

ENERGIA RENOVÁVEL ▲

Pesquisadores estudam como
explorar o potencial eólico existente
ao largo da costa brasileira

Domingos Zapparoli

A
FORÇA
DOS
VENTOS

MARINHOS

O Brasil tem um litoral de 7.367 quilômetros (km) de extensão e uma área marítima de 3,5 milhões de quilômetros quadrados (km²). Essa imensa região ainda não entrou no horizonte dos investidores em geração de energia renovável no país. Mas centros de pesquisas brasileiros estão atentos ao potencial energético de ondas, marés e gradiente térmico marítimo – a diferença de temperatura da água da superfície e do fundo do oceano –, assim como à possibilidade de explorar a energia proveniente dos ventos que sopram sobre o mar. “Estamos gerando conhecimento e dominando as tecnologias. Como já ocorre em vários países, no futuro o Brasil também vai buscar energia em áreas *offshore* [ao largo da costa]”, diz o engenheiro naval Alexandre Nicolaos Simos, do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP).

Simos coordena um grupo de pesquisas voltado ao desenvolvimento de turbinas eólicas flutuantes *offshore*. Ele explica que as turbinas *offshore* predominantes no mundo são fixas. Elas têm como fundação pilares fincados no leito e localizam-se predominantemente em águas rasas, junto

à costa. Esse sistema exige que sejam realizadas obras de construção civil no mar e demanda embarcações de grande porte capazes de fincar estacas e suspender as torres, de até 100 metros (m) de altura, que dão suporte às turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores. Os custos da operação dependem do tipo de solo marinho.

Já a instalação das turbinas flutuantes é mais simples. Elas são montadas em estaleiros e rebocadas até a área de operação. Isso também permite que sejam levadas de volta ao estaleiro em caso de uma grande avaria. “A logística é a mesma da empregada nas plataformas de petróleo *offshore*”, compara Simos.

As turbinas flutuantes, no entanto, demandam plataformas, cascos sobre os quais serão instaladas. Trata-se, na maioria dos casos, de um sistema similar ao das plataformas de petróleo semissubmersíveis, como as da Petrobras na baía de Campos, na costa fluminense, ou as plataformas *spar*, os cilindros verticais comuns na indústria petrolífera do golfo do México. Os cascos são ancorados com linhas de amarração, normalmente correntes de aço especial com uma âncora fincada no fundo do mar.

“São estruturas caras que, atualmente, têm custos superiores aos das turbinas *offshore* fixas”, pondera Simos. Por essa razão, hoje elas são uma opção para águas acima de 50 m de profundidade e mais distantes da costa. Quanto maior a distância, porém, maior a extensão de cabos de transmissão de energia até as subestações de energia em terra, o que também representa custo.

O propósito da Poli é desenvolver projetos de plataformas e sistemas de ancoragem mais econômicos, com a otimização da geometria dos cascos e o uso de materiais mais leves para a ancoragem. Outra meta é criar novos conceitos de plataformas e amarração, que permitam o casco se movimentar conforme as condições climáticas e as ondas sem prejudicar significativamente o desempenho das turbinas. “Essa é a fronteira do desenvolvimento tecnológico em geração eólica *offshore* no mundo. É importante o Brasil ganhar know-how nesse tipo de tecnologia”, diz Simos.

Ainda são poucos os parques comerciais de turbinas eólicas flutuantes. O primeiro piloto de maior capacidade, o Hywind Scotland, foi inaugurado em 2017 na Escócia pela Statoil (hoje Equinor), com capacidade de 30 megawatts (MW). Em 2020, a EDP Renováveis, Engie e Repsol instalaram o WindFloat Atlantic, em Portugal, com capacidade inicial de 25 MW. Simos aposta em uma evolução significativa na geração eólica flutuante nas próximas décadas. Uma motivação é a força e a constância nos ventos *offshore*; outra é reflexo de uma questão social. “Grandes parques eólicos podem impactar a paisagem, a pesca ou gerar ruído, trazendo prejuízos às comunidades vizinhas”, ressalta o professor da Poli.

Outro incentivo deve vir das companhias que exploram petróleo *offshore*. As turbinas eólicas

flutuantes podem ser uma alternativa para reduzir as emissões de poluentes e aumentar o abastecimento de eletricidade das plataformas em alto-mar. Já há projetos de pesquisa desenvolvidos no exterior que buscam avaliar a viabilidade técnica e econômica desse tipo de aplicação.

O relatório 2018 do Global Wind Energy Council estima em 23,1 gigawatts (GW) a potência eólica *offshore* instalada, sendo que 90% estão no Reino Unido, na Alemanha e na China. A Agência Internacional de Energias Renováveis (Irena) informa que apenas em 2018 entraram em operação 4,5 GW e destaca que os projetos estão cada vez mais distantes da costa, chegando a até 90 km.

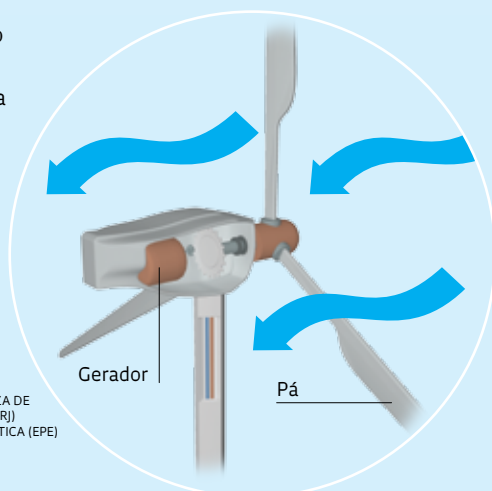
Uma tendência é o aumento da capacidade das turbinas *offshore*. Até o ano 2000, elas tinham 1,6 MW de potência, em média. Os equipamentos instalados em 2018 apresentaram potência de 5,5 MW, e os encomendados naquele ano chegavam a 8,8 MW. Alguns dos principais fabricantes de turbinas, como a espanhola Siemens Gamesa, a dinamarquesa Vestas e a norte-americana GE, já trabalham no desenvolvimento de turbinas com capacidade de 10 MW e 12 MW para serem lançadas até 2022.

Não há diferença tecnológica entre os aerogeradores *offshore* e *onshore* (em terra), a não ser a potência. Apenas recentemente foram lançadas as primeiras turbinas *onshore* na casa de 5 MW (ver Pesquisa FAPESP nº 275). No mar, as turbinas podem ser mais potentes porque não causam impacto sonoro ou na paisagem, como ocorre com os equipamentos instalados em terra. Além disso, os ventos são mais regulares, por se deslocarem livremente, sem obstáculos como morros, montanhas ou infraestruturas construídas.

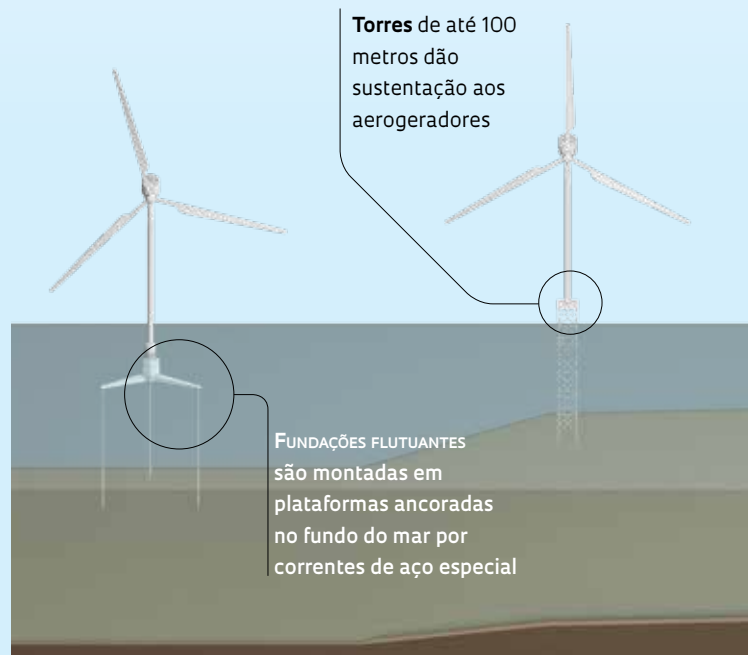
A GERAÇÃO EÓLICA OFFSHORE

Saiba como a energia é produzida a partir dos ventos oceânicos e enviada à rede de distribuição

A energia cinética do vento é convertida em energia mecânica pelas pás das turbinas eólicas, que é transformada em energia elétrica pelo gerador



FONTES: AMANDA JORGE VINHOZA DE CARVALHO SILVA (PPE-COPPE-UFRJ) E EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE)



Torres de até 100 metros dão sustentação aos aerogeradores

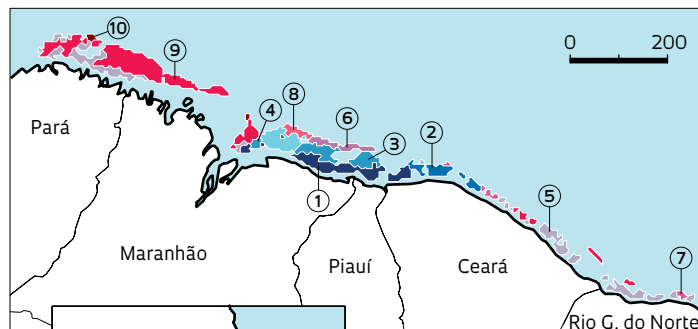
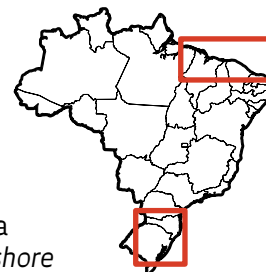
FUNDAÇÕES FLUTUANTES são montadas em plataformas ancoradas no fundo do mar por correntes de aço especial

Em janeiro, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), ligada ao Ministério de Minas e Energia, divulgou o documento “Roadmap eólica offshore Brasil”, com uma estimativa de 700 GW de potencial técnico para exploração eólica marítima no país, levando em conta áreas com boa qualidade de vento e profundidade de até 50 m. O volume potencial supera em muito a capacidade instalada em todo parque gerador brasileiro, de 170,5 GW, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Mas nem todo o potencial técnico pode ser usado, uma vez que há conflito de interesse com outras atividades, como rotas marítimas, dutos de petróleo, áreas de pesca ou de lazer e reservas de preservação ambiental.

A engenheira ambiental Amanda Jorge Vinhoza de Carvalho Silva, pesquisadora do Centro de Economia Energética e Ambiental (Cenergia) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe-UFRJ), levou em consideração em um estudo esses fatores e mais a proximidade de portos, de onde saem os navios para a instalação e manutenção das estruturas marinhas, e a logística de conexão com as subestações de energia em terra. Na dissertação de mestrado “Potencial eólico offshore no Brasil: Localização de áreas nobres através de análise multicritério”, defendida no ano passado, Vinhoza detectou as 10 áreas mais adequadas para instalação de parques offshore no país (ver infográfico ao lado). Juntas, essas regiões somam quase 42 mil km², concentrados no Pará e em estados do Nordeste e do Sul, e apresentam um potencial de geração de cerca de 126 GW. “Equivale a nove usinas de Itaipu, que tem capacidade de 14 GW”, compara.

POTENCIAL DA COSTA BRASILEIRA

As 10 melhores regiões do país para a instalação de parques eólicos offshore



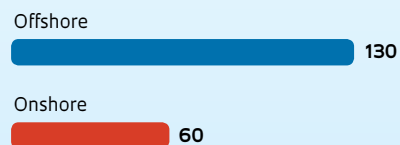
Estados	Capacidade instalável (GW)
1 MA, PI e CE	18,6
2 MA e CE	7,1
3 MA e PI	11,7
4 MA e CE	8,4
5 PA, MA, CE e RN	25,5
6 MA e PI	4,7
7 CE e RN	2,4
8 MA	2,5
9 PA, MA, CE, RN, SC e RS	43,6
10 PA, MA, RS	1,4

FONTE “POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE NO BRASIL: LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS NOBRES ATRAVÉS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO”, DE AMANDA JORGE VINHOZA DE CARVALHO SILVA (PPE-COPPE-UFRJ)

INFOGRÁFICOS ALEXANDRE AFFONSO

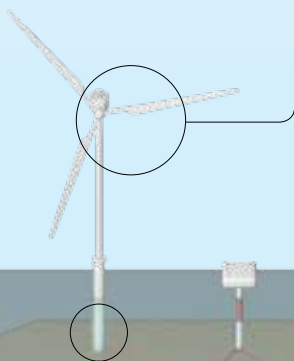
Custo médio nivelado de energia eólica

No mundo em 2018, em US\$/MWh



FONTE AMANDA JORGE VINHOZA DE CARVALHO SILVA COM DADOS DA IRENA

Os aerogeradores offshore têm os mesmos aspectos tecnológicos dos equipamentos onshore. A diferença entre eles é a potência. Enquanto as turbinas offshore já chegam a 11 megawatts (MW), as maiores onshore alcançam 5 MW



AS FUNDAÇÕES FIXAS SÃO instaladas no fundo do oceano. Os sistemas mais comuns são as monoestacas e as em forma de tripé



CABOS SUBMARINOS fazem a transmissão da energia gerada para uma subestação de energia em terra



USINAS DE ONDAS E MARÉS

Estrutura para gerar energia a partir das ondulações do mar será testada no litoral fluminense

O desenvolvimento de um sistema de conversão de ondas do mar em eletricidade é uma prioridade do Grupo de Energias Renováveis do Oceano do Laboratório de Tecnologia Submarina da Coppe-UFRJ. Em 2010, uma equipe de pesquisadores coordenada por Segen Estefen instalou no Porto do Pecém (CE) a primeira usina de ondas das Américas. O projeto, patenteado pela Coppe, utilizava uma estrutura apoiada em terra que se prolongava sobre o quebra-mar e uma câmara hiperbárica para gerar pressão e movimentar a turbina geradora (ver Pesquisa FAPESP nº 113).

A usina-piloto manteve-se ativa por quatro anos. “Provamos a viabilidade técnica, mas não a econômica”, relata Estefen. Agora uma nova tecnologia, mais econômica, está sendo preparada para testes nas imediações da Ilha Rasa, a cerca de 10 quilômetros mar adentro da praia de Copacabana, no Rio de Janeiro.

O novo conversor de ondas será constituído de uma boia oscilante de formato cilíndrico e extremidade cônica de 4,5 metros (m) de diâmetro com movimentos verticais acoplada a um sistema de controle de travamento.

O movimento da boia alimenta o gerador elétrico. A estrutura é apoiada com quatro colunas em uma base de concreto, a uma profundidade de 20 m. O protótipo terá potência instalada de 80 quilowatts (kW).

Outras duas tecnologias estão no horizonte dos pesquisadores da Coppe. Uma delas prevê o aproveitamento das marés. O sistema demanda a construção de uma barragem com comportas e turbinas hidráulicas. O reservatório enche na maré alta e esvazia na maré baixa. A passagem da água movimentada as turbinas. O estuário do rio Bacanga, no Maranhão, onde já existe uma barragem, é um local adequado para a instalação de uma usina maremotriz

piloto. Outra região promissora, segundo o governo maranhense, é a baía de Turiaçu, com potencial para uma usina de 3,4 gigawatts (GW).

A outra linha de pesquisa é o aproveitamento da diferença de temperatura das águas do oceano, quando a variação da temperatura na superfície e no fundo do mar supera 20 °C. Como explica Estefen, existem diferentes técnicas em estudo no mundo para o aproveitamento do gradiente térmico. O sistema de conversão de energia térmica oceânica (conhecido como Otec) prevê o bombeamento de água do fundo para um trocador de calor junto à superfície com o objetivo de gerar vapor para movimentar as turbinas. “A energia elétrica oceânica está em fase experimental em todo mundo, mas acredita-se que ela será representativa na matriz energética nas próximas décadas”, diz Estefen.

Para o professor do programa de Planejamento Energético da Coppe, Roberto Schaeffer, orientador de Vinhoza, o mapeamento feito por sua aluna é importante para orientar investimentos, mas ele não vê viabilidade para projetos no país no curto prazo. “No cenário para a matriz elétrica 2050 da Coppe não detectamos oportunidade econômica para a geração *offshore* no Brasil”, diz.

Schaeffer destaca que nosso país tem uma matriz elétrica com mais de 80% de fontes renováveis. Portanto, não sofre a mesma pressão por substituição de fontes fósseis, como ocorre na Europa e na China atualmente. O Brasil também tem um grande potencial eólico *onshore*, na casa de 500 GW, dos quais apenas 15 GW são explorados atualmente. “Os investimentos *offshore* só ocorrem quando se esgotam as oportunidades em terra ou existe uma grande rejeição social em relação à instalação de turbinas próximas a comunidades. Nenhuma dessas situações está presente hoje no Brasil”, destaca.

Uma análise puramente econômica demonstra a baixa competitividade da geração eólica *offshore* hoje. Levantamento de Amanda Vinhoza com base em dados de 2018 da Irena indica que o custo nivelado de energia, num cálculo que leva em consideração o ciclo de vida da usina geradora, é de US\$ 130 por MWh em média no mundo na

geração eólica *offshore*, enquanto o custo médio da geração em terra é de US\$ 60 por MWh.

No Brasil, outro obstáculo é a falta de regulamentação de complexos *offshore*. Em 2018 o Senado Federal aprovou o Projeto de Lei nº 484/2017, que prevê um sistema de concessões de áreas marítimas para a geração de energia a partir de fontes eólicas e solares. O projeto agora tramita na Câmara dos Deputados. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) também não conta com um termo de referência modelo para o licenciamento ambiental de usinas *offshore*. A elaboração do documento, que orientará os estudos de impacto ambiental, teve início em janeiro deste ano. ■

Projetos

1. Modelagem e simulação numéricas aplicadas à energia eólica – Parte da proposta HPCWE submetida à chamada H2020-FETHPC-2018-2020 (nº 19/01507-8); **Modalidade** Auxílio à Pesquisa – Regular; **Convênio** União Europeia (Horizonte 2020); **Pesquisador responsável** Bruno Souza Carmo; **Investimento** R\$ 146.870,00.
2. Análise transitória de faltas internas e proteção de geradores eólicos (nº 17/09554-0); **Modalidade** Auxílio à Pesquisa – Regular; **Pesquisador responsável** Renato Machado Monaro; **Investimento** R\$ 136.266,21.
3. Modelo estrutural para estudo da dinâmica de pás de turbinas eólicas (nº 15/11655-3); **Modalidade** Auxílio à Pesquisa – Regular; **Pesquisador responsável** Alfredo Gay Neto; **Investimento** R\$ 42.764,65.