

# MODELAGEM NUMÉRICA DE PERFIS DE ENROCAMENTO SOB AÇÃO DE ONDAS REGULARES

Yuri Timm Müller (Bolsista CAPES), Eduardo Puhl (Orientador)  
yuritimm@gmail.com



## Introdução

As ondas na água, de modo simplificado, são definidas como perturbações causadas por diferentes forças, ocasionando flutuações do nível da água com velocidade, aceleração local e variação local de pressão. Estas ondas podem ser classificadas segundo as forças geradora/restauradora e as faixas de períodos típicos. As ondas mais estudadas e com maior importância para a engenharia são as ondas de gravidade, que são formadas pelo cisalhamento do vento com a superfície da água, onde surgem pequenas ondas que vão aumentando de altura e comprimento, impulsionadas pela ação contínua do vento. Características das ondas ilustradas na figura 1.

Na Hidráulica Marítima o conhecimento das características das ondas e seus efeitos sobre as estruturas como portos, diques, molhes, quebra-mares e canais de navegação, são de fundamental importância para o projeto e construção dessas obras. Modelos físicos, bacias e canais de ondas, e modelos matemáticos são essenciais para otimização de projetos e dimensionamento dessas estruturas.

Objetivo desse estudo é desenvolver uma metodologia para modelagem numérica de propagação de ondas. A fim de validar os resultados obtidos no modelo numérico, será feita a comparação de dados obtidos em modelo físico e, se possível, modelar outras condições de geração de onda.

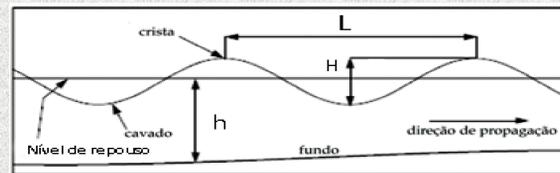


Figura 1 – características das ondas.

L – Comprimento de onda  
h – profundidade  
H – altura de onda

## Materiais e Métodos

Nesse presente estudo foi utilizado a ferramenta computacional Sistema de Modelagem Costeira – Brasil (SMC). Um dos módulos dessa ferramenta é o Modelo Integral de Propagação de Ondas, Correntes e Morfodinâmica em Praias - Mopla. É um programa que permite simular, em uma zona litorânea, a propagação de ondas desde profundidades indefinidas até a linha de costa. O Mopla é composto por seis modelos numéricos. Para a simulação dos casos utilizou-se apenas o modelo numérico de propagação de ondas monocromáticas, OLUCA – MC.

O OLUCA é um modelo de propagação de ondas de não linearidade débil, combinado de refração e difração que inclui os efeitos de empolamento (shoaling), dissipação de energia por fricção com o fundo e quebra da onda, simulando o comportamento de ondas sobre batimetrias irregulares.

É baseado na aproximação parabólica da equação da declividade suave. Equação(1) da declividade suave, desenvolvida por Berkhoff (1972), citado por GIOCO (2000c).

$$\vec{\nabla} (C c_g \vec{\nabla} \eta) + \sigma^2 \frac{c_g}{c} \eta = 0 \quad (1)$$

Onde ;  $\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x_j}$ , j=1,2

$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tan h kh}$ , Celeridade da onda

$c_g = C \frac{(1 + \frac{2kh}{\sin h 2kh})}{2}$ , Celeridade de grupo

→ Onde a profundidade local da água é h(x, y), e g, a aceleração da gravidade.

**Limitações e pressupostos do modelo OLUCA – MC:** considera o fluido não viscoso, incompressível e de densidade constante, com fluxo irrotacional, estacionário e com as componentes U e V das correntes não variando ao longo da coluna d'água (integrado na profundidade). Assume pressão constante na superfície livre e não considera a ação do vento. O modelo é aplicável em ambientes onde os fenômenos de refração, difração, empolamento e quebra da onda predominam, não sendo aplicável em ambientes onde o fenômeno da reflexão ocorre constantemente (CALLONI, 2011).

Para o objetivo foi utilizado o Modelo Integral de Propagação de Ondas, Correntes e Morfodinâmica em Praias (Mopla), seguindo a ordem: **1)** Criando projeto; **2)** Criando alternativas, onde é inserida a batimetria (a partir de arquivo xyz, imagem ou linha de costa); **3)** Editor do plano de trabalho, onde é feita a interpolação da batimetria e definida a linha de costa (limite entre a água e terra); **4)** Definindo a malha; **5)** Executando o programa (janela Mopla).

As simulações tiveram como base o modelo físico canal de ondas do IPH/Necod e os experimentos de GOMES. Foram gerados três casos de propagação de onda e duas malhas a partir da tabela 1, sendo caso 1 para onda A, caso 2 para onda B e caso 3 para onda C.

Onda	A	B	C
h(cm)	31,7	31,7	33,9
H(cm)	5,2	6,1	7,5
T(s)	1,3	1,4	1,7

Malha	Dimensões (m)	Espaçamento (m)	Nº de linhas
Malha 1	x: 40 y: 1	0,4 0,2	101 6
Malha 2	x: 40 y: 1	0,1 0,1	401 11

Tabela 1 – Informações dos casos e malhas para o modelo numérico

→ Onde h é altura da lamina da água na parte rasa do canal, H é altura de onda e T o período.

Na janela Mopla é possível editar a malha, criar casos (ondas ou espectro), calcular e visualizar os resultados como altura de onda, fase, frente de onda, entre outros.

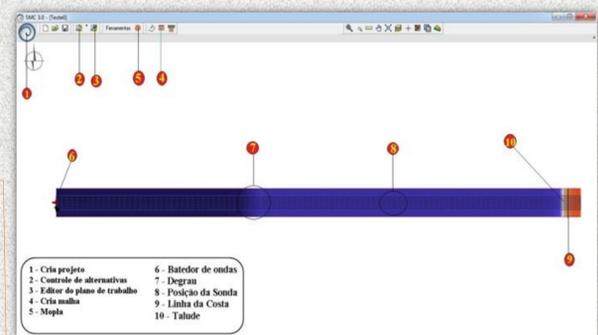


Figura 2 – Interface Mopla

O canal apresenta 42 m de comprimento e 1 m de largura, um degrau dentro do canal que reduz sua profundidade em 47 cm e um gerador de ondas instalado em uma de suas extremidades. O degrau está situado a 14,4 m de distância do ponto de articulação do bater de ondas. O talude ao final do canal foi construído de Brita G com inclinação 1:3. Foram utilizados os dados da sonda P3, esta situada a 24 m do bater de ondas (figura 3).

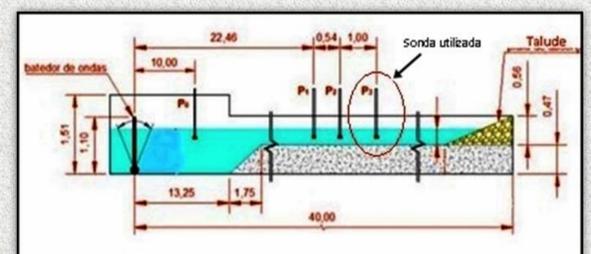


Figura 3 – Canal de ondas, com a sonda utilizada destacada. (adaptado de GOMES)

## Resultados

Foi feita a comparação de resultados já obtidos em ensaios no canal com resultados obtidos pelo programa. Para fins de cálculo, se utilizou modelo de Stokes – não linear com dissipação de amortecimento com fundo poroso.

Comparação entre as alturas das ondas resultantes da medição pela sonda, em ensaios, com as obtidas pelo modelo numérico, para cada caso. (tabela 2). Nota-se pequena diferença nos valores da altura de onda, resultando em erros que variam de 2 a 7%. Possivelmente essas diferenças são devidas às hipóteses e limitações do modelo numérico OLUCA – MC.

	Onda A	Onda B	Onda C
Posição da sonda a partir do bater (m)	24	24	24
Altura de onda medida pela sonda (m)	0,052	0,0610	0,075
Altura de onda gerada pelo programa (m)	0,0484	0,0596	0,078
Diferença (m)	0,0036	0,0014	0,0027
Erro (%)	6,92	2,30	3,60

Tabela 2 – Comparação de resultados da altura de onda.

Altura de onda na região do degrau, geradas pelo modelo, e comparação das malhas utilizadas (gráfico 1). Tem-se um pequeno decaimento na altura da onda ao chegar no início do degrau (13m), seguido de elevação constante até o seu final (15m). A malha 2, de menor espaçamento e maior nº de linhas, apresenta maior detalhamento nos resultados. H representa altura de onda em centímetros e X a distância no canal a partir do bater em metros.

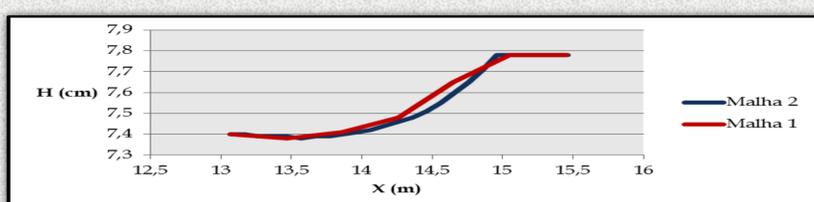


Gráfico 1 – altura de onda na região do degrau.

Perfil da linha de água ao longo do canal. Comprimento de onda na parte profunda do canal foi de 3,9 m, já na parte rasa foi de 2,7m, ilustrado no gráfico 2. Visível diminuição do comprimento de onda ao chegar à parte rasa. Considerando a propagação da onda ao longo de todo o canal, o comprimento de onda médio, obtido na simulação do programa foi de 3,1 m. O medido por ensaio, através da sonda utilizada por GOMES, foi de 2,9 m.

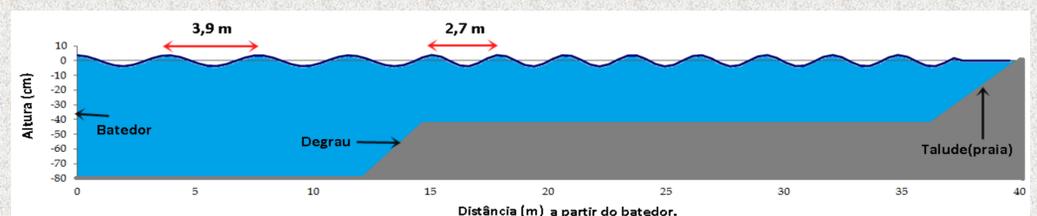


Gráfico 2 – Perfil da linha de água ao longo do canal IPH/Necod obtido na simulação da propagação de uma onda. Escala independente no desenho do fundo.

## Conclusões

Conforme os resultados obtidos e as devidas comparações feitas até o momento, indicam um desempenho satisfatório do modelo na representação dos casos estudados, apresentando convergência nos resultados. Foi possível também desenvolver uma metodologia adequada para realizar as simulações.

## Referências:

- GOMES, Ana Paula. Efeito de ondas em reservatórios a jusante de dissipadores de energia por ressalto hidráulico.
- CALLONI, Bruna. Modelagem da estabilização da desembocadura do rio Itapocú – sc utilizando o sistema de modelagem costeira (smc), 2011.
- ROSAURO, Nara Maria Luzzi. Transformações de ondas dispersivas não lineares na passagem sobre obstáculo de fundo – análise e simulação. 1999
- GRUPO DE INGENHARIA OCEANOGRÁFICA Y DE COSTAS (GIOCO). Sistema de Modelado Costero, SMC. Manual de referencia COPLA. Universidad de Cantabria y Dirección General de Costas, Ministerio de Meio Ambiente, 77 f., 2000d