



ENERGIAS LIMPAS NA AMAZÔNIA AZUL

Nathaniel Gomes de Oliveira *

Este artigo é uma sinopse do trabalho vencedor do Concurso Almirante Paulo Moreira da Silva, edição 2024. A versão completa está disponível na Biblioteca do Clube Naval.

A Amazônia Azul compreende toda a extensão da Zona Econômica Exclusiva, do Mar Territorial e da Plataforma Continental do Brasil. De imensa importância estratégica, econômica, biológica e cultural, esse território brasileiro apresenta uma infinidade de oportunidades para as mais diversas atividades.

O Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC), em sua segunda fase, dividiu a margem continental brasileira em três regiões (Sul, Equatorial e Oriental/Meridional) para a aquisição de dados, fazendo um novo levantamento dos territórios marítimos nacionais. Os requerimentos para a inclusão dos novos limites calculados nas campanhas do LEPLAC foram submetidos à Comissão de Limites e Plataformas

Continental. Os limites da margem Sul foram aprovados em 2019, estendendo em 170.000 km² a Plataforma Continental Brasileira. A aprovação das outras regiões é de grande interesse nacional, destacando-se a margem Oriental/Meridional, pois requer a inclusão da Elevação do Rio Grande, uma formação geográfica de grande potencial econômico, à Amazônia Azul.

O mundo passa por diversas mudanças climáticas associadas ao aquecimento global, por conta de emissões de gases de efeito estufa, em decorrência do mau uso da terra e do uso de fontes não renováveis de energia, como os combustíveis fósseis. Dentre outros efeitos, essas mudanças causam eventos climáticos e meteorológicos extremos, infringindo consequências ambientais e sociais negativas, principalmente a populações mais vulneráveis, que são as que, historicamente, menos contribuem nas atividades causadoras da crise climática.

Então faz-se necessário uma transição energética global de fontes fósseis para fontes de energia renováveis (energias limpas ou verdes) que não

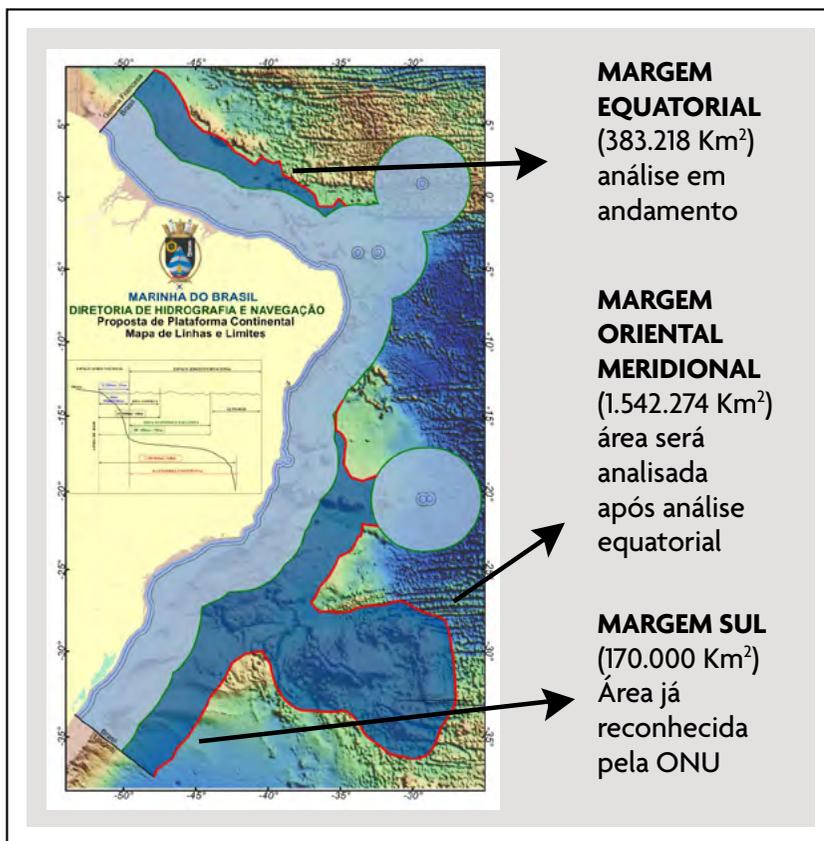


Ilustração das áreas de extensão da Plataforma Continental Brasileira

Fonte: Agência Marinha de Notícias (28/09/2023)

emitam gases causadores de efeito estufa. Várias fontes e tecnologias de geração desse tipo de energia estão associadas às regiões costeiras e mar aberto, o que coloca a Amazônia Azul em posição de grande interesse no cenário mundial de mudança de matriz energética e descarbonização.

ENERGIA GERADA PELA MARÉ

As marés são movimentos periódicos de subida e descida do nível do mar, devido à influência gravitacional de astros celestes, como o Sol e a Lua, podendo também ser afetada por eventos sísmicos ou climáticos. As marés podem ser usadas para a geração de um tipo de energia chamada de maremotriz. Em corpos costeiros fechados de água, como estuários e baías, podem ser instaladas barragens de maré com comportas, que são acionadas para controlar os fluxos de entrada e saída de água da formação costeira. Na maré alta as comportas são fechadas, sendo abertas na maré baixa, onde o montante de água aprisionada é liberado, movimentando geradores de energia elé-

trica. Além disso, as correntes de maré são mais intensas nessas áreas costeiras, o que possibilita a instalação de estruturas com hélices horizontais ou verticais acopladas a eixos de geradores elétricos, convertendo a energia cinética das correntes em energia elétrica. Algumas regiões de mar aberto, onde são observadas correntes de maré suficientemente fortes, também podem ser apropriadas para a instalação dessas hélices.

A região norte da costa brasileira é marcada por possuir regimes semidiurnos de maré, de grande amplitude (macromarés). Assim, vários corpos de água nessa região possuem grande potencial para a instalação de estruturas captadoras de energia maremotriz. Vários estudos mapearam áreas promissoras, considerando a potencialidade geradora e os impactos

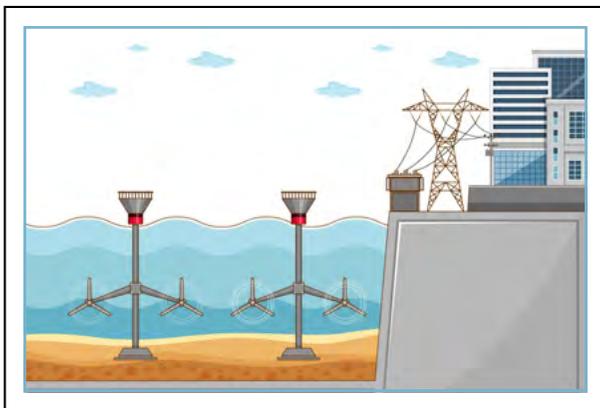
ambientais ocasionados pela instalação, operação e descomissionamento das estruturas, confirmando que a energia maremotriz pode ser um importante componente da matriz energética nacional.

ENERGIA GERADA PELAS ONDAS

As ondas são perturbações que se propagam em um meio, transferindo energia. No oceano são causadas pelo vento, marés, terremotos ou erupções vulcânicas. As ondas impulsionadas pelo vento podem ser utilizadas para a geração de uma energia chamada de ondomotriz.

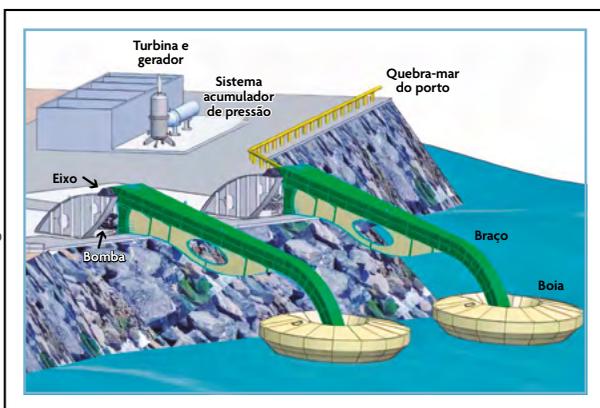
Algumas estruturas utilizadas para essa finalidade são flutuantes, usando os movimentos de subida da água causados pela ondulação para gerar um gradiente de energia potencial e usá-lo para geração de energia, como os modelos *Overtopping* e *Wavedragon*. Outras estruturas flutuantes geram energia através do movimento de subida e descida de pistões causado pela passagem de ondas, como os flutuadores *AquaBuoy*

Imagem: Freepik



A ilustração acima mostra as turbinas utilizadas na geração de energia maremotriz

Imagem: autossustentavel.com



Esquema da Usina de Ondas do Porto do Pecém (CE), a primeira da América Latina movida pela força das ondas do mar

e *PowerBuoy*, ou o movimento relativo entre estruturas articuladas que são dispostas perpendicularmente à direção das ondas, como no caso dos flutuadores *Pelamis*.

Estruturas fixas ao leito oceânico também podem gerar energia através das ondas, como os geradores tipo Ostra e flutuadores Arquimedes, que usam o movimento ondulatório da água para deslocar partes móveis, que por sua vez acionam geradores de energia elétrica. Outra estrutura funciona como uma barragem de maré, instalada em um corpo d'água costeiro fechado. Nessa configuração, a energia potencial é gerada pelo acúmulo de água resultante do impacto das ondas na estrutura, que posteriormente é convertida em movimento para turbinas. Esse tipo de modelo é chamado de *TapChan* (*Tapped Channel*).

Na Amazônia Azul, a Região Sul aparece como a mais adequada para a instalação de estruturas geradoras de energia ondomotriz, com vários trabalhos mostrando essa potencialidade. Isso se deve principalmente à grande amplitude e à baixa variação das ondas nessa região. O Brasil pode aproveitar esse potencial, além de maximizar a produção através do desenvolvimento de tecnologias adequadas às condições da sua região costeira, adicionando a sua matriz energética essa importante energia verde.

ENERGIA GERADA POR GRADIENTE DE SALINIDADE

A diferença de concentrações de sais entre fluidos gera um gradiente de salinidade. No encontro entre água doce, proveniente de rios, e água salgada oceânica, forma-se um gradiente salino que pode ser utilizado para a captação de uma energia gerada por gradiente de salinidade oceânico, também chamada de energia azul. As usinas que captam essa energia devem ser instaladas próximas a regiões de mistura, como nos estuários. Um dos métodos de geração usa geradores elétricos acionados por água pressurizada através de osmose retardada por pressão. Outro método viável é o de eletrodíálise reversa, onde eletrodos são oxidados e reduzidos em contato com água do mar em diferentes salinidades, levando à condução de elétrons por circuitos externos ao líquido. Já no método de geração de energia por pressão de vapor, as diferentes taxas de evaporação de águas com diferentes concentrações de sais geram pressurização de fluido, que fornece energia mecânica para geradores.

Na Amazônia Azul existem diversas regiões com grande potencial para a instalação de usinas geradoras de energia por gradiente de salinidade, devido ao grande número de estuários ao longo da costa brasileira. Vários estudos têm sido realizados para calcular essa potencialidade, considerando os possíveis impactos ambientais e a capacidade do estuário de fornecer água para essa finalidade.

ENERGIA GERADA POR GRADIENTE DE TEMPERATURA

A diferença de temperatura entre as águas superficiais e as águas profundas do oceano pode ser

usada para gerar um tipo de energia chamada de energia por gradiente térmico oceânico. Nas estruturas geradoras, águas superficiais, de maior temperatura, são usadas para a evaporação de um fluido (água ou amônia), e águas profundas, mais frias, são usadas para a condensação do vapor desses líquidos.

Devido à sua localização, grande parte da Amazônia Azul possui temperatura da superfície do mar adequada para a instalação de estruturas geradoras de energia por gradiente térmico, apresentando um grande potencial de geração e podendo se tornar um importante componente da matriz energética verde nacional.

ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

Os ventos podem ser utilizados para a geração de uma energia chamada de energia eólica. O Brasil é um grande produtor dessa energia, com um potencial instalado atual de trinta gigawatts. Por conta dos regimes de vento, a região Nordeste possui o maior potencial.

A energia eólica *offshore* é aquela captada por aerogeradores instalados no oceano e, atualmente, existem diversas tecnologias que permitem a instalação dessas turbinas no mar, como diferentes estruturas de pilares e aparatos fundeados, para regiões de pequena profundidade, e estruturas flutuantes, para maiores profundidades.

O Brasil possui 78 projetos de plantas de energia eólica *offshore* em desenvolvimento e estudos estão sendo feitos para avaliar os impactos ambientais e sociais da instalação dessas estruturas. A redução desses impactos pode levar à atividade sustentável dos aerogeradores, adicionando uma importante fonte de energia à matriz energética nacional.

BIOCOMBUSTÍVEIS

A Amazônia Azul possui uma exuberante biodiversidade e pode abrigar espécies de microrganismos com grande potencial biotecnológico. Entre os importantes grupos de organismos destacam-se as microalgas e as cianobactérias, seres planctônicos capazes de sintetizar grandes quantidades de biocompostos com amplo potencial de aplicação em diversas atividades. Um exemplo são

os lipídeos, que podem ser refinados para a produção de biocombustíveis.

A produção em grande escala de microalgas e cianobactérias marinhas requer acesso à água salgada, temperatura adequada e proximidade de estruturas portuárias. Logo, a Amazônia Azul, além de abrigar espécies promissoras, possui grandes áreas adequadas para a instalação de plantas de produção de microrganismos fitoplanctônicos marinhos.

HIDROGÊNIO VERDE

O hidrogênio verde (H₂V) é produzido por meio da eletrólise da água, um processo no qual uma corrente elétrica, proveniente de uma fonte



Imagem: Freepik

Ilustração de turbinas de vento no oceano utilizadas na geração de energia eólica

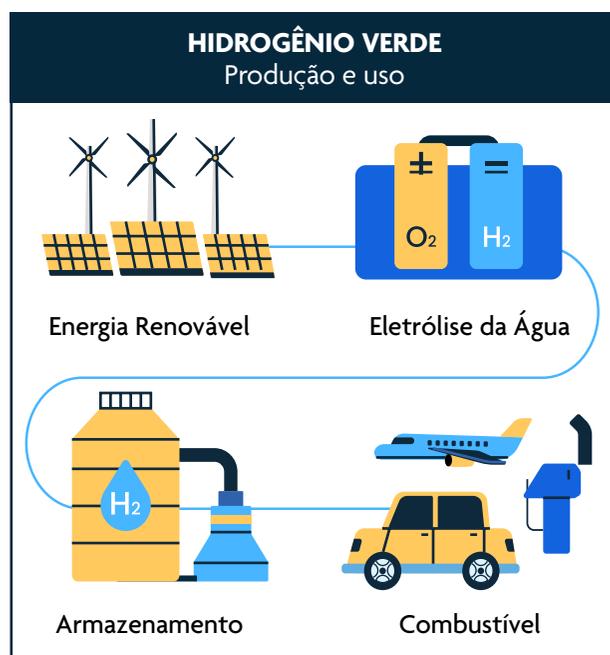


Imagem: Freepik

renovável, divide a molécula de água (H₂O) em hidrogênio e oxigênio puros. O hidrogênio é um insumo bastante utilizado em diversas atividades, como o refinamento do petróleo, produção de amônia e aço e a redução do ferro. O hidrogênio usado atualmente nessas atividades é produzido por processos que utilizam a queima de combustíveis fósseis, uma atividade bastante poluente.

O hidrogênio é visto como um dos principais elementos na transição energética para fontes renováveis. Pode ser usado como combustível em motores adaptados ou para a produção de amônia, que posteriormente pode ser convertida em energia ou usada para fabricação de fertilizantes. Além disso, esse hidrogênio pode substituir o utilizado atualmente, cujos processos de produção emitem grandes quantidades de carbono.

A necessidade de água doce, a instalação de plantas produtoras próximas a fontes de energia renovável e a dependência de estruturas portuárias consolidadas representam grandes desafios para a expansão da produção de hidrogênio verde. Com seu vasto potencial para abrigar plantas de dessalinização de água do mar e diversos tipos de instalações de geração de energia limpa, a Amazônia Azul desempenha um papel estratégico para posicionar o Brasil como um dos principais produtores globais de hidrogênio verde.

ELEMENTOS TERRAS RARAS

Os Elementos Terras Raras (ETRs) são elementos químicos da série dos lantanídeos que têm moderada presença na terra. Esses elementos são essenciais para a indústria da energia eólica e de carros elétricos, muito importantes para a transição energética para fontes mais limpas. Na energia eólica são usados ETRs como o Neodímio, o Praseodímio e o Disprósio para a construção de elementos magnéticos permanentes utilizados nos geradores das turbinas. A importância dos ETRs para os carros elétricos também se deve à necessidade de grandes quantidades de elementos magnéticos para o funcionamento dos veículos.

O Brasil possui a segunda maior reserva global de Elementos Terras Raras, ficando atrás apenas da China. Além disso, estudos ao redor do mundo já identificaram grandes depósitos desses ele-



Imagem: Adobe Stock

Componente do grupo das terras raras, o Neodímio é essencial na fabricação de elementos magnéticos permanentes usados em geradores de turbinas eólicas. Este elemento químico desempenha um papel estratégico na transição para fontes de energia limpa e renovável

mentos no leito submarino. Com o avanço das tecnologias que viabilizam a mineração em mar profundo, a Amazônia Azul passa a apresentar um potencial gigantesco de prover grandes quantidades desses elementos tão essenciais para a adequação ao novo paradigma energético.

CONCLUSÃO

O Estado brasileiro e as partes que o compõem têm tomado ações para a regulação e o incentivo das atividades geradoras de energia verde. A criação dos marcos legais da energia eólica *offshore* e do H2V, atualmente em tramitação nas casas legislativas, vão permitir a alavancagem dessas atividades. Investimentos como o programa BNDES Azul e o Fundo Garantidor de Crédito de Biogás, bem como o incentivo do mercado de carbono, alinhado à Política Nacional dos Biocombustíveis (RenovaBio), devem cada vez mais fomentar o desenvolvimento tecnológico de energias limpas no Brasil, o que depende umbilicalmente da proteção, estudo e exploração consciente dos infintos recursos da Amazônia Azul. ■

* doutorando em Ciências Marinhas Tropicais pela Universidade Federal do Ceará