

## XI-1005 - A EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO

### Milton de Oliveira Pinto<sup>(1)</sup>

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Especialista em Energia Eólica e Mestre em Engenharia Mecânica, ambos pela UFRN. Autor dos livros: *Fundamentos de Energia Eólica*; *Energia Elétrica – Geração, Transmissão e Sistemas Interligados*; *Energia Eólica – Poemas e Fotos (edição Bilingue Português-Inglês)*. Coordenador de Energia e Gás da ARSEP (Agência Reguladora de Serviços Públicos do Rio Grande do Norte).

### Maria Clara de Paiva Sousa<sup>(2)</sup>

Graduanda em Engenharia de Energia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

### Raony Assunção da Silva Borges<sup>(3)</sup>

Engenheiro Químico pela UFRN. Graduando em Engenharia do Petróleo na UFRN.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Demócrito de Souza Paiva, nº 1580 – Lagoa Nova – Natal – Rio Grande do Norte - CEP: 59062-440 - Brasil - e-mail: [miltonpinto@yahoo.com.br](mailto:miltonpinto@yahoo.com.br)

## RESUMO

O presente trabalho científico mostra a importância das fontes de energia renováveis em escala nacional e mundial, com destaque para a influência da geração de energia elétrica a partir dos ventos no contexto de transição energética. De forma a recordar o histórico do crescimento da energia eólica no Brasil, o estudo se debruçou sobre dados fornecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), exaltando a participação do Subsistema Nordeste nesse desenvolvimento crescente de injeção de energia no sistema a partir das usinas eólicas. Compreendendo uma análise a partir dos boletins de geração eólica, dos últimos 5 anos (2018-2022), é possível atribuir a relevância da região Nordeste do Brasil no Sistema Interligado Nacional (SIN) quando observados os parâmetros de capacidade instalada, fator de capacidade e geração elétrica, ao longo do período recente mencionado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia eólica. Brasil. Nordeste.

## INTRODUÇÃO

Em um contexto mundial de transição energética, torna-se indispensável a participação de fontes de energia renováveis para a geração de energia elétrica, principalmente, rumo à descarbonização da matriz energética global (LOSEKANN; TAVARES, 2019). Temos o aspecto ambiental, de suma importância, assim como uma crise energética e os recentes conflitos com a guerra na Ucrânia. Neste cenário, é perfeitamente possível termos o impulsionamento à participação da geração de eletricidade por fontes eólica e solar fotovoltaica (IEA, 2022). O Brasil, por sua vez, já é referência no tocante à contribuição de fontes renováveis em sua matriz elétrica devido às hidrelétricas e, logo em seguida, à geração eólica, com uma capacidade instalada correspondente a 70% da geração na América Latina nessa categoria (GWEC, 2022).

De acordo com o boletim anual do Conselho Global de Energia Eólica (GWEC), aponta a marca de 837 GW de capacidade instalada (*onshore e offshore*) em 2022, o que significa um crescimento de 12% em relação ao ano anterior. O destaque nessa corrida pelos ventos continua entre China e Estados Unidos; contudo, o Brasil assumiu relevância no *ranking* com o 6º lugar no ano de 2021, ao apresentar 21,5 GW de potência eólica instalada. Atualmente (Abril/2023), o sistema elétrico brasileiro conta com cerca de 25,27 GW de capacidade instalada eólica (ANEEL, 2023), da qual 91% encontra-se na região Nordeste, o que representa um verdadeiro salto no histórico da energia eólica no Brasil, que em 2012 contava com aproximadamente 2,5 GW dessa capacidade em todo território nacional (ABEEólica, 2022).

Em janeiro de 2023, os estados do Rio Grande do Norte (RN), Bahia (BA) e o Ceará (CE) eram os líderes em geração eólica no Brasil, sendo que apenas no RN já tinha 240 parques eólicos em operação comercial e a maior potência instalada no país (aproximadamente 7,4 GW), tendo ainda 89% da matriz estadual sendo da

fonte eólica. Em seguida, com 264 parques, a Bahia contando com 6,95 GW de potência instalada e o Ceará com aproximadamente 2,57 GW em 100 usinas. Ademais, conforme dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é possível identificar, em tempo real, como os parques eólicos do subsistema Nordeste têm tido participação marcante para o Sistema Elétrico Nacional (SIN).

## OBJETIVO DO TRABALHO

O presente artigo, apresentado ao 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, tem como objetivo principal trazer uma análise do histórico participativo do Nordeste no setor de geração de energia eólica nacional, por meio da análise de dados dos resultados históricos da geração eólica em operação no Sistema Interligado Nacional (SIN), disponibilizados pelo ONS e pela ANEEL. Com os objetivos específicos a seguir: a) identificar base de dados públicos do ONS e da ANEEL; b) estudar a base de dados e as informações públicas; c) avaliar a evolução da capacidade instalada; d) analisar a geração e fator de capacidade médios mensais dos últimos anos; e e) Identificar a significância da inserção de geração eólica na matriz elétrica nacional.

Ademais, destacar a importância da energia eólica, como fonte de energia limpa e renovável, por sua tendência de maior participação na produção de eletricidade em todo o mundo. Elencar suas vantagens frente a outras fontes de geração de energia, visando seu impacto positivo para redução das emissões de carbono e mitigação do aquecimento global. Pois, embora seja uma fonte de energia abundante e disponível em todo o mundo, é importante mencionar que a energia eólica ainda tem algumas limitações como, por exemplo, a dependência das condições climáticas e variações no vento, o que pode afetar sua disponibilidade e confiabilidade. Além disso, a construção de parques eólicos pode causar impactos ambientais negativos, como a interferência na vida selvagem e na paisagem.

## METODOLOGIA UTILIZADA

Para o desenvolvimento desta análise, foi necessária uma pesquisa bibliográfica, coleta de dados utilizando informações fornecidas pelos resultados históricos da geração eólica em operação no SIN, disponibilizados pelo ONS. Conforme destacado no site do ONS, os dados de geração eólica utilizados são obtidos da Base de Dados Técnica do ONS, que é alimentada das seguintes fontes: a) Histórico do Sistema de Supervisão e Controle (SSC) do ONS; b) Sistema de Medição e Faturamento da CCEE (SMF) da CCEE.

Os dados fornecidos são segmentados em perfis distintos de acordo com os padrões climáticos diferentes. A geração de energia eólica na região Nordeste varia devido aos seus perfis climáticos, subdividido em áreas costeiras e no interior do continente. As usinas no interior geram mais energia à noite e de madrugada, enquanto as usinas no litoral geram mais energia durante o período diurno e noturno. As usinas situadas a até 30 km do litoral e a menos de 100 metros de altitude foram classificadas como litoral, abrangendo as usinas do litoral do Ceará (CE) e do Rio Grande do Norte (RN). As demais foram classificadas como Interior, incluindo as usinas na Bahia, Piauí, Pernambuco, na Serra de Santana (interior do Rio Grande do Norte) e na Serra de Ibiapina (interior do Ceará).

A potência disponível no vento é dada pela equação a seguir:

$$P = (1/2)\rho Av^3$$

equação (1)

Onde  $P$  é a potência disponibilizada,  $\rho$  é a massa específica do ar,  $A$  é a área da seção transversal que é ultrapassado pelo vento e  $v$  é a velocidade do vento. A interpretação mais relevante que obtemos na análise da equação acima é que a potência disponível no vento é diretamente proporcional ao cubo da velocidade desse vento (MILTON, 2014).

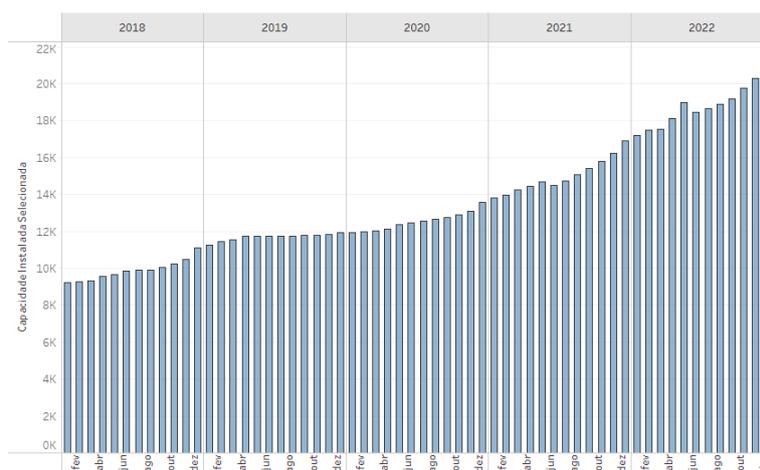
Na quantificação da progressão do desenvolvimento da energia eólica no Nordeste brasileiro, fora destacada a evolução da capacidade instalada de geração eólica no Nordeste em megawatts (MW) nos últimos 5 anos, 2018-2022, consideradas apenas as usinas em operação comercial, retiradas as capacidades instaladas das usinas em testes. Outra variável avaliada foi a geração e fator de capacidade médios mensais em MWmed. Os resultados estão tabulados nos últimos 3 anos, 2020, 2021 e 2022.

## RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Os resultados obtidos são análises dos gráficos gerados adquiridos pela Base de Dados Técnica do ONS em relação a: Evolução da capacidade instalada de geração eólica no Subsistema Nordeste; Inserção de geração eólica no Subsistema Nordeste no SIN; Geração e fator de capacidade médios mensais no Subsistema Nordeste.

O Subsistema Nordeste apresenta tendo tido um crescimento significativo nos últimos anos, chegando a aproximadamente 89% da capacidade eólica instalada no último ano de 2022. De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a capacidade instalada de geração eólica no Nordeste passou de cerca de 400 MW em 2010 para mais de 1.400 MW em 2020. Isso representa um aumento de mais de 350% em menos de uma década. O gráfico a seguir, na figura 1, apresenta dados de capacidade instalada em megawatts (MW) no Subsistema Nordeste, nos últimos 5 anos, 2018-2022, considerando as usinas em operação comercial. Assim, vemos que:

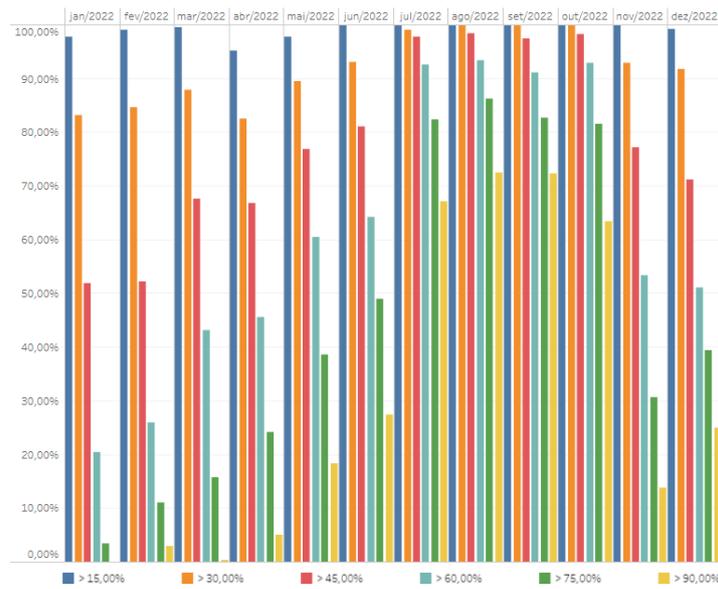
- Houve um crescimento constante nos anos de 2019 e 2020, mesmo passando por um período de estagnação durante a pandemia de COVID-19. E houve um aumento impulsionado nos últimos anos de 2021 e 2022;
- Alguns parques eólicos estão em fases de testes, retendo a capacidade instalada temporariamente, mas contribuirá futuramente para o desenvolvimento local.



**Figura 1: Evolução da capacidade instalada de geração eólica no Subsistema Nordeste**

O gráfico a seguir, na figura 2, apresenta os índices que quantificam o tempo em que a geração eólica do Subsistema Nordeste foi maior que determinados percentuais da carga ao longo do mês. No exemplo de leitura dos dados, para uma coluna que está em 80% e representa '>10%', a interpretação é que, em 80% do tempo do mês, ao menos 10% da carga foi atendida por geração eólica. Assim, observa-se:

- A participação constante de pelo menos 50% de inserção energética durante todo o ano;
- Um aumento significativo em períodos intermitentes, destacando os meses entre julho e outubro.

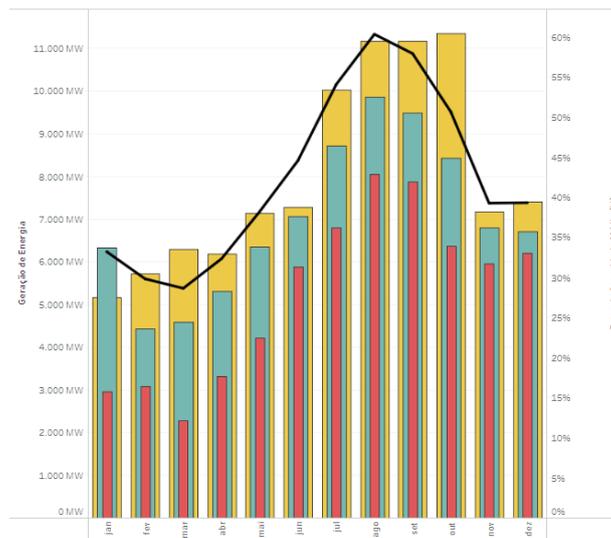


**Figura 2: Inserção de geração eólica no Subsistema Nordeste**

O gráfico a seguir, na figura 3, apresenta para cada mês, o fator de capacidade médio da geração verificada em percentual e geração de energia em MW médio do Subsistema Nordeste, considerando os anos selecionados. Para obtenção do fator de capacidade mensal, foi calculada a média da geração eólica diária para as mesmas condições de carga adotadas nos estudos elétricos. A partir dos valores médios de cada condição de carga e capacidade instalada mensal, foram calculados os fatores de capacidade médios de cada mês por condição de carga. Os resultados são apresentados no Subsistema Nordeste para o referido período de: 2020 (vermelho), 2021 (azul) e 2022 (amarelo). Assim, vemos:

- a) Aumento gradativo entre os anos subsequentes;
- b) Maior fator de capacidade, superando os 50%, nos meses de julho a outubro.

Além disso, pela figura 3, percebe-se que, no intervalo entre janeiro de 2020 a dezembro de 2022, o pico de fator de capacidade ocorreu em agosto de 2022, aproximadamente 60%, ocasião em que a geração eólica atendeu a mais de 11 GW médio de carga. No mesmo intervalo, o menor fator fora identificado em março de 2020, abaixo de 15%, atendendo a pouco mais de 2 GW médio.



**Figura 3: Geração e fator de capacidade médios mensais no Subsistema Nordeste**

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A capacidade instalada de geração eólica no Brasil tem crescido significativamente nos últimos anos, alavancado fortemente pelo Subsistema Nordeste, onde houve o maior desenvolvimento nos últimos anos. A evolução da capacidade instalada de geração eólica no Subsistema Nordeste pode ser atribuído a vários fatores, incluindo a disponibilidade de recursos naturais (como ventos fortes e com boa regularidade), a crescente conscientização sobre a importância de fontes de energia renováveis e a implementação de políticas governamentais para incentivar o desenvolvimento de projetos eólicos. O estado do Rio Grande do Norte é o líder em capacidade instalada de geração eólica no Nordeste, seguido por Bahia, Ceará e Piauí. Esses estados possuem ótimas condições para geração eólica, atraindo uma boa parte dos investimentos e projetos.

A inserção de geração eólica em uma rede elétrica é feita através da conexão das turbinas eólicas a uma subestação, que é responsável por transformar a eletricidade gerada para uma tensão adequada para ser injetada na rede de transmissão. Os custos de geração eólica têm diminuído significativamente nos últimos anos, tornando-a competitiva com outras fontes de energia. Além disso, a região Nordeste possui uma grande área de terras aptas para a instalação de aerogeradores, o que é importante para o desenvolvimento de projetos de energia eólica. No entanto, a inserção de geração eólica também apresenta alguns desafios. A limitada infraestrutura de transmissão da região pode dificultar o transporte da eletricidade gerada pelos parques eólicos para as cidades onde ela é necessária. Ainda assim, devido à natureza intermitente da energia eólica, é necessário ter fontes de energia complementares que possam fornecer energia quando o vento não estiver adequado.

Os ventos fortes e consistentes na região Nordeste, causados pelos ventos alísios do Atlântico, são particularmente intensos durante, e próximo, os meses de julho e agosto, quando a geração de energia eólica atinge seu pico. A evolução eólica no Subsistema Nordeste indica maior tendência de crescimento e expectativa positiva para os cenários das energias renováveis, atendendo as demandas intermitentes de carga nos períodos de defasagem solar-hídrica atuando na complementaridade da matriz energética.

## **CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES**

A energia eólica na região Nordeste do Brasil tem crescido e se destacado nacionalmente nos últimos anos. Tal crescimento foi impulsionado por programas governamentais de incentivo, bem como por uma maior conscientização sobre as vantagens da energia eólica devido aos seus benefícios ambientais e econômicos. Ela é uma fonte de energia limpa e renovável, não emite dióxido de carbono ou outros gases poluentes e tem um baixo impacto ambiental, sendo uma forma de reduzir a dependência de fontes de energia não renováveis e mitigar as emissões de gases de efeito estufa. No início dos anos 2000, o governo brasileiro começou a implementar políticas para promover o desenvolvimento de energia renovável, com foco na energia eólica. Pouco tempo após a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1996, órgão responsável por regular o setor elétrico do país. Tendo ainda, em 2002, a criação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) que fornecia incentivos financeiros para o desenvolvimento de projetos de energia renovável. Essas políticas, aliadas ao alto potencial eólico da região Nordeste, levaram à construção de diversos parques eólicos na região. Um dos primeiros a ser construído foi o Parque RN 15 - Rio do Fogo, instalado no Rio Grande do Norte, que começou a operar em 2006 e tem capacidade instalada total de 49,3 megawatts (MW). Desde então, a região Nordeste tornou-se uma das principais áreas de energia eólica no Brasil, com uma capacidade instalada total de mais de 24 gigawatts (GW), através de 799 parques eólicos em operação comercial, em janeiro/2023. No entanto, o setor ainda enfrenta alguns desafios, como por exemplo, a falta de infraestrutura de transmissão, concentração regulatória, mas a tendência geral é de crescimento contínuo da capacidade instalada de geração eólica no Brasil. É importante notar que, apesar do crescimento significativo da energia eólica, a maioria da potência instalada no país é proveniente de hidrelétricas e termelétricas, embora a potência instalada eólica já represente 12,91% da matriz elétrica do Brasil (ANEEL, 2023). De forma geral, a energia eólica teve um crescimento significativo no Nordeste brasileiro na última década, devendo continuar e até aumentar seu nível de liderança.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. Boletim Anual 2021, 2022. [S. L.].
2. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: < <https://www.gov.br/aneel/>>. Acesso em: 12 abr. 2023.
3. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <<https://bit.ly/2IGf4Q0>>. Acesso em: 30 jan. 2023.
4. IEA – International Energy Agency. Renewable Energy Market Update, Outlook for 2022 and 2023, 2022. [S. L.].
5. GWEC - Global Wind Energy Council. Global Wind Report, Annual Market Update 2022, 2022. Sine Loco.
6. LOSEKANN, Luciano; TAVARES, Felipe Botelho. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Texto para Discussão. Política Energética no BRICS: Desafios da Transição Energética. Rio de Janeiro, 2019.
7. Operador Nacional do Sistema – ONS. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: 15 jan. 2023.
8. PINTO, Milton de Oliveira et al. **Fundamentos de energia eólica**. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2014.