

# Simulador computacional de acidentes com derramamento de óleo em águas litorâneas brasileiras

Luiz Alexandre Garcia Aleixo

Professor adjunto da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas da  
Universidade São Judas Tadeu, Rua Taquari, 546, São Paulo, SP., Brasil

55 11 20411310

[prof.laleixo@usjt.br](mailto:prof.laleixo@usjt.br)

Marco Antonio Leite

Centro de pesquisa da Universidade São Judas Tadeu, Rua Taquari, 546, São  
Paulo, SP., Brasil

55 11 2799 1999

[mcaleite@uol.com.br](mailto:mcaleite@uol.com.br)

Toshi-ichi Tachibana

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo, Av. Prof. Mello Moraes, 2231, São  
Paulo, SP., Brasil

55 11 3091 5525

[tatibana@usp.br](mailto:tatibana@usp.br)

## Simulador computacional de acidentes com derramamento de óleo em águas litorâneas brasileiras

**Resumo:** A severidade do impacto ambiental decorrente de um derramamento de óleo depende de uma variedade de fatores. Ocorrido um derramamento, o óleo se espalha e difunde pelo meio imediatamente. A velocidade do espalhamento é função das características do óleo que tem suas propriedades físicas e químicas alteradas em decorrência da evaporação e das condições ambientais presentes. As condições atmosféricas, a temperatura da água, do ar e a do óleo são elementos que também influenciam no espalhamento e na consequente agressão ao meio, à flora e à fauna dos locais atingidos. Dessa forma, estabelecer prontamente a dimensão do espalhamento e a evolução da trajetória bem como da área afetada constituem-se em elementos importantíssimos no planejamento e na logística de resposta ao vazamento. Dentre as formas de previsibilidade da área atingida estão as simulações numéricas, as simulações experimentais e as mistas as quais, empregando recursos computacionais, auxiliam nas estratégias de atuação frente ao problema. Neste trabalho é desenvolvido um sistema computacional de simulação mista empregando dados experimentais relativos à correnteza de superfície, velocidade do vento, temperatura do óleo e da água e da viscosidade do óleo, apresentando resultados específicos para a visualização gráfica de acidentes de derramamento de óleo, em águas litorâneas brasileiras. O sistema foi desenvolvido para computadores pessoais e assim, torna possível a previsibilidade da trajetória e da extensão da mancha no próprio local atingido.

Palavras chave: Simulação. Poluição. Dispersão. Oil Spill.

## 1 INTRODUÇÃO

Vazamentos de gás e óleo no ambiente marinho vêm acontecendo a milhares de anos. Atualmente, descargas urbanas residenciais e industriais bem como acidentes envolvendo navios, plataformas e oleodutos representam, conforme dados recentes, a maior parte do petróleo lançado ao mar. Além do petróleo propriamente dito, derivados e outros produtos químicos também representam uma ameaça constante ao ambiente pela possibilidade de acidente e pela dificuldade em responder prontamente à degradação que será provocada.

Uma vez ocorrido um acidente é necessário agir prontamente para minimizar a área atingida cercando por meio de defensas o produto derramado. Para tal, deve-se estabelecer rapidamente o volume de materiais e de recursos humanos necessários o que demanda previsões de toda ordem. Assim, os simuladores são empregados no auxílio de tais previsões e dessa forma neste trabalho é realizado o desenvolvimento de um sistema computacional, que trata dados das propriedades físicas e químicas dos produtos, comumente transportados no litoral brasileiro, das variáveis climáticas e das condições do mar com a finalidade de gerar simulação e visualização do espalhamento do produto derramado.

Em caso de acidente, a evolução da disseminação do produto vazado e a previsão da região afetada auxiliam no plano de ação de limpeza, contenção e recuperação da área degradada, permitindo assim, que equipes de apoio desenvolvam ações que ajudem a conter o espalhamento que é influenciado pela distância que separa o local da costa, pela morfologia da costa, pelas propriedades físicas e químicas do produto, pelos ventos, ondas e pela correnteza de superfície, CETESB, 2010. Assim, a simulação da área atingida deve levar em consideração os fatores intervenientes. Dessa forma, neste trabalho é concebido um *Simulador* para visualizar o espalhamento de produtos derramados no litoral brasileiro, por meio de uma ferramenta computacional, que gera o tamanho da área afetada em relação ao tempo.

## **2 METODOLOGIA**

Modelando o ambiente foco do estudo, o mesmo passa a ser descrito por uma série de conjuntos de valores variáveis que fornecerão a descrição da evolução matricial do ambiente. As evoluções são analisadas em função do tempo gerando novas matrizes do ambiente e assim por diante. O sistema computacional irá interpretar esses valores alcançados e gerar interfaces gráficas para visualização por meio de sobreposição de imagens no mapa, determinando a provável direção e área atingida.

Para desenvolvimento do sistema de simulação foram estabelecidos como Requisitos Funcionais: a Visualização Gráfica do mapa do litoral brasileiro com a Funcionalidade: Visualização Gráfica do mapa do litoral brasileiro com Prioridade: Alta.

Dessa maneira, como Descrição: O sistema irá exibir ao usuário o mapa do litoral brasileiro com a imagem do local da catástrofe, conforme dados incluídos no sistema pelo usuário, com opções de simulação da rota da mancha em relação ao tempo, correntes marítimas e ondas.

Para cálculo da rota da mancha do acidente foi estabelecida a Funcionalidade: Cálculos da rota da mancha no local do acidente, com Prioridade: Alta, o que pode ser Descrito como: O sistema irá realizar os cálculos com base nas variáveis fornecidas para definir qual a rota da mancha no mar, e assim exibir no mapa o seu avanço.

## **3 PREMISSAS**

Estação de Trabalho: O Sistema foi desenvolvido para trabalhar com o Sistema Operacional Windows ou Linux com resolução de vídeo 1280 x 1024 ou superior.

## 4 RESTRIÇÕES

Para Sistemas Operacionais MAC OS (Apple), o sistema de simulação depende de adaptações.

Na Figura 1, ilustra-se o principal Caso de Uso do sistema, no qual o ator tem acesso ao sistema que lhe permite fazer as Simulações de Acidentes.



Figura 1. Caso de Uso

### 4.3 SOLUÇÃO APRESENTADA

O desenvolvimento do *Simulador baseou-se numa* Pesquisa Técnica da ferramenta de desenvolvimento do software e na adequação aos Modelos Matemáticos existentes.

### 4.4 SOFTWARE

Para o desenvolvimento do software foi escolhida a linguagem de programação JAVA com utilização da ferramenta eclipse que é um software livre sob os termos da GNU General Public Licence (GPL), utilizando as técnicas da Computação Gráfica 2D e algoritmos relacionados.

No atendimento aos requisitos funcionais de visualização do mapa, o sistema possui em sua base de dados de pontos referentes às coordenadas geográficas do litoral brasileiro incluindo suas principais ilhas.

Quanto à geração da visualização gráfica do mapa na interface do usuário, a aplicação atua nos pontos de *coordenadas geográficas decimais* com o

algoritmo de conversão de coordenadas decimais em pontos de pixel na área de visualização do sistema.

Na exibição das imagens gráficas foi utilizado o algoritmo “floodfill” para realização do preenchimento interno do mapa, (HEARN; BAKER, 1996 pg 130) conforme ilustrado na Figura 2.

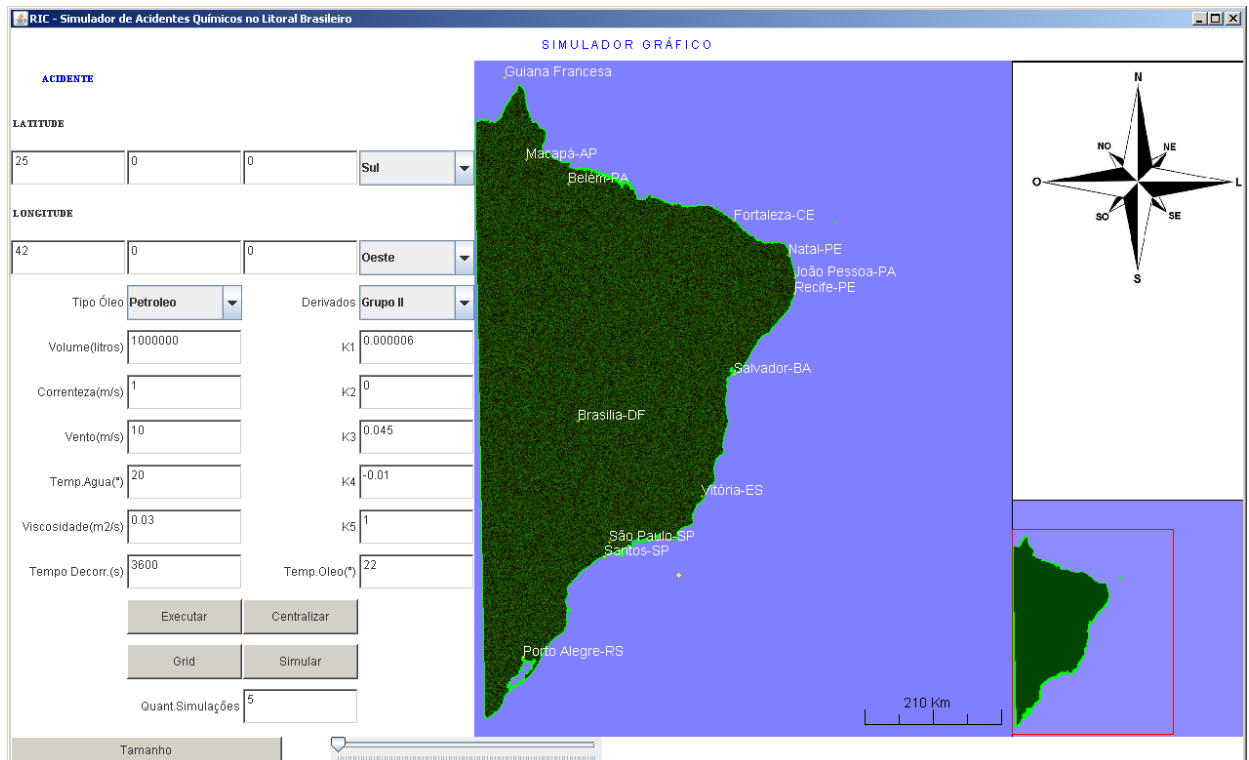


Figura 2. Tela do Sistema

Com o objetivo de facilitar a visualização e localização dos objetos na tela, pelo usuário do sistema, foi criada a visualização de “grid”, por meio de um método dentro da classe, contendo as posições geográficas dos objetos na tela, entendidos como objetos o continente, as ilhas e a mancha do acidente, conforme ilustrado na Figura 3.

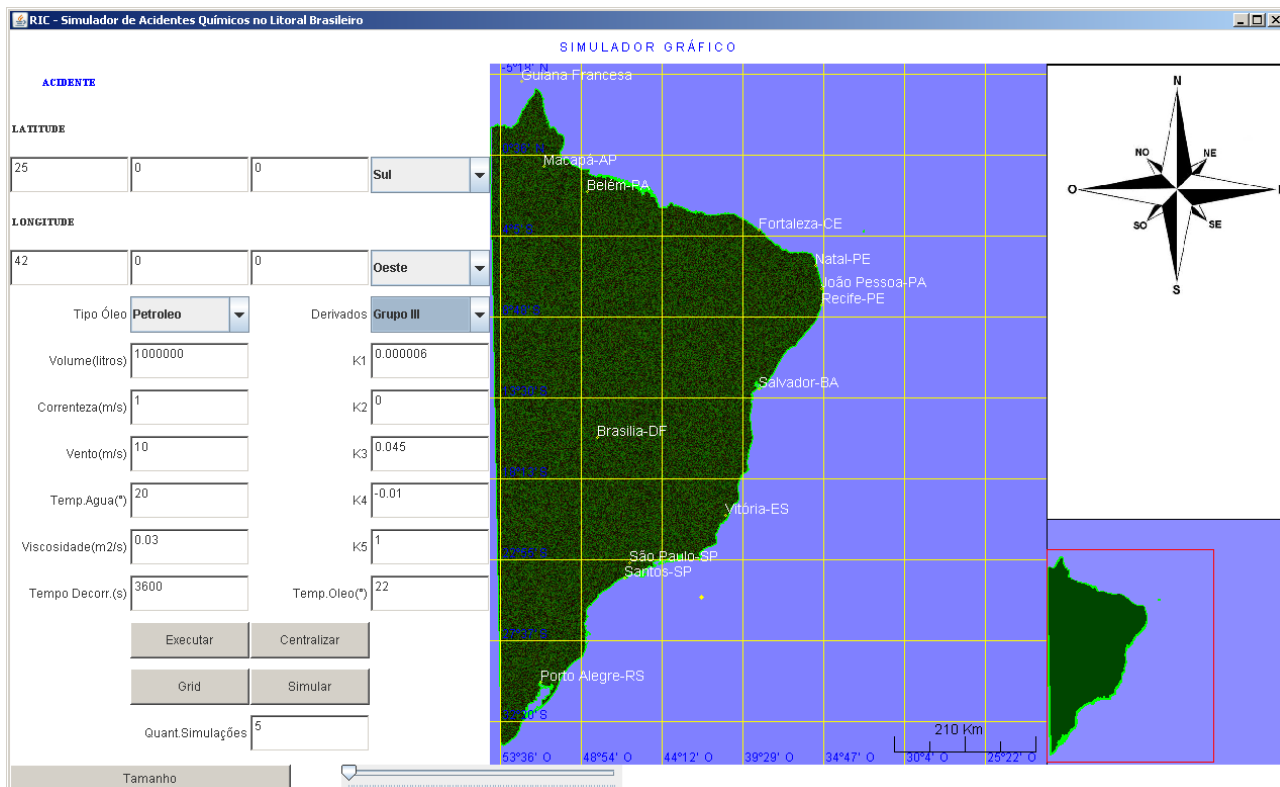


Figura 3. Tela do Sistema com Grid

## 4.5 MODELOS MATEMÁTICOS

Modelagens para simulação do destino e comportamento do óleo derramado podem acompanhar uma série de abordagens diferentes. Desde um simples cálculo vetorial, para estimar a trajetória bidimensional do provável ponto central de uma mancha, a modelos mais elaborados do movimento e distribuição do petróleo em três dimensões com as previsões concorrentes das alterações de suas propriedades.

As principais propriedades que afetam o destino do óleo derramado no mar são a viscosidade e suas características de destilação, (IEA 2010). Assim, para modelar o movimento do óleo, são incluídos os parâmetros de entrada: tipo e a quantidade de óleo derramado, a taxa de liberação, dados ambientais incluindo o vento, as correntes oceânicas e as temperaturas do ar e da água.

Durante o período em que o acidente é modelado a força e a direção do vento são susceptíveis de mudanças e podem variar nos diferentes locais em toda a área do derramamento, todavia, o sistema ora proposto emprega os valores médios para cada intervalo de tempo.

É importante observar que o sistema tem finalidade operacional e dessa maneira serve como um guia útil para compreender como um espalhamento se comporta, sendo aplicável no planejamento e na execução de planos de limpeza de locais atingidos.

Os riscos específicos do local atingido, associados às decisões relativas as medidas de resposta, poderão ser avaliados em diferentes de cenários observando o movimento do óleo em seu comportamento simulado. Com base nos resultados, os locais mais vulneráveis podem ser identificados, e a logística de resposta pode ser alterada. Evidentemente, nenhuma garantia de que esses resultados serão exatamente os obtidos no caso de um derrame, mas os planejadores terão feito a melhor decisão com base nas previsões disponíveis.

Treinamentos de combate a derrames também requerem projeções de espalhamento. Assim, o sistema desenvolvido pode ser usado para criar cenários como em uma situação real, mesmo que sejam apenas exercícios de mesa. Na formação de pessoal são utilizados modelos em uma variedade de maneiras, como na execução de exercícios nos quais a tomada de decisões sobre que medidas devem ser tomadas e quais equipamentos devem ser mobilizados. Em seguida, o modelo é rapidamente encaminhado para uma nova etapa e os participantes são convidados a lidar com a situação atualizada. Desta forma, um evento de dias pode ser abreviado para até uma hora.

O uso de modelos em sistemas computadorizados em uma resposta de emergência em si é muito desafiador, dependendo dos detalhes do caso particular, porque exige a aquisição antecipada dos numerosos parâmetros de entrada. Normalmente a liberação é feita imediatamente após a ocorrência de um incidente, por exemplo, na sequência de uma colisão. Pouco se saberá sobre o tipo de óleo ou as quantidades envolvidas. À medida que o incidente se

desenvolve a informação é colhida melhorando o resultado do modelo. No entanto, uma aplicação imediata é a de informar para *onde* o movimento do petróleo se desloca o que pode não ser imediatamente evidente, por exemplo, na sequência de uma liberação instantânea de óleo à noite, como citado em (ITOPF, 2010).

Talvez a mais controversa aplicação da modelagem computacional é a avaliação dos danos. Modelagem computacional, neste caso é usada para identificar onde o óleo poderia ter ido quando se espalhou, derivou, dissolveu e evaporou. Nos modelos mais sofisticados, os dados de entrada para os estudos toxicológicos relacionados são usados junto com submodelos ecológicos para prever o tipo de exposição aguda e o impacto que pode ter sido gerado. O problema é que os modelos não prevêm exatamente os danos, eles simplesmente projetam cenários com base em uma série de hipóteses simplificadoras. Todavia, a avaliação de impacto pode ser uma ferramenta de planejamento útil, por exemplo, para estudar a necessidade de técnicas especializadas de limpeza.

## **5. RESULTADOS**

Após a realização de simulações numa vasta gama de cenários, na pesquisa e no desenvolvimento da aplicação, foi possível verificar que as simulações da dispersão da mancha de produtos químicos, derramados no litoral brasileiro, em relação ao tempo, apresentaram-se compatíveis com os modelos matemáticos aplicados para cada produto estudado.

Como resultado da execução da simulação no sistema computacional, uma visualização é gerada na interface do usuário, exibindo o local onde o acidente ocorreu. De acordo com os eventos associados ao instante de simulação, o sistema passa a tratar a dispersão que a mancha produz com o decorrer do tempo, gerando assim uma nova imagem da mancha.

Na figura 4 é exibida na interface do usuário uma simulação de 10 horas de 1.000.000 de litros de óleo derramado no litoral brasileiro, resultando numa mancha de 788,243 km<sup>2</sup>.

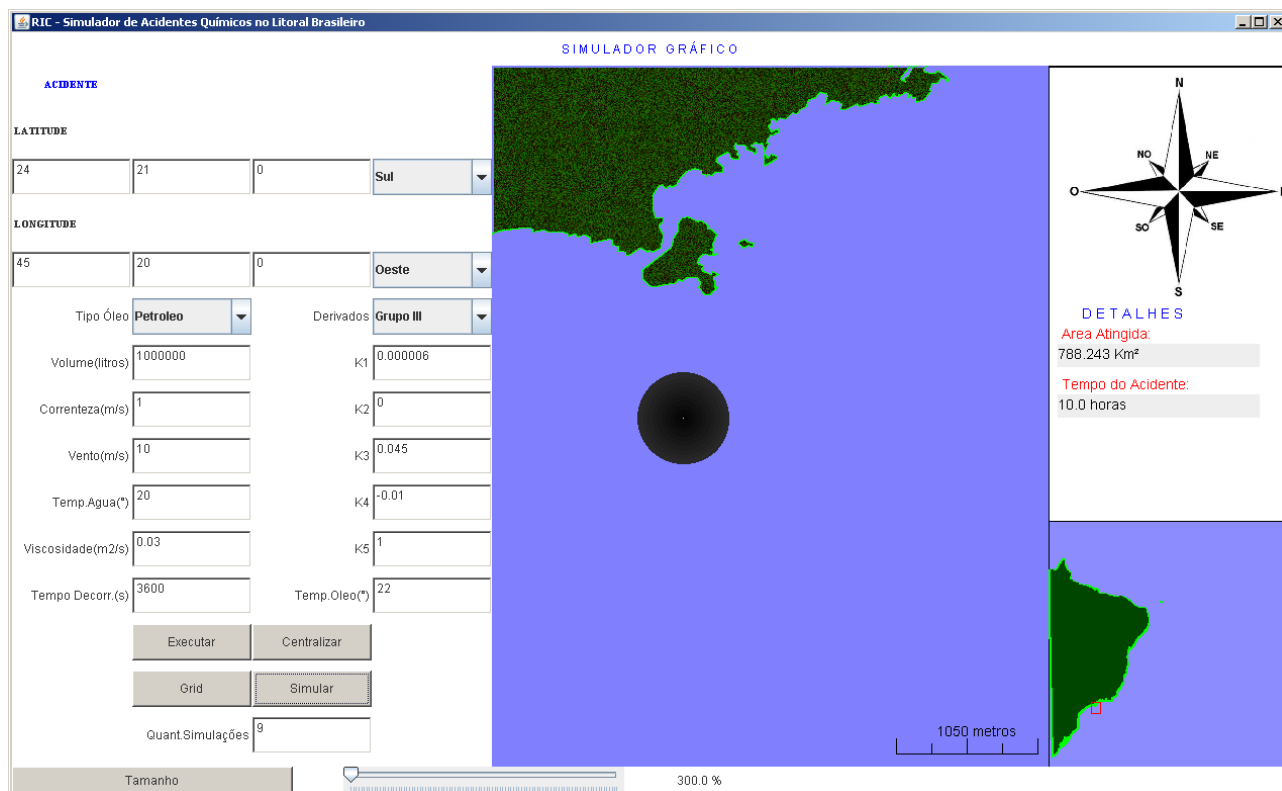


Figura 4. Tela do Sistema com Simulação de um Acidente

A aplicação ora desenvolvida, teve embasamento em dados relacionais que armazenam suas coordenadas em formatos de referências geográficas, que quando recuperadas permitem ao programa executável converter as coordenadas geográficas em coordenadas de pixel, por meio de um modelo matemático, e assim exibir no mapa, o acidente e a mancha.

## 6 DISCUÇÃO DOS RESULTADOS

Uma evolução da aplicação apresentada tende a melhoria se for aplicado o conceito de SIG (Geographic Information System), que são softwares desenvolvidos para tornar possível a captura, modelagem, manipulação,

recuperação, análise e apresentação de dados referenciados geograficamente, também chamados georeferenciados.

Os dados referenciados geograficamente são objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la (CÂMARA et al., 1996).

Os SIGs permitem a manipulação integrada de dados espaciais gerando consistência nas consultas e nas análises das informações além de propiciar a descrição de fenômenos geográficos, posições ou localizações geográficas, relacionamentos espaciais com outros fenômenos geográficos, instantes ou intervalos de tempo nos quais os fenômenos ocorrem ou tornam-se válidos.

Por intermédio do Geoprocessamento as Informações Geográficas são analisadas e modeladas através de representações computacionais do espaço e do tempo, (LISBOA. 2001). Ressaltando que os dados utilizados nos SIGs são mais Complexos do que simplesmente um *Conjunto de Atributos* que descrevem um determinado Objeto.

Os Dados tratados em Geoprocessamento possuem, como principal característica, a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados (WORBOYS; DUCKHAM. 2004), como, por exemplo, Mapas Digitalizados, Internet, Mapas Digitais, Memoriais Descritivos, GPS entre outras fontes. Dessa forma, os dados geográficos podem ser estruturados de duas formas para sua utilização: Matricial e Vetorial.

- **Estrutura Matricial (Raster):**

- Uma grade regular ou matriz com células de formato, normalmente, retangular.
- A posição da célula é definida pela linha e pela coluna onde está localizada na grade.

– Cada célula armazena um valor, que corresponde ao tipo de Entidade encontrada naquela posição.

– Quanto menor a dimensão das células, maior a resolução da imagem matricial e, conseqüentemente, maior a quantidade de memória necessária para armazená-la.

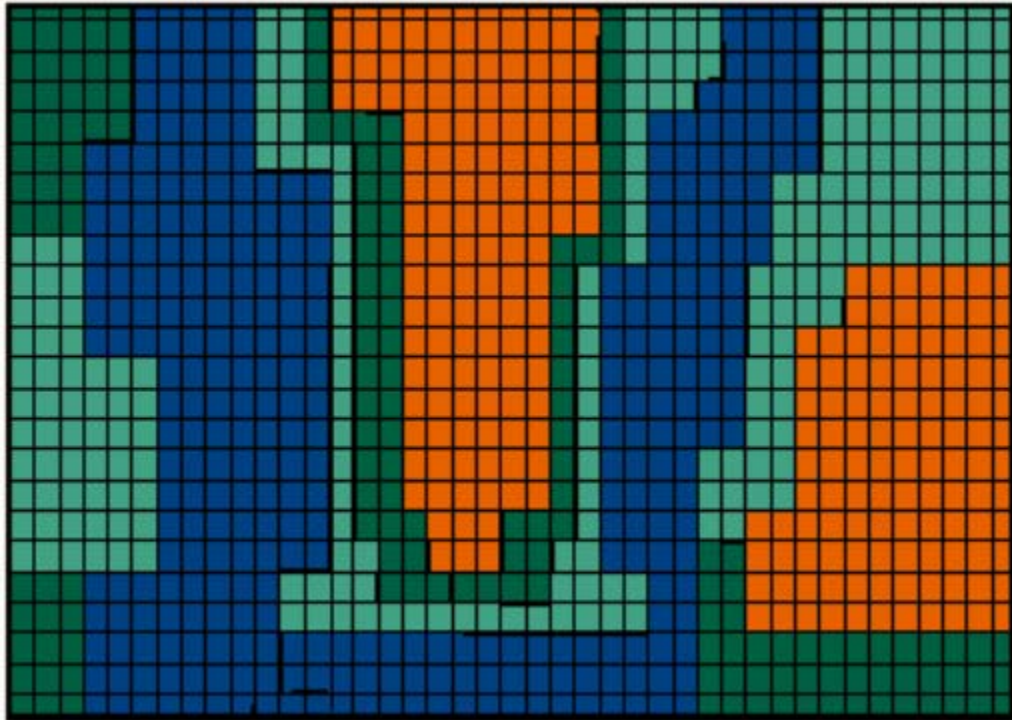


Figura 5. Representação Matricial para um Mapa (FOOTE; HUEBNER, 1996)

- **Estrutura Vetorial**

– Nesta, os objetos possuem identificação própria, utilizando Pontos, Linhas e Polígonos para representar as fronteiras das Entidades Geométricas. Contudo, uma Estrutura Vetorial que não preenche todas as posições no espaço, deve estar referenciada na base de dados.

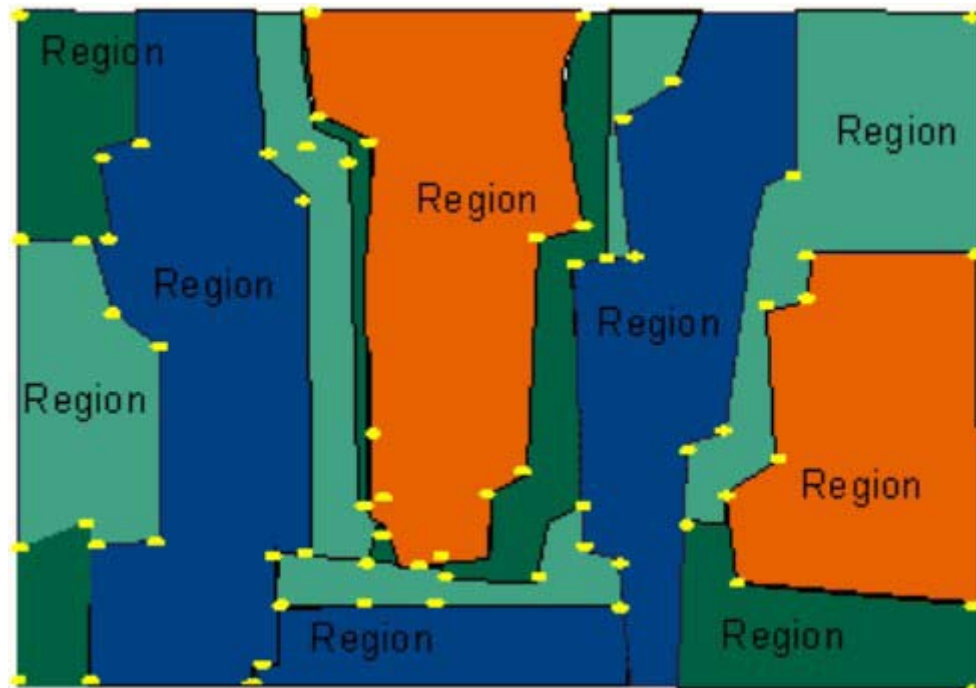


Figura 6. Representação Vetorial Correspondente a Imagem Raster (FOOTE; HUEBNER, 1996)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nas simulações indicam que o sistema apresenta condições de utilização em planos de contingência quanto à evolução da mancha de óleo e assim, produtos químicos líquidos, não miscíveis, também poderão ser avaliados. Contudo, ao serem utilizadas como ferramenta auxiliar para planejamento de ações de contenção e remoção do produto derramado, deve-se considerar que as simulações basearam-se em dados experimentais, e assim, válidos nas condições de laboratório, conforme relatado em ALEIXO, L.A.G.; TACHIBANA, T. 2007.

Para produtos específicos, é necessário reavaliar as constantes empregadas nas simulações bem como estabelecer novos cenários experimentais.

## 7 REFERÊNCIAS

ALEIXO, L. A. G.; TACHIBANA, T,. Viscosidade como fator determinante na dispersão de óleo no ambiente aquático. XX COPINAVAL, **Anais**, São Paulo, SP. 2007.

CÂMARA, G. et al. Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica. [S.l.]: Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – Vazamento de Óleo, 2001. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Emergencia/acidentes/vazamento/vazamento.asp>>. Acesso em: 15 maio 2010.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – Key World Energy Statistics 2006 Edition. Disponível em: <<http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2006/key2006.pdf>> Acesso em: 25 julho 2010.

FOOTE, K. E.; HUEBNER, D. J. Database Concepts: The geographer's craft. 1996. Disponível em: <[http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datacon/datacon\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/datacon/datacon_f.html)>. Acesso em: 08 Jul 2011.

ITOPF – THE INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – Models, 2010. Disponível em: <<http://www.itopf.com/marine-spills/fate/models/index.html>> Acesso em: 25 julho 2010.

HEARN, Donald; BAKER M. Pauline. **Computer Graphics – C Version**. 2. ed. , 1996, p. 130. ISBN 0135309247.

LISBOA, J. Projeto de banco de dados para sistemas de informação geográfica.  
Revista Eletrônica de Iniciação Científica - REIC/SBC, v. 1, n. 2, Novembro 2001.  
ISSN 1519-8219.

WORBOYS, M. F.; DUCKHAM, M. GIS: A Computing Perspective. 2. ed. [S.l.]:  
CRC Press, 2004.