

ESTUDO NUMÉRICO LAGRANGEANO DO DESLOCAMENTO DE MANCHAS DE ÓLEO

Caio Eadi Stringari¹, Leonardo F. de Mello², Wilian C. Marques³

¹Instituto de Oceanografia – Universidade Federal do Rio Grande – FURG - caiodalaqua@hotmail.com

²Centro de Ciências Computacionais – Universidade Federal do Rio Grande – FURG - leo-demello@hotmail.com

³Instituto de Matemática, Estatística e Física – Universidade Federal do Rio Grande – FURG – wilianmarques@furg.br

RESUMO

Este trabalho visa a apresentação de resultados preliminares de um modelo de simulação do comportamento do óleo em ambientes marinhos. O modelo está sendo desenvolvido através da utilização de traçadores lagrangeanos para a simulação do deslocamento da parcela particulada do campo de óleo. Os resultados mostram o deslocamento das partículas do óleo de acordo com um campo de velocidade imposto.

Palavras chave: Modelagem Matemática, Transporte Lagrangeano, Campo de Óleo.

INTRODUÇÃO

O derramamento de óleo na costa e no ambiente marinho adjacente é um dos desastres ecológicos mais preocupantes, tanto por causar grandes impactos quanto por atingir, além da fauna e flora, também os círculos econômicos. O Porto do Rio Grande, localizado no Estuário da Lagoa dos Patos, é o porto marítimo mais meridional do Brasil. No contexto do crescimento do porto de Rio Grande, que apenas no ano de 2003 teve um movimento de 3.000 navios e sendo que em 2008 foram transportados mais de 60.000 toneladas de óleo diesel (www.portoriogrande.com.br), esse problema se faz cada vez mais presente no estuário. Com as recentes descobertas de petróleo no litoral brasileiro, o problema tende a se agravar.

A modelagem numérica de processos físico-químicos tem se mostrado uma ferramenta importante e de baixo custo computacional para a análise e previsão de processos em diferentes áreas econômicas e ambientais, dando suporte aos órgãos gestores. Portanto, as consequências adversas que surgem com derrames de óleo de diversas proporções motivam desde logo uma

preocupação no que diz respeito não só ao monitoramento do acidente, mas também a capacidade de prever eficazmente o comportamento do óleo derramado nas horas seguintes ao acidente.

Dentro do contexto da presente proposta, o desenvolvimento de um modelo numérico lagrangeano para o estudo da dispersão de óleo que possa ser acoplado a qualquer modelo hidrodinâmico, representa uma significativa contribuição para o entendimento dos processos que ocorrem no ecossistema costeiro e marinho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizaremos neste projeto métodos de modelagem computacional que descrevem equações numéricas que possuem uma pequena margem de erro. O modelo de óleo fará isso juntamente com modelo um hidrodinâmico. Quando o óleo chega ao ambiente marinho, entra em contato com diversas características que acabarão por estimular diversos processos. As velocidades que controlam esses processos dependem de fatores climáticos, ambientais e do tipo de óleo considerado. Portanto, o modelo que

considere o maior número de processos pode representar mais realisticamente o comportamento da mancha de óleo no ambiente.

O modelo de óleo é desenvolvido utilizando técnicas de programação modular escrito em linguagem Fortran90. Este tipo de estruturação permite a compilação de cada um dos módulos separadamente, poupando tempo computacional, de forma que a reutilização dessas estruturas é facilitada. O modelo de óleo será criado juntamente com uma interface de acoplamento ao modelo hidrodinâmico, atualizando-se a cada passo de tempo com dados fornecidos pela hidrodinâmica.

O módulo de transporte Lagrangeano utilizará as velocidades simuladas pelo modelo hidrodinâmico para calcular as trajetórias das partículas de óleo. Tais trajetórias são calculadas considerando que o óleo pode ser idealizado como um número grande de partículas que se movem independentemente na água. A velocidade dos traçadores será interpolada de acordo com as velocidades obtidas nos nós da malha numérica do modelo e a posição final do traçador se é dependente da contribuição de quatro efeitos diferentes representados pela: velocidade da corrente calculada pelo modelo hidrodinâmico, contribuição local do vento, velocidade do processo de espalhamento do óleo e a velocidade randômica devido ao transporte difusivo. Atualmente somente a velocidade da corrente encontra-se implementada de forma a influenciar o deslocamento do óleo.

A evolução das propriedades e processos do óleo será resolvida assumindo um comportamento homogêneo do óleo, exceto o espalhamento, onde a velocidade de cada

traçador será calculada individualmente. O espalhamento será determinado de acordo com as proposições feitas por Fay (1969) e Proctor *et al.* (1994). O cálculo da evaporação será obtido através do uso de equações empíricas determinadas por Fingas (1998). Serão utilizadas equações propostas por Mackay *et al.* (1980) para representar a emulsificação e a dispersão do óleo na coluna de água. A dissolução do óleo será representada por uma equação analítica proposta por Huang e Monastero (1982). Valores de densidade e viscosidade serão calculados de acordo com fórmulas tabeladas pela NOAA (1994).

Atualmente o modelo de óleo encontra-se em fase inicial de desenvolvimento. Foi construído um módulo preliminar tridimensional de transporte lagrangeano com o objetivo de simular o deslocamento da parcela particulada do óleo utilizando técnicas de discretização espacial em diferenças finitas considerando uma aproximação de primeira ordem para simular o deslocamento, as posições das partículas são calculadas de acordo com o método Euler forward de integração pelas equações I, II e III. A parcela dissolvida do óleo, bem como restantes processos físico-químicos serão incluídos na sequência de desenvolvimento do trabalho.

$$u = \frac{\Delta z}{\Delta T} = X^{T+1} - X^T = u\Delta T = X^T + u\Delta T \quad (I)$$

$$v = \frac{\Delta Y}{\Delta T} = Y^{T+1} - Y^T = v\Delta T = Y^T + v\Delta T \quad (II)$$

$$w = \frac{\Delta Z}{\Delta T} = Z^{T+1} - Z^T = w\Delta T = Z + w\Delta T \quad (III)$$

O modelo utiliza um campo de velocidades hipotético equacionado de forma a simular um tanque de testes onde o domínio

numérico é composto por 500 elementos cúbicos, cada elemento possuindo 10 unidades de comprimento por 10 unidades de largura por 05 de altura (10x10x5), sendo a simulação numérica executada durante um intervalo de 21600 segundos. O campo de velocidades utilizado apresenta uma redução com o tempo de simulação.

O Número de Courant foi utilizado para a análise de sensibilidade dos resultados, sendo calculado de acordo com a Equação IV, onde U (calculada de acordo com a equação V) é a intensidade do campo de velocidades, ΔT representa o passo de tempo do modelo e Δx a variação das distâncias na malha. Dessa forma, um número alto (>1) representa uma condição de possível instabilidade numérica e um muito baixo representa uma condição de maior estabilidade numérica, mas que pode comprometer a simulação com relação ao custo computacional. Foram realizadas diversas simulações com diferentes passos de tempo (ΔT) e para cada simulação foi calculado um número de Courant máximo, assim, com a análise dos resultados foi escolhida para a apresentação dos resultados a simulação que apresentou o número de Courant mais próximo à média dentre todas as simulações (simulação III). A tabela 1 mostra os passos de tempo e os respectivos índices obtidos.

$$C = U \cdot \frac{\Delta x}{\Delta T} \quad (IV)$$

Tabela 1 – Relação Courant – ΔT

Simulação	ΔT	Courant máximo
I	10	0,0087
II	30	0,025
III	50	0,0402
IV	70	0,0546
V	90	0,0669

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados são respectivos à simulação III. Trata-se de resultados preliminares, uma vez que o modelo de óleo não foi ainda integrado ao modelo hidrodinâmico e não foram incorporados todos os efeitos que controlam o comportamento do óleo.

O campo de velocidades foi equacionado de acordo com as dimensões do domínio numérico, sendo que as dimensões que o tanque de simulação assume para o teste são de 1000 metros de largura por 15000 metros de comprimento por 220 metros de profundidade. As equações v, vi e vii descrevem o comportamento do campo de velocidade no comprimento do tanque. O campo de velocidades apresenta uma redução exponencial com o tempo. A figura 1 ilustra o deslocamento das partículas, o número de Courant para a malha numérica e o perfil da velocidade na região central do tanque, considerando uma perspectiva bidimensional da malha numérica.

$$U = (0,005y^2 + 0,55y - 0,5) \cdot e^{(-0,001xT)} \quad (v)$$

$$v = 0,00 \quad (vi)$$

$$w = -0,01 \quad (vi)$$

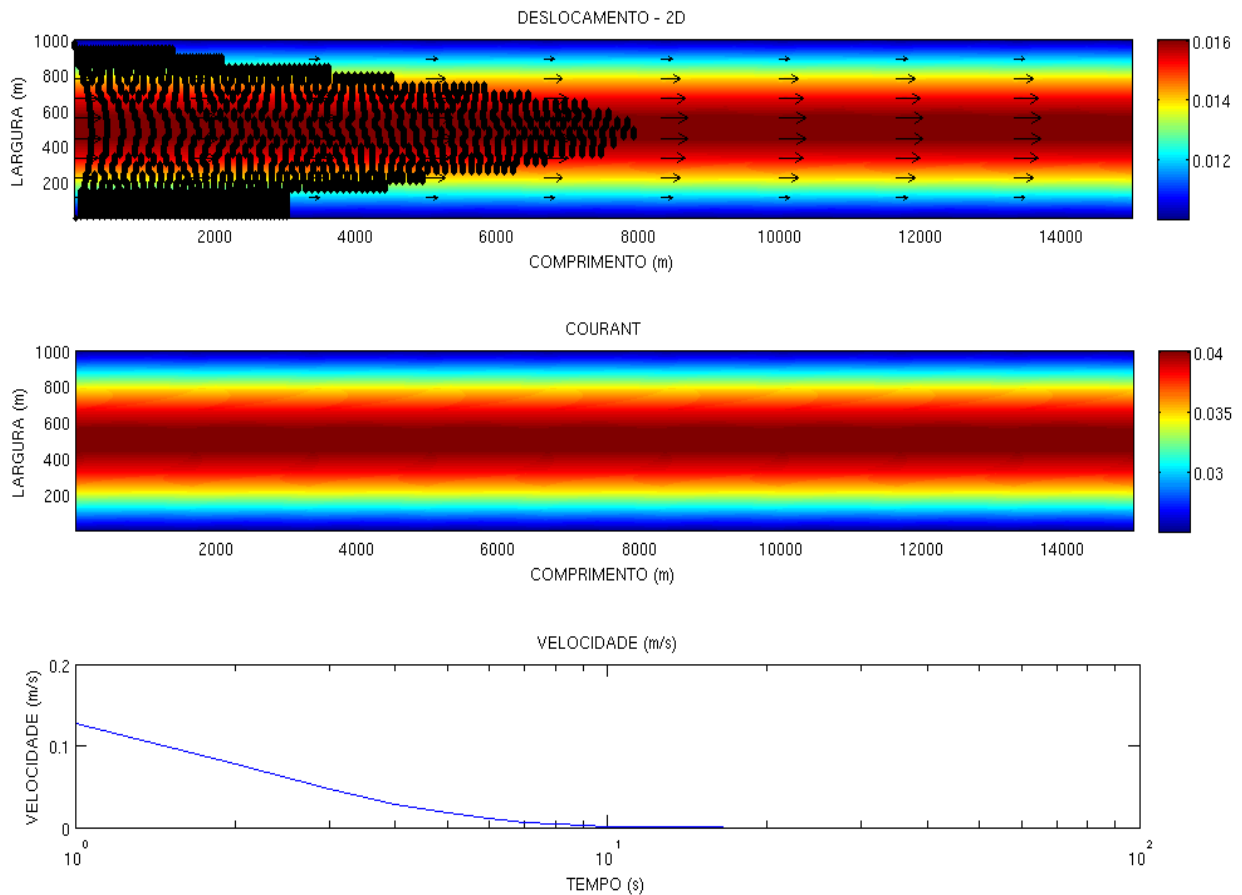


Figura 1 – Deslocamento bidimensional de acordo com o campo de velocidades, Número de Courant e perfil da velocidade na região central do tanque.

A simulação numérica leva em conta um número de 1000 partículas, sendo que foram salvas informações da posição da partícula a cada 10 segundos. A figura 2 ilustra o deslocamento tridimensional das partículas. A forma que a mancha de partículas assume reflete a intensidade do campo de velocidades e sua variação espacial, sendo os valores máximos atingidos no centro do tanque, onde as velocidades são maiores.

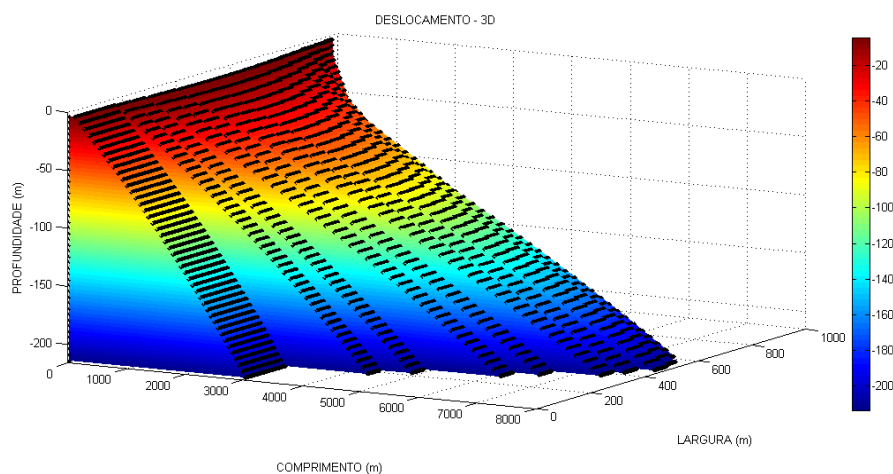


Figura 2 - Deslocamento das partículas de acordo com o campo de velocidades.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares de velocidade e deslocamento das partículas mostram um comportamento simplificado descrevendo apenas o seu deslocamento em um campo tridimensional de velocidades, contudo, esses resultados já nos mostram que o modelo está pronto para incorporar outros fatores que resultam em uma modelagem mais próxima da realidade para que possamos caracterizar melhor o ambiente em questão.

Os próximos passos no desenvolvimento deste modelo englobam seu acoplamento a um modelo hidrodinâmico, além da consideração dos efeitos de difusão turbulenta e outros processos físico-químicos importantes para descrever o comportamento do campo de óleo em um ambiente marinho.

REFERÊNCIAS

Fay J. A. 1969. The spread of oil slicks on a calm sea. Oil on the Sea, Plenum Press, NY, pp. 53-63.

Proctor, R., Flather, R. A., Elliot, A. J. 1994. Modelling tides and surface drift in the Arabian Gulf – application to the Gulf oil spill. Continental Shelf Res 14:531-545.

Fingas, M. 1998. The evaporation of oil spills: development and implementation of new prediction methodology. Marine Environmental Modelling Seminar '98, Lillehammer, Norway.

Mackay D., Buist, I. A. Mascarenhas, R., Paterson, S. 1980. Oil spill processes and models. Environment Canada Manuscript Report No. EE-8, Ottawa, Ontario.

Huang, J.C., F.C. Monastero 1982. Review of the state-of-the-art of oil spill simulation models. Final Report submitted to the American Petroleum Institute.

NOAA 1994. ADIOSTM (Automated Data Inquiry for Oil Spills) user's manual. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, NOAA. Prepared for the U.S. Coast Guard Research and Development Center, Groton Connecticut, 50 pp.