

## PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS OCEANOS

CAMILA SANTOS OLIVEIRA<sup>1</sup> e LUCIANO SERGIO HOCEVAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discente do Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade, UFRB, Feira de Santana-BA, oliveira.s.camila@outlook.com;

<sup>2</sup>Prof. Dr. do curso de Engenharia de Energia da UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Feira de Santana-BA, lucianohocevar@ufrb.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
Palmas/TO – Brasil  
17 a 19 de setembro de 2019

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo descrever possíveis formas de geração de energia elétrica por meio dos oceanos, visando o melhor aproveitamento dos recursos naturais do Brasil e a diversificação da matriz energética. Procedeu-se a um levantamento bibliográfico, no qual foram considerados artigos oriundos de pesquisas qualitativas e quantitativas sobre eficiência de dispositivos de geração de energia elétrica de origem oceânica, livros sobre impactos sócio-econômico-ambientais de cada tipo de geração, além de artigos sobre o assunto. Pode-se concluir que, para aproveitar o potencial energético dos litorais, é necessário investir em tecnologia para melhorar a eficiência dos equipamentos e de processos de geração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geração, energia elétrica, oceanos, mares.

### ELECTRIC POWER PRODUCTION THROUGH THE OCEANS

**ABSTRACT:** This work aimed to describe the possible forms of electric power generation across the oceans, aiming at the best use of Brazil's natural resources and the independence of the energy matrix. A descriptive research was carried out, through a bibliographic survey, in which articles were considered from qualitative and quantitative research on the efficiency of electric power generation devices across oceans, books on the socio-economic and environmental impacts of each type of generation and newspaper articles on the subject. It was concluded that, in order for the coastal energy potential to be harnessed, it is necessary to invest in technology in order to improve equipment efficiency and reduce the generation processes.

**KEYWORDS:** Generation, electric power, oceans, seas.

### INTRODUÇÃO

Dotado de dimensões continentais e localização geográfica privilegiada – em uma zona intertropical, abundante em climas e biomas diferentes – o Brasil possui uma exacerbada quantidade de recursos das mais diversas formas, sejam eles minerais, animais, vegetais, genéticos; e, energéticos.

Avaliando o aproveitamento dos recursos energéticos, com base no Balanço Energético Nacional 2018 (EPE, 2018), percebe-se que, apesar de possuir grandes áreas onde é possível a instalação de parques eólicos, grande incidência solar na maior parte de ano e um litoral de 8 mil quilômetros de extensão – capaz de gerar 87 GW (SILVA, 2018) – 60% da produção de energia do Brasil é hidroelétrica. Isso mostra duas coisas, primeira: existe a dependência desta forma de geração, o que pode implicar em, em períodos de situação climática adversa, haver falta de energia elétrica; e, segunda: existem recursos naturais disponíveis para a geração de energia que estão sendo mal aproveitados.

Este artigo expõe uma pesquisa que, através de um levantamento bibliográfico, objetiva descrever as possíveis formas de geração de energia elétrica para o aproveitamento dos recursos energéticos presentes nos oceanos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Fez-se uma pesquisa descritiva, através de levantamento bibliográfico, na qual foram considerados artigos oriundos de pesquisas qualitativas e quantitativas sobre a eficiência de dispositivos de geração de energia elétrica através dos oceanos, livros sobre os impactos socio-econômico-ambientais de cada tipo de geração e matérias de jornal sobre o assunto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

“A energia total do universo é constante. Energia pode ser convertida de uma forma para outra, ou transferida de uma região para outra, mas energia nunca pode ser criada nem destruída” (TIPLER e MOSCA, 2013). Nesse conceito conhecido como Lei de Conservação da Energia, se baseiam todas as usinas de geração de eletricidade existentes seja utilizando luz para gerar corrente, seja utilizando energia cinética do vento, da água ou de um gás para girar uma turbina.

Quando se tratam dos Oceanos, existem três aspectos básicos que podem ser utilizados para geração de energia elétrica: energia cinética de ondas, correntes e marés; gradiente térmico; e, gradiente de salinidade. (TOLMASQUIM, 2016)

A geração através de ondas é pautada na conversão de energia cinética através do movimento de uma turbina. Este pode ser oriundo da ação direta da água, ou da ação de um fluido, como o ar, comprimido. Segundo Cruz e Sarmiento (2004), existem duas formas de se classificar esse tipo de geração: pela distância da costa e pelo tipo do dispositivo.

Pela distância da costa têm-se: **Onshore**, também chamados de shoreline: dispositivos costeiros, cuja maior parte da usina fica em terra; **Near-shore**: dispositivos que ficam próximos da costa e **Offshore**: dispositivos afastados da costa.

É interessante salientar que ambas as usinas – near-shore e offshore – funcionam sem nenhuma parte dos seus dispositivos de geração de energia conectados com a terra. A principal diferença entre as duas é a profundidade na qual estão instaladas, a saber, near-shore: até 20m e assente no fundo do mar e, offshore: a cerca de 50m e com dispositivos flutuantes. Este fator é de suma importância, uma vez que, nas profundidades maiores os efeitos de dissipação de energia, como os relacionados ao atrito da onda com o fundo do mar, e à rebentação de ondas, são menores. Estes só se manifestaram para profundidades inferiores a 80m e 10m, respectivamente. (ETSU, 2001 apud CRUZ e SARMENTO, 2004). Infere-se que a classificação de proximidade da costa, na verdade, é uma classificação de profundidade.

Pelo tipo do dispositivo têm-se:

- a. CAO: coluna de água oscilante (*OWC – Oscillating Water Column*)
- b. Corpos flutuantes, podendo ser: absorção pontual (*Point Absorbers*) ou progressivos (*Surging Devices*)
- c. Galgamento (*Overtopping Devices*)

Cruz e Sarmiento (2004, p.16) descrevem o CAO como: “estruturas ocas parcialmente submersas, que se encontram abertas para o mar, abaixo da superfície livre da água”, dentro das quais o processo de geração ocorre em duas fases: uma quando a onda entra, impulsionando ar no interior da estrutura, forçando-o a passar por uma turbina; outra, quando volta em consequência do aumento de pressão na entrada, fazendo o ar passar novamente pela turbina, mas no sentido inverso. Para que ocorra o aproveitamento do fluxo do fluido nos dois sentidos, é utilizada uma turbina de Wells, auto retificadora, que possui a propriedade de manter o sentido de rotação independentemente do sentido do escoamento. A tecnologia é aplicada, geralmente, a dispositivos *onshore*. Existem algumas usinas em funcionamento, contudo, todas ainda em função da pesquisa na área; em fase de estudos e testes.

Não citada por Cruz e Sarmiento (2004), mas existente e testada, apesar de atualmente inoperante, é a usina de ondas de Pecém/CE, uma usina *onshore*, tem todo o mecanismo de geração, com exceção dos braços mecânicos com flutuadores, em terra. A energia elétrica é gerada da seguinte forma: os braços oscilam verticalmente ao passo em que as ondas oscilam. Estes acionam uma bomba que pressuriza água doce e a armazena num acumulador conectado a uma câmara de alta pressão. A água pressurizada gera um jato que move uma turbina que, por sua vez, aciona um gerador. (COPPE).

Cruz e Sarmiento (2004, p. 23) descrevem dois dispositivos do tipo ‘Corpos Flutuantes’: o *Archimedes Wave Swing* e o Pelamis. O *Archimedes Wave Swing* (Oscilação de Onda de Arquimedes) é composto por dois cilindros colocados um sobre o outro, com ar pressurizado entre eles. O superior flutua e o inferior é ligado por cabos ao fundo do mar. A pressão entre os cilindros equilibra o

cilindro flutuador com a coluna d'água que o sustenta, de forma que, quando as ondas passam e oscilam a coluna, o flutuador acompanha a oscilação e, por meio de um gerador, produz energia elétrica. Já o Pelamis é um sistema alongado disposto no sentido de propagação da onda, com uma estrutura articulada semi-submersa composta de vários módulos cilíndricos unidos por juntas flexíveis. Quando as ondas oscilam, os módulos oscilam em torno das juntas que os unem, provocando pressurização do óleo que, por sua vez, passa por motores hidráulicos que acionam geradores elétricos. Um dispositivo com (1,2x3,5)m tem capacidade de 750 kW. Existe um módulo em fase de testes.

Chamado de Wave Dragon, um dispositivo com potência nominal de 4-11 kW operante na Dinamarca, consiste em dois refletores que focam as ondas incidentes para uma rampa, depois da qual há um reservatório. Este é um dispositivo em que a água das ondas usa a rampa para alcançar um reservatório e, em seguida, uma série de turbinas de baixa queda, gerando assim, energia elétrica.

Observando-se a profundidade onde os dispositivos da segunda lista estão instalados, podemos inferir uma correspondência entre as profundidades e o tipo de dispositivo, contudo um dispositivo pode sofrer alteração de classificação apenas pela mudança do local de instalação. Por exemplo, segundo Cruz e Sarmiento (2004, p. 21), um dispositivo CAO, instalado em um quebra-mar, que é uma linha costeira artificial, portanto exposta a profundidades maiores, pode ser classificado como dispositivo near-shore por causa do fator profundidade; este, por sua vez, também implica em outros fatores, como maior produção de energia – já que, por conta da diminuição dos efeitos de dissipação, conforme já explanado anteriormente, há maior potencial de geração – e adaptação dos equipamentos para suportar um regime de ondas mais intenso.

As ondas, das quais a intensidade mostra a energia intrínseca, não são a única fonte de geração que os oceanos podem oferecer. As marés, dotadas de previsibilidade e relativa constância, são um recurso a ser aproveitado.

Oriundas da força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol sobre a Terra, as marés são ideais para a exploração costeira, principalmente em estuários. Ao passo em que se aproximam da costa, por efeitos de afunilamento, reflexão e pela geometria desta, as marés têm um aumento de amplitude, o que favorece a alocação – em lugares cujas características climáticas e geomorfológicas sejam propícias – de barragens. (NETO et al, 2011). A Usina de La Rance, que se encontra operante, na França, desde 1966, com uma capacidade instalada de 240 MW, exemplifica este tipo de geração. (SILVA, 2012)

Essas barragens recebem comportas e turbinas, que farão com que a usina marémotriz funcione de forma similar a uma hidrelétrica convencional. O desnível na maré causado pela barragem, faz com que a água verta pelas turbinas, gerando energia elétrica. Isso pode ocorrer em duas ocasiões: quando a maré enche e quando vaza.

Neto et al (2011), dividem da seguinte forma as opções de geração em diferentes momentos:

- a. Geração de efeito simples: quando se escolhe um dos eventos – enchente ou vazante – para que, durante este, seja gerada energia elétrica.
- b. Geração de efeito duplo: quando se usa de tecnologias que permitam gerar energia tanto no momento em que a maré enche, quanto no momento em que a maré vaza.

No caso da geração em maré vazante, o processo ocorre da seguinte forma: as comportas ficam abertas durante a enchente e são fechadas quando ela termina. Daí, ao passo em que o nível da maré decai, assumindo, na parte inferior da barragem, um nível suficiente para a movimentação das turbinas, se inicia a geração, que ocorre até que a água do reservatório acima da barragem, atinja um nível mínimo. Neste momento, boqueia-se a passagem de água pelas turbinas até que se atinja novamente o nível necessário para a geração na cheia da maré.

Já na geração em maré enchente, não há bloqueio de passagem pelas turbinas e abertura de comportas, uma vez que a geração ocorre no sentido mar-reservatório. A água movimenta as turbinas enquanto a maré sobe, gerando energia elétrica. Quando a geração é a dita de efeito duplo, ambos os processos são utilizados, concomitantemente.

O movimento das águas também pode ser aproveitado abaixo da superfície. Isso ocorre através da geração por correntes marítimas e correntes de marés.

As correntes marítimas são massas de água que correm dentro dos oceanos, sem perder suas características originais como temperatura e salinidade. (FREITAS). Os dispositivos de geração de energia elétrica através de correntes são similares aos geradores de energia eólica, só que submersos. A

maior diferença entre elas é o potencial de geração. Como a água é cerca de 850 vezes mais densa que o ar, a velocidade com a qual ela faz as turbinas girarem é maior, em consequência disso, a quantidade de energia gerada é bem maior. (TESTER et al, 2012).

Além disso, quando a velocidade do vento ultrapassa 25 m/s, a geração é nula. Já nas turbinas marinhas a geração máxima é mantida, mesmo quando a velocidade do fluido ultrapassa o valor nominal do projeto (MME, 2007).

Existem também alguns protótipos em desenvolvimento que se utilizam de várias turbinas dispostas em outros formatos, como as em posição axial, e módulos a serem fixos no fundo do oceano. (OCE) O maior obstáculo encontrado ao se estudar a energia de correntes, sejam as grandes correntes marítimas ou as correntes de marés, é a pouca informação existente e/ou disponibilizada sobre o assunto.

Todavia, o movimento não é o único recurso energético que os mares fornecem. As gradações de temperatura e de salinidade também podem ser aproveitadas para gerar energia elétrica.

Tonicidade é uma propriedade química das soluções, ela é medida através da soma das substâncias que não conseguem atravessar uma membrana de permeabilidade seletiva. Quando duas substâncias de tonicidades diferentes estão separadas por uma membrana semipermeável, a tendência é que o solvente passe do meio de menor tonicidade – o meio que contém a solução menos concentrada - para o meio de maior tonicidade – meio de solução mais concentrada. Esse processo é chamado de Osmose. Ele acontece até que haja um equilíbrio de forças, que pode ser atingido quando as substâncias se tornam isotônicas, ou seja, adquirem a mesma concentração, ou, quando se atinge a mesma pressão osmótica. (BROWN et al, 2005)

Como, durante o processo de osmose, a massa do lado mais concentrado aumenta, por causa do fluxo de solvente, a pressão também aumenta. Se for executada uma pressão contrária ao fluxo do solvente, e ela possuir a intensidade exata, o processo osmótico cessa. (ATKINS et al, 2012) Essa pressão capaz de pausar a osmose é denominada Pressão Osmótica, e é por causa dela que, neste caso, se consegue gerar energia elétrica.

Como esse processo, quando para este fim, é feito com água como solvente, e sal como soluto, variando a concentração da solução, além de ser conhecido como Geração Osmótica, também é conhecido como Geração por Gradiente de Salinidade.

A Statkraft, empresa que tem o título de maior geradora de energia renovável da Europa, construiu uma planta de testes em 2009, composta por dois tanques separados por uma membrana semipermeável, que funcionava da seguinte forma: a água salgada entrava em um dos tanques e a doce, vinda do rio que desembocava no estuário, em outro. A água migra naturalmente do tanque de água doce para o de água salgada, aumentando a pressão neste. A água pressurizada é canalizada e utilizada para mover uma turbina, gerando energia elétrica. Esse método de geração se baseia no modelo ORP - Osmose Retardada por Pressão (STATKRAFT, 2013).

O gradiente de salinidade não é o único que pode ser usado para gerar energia elétrica. Em águas tropicais, a diferença de temperatura entre camadas de água de diferentes profundidades é bastante expressiva. A água da superfície, mais quente, pode ser usada para aquecer um reservatório contendo fluido com ponto de ebulição mais baixo que a água, como amônia que, aquecido, moveria uma turbina ligada a um gerador para a produção de energia. Em seguida, entraria em outro reservatório, exposto a águas bombeadas de profundidades maiores, portanto mais frias, que atuaria como condensador, fazendo com o fluido voltar ao estado líquido para reiniciar o ciclo. (NOAA).

Esse método de geração de energia elétrica por meio do gradiente de temperatura é chamado de OTEC - *Ocean Thermal Energy Conversion*. A amplitude térmica estimada para o funcionamento do sistema é de 20°C. (NOAA). Tester et al (2012) sugerem o uso de hidrogênio ou metanol como fluido interno para funcionamento do sistema, além da amônia. Também mostram que, avaliando a temperatura dos oceanos nas coordenadas 20° ao norte e ao sul do equador, existe uma diferença de (20-25)°C entre a temperatura da água na superfície e aquela à centenas de metros abaixo; o que sugere uma viabilidade teórica do mecanismo.

Quanto à eficiência, o valor obtido foi de  $\eta \approx 3\%$ , considerando dados estimados por Tester et al (2012) e utilizando a equação de Carnot. Ao compará-lo com o de outras formas de energia, percebe-se que o fator de eficiência máxima  $N$  da geração de energia por gradiente térmico é 10 vezes menor que o da energia nuclear ou da queima de carvão e 20 vezes menor que a melhor turbina a gás numa unidade de ciclo combinado. Apesar de se estimar a possibilidade de integração desse sistema a alguns sistemas comerciais específicos - como serviços de ar condicionado, agricultura climatizada ou a venda de

subprodutos do funcionamento, como água destilada – por não ser considerado viável, ele ainda não saiu da fase de projeto.

## CONCLUSÃO

Para que o potencial energético dos litorais possa ser aproveitado, faz-se necessário o investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia com o fim de melhorar a eficiência dos equipamentos e dos processos de geração.

## AGRADECIMENTOS

À UFRB – Universidade Federal de Recôncavo da Bahia, pelo acesso ao ensino público de qualidade.

## REFERÊNCIAS

- Alemanha. Ministério federal das relações externas. 2019. A transição energética alemã. Disponível em: <<http://www.energiewende-global.com/pt/?topic=erneuerbare-energien>> Acesso em: 21 de março de 2019.
- Atkins, Peter. Jones, Loretta. Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia – MME. Plano nacional de energia 2030. Brasília: MME: EPE, 2007.
- Brown, Theodore, Lemay. Eugene, Bursten, Bruce. Química, a ciência central. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- Cruz, j.; sarmento, a. Energia de ondas. Alfragide: instituto do ambiente, 2004.
- Empresa de Pesquisa Energética. 2018. Balanço energético nacional 2018: ano base: 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018.
- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Balanço do mar se transforma em energia elétrica no litoral do ceará. Disponível em: <<http://www.coppenario20.coppe.ufrj.br/?p=805>> Acesso em: 03 fev. 2019.
- Noaa - National Oceanic And Atmospheric Administration: office ocean & coastal resource management. Ocean thermal energy conversion (otec): tecnoloy. Disponível em: <<https://www.coast.noaa.gov/czm/media/technicalfactsheet.pdf>> Acesso em 30 abr. 2019
- Neto, Pedro. Saavedra, Osvaldo. Camelo, Nelson. Ribeiro, Luiz. Ferreira, Rafael. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. Ingeniare: revista chilena de ingeniería, Chile, vol.19, n. 2, p. 219-232. 2011.
- OCE. Technology. Disponível em: <<http://www.oceancurrent.energy/technology/>> Acesso em: 05 mai. 2019
- Silva, Rodrigo. A geração de energia maremotriz e suas oportunidades no brasil. Revista ciências do ambiente, vol. 8, n. 2, p. 82-87, outubro. 2012.
- Silva, Tauane. 2018. Energia de ondas no brasil. Disponível em: <<http://www.usp.br/portabiossistemas/?p=7953>> Acesso em: 03 fev. 2019.
- Statkraft. 2013. Statkraft halts osmotic power investments. Disponível em: <<https://www.statkraft.com/media/news/news-archive/2013/statkraft-halts-osmotic-power-investments/>> Acesso em: 15 mar. 19.
- Tester, Jefferson; Drake, Elisabeth; Driscoll, Michael; Golay, Michael; Peters, Willian. Sustainable Energy: Choosing Among Options. 2 ed. – Estados Unidos Da América: MIT PRESS, 2012.
- Tipler, Paul.; Mosca, Gene. Física para cientistas e engenheiros, volume 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Rio de janeiro: Itc, 2013.
- Tolmasquim, M. Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica. –Rio De Janeiro: EPE, 2016