

# GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES CINÉTICAS E TERMICAS NO MUNDO: UMA REVISÃO

## GENERATION OF ENERGY FROM KINETIC AND THERMAL SOURCES IN THE WORLD: A REVIEW

Sandra Milena Vélez Echeverry

[saveze@gmail.com](mailto:saveze@gmail.com)

Antônio Cesar Pinho Brasil Junior

[brasiljr@unb.br](mailto:brasiljr@unb.br)

### Resumo

A energia proveniente de oceanos, lagos e rios está presente no mundo, dado que grande parte do planeta Terra é coberto por oceanos. A possibilidade do aproveitamento de energia cinética e das oscilações térmicas nesses corpos hídricos permitem a produção e conseqüentemente o uso de energia renovável de grande potencial. No entanto, a sua utilização está disponível e ao mesmo tempo limitada pela tecnologia e o pelo custo. Nesse contexto, Europa, Ásia e América do Norte, vem realizando grandes investimentos na pesquisa dessas fontes energéticas (ondas oceânicas, correntes de maré, correntes de rio, correntes oceânicas e gradiente de temperatura) e suas respectivas tecnologias. Nesse contexto, esse artigo visou realizar uma revisão da geração de energia a partir de fontes cinéticas e gradientes térmicos no mundo. A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória e qualitativa, usando para tal bases de dados e sítios da internet. Os resultados indicam que as fontes com maior número de projetos são ondas oceânicas e as correntes de marés. O custo dos sistemas de ondas, mares, correntes oceânicas e conversão de energia térmica oceânica (CETO) encontram-se na faixa de US\$ 0,12 a US\$ 0,48 por quilowatts hora kWh, e quanto maior o arranjo ou a capacidade instalada da tecnologia menor o custo. Para ondas, as tecnologias mais utilizadas são, em ordem decrescente, os conversores de onda oscilante, os atenuadores, os absorvedores de pontos e as colunas oscilantes de água. Quando se leva em consideração as correntes de marés a tecnologia mais utilizada são as turbinas de fluxo axial. Conclui-se que existe a necessidade de maiores investimentos para que essas tecnologias cheguem ao patamar de desenvolvimento das fontes de energias solar e eólica.

Palavras chave: sistemas energéticos renováveis, oceanos, mares, rios, tecnologia.

### Abstract:

The energy from oceans, lakes and rivers is present in the world. Most of the Earth area is filled by water. The possibility of the use of kinetic energy and the thermal oscillations in these water bodies allows the production and consequently the use of renewable energy of great potential. However, their use is available and at the same time limited by technology and the operation cost. In this context, Europe, Asia and North America have been investing heavily in the research of these energy sources (ocean waves, tidal currents, river currents, ocean currents and temperature gradients) and their respective technologies. In this context, this article aimed to perform a review of the generation of energy from kinetic sources and thermal gradients in the world. The methodology used was the exploratory and qualitative research, using for secondary databases and official internet sites. The results indicate that the sources with the greatest number of projects are ocean waves and tidal currents. The cost of wave, ocean, ocean currents and ocean thermal energy conversion (OTEC) systems is in the range of \$ 0.12 to \$ 0.48 per kilowatt hour kWh, and the greater the arrangement or capacity installed the lower the cost. For waves, the most commonly used technologies are, in descending order, the oscillating wave converters, the attenuators, the point absorbers and the oscillating water columns. When considering tidal currents, the most commonly used technology is axial flow turbines. It is concluded that there is a need for greater investments so that these technologies reach the level of development of solar and wind energy sources.

Keywords: renewable energy systems, energy cost, hydrologic potential, cutting-edge technology.

## 1. INTRODUÇÃO

O movimento da água no mundo representa um vasto estoque de energia cinética e térmica na qual se encontram oceanos, marés e rios. A energia renovável marinha (ERM) abrange tanto a energia das ondas quanto a energia do movimento de ondas de superfície, energia das marés e a Conversão de Energia Térmica Oceânica (CETO). Essas são as principais fontes energéticas cujas tecnologias têm alcançado um estágio pré-comercial (RAVINDRAN; RAJU, 2015). Contudo, as pesquisas utilizando a energia das marés, rios e ondas são mais avançadas em termos de robustez tecnológica.

O potencial da energia do oceano depende da localização geográfica dos países em relação ao Equador. Países mais próximos do Equador possuem mares tropicais com bom potencial para CETO e países com latitudes do norte e do sul têm um bom potencial para energia das ondas (KHAN et al., 2017; RAVINDRAN; RAJU, 2015).

Estima-se que a capacidade de energia global do oceano no ano de 2014 foi quase 530 MW e se estima que chegará a 640 MW no ano 2021 (MELIKOGLU, 2018). Estudo de 2017, indicou que o potencial das fontes de energia dos oceanos tinha os seguintes potenciais: marés 800 TWh por ano; osmose 2000 TWh por ano; onda entre 8000 e 80000 TWh por ano; e fontes térmicas entre 10000 e 87600 TWh por ano (KHAN et al., 2017).

Iniciativas de geração e estudos em energia cinética e térmica iniciaram principalmente na Europa, Ásia e América do Norte (ZYDLEWSKI; COPPING; REDDEN, 2015). A organização internacional de energia oceânica tem convidado países sul-americanos para fazer parte da sua organização, esses países são: Argentina, Brasil, Chile, Colômbia, Peru e Uruguai (OES, 2015).

No caso do Brasil não existem dados experimentais suficientes para determinar o potencial nem o comportamento das ondas no litoral brasileiro. Por esse motivo, vem sendo realizada modelagens com métodos numéricos que utilizam dados secundários (climáticos), em locais como o estado da Bahia, sendo que se mostra positiva a implantação de uma usina de ondas (SÁNCHEZ et al., 2017). O potencial teórico máximo de ondas vai de 90 a 165 GW no litoral e o potencial teórico mínimo de maré é de 30 GW sendo possível somente no litoral norte do país, nos estados do Amapá, Pará e Maranhão (FLEMING, 2012). No país, também existe experiências com turbinas hidrocínéticas em rios, que começaram na década de 1980 e já na década de 2000 várias turbinas foram construídas para atender projetos de eletrificação rural, sendo que a tecnologia mais utilizada é a turbina de eixo horizontal (VAN ELS; BRASIL JUNIOR, 2015).

Conforme a fonte de energia, existem diversas tecnologias as quais vêm sendo desenvolvidas, desde a grande crise do petróleo na década de 1970, por Europa, América do Norte e Ásia (OES 2015).

Atualmente não é possível produzir tecnologia em grande escala porque a maioria, ainda está em desenvolvimento, e há muitos problemas econômicos, técnicos e ambientais a serem resolvidos (MELIKOGLU, 2018).

Esse artigo faz uma revisão da geração de energia a partir de fontes cinéticas e de gradiente de temperatura em oceanos e rios. Para tal se utilizam documentos pesquisados em sítios da internet e artigos técnicos que tratam sobre o tema.

### 1.1. Energia das Ondas

A energia das ondas acontece quando o vento passa sobre a superfície do oceano gerando ondas, a fricção entre o vento e a superfície oceânica faz com que a energia seja transferida do ar em movimento para a camada superficial do oceano. As ondas viajam milhares de quilômetros com pouca perda de energia, está concentrada na superfície do oceano e decai rapidamente com a profundidade (KHAN et al., 2017).

Entre as tecnologias existentes para as ondas encontram-se:

Atenuadores: são múltiplos corpos rígidos conectados em suas extremidades por articulações, orientam-se na direção do deslocamento das ondas (MELIKOGLU, 2018).

Absorvedores de pontos: Sistemas de absorção pontual compreendem corpos ou boias que são usados para extrair energia do movimento de ondas (MELIKOGLU, 2018).

Colunas de água oscilantes: A energia é extraída à medida que a coluna de água força o ar para a frente e para trás através de uma turbina (RAVINDRAN; RAJU, 2015; MELIKOGLU, 2018).

Tecnologias de extravasamento: usam uma estrutura para focar as ondas, fazendo com que a altura da onda aumente e suba para um reservatório (MELIKOGLU, 2018).

Dispositivos diferenciais de pressão: De um lado, a pressão mais alta da crista faz com que um dispositivo se comprima e, do outro lado, a pressão mais baixa do canal faz com que o dispositivo se expanda (RAVINDRAN; RAJU, 2015).

Conversores de sobretensão: são dispositivos, geralmente abas, que são orientadas perpendicularmente à direção da propagação da onda e se movem para frente e para trás com o movimento da água (KHAN et al., 2017).

## 1.2. Energia das Marés

As marés acontecem pela diferença de altura da superfície do oceano devido às interações gravitacionais da terra, da lua, do sol e da rotação da terra. A corrente de maré usada para a produção de energia ocorre entre dois corpos de água conectados por uma passagem de terra estreita (RAVINDRAN; RAJU, 2015).

Existem diversas tecnologias para colher a energia das marés, as principais são citadas abaixo:

Turbinas de eixo horizontal: são similares às turbinas eólicas, são montadas em um eixo horizontal que está alinhado com o fluxo de água. Como a área de captura de fluxo das turbinas de eixo horizontal é circular, elas não se adaptam bem a vazões de águas rasas, mas operam melhor em canais de água com pelo menos 10 m de profundidade (MELIKOGLU, 2018).

Turbinas de fluxo cruzado: são análogas às turbinas eólicas de eixo vertical, as lâminas são montadas longitudinalmente a um eixo central que é orientado através da corrente. Ao contrário das turbinas de eixo horizontal (LAGO; PONTA; CHEN, 2010).

Barreiras ou barragens: pode produzir eletricidade através da construção de uma barragem ou barreira em um estuário ou bacia que pode aproveitar a energia entre marés altas e baixas (MELIKOGLU, 2018).

## 1.3. Energia das Correntes Oceânicas

Acontecem pelas direções do vento e a circulação termohalina no oceano. Essa circulação está relacionada com a densidade das águas dos oceanos. Devido às grandes profundidades de água, os conceitos de conversores de energia de correntes oceânicas mudaram de turbinas em direção a turbinas de eixo horizontal que podem manobrar verticalmente dentro da coluna de água a partir de uma posição de ancoragem fixa. Essas turbinas usam flutuabilidade ou superfícies de elevação para suspendê-las acima do fundo do mar e eliminar a necessidade de estruturas de suporte dispendiosas (OES 2015).

Uma turbina de corrente oceânica operando com uma corrente de água de 1 m/s pode produzir a mesma potência que uma turbina eólica de tamanho similar operando a uma velocidade de 9 m/s (LAGO; PONTA; CHEN, 2010).

#### 1.4. Energia de Gradiente Térmico

A tecnologia de Conversão de Energia Térmica Oceânica (CETO) converte a energia solar armazenada nas camadas dos oceanos tropicais e subtropicais. Os motores térmicos usam a diferença de temperatura entre as águas superficiais aquecidas pelo sol e a água fria no oceano profundo (RAVINDRAN; RAJU, 2015).

Os sistemas CETO podem ser classificados como sistemas de ciclo fechado ou ciclo aberto:

Sistema de ciclo aberto: bombeia a água quente do mar para uma câmara de baixa pressão, onde se vaporiza, se expande através de uma turbina e se condensa no lado frio, dessa forma o fluido de trabalho é o vapor da dessalinização da água (MELIKOGLU, 2018).

Sistema de ciclo fechado: bombeia a água do mar quente através de um permutador de calor para aquecer o fluido de trabalho. O fluido de trabalho (refrigerante ou fluido de ebulição), pode ser amônia, R-134a, R-22 ou R-32, que circula entre dois trocadores de calor em ciclo fechado (MELIKOGLU, 2018).

#### 1.5. Energia hidrocínética de correntes (rios e canais)

A energia cinética de rios e canais provem do movimento da água através de turbinas, geralmente de eixo horizontal e vertical. As turbinas de eixo horizontal têm rotação paralela à direção da corrente da água, podem ser de 2 pás, 3 pás ou múltiplas pás. Já as de eixo vertical têm o eixo de rotação perpendicular à superfície da água. A velocidade de rotação das turbinas varia de 30 a 100 rpm e depende dos regimes da água. O que determina o potencial para instalação são a velocidade e profundidade do rio ou corrente (LAGO; PONTA; CHEN, 2010).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa foi elaborada com base em revisão bibliográfica utilizando bases de dados internacionais como a *Science Direct*, o Google Acadêmico e páginas institucionais especializadas.

Os dados obtidos foram analisados em Excel, o período de tempo compreende 2010 a 2019 e é de caráter internacional.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até dezembro do ano 2017 existiam 205 projetos, dos quais 102 tinham como fonte as ondas, 96 as correntes ou marés, 4 as temperaturas oceânicas e 3 eram híbridas como observado na Figura 1.

(Figura 1).

Para colher a energia de ondas oceânicas são utilizadas em maior quantidade conversor de onda oscilante, atenuador, absorvedor de ponto, coluna oscilante de água e em menores quantidades outros dispositivos como apresenta a Figura 2.

(Figura 2)

Para corrente ou maré são utilizadas como tecnologia turbinas de fluxo axial e cruzado como apresentado na Figura 3. A tecnologia mais utilizada e a turbina de fluxo axial.

(Figura 3)

Para aproveitar ondas e corrente de maré ao mesmo tempo são utilizados equipamentos híbridos, que nesse caso aconteceram em 3 projetos. Já no caso de CETO foram encontrados 4 projetos que utilizavam sistemas de ciclo fechado.

No Quadro 1 é apresentada uma relação das fontes energéticas, a tecnologia, o potencial do recurso, os avanços na área, aspectos econômicos e ambientais no Brasil e no mundo.

No aspecto ambiental estudos indicam que fazendas de ondas influenciam a tensão de cisalhamento, transporte de sedimentos perto da costa e morfologia costeira. gradiente de temperatura no oceano e rios, risco de colisão para animais em torno de turbinas de maré e de rios, risco para animais gerados pelo som, alterações nos sistemas físicos, efeitos dos campos eletromagnéticos e mudanças no habitat (OES 2016).

As fontes com maior número de projetos são as ondas oceânicas e as correntes de marés. Ambas se encontram em um estado de baixa robustez, contudo quando comparadas com as outras são as mais estáveis pelo número de projetos e capacidade (kW) instalada e projetada no mundo.

Já os sistemas a partir de correntes oceânicas e os CETO, por tanto, é uma tecnologia com pouco desenvolvimento, sem isso significar que não exista interesse. No caso de correntes de rios não foram discutidas as tecnologias porque são turbinas de eixo horizontal e vertical como acontece com as correntes de maré. O que muda comparando ambas é o tamanho do dispositivo.

O custo dos sistemas de ondas, mares, correntes oceânicas e CETO encontram-se na faixa de US\$ 0,12 a 0,48 kWh. E quanto maior o arranjo ou a capacidade instalada da tecnologia menor o custo.

(Quadro 1)

No mundo estão sendo realizados investimentos em sistemas de energia oceânicos na Europa, Ásia e América do Norte. Dessa forma a Tabela 1 mostra os países, tipo de fonte e potência que estão sendo produzidos e/ou que serão instalados em um período de tempo. É possível ver que a principal fonte são as ondas oceânicas com 129.085kW, as correntes de maré com 103.216 kW as correntes de rios com 1.350 kW e por último as CETO com 440 kW.

Sendo que os países que mais estão investindo e realizando estudos são Reino Unido e Bélgica. Para o ano de 2016 realizaram-se novos investimentos e instalações em ondas oceânicas e marés. Além de testes de CETO e das correntes dos rios no Canadá, Coreia, Mônaco, Holanda e Suécia (OES 2016).

(Tabela 1)

#### **4. CONCLUSÃO**

Os custos de sistemas tecnológicos para maré e ondas são muito altos quando comparados com outras tecnologias renováveis (solar e eólica). Representa uma das maiores desvantagens para a proliferação e comercialização desse tipo de dispositivos.

Europa, Ásia e América do Norte são quem realizam mais pesquisa e investimentos para equilibrar os custos de produção e rentabilidade desse tipo de tecnologia, resolver entraves ambientais e normativos.

No contexto sul-americano o Brasil é o país com maior potencial de geração de energia oceânica e de rios dada sua extensão continental e riqueza hídrica. Estudos e experiências realizadas desde a década de 1980 apontam avanços tecnológicos para fontes como correntes de rios, hidrelétricas, correntes de maré e ondas oceânicas.

A tecnologia para essas fontes energéticas ainda não é robusta o suficiente quando comparada com a eólica e solar, porém o investimento vem crescendo ao longo dos anos e aumentado sua robustez, solucionando entraves sociais e ambientais da normatividade de cada país.

A localização geográfica é um determinante do potencial cinético e de gradiente de temperatura. Dessa forma alguns países têm vantagens comparativas, mas não sempre podem ser aproveitadas pelo estágio da tecnologia e seus custos.

## 5. REFERÊNCIAS

KHAN, Nasrullah et al. Review of ocean tidal, wave and thermal energy technologies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. [s.l], p. 590-604. maio 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117300965#!>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

DEPARTMENT OF ENERGY OF UNITED STATES. **Marine and Hydrokinetic Energy Research & Development**.2017. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/water/marine-and-hydrokinetic-energy-research-development>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

FLEMING, Fernanda Pereira. **Avaliação do potencial de energias oceânicas no Brasil**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa Planejamento Energético, Programa Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe\\_m/FernandaPereiraFleming.pdf](http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/FernandaPereiraFleming.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.

LOPEZ, Iraide et al. Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l], v. 27, p.413-434, nov. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004541>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MELIKOGLU, Mehmet. Current status and future of ocean energy sources: A global review. **Ocean Engineering**. [s.l], p. 563-573. jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002980181730714X>>. Acesso em: 20 abr. 2019.



OCEAN ENERGY SYSTEMS - OES ([s.l]). **Annual Report:** Ocean Energy Systems. 2015. ed. [s.l]: Ana Brito e Melo And José Luis Villate, 2015. 134 p. Disponível em: <<https://report2015.ocean-energy-systems.org/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

OCEAN ENERGY SYSTEMS - OES ([s.l]). **Annual Report:** Ocean Energy Systems. 2016. ed. [s.l]: Ana Brito e Melo And José Luis Villate, 2016. 188 p. Disponível em: <<https://report2016.ocean-energy-systems.org/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

RAJAGOPALAN, Krishnakumar; NIHOUS, Gérard C. Estimates of global Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) resources using an ocean general circulation model. **Renewable Energy**. [s.l], p. 532-540. fev. 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112004405#!>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

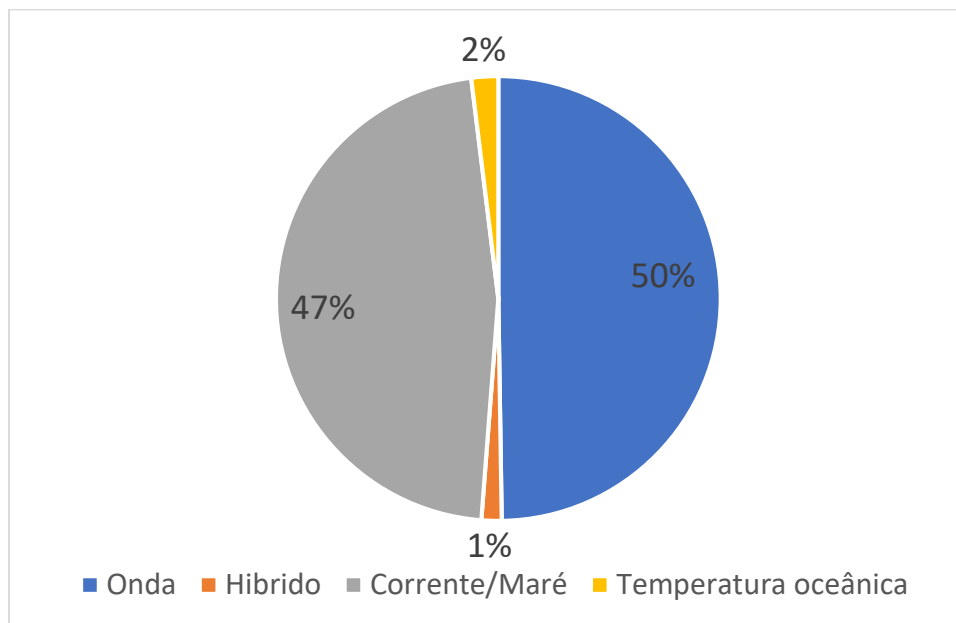
RAVINDRAN, Muthukamatchi; RAJU, V. Sree Rama. **Ocean Energy**. Proc Indian Natn Sci Acad. [s.l], p. 983-991. 4 set. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/282893626\\_Ocean\\_Energy](https://www.researchgate.net/publication/282893626_Ocean_Energy)>. Acesso em: 15 abr. 2019.

SÁNCHEZ, Antônio Santos et al. Potencial energético das ondas na costa brasileira. **Revista Brasileira de Energia**. [s.l], p. 60-71. abr. 2017.

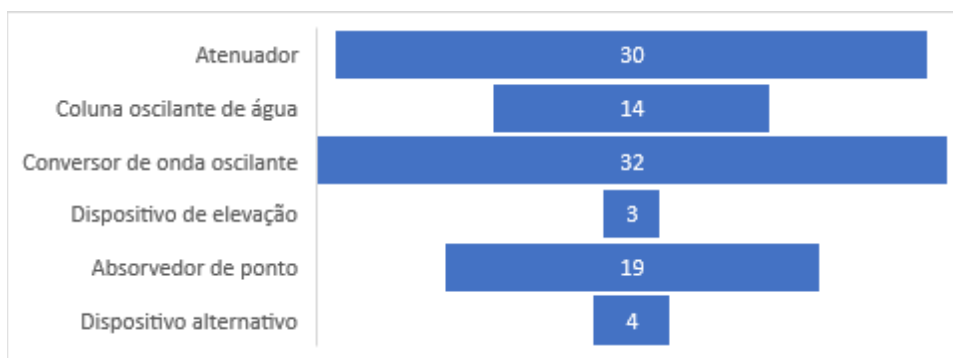
VAN ELS, Rudi Henri; BRASIL JUNIOR, Antônio Cesar Pinho. The Brazilian experience with hydrokinetic turbines. **Energy Procedia**, [s.l], v. 75, p.259-264, jul. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215010966>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

ZYDLEWSKI, Gayle Barbin; COPPING, Andrea E.; REDDEN, Anna M. Renewable Ocean Energy Development and the Environment. **Estuaries and Coasts**, [s.l], v. 38, p.156-158, jan. 2015. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-014-9922-2>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

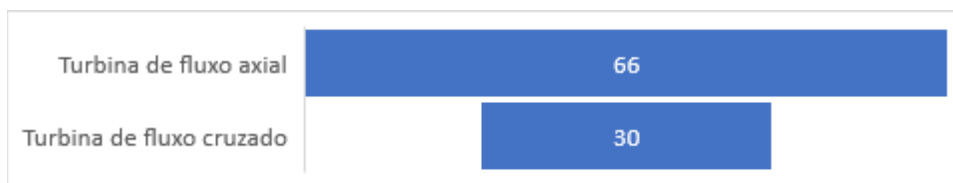
## FIGURAS, QUADROS E TABELAS



**Figura 1. Projetos por tecnologia**  
Fonte: DOE, 2017



**Figura 2. Tecnologia para ondas oceânicas**  
Fonte: DOE, 2019



**Figura 3. Tecnologia para correntes e maré**  
Fonte: DOE, 2019

**Quadro 1. Comparação fonte, tecnologia, potencial, avanços e economia**

Fonte	Tecnologia	Potencial do recurso	Avanços	Economia
Ondas	Atenuador	Estima-se que o potencial é de 2985 GW (LOPEZ et al., 2013). 10 a 15 kW/m em países situados em latitudes de 10° N e S. Para latitudes maiores, vai de 20 a 70 kW/m (RAVINDRAN; RAJU, 2015).	Tecnologia em estado relativamente baixo de prontidão (MELIKOGLU, 2018).	Estima-se que o primeiro conjunto comercial de conversores de energia das ondas possa ser instalado entre 2020 e 2030 a um custo de energia entre US \$ 0,12 a 0,48 / kWh (OES 2015).
	Absorvedor de pontos			
	Coluna oscilante de água			
	Reservatório de extravasamento			
	Diferença de pressão			
Marés	Turbinas de eixo horizontal	Potencial estimado de 1 a 10 MW / km ao longo da costa (KHAN et al., 2017).	Em estado relativamente baixo de prontidão (MELIKOGLU, 2018).	Um arranjo de 10 MW poderia ter um custo de US\$ 0,22/kWh e um arranjo de 100 MW US\$ 0,15/kWh (OES 2015).
	Turbinas de fluxo cruzado			
	Barreiras/ barragens			
Correntes oceânicas	Turbinas de eixo horizontal		Tecnologias emergente, sem implantações de protótipos de oceano aberto (OES 2015).	Custo próximo a US\$ 0,18/kWh para capacidade hipotética de 50 unidades de 200 MW (OES 2015). US\$ 0,15/kWh para 100 unidades de 400 MW de capacidade (OES 2015).
Gradiente térmico oceânico	Sistemas de ciclo fechado e aberto	O uso de sistemas CETO é estimado em 30TW (RAJAGOPALAN; NIHOUS, 2013)	Precisa de mais estudos de pesquisa e desenvolvimento antes da utilização ampla e comercial (MELIKOGLU, 2018).	Usina de 100 MW custo estimado entre US\$ 0,14 e 0,20/kWh. Usina de 10 MW, o custo está entre US\$ 0,35 e 0,45/kWh. Uma usina de 10 MW (OES 2015).

Fonte: elaborado com base nos autores mencionados no Quadro.

**Tabela 1. Países com fonte de energia e potência (instalados e projetados)**

<b>País</b>	<b>Corrente de Maré (kW)</b>	<b>Ondas Oceânicas (kW)</b>	<b>Corrente de rios (kW)</b>	<b>CETO (kW)</b>
Holanda	3.500	0	0	0
Reino Unido	48.100	90.960	0	0
Canadá	20.450	9	0	0
França	24.118	0	0	0
USA	40	1.545	1.350	0
Suécia	8	0	0	0
China	4.950	3.210	0	0
Coreia	2.000	1.000	0	440
Singapura	50	16	0	0
Portugal	0	900	0	0
Espanha	0	296	0	0
Suécia	0	10.800	0	0
Dinamarca	0	50	0	0
Bélgica	0	20.000	0	0
Noruega	0	200	0	0
Itália	0	99	0	0

Fonte: elaborado com base em dados de OES (2015).