Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.05, 2025
ISSN 2178-6925

PRINCIPAIS USINAS MAREMOTRIZES NO MUNDO: O CASO DA USINA DE PORTO DE PECÉM-CE, BRASIL

MAIN TIDAL POWER PLANTS IN THE WORLD: THE CASE OF THE PECÉM PORT POWER PLANTS, CE, BRAZIL

Letícia Ferreira de Araújo
Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo IFPB – Campus Esperança.
E-mail: ferreira.leticia@academico.ifpb.br

Aldeni Barbosa da Silva
Doutor em Agronomia (Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II). Professor de Biologia do IFPB - Campus Esperança. E-mail: aldeni.silva@ifpb.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9454-7450

Marcelo Máximo Purificação
Doutor em Ciências da Religião (Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás). Centro Universitário de Mineiros, UNIFIMES, Brasil. E-mail: maximo@unifimes.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4788-016X

Edmilson Dantas da Silva Filho
Doutor em Engenharia Agrícola (Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - Campus I). Professor de Química do IFPB - Campus Campina Grande.
Email: edmilson.silva@ifpb.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1981-7558

Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra
Doutorando em Ciência, Tecnologia e Sociedade, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar. E-mail: avaete.guerra@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7834-4362

Resumo

A queima de combustíveis fósseis para consumo de energia é responsável por 80% das emissões de gases do efeito estufa. A substituição dos combustíveis fósseis por fontes primárias de baixa emissão representa um dos maiores desafios do século XXI. Entre as fontes de energia renováveis, a energia maremotriz é uma das possibilidades recentemente desenvolvidas. Diante disso, esse trabalho teve o objetivo de estudar as principais usinas maremotrizes do mundo com foco na usina de Porto do Pecém-CE, Brasil. O estudo teve como método de pesquisa o de natureza exploratória, com análises de revisão bibliográfica qualitativa, a partir de materiais já elaborados utilizados para compor a investigação. Os trabalhos científicos foram pré-selecionados e os considerados mais relevantes foram armazenados para melhor leitura e compreensão. Seguiu-se as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para organizar as referências e citações. Observou-se que, no mundo, existe uma série de usinas que geram energia elétrica a partir das marés, a maioria delas funcionando por meio de barragens. Dentre elas, se destacam a usina La Rance, Annapolis Royal, Kislaya Guba, Sihwa Lake e MeyGen. A energia maremotriz consiste em uma forma de captação de energia realizada através do aproveitamento da movimentação das marés e sua energia cinética. O potencial energético da energia maremotriz é determinado principalmente pelas variações das marés em regiões costeiras e pela eficiência das tecnologias aplicadas para a obtenção de energia. No Brasil a captação de energia a partir das ondas pode ser facilmente aproveitada, devido sua extensa faixa litorânea com 7.300 quilômetros que cerca o país. Conclui-se que os oceanos apresentam um potencial energético enorme, que pode ser explorado de diversas formas, dentre as principais o estudo para geração de energia elétrica. No Brasil, é possível a aplicação da energia maremotriz.

Palavras-chave: Energia das ondas, Energia elétrica, Combustíveis fósseis.

Abstract

The burning of fossil fuels for energy consumption is responsible for 80% of greenhouse gas emissions. Replacing fossil fuels with low-emission primary sources represents one of the greatest challenges of the 21st century. Among renewable energy sources, tidal energy is one of the recently developed possibilities. In view of this, this study aimed to study the main tidal power plants in the world, focusing on the plant in Porto do Pecém-CE, Brazil. The study used an exploratory research method, with qualitative bibliographic review analyses, based on previously prepared materials used to compose the investigation. The scientific works were pre-selected and those considered most relevant were stored for better reading and understanding. The ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) standards were followed to organize the references and citations. It was observed that, in the world, there are a number of plants that generate electricity from the tides, most of them operating through dams. Among them, the La Rance, Annapolis Royal, Kislaya Guba, Sihwa Lake and MeyGen plants stand out. Tidal energy consists of a form of energy capture carried out by taking advantage of the movement of the tides and their kinetic energy. The energy potential of tidal energy is determined mainly by the variations of the tides in coastal regions and by the efficiency of the technologies applied to obtain energy. In Brazil, the capture of energy from waves can be easily used, due to its extensive coastline of 7,300 kilometers that surrounds the country. It is concluded that the oceans have an enormous energy potential, which can be explored in several ways, among the main ones being the study of electricity generation. In Brazil, the application of tidal energy is possible.

Keywords: Wave energy, Electric energy, Fossil fuels.

1. Introdução

Os problemas relacionados às mudanças climáticas e ao aquecimento global introduziram a questão ambiental na agenda política, social e econômica de praticamente todos os países do mundo. Estudos recentes mostraram que as emissões de gases provenientes do uso de combustíveis fósseis e dos processos industriais contribuíram com cerca de 78% do aumento total das emissões de gases do efeito de estufa (GEE) de 1970 para 2010 (IPCC, 2014).

A queima de combustíveis fósseis para consumo de energia é responsável por 80% das emissões de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), os principais gases do efeito estufa. O desmatamento de florestas tropicais como a Amazônia corresponde aos outros 20% dessas emissões. Somados tornam-se os principais causadores pelo aumento da temperatura terrestre e toda uma cadeia de efeitos ambientais, climáticos e sociais (ALMEIDA, 2023).

A substituição dos combustíveis fósseis por fontes primárias de baixa emissão representa um dos maiores desafios do século XXI, principalmente sob perspectivas econômicas. No modo de produção capitalista, a reprodução do sistema econômico depende fundamentalmente da capacidade de reduzir os custos de produção, garantindo assim a ampliação da extração de trabalho excedente e a maximização do lucro. Essa dinâmica impulsiona a constante busca por inovações tecnológicas e pela exploração intensiva dos recursos naturais e da força de trabalho para aumentar os excedentes no final do circuito, em uma lógica que prioriza a eficiência produtiva acima de qualquer outro fator (SOUZA, 2025).

Entre as fontes de energia renováveis, a energia maremotriz é uma das possibilidades recentemente desenvolvidas, existindo, entretanto, ainda poucos projetos implantados (NASCIMENTO, 2017). A Energia Maremotriz, também conhecida como energia das marés, consiste em uma forma de captação de energia realizada através do aproveitamento da movimentação das marés e sua energia cinética (NETO et al, 2011).

Por conta da necessidade de diversificação da matriz energética mundial, o desenvolvimento de estudos e recursos tecnológicos voltados para a energia maremotriz ganha importância. Ainda mais por ser uma fonte renovável de energia cujas usinas possuem uma perspectiva de vida útil prolongada. De acordo com Barquete e Silva (2013), enquanto as usinas hidrelétricas e térmicas possuem uma

vida útil de aproximadamente 40 anos, as usinas de energia maremotriz podem superar entre duas e três vezes esse período.

No Brasil, a usina no porto do Pecém, no Ceará, foi a primeira usina da América Latina a utilizar o movimento das ondas do mar para produção de energia elétrica. Idealizado e projetado na Coppe (Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro), o projeto-piloto insere o Brasil no seleto grupo de países que estão testando diferentes conceitos tecnológicos para atingir o objetivo de comprovar que as ondas do mar podem produzir eletricidade com confiabilidade de suprimento e a custos viáveis (CAPRACE, 2012).

Diante disso, esse trabalho teve o objetivo de estudar as principais usinas maremotrizes do mundo com foco na usina de Porto do Pecém-CE, Brasil.

2. Metodologia

Esse trabalho teve como método de pesquisa o de natureza exploratória, com análises de revisão bibliográfica qualitativa, a partir de materiais já elaborados utilizados para compor a investigação, que segundo Vosgerau e Romanowski (2014) se caracteriza como o processo de busca do referencial teórico.

Em relação ao tipo de pesquisa dessa revisão de literatura, o trabalho enquadra-se como uma pesquisa explicativa, visto que, essa modalidade tem como objetivo central identificar os fatores que determinam ou contribuem para fenômenos ocorrentes na sociedade (GIL, 2002). De acordo com o mesmo autor, acerca dos procedimentos técnicos da elaboração da revisão de literatura, esse trabalho se classifica puramente como uma pesquisa bibliográfica, vez que, a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado.

A coleta de dados ocorreu através do levantamento das produções científicas, cujas referências bibliográficas foram baseadas em Livros, Artigos, Scopus, Scielo, trabalhos de conclusão de curso, teses de mestrado e doutorado. Os trabalhos científicos foram pré-selecionados e os considerados mais relevantes foram armazenados para melhor leitura e compreensão. Seguiu-se as normas

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para organizar as referências e citações.

3. Revisão da Literatura

3.1. Principais usinas maremotrizes em operação

No mundo, existe uma série de usinas que geram energia elétrica a partir das marés, a maioria delas funcionando por meio de barragens. Dentre elas, as usinas maremotrizes em operação, se destacam a usina La Rance (França) desde 1966, Annapolis Royal (Canadá) desde 1984, Kislaya Guba (Rússia) desde 1968 e Sihwa Lake (Coreia do Sul) desde 2011 (NASCIMENTO, 2017).

3.1.1. Usina Maremotriz de La Rance

Foi o primeiro projeto de energia oceânica em escala comercial no mundo e entrou em operação em 1966 na barragem de maré de La Rance, na França. A construção da usina maremotriz levou seis anos e o projeto consiste em uma barragem de 750 metros de comprimento, sendo 390 metros ocupados pela usina, composta de 24 turbinas Kaplan de 10 MW cada, com uma capacidade total de 240 MW (Figura 1), conforme destacado por FLEMING (2012).



Figura 1. Usina maremotriz de La Rance, França. Fonte: MME (2007).

A barragem é composta por uma eclusa, a usina, um dique de fechamento e uma barragem móvel. A usina, propriamente dita, tem extensão de 386 metros de comprimento, onde estão localizados os 24 grupos geradores. Em seguida, um dique de 164 metros realiza o fechamento da usina até a ilha Chalibert. Na margem direita, está localizada uma barragem móvel de 115 metros composta de seis vertedouros-orifícios dotados de comportas tipo vagão de 15 x 10 metros. A capacidade de vertimento para um desnível de 1 metro entre o mar e o reservatório é de cerca de 5.000 m³/s (FERREIRA, 2007).

Cada grupo gerador tipo bulbo possui 4 pás de passo regulável com diâmetro de 5,35 m e trabalha à rotação de 94 rpm, possuindo distribuidor com 24 pás moveis. O bulbo é fixado ao maciço de concreto por pás pré-diretrizes em número de 12. Cada grupo possui 10.000 kW, fazendo da planta com a capacidade de geração de 240 MW (CLARK, 2007). A estratégia de operação da usina é uma combinação de *efeito duplo* e bombeamento. A produção anual da usina pode chegar a 544 GWh, sendo que 10 % deste total é usado para fins de bombeamento (CHARLIER; FINKL, 2009).

3.1.2. Usina Maremotriz de Annapolis Royal

A usina Annapolis Royal é localizada no Canadá, na baía Fundy, desde 1984. Sua construção foi feita a partir de uma barragem já existente no rio Annapolis. Ela apresenta uma das maiores baías do mundo, chegando a 17m. Ela possui uma capacidade limitada a 20 MW, apesar de sua ampla baía (Figura 2) (FLEMMING, 2012).

Sua barragem e vertedouro estão instalados a partir da ilha Hog e foram construídos, na década de 1960, para a proteção de áreas agrícolas sujeita a inundações provocadas pela maré. As alturas de marés no local variam entre 4,4 e 8,7 m e a sua potência nominal é de 20 MW. A barragem de enrocamento tem 225 m de comprimento, 60 m de largura e 18 m de largura da crista (ELETROBRÁS, 1981 apud FERREIRA, 2007).

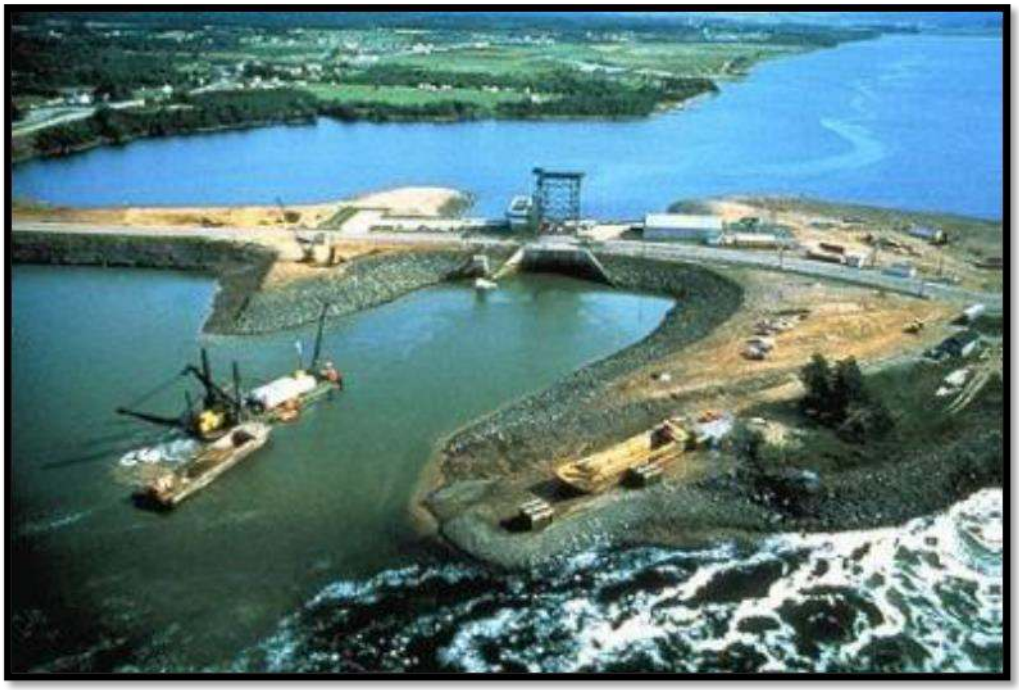


Figura 2. Usina maremotriz de Annapolis Royal, Canadá. Fonte: THE CANADIAN ENCYCLOPEDIA, (2024).

Ao contrário de La Rance e Kislaya Guba, o modelo de turbina utilizado é *STRAFLO* e não bulbo. A potência instalada da usina é de 17, 8 MW. Devido a questões ambientais, o nível do reservatório deve ser mantido a níveis abaixo do que foi inicialmente planejado. Desta forma, a produção anual da usina é menor do que os 50 GWh estimados inicialmente. Apesar desta restrição operacional, a usina é despachada comercialmente e sendo, portanto, considerada um projeto bem sucedido (CLARK, 2007).

3.1.3. Usina Maremotriz de Kislaya Guba

A usina maremotriz de Kislaya Guba, localizada na Rússia, entrou em operação no ano de 1968, no mar de Barents. Sua potência instalada é de 400 KW e foi idealizada apenas para fins experimentais. Devido às condições climáticas bastante severas e pequenas amplitudes de marés (1,3 a 3,9m) a tornaram inviável para fins comerciais. Além disso, a usina permaneceu quase uma década fora de operação. E isto fez com que as características do estuário fossem profundamente

alteradas durante aquele período. A construção da usina foi feita a partir da utilização de elementos pré-fabricados em terra firme para a construção da barragem, tornando-se uma solução menos ofensiva ao meio ambiente do que a utilização de ensecadeiras (Figura 3) (LEITE NETO et al., 2011).

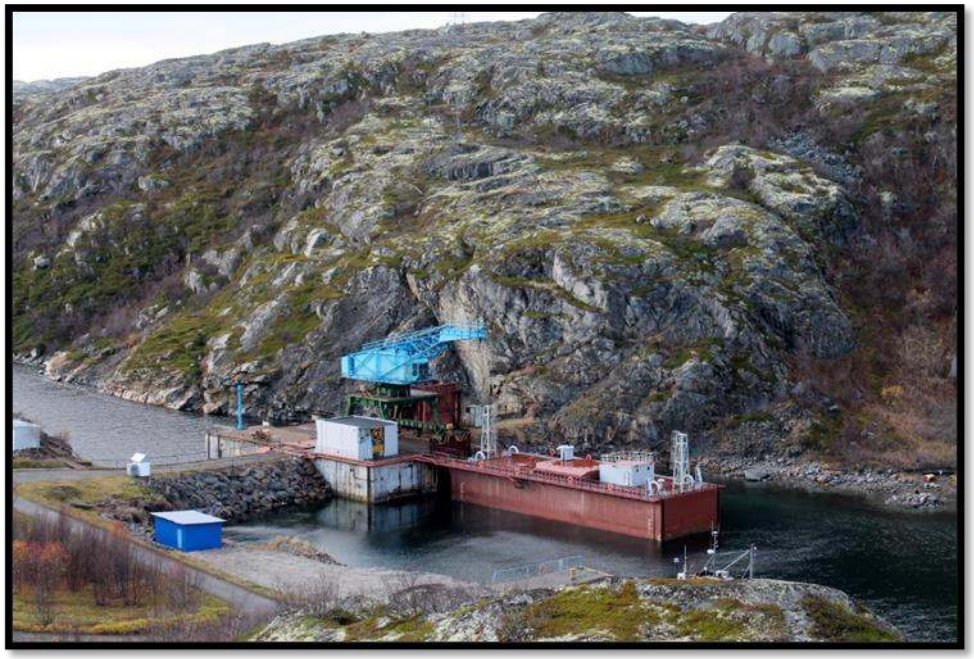


Figura 3. Usina maremotriz Kislaya Guba, Rússia. Fonte: WIKIMEDIA COMMONS (2011).

3.1.4. Usina Maremotriz de Sihwa Lake

A usina do Lago Sihwa, a maior usina em operação no mundo, entrou em operação em 2011, localizada na Coreia do Sul, com sua capacidade máxima de 254 MW, superando a usina de La Rance, na França, até então a maior do mundo. (NASCIMENTO, 2017). Ela utilizou de uma barragem já pré existente com o intuito de desenvolver áreas industriais e agrícolas (Figura 4) (SILVA, 2021).



Figura 4. Usina maremotriz de Sihwa Lake, Coreia do Sul. Fonte (POWERMAG, 2015).

3.1.5. Usina MeyGen

A maior usina de marés do mundo faz parte de um programa de energia limpa liderado pela Inglaterra. A usina, batizada de MeyGen, terá potencial de 400 MW gerados apenas com a força da maré (Figura 5). Está sendo construída no litoral da Escócia. Será a maior usina de marés do mundo. Ela ficará no fundo do mar, no nordeste do país, podendo fornecer energia para 175 mil casas, e contará com 269 turbinas (Figura 6) (MESQUITA, 2015).

O Projeto MeyGen é uma maravilha da engenharia moderna que se estende por um trecho de 3,5 km entre a ilha de Struma e a Escócia Continental. É o maior empreendimento projetado de energia das marés do mundo. A construção de MeyGen começou como um projeto piloto em 2007, com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica e econômica da geração de energia das marés em grande escala. A fase 1 do projeto, iniciada em 2013, envolveu a instalação de turbinas de maré subaquáticas de eixo horizontal em fundações baseadas em gravidade. Estas turbinas, verdadeiras joias da coroa do projeto, foram projetadas para converter a energia cinética das correntes da maré em eletricidade (TELES, 2023).



Figura 5. Usina MeyGen, Escócia. Fonte: ENGENHARIA 360º (2022).



Figura 6. Turbina da usina maremotriz MeyGen. Fonte: LAMERCI (2023).

De acordo com Teles (2023), ao comparar MeyGen com seu maior rival, a Sihwa Lake Tidal Station na Coreia do Sul, MeyGen se destaca com uma capacidade instalada maior e um custo de construção estimado mais baixo. Enquanto a Sihwa Lake Tidal Station tem uma capacidade instalada de cerca de 254 MW, Mayen promete uma capacidade total de 398 MW, tornando-se um farol

para o setor de energia das marés. O sucesso de MeyGen não se limita apenas à sua capacidade de geração de energia, o projeto representa um avanço significativo na utilização da energia das marés, com potencial para inovações futuras na exploração da energia oceânica. Espera-se que melhorias nos materiais das turbinas, maior eficiência de conversão de energia e otimização dos procedimentos de manutenção impulsionem ainda mais o projeto.

3.2. Características da energia maremotriz

Energia Maremotriz, também conhecida como energia das marés, consiste em uma forma de captação de energia realizada através do aproveitamento da movimentação das marés e sua energia cinética (Figura 7) (NETO et al, 2011).



Figura 7. Moinho movido por energia maremotriz. Fonte: EKKO GREEN, 2024.

Existem três tipos de usinas para o aproveitamento da energia maremotriz, a usina de maré vazante, a usina de maré enchente e a usina hibrida, que engloba as duas operações. A usina de maré vazante é a mais simples, ela aproveita a maré

cheia e a maré vazante (quando a maré baixa) fazendo com que a queda da água reservada durante a maré alta no momento de maré vazante seja suficiente para a movimentação das turbinas. Referente à maré enchente, esse método utiliza o aumento do nível do mar criando uma forma de represa, porém com uma curta passagem por baixo com turbinas geradoras de energia que irão se movimentar com o escoamento da água (NETO et al, 2011; FONTES, 2022). Quando o processo de geração ocorre apenas durante a maré vazante ou na maré enchente, é chamada de geração em *efeito simples*; quando ambas as formas são utilizadas, é chamada de geração em *efeito duplo* (LEITE NETO et al., 2011).

Na maré enchente, a comporta é aberta permitindo a entrada de água no reservatório. Quando a maré começa a baixar, as comportas são forçadas a fechar e a água armazenada encontra-se no mesmo nível alcançado pela preamar. Assim que o nível da maré está abaixo da roda de água, o moinho começa operar a partir da passagem do fluxo de água que faz girar as pás da roda (FERREIRA, 2007). A figura 8 abaixo mostra o funcionamento de uma usina maremotriz.

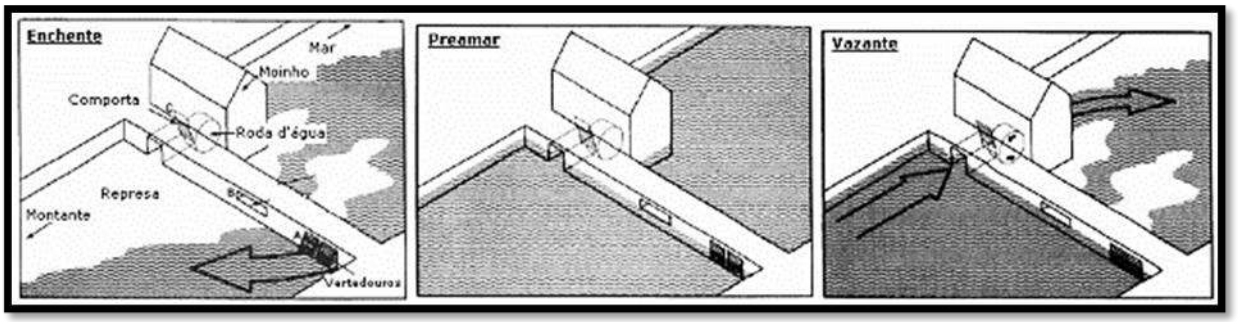


Figura 8. Funcionamento de usina maremotriz. Fonte: CLARK et al. (2003).

3.2.1. Potencial energético

O potencial energético da energia maremotriz é determinado principalmente pelas variações das marés em regiões costeiras e pela eficiência das tecnologias aplicadas para a obtenção de energia. Com relação ao potencial decorrente da energia das ondas, foram realizadas algumas estimativas do potencial mundial.

Conforme FLEMING (2012), há um potencial teórico global líquido da ordem de 3 TW, que está distribuído no mundo na forma mostrada pela Figura 9.

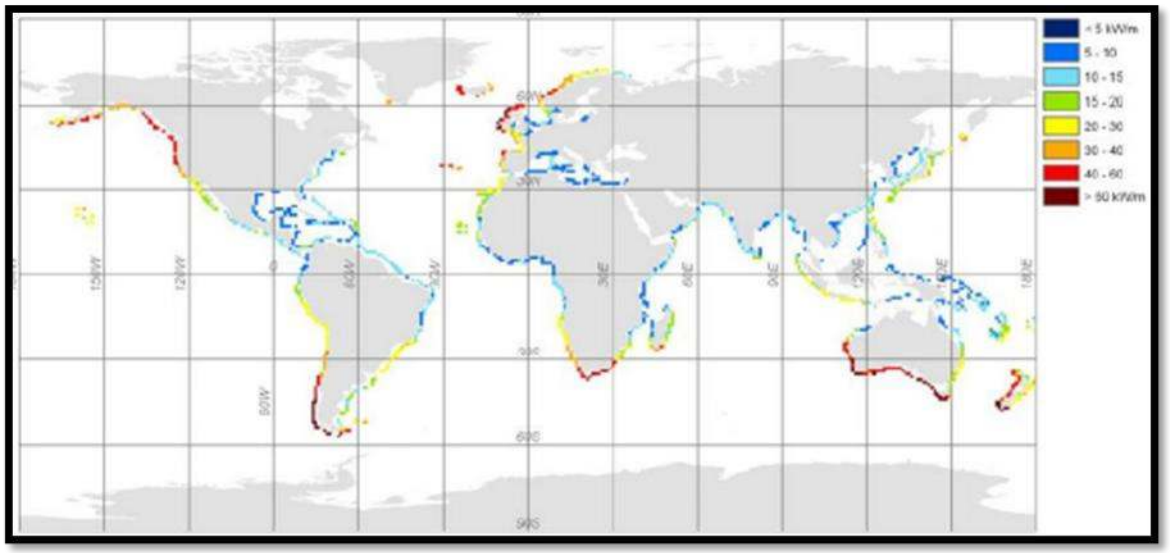


Figura 9. Potencial teórico líquido. Fonte: MØRK, BARSTOW et al., 2010.

Observa-se que o litoral brasileiro não possui grande potencial médio, atingindo, somente na região Sul, valores superiores a 20 kW/m. Em outras regiões do mundo, como no extremo sul do continente americano, na costa oeste da América do Norte e da Europa, são encontrados valores superiores a 60 kW/m (NASCIMENTO, 2017).

Embora a avaliação dos recursos de energia dos oceanos ainda esteja em estágio preliminar, como destacado por Fleming (2012), o potencial teórico já identificado dos oceanos excede as necessidades humanas de energia. Embora o potencial mundial das marés seja cerca de 3 TW, somente menos de 3% dessa energia localizam-se em áreas adequadas para geração de energia (World Offshore Renewable) apenas parte deste potencial pode ser convertido, em virtude da dispersão de energia em mar aberto e consequentes alturas de marés modestas para exploração. Desta forma, estima-se que somente 2 a 10% do potencial poderia ser explorado, em determinados locais junto à linha de costa ou em estuários, onde as alturas de maré sejam adequadas para a implantação de uma usina (GUIMARÃES et. al. 2019).

Uma grande usina maremotriz teria o potencial de gerar até 240 MW, apesar de ser 12,23 bilhões mais barata para ser implantada do que uma usina hidrelétrica, enquanto uma hidrelétrica, considerando a média de 98.581 MW dividido por 217 usinas comuns, possui o potencial de 454,29 MW. É necessário pontuar que, sua atuação, mesmo que não tão dependente de condições climáticas, ainda depende da movimentação das marés, que apesar de constantes não possuem uma força de movimentação constante, tornando sua potência de apenas 1/2 em comparação às grandes hidrelétricas. É notável que, perante a uma crise hídrica e elétrica, uma usina maremotriz gerando apenas 1/2 de potência de uma hidrelétrica ainda poderia suprir grande parte das necessidades elétricas da população, tendo assim o potencial de sanar as necessidades emergenciais de eletricidade (FONTES, 2022).

3.3. Energia maremotriz no brasil

No Brasil a captação de energia a partir das ondas pode ser facilmente aproveitada, devido sua extensa faixa litorânea com 7.300 quilômetros que cerca o país. Para explorar os recursos oceânicos, o Brasil conta com a vantagem de possuir experiência nas tecnologias de águas profundas em função da exploração das bacias de petróleo do pré-sal (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2020). As energias disponíveis em nossos oceanos podem nos abastecer, se bem aproveitadas; mas no caso brasileiro seria mais viável a obtenção de energia das ondas de forma mais ampla, deixando a energia maremotriz para uso em apenas alguns casos isolados, nos locais em que há grandes variações da mesma em nosso país, como no Maranhão ou em outros estados do norte e nordeste brasileiro, por exemplo (DÁRIO et al., 2013).

As pesquisas já existentes dos campos de petróleo e gás podem ser aproveitadas para incentivar o desenvolvimento, a construção, a instalação e a manutenção de dispositivos de conversão de energia das ondas offshore (FLORÊNCIO; TRIGOSO, 2020). As regiões com maior propensão para o aproveitamento de energia potencial das marés se encontram ao norte e nordeste, mais precisamente nos Estados do Amapá, Maranhão e Pará, onde se observam

as maiores amplitudes que variam de 8 a 11 metros, mesmo que necessite de condições geográficas específicas para sua implantação e da criação de uma barragem resistente às alterações de marés (GUIMARÃES et al., 2019). No Brasil o mais próximo que se tem de uma usina maremotriz é a usina ondomotriz de Pecém, que está localizada no estado do Ceará, e que é capaz de atingir até 50 KW, sendo esta uma usina pioneira no Brasil no aproveitamento do oceano como produtor de energia. A aplicação dessa usina inovadora e funcional demonstra que sistemas similares como a maremotriz que já possuem modos de operação poderiam ser também adotados no Brasil (FONTES, 2022).

Tendo ciência de que a aplicação de energia maremotriz é possível no Brasil é preciso entender até onde esse tipo de captação de energia é eficiente, assim como nos possíveis danos ambientais que podem ser causados, seu custo e também como sua forma de operação pode mudar a realidade social daqueles que poderiam ser afetados por sua constante atividade. É notável que o Brasil é um país muito propício para a adoção do método de geração de energia através de hidrelétricas, pois de acordo com o IBGE (2022) é o país que possui a maior reserva de água doce do planeta. Porém, o método de energia maremotriz também seria proveitoso, pois o país possui cerca de 7.491 km de extensão costeira (FONTES, 2022).

Atualmente, o desenvolvimento de turbinas de baixa queda permitiu que muitos outros locais se tornassem apropriados para o aproveitamento do potencial maremotriz. A barragem do Bacanga, situada na cidade de São Luís, Maranhão, é um sítio potencial para converter a energia das marés em eletricidade. Uma nova concepção para a usina, considerando a ocupação do entorno do reservatório, o assoreamento e principalmente o aproveitamento máximo a partir da utilização de turbinas de baixa queda, torna possível a realização desse aproveitamento (FERREIRA et al, 2007).

3.3.1. Usina de porto de Pecém

No Brasil, foi desenvolvido pela COPPE/UFRJ a primeira usina de ondas nacional, com o objetivo de expandir a diversificação da matriz energética nacional.

Localizada no porto de Pecém no Ceará, a 60km de Fortaleza foi instalada em 2012 para suprimento energético do próprio porto que possui duas unidades geradoras de 50 kW de potência cada (SOUZA FILHO; SILVA, 2020). A construção da usina de ondas do Pecém foi financiada pela Tractebel Energia S.A., por intermédio do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), e apoiada pelo governo do Ceará. O diferencial desse projeto brasileiro é a utilização de um sistema de alta pressão para movimentar a turbina e o gerador, um conceito desenvolvido e patenteado pela Coppe. Como pode ser visto nas Figuras 10 e 11 a seguir, o dispositivo é composto de dois grandes braços mecânicos flutuadores, fixados em estruturas horizontais articuladas (OLIVEIRA, 2016).

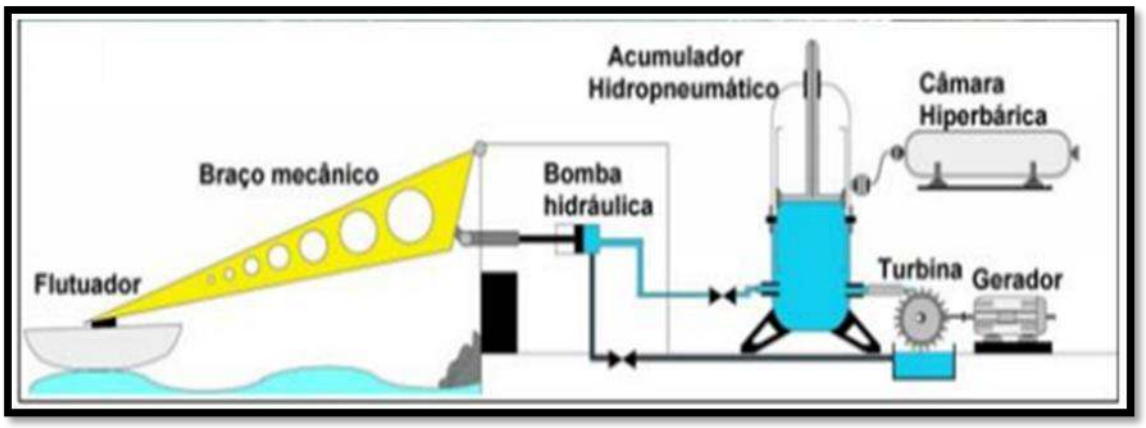


Figura 10. Esquema de funcionamento da usina de ondas de Pecém-CE (OLIVEIRA. 2016).



Figura 11. Usina de ondas do Pecém, Fortaleza-CE. Fonte: GUERRA (2020).

Através da ação das ondas, essas estruturas se movimentam operando como braços de alavanca, que possuem em uma extremidade boias circulares que se deslocam de acordo com o movimento alternado e repetitivo das ondas, acionando na sua outra extremidade uma bomba hidráulica. A bomba aspira e comprime o fluido enquanto os flutuadores se movimentam, para abastecer e manter elevada a pressão da câmara hiperbárica. A câmara hiperbárica, inicialmente pressurizada com água e nitrogênio, aciona uma turbina ao liberar um jato de água cuja pressão equivale a uma queda d'água de 400m de altura, análoga à de grandes hidrelétricas. A rotação obtida no eixo da turbina é transmitida ao gerador para conversão de energia mecânica em energia elétrica (PLANETA COPPE NOTÍCIAS, 2006).

Levando-se em consideração que a usina de Pecém possui capacidade de 0,5 MW (para 10 módulos) e comparando com o consumo residencial de energia elétrica no Brasil de 132.771GWh no ano de 2015, é possível fazer uma análise hipotética para saber o porcentual de energia elétrica residencial que a usina de Pecém seria capaz de atender. Considerando que a usina operasse 24h por dia e 365 dias por ano, e que tivesse um rendimento de 100%, esta seria capaz de

produzir 4,38 GWh/ano (para 10 módulos) o que corresponderia a 0,0033% do consumo residencial nacional. Este consumo, apesar de aparentar ser baixo, corresponde a apenas uma usina com 10 módulos. Vale ressaltar também que o litoral brasileiro possui um potencial estimado superior a 100 GW, o que poderia agregar e muito na matriz elétrica brasileira (OLIVEIRA, 2016).

4. Considerações Finais

Os oceanos apresentam um potencial energético enorme, que pode ser explorado de diversas formas, dentre as principais o estudo para geração de energia elétrica. Entre as tantas formas citadas, a mais conhecida e utilizada, é a transformação de energia potencial em energia elétrica.

Apesar dos desafios e limitações, o futuro da Energia Maremotriz é promissor. Com o avanço da tecnologia e a crescente demanda por fontes de energia limpas e renováveis, a Energia Maremotriz está ganhando cada vez mais espaço no setor energético.

A aplicação de energia maremotriz é possível no Brasil. Para isso, é preciso entender até onde esse tipo de captação de energia é eficiente, assim como nos possíveis danos ambientais que podem ser causados, seu custo e também como sua forma de operação pode mudar a realidade social daqueles que poderiam ser afetados por sua constante atividade.

Muitos países já estão investindo em projetos de Energia Maremotriz e acreditam que essa fonte de energia pode ser uma alternativa viável para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e combater as mudanças climáticas.

Referências

ALMEIDA, P. O consumo de combustíveis fósseis e o alarmante efeito nos biomas brasileiros: avanços da matriz energética brasileira e os desafios no cenário atual das mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 75, n. 4, 4 p., 2023.

BARQUETE, A. C. C.; SILVA, N. P. **O avanço e as melhorias com o uso de energias renováveis**. Universidade de São Paulo (Monografia – Graduação em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Energia e Automação), 118 p., 2013.

CAPRACE, J. D. **Usina de Ondas.** Engenharia Naval, Oceânica e Costeira. UFRJ/POLI/COPPE. 2012. Disponível em: https://oceanica.ufrj.br/noticia/usina-de-ondas/. Acesso em: 11/03/2024.

CHARLIER, R. H.; FINKL, C.W. **Ocean Energy. Tide and Tidal Power**. First Edition. Springer, p. 262. 2009.

CLARK, P., KLOSSNER, R., KOLOGE, L., **TIDAL ENERGY**. Projeto final, College of Earth and Mineral Sciences, Penn State University, E.U.A., novembro de 2003.

CLARK, R. H. **Elements of tidal-electric engineering**. John Willey & Sons, Inc., p. 280, 2007.

DÁRIO, G. V. B.; SOUZA, D. H.; SAITU, M. O. Energia Maremotriz: um estudo das energias de origem marítima. **Bolsista de Valor**, v. 3, p. 71-74, 2013.

EKKO GREEN. 2024. **Energia Maremotriz: como funciona a energia das Marés?**. Disponível em: https://ekkogreen.com.br/energia-maremotriz/. Acesso em: 19/09/2024.

ELETROBRÁS. **Estado-da-arte de projeto e operação e usinas maremotrizes**. In: Relatório técnico Sondotécnica S.A., Brasil, 1981.

ENGENHHARIA 360º. **As maiores Usinas de Energia de Ondas do Mundo**. Engenharia 360º. 2022. Disponível em: https://engenharia360.com/lei-padre-julio-contra-arquitetura-hostil/. Acesso em: 09/03/2025.

FERREIRA, R. M. **Aproveitamento da Energia das Marés - Estudo de Caso: Estuário do Bacanga, MA**. Dissertação do programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

FLEMING, F. P. **Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil.** Rio de Janeiro: Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), 2012.

FLORÊNCIO, M.; TRIGOSO, F. B. M. **Pesquisas e projetos desenvolvidos no Brasil para o aproveitamento do potencial de geração de energia elétrica com ondas e marés.** VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Fortaleza. Brasil. 11 p., 2020.

FONTES. Y. M. A força Maremotriz: uma alternativa para a captação de energia no Brasil perante as ameaças de crises hídricas. **Pensar Acadêmico**, Manhuaçu, v.20, n.3, p. 707-715, 2022.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. EDITORA ATLAS S.A. 4ª ed. São Paulo. 2002.

GUERRA, Y. **Usina de Ondas do porto do Pecém, no Ceará**. ASMETRO-SI, 2020. Disponível em: https://asmetro.org.br/portalsn/2020/05/11/usina-de-ondas-do-porto-do-pecem-no-ceara/. Acesso em: 11/03/2025.

GUIMARÃES, D. C.; MEDEIROS FILHO, A. R.; FABRIS, J. P.; RUSSO, S. L. **Análise da Produção Científica sobre Energia Maremotriz**. XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

IBGE. 2022. **Conheça o Brasil – Território. Rios do Brasil.** IBGE Educa Jovens. Disponível em: Cetra.org.br/wp-content/uploads/2021/04/RedBioLAC-2020.pdf#page=40. Acesso em: 20/02/2025.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. 2014**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf. Acesso em: 03/03/2025.

LAMERCI. **Hydrolienne : l'usine marémotrice (MeyGen) annonce une première mondiale avec 50 GWh d'électricité produite**. Innovations Idées Écologioues. 2023. Disponível em: https://lamerci-ideeeco.jimdofree.com/2023/03/04/hydrolienne-l-usine-mar%C3%A9motrice-meygen-annonce-une-premi%C3%A8re-mondiale-avec-50-gwh-d-%C3%A9lectricit%C3%A9-produite/. Acesso em: 09/03/2025.

LEITE NETO, P. B.; SAAVEDRA, O. R.; CAMELO, N. J.; RIBEIRO, L. A. S.; FERREIRA, R. M. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 19, n. 2, p. 219-232, 2011.

MESQUITA, J. L. **Maior Usina de Marés do Mundo**. ESTADÃO. 2015. Disponível em: https://marsemfim.com.br/maior-usina-de-mares-do-mundo/. Acesso em: 09/03/2025.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME, 2007.

MØRK, G.; BARSTOW, S.; KABUTH, A.; PONTES, M. T. 2010. **Assessing the global wave energy potential.** In: Proceedings of OMAE2010. 29th International Conference on Ocean, Offshore Mechanics and Arctic Engineering June 6-11, 2010, Shanghai, China.

NASCIMENTO. R. L. **Aproveitamento da energia dos oceanos para a produção de eletricidade**. Consultoria legislativa, Estudo Técnico. Câmara dos deputados, 19 p., mar/2017.

NETO, P. B. L.; SAAVEDRA, O. R.; CAMELO, N. J.; RIBEIRO, L. A. S.; FERREIRA, R. M. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, vol. 19, n. 2, p. 219-232, 2011.

OLIVEIRA. M. R. P. R. **Fontes de energia: um estudo de caso da Usina de ondas de Pecém - CE**. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil. Curso de Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto - MG. 51 p., 2016.

PLANETA COPPE NOTÍCIAS. **Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar**. Planeta Coppe Notícias, Rio de Janeiro, 19 de dezembro de 2006. Disponível em: https://coppe.ufrj.br/pt-br/geracao-de-energia-eletrica-pelas-ondas-do-mar-0. Acesso em: 02/01/25.

POWERMAG. **Usina de energia maremotriz do lago Sihwa, província de Gyeonggi, Coreia do Sul.** 2015. Disponível em: <https://www.powermag.com/sihwa-lake-tidal-power-plant-gyeonggi-province-south-korea/. Acesso em: 11/03/2025.

SILVA. E. S. **Maremotriz: A evolução da geração de energia pelas marés**. Unime. Salvador, 2021.

SOUZA, D. **Substituir os combustíveis fósseis: um desafio economicamente complexo**. O Setor Elétrico. 20/02/2025. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/substituir-os-combustiveis-fosseis-um-desafio-economicamente-complexo/. Acesso em: 03/03/2025.

SOUZA FILHO, R. C. C.; SILVA. L. M. X. **Um estudo sobre a utilização de força maremotriz para geração de energia elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. 12 p., 2020. Disponível em:

https://repositorio.ufersa.edu.br/items/123b90ca-d455-4b61-8ba2-4046114d20de. Acesso em: 13/01/25.

TELES, B. **Grã-Bretanha lidera a revolução da energia das marés com o maior projeto do mundo.** CPG (Click Petróleo e Gás). 2023. Disponível em: https://clickpetroleoegas.com.br/gra-bretanha-lidera-a-revolucao-da-energia-das-mares-com-o-maior-projeto-do-mundo/. Acesso em: 09/03/2025.

THE CANADIAN ENCYCLOPEDIA. **Usina maremotriz de Annapolis Royal, Canadá**. 2024.

VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165 - 189, jan./abr. 2014. <http://dx.doi.org/10.7213/dialogo.educ.14.041.DS0.

WIKIMEDIA COMMONS. 2011. **Usina de energia maremotriz de Kislaya Guba**. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Kislaya_Guba_tidal_power_station. Acesso em 15/08/2024.