



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

INFLUÊNCIA DA ALTURA E DO PERÍODO DE ONDAS REGULARES SOBRE DISPOSITIVOS CONVERSORES DE ENERGIA POR TRANSLAÇÃO DE ONDAS

Guilherme Fuhrmeister Vargas ¹*; *Edith Beatriz Camaño Schettini* ²

Resumo – A busca por energias renováveis tem sido o principal objetivo de engenheiros e cientistas nos últimos anos. Uma fonte de energia conhecida, porém não madura em termos de desenvolvimento tecnológico de exploração, é a energia contida nas ondas do mar, onde dispositivos conversores de energia por translação de ondas, como o *Oyster* e o *Waveroller* são influenciados, principalmente, pela altura e período de onda incidente. Este trabalho tem como objetivo analisar as forças verticais e horizontais atuantes sobre estes conversores por ação de ondas regulares, com diferentes alturas e períodos. Para a realização do estudo, utilizou-se o código computacional livre e aberto OpenFOAM® e sua extensão IHFOAM, com modelagem RANS, malha estruturada e metodologia VOF para a representação do domínio de análise. Um módulo composto por três placas de *Waverollers* em sequência foi escolhido como objeto de estudo. As variáveis analisadas, em função do período e da altura de onda, foram o campo de velocidades, forças horizontais e verticais. O aumento do período mostrou menores frequências de oscilações nas forças horizontais e verticais, relacionando-se a menores taxas de geração de eletricidade. O aumento da altura de onda provocou uma intensificação dos fenômenos já existentes, podendo favorecer a produção de energia.

Palavras-Chave – Conversores de energia das ondas, OpenFOAM, RANS.

THE INFLUENCE OF WAVE HEIGHT AND PERIOD OF REGULAR WAVES ON OSCILLATING WAVE SURGE CONVERTERS

Abstract – The searching for renewable energies has been the main goal of engineers and scientists in recent years. One known energy source, however, still poorly explored, in terms of conversion technology development, is the energy contained in ocean waves, where oscillating wave surge converters, like *Oyster* and *Waveroller*, are, mainly, influenced by the wave height and wave period of its location. The present work is focused on the analysis of the horizontal and vertical wave forces caused by incident regular waves, with different wave heights and wave periods. Computational open source code OpenFOAM® and its extension IHFOAM where used to perform the study, like the application of RANS method, structured mesh and the VOF methodology to represent the analysis domain. A module compound by

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH - UFRGS): guilherme.fuhrmeister@ufrgs.br.

² Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH - UFRGS): bcamano@iph.ufrgs.br.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

three Waverollers in sequence was chosen as the study object. The analyzed variables, in function of wave height and period, where the velocity field, horizontal wave forces and the vertical wave forces. Longer wave periods results in lower frequency oscillations of the horizontal and vertical forces, which are related to lower energy production. Increasing the wave height, it was observed that the existing effects are intensified, which may increase the electric generation.

Keywords – Wave energy converters, OpenFOAM, RANS.

1. INTRODUÇÃO

Um setor que atualmente apresenta um aumento em investimentos e pesquisa é o de fontes alternativas de energia. O mar detém um grande potencial energético, o qual é composto por vários tipos de energia, dentre as quais está a energia oriunda das ondas, capazes de percorrer grandes distâncias sem perdas consideráveis, as quais tornam-se significativas em regiões menos profundas e mais próximas da costa, em função da perda de energia por atrito com as margens e com o fundo do oceano (Cruz; Sarmento, 2004).

Empresas marítimas que estudam as formas de converter a energia das ondas em eletricidade têm proposto a utilização de diversos dispositivos hidráulicos, dentre os quais se destacam o *Waveroller* (da empresa *AW-Energy*) e o *Oyster* (da empresa *Aquamarine*). Ambos conversores (também conhecidos como OWSC — *Oscillating Wave Surge Converters*) utilizam o princípio de translação das ondas, que, devido ao comportamento orbital das partículas de água, provocam a oscilação das placas dos dispositivos. Esta oscilação é responsável por impulsionar pistões que alimentam um sistema hidráulico secundário, forçando o movimento de uma turbina, gerando energia elétrica. A energia produzida é levada a uma central localizada na costa, de onde ela é distribuída. Um esquema dos dispositivos *Waveroller* e *Oyster* são apresentados na Figura 1.

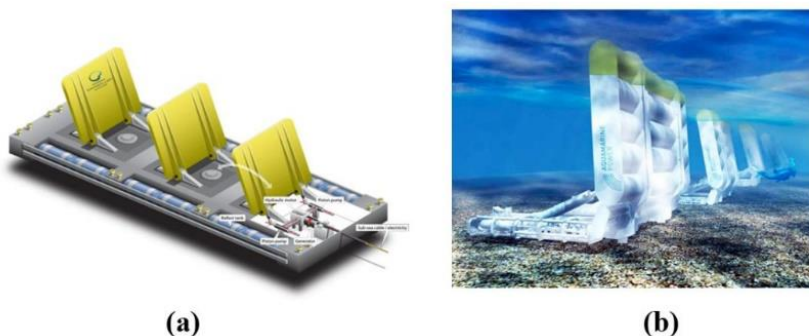


Figura 1 – Dispositivos conversores de energia por translação de ondas: (a) *Waveroller*; (b) *Oyster*



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

Este trabalho tem como finalidade estudar a influência da altura e do período da onda no movimento das placas destes dispositivos e, conseqüentemente, relacionar o efeito de ambas ao potencial de geração de energia elétrica.

2. METODOLOGIA NUMÉRICA

O código computacional OpenFOAM® e a sua extensão IHFOAM (desenvolvida pelo Instituto de Hidráulica da Universidade de Cantabria) foram utilizados para simular os casos de estudo. O método de discretização utilizado pelo OpenFOAM é o dos volumes finitos, que consiste na divisão do domínio em vários volumes de controle discretos (juntamente com a metodologia VOF – *Volume of Fluid* – para os casos multifásicos), onde em seus centroides são calculadas as variáveis e as constantes das equações, sendo estas posteriormente interpoladas para obter seus respectivos valores nas faces dos volumes de controle (Openfoam Foundation, 2016).

A extensão IHFOAM permite a resolução de problemas bifásicos com geração de ondas e interação com zonas porosas. Para o caso sem regiões porosas, o IHFOAM resolve as equações RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*) da continuidade e de Navier-Stokes (Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade de Cantabria, 2014):

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u_i' u_j'} \right) + g_i, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0, \quad (2)$$

onde u_i representa a i -ésima componente do vetor velocidade, P a pressão, x_i a i -ésima coordenada espacial, t o tempo, g_i a componente da aceleração da gravidade na direção i , ρ a massa específica da água e ν a viscosidade cinemática do fluido.

Para a resolução do tensor de Reynolds adotou-se a hipótese de Boussinesq e para a modelagem da viscosidade turbulenta foi utilizado o modelo de turbulência κ - ω SST, que reúne benefícios do modelo κ - ω nas regiões próximas à parede, e a independência do modelo κ - ϵ na corrente livre (Laundner; Sandham, 2002).

O tratamento da superfície livre no IHFOAM, baseia-se no método VOF o qual utiliza uma variável, chamada de fração de volume, que pode variar de 0 (preenchido somente por ar) a 1 (totalmente preenchido por água), indicando a interface ar-água. Para a correta identificação desta interface é necessário aplicar uma compressão artificial, dando origem a um termo que é somado à equação de transporte e só fica ativo na região da superfície. Esta solução é calculada

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

pelo método conhecido como MULES (*Multidimensional Universal Limiter for Explicit Solution*). As velocidades e a pressão são obtidas pelo algoritmo PIMPLE, o qual resulta de uma combinação do algoritmo PISO (*Pressure Implicit with Splitting of Operators*) com o SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations*), garantindo uma boa aproximação e convergência dos resultados (Openfoam Foundation, 2016).

As teorias de onda implementadas no IHFOAM são as de Stokes de primeira, segunda e quinta ordem, Cnoidal, *Stream Function* e Onda Solitária. Todas essas introduzem um perfil de velocidades não uniforme na fronteira do domínio e o movimento das ondas é gerado por um batedor do tipo pistão, conhecido como *piston wavemaker* (Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade de Cantabria, 2014).

O domínio de cálculo possui 161 m na direção horizontal e 35 m na direção vertical (possuindo 70 m de distância entre a entrada do domínio e a primeira placa, e 70 m entre a última placa e a saída do domínio). O domínio foi discretizado com uma malha estruturada, dividida em elementos hexaédricos de tamanho constante em ambas as direções, criada a partir do sistema *blockMesh*, próprio do código.

Foram testados diversos comprimentos de discretização de elementos, verificando-se que comprimentos menores que 25 cm levam a resultados muito próximos, garantindo a independência da malha sobre os resultados. Desta maneira, foi este o comprimento adotado para a discretização, resultado na malha de cálculo mostrada na Figura 2.

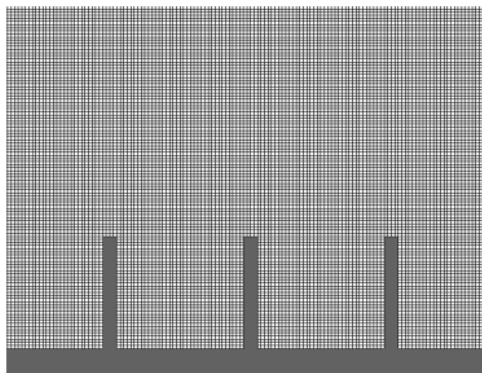


Figura 2 – Malha estruturada utilizada nas simulações

As condições iniciais e de contorno impostas foram: entrada com geração de ondas (condição *IH_Waves_InletVelocity*); saída de jusante e contorno superior livres (condição *InletOutlet*); condição de não deslizamento no fundo e na superfície das placas; placas em posição ortogonal à horizontal; lâmina d'água (a partir do fundo do mar) de 25 m; altura, espessura e largura de placa, respectivamente iguais a 9 m, 1 m e 1 m (em função da simulação em duas dimensões).

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

3. RESULTADOS

O objeto de estudo deste trabalho representa um módulo composto de três *Waverollers* (Figura 1a). Considerando a profundidade adotada, as placas em posição ortogonal à horizontal e equidistantes 9 m uma das outras, foram estudados três períodos de onda (6 s, 10 s e 15 s) e três alturas de onda (1 m, 3 m e 4 m), sendo essas admitidas regulares e considerando simulações numéricas bidimensionais.

Conforme mostra a Figura 3a, a variação do período, para cada altura de onda, ocasiona um aumento da velocidade nas regiões entre as placas, chamadas zonas de recirculação, sendo que a extremidade das placas é a região em que se manifestam os maiores valores de velocidade. Ainda na mesma figura, é possível observar que o aumento da altura da onda, para um mesmo período, causa uma intensificação nos fenômenos já existentes se comparados aos de uma onda com altura menor. Quanto às forças horizontais (F_x) e verticais (F_z), pode-se dizer que o aumento do período causa uma atenuação nas frequências de oscilações dos valores destas forças (Figura 3b). Da mesma forma que ocorre no campo de velocidades, o aumento da altura de onda provoca uma intensificação nos valores das forças horizontais e verticais (Figura 3b), resultando em um aumento da amplitude dessas oscilações, quando comparadas umas às outras. Por outro lado, a frequência das oscilações não é alterada em função do aumento da altura da onda.

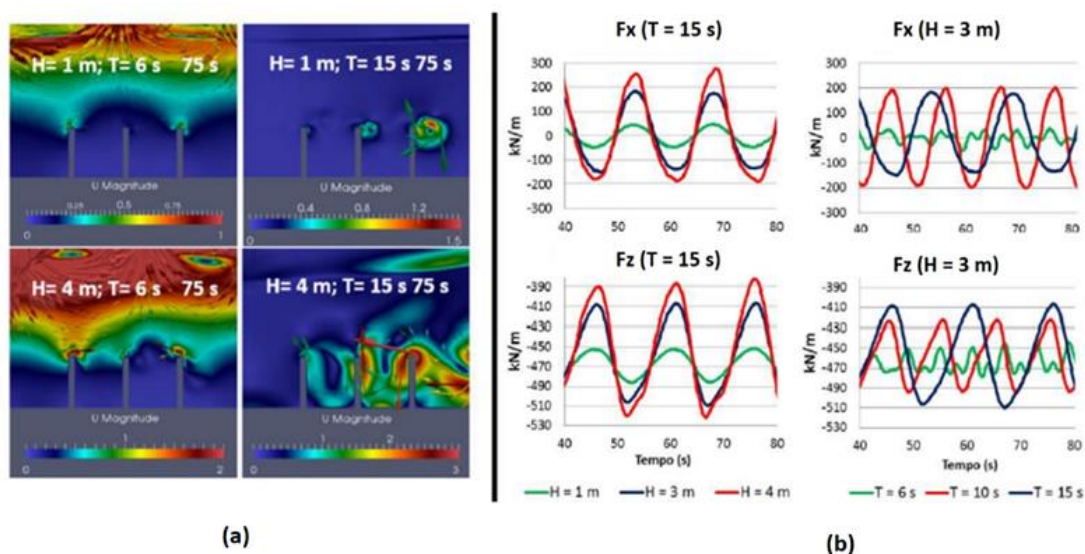


Figura 3 – Influência da altura (H) e do período de onda (T), nos campos de velocidade (a) e nos valores das forças horizontais e verticais (b), considerando uma lâmina d'água $h = 25$ m

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

Foram extraídas as médias temporais dos módulos das forças verticais e horizontais, as quais, juntamente com o período de onda, foram adimensionalizadas pelas seguintes expressões:

$$Fa_k = \frac{2hF_k}{\rho g h_p^3 H}, \quad (3)$$

$$Ta = \frac{gT}{C}, \quad (4)$$

em que, Fa_k representa o valor adimensionalizado da média temporal do módulo da força na direção horizontal (Fa_x) ou vertical (Fa_z), h_p a altura da placa, Ta o período adimensionalizado e C a celeridade da onda.

Na Figura 4 é possível observar que o aumento da relação H/h (equivalente ao aumento da altura da onda) ocasiona, respectivamente, um crescimento e uma diminuição do valor médio do módulo das forças horizontais e verticais (visualizadas em termos adimensionais). Porém, o valor de Fa_z decresce de uma forma muito similar, independentemente do período de onda adimensional.

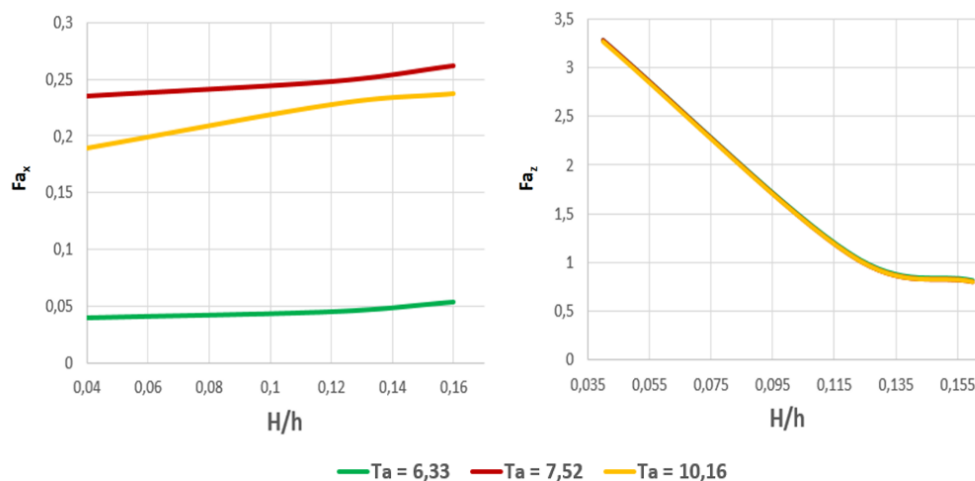


Figura 4 – Aumento de Fa_x e diminuição de Fa_z , com o aumento da relação H/h

Na Figura 5 estão presentes os casos em que se manteve constante a relação H/h (ou seja, a altura de onda permaneceu inalterada), variando-se o período adimensional (equivalente, neste caso, ao período T da onda). Nesta figura, observa-se um crescimento inicial da força Fa_x

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

até um período $Ta = 7,7$ (equivalente a $T = 11$ s, aproximadamente), a partir do qual esta força não varia significativamente. Isto mostra que existe um determinado período de onda favorável (de máxima captura de energia) para estes dispositivos, responsável por potencializar as forças horizontais, que estão fortemente ligadas ao movimento oscilatório das placas. Nota-se, ainda nesta figura, que, para estas mesmas condições, as variações ocasionadas nas forças Fa_z pelos períodos adimensionais de onda não são significativas. Desta maneira, conclui-se que a componente vertical é mais influenciada pela altura de onda e pela espessura da lâmina d'água.

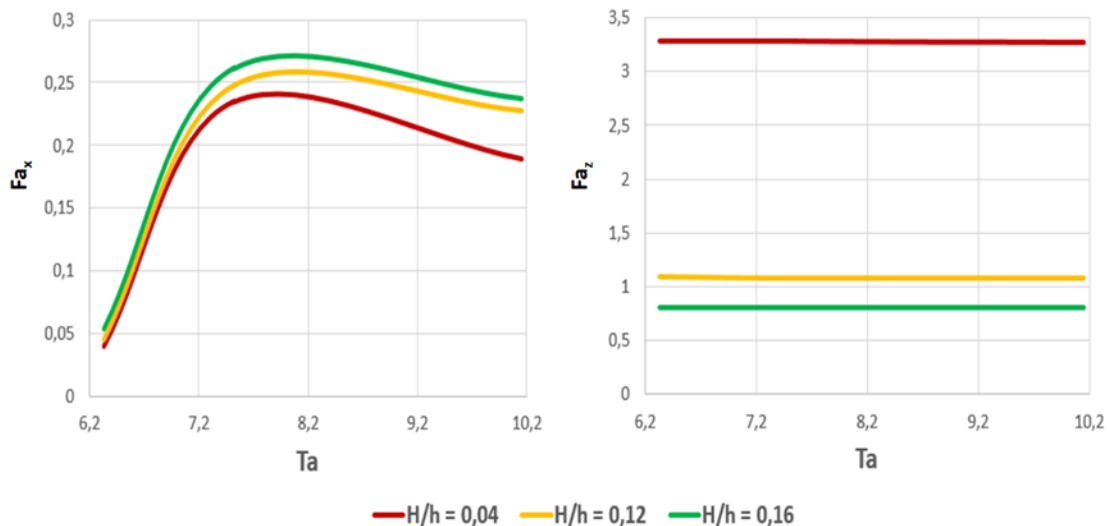


Figura 5 – Comportamento do valor de Fa_x e de Fa_z , com o aumento do período adimensional Ta

4. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo pôde-se concluir, primeiramente, que as forças horizontais são muito mais influentes no movimento das placas visto que elas assumem valores positivos e negativos, indicando um movimento oscilatório; o mesmo não ocorre para as forças verticais, que são sempre negativas e dificultam o movimento das placas. Com o aumento do período da onda, ocorre uma diminuição da frequência de oscilação das placas, com a conseqüente diminuição da frequência de oscilação nos valores das forças horizontais e verticais, assim como a intensificação dos valores de velocidade na região entre as placas. Estes efeitos estão relacionados a movimentos orbitais de partículas mais largos, e, como conseqüência, resultam em menores taxas de geração de energia, em função da baixa oscilação das placas. Maiores alturas de onda estão associadas à intensificação de efeitos (aumento de velocidade e de magnitude das forças), não alterando a frequência de oscilação dos dispositivos. Dessa forma,



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

espera-se que a eficiência ótima dos dispositivos esteja em uma região com ondas de alturas elevadas e de períodos próximos ao período de máxima captura.

5. REFERÊNCIAS

CRUZ, J.M. B. P; SARMENTO, A. J. N. (2004). *Energia as ondas: introdução aos aspectos tecnológicos econômicos e ambientais*. Instituto do Ambiente - Alfragide.

INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE CANTABRIA. (2014). *IHFOAM Manual*. Universidade de Cantabria - Cantabria.

LAUNDER, B.E; SANDHAM, N. D. (2002). *Closure strategies for turbulent and transitional flows*. Cambridge University.

OPENFOAM FOUNDATION. (2016). *OpenFOAM User Guide v.4.0*.