

Panorama atual e futuro da energia eólica no Rio Grande do Norte

José Alderir da Silva¹

RESUMO

Em 2024 e nas últimas décadas, tem ocorrido uma constante preocupação com o meio ambiente, sendo os problemas ambientais debatidos em nível global. Nesses debates, entendeu-se que não se pode tratar o crescimento econômico como um sistema fechado, ou seja, sem relação com o meio ambiente. Com isso, diversos acordos foram realizados com o objetivo de reduzir a emissão de gases de efeito estufa. No Brasil, a energia eólica tem contribuído para que ocorra um equilíbrio entre crescimento econômico e sustentabilidade, sendo o Rio Grande do Norte um dos principais estados geradores de energia eólica no País. Assim, o objetivo deste artigo é analisar a evolução da capacidade instalada no estado potiguar, procurando entender os principais fatores que contribuíram para tornar o estado norte-rio-grandense um agente protagonista no setor eólico do Brasil. A análise evidenciou que, além das condições climáticas favoráveis, com abundância de ventos fortes e constantes, da disponibilidade de terras adequadas e de uma infraestrutura de transmissão preexistente, a expansão da energia eólica foi impulsionada por políticas públicas, como a de leilões de energia, por exemplo.

Termos para indexação: energia renovável, parque eólico.

Current and future overview of wind power in state of Rio Grande do Norte

ABSTRACT

In 2024 and in recent decades, there has been a constant concern for the environment, and environmental issues are discussed at a global level. In these debates, it has been understood that economic growth cannot be treated as a closed system, that is, as something unrelated to the environment. As a result, several agreements have been made to reduce greenhouse gas emissions. In Brazil, wind power has contributed to achieving a balance between economic growth and sustainability, and the state of Rio Grande do Norte is one of the leading states in wind power generation in the country. Therefore, the objective of this article is to analyze the evolution of installed capacity of wind power in the state of Rio Grande do Norte, seeking to understand the key factors that have contributed to making that state a leading player in Brazil's wind sector. The analysis has shown that in addition to favorable climatic conditions, with an abundance of strong and constant winds, the availability of suitable land and a pre-existing transmission infrastructure, the expansion of wind power has been driven by public policies, such as energy auctions, for example.

Index terms: renewable energy, wind farm.

Ideias centrais

- O Rio Grande do Norte é um dos principais estados geradores de energia eólica, com potencial de crescimento da oferta.
- Em 2008 e 2009 foram contratados 32 parques eólicos via a política de leilões do governo.
- Em maio de 2023, havia 30 municípios potiguares com, pelo menos, um parque eólico instalado.
- No RN, estado de maior capacidade instalada e de geração de energia eólica no Brasil, em 2023, existiam 140 parques eólicos sendo construídos, com maior concentração em Lajes.
- O RN possui um potencial eólico de 54,48 GW para capacidade offshore em águas com profundidade entre -2 m e -100 m e em uma distância de 10 Km a 15 Km da linha da costa.

Recebido em
10/04/2023

Aprovado em
08/12/2023

Publicado em
04/12/2024



This article is published in Open Access under the Creative Commons Attribution licence, which allows use, distribution, and reproduction in any medium, without restrictions, as long as the original work is correctly cited.

¹ Bacharel em Economia, doutor em Economia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), professor na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (Ufersa), lotado no Departamento de Engenharias (Denge), líder do grupo de pesquisa Laboratório em Economia da Transição Energética (Laete). E-mail: josealderir16@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável é definido como um processo que atende as necessidades presentes sem comprometer a capacidade da geração futura de atender suas próprias necessidades demandadas (Lopez, 2002). Dentro desse conceito é que se insere a utilização das energias renováveis, uma vez que não são dependentes de recursos finitos e não degradam o meio ambiente.

Portanto, a definição de desenvolvimento sustentável consiste em conciliar o crescimento econômico com a preservação dos recursos naturais. Por isso, o desenvolvimento econômico deve ser orientado por um aspecto de longo prazo, pensando na conservação do meio ambiente e garantindo o bem-estar das gerações futuras, como já defendiam Furtado (1974) e Sachs (1993).

O crescimento econômico, combinado com a exploração dos recursos naturais de forma insustentável, pode provocar riscos ao planeta e à sobrevivência da própria espécie humana. Sendo assim, fica evidente a importância da questão ambiental para que qualquer economia alcance o desenvolvimento de forma sustentável. Segundo Silva (2023), as fontes de energia renováveis exercem uma ação relevante para que as economias encontrem um equilíbrio entre crescimento e sustentabilidade.

Não obstante, apesar do avanço nas últimas décadas, a participação das energias renováveis na matriz energética mundial ainda é relativamente pequena, cerca de 30%, como afirmam Cunha et al. (2024). Continua sendo um desafio para as economias produzir seus bens e serviços de forma sustentável, sem gerar impactos ambientais significativos. Nas próximas décadas, o processo de desenvolvimento tecnológico deverá se concentrar nessas fontes de energia renováveis, em especial a eólica, para a qual se verifica um crescimento exponencial nos últimos anos.

Conforme Silva (2023), o Brasil se insere em um cenário favorável. Mais de 50% de sua matriz energética em 2022 é composta por energia hidrelétrica, sendo a energia eólica e a biomassa também de grande relevância, com participação de 12,7% e 8,9% respectivamente.

No entanto, essa predominância da energia hidrelétrica tende a diminuir diante das barreiras ambientais para aprovação de novos projetos, que se devem à possibilidade de produzir profundos impactos no meio ambiente. Desse modo, surgindo uma limitação à sua expansão, abre-se espaço para outras fontes de energia para as quais o País possui potencial, como a eólica.

Segundo o Greenpeace Brasil (2016), em 2050 a participação da energia hidrelétrica na matriz brasileira será de 28%, a da energia eólica de 24,35%, a da biomassa de 5,44%, a da energia solar de 28,65%, e a das demais (solar concentrada, oceânica e hidrogênio) de 9,16%. Isso significa que, em 2050, toda a matriz elétrica brasileira será composta de fontes renováveis, zerando-se a emissão de gases de efeito estufa do setor de energia.

Entre essas fontes renováveis, a energia eólica tem apresentado notoriedade, com uma capacidade instalada significativa nos últimos anos. A capacidade instalada do Brasil passou de menos de 1 GW (gigawatts) em 2006 para 1,5 GW em 2011, para 10 GW em 2016, alcançou 17 GW em 2020 e, em meados de 2023, já detinha cerca de 26 GW de capacidade instalada.

Esse crescimento da energia eólica no Brasil tem proporcionado ganhos ambientais, econômicos e sociais. Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2022), em 2021, cerca de 35 milhões de toneladas de CO₂ foram evitadas pela geração da energia eólica, equivalente à emissão de 34 milhões de automóveis de passeio. No que diz respeito ao investimento, o total realizado entre 2010 e 2021 foi de US\$ 42,3 bilhões, tendo gerado aproximadamente 11 empregos para cada megawatt (MW) instalado. Além disso, 36,2 milhões de residências são abastecidas por energia eólica, o que equivale a mais de 100 milhões de pessoas.

Entre os 12 estados que possuem parques eólicos no Brasil, o do Rio Grande do Norte tem se destacado pela capacidade instalada e pelo seu potencial ainda não explorado. O estado detinha 245 parques eólicos em operação no início de 2023, o que equivale a 7,5 GW ou a quase 30% da capacidade instalada no Brasil. Essa capacidade instalada do estado potiguar é superior à de países europeus, como a Holanda e a Finlândia. Além disso, existem 140 parques em construção com capacidade para gerar 5,7 GW até 2025, o que vai proporcionar uma capacidade total de 13,24 GW.

O objetivo do presente trabalho é analisar a evolução da capacidade instalada no estado do Rio Grande do Norte e seus municípios, procurando entender os fatores que contribuíram para o protagonismo do estado bem como a perspectiva de crescimento de seu potencial eólico nos próximos anos.

O trabalho justifica-se pela necessidade de compreender a evolução da capacidade instalada de energia eólica no estado do Rio Grande do Norte e seus municípios, identificando os fatores que contribuíram para o protagonismo do estado nesse setor. Essa análise é crucial para delinear as políticas públicas e os investimentos necessários para o desenvolvimento contínuo e sustentável da energia eólica na região.

Para alcançar esse objetivo, o trabalho está organizado em cinco seções adicionais, além desta introdução. Na seção subsequente, apresenta-se um breve histórico da energia eólica, destacando-se os principais países que têm promovido o desenvolvimento desse tipo de energia limpa no mundo. A seção seguinte oferece uma análise da evolução da capacidade instalada no Brasil. Nas duas seções seguintes, realiza-se uma análise detalhada do estado do Rio Grande do Norte, abordando seu potencial eólico.

CONTEXTO HISTÓRICO E A EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

Atualmente, no século XXI, é possível ter uma visão mais concreta sobre os impactos que a energia mecânica proveniente dos ventos tem na vida da sociedade. Os primeiros indícios do aproveitamento desse tipo de energia podem ser encontrados muitos séculos atrás, mais especificamente no século VII, na antiga Pérsia.

Esses primeiros moinhos de vento, que eram utilizados em sua origem, segundo Lopez (2002), para moer grãos e na produção de farinha, espalharam-se pelo mundo. No século XII alcançaram a Europa e tornaram-se populares e comuns em muitos países europeus, principalmente nos Países Baixos, onde passaram a ser utilizados para drenar terras alargadas e na produção de energia mecânica.

Outras regiões no mundo, como Ásia, África e as Américas, adotaram o uso dos moinhos, tendo cada continente realizado adaptações às suas necessidades específicas. Com o avanço da tecnologia, os moinhos foram substituídos por outras formas de geração de energia, como motores a vapor e a eletricidade.

Assim, o vento tem sido utilizado como fonte de energia por diferentes civilizações desde a antiguidade², mas somente no final do século XIX é que o vento passa a ser transformado em eletricidade, tendo Charles F. Bush e Thomas Edison como os pioneiros da energia eólica³.

Nesse período, que também é marcado pela Revolução Industrial, tem-se uma profunda transformação nos processos de produção, sendo introduzido o uso dos combustíveis fósseis. Dutra (2008) mostra que *pari passu* com essas mudanças surgiram pesquisas com o objetivo de adaptar os

² Cunha et al. (2019) citam que os babilônios e persas já faziam uso de moinhos de vento com o objetivo de moer grãos.

³ O mecanismo de transformação de energia mecânica proveniente dos ventos em elétrica é similar ao que acontece com a produção de energia em hidrelétricas, sendo possível graças ao fenômeno físico conhecido como indução eletromagnética.

moinhos para gerar eletricidade por meio dos ventos e, assim, o primeiro aerogerador é inventado pelo americano Charles Bush.

Em 1888 Charles construiu, na cidade de Cleveland, Estados Unidos, o primeiro moinho de vento para gerar eletricidade. Com cerca de 17 m de altura e uma capacidade de 12 kW, o moinho alimentava 350 lâmpadas incandescentes de 55 W cada uma (Amorim, 2021).

Em relação a Thomas Edison, segundo Caixeta (2014), embora ele seja amplamente conhecido pela invenção da lâmpada incandescente e o desenvolvimento de um sistema de distribuição de energia elétrica, ele também contribuiu para o avanço da energia eólica. Em 1919 ele desenvolveu algumas patentes relacionadas com a energia eólica, como o design de uma turbina eólica vertical. Além disso, teve um papel importante ao reconhecer o potencial da energia eólica para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, devendo ser explorada como fonte de energia limpa e sustentável.

Não obstante, com o surgimento da eletrificação em larga escala no início do século XX, a energia eólica perdeu espaço para outras fontes de energia mais baratas, como o carvão e o petróleo. A energia eólica ficou restrita às áreas remotas e isoladas às quais a energia elétrica não chegava, tendo permanecido dessa forma por várias décadas.

Conforme Silva (2023), somente a partir da década de 1970, com a crise internacional do petróleo e a crescente preocupação com a questão ambiental, é que reaparece o interesse pela energia eólica, agora também favorecido pelo avanço tecnológico que tornou a energia eólica mais eficiente e econômica.

Na década de 1980, diversos países como Dinamarca, Estados Unidos e Alemanha passaram a investir de forma significativa no desenvolvimento da energia eólica, destacando-se a Dinamarca como líder mundial em virtude das suas políticas de promoção da energia dos ventos que permitiram construir vários parques eólicos offshore. O país foi responsável pelo primeiro parque eólico offshore do mundo, localizado em Vindeby, com 11 turbinas, que gerava cerca de 4,95 MW de potência⁴.

Já em meados dos anos 1980 é instalado o primeiro parque eólico onshore na cidade de Crotched Mountain, EUA, cuja capacidade de 600 kW estava distribuída em 20 turbinas eólicas. Com efeito, o número de aerogeradores instalados no mundo passou de 150 em 1981 para 16.000 em 1985 (Gnoatto, 2017).

Não obstante, nas décadas seguintes, diante do desenvolvimento de novas tecnologias e turbinas eólicas modernas e mais eficientes, ocorreu a expansão da capacidade de energia eólica em nível global. Todavia, não foi somente o avanço tecnológico que permitiu essa expansão, mas também as preocupações com o impacto ambiental causado pelo uso intensivo dos combustíveis fósseis.

Com o crescimento e desenvolvimento econômico das economias, observou-se um aumento da degradação do meio ambiente e, conseqüentemente, aumentaram as preocupações com os problemas ambientais causados pela queima dos combustíveis fósseis. Brown (2003) afirma que o aspecto econômico foi criado fora de sincronia com o ecossistema ao qual a economia pertence. Em junho de 1972, ocorreu a Conferência de Estocolmo, na Suécia, tendo sido a primeira vez que líderes mundiais se reuniram para discutir os impactos ambientais derivados do crescimento econômico.

Desde então ocorreram várias conferências internacionais para discutir os problemas relacionados ao meio ambiente. Entre as mais importantes, pode-se destacar a primeira Conferência das Partes (COP), realizada em 1995 na cidade de Berlim, Alemanha, sendo um ponto de partida no enfrentamento das mudanças climáticas. Essas conferências passaram a ser realizadas todo ano, e na

⁴ Segundo Câmara et al. (2019), o parque foi desmontado em 2017 e, ao longo dos 26 anos, produziu 243 GW/h de energia.

COP3 foi firmado o acordo que ficou conhecido como Protocolo de Kyoto, realizado no Japão em 1997. Esse acordo estabeleceu metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa para os países desenvolvidos, tendo entrado em vigor em 2005, sem a presença dos Estados Unidos. Em 2015, na COP21, realizada em Paris, França, foram firmados novos objetivos para enfrentar os problemas relacionados ao meio ambiente, dessa vez com a participação dos Estados Unidos.

Assim, o avanço tecnológico e a constante preocupação internacional com as questões ambientais provocaram uma busca por energias limpas e renováveis, tendo resultado na expansão da energia eólica em vários países. Entretanto, como aponta Magalhães (2009), esse processo de expansão da energia eólica ocorreu primeiro e de forma mais rápida nos países desenvolvidos, dadas as mudanças políticas necessárias e a escassez de recursos para investimentos em pesquisa e desenvolvimento nos países periféricos.

A Figura 1 mostra a capacidade instalada de energia eólica onshore em 2022 dos principais países. Como pode ser visto, a China é o país que possui a maior capacidade instalada, 334 GW, sendo igual à soma da capacidade dos sete países seguintes no ranking e maior que a soma de todos os demais países, quando retirados os Estados Unidos da amostra. Para Nibbi (2023), isso se deve aos investimentos que o país tem feito para diversificar sua matriz energética e, assim, reduzir a emissão de carbono.

Com o objetivo de diversificar sua matriz energética, a China tem investido fortemente em energias renováveis, principalmente na energia eólica, o que resultou em forte crescimento de sua capacidade instalada nas últimas décadas. Em 2000, a capacidade instalada chinesa era inferior a 1 GW, tendo passado para uma capacidade de 40 GW em 2010 e 334 GW em 2022, e tornou-se o país com a maior capacidade instalada de energia eólica no mundo, à frente dos Estados Unidos. Nesse período, a China se consolidou como o principal player mundial, tendo impulsionado o setor eólico global e obtido um rápido crescimento na instalação de turbinas eólicas onshore e offshore⁵.

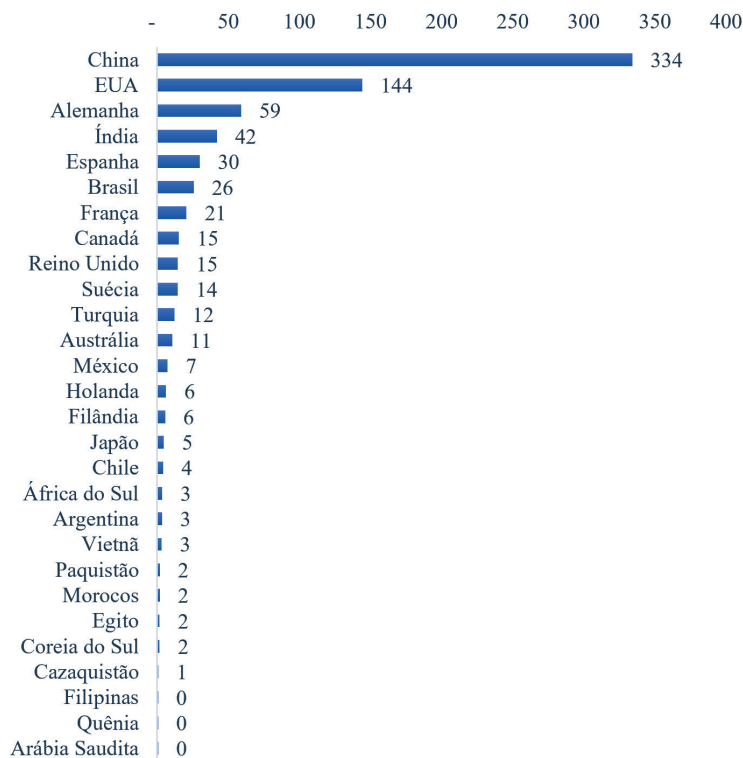


Figura 1. Capacidade instalada onshore (em GW) dos principais países em 2022.

Fonte: elaborado com base em dados do GWEC (2024).

⁵ Em 2022, a capacidade instalada offshore da China era de aproximadamente 31 GW, o que eleva o total (onshore e offshore) para 365 GW.

A segunda maior capacidade instalada pertence aos Estados Unidos, 144 GW. Essa capacidade instalada está concentrada principalmente nos estados do Texas, Iowa e Califórnia, os quais têm uma indústria forte e têm contribuído para a geração de energia eólica no País.

Países como Alemanha, Espanha, França, Canadá e Reino Unido têm uma estrutura consolidada, e a tendência é que suas capacidades de produzir energia eólica cresçam, principalmente na produção offshore, uma vez que possuem experiência e tradição nesse tipo de energia limpa.

No que diz respeito à capacidade onshore, a Índia tem apresentado um crescimento acelerado de sua capacidade instalada, principalmente nas últimas décadas⁶. Nos anos 2000, o país possuía apenas cerca de 1 GW de potência instalada, em 2010 já detinha 13 GW, tendo aumentado para 27 GW em 2015. Em 2022, essa capacidade já era superior a 40 GW.

Isso se deve, principalmente, a uma política nacional de energia nova e renovável implementada pelo governo indiano que estabeleceu metas ambiciosas para a energia eólica, de obter uma capacidade instalada de 140 GW até 2030. A Índia, até o ano de 2020, não tinha parque offshore, mas já estava desenvolvendo projetos para aproveitar esse potencial eólico disponível em sua extensa linha costeira, situada no Mar da Arábia e no Golfo de Bengala, o que pode contribuir para que o país alcance sua meta até 2030⁷.

Atualmente, na década de 2020, com o aumento da eficiência das turbinas eólicas, redução de custos de instalação, preços competitivos em relação aos outros tipos de fontes de energia e políticas públicas voltadas para energia limpa, a tendência é que a expansão da energia eólica continue em todo o mundo, principalmente nos países que apresentam grande potencial de produção. Dentro desse cenário, o Brasil se encontra em sexto no ranking dos maiores produtores de energia eólica no mundo, mas com potencial para chegar entre os cinco maiores nos próximos anos, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a diversificação da matriz energética mundial.

CENÁRIO DA ENERGIA EÓLICA NO CONTEXTO NACIONAL

Desde a instalação dos primeiros parques eólicos em meados dos anos 2000, a energia eólica no Brasil tem apresentado uma notável trajetória de crescimento e evolução nas últimas duas décadas, e o Brasil tornou-se um dos líderes na geração de energia por essa fonte sustentável.

A instalação de uma turbina de 75 kW no ano de 1992 na ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, marcou o início das atividades de energia eólica no País. Desde então, a capacidade instalada cresceu significativamente, com a instalação de diversos parques eólicos em território nacional que somam uma capacidade instalada total de 25,38 GW em 2022. Não obstante, pouco se avançou nos dez anos seguintes ao da instalação da primeira turbina, como destacam Ferreira Junior & Rodrigues (2015), para a consolidação do setor eólico no País.

Isto é, somente após uma década é que o setor passaria a receber atenção dos formuladores de políticas públicas. O ano de 2001 foi marcado pela crise energética no Brasil, quando se teve uma severa restrição no abastecimento de energia elétrica em todo o seu território. Em meados dos anos 2000, a energia hidrelétrica predominava na matriz energética do País, tendo resultado em uma capacidade instalada em grande parte derivada das usinas hidrelétricas.

A ausência de chuvas, combinada com um aumento da demanda por energia acima da oferta, provocou uma queda dos níveis dos reservatórios para abaixo do considerado seguro. Isto é, a eficiência econômica esperada pela privatização do setor na década de 1990 não resultou no

⁶ Ver Singh et al. (2022) para um estudo da energia eólica na Índia.

⁷ Ver Sharma & Sinha (2019) para uma visão geral do desenvolvimento da energia eólica na Índia.

investimento necessário para gerar o crescimento da capacidade instalada de maneira a acompanhar o crescimento da demanda, tendo resultado em um descompasso no mercado.

Diante das incertezas do mercado, e mesmo com incentivos governamentais, o setor privado não reagiu, o que levou o governo a voltar a atuar na expansão da capacidade instalada no País. Esse ambiente de crise foi favorável à construção de novas hidrelétricas, mas também ao fomento de outras fontes renováveis de energias, como os parques eólicos.

Com efeito, criou-se em 2001 o Programa Emergencial de Energia Eólica (Proeólica), cujo objetivo era a implementação de 1.050 MW até dezembro de 2003, o equivalente a 50 vezes a capacidade instalada no País. No ano de 2002, tem-se o lançamento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, conhecido como Proinfa, que tinha por objetivo incentivar a geração de energia elétrica por meio de outras fontes renováveis, tais como eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs).

O Proinfa representou um grande impulso para o desenvolvimento do setor no País. Torres Júnior & Moreira (2020) mostram que o programa foi importante, nessa etapa inicial, para atrair investidores, incentivar a construção de parques eólicos no Brasil e desenvolver uma cadeia produtiva relacionada com o setor de energia eólica.

Todavia, a expansão da capacidade instalada teve início de forma significativa em 2007, quando o governo passou a adotar a política de leilões de energia específicos para fontes renováveis. Nesses leilões, as empresas apresentam seus projetos de parques eólicos para concorrerem por contratos de longo prazo, em que a compra da energia eólica gerada é garantida por um período de tempo e preço predeterminado. Os leilões acontecem de forma periódica, e a empresa que apresentar o projeto com a melhor relação custo-benefício se torna detentora do contrato de longo prazo⁸.

O Proinfa e a política de leilões⁹, combinados com outros fatores, como o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, a redução dos custos de instalação dos parques e a construção de um ambiente regulatório favorável, contribuíram para a expansão da capacidade instalada no Brasil.

A Figura 2 mostra a evolução da capacidade instalada de energia eólica no Brasil no período de 2005 a 2023, e, como pode ser visto, é a partir de 2009 que se tem início o crescimento acelerado da capacidade instalada, ou seja, a partir da consolidação da política de leilões.

Em 2009, a capacidade instalada era de 601 MW, chegou a 8 GW em 2015, e em 2020 já era superior a 17 GW. Como resultado, em 2022 o Brasil alcançou cerca de 25 GW e se tornou o sexto país em termos de capacidade instalada, ficando à frente de países como Canadá, França e Reino Unido.

No entanto, considerando o crescimento da capacidade nova, o Brasil passa a ser o terceiro país, ficando atrás apenas de China e Estados Unidos. Essa evolução exponencial da capacidade instalada de energia eólica se deve às condições naturais favoráveis à produção de energia eólica, mas também às políticas públicas e aos incentivos fiscais proporcionados pelo governo para a energia renovável.

Entre essas políticas, a de leilões específicos para a energia eólica foi a que gerou melhores resultados, tendo permitido ao Brasil estabelecer metas ambiciosas para diversificar a matriz energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Portanto, esses leilões, nos quais os projetos competem para gerar eletricidade à rede nacional, foram importantes para alavancar o crescimento de energia eólica no Brasil, uma vez que garantiram a rentabilidade dos projetos e atraíram novos investimentos.

⁸ Silva (2023) descreve como funcionava a política de leilões no setor eólico.

⁹ Ver Camillo (2013) para uma análise das políticas públicas no setor eólico.

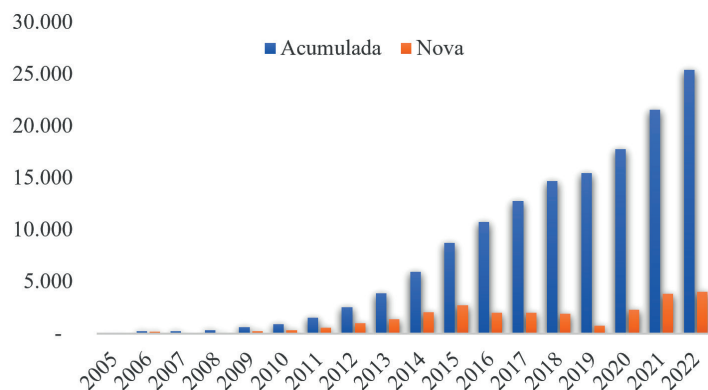


Figura 2. Evolução da capacidade instalada (em MW) no Brasil de 2005 a 2022.

Fonte: elaborado com base em dados do GWEC (2024).

Ao reduzirem o custo de produção, e desenvolverem e expandirem a energia eólica no País, as políticas públicas abriram espaço para a criação de um mercado livre. O mercado livre permitiu às empresas produzir e vender energia livremente, fora do sistema regulado pelo governo, embora o mercado seja regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

No mercado de contratos livres, são estabelecidos acordos bilaterais nos quais as partes negociam preços, prazos e volumes de energia a ser fornecida. Essa modalidade, ao permitir uma maior flexibilidade na gestão de custos energéticos, gera uma adaptação mais eficiente em relação às necessidades dos consumidores. Além disso, permite um aumento da concorrência com os mercados regulados, nos quais as empresas têm estímulos para buscar reduzir seus custos e ofertar a energia eólica a tarifas menores do que aquelas cobradas no mercado regulado. Isso tornou a energia eólica mais competitiva do que a energia derivada de fontes não renováveis e, portanto, ampliou a capacidade instalada no Brasil.

Além dos leilões específicos, regulados e livres, a construção de linhas de transmissão foi outra medida essencial, pois era necessário conectar as áreas de geração de energia eólica aos centros de consumo. Com a expansão da produção de energia eólica no País, desenvolveu-se uma indústria do setor no Brasil, e passou a ocorrer a produção local de equipamentos e componentes, o que significou a redução de custos e aumento da capacidade instalada em várias regiões brasileiras.

Embora a trajetória de crescimento da energia eólica no Brasil seja expressiva, Silva (2023) enumera alguns desafios a serem enfrentados nos próximos anos, tais como a expansão das linhas de transmissão de energia, a integração com outras fontes de energia renováveis e uma maior previsibilidade da gestão da energia eólica.

Atualmente, em 2023, o Brasil possui uma capacidade instalada significativa e em expansão de energia eólica, tendo parques eólicos em diversas regiões do País. Estados como Rio Grande do Norte, Bahia, Piauí, Ceará e Rio Grande do Sul se diferenciam como os maiores produtores de energia eólica no País.

No geral, o Brasil tem sido um exemplo na geração de energia eólica, cujo esforço se traduziu em uma matriz energética diversificada e mais limpa, tendo reduzido a dependência de fontes não renováveis e evitado crises como a que ocorreu no início dos anos 2000. Além disso, o aproveitamento dos recursos naturais de forma sustentável tem contribuído para a redução de gases do efeito estufa e para o crescimento de uma indústria de energia renovável e limpa, gerando desenvolvimento econômico regional no Brasil. O Rio Grande do Norte é um dos principais estados brasileiros que tem contribuído para essa evolução do setor eólico no País. Desse modo, na próxima seção será realizada uma análise da energia eólica no estado potiguar.

A ENERGIA EÓLICA NO RIO GRANDE DO NORTE (T1)

O Rio Grande do Norte é um dos principais estados brasileiros no que diz respeito à energia eólica, possuindo, em 2023, a maior capacidade instalada do Brasil, com 7,5 GW, o que corresponde a cerca de 30% da capacidade instalada do País.

A exploração teve início na década de 1990, mas a instalação dos primeiros parques eólicos comerciais ocorreu em 2004. Nesse ano, a Petrobras construiu um parque para autoconsumo no município de Macau, com três turbinas eólicas que somavam uma capacidade total de 1,8 MW. No ano de 2006 foi construído o segundo parque eólico no estado, na cidade de Rio do Fogo, com uma capacidade instalada de 49,6 MW.

Em 2008 e 2009, foram contratados 32 parques eólicos por meio da política de leilões do governo, tendo marcado o início do crescimento da energia eólica no Rio Grande do Norte. Os primeiros parques eólicos contratados nesses leilões entraram em operação em 2012, tendo elevado a capacidade instalada do estado para 320 MW, ou 0,32 GW de potência – eram 12 parques eólicos distribuídos em diversos municípios do estado.

Nesse período, as principais dificuldades se concentravam na ausência de mão de obra especializada, ausência de fabricantes nacionais para fornecer componentes que fazem parte da cadeia de produtividade da energia eólica, como concreto e aço, e até mesmo dificuldades na logística de transportes.

Nos últimos dez anos, esses gargalos foram reduzidos, e o setor eólico passou a dinamizar a economia de diversos municípios do Rio Grande do Norte, impulsionando a economia local, atraindo investimentos para o estado e gerando empregos diretos e indiretos em torno da cadeia produtiva.

Como pode ser observado na Figura 3, a produção de energia eólica no estado era praticamente inexistente até 2010, mas com potencial de crescimento, que passou a ser realizado por meio dos projetos contratados na política de leilões, a partir de 2008, e que entraram em operação nos anos seguintes.

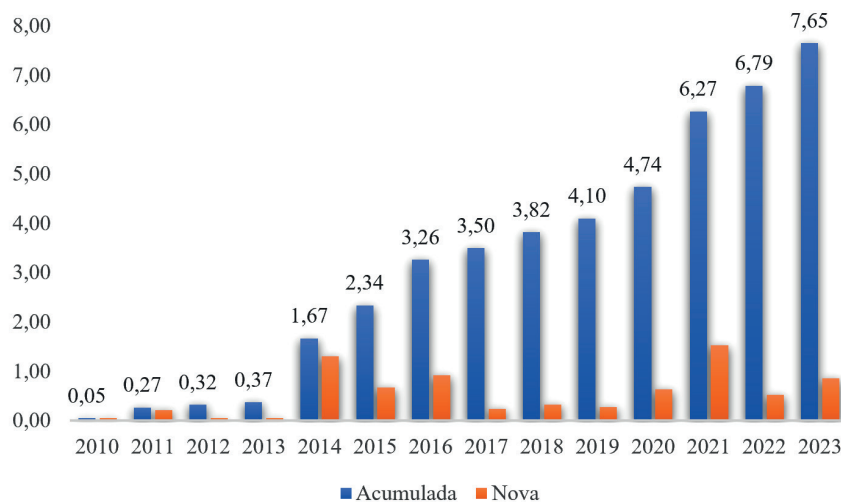


Figura 3. Evolução da capacidade instalada (em MW) no Rio Grande do Norte, de 2005 a 2023.

Fonte: elaborado com base em dados do Mais RN (2023).

Em 2014 são construídos mais 47 parques eólicos, acrescentando 1,3 GW na capacidade instalada total, que alcançou 1,67 GW nesse ano. Em 2021 foram construídos mais 5 parques eólicos, que juntos acrescentaram 1,53 GW à capacidade instalada total, que passou para 6,27 GW.

Em maio de 2023, a capacidade instalada total chegou a 7,65 GW, sendo a maior entre os estados brasileiros produtores de energia eólica.

Na Figura 4 encontra-se a distribuição desse potencial eólico, 7,65 GW, nas cidades do Rio Grande do Norte. Em maio de 2023, havia 30 municípios com pelo menos um parque eólico instalado, e quase 70% de toda a capacidade instalada no Rio Grande do Norte se concentrava em dez cidades. Serra do Mel era o município com maior capacidade instalada, com 1,2 GW de potência, distribuído em 36 parques eólicos. Já João Câmara, que se encontra a 108 km da capital, era a segunda cidade no ranking, com 0,74 GW instalado e distribuído em 30 parques eólicos. Em terceiro, se encontrava a cidade de Parazinho, com 22 parques instalados e uma capacidade de 0,63 GW de potência.

As cidades de São Bento do Norte, São Miguel do Gostoso e Lajes eram as três cidades seguintes, com capacidade acima de 0,4 GW de potência instalada. Na sequência, tem-se mais 24 municípios que possuem parques eólicos instalados, cuja potência pode ser observada na Figura 4.

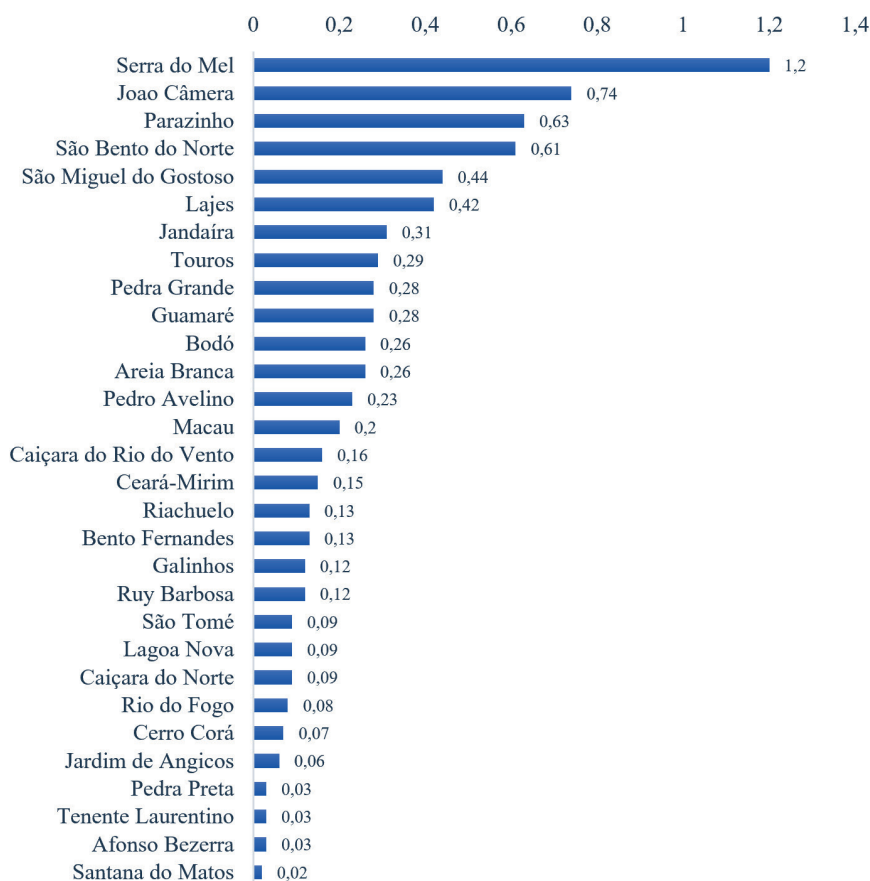


Figura 4. Distribuição da capacidade instalada (em GW) entre os municípios do Rio Grande do Norte em maio de 2023.

Fonte: elaborado com base em dados do Mais RN (2023).

Diversos fatores contribuíram para essa evolução da capacidade instalada no estado, como o progresso tecnológico que ocorreu no setor eólico na última década, a criação do mercado regulado e, posteriormente, a criação do mercado livre para venda de energia. As primeiras turbinas eólicas no estado tinham uma capacidade de 500 kW a 800 kW, enquanto as mais atuais têm capacidade acima de 6 MW de potência, o que significou um aumento significativo da capacidade instalada no Rio Grande do Norte.

Como resultado das políticas públicas e da abertura da produção e comercialização da energia eólica no mercado livre, a capacidade instalada de energia eólica do Rio Grande do Norte superou o consumo de energia do estado. Isso significa que toda a demanda por energia elétrica poderia ser atendida por meio da energia eólica a partir de 2021.

A Figura 5 evidencia essa afirmação. Em 2010, o Rio Grande do Norte tinha um consumo total de energia de 4,5 GW/h, enquanto a capacidade instalada do estado era inferior a 1 GW. Depois de uma leve tendência de alta na diferença entre o consumo total e a capacidade instalada de energia eólica (linha verde na Figura 5), a partir de 2014 ocorre um crescimento maior na capacidade instalada em relação ao consumo, de modo que a diferença entre as duas variáveis inicia uma trajetória de queda ininterrupta.

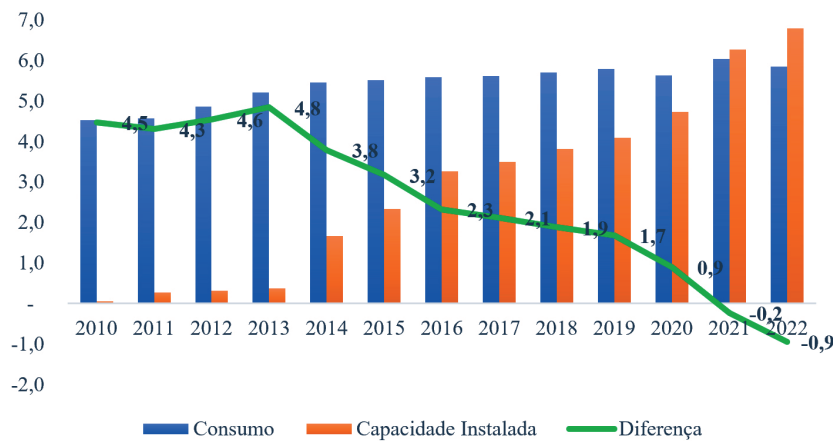


Figura 5. Consumo de energia (GW/h) e capacidade instalada (GW) no Rio Grande do Norte de 2010 a 2022.

Fonte: elaborado com base em dados do EPE (2023) e Mais RN (2023).

Em 2021, a capacidade instalada se torna maior do que o consumo total de energia do estado, refletindo em uma diferença negativa. Em outras palavras, o estado se tornou autossustentável exclusivamente por energia eólica, tendo zerado a emissão de gases de efeito estufa no que diz respeito ao consumo de eletricidade, sendo o primeiro estado no Brasil a alcançar esse feito.

Todavia, esse potencial tende a ser menor do que o potencial gerado pela qualidade do vento em cada estado, uma vez que a eficiência das turbinas eólicas é limitada pela lei de Betz¹⁰, que, na teoria, estabelece um limite máximo de 59,3% para a quantidade de energia cinética que uma turbina eólica pode extrair do vento.

Além disso, quando se analisa o indicador de fator de capacidade de geração de energia eólica, observa-se que o estado do Rio Grande do Norte opera com capacidade ociosa, abaixo do potencial de 7,5 GW, considerando-se uma média mensal, por exemplo.

O fator de capacidade da energia eólica é um indicador que pode mensurar a eficiência operacional de um parque eólico ao longo do tempo, de forma que mostra o percentual da capacidade instalada que é efetivamente transformado em energia elétrica nesse período de tempo. A Figura 6 mostra a evolução desse indicador para o estado do Rio Grande do Norte.

Como pode ser visto, o estado do Rio Grande do Norte tem um fator de capacidade que apresentou tendência de crescimento na série analisada, mas em nenhum ano alcançou um valor igual ou maior do que 50% tendo, portanto, operado abaixo da metade de sua capacidade máxima nos anos analisados.

¹⁰Essa lei recebe esse nome por ter sido formulada pelo físico alemão Albert Betz, em 1919, conforme Horn (2010).

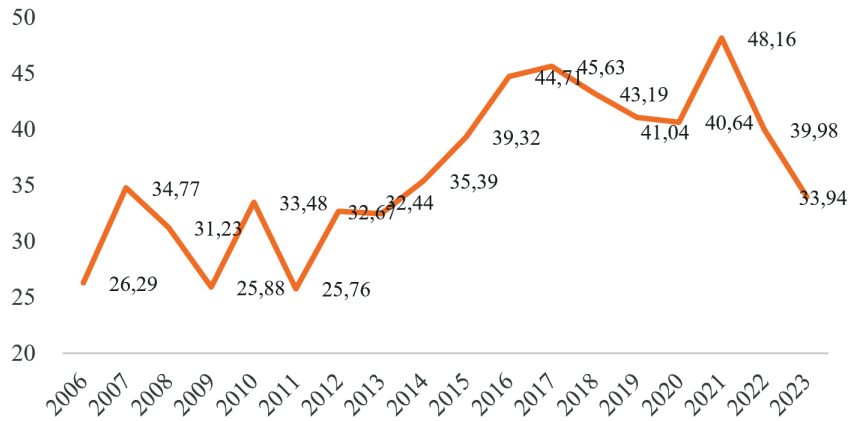


Figura 6. Fator de capacidade médio da energia eólica no Rio Grande do Norte de 2006 a 2023.

Fonte: elaborado com base em dados do EPE (2023).

Em 2012, o estado operava com pouco mais de 30% da capacidade máxima, passou para 45% da capacidade em 2017 e alcançou seu maior nível em 2021, com 48%. Essa evolução não se deve apenas à qualidade dos ventos – esta não mudou de 2012 para 2021, por exemplo –, mas pode ser explicada por outros fatores, como a disponibilidade e tempo de atividade das usinas, eficiência das turbinas eólicas, bem como a qualidade da manutenção e operação do parque eólico.

No decorrer de 2006 e 2023, todos esses fatores foram sendo melhorados à medida que a indústria do setor eólico foi sendo desenvolvida no País e o avanço tecnológico foi aumentando a qualidade das turbinas, gerando um ganho de eficiência nos principais estados produtores e, portanto, elevando o fator de capacidade de energia eólica no Rio Grande do Norte. A Figura 7 compara as médias mensais, de 2006 a 2022, do fator de capacidade da energia eólica no Rio Grande do Norte com as médias mensais, do mesmo período, do nível dos reservatórios no Brasil.

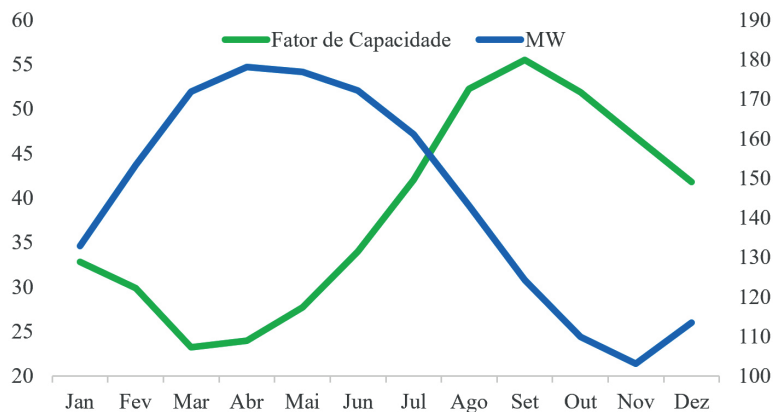


Figura 7. Fator de capacidade da energia eólica (Rio Grande do Norte) e nível dos reservatórios (Brasil): média mensal de 2006 a 2022.

Fonte: elaborado com base em dados do EPE (2023).

Embora a qualidade dos ventos não mude de um ano para outro, sua velocidade sofre alterações no decorrer de um determinado ano, variando sazonalmente. Assim, a velocidade dos ventos é influenciada por fatores climáticos e meteorológicos, como variações na temperatura, pressão atmosférica, padrões de circulação atmosférica e fenômenos climáticos sazonais. Isso

significa que o fator de capacidade médio da energia eólica será maior em alguns meses do que em outros durante o mesmo ano.

A Figura 7 evidencia essa afirmação, na qual se tem a média mensal do fator de capacidade, relativa ao Rio Grande do Norte, no período de 2006 a 2022, assim como a média mensal dos reservatórios (em MW), relativa ao Brasil, no mesmo período.

O fator de capacidade médio da energia eólica no Rio Grande do Norte é baixo e com tendência de queda nos meses de janeiro a abril, enquanto os níveis dos reservatórios no Brasil são altos e com tendência de alta nesses mesmos meses. A partir de abril, essas duas tendências se invertem e assim permanecem até o mês de setembro, quando volta a tendência anterior.

Essa variação significa que a disponibilidade da energia eólica e a da energia hidrelétrica são diferentes ao longo dos meses do ano, mas complementares, demonstrando que a energia eólica no Rio Grande do Norte pode ser utilizada de forma estratégica para reduzir a dependência do Brasil das hidrelétricas na geração de energia e ajudar na estabilização energética no País, evitando crises como a que ocorreu no início dos anos 2000. Portanto, a energia eólica gerada no Rio Grande do Norte também pode ser utilizada de forma complementar quando os níveis de reservatórios estiverem baixos, assim, atuando de forma estratégica na matriz energética do País.

Conhecendo-se a capacidade instalada e o fator de capacidade médio da energia eólica do estado potiguar, pode-se determinar a produção total de energia, em terawatt-hora (TWh), anual no período analisado. Na Figura 8 são expostos esses valores de produção de energia para o Rio Grande do Norte.

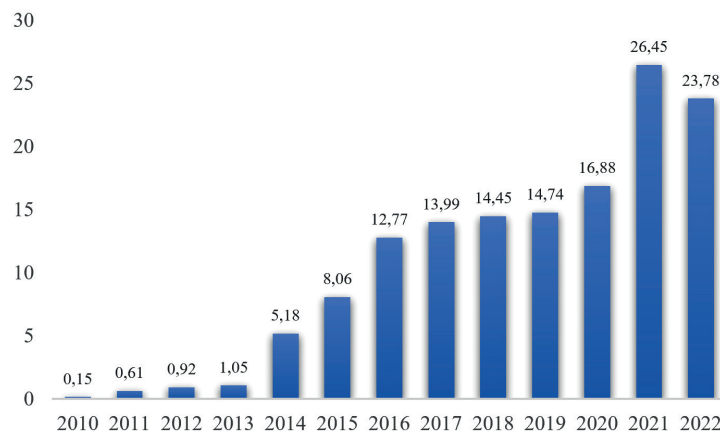


Figura 8. Produção de energia, em TWh, no Rio Grande do Norte de 2010 a 2022.

Fonte: elaborado com base em dados do EPE (2023).

Na média, o estado representou cerca de 30% de toda a energia gerada no Brasil. Observa-se que a geração de energia durante os anos de 2010 a 2022 parece se apresentar mais relacionada com o indicador de fator de capacidade do que com a capacidade instalada, sugerindo que seja, em grande parte, determinada pelo desenvolvimento da indústria eólica no estado e pelo melhoramento contínuo da eficiência das turbinas eólicas.

Entretanto, o Rio Grande do Norte pode contribuir ainda mais para a matriz energética do País. Diversos parques eólicos estão em construção em cidades que já possuem algum parque e em outras cidades que a energia eólica está alcançando, como Currais Novos. Além disso, a energia eólica tem o potencial offshore que será explorado nos próximos anos. A próxima seção procura descrever esse potencial e as perspectivas da energia eólica nas próximas décadas no Rio Grande do Norte.

PERSPECTIVA DA ENERGIA EÓLICA NO RIO GRANDE DO NORTE (T1)

O estado do Rio Grande do Norte está localizado no extremo do Nordeste brasileiro, fazendo divisa com os estados do Ceará e Paraíba, além de ser banhado pelo Oceano Atlântico ao norte e ao leste. O estado ocupa uma área de 53.307 km², equivalente a 0,62% do território nacional, sendo o clima tropical e úmido predominante na maior parte do seu território.

A localização do Rio Grande do Norte favorece a existência de ventos fortes e constantes durante todo o ano, que são essenciais para a geração de energia eólica. Esses ventos são o resultado da combinação de fatores geográficos, tais como a longa faixa litorânea, latitude adequada e topografia favorável.

O estado potiguar possui uma latitude adequada por estar situado próximo à linha do Equador, ou seja, é beneficiado por uma maior incidência solar e aquecimento da superfície terrestre. Com efeito, tem-se diferenças de pressão atmosférica que produzem os chamados ventos alísios, que são adequados para a produção de energia eólica.

O estado também é beneficiado por uma extensa faixa litorânea que proporciona uma exposição direta aos ventos derivados do Oceano Atlântico, ampliando o potencial da energia eólica. No que diz respeito às características topográficas, a presença de serras e colinas cria obstáculos naturais que aceleram e canalizam os ventos, gerando condições apropriadas para a geração de energia eólica.

Em virtude da combinação desses fatores, o estado do Rio Grande do Norte apresenta, em seu território, ventos de qualidade para a geração de energia eólica, o que, em certa medida, já tem sido explorado, mas o potencial que pode ser aproveitado é muito superior, principalmente quando considerada a capacidade offshore.

O Rio Grande do Norte possui um potencial total de 54,48 GW para capacidade offshore em águas com profundidade entre -2 m e -100 m e em uma distância de 10 km a 15 km da linha da costa. Desse potencial, 32,8 GW estão localizados no litoral norte, o que já é maior que toda a capacidade instalada offshore na Europa em 2021 e maior que a capacidade onshore no Brasil em 2023.

Esse potencial é a nova fronteira tecnológica que deverá ser explorada no Brasil na próxima década, assim como o desenvolvimento de seu marco regulatório, para viabilizar a geração de energia eólica offshore em águas brasileiras, em especial no Rio Grande do Norte, que apresenta uma localização privilegiada e uma faixa litorânea com profundidade compatível para a instalação de turbinas eólicas. O estado apresentou, em maio de 2023, oito projetos aprovados para parques offshore, que somam uma capacidade de 15,8 GW, o dobro que o Rio Grande do Norte possui em capacidade onshore.

Para o potencial onshore, considerando-se torres com alturas de 100 m, 120 m, 150 m e 200 m e velocidades entre 7 m/s e 8 m/s, a Tabela 1 mostra a área apta para projetos de parques eólicos, o potencial de capacidade instalada e o potencial de produção de energia por ano.

A análise do potencial eólico no Rio Grande do Norte evidencia o nível de capacidade instalada e de produção de energia que pode ser realizada no estado. Observa-se um potencial quando considerados uma velocidade de 7 m/s e aerogeradores de 200 m de altura. Nessas condições, o estado potiguar pode alcançar uma capacidade instalada de 93 GW e uma produção anual de 383 TW/h, o que representa mais de 50% de toda a energia produzida no Brasil em 2021 considerando-se todas as fontes.

No entanto, existindo uma relação direta entre o custo do aerogerador e a altura deste, segundo o Relatório do Atlas Eólico do Rio Grande do Norte, publicado em 2022, pode ser mais competitivo produzir utilizando-se aerogeradores de 120 m, uma vez que o crescimento

da produção de energia anual (TW/h) é maior quando se passa de 100 m para 120 m, quando comparado com a utilização de aerogeradores de 140 m ou 200 m.

Tabela 1. Potencial de energia eólica no Rio Grande do Norte.

Área apta (km ²)				
Velocidade/altura	100	120	140	200
7	23,78	30,33	34,88	39,53
7,5	8,86	17,24	24,62	34,26
8	2,58	5,87	10,28	26,89
Capacidade instalada (GW)				
Velocidade/altura	100	120	140	200
7	56,5	72,06	82,88	93,91
7,5	21,06	40,97	58,5	81,4
8	6,14	13,96	24,42	63,89
Produção de energia (TWh/ano)				
Velocidade/altura	100	120	140	200
7	199,54	313,06	303,23	383,38
7,5	82,98	189,48	229,11	348,41
8	26,55	68,85	104,63	286,06

Fonte: elaborado com base em dados do Atlas... (2022).

Não obstante, independentemente da altura dos aerogeradores, a geração de energia elétrica, tendo como fonte os ventos, será sempre vantajosa, desde que seu custo seja igual ou inferior ao da geração de energia por outras fontes, uma vez que seu impacto sobre o meio ambiente é mínimo.

Desse potencial que o estado apresenta, 5,7 GW já estão outorgados, ou seja, liberados para a construção de parques eólicos nos respectivos municípios. Em 2023 existiam 140 parques eólicos sendo construídos. A cidade de Lajes é onde se tem a maior concentração, 24 parques eólicos em fase de construção. Como pode ser visto na Figura 9, esses 24 parques eólicos correspondem a uma capacidade instalada futura de 1 GW, totalizando 1,42 GW somente em Lajes, o que vai fazer de Lajes a cidade com maior capacidade instalada no Rio Grande do Norte. Embora o município de Serra do Mel tenha apenas três parques em construção, a cidade já possui 36 parques eólicos instalados, o que resulta em uma capacidade instalada total de 1,29 GW, ou seja, Serra do Mel será o segundo município do estado com maior capacidade para geração de energia eólica. João Câmara será o terceiro no ranking, porém, não pela capacidade futura que está sendo construída, mas pelo que já apresenta em operação, uma vez que se tem apenas um parque eólico em construção com capacidade de 0,02 GW.

Já os municípios de Currais Novos, Fernando Pedroza, Parelhas, Pureza, Angicos, São José do Campestre, Monte das Gameleiras, Campo Redondo, Equador e Brejinho não possuem nenhuma capacidade instalada, mas os parques estão, em sua maioria, já na fase de construção, cuja soma, para esses dez municípios, totaliza uma capacidade instalada futura de 1,7 GW. Currais Novos (0,64 GW) é o município que vai ter a maior capacidade instalada, e Brejinho (6,00E-0,6), a menor. Assim, Currais Novos será o sexto município com maior capacidade instalada no Rio Grande do Norte, com 11 parques eólicos.

Além de Currais Novos e Lajes, outros municípios norte-rio-grandenses se destacam pelo potencial e capacidade instalada futura, como Pedro Avelino e São Tomé, os quais já têm mais de 0,47 GW e 0,58 GW, respectivamente, o que os coloca na quarta e quinta posições no ranking dos municípios com maior capacidade instalada.

A tendência para a próxima década é que os parques eólicos tenham uma produção de energia híbrida, isto é, cada parque deverá produzir também outro tipo de energia além da eólica, como a

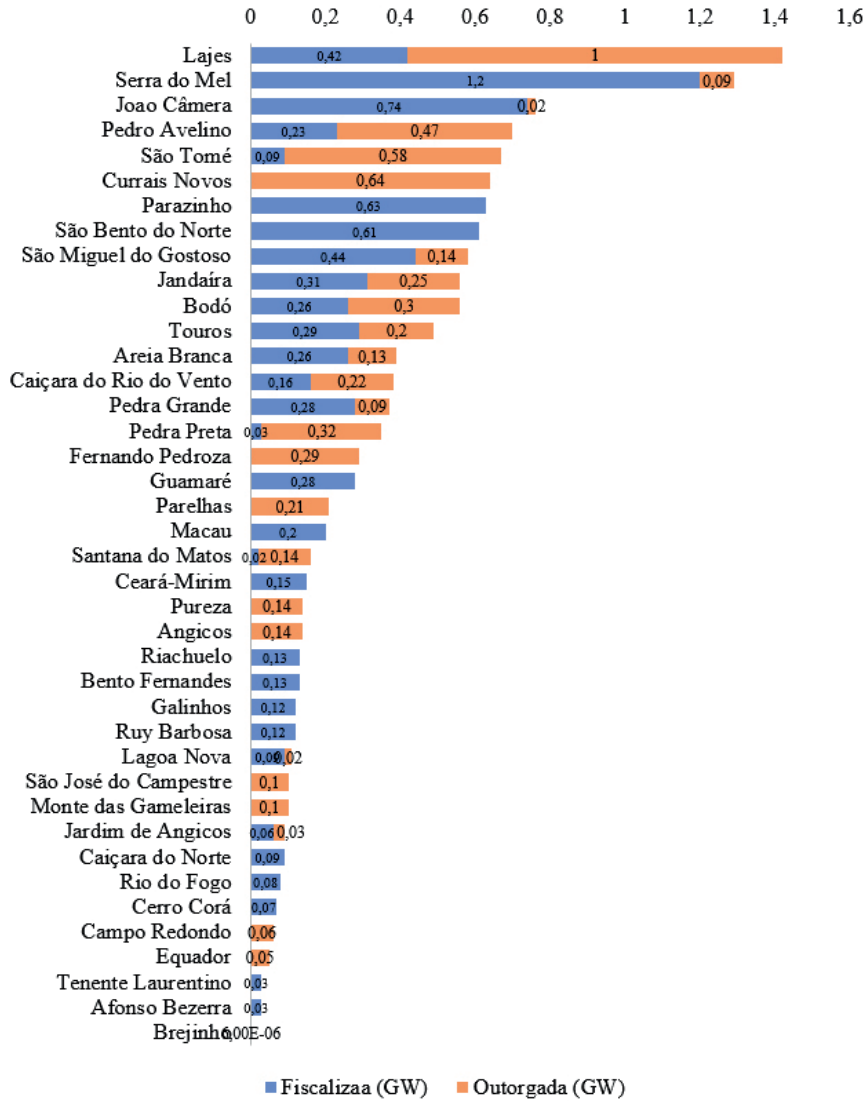


Figura 9. Capacidade instalada (fiscalizada) e em construção (outorgada) no Rio Grande do Norte em 2023.

Fonte: elaborado com base em dados do Mais RN (2023).

energia solar e o hidrogênio verde. Está em curso outro salto tecnológico no setor eólico, que vai permitir que a potência de turbinas passe de 6 MW para 15 MW, ampliando a produção de energia eólica no estado.

Portanto, o Rio Grande do Norte apresenta uma perspectiva favorável no que diz respeito à geração de energia eólica e também no que concerne a outros tipos de energias renováveis nos próximos anos, mantendo-se na ponta, ao lado da Bahia, como o estado de maior capacidade instalada e geração de energia eólica no Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das fontes de energia renováveis, a energia eólica utiliza a força dos ventos para gerar eletricidade, baseando-se na conversão da energia cinética dos ventos em energia mecânica e, subsequentemente, em eletricidade. Essa forma de energia tem sido utilizada desde a antiguidade para diversas finalidades, como o bombeamento de água e a moagem de grãos. Contudo, nas

últimas décadas, a energia eólica emergiu como uma das principais alternativas para a geração de eletricidade tanto no cenário mundial quanto no Brasil.

No Brasil, a energia eólica tem contribuído significativamente para a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência das hidrelétricas e promovendo maior segurança energética ao País, além de fornecer benefícios ambientais, econômicos e sociais. Na última década, a energia eólica experimentou um crescimento notável no Brasil, favorecido por suas extensas áreas costeiras e regiões com ventos constantes e fortes, especialmente na região Nordeste.

Dentro da região Nordeste, o estado do Rio Grande do Norte destaca-se como um dos principais produtores de energia eólica no Brasil, com uma capacidade instalada de 7,5 GW e um potencial de expansão considerável, por causa dos ventos de alta qualidade presentes tanto onshore quanto offshore.

O principal objetivo deste artigo foi analisar a evolução da capacidade instalada no estado do Rio Grande do Norte, buscando compreender os fatores que tornaram esse estado uma figura central no setor eólico brasileiro. A análise evidencia que o crescimento do Rio Grande do Norte deve-se, em parte, às políticas públicas implementadas pelo governo durante o período em foco, que reduziram os custos do setor e criaram um mercado livre para a energia eólica. Além disso, o avanço tecnológico foi crucial para aumentar a eficiência e, conseqüentemente, a capacidade instalada no estado.

A produção de energia eólica no Rio Grande do Norte passou por transformações significativas nos últimos dez anos, mantendo-se em plena expansão, impulsionada por investimentos no setor, pelo aprimoramento dos mercados regulado e livre, e pelo progresso técnico. No entanto, apesar do avanço e do potencial eólico do estado, existem desafios a serem enfrentados na próxima década. Entre esses desafios, destacam-se a necessidade de fortalecer a infraestrutura de transmissão de energia, a de garantir a integração eficiente da energia eólica na rede elétrica e a de lidar com questões ambientais, como o monitoramento da avifauna e a mitigação dos impactos paisagísticos. Esses desafios podem ser temas de pesquisas futuras.

Em síntese, o avanço da energia eólica no Rio Grande do Norte tem sido fundamental para a sustentabilidade da matriz energética brasileira nas últimas duas décadas. Nos próximos anos, espera-se que o estado continue sendo uma referência na produção de energia eólica, dado seu significativo potencial eólico e uma indústria em constante crescimento.

REFERÊNCIAS

- ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Boletim Anual [de Geração Eólica] 2021**. 2022. Disponível em: <<https://abeolica.org.br/>>. Acesso em: 7 jun. 2023.
- AMORIM, L.F.C. de. **Políticas de incentivo à energia eólica: um estudo de caso sobre os processos de implementação e os motivos para a expansão da fonte eólica no setor elétrico brasileiro no período de 2001 a 2018**. 2021. 339p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO DO RIO GRANDE DO NORTE. 2022. Disponível em: <<http://www.sedec.rn.gov.br/Index.asp>>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- BROWN, L.R. **Eco-Economia: construindo uma economia para a terra**. Salvador: UMA, 2003. 368p.
- CAIXETA, D.A. **Modelagem e análise dinâmica de um sistema de conversão de energia eólica dotado de gerador síncrono de imã permanente utilizando a plataforma ATP**. 2014. 100p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- CÂMARA, C. de O.; ANDRADE, H.D. de; LEMOS, H.T.Q. **Panorama e abordagem conceitual sobre sistemas eólicos offshore**. [Mossoró: Universidade Federal Rural do Semi-Árido], 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/items/52f8c345-e54f-43dc-be4e-e103be095593/full>>. Acesso em: 13 out. 2024.
- CAMILLO, E.V. **As políticas de inovação da indústria de energia eólica: uma análise do caso brasileiro com base no estudo de experiências internacionais**. 2013. 192p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. DOI: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2013.917168>.

- CUNHA, E.A.A.; SIQUEIRA, J.A.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; DINIZ, A.M. Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, p.689-697, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5380/rber.v8i4.65759>.
- CUNHA, G.S. da; SILVA, J.A. da; SILVA, W.G. e. Desenvolvimento sustentável e a energia eólica no Brasil. **Revista de Economia Mackenzie**, v.21, p.183-210, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5935/1808-2785/rem.v21n1p.183-210>.
- DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro: Cresesb, 2008. 58p.
- EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- FERREIRA JUNIOR, J.C.G.; RODRIGUES, M.G. Um estudo sobre a energia eólica no Brasil. **Ciência Atual**, v.5, p.2-13, 2015.
- FURTADO, C. **O mito do desenvolvimento econômico**. 2.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1974.
- GNOATTO, H. **Análise de viabilidade técnica e econômica para implantação de aerogerador em propriedades rurais de Cascavel, Londrina e Palmas-PR**. 2017. 67p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.
- GREENPEACE BRASIL. **[R]evolução energética: rumo a um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis**. São Paulo, 2016. 96p. Disponível em: <<https://www.greenpeace.org/brasil/publicacoes/revolucao-energetica-mostra-como-o-brasil-dara-adeus-as-fontes-fosseis-de-energia/>>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- GWEC. Global Wind Energy Council. **Global Wind Report 2024**. Brussels, 2024. Disponível em: <<https://gwec.net/global-wind-report-2024>>. Acesso em: 3 jun. 2024.
- HORN, D.A. **Análise numérica da esteira aerodinâmica formada por uma turbina eólica com dimensionamento ótimo de Betz**. 2010. 103p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- LOPEZ, R.A. **Energia eólica**. São Paulo: Artliber, 2002. 156p.
- MAGALHÃES, M.V. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil**. 2009. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MAIS RN. **Mapa das Energias Renováveis**. Disponível em: <<https://maisrn.fiern.org.br>>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- NIBBI, L. **Pumped Hydro Storage and Integration of Renewable Energy Sources: Focus China**. 2023. Disponível em: <<https://flore.unifi.it/handle/2158/1309819>>. Acesso em: 30 set. 2024.
- SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, M. (Org.). **Para pensar o desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Brasiliense, 1993. p.29-56.
- SHARMA, S.; SINHA, S. Indian wind energy & its development-policies-barriers: an overview. **Environmental and Sustainability Indicators**, v.1/2, art.100003, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100003>.
- SILVA, J.A. Energia eólica no Brasil: avanços e desafios. **Revista Princípios**, v.42, p.179-202, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4322/principios.2675-6609.2023.167.010>.
- SINGH, U.; RIZWAN, M.; MALIK, H.; GARCÍA MÁRQUEZ, F.P. Wind energy scenario, success and initiatives towards renewable energy in India: a review. **Energies**, v.15, art.2291, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15062291>.
- TORRES JÚNIOR, P.; MOREIRA, C.A.L. O programa de incentivo às energias renováveis no Brasil (PROINFA) e a sua relação com a sustentabilidade: um estudo sobre a política energética brasileira sob a ótica neoliberal neoextrativista. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.15466-15478, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-427>.
-