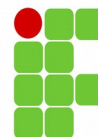




XXIV CREAM  
Congresso Nacional de Estudantes  
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal  
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL  
RIO GRANDE DO SUL  
Campus Rio Grande

## XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

# ESTUDO TEÓRICO SOBRE O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS DO MAR DO TIPO ABSORVEDOR PONTUAL

**Josiara Novôa**

Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande – FURG  
Av. Itália km 8, Campus Carreiros, CEP 96203-900, Rio Grande, RS, Brasil.  
[josiaranovoa@gmail.com](mailto:josiaranovoa@gmail.com)

**Jeferson Ávila Souza**

Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande - FURG  
Av. Itália km 8, Campus Carreiros, CEP 96203-900, Rio Grande, RS, Brasil.  
[jasouza@furg.br](mailto:jasouza@furg.br)

**RESUMO:** Neste trabalho, é realizado um estudo a respeito do estado da arte sobre energia das ondas e os principais tipos de conversores de energia das ondas do mar em energia elétrica. O tema principal a ser abordado são os equipamentos de absorção pontual, tendo como objetivos realizar um estudo teórico sobre o princípio de funcionamento desses dispositivos, estudar os equipamentos disponíveis atualmente, bem como a modelagem matemática para estes sistemas, os quais se baseiam no princípio dos sistemas massa-mola-amortecedor. Os absorvedores pontuais são dispositivos pequenos, se comparados com os de coluna d'água oscilante, projetados para absorver o movimento vertical da superfície das ondas. Os corpos de absorção pontual podem ser submersos ou flutuantes, contudo neste estudo serão analisados somente os equipamentos do tipo de corpos flutuantes. Estes dispositivos movem-se relativamente a uma estrutura de referência que poderá ser flutuante ou fixa no fundo do mar.

**Palavras-Chave:** Energia das ondas, absorção pontual, corpos flutuantes.

**ABSTRACT:** In this paper, a review of the state-of-the-art is performed with focus on wave energy and types of sea wave energy to electric energy converters. The study concentrates on the point absorber devices and main objective is to perform a theoretical study about their working principle, identifying available technologies as well as the mathematical modeling of these systems, which are based on the mass-spring-damper model. Point absorber devices as small devices, in comparison with Oscillating Water Converters, which are designed to absorb the vertical movement of the waves free surface. Absorber devices can be of submerged or floating types, however in this work only floating type devices will be considered. This type of converter have a relative movement to a base structure which could be either floating or attached to the seabed.

**Keywords:** Wave energy, Point absorber, Floating bodies.

## INTRODUÇÃO

A crescente demanda de energia elétrica aliada à crise do petróleo da década de 70 e ao aumento da preocupação com o meio ambiente impulsionou a procura por fontes de produção de energia mais limpas, ou melhor, fontes de energia que causam o menor impacto possível ao meio ambiente, seja a curto ou longo prazo.

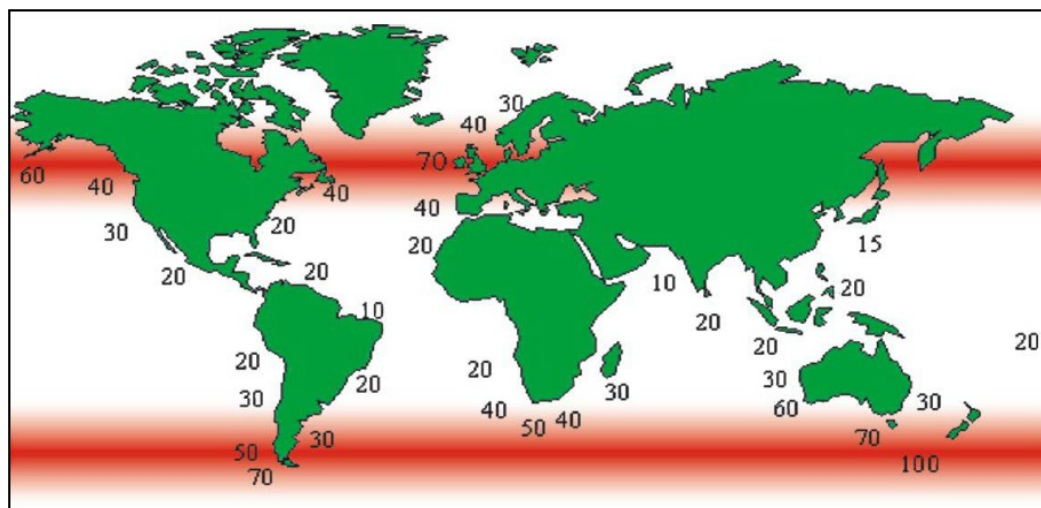
O forte desenvolvimento social e industrial ocorrido no último século foi impulsionado, principalmente, pelo uso dos chamados combustíveis fósseis (essencialmente petróleo e carvão). A possibilidade de escassez desses combustíveis, associada às incertezas de seus preços no mercado internacional, tem promovido uma crescente consciência relativa à necessidade do desenvolvimento de outras fontes de energia sustentável. Além disso, esses combustíveis têm sido apontados como os principais responsáveis pelo acúmulo de poluentes na atmosfera terrestre, causando alterações climáticas globais e a aceleração do processo de aquecimento do planeta.

Esse cenário impõe como estratégia única para a humanidade a diversificação da matriz energética, na busca de fontes alternativas de energia que causem menos impactos ambientais. Dentro deste contexto, os oceanos figuram como um gigantesco reservatório que armazena grande parte da energia solar que incide sobre a terra, contendo um dos

maiores recursos naturais. Embora esta reserva tenha sido pouco explorada até o momento, sua utilização poderá contribuir de forma significativa para as necessidades crescentes de energia em nível global.

Conforme Cruz e Sarmiento (2004), a energia contida nos oceanos pode ter origens diferentes, o que determina as várias classificações. As mais relevantes são a energia das marés, fruto da interação dos campos gravitacionais da lua e do sol, a energia térmica dos oceanos, consequência direta da radiação solar incidente, a energia das correntes marítimas, cuja origem está nos gradientes de temperatura e salinidade e também na ação das marés e, finalmente, a energia das ondas, que resulta do efeito do vento na superfície do oceano. Esta última forma de energia pode ser considerada uma forma concentrada da energia solar, pois é esta que, pelo aquecimento desigual da superfície terrestre, é responsável pelos ventos. Uma vez geradas, as ondas podem viajar milhares de quilômetros em alto mar praticamente sem perdas de energia. Em regiões costeiras, a densidade de energia presente nas ondas diminui devido à interação com o fundo do mar. A potência de uma onda é proporcional ao quadrado da sua amplitude e ao seu período. Ondas de elevada amplitude (cerca de 2 m) e de período elevado (7 a 10 s) excedem normalmente os 50 kW por metro de frente de onda.

A energia das ondas está distribuída de modo irregular pelo planeta. Como pode ser visto na Figura 1, o potencial energético médio anual das ondas de águas profundas na costa do Brasil varia entre 15 kW/m e 25 kW/m, à exceção da região do litoral sul, que apresenta valores entre 25 e 30 kW/m. Sabendo que a costa brasileira tem cerca de 8.000 km de extensão e tomando-se um valor médio para o potencial energético de 20 kW/m, o potencial energético total para o Brasil resulta em aproximadamente 0,15 TW (Cruz e Sarmiento, 2004) e o recurso global atribuído à energia das ondas ronda os 2 TW.



**Figura 1.** – Distribuição Global do Potencial Energético das Ondas (em kW/m, média anual em águas profundas)

Segundo o PROJETO EONDAS (2008), a região sul do país, seria um dos melhores pontos para a instalação de uma usina de ondas, já que nesse local temos aproximadamente uma potência entre 20 e 30 kW/m.

Centenas de conversores de energia de onda foram desenvolvidas nas décadas passadas. Entre todas as tecnologias que surgiram nas últimas décadas, o absorvedor pontual é um dos projetos mais populares e foi considerado um dos dispositivos mais promissores e econômicos, esse dispositivo vem sendo estudado há mais de 200 anos desde a primeira patente em Paris em 1799 (Hirohisa, 1982).

Tem-se por objetivo, realizar o estudo teórico sobre o princípio de funcionamento dos dispositivos do tipo absorvedor pontual. Estudar os equipamentos disponíveis atualmente, bem como a modelagem matemática para estes sistemas, os quais se baseiam no princípio dos sistemas massa-mola-amortecedor.

## METODOLOGIA

Diversos são os equipamentos do tipo de absorção pontual cujo princípio de funcionamento se baseia em um modelo massa-mola-amortecedor, contudo cada um deles traz particularidades que afetam diretamente o seu funcionamento. Os absorvedores pontuais são dispositivos pequenos, se comparados com os de coluna d'água oscilante, projetados para absorver o movimento vertical da superfície das ondas. Os corpos de absorção pontual podem ser

submersos ou flutuantes, neste estudo serão analisados os de corpos flutuantes, conforme ilustrado na Fig.2a. Exemplos deste tipo de equipamentos são o WaveBob, AquaBuoy e PowerBuoy (Drew, Plummer and Sahinkaya, 2009). No caso dos corpos flutuantes, estes movem-se relativamente a uma estrutura de referência que poderá ser flutuante ou fixa no fundo do mar. Os modelos que descrevem o sistema mostrado na Figura 2b, são baseados nos modelos massa-amortecedor-mola os quais são descritos, de uma forma geral, pela Eq. 1.

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F(t) \quad (1)$$

onde  $m$  é massa [kg],  $c$  é a constante de amortecimento [N s/m],  $k$  é rigidez elástica da mola [N/m],  $F$  é a força incidente no corpo (N). (Lalanne, 1984).

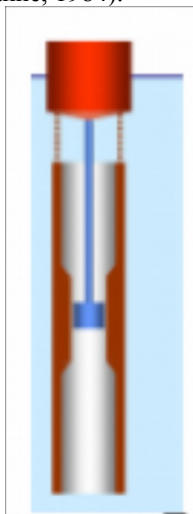


Figura a) Desenho esquemático

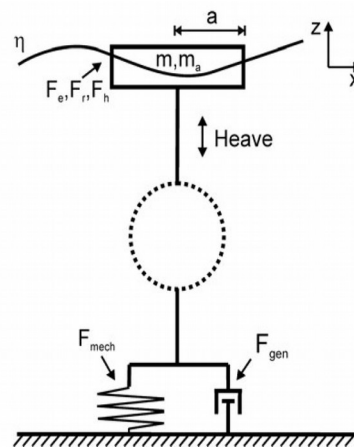


Figura b) Princípio de funcionamento

Figura 2 – Equipamento de Absorção Pontual

O funcionamento do dispositivo de absorção pontual baseia-se no movimento ascendente e descendente que as ondas provocam num corpo (boia) que está na linha d'água. Este corpo movimenta-se em relação a outro que pode estar fixo no fundo ou em movimento relativo. As dimensões dos equipamentos variam dependendo do local e clima de ondas e a potência das unidades podem atingir de 10 kW a 150 kW de potência. Se forem acopladas várias unidades é possível atingir a ordem de vários megawatts de potência.

A modelagem dinâmica de corpos flutuantes interagindo com as ondas do mar foi primeiramente estudada com o objetivo de prever o comportamento de navios no mar. Devido à similaridade desse comportamento, entre ondas e flutuadores (boia) para conversão de energia, pode-se usar a mesma formulação matemática (Falnes, 2002). Na Figura 3 temos a representação de um flutuador genérico (nomenclatura naval) sobre efeito de uma onda. Os movimentos possíveis para o flutuador são: translação (1,2,3) nos eixos x,y,z e rotação (4,5,6) nos eixos x, y e z, totalizando 6 graus de liberdade.

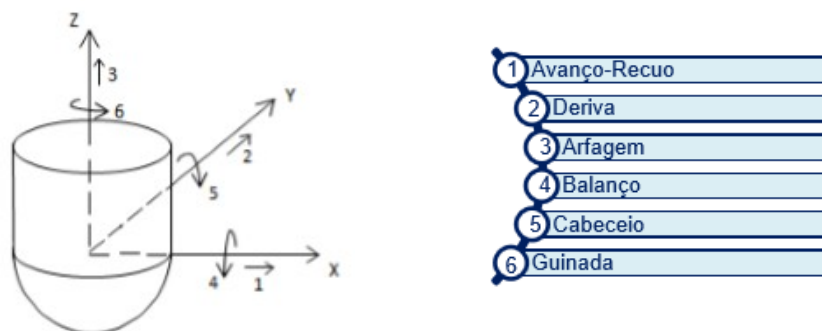


Figura 3. Flutuador no mar com seus graus de liberdade (movimento de rotação e translação de cada eixo)

Segundo Falnes (2002), em um modelo simplificado as seguintes hipóteses podem ser consideradas:

- a amplitude das ondas e o movimento do flutuador são suficientemente pequenos se comparadas com o comprimento de onda, possibilitando assim que a teoria linear da hidrodinâmica possa ser aplicada;
- o flutuador é do tipo absorvedor pontual, com apenas um grau de liberdade (movimento vertical em  $x$ );
- os efeitos da viscosidade podem ser desprezados se comparados aos efeitos inerciais e gravitacionais;
- as ondas são de pequena amplitude quando comparada com o comprimento de onda;
- o fluido é incompressível;
- a tensão superficial pode ser desprezada, dada as dimensões dos corpos analisados.

Sendo assim, a resultante das forças atuando no flutuador devido à oscilação da onda está direcionada segundo o eixo  $x$  e de acordo com a 2ª Lei de Newton pode ser escrita como:

$$M \ddot{x}(t) = F_h(t) - F_s(t) - F_p(t) \quad (2)$$

onde,  $M$  é a massa do flutuador,  $F_s(t) = S_m \cdot x(t)$  é a força de restauração hidrostática, devido ao empuxo onde o termo  $S_m$  é o coeficiente de flutuação, dado por  $S_m = \rho \cdot g \cdot A$ , com  $\rho$  sendo a massa específica da água [ $\text{kg/m}^3$ ],  $g$  o valor da gravidade local [ $\text{m/s}^2$ ] e  $A$  é a área [ $\text{m}^2$ ] da seção transversal do flutuador na interface da água em repouso.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O funcionamento do dispositivo de absorção pontual baseia-se no movimento ascendente e descendente que as ondas provocam num corpo (boia) que está na linha d'água. Este corpo movimenta-se em relação a outro que pode estar fixo no fundo ou em movimento. As forças atuantes serão analisadas no conjunto das equações já mencionadas, para sabermos como cada uma dessas forças afeta o equipamento, qual a sua parcela de participação no movimento geral (e conversão de energia) do dispositivo. Será feita uma análise de resoluções dessas equações de forma analítica e numérica, bem como os métodos utilizados para solução destas equações.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil possui um grande potencial para gerar este tipo de energia, pois possui uma costa extensa e boa parte da população brasileira vive na região litorânea, onde a geração deste tipo de energia pode ser aproveitada com custos de transmissão menores, contribuindo para a independência energética e também com novos estudos em energias renováveis.

## CONCLUSÃO

No presente trabalho está sendo realizado um estudo teórico sobre o princípio de funcionamento dos dispositivos do tipo absorvedor pontual, os tipos equipamentos disponíveis atualmente, bem como a modelagem matemática para estes sistemas. Como já mencionado neste trabalho, o tema sobre energia das ondas é de interesse para o País e também uma linha de pesquisa dentro da Universidade, onde tem como visão consolidar sua imagem em âmbito nacional e internacional no desenvolvimento tecnológico e estudos dos ecossistemas costeiros e oceânicos. Nosso Grupo de Pesquisa em Modelagem Numérica de Sistemas Físicos, que já vem trabalhando com energia das ondas do mar a algum tempo, tem com o interesse aprofundar-se no assunto, escolhendo os equipamentos de absorção pontual.

## REFERÊNCIAS

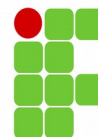
- Cruz, J.M.B.P, Sarmento, A.J.N.A, 2004. “Energia das Ondas – Introdução aos Aspectos tecnológicos, Econômicos e Ambientais”, Editora Instituto do Ambiente, Alfradique, Portugal.
- Drew, B., Plummer, A.R., Sahinkaya, M.N., 1984. “A Review of Wave Energy Converter Technology”, 2009. Department of Mechanical Engineering, University of Bath, Bath, UK. LALANNE, M. Mechanical Vibrations for Engineers. New York: J. Wiley.
- Falcão, A. F. de O., 2010. “Wave Energy Utilization: A Review of The Technologies”. IDMEC, IST, Portugal. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 899-918.



**XXIV CREEM**  
Congresso Nacional de Estudantes  
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal  
do Rio Grande**



**INSTITUTO FEDERAL**  
**RIO GRANDE DO SUL**  
Campus Rio Grande

Falnes, J., 2002. "Ocean Waves and Oscillating Systems: Linear Interactions Including Wave-Energy Extraction". Cambridge University press. USA.

ROHISA, T., 1982. "Sea Trial of a Heaving Buoy Wave Power Absorber". In: Proceedings of 2nd International Symposium on Wave Energy Utilization, Trondheim, Norway 1982.

Lalanne, M., 1984. "Mechanical Vibrations for Engineers". New York: J. Wiley.

Pontes, M.T., Falcão, A. F., 2001. "Ocean Energies: Resources and Utilization", 18<sup>o</sup> World Energy, Conference, Buenos Aires, Argentina.

PROJETO EONDAS - Relatório Final, 20008. Petrobras/CENPES. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Documento de acesso restrito, Rio Grande/RS.

## **DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.