

MODELAGEM E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DAS ONDAS DO OCEANO

LEONARDO C. DALLA VECCHIA*, CAROLINE FERNANDES FARIAS*, CÉSAR C. SCHARLAU*, CARLA DE ABREU D'AQUINO*

**Departamento de Energia e Sustentabilidade
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá
Araranguá, SC, Brasil*

Emails: leonardo.casagrande@grad.ufsc.br, farias.caroline@hotmail.com,
cesar.scharlau@ufsc.br, carla.daquino@ufsc.br

Abstract— This article discusses the modeling and the design of an energy extraction device from the ocean waves, considering the use of an Oscillating Water Column (OWC) converter device, composed by fixed tubes in the concrete pillars of the fishing pier. This particular application represents a different condition than what has been seen in other studies on the subject. The modeling of this device is performed using concepts of fluid mechanics, in order to describe the physical characteristics of the air flow inside the device and to determine the losses of flow velocity due to the influence of the tube's walls, the head losses and the contraction. Furthermore, the equations of the model allow to optimize the device dimensions for maximum energy extraction. The conversion of the air movement into mechanical energy is performed considering the use of a Wells turbine. Based on the proposed results, it was possible to obtain an increase of 335% in the extracted mechanical power for a given numerical example.

Keywords— Wave energy, Oscillating Water Column, Modelling.

Resumo— Este artigo aborda a modelagem e o dimensionamento de um dispositivo de extração da energia proveniente das ondas do oceano, considerando a utilização de um conversor do tipo Coluna de Água Oscilante (CAO ou OWC, do inglês *Oscillating Water Column*), composto por tubos fixados nos pilares de uma plataforma de pesca. Esta aplicação em particular representa uma condição de operação diferente do que já foi considerada em outros estudos sobre o tema. A modelagem deste dispositivo é realizada utilizando conceitos de mecânica dos fluidos, a fim de descrever as características físicas do escoamento do ar no interior do dispositivo e determinar as perdas de velocidade do escoamento devido à influência das paredes do tubo, as perdas de carga e o afunilamento. Além disso, as equações do modelo permitem otimizar o dimensionamento do dispositivo para máxima extração de energia. Para a conversão do movimento do ar em energia mecânica foi considerada a utilização de uma turbina *Wells*. Os resultados obtidos permitiram otimizar o dispositivo tal que, para um dado exemplo numérico, foi possível obter um aumento de 335% na potência mecânica gerada.

Palavras-chave— Energia das ondas, Coluna de Água Oscilante, Modelagem.

1 Introdução

A busca por novos dispositivos com capacidade de geração de energia utilizando fontes renováveis é objeto de discussão em todo o mundo devido ao grande apelo para redução de emissões de gases poluentes e minimização dos impactos ambientais. Esses são alguns aspectos que motivam a utilização de fontes renováveis de energia como o sol, o vento, os rios e, nesse caso em especial, as ondas.

A conversão da energia das ondas em energia elétrica tem sido utilizada em diversos países, onde protótipos e plantas de geração são instalados a fim de suprir a demanda energética de pequenas cidades ou outras instalações. Conforme Estefen et al. (2006), a energia obtida a partir das ondas pode ter impactos positivos na matriz energética brasileira, dado que o litoral é extenso, com aproximadamente 9000 km. Estima-se que seja possível disponibilizar aproximadamente 40 GW para o sistema interligado brasileiro, considerando apenas o aproveitamento ao longo do litoral das regiões sul e sudeste (Assis et al., 2013).

Vários estudos já foram elaborados sobre a extração da energia das ondas e como transformá-la

em energia elétrica utilizando novas tecnologias e dispositivos, como exemplos é possível citar Falcão (2010), Falnes (2007) e Mehrangiz et al. (2013). As tecnologias mais pesquisadas podem ser divididas em: dispositivos de coluna de água oscilante (OWC, do inglês *Oscillating Water Column*), dispositivos de corpos flutuantes e de galgamento.

O dispositivo OWC consiste basicamente de uma estrutura oca ou tubo parcialmente submerso, onde o movimento das ondas em seu interior provoca a movimentação do ar, forçando-o a passar por uma turbina localizada no topo do dispositivo. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático do equipamento. Para aproveitar os dois sentidos opostos do escoamento do ar no OWC, provocado pela movimentação ascendente e descendente da onda, utiliza-se uma turbina do tipo Wells, que é caracterizada por manter o sentido de rotação independentemente do sentido do escoamento, devido as características aerodinâmicas da mesma (Dias et al., 2013). Esta turbina é conectada a um gerador que realiza a conversão em energia elétrica.

O estudo apresentado nesse artigo será particularizado para a tecnologia OWC. A princi-

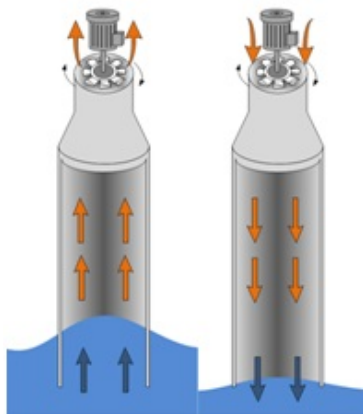


Figura 1. Princípio de funcionamento do dispositivo de coluna de água oscilante.

pal motivação para essa escolha é a possibilidade de utilizar estruturas já existentes para fixação do equipamento, o que poderia reduzir custos e tempo de instalação. Nesse caso será considerado o funcionamento do dispositivo em uma plataforma de pesca, conforme ilustrado na Figura 2. Ao conhecimento dos autores, a instalação do OWC sob essas condições tem sido pouco estudada em outras pesquisas.

A eficiência de dispositivos OWC tem sido tema de várias pesquisas (Falcão e Justino, 1999; Grimmier et al., 2012). No entanto, muitos aspectos ainda merecem uma investigação mais aprofundada. Por exemplo, estabelecer um método para escolha do formato e do dimensionamento mais adequados da estrutura mecânica do dispositivo para o regime de ondas do local da instalação. Uma das ferramentas que pode ser utilizada na investigação destes aspectos é a simulação de modelos matemáticos que reproduzam o comportamento físico do dispositivo de extração de energia das ondas. Dessa forma, é possível avaliar o desempenho do equipamento sob diversas condições.

O estabelecimento de modelos matemáticos para dispositivos OWC tem sido tema de pes-

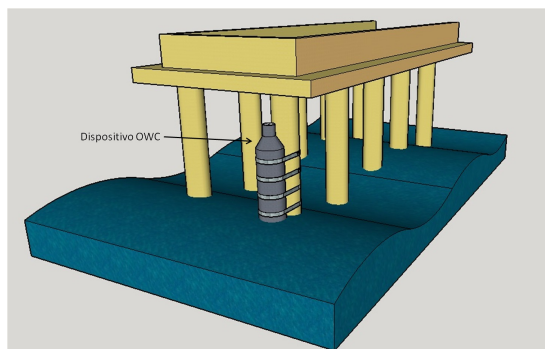


Figura 2. Instalação do dispositivo na plataforma de pesca.

quisas sob diferentes abordagens. Em Morrison e Greated (1992) é desenvolvido um modelo matemático para um OWC considerando um regime conhecido de ondas e os resultados teóricos são comparados com dados experimentais obtidos em um canal de ondas. Em Brendmo et al. (1997), duas abordagens para a modelagem do OWC são vistas. Na primeira, mais adequada para ondas de baixa frequência, a potência de entrada na câmara de ar é obtida como o produto da força da rede de ondas atuando na superfície interna de água pela velocidade vertical desta superfície. Esta superfície é então considerada, sob algumas condições, como um pistão rígido com massa desprezível. Na segunda abordagem, mais geral e também aplicável em regimes de alta frequência, a potência de entrada na câmara de ar é calculada pelo produto do fluxo de volume da superfície interna de água pela pressão do ar na câmara acima do equipamento. Nesta referência também são apresentados os modelos massa-mola equivalentes, assim como os circuitos análogos.

Dentro deste contexto, este artigo apresenta a análise de um modelo matemático para sistemas de geração de energia a partir das ondas do oceano, com o foco em uma aplicação envolvendo um dispositivo do tipo OWC operando em uma plataforma de pesca. Com base nos resultados preliminares apresentados em Vecchia et al. (2015), é realizada uma análise da influência que as paredes do tubo, a perda de carga e o afunilamento do dispositivo causam na velocidade final do ar que escoar em seu interior. Adicionalmente, são avaliadas formas de dimensionamento do dispositivo e sua otimização. A modelagem e o dimensionamento são verificados a partir de uma análise de dinâmica de fluidos realizadas nos programas Matlab/Simulink e Autodesk CFD, onde foram definidos parâmetros como tipo de material utilizado, o volume de controle analisado no problema, as condições de contorno, entre outros.

O artigo está estruturado da seguinte forma: na seção 2 é apresentada a modelagem matemática do OWC. A seção 3 descreve o processo de dimensionamento do dispositivo. A seção 4 apresenta resultados numéricos. Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros são apresentadas no final do artigo.

2 Modelagem do OWC

A modelagem realizada consistiu na determinação da velocidade na seção 3 do tubo (Figura 3), baseada em conceitos de Mecânica dos Fluidos referentes à camada limite e perda de carga. Na análise, calculou-se a velocidade na seção 3 baseada na velocidade do ar na seção 1 passando pela seção 2 que pode ser considerada uma seção intermediária.

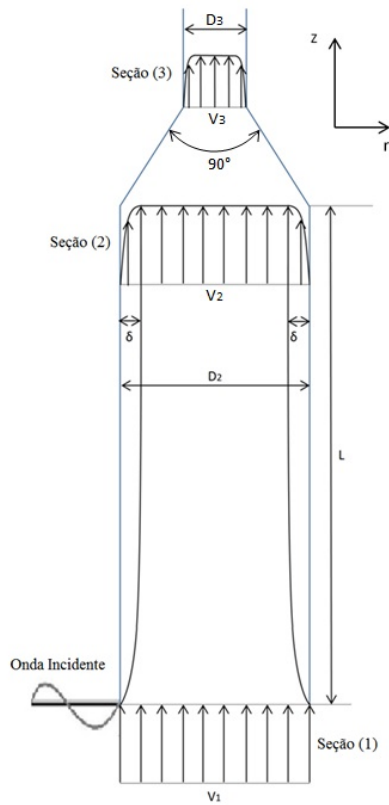


Figura 3. Diagrama do dispositivo OWC considerado para a modelagem.

2.1 Onda Incidente

O sinal de entrada do modelo é descrito pelas equações que representam o comportamento da onda no local onde o dispositivo OWC encontra-se instalado. Essas equações são definidas, por exemplo, em Dean e Dalrymple (1991), Bouali e Larbi (2013) e Vecchia et al. (2015). Para a análise contida neste trabalho, propõe-se a utilização de um tubo de espessura fina, o que torna as vibrações originadas pelo impacto das ondas incidentes desprezíveis. Dessa forma, é possível desprezar as parcelas refletidas e difratadas da onda e considerar que a onda que incide no dispositivo seja a mesma que ocorre dentro do tubo.

Nesse trabalho, o comportamento da onda incidente será matematicamente descrito pela seguinte equação

$$V_{el}(t) = 2,27 \sin(0,85 t) \quad (1)$$

onde V_{el} é a velocidade da onda e t é o tempo. A amplitude e a frequência do sinal senoidal foram escolhidas de forma a aproximar o comportamento típico da onda em um potencial local de instalação do OWC considerado em Vecchia et al. (2015).

2.2 Ar no Interior do Dispositivo

Para a modelagem do comportamento físico do ar no interior do dispositivo OWC utilizou-se a velocidade da onda incidente como parâmetro de entrada na seção 1 do tubo da Figura 3. Na análise considerou-se, assim como em Brendmo et al. (1997), que a coluna de água no interior do dispositivo comporta-se como um pistão rígido de massa desprezível, sendo possível então desprezar as variações radiais de velocidade. Outra consideração importante foi que toda a energia contida na onda é transmitida para o ar logo acima da superfície livre da água, o que significa que a velocidade da onda incidente é também a velocidade do ar na base interna do tubo.

Essa etapa da modelagem baseou-se em dois conceitos fundamentais de mecânica dos fluidos. O primeiro consiste na formação de uma região onde o fluido que escoar no interior do tubo sofre influência da parede do mesmo, ocasionando assim uma redução na velocidade do fluido escoante dentro desta região, chamada de camada limite (Fox et al., 1985). Nesse caso, a velocidade na seção 2 depende da camada limite e da velocidade na seção 1, sendo determinada pelas seguintes equações

$$Re_L = \frac{V_1 L}{\nu} \quad (2)$$

$$\frac{\delta}{L} = \frac{5,48}{\sqrt{Re_L}} \quad (3)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = 2 \left(\frac{y}{\delta} \right) - \left(\frac{y}{\delta} \right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{\delta}{L} = \frac{0,382}{Re_L^{1/5}} \quad (5)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{1/7} \quad (6)$$

onde Re_L é o número de Reynolds baseado no comprimento do tubo, ν a viscosidade do ar, V_1 a velocidade média do escoamento, L o comprimento do tubo, D_2 o diâmetro do tubo na seção 2, δ a espessura da camada limite, y a distância entre a parede e o ponto de análise e V_2 é a velocidade do escoamento na distância y da parede do tubo apresentado na Figura 3. As equações (3) e (4) foram utilizadas para escoamentos laminares (Reynolds inferior à 2300). Já as equações (5) e (6) foram utilizadas para escoamentos turbulentos (Reynolds maior que 2300).

Outro conceito fundamental de mecânica dos fluidos, chamado de perda de carga, refere-se a perda de energia decorrente de entradas, acessórios, variações de áreas, entre outros, presentes no escoamento (Fox et al., 1985). Nesta análise, tal conceito determina a redução da velocidade que

o afunilamento presente no dispositivo irá causar, podendo ser descrito por

$$h_{lm} = K \left(\frac{\bar{V}^2}{2} \right) \quad (7)$$

onde K é o coeficiente de perda extraído da Tabela 8.3 de Fox et al. (1985) e $\bar{V}$ é a velocidade média do escoamento.

Além da perda de carga, o afunilamento ocasiona um outro fator importante para o modelo. A lei de conservação da massa estabelece que toda massa que atravessa a seção 2 do tubo deve obrigatoriamente atravessar a seção 3 deste tubo. Desta forma, o ar deve sofrer uma aceleração nesta seção respeitando a relação expressa por

$$\bar{V}_3 = \frac{D_2^2}{D_3^2} \bar{V}_2 \quad (8)$$

onde $\bar{V}_2$, $\bar{V}_3$, D_2 e D_3 representam, respectivamente, as velocidades médias na seção 2 e 3 do tubo e os diâmetros da seção 2 e 3 do tubo.

2.3 Turbina

Para a modelagem da conversão da velocidade do ar em energia mecânica foi considerada uma turbina *Wells* devido a sua característica de manter o mesmo sentido de rotação independentemente do sentido do escoamento do ar. Diferentes perfis aerodinâmicos das pás podem ser considerados para esse tipo de turbina (Dias et al., 2013). Para esse trabalho será considerado o perfil NACA0021, indicado por Raghunathan et al. (1985) e Webster et al. (1999) como sendo o que apresenta melhor desempenho.

A equação que determina a potência mecânica obtida através da turbina *Wells* pode ser escrita como

$$P = \left(\frac{1}{2} \right) \eta \rho A V^3 \quad (9)$$

onde η é a eficiência da turbina, ρ é a densidade do ar, A é a área varrida pelas pás da turbina e V é a velocidade absoluta do escoamento (Dias et al., 2013).

3 Dimensionamento do OWC

O dimensionamento do dispositivo tem por objetivo definir os principais parâmetros construtivos do tubo a fim de se obter, respeitando também as limitações físicas impostas no problema, a maior velocidade na seção 3, o que resulta em uma maior extração de energia. Tal análise teve como base os parâmetros utilizados em Vecchia et al. (2015). A partir destes valores, mantiveram-se fixos os dados do regime de ondas e foram variados os parâmetros construtivos analisados, comparando então o impacto que essa variação teria, em termos de magnitude, na velocidade da seção 3 do tubo.

3.1 Comprimento do Tubo

Para verificar o comprimento do tubo ótimo para o problema exposto, variou-se este parâmetro com um incremento de 0,1 m entre os valores inicial de 2 m e final de 4 m. A velocidade média na seção 3 do tubo variou entre 5,0490 m/s (para um comprimento de tubo de 2 m) e 5,0169 m/s (para um comprimento de tubo de 4 m). A partir destes valores é possível notar que o comprimento do tubo não interfere de forma significativa nos resultados do problema, pois uma variação de 2 m neste parâmetro acarretou numa variação de apenas 0,64% na velocidade.

3.2 Diâmetros 2 e 3

A equação (8) evidencia a relação entre a variação da velocidade da seção 3 do tubo e a variação da razão D_2/D_3 . Utilizou-se como base para esta análise a Tabela 8.3 de Fox et al. (1985), pois a razão entre áreas (RA) nela contida consiste na razão entre os diâmetros ao quadrado ($A = (\pi D^2)/4$).

A Figura 4 apresenta a variação da velocidade média na seção 3 do tubo em relação aos valores do coeficiente K e de RA . Essa figura mostra que, analisando um ângulo incluso intermediário de 90°, uma diminuição de RA de 0,5 para 0,25 resulta em um acréscimo de 94,23% na velocidade. Com uma redução de RA ainda maior, para 0,1, a velocidade sofre um aumento de 380,70%, o que acarreta em um aumento significativo para a geração de energia. Desta forma, optou-se por utilizar uma razão entre áreas de 0,1 no dimensionamento do tubo.

3.3 Ângulo Incluso

Partindo dos resultados da subseção 3.2, onde a RA de 0,1 foi definida como ótima, é possível fazer

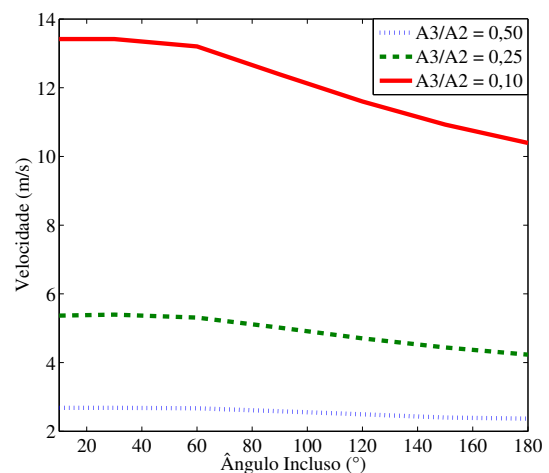


Figura 4. Resposta da velocidade na seção 3 à variação da Razão entre Áreas.

uma análise particular da relação entre a variação do ângulo incluído e a velocidade na seção 3 do tubo.

A Figura 4 mostra que, para $RA = 0,1$, a velocidade média na seção 3 variou entre 10,3930 m/s (para um ângulo incluído de 180°) e 13,4173 m/s (para um ângulo incluído de 10°). O aumento do ângulo incluído de 10 para 180 graus acarreta em uma redução de 22,54% na velocidade sob análise. Porém, quando o ângulo do afunilamento é muito baixo, é necessário um comprimento de tubo maior para que haja a transição do diâmetro 2 para o 3 da Figura 3. Para a solução ótima (ângulo incluído igual a 10°), por exemplo, seria necessário um acréscimo no comprimento do tubo de cerca de 3 m, o que seria inviável devido a limitações construtivas. Sendo assim, optou-se por adotar o valor de 60° , que não implica em uma redução significativa na velocidade média e mantém valores aceitáveis em termos construtivos.

4 Exemplo Numérico

A fim de avaliar os resultados obtidos, o modelo descrito na seção 2 com o dimensionamento feito na seção 3 foi simulado em dois programas diferentes e os resultados foram analisados. Adicionalmente, foram comparados os resultados de simulação em regime permanente para o dispositivo original, apresentado por Vecchia et al. (2015), com o dispositivo otimizado proposto nesse artigo. Os parâmetros da turbina utilizados neste trabalho foram os mesmos encontrados em Dias et al. (2013)

Para validar o modelo proposto, realizou-se a simulação utilizando o programa de dinâmica dos fluidos computacional Autodesk CFD. Esta simulação teve como volume de controle da análise o ar no interior do dispositivo. Neste volume de controle estipulou-se duas condições de contorno: na saída do tubo inferiu-se pressão igual a zero, com o objetivo de mostrar que esta superfície está aberta para o ambiente, e na entrada utilizou-se a velocidade da onda incidente. Para fins de comparação, o modelo foi também simulado no programa Matlab/Simulink aplicando como sinal de entrada a onda descrita pela equação (1).

A comparação entre os resultados de simulação para a seção 3 mostraram uma diferença na velocidade do ar entre os modelos de 4,85% nesta seção do tubo. Este resultado mostra que o modelo implementado no Matlab/Simulink apresenta resultados muito próximos aos obtidos através da simulação dos fluidos. É importante salientar que o Autodesk CFD representa melhor o sistema físico, uma vez que esse programa utiliza em suas simulações modelos de turbulência mais requintados, como o modelo *k-epsilon*, possuindo assim resultados mais condizentes com a realidade.

Para ilustrar a otimização do dimensiona-

mento do dispositivo, também foram realizadas simulações com o Autodesk CFD e o Matlab/Simulink. Considerando uma velocidade de entrada de 1,42 m/s na seção 1, o dispositivo original apresenta uma velocidade média na saída de 4,24 m/s. Com a mesma velocidade de entrada, o dispositivo otimizado apresenta uma velocidade média na saída de 12,57 m/s, o que representa um aumento de cerca de 196% na velocidade da seção 3 quando comparado com o dispositivo original. A Figura 5 apresenta os resultados das análises em regime permanente de fluidos no dispositivo original e no dispositivo otimizado.

Em termos de potência mecânica, o valor médio obtido após a otimização foi comparado com o valor obtido em Vecchia et al. (2015), cujo modelo não considera a perda de carga devido ao afunilamento, apenas as perdas por viscosidade. Desta forma, o valor encontrado em Vecchia et al. (2015) foi recalculado para o modelo elaborado neste trabalho. O valor médio da potência mecânica, utilizando os valores do dispositivo original, foi de cerca de 17 W e o valor encontrado com a otimização do OWC foi de aproximadamente 74 W. Este aumento na potência de 335%, evidenciado na Figura 6, ocorre devido à proporção da potência com a velocidade ao cubo, vista na equação (9).

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou um estudo sobre a modelagem e dimensionamento de um dispositivo conversor da energia das ondas em energia. Foram analisadas a influência do dimensionamento do tubo na velocidade de saída do ar, considerando as perdas viscosas nas paredes do tubo e as perdas de cargas

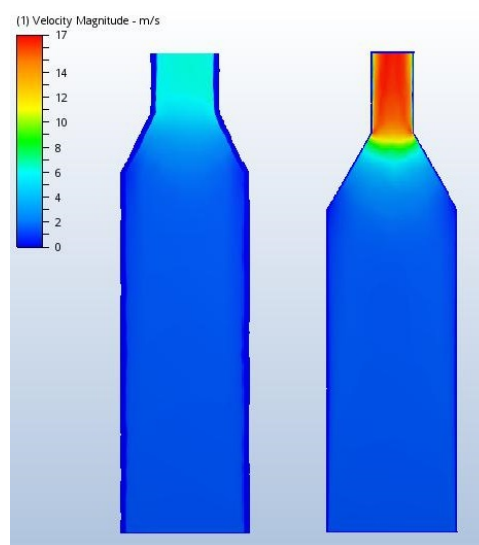


Figura 5. Análise da velocidade no dispositivo original (à esquerda) e dispositivo otimizado (à direita).

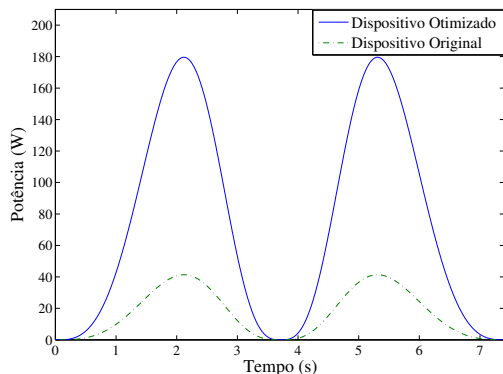


Figura 6. Comparação da potência no dispositivo original e no dispositivo otimizado.

devido ao afinilamento. A partir de uma função que representa a onda incidente, estimou-se a potência mecânica gerada por uma turbina do tipo *Wells* com o perfil aerodinâmico NACA0021. Os resultados obtidos a partir da otimização do dimensionamento do dispositivo são validados utilizando um programa de análise dinâmica dos fluidos, sendo obtido um aumento de 196% na velocidade da seção 3 e um aumento de 335% na potência mecânica gerada. Como as simulações foram realizadas em dois diferentes programas, os resultados da velocidade do ar em uma seção do dispositivo foram comparados e se mostraram muito próximos, sendo a diferença de apenas 4,85% na seção 3. Esses aspectos demonstram que o modelo implementado representa adequadamente o sistema físico.

Atualmente, os autores estão trabalhando na análise de fluidos e no dimensionamento de uma turbina específica para esta aplicação, visando a máxima eficiência do sistema.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através de bolsa de estudos do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) recebida pelos autores Leonardo C. Dalla Vecchia e Caroline F. Farias.

Referências

- Assis, L. E., Beluco, A. e Almeida, L. E. B. (2013). Avaliação e aproveitamento da energia de ondas oceânicas no litoral do rio grande do sul, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 18, No. 3, pp. 21–29.
- Bouali, B. e Larbi, S. (2013). Contribution to the geometry optimization of an oscillating water column wave energy converter, *Energy procedia*, Vol. 36, pp. 565–573.
- Brendmo, A., Falnes, J. e Lillebekken, P. (1997). Linear modelling of oscillating water columns

- including viscous loss, *Oceanographic Literature Review*, Vol. 44, No. 5, pp. 65–75.
- Dean, R. G. e Dalrymple, R. A. (1991). *Water wave mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- Dias, G. d. C., dos Santos, S. M., dos Santos, E. D., Rocha, L. A. O. e Olinto, C. R. (2013). Análise teórica da influência de perfis sobre a potência de uma turbina wells empregada em dispositivos de conversão de energia das ondas, *VETOR-Revista de Ciências Exatas e Engenharias*, Vol. 23, No. 1, pp. 44–56.
- Estefen, S., Costa, P. R., Pinheiro, M. M., Ricarte, E., Mendes, A. e Esperança, P. (2006). Geração de energia elétrica pelas ondas do mar, *Seminário Internacional de Energia de Ondas*, Rio de Janeiro, pp. 2–24.
- Falcão, A. d. O. e Justino, P. (1999). Owc wave energy devices with air flow control, *Ocean Engineering*, Vol. 26, No. 12, pp. 1275–1295.
- Falcão, A. F. d. O. (2010). Wave energy utilization: A review of the technologies, *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 14, No. 3, pp. 899–918.
- Falnes, J. (2007). A review of wave-energy extraction, *Marine Structures*, Vol. 20, No. 4, pp. 185–201.
- Fox, R. W., McDonald, A. T. e Pritchard, P. J. (1985). *Introduction to fluid mechanics*, Vol. 7, John Wiley & Sons New York.
- Grimmler, J. d. A., Gomes, M. d. N., Souza, J., dos Santos, E., Rocha, L. e Isoldi, L. (2012). Constructal design of a three-dimensional oscillating water column (owc) wave energy converter (wec), *International Journal of Advanced Renewable Energy Research (IJARER)*, Vol. 1, No. 10, pp. 34–37.
- Mehrangiz, S., Emami, Y., Sadigh, S. H. S. e Etemadi, A. (2013). Various technologies for producing energy from wave: A review, *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, Vol. 2, No., pp. 289–294.
- Morrison, I. G. e Greated, C. A. (1992). Oscillating water column modelling, *Coastal Engineering Proceedings*, Vol. 1, No., pp. 502–511.
- Raghuathan, S., Tan, C. e Ombaka, O. (1985). Performance of the wells self-rectifying air turbine, *Aeronautical Journal*, Vol. 89, No. 890, pp. 369–379.
- Vecchia, L. C. D., Scharlau, C. C., D'Aquino, C. d. A., Antunes, V. e Pfitscher, L. L. (2015). Modeling of wave energy absorption: A case study for a fishing pier in brazil, *Power Engineering Conference (UPEC), 2015 50th International Universities*, IEEE, pp. 1–6.
- Webster, M., Gato, L. et al. (1999). The effect of rotor blade shape on the performance of the wells turbine, *The Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference*, International Society of Offshore and Polar Engineers, pp. 169–173.