

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDUARDO DERING

**ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DO SETOR DE ENERGIA
EÓLICA OFFSHORE NO BRASIL**

CURITIBA

2021

EDUARDO DERING

**ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DO SETOR DE ENERGIA EÓLICA
OFFSHORE NO BRASIL**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA

2021

RESUMO

A chamada transição energética está fortemente ligada à economia de baixo carbono e vem sendo impulsionada principalmente por medidas de aumento de eficiência energética e pela produção de energia através de fontes consideradas renováveis. Neste sentido, o mercado de energia eólica tem crescido exponencialmente no mundo nos últimos anos, com capacidade instalada mundial passando dos 651 GW em 2019, principalmente em razão de três áreas de interesse: segurança energética, cadeia produtiva e mitigação do impacto ambiental. A participação da fonte eólica vem crescendo na matriz elétrica no Brasil com taxa média de crescimento anual da capacidade instalada de aproximadamente 48% entre 2007 e 2016. No Brasil, a Petrobras foi pioneira ao sinalizar interesse em fazer os primeiros investimentos em geração de energia eólica offshore através de uma licitação para um projeto no litoral do estado do Rio Grande do Norte com o objetivo de instalar aerogeradores em campos de águas rasas entre 2018 e 2022. Visando o potencial brasileiro observa-se que o desenvolvimento do setor energia eólica *offshore* no país terá papel importante na ampliação e diversificação da matriz energética brasileira na busca pelo atingimento das metas de sustentabilidade econômica, social e ambiental.

Palavras-chave: Energia eólica. Transição energética. Energia renovável. Eólica offshore.

ABSTRACT

The so-called energy transition is strongly linked to the low carbon economy and has been driven mainly by actions to increase energy efficiency and the production of energy from renewable sources. In this sense, the wind energy market has grown exponentially in the world in recent years, with worldwide installed capacity exceeding 651 GW in 2019, mainly due to three areas of interest: energy security, production chain and environmental impact mitigation. The share of wind power has been growing in the electricity matrix in Brazil with an average annual growth rate of installed capacity of approximately 48% between 2007 and 2016. In Brazil, Petrobras was a pioneer with the intent of making the first investments in wind power generation offshore through a bidding process for a project on the coast of the state of Rio Grande do Norte with the objective of installing wind turbines in shallow water fields between 2018 and 2022. Regarding the Brazilian potential, it is observed that the development of the offshore wind energy sector in the country will play an important role in expanding and diversifying the Brazilian energy matrix in the pursuit of achieving economic, social, and environmental sustainability goals.

Keywords: Wind energy. Energy transition. Renewables. Offshore wind.

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	4
2. O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO MUNDO	6
2.1. O MERCADO EUROPEU DA ENERGIA EÓLICA <i>OFFSHORE</i>	7
3. O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	10
3.1. PROJETOS EM DESENVOLVIMENTO NO BRASIL	11
4. CONCLUSÕES	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13

1. INTRODUÇÃO

A busca pela redução das emissões dos gases causadores do efeito estufa e da poluição atmosférica vem orientando a diminuição do consumo de combustíveis fósseis na cadeia global de produção de energia (IEA, 2018). A chamada transição energética está diretamente vinculada à economia de baixo carbono e vem sendo impulsionada principalmente por medidas de aumento de eficiência energética e pela produção de energia através de fontes consideradas renováveis (IEA, 2018b, 2018a; THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL, 2018). O cumprimento das metas definidas no Acordo de Paris depende diretamente do crescimento da parcela de participação de fontes renováveis na matriz elétrica mundial para dois terços da produção total de energia até 2040 (IEA, 2018). Além de ser fundamental neste processo de transição, a diversificação da matriz energética através de fontes renováveis também resulta em benefícios sociais e de saúde, promovendo, por exemplo, a universalização do acesso à energia, melhorias na qualidade do ar, aumento da segurança energética, e desenvolvimento tecnológico e industrial (IEA, 2018b; THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL, 2018).

Em 2017, a demanda energética mundial cresceu 2,1%, a geração elétrica subiu 3,1% e houve recorde no nível de aumento das emissões de CO₂, atingindo 1,4%, mesmo com alguns países apresentando redução nas emissões (IEA, 2018a). Neste mesmo ano, a geração de energia por fontes renováveis atingiu a fração de 25% da geração elétrica mundial, com crescimento percentual anual maior do que qualquer outra fonte de geração de energia (IEA, 2018a). No Brasil, onde aproximadamente 65% da energia elétrica é produzida através da fonte hidráulica, a parcela de outras fontes renováveis vem aumentando significativamente, chegando a um crescimento percentual anual de 80,4%, impulsionado principalmente pela energia eólica (EPE, 2018a). Globalmente, em 2019 a energia eólica teve crescimento percentual anual de 19% e o aumento anual da capacidade instalada superou os 60 GW pelo segundo ano consecutivo, o que corrobora com a afirmação de que esta fonte vem colaborando significativamente para a transição energética mundial (GWEC, 2020; IEA, 2018a).

Um aspecto importante deste crescimento é a tendência global de migração do desenvolvimento do setor eólico do continente (*onshore*) para o mar (*offshore*). Entre as razões que vêm impulsionando esta tendência tem-se: o esgotamento das áreas disponíveis em terra para a implantação de novas usinas, principalmente na Europa,

que são os líderes do desenvolvimento *offshore*; o aproveitamento de regimes de ventos mais fortes e constantes; e a proximidade aos principais centros populacionais, localizados no litoral (GWEC, 2020; KALDELLIS; KAPSALI, 2013). No caso do Brasil, além destas motivações, há os fatos, por exemplo, de que o país possui: uma extensa faixa costeira de quase 7.400 km (BRASIL, 2017); condições climáticas favoráveis com remota possibilidade de ocorrência de intempéries nocivas como furacões e terremotos (BBC, 2018); sólido conhecimento e experiência em operações *offshore*, sendo a Petrobras uma companhia pioneira na produção de petróleo em águas profundas e ultra profundas (MORAIS, 2013); e um setor de energia eólica em crescente desenvolvimento e cada vez mais competitivo no cenário nacional (ABEEÓLICA, 2018). Ainda assim, apesar de existir um interesse nacional, mesmo que embrionário, de empresas e organizações em seguir a tendência mundial de desenvolver usinas com aerogeradores instalados *offshore* (EPE, 2018b; PETROBRAS, 2018), o setor ainda carece de análises técnicas e econômicas que visem determinar o real potencial eólico *offshore* do país.

2. O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA OFFSHORE NO MUNDO

O uso do vento para fins de geração de energia elétrica teve início no século XIX, na Dinamarca e nos Estados Unidos da América (EUA), a partir de máquinas que convertem vento em eletricidade. No entanto, é a partir da primeira crise do petróleo, em 1973, que o governo dos EUA realizou um firme e consistente esforço ao criar ações de apoio à pesquisa e ao desenvolvimento da energia eólica. O resultado foi um boom de parques eólicos na década de 1980, atingindo 1,8 GW de capacidade instalada no país. Nesse mesmo período, a Europa também realizou investimentos em energia eólica, motivada pela necessidade estratégica de aumentar a sua segurança energética e, posteriormente, por preocupações ambientais, com foco na redução das emissões de gases de efeito estufa. Na década de 1990, o mercado europeu de energia eólica se consolidou, tanto a nível de instalações, como de criação de uma cadeia produtiva de peças, componentes e softwares, derivada dos fortes incentivos das políticas públicas por parte de governos locais. O aproveitamento da energia eólica para geração elétrica tem crescido exponencialmente no mundo nos últimos anos, principalmente em razão de três áreas de interesse: segurança energética, cadeia produtiva e mitigação do impacto ambiental. A capacidade instalada mundial, que em 2001 era de 24 GW, passou, em 2019, para 651 GW (GWEC, 2020). A maior parte dos parques eólicos está instalada em terra (*onshore*), no entanto vários projetos têm sido desenvolvidos no mar (*offshore*), devido à redução de disponibilidade de locais apropriados em terra para instalação de novos parques e, principalmente, pela possibilidade de utilização de aerogeradores com maior capacidade produtiva. Do total da capacidade instalada mundial em 2019, aproximadamente 84% está localizada em apenas dez países, sendo os três maiores a China (37%), os EUA (17%) e a Alemanha (9%) (GWEC, 2020). O Brasil ocupa o oitavo lugar da lista, com aproximadamente 3% do total da capacidade instalada mundial, o que coloca o país em uma posição importante no cenário global, e com grande potencial de crescimento pela dimensão continental e pela qualidade dos ventos. Cabe ressaltar e reafirmar que o grande crescimento da energia eólica no mundo foi fruto de políticas públicas de promoção e de inserção de energias renováveis, como as adotadas na União Europeia (*European Parliament and Council of the European Union*, 2001; 2009), e a implementação de vários mecanismos de apoio, como o corte de impostos para renováveis, o mercado de crédito de carbono, as taxas de carbono, os sistemas de preços (tarifas feed-in) e os

sistemas de cotas (leilões de renováveis). Além das políticas públicas e dos mecanismos de apoio, pode-se afirmar que outros dois fatores também são relevantes para a expansão da fonte eólica no mundo, quais sejam, a redução dos custos da fonte eólica e o aumento do seu fator de capacidade. Quanto à redução dos custos, daqueles referentes à energia eólica onshore caíram 23%, de 2010 até 2017, com uma média de US\$ 0,06 por kWh, o que ocorreu principalmente devido à redução do custo dos aerogeradores à metade no mercado global, no mesmo período (IRENA, 2018). Os aerogeradores correspondem à maior fração do custo de um projeto eólico, situando-se entre 64% e 84%, nos projetos onshore, e entre 30% e 50%, nos projetos *offshore* (Blanco, 2009). O fator de capacidade (FC) da fonte eólica representa a proporção entre a geração efetiva da torre eólica e a capacidade total em um determinado período de tempo, sendo uma medida de produtividade. No mundo, o fator de capacidade vem aumentando devido aos avanços tecnológicos, tanto em materiais, quanto no porte das instalações, o que permite um melhor aproveitamento dos ventos. Destaca-se que o fator de capacidade médio mundial, para 2015, foi de 23,8%.

2.1. O MERCADO EUROPEU DA ENERGIA EÓLICA OFFSHORE

A energia eólica offshore constitui uma tecnologia relativamente recente, mas de rápido desenvolvimento, e se encontra no limiar da produção em larga escala. As primeiras turbinas de teste foram instaladas nos mares da Europa, na década de 1990. Desde então, e principalmente ao longo da última década, o crescimento das instalações no continente tem sido vertiginoso. A energia eólica offshore, no continente, registrou um recorde de 3.148 MW de capacidade instalada adicional, em 2017, o que corresponde a 560 novas turbinas eólicas em 17 parques eólicos. Atualmente, a Europa tem uma capacidade total instalada de energia eólica offshore de 15.780 MW, vinculada a 4.149 turbinas conectadas à rede elétrica em 11 países, sendo a líder mundial isolada. Deste modo, constata-se que houve um aumento exponencial da capacidade instalada offshore, a qual, até 2011, não chegava a 1.000 MW (*Wind Europe*, 2018). Porém, a capacidade total instalada de energia eólica offshore encontra-se concentrada em poucos países do continente, sendo que 98% do seu total localiza-se em cinco países. Dois países têm quase 80% das instalações offshore: o Reino Unido concentra 43% das instalações, com uma capacidade instalada de 6.835 MW, e a

Alemanha possui 34% das instalações, com 5.355 MW de capacidade instalada. A Dinamarca, a Holanda e a Bélgica possuem, respectivamente, 8%, 7% e 6% das instalações. Em 2017, foram definidos novos projetos de energia eólica offshore, os quais representaram novos investimentos de 7,5 bilhões de euros e que vão agregar um acréscimo de 2,5 GW de capacidade instalada (*Wind Europe*, 2018). Os países que mais realizaram aumentos de capacidade instalada foram o Reino Unido, com 1.679 MW, a Alemanha, com 1.247 MW, a Bélgica, com 165 MW, e a Finlândia, com 60 MW (*Wind Europe*, 2018). A região com mais instalações, em 2017, foi o mar do Norte, com 67% do total de instalações. Com relação aos fabricantes, dentre os dez maiores atores da indústria de energia eólica, seis são europeus: Siemens, EEW Group e ENERCON, da Alemanha, Vestas e Dong Energy, da Dinamarca, e Senvion, de Luxemburgo. Os fabricantes europeus são líderes internacionais na maioria dos componentes e das áreas tecnológicas chave, como as turbinas eólicas offshore, as fundações, as plataformas, as embarcações e os cabos. Hoje, a energia eólica offshore tem custos mais elevados do que outras fontes de energia renováveis, como a solar e a própria eólica onshore. No entanto, é possível afirmar que a energia eólica offshore constitui uma tecnologia com desenvolvimento a nível industrial relativamente recente e o potencial de redução de custos por meio de economias de escala e de aprendizado é grande. Destaca-se que este potencial pode ser plenamente concretizado por meio da implementação de políticas públicas de longo prazo (*Foundation Offshore Wind Energy*, 2014). Os regimes de apoio à energia eólica offshore são, geralmente, estabelecidos a nível nacional na Europa, além de serem financiados pelos consumidores de energia elétrica e pelos contribuintes dos respectivos países. No entanto, essas políticas de apoio precisam cumprir a legislação da União Europeia, a *Internal Electricity Market Directive* (2009/72/EC) e a *Renewable Energy Directive* (2009/28/EC). De acordo com Fichtner e Prognos (2013), o custo de energia elétrica de novos parques eólicos offshore poderia diminuir de 32% a 39%, até 2023, se equiparando, portanto, às outras fontes de energia. Além disso, é possível afirmar que o custo de capital também diminuirá para projetos offshore, devido ao aumento da experiência referente a estes projetos e aos efeitos da curva de aprendizado derivados de um ambiente de mercado estável (*Foundation Offshore Wind Energy*, 2014). As inovações regulatórias desempenharam um papel positivo no apoio ao crescimento em larga escala da energia eólica offshore. Em anos recentes, houve mudanças na forma como a maioria dos países concede subsídios para projetos eólicos offshore,

impulsionados pela necessidade de aumentar a concorrência e de diminuir os custos desta fonte. Alguns países europeus que apoiam a energia eólica offshore, como a Dinamarca e os Países Baixos, realizam leilões para locais offshore, com a concessão de autorizações de forma simultânea (*plug-and-play*), o que reduz o tempo de desenvolvimento e os custos. A Alemanha também está migrando para um sistema baseado em leilões, o qual, após um período de transição, deverá entrar em vigor em 2026.

3. O MERCADO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

No Brasil, o desenvolvimento do Setor Elétrico foi fortemente pautado por grandes usinas hidrelétricas com amplos reservatórios de água. Entretanto, devido ao avanço das pressões ambientais e ao esgotamento do potencial hídrico, constata-se o fim da hegemonia das centrais hidrelétricas na expansão da matriz. Desta forma, verifica-se uma tendência crescente e inevitável da diversificação da matriz elétrica brasileira, sendo que uma das principais e mais relevantes fontes neste processo de diversificação foi, é e será a expansão da energia eólica no Brasil. A participação da fonte eólica vem crescendo na matriz elétrica nacional, saindo de 0,25% (237 MW), em 2006, para 6,73% (10.124 MW), em 2016. Entre os anos de 2007 e 2016, a taxa média de crescimento anual da capacidade instalada dos parques eólicos foi de 48,43%, sendo a fonte que apresentou a maior expansão neste período (EPE, 2017). De acordo com a última versão do Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2026), principal estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) sobre a expansão do Setor Elétrico, a participação eólica na matriz, em 2026, será de 16,14% (28.470 MW). Assim, a fonte eólica deverá superar a fonte termelétrica em termos de potência instalada, em 2026, ficando atrás apenas da energia hidrelétrica. A política energética brasileira teve importante papel no fomento da energia eólica. Em 2002, foi criado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), instituído pela Lei nº 10.438/2002. Este programa de política pública, além de viabilizar a contratação de uma grande quantidade de parques eólicos, introduziu regras de conteúdo local, com o objetivo de estimular uma cadeia produtiva nacional. Outros instrumentos importantes de política pública foram os leilões, vinculados a um planejamento sério e consistente por parte das distribuidoras e da EPE, o que permitiu, via competição entre os agentes econômicos, a redução de custos da energia eólica contratada. Considerando os resultados dos leilões de energia elétrica realizados entre 2005 e 2017, os preços médios reais de contratação foram: 178,03 R\$/MWh para eólicas, 313,80 R\$/MWh para solares, 223,60 R\$/MWh para térmicas, 221,56 R\$/MWh para pequenas centrais hidrelétricas e 155,74 R\$/MWh para hidrelétricas (ANEEL, 2018). Desta forma, com exceção das usinas hidrelétricas de maior porte, os empreendimentos eólicos foram os mais competitivos. O fato de o Fator de Capacidade da energia eólica nacional apresentar a maior média mundial é outro elemento importante que explica o crescimento desta fonte no país. O FC evoluiu de 32,42%, em

2012, para 41,6%, em 2016 (MME, 2017), percentual quase duas vezes maior do que a média mundial. A sazonalidade da fonte eólica, no Brasil, acarreta o aumento do FC nos meses secos, de maio a novembro, e a sua diminuição nos meses úmidos, entre dezembro e abril. Pode-se afirmar que um aspecto positivo desta sazonalidade é a sua capacidade de complementar a geração de energia elétrica a partir da fonte hídrica, a qual concentra a maior parte da geração no período úmido do ano. Deste modo, estimular a fonte eólica contribui ainda mais para a sua participação no balanço energético nacional.

3.1. PROJETOS EM DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

No Brasil, a Petrobras foi pioneira ao sinalizar interesse em fazer os primeiros investimentos em geração de energia eólica *offshore*. A licitação para um projeto piloto no litoral do estado do Rio Grande do Norte deveria ocorrer em 2018, com o objetivo de instalar aerogeradores em campos de águas rasas, com previsão para entrar em operação em 2022. A principal vantagem da operação *offshore* é o maior FC das turbinas, o que se traduz como uma maior produtividade do aerogerador. Segundo o presidente do Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energia (Cerne), Jean-Paul Prates, a média da potência instalada dos aerogeradores brasileiros em terra é de, aproximadamente, 2 MW, enquanto no mar a capacidade das turbinas alcança 8 MW. Nesta planta-piloto, destacam-se dois aspectos principais. O primeiro é o fato de uma grande empresa estatal da área de energia estar liderando o movimento para a exploração eólica no mar, atendendo, em parte, as necessidades de energia elétrica não poluidoras *offshore*. O segundo seria a incerteza em relação aos retornos do projeto, considerando que, apesar de o mar oferecer um espaço maior e menos obstrução ao vento, a operação *offshore* é mais complicada, devido, sobretudo, a peculiaridades na forma de operação, manutenção e transmissão. Entretanto, se o projeto se comprovar economicamente viável, a expectativa da Petrobras é expandir sua operação *offshore*. Neste sentido, visando o sucesso destes empreendimentos, a companhia tem buscado parcerias com empresas com experiência neste tipo de tecnologia e de operação, como a norueguesa Equinor.

4. CONCLUSÕES

No caso do Brasil, é possível afirmar que há diversos benefícios da inserção da fonte eólica na matriz energética, principalmente devido à complementaridade com outras fontes de caráter renovável como, por exemplo a hidráulica. Além disso, apesar de razões e motivações distintas, o país parece estar seguindo na direção que a alguns países europeus trilharam na década de 1990, buscando maior aproveitamento da geração eólica e diversificando a matriz energética. Pode-se destacar, ainda, a elevada produtividade que os aerogeradores brasileiros apresentam, resultando na maior média de FC no mundo, acima de 40%. Em termos da produção *offshore*, quem iniciou o processo de desenvolvimento foi a maior empresa de energia do país (Petrobras) e, através de projetos piloto, a estatal mostra-se bem-posicionada para desenvolver conhecimento neste setor. Além disso, a geração eólica em alto mar pode ter seus custos reduzidos em virtude de economias de escopo, advindas do aproveitamento conjunto com plataformas de petróleo já existentes, o que se torna especificamente estratégico para a Petrobras. Assim, observando o potencial brasileiro e o caminho que tem sido perseguido globalmente, conclui-se que, o desenvolvimento do setor energia eólica *offshore* no Brasil terá papel importante na ampliação e diversificação da matriz energética brasileira na busca pelo atingimento das metas globais de sustentabilidade econômica, social e ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; HIDD, Gabriel; VARDIERO, Pedro. **Perspectivas da Energia Eólica offshore**. Agência Canal Energia. Rio de Janeiro, 06 de agosto de 2018.

DE CARVALHO SILVA, Amanda Jorge Vinhoza. **POTENCIAL EÓLICO OFFSHORE NO BRASIL: LOCALIZAÇÃO DE ÁREAS NOBRES ATRAVÉS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PIMENTA, Felipe; KEMPTON, Willett; GARVINE, Richard. Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil. **Renewable Energy**, v. 33, n. 11, p. 2375-2387, 2008.

IEA. Global Energy and CO2 Status Report 2017. IEA/International Energy Agency, 2018.

IEA. World Energy Outlook 2018 - EXECUTIVE SUMMARY. IEA/International Energy Agency, 2018

THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). **Official Journal of the European Union**, 2018.