



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

AVALIAÇÃO DE REQUISITOS PARA MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE CONVERSOR DE ENERGIA DAS ONDAS DO TIPO *POINT ABSORBER*

Eduardo Beline da Silva Martins – eduardo.beline@iff.edu.br
Instituto Federal Fluminense
Rodovia Amaral Peixoto, km 164, Imboassica, Macaé-RJ. 27932-050.

Marcos Antonio Cruz Moreira - macruz@iff.edu.br
Instituto Federal Fluminense

Resumo: Na procura por fontes alternativas de energia para suprir não somente a demanda crescente, como também a substituição de fontes poluidoras, temos o Brasil que, num contexto atualizado, tem sua importância por ocupar a terceira posição das Américas na produção de eletricidade. As ondas do mar como fonte de energia são vistas com interesse por não estarem presentes na matriz elétrica brasileira e apresentarem um potencial ainda pouco explorado mesmo em escala mundial. Este trabalho realizou uma atualização dos cenários energéticos mundial e brasileiro, assim como um estudo acerca do comportamento das ondas na Região dos Lagos – RJ, encontrando uma altura anual média de onda de 2,37m e um período de 9,42s. Avaliou-se requisitos necessários para se construir um protótipo de um Conversor de Energia das Ondas do tipo Point Absorber, podendo contribuir para o objetivo de tornar economicamente viável a produção de energia elétrica a partir das ondas marítimas.

Palavras-chave: Onda. Energias Alternativas. Meio Ambiente. Oceano.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

EVALUATION OF REQUIREMENTS FOR ASSEMBLY OF A POINT ABSORBER WAVE ENERGY CONVERTER PROTOTYPE

Abstract: *In the search for alternative sources of energy to supply not only the growing demand, but also the substitution of polluting sources, there is Brazil, which in an updated context has its importance because it occupies the third position of the Americas in the production of electricity. The waves of the sea as an energy source are seen with interest because they are not present in the Brazilian electrical matrix and present a potential, still little explored even on a world scale. This work carried out an update of the global and Brazilian energy scenarios, as well as a study about the behavior of the waves in Região dos Lagos - RJ, reaching an annual wave height average of 2.37m and a period of 9.42s. It was evaluated the necessary requirements to build a prototype of a Point Absorber Wave Energy Converter, and could contribute to the objective of making feasible the production of electric energy from sea waves.*

Keywords: *Waves. Alternative Energies. Environment. Ocean.*

1. INTRODUÇÃO

A redução na disponibilidade de recursos naturais, a poluição da água, do ar e dos solos, são alguns exemplos de efeitos gerados pela crescente demanda de energia. A busca por energia limpa e renovável vai ao encontro da sustentabilidade ambiental, que trata da utilização do meio ambiente, dando oportunidade dele se regenerar, encontrando formas de substituir a ocupação ambiental por meios renováveis (ROSA & VILLAS-BOAS, 2016).

Ao realizar uma projeção de consumo de energia primária mundial para o ano de 2035, estima-se que o consumo primário de energia brasileira será 33% superior em 2035, quando comparado com 2011. Nesse cenário, o petróleo nas suas formas de óleo e gás participará com 50,5% da oferta (WASSERMAN *et al.*, 2017). Segundo dados levantados por Fleming (2012) sobre o potencial teórico de energia de ondas para o litoral brasileiro, o litoral fluminense é o que apresenta o maior potencial total de energia na ordem de 11,82GW, correspondente a 13% do potencial total brasileiro. O protótipo em questão irá considerar características naturais de uma região que até então foi seriamente modificada pelo processo de implantação da indústria do petróleo (LOUREIRO *et al.*, 2014).

Uma série de tecnologias emergentes possuem escala de utilização e podem oferecer significativo potencial, como: energia solar concentrada, vento *offshore*, geotérmica e marinha. Esta última ainda permanece subexplorada em escala mundial e tem a Coréia do Sul como o país que mais a utiliza (EY, 2018).

O potencial global da energia oceânica é estimado em 337 GW; mais de 885 TWh de eletricidade podem ser gerados a partir desse potencial anualmente (MELIKOGLU, 2018). Em escala global, as fontes de energia dos oceanos têm os seguintes potenciais: marés com 800 TWh por ano; gradiente de salinidade com 2000 TWh por ano; ondas estão entre 8.000 e 80.000 TWh por ano e as fontes térmicas entre 10.000 e 87.600 TWh por ano, cujo potencial total é significativamente maior do que a demanda global de eletricidade de 16.000 TWh por ano (KHAN *et al.*, 2017). De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), estima-se que, se implantadas em todo o mundo, as tecnologias oceânicas poderiam atender à atual demanda mundial de eletricidade. Embora muitas tecnologias e dispositivos tenham sido demonstrados por meio de projetos piloto, a produção em nível de

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

comercialização é lenta devido a custos relativamente altos, sem falar nas preocupações com questões ambientais em águas costeiras, como os riscos para mamíferos marinhos e habitats (IEA, 2018).

Segundo Cunha *et al.* (2017) a energia das ondas é captada por dispositivos chamados de forma genérica de Conversores de Energia das Ondas - WEC (*Wave Energy Converters*). Há divergências sobre o melhor método de extração de energia das ondas (DREW *et al.*, 2009), onde pesquisas como a de Ayob *et al.* (2018) apontam o *Point Absorber* como alternativa viável e interessante, sob o ponto de vista da capacidade de absorver energia incidente a partir de qualquer direção da onda quando comparado a outro WEC.

Realizou-se uma pesquisa na base de dados da EIA (*US Energy Information Administration*) para visualizar, de forma geral, a geração de eletricidade. Também foi realizado um levantamento de dados no PNBoia (Programa Nacional de Boias) para determinar o comportamento das ondas na Região dos Lagos – RJ e feita uma revisão bibliográfica em bases de dados científicas para verificar possíveis ferramentas, materiais construtivos, métodos e recursos utilizados, recentemente, para construção de um protótipo de conversor do tipo *Point Absorber*.

2. METODOLOGIA

Realizado tratamento de dados levantados no sítio da EIA acerca da geração de eletricidade a partir de diferentes fontes, inclusive energia das ondas. Agência que por sua vez coleta, analisa e dissemina informações energéticas independentes e imparciais para promover políticas sólidas, mercados eficientes e compreensão pública da energia e sua interação com a economia e o meio ambiente (EIA, 2018). Também foi realizado tratamento de dados baixados no sítio brasileiro do GOOS (*Global Ocean Observing System*) para a boia da cidade de Cabo Frio – RJ, a fim de compreender o padrão de ondas local que dará embasamento à construção do protótipo.

Uma pesquisa exploratória e bibliográfica foi realizada com a finalidade de se elaborar a concepção de aspectos relevantes para a construção do protótipo de conversor do tipo *Point Absorber*, onde foi observado resultados de estudos realizados anteriormente e que estão relacionados com esta proposta, não com a finalidade de esgotar o conteúdo e debatê-lo, mas com o intuito de clarificar o tema em questão para o adequado entendimento de seus resultados. Nesta fase a pesquisa foi feita em bases científicas com artigos nacionais e internacionais atualizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Visão geral da geração de eletricidade

O Brasil ocupa o terceiro lugar das Américas em geração de eletricidade, atrás apenas dos Estados Unidos e do Canadá. Em 2016, o Brasil tinha uma capacidade de geração instalada de 137GW e gerou 560 bilhões de KWh de eletricidade (Figura 1). A maior parte da capacidade de geração do Brasil está localizada na Bacia Amazônica, ao extremo norte da maioria dos centros urbanos localizados no Sudeste. Essa distância contribui para a complexidade do sistema brasileiro de transmissão e distribuição (EIA, 2018).

Realização



Correalização

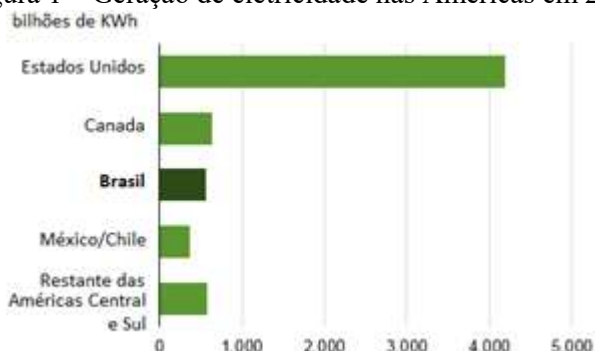


Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



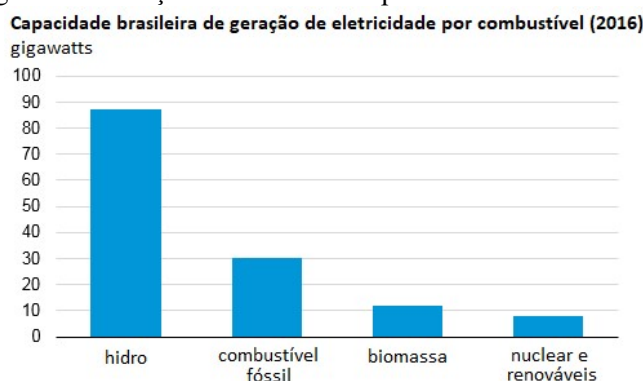
Figura 1 – Geração de eletricidade nas Américas em 2016



Fonte: EIA, 2018. Adaptada pelos autores

A hidroeletricidade representa a maior parte da capacidade de geração do Brasil (87 GW), sendo o restante fornecido por fontes de combustível fóssil (30 GW), biomassa (12 GW) e pequenas quantidades de energia eólica e nuclear (Figura 2). O Brasil é o segundo maior produtor de energia hidrelétrica do mundo, atrás apenas da China, e a energia hidrelétrica responde atualmente por mais de 70% da geração de eletricidade no país.

Figura 2 – Geração de eletricidade por combustível no Brasil



Fonte: EIA, 2018. Adaptada pelos autores

Os combustíveis fósseis são a segunda maior fonte de eletricidade no Brasil e o gás natural é o principal deles, representando mais da metade da capacidade brasileira dos fósseis, o restante é carvão. Possuímos duas usinas nucleares, Angra 1 com 640 MW e Angra 2 com 1.350 MW (EIA, 2018). O Brasil planeja aumentar a participação das energias renováveis não-hidro em sua matriz de geração, para isso, em 2015 lançou o Programa de Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) cujo objetivo é estimular a geração de energia pelos próprios consumidores (residencial, comercial, industrial e rural) com base em fontes renováveis, em especial a fotovoltaica. Há potencial para a instalação de 23,5 GW até 2030 (MME, 2015).

O oceano é uma das fontes renováveis de energia que pode suprir parte das necessidades mundiais e, assim, reduzir a taxa de consumo de combustíveis fósseis e outros recursos não renováveis. A crescente necessidade de energia, a escassez de recursos fósseis e a poluição ambiental causada pelos combustíveis fósseis, juntamente com os impactos do aquecimento global na vida humana, chamaram a atenção para os recursos energéticos renováveis. A energia das ondas oceânicas é uma das formas mais limpas de energia renovável e pode ser convertida em eletricidade ou outras formas de energia utilizável



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

(ALAMIAN *et al.*, 2014). Uma das fontes de energia mais abundantes no mundo é a energia das ondas marinhas. De longe, ela mostrou ser uma energia limpa, renovável e previsível, aumentando seu potencial para competir com as fontes de energias não renováveis (MUSTAPA *et al.*, 2017).

Os dispositivos de conversão de energia das ondas podem ser usados em locais próximos ou distantes da costa. Uma quantidade de protótipos de conversor de energia das ondas está sendo desenvolvida em todo o mundo devido ao crescente interesse na energia das ondas oceânicas (MELIKOGLU, 2018). Basicamente, a conversão de energia das ondas consiste em duas etapas: primeiro, a energia das ondas é convertida em energia mecânica e, em seguida, a energia mecânica é convertida em energia elétrica por meio de geradores (KIM *et al.*, 2017). Muitos pesquisadores propuseram numerosos dispositivos e avaliaram sua viabilidade por meio de análise teórica, testes de modelos em laboratório e testes de protótipos em ambiente marítimo real (DREW *et al.*, 2009).

Apesar de todo o potencial visto e o movimento dos pesquisadores ao redor do mundo, podemos verificar na Tabela 1 a geração de energia elétrica global a partir da energia das ondas e marés entre os anos de 2012 e 2015.

Tabela 1 – Geração de energia elétrica a partir de ondas e marés em diferentes regiões do Mundo

Regiões do Mundo	Geração de eletricidade a partir de ondas e marés, Bilhão de KWh			
	2012	2013	2014	2015
Africa	0	0	0	0
Asia & Oceania	(s)	0,5	0,5	0,5
Central & South America	0	0	0	0
Eurasia	0	0	0	0
Europe	0,5	0,4	0,5	0,5
Middle East	0	0	0	0
North America	(s)	(s)	(s)	(s)
World	0,5	0,9	1	1

(s) Muito pequeno, desconsiderado.

Fonte: EIA, 2018. Adaptada pelos autores

Como pode ser visto, segundo a agência americana (EIA), a América do Sul não possui registro de geração de energia elétrica oriunda de ondas e marés. Porém em 2012, o projeto denominado Usina de Ondas e desenvolvido pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) na Universidade Federal do Rio de Janeiro funcionou experimentalmente no Porto do Pecém no estado do Ceará e tinha capacidade de produzir 100MW de potência (COPPE, 2018).

3.2. Avaliação do comportamento das ondas na região de Cabo Frio

Ondas superficiais são geradas nos oceanos devido à interação dos ventos com a superfície da água. Quando eles sopram paralelamente à superfície, transferem energia cinética para o mar e uma parte desta energia gera as ondas. A quantidade de energia transferida do vento para a superfície do mar depende da intensidade deste vento, do seu tempo de atuação e da área sobre a qual está atuando, a chamada pista. Sendo assim, quanto maior a velocidade, o tempo e a pista, maior será a onda resultante. No entanto, para cada situação existem dimensões máximas que a onda pode atingir, ou seja, as ondas não crescem indefinidamente (TRUJILLO & THURMAN, 2011).

Depois de geradas, as ondas se propagam até encontrar um local de dissipação de energia, como uma praia (FLEMING, 2012). De fato, as ondas são mais que uma forma de energia solar concentrada, já que são geradas pelo movimento dos ventos que, por sua vez, são gerados pelo

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

aquecimento desigual da superfície terrestre. A maior parte das ondas é gerada em regiões de tempestade, onde os ventos em geral são mais fortes e a superfície do mar se torna caótica (PLAMER *et al.*, 2017). A energia total em uma onda, conforme (Dean & Dalrymple, 1991), é a combinação da energia potencial, devido ao deslocamento vertical da superfície da água, com a energia cinética, devido ao movimento oscilatório da onda, e é expressa pela Equação (1).

$$E_T = E_C + E_P = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (1)$$

Onde o valor médio de energia potencial da onda é representado pela Equação (2).

$$E_p = \frac{\rho g H^2}{16} \quad (2)$$

A energia cinética contida no campo de ondas está relacionada ao movimento e é representada pela Equação (3).

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3)$$

Como característica de um sistema conservativo, demonstra-se que a energia cinética tem o mesmo valor da energia potencial (OSTRITZ, 2012). Equação (4).

$$E_c = \frac{\rho g H^2}{16} \quad (4)$$

Sendo: m a massa de fluido deslocada (kg), v a velocidade de deslocamento (m/s), ρ a massa específica da água do mar (kg/m³), g aceleração gravitacional (m/s²), H a altura da onda (m), E_C a energia cinética (J) e E_P a energia potencial (J).

O Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil coordena o Programa Nacional de Boias (PNBoia), cujo objetivo geral é disponibilizar, em tempo quase-real, à comunidade de interessados, dados meteorológicos e oceanográficos obtidos nas áreas oceânicas de interesse do Brasil. Já os objetivos específicos se apresentam como: Implantar uma rede de boias de deriva rastreadas por satélites, implantar uma rede de boias fundeadas rastreadas por satélites e implantar um sistema de recepção, processamento e divulgação dos dados (GOOS-BRASIL, 2018). Cada boia trabalha com medições horárias 24 horas por dia e pode medir variáveis como altura da onda, período da onda, direção da onda, direção do vento, temperatura do ar etc.

Para compreender o padrão das ondas na Região dos Lagos – RJ, dados brutos foram baixados do sítio do GOOS e tratados. Em um mês podem existir até 744 medições disponíveis, se considerarmos que todas as medições foram validadas. Para o ano de 2017 calculamos o valor médio mensal da altura da onda (H_s) e do período da onda (T_p) que podem ser vistos na Tabela 2.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Tabela 2 – Valores médios para o ano de 2017

Meses de 2017	Altura Hs (m)	Período Tp (s)
Janeiro	1,69	7,65
Fevereiro	1,55	7,85
Março	1,89	9,72
Abril	2,03	9,84
Mai	2,28	10,86
Junho	1,84	9,68
Julho	1,88	9,38
Agosto	2,18	9,70
Setembro	2,26	9,04
Outubro	3,06	9,25
Novembro	3,59	9,76
Dezembro	4,13	10,26
ANUAL	2,37	9,42

Fonte: Autores

Percebe-se que a altura média da onda para 2017 teve variações entre 1,55 e 4,13 metros, enquanto o período variou entre 7,65 e 10,86 segundos. Considerando a Equação (1), podemos dizer que o mês de dezembro foi o mais energético por apresentar a maior altura média, acompanhado de novembro e outubro. Já o valor médio anual de H_s foi de 2,37m e de T_p 9,42s. Com os valores de altura e período conhecidos, podemos trabalhar o projeto do conversor de forma mais clara e objetiva.

3.3. Gerador linear de ímãs permanentes

Diversas soluções têm surgido para o aproveitamento da energia das ondas, porém, atualmente, nenhuma delas ocupa uma posição consolidada do ponto de vista comercial. Devido às características do local de instalação serem muito particulares, é esperado que diferentes princípios de conversão de energia das ondas sejam utilizados no desenvolvimento dos conversores (SEIBT *et al.*, 2017).

Segundo Iahnke *et al.* (2009), os dispositivos para a conversão da energia das ondas do mar em energia elétrica podem ser classificados tanto pela sua localização quanto pelo seu princípio de funcionamento, da seguinte forma:

- Classificação de acordo com a localização. Dispositivos costeiros (*onshore*), dispositivos próximos da costa (*nearshore*) e dispositivos afastados da costa (*offshore*).
- Classificação de acordo com o princípio de funcionamento. Coluna de água oscilante, corpos oscilantes e dispositivos de galgamento (*Overtopping Device*).

O dispositivo pretendido para o protótipo é do tipo corpo oscilante com absorção pontual (*Point Absorber*). Cunha *et al.* (2017) expõem um modelo simples e autêntico de um conversor *Point Absorber*, a Figura 3 mostra o princípio de funcionamento dessa instalação que consiste em um flutuador que se move de acordo com o movimento das ondas, sendo ligado a um sistema fixo, que possui a função de extrair parte da energia das ondas e converter em eletricidade.

O *Point Absorber* tem a capacidade de absorver energia em todas as direções através de seus movimentos na superfície da água. Por sua característica original de movimento linear, é possível e conveniente o uso de um gerador linear para produção de energia elétrica, em vez de geradores rotativos convencionais (CUNHA *et al.*, 2017). Um gerador linear pode aproveitar melhor o movimento da onda e, portanto, geradores lineares são usados em vários conversores diferentes de energia das ondas (OZKOP & ALTAS, 2017).

Realização



Correalização

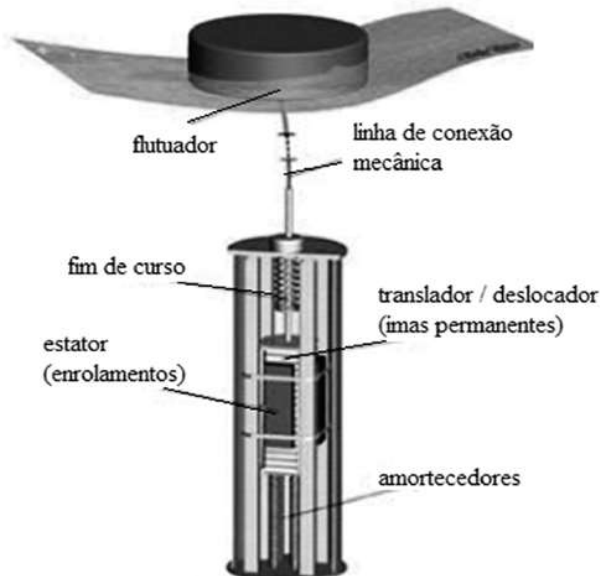


Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Figura 3 – Esquema do WEC *Point Absorber*



Fonte: CUNHA *et al.*, 2017

O princípio de funcionamento de um gerador linear é exatamente igual ao de um gerador convencional. A única diferença consiste na forma como se estabelece o movimento relativo entre as bobinas de cada fase e o sistema de excitação, sendo, neste caso, um movimento linear (BOLDEA & NASAR, 1997). A parte fixa dos geradores lineares é chamada de estator e a parte móvel é chamada de translador (Figura 3). Os geradores lineares costumam ser classificados quanto: à sua geometria, usualmente, plana ou tubular; ao material do seu núcleo, ferromagnético ou não (núcleo de ar); a direção das linhas de fluxo magnético, que costuma ser longitudinal ou transversal; a quantidade de lados, normalmente simples (um lado) ou duplo (dois lados) (CORDOVIL, 2013).

Segundo Okuyama & Assano (2013), um gerador linear de ímãs permanentes é fundamentalmente composto por um eixo no qual são acoplados ímãs permanentes (indutor) e por bobinas alojadas num núcleo ferromagnético que envolve o conjunto de ímãs, formando um acoplamento magnético (induzido). A geração de energia se dá quando o conjunto de ímãs permanentes se move no interior de uma bobina de enrolamento. Este movimento alternativo modifica o fluxo magnético que passa pelo indutor e esta alteração nas condições do campo magnético induz um fluxo de corrente elétrica nos fios do enrolamento da bobina.

3.4. Melhorias para o circuito magnético de um gerador linear de ímãs permanentes

O estudo realizado por Farrok *et al.* (2017) se refere a um gerador linear de ímã permanente com comutação de fluxo (FSPMLG), onde quase todos geradores deste tipo contêm um translador pesado e sólido devido às suas limitações de projeto para geração de eletricidade a partir das ondas oceânicas. Estes mesmos autores, a partir de um modelo dinâmico de onda oceânica, perceberam que o translador com menor massa poderia gerar eletricidade de forma mais efetiva. Para analisar o desempenho e verificar a viabilidade deste novo projeto proposto, precisa-se entender o funcionamento magnético do modelo convencional passível de melhoria que pode ser visto na Figura 4.

Realização



Correalização

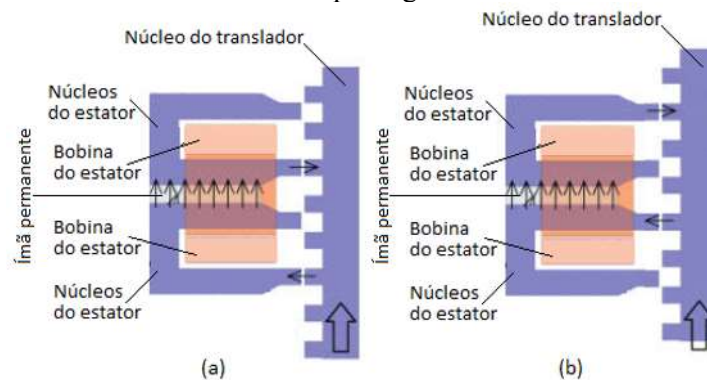


Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



Figura 4 – Modelo convencional. (a) Posição do translador em um determinado momento. (b) Posição do translador após alguns instantes.

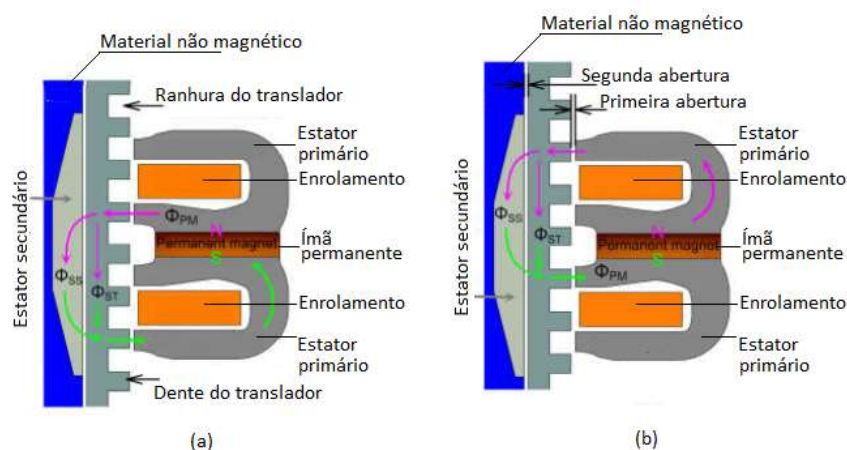


Fonte: FARROK *et al.*, 2017. Adaptada pelos autores

As direções das linhas de fluxo magnético são mostradas nas Figuras 4(a) e 4(b), através das setas, para duas posições diferentes do translador. Observa-se que, as linhas de fluxo percorrem na direção oposta no núcleo do estator para duas posições diferentes. Por outro lado, a posição vertical do translador muda devido à onda, mudando então a direção das linhas de fluxo. Portanto, a direção das linhas de fluxo muda ao redor das bobinas do estator com o tempo gerando energia elétrica (FARROK *et al.*, 2017).

Uma melhoria foi proposta para o circuito magnético do FSPMLG convencional, onde a estrutura de aço do translador foi modificada com material não magnético e mais leve, para simulações numéricas com o método de elementos finitos. Na Figura 5 podemos ver o gerador proposto em dois momentos diferentes.

Figura 5 – Modelo proposto. (a) Posição do translador em um determinado momento. (b) Posição do translador após alguns instantes.



Fonte: FARROK *et al.*, 2017. Adaptada pelos autores

Ao contrário do modelo convencional, o fluxo magnético total, Φ_{PM} , proveniente do estator primário, não retorna ao estator através do translador. Pelo contrário, uma parte do fluxo magnético total, Φ_{SS} , passa através do estator secundário e o resto do fluxo magnético, Φ_{ST} , percorre o translador. A cor azul representa material não magnético para limitação do fluxo. A principal diferença entre o



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

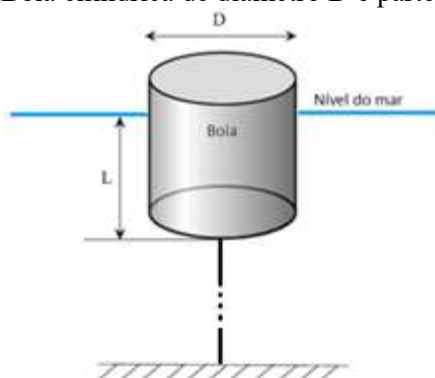
modelo convencional e o proposto é que, a comutação do fluxo magnético ocorre apenas no núcleo do estator primário e não no núcleo do estator secundário.

3.5. Otimização da geometria da boia para o gerador *Point Absorber*

Henry *et al.* (2018) levantam uma questão importante quando estamos trabalhando com este tipo de conversor. Se a frequência natural do WEC é igual à frequência da onda, a captura de energia do conversor será maximizada. Na realidade, isso é bastante difícil de alcançar com boias (flutuadores) porque elas tendem a ter uma frequência natural muito alta, devido a sua alta rigidez e baixa massa adicionada. No caso do *Point Absorber*, a geometria da boia deve ser otimizada para o sistema oscilar na faixa de frequências de ondas predominantes no mar, permitindo máximas amplitudes de movimento possíveis para produzir mais potência (SHADMAN *et al.*, 2018). Como o movimento do conversor é restrito e o fator de captura da energia também tem relação com a força da onda, há um contraste com a visão predominante da conversão de energia das ondas que negligencia a magnitude da força das ondas em favor da manutenção do estado de ressonância (HENRY *et al.*, 2018).

No trabalho realizado por Shadman *et al.*, (2018), um processo de otimização da boia é proposto para maximizar a potência absorvida pelo WEC e a largura de banda dessa absorção, proporcionando um período natural próximo aos períodos de ondas predominantes no local do mar. Este processo pode ser aplicado a diferentes tipos de WEC (SHADMAN *et al.*, 2018). Considerou-se uma boia de formato cilíndrico, com diâmetro D e parte submersa L (Figura 6).

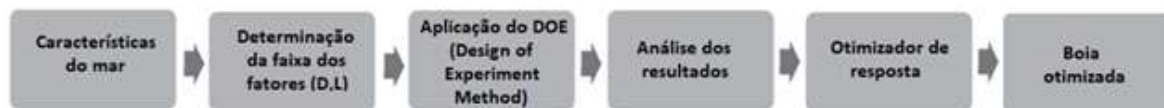
Figura 6 – Boia cilíndrica de diâmetro D e parte submersa L



Fonte: Autores

Na Figura 7 podemos entender como esse processo foi pensado.

Figura 7 – Processo de otimização da geometria da boia



Fonte: SHADMAN *et al.*, 2018. Adaptada pelos autores

Projetar um dispositivo que auxilie o WEC estar ressonante com a onda é mais vantajoso que investir numa adaptação do conversor a uma determinada localidade.

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



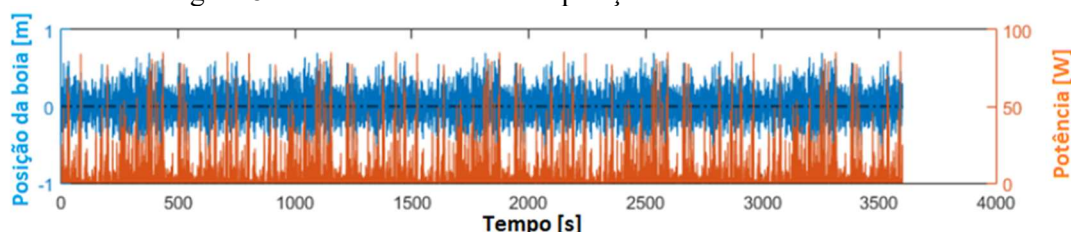
TEMA
meio ambiente,
política & economia

3.6. Possibilidade de um sistema híbrido de geração

Com intuito de criar um sistema de geração de energia de pequeno porte para carregar uma bateria de 12V, Ayob *et al.* (2018) compararam três tipos de geração: *Oscillating Water Column (OWC)*, *Point Absorber* e painel fotovoltaico. Os dois primeiros são modelos de WECs e extraem energia do mar e o terceiro do sol. Os resultados indicaram que o OWC era muito pequeno para a tarefa e não produziu energia suficiente. Por outro lado, os resultados mostraram que um sistema híbrido composto por um pequeno *Point Absorber* combinado com um sistema de energia solar foi suficiente para aquela demanda. Ambos se complementam, já que o *Point Absorber* produz energia suficiente por si só durante o inverno (e pouca no verão), enquanto o painel solar produz energia suficiente no verão (e pouca no inverno) (AYOB *et al.*, 2018).

No teste de funcionamento de um *Point Absorber* cujo translador (eixo) está acoplado numa boia circular de 0,35m de diâmetro, 20kg e deslocamento vertical de 0,20m, observou-se um comportamento que pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Potência instantânea e posição da boia durante o teste



Fonte: AYOB *et al.*, 2018. Adaptada pelos autores

Fazendo uma análise simples da Figura 8 podemos perceber que a potência instantânea média está abaixo dos 50 Watts. Um valor não muito interessante quando pensamos em carga elétricas do cotidiano, porém, para carga de uma bateria de 12V, demonstrou-se atrativa.

4. CONCLUSÕES

Para o enfrentamento das crises energéticas e da poluição ambiental, teremos que nos concentrar na exploração e utilização de fontes renováveis de energia. Existem várias fontes abundantes e renováveis nos oceanos, tal como a energia das ondas discutida neste artigo. Uma exploração racional da energia das ondas poderá aliviar as crises energéticas e os problemas de poluição ambiental. Por essa razão, pesquisadores de várias partes do mundo realizam pesquisas sobre essa forma de energia (WAN *et al.*, 2018). Pesquisas sobre impactos ambientais dos dispositivos de energia renovável marinha ainda não podem ser feitas de forma completa porque esses dispositivos devem ser bem definidos e testados nos ambientes marinhos (ZANGIABADI *et al.*, 2017).

Em algum momento teremos que pensar como será nossa transição energética. Questões técnicas serão levantadas e haverá debates acerca dos instrumentos políticos mais adequados. Porém, não há dúvida de que a questão do custo será uma das mais cruciais no decorrer de um projeto de tão longo prazo (UNNERSTALL, 2017).

Como o protótipo a ser montado é do tipo *Point Absorber* com ímãs permanentes, uma simulação computacional será de grande importância antes de iniciarmos a montagem do protótipo, assim como feito por Farrok *et al.* (2017). O circuito magnético do gerador é fator limitante na quantidade de eletricidade gerada.

Diante do que foi analisado neste artigo, encontra-se sustentação para a montagem de um protótipo do tipo *Point Absorber*, a pesquisa realizada obteve informações atualizadas que serão

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

relevantes para o projeto. Tecnologias atuais já testadas por outros pesquisadores poderão ser utilizadas, assim como dados levantados vão colaborar para uma montagem adequada do dispositivo.

REFERÊNCIAS

ALAMIAN, R.; SHAFAGHAT, R.; MIRI, S. J.; YAZDANSHENAS, N.; SHAKERI, M. Evaluation of technologies for harvesting wave energy in Caspian Sea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** v. 32, p. 468-476, 2014.

AYOB, M. N.; CASTELLUCCI, V.; GÖTEMAN, M.; WIDÉN, J.; ABRAHAMSSON, J.; ENGSTRÖM, J.; WATERS, R. Small-Scale Renewable Energy Converters for Battery Charging. **Marine Science and Engineering**, Uppsala-Sweden, v. 6, 2018.

BOLDEA, I.; NASAR, Syed A. **Linear Electric Actuators and Generators**. USA: Cambridge University Press, 1997. 248 p.

COPPE. **A energia que vem do mar - Usina de Ondas**. Disponível em: <<http://www.coppenario20.coppe.ufrj.br>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

CORDOVIL, P. T. C. **O gerador linear de magnetos permanentes aplicado à recuperação de energia das ondas**. Lisboa-Portugal, 111 p., 2013. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior Técnico de Lisboa.

CUNHA, I. P. C.; MOREIRA, M. A. C.; SANTOS, R. C.; SANTOS, J. A. M. Estudo da Viabilidade de Utilização de uma Máquina de Fluxo Transversal Linear como parte da Estrutura do Conversor de Energia das Ondas Point Absorber. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 2, p. 77-98, 2017.

DEAN, R. G., DALRYMPLE, R. A. **Water wave mechanics for engineers and scientists**. USA: World Scientific, 1991. 353 p.

DREW, B.; PLUMMER, A.R.; SAHINKAYA, M. N. A review of wave energy converter technology. **Power and Energy**, Bath-UK, v. 223, p. 887-902, 2009.

EY (Ernest & Young). **RECAI: Renewable Energy Country Attractiveness Index**. Disponível em: <[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/RECAI-45-September-15-LR/\\$FILE/RECAI_45_Sept_15_LR.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/RECAI-45-September-15-LR/$FILE/RECAI_45_Sept_15_LR.pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2018.

EIA (US Energy Information Administration). **International energy statistics**. Disponível em: <<https://www.eia.gov/beta/international/>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

FARROK, O.; ISLAM, R.; SHEIKH, R. I.; GUO, Y.; ZHU, J. A Split Translator Secondary Stator Permanent Magnet Linear Generator for Oceanic Wave Energy Conversion. **IEEE**, 2017.

FLEMING, F. P. **Avaliação do potencial de energias oceânicas no Brasil**. Rio de Janeiro, 100p., 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GOOS-BRASIL. **Programa Nacional de Boias**. Disponível em: <http://www.goosbrasil.org/pnboia/>. Acesso em: 20 abr. 2018.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

HENRY, A.; FOLLEY, M.; WHITTAKER, T. A conceptual model of the hydrodynamics of an oscillating wave surge converter. **Renewable Energy**, v. 118, p. 965-972, 2018.

IAHNKE, S. L. P.; GOMES, M. N.; ISOLDI, L. A.; ROCHA, L. A. O. Energia das ondas do mar: Modelagem computacional de um dispositivo de galgamento. **Revista Vetor**, Rio Grande, v. 19, n. 2, p. 20-36, 2009.

IEA (International Energy Agency). **Ocean Energy Systems (OES TCP)**. Disponível em: < <https://www.iea.org/tcp/renewables/oes/> >. Acesso em: 07 abr. 2018.

KHAN, N.; KALAIR, A.; ABAS, N.; HAIDER, A. Review of ocean tidal, wave and thermal energy Technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Islamabad-Pakistan, v. 72, 590-604, 2017.

KIM, J.; KOH, H. J.; CHO, I. H.; KIM, M. H.; KWEON, H. M. Experimental study of wave energy extraction by a dual-buoy heaving system. **International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering**, v. 9, p. 25-34, 2017.

LOUREIRO, W. L. M.; NETO, J. V.; NETO, R. S.; BARROS, S. R. S. A Indústria do Petróleo em Macaé: características e impactos socioeconômicos sob a ótica do desenvolvimento sustentável. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 16, n. 2, p. 189-220, 2014.

MELIKOGLU, M. Current status and future of ocean energy sources: A global review. **Ocean Engineering**, Gebze-Turkey, v. 148, p. 563-573, 2018.

MME (Ministério de Minas e Energia). **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-fotovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014 >. Acesso em: 20 abr. 2018.

MUSTAPA, M. A.; YAAKOB, O. B.; AHMED, Y. M.; RHEEM, C.; KOH, K. K.; ADNAN, F. A. Wave energy device and breakwater integration: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 43-58, 2017.

OKUYAMA, M. O.; ASSANO, R. **Projeto de gerador elétrico linear para aproveitamento da energia de ondas marítimas**. São Paulo, 125 p., 2013. Monografia - Universidade de São Paulo.

OSTRITZ, F.F. **Estimativa do Potencial Energético Gerado por Ondas na Costa do Brasil com ênfase no estado do Ceará**. Rio de Janeiro, 58 p., 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

OZKOP, E.; ALTAS, I. H. Control, power and electrical components in wave energy conversion systems: A review of the technologies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Trabzon-Turkey, v. 67, p. 106-115, 2017.

PLAMER, C. B.; LIMA, Y. T. B.; ISOLDI, L. A.; SANTOS, E. D.; ROCHA, L. A. O.; GOMES, M. N. Modelagem computacional e método constructal design aplicados a um conversor de energia das ondas do mar do tipo coluna de água oscilante (CAO) analisando a influência em seu desempenho da variação

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

da razão entre o volume de entrada e o volume total da câmara hidropneumática. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 507-526, 2017.

ROSA, A. R.; VILLAS-BOAS, V. Estudo de Adequações em um Aeroporto Regional para Alcançar a Eficiência Energética de Forma Renovável. **Revista Scientia Cum Industria**, Caxias do Sul, v. 4, n. 1, p. 21-31, 2016.

SEIBT, F. M.; ROCHA, L. A. O.; SANTOS, E. D.; ISOLDI, L. A. Estudo numérico do efeito da variação conjunta do comprimento e da altura relativa de um conversor de energia das ondas tipo placa horizontal submersa. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 586-605, 2017.

SHADMAN, M.; ESTEFEN, S. F.; RODRIGUEZ, C. A.; NOGUEIRA, I. C. M. A geometrical optimization method applied to a heaving point absorber wave energy converter. **Renewable Energy**, Rio de Janeiro, v. 115, p. 533-546, 2018.

TRUJILLO, A. P. & THURMAN, H. V. **Essentials of Oceanography**. USA: Prentice Hall, 2011. 551p.

UNNERSTALL, T. How expensive is an energy transition? A lesson from the German Energiewende. **Energy, Sustainability and Society**, Stockstadt-Germany, v. 7, 2017.

WAN, Y.; FAN, C.; DAI, Y.; LI, L.; SUN, W.; ZHOU, P.; QU, X. Assessment of the Joint Development Potential of Wave and Wind Energy in the South China Sea. **Energies**, Qingdao-China, v. 11, 2018.

WASSERMAN, J. C.; MACCHIA, E.; HALL, J.; ZOTES, L. P. Sustentabilidade na indústria do petróleo – uma análise financeira comparativa de empresas integradas e verticalizadas. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 12, n. 2, p. 228-237, 2017.

ZANGIABADI, E.; MASTERS, I.; WILLIAMS, A. J.; CROFT, T. N.; MALKI, R.; EDMUNDS, M.; JONES, A. M.; HORSFALL, I. Computational prediction of pressure change in the vicinity of tidal stream turbines and the consequences for fish survival rate. **Renewable Energy**, UK, v. 101, p. 1141-1156, 2017.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375