

ANÁLISE NUMÉRICA DE UMA PLACA SUBMERSA COMO QUEBRA MAR E CONVERSOR DE ENERGIA DAS ONDAS

FLÁVIO MEDEIROS SEIBT¹, EDUARDO COSTA COUTO², PAULO ROBERTO DE FREITAS TEIXEIRA³, ELIZALDO DOMINGUES DOS SANTOS⁴, LIÉRCIO ANDRÉ ISOLDI⁵

RESUMO

Este artigo apresenta um modelo computacional bidimensional desenvolvido para análise do quebra mar tipo placa submersa. O modelo desenvolvido utiliza os códigos comerciais GAMBIT e FLUENT. O escoamento da mistura água-ar nas simulações numéricas do dispositivo é realizada através do modelo multifásico *Volume of Fluid*. O objetivo deste artigo é contribuir para um maior conhecimento deste dispositivo mostrando seu bom desempenho nas funções de quebra mar e conversor de energia das ondas. É analisada a influência da posição vertical da placa no coeficiente de transmissão e na eficiência do dispositivo ao converter energia das ondas em energia elétrica. Para tanto, o modelo desenvolvido, depois do processo de validação, foi utilizado em seis simulações que diferem apenas na posição da placa. Nos casos estudados, o aumento da distância da placa ao fundo proporcionou aumento da eficiência e redução do coeficiente de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE: FLUENT. Placa Submersa. Quebra Mar.

NUMERICAL ANALYSIS OF A SUBMERGED PLATE AS BREAKWATER AND WAVE ENERGY CONVERTER

ABSTRACT

This paper presents a two-dimensional computational model developed for analysis of submerged plate type breakwater. The developed model uses commercial codes FLUENT and GAMBIT. The fluid flow of the water-air mixture in the numerical simulations of device is performed with the use of the multiphase model *Volume of Fluid*. The aim of this paper is to contribute for a better knowledge of this breakwater showing its good performance working as breakwater and wave energy converter. It is analyzed the influence of the vertical position of the plate in the transmission coefficient and efficiency to to convert wave energy into electricity. Therefore, the model developed after the validation process was

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Acadêmico Flávio Medeiros Seibt, fseibt@gmail.com

²Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Dr. Eduardo Costa Couto, e.c.couto@uol.com.br.

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Dr. Paulo Roberto de Freitas Teixeira, pauloteixeira@furg.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Dr. Elizaldo Domingues dos Santos, elizaldosantos@furg.br

⁵Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Dr. Liércio André Isoldi, liercioisoldi@furg.br

used in six simulations that differ on each other only by the position of the plate. In the cases studied, the increase of the distance from the bottom at the plate provided increase efficiency and reduce transmission coefficient.

KEYWORDS: FLUENT. Submerged Plate. Breakwater.

1. INTRODUÇÃO

A proteção da costa e de portos da ação das ondas é realizada, principalmente, por meio de quebra mares isolados. Entretanto, o uso destes dispositivos traz dois inconvenientes importantes: o primeiro é a redução da troca de água entre a área protegida e o mar aberto e o segundo é a obstrução da vista do mar aberto. A redução da troca de água tem como consequências a deterioração da qualidade da água da área protegida e um desvio do transporte de sedimento entre as duas áreas. O uso de quebra mares submersos não ocasiona estes problemas, mas apresenta uma eficiência inferior. Uma alternativa, que não apresenta os problemas dos quebra mares isolados e tampouco a eficiência reduzida dos submersos, é a placa submersa [8] mostrada na FIGURA 1.

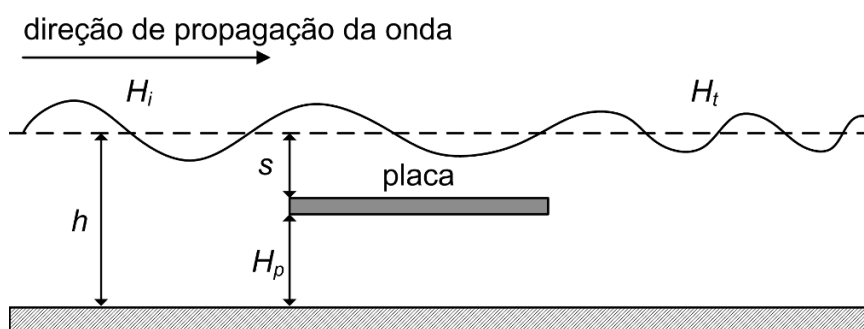


Figura 1 - A placa submersa.

As boas características da placa submersa estimularam pesquisas sobre seu princípio de funcionamento. Graw [9] justificou a maior eficiência deste quebra mar com relação aos submersos com o escoamento que ocorre sob a placa. Este escoamento é descrito, neste mesmo trabalho, como um forte fluxo pulsante, com sentido contrário ao da propagação da onda, e que ocorre durante sua passagem. Segundo esta referência, este fluxo é bastante estável, pois não está sujeito a grandes alterações mesmo quando a região abaixo da placa é parcialmente fechada. Medições deste fluxo foram realizadas e levaram Graw [7] a conclusões que são parafraseadas a seguir:

- A onda que atinge a placa é dividida em duas partes: sobre a placa propaga uma nova onda de gravidade mais curta devido a pouca profundidade da região;

sob a placa uma distorção da pressão propaga a uma velocidade menor que a onda acima;

- Logo que a onda de gravidade que escoar sobre a placa atinge a região após a placa, uma nova onda é formada com o mesmo comprimento da onda incidente, mas com menos energia. A redução de energia ocorre porque parte dela propaga para a região sob a placa;
- Se o comprimento da placa é tal que ao mesmo tempo há uma cava na frente da placa e uma crista no fim, um forte fluxo pulsante oposto ao sentido de propagação da onda é originado;
- A energia transferida por este fluxo, de volta para a região anterior a placa, torna impossível, pela distorção de pressão causada, que as ondas seguintes se propaguem pela região abaixo da placa. Desta forma, o fluxo fica mais forte fazendo com que uma parte da energia da onda incidente seja refletida pelo dispositivo.

Ainda sobre o quebra mar, Graw [10] compilou os resultados de várias investigações teóricas e experimentais com o objetivo de definir a influência do comprimento e da profundidade de submersão da placa na redução da altura da onda incidente. Todos os estudos analisados mostram uma forte dependência do coeficiente de transmissão com o comprimento relativo da placa (razão do comprimento da placa pelo comprimento da onda incidente). Alguns estudos ainda mostram as dependências com relação à profundidade relativa (razão da profundidade de submersão da placa, s , pela profundidade do oceano, h – FIGURA 1) e com relação à razão da profundidade de submersão pela altura da onda incidente. As curvas apresentadas mostram como interagem os parâmetros estudados.

Em Graw [6,7,10] encontram-se as primeiras referências sobre a placa submersa como um dispositivo que pode atuar como quebra mar e conversor de energia das ondas. No entanto, a relevância deste dispositivo como quebra mar deu suporte a pesquisas que o focalizam apenas desta forma. Hsu e Wu [13] desenvolveram um modelo numérico bidimensional baseado na teoria linear de ondas e no método dos elementos de fronteira para um sistema constituído por uma placa submersa, fixa, horizontal, impermeável e um quebra mar submerso e permeável. Quando o quebra mar é totalmente permeável, o sistema se reduz a uma placa submersa. Para esta situação, foram mostradas as comparações dos resultados obtidos pelo modelo com resultados experimentais e soluções numéricas da dependência do coeficiente de transmissão com relação ao comprimento relativo da placa.

Hu, Wang e Williams [14] desenvolveram uma solução analítica para analisar a transmissão e a reflexão de ondas lineares que propagam por um sistema semelhante ao

considerado por Hsu e Wu [13]. Para o caso em que o quebra mar é considerado completamente permeável, são apresentadas as comparações com medições experimentais do coeficiente de reflexão traçado contra o comprimento relativo da placa. Brossard [1] apresentou um método experimental que utiliza duas sondas móveis para medir os coeficientes de reflexão e transmissão de uma placa submersa. Foi estabelecida uma relação entre os coeficientes de transmissão e reflexão com o número de onda para diferentes profundidades relativas da placa. Hildebrandt e Schlurmann [12] realizaram experimentos em um tanque de ondas para analisarem o campo de velocidades no entorno de uma placa submersa e as forças nela induzidas pelo escoamento. Este trabalho teve por objetivo gerar dados para validação de modelos numéricos.

Carter [2] apresentou um minucioso histórico que aborda a placa como conversor de energia e como quebra mar. Apresentou, também, um modelo numérico bidimensional para a placa submersa que emprega o método dos elementos de fronteira e a teoria potencial linear. Ao apresentar o campo de velocidades no entorno da placa, obtido por este modelo, contribuiu para o entendimento do fluxo que se desenvolve sob a placa decorrente da passagem das ondas. Mostrou que o sentido do fluxo alterna, ao contrário do descrito por Graw [8]. Orer e Ozdamar [16] realizaram um estudo experimental para determinar a eficiência da placa submersa como conversor de energia. Ao descreverem o dispositivo, ao contrário de Graw [8], afirmaram que o fluxo sob a placa alterna o sentido.

Seibt [17] apresentou um modelo numérico bidimensional para o dispositivo placa submersa empregando o código comercial FLUENT (versão 6.3.26). Este modelo foi validado com os resultados experimentais de Orer e Ozdamar [16] e utilizado em um estudo numérico do comportamento do escoamento abaixo da placa para uma característica de onda e três diferentes alturas de placa. Estabeleceu uma relação entre a velocidade deste escoamento e a altura da placa. Apresentou, ainda, perfis de velocidades que demonstram que a velocidade deste escoamento é maior no sentido contrário ao de propagação da onda.

O presente artigo pretende contribuir, por meio de resultados de análises numéricas, para um maior conhecimento da placa submersa. Desta forma, tem dois objetivos. O primeiro é mostrar o bom desempenho deste dispositivo na função que o tornou conhecido, a de quebra mar. O segundo é justificar a tendência de tratá-lo como dispositivo de duplo propósito, apresentando sua boa eficiência como conversor de energia das ondas. Para tanto, inicialmente foram validadas as metodologias utilizadas e, posteriormente, foram analisadas seis situações que se distinguem apenas pela posição vertical das placas. Para as simulações numéricas, foi usado o código computacional de dinâmica dos fluidos FLUENT, que é baseado no Método dos Volumes Finitos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Modelagem computacional

O modelo computacional desenvolvido, para análise do princípio de funcionamento do quebra mar do tipo placa submersa utilizou os códigos comerciais GAMBIT (versão 2.4.6) e FLUENT (versão 6.3.26). O primeiro foi usado para a construção e discretização do domínio do problema por meio da geração de malhas estruturadas com elementos quadriláteros. O segundo disponibiliza modelos matemáticos para análise de problemas de dinâmica dos fluidos e transferência de calor e resolve numericamente as equações do modelo escolhido usando o Método dos Volumes Finitos.

Como o problema em estudo não envolve transferência de calor, o FLUENT resolve, apenas, as equações de conservação da massa e da quantidade de movimento.

Para a simulação numérica do quebra mar tipo placa submersa foi considerado um tanque de ondas onde a placa foi acoplada. Para a geração de ondas regulares o método *Volume of Fluid* foi adotado, visando uma interação mais realística entre água, ar e a placa.

No modelo computacional desenvolvido foi considerado o esquema de advecção *upwind* para tratamento dos termos advectivos, o método PRESTO! para a discretização espacial da pressão e o método *GEO-RECONSTRUCTION* para a discretização da fração volumétrica. O algoritmo PISO (*Pressure-Implicit with Splitting of Operator*) foi usado como método de acoplamento pressão-velocidade. Foram empregados os fatores de sub-relaxação 0.3 e 0.7 para as equações da conservação da massa e quantidade de movimento, respectivamente.

As condições de contorno utilizadas foram: pressão atmosférica na face superior do tanque; uma velocidade dependente do tempo na face esquerda do tanque e, nas demais superfícies, uma condição de não-deslizamento (FIGURA 2).

As velocidades dependentes do tempo, nas direções x e z , utilizadas como condição de contorno na lateral esquerda do tanque são obtidas da teoria de ondas de 2ª ordem de Stokes.

2.2 Verificação e validação do modelo computacional

O tanque de ondas usado nas simulações realizadas para a confecção deste artigo está representado na FIGURA 2. Este tanque possui as mesmas características do utilizado por Ozer e Ozdamar [16]. A distância H_p da placa ao fundo do tanque será referida como altura da placa, daqui por diante. Sua magnitude varia ao longo do texto. É conveniente observar que a posição vertical da placa submersa nos textos que a tratam apenas como quebra mar é estabelecida pela sua profundidade (h), enquanto que neste artigo será pela sua altura (H_p).

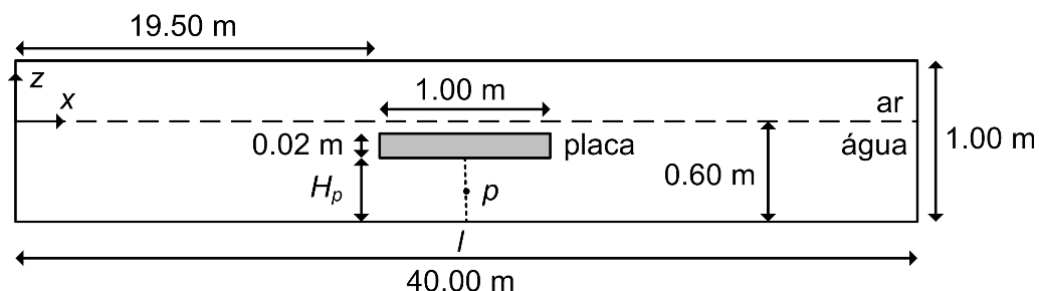


Figura 2 - Geometria do tanque e da placa.

Todas simulações referem-se a 40 s de escoamento. O passo de tempo utilizado sempre foi de 0.001 s.

Inicialmente, um estudo de independência de malha foi realizado para a escolha da malha a ser utilizada no processo de validação e nas simulações, feitas a seguir, que visam avaliar a influência da altura da placa na eficiência do dispositivo em atenuar a altura das ondas incidentes. Após o estudo de independência de malha, a elevação da onda gerada numericamente foi comparada com a solução analítica obtida da teoria de 2ª ordem de Stokes. Posteriormente a esta comparação, o modelo desenvolvido é validado. Com este fim, resultados numéricos e experimentais são comparados.

2.2.1 Estudo de independência de malha

Neste estudo, os parâmetros da onda são altura (H) e período (T) iguais à 0.06 m e 1.50 s, respectivamente, e a placa tem a altura (H_p) igualada à 0.52 m. Foram realizadas quatro simulações com as malhas estruturadas descritas na TABELA 1. Durante estas simulações foi monitorado o fluxo de massa que cruza uma sonda numérica localizada sob a placa (linha l – FIGURA 2) no instante $t = 20$ s.

Com base no erro relativo apresentado na TABELA 1, a Malha 3 foi escolhida para as próximas simulações tendo em vista que a Malha 4 apresenta erro muito semelhante mesmo usando volumes com dimensão característica 50 % menor.

Tabela 1: Estudo de malha (fluxo de massa obtido em $x = 20$ m no instante $t = 20$ s).

Malha	Tamanho dos Volumes (m)	Número de Volumes	Fluxo de massa (kg/s)	Erro relativo (%) entre o resultado (j) e ($j - 1$)
1	0.04 × 0.04	12475	-34.85	–
2	0.02 × 0.02	49950	-31.71	9.02
3	0.01 × 0.01	399800	-31.37	1.09
4	0.005 × 0.005	799200	-31.67	0.98

2.2.2 Verificação

Para esta comparação, semelhante ao ocorrido no estudo de independência de malha, os parâmetros da onda são altura (H) e período (T) iguais a 0.06 m e 1.50 s, respectivamente. Para estes parâmetros de onda, e profundidade do canal igual a 0.60 m, a melhor teoria para modelar a onda é a teoria de Stokes de 2ª ordem, conforme Chakrabarti [3].

Com o fim de avaliar o modelo desenvolvido frente a esta teoria, foram comparados, primeiramente, resultados numéricos e solução analítica para a elevação da superfície livre. Esta última foi obtida com [3]:

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh 2h}{\sinh^3 kh} (2 + \cosh 2kh) \cos 2(kx - \sigma t) \quad (1)$$

A FIGURA 3 apresenta as soluções numérica e analítica para a posição $x = 5$ m, onde a média quadrática das diferenças entre as curvas mostradas é igual a 2.55 % para um intervalo correspondente a sete períodos, que inicia quando a onda já esta plenamente formada e finda antes da onda refletida na face direita do tanque atingir a posição onde foram realizadas as medidas. Este erro médio com valor pequeno e o fato das curvas estarem em fase mostram a boa capacidade do modelo em simular a propagação das ondas.

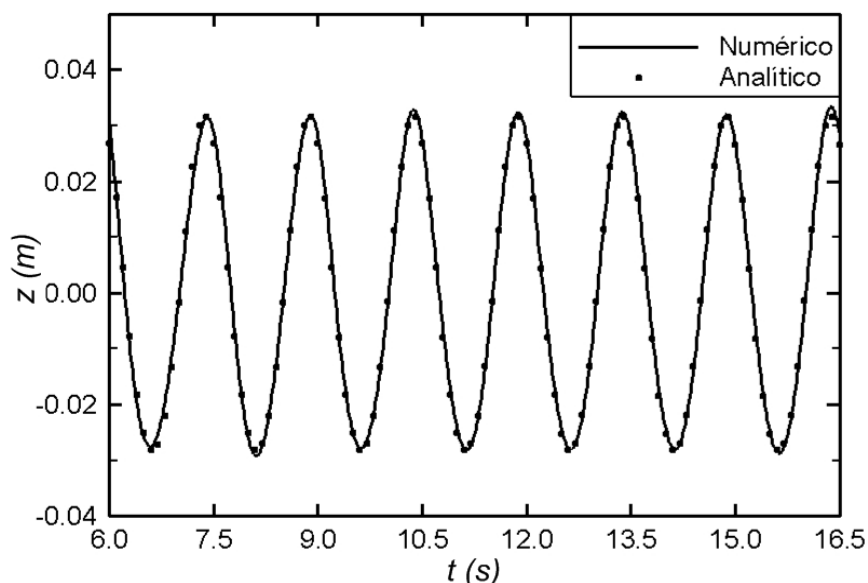


Figura 3 - Comparação entre modelo numérico e teoria de Stokes de 2ª ordem.

2.2.3 Validação

Orer e Ozdamar [16] realizaram um estudo experimental com o objetivo de determinar a eficiência do conversor de energia das ondas do tipo placa submersa. Este estudo foi desenvolvido, conforme já exposto, em um tanque de ondas com a geometria mostrada na FIGURA 2 e com a altura da placa (H_p) igualada a 0.52 m.

Neste trabalho experimental, com o objetivo de calcular a eficiência do conversor, foram medidas as velocidades máximas do escoamento sob a placa, no sentido contrário ao da propagação das ondas. As medições das velocidades foram realizadas em um ponto p localizado sob o centro da placa, a uma altura que corresponde à metade da altura H_p da placa conforme a FIGURA 2.

As velocidades máximas medidas nos experimentos e as encontradas por meio das simulações numéricas foram comparadas com o objetivo de validar o modelo. Do trabalho experimental foram selecionados dois experimentos para realizar as comparações. As simulações foram realizadas com uma malha estruturada formada por 399800 elementos quadrados com lado igual a 0.01 m, de acordo com o estudo de independência de malha.

Os parâmetros da onda de cada experimento, as velocidades encontradas e os erros relativos estão apresentados na TABELA 2. A onda do primeiro experimento tem os mesmos parâmetros da utilizada no estudo de independência de malha e na verificação.

Tabela 2: Parâmetros das ondas, velocidades máximas abaixo da placa experimental, numérica e erro relativo.

Onda	T (s)	H (m)	Veloc. máx. experimental (cm/s)	Veloc. máx. numérica (cm/s)	Erro rel. (%)
1	.50	0.06	-9.44	-8.34	11.67
2	.87	0.06	-11.39	-12.72	-11.74

Os resultados experimentais apresentados na TABELA 2 são medições de velocidades feitas com um equipamento da marca japonesa Kenek, modelo Vm-801 H [16], que apresenta uma resolução de $\pm 2\%$ ao longo da faixa $[0, \pm 200]$ cm/s [15]. Portanto, as medições devem possuir erros acima desta resolução, uma vez que estes dependem das incertezas de medição da série de instrumentos envolvidos no sistema.

Os resultados numéricos correspondem ao valor máximo da velocidade obtido no intervalo que começa quando a onda esta plenamente formada e termina quando a onda atinge o dispositivo depois da reflexão causada pela parede situada no lado direito do tanque.

O tempo de processamento de cada caso, correspondente aos 40 s de monitoramento, foi de aproximadamente 20 h em um computador com processador Intel Core 2 Quad de 2.66 GHz funcionando com quatro núcleos ativos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um quebra mar submerso, como a placa horizontal em estudo, permite que as ondas provenientes do mar aberto passem por ele em direção à zona protegida. Sua eficácia é avaliada por sua capacidade de reduzir a altura da onda que chega à área a ser protegida. O parâmetro que expressa esta capacidade é o coeficiente de transmissão definido em Dean e Dalrymple [4] como:

$$C_t = \frac{H_t}{H_i} \quad (2)$$

onde, H_t é a altura da onda transmitida e H_i é a altura da onda incidente. A altura H_t foi medida a 1 m a jusante da placa, passada a região de turbulência.

Desta forma, otimizar o quebra mar placa submersa significa reduzir o coeficiente de transmissão. Neste artigo é investigada a dependência do coeficiente de transmissão com a altura da placa. As análises são realizadas no mesmo tanque cujo esquema está mostrado na FIGURA 2 e a onda é a descrita na verificação. Foram realizadas seis simulações para as alturas de placa: 0.46, 0.48, 0.50, 0.51, 0.52 e 0.53 m. Os resultados obtidos são apresentados na FIGURA 4 em função da altura relativa da placa (razão da altura da placa, H_p/h , pela profundidade do tanque, h).

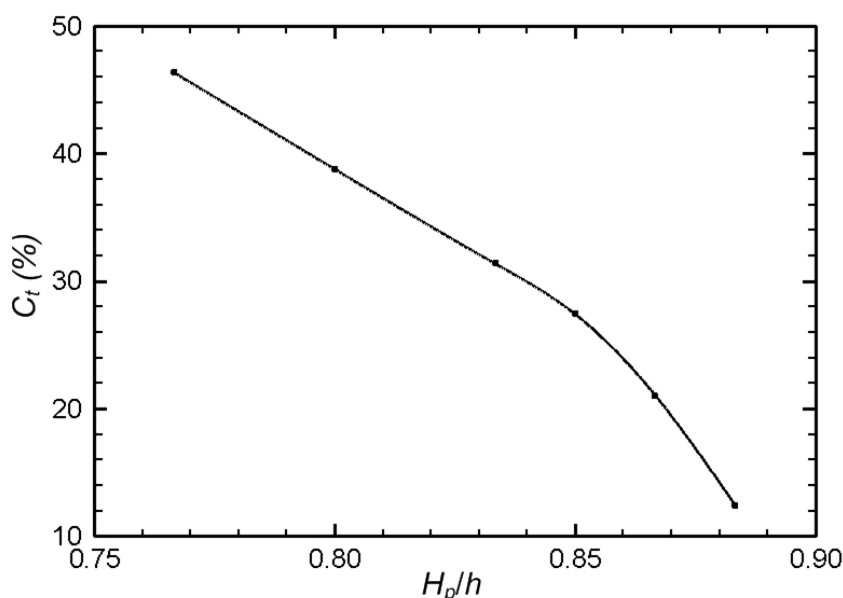


Figura 4 - Coeficiente de transmissão *versus* profundidade relativa.

Observa-se que, no âmbito desta pesquisa, quanto maior a altura relativa, maior é a eficácia do quebra mar. Para um aumento de 15.22 % desta altura corresponde uma redução de 72.82 % no coeficiente de transmissão, o que caracteriza uma forte dependência entre estes parâmetros. Os resultados obtidos são compatíveis com os compilados em [8] e [2].

Já a aptidão da placa submersa para tornar-se um conversor de energia, pode ser avaliada pela sua eficiência que pode ser calculada pela expressão proposta por Graw [11]:

$$\phi = \frac{\text{potência_disponível_sob_a_placa}}{\text{potência_da_onda}} = \frac{P_p}{P_w} \quad (3)$$

onde P_w , a potência da onda que incide no dispositivo, é obtida da expressão proposta Dean e Dalrymple [4],

$$P_w = \left(\frac{1}{8} \rho g H^2 \right) \frac{\sigma}{k} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right] \quad (4)$$

e P_p , a potência disponível sob a placa, é calculada de forma semelhante a proposta por Dizadji e Sajadian [5],

$$P_p = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \int_{-h}^{H_p} \left(P_D + \frac{1}{2} \rho u^2 \right) \cdot u \cdot dz \cdot dt \quad (5)$$

onde P_D é a pressão dinâmica.

A FIGURA 5 apresenta os valores da eficiência do dispositivo correspondentes às alturas estudadas adimensionalizadas pela profundidade do tanque.

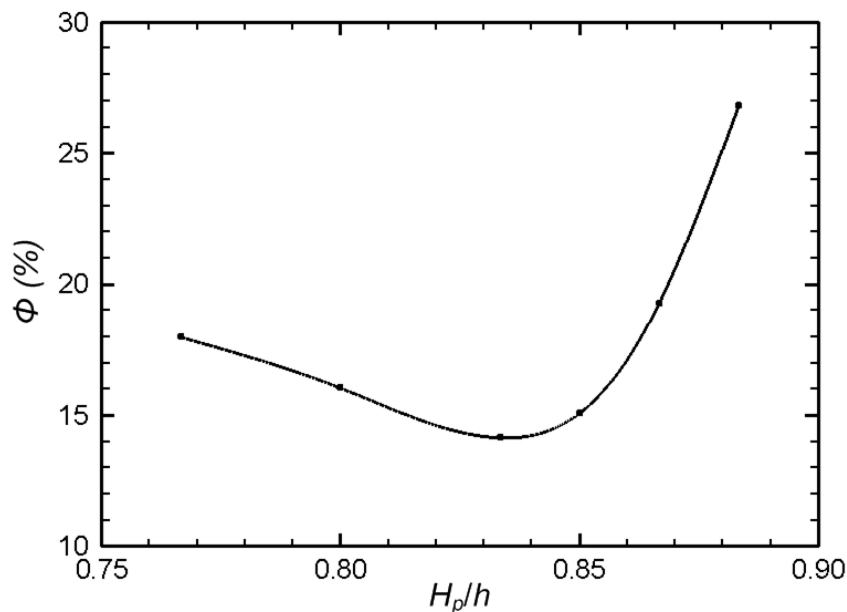


Figura 5 - Eficiência do conversor de energia das ondas do tipo placa submersa para diferentes alturas de placa.

A curva apresentada na FIGURA 5 tem um mínimo quando a altura relativa da placa está próxima a 0.83 m. A partir deste ponto, acréscimos na altura da placa produzem aumento da eficiência. Observando a FIGURA 4, verifica-se que simultâneo ao aumento da eficiência ocorre uma redução do coeficiente de transmissão.

4. CONCLUSÕES

Neste artigo foi desenvolvido um modelo numérico para análise do quebra mar tipo placa submersa. Foram realizadas simulações que mostraram seu bom desempenho como quebra mar e como conversor de energia das ondas. Estas simulações também permitiram avaliar a forte influência da posição vertical da placa no desempenho do dispositivo nas suas duas funções. No entanto, observa-se que, no contexto deste estudo, a otimização de uma função não trás prejuízo à outra. As alturas de placa que correspondem às eficiências mais elevadas também correspondem aos coeficientes de transmissão mais baixos. Naturalmente, novas pesquisas considerando a presença da turbina, a influência de outros parâmetros e utilizando modelagem tridimensional, se possível, são necessárias para identificar as situações em que o dispositivo pode atuar com bom desempenho como quebra mar e como conversor de energia das ondas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BROSSARD, J.; CHAGDALI, M. Experimental investigation of the harmonic generation by waves over a submerged plate. **Coastal Engineering**, v. 42, n. 1, p. 277-290, 2001.
- [2] CARTER, R. W. **Wave energy converters and a submerged horizontal plate**. 273p. Dissertação (Degree of Master of Science in Ocean and Resources Engineering), University of Hawai'i, Manoa, Honolulu, HI, USA, 2005.
- [3] CHAKRABARTI, S. K. **Handbook of Offshore Engineering**, v. 1, 1ª Ed. Plainfield, Illinois, USA. Elsevier, 2005.
- [4] DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. **Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists**, v. 2, 2ª Ed. Farrer Road, Singapore. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 1991.
- [5] DIZADJI, N.; SAJADIAN, S. E. Modeling and optimization of the chamber of OWC system. **Energy**, v. 36, n. 5, p. 2360-2366, 2011.
- [6] GRAW, K. U. Is the submerged plate wave energy converter ready to act as a new coastal protection system? In: **Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, XXIV**, 1994, Napoli, Italy, p. 1-9.
- [7] GRAW, K. U. Shore protection and electricity by submerged plate wave energy converter. In: **European Wave Energy Symposium**, 1993, Edinburgh, UK, p. 379-384.
- [8] GRAW, K. U. The submerged plate as a primary wave breaker. In: **International Association for Hydraulic Research (IAHR), XXV**, 1993, Japan, p. 38-45.
- [9] GRAW, K. U. The submerged plate as a wave filter: the stability of the pulsating flow phenomenon. In: **International Conference on Coastal Engineering (ICCE), 23º**, 1992, Venice, Italy, p. 1153-1160.
- [10] GRAW, K. U. The submerged plate wave energy converter: A new type of wave energy device. In: **International Symposium on Ocean Energy Development (ODEC)**, 1993, Muroran, Hokkaido, Japan, p. 307-310.
- [11] GRAW, K. U. **Wellenenergie – eine hydromechanische Analyse, Bericht Nr. 8 des Lehr- und Forschungsgebietes Wasserbau und Wasserwirtschaft**. Wuppertal, Germany. Bergische Universitaet – Gesamthochschule, 1995.
- [12] HILDEBRANDT, A.; SCHLURMANN, T. Velocity Field Under Propagating Waves Over a Submerged Horizontal Plate and Induced Forces. In: **Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering**, 2008, Darmstadt, p. 24-30.
- [13] HSU, H. H.; WU, Y. C. Scattering of Water Wave by a Submerged Horizontal Plate and a Submerged Permeable Breakwater. **Ocean Engineering**, v. 26, n. 4, p. 325-341, 1999.
- [14] HU, H.; WANG, K. H.; WILLIAMS, A. N. Wave Motion Over a Breakwater System of a Horizontal Plate and a Vertical Porous Wall. **Ocean Engineering**, v. 29, n. 4, p. 373-386, 2002.

[15] KENEK, Electromagnetic Current Meter. Tabela de especificações técnicas do equipamento modelo VM-801 H. Disponível em: <<http://www.hangilco.com/VM-801.htm>>. Acesso em: 15 mar.2012.

[16] ORER, G.; OZDAMAR, A. An experimental study on the efficiency of the submerged plate wave energy converter. **Renewable Energy**, v. 32, n. 8, p. 1317-1327, 2007.

[17] SEIBT, F. M. **Modelagem computacional de conversor de energia das ondas do mar em energia elétrica do tipo placa submersa**. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, Brasil, 2011.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem as bolsas concedidas pela CAPES (Projeto PNPB nº 23038.007758/2011-16) e CNPq (Projeto nº 555695/2010-7). E. D. dos Santos agradece a FAPERGS pelo apoio financeiro (Processo Nº: 12/1418-4).