

INFLUÊNCIA DE ONDAS DE GRAVIDADE DE SUPERFÍCIE NA DISPERSÃO DE EVENTUAIS DERRAMES DE ÓLEO NA REGIÃO COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL.

Theo Garcia Rolim de Moura¹ (FURG), ² Fernando Nogueira Azambuja Alves (FURG), Ivan Dias Soares (FURG)

^{1,2}Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Departamento de Física. av. Italia km 8 campus Carreiros
96201-900 - Rio Grande, RS - Brasil - Caixa-Postal: 474
, ¹theogrm@gmail.com, ²fernandonaa@gmail.com

A área de enfoque desse estudo é o litoral do Rio Grande do Sul, o qual tem aproximadamente 620Km de praias arenosas e dois terminais de abastecimento de óleo:

- A monobóia de Tramandaí, localizada no Norte do estado, por onde são feitos os carregamentos destinados às refinarias localizadas em terra;
- O terminal petroquímico localizado no Porto de Rio Grande, no estuário da Lagoa dos Patos, que abastece principalmente a refinaria da Ipiranga, em Rio Grande;

Apesar de não existir extração de petróleo, a região apresenta grande desenvolvimento na área de transporte e produção de derivados tornando-se assim, suscetível a eventuais acidentes que podem levar a derrames de óleo.

Sendo a região costeira um local onde a hidrodinâmica de superfície sofre grande influência de ondas, é provável que essas atuem fortemente sobre a trajetória de manchas de óleo. No entanto, o modelo de óleo que será usado nesse estudo, o qual foi desenvolvido no LENOC (Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia), ainda não incorpora o efeito das ondas, mas apenas de correntes de superfície. O objetivo desse estudo é incorporar as ondas no modelo de óleo e investigar como essas contribuem para o espalhamento de manchas de óleo. O modelo de ondas em uso é o SWAN(Simulating Wave Near Shore), o qual foi implementado na área de estudo no modo estacionário. Foram realizadas duas simulações. Uma representando um evento com ondas de altura significativa de 1,5m e período de pico de 5s. E outra, um evento com ondas de altura significativa de 3m e período de pico de 10s. Os experimentos mostraram que a região Sul próxima à praia do Cassino apresenta uma menor altura de onda comparado a região Norte. Também foi observado uma diminuição da altura de onda com a diminuição da profundidade.

Pode-se observar que nas duas simulações existe um decaimento das velocidades superficiais, causadas por Deriva de Stokes, com a proximidade da costa, devido a diminuição da altura de onda. Os menores valores ocorrem na região próxima a Praia do Cassino e maiores valores na porção norte da costa. Na primeira simulação as velocidades ficaram entre, 0,4m/s e 0,18m/s, na segunda entre 0,2m/s e 0,15m/s. As velocidades da primeira simulação foram maiores devido ao baixo período das ondas que, nesse caso, foi predominante a altura de onda. Com os valores obtidos, a Deriva de Stokes mostra-se importante na trajetória de manchas de óleo na região de estudo.

Deriva de Stokes, modelos de onda, modelos de óleo

1. INTRODUÇÃO

Derrames de óleo ocorrem com certa frequência nos oceanos. Ao longo do tempo o volume dos derrames tem aumentado devido ao crescimento das taxas de consumo e capacidade de transporte do petróleo. Uma vez descoberto um derrame de óleo, é de extrema importância prever o deslocamento da mancha. Para que sejam

tomadas medidas efetivas de contenção e retirada do material poluente, buscando minimizar o impacto ambiental.

A modelagem numérica é uma ferramenta amplamente utilizada para simular o ambiente marinho. Atualmente existem diversos modelos de óleo em uso no mundo com diferentes complexidades, variando de modelos que simplesmente calculam a trajetória de manchas, ou trajetória de partículas, modelos tridimensionais, até outros que estimam efeitos biológicos. Muitos desses modelos funcionam acoplados a outros. Um exemplo dessa situação ocorre no LENOC (Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia), onde o modelo lagrangiano de dispersão de partículas é acoplado ao modelo hidrodinâmico.

Trabalhos desenvolvidos por Alves (2006) e Piovesan (2006) analisaram a influência de correntes geradas por vento no espalhamento de manchas de óleo na superfície. Porém segundo Reed et al. (1999), o deslocamento horizontal de óleo na superfície dos oceanos é forçado, não somente por correntes e vento, mas também por ondas de gravidade de superfície. No entanto, pouco se sabe sobre a influência dessas ondas na dispersão de manchas de óleo.

Neste trabalho é proposta a análise da influência de ondas de gravidade na dispersão de partículas na superfície. Para tal estudo foi utilizado o modelo numérico SWAN (Simulating Wave Near Shore) versão 40.51, para simular o padrão de ondas da zona costeira do Rio Grande do Sul. Através dos resultados do modelo foram calculadas velocidades residuais geradas pelas ondas.

O litoral do Rio Grande do Sul tem aproximadamente 620 Km de praias arenosas e dois terminais de abastecimento de óleo: a monobóia de Tramandaí, localizada ao norte do Estado, por onde são feitas os carregamentos destinados às refinarias localizadas no interior, e o terminal petroquímico, localizado no Porto de Rio Grande, no estuário da Lagoa dos Patos, que abastece, principalmente, a refinaria da Ipiranga, em Rio Grande.

Apesar de não existir extração ativa de petróleo na região, as atividades de transporte e produção de derivados são intensas, tornando essa região suscetível a eventuais acidentes que podem levar a derrames de óleo no mar. Considerando que a região sofre grande influência de ondas de superfície é provável que essas venham a influenciar na dispersão de eventuais derrames. Além disso, variações batimétricas causam alterações no comportamento das ondas e diferentes padrões de velocidades residuais entre o norte e o sul do estado (Szewczyk, 2004).

2. DERIVA DE STOKES

A teoria linear de Airy trata o deslocamento das partículas, ao passar de uma onda, como uma órbita fechada, ou seja, a partícula retorna a posição de origem após a passagem da onda. Porém, na superfície do oceano é possível observar um lento movimento das partículas no sentido de propagação da onda. Esse movimento é conhecido como Deriva de Stokes, um efeito que é descrito quando considerado os termos de segunda ordem na equação da velocidade da partícula. O movimento ocorre devido ao fato da velocidade ser maior quando a partícula se encontra próximo à crista e menor quando próximo a cava.

Apesar de ser um efeito de segunda ordem, sua magnitude é frequentemente significativa. Segundo Kundu e Cohen (2002) a equação que descreve a Deriva de Stokes é:

$$u_l = \frac{a^2 w k \cosh 2k(z_0 - H)}{2 \sinh^2(kH)} \quad (1)$$

O primeiro termo a esquerda da equação u_l é a velocidade residual média, calculada para um período de onda, a é a amplitude da onda, w é a frequência, z é o nível da coluna de água e H é a profundidade local.

3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O litoral do Rio Grande do Sul encontra-se entre as latitudes de 29° e 34°S. É formado pela grande deposição de sedimentos que ocorreu após a separação dos continentes. Constitui-se, principalmente, por sedimentos clásticos, gerando uma plataforma continental larga (100-200 km), rasa e de baixa declividade (0,03°-0,08°). A linha de costa encontra-se, de forma geral, orientada na direção NE-SW, formada por praias que variam de dissipativas a intermediárias, com apenas duas descontinuidades (*inlets* de Tramandaí e Lagoa dos Patos). É uma região de micro maré com variação média de 0,5m (metros). O transporte e a deposição de sedimentos são dominados por ação de ondas, principalmente por ondas de quadrante sul oriundas dos ciclones extra tropicais (Tomazelli e Villwock, 1992).

As praias do Rio Grande do Sul são amplamente expostas à ação de ondas, devido seu caráter aberto, sendo por elas diretamente influenciadas. Segundo Motta (1969), Calliari e Klein (1993,1995), dois tipos de ondas atuam na zona costeira: as vagas (sea) geradas pelo vento local e as ondulações de maior período originadas a longa distância da costa ("swell"). Ocorrem também ondas mistas, que é a mistura desses dois tipos de onda. Motta (1969) concluiu que o período de maior frequência corresponde a 9 segundos, chegando a 12 segundos em eventos de tempestade e dificilmente ultrapassando 15 segundos.

4. METODOLOGIA

Foram feitas simulações estacionárias com direção de propagação de ondas de SE (Sudeste), para as duas situações. Na primeira simulação (S1), o contorno foi forçado com ondas de 1,5m de amplitude e 5s(segundos) de período e a segunda simulação (S2), com ondas de 3m de amplitude e 10s de período.

Foi desenvolvida implementada uma grade computacional de 600x100 elementos com uma resolução de 1578x2187 metros. O ângulo de propagação do espectro de energia abrange 180°, discretizados em 90 elementos com resolução de 2°. Os dados de batimetria foram obtidos do banco de dados GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) e foram interpolados para o domínio da grade.

Os valores de altura significativa, período e comprimento de onda obtidos das simulações, foram utilizados para calcular as velocidades residuais, através da equação (1).

Para melhor observar as variações nos padrões dos resultados na área de estudo, foram analisados dois perfis perpendiculares à costa, sendo o primeiro (P1) próximo à região da Praia do Cassino, e o segundo (P2) nas proximidades da monobóia de Tramandaí, (figura 1). Tanto o pré-processamento quanto o pós-processamento de dados foram feitos utilizando rotinas elaboradas no *software* Matlab.

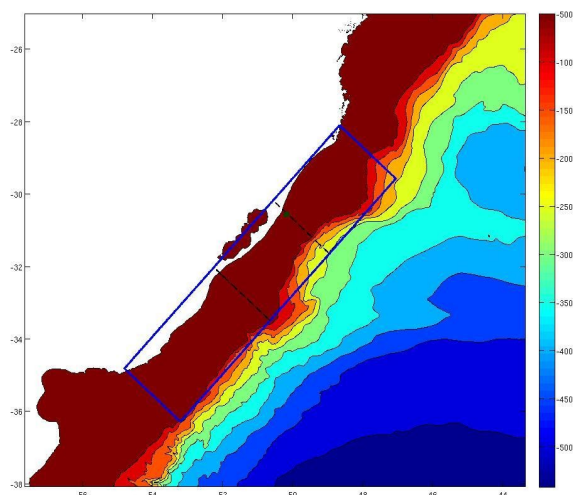


Figura 1. Área do domínio da grade computacional, as linhas tracejadas são os perfis analisados e o quadrado verde é a localização da monobóia de Tramandaí.

4.1 Descrição do modelo

SWAN(Simulating Wave Near Shore) é um modelo espectral de terceira geração. Baseado na equação balanço de energia, (SWAN Cycle III; manual do usuário.).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x}{\partial x} N + \frac{\partial c_y}{\partial y} N + \frac{\partial c_\sigma}{\partial \sigma} N + \frac{\partial c_\theta}{\partial \theta} N = \underline{S} \quad (2)$$

Nessa equação x, y seguem o padrão internacional de coordenadas cartesianas, σ representa a frequência e θ representa o ângulo. O primeiro termo representa a variação local de “action density”. O segundo e o terceiro termos representam a propagação por um espaço geográfico (onde c_x e c_y são velocidades de propagação no espaço x e y respectivamente). O quarto termo representa a mudança de frequência relativa a partir de variações na profundidade e correntes (com velocidade de propagação c_σ em σ). O quinto termo representa refração induzida pela profundidade e correntes (com velocidade de propagação c_θ em θ). O termo S posicionado a direita da equação é o termo fonte, representando os efeitos de geração, dissipação e interação não lineares entre ondas.

A equação do balanço de energia “action balance equation” é implementada em um esquema de diferenças finitas nos cinco domínios (x, y, t, σ, θ). A propagação numérica acontece através de um esquema implícito, computacionalmente mais econômico e estável. (Booij et al, 1999).

5. RESULTADOS

Nos dois experimentos foi possível observar que existe uma diminuição da altura significativa com a diminuição da profundidade. A região que apresentou maior decaimento foi aquela próxima a praia do Cassino. Provavelmente, a maior extensão da plataforma e menor declividade nessa região, tenham causado uma maior perda de energia por atrito com o fundo. O contrário ocorreu ao norte do Estado onde foi observada uma menor diminuição na altura de onda. Nessa região a plataforma é mais estreita e com maior declividade. (figura 2, figura 3).

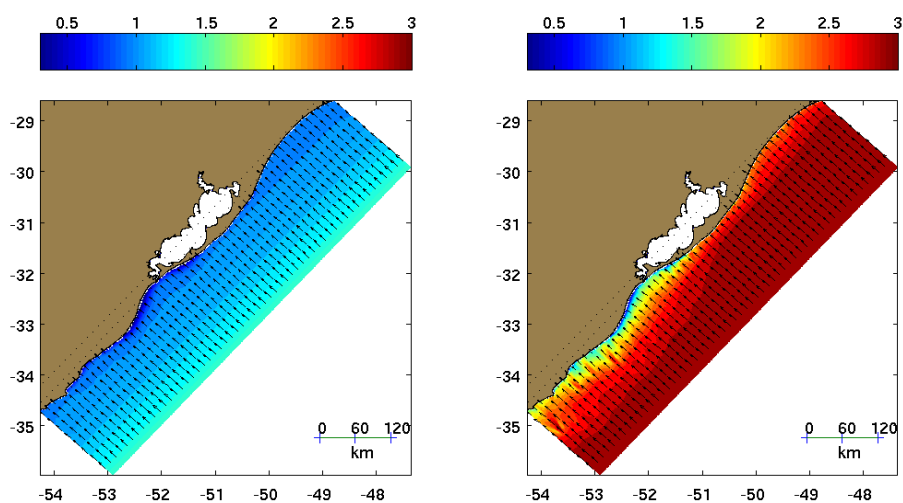


Figura 2. Altura significativa, em metros, para as duas simulações(a esquerda S1 e a direita S2).

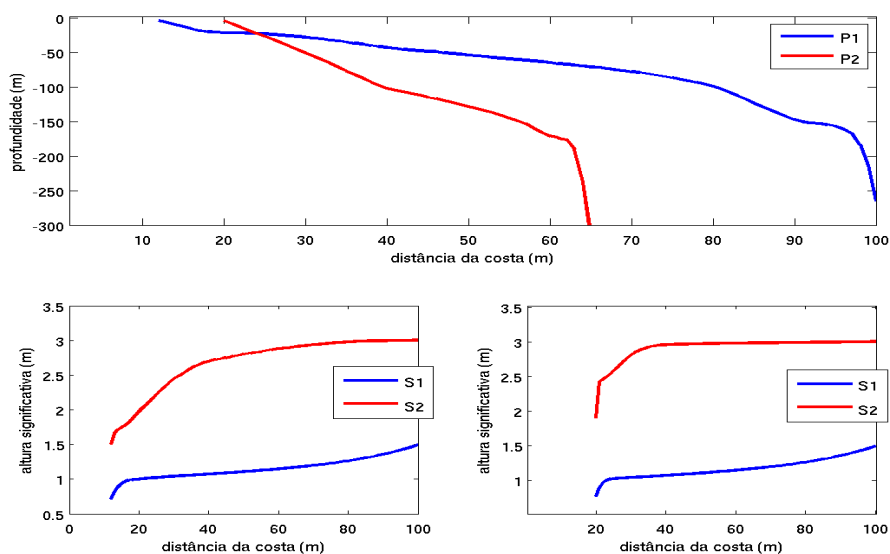


Figura 3. Porção superior, comparação da batimetria entre o P1 e P2. Porção inferior a direita, altura significativa para o P1 nas duas simulações(S1 e S2). A esquerda altura significativa para P2.

As velocidades residuais apresentaram grande variação nas duas simulações.

No primeiro caso, S1, as velocidades são espacialmente similares, com exceção de regiões próximas à costa. É provável que pelo menor comprimento de onda, os processos de atrito com o fundo na plataforma interna

tenham sido minimizados. Já próximo à costa é possível observar que a Deriva de Stokes é maior no litoral norte quando comparada à região ao sul, próxima a praia do Cassino.

Na S2, o padrão das velocidades apresentou uma maior variação espacial. É provável que essa variação tenha ocorrido porque ondas de maior período e, conseqüentemente, maior comprimento, sofrem maior influência das variações batimétricas da plataforma interna (figura 4). Cabe salientar que na figura 4(a esquerda) a região em vermelho está associada a quebra de onda, porém, devido a baixa resolução da grade computacional e da batimetria, processos de rebentação não foram considerados. Este trabalho está direcionado para a análise dos processos de maior escala relacionados a plataforma continental.

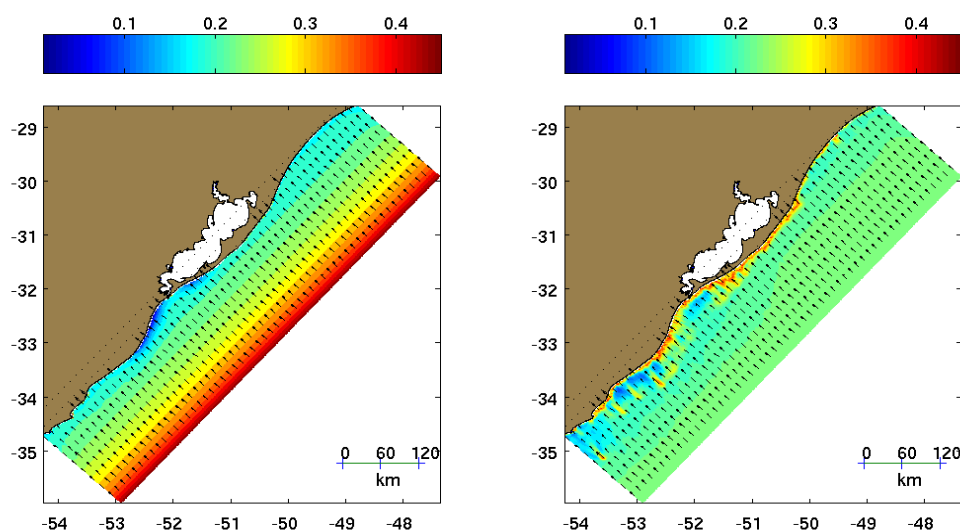


Figura 4. velocidades residuais em m/s. A esquerda S1 e a direita S2.

A figura 5 mostra a relação direta que existe entre a esbeltez da onda e a Deriva de Stokes. Ondas mais esbeltas tendem a ter maiores velocidades residuais. Em quanto, ondas menos esbeltas tendem a apresentar menores velocidades. Alofs e Reisbig (1972), através de experimentos em tanques, encontraram uma relação similar entre esbeltez e a Deriva de Stokes para o deslocamento de partículas na superfície.

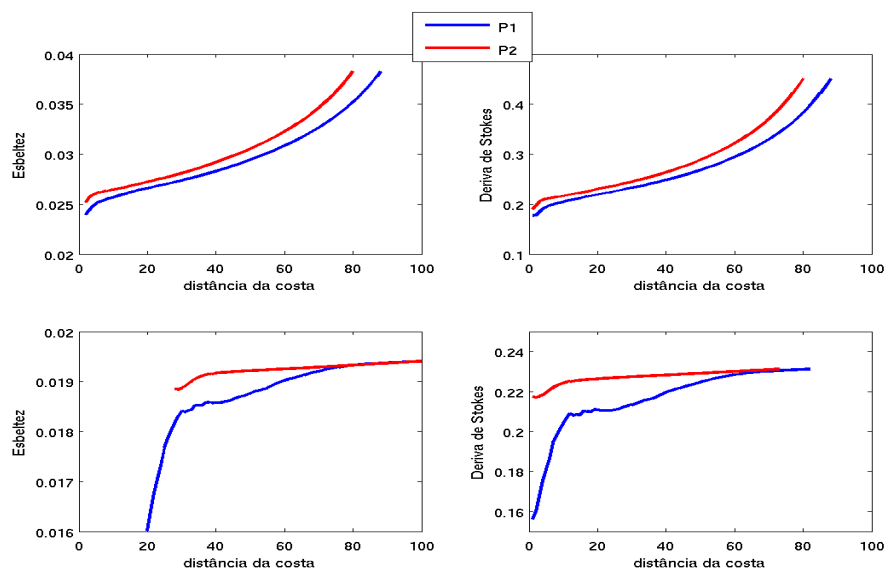


Figura 5. padrões de esbeltez e velocidades residuais para as duas simulações. Porção superior S1, porção inferior S2.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho discutiu a influência da Deriva de Stokes no transporte de partículas na superfície. Os resultados mostram a existência de uma variação no padrão das velocidades, associada as variações batimétricas, de altura e período de ondas. A Deriva de Stokes calculada dessa forma se mostra importante no deslocamento de manchas de óleo.

Para uma maior compreensão do assunto, são necessários mais estudos a respeito. Futuramente serão implementadas simulações não estacionárias, ou seja, com variação temporal das forçantes. Para cada passo de tempo do modelo serão calculadas as velocidades residuais que serão implementadas ao modelo lagrangiano de dispersão de partículas, desenvolvido no LENOC(Laboratório de Experimentação Numérica em Oceanografia).

6. AGRADECIMENTOS

O autor agradece a PRH (Programa de Recursos Humanos) criado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo), a Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG) e ao Laboratório de Oceanografia Física, pelo suporte ao desenvolvimento deste projeto.

7. REFERÊNCIAS

- ALOFS, D. J. REISBIG, R. L. An experimental evaluation of oil slick movement caused by waves. **Journal of Physical Oceanography**. v.2 p.439-443, 1972.
- ALVES, F. N. A., Estudo hidrodinâmico da Bacia de Pelotas através de modelo numérico, aplicado a eventuais derrames de óleo. Tese de Mestrado, curso de Pós-graduação em Oceanografia Química, Física e Geológica, FURG, 2006.
- BOOIJ, N., Haagsma, I.J.G., Holthuijsen, L.H., Kieftenburg, A.T.M.M., Ris, R.C., van der Westhuysen, A.J., Zijlema, M. *SWAN User Manual SWAN Cycle III Version 40.41*, Delft University of Technology, The Netherlands, 2004.
- CALLIARI, L. J. & KLEIN, A. H. F. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, 20(1): 48-56, 1993.
- CALLIARI, L. J. & KLEIN, A. H. F. Variabilidade das praias oceânicas entre o Cassino e Chuí. Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de São Paulo, Publicação especial (11):55-63, 1995.

REED, M. JOHANSEN, O. BRANDVIK, P. J. DALING, P. LEWIS A. FIOCCO, R. MACKAY D. PRENTKI R. Oil spill modelling towards the close of the 20th century: overview of state of the art. **Spill Science & Technology Bulletin**. Great Britain Publishing, v.5 p. 3-16.

MOTTA, V. F., Relatório diagnóstico sobre a melhoria e aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 1969

PIOVESAN, R. B. Estudo do transporte de manchas de óleo na Lagoa dos Patos por um modelo numérico. Tese de Mestrado, curso de Pós-graduação em Oceanografia Química, Física e Geológica, FURG, 2006.

TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A., Consideração sobre o ambiente praial e a deriva de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas, UFRGS, 19(1): 3-12, 1992.

INFLUENCE OF SURFACE GRAVITY WAVES ON DISPERSION OF EVENTUAL OIL SPILLS IN THE COASTAL REGION OF THE RIO GRANDE DO SUL.

This study addresses oil spills and their drift by wind waves off the coast of Rio Grande do Sul, the southernmost Brazilian State, whose coastline is 620 km long and formed mostly by sand beaches. Two oil terminals exist in this area: The Tramandai Terminal, which is an offshore terminal that supplies oil to the refineries located in the north of the State, and The Rio Grande Terminal, which is a coastal terminal located in the Rio Grande marine port, and supplies the Ipiranga Refinery.

Although oil prospection is not a regular activity in Rio Grande do Sul, production and transportation of oil derivatives are intense, and since the transport is made mostly by sea, the risk of accidents with oil spillage is high. Therefore, the license to operate oil terminals are not emitted to oil companies unless they have contingency plan, to deal with spillages in the water, which includes an oil drift model. The objective of this study is to improve the oil model which is under development in LENOC (Laboratory for Numerical Experiments in Oceanography), incorporating the waves in the model, so to investigate how the waves contribute for the scattering of oil spills.

The wave model in use is SWAN(Simulating Wave Near Shore), which was implemented in the study area on stationary mode. Currently, two simulations have been carried out. One representing an event with waves of 1.5m of significant height and period of 5s. Another one addressing an event with waves of 3m of significant height and 10s of period. The experiments showed that the southern region, next to the Cassino beach, has a lower wave high than the northern region. A decay of wave height with the reduction of the depth was also observed. As a result, the surface velocities (Stokes drift) also decay toward shallow waters. The lower values occur in the region next to the Cassino Beach and higher values in the northern end of the domain. In the first simulation the speeds vary between 0.4m/s and 0.18m/s, and in the second between 0.2m/s and 0.15m/s. The speeds in the first simulation were higher due to a lower wave period. These results show that surface velocities (Stokes Drift) are important on determining the trajectory of oil spills in the study region.

Stokes Drift, wave model, oil model.