

Alterações na tensão de cisalhamento de fundo e na mistura da coluna de água da plataforma continental interna do sul do Brasil devido à interação onda-corrente

Pablo D. Silva¹; Wilian C. Marques²; Rodrigo B. Santos¹; Elisa H. Fernandes¹.

¹Instituto de Oceanografia- FURG, Rio Grande, RS-
pdias5@yahoo.com.br, bcmocean@yahoo.com.br, dfsehf@yahoo.com.br

²Instituto de Matemática Estatística e Física-FURG, Rio Grande, RS-
wilian_marques@yahoo.com.br

RESUMO: A análise da interação onda-corrente para a Plataforma Sul Brasileira foi feita através da observação na mudança da estimativa de tensão de cisalhamento de fundo e residual de velocidade na coluna de água entre duas simulações. A comparação entre a situação considerando somente a corrente e a interação onda-corrente foi feita através da análise de séries temporais, mapas de variabilidade espacial e perfis de velocidades. Para acoplar a informação da onda no modelo TELAMAC3D, foi necessário usar um novo valor de coeficiente de fricção. Esta grandeza é obtida pelo coeficiente de Chèzy. Este coeficiente é calculado usando um novo valor de rugosidade de fundo para representar a camada criada pela interação turbulenta entre ondas e corrente dirigida por vento.

PALAVRAS CHAVE: Tensão de cisalhamento, Rugosidade aparente, Richardson.

ABSTRACT: The analysis of wave-current interaction for the Southern Brazilian Shelf was performed by observing changes in the estimated bed shear stress and the residual velocity in the first layer above the bottom. The comparison between the situation considering the currents and wave-current interaction was carried out through analysis of time series and spatial variability maps. In order to calculate the friction velocity of the wave-current interaction in the model TELEMAC3D, it was necessary to use a new value of the friction coefficient. This magnitude is obtained by the coefficient of Chèzy. This coefficient is calculated using a new value of bed roughness to represent the layer created by the turbulent interaction between wind waves and wind driven currents.

KEYWORDS: Shear stress, Apparent roughness, Richardson.

1. INTRODUÇÃO

A plataforma continental da região sul do Brasil, localizada entre as latitudes 28° e 35° S, é uma região que tem como características a presença de longas faixas de águas de baixa salinidade devido à descarga de água doce da Lagoa dos Patos. Esta descarga destaca-se como a mais importante contribuição para a plataforma continental, e sua interação com processos costeiros contribui para a manutenção de ambientes favoráveis a reprodução e desenvolvimento de espécies e sustentando padrões de transporte ou deposição de materiais. A região costeira da plataforma continental da região sul do Brasil, e principalmente a costa do estado do Rio Grande do Sul se caracteriza por praias arenosas abertas predominantemente dominadas por ondas. Devido a sua topografia complexa, influencia os processos físicos que determinam as características das ondas e que somadas às correntes costeiras originadas no

extremo sul do continente Sul-Americano, e correntes costeiras geradas por circulação de ventos, resultam na dinâmica que é responsável pelo transporte, mistura e ressuspensão de sedimentos na Plataforma Continental. Segundo Grant and Madsen [1], quando onda e corrente existem em uma região, a tensão de cisalhamento é alterada devido à turbulência gerada pela interação onda-corrente próxima do fundo e esta tensão difere da tensão esperada somente para corrente ou para onda. É sabido que em regiões costeiras, tal como estuários e praias, ondas e correntes coexistem simultaneamente, sendo o mais importante processo controlador do comportamento hidrodinâmico. Porém esta interação não linear ainda não é bem entendida.

2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido através da realização de experimentos de modelagem numérica tri-dimensional da região de estudo, considerando as principais forçantes que controlam a dinâmica da região (vento, descarga, marés, ondas geradas por vento e ondas oceânicas).

A metodologia combina a utilização de dados de campo: de nível de água, descarga fluvial, intensidade e direção dos ventos e velocidade de correntes; dados de modelos globais: de salinidade, temperatura e intensidade e direção dos ventos, e ondas; e a modelagem numérica dos processos físicos envolvidos. Foram implementados no programa TELEMAC-3D a contribuição das velocidades de fundo, intensidade e direção, das ondas geradas por vento obtido através do modelo numérico de geração de ondas TOMAWAC, para o cálculo da velocidade de fricção de fundo resultante da interação onda corrente. Foi calculado o coeficiente de fricção para onda proposto por Jonsson [2] assim como um coeficiente de fricção para a interação onda-corrente considerando a angulação entre as duas velocidades de fundo. Também foi implementado, através destes resultados, o cálculo da rugosidade aparente de fundo Signell et al. [3] que indica o nível turbulento na camada limite de fundo devido à combinação onda-corrente.

Para o cálculo da velocidade de fricção de fundo da interação onda corrente foi primeiramente somado a contribuição das velocidades orbitais de fundo das ondas, intensidade e direção, com as velocidades de fundo da circulação dirigida pelo vento. O modelo TELEMAC3D calculou então a velocidade de fricção de fundo para a soma das velocidades de fundo de ambas as contribuições. Porém para a interação onda-corrente é necessário usar uma rugosidade aparente devido ao nível turbulento resultante da interação.

A equação para cálculo da rugosidade aparente segundo Signell et al., 1990, é calculada como segue:

$$k_b = k_s \left[24 \frac{u_{*cw} A_\delta}{U_\delta k_s} \right]^\beta \quad (1)$$

Onde k_b é a rugosidade aparente, k_s é a rugosidade física, u_{*cw} é a velocidade de fricção onda-corrente, U_δ é a velocidade orbital de fundo, A_δ é a amplitude de excursão de fundo e β é o coeficiente que relaciona a velocidade de fricção de fundo da onda-corrente com a da corrente.

A obtenção dos valores de A_δ é encontrada utilizando a teoria de onda linear para águas rasas:

$$A_\delta = \left(\frac{HT}{4\pi} \right) \cdot \left(\frac{g}{h} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Onde H é a amplitude da onda, T é o período da onda, g é aceleração gravitacional e h é a profundidade no ponto. A amplitude é relacionada com a altura significativa de onda da seguinte forma: $H=2.H_s$, onde H_s é a altura significativa das ondas no ponto.

Para calcularmos o coeficiente de fricção, para onda, foi utilizada a equação proposta por Jonsson, 1966:

$$f_w = \exp \left[-6 + 5.2 \left(\frac{A_s}{\kappa_s} \right)^{-0.19} \right] \quad (3)$$

A velocidade de fricção de fundo para onda é calculada segundo a equação:

$$u_{*w} = \left[\left(\frac{1}{2} \right) (f_w) \right]^{1/2} \cdot U_s \quad (4)$$

Para podermos encontrar o coeficiente de rugosidade aparente da interação onda corrente é necessário calcular um coeficiente de fricção para a interação que é determinada como segue:

$$u_{*wc} = (u_{*c}^2 + u_{*w}^2 + 2 \cdot u_{*c} \cdot u_{*w} \cdot \cos \varphi)^{1/2} \quad (5)$$

O coeficiente β , para o cálculo da rugosidade aparente, é encontrado através da relação entre a velocidade de fricção de fundo da onda-corrente com a da corrente, conforme a equação que segue:

$$\beta = 1 - \left(\frac{u_{*c}}{u_{*wc}} \right) \quad (6)$$

O modelo numérico TELEMAC3D calcula a velocidade de fricção de fundo, para a Lei de fricção de fundo Nikuradse, através do coeficiente de Chèzy (C) que para a interação onda-corrente utiliza o coeficiente de rugosidade aparente (k_b).

$$C = 7.83 \log \left[12 \left(\frac{h}{\kappa_b} \right) \right] \quad (7)$$

E coeficiente de Chèzy é relacionado com o coeficiente de fricção para onda corrente como segue:

$$c_{wc} = \frac{2g}{f_w} \quad (8)$$

Desta forma podemos calcular a tensão de cisalhamento de fundo para a interação onda-corrente (τ_{wc}):

$$\tau_{wc} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_{wc} V_{wc}^2 \quad (9)$$

Onde ρ é a densidade da água do mar no fundo, C_{wc} é o coeficiente de fricção para a interação e V_{wc} é a soma das velocidades da interação no fundo.

O objetivo deste trabalho é avaliar as alterações que o efeito da onda causa na hidrodinâmica ao longo de toda coluna de água na plataforma continental interna do sul do Brasil.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo realizado mostra que a interação da onda-corrente altera a estimativa do valor da tensão de cisalhamento de fundo de quando considerado somente a contribuição da corrente de circulação. Isto se dá devido à interação da onda com o fundo, em águas rasas, o que provoca uma corrente que somada à contribuição da corrente de circulação altera a dinâmica do fundo. A interação destas duas forçantes gera uma camada turbulenta e que tem como resultado uma alteração na rugosidade de fundo. Esta nova rugosidade do fundo, chamada de rugosidade aparente pode ser maior que a rugosidade física o que conseqüentemente pode levar a termos um maior coeficiente de fricção de fundo. Desta forma a velocidade de fricção, que é a velocidade de fundo das duas contribuições multiplicada pelo coeficiente de fricção da interação onda-corrente, varia podendo ser intensificada em alguns momentos e conseqüentemente a tensão de cisalhamento de fundo conforme mostra a Figura 1, que mostra a média da tensão de cisalhamento de fundo para a simulação dos anos de 1998 a 1999, com 730 dias de simulação. Os picos de tensão que aparecem nos contornos, oceânico leste e norte da grade, são devidos as condições de contorno utilizadas. Nesta região são impostos dados de ondas oceânicas e marés e por não ser utilizada uma função, por exemplo, do tipo rampa para a imposição destes valores estas regiões aparecem com estes picos e que não são considerados nas análises.

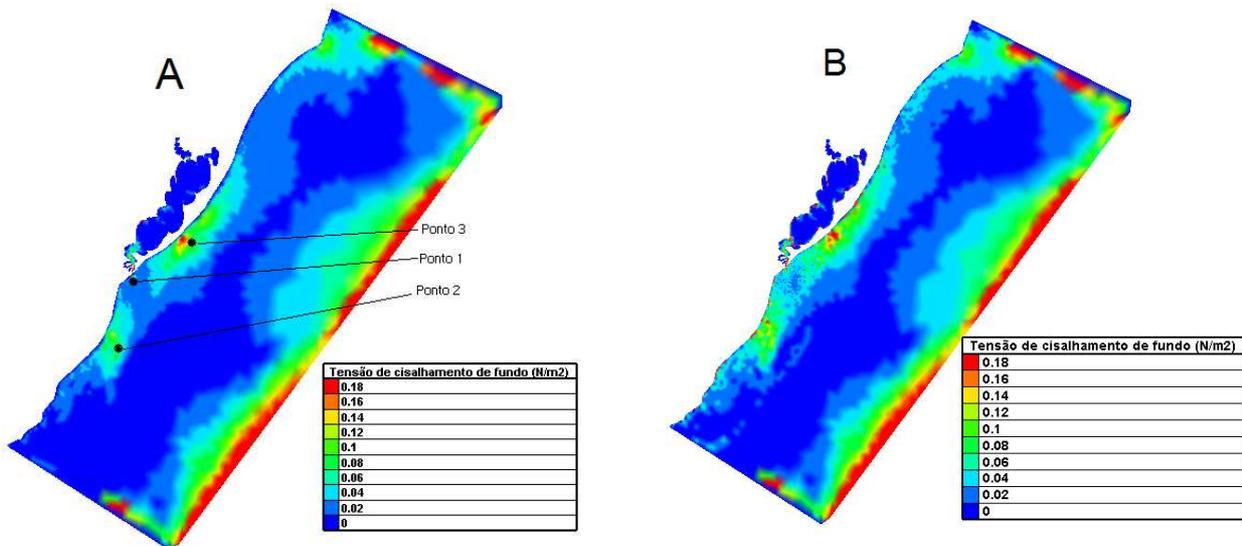


Figura 1: Média de 2 anos (1998-1999) da tensão de cisalhamento de fundo para corrente (A) e interação onda-corrente (B).

A Figura 2 mostra uma série temporal da tensão de cisalhamento de fundo para o ponto 1, que está localizado na Figura 1, entre os dias 200 e 500 da simulação. Para os demais pontos o mesmo comportamento é observado, portanto não serão mostrados.

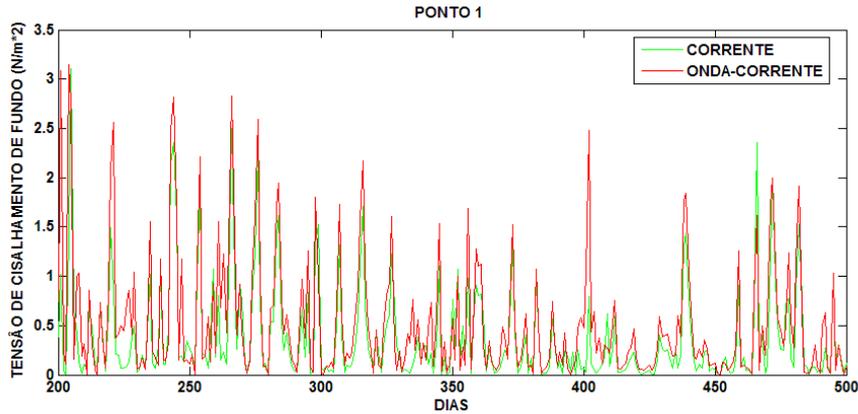


Figura 2: Séries temporais da tensão de cisalhamento de fundo para corrente e interação onda corrente entre os dias 200 e 500 dos 730 dias de simulação realizada dos anos 1998 a1999 no ponto 1.

Para a análise do Número de Richardson foi considerado o gradiente de densidade e o gradiente de velocidade ao longo da coluna de água conforme a equação (10):

$$Ri = - \frac{g}{\rho} \frac{\frac{\partial \rho}{\partial z}}{\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2} \quad (10)$$

Onde g é a aceleração gravitacional, ρ é a densidade, z é a profundidade e V é a velocidade do fluido

A análise mostra a tendência de o fluxo tornar-se turbulento de acordo com um número limite (turbulento $<0,25$). A Figura 3 mostra esta análise para o ponto 1. Na Figura 4 mostra a alteração no perfil de velocidade para o mesmo ponto, em três dias sequenciais, devido à interação onda-corrente. Esta figura também mostra uma intensificação no gradiente de velocidade, o que favorece a transição para um fluxo turbulento. A diferença nos perfis de velocidade se dá devido à interação do fluxo com o fundo ser diferente em cada situação e o resultado destas interações com o fundo propaga-se ao longo da coluna de água através da transferência de momento. A interação onda-corrente é uma interação não linear e seu resultado depende da angulação e das intensidades relativas entre as duas forçantes.

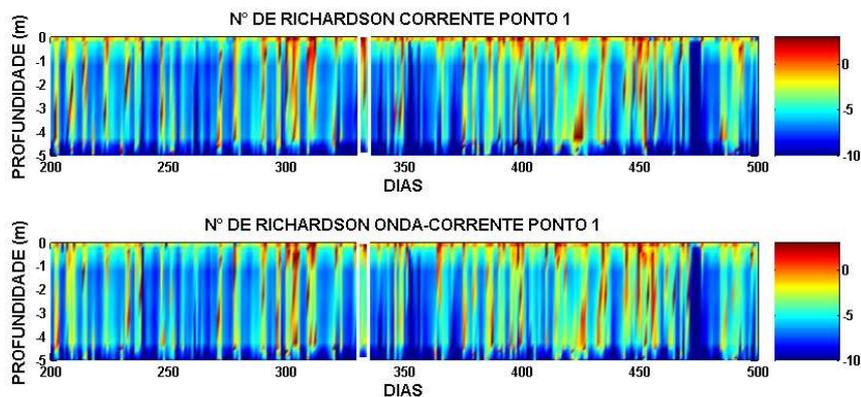


Figura 3: Análise do número de Richardson, em escala logarítmica, ao longo da coluna de água para o ponto 1 entre os dias 200 e 500 dos 730 dias de simulação realizada dos anos 1998 a1999. Os retângulos brancos representam os dias que tiveram os perfis de velocidade analisados.

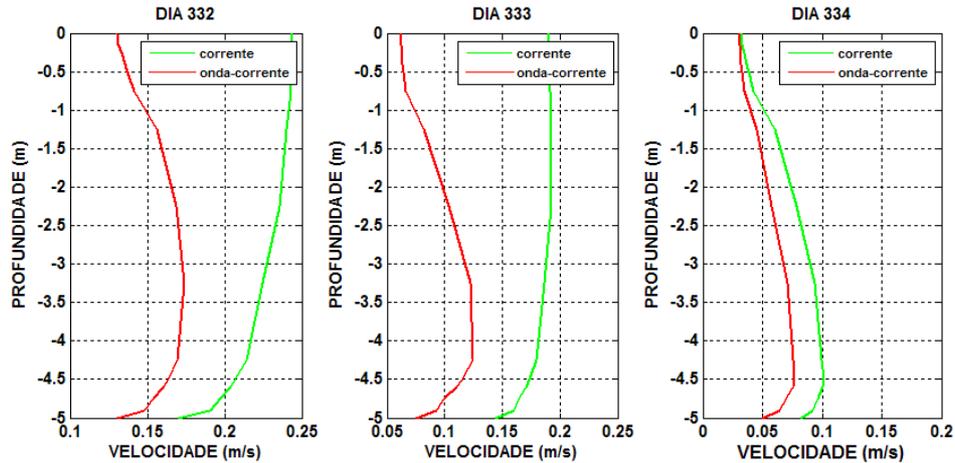


Figura 4: Perfil de velocidade para os dias 332, 333 e 334 no ponto 1.

Alterações na direção da corrente também foram observadas na análise entre as duas situações. A Tabela 1 mostra esta alteração para o dia 333. A direção da corrente de superfície na interação onda-corrente difere de 128,2 ° da corrente superficial observada na simulação considerando somente corrente.

Tabela 1: velocidades e direções, no dia 333, para 3 níveis de profundidade para as duas simulações.

	Velocidade corrente (m/s)	Direção corrente (Graus)	Direção onda (Graus)	Velocidade onda-corrente (m/s)	Direção onda-corrente (Graus)
Fundo	0.1437	287.17	277.02	0.0753	300.89
Nível médio	0.1865	283.00		0.1221	292.21
Superfície	0.1906	187.96		0.0628	316.16

4. CONCLUSÕES

Os resultados mostrados indicam que a interação onda corrente na Plataforma Sul do Brasil altera a dinâmica da circulação. Ocorre uma intensificação na média da tensão de cisalhamento de fundo, devido ao aumento da rugosidade do fundo que por sua vez é causada pela interação turbulenta ali criada. A simulação feita para areia fina (diâmetro de 0,00015 m) mostra que esta intensificação pode, em alguns momentos, atingir a tensão crítica para erosão de acordo com a teoria de Shields o que não é observada, em alguns momentos, quando a simulação é feita sem considerar a interação de ondas geradas por ventos na Plataforma. Estas tensões e suas intensificações são bem observadas próximas a costa, na Plataforma Continental Interna, até a profundidade de 50 m.

A análise do perfil de corrente na coluna de água mostra uma alteração na intensidade e direção da velocidade devido ao efeito da onda. A análise do Número de Richardson mostra que a interação da onda com a corrente pode intensificar ou diminuir a tendência do fluxo se tornar turbulento devido à alteração no perfil de velocidade e no seu gradiente.

REFERÊNCIAS

1. GRANT, W.D. AND MADSEN, O.S., 1979. “Combined wave and current interaction with a rough bottom”. J. Geophysics. Res., 84(C4): 1797-1808.
2. JONSSON, LG., 1966. “Wave boundary layer and friction factors”. In: Proc. 10th Conf. Coastal Eng., Tokyo, pp.127-148.
3. SIGNELL, R.P., BEARDSLEY, R.C., GRABER, H.C. AND CAPOTONDI, A., 1990, “Effect of wave-current interaction on wind-driven circulation in narrow, shallow embayments”. J. Geophysics. Res., 95(C6): 9671-9678.