

## CAPÍTULO IV

### ENERGIA DOS OCEANOS<sup>1</sup>

#### Sinopse

O interesse mundial na geração de eletricidade a partir de fontes renováveis no oceano compreende não só as oriundas da água salgada como também as de outras matrizes no ambiente oceânico, como a eólica *offshore*. Este capítulo busca apontar a relação entre as energias solar e eólica na formação das ondas, detalhando as tecnologias em desenvolvimento para a conversão da energia das ondas, das marés e das correntes assim como o potencial dos recursos energéticos da costa brasileira em sua distribuição geográfica. O texto apresenta o papel do Instituto Nacional de Energias Oceânicas e Fluviais (Ineof), que tem atuado para agregar os esforços de diferentes grupos de pesquisa no País, com destaque para as pesquisas em andamento e a proposta da Coppe, que preconiza a implantação de um programa nacional para levantar o potencial energético e desenvolver tecnologias de conversão. Por fim, é discutida a energia eólica *offshore* e sua interação com a energia dos oceanos, concluindo com a apresentação de sugestões para o desenvolvimento da energia dos oceanos.

#### Abstract

*The worldwide interest in generating electricity from renewable sources in the ocean includes not only those from salt water but also those from other sources in the ocean environment, such as the offshore wind. This chapter points out the relationship between solar and wind energy in the formation of waves and details the technologies under development for the conversion of wave, tidal and current energy, as well as the potential of the energy resources of the Brazilian coast in its geographic distribution. The text presents the role of the National Science and Technology Institute of Ocean and River Energy (Ineof), which has been working to aggregate the efforts of different research groups in the country. Moreover, this chapter emphasizes ongoing researches and Coppe's proposal for implementing a nation-wide program to assess the Brazilian energy potential and to develop conversion technologies. In closing, offshore wind energy and its interaction with ocean energy is discussed and some suggestions for future actions to support ocean energy developments are provided.*

#### 1. INTRODUÇÃO

A busca por alternativas energéticas que causem menos impactos ao meio ambiente passou a fazer parte do planejamento estratégico das nações. Diante desse cenário, o processo de

---

<sup>1</sup> A atualização deste capítulo contou com a relevante colaboração do Prof. Dr. Segen Farid Estefen, da Coppe/UFRJ, após *webinário* específico sobre o assunto promovido pelo Cembra no dia 17 de março de 2021.

transformação pelo qual passa o setor elétrico mundial está orientado para a adoção de soluções sustentáveis que envolvam a crescente participação de fontes limpas e renováveis.

Em decorrência da evolução natural da pesquisa em energias renováveis, o amplo potencial dos recursos energéticos do mar vem atraindo crescente atenção e interesse da comunidade científica e de políticas governamentais. O aproveitamento dos recursos do mar apresenta perspectivas promissoras em função de vários fatores, tais como: extensas áreas, ampla distribuição mundial dos oceanos e, principalmente, altas densidades energéticas, as maiores entre todas as fontes renováveis (Boyle, 2004; Lewis et al., 2012).

Nesse contexto, a costa brasileira e as vastas áreas que constituem o mar territorial apresentam condições para esse aproveitamento energético no País. Com o potencial de contribuir para a ampliação da oferta de eletricidade dentro de uma matriz energética limpa e diversificada, esses recursos, em função de sua ampla distribuição geográfica, podem ter um papel significativo na universalização do serviço de energia elétrica, contribuindo para reforçar a matriz energética vigente e o desenvolvimento sustentável.

## 2. TECNOLOGIAS EM DESENVOLVIMENTO

As energias solar, eólica e oceânica derivam de fontes renováveis e limpas. A maior parte desses recursos é originada da energia do sol, havendo concentração dessa energia nos processos de formação de ventos, ondas e correntes. A energia contida nos oceanos se manifesta de diversas formas: ondas, marés, correntes marinhas, gradientes térmicos e gradientes de salinidade. O presente capítulo tem foco, principalmente, nas fontes oceânicas oriundas das ondas e das marés.

Os recursos energéticos dos oceanos são comprovadamente fontes viáveis de exploração. A água do mar é, em média, 835 vezes mais densa do que o ar, o que significa que há maior concentração de energia nesses recursos. O quadro a seguir apresenta o potencial mundial dos recursos referentes a ondas, marés e correntes.

**QUADRO 1: POTENCIAL MUNDIAL DOS RECURSOS ENERGÉTICOS DOS OCEANOS.**

Origem		Estágio de Desenvolvimento	Potencial Teórico
Marés <sup>1</sup>	Campo Gravitacional Terra-Lua-Sol	Maduro (comercial)	3 TW
Ondas <sup>2</sup>	Ventos	Protótipos Avançados	10 TW
Correntes <sup>3</sup>	Ventos, Marés, Gradientes de Temperatura e Salinidade	Protótipos Avançados	5 TW

Fonte: <sup>1</sup> Charlier; Justus, 1993.

<sup>2</sup> Isaac; Seymour, 1973.

<sup>3</sup> Isaac; Seymour, 1973.

## 2.1 Energia das Ondas

As ondas do mar são consequência da transferência de energia dos ventos ao longo de uma faixa sobre a superfície oceânica. Os ventos, por sua vez, são causados pelos gradientes de pressão existentes na superfície terrestre que são ocasionados pelo aquecimento solar desigual do planeta (CRUZ, 2008). A energia contida nas ondas é, portanto, uma forma de energia solar, porém, mais concentrada. O fator de acumulação de energia solar na formação dos ventos é de duas a seis vezes, enquanto o fator de acumulação da energia eólica em energia de onda é de aproximadamente cinco vezes. Isso significa que, para um mesmo potencial energético, em tese, são necessárias menores áreas para conversão da energia das ondas em eletricidade. Protótipos baseados em diferentes princípios de conversão da energia do mar em eletricidade, como os indicados na Figura 1, foram submetidos a testes em condições reais de operação.



FIGURA 1: PROTÓTIPOS DE CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS EM ELETRICIDADE

Fonte: Pelamis: <https://www.emec.org.uk/about-us/wave-clients/pelamis-wave-power/>

OceanLinx - Falcao, A, Henriques J. C. C, Oscillating-water-column wave energy converters and air turbines: A review, Renewable energy, 2016, 85:1391-1424

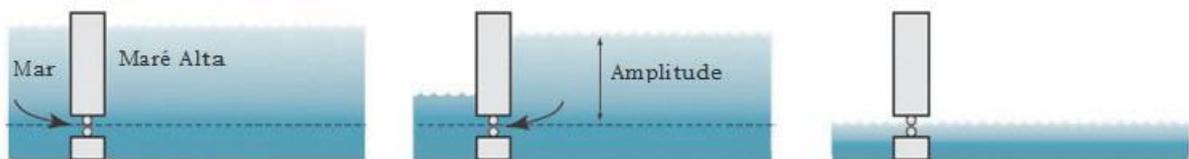
## 2.2 Energia das Marés

As marés são movimentos oscilatórios do nível do mar gerados pela atração gravitacional da Lua e do Sol e pelo efeito da rotação da Terra. A força geradora da maré consiste, principalmente, na resultante gravitacional do Sistema Sol-Terra-Lua, a qual depende diretamente das massas dos corpos celestes e inversamente do cubo da distância entre eles. Outros fatores influenciam as marés, como a forma do litoral, o fundo do mar e os fenômenos meteorológicos (CHARLIER; JUSTUS, 1993).

Como resultado do movimento periódico dos astros, as marés apresentam recorrência entre 12 e 24 horas em função da localização no globo terrestre. Com comprimentos de ordens continentais, a maré configura a maior onda oceânica existente. A amplitude da maré também varia com o tempo e em função da periodicidade e da intensidade dos fenômenos astronômicos envolvidos. As maiores variabilidades, contudo, estão relacionadas à posição e às características da costa. Ao alcançar a

plataforma continental e a área costeira adjacente, a maré sofre transformações como refração, reflexão e difração. Também sofre efeitos causados pelo fundo, acarretando redução de sua celeridade e aumento da amplitude. Em estuários estreitos, há uma tendência de maior concentração de energia por unidade de largura e ressonância na reflexão da maré, ocasionando o aumento de sua amplitude.

A Figura 2 mostra esquematicamente como se dá o aproveitamento convencional da energia das marés com o uso de barragem. Trata-se de uma tecnologia madura em plantas comerciais e experimentais, com 240 MW na França, 18 MW no Canadá, 500 kW na China e 400 kW na Rússia. A Coreia do Sul concluiu a construção de uma planta de 255 MW em 2011.



**FIGURA 2: APROVEITAMENTO DA VARIAÇÃO DA MARÉ UTILIZANDO BARRAGEM.**

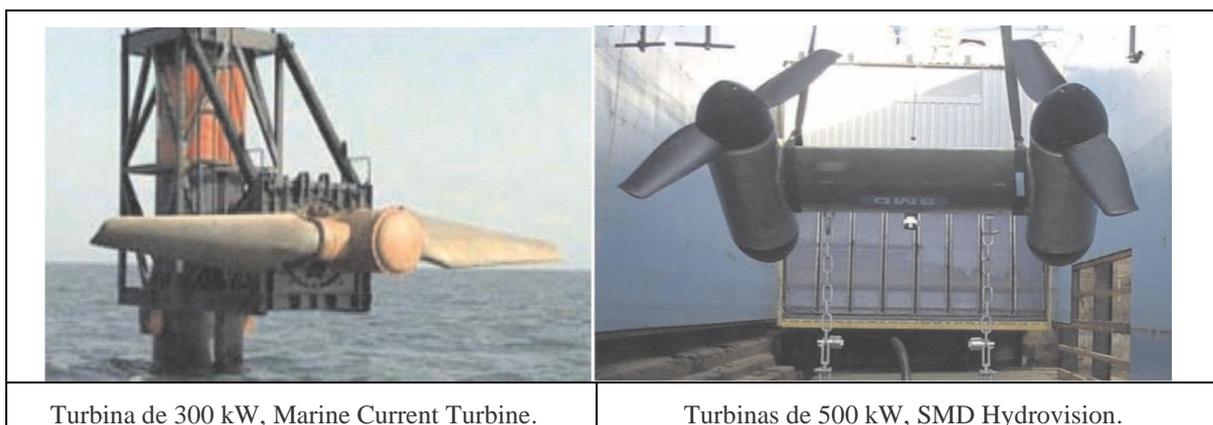
Fonte: [www.eletronorte.gov.br](http://www.eletronorte.gov.br)

### **2.3 Energia das Correntes**

As correntes podem ser classificadas como: marítimas, de densidade, de maré, de vento e litorâneas. Têm sido consideradas objeto de estudo para geração elétrica, principalmente as correntes marítimas e as de maré, pois são mais intensas e, portanto, têm maior potencial energético.

As correntes marítimas correspondem aos deslocamentos contínuos das águas oceânicas, com o mesmo sentido e a mesma velocidade. Essas grandes massas de água salgada que correm na superfície dos oceanos e em águas profundas, seguindo cursos bastante regulares, são consideradas verdadeiros rios oceânicos. O principal fator responsável é a diferença da densidade das águas, que é provocada pela diferença de temperatura. Ou seja, as temperaturas extremamente baixas nas regiões polares afetam consideravelmente a densidade da água do mar nas altas latitudes, constituindo fator muito importante para desencadear o processo de correntes frias e profundas e, conseqüentemente, provocar o deslocamento da água superficial e quente na direção das altas latitudes para suprir o espaço liberado pelo deslocamento das correntes frias e profundas na direção das baixas latitudes e do equador. A velocidade dessas correntes pode atingir valores superiores a 1 m/s. Já as correntes de maré são de importância e magnitude variável devido à localização. São cíclicas e podem ser significativas para a exploração de energia, especialmente nos estuários, onde podem atingir velocidades superiores a 2 m/s.

A Figura 3 apresenta protótipos para o aproveitamento da energia das correntes, possibilitando a conversão em eletricidade.



**FIGURA 3: PROTÓTIPOS PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE CORRENTES.**

Fonte : Seagen - George Marsh, Tidal turbines harness the power of the sea, *Reinforced Plastics*, Volume 48, Issue 6, 2004, Pages 44-47, ISSN 0034-3617, [https://doi.org/10.1016/S0034-3617\(04\)00344-3](https://doi.org/10.1016/S0034-3617(04)00344-3).

SMD Hydrovision - REUK. (2018b). TidEL turbine. Retrieved May 3, 2019, <http://www.reuk.co.uk/wordpress/tidal/tidel-tidal-turbines/>

### 3. RECURSOS ENERGÉTICOS – POTENCIAL DA COSTA BRASILEIRA

No Brasil, a extensa costa e as vastas áreas de mar territorial abrem perspectivas para o aproveitamento energético dos recursos do mar (ESTEFEN, 2009). Estima-se um potencial teórico de 114 GW, que poderá contribuir para a ampliação da oferta e para a diversificação da matriz energética, distribuído em: energia das marés, disponível para uso comercial apenas na Região Norte (Amapá, Pará) e no Estado do Maranhão; e energia das ondas, principalmente nas Regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

O Quadro 2 apresenta a distribuição geográfica do potencial estimado de energias de ondas e marés ao longo da costa brasileira.

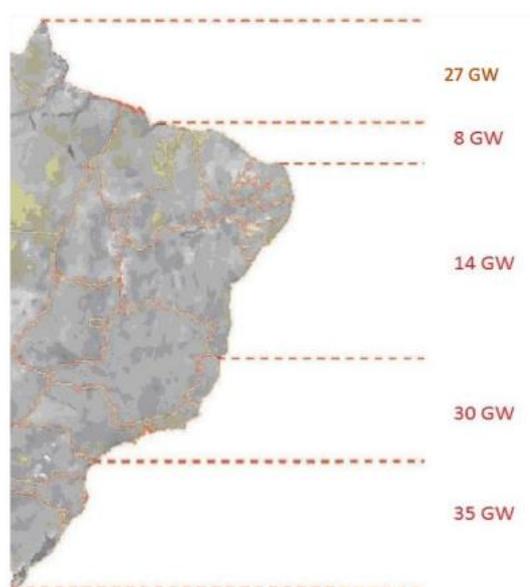
**QUADRO 2: POTENCIAL ENERGÉTICO DE ONDAS E MARÉS POR REGIÕES**

Região	Potencial (GW)
Norte + Maranhão <sup>1</sup>	27
Nordeste <sup>2</sup>	22
Sudeste <sup>2</sup>	30
Sul <sup>2</sup>	35
Potencial Teórico	114
Legenda: <sup>1</sup> Maré <sup>2</sup> Ondas	

Fonte: [www.gero.coppe.ufrj.br](http://www.gero.coppe.ufrj.br)

O Brasil ainda não tem definido um ordenamento legal para a exploração da energia do oceano. No entanto, tendo em vista a regulamentação para atividades de produção de petróleo e gás *offshore*, os estudos e avaliações de exploração das energias das ondas e correntes de maré consideram a possível analogia com esse marco regulatório.

A Figura 4, a seguir, apresenta a distribuição geográfica do potencial estimado de energia de ondas e marés ao longo da costa brasileira.



**FIGURA 4: POTENCIAL ENERGÉTICO DE ONDAS E MARÉS NA COSTA BRASILEIRA.**

Fonte: [www.gero.coppe.ufrj.br](http://www.gero.coppe.ufrj.br)

#### **4. PESQUISAS EM ANDAMENTO**

Nos últimos anos, tem havido progressos importantes na área de energia do mar no Brasil e no exterior. No Brasil, com o apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), foi estabelecido, em 2016, o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia Oceânica e Fluvial (Ineof), cujo objetivo é desenvolver, em rede, atividades de pesquisa e desenvolvimento. Participam do Ineof as seguintes instituições: Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Pará, Universidade Federal de Itajubá, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Federal do Rio de Janeiro.

##### **4.1 Pesquisas no Exterior**

O Relatório IEA 2016 da Agência Internacional de Energia / Sistemas de Energia do Oceano (*International Energy Agency – IEA / Ocean Energy Systems*) menciona avanços relevantes na conversão de ondas, marés e gradiente de temperatura em eletricidade (Conversão de Energia Térmica Oceânica – OTEC). Cinco centros para testes em mar aberto têm desenvolvido atividades, principalmente em protótipos de conversores de ondas e marés. São eles: Force, no Canadá; NNMREC, no Oregon (EUA); EMEC, na Escócia (Reino Unido); BIMEP, no País Basco (Espanha); e AMEC, em Nagasaki (Japão).

Estados Unidos, França, Coreia do Sul e Japão têm desenvolvido projetos de demonstração para a conversão do gradiente de temperatura (OTEC) na faixa de 1 a 10 MW. A OTEC, porém, necessita de grande economia de escala, se comparada às outras tecnologias de conversão de fontes oceânicas. Em uma planta de 10 MW de potência instalada, estima-se um custo de eletricidade de

cerca de US\$ 200/MWh, enquanto em uma planta de 100 MW o custo estimado é de US\$ 100/MWh, o que indica a necessidade de um projeto com investimento inicial superior a trezentos milhões de dólares. Duas iniciativas de destaque têm sido conduzidas: uma sob a liderança da China, na estimativa do potencial OTEC no mundo; e outra liderada pela Coreia do Sul, em relação à situação atual de plantas OTEC. Um dos objetivos dessas iniciativas é a proposição do Mapa OTEC, ou *OTEC Roadmap*.

Órgãos governamentais de vários países têm estabelecido instrumentos para garantir investimentos em novas tecnologias necessárias para a futura comercialização da energia dos oceanos. A prioridade é acelerar a maturidade tecnológica e reduzir o custo da eletricidade para tornar viável a comercialização.

## 4.2 Atuação da Coppe em Energia dos Oceanos

O Laboratório de Tecnologia Submarina da Coppe/UFRJ<sup>2</sup> atua no desenvolvimento de tecnologias em diversas áreas de aplicação, com especial ênfase naquelas associadas à produção de petróleo e gás em águas profundas.

Com base nessa experiência, estendeu suas atividades a temas referentes às energias renováveis oriundas do mar. Assim, o Grupo de Energia Renovável do Oceano<sup>3</sup> possui competências em diferentes áreas das Ciências Básicas e das Engenharias e atua em cooperação com outros laboratórios da instituição para o mapeamento dos recursos energéticos do mar e o desenvolvimento de conversores destinados à geração de eletricidade.

Apoio fundamental às pesquisas sobre as energias renováveis do mar é proporcionado pelo Laboratório de Tecnologia Oceânica (LabOceano)<sup>4</sup>, que possui um tanque de simulação para a avaliação de conceitos de conversores para condições de mar que reproduzem, em escala, as condições reais.

Estudos foram desenvolvidos para a instalação de planta piloto de conversão da energia de ondas em eletricidade no quebra-mar do Porto de Pecém, uma colaboração entre a Coppe/UFRJ, o Governo do Estado do Ceará e a empresa Tractebel Energia (atualmente ENGIE), no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (P&D Aneel). O protótipo com dois módulos do conversor hiperbárico com 100 kW de potência (Figura 5) foi submetido a testes em condições reais de operação de 2010 a 2014, sendo descomissionado ao final da vigência do projeto de pesquisa (ESTEFEN et al., 2012).

---

<sup>2</sup> Para mais informações, visite o site do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) disponível em: <<http://www.lts.coppe.ufrj.br>>.

<sup>3</sup> Para mais informações, visite o site disponível em: <<http://www.gero.coppe.ufrj.br>>.

<sup>4</sup> Para mais informações, visite o site disponível em: <<http://www.LabOceano.coppe.ufrj.br>>.

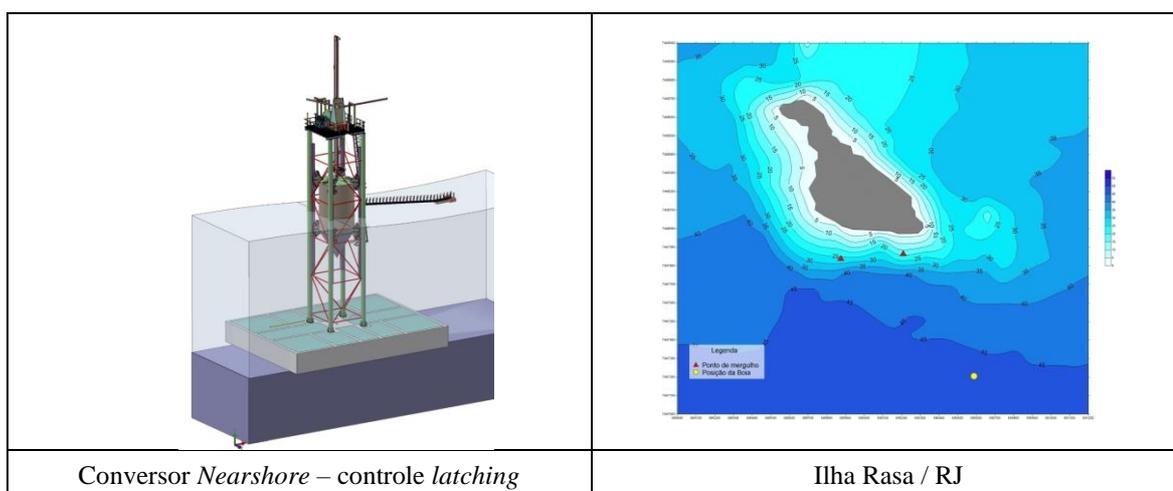


**FIGURA 5: PROTÓTIPO DO CONVERSOR HIPERBÁRICO INSTALADO NO PORTO DO PECÉM (2010-2014).**

Fonte: Grupo de Energia Renovável no Oceano - GERO, [www.gero.coppe.ufrj.br](http://www.gero.coppe.ufrj.br)

Outros projetos relevantes relacionados à energia das ondas e das marés têm sido apoiados pelo Programa de P&D Aneel e também por empresas do setor energético e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Pode-se citar como exemplo o estudo sobre o aproveitamento da barragem existente na foz do Rio Bacanga, em São Luís do Maranhão, para viabilizar uma planta-piloto maremotriz (Ferreira; Estefen, 2009).

Recentemente, o Grupo de Energia Renovável do Oceano da Coppe/UFRJ tem atuado no desenvolvimento de um novo protótipo com potência de 80 kW que, apoiado no fundo do mar por fundação de gravidade, será instalado próximo à Ilha Rasa, no litoral da cidade do Rio de Janeiro, numa profundidade de cerca de 16 m. A primeira fase do projeto foi concluída em 2018 e contou com o apoio de Furnas Centrais Elétricas (P&D Aneel). A segunda fase prevê a realização de testes experimentais em escala 1:10 no LabOceano/Coppe para posterior construção, instalação e operação do protótipo. A Figura 6 mostra desenho ilustrativo do protótipo e do local de instalação (Shadman et al., 2019).



**FIGURA 6: PROTÓTIPO DE CONVERSOR NEARSHORE A SER INSTALADO PRÓXIMO À ILHA RASA / RJ.**

Fonte: Grupo de Energia Renovável no Oceano - GERO, [www.gero.coppe.ufrj.br](http://www.gero.coppe.ufrj.br)

### **4.3 Projeto EOnDas-RS conduzido na FURG**

A Universidade Federal do Rio Grande (FURG) realizou, em parceria com a Petrobras, o projeto “Estudos de tecnologias para a conversão de energia das ondas em energia elétrica na costa do Rio Grande do Sul (EOnDas-RS)”, cujo objetivo foi determinar o potencial energético das ondas e fornecer subsídios para avaliar a viabilidade de instalação de uma usina de geração de energia elétrica a partir da energia das ondas do mar na costa do Rio Grande do Sul (MARQUES et al.).

O projeto foi estruturado em módulos, envolvendo as áreas ambiental, oceanográfica, da engenharia e das ciências econômicas. A metodologia utilizada consistiu em levantar, combinar e avaliar as informações obtidas – desde o estado da arte das tecnologias dos modelos existentes de conversores para a geração de energia elétrica até a determinação do potencial energético das ondas na região –, além de analisar os possíveis impactos ambientais. A compilação desses resultados subsidiou o estudo de viabilidade técnica e econômica, com análise do custo do ciclo de vida da usina projetada para conversão de energia das ondas em energia elétrica na região estudada.

A FURG tem desenvolvido diversas pesquisas científicas, como o projeto “Estudo teórico-experimental de tecnologias para aproveitamento de energia das ondas do mar”, financiado pelo CNPq. No Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional, dois projetos foram realizados com foco nesse tema: “Modelagem computacional de um dispositivo coluna d’água oscilante para a conversão da energia das ondas do mar em energia elétrica” e “Energia das ondas: estado da arte e desenvolvimento de um modelo de simulação numérica para o princípio de galgamento”. Trabalhos científicos foram publicados em congressos e seminários, como o Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (Encit), o Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica (Cobem) e a Conferência de Modelagem Computacional do Sul (MCSul).

## **5. PROGRAMA NACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS DO MAR**

A evolução das pesquisas depende de ação estruturada que mobilize órgãos de fomento e comunidade científica. Com essa finalidade, a Coppe/UFRJ propôs a implantação do Programa Nacional de Energias Renováveis do Mar (PNERM), que é fundamentado no levantamento do potencial brasileiro em recursos energéticos do mar e no desenvolvimento de conversores para seu aproveitamento na geração de eletricidade.

Trata-se, portanto, da implementação de uma infraestrutura adequada e de projetos estruturantes para alavancar a evolução da tecnologia nacional. Tendo como essência fomentar o desenvolvimento de soluções tecnológicas para o aproveitamento dos recursos energéticos do mar no Brasil, entende-se que o PNERM se apresenta como uma iniciativa que poderá abrigar, no âmbito nacional, os projetos e as políticas governamentais para o assunto, como já tem acontecido em diversas nações.

Nesse sentido, a Rede de Tecnologia do PNERM irá coordenar as parcerias para a execução das ações propostas no programa a fim de possibilitar significativo retorno dos investimentos por meio do desenvolvimento de tecnologia específica para a geração elétrica por fontes oceânicas, incluindo o aprofundamento das pesquisas em escala reduzida e em protótipos para atividades *offshore*, as quais proporcionarão um avanço significativo dos conversores para produção de eletricidade a partir das ondas do mar. Assim, pretende-se aperfeiçoar o conceito para instalação na

costa (*onshore*) e desenvolver os conceitos para instalação próximo da costa (*nearshore*) e ao largo dela (*offshore*). Locais específicos da costa brasileira serão selecionados para melhor entendimento dos recursos energéticos, tendo em vista a obtenção de dados do mar local visando à instalação dos protótipos.

Linhas de pesquisa consideradas estratégicas devem ser estabelecidas para a consolidação do PNERM e de sua Rede de Tecnologia, constituída por instituições de pesquisa, empresas de energia, indústrias sediadas no País e prestadores de serviços. Pode-se, assim, viabilizar o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, buscando uma visão de horizonte de tempo, necessidades e mercado. A ampla possibilidade de sinergia entre os envolvidos permitirá, entre outros benefícios, a otimização dos recursos humanos, a redução de custos e, principalmente, a realimentação do processo de desenvolvimento técnico-científico.

Nesse cenário, a disponibilidade de infraestrutura laboratorial já existente nas universidades e nos centros de pesquisa na área de Energias Renováveis do Mar propiciará o desenvolvimento de conversores adequados para o litoral brasileiro. Deve-se observar, também, a necessária sinergia com o setor de óleo e gás *offshore*, visando agregar a capacitação tecnológica já desenvolvida ao longo das últimas décadas.

Para a efetiva estruturação do PNERM, as seguintes ações prioritárias são propostas:

- consolidar a Rede Tecnológica, com participação dos principais agentes envolvidos, além de representação de empresas, comunidade científica e órgãos governamentais visando à integração e ao desenvolvimento de novos projetos;
- implementar os conversores, em escala reduzida em laboratório e em protótipos em escala real, para operação no mar;
- implantar o Laboratório Maremotriz do Bacanga (Maranhão) e o Campo de Testes de Energia das Ondas no Porto do Pecém (Ceará); e
- estabelecer um planejamento para o programa, buscando uma visão de horizonte de tempo para os vários estágios a serem atingidos com vistas à comercialização da energia a ser gerada.

## **6. ENERGIA EÓLICA OFFSHORE E A INTERAÇÃO COM A ENERGIA DOS OCEANOS**

A geração elétrica por fonte eólica *offshore* tem tido avanços significativos nos últimos anos, principalmente na Europa (GWEC, 2021). A Energia dos Oceanos, caracterizada pelas fontes oriundas da água salgada, tem apresentado evoluções tecnológicas significativas, mas ainda carece de inovações, principalmente em relação a técnicas avançadas de controle e de inteligência artificial, para se tornar mais competitiva e ingressar na fase de comercialização.

Em termos do nível de maturidade tecnológica, conforme a escala Nasa, os conversores de correntes de marés estão, em média, próximos de 8, enquanto os conversores de ondas estão entre 6 e 7 e os conversores de energia térmica (OTEC), entre 5 e 6. As tecnologias de conversão dessas fontes têm se mostrado mais promissoras para a futura comercialização (Liu et al., 2021; Shadman et al., 2019). As usinas maremotrizes que utilizam barragens, embora tecnologicamente maduras, têm enfrentado restrições ambientais devido ao impacto à vida marinha nas regiões costeiras. Os novos

projetos de energia eólica *offshore* também poderão contribuir para a viabilização de sistemas híbridos, de forma que os conversores de energia do oceano compartilhem a mesma infraestrutura elétrica de transmissão, reduzindo o custo de investimento e, por conseguinte, o custo da geração elétrica.

No Brasil, atualmente, mais de duas dezenas de projetos de energia eólica *offshore* estão em análise pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) visando à licença de instalação. A maioria deles fica na Região Nordeste, que representa o maior potencial disponível em profundidades de até 50 m, o que possibilita a instalação de turbinas a partir da utilização de estacas ou com estruturas fixas tipo jaqueta.

Outra região que tem atraído a atenção de investidores é a Região Sudeste, em área próxima à divisa dos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Estudos recentes demonstram velocidades de vento e fator de capacidade nessa área apropriados para investimentos em energia eólica *offshore*, tanto em águas rasas quanto em águas profundas. No caso da Região Sul, os estudos indicam grande potencial em profundidades superiores a 100m, o que demanda a utilização de estruturas flutuantes (ASSIS TAVARES et al., 2020; REIS et al., 2021).

Iniciativas recentes têm buscado atender às demandas dos investidores por mais informações sobre potencial eólico *offshore*, agilidade no licenciamento ambiental e segurança jurídica associada ao planejamento espacial marinho. Destacam-se: o *Roadmap Eólica Offshore*, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em 2020; o Termo de Referência Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental para Complexos Eólicos Offshore do Ibama, também de 2020; e o Projeto de Lei em tramitação no Senado Federal que disciplina a outorga de autorizações para aproveitamento de potencial energético *offshore*.

A geração de energia elétrica por fonte eólica *offshore* tem possibilitado iniciativas para a descarbonização do setor de óleo e gás pela alimentação elétrica tanto das instalações marítimas, quanto dos sistemas submarinos de produção. A isso se somam os esforços para a geração de hidrogênio verde<sup>5</sup> a partir de fonte eólica *offshore*, o que também poderá contribuir para a redução das emissões de gases do efeito estufa em indústrias e no transporte. No caso específico do transporte marítimo, avalia-se a possibilidade da utilização de amônia obtida a partir do hidrogênio verde para a propulsão de navios. Portanto, o que se evidencia atualmente é um grande esforço internacional no sentido de limitar o aumento da temperatura em níveis próximos a 1,5°C.

Nessa perspectiva, as fontes renováveis do oceano e o uso do espaço oceânico para a geração elétrica a partir de fontes eólica e solar, assim como a produção de hidrogênio verde, trarão desafios tecnológicos a serem enfrentados nos próximos anos. As tecnologias digitais, em especial as técnicas de inteligência artificial, serão fortes aliadas nesse esforço de descarbonização do setor energético.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

<sup>5</sup> O hidrogênio verde é aquele produzido a partir da eletrólise. Porém, a energia inicial para a realização desse processo precisa vir de fontes renováveis para que o combustível se enquadre nessa categoria. Assim, sua produção se dá sem a emissão de carbono. Disponível em: <<https://www.alemnaenergia.engie.com.br/saiba-como-o-hidrogenio-se-transforma-em-combustivel/>>. Acesso em 10 jan. 2022. (Nota do revisor).

O aproveitamento da energia dos oceanos ganhou importância na última década, em especial a energia das fontes oriundas de ondas e marés. Espera-se, para um futuro próximo, a inserção comercial das tecnologias de conversão dessas fontes de energia em eletricidade. O Brasil pode beneficiar-se do desenvolvimento tecnológico do setor em função de sua extensa linha de costa e de sua Zona Econômica Exclusiva (ZEE). O potencial energético estimado é da ordem da potência instalada atualmente para a geração de eletricidade. Também existe uma distribuição dos recursos energéticos do mar, visto que ao norte se tem significativa amplitude das marés, enquanto nas outras regiões é possível o aproveitamento das ondas.

O grande interesse internacional na geração eólica *offshore* poderá contribuir para a comercialização das fontes oceânicas, principalmente em projetos híbridos que compartilhem a mesma infraestrutura, possibilitando atingir custo competitivo para a geração elétrica. Também contribuirá para a descarbonização de setores energéticos, como a produção de óleo e gás.

Deve-se enfatizar a importância do desenvolvimento de tecnologia nacional na fase atual de evolução dos conceitos para a conversão de fontes oceânicas em eletricidade, incorporando a indústria nesse esforço. A possibilidade real de termos uma indústria forte no setor, decorrente de experiências bem-sucedidas no País na produção de petróleo no mar, deve ser considerada no âmbito das políticas públicas. O desenvolvimento de tecnologia nacional para o aproveitamento das fontes energéticas do mar apresenta-se como uma grande oportunidade para o Brasil consolidar sua posição internacional como protagonista das iniciativas voltadas para a geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, contribuindo para a diminuição da emissão dos gases do efeito estufa. Nesse contexto, deve-se considerar que as tecnologias que contribuam para desacelerar o aquecimento global terão grande apelo econômico nas próximas décadas, possibilitando a inserção da indústria nacional no competitivo mercado internacional de equipamentos para a geração elétrica baseada em fontes renováveis.

## 8. SUGESTÕES:

As seguintes ações são sugeridas com o propósito de promover o fortalecimento das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação relacionadas à energia dos oceanos no Brasil.

- **CONSOLIDAR** os grupos de pesquisa com atuação no setor com o apoio de mecanismos já existentes nos Fundos Setoriais geridos pelo MCTI, possibilitando o aumento das atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (P, D & I), assim como a formação de recursos humanos de alta qualificação.

- **BUSCAR** maior conhecimento do mar brasileiro por meio de programas de medições de ondas, marés, correntes e gradiente de temperatura por instrumentação oceanográfica e, de forma mais abrangente, utilizando os recursos de instrumentação oceanográfica e de sensoriamento remoto.

- **CRIAR** campos de testes para protótipos de conversão de ondas, marés e correntes em eletricidade, considerando a infraestrutura básica composta de cabos submarinos e sistema elétrico para conexão à rede de transmissão, assim como equipe técnica dedicada à operação das instalações.

- **INDUZIR** a atuação da indústria nacional, em cooperação com os grupos de pesquisa e as pequenas empresas de base tecnológica, para o desenvolvimento de produtos e serviços.

- **VIABILIZAR** os estudos de sistemas híbridos que possibilitem a instalação de conversores de energia do oceano a partir dos empreendimentos de parques eólicos *offshore*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSIS TAVARES, L. F.; SHADMAN, M.; DE FREITAS ASSAD, L. P.; SILVA, C.; LANDAU, L.; ESTEFEN, S. F. Assessment of the Offshore Wind Technical Potential for the Brazilian Southeast and South regions. **Energy**, v. 196, p. 117097, 2020.
2. BOYLE, G. (Ed.). **Renewable energy, power for a sustainable future**. Glasgow: Oxford University Press, 2004.
3. CHARLIER, R. H.; JUSTUS, J. R. Ocean energies: environmental, economic and technological aspects of alternative power sources. In: **Elsevier Oceanography Series**. Netherlands, 1993.
4. CRUZ, J. (Ed.). **Ocean wave energy: current status and future perspectives**. Berlin: Springer-Verlag, 2008.
5. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Roadmap Eólica Offshore Brasil: perspectivas e caminhos para a energia eólica marítima**. Tech. rep., Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap\\_Eolica\\_Offshore\\_EPE\\_versao\\_R2.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-456/Roadmap_Eolica_Offshore_EPE_versao_R2.pdf)>. Acesso em: 6 abr. 2022.
6. ESTEFEN, S. F. As múltiplas ofertas do mar. **Scientific American**, p.76-81, maio 2009.
7. ESTEFEN, S. F.; GARCIA-ROSA, P.; BESERRA, E. R.; COSTA, P. R.; PINHEIRO, M. M.; SOUZA, M. I. L, MACHADO, I. R.; MAES, S. Small-Scale Models, Prototype and Control Strategies. In: CONFERENCE ON OFFSHORE, MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING – OMAE 2012. Rio de Janeiro, 2012, v.7, p. 649-658.
8. FERREIRA, R.; ESTEFEN, S. F. Alternative concept for tidal power plant with reservoir restrictions. **Renewable Energy**, n. 34, p. 1151-1157, 2009.
9. GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC). **Global wind report**. 2021. Disponível em: <<https://gwec.net/global-wind-report-2021/>>. Acesso em: 6 abr. 2022.
10. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Ocean Energy Systems, Annual Report 2016**. IEA, 2016.
11. ISAACS, J.D. and Seymour, R.J (1973), The Ocean as a Power Resource. *Int. Journal of Env. Studies*, 4, 3, 201-205.
12. LEWIS, A.; ESTEFEN, S. F.; et al. Ocean Energy. In: IPCC SRREN (Org.). **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge University Press, 2012, p. 497-534.
13. LIU, B.; YI, H.; LEVI, C.; ESTEFEN, S. F.; WU, Z.; MENGLAN, D. Improved bistable mechanism for wave energy harvesting. **Ocean Engineering**, v. 232, p. 109139, 2021.
14. MARQUES, W. C.; FERNANDES, E. H.; ROCHA, L. A. O.; MALCHEREK, A. The Influence of Energy Converting Structures on the Hydrodynamic and Morphodynamic Processes in the Southern Brazilian Shelf. 11<sup>th</sup> INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON

PRACTICAL DESIGN OF SHIPS AND OTHER FLOATING STRUCTURES. Rio de Janeiro, Brazil, 19-24 Sept. 2010.

15. PIMENTA, F.M.; SILVA, A.R.; ASSIREU, A.T.; SAAVEDRA, O.R. Brazil offshore wind resources and atmospheric surface layer stability. **Energies**, 12 (21), 2019.
16. REIS, M. M. L.; MAZETTO, B. M.; DA SILVA, E. C. M. Economic analysis for implantation of an offshore wind farm in the Brazilian coast. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 43, 2021.
17. SHADMAN, M.; SILVA, C.; FALLER, D.; WU, Z.; ASSAD, L.; LANDAU, L.; LEVI, C.; ESTEFEN, S.F. Ocean Renewable Energy Potential, Technology and Deployments: a Case Study of Brazil. **Energies**, v. 12, p. 3658-3695, 2019.