



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## ANÁLISE DA TRAJETÓRIA E DOS RISCOS DO DERRAME DE PETRÓLEO E SEUS DERIVADOS PROVENIENTE DA ÁREA DE FUNDEIO DOS PORTOS SITUADOS NAS BAÍAS DE VITÓRIA E DO ESPÍRITO SANTO

Fontana<sup>1</sup>, A. R., Sarmiento<sup>2</sup>, R.

<sup>1</sup>Mestranda em Engenharia Ambiental da UFES, Av. Fernando Ferrari s/nº, Vitória - ES,  
[arfont@terra.com.br](mailto:arfont@terra.com.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari s/nº, Vitória - ES,  
[robsar@npd.ufes.br](mailto:robsar@npd.ufes.br)

**Resumo** – Este trabalho tem o objetivo de disponibilizar informações para análise da trajetória e dos riscos relativos ao derramamento de petróleo e seus derivados, proveniente das embarcações na área de fundeio dos portos situados nas Baías de Vitória e do Espírito Santo. A trajetória da mancha é estimada através da modelagem matemática de um modelo de trajetória de derrame considerando, como propulsores da mancha, a força do vento e as correntes de maré. Essas informações são uma contribuição para a elaboração de um Plano de Contingência para as atividades portuárias na região.

Palavras-Chave: derrame de petróleo; trajetória da mancha, análise de riscos.

**Abstract** – This report presents informations of surface slick trajectories and risk analysis to oil spill, provoked by vessel in the Vitória Bay and Espírito Santo Bay anchorage port area. The trajectory has been simulated by mathematical modeling surface spill trajectory, pushed by wind and tidal currents. Those informations are a contribution to elaborate contingency plans to the ports activities in this region.

Keywords: oil spill, surface slick trajectory, risk analysis.

## 1. Introdução

As atividades relacionadas ao setor do petróleo e seus derivados têm tido um crescimento substancial nos últimos anos no estado do Espírito Santo, trazendo investimentos e gerando um aquecimento na economia local. No entanto, é necessário que se tenha controle dessas atividades de forma que elas não comprometam o meio ambiente e nem criem novas situações que acentuem os problemas sociais já existentes.

Para que se possa permitir uma implantação mais segura dessas atividades sem trazer prejuízos ao meio ambiente, uma série de estudos científicos vem sendo desenvolvidos de forma a dar um tratamento preventivo e de combate aos derrames na região. O aumento do número de embarcações nas áreas portuárias das Baías de Vitória e do Espírito Santo, propiciam maiores chances de derramamento. Os prejuízos decorrentes desses fatos não só atingem os ecossistemas locais, mas também as atividades econômicas e sociais das regiões afetadas. O desenvolvimento sustentável da zona costeira e no mar territorial Capixaba é vital para a melhoria da qualidade de vida da população e para o progresso econômico do Estado.

O complexo portuário, além de ser privilegiado pela sua posição geográfica, possui ampla infra-estrutura de acesso rodoviário e ferroviário, permitindo a distribuição das cargas às principais cidades das regiões centro-oeste e sudeste, tais como Belo Horizonte, Salvador, Rio de Janeiro, São Paulo e Brasília, movimentando cargas como produtos siderúrgicos, minério de ferro e *pellets*, celulose, café, mármore, granito, veículos automotores, petróleo e derivados. Somente em 1997, os portos capixabas movimentaram 120 milhões de toneladas, atendendo mais de dois mil navios anualmente.

Os riscos provenientes das atividades relacionadas ao setor de petróleo, impulsionam a pesquisa na exploração dos recursos naturais, na preservação dos ecossistemas costeiros, e no conhecimento científico e tecnológico. A transferência desse conhecimento assume importante função como instrumento de defesa dos interesses do Estado no contexto nacional e internacional, bem como a fiscalização, o monitoramento, o controle das atividades portuárias, além da implementação de uma rede de coleta permanente de dados oceanográficos para controlar os efeitos de erosão costeira e dispersão de poluentes.

O estudo aqui desenvolvido simula a trajetória de uma mancha de óleo influenciada pela ação do vento e por correntes de maré. É um instrumento fundamental para a análise de riscos em cenários críticos de derramamento, bem como para o planejamento das atividades de proteção aos ecossistemas locais. Além disso, servirá de ferramenta também para o *Programa de Auxílio Mútuo dos Terminais Marítimos no Espírito Santo - PROAMAR*, entidade criada por algumas empresas, com o propósito do pronto atendimento em caso de derramamento de petróleo e seus derivados.

## 2. Metodologia da Pesquisa

A trajetória desenvolvida pela mancha de óleo foi estimada através do uso do *General NOAA Oil Modeling Environment (GNOME)*, o qual utiliza dados de corrente gerados pelo modelo hidrodinâmico *Current Analysis for Trajectory Simulations - CATS 1.0.β* em função das alturas de maré retiradas das Tábuas de marés para os Portos de Vitória e de Tubarão. Nas datas das simulações de campo, os dados de vento medidos “in loco” também serviram como “input” para o modelo, que possibilitou a realização de simulações computacionais de derrame de petróleo com dados reais, proveniente das regiões de fundeio na entrada da Baía do Espírito Santo.

Os pontos de partida para a simulação do derrame foram definidos em função da Carta Náutica nº 1410, que estabelece a região de fundeadouro opcional para cada porto. Os horários de lançamento foram estabelecidos de forma a aproveitar as correntes de enchente e de vazante da maré para comparar a influência das mesmas na trajetória da mancha juntamente com a ação do vento.

As coordenadas dos pontos de lançamento nas simulações efetuadas são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Pontos de lançamento para simulação de derrame de Petróleo, localizados na região de fundeio da baía do Espírito Santo.

| Ponto | Coordenadas Geográficas |              | Batimetria (m) |
|-------|-------------------------|--------------|----------------|
|       | Longitude (W)           | Latitude (S) |                |
| A     | 40° 13' 10"             | 20° 18' 26"  | 24,50          |
| B     | 40° 15' 12"             | 20° 20' 00"  | 20,07          |
| C     | 40° 15' 12"             | 20° 19' 12"  | 18,67          |

Como se pode observar foram considerados três pontos de lançamento. Para cada ponto foram simulados dois cenários distintos, um para maré de sizígia e outro para maré de quadratura, desta forma, foram definidos seis cenários de estudo.

Após a definição dos pontos de derrame, foi feita a digitalização de parte da linha de costa e Ilha de Vitória, gerando um arquivo, que no GNOME chama-se arquivo *bn*, O arquivo é composto por uma lista de pontos sequenciais

com suas respectivas coordenadas expressa em graus decimais, que são desenhados na tela do computador. O modelo hidrodinâmico CATS, toma como dados de entrada, além da linha de costa e batimetria, as alturas de maré nos Portos de Vitória e Tubarão. A linha de costa e a batimetria estão definidas nos vértices de uma malha de 200m x 200m onde são gerados os vetores velocidade da corrente de maré.

Todo o processo de digitalização da linha de costa e dos dados de batimetria, para geração da malha computacional e do arquivo "bna" foi realizado no laboratório de Topografia da Universidade Federal do Espírito Santo, utilizando o software ARQVIEW 3.1. As bases cartográficas utilizadas foram as Cartas Náuticas de nº 1410, Brasil – Costa Leste Proximidades dos Portos de Vitória e Tubarão, 2ª edição – 1977 com última revisão em 2000, e nº 1401, Brasil - Costa Leste Portos de Vitória e Tubarão, 7ª edição – 1990 com última revisão em 1999.

Depois de gerado o arquivo de correntes e o arquivo *bna*, outras informações foram definidas, por serem necessárias para a realização das simulações de derrame, sendo as mesmas:

- Valores de direção e intensidade de ventos (medidos durante a simulação de campo);
- Escolha dos valores da componente de deriva do vento;
- Horário de início da simulação em campo;
- Coeficiente de difusão e
- Quantidade e tipo de óleo a ser derramado.

### 2.1. Simulação de Campo

A simulação de campo ocorreu entre os dias 17 e 19 do mês de julho de 2002, para os três pontos de lançamento, utilizando cinco sacas de laranjas como corpos de deriva, em maré de quadratura e entre os dias 23 e 25 do mesmo mês para maré de sizígia. Os pontos de lançamento dos corpos de deriva são indicados na figura 1.

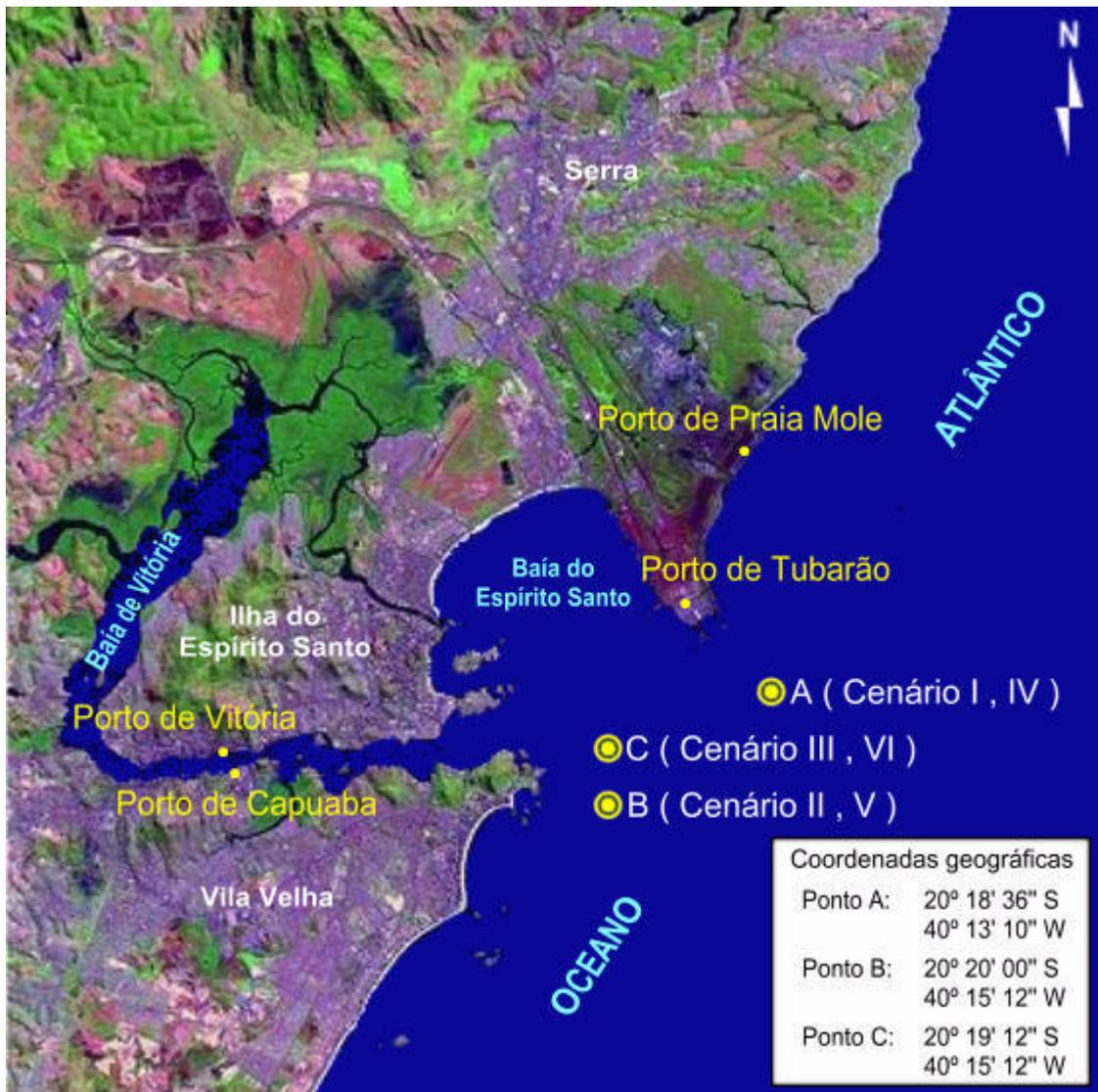


Figura 1. Localização dos pontos de lançamento dos corpos de deriva para simulação de trajeto.

O início da simulação se dá a partir do lançamento dos corpos de deriva na água, nos pontos de coordenadas pré-definidas no Quadro 1.

Durante o percurso dos corpos de deriva foram registrados:

- Os pontos da trajetória dos mesmos em coordenadas geográficas com um GPS;
- A hora do registro de cada ponto;
- A velocidade e direção do vento, com intervalos que variam de cinco a no máximo quinze minutos entre um registro e outro.

Os registros foram organizados em uma planilha onde são calculadas a distância total do trajeto e a velocidade média dos corpos de deriva, em cada cenário proposto. O tempo de duração, para cada simulação, foi de aproximadamente três horas.

## 2.2. Validação do Modelo

De posse dos registros de campo devidamente organizados, foi efetuada a simulação do modelo de trajetória, tentando refletir para cada cenário proposto, as mesmas condições encontradas em campo, tanto no que se refere ao modelo hidrodinâmico quanto nos dados registrados durante o experimento.

## 2.3. Dados de Vento

Os ventos usados nas simulações computacionais foram os mesmos registrados durante a simulação de campo, sendo que foi adotada uma variação de 10% de incerteza sobre os dados medidos em campo. Com relação à intensidade, os registros mostram que houve pouca variação significativa da velocidade do vento durante o período da simulação, no entanto foi observado no Cenário II, referente ao dia 18, que a velocidade do vento atingiu seu maior valor com fortes rajadas de até 10,40m/s, deixando o mar bastante agitado desde o lançamento dos corpos de deriva até o seu recolhimento. Os valores mínimos, máximos e médios da velocidade do vento para cada dia de simulação de campo, bem como a distância e o tempo total de percurso dos corpos de deriva, podem ser conferidos na Tabela 2.

Tabela 2. Quadro resumo da simulação de campo.

| P<br>o<br>n<br>t<br>o | Cenário | Data     | Veloc.          | Veloc.          | Veloc.         | Distância<br>Total<br>Percorrida<br>(m) | Tempo<br>de<br>Percurso<br>(h:mm) | Veloc.                      | Veloc.        |
|-----------------------|---------|----------|-----------------|-----------------|----------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|---------------|
|                       |         |          | Mínima<br>(m/s) | Máxima<br>(m/s) | Média<br>(m/s) |   |                                   | Média de<br>Deriva<br>(m/s) | Deriva<br>(%) |
| A                     | I       | 17/07/02 | 2,90            | 6,70            | 5,11           | 3.277,11                                | 2:55                              | 0,3121                      | 6,11          |
| B                     | II      | 18/07/02 | 6.00            | 10.40           | 8,00           | 4.024,09                                | 3:21                              | 0,3337                      | 4,17          |
| C                     | III     | 19/07/02 | 3.00            | 7.50            | 5,42           | 2.277,11                                | 2:51                              | 0,2219                      | 4,09          |
| -----                 |         |          |                 |                 |                |   |                                   |                             |               |
| A                     | IV      | 23/07/02 | 6.00            | 7.50            | 6,67           | 2.831,33                                | 2:54                              | 0,2712                      | 4,06          |
| B                     | V       | 24/07/02 | 4.00            | 5.60            | 4,71           | 3.000,00                                | 3:42                              | 0,2252                      | 4,78          |
| C                     | VI      | 25/07/02 | 0.20            | 3.50            | 1,91           | 1.445,78                                | 3:00                              | 0,1339                      | 6,99          |

## 2.4. Coeficiente de Deriva

A variação do coeficiente de difusão horizontal, baseado no ASCE (1996), sugere valores de  $10^4$  e  $10^6$  cm<sup>2</sup>/seg, para mar calmo e mar agitado, respectivamente. Na simulação de campo feita no dia 18, referente ao Cenário II, o coeficiente de difusão utilizado na simulação foi o de  $10^6$  cm<sup>2</sup>/s. Para os demais cenários o coeficiente de difusão utilizado foi  $10^4$  cm<sup>2</sup>/s.

## 2.5. Tipo e Quantidade de Óleo a Ser Derramado

A simulação poderá ser feita para os seguintes contaminantes disponíveis no GNOME: gasolina, querosene, diesel, óleo combustível #4, médio cru e óleo combustível #6 em qualquer quantidade. Nas simulações computacionais foram utilizados 1000 barris de petróleo médio cru.

## 3. Resultados

Com base nos resultados obtidos através das simulações de campo, o modelo apresentou uma trajetória coerente com a registrada em campo, traçando trajetórias muito aproximadas quando comparados, apesar dos valores obtidos no percentual de deriva em função da velocidade média do vento terem atingido valores acima do esperado, entre 2,5% a 4,4% (ASCE, 1996), como pode ser observado nos Cenários I e VI.

Analisando a trajetória da mancha para avaliar o risco de a mancha atingir a região costeira ou dirigir-se para dentro da baía do Espírito Santo, diante dos cenários propostos, verificamos que em um dos cenários a mancha afasta-se do litoral, em dois deles a mancha movimenta-se paralelamente à costa e os outros três atingem ou parte da região

costeira ou a região interior da baía. Uma melhor visualização dos riscos de cada cenário podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1. Análise dos riscos de um possível derrame de óleo atingir regiões de interesse, em função da trajetória dos corpos de deriva em cada cenário proposto num período de 3 horas.

| Cenário | Maré                          | Direção do Vento | Análise dos resultados  |
|---------|-------------------------------|------------------|---|
| I       | Quadratura (Vazante)          | N / NE           | Movimentação para a direção sul, influenciada por ventos norte / nordeste, afastando-se do litoral não atingindo a costa.                                     |
| II      | Quadratura (Vazante)          | S / SO           | Movimentação paralela ao litoral, influenciada por vento sul / sudoeste, podendo atingir o enrocamento mais externo do porto de Tubarão.                      |
| III     | Quadratura (Enchente / Morta) | SO               | Movimentação em direção ao enrocamento mais externo do porto de Tubarão, influenciada por vento sudoeste.   |
| IV      | Sizígia (Enchente)            | NE               | Movimentação em direção à costa, influenciada por vento Nordeste atingindo a Ilha dos Pacotes e balneários do litoral sul.                                    |
| V       | Sizígia (Enchente)            | E                | Movimentação em direção ao interior da Baía do Espírito, região central, atingindo a Praia de Camburí, ilhas e possivelmente o Canal da Passagem.             |
| VI      | Sizígia (Enchente)            | NE / E           | Movimentação em direção ao interior da Baía do Espírito Santo, atingindo Ilha do Boi e Ilha do frade, a Praia de Camburí, ilhas e entrada da Baía de Vitória. |

#### 4. Conclusões

Podemos observar que, na simulação computacional, a influência do vento é de primordial importância e passa a ser decisiva na trajetória da mancha. Observa-se que quando apenas os dados de vento estão ativados, é possível verificar que, a trajetória computacional aproxima-se muito daquela registrada em campo. Pouca diferença pode ser notada quando o arquivo de correntes é acionado. No caso particular do Cenário I, a influência da corrente na simulação computacional é maior que nos outros casos, mas esse fato, muito provavelmente, se deve à influência de correntes litorâneas paralelas à costa. O mesmo pode ser notado no Cenário VI, porém nesse último a influência adicional passa a ser da corrente da maré enchente que, durante a simulação, encontrava-se em sua plena força pelo fato de estar em período de sizígia.

Quando a influência do vento é desativada do modelo, a mancha tende a afastar-se pouco e em alguns casos tende a mover-se em torno de um ponto central.

Vale ressaltar que nos cenários em que a maré está vazante, há um ligeiro deslocamento curvo da linha de trajetória para fora da baía, o que indica uma pequena influência da corrente no percurso, o que pode ser notado claramente nos Cenários I e II. Nos cenários de maré enchente o deslocamento tende ligeiramente em direção ao litoral apesar da predominância da direção do vento, como é o caso dos Cenários III e IV. Já nos Cenários V e VI pode-se observar que a direção do vento coincide com o fluxo de maré, que é de enchente, portando nota-se que a tendência da mancha é ir cada vez mais para o interior da baía, podendo, inclusive, atingir o interior da Baía de Vitória.

Onde temos incidência do vento sul / sudoeste com as maiores magnitudes registradas, como é o caso do Cenário II, a mancha percorre cerca de 1km (um quilômetro) a mais que as outras num intervalo de tempo pouco superior, o que reforça que o vento é o principal fator no seu deslocamento.

#### 6. Agradecimento

Os autores agradecem ao Dr. J. Beegle Krause da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, pela importante contribuição para a realização deste trabalho.

#### 5. Referências

- ASCE TASK COMMITTEE ON MODELING OF OIL SPILLS. State of the Art Review of Modeling Transport and Fate of Oil Spills. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 122, n.11, nov., f. 594-609, 1996.
- INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION (IPIECA). A Guide to Contingency Planning for Oil Spills on Water. vol. 2, 2. ed., mar., 2000.

- KRAUSE, J. B., National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Mensagem recebida por <robsar@npd.ufes.br> em 6 nov. 2000.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (EUA). Ecological Risk Assessment Principles Applied to Oil Spill Response Planning in The Galvestone Bay Area, 228 p. 1999.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA. Complexo Portuário do Espírito Santo: Movimento de Cargas. Vitória. Disponível em <<http://www.vitoria.es.gov.br/indicadores/283.htm>>, <<http://www.vitoria.es.gov.br/negocios/perfil.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2002.
- PREMACK, J., and BROWN, G.A.. Prediction of Oil Slick Motions in Narragansett. University of Rhode Island, [19--?].