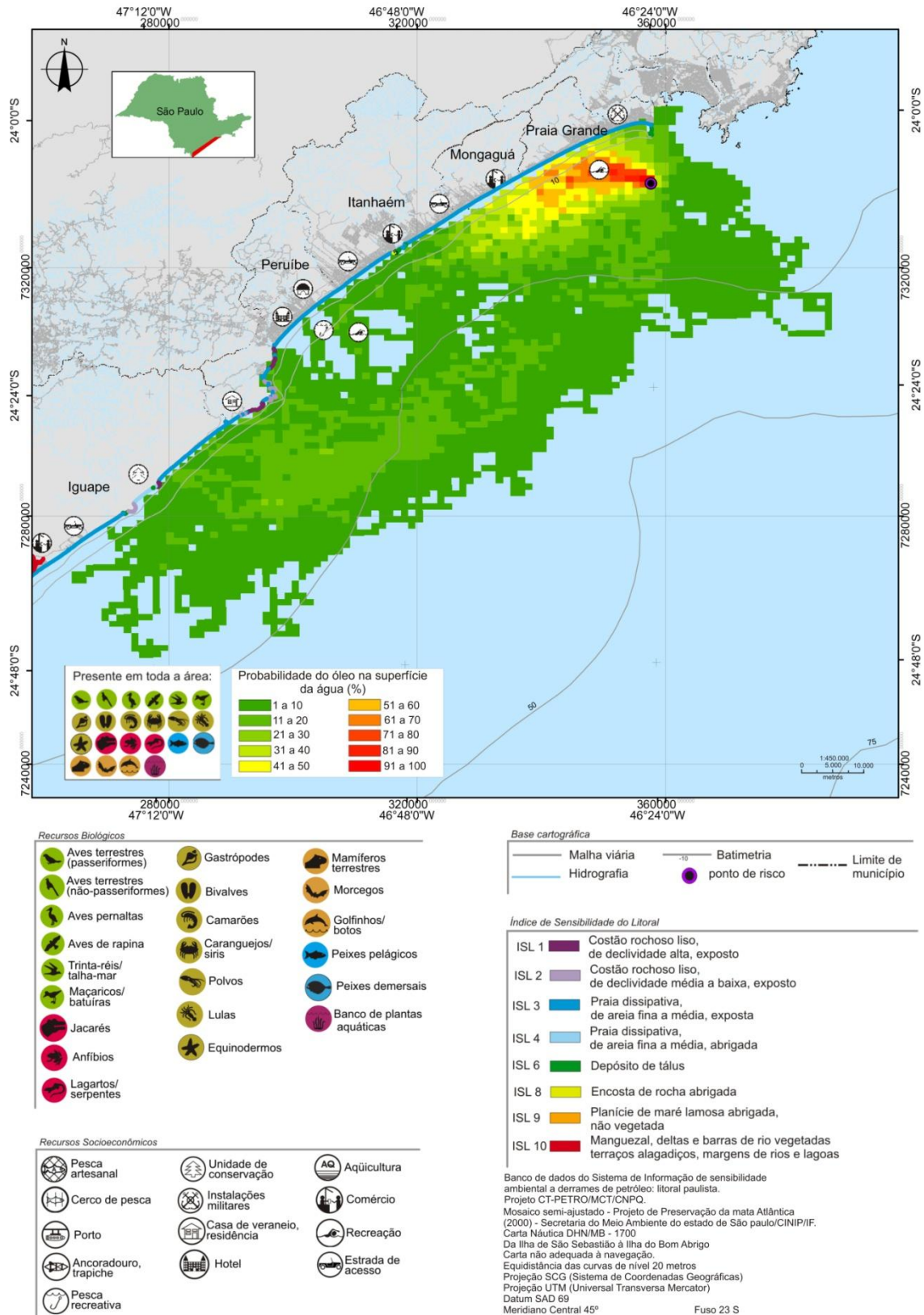


Fig. 7 – Mapa de vulnerabilidade apresentando probabilidades de óleo na superfície da água em condições de verão.

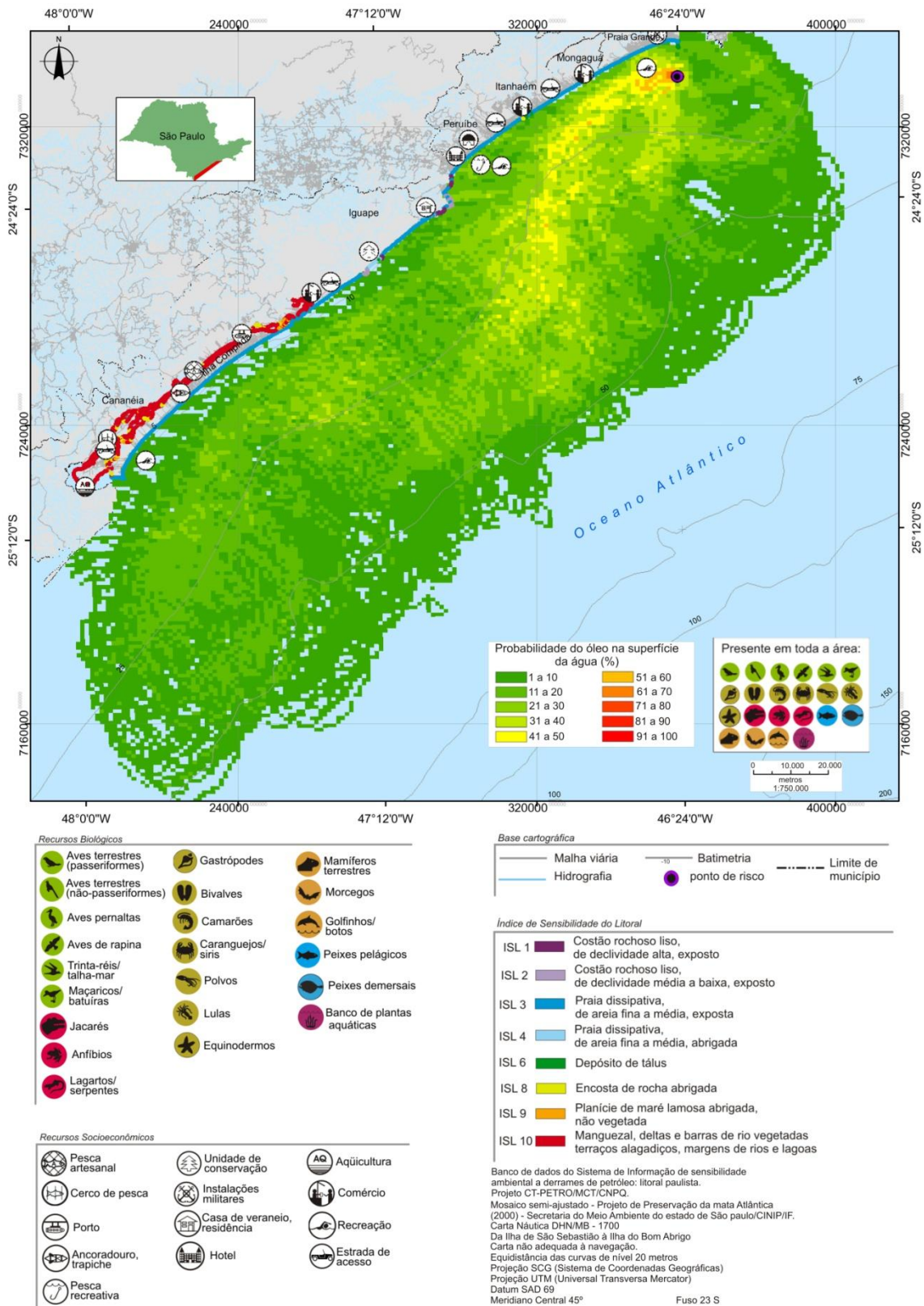


Fig. 8 – Mapa de vulnerabilidade apresentando probabilidades de óleo na superfície da água em condições de inverno.



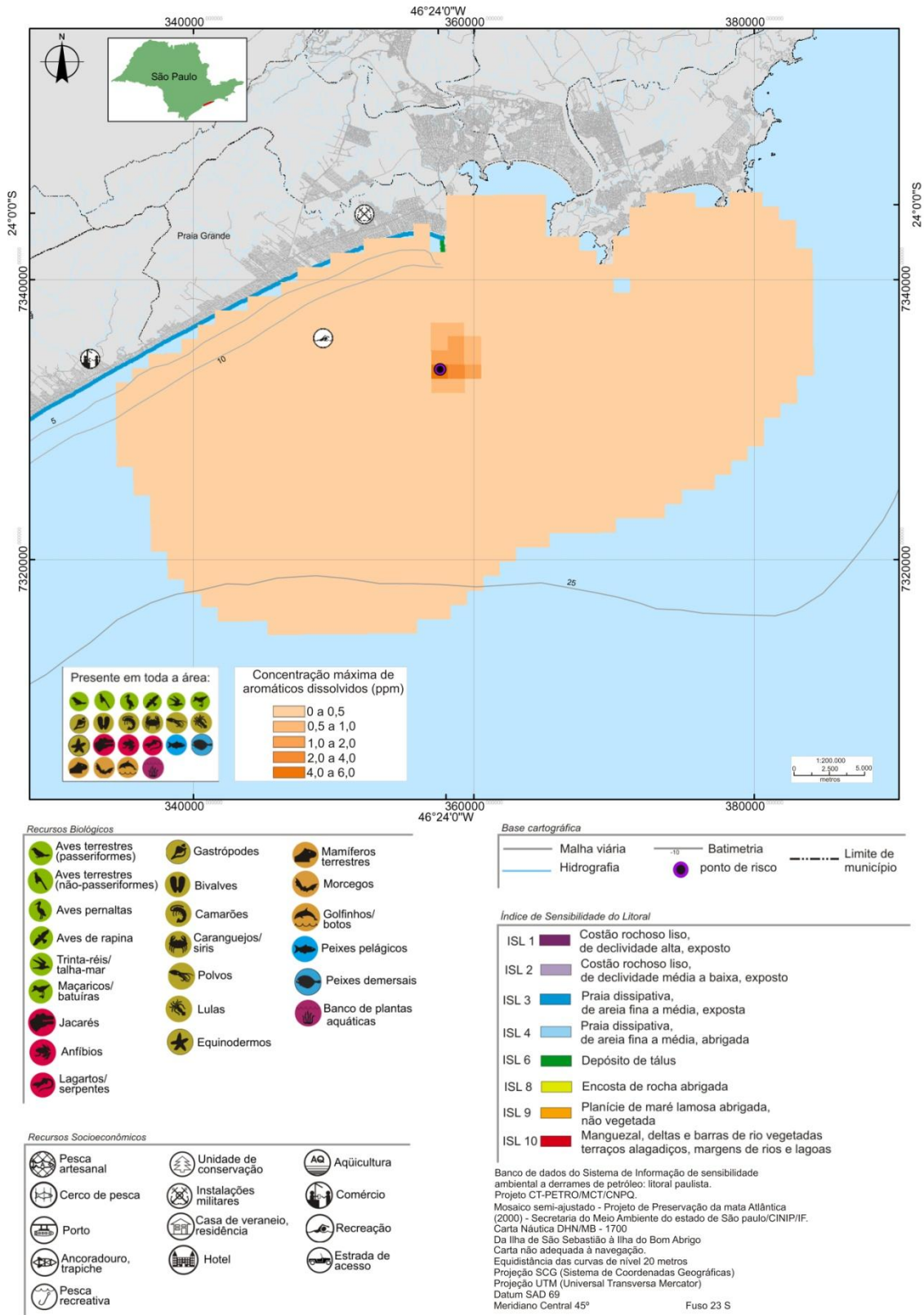


Fig. 9 – Mapa de vulnerabilidade apresentando a concentração máxima de aromáticos dissolvidos na coluna d’água em condições de verão.



## 5. CONCLUSÃO

A elaboração de Mapas de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo considerando sua concentração na coluna d'água mostrou-se um método com grande potencial na identificação das áreas que podem ser impactadas, o que representa efetivamente um avanço sobre a simples representação dos contornos baseados em espessura de mancha. Através das informações contidas no mapa, o órgão ambiental competente pode avaliar os reais impactos causados à comunidade biológica na área atingida pelo vazamento, os quais podem estar muito além dos limites visuais do óleo na água. Por outro lado, conhecer o comportamento da mancha na superfície da água orienta as ações de combate, fundamentais para a contenção e remoção do óleo antes que este atinja os ambientes costeiros.

A realização deste estudo permitiu testar a metodologia proposta para a elaboração de mapas de vulnerabilidade, gerando conhecimento preliminar que poderá ser utilizado para futuras discussões a respeito do assunto. A utilização de modelos numéricos tridimensionais para elaboração de mapas de vulnerabilidade, que apresentam as variações de concentração de óleo ao longo da coluna d'água, ainda não é utilizada no Brasil e novos estudos devem ser realizados dentro desta linha de pesquisa. Diante das constatações obtidas no presente trabalho, é fundamental que os padrões estabelecidos pelos órgãos ambientais contemplem o cenário de toxicidade nos mapas de vulnerabilidade.

Os resultados da modelagem permitiram verificar que a falta de padronização na obtenção de valores de toxicidade do óleo pode dificultar a avaliação dos impactos causados por um derramamento, bem como a comparação e unificação de mapas elaborados por diferentes autores.

A elaboração de mapas de vulnerabilidade representando períodos de verão e inverno mostrou-se importante, com diferenças significativas no comportamento da mancha em superfície e coluna d'água durante os dois períodos. Ambientes com baixa vulnerabilidade durante o verão podem ter uma maior vulnerabilidade durante o inverno.

O comportamento dos compostos aromáticos dissolvidos também variou sazonalmente, com a ausência destes nos cenários de inverno. Portanto, é importante que a sazonalidade seja representada, pelo menos nos picos de verão e inverno.

Ressalta-se a extrema relevância da iniciativa do órgão ambiental brasileiro em organizar e sistematizar os dados gerados por diferentes atores na construção de cartas SAO e mapas de vulnerabilidade na costa brasileira, para que em um futuro próximo tenhamos uma base de dados robusta e unificada como suporte efetivo no combate a grandes vazamentos de petróleo na costa brasileira, diante de novo cenário que se apresenta, devido ao potencial exploratório das regiões de pré-sal na Bacia de Santos.

## AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional do Petróleo (ANP), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT, por disponibilizar os recursos financeiros para o desenvolvimento deste trabalho. Ao Grupo de Pesquisa em Sensibilidade Ambiental – PRH 05; ASA South America.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, J. W.; NEFF, J. M.; COX, B. A.; TATEM, H. E.; HIGHTOWER, G. M. The effects of oil on estuarine animals: toxicity, uptake and depuration, respiration. **Pollution and Physiology of Marine Organisms**, p.285-310. 1974.

ANDERSON, E.; THOMAS, R. Oil Spill Modelling – Effective Response & Contingency Planning Tools. Presented at: Oil Spill Response, 18 – 21 may, Orchard Hotel, Singapore, 1998.

ARAÚJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. Manual básico para a elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras. Petrobras, Rio de Janeiro, 2001.

BORZONE, C. A.; SOUZA, J. R. B.; SOARES, A. G. Morphodynamic influence on the structure of inter and subtidal macrofaunal communities of subtropical sandy beaches. **Revista Chilena de Historia Natural**, 69, 565-577. 1996.

BRAGA, F. P. S.; SOUZA FILHO, P. W. M. Sedimentologia e morfologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: um estudo para definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. In: 4º PDPETRO, Campinas, SP, 21-24 outubro de 2007.

BRASIL. Lei nº9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 abr. 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente/ IBAMA. **Modelagem de derramamento de óleo no mar**. Informação técnica ELP/IBAMA nº 023/02, 9p. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Programa de Gerenciamento Ambiental Territorial. Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília, 2004.

- BRASIL. Resolução CONAMA n°398, de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 jun. 2008.
- BRAZEIRO, A. Relationship between species richness and morphodynamics in sandy beaches: What are the underlying factors? **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, Vol. 224. p. 35-44. 2001.
- CALIL, L. M.; CANDELLA, R. N.; FRAGOSO, M. R. Estudo do fluxo da Corrente do Brasil a partir de derivadores oceânicos. Disponível em : < [http://www.prooceano.com.br/mondo/artigos/CALIL\\_et\\_al\\_2008.pdf](http://www.prooceano.com.br/mondo/artigos/CALIL_et_al_2008.pdf)>. Acesso em: jan. 2009.
- CHAN, G.L. A study of the effects of the San Francisco oil spill on marine organisms. In: Proceedings of Joint Conference, Washington, DC, 13-15 mar, p. 741-781. 1973.
- CHAN, G.L. A study of the effects of the San Francisco oil spill on marine life. Part 2: Recruitment. In: Proceedings of Conference on prevention and control of oil pollution. 1975.
- CONCAWE. Heavy fuel oils. Brussel, 1998. Disponível em: < [http://www.accede.org/prestige/documentos/Tox\\_fuel\\_pesado.pdf](http://www.accede.org/prestige/documentos/Tox_fuel_pesado.pdf)>. Acesso em: 06 de fev. de 2009.
- DEFEO, O.; JARAMILLO, E.; LYONNET, A. Community structure and intertidal zonation of the macroinfauna in the Atlantic coast of Uruguay. **Journal Coastal Research**, 8, 830-839, 1992.
- DEXTER, D. M. Community structure of intertidal Sandy beaches in New South Wales. Australia. In: McLachlan, A.; Erasmus, T. (Eds), **Sandy beaches as ecosystems**. W. Junk, The Hague, p. 461-472, 1983.
- ELHAKEEM, A. A.; ELSHORBAGY, W.; CHEBBI, R.; Oil spill simulation and validation in the Arabian (Persian) Gulf with special reference to the UAE Coast. **Water Air Soil Pollut**, 184, p. 243 – 254, 2007.
- FERNANDES, R. S. R.; SOARES-GOMES, A. Community structure of macrobenthos in two tropical sandy beaches with different morphodynamic features, Rio de Janeiro, Brazil. **Marine Ecology**, 27, pp. 160-169, 2006.
- FRENCH, D. P.; SCHUTTENBERG, H. Z.; ISAJI, T. Probabilities of oil exceeding Threshold of concern: examples from an evaluation for Florida Power and Light. In: 22<sup>th</sup> Arctic and Marine Oil spill (AMOP), Calgary, Alberta, Canada, June 1-4, 1999, vol.1, pp. 243-270.
- FRENCH-McCAY, D. P. Modelling oil and chemical spill impacts. **Sea technology**, 42(4), April 2001, pp. 43-49.
- FRENCH-McCAY, D. P. Modeling evaluation of water concentrations and impacts resulting from oil spills with and without the application of dispersants. **Journal of Marine Systems**, Special Issue, 2002.
- FRENCH-McCAY, D. P.; PAYNE, J. R. Model of oil fate and water concentrations with and without application of dispersants. In: Proceedings of the 24<sup>th</sup> Arctic and Marine Oil spill (AMOP) Technical Seminar, Edmonton, Alberta, Canada, June 12-14, 2001, Environment Canada, pp. 611-645.
- FRENCH McCAY, D. P.; ROWE, J J.; WHITTIER, N.; SANKARANARAYANAN, S.; ETKIN, D. S. Estimation of potential impacts and natural resource damages of oil. **Journal of Hazardous Materials**, vol. 107/1-2, pp. 11-25, 2003.
- FRENCH McCAY, D. P.; WHITTIER, N. Modeling Assessment of potential fates and exposure for Oil Spills and Heavy Fuel Oil spills. In: Proceedings of International Oil Spill Conference, American Petroleum Institute, Washington, DC, April 2003.
- FRENCH McCAY, D. Modeling impacts of oil and chemical releases. **Sea technology**. Sep. 2006.
- GEARING, P. J.; GEARING, J. N.; PRUELL, R. J.; WADE, T. L.; QUINN, J.G. Partitioning of n° 2 fuel oil in controlled estuarine ecosystems: sediments and suspended particulate matter. **Environmental Science and Technology**, 14, p. 1129-1136, 1980.
- GEYER, R. A. Marine environmental pollution. Amsterdam, Oxford, New York: Elsevier Scientific Publishing Company. 1980.
- HARGREAVES, F. M.; SÃO THIAGO, P. M.; PINHEIRO, F. M.; BAPTISTA, M. C.; CABRAL, A. P. Integração de dados multi-fonte e modelagem matemática no apoio às atividades offshore de exploração e produção de petróleo. In: Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia, Vitória, ES, 9 a 12 de outubro de 2005.
- IPIECA. *Guía para la planificación de contingencias ante derrames de hidrocarburos em água*. Série de informes de IPIECA. V. 2. p. 28, 2000.
- JAYKO, K.; HOWLETT, E. OILMAP: An interactive oils spill model. **IEEE**, p. 203 – 206, 1992.

- LEE, R. F.; WONG, C. S.; CRETNEY, W. J.; WHITNEY, F. A. PARSONS, T. R.; LALLI, C. M.; WU, J. Microbial response to crude oil and Corexit 9527: SEAFLEXES enclosure study. **Microbial Ecology**, 11, p. 337-351, 1985.
- LEE, R. F. Oil-particle interactions in aquatic environments: influence on the transport, fate effect and remediation of oil spills. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 8, n. 1, p. 3-8, 2002.
- LI, Y.; BRIMICOMBE, A. J.; RALPHS M. P. Spatial data quality and sensitivity analysis in GIS and environmental modeling: the case of coastal oil spills. **Computers, Environment and Urban Systems**, 24, p. 95-108, 2000.
- LINDEN, O. ;ELMGREN, R.; BOEHM, P. The *Tsesis* oil spill: its impact on the coastal ecosystem of the Baltic Sea. **Ambio**, vol.8, n.6, p.244-253. 1979.
- LOPES, C. F.; MILANELLI, J. C. C.; POFFO, I. R. F. Ambientes costeiros contaminados por petróleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação. Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2006.
- MILANELLI, J.C.C.; POFFO, I.R.F.; XAVIER, J.C.M. e MOURA, D.O. Vazamento do oleoduto P2 na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. Janeiro de 2000. Laudo pericial elaborado para o Ministério Público Federal. 2000.
- NEFF, J. M.; ANDERSON, J. W. Response of marine animals to petroleum and specific petroleum hydrocarbons. London, GB, Applied Science, 1981.
- NOAA. *Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115*. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 79 p.+ appendices. 1997.
- PICARELLI, S.S; HARARI, J.; CAMARGO, R. de. Modeling the tidal circulation in Cananéia – Iguape Estuary and adjacent coastal area (São Paulo, Brazil). **Afro-America Gloss News**. Edição 6 (1). 2002. Disponível em: <www.mares.io.usp.br/aagn/61/harari/jh.html>. Acesso em: 04 out. 2007.
- PICARELLI, S.S; HARARI, J. Análise da variabilidade do nível do mar na região costeira Centro-Sul do Estado de São Paulo através de modelagem numérica (efeitos de maré, ventos e do campo de densidade). **Afro-America Gloss News**. Edição 10 (1). 2006. Disponível em: www.mares.io.usp.br/aagn/aagn10/AAGN2006ssp\_jh. pdf. Acesso em: 04 out. 2007.
- PINHEIRO, F. M.; HARGREAVES, F. M.; SÃO THIAGO, P. M.; CABRAL, A. P.; BAPTISTA, M. C.; SOARE, I. D.; SKOGNES, K.; REED, M. Aplicação de modelagem de dispersão de óleo em estudos ambientais e elaboração de planos de contingência. In: Anais do II Congresso Brasileiro de Oceanografia, Vitória, ES, 9 a 12 de outubro de 2005.
- SÃO PAULO. Secretaria do meio Ambiente do Estado de São Paulo/ CETESB. **Água do mar – teste de toxicidade agda com *Mysidopsis juniae* Silva, 1979 (Crusacea: Mysidacea)**. L5.251, julho 1992.
- SÃO PAULO. Secretaria do meio Ambiente do Estado de São Paulo/ CETESB. **Determinação do declive, perfil e área entre-marés de praias de areia**. Procedimento Operacional Padronizado – P.O.P.nºDAHC-MA-042. p. 21, 1998.
- SHRIADAH, M. M. A. Impacts of an oil spill on the marine environment of the United Arab Emirates along the Gulf of Oman. **Marine Pollution Bulletin**, vol.36, nº11, p.876-879. 1998.
- SILVEIRA, I. C. A. da; SCHIMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. de; IKEDA, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 48 (2), p. 171-183, 2000.
- SOARES, I. D.; ALVES, F. N.; PIOVESAN, R. Simulação da Dispersão de Óleo na Bacia de Santos. In: 3º Congresso Brasileiro de Petróleo e Gás, Salvador, BA, 2-5 de outubro de 2005.
- SOUZA, M. C. de A. **A corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas**. Dissertação (mestrado em Oceanografia Física). Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2000.
- SOUZA, C.R.G.; SOUZA, A.P.. Geologia e Geomorfologia da área da Estação Ecológica Juréia-Itatins. In: MARQUES, O.A.V; DULEBA, W. (Editores). **Estação Ecológica Juréia-Itatins – Ambiente Físico, Flora e Fauna**. Ed. Holos, Ribeirão Preto, 2004. p.16-31.
- SPAULDING, M. L.; ANDERSON, E.; HOWLETT, E.; MENDELSON, D. OPISHINSKI, T. Application of OILMAP and SIMAP to predict the transport and fate of the North Cape Spill, Narragansett, RI. In: 19<sup>th</sup> Arctic and Marine Oilspill Program (AMOP) Technical Seminar, June 12-14, 1996, Calgary, Alberta Canada.
- STROBEL, C. J.; BRENOWITZ, A. H. Effects of Bunker C oil on juvenile horseshoe crabs (*Limulus polyphemus*). **Estuaries**, vol.4, n.2, p.157-159, 1981.
- TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, 17, p. 11-23, 2005.

THOMAS, M. L. H. Effects of Bunker C oil on intertidal and lagoonal biota in Chedabucto Bay, Nova Scotia. **J. Fish Res Board Can.**, vol.30, p.83-90, 1973.

THOMAS, M.L.H. Comparison of oiled and unoiled intertidal communities in Chedabucto Bay, Nova Scotia. **J Fish Res Board Can**, vol.35, p.707-716, 1978.

TSVETNENKO, Y. Derivation of australian tropical marine water quality criteria for the protection of aquatic life from adverse effects of petroleum hydrocarbons. **Environmental Toxicol. Water Qual.**, 13, p. 273-284, 1998.

WADE, T. L.; QUINN, J. G. Incorporation, distribution, and fate of saturated petroleum hydrocarbons in sediments from a controlled marine ecosystem. **Marine Environmental Research**, 3, p. 15-33, 1980.

WADSWORTH, T. Country Profiles: a summary of oil spill response arrangements and resources worldwide. **International Oil Spill Conference**, v.1, n. 159, 1999.

WANG, S. D.; SHEN, Y. M.; GUO, Y. K.; TANG, J. Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas. **Ocean Engineering**, 35, p. 53 – 510, 2008.