

MODELAGEM LABORATORIAL DO TRANSPORTE DE ENERGIA E MATÉRIA EM ONDAS DE GRAVIDADE

Lenin Domingues Garcia¹ e Eduardo Puhl²
 Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Núcleo de Estudos de Corrente de Densidade
¹Autor e ²Orientador

Introdução

As ondas de praia, ou ondas de gravidade, são classificadas como ondas mecânicas, que por definição necessitam de um meio material para efetuar sua propagação. Ao observar o mar na beira da praia, é possível identificar dois padrões de onda distintos: as de locais mais distantes – mar adentro – e as de rebatção, que se encontram mais próximas à orla. As ondas marítimas possuem a particularidade de transportar matéria, além de energia. Trata-se de um conceito responsável por muitos estudos na área de hidráulica marítima, um exemplo claro é o transporte de manchas de óleo e poluentes por regiões oceânicas pela ação das ondas de gravidade.



Gráfico 1: Deslocamento de uma partícula em um período de onda

Para elucidar melhor o transporte de matéria pode-se imaginar uma garrafa boiando em alto mar, é possível observar um movimento orbital no corpo, a garrafa sofre avanços e recuos periódicos, porém há uma resultante de deslocamento na direção de propagação da onda. Este deslocamento ocorre devido à velocidade de deriva, ou velocidade de Stokes.

O presente estudo tem o objetivo de investigar a ocorrência do transporte de matéria por ondas de gravidade, em laboratório, através de modelagem física em canal fechado. Neste caso um padrão de recirculação deve ser estabelecido, já que suas fronteiras são fechadas (Bullock e Short, 1985). Foi construído um modelo teórico do perfil das velocidades médias dentro do canal fechado, considerando fluido viscoso. A Equação 1 serviu de base para os estudos. As velocidades médias são expressadas por U_0 , a letra d representa a profundidade da lâmina de água, y a posição vertical, amplitude é expressada por a , período por T e altura das ondas por H .

$$u_0 = \frac{a^2 \omega \kappa}{2 \sinh^2 \kappa d} \left[\frac{3}{2} + \frac{\kappa d}{2} \sinh \left(\frac{6 \kappa y^2}{d} + 8 \kappa y + 2 \kappa d \right) + \frac{3}{2} \left(\frac{\sinh 2 \kappa d}{2 \kappa d} + \frac{3}{2} \left(\frac{y^2}{d^2} - 1 \right) \right) \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

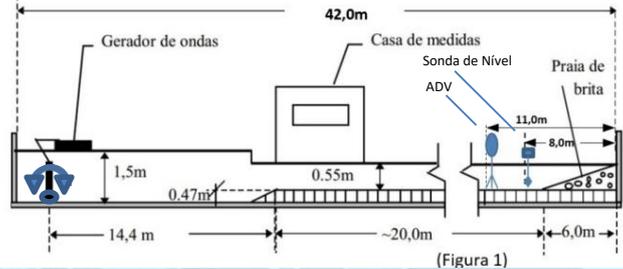
Onde: $\omega = 2\pi/T$ $\kappa = 2\pi/L$ $a = H/2$

Métodos e Ensaios

O estudo buscou determinar o transporte de massa dentro de um canal fechado através da medição de perfis verticais de velocidade. Além disso, foram determinados os principais parâmetros das ondas incidentes: Período e Altura. Para a realização dos experimentos foi utilizado o canal com batedor de ondas do IPH (Figura 1). Dois tipos de equipamentos foram utilizados para a coleta de dados: sonda de nível capacitiva e medidor acústico de velocidade através do efeito Doppler (ADV). A sonda de nível contribui com dados de período e altura significativa de onda através de sua diferença de voltagem quando em contato com o movimento das ondas proveniente do escoamento. O ADV coleta dados de velocidade em três diferentes direções: transversal, longitudinal e vertical. Os instrumentos foram posicionados conforme ilustra a Figura 1. Quatro ensaios foram realizados, conforme a Tabela 1, todos com a mesma profundidade na seção de medição, 0,28 m.

Ensaio	T (s)	H (m)
1	1,22	0,09
2	1,39	0,067
3	1,54	0,048
4	1,88	0,021

Tabela 1



(Figura 1)

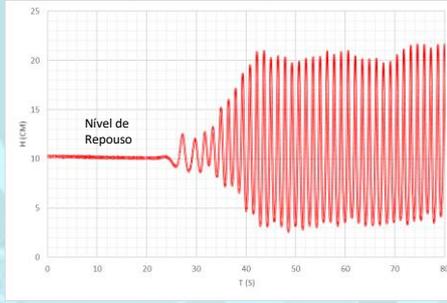


Gráfico 2

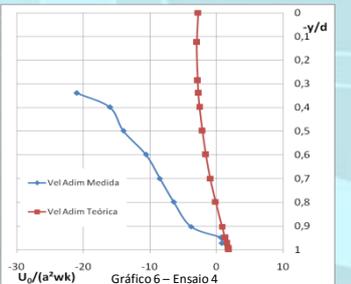
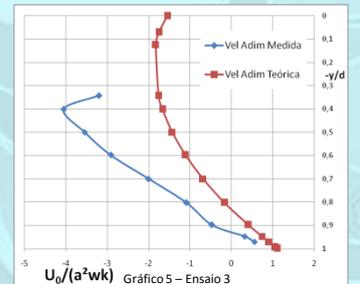
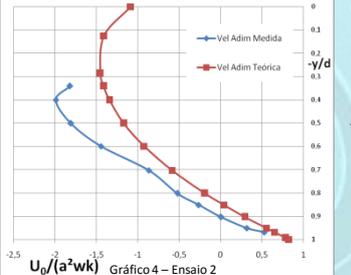
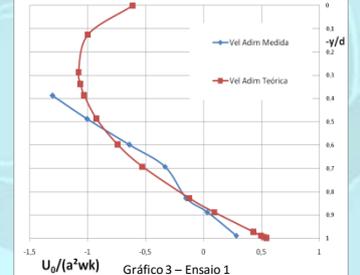
Análise de Dados

Os dados brutos provenientes da sonda de nível são trabalhados afim de eliminar ruídos, para isso é feita uma análise do espectro, através dos máximos e mínimos atingidos por cada onda. Desta análise são obtidos o período T e a altura H das ondas. Com estas informações e a profundidade da lâmina de água que permaneceu em 0,28 m durante todos os ensaios, retira-se o comprimento de onda L .

Após a coleta dos dados provenientes dos equipamentos, a análise proporciona a criação de um conjunto teórico e um medido dos perfis de velocidade ao longo da coluna de água das ondas em movimento, permitindo a análise e comparação da dispersão das velocidades. No Gráfico 2 foi construído um esboço com os dados de profundidade e tempo fornecidos pela sonda de nível, a partir do momento em que o batedor de ondas começou a execução de seu movimento.

Resultados e Discussões

Com a captação dos dados foi então quantificado o transporte de massa e analisado os padrões de circulação no canal do IPH, de forma tanto teórica quanto prática. Nos gráficos abaixo é exemplificada a relação da velocidade média medida com a teórica, variando com a profundidade e com as variáveis adimensionalizadas para fins de comparação de resultados.



Conclusão

Os métodos utilizados se mostraram adequados, proporcionaram a obtenção de resultados que possuem um formato bastante similar entre si e esboçam claramente a recirculação que ocorre no canal, simulando e quantificando a circulação oceânica, auxiliando e contribuindo para novos estudos de caso.

Referências

- Bullock, G.N.; Short, I. 1985. *Water Particle Velocities in Regular Waves*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering. Vol. 111. No. 2.
- Clemente, D.S. 2013. *Energia das Ondas: Metodologia de Ensaio em Modelos Reduzidos*. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá. 121 p.
- Rego, V.S.R. 2006. *Estudo sobre as Características Físicas de um Canal de Ondas*. Tese de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 164 p.
- Rosauero, N.M.L. 2004. *Teoria e Prática da Geração e Propagação de Ondas Monocromáticas em um Canal de Laboratório*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 9. No. 1.
- Gomes, A.P. 2014. *Efeito de Ondas em Reservatórios a Jusante de Dissipadores de Energia por Ressalto Hidráulico*. 141 p.