



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

WESLEY FREIRE GOMES

A CRISE NA EXPANSÃO DO MERCADO DE ENERGIA EÓLICA

FORTALEZA

2025

WESLEY FREIRE GOMES

A CRISE NA EXPANSÃO DO MERCADO DE ENERGIA EÓLICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G618c Gomes, Wesley Freire.

A crise na expansão do mercado de energia eólica / Wesley Freire Gomes. – 2025.
75 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Raphael Amaral da Câmara.

1. Energia eólica. 2. Expansão. 3. Transição energética. 4. Revisão integrativa. I. Título.

CDD 621.3

WESLEY FREIRE GOMES

A CRISE NA EXPANSÃO DO MERCADO DE ENERGIA EÓLICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 31/07/2025:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Msc. Igor Maia Gonçalves
APSV Advogados

À minha esposa, Maria Victória Fernandes
Gomes.

À minha mãe, Antonia Francimeire Freire
Gomes.

A todos os meus amigos e colegas queridos que
fizeram parte dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, principalmente, à minha esposa, Maria Victória Fernandes Gomes, que esteve sempre ao meu lado e me acompanhou ao longo dessa jornada. Na alegria ou na tristeza, sua companhia me ajuda a seguir em frente e a não desistir. Amo-a imensamente.

À minha mãe, Antonia Francimeire Freire Gomes, agradeço por todo o apoio nos meus estudos e pela excelente criação que recebi, marcada por amor, carinho e uma louvável formação de caráter. Todo o seu esforço e dedicação em suprir os recursos de nossa família por muitos anos, de forma sacrificial, ao escolher investir em minha educação, são recompensados na conclusão e apresentação deste trabalho.

Sou grato a Deus, que, em Sua soberania, me permitiu iniciar esta graduação e me concedeu cuidado e provisão ao longo de toda a trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara, pelas orientações no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, com direcionamentos e contribuições extremamente relevantes para o êxito da pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho e Msc. Igor Maia Gonçalves, agradeço pelo interesse e pela disponibilidade.

Ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (UFC), agradeço pelo suporte fornecido, essencial para que os conhecimentos pretendidos ao longo da graduação fossem efetivamente adquiridos.

.

“Temos, porém, este tesouro em vasos de barro, para que se veja que a excelência do poder provém de Deus, não de nós.” (2 Coríntios 4:7).

RESUMO

O presente trabalho investiga os fatores responsáveis pela desaceleração do mercado de energia eólica no Brasil, que, no ano de 2024, apresentou um aumento de capacidade total instalada de apenas 3% em relação ao ano anterior (EPE, 2025). Por meio de uma revisão integrativa da literatura, associada à análise de documentos técnicos elaborados por órgãos como ANEEL, ONS e EPE, o estudo apresenta um panorama abrangente sobre a evolução da fonte eólica no país, os desafios enfrentados na atualidade e as perspectivas de médio e longo prazo. A pesquisa também examina os efeitos da geração distribuída sobre o Sistema Interligado Nacional, a saturação da rede elétrica em regiões com alta densidade de geração eólicoelétrica e as dificuldades operacionais enfrentadas pelo ONS diante das variações bruscas na carga líquida. Os resultados indicam que a crescente complexidade da matriz elétrica nacional exige novas estratégias regulatórias, incluindo a exigência de garantias financeiras, a reformulação dos contratos de uso da rede de transmissão e uma maior governança no processo de acesso ao sistema. Como resposta a esse cenário, o estudo aponta medidas estruturais voltadas à retomada sustentável do setor, incluindo melhorias na infraestrutura de transmissão, aperfeiçoamento dos critérios de acesso à rede, estímulo à inovação tecnológica e maior articulação entre a academia, o setor produtivo e o poder público. Conclui-se que o Brasil ainda dispõe de elevado potencial eólico, capaz de consolidar a fonte como vetor central da transição energética, desde que haja planejamento sistêmico e coordenação efetiva entre os diversos agentes envolvidos no setor elétrico.

Palavras-chave: energia eólica; *curtailment*; expansão; transição energética; revisão integrativa.

ABSTRACT

This study investigates the factors responsible for the slowdown of the wind energy market in Brazil, which, in 2024, recorded an increase of only 3% in total installed capacity compared to the previous year (EPE, 2025). Through an integrative literature review, combined with the analysis of technical documents issued by agencies such as ANEEL, ONS, and EPE, the research provides a comprehensive overview of the evolution of wind power in the country, the current challenges, and the medium- and long-term outlook. The study also examines the effects of distributed generation on the National Interconnected System (SIN), the saturation of the power grid in regions with high wind generation density, and the operational difficulties faced by ONS in managing abrupt variations in net load. The results indicate that the increasing complexity of the national power matrix requires new regulatory strategies, including the imposition of financial guarantees, a reformulation of transmission system usage agreements, and enhanced governance over the grid access process. In response to this scenario, the study proposes structural measures aimed at a sustainable recovery of the sector, including improvements to transmission infrastructure, refinement of grid access criteria, incentives for technological innovation, and greater coordination among academia, industry, and public authorities. It concludes that Brazil still holds significant wind potential, capable of positioning this source as a central vector of the energy transition, provided that systemic planning and effective coordination among the various stakeholders in the power sector are ensured.

Keywords: wind energy; curtailment; expansion; energy transition; integrative review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes da turbina eólica.	18
Figura 2 – Capacidade instalada de geração de energia elétrica brasileira em 2021.....	40
Figura 3 – Evolução de capacidade instalada no Brasil.	44
Figura 4 – Percentual de crescimento anual de capacidade instalada	47
Figura 5 – Exportação de energia da região nordeste em GW ao longo do dia	53
Figura 6 – Rampa de geração hidráulica em GW ao longo do dia.	54
Figura 7 – Evolução da capacidade instalada ONS.....	58
Figura 8 – Efeito da inserção da MMGD na carga máxima vista pelo ONS	59

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Classes de turbinas eólicas.....	19
Tabela 2 – Resultados encontrados em 4 plataformas	37
Tabela 3 – Estudos selecionados para análise.	37
Quadro 1 – Artigos Analisados	70
Quadro 1 – Artigos Analisados (Continuação).....	71
Quadro 1 – Artigos Analisados (Continuação).....	72
Quadro 1 – Artigos Analisados (Continuação).....	73
Quadro 1 – Artigos Analisados (Continuação).....	74
Quadro 1 – Artigos Analisados (Continuação).....	75
Quadro 1 – Artigos Analisados. (Continuação).....	76
Quadro 1 – Artigos Analisados (Continuação).....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIN	Sistema Interligado Nacional
FEM	Força Eletromotriz
IEC	International Electrotechnical Commission
LP	Licença Prévia
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
CUST	Contrato de Uso do Sistema de Transmissão
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
REDs	Recursos Energéticos Distribuídos
EUST	Encargos de Uso do Sistema de Transmissão
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
GD	Geração Distribuída
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
GD	Geração Distribuída
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
TCC	Trabalhos de Conclusão de Curso
Proinfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
PAR/PEL	Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo
GTC	Grupo de Trabalho <i>Curtailment</i>
MMDG	Micro e Minigeração Distribuída
SFG	Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração
IEA	Agência Internacional de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCM	Procedimento Competitivo por Margem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVO GERAL	16
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	COMPONENTES DA TURBINA EÓLICA	18
2.2	IMPACTOS SOCIOAMBIENTAL DAS TURBINAS EÓLICAS.....	21
2.3	REGULAMENTAÇÕES AMBIENTAIS	22
2.4	CONEXÃO À REDE ELÉTRICA.....	24
2.5	MARCOS REGULATÓRIOS E POLÍTICAS PÚBLICAS	26
2.5.1	<i>Resolução normativa nº 1.071/2023.....</i>	<i>26</i>
2.5.2	<i>Resolução normativa nº 1.065/2023.....</i>	<i>27</i>
2.5.3	<i>Resolução normativa ANEEL nº 1.069/2023.....</i>	<i>29</i>
2.5.4	<i>Resolução CONAMA nº 462/2014.....</i>	<i>29</i>
2.5.5	<i>Marco legal da geração distribuída nº 14.300/2022.....</i>	<i>30</i>
2.5.6	<i>Propostas legislativas e regulatórias em discussão</i>	<i>31</i>
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	ETAPAS PARA AQUISIÇÃO DE DADOS ACADÊMICOS	34
3.2	ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DOS DADOS	36
3.3	SÍNTESE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	36
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	38
4.1	ANÁLISE DA EXPANSÃO E DESENVOLVIMENTO DO SETOR EÓLICO.....	39
4.2	REVISÃO INTEGRATIVA DOS DESAFIOS TÉCNICOS DA ENERGIA EÓLICA	48
4.3	ANÁLISE DE DADOS TÉCNICOS DE ÓRGÃOS REGULADORES	52
5	CONCLUSÃO.....	61
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	63
	ANEXO A - QUADRO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	70

1 INTRODUÇÃO

Com o agravamento das mudanças climáticas, decorrente do efeito estufa e das elevadas taxas de emissão de carbono, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de substituição das fontes fósseis por fontes renováveis de energia.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2022 a matriz elétrica mundial era composta por 70,5% de fontes não renováveis: 35,8% de carvão mineral, 22,3% de gás natural, 9,2% de energia nuclear e 2,7% de petróleo e derivados (EPE, 2025). Essa elevada dependência de combustíveis fósseis tem resultado, anualmente, na liberação de bilhões de toneladas de carbono na atmosfera terrestre.

No caso brasileiro, observa-se um cenário distinto. No mesmo período, em 2022, a matriz elétrica nacional era composta por 86,1% de fontes renováveis. A geração hidrelétrica ocupava a primeira posição, com 103,2 GW de capacidade instalada, representando 54,1% do total. Em seguida, destacava-se a geração eólica, com 25,63 GW, equivalente a 13,4%. No entanto, a soma das fontes fósseis totalizou uma participação de 15,4%, com 29,5 GW, superando a participação da fonte eólica (ABEEÓLICA, 2023).

Diante desse panorama, a necessidade de redução das emissões de carbono e a promoção da transição energética motivaram a realização da 26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP26), em Glasgow, Escócia. Durante o evento, o uso de combustíveis fósseis foi apontado como o principal fator da crise climática global. Como medida de resposta aos impactos ambientais provocados pelas atividades humanas, foi recomendado que as nações signatárias reavaliassem as metas de redução de emissões estabelecidas no Acordo de Paris, firmado em 2015 (ONU, 2021).

Nesse contexto, o Brasil destaca-se como um dos países com maior potencial para geração e comercialização de créditos de carbono, especialmente por meio do reflorestamento de áreas degradadas. Além disso, o fortalecimento da matriz elétrica renovável nacional contribui não apenas para o cumprimento dos compromissos climáticos, como também viabiliza a produção de hidrogênio verde, uma fonte energética promissora que demanda elevados volumes de eletricidade.

Entre as fontes renováveis, a energia eólica vem ganhando destaque em função de sua elevada capacidade de geração em áreas relativamente compactas, dos baixos impactos ambientais associados, da abundância de ventos no litoral brasileiro e da complementaridade de seu pico de geração com os períodos de estiagem da geração hidrelétrica. Soma-se a esses fatores o avanço tecnológico observado nas turbinas eólicas, que vêm se tornando

progressivamente mais eficientes, com otimização do fator de capacidade, redução de custos e encurtamento dos ciclos produtivos na fabricação de seus componentes.

A constante evolução tecnológica do setor eólico tem se refletido diretamente no aumento das dimensões das pás e na eficiência dos aerogeradores. Historicamente, as primeiras pás eólicas apresentavam menos de 10 metros de comprimento. Um dos primeiros parques eólicos conectados à rede elétrica foi construído na Dinamarca, na década de 1950, com o objetivo de abastecer pequenos grupos rurais em corrente contínua. Nesse contexto, destaca-se a turbina eólica “*La Cour-Lykkegard*”, capaz de gerar aproximadamente 30 kW sob ventos com velocidade média de 12 m/s, possuindo um rotor com 18 metros de diâmetro (PINTO, 2013). Em escala global, a maior turbina já fabricada é a unidade offshore de 26 MW desenvolvida pela *Dongfang Electric Wind Power* (2024), equipada com pás de 129 metros e rotores de 310 metros de diâmetro, sendo considerada a mais potente do mundo até o ano de 2025. No Brasil, os maiores modelos de pás eólicas atualmente fabricados possuem cerca de 80 metros de comprimento, evidenciando o avanço gradual da indústria nacional nesse segmento.

Apesar do progresso tecnológico, o mercado eólico brasileiro vem sendo afetado pela ausência de novos leilões de energia desde o ano de 2022. Empresas de grande relevância no setor, como WEG, Siemens Gamesa e Nordex, encerraram parte de suas operações no país em 2024, em virtude da não obtenção de novos contratos nos certames regulados. Como consequência, fabricantes de pás associadas a essas companhias promoveram reduções significativas em seus quadros de pessoal ao longo de 2024, com perspectivas de continuidade dessas reduções até o início de 2025 (BRAINMARKET, 2025). Diante desse cenário de retração, empresas ligadas à construção de torres e ao comissionamento de parques eólicos também têm sido impactadas, resultando em cortes adicionais de pessoal e paralisação de projetos em fase inicial.

Em contrapartida, a análise da produção acadêmica relacionada ao mercado de energia eólica no Brasil revela a prevalência de projeções otimistas quanto à expansão do setor em âmbito nacional (DIAS *et al.*, 2024). Durante vários anos, observou-se um cenário favorável à transição energética, no qual a fonte eólica passou a ocupar posição de destaque na matriz elétrica brasileira. No entanto, as estimativas de crescimento anteriormente difundidas já não correspondem à realidade observada, demonstrando uma desconexão entre as expectativas projetadas e o atual contexto de estagnação enfrentado pelo segmento.

1.1 Motivação e justificativa

Nas últimas duas décadas, o Brasil consolidou-se como uma das principais potências globais em energia eólica, impulsionado pelo incentivo de políticas públicas, condições naturais favoráveis e crescente interesse de investidores nacionais e internacionais. No entanto, o setor passou a apresentar sinais evidentes de desaceleração, com retração em leilões de energia, aumento dos episódios de *curtailment* e redução do volume de novos projetos de parques eólicos. Esse paradoxo entre o potencial da fonte e os entraves enfrentados motivou a elaboração do presente trabalho, que busca compreender os fatores que estão limitando a continuidade do crescimento sustentável do setor eólico no país.

1.2 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo analisar a evolução do mercado de energia eólica no Brasil e suas projeções de expansão.

1.3 Objetivos específicos

Ademais, o presente trabalho tem como objetivos específicos:

- Introduzir as principais regulamentações vigentes para o segmento eólico;
- Realizar uma revisão integrativa sobre o mercado de energia eólica, e as perspectivas sobre o futuro;
- Avaliar o impacto do crescimento da geração distribuída e sua relação com o *curtailments*.
- Analisar dados de carga e demanda publicadas pelos órgãos reguladores;
- Constatar se de fato o mercado de energia eólica está passando por uma crise;
- Propor alternativas de políticas públicas que podem beneficiar esse mercado.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

- No capítulo 2, é apresentado os principais componentes da turbina eólica e os fundamentos do mercado de energia elétrica;
- No capítulo 3, é apresentada como foi realizado o procedimento metodológico da revisão integrativa;
- No capítulo 4, é feita a análise comparativa dos resultados obtidos na revisão integrativa em contraponto ao que tem sido divulgado pelos órgãos reguladores de energia;
- No capítulo 5, é feito levantamento a conclusão e sugestões de trabalhos futuros que possam agregar na linha de pesquisa;

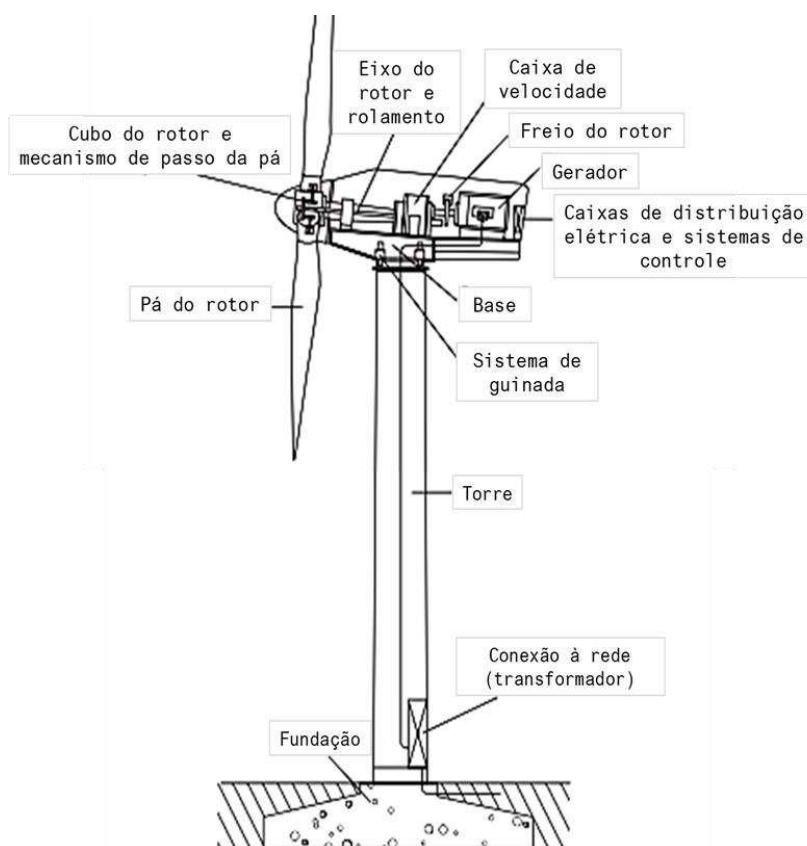
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão desenvolvidas as bases teóricas que fundamenta este trabalho. Para isso, serão apresentados o funcionamento de uma turbina eólica, seus principais componentes, a classificação dos modelos de pás eólicas, as principais características da geração eólica na rede elétrica e os fundamentos do mercado de energia. Com isso, poderemos analisar os dados de carga e demanda divulgados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e as previsões de expansão do Sistema Interligado Nacional (SIN) nos próximos anos.

2.1 Componentes da turbina eólica

As turbinas eólicas são sistemas projetados para converter a energia cinética do vento em energia elétrica, por meio de um processo que envolve a transformação inicial em energia mecânica e, posteriormente, a geração de energia elétrica por intermédio de um gerador. Entre os principais componentes presentes nessas estruturas destacam-se: pás, cubo (*hub*), sistema de passo (*pitch control*), eixos e rolamentos, caixa de velocidades, sistema de freios, gerador, sistemas de controle e distribuição elétrica, base de sustentação e mecanismo de guinada, conforme ilustrado na Figura 1 (HAU, 2006).

Figura 1 – Componentes da turbina eólica



Fonte: Adaptado de “Wind Turbines”, Erich Hau (2006).

O rotor, composto pelas pás e pelo hub, é o elemento responsável pela conversão da energia cinética dos ventos em torque mecânico. As pás são projetadas com perfil aerodinâmico otimizado, levando-se em consideração fatores como resistência mecânica, custos de fabricação e exigências logísticas. A conexão entre as pás e o hub pode ser fixa ou equipada com o sistema de *pitch control*, o qual permite o ajuste do ângulo de ataque. O eixo do rotor, que pode operar em baixa ou alta rotação, transmite a energia mecânica a uma caixa de engrenagens multiplicadora, que, por sua vez, aciona o gerador (HAU, 2006).

As pás eólicas são os principais componentes responsáveis pela captação da energia cinética do vento, sendo projetadas para gerar torque mecânico suficiente à movimentação do sistema. A seleção do tipo de pá depende das características do regime de ventos do local de instalação. De acordo com a norma IEC 61400-1, existem cinco classes principais de turbinas eólicas, baseadas em critérios como a média anual da velocidade do vento, a velocidade máxima de rajadas em períodos de 1 e 50 anos, e o nível de turbulência local. Essas classificações estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de turbinas eólicas

CLASSE:	I	II	III	IV	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	30	Valores especificados pelo projetista
V_m (m/s)	10	8,5	7,5	6	
V_{raj50} (m/s)	70	59,5	52,5	42	
V_{raj1} (m/s)	52,5	44,6	39,4	31,5	

Fonte: Fundamentos de Energia Eólica, Milton Pinto (2013).

O gerador, é o componente responsável pela conversão eletromecânica de energia, transformando a energia mecânica proveniente da rotação das pás em energia elétrica. Esse processo de conversão fundamenta-se na Lei de Faraday da Indução Eletromagnética, segundo a qual uma Força Eletromotriz (FEM) é induzida em um condutor sempre que este é exposto a um campo magnético variável, essa relação é expressa pela Equação 1.

$$FEM = - \frac{Nd\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

Em que “N” é o número de espiras, “ Φ_B ” é o fluxo magnético e $\frac{d\Phi_B}{dt}$ é a taxa de variação do fluxo magnético.

Em uma máquina de corrente alternada síncrona, a velocidade de rotação (v_s) do campo magnético do rotor está em perfeita sincronia com o campo no rotor, e com a frequência (f) de operação da rede elétrica variando a velocidade apenas com a quantidade de polos (p) usados para construir a máquina, como descrito na Equação 2:

$$v_s = 120 \frac{f}{p} \text{ (rpm)} \quad (2)$$

Uma das principais vantagens na utilização de geradores síncronos em turbinas eólicas está na capacidade dessas máquinas de operarem sem a necessidade de sistemas adicionais de compensação de energia reativa. Diferentemente das máquinas de indução, os geradores síncronos apresentam maior controle sobre o fator de potência, o que resulta em um desempenho mais eficiente do ponto de vista energético. No entanto, essas vantagens vêm acompanhadas de algumas limitações técnicas. Para operar em baixas velocidades, os geradores síncronos são, geralmente, construídos com um número elevado de polos, o que aumenta significativamente o tamanho e o peso do equipamento. Essa característica impacta não apenas os custos de fabricação, mas também a logística de transporte e instalação dos geradores.

Já nas máquinas assíncronas, o estator precisa ser alimentado por energia reativa, conectado à rede elétrica ou a um banco de capacitores, para que ele possa funcionar. Essa corrente sobre o estator gera um campo magnético que rotaciona a uma velocidade síncrona (v_s), e induz sobre o rotor uma corrente de magnetização que possui a velocidade (v_r) de rotação defasada em relação ao campo gerado no estator. Essa defasagem de velocidade no campo magnético do rotor em relação ao estator é representado pelo escorregamento (s) na Equação 3:

$$s = \frac{v_s - v_r}{v_s} \quad (3)$$

Em uma máquina assíncrona é necessário que a velocidade de rotação esteja sempre defasada em relação ao campo magnético no estator, do contrário, não haveria variação do fluxo magnético no rotor e nenhuma corrente seria induzida. Os geradores de indução possuem uma construção mais barata em relação as máquinas síncronas, pois os ímãs permanentes possuem um alto custo e ainda o risco de picos de corrente ou curtos-circuitos desmagnetizarem o ímã ao expor a elevadas temperaturas.

A torre tem a função de elevar a nacela e o rotor a uma altura que permita o melhor aproveitamento dos ventos. Esse componente pode representar até 20% do custo total do aerogerador. Quanto maior a torre, maior o ganho energético, embora também aumentem os desafios estruturais e logísticos. O dimensionamento correto deve considerar a rigidez estrutural, a frequência natural da torre e os materiais utilizados. Para turbinas com alturas superiores a 100 metros, o diâmetro da base pode ultrapassar os 5 metros, tornando o transporte rodoviário inviável em determinadas regiões do país (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009). As torres mais comuns são tubulares em aço, mas também existem modelos em concreto e treliçados, utilizados conforme a aplicação e as restrições logísticas.

2.2 Impactos socioambiental das turbinas eólicas

Com a expansão do mercado de energia eólica, houve também um avanço significativo nos estudos relacionados aos impactos socioambientais dos aerogeradores, especialmente sobre as comunidades residentes próximas aos parques e à fauna local (GORAYEB, 2019). Os principais efeitos registrados referem-se à emissão de ruídos e à ocorrência de colisões de animais silvestres, particularmente aves, com as pás das turbinas, fenômeno conhecido como “*bird strike*”.

Durante a operação de uma turbina eólica, são gerados dois tipos principais de ruídos: os mecânicos e os aerodinâmicos. Os ruídos mecânicos têm origem em componentes internos da nacelle, como o sistema de resfriamento e os dispositivos auxiliares. Além disso, folgas ou desalinhamentos no sistema de engrenagens do conjunto de conversão e transmissão podem intensificar esses ruídos, agravando-os quando há amplificação causada por vibrações estruturais da torre. Para mitigar esses efeitos, é recomendável que a base do gerador e do sistema de engrenagens seja equipada com acoplamentos elásticos, capazes de absorver a maior parte das vibrações e proporcionar uma montagem com maior flexibilidade, reduzindo a propagação de ruído (PINTO, 2013).

Nas turbinas de grande porte, os ruídos aerodinâmicos tendem a ser mais significativos do que os mecânicos. Esse tipo de ruído é originado pela interação entre o vento e o perfil aerodinâmico das pás, principalmente no bordo de fuga, onde ocorre a separação do escoamento (*estol*), a formação de vórtices na ponta da pá (*tip vortices*), o cisalhamento da camada limite e a turbulência associada ao movimento rotacional. Esses fenômenos, bem conhecidos no campo da aerodinâmica, afetam diretamente o nível de ruído percebido em áreas adjacentes aos parques eólicos (PINTO, 2013).

Visando a proteção da saúde e do bem-estar das populações vizinhas, legislações específicas impõem critérios de distanciamento entre as torres eólicas e as habitações. No Brasil, a regulamentação vigente estabelece uma distância mínima de 400 metros entre a turbina e a residência mais próxima, enquanto em alguns países europeus essa distância é de, no mínimo, 500 metros. Ainda assim, persistem relatos de moradores afetados negativamente por esses ruídos, que incluem distúrbios do sono, aumento dos níveis de estresse e o surgimento de comorbidades associadas à exposição contínua a ruídos de baixa frequência.

No que diz respeito à fauna, os impactos também são notáveis. Um exemplo emblemático ocorreu na Bahia, onde a instalação de um complexo eólico por uma empresa francesa na região de Canudos, área de habitat da arara-azul-de-lear, espécie ameaçada

de extinção, teve suas licenças ambientais suspensas por representar um risco significativo à preservação da biodiversidade local (G1, 2023).

2.3 Regulamentações ambientais

O desenvolvimento de projetos eólicos no Brasil encontra-se estruturado sobre um arcabouço regulatório que garante segurança técnica ao SIN e proteção ambiental. A Resolução CONAMA nº 462/2014, por exemplo, define critérios específicos para o licenciamento de empreendimentos eólicos terrestres, reconhecendo sua importância para a matriz energética e estabelecendo bases para sua avaliação ambiental de forma simplificada ou completa, conforme o porte e impacto do empreendimento (SUDEMA, 2022). De modo abrangente, todo o processo pode ser dividido em três grupos de licenças que são subsequentes uma às outras.

Na fase da Licença Prévia (LP), são realizados os principais estudos de viabilidade ambiental do empreendimento, sendo essa etapa essencial para identificar e avaliar os impactos que a instalação de um parque eólico poderá causar ao meio ambiente. Entre os principais levantamentos exigidos estão: estudos de caracterização do meio físico, meio biótico e meio socioeconômico. Esses estudos integram o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), exigidos para empreendimentos de maior porte e impacto, como é o caso da energia eólica em áreas de sensibilidade ecológica (PINTO, 2013).

Além disso, são avaliadas alternativas locacionais do projeto, estimativas de impacto cumulativo e propostas de medidas mitigadoras. A LP tem validade de até cinco anos, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 237/1997, e sua emissão não autoriza o início das obras, mas assegura que o projeto é ambientalmente viável, servindo como pré-requisito para o prosseguimento do licenciamento ambiental. Durante esse período de validade, o empreendedor deve solicitar a Licença de Instalação (LI), sob pena de caducidade da LP, salvo justificativa devidamente aceita pelo órgão ambiental competente.

A LI é a etapa do licenciamento ambiental que autoriza o início efetivo das obras do empreendimento, desde que sejam cumpridas as condicionantes estabelecidas na LP. Para sua obtenção, o empreendedor deve apresentar um conjunto de documentos e estudos técnicos detalhados, incluindo o projeto executivo da obra e os programas ambientais previstos no EIA, que agora devem ser desdobrados em planos específicos de mitigação, monitoramento e controle. Nessa fase, são exigidos levantamentos complementares sobre a fauna e flora locais, plano de manejo de resíduos, medidas para controle de ruído e emissão de partículas, e, quando aplicável, planos de compensação ambiental e de reassentamento de populações afetadas.

A implantação das estruturas físicas do parque eólico, como torres, vias de acesso e subestações, só pode ocorrer após a emissão da LI, que tem validade variável, conforme o cronograma apresentado pelo empreendedor, mas geralmente não ultrapassa seis anos, conforme práticas adotadas pelos órgãos ambientais estaduais e federais.

A Licença de Operação (LO), por sua vez, é concedida quando forem implantadas as infraestruturas ambientais estabelecidas nas fases anteriores. Os principais levantamentos exigidos nessa fase incluem o monitoramento da qualidade da água, do ar, do solo, da fauna e da flora, além da avaliação de ruídos e vibrações, especialmente em áreas próximas a comunidades. Também são verificados os impactos socioeconômicos e a efetividade dos programas de compensação ambiental e de relacionamento com as partes interessadas. A LO atesta que o empreendimento está apto a operar sob condições ambientalmente seguras, e sua validade varia conforme a complexidade do projeto, podendo ser de até 10 anos, conforme previsto pela Resolução CONAMA nº 237/1997.

Apesar da obtenção das licenças ambientais representar um avanço fundamental no processo de viabilização de um empreendimento eólico, essas autorizações não conferem, por si só, o direito de conexão ou injeção imediata de energia na rede elétrica. A integração do parque ao SIN requer, obrigatoriamente, a formalização de um pedido de acesso junto ao ONS e a celebração do Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST), instrumento regulatório essencial que formaliza o direito de um agente de acessar e utilizar a infraestrutura de transmissão de energia elétrica. Esse contrato é firmado entre o agente gerador e o ONS, com a aprovação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e estabelece as condições técnicas, operacionais e comerciais de uso da rede.

O pedido de acesso e, consequentemente, a tramitação para celebração do CUST, ocorre geralmente em paralelo à obtenção da LI, uma vez que essa etapa marca o início efetivo da viabilização técnica e física do empreendimento, sendo necessário garantir a conexão à rede de transmissão para o escoamento da energia gerada. Assim, a conexão à rede é uma etapa posterior às licenças ambientais e está condicionada à viabilidade técnica de escoamento, à análise de interferências sistêmicas e à disponibilidade de capacidade de transmissão no ponto de acesso requerido, conforme definido nas regras de acesso ao sistema de transmissão estabelecidas pela ANEEL.

A rápida expansão das fontes renováveis variáveis, especialmente solar e eólica, tem gerado um volume crescente de pedidos de acesso à rede, criando um gargalo operacional e regulatório (EIXOS, 2025). Muitas usinas conseguem avançar no licenciamento ambiental e até na construção, mas permanecem com restrições para escoar sua produção devido à limitação

da malha de transmissão existente ou à morosidade no trâmite dos contratos de uso. Esse descompasso tem provocado o fenômeno conhecido como *curtailment*, ou seja, o corte de geração renovável por falta de capacidade de escoamento.

Em resposta a esse desafio, a ANEEL editou a Resolução Normativa nº 1.065/2023, com o objetivo de promover mais eficiência, transparência e organização na fila de acesso ao sistema de transmissão. A norma estabelece critérios objetivos para priorização e penalizações em casos de inação por parte dos proponentes, reduzindo os chamados "projetos especulativos". Complementarmente, a REN nº 1.069/2023 trouxe alterações nas regras de celebração do CUST, permitindo, entre outras medidas, que projetos compartilhem infraestrutura de conexão e definindo prazos mais claros para a viabilização dos acessos. Essas medidas têm contribuído significativamente para o ordenamento do setor e para a melhoria do aproveitamento do potencial renovável no país, mitigando o risco de ineficiência sistêmica causada por projetos travados por limitações de acesso à rede.

2.4 Conexão à rede elétrica

No Brasil, assim como em grande parte do mundo, os sistemas públicos de energia elétrica operam com corrente alternada trifásica, padronizada em 60 Hz. A estrutura da rede elétrica é segmentada em três níveis principais de tensão: alta tensão (por exemplo, 500 kV, 230 kV, 138 kV), média tensão (tipicamente 34,5 kV, 24,5 kV) e baixa tensão (110 V, 220 V). Essa hierarquia é fundamental para garantir o transporte eficiente da energia desde os centros geradores até os pontos de consumo, minimizando perdas e assegurando estabilidade ao sistema.

A conexão de turbinas eólicas a essa rede requer atenção a diversos aspectos técnicos, sobretudo relacionados à qualidade da energia e à compatibilidade com o sistema existente. O conceito de qualidade da energia refere-se à conformidade da tensão e da corrente elétrica com os parâmetros esperados pela rede, como a forma de onda senoidal, frequência e amplitude constantes. As turbinas eólicas interagem dinamicamente com o sistema elétrico, podendo afetar essas características.

As perturbações geradas pelas turbinas incluem distorções harmônicas, variações de tensão e, em alguns casos, oscilações de frequência. Em grandes sistemas interligados, a frequência tende a ser estável, minimizando esse impacto. No entanto, em redes isoladas ou com baixa robustez elétrica, a variabilidade inerente à geração eólica pode causar flutuações significativas. Adicionalmente, a distância entre o ponto de conexão e a subestação mais próxima influencia diretamente a impedância local, o que, por sua vez, reduz a potência de

curto-circuito e aumenta a suscetibilidade do sistema a distúrbios transitórios (DNV; RISO, 2002).

Um dos principais fatores a serem considerados é a potência de curto-circuito disponível no ponto de acoplamento, que determina a capacidade da rede em absorver perturbações sem comprometer os níveis de tensão e a estabilidade operacional. A potência de curto-circuito representa a capacidade da rede de absorver correntes de falha. Quanto maior esse valor, menor a variação de tensão frente a perturbações. Em regiões remotas ou com infraestrutura limitada, esse parâmetro tende a ser reduzido, o que demanda análises criteriosas nos estudos de acesso, exigidos conforme a os procedimentos de rede do ONS.

Entre as distorções mais relevantes causadas pela conexão de geradores eólicos estão as variações de tensão em regime permanente. Tais oscilações são típicas da geração intermitente do vento e devem ser monitoradas em conjunto com fenômenos como *flicker* e harmônicos. Durante a operação contínua, avaliam-se variações de baixa frequência, enquanto nos eventos de comutação são observadas quedas de tensão e transitórios causados pela entrada ou saída de equipamentos (DNV; RISO, 2002).

Outro fator técnico relevante associado à operação de turbinas eólicas de velocidade variável é a distorção harmônica na rede elétrica. Essa distorção decorre, em grande parte, da conversão da energia elétrica por dispositivos eletrônicos de potência, responsáveis por adequar a frequência e a forma de onda da energia gerada. Tais dispositivos, ao operarem de forma comutada, introduzem componentes harmônicas na corrente injetada na rede, distanciando-se do sinal senoidal ideal. Embora tecnologias mais recentes apresentem melhorias significativas na filtragem e no controle da forma de onda, a presença de harmônicos ainda requer atenção, especialmente em sistemas com alta penetração de fontes renováveis.

Com o crescimento dos parques eólicos em escala industrial, tornou-se essencial sua integração técnica ao SIN. Esse novo cenário impõe às centrais eólicas responsabilidades operacionais comparáveis às usinas convencionais, inclusive em termos de controle de tensão, suporte dinâmico e resposta a contingências (MANWELL; MCGOWAN; ROGERS, 2009).

Estudos de integração elétrica passaram a exigir modelagens computacionais avançadas para simular a reação dos parques eólicos a eventos como curtos-circuitos, variações abruptas de carga e oscilações de tensão. Esse nível de detalhamento reforça a necessidade de sistemas de controle sofisticados e de uma coordenação estreita entre geradores e operadores do SIN, assegurando que a energia eolioelétrica seja integrada de modo seguro, eficiente e compatível com os critérios técnicos do sistema. O relatório técnico RT DGL-ONS 0189/2025 destaca que, após a perturbação de 15 de agosto de 2023, foi necessário revisar os modelos

matemáticos usados pelos geradores, pois seu desempenho dinâmico diferiu do previsto, o que exigiu ajustes na capacidade de escoamento e aumentou os cortes por confiabilidade.

2.5 Marcos regulatórios e políticas públicas

A crescente complexidade do SIN, impulsionada pela ampliação da participação de fontes renováveis variáveis, como a eólica e a solar, tem intensificado a necessidade de aprimoramento das normas que regulam o acesso, a operação e o controle das redes elétricas. Diferentemente das usinas convencionais, os Recursos Energéticos Distribuídos (REDs), especialmente aqueles conectados por meio de inversores eletrônicos, demandam um novo arranjo regulatório capaz de assegurar a estabilidade do sistema diante de oscilações abruptas na geração e no consumo. A diversidade tecnológica e geográfica das novas fontes acentua a urgência por revisões normativas que viabilizem um modelo de conexão mais dinâmico, equitativo e seguro, promovendo o uso eficiente da infraestrutura de transmissão.

O Brasil tem adotado medidas relevantes nesse sentido, como a publicação das Resoluções Normativas nº 1.065/2023 e nº 1.069/2023, que conferem maior transparência e previsibilidade ao processo de acesso à rede elétrica. Esses instrumentos normativos contribuíram para inibir práticas especulativas quanto à capacidade de escoamento, reforçaram a exigência de demonstração de viabilidade técnica nos pedidos de conexão e permitiram um monitoramento mais criterioso da fila de projetos.

Em comparação com países que lideram a transição energética, como Alemanha, Dinamarca e Estados Unidos, o Brasil ainda enfrenta desafios consideráveis na consolidação de uma governança robusta para sua infraestrutura elétrica. Enquanto essas nações operam com modelos avançados de integração entre operadores regionais, plataformas digitais de monitoramento em tempo real e participação ativa de fontes distribuídas em mercados de serviços auxiliares, o sistema brasileiro ainda se encontra em fase de adaptação. Contudo, os avanços recentes no campo regulatório indicam uma mudança de paradigma que tende a alinhar o país com padrões internacionais, priorizando a flexibilidade operacional, a confiabilidade do suprimento e a descentralização da matriz elétrica.

2.5.1 Resolução normativa nº 1.071/2023

Publicada em 29 de agosto de 2023, a Resolução Normativa ANEEL nº 1.071/2023 estabelece diretrizes para a modernização dos procedimentos de outorga de autorização para

centrais geradoras de energia elétrica, promovendo maior rigor técnico, previsibilidade regulatória e segurança jurídica ao setor. Para o segmento de geração eólica, a norma impõe novos desafios, particularmente no que se refere ao planejamento de longo prazo e à qualificação técnica entre projetos, mas também propicia maior eficiência na alocação de recursos e no desenvolvimento sustentável das fontes renováveis (BRASIL, 2023).

Do ponto de vista técnico, a resolução reforça a obrigatoriedade da apresentação de dados de medição meteorológica independente, exigindo séries anemométricas com no mínimo três anos de dados para projetos eólicos. Adicionalmente, determina a análise de interferência aerodinâmica entre aerogeradores adjacentes, com base em ferramentas georreferenciadas disponibilizadas pela ANEEL. Essas exigências têm como objetivo aprimorar a qualidade dos estudos de viabilidade e mitigar riscos de subaproveitamento do recurso eólico ou de conflitos operacionais no ponto de conexão.

A Resolução nº 1.071/2023 regulamenta a possibilidade de coexistência de diferentes fontes de geração, como eólica e solar, em um mesmo ponto de conexão. Para esses arranjos, a norma impõe critérios específicos de medição individualizada, controle operacional e separação energética, de modo a evitar sobreposição de benefícios regulatórios e garantir a rastreabilidade da energia gerada. Além disso, a regulamentação busca coibir práticas como o fracionamento artificial de empreendimentos, ao restringir o uso compartilhado de infraestrutura entre centrais que não atendam aos requisitos de independência física e funcional definidos pela ANEEL.

Outro aspecto relevante da Resolução é a definição de prazos mais rígidos para a entrada em operação comercial das centrais outorgadas. O prazo máximo para implantação foi fixado em 54 meses, contados a partir da data de publicação do ato autorizativo, sendo prevista a revogação automática da outorga em caso de descumprimento. Essa medida visa garantir maior previsibilidade ao processo de planejamento setorial e reforçar o compromisso dos agentes com a execução dos empreendimentos. De forma integrada, tais dispositivos têm o propósito de alinhar a expansão da geração à capacidade efetiva de escoamento do sistema elétrico, contribuindo para a mitigação de restrições operativas e para a redução dos episódios de *curtailment* registrados em regiões com elevada concentração de geração renovável.

2.5.2 Resolução normativa nº 1.065/2023

A Resolução Normativa ANEEL nº 1.065, de 11 de julho de 2023, estabelece diretrizes e procedimentos para a celebração de CUST por empreendimentos de geração ainda

sem outorga. Essa medida surgiu como resposta à crescente demanda por acesso à rede de transmissão, muitas vezes sem a devida comprovação de viabilidade técnica e econômica. Ao permitir a formalização de contratos condicionados mesmo sem a emissão da outorga, a norma promove a organização do processo de expansão da malha de transmissão, conferindo maior previsibilidade e racionalidade ao setor (BRASIL, 2023).

Além disso, a norma visa otimizar o uso da infraestrutura existente e planejada, criando mecanismos que possibilitam a reserva antecipada de capacidade por parte de empreendedores com projetos tecnicamente viáveis e financeiramente estruturados. Ao mesmo tempo, impõe critérios rigorosos de execução e penalidades para iniciativas que não avancem dentro dos prazos estipulados, desestimulando práticas especulativas e o bloqueio ineficiente de pontos de conexão. Dessa forma, busca-se preservar a integridade do planejamento elétrico conduzido pelo ONS e pela própria ANEEL.

A REN nº 1.065/2023 também introduz um regime excepcional para o tratamento de outorgas e contratos de transmissão firmados por centrais geradoras que ainda não entraram em operação comercial. Dois mecanismos principais se destacam: o de anistia, que permite a desistência da outorga e a rescisão do CUST sem aplicação de penalidades; e o de regularização, que possibilita a prorrogação do prazo de implantação por até 36 meses, mediante apresentação de garantias financeiras correspondentes a 40 meses de Encargos de Uso do Sistema de Transmissão (EUST).

O objetivo central da norma é liberar capacidade na rede para projetos com maior grau de maturidade técnica e econômica, promovendo um ambiente regulatório mais eficiente. A medida também reordena a fila de acesso, viabiliza a alocação de margens extraordinárias de escoamento e exige comprovações de adimplência por parte dos agentes, além de impor a renúncia a ações judiciais que obstaculizavam a atuação regulatória.

No contexto da geração eólica, os efeitos da REN nº 1.065/2023 são particularmente relevantes. Diversos projetos em estágio inicial vinham ocupando capacidade de transmissão sem perspectiva concreta de implantação. O mecanismo de anistia permite uma retirada ordenada desses empreendimentos, enquanto a regularização oferece uma nova oportunidade para projetos temporariamente inviabilizados, com obrigações mais claras e prazos reforçados.

A exigência de garantias financeiras e a atuação fiscalizadora da ANEEL contribuem para coibir novos bloqueios especulativos, reforçando a confiabilidade do planejamento elétrico. A norma também facilita a reorganização do sistema de escoamento,

fator essencial para a expansão da geração eólica no Nordeste, região com forte concentração de usinas, mas limitada capacidade de transmissão.

2.5.3 *Resolução normativa ANEEL nº 1.069/2023*

Uma das principais inovações da Resolução Normativa ANEEL nº 1.069, de 29 de agosto de 2023, é a exigência da apresentação de garantias financeiras como pré-requisito para a solicitação de acesso à rede de transmissão, com o objetivo de coibir a ocupação especulativa da malha por projetos sem viabilidade técnica ou econômica. Para viabilizar a aplicação imediata dessa regra, o ONS foi autorizado a adotar, de forma provisória, os instrumentos de garantia já previstos nos Procedimentos de Rede, até que encaminhe à ANEEL, no prazo de 90 dias, uma proposta de adequação regulatória. A norma também amplia as responsabilidades do ONS na coordenação dos processos de acesso, promovendo maior integração entre os agentes de geração e transmissão (BRASIL, 2023).

Essa exigência tem impacto direto no segmento de geração eólica, no qual diversos empreendimentos vinham ocupando capacidade de escoamento sem previsão concreta de implantação. Ao coibir tais práticas, a norma contribui para reduzir o congestionamento regulatório e físico da rede, liberando margem para projetos com maior maturidade técnica e financeira.

Para o setor eólico, que depende fortemente da infraestrutura de transmissão para viabilizar o envio de energia gerada em regiões de alta produção para os centros de consumo, a medida representa um avanço no sentido de tornar o processo de conexão mais eficiente, transparente e seguro.

2.5.4 *Resolução CONAMA nº 462/2014*

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), institui a Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014, como diretrizes específicas para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica, localizados em ambientes terrestres. Sua promulgação marcou um avanço importante na padronização e agilização do processo de licenciamento, tendo como objetivo central equilibrar o desenvolvimento sustentável com a preservação ambiental.

Essa norma surgiu como resposta à crescente expansão dos parques eólicos no Brasil e às dificuldades enfrentadas por empreendedores na obtenção de licenças ambientais.

Antes de sua publicação, não havia uma regulamentação federal específica para o setor, e os processos de licenciamento eram conduzidos de forma heterogênea pelos órgãos ambientais estaduais, o que gerava insegurança jurídica, atrasos na implantação dos projetos e aumento dos custos operacionais (ARAÚJO, 2015).

2.5.5 *Marco legal da geração distribuída nº 14.300/2022*

Com o objetivo de regulamentar de forma definitiva a microgeração e minigeração distribuída de energia elétrica a partir de fontes renováveis no Brasil, foi instituída a Lei nº 14.300/2022, sancionada em 6 de janeiro de 2022, que estabeleceu o Marco Legal da Geração Distribuída (GD). A norma abrange sistemas conectados à rede de distribuição, incluindo fontes como solar fotovoltaica, eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Diante do crescimento acelerado e da consolidação desse segmento no setor elétrico nacional, verificou-se a necessidade de um arcabouço jurídico que promovesse o equilíbrio entre os diversos agentes envolvidos, assegurando a expansão sustentável da matriz elétrica brasileira.

Dentre as principais mudanças promovidas pela nova legislação, destaca-se a introdução de uma transição gradual no pagamento da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) para novas conexões realizadas a partir de 2023, corrigindo distorções econômicas que até então isentavam os consumidores da GD da remuneração pelo uso da infraestrutura elétrica. Também foram formalizadas modalidades como a geração compartilhada, a geração em múltiplas unidades consumidoras e o autoconsumo remoto, ampliando o acesso e a viabilidade financeira de projetos de geração distribuída em todo o território nacional. Adicionalmente, a lei garantiu segurança jurídica ao estabelecer um período de 25 anos de manutenção dos benefícios para os consumidores que protocolaram solicitação de acesso até 7 de janeiro de 2023.

Apesar dos avanços regulatórios e da promoção da democratização do acesso à geração renovável, especialmente solar fotovoltaica, a Lei nº 14.300/2022 também gerou efeitos colaterais relevantes sobre o mercado de geração centralizada, incluindo o setor de energia eólica, ao alterar significativamente a dinâmica de suprimento e consumo de energia no SIN. Com o crescimento acelerado da GD, especialmente em regiões com alto índice de irradiação solar, registrou-se um aumento expressivo da geração nos períodos diurnos, o que impactou diretamente o perfil da carga líquida do sistema e reduziu a demanda por energia proveniente das grandes usinas centralizadas, incluindo os parques eólicos. Esse fenômeno agravou a

saturação operacional da rede, principalmente em horários de baixa demanda (meio-dia e início da tarde), gerando sobras estruturais de energia e pressionando o despacho por ordem de mérito.

Consequentemente, observou-se um aumento significativo nos volumes de *curtailment*, especialmente para empreendimentos eólicos localizados nas regiões Nordeste e Sul, onde a densidade de geração renovável é mais elevada. O ONS passou a lidar com rampas mais acentuadas no despacho térmico e hidráulico, além de desafios crescentes para manter o equilíbrio carga-geração e a estabilidade do sistema. A GD, por não estar plenamente integrada ao planejamento da expansão nem submetida à mesma lógica contratual do mercado regulado, introduziu externalidades negativas sobre o planejamento da operação, o que afetou a previsibilidade de escoamento da energia eólica gerada nos períodos de maior oferta.

Além disso, como a GD desloca o consumo da carga convencional sem alterar proporcionalmente os contratos de fornecimento, verifica-se uma redução na receita das distribuidoras e uma dificuldade na alocação correta dos custos fixos da rede, o que repercute no aumento da tarifa média dos consumidores cativos e na erosão do sinal econômico para a expansão do setor eólico centralizado. Essa assimetria regulatória, ao favorecer a GD com incentivos robustos sem o devido ajuste na integração sistêmica, gerou um ambiente competitivo desbalanceado e de desincentivo a novos investimentos na geração eólica de grande porte voltada para o mercado regulado.

2.5.6 Propostas legislativas e regulatórias em discussão

As transformações estruturais em curso no setor elétrico brasileiro têm impulsionado a formulação de novas regulamentações voltadas à modernização da matriz energética, à diversificação das fontes renováveis e à segurança jurídica para investidores. Entre os principais marcos em tramitação no Congresso Nacional, destacam-se o Projeto de Lei nº 576/2021, que institui o marco legal da geração eólica offshore, e o Projeto de Lei nº 414/2021, voltado à reforma do setor elétrico. Essas propostas têm sido amplamente debatidas entre agentes do mercado, órgãos reguladores e representantes do poder público por estabelecerem as bases para um novo modelo de expansão energética, mais competitivo, sustentável e alinhado às metas nacionais de transição energética. No entanto, ainda persistem divergências, especialmente quanto à governança institucional, aos modelos de contratação e à regulamentação das outorgas para uso do espaço marítimo, exigindo revisões constantes e vetos pontuais nas versões mais recentes dos projetos.

A regulamentação da geração eólica offshore avançou com a tramitação do PL nº

576/2021, de autoria do então senador Jean Paul Prates, com o objetivo de estabelecer um marco legal específico para a exploração da geração elétrica em alto-mar. As versões iniciais da proposta previam um modelo híbrido de outorga e estrutura de governança compartilhada entre os Ministérios de Minas e Energia, do Meio Ambiente e da Defesa. No entanto, o texto gerou controvérsias por não definir com clareza os critérios para delimitação de áreas prioritárias, tampouco assegurar segurança jurídica a agentes que já haviam iniciado estudos técnicos e ambientais junto ao Ibama e à Marinha. Outros pontos críticos incluíam a indefinição sobre o cronograma de leilões e a ausência de regras detalhadas para a remuneração pelo uso das áreas marítimas, o que comprometia a atratividade dos investimentos frente a mercados mais consolidados, como Reino Unido, Dinamarca e Alemanha.

Após intensos debates legislativos, o projeto foi aprovado com ajustes relevantes. Contudo, em janeiro de 2024, a Presidência da República vetou 13 dispositivos do texto, incluindo o artigo que assegurava o direito de preferência a empresas que já haviam protocolado manifestações de interesse, além de dispositivos relacionados à organização de leilões, simplificação de procedimentos e garantias contratuais. A justificativa oficial alegou conflitos de competência e ausência de estudos regulatórios prévios. A decisão foi criticada por representantes do setor e por parlamentares, sob a alegação de que os vetos criavam um vácuo normativo e desestimulavam projetos em desenvolvimento.

Em abril de 2024, o Congresso Nacional derrubou os principais vetos presidenciais, restabelecendo dispositivos essenciais para garantir previsibilidade regulatória. Com a reinclusão do direito de preferência aos agentes que já apresentaram manifestações de interesse, criou-se um ambiente jurídico mais seguro para a implantação de projetos eólicos offshore. Ainda assim, persistem desafios quanto à definição de um cronograma oficial de leilões, à modelagem da remuneração pelo uso do espaço marítimo e à integração desses empreendimentos à infraestrutura de transmissão do SIN.

Esse avanço legislativo representa um passo importante para destravar investimentos no setor offshore, promover a diversificação da matriz elétrica e alinhar o Brasil às melhores práticas internacionais. No entanto, o êxito de sua implementação dependerá da regulamentação infralegal por parte dos ministérios competentes e de sua compatibilização com o planejamento energético de médio e longo prazo.

Paralelamente, o Projeto de Lei nº 414/2021 figura como uma das principais propostas em discussão para modernizar o modelo institucional do setor elétrico brasileiro, originalmente estruturado no início dos anos 2000. O texto busca adequar o marco regulatório às novas dinâmicas de mercado, marcadas pela crescente penetração das fontes renováveis, pela

expansão da geração distribuída e pela digitalização do consumo. Entre os principais eixos da proposta destacam-se: a separação entre lastro e energia; a universalização do acesso ao mercado livre; a eliminação gradual dos subsídios generalizados; e o fortalecimento da sinalização locacional para investimentos em infraestrutura.

A proposta visa criar um ambiente de contratação mais competitivo e transparente, favorecendo a migração de consumidores cativos para o mercado livre, o que tende a ampliar a demanda por contratos bilaterais e abrir espaço para grandes projetos eólicos. Ademais, a separação entre os produtos de lastro e energia impacta diretamente fontes intermitentes, como a eólica, exigindo a adoção de soluções complementares, como sistemas de armazenamento ou contratos com usinas despacháveis, para manter a competitividade dos empreendimentos nos novos modelos de contratação.

Outro ponto relevante é a eliminação progressiva dos subsídios às fontes incentivadas, como os descontos nas tarifas de uso do sistema de transmissão e distribuição (TUST/TUSD). A extinção desses benefícios pode reduzir a atratividade de projetos de menor escala ou localizados em regiões com infraestrutura limitada. Como contrapartida, o PL prevê a adoção de tarifas de referência locacional, com o intuito de direcionar investimentos para áreas de maior racionalidade técnico-econômica.

Além disso, a proposta reforça a necessidade de internalização dos sinais econômicos associados aos encargos operacionais, como os custos de reserva de capacidade, uso da rede e restrições operativas (*curtailment*). No caso específico do setor eólico, esse novo arranjo exigirá maior precisão na previsão da geração, melhorias na qualidade das conexões e a adoção de tecnologias que ofereçam suporte efetivo à operação do SIN, como controle de tensão, frequência e rampas de carga. Apesar de representarem um acréscimo de complexidade e custos operacionais, essas exigências promovem a profissionalização do setor eólico, fortalecem sua estrutura técnica e favorecem uma integração mais eficiente e coordenada com a operação elétrica nacional.

3 METODOLOGIA

Considerando o objetivo de investigar a crise na expansão do mercado de energia eólica no Brasil, adotou-se a revisão integrativa da literatura como método de pesquisa. Segundo Hassunuma et al. (2024), essa abordagem configura-se como uma ferramenta metodológica robusta, capaz de proporcionar uma análise ampla, crítica e sistemática do conjunto de estudos científicos já publicados sobre determinado tema. Por tratar-se de uma técnica estruturada, a revisão integrativa permite a síntese do conhecimento existente, a identificação de lacunas na literatura e a formulação de novos entendimentos sobre o fenômeno investigado, com base em dados previamente consolidados.

A revisão integrativa da literatura é amplamente reconhecida como um método eficaz para sintetizar e reinterpretar conhecimentos produzidos em diferentes contextos e abordagens metodológicas. Conforme afirmam Dantas *et al.* (2021), esse tipo de revisão permite reunir e organizar, de forma sistematizada, as evidências científicas disponíveis, oferecendo maior consistência e confiabilidade aos resultados de pesquisas que se propõem a compreender temas complexos. Para os autores, o uso de critérios claros de inclusão, exclusão e avaliação crítica das fontes é essencial para garantir o rigor metodológico da revisão e, consequentemente, a validade de suas conclusões.

Além disso, Botelho, Cunha e Macedo (2011) destacam que a revisão integrativa favorece não apenas a organização do conhecimento existente, mas também o desenvolvimento de novas interpretações, contribuindo para a consolidação teórica e para o direcionamento de futuras investigações. Sua aplicação é particularmente relevante em áreas interdisciplinares e em constante transformação, como o setor de energia renovável. Portanto, diante da complexidade que envolve a expansão da energia eólica no Brasil, marcada por fatores econômicos, políticos, regulatórios e estruturais, a revisão integrativa mostra-se como a escolha metodológica mais adequada para a presente pesquisa.

3.1 Etapas para aquisição de dados acadêmicos

A condução deste trabalho seguiu uma sequência de etapas metodológicas sistematizadas, iniciando pela definição do tema e formulação da questão norteadora. Em seguida, foram estabelecidos as bases de dados relevantes para pesquisa e os critérios de inclusão e exclusão para a busca, culminando na categorização das informações obtidas nos estudos relacionados à crise na expansão do mercado de energia eólica.

Visando definir quais estratégias adotadas para identificar os estudos que serão incluídos nesta pesquisa sobre os fatores que contribuem para a crise na expansão do mercado de energia eólica, e quais serão os dados que necessitam ser coletados de cada estudo, foi utilizado questão norteadora: “O mercado de energia eólica está em crise?”. Isto posto, almejando responder a essa questão, foram utilizados bases e repositórios que concentram produções acadêmicas relevantes no contexto brasileiro, abrangendo tanto artigos científicos quanto teses e dissertações.

As plataformas selecionadas para a realização da busca foram: Scielo, Portal de Periódicos da CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e os repositórios institucionais da Universidade Federal do Ceará (UFC) e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). A escolha desses ambientes virtuais de pesquisa justifica-se pela ampla concentração de produções científicas com elevado rigor metodológico, voltadas, em especial, para estudos aplicados à realidade energética brasileira.

Os descritores utilizados foram definidos com base em termos amplamente utilizados nas pesquisas sobre energia renovável e planejamento energético, sendo eles: “energia eólica”, “crise no mercado de energia”, “expansão energética” e “panorama do mercado”. Conforme a funcionalidade de cada base de dados, os descritores foram utilizados de forma adaptada, abreviada ou parcial, a fim de ampliar a abrangência e recuperar publicações que apresentassem dados e análises pertinentes ao fenômeno investigado. As informações obtidas serão apresentadas em tabelas explicativas, a fim de tornar o processo de pesquisa mais claro e acessível.

Além da literatura acadêmica identificada nas bases e repositórios selecionados, esta pesquisa utilizará, de forma complementar, dados e documentos técnicos disponibilizados por órgãos reguladores e institutos de pesquisa ligados ao setor elétrico brasileiro, tais como a ANEEL, EPE e o ONS. A inclusão dessas fontes visa enriquecer a análise com dados atualizados, relatórios setoriais, projeções e diagnósticos técnicos que, embora não se configurem como literatura científica tradicional, fornecem informações fundamentais para a compreensão mais ampla e aplicada do contexto da crise na expansão da energia eólica no Brasil. Esse material será analisado de forma complementar à revisão integrativa.

O levantamento dos estudos foi realizado nos meses de abril e maio de 2025. Foram adotados, como critérios de inclusão, publicações em língua portuguesa, pertencentes à área temática de energias renováveis, localizadas em coleções nacionais, no formato de artigos científicos, monografias, teses e Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC). Além disso, foram consideradas apenas obras publicadas nos últimos cinco anos, entre 2020 e 2024, a fim de

garantir a atualidade e a relevância das informações, considerando a constante evolução do setor energético.

Por sua vez, os critérios de exclusão abrangeram: obras que não apresentavam os termos definidos como tema central no título e/ou nas palavras-chave; publicações com acesso restrito ou texto completo indisponível; materiais que estavam duplicados nas bases de dados consultadas; estudos alheios ao escopo do mercado de energia eólica brasileiro e materiais publicado em outros idiomas.

3.2 Estratégia de análise dos dados

Concluída a seleção dos estudos, as informações extraídas serão organizadas em uma matriz de análise, construída para sistematizar os dados de forma clara e comparável. Essa matriz contemplará os seguintes elementos principais: título do estudo, autor, ano de publicação, tipo/metodologia do estudo, objetivos, principais resultados e conclusões. A partir dessa organização, será possível observar a distribuição temática das publicações, bem como identificar pontos de convergência, divergência e eventuais lacunas na produção científica analisada.

Para interpretação dos dados, será utilizada uma abordagem qualitativa e descritiva, com foco na análise temática. Os conteúdos serão agrupados em categorias que reflitam os principais fatores relacionados ao mercado de energia eólica, como aspectos econômicos, regulatórios, tecnológicos, estruturais e ambientais. Esse processo de categorização permitirá uma leitura crítica do material, favorecendo a compreensão aprofundada do fenômeno estudado e contribuindo para a construção de um panorama consistente sobre a temática.

3.3 Síntese e apresentação dos resultados

Após a definição da questão norteadora e dos descritores, foi realizada a etapa de busca preliminar nas bases de dados selecionadas. A Tabela 2 apresenta a quantidade de resultados obtidos em cada base, de acordo com os descritores utilizados. De forma geral, nas buscas realizadas com descritores compostos, o primeiro termo foi direcionado prioritariamente aos títulos das obras, enquanto o segundo foi aplicado de maneira mais ampla, abrangendo o título, assunto e/ou palavras-chave. Essa estratégia teve como objetivo otimizar a recuperação de publicações relevantes, mesmo quando os termos não estavam presentes em todas as seções dos registros.

Tabela 2 – Resultados encontrados em 4 plataformas

Descritores	Capes	SciELO	BDTD	UFC
"energia eólica" e "mercado de energia"	9	0	17	2
"energia eólica" e "crise"	8	1	5	2
"energia eólica" e "expansão"	11	1	12	3
"energia eólica" e "panorama"	4	0	5	1
"energia eólica" e "perspectivas"	4	0	10	1
"eólica" e "expansão da matriz"	3	0	9	0
"setor eólico"	8	1	7	2
Total	47	3	65	11

Fonte: Próprio Autor.

Os resultados mostram que a BDTD apresentou o maior número de estudos com 65 resultados, seguida pela plataforma da CAPES com 47 resultados, enquanto a base da UFC apresentou 11 registros e o SciELO, apenas 3. Essa variação pode estar associada à natureza das plataformas: enquanto BDTD e CAPES concentram produções acadêmicas extensas, como teses, dissertações e TCCs, a SciELO apresenta um escopo mais restrito, voltado principalmente a artigos científicos indexados.

Em seguida, foram aplicados os critérios de exclusão, eliminando-se as obras duplicadas, publicadas em idiomas estrangeiros, sem acesso aberto, que não apresentavam os termos definidos como assunto principal ou que estavam fora do intervalo temporal estabelecido. Após essa triagem, restaram 17 obras elegíveis para análise na etapa seguinte da revisão integrativa, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Estudos selecionados para análise

Processo do Resultado	Capes	SciELO	BDTD	UFC
Pesquisa Bruta	47	3	65	11
Aplicação do critério de inclusão e exclusão	8	0	8	1
Resultado para Análise	17 Obras			

Fonte: Próprio Autor.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

A distribuição temporal dos estudos mostra uma maior concentração entre 2020 e 2025, com destaque para os anos de 2021 e 2024, períodos de maior produção acadêmica sobre o tema. Esse recorte temporal demonstra o crescimento do interesse acadêmico em torno da expansão da energia eólica, especialmente diante dos desafios contemporâneos da transição energética no Brasil.

Em relação ao tipo de produção científica, o tipo de estudo mais comum é o artigo científico, totalizando 8 trabalhos (47%), seguido por 7 teses (41%) e 2 dissertações (12%). Isso indica um forte interesse acadêmico na análise aprofundada sobre os desafios e oportunidades do setor, conforme apresenta o Quadro 1 (ANEXO A).

Os resultados encontrados na pesquisa abrangem uma diversidade de temas, objetivos e métodos de pesquisa, porém foi possível identificar quatro grandes eixos temáticos abordados pelos estudos incluídos na amostra.

Dentre as temáticas abordadas a que mais se destacou de forma recorrentes nos trabalhos analisados foi a expansão e desenvolvimento do setor eólico. Estudos como 1, 3, 4, 6, 8, 10, 13 e 17 abordaram o crescimento da energia eólica no Brasil, especialmente na região Nordeste, onde se concentra grande parte do potencial eólico nacional. Esses trabalhos discutem o aumento da capacidade instalada, a consolidação da cadeia produtiva e os fatores que favoreceram essa expansão, como políticas de incentivo, leilões de energia e a atratividade do mercado brasileiro para investidores.

Junto do crescimento e expansão desse setor surgem também as limitações, os estudos 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11 e 15 abordaram as dificuldades e incertezas associadas à expansão da energia eólica, evidenciando entraves tecnológicos, intermitência na geração, necessidade de sistemas de armazenamento e limitações da infraestrutura de transmissão. Também são discutidos os desafios relacionados à integração da energia eólica ao SIN, além de possíveis soluções e inovações tecnológicas para superá-los.

Como meio alternativo de contornar parte das limitações existem, os estudos 3, 6, 7, 8, 12 e 13 exploram o papel das políticas públicas, incentivos regulatórios e o arcabouço legal que sustentam o desenvolvimento da energia eólica no Brasil. Esses trabalhos enfatizaram que o crescimento do setor está fortemente relacionado com programas governamentais que existiram no passado, e que ainda há a necessidade de aprimoramento do ambiente regulatório para facilitar a atração de investimentos e garantir segurança jurídica aos empreendedores para o futuro.

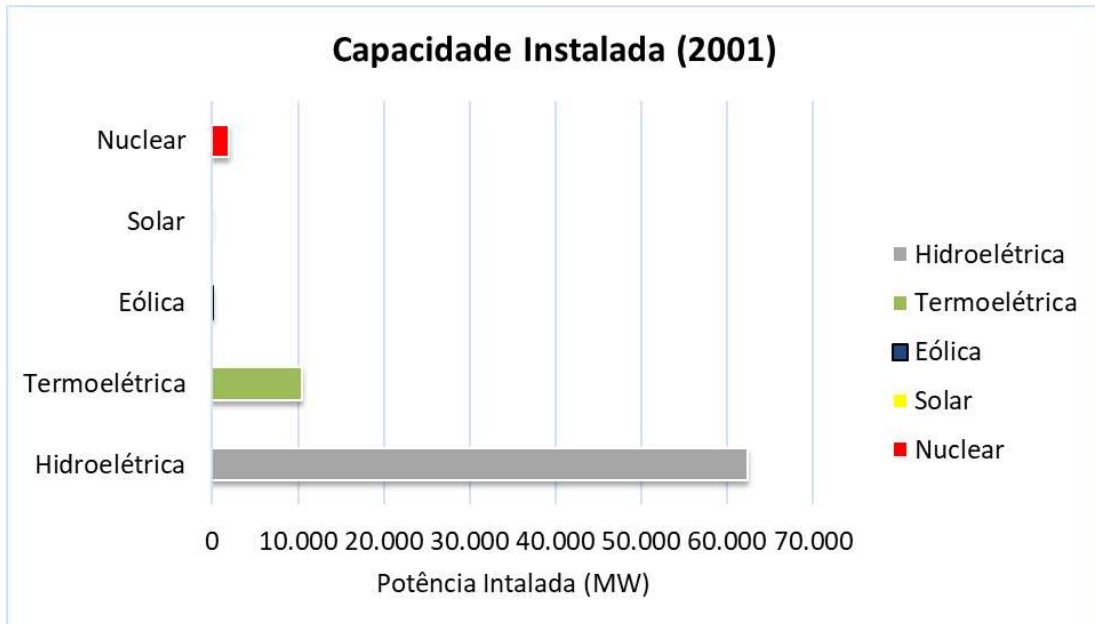
Apesar de ainda embrionária no Brasil, a energia eólica *offshore* foi tratada nos estudos 7, 9, 14 e 15 que reconhecem seu potencial significativo, sobretudo na costa nordestina e sul do país. As análises destacam que, embora existam condições técnicas e geográficas favoráveis, ainda há entraves regulatórios, altos custos de instalação e necessidade de estrutura tecnológica avançada para a viabilização desses projetos. Essa temática ainda é abordada de forma prospectiva, como uma alternativa viável para diversificação da matriz energética no futuro próximo.

4.1 Análise da expansão e desenvolvimento do setor eólico

O artigo de Silva (2024), apresenta uma investigação abrangente sobre a evolução da energia eólica no Brasil, com foco específico no estado do Rio Grande do Norte. O autor contextualiza o desenvolvimento da energia eólica como uma resposta aos desafios de sustentabilidade ambiental e diversificação da matriz energética nacional, especialmente após a crise energética de 2001.

No início dos anos 2000 a matriz elétrica brasileira era fortemente concentrada em fontes hidrelétricas, como mostra a Figura 2, que somavam 62.409 MW de capacidade instalada, correspondendo a mais de 80% da geração elétrica do país. Em contrapartida, a fonte eólica apresentava apenas 0,03% com 21 MW, e a solar não estava presente na matriz. As fontes termoelétricas e nucleares somavam, respectivamente, 10.481 MW e 1.966 MW (EPE, 2025). Esses dados evidenciam a fragilidade estrutural e a baixa diversidade energética que agravaram os efeitos da escassez hídrica naquele período, reforçando a urgência da expansão de fontes alternativas, como a energia eólica, nas décadas seguintes.

Figura 2 – Capacidade instalada de geração de energia elétrica brasileira em 2001



Fonte: Adaptado de EPE (2025).

Essa crise foi um marco decisivo para a reestruturação da matriz energética nacional. Devido à forte dependência de usinas hidrelétricas, e à escassez de chuvas, o país enfrentou um colapso na capacidade de fornecimento. A ausência de planejamento e a falta de investimentos em infraestrutura agravaram o cenário, levando o governo a implementar medidas emergenciais de racionamento.

Durante a crise de 2001, o governo federal instituiu um programa emergencial de racionamento obrigatório de energia elétrica, estabelecendo metas de redução de consumo que chegavam a 20% em relação à média histórica dos consumidores. Aqueles que descumprissem as metas estabelecidas estavam sujeitos a penalidades, como o aumento das tarifas e suspensões no fornecimento de energia (CBN, 2016).

Essa medida impactou diretamente o cotidiano da sociedade brasileira. Foram registrados apagões programados e rotativos que afetaram diversos setores essenciais, como hospitais, escolas e indústrias, além de gerar instabilidade nas residências e no comércio. O episódio evidenciou a fragilidade do sistema elétrico nacional à época, que era carente de planejamento estratégico e diversificação da matriz.

A partir desse marco, tornou-se necessário implementar novas políticas públicas com o objetivo de diversificar a matriz energética brasileira. O trabalho de Amorim (2021), fornece uma análise aprofundada sobre o impacto dessas políticas no crescimento da energia eólica no país, com ênfase na atuação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de

Energia Elétrica (Proinfa), que desempenha papel decisivo na criação de um ambiente inicial favorável à competitividade da fonte eólica no Brasil.

O funcionamento do Proinfa baseou-se na contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de fontes alternativas, com garantia de compra por 20 anos pela Eletrobrás. Essa energia era repassada às distribuidoras de forma obrigatória, com os custos diluídos nas tarifas de energia elétrica. Uma das exigências do programa era a utilização de conteúdo nacional na construção dos projetos, com o objetivo de fomentar a cadeia produtiva brasileira e reduzir a dependência de tecnologias importadas. Os contratos ofereciam previsibilidade e estabilidade de receita, fatores fundamentais para atrair investidores e viabilizar economicamente os primeiros projetos eólicos de grande porte no país.

Os resultados do Proinfa foram decisivos para o desenvolvimento inicial do setor eólico brasileiro. O programa viabilizou os primeiros parques comerciais de energia eólica em estados como Ceará, Bahia e Rio Grande do Sul, criando uma base técnica e institucional para os leilões de energia que seriam realizados nos anos seguintes. Apesar de críticas relacionadas ao seu custo e à forma de repasse tarifário, o Proinfa é amplamente reconhecido como o marco inaugural da transição energética brasileira, pois introduziu as fontes renováveis no planejamento estatal e consolidou os fundamentos do mercado de energia limpa no país.

Araújo (2025) amplia a análise desenvolvida por Amorim (2021) e Silva (2024) ao focar na integração entre política industrial e política energética, utilizando como referencial teórico o conceito de sistemas de inovação. O estudo destaca que o sucesso da energia eólica no Brasil não decorre exclusivamente de incentivos financeiros, mas de um processo articulado que envolve a formação de mercado, o desenvolvimento tecnológico e o fortalecimento da cadeia produtiva. Nesse contexto, as políticas públicas são classificadas em três categorias: formação de mercado (como o Proinfa, os leilões de energia e o ambiente de contratação livre), financiamento à infraestrutura, e incentivos à inovação e à cadeia produtiva.

Dias *et al.* (2024) apresentam uma análise consistente da expansão da energia eólica no Brasil, com ênfase na Região Nordeste, que concentra mais de 88% da capacidade instalada nacional. O estudo contextualiza o início do desenvolvimento eólico a partir da instalação da primeira turbina em Fernando de Noronha, em 1992, e aponta o Proinfa como ponto de inflexão para o setor, ao impulsionar a cadeia produtiva nacional e estimular a instalação de parques eólicos em escala comercial.

O Brasil é caracterizado como um dos países líderes em desenvolvimento eólico na América Latina, ocupando o 6º lugar no ranking mundial de capacidade instalada no ano de 2020, com destaque para 869 parques eólicos e mais de 9.770 turbinas em operação. Outro

aspecto relevante ressaltado é o fortalecimento da indústria nacional, cujo índice de nacionalização de turbinas passou de 60% para 80%, possibilitando a geração de empregos e investimentos, diretos e indiretos, superiores a R\$ 321 bilhões, além da consolidação de polos industriais nas regiões com maior concentração de empreendimentos. O estudo salienta, ainda, que os investimentos foram direcionados a áreas historicamente negligenciadas, como o semiárido nordestino, promovendo a interiorização do desenvolvimento energético.

Oliveira et al. (2021) analisam a inserção de diversas fontes renováveis na matriz energética brasileira, com destaque para a energia eólica, e evidenciam seu crescimento acelerado. O estudo apresenta dados do Balanço Energético Nacional (BEN) que indicam que, até 2021, a fonte eólica representa aproximadamente 10,8% da capacidade total de geração elétrica do país, ocupando a terceira posição entre as principais fontes.

Segundo os autores, a energia eólica deixa de ser apenas uma fonte complementar para se consolidar como um dos pilares da matriz elétrica brasileira. A análise ressalta que o país consegue estruturar um ambiente regulatório e econômico favorável, com incentivos fiscais e mecanismos de leilão que asseguram contratos de longo prazo e previsibilidade aos investidores. Esse cenário viabiliza, além da expansão física dos parques, o desenvolvimento de um mercado mais competitivo e tecnologicamente avançado.

Silva e Azevedo (2021), realizam uma análise densa e comparativa sobre o crescimento da energia eólica no Brasil, situando o país no contexto internacional. O estudo argumenta que, embora a inserção da fonte eólica tenha ocorrido de forma tardia, especialmente se comparada a outros países, o Brasil registra um crescimento expressivo a partir dos anos 2000. Já Neto et al. (2020), oferecem uma análise geoeconômica da expansão da energia eólica, com destaque para os estados do Rio Grande do Norte, Bahia e Ceará, principais polos produtores do país.

O estudo feito por Peruchi (2024) explora a dinâmica regional da expansão eólica, com foco na Região Nordeste, que concentra os melhores regimes de vento do território nacional. A ocupação de áreas semiáridas e litorâneas como polos de geração é tratada não apenas como uma escolha técnica, mas como uma decisão estratégica que articula a produção de energia à inclusão territorial e ao desenvolvimento regional. O estudo aponta, ainda, que esse processo contribui para a geração de empregos locais e para investimentos em infraestrutura logística, embora de forma desigual entre os estados.

Outro aspecto importante destacado por Peruchi é a transição do setor, que deixa de depender exclusivamente de políticas públicas e passa a ser guiado, também, por lógicas de mercado. Empresas de grande porte disputam os melhores territórios e verticalizam suas

operações, consolidando a energia eólica como um dos pilares da transição energética brasileira e como vetor de competitividade econômica.

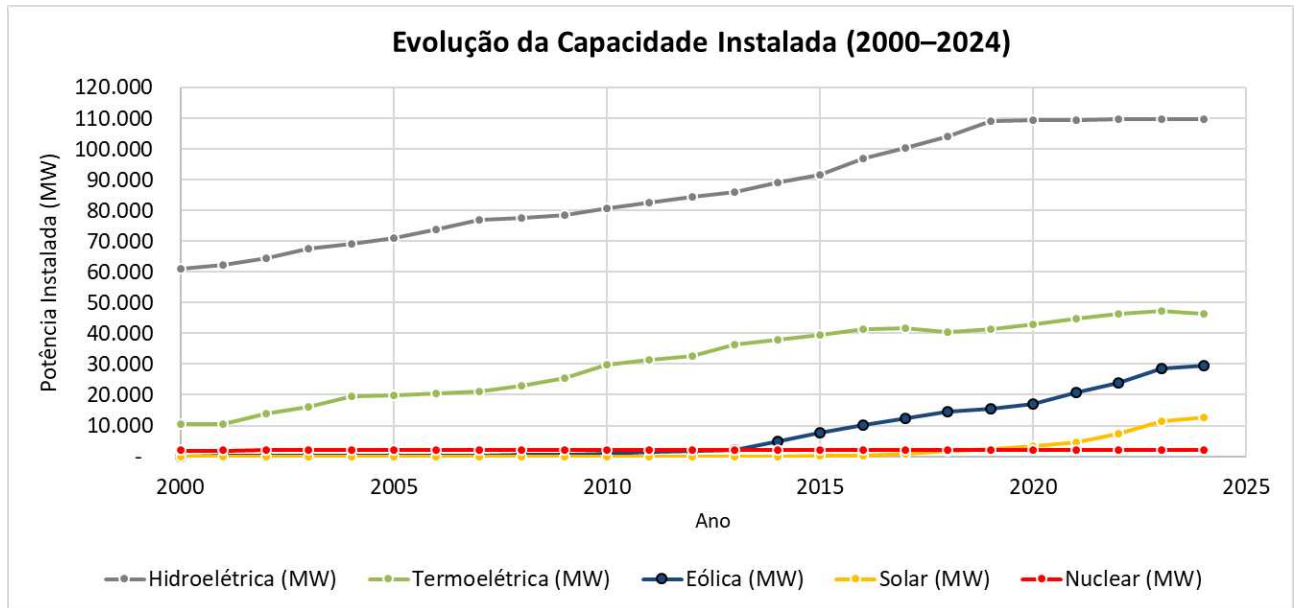
De forma complementar, Zanella (2021), realiza uma leitura geoeconômica aprofundada da expansão do setor eólico, demonstrando como a distribuição espacial dos empreendimentos e a organização da cadeia produtiva refletem estratégias territoriais e políticas de desenvolvimento industrial. O estudo argumenta que o crescimento acelerado da energia eólica a partir dos anos 2000, sobretudo na Região Nordeste, está relacionado não apenas à disponibilidade de vento, mas também à estrutura fundiária, à logística regional e à capacidade de mobilização institucional.

Um dos pontos centrais da análise é a constatação de que o avanço da energia eólica tem promovido uma reconfiguração produtiva e territorial, descentralizando o processo de industrialização historicamente concentrado no Sudeste. O surgimento de polos industriais eólicos no Nordeste, associados à montagem de turbinas, torres e pás, evidencia a inserção da região no circuito global de energia renovável, ainda que com diferentes níveis de autonomia tecnológica.

Adicionalmente, o estudo observa que, apesar da expansão significativa, os investimentos se concentram em poucos estados e microrregiões, o que reforça desigualdades territoriais. A autora defende que a energia eólica deve ser compreendida não apenas como vetor de desenvolvimento energético, mas como elemento transformador da economia regional, condicionado por políticas públicas e por relações de poder locais.

De forma complementar ao conteúdo discutido na literatura analisada, também foram considerados os dados de capacidade instalada de geração elétrica ao longo das últimas décadas fornecidos pela EPE, conforme publicado no BEN de 2025. Essa base estatística oficial amplia a compreensão sobre a evolução estrutural da matriz elétrica brasileira, especialmente no que se refere à consolidação das fontes renováveis, como a energia eólica e solar. A Figura 3 apresenta a evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica no Brasil entre os anos 2000 e 2024.

Figura 3 – Evolução de capacidade instalada no Brasil



Fonte: Adaptado de EPE (2025).

A trajetória da capacidade instalada de geração elétrica no Brasil entre os anos de 2000 e 2024 revela um processo contínuo de transformação e diversificação da matriz energética nacional. Em 2000, o país contava com 61.063 MW de energia hidrelétrica, representando a quase totalidade da geração centralizada, acompanhada por 10.623 MW de termoelétricas e apenas 19 MW de capacidade instalada eólica, sem qualquer registro de geração solar.

A partir de 2003, com o lançamento do (Proinfa), e posteriormente com os leilões promovidos pela ANEEL, a energia eólica passou a ganhar protagonismo. A evolução foi gradativa até 2009, quando atingiu 602 MW, e a partir de 2010 apresentou crescimento acelerado e consistente.

Entre os anos de 2013 e 2018, observa-se um dos períodos de maior crescimento da capacidade instalada de energia eólica no Brasil, cerca de 2.500MW por ano. Esse avanço acelerado não ocorreu de forma aleatória, mas foi resultado direto da maturação de políticas públicas implementadas a partir do final da década de 2000, sobretudo os leilões de energia promovidos pela ANEEL. Os contratos firmados nos leilões entre 2009 e 2013 previam a entrada em operação de diversos parques eólicos justamente durante esse intervalo, refletindo o ciclo de planejamento, construção e comissionamento típico do setor.

Além disso, o período foi marcado por um ambiente econômico favorável, com financiamento incentivado via BNDES, o qual exigia conteúdo nacional, fomentando o

desenvolvimento da cadeia produtiva e a instalação de polos industriais eólicos no Nordeste.

Do ponto de vista tecnológico, houve significativa modernização das turbinas, que passaram a operar com maior capacidade e eficiência, tornando o custo da energia eólica cada vez mais competitivo. Como resultado, a fonte eólica consolidou-se como uma das mais baratas nos leilões, superando inclusive algumas hidrelétricas em termos de preço por MWh.

Paralelamente, a crescente preocupação ambiental e os compromissos internacionais de redução das emissões de carbono reforçaram a demanda por fontes renováveis, acelerando ainda mais sua contratação. Assim, o crescimento observado entre 2013 e 2018 foi expressão de um processo coordenado de política energética, inovação industrial e aproveitamento das vantagens naturais do país, especialmente na região Nordeste.

A energia solar também apresentou um crescimento expressivo na última década, especialmente a partir de 2016, representando um marco na diversificação da matriz elétrica nacional. Os dados da EPE indicam que a capacidade instalada da fonte fotovoltaica saltou de apenas 2 MW em 2016 para 912 MW em 2017. Essa evolução abrupta é explicada por uma confluência de fatores institucionais, tecnológicos e econômicos.

Um dos principais impulsionadores foi a revisão da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, em 2015, que ampliou os mecanismos de geração distribuída (GD), permitindo maior flexibilidade para consumidores gerarem sua própria energia, inclusive em locais distintos do consumo e por meio de consórcios. Simultaneamente, o custo dos sistemas fotovoltaicos caiu drasticamente no mercado internacional, tornando a tecnologia acessível a uma gama maior de consumidores brasileiros. A oferta de linhas de financiamento específicas, por instituições como BNDES, Caixa Econômica e cooperativas de crédito, também viabilizou a aquisição de sistemas solares, sobretudo por residências, pequenas empresas e produtores rurais.

Outro fator decisivo foi a crise econômica vivida no país entre 2015 e 2017, que, ao elevar as tarifas de energia, incentivou consumidores a buscarem alternativas mais econômicas e sustentáveis. Nesse contexto, a geração solar fotovoltaica destacou-se por seu modelo descentralizado, baixo impacto ambiental e rapidez na instalação, o que a posicionou como a fonte renovável de maior crescimento proporcional no Brasil entre 2016 e 2024.

Entretanto, o avanço acelerado da GD fotovoltaica, majoritariamente caracterizada por sistemas conectados em baixa tensão e sem controle centralizado, tem provocado impactos operacionais relevantes, sobretudo no que diz respeito à gestão da carga líquida do SIN. Segundo o ONS (2025), a geração solar distribuída tem reduzido significativamente os níveis de carga durante o dia, especialmente nos períodos de maior irradiação, o que intensifica os

episódios de *curtailment* das usinas eólicas, mesmo em situações de pleno recurso eólico disponível. Essa sobreposição entre fontes renováveis variáveis e não despacháveis, sem coordenação adequada com a capacidade de escoamento e o perfil da demanda, resulta na necessidade de cortes de geração por excesso de oferta momentânea

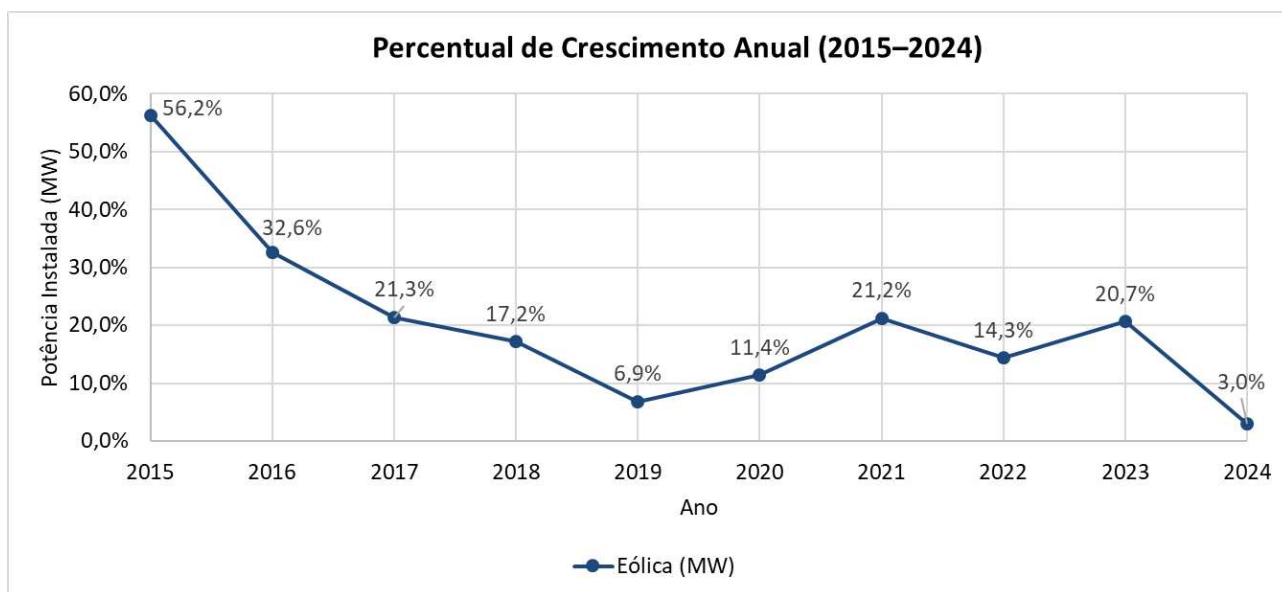
Enquanto isso, as termelétricas, utilizadas como fonte complementar e de estabilidade na operação do sistema, passaram de 10.623 MW em 2000 para 46.239 MW em 2024. Esse crescimento reflete não apenas a função tradicional das térmicas em contextos de escassez hídrica ou picos de demanda, mas também seu papel emergente como unidades de retaguarda diante da variabilidade das fontes renováveis.

A operação do SIN tem exigido uma participação mais ativa das termelétricas para compensar as oscilações bruscas provocadas por quedas simultâneas na geração solar e eólica, garantindo segurança energética e estabilidade de frequência. Contudo, essa flexibilidade operacional acarreta maior custo médio de geração e reforça a necessidade de modernização do parque térmico nacional, com foco em usinas de resposta rápida e menor tempo de partida, capazes de acompanhar as rampas acentuadas da carga líquida.

Apesar de sua função estratégica atual, observa-se uma tendência de substituição gradual das térmicas fósseis, à medida que tecnologias de armazenamento e previsão avançam, abrindo espaço para uma matriz cada vez mais limpa e sustentável.

Contudo, além de analisar a evolução absoluta da capacidade instalada de geração elétrica ao longo dos anos, torna-se igualmente relevante avaliar o percentual de crescimento anual de cada fonte energética, como na Figura 4. E ao avaliar o período da última década, de 2015 a 2024, identificamos que embora o crescimento percentual anual da capacidade instalada tenha apresentado uma trajetória de redução progressiva, esse comportamento não indica retração, mas sim uma transição de um setor emergente para um setor maduro e estabilizado.

Figura 4 – Percentual de crescimento anual de capacidade instalada



Fonte: Adaptado de EPE (2025).

Em 2015, o setor eólico registrou uma expansão de 56,2%, reflexo do impulso gerado pelos leilões de energia realizados entre 2010 e 2013. Muitos dos projetos contratados nesse período começaram a entrar em operação em 2014 e 2015, resultando em crescimento significativo. Nos anos seguintes, observa-se uma queda gradual na taxa de crescimento percentual: em 2016, a expansão foi de 32,6%; em 2017, caiu para 21,3%; e em 2018, foi de 17,2%.

Essa desaceleração está diretamente relacionada à diminuição do volume de projetos contratados nos leilões subsequentes e ao esgotamento de espaços para instalação em determinadas regiões, como o litoral nordestino, que até então concentrava a maior parte da capacidade instalada.

A partir de 2023, observou-se uma taxa de crescimento de 20,7% na capacidade instalada de energia eólica, com um acréscimo de 4.920 MW em relação ao ano anterior, totalizando 28.664 MW ao final do período. No entanto, em 2024, esse ritmo desacelerou significativamente, com um aumento de apenas 868 MW, o que corresponde a uma taxa de crescimento de 3,0%, o menor percentual registrado na série histórica dos últimos vinte anos. Esse dado pode sinalizar um possível ponto de inflexão, indicando que o setor estaria entrando em uma nova fase de maturidade, na qual a expansão tende a ocorrer de maneira mais seletiva, priorizando projetos com maior viabilidade econômica, técnica e territorial.

4.2 Revisão integrativa dos desafios técnicos da energia eólica

Um dos principais pontos discutidos por Freire e Fontgalland (2022), refere-se à intermitência dos ventos, característica intrínseca da energia eólica que compromete a regularidade da geração elétrica. Apesar de relativamente constantes, os ventos na Região Nordeste não apresentam padrão uniforme ao longo do tempo e do território, o que impõe limitações técnicas à operação contínua e estável das usinas. A oscilação eólica inviabiliza uma produção energética constante e, por consequência, demanda complementariedade com outras fontes, inclusive fósseis, perpetuando a dependência de matrizes não renováveis.

Teixeira e Silva (2021) destacam que, embora a eólica figure como a terceira maior fonte de geração elétrica do país em capacidade instalada, enfrenta restrições operacionais que podem limitar seu crescimento. A intermitência é apontada como um dos maiores desafios técnicos, pois a variação da intensidade dos ventos compromete a previsibilidade da geração e impõe a necessidade de sistemas de respaldo que assegurem a estabilidade do SIN. Essa instabilidade sobrecarrega a operação do sistema e exige ações corretivas por parte do ONS, encarecendo a gestão energética e reduzindo a eficiência da fonte.

Os autores também indicam a necessidade de reconfigurar o modelo atual do SIN, historicamente baseado na previsibilidade das hidrelétricas, para melhor integrar fontes intermitentes como a eólica e a solar. Essa transformação requer tanto mudanças tecnológicas quanto revisões regulatórias que favoreçam a flexibilidade operativa e incentivem tecnologias inovadoras.

Complementarmente, Souza et al. (2024), apontam que o aumento da participação de fontes como solar e eólica na matriz nacional acarreta implicações técnicas relevantes para a operação segura e estável do sistema elétrico. A inserção dessas fontes eleva a complexidade das ações do ONS, especialmente em função da variabilidade, incerteza e dependência locacional dessas tecnologias.

No que tange à variabilidade, os autores demonstram que a geração eólica pode oscilar entre 0% e 100% ao longo do dia, conforme as condições do vento, o que representa um desafio ao equilíbrio instantâneo entre oferta e demanda. Isso exige respostas rápidas por parte do sistema elétrico, como o acionamento imediato de fontes de reserva. Ainda que a dispersão geográfica dos parques suavize essas flutuações, o desafio técnico persiste e se intensifica com a ampliação da participação eólica.

Quanto à incerteza, Souza et al. (2024) ressaltam que a imprevisibilidade dos ventos afeta diretamente a programação das usinas e compromete a confiabilidade do sistema. Isso

exige o fortalecimento da reserva operativa e o aperfeiçoamento dos modelos de previsão e despacho energético. Embora a operação do sistema já envolva incertezas, como as variações de demanda, a penetração crescente de fontes intermitentes intensifica essa necessidade de aprimoramento.

A modernização do SIN demanda soluções tecnológicas avançadas, como *smart grids*, sistemas SCADA sofisticados e controle preditivo. Sem essas ferramentas, a variabilidade pode comprometer a confiabilidade do fornecimento, sobretudo em horários de pico ou baixa geração (PERUCHI, 2024).

A ausência de sistemas eficientes de armazenamento configura outro entrave técnico à consolidação da energia eólica como fonte firme. Agra Neto et al. (2020) argumentam que a inexistência de estocagem robusta, somada à baixa flexibilidade da rede nacional, compromete a resposta do sistema a variações abruptas na geração. Esse cenário requer investimentos em tecnologias de previsão meteorológica mais precisas e modelos mais dinâmicos de controle da produção.

Teixeira e Silva (2021) reforçam que a ausência de soluções de armazenamento em larga escala compromete a confiabilidade da fonte. A impossibilidade de armazenar estrategicamente a energia excedente, por falta de baterias, usinas reversíveis ou soluções equivalentes, limita o aproveitamento da geração eólica e impõe a necessidade de inovação.

Peruchi (2024) ressalta que, diante da variabilidade dos ventos, torna-se essencial uma estrutura de suporte capaz de equilibrar oferta e demanda em tempo real. O autor defende a integração de sistemas de armazenamento, como baterias de alta capacidade ou hidrogênio verde, ainda que reconheça os desafios de custo e escala para ampla adoção dessas soluções.

A maioria dos estudos revisados converge ao identificar a limitação da infraestrutura de transmissão como um dos principais entraves à expansão eólica no Brasil. Esse gargalo afeta diretamente a viabilidade dos projetos, especialmente nas regiões com maior concentração de geração, como o Nordeste.

Freire e Fontgalland (2022) relatam que usinas instaladas em áreas remotas enfrentam dificuldades logísticas e financeiras para conexão ao SIN. O elevado custo das novas linhas, somado às perdas técnicas e furtos, compromete a rentabilidade dos empreendimentos. Os autores também observam que nem todos os parques conseguem injetar sua energia, reduzindo sua efetiva contribuição ao sistema.

Teixeira e Silva (2021) corroboram essa análise, apontando que a distância entre geração e centros consumidores prejudica o escoamento eficiente. A malha atual não suporta os volumes gerados nos momentos de pico, gerando perdas e exigindo modernização urgente da

rede. Os autores defendem a adoção de tecnologias como *smart grids* para lidar com a variabilidade renovável.

Complementando essa análise, Silva e Azevedo (2021) destacam que a expansão acelerada da capacidade instalada de energia eólica não foi acompanhada por um planejamento coordenado da rede de transmissão. Essa falta de sincronização gera gargalos logísticos e limitações operacionais, que exigem um modelo de planejamento integrado entre geração e escoamento como condição essencial para a continuidade da expansão do setor.

Ainda no mesmo campo, Agra Neto *et al.* (2020) evidencia que regiões com alto potencial eólico, como o semiárido nordestino, sofrem com a insuficiência ou saturação das linhas de transmissão. Tal cenário provoca o fenômeno do *curtailment*, isto é, a redução forçada da geração mesmo com recurso disponível, o que compromete os retornos financeiros dos empreendimentos e desencoraja novos investimentos. O estudo reforça a necessidade de articulação entre os projetos de geração e a expansão da infraestrutura de forma simultânea e coordenada.

Peruchi (2024) observa que o crescimento da geração eólica, em muitos casos, supera a ampliação da capacidade de escoamento, resultando em perdas operacionais. O autor defende a adoção de um planejamento energético territorialmente estratégico, alinhando a localização dos parques aos investimentos em rede de transmissão.

Souza *et al.* (2024) também contribuem para essa discussão ao analisarem a dependência locacional da energia eólica, fortemente concentrada no Nordeste, em áreas afastadas dos grandes centros de consumo. Essa distribuição geográfica impõe desafios adicionais à infraestrutura de transmissão, que precisa ser expandida e reforçada para garantir o acesso ao SIN. Os autores destacam, ainda, a existência de um “círculo vicioso” no planejamento: muitas vezes, a construção de novas linhas só ocorre quando há previsão de geração, e a instalação de parques só é viabilizada quando já há linhas disponíveis, o que trava o avanço do setor.

Em termos operacionais, Souza *et al.* (2024) aprofundam a análise ao descreverem o papel do Operador Nacional do Sistema (ONS) na integração da geração eólica ao SIN. O processo envolve desde o planejamento plurianual até a operação em tempo real, passando por fases como pré-operação, análise de segurança e adequação dos sistemas de medição, controle e supervisão. Tais procedimentos ilustram a complexidade técnica e institucional que acompanha a expansão das fontes renováveis no Brasil, especialmente frente aos desafios impostos pela transição energética.

Outro aspecto técnico recorrente nos estudos analisados diz respeito à necessidade

de modernização tecnológica dos aerogeradores. Apesar dos avanços obtidos nas últimas décadas, especialmente no que se refere à nacionalização de componentes e ao aumento da escala produtiva, persistem lacunas importantes quanto à eficiência operacional, ao desempenho aerodinâmico das turbinas e à redução dos custos de operação e manutenção. Segundo os autores Agra Neto *et al.* (2020), a adoção de turbinas de maior porte, com capacidades unitárias mais elevadas e adaptadas aos diferentes regimes de vento das regiões brasileiras, será fundamental para sustentar a competitividade da energia eólica frente ao crescimento de outras fontes renováveis, como a solar fotovoltaica.

De forma convergente, Peruchi (2024), aprofunda a discussão sobre o avanço tecnológico ao destacar a adoção crescente de turbinas com potências superiores a 5 MW e torres mais altas, capazes de acessar camadas atmosféricas com ventos mais constantes e intensos. Contudo, o autor enfatiza que tais avanços requerem infraestrutura logística especializada, investimentos robustos e, sobretudo, mão de obra altamente qualificada para instalação, operação e manutenção, o que impõe novos desafios de capacitação técnica e planejamento regional.

O autor também projeta, no horizonte das próximas décadas, que a sustentabilidade da expansão eólica dependerá da capacidade nacional de promover inovação tecnológica contínua, diversificar suas aplicações, como sistemas híbridos solar-eólico, e amadurecer sua regulação técnica. Isso inclui, por exemplo, regras mais flexíveis para o acesso à rede, a integração de microrredes e a disseminação de tecnologias complementares, como armazenamento de energia e digitalização da operação.

A análise de Araújo (2025), amplia essa discussão ao evidenciar a interdependência entre os avanços tecnológicos do setor e a existência de uma política industrial sistêmica capaz de induzir inovações de forma coordenada. Para o autor, os obstáculos técnicos enfrentados pela energia eólica não se restringem à sua intermitência ou aos aspectos operacionais, mas estão enraizados em falhas estruturais de articulação entre políticas públicas, instituições de ciência e tecnologia, e estratégias empresariais. Nesse contexto, destaca-se a importância de um ambiente institucional robusto, voltado à pesquisa aplicada, à difusão de tecnologia e ao fortalecimento das capacidades produtivas nacionais.

Araújo também chama atenção para a carência de uma política industrial energética voltada às especificidades tecnológicas do setor eólico. O Brasil, segundo ele, ainda não dispõe de diretrizes que tratem adequadamente de questões como a atualização constante das turbinas, a compatibilização com redes inteligentes e a superação de gargalos logísticos e de escoamento. Essa ausência compromete o ritmo de crescimento da fonte em bases sustentáveis, sobretudo

em um cenário de crescente participação da energia eólica na matriz energética nacional.

Dentro dessa abordagem, o autor aprofunda os desafios relacionados à nacionalização de componentes críticos. Embora o setor tenha alcançado altos níveis de conteúdo local, ainda há forte dependência de tecnologias estratégicas importadas, como aerogeradores de última geração, sistemas avançados de controle e soluções de armazenamento. Essa dependência expõe o país a riscos como flutuações cambiais, gargalos na cadeia de suprimentos global e restrições ao desenvolvimento autônomo de tecnologias.

Outro ponto crítico abordado por Araújo é a fragilidade institucional na articulação entre geração e infraestrutura de transmissão. Em diversas regiões, especialmente no semiárido nordestino, há uma desconexão entre a instalação de parques eólicos e os investimentos em redes de escoamento, o que resulta em subutilização da capacidade instalada. Para mitigar esse problema, o autor propõe que as políticas industriais e tecnológicas sejam integradas ao planejamento energético e territorial, de modo a alinhar a localização da geração com as áreas de maior consumo e garantir a integração sistêmica por meio de soluções flexíveis e inteligentes.

Por fim, Vitorino (2023), contribui com a discussão ao propor a reformulação dos modelos de negócio do setor eólico como resposta aos desafios técnicos e econômicos emergentes. O autor argumenta que o modelo tradicional, baseado exclusivamente em contratos regulados de longo prazo via leilões, tende a se tornar insuficiente diante da crescente complexidade do setor. Como alternativas, sugere a adoção de arranjos contratuais híbridos, que combinem comercialização no mercado livre com armazenamento, implantação de microrredes locais, contratos por performance energética e parcerias com grandes consumidores industriais. Essas soluções, além de ampliarem a resiliência financeira dos empreendedores, favorecem a inovação tecnológica e a flexibilidade operacional do setor.

4.3 Análise de dados técnicos de órgãos reguladores

O ONS desempenha papel estratégico no planejamento e na operação do SIN, sendo responsável por coordenar estudos técnicos que assegurem o equilíbrio entre confiabilidade e custo na operação elétrica brasileira. Entre os instrumentos utilizados nesse processo está o Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo (PAR/PEL), elaborado anualmente com horizonte de cinco anos, o qual avalia a capacidade de atendimento à carga, a integração de novas fontes de geração e a adequação da infraestrutura de transmissão existente.

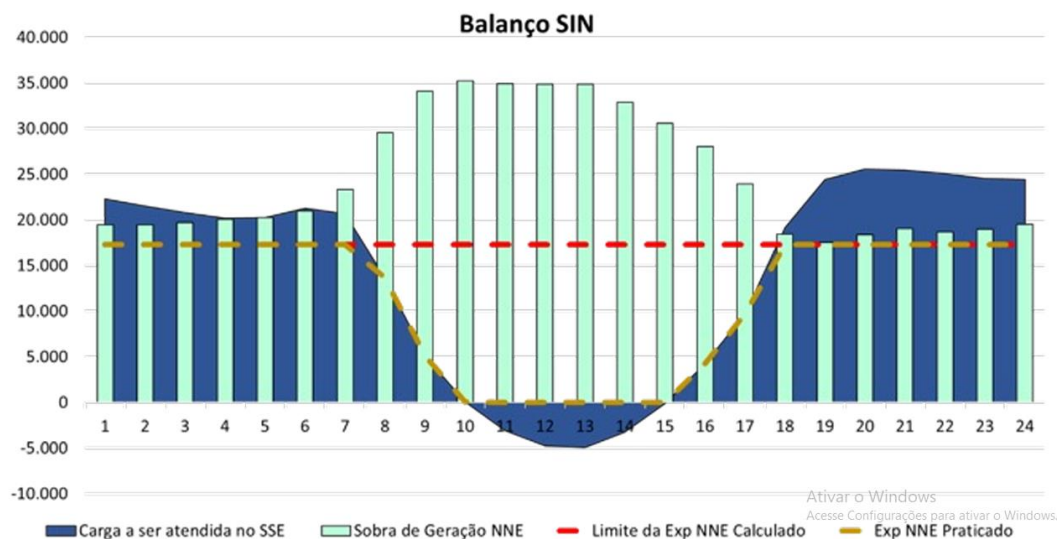
Esses estudos, como o PAR/PEL 2023 e 2024, subsidiam decisões estruturantes do setor, antecipando gargalos técnicos, identificando necessidades de reforços e orientando

políticas públicas de expansão. Em um contexto de crescimento acelerado das fontes renováveis variáveis, como a eólica e a solar, as análises do ONS são fundamentais para garantir a operação segura do sistema frente aos desafios impostos pela variabilidade, pela intermitência e pelas limitações físicas de escoamento.

Um dos aspectos mais críticos observados pelo ONS no PAR/PEL 2023 diz respeito ao aumento expressivo das sobras de geração nos próximos anos. Esse fenômeno ocorre quando a produção de energia supera, em determinados momentos, a capacidade de absorção do sistema, seja por baixa demanda, seja por limitações de escoamento.

A tendência de crescimento da geração renovável, especialmente eólica e solar, tem ampliado significativamente os desafios operacionais do SIN. Segundo o relatório técnico do ONS, estima-se que os excedentes de geração ultrapassem 50 GW a partir de 2026, principalmente em horários de elevada incidência solar associada à presença simultânea de ventos fortes. Esses cenários de geração excedente, ilustrados na Figura 5, pressionam a capacidade de escoamento do sistema e intensificam a ocorrência do fenômeno conhecido como *curtailment*, ou seja, o corte da produção renovável mesmo quando há plena disponibilidade de recurso.

Figura 5 – Exportação de energia da região nordeste em GW ao longo do dia



Fonte: ONS (2023).

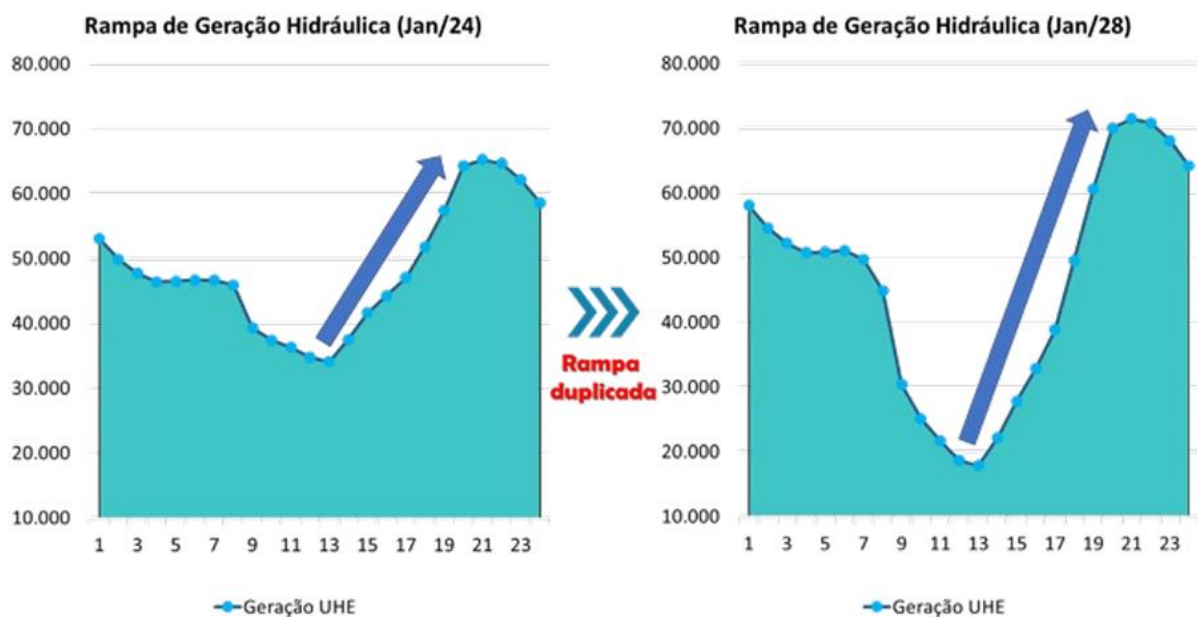
A Figura 5 mostra o balanço energético do SIN ao longo das 24 horas do dia, destacando a exportação de energia da região Nordeste (NNE) para o Sudeste/Centro-Oeste (SSE). Observa-se que, entre 8h e 17h, a geração excedente do NNE, representada pelas colunas verdes, supera amplamente o limite de exportação calculado (linha vermelha tracejada). Entretanto, o volume efetivamente exportado (linha marrom pontilhada) permanece bem abaixo

desse potencial, revelando a limitação da infraestrutura de transmissão. Como resultado, parcela significativa da energia renovável gerada não é escoada, sendo descartada apesar de contratada e disponível, o que representa perdas econômicas e energéticas substanciais.

Essa condição compromete não apenas a eficiência operacional do sistema, mas também a atratividade de novos investimentos em projetos renováveis, que passam a conviver com a insegurança de escoamento. A repetição desse padrão em diversas horas do dia evidencia a urgência de ações coordenadas para expansão e modernização das redes de transmissão, com vistas à integração plena das fontes renováveis e à garantia de sua utilização eficiente dentro do SIN.

Conectado a esse cenário de excedentes crescentes, o PAR/PEL 2023 também alerta para a intensificação das chamadas rampas de carga líquida, um fenômeno que retrata variações abruptas na demanda líquida a ser suprida por fontes despacháveis. Com a expansão acelerada da energia solar e da eólica, observa-se que a carga líquida atinge seus menores patamares durante o período de maior irradiação solar. No entanto, entre o final da tarde e o início da noite, a redução natural da geração fotovoltaica exige a rápida substituição dessa fonte por geração hidráulica ou térmica. Essa transição provoca elevações bruscas na carga a ser atendida por fontes convencionais, como ilustrado na Figura 6, cuja projeção para 2028 revela rampas que podem atingir até 50 GW em apenas seis horas (das 13h às 19h), conforme apontado pelo ONS.

Figura 6 – Rampa de geração hidráulica em GW ao longo do dia



Fonte: ONS (2023).

A Figura 6 detalha esse comportamento da geração hidráulica, comparando os dias 24 e 28 de janeiro, e evidencia a duplicação da rampa de geração ao longo dos quatro anos. A curva de geração apresenta uma depressão no meio do dia, período de alta geração solar, e uma elevação acentuada no entardecer, à medida que a fonte solar é desligada do sistema. Em 2028, essa rampa ultrapassa os 50 GW em poucas horas, exigindo um incremento de geração hidráulica com taxa média de 138,88 MW por minuto, uma demanda operacional extremamente exigente. Esse cenário impõe desafios à flexibilidade das usinas hidrelétricas, que passam a operar com alta variabilidade, elevando o estresse mecânico, os custos de operação e os riscos de instabilidade.

A geração eólica, por sua variabilidade e dificuldade de controle em tempo real, contribui com essa complexidade. Ainda que tenha capacidade de complementar a fonte solar em alguns momentos, sua imprevisibilidade impede o pleno uso como solução firme para atenuar rampas. O resultado é uma crescente dependência de usinas térmicas e a urgente necessidade de desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia, gestão da demanda e redes inteligentes. A gestão das rampas de carga líquida torna-se, portanto, um desafio técnico central para a manutenção da confiabilidade do SIN e para a viabilização de uma matriz energética predominantemente renovável.

Além dos desafios operacionais, o PAR/PEL 2023 dedica atenção especial à questão do acesso à rede de transmissão, identificando-o como um dos principais gargalos estruturais à expansão sustentável das renováveis. Historicamente, o critério adotado para alocação de acesso baseava-se na ordem cronológica de solicitação, sem considerar a maturidade técnica ou econômica dos projetos. Com o aumento expressivo de pedidos, essa abordagem gerou uma fila inflada de projetos com CUST ativo, mas sem viabilidade real de implementação no curto prazo.

Isso tem resultado na ocupação ineficiente de margens de escoamento, impedindo que projetos mais viáveis tenham acesso à rede. A consequência direta é o congestionamento institucional, onde os ativos de rede são subutilizados enquanto empreendimentos prontos para execução ficam bloqueados. A proposta do ONS, como forma de mitigar esse cenário, é a substituição do modelo cronológico pelo Procedimento Competitivo por Margem (PCM), que visa priorizar empreendimentos com maior grau de maturidade e real capacidade de execução, promovendo maior racionalidade e eficiência na alocação de acesso.

Paralelamente à reestruturação dos critérios de acesso, o relatório destaca a necessidade urgente de reforços na infraestrutura de transmissão, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, que concentram a maior parte da expansão das fontes renováveis. O documento estima a necessidade de R\$ 49 bilhões em investimentos em obras prioritárias,

incluindo a construção de 10 mil km de novas linhas e 30 mil MVA em transformadores.

Essas intervenções são essenciais para ampliar a capacidade de escoamento das usinas em operação e permitir o avanço de novos empreendimentos contratados, muitos dos quais já possuem CUST firmado, mas permanecem inoperantes por falta de rede. A defasagem entre o ritmo da expansão da geração e a execução das obras de transmissão é apontada como um dos fatores mais críticos da atual crise, indicando que o planejamento do setor não tem conseguido garantir a compatibilidade entre os dois vetores.

Diante desse conjunto de desafios técnicos, operacionais e regulatórios, o PAR/PEL 2023 propõe uma série de soluções sistêmicas que devem ser implementadas de forma articulada entre os agentes do setor. Entre as principais medidas propostas, destacam-se: a adoção do Procedimento Competitivo por Margem como novo critério de acesso à rede; o estímulo à incorporação de fontes de flexibilidade, como baterias, resposta da demanda e usinas hidrelétricas com controle de vazão; o aprimoramento dos modelos de previsão meteorológica aplicados à operação; e a modernização das ferramentas de despacho, de modo a permitir maior adaptabilidade às condições variáveis da geração renovável.

Embora ainda em estágio inicial, essas propostas apontam para uma transição necessária no modelo técnico-operativo do setor elétrico brasileiro. Tal transição exige uma governança mais eficiente, regulação responsiva e investimentos coordenados, capazes de alinhar o avanço das fontes limpas com os requisitos de confiabilidade, estabilidade e economicidade do sistema.

A edição de 2024 do PAR/PEL do SIN confirma e aprofunda os sinais de alerta já identificados no relatório anterior, especialmente no que se refere à materialização das sobras de geração e à ocorrência efetiva de ações operativas de contenção da produção renovável. Enquanto o PAR/PEL 2023 havia destacado esse risco como uma projeção crítica de médio prazo, o relatório de 2024 apresenta registros concretos de situações em que o ONS se viu compelido a limitar a geração eólica disponível, mesmo diante de condições técnicas favoráveis à produção. Tais ações ocorreram principalmente nos subsistemas Nordeste e Sudeste, regiões com alta penetração de fontes renováveis variáveis.

Essas intervenções operativas, que caracterizam o fenômeno do *curtailment*, evidenciam a transição do problema de um plano preditivo para uma realidade presente, com efeitos diretos sobre a eficiência sistêmica e a rentabilidade de empreendimentos eólicos já em operação (ONS, 2024).

A intensificação desses eventos está diretamente associada à insuficiência de flexibilidade operativa do parque gerador nacional, aspecto que ganha destaque analítico no

PAR/PEL 2024. A dificuldade em lidar com as rampas de carga líquida e com os excedentes simultâneos de geração solar e eólica decorre, em grande medida, da estrutura inflexível do sistema de geração, ainda muito baseado em usinas com baixa capacidade de modulação.

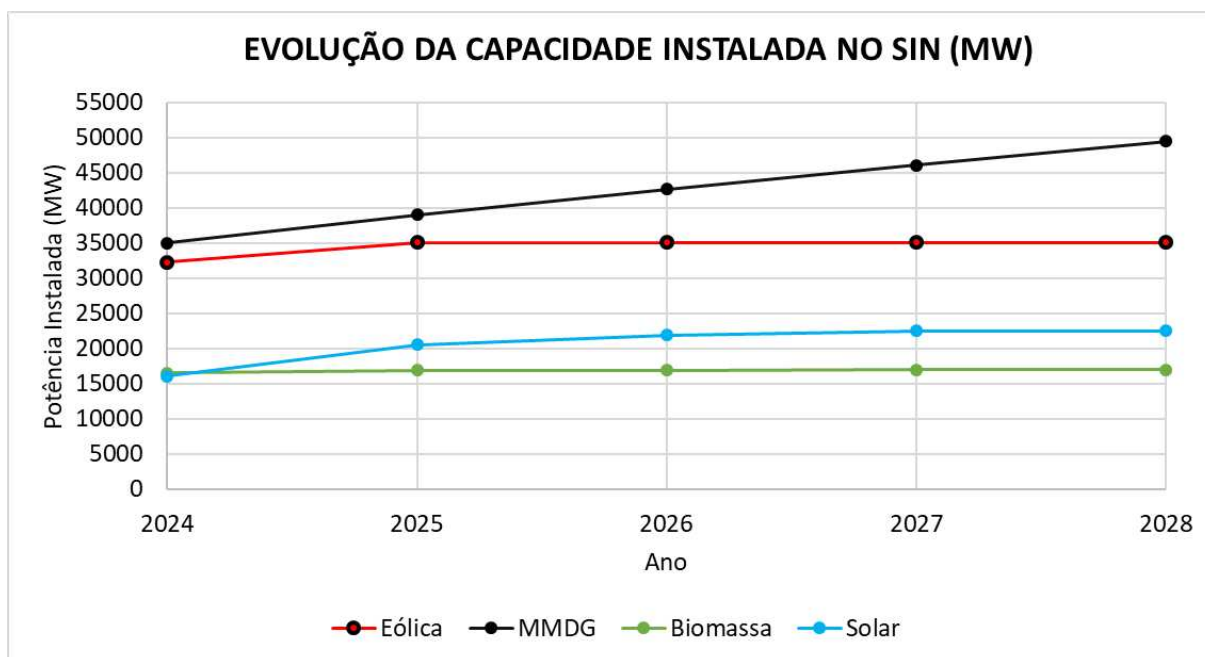
A ausência de mecanismos de armazenamento em escala, a limitação de recursos despacháveis de resposta rápida e a carência de incentivos regulatórios à flexibilidade tornam o sistema vulnerável a condições climáticas de alta produção renovável. O relatório enfatiza que o parque gerador atual não está preparado para acomodar a amplitude e a frequência das oscilações provocadas pelas fontes variáveis, o que agrava a dependência do *curtailment* como mecanismo corretivo e evidencia um descompasso entre a expansão renovável e a adaptação operativa do SIN.

Nesse contexto, o ONS relata no PAR/PEL 2024 sua participação ativa no Programa de Flexibilização Operacional do SIN, desenvolvido em articulação com a ANEEL e CCEE. Esse programa busca promover uma revisão estrutural das regras e práticas operativas para permitir maior adaptabilidade frente ao novo perfil da matriz elétrica brasileira. As ações previstas incluem a implementação de ferramentas preditivas mais robustas, o desenvolvimento de critérios de despacho que considerem a incerteza da geração renovável e a introdução de novos produtos de flexibilidade, como resposta da demanda e serviços auxiliares. Ao integrar esse programa, o ONS reconhece a limitação do modelo atual e sinaliza a necessidade de uma transição institucional e técnica capaz de sustentar a confiabilidade do sistema diante de uma matriz cada vez mais dependente de recursos intermitentes.

Por fim, o PAR/PEL 2024 apresenta uma revisão das projeções de crescimento da capacidade instalada da energia eólica, que aponta para um cenário de expansão ainda significativo, mas com ritmo ligeiramente mais comedido em relação ao previsto anteriormente. A expectativa é de que o Brasil alcance 35.106 MW de capacidade instalada em eólica até 2029, podendo chegar a 39.714 MW caso sejam considerados os projetos com CUST já firmados. Essa reavaliação sugere uma correção frente aos entraves já observados, como os atrasos na expansão da malha de transmissão e as dificuldades de conexão à rede.

A análise da Figura 7 reforça essa tendência. Conforme os dados oficiais, a capacidade eólica sobe de 32.264 MW em 2024 para 35.082 MW em 2025, representando um crescimento de 8,7%. No entanto, observa-se que esse patamar praticamente se estabiliza a partir de 2026, mantendo-se em 35.106 MW até 2028. Esse comportamento indica uma desaceleração expressiva no ritmo de expansão, em contraste com o avanço de outras fontes, como a solar, cuja capacidade cresce 40,19% entre 2024 e 2028, e a Micro e Minigeração Distribuída (MMDG), com aumento de mais de 41% no mesmo intervalo.

Figura 7 – Evolução da capacidade instalada ONS



Embora o volume projetado para a fonte eólica represente um avanço relevante dentro da matriz elétrica, a estagnação de sua curva de crescimento para os próximos 4 anos da série indica um reconhecimento das limitações estruturais que dificultam a conversão da potência outorgada em geração efetiva e aproveitável. Essa estagnação reforça os argumentos centrais sobre o descompasso entre a expansão física dos empreendimentos e a capacidade de integração sistêmica, evidenciando a importância de se resolver os gargalos de escoamento e reforçar o planejamento integrado entre geração e transmissão.

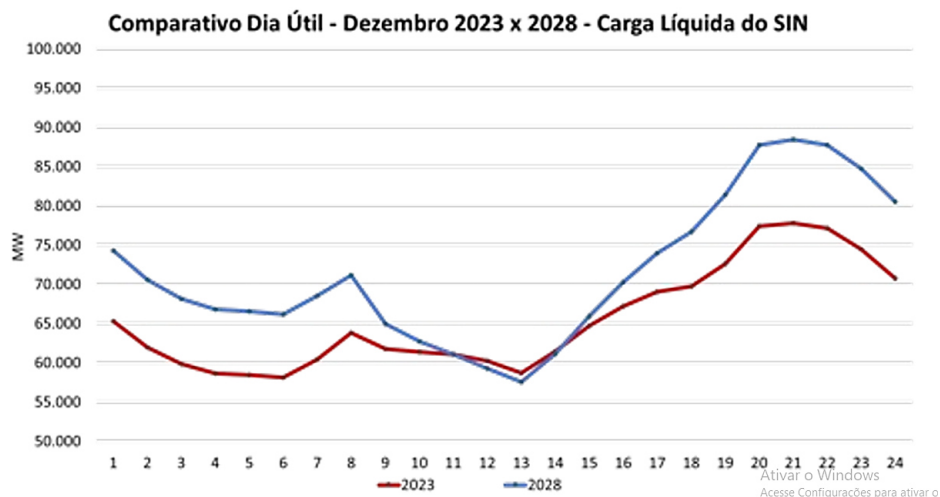
Com a intensificação da participação das fontes renováveis variáveis, sobretudo a eólica e a solar, na matriz elétrica brasileira, o SIN passou a enfrentar desafios operacionais inéditos, relacionados principalmente à intermitência e à localização geográfica concentrada dessas usinas. A ocorrência cada vez mais frequente de situações de excesso de geração não escoável, especialmente em regiões como o Nordeste, motivou a criação do Grupo de Trabalho *Curtailment* (GTC) pelo ONS. Esse grupo teve como objetivo avaliar tecnicamente os fatores associados às restrições de geração renovável, propor metodologias de análise e identificar medidas para mitigação dos efeitos sistêmicos.

A crescente participação dos REDs, em especial da MMDG, que já ultrapassa 38 GW de capacidade instalada e pode atingir 58 GW até 2029, tem gerado novos desafios operacionais para o SIN. Conforme aponta o ONS (2025), por operarem fora da supervisão direta do operador do sistema, os REDs não participam dos processos de restrição em momentos

de sobreoferta, o que sobrecarrega as usinas despachadas e compromete a equidade e a segurança da operação. Essa situação não é exclusiva do Brasil, sendo também observada em países como Reino Unido, Estados Unidos, Austrália e Alemanha.

Essa participação crescente tem reduzido a demanda de carga visível pelas usinas centralizadas despachadas pelo ONS, dificultando a estimativa precisa da demanda real e comprometendo o planejamento e a segurança operativa. Esse fenômeno obriga o operador a aplicar restrições adicionais sobre fontes renováveis variáveis, como a eólica e a solar, para preservar o equilíbrio carga-geração (ONS, 2025). A Figura 8, extraída do PAR/PEL 2023, simula como a MMGD tem distorcido a curva de carga observada, interferindo diretamente na identificação do ponto de carga máxima e, conseqüentemente, nas decisões operacionais. O gráfico apresenta uma carga líquida em dezembro de 2028 menor do que a carga líquida de 2023 em alguns horários do dia, pois o crescimento da MMGD, que supera a projeção de crescimento de carga durante determinados períodos.

Figura 8 – Efeito da inserção da MMGD na carga máxima vista pelo ONS



Fonte: Adaptado de ONS (2024).

Em 2024, as restrições de geração por razões energéticas atingiram aproximadamente 4.330 GWh no acumulado anual, correspondendo a uma média de 493 MWmed, com registro de pico de 22.766 MWmed em intervalo semi-horário. Um exemplo prático dessa condição ocorreu no dia 29 de setembro de 2024, um domingo típico, em que as fontes térmicas e hidráulicas já operavam com a geração minimizada, limitadas apenas por requisitos de inflexibilidade operativa, vazões mínimas e segurança elétrica. Ainda assim, foi necessário impor um corte de cerca de 20 GW nas fontes solar e eólica centralizadas. Destaca-se que no mesmo período a geração MMGD não foi afetada pelas restrições, pois operam fora do escopo de controle do ONS, apesar de possuir magnitude comparável (ONS, 2025).

De forma complementar, o relatório técnico “RT DGL-ONS 0189-2025” também apresenta análises prospectivas por meio de simulações energéticas para o ano de 2029. No primeiro cenário, construído com base nas premissas do Programa Mensal da Operação (PMO) e nas reuniões de monitoramento da Expansão da Geração, coordenadas pela Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração da ANEEL (SFG/ANEEL), estima-se a necessidade de restringir até 18.897 MW de geração eólica e fotovoltaica centralizada para garantir o equilíbrio carga-geração em um dia útil típico. Essa restrição equivale a um corte médio diário de 3.738 MWmed, sinalizando que os *curtailments* energéticos poderão se tornar cada vez mais recorrentes, inclusive em dias úteis, à medida que a oferta proveniente de renováveis variáveis e da MMGD cresce em ritmo superior à demanda diurna (ONS, 2025).

Já no segundo cenário, que incorpora as projeções do PAR/PEL 2024, considerando os empreendimentos com CUST já firmados, a necessidade de restrição se intensifica. A simulação aponta a exigência de cortar até 31.813 MW da geração eólica e solar centralizada, com impacto médio diário de 4.256 MWmed nas usinas eólicas e 3.499 MWmed nas fotovoltaicas. Esse cenário evidencia um agravamento do problema, sobretudo porque a geração distribuída e a MMGD continuam sem participar do rateio comercial das restrições, o que acentua os desafios operacionais e de equidade na gestão do sistema (ONS, 2025).

5 CONCLUSÃO

A análise desenvolvida ao longo deste trabalho evidenciou que, apesar da expressiva evolução da energia eólica no Brasil nas últimas duas décadas, o setor encontra-se atualmente em uma fase de inflexão marcada por desafios estruturais, operacionais, regulatórios, impactos sociais e ambientais. A revisão integrativa da literatura revela que as projeções otimistas do passado já não se concretizam diante da desaceleração do mercado, com a redução de leilões e aumento dos índices de *curtailment*, reflete um cenário de sobreoferta energética combinado à falta de infraestrutura adequada de escoamento e integração plena com o SIN. Além disso, a crescente participação da MMGD, adiciona camadas adicionais de complexidade, tornando a operação do sistema cada vez mais desafiadora para o ONS.

Diante desse contexto, torna-se imperativo repensar as diretrizes que norteiam o planejamento da expansão e a governança do setor elétrico, de modo a assegurar a continuidade da participação da fonte eólica como vetor estratégico da transição energética nacional. As recomendações técnicas apresentadas no presente trabalho convergem para a necessidade de uma atuação coordenada entre os agentes públicos e privados, com ênfase em ações que mitiguem o *curtailment*, aprimorem a infraestrutura elétrica, modernizem o marco regulatório e ampliem a integração dos REDs à operação do SIN.

No campo do planejamento setorial, destaca-se a importância de revisar as políticas de incentivo e desoneração aplicadas à geração renovável, a fim de evitar distorções econômicas e operacionais que aumentem os custos para os consumidores e intensifiquem o volume de cortes de geração. Simultaneamente, é essencial reavaliar a malha de transmissão em regiões com maior incidência de problemas de confiabilidade elétrica, especialmente no Nordeste, onde há forte penetração de usinas eólicas e fotovoltaicas conectadas por inversores.

No âmbito regulatório e tarifário, a modernização das regras que definem o acesso e o uso da rede é vital. Isso inclui a incorporação dos efeitos do *curtailment* nos estudos de custo-benefício da MMGD, a equiparação de regras de acesso para grandes consumidores e geradores, e a atualização das normas para rateio comercial dos cortes. A viabilização da integração de sistemas de armazenamento de energia também se configura como um passo essencial para prover flexibilidade operacional e maior eficiência ao despacho do sistema.

Em síntese, a superação da crise atual do setor eólico exige uma abordagem integrada e sistêmica, que articule planejamento de longo prazo, modernização institucional e adaptação tecnológica. O Brasil reúne os atributos técnicos e naturais para manter a energia eólica como um pilar estratégico da matriz energética nacional. No entanto, para que esse potencial se

traduza em competitividade e sustentabilidade, é imprescindível que as barreiras operacionais, regulatórias e de infraestrutura sejam enfrentadas com celeridade e coordenação entre os diversos atores do setor elétrico.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Considerando a complexidade dos desafios enfrentados pelo setor eólico brasileiro, torna-se fundamental o aprofundamento em novos estudos acadêmicos. A seguir, apresentam-se algumas sugestões de temas para futuras pesquisas:

- Estudo do impacto da implementação de sistemas de armazenamento em usinas de geração intermitente (eólica e solar) localizadas em regiões com restrições de escoamento;
- Análise da capacidade de escoamento das linhas de transmissão brasileiras após a realização dos leilões de transmissão dos anos de 2023, 2024 e 2025;
- Avaliação dos desafios técnicos e regulatórios para integração da geração eólica offshore ao SIN.
- Investigação sobre o papel da energia eólica como fonte primária para a produção de hidrogênio verde no Brasil e suas implicações operacionais.
- Análise dos impactos da limitação da geração distribuída como estratégia para minimizar o *curtailment* na geração centralizada de origem eólica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA (ABEEÓLICA). **Boletim Anual de Geração Eólica – 2022**. São Paulo: ABEEólica, 2023. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Boletim-de-Geracao-Eolica-2022.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRAINMARKET (org.). **Com prejuízo líquido histórico de R\$ 934,1 milhões, Aeris mira em exportações para sair de crise eólica**: mais de 5 mil funcionários já foram demitidos pela empresa. Mais de 5 mil funcionários já foram demitidos pela empresa. 2025. Disponível em: <https://www.brainmarket.com.br/2025/03/29/com-prejuizo-liquido-historico-de-r-9341-milhoes-aeris-mira-em-exportacoes-para-sair-de-crise-eolica/>. Acesso em: 09 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Ministro recebe presidente da empresa Aeris para tratar da geração de emprego na indústria de energia eólica**. Brasília: MTE, 26 fev. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/noticias-e-conteudo/2024/Fevereiro/ministro-recebe-presidente-da-empresa-aeris-para-tratar-da-geracao-de-emprego-na-industria-de-energia-eolica>. Acesso em: 9 jul. 2025.

BCVL ADVOGADOS. **ANEEL regulamenta a rescisão sem penalidades e extensão dos prazos do CUST**. BCVL Advogados, 2024. Disponível em: <https://bcvl.com.br/insights/aneel-regulamenta-a-rescisao-sem-penalidades-e-extensao-dos-prazos-do-cust/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

G1. **MPF e MP-BA pedem anulação de licenciamento ambiental e funcionamento de complexo eólico em Canudos**. 23 mar. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/ba/bahia/noticia/2023/03/23/mpf-e-mp-ba-pedem-anulacao-de-licenciamento-ambiental-e-funcionamento-de-complexo-eolico-em-canudos.ghtml>. Acesso em: 10 jul. 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Módulo 2 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/prodist>. Acesso em: 10 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa nº 1.065, de 11 de julho de 2023.** Estabelece diretrizes e procedimentos para celebração de contratos de uso do sistema de transmissão com empreendimentos de geração ainda sem outorga. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 12 jul. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa nº 1.069, de 29 de agosto de 2023.** Aprova a revisão do Módulo 5 das Regras de Transmissão e altera as Resoluções nº 875/2020 e nº 876/2020. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 30 ago. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Resolução Normativa nº 1.071, de 26 de setembro de 2023.** Estabelece procedimentos para a gestão da fila de acesso e da capacidade de escoamento no sistema elétrico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 27 set. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014.** Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 jul. 2014.

BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 jan. 2022.

COMUNIDADE AMBIENTAL. **Tudo o que você precisa saber sobre licenciamento ambiental.** Comunidade Ambiental, 2023. Disponível em: <https://comunidadeambiental.com.br/artigo/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-licenciamento-ambiental/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

CBN – Central Brasileira de Notícias. **2001: crise do apagão leva governo de FHC a racionar energia.** Disponível em: <https://cbn.globoradio.globo.com/institucional/historia/aniversario/cbn-25-anos/boletins/2016/10/05/2001-CRISE-DO-APAGAO-LEVA-GOVERNO-DE-FHC-A-RACIONAR-ENERGIA.htm>. Acesso em: 24 jul. 2025.

DONGFANG ELECTRIC WIND POWER. **Major Announcement! The World's Largest 26 MW Offshore Wind Turbine Rolls Off the Line!**. 2024. Disponível em: <https://dew.dongfang.com/en/info/1017/1109.htm>. Acesso em: 20 jul. 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Manual de Procedimentos para o Leilão de Energia Nova**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes/instrucoes-para-cadastramento>. Acesso em: 10 jul. 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética e elétrica**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 20 jul. 2025.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2025**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ENGIE. **O que é o PLP 414/2021 e como ele pode ajudar na modernização do setor elétrico?** Além da Energia, 2023. Disponível em: <https://www.alemndaenergia.engie.com.br/mercado-livre/o-que-e-o-plp-414-2021-e-como-ele-pode-ajudar-na-modernizacao-do-setor-eletrico/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

EIXOS. **Setor elétrico debate critérios para evitar "corrida do ouro" para acesso à rede por data centers e plantas de hidrogênio**. Eixos, 19 fev. 2025. Disponível em: <https://eixos.com.br/politica/setor-eletrico-debate-criterios-para-evitar-corrida-do-ouro-para-acesso-a-rede-por-data-centers-e-plantas-de-hidrogenio/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

HASSUNUMA, R.M et al. **Revisão Integrativa E Redação De Artigo Científico: Uma Proposta Metodológica Em 10 Passos**. Revista Multidisciplinar em Educação e Meio Ambiente, v. 5, n. 3, 2024.

HANSEN, Martin O. L.. **Aerodynamics of Wind Turbines**. 2. ed. Sterling, Va: Earthscan, 2008. 192 p.

HAU, Erich. **Wind Turbines: fundamentals, technologies, application, economics**. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 791 p.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2025**: Ano base 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-BEN>. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 462, de 24 de julho de 2014**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 jul. 2014. Disponível em: <https://sudema.pb.gov.br/servicos/servicos-ao-publico/legislacao-ambiental/caeia/resolucao-conama-462-2014-energia-eolica.pdf/view>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SANTOS, Cristiane Dias dos. **Licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre**. Jus.com.br, 2014. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/40578/licenciamento-ambiental-de-empreendimentos-de-geracao-de-energia-eletrica-a-partir-de-fonte-eolica-em-superficie-terrestre>. Acesso em: 24 jul. 2025.

MANWELL, J. F.; MCGOWAN, J. G.; ROGERS, A. L.. **WIND ENERGY EXPLAINED: theory, design and application**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009. 705 p.

SILVA, José Alderir da. **Panorama atual e futuro da energia eólica no Rio Grande do Norte**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 41, e27365, 2024.

FREIRE, Anderson Ítalo; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. **Perspectivas e desafios econômicos da geração de energia eólica na região Nordeste do Brasil**. Research, Society and Development, v. 11, n. 1, e58911125429, 2022.

GORAYEB, Adryane (org.). **Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil**. Fortaleza: Observatório da Energia Eólica – UFC, 2019.

TEIXEIRA, Rachel Leser Burock Chamarelli; SILVA, Wanderson Amaral da. **Energia de fontes renováveis na matriz energética brasileira: uma revisão sobre o panorama atual e perspectivas futuras**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 8, n. 20,

p. 1515–1532, 2021.

SILVA, Rafael Aguiar da; AZEVEDO, Francisco Fransualdo. **O desenvolvimento do setor eólico no Brasil e no mundo**. Formação (Online), v. 28, n. 53, p. 809–828, 2021.

SENADO FEDERAL. **Plenário aprova exploração de energia no mar com incentivos para gás e carvão**. Senado Notícias, 12 dez. 2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/12/12/plenario-aprova-exploracao-de-energia-no-mar-com-incentivos-para-gas-e-carvao>. Acesso em: 24 jul. 2025.

AGRA NETO, João; QUEIROZ, Fernanda Cristina Barbosa Pereira; QUEIROZ, Jamerson Viegas; LIMA, Nilton Cesar; SILVA, Christian Luiz da. **Evolução e perspectivas do setor eólico no Brasil: análise dos principais estados produtores**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (PR), v. 13, n. 4, p. 1409–1432, out./dez. 2020.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **PAR/PEL 2023 - Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo: ciclo 2024–2028**. Rio de Janeiro: ONS, 2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Revista%20PARPEL%2023-3-Fev24%20VF.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **PAR/PEL 2024 - Plano da Operação Elétrica de Médio Prazo: Ciclo 2025 - 2029**. Rio de Janeiro: ONS, 2024. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Revista%20PARPEL%20_2024_VF_27.12.24.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Diagnóstico e perspectiva da evolução dos cortes de geração no Brasil: GT Cortes de Geração**. Rio de Janeiro: ONS, 2025. Disponível em: <https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/RT%20DGL-ONS%200189-2025%20-%20GT%20Curtaiment%20rev1.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2025.

PERUCHI, Paulo Renato. **Energia eólica no Brasil: trajetória, tecnologia e os ventos do mercado**. 2024. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal

de São Carlos, São Carlos, 2024.

PORTAL SOLAR. **Lei 14.300: marco legal da geração distribuída**. Portal Solar, 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/lei-14300>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **COP26 é encerrada e texto final dita os compromissos dos próximos 30 anos**. Brasília: ONU Brasil, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/158590-cop26-%C3%A9-encerrada-e-texto-final-dita-os-compromissos-dos-pr%C3%B3ximos-30-anos>. Acesso em: 20 jul. 2025.

PAIVA, Jorge Guilherme de Jesus de. **Panorama da Energia Eólica Offshore no Mundo e Perspectivas para o Brasil**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Estudos Marítimos, Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.

SOUZA, Ramon Almeida 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**. 2022. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Feira de Santana, 2022.

SCHOR, Juliana Melcop de Castro. **Desenvolvimento do mercado de energia eólica offshore no Brasil: cenário jurídico-regulatório atual e perspectivas futuras**. 2023. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Direito, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

ARAUJO, Bruno Platteck de. **O desenvolvimento de Políticas Industriais Sistêmicas na Área de Energia: uma análise a partir das políticas implementadas para a expansão da capacidade de geração de energia eólica no brasil**. 2025. 259 f. Tese (Doutorado) - Curso de Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento., Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

VITORINO, Roney Nakano. **Expansão da matriz energética brasileira: requisitos do sistema elétrico e modelos de negócio para viabilizar a inserção massiva da fonte eólica**. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

SOUZA, Nathan Gomes de; PAULA, Luiz Philipi Raimundo de; BALDOINO, Jancer Nogueira

de Araújo; DUARTE, João Paulo Bittencourt da Silveira. **As Principais Dificuldades Enfrentadas Pelo Operador Nacional De Energia (ONS), Com O Surgimento De Novas Fontes De Energia No Brasil.** Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 3478-3494, 14 nov. 2024.

ZANELLA, Makerli Galvan. **A dinâmica geoeconômica da cadeia de energia eólica no Brasil.** 2021. 255 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2021.

BELGONE, Fillipe; FERREIRA, Geraldo de Souza. **Identificação e análise qualitativa de riscos na implementação de projetos de energia eólica offshore no Brasil.** Engevista, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 1-19, 23 dez. 2024.

VIDAL, Douglas Bitencourt. **Avaliação do potencial de geração de energia eólica offshore no litoral do Nordeste brasileiro.** 2024. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2024.

ROCHA, Ana Larissa Lima. **Energia eólica como uma fonte sustentável frente ao cenário da crise energética no Brasil.** 2022. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

DIAS, Marcus Vinicius Souza; FERRAZ, Joel Almir dos Santos; SANTOS JÚNIOR, Wilson dos; ARAUJO, Anselmo Cláudio de; LUCAS, Rafael Resende; MOTA, Rogério Pinto. **Panorama da energia eólica no Brasil com ênfase na Região Nordeste.** Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, Campinas, v. 43, p. 1-8, 17 jul. 2024.

WIND ENERGY DEPARTMENT (Dinamarca). National Laboratory Risø (org.). **Guidelines for Design of Wind Turbines.** 2. ed. Roskilde: Det Norske Veritas, 2002. 294 f.

ANEXO A - QUADRO DE REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Quadro 1 – Estudos Analisados

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
1	Panorama Atual e Futuro da Energia Eólica no Rio Grande Do Norte	José Alderir da Silva.	2024	Artigo	Analisar a evolução da capacidade instalada no estado do Rio Grande do Norte, 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 crescimento do Rio Grande do Norte deve-se, em parte, às políticas públicas implementadas pelo governo para solucionar a crise energética que ocorreu durante o início dos anos 2000, essas iniciativas 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 dos processos de fabricação.
2	Perspectivas e Desafios Econômicos da Geração de Energia Eólica na Região Nordeste do Brasil	Anderson Ítalo Freire; Isabel Lausann e Fontgalland.	2022	Artigo	Apresentar e analisar as perspectivas e desafios econômicos da geração de energia eólica na região Nordeste, do ano de 2011 até 2020.	Ressalta-se também a energia eólica é muitas vezes considerada barata, mas seus custos reais são pouco transparentes, o que dificulta essa afirmação. Por fim, A forma de cálculo das tarifas é considerada justa, mas a carga elevada de impostos faz com que qualquer fonte de energia pareça cara, funcionando, na prática, como um instrumento de arrecadação do Estado.
3	Energia de Fontes Renováveis na Matriz Energética Brasileira: Uma Revisão Sobre o Panorama Atual e Perspectivas Futuras	Rachel Leser Burock Chamarcelli Teixeira; Wanderson Amaral da Silva.	2021	Artigo	Analisar as principais fontes renováveis de energia no Brasil, abordando seu funcionamento, rentabilidade e impactos ambientais, sociais e econômicos, bem como discutir o panorama atual e as perspectivas futuras dessas fontes na matriz energética nacional.	O Brasil possui grande potencial para a geração de energia renovável, porém devido a sua grande dimensão territorial é necessário que haja uma complementariedade entre as fontes de geração. Isso se dá por algumas regiões possuírem características favoráveis apenas para algumas fontes de geração, como pela intermitência das fontes de geração eólica e solar.

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
4	O Desenvolvimento do Setor Eólico no Brasil e no Mundo	Rafael Aguiar da Silva; Francisco Fransualdo de Azevedo.	2021	Artigo	Discutir o processo de expansão e consolidação do setor eólico no território em escala global e no cenário brasileiro.	O setor eólico cresceu muito nas últimas décadas, fundamentado em um discurso de desenvolvimento sustentável, ele recebeu diversos incentivos governamentais e privados. Contudo, sua forte premissa de apropriação de terras tem gerado impactos socioeconômicos e ambientais.
5	Evolução e Perspectivas do Setor Eólico no Brasil: Análise dos Principais Estados Produtores	João Agra Neto; Fernanda Cristina Barbosa Pereira Queiroz; Nilton Cesar Lima; Christina Luiz da Silva; Jamerson Viegas Queiroz.	2020	Artigo	Analisar a evolução do setor eólico no Brasil, destacando os principais estados produtores, especialmente Rio Grande do Norte e Bahia, e as políticas públicas que impulsionaram o crescimento do setor, além de apontar tendências futuras para a geração e comercialização dessa fonte de energia.	O setor eólico cresceu no Brasil, com destaque para Bahia e Rio Grande do Norte. A Bahia vem se consolidando como líder pela melhor infraestrutura e apoio público, enquanto o RN enfrenta desafios logísticos e técnicos. Entretanto, apesar dos avanços, ainda há obstáculos na distribuição e no planejamento, exigindo melhorias para garantir a expansão sustentável da energia eólica.
6	Energia Eólica no Brasil: Trajetória, Tecnologia e os Ventos do Mercado	Paulo Renato Peruchi.	2024	Tese	Investigar a trajetória da energia eólica no Brasil entre 2002 e 2022, focando no desenvolvimento tecnológico e nas influências de políticas públicas, mercado e instituições. A pesquisa busca entender como essas interações moldaram o setor eólico no país.	Evidencia que a política energética focou na criação de mercado, priorizando crescimento da capacidade instalada, enquanto o desenvolvimento tecnológico foi impactado pela forte presença de empresas estrangeiras e pela lógica econômico-financeira do setor. O autor conclui que esse modelo reflete características de um capitalismo periférico, sugerindo maior alinhamento entre políticas energéticas e tecnológicas para impulsionar inovação.

Quadro 1 – Estudos Analisados(continuação)

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
7	Panorama da Energia Eólica Offshore no Mundo e Perspectivas Para o Brasil	Jorge Guilherme de Jesus Paiva.	2021	Dissertação	Analisar experiências internacionais de energia eólica offshore e as perspectivas para o Brasil. Busca avaliar o papel das energias marítimas na transição energética, apresentar o desenvolvimento da tecnologia offshore e comparar casos globais para identificar oportunidades e desafios para o país.	A energia eólica offshore está em expansão global, com avanços tecnológicos e redução de custos. No Brasil, há grande potencial, especialmente no Nordeste, Sudeste e Sul, mas desafios como falta de regulamentação e altos custos iniciais dificultam seu desenvolvimento. A conclusão destaca a necessidade de políticas energéticas integradas e investimentos para viabilizar essa tecnologia e diversificar a matriz elétrica de forma sustentável.
8	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	Luís Felipe Carrari de Amorim .	2021	Tese	Avaliar as políticas de incentivo à energia eólica no Brasil, examinando os fatores que levaram à sua expansão no setor elétrico. Investiga os processos de implementação dessas políticas, identificando os principais desafios e impactos na diversificação da matriz energética nacional.	As políticas de incentivo foram essenciais para a expansão da energia eólica no Brasil, impulsionando investimentos e crescimento na matriz elétrica. Embora a fonte tenha avançado significativamente, desafios como a dependência de incentivos governamentais e a necessidade de maior integração tecnológica ainda persistem. A conclusão ressalta que, para garantir um desenvolvimento sustentável, é fundamental aprimorar a estrutura regulatória e fomentar inovação no setor.

Quadro 1 – Estudos Analisados(continuação)

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
9	Desenvolvimento do Mercado de Energia Eólica Offshore no Brasil: Cenário Jurídico-Regulatório Atual e Perspectivas Futuras	Juliana Melcop de Castro Schor.	2023	Tese	Examinar o cenário jurídico-regulatório da energia eólica offshore no Brasil, identificando desafios e oportunidades para seu desenvolvimento.	A falta de um marco regulatório claro, os altos custos iniciais e questões ambientais são barreiras para o setor. Dessa forma, para viabilizar essa tecnologia, é essencial aprimorar a legislação, garantir incentivos econômicos e estabelecer políticas públicas que incentivem investimentos e inovação no setor.
10	O Desenvolvimento de Políticas Industriais Sistêmicas na Área de Energia: Uma Análise a Partir das Políticas Implementadas Para a Expansão da Capacidade de Geração de Energia Eólica no Brasil	Bruno Platteck de Araújo.	2025	Tese	Examinar as políticas industriais no setor de energia, com o objetivo de analisar seus impactos no desenvolvimento tecnológico e econômico da área. A proposta consiste em identificar os principais desafios e oportunidades associados a essas políticas, avaliando sua eficácia na promoção da inovação, no fortalecimento da cadeia produtiva e na estruturação do mercado energético nacional.	A falta de integração entre política energética e industrial limita a inovação e a competitividade do setor. Portanto é necessário estratégias mais sistêmicas, com incentivos à pesquisa e desenvolvimento, fortalecimento da indústria nacional e maior alinhamento entre políticas públicas para impulsionar a modernização do setor energético.

Quadro 1 – Estudos Analisados(continuação)

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
11	Expansão da Matriz Energética Brasileira: Requisitos do Sistema Elétrico e Modelos de Negócio Para Viabilizar a Inserção Massiva da Fonte Eólica.	Roney Nakano Vitorino	2023	Tese	Identificar os requisitos técnicos do sistema elétrico e propor modelos de negócio que possibilitem a inserção massiva da energia eólica na matriz energética brasileira, contribuindo para a transição energética e para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico nacional.	A crescente participação da energia eólica no Nordeste e os desafios que sua intermitência impõe ao sistema elétrico, como a necessidade de maior flexibilidade operativa. Destacam-se soluções como hidrelétricas reversíveis, termelétricas flexíveis e intercâmbios regionais. Conclui-se que é essencial adaptar modelos de negócio, critérios técnicos e regulatórios para garantir a integração eficiente das fontes renováveis e a segurança do atendimento à demanda no SIN.
12	As Principais Dificuldades Enfrentadas Pelo Operador Nacional de Energia (ONS), com o Surgimento de Novas Fontes de Energia no Brasil	Nayra Lurian Nascimento de Souza; Loriane Texca de Paula; Jancier Nogueira de Araújo Baldoino; João Paulo Bittencourt da Silveira Duarte.	2024	Artigo	Identificar e discutir as principais dificuldades enfrentadas pelo ONS com a crescente inserção de novas fontes renováveis, como solar e eólica, na matriz energética brasileira. Busca compreender como a variabilidade, a incerteza e a dependência locacional dessas fontes impactam a operação e a estabilidade do sistema elétrico.	A ampliação da presença de fontes renováveis intermitentes, como solar e eólica, trouxe novos desafios ao ONS. A variabilidade da geração, a incerteza na previsão da produção e a localização distante dos centros de consumo dificultam o equilíbrio entre oferta e demanda. Isso exige maior flexibilidade operacional, reforço na infraestrutura de transmissão e aprimoramento das previsões. O estudo conclui que, para garantir a segurança e estabilidade do sistema elétrico nacional, o ONS precisa adaptar sua atuação, modernizar o sistema e acompanhar as mudanças regulatórias e tecnológicas.

Quadro 1 – Estudos Analisados (continuação)

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
13	Dinâmica Geoeconômica da Cadeia de Energia Eólica no Brasil	Makerli Galvan Zanella.	2021	Tese	Avaliar a viabilidade da energia eólica em larga escala no Brasil, considerando empresas, investimentos, tecnologia e desafios do setor. Investiga a cadeia produtiva desde o panorama global até as particularidades do mercado nacional, analisando o papel do Estado, a competitividade e os obstáculos ao desenvolvimento sustentável.	A energia eólica tem grande potencial de crescimento global, especialmente no Brasil, que possui condições favoráveis para sua expansão. O investimento na área aumentou, com a China liderando o setor. Políticas regulatórias, incentivos financeiros e a qualificação da força de trabalho são essenciais para impulsionar o mercado. No Brasil, desafios como infraestrutura limitada e desenvolvimento tecnológico insuficiente podem dificultar o avanço, tornando necessário um ambiente político estável para fomentar inovação e integração dessas tecnologias.
14	Identificação e Análise Qualitativa de Riscos na Implementação de Projetos de Energia Eólica Offshore no Brasil	Fillipe Belgone ; Geraldino De Souza Ferreira.	2024	Artigo	Identificar e analisar qualitativamente os principais riscos na implementação de projetos de energia eólica offshore no Brasil, considerando a perspectiva dos empreendedores. Visa mapear desafios políticos, econômicos, técnicos, sociais e de mercado, além de apontar possíveis soluções para viabilizar o desenvolvimento dessa indústria no país.	A falta de regulamentação clara, infraestrutura inadequada e mão de obra especializada são obstáculos significativos. Além disso, as incertezas sobre concessões de áreas e políticas energéticas podem afetar investimentos. Desta forma, o desenvolvimento do setor depende da criação de um ambiente regulatório eficiente, incentivos econômicos e estratégias para mitigar os riscos regionais, garantindo um crescimento sustentável da indústria no país.

Quadro 1 – Estudos Analisados (continuação)

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
15	Avaliação do Potencial de Geração de Energia Eólica Offshore no Litoral do Nordeste Brasileiro	Douglas Bitencourt Vidal.	2024	Tese	Avaliar o potencial de energia eólica offshore no Nordeste do Brasil por meio de modelagem matemática e simulação. Analisar a influência da velocidade dos ventos em diferentes alturas, compara dados de monitoramento com modelos numéricos, validar a precisão do modelo WRF e identificar áreas de maior potencial, quantificando a capacidade de geração para distintas alturas.	O litoral do Nordeste brasileiro tem alto potencial para energia eólica offshore, com destaque para o Rio Grande do Norte e Piauí, onde a capacidade pode atingir 918 GW. O modelo WRF foi eficaz na previsão dos ventos, validando padrões regionais. As extrapolações reforçam a viabilidade técnica e econômica da energia eólica offshore, indicando sua importância para diversificação energética e transição para fontes renováveis no Brasil.
16	Energia Eólica Como Uma Fonte Sustentável Frente ao Cenário da Crise Energética No Brasil	Ana Larissa Lima Rocha.	2022	Dissertação	Analisar a dependência do país em relação às hidrelétricas, explorar os benefícios ambientais e econômicos da energia eólica e discutir a necessidade de diversificação da matriz energética brasileira, incluindo outras fontes renováveis.	A dependência das hidrelétricas traz riscos e que a energia eólica pode ajudar a diversificar a matriz elétrica, reduzindo impactos ambientais e econômicos. Investimentos e políticas adequadas são essenciais para fortalecer essa fonte renovável no país.

Quadro 1 – Estudos Analisados (continuação)

Nº	Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Objetivos	Resultado e Conclusões
17	Panorama da Energia Eólica no Brasil Com Ênfase na Região Nordeste	Marcus Vinicius Souza Dias; Joel Almir Dos Santos Ferraz; Wilson Dos Santos Júnior; Anselmo Cláudio De Araújo; Rafael Resende Lucas; Rogério Pinto Mota.	2024	Artigo	Examinar a situação da energia eólica no Brasil, com foco na Região Nordeste. Realizar uma revisão bibliográfica e análise de dados governamentais para identificar o potencial de geração e os desafios do setor, considerando cenários futuros de demanda energética e mudanças climáticas.	O Brasil, especialmente a Região Nordeste, tem forte potencial para geração de energia eólica. No entanto, é necessário acelerar o crescimento do setor para atender à demanda futura e mitigar impactos climáticos. A análise ressalta a necessidade de políticas públicas e investimentos para fortalecer o crescimento dessa fonte de energia renovável.

Fonte: Próprio Autor.