




LOGÍSTICA E TRANSPORTE DE PÁS DE AEROGERADORES: DESAFIOS DA ENGENHARIA DE TRANSPORTE NA EXPANSÃO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

LOGISTICS AND TRANSPORTATION OF WIND TURBINES BLADES: CHALLENGES OF TRANSPORTATION ENGINEERING IN THE EXPANSION OF WIND ENERGY IN BRAZIL

LOGÍSTICA Y TRANSPORTE DE PALAS DE AEROGENERADORES: DESAFÍOS DE LA INGENIERÍA DE TRANSPORTE EN LA EXPANSIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA EN BRASIL

 <https://doi.org/10.56238/levv16n53-065>

Data de submissão: 14/09/2025

Data de publicação: 14/10/2025

Vagner Santana Bispo Brandão

Especialização em Engenharia de Transporte e Avaliação de Impactos Ambientais

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: vagnerbrandaogeografia@gmail.com

ORCID: 0009-0000-1829-1940

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6029852782960846>

Juan Pedro Moreno Delgado

Doutor em Engenharia de Transportes

Instituição: Universidade Federal da Bahia (UFBA)

E-mail: jpyupi@yahoo.com.br

ORCID: 0000-0002-0484-2964

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7206057274277028>

RESUMO

O presente artigo analisa os desafios logísticos relacionados ao transporte de pás de aerogeradores, elemento crítico para a implantação de parques eólicos no Brasil (LIMA, 2018; SIQUEIRA, 2019). Considerando que as pás podem ultrapassar 70 metros de comprimento, sua movimentação exige planejamento minucioso, rotas especiais e custos adicionais significativos (BROWER, 2012; PEREIRA et al., 2018). O objetivo principal é discutir as barreiras enfrentadas e apresentar perspectivas que possam contribuir para a melhoria do processo de expansão da geração eólica no país (ANEEL, 2020; SANTOS, 2020). A metodologia utilizada contempla revisão bibliográfica e análise documental de relatórios técnicos e dados secundários disponibilizados pela ANEEL e pela ABEEólica, além da aplicação de conceitos da Engenharia de Transportes aliados ao uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (GOLDEMBERG; LUCON, 2017). Conclui-se que a logística de transporte das pás de aerogeradores não é apenas uma questão técnica, mas um elo estratégico na transição energética brasileira (PEREIRA et al., 2018).

Palavras-chave: Transporte. Energia Eólica. Logística. Infraestrutura Viária. Sustentabilidade

ABSTRACT

This article analyzes the logistical challenges related to the transportation of wind turbine blades, a critical element for the implementation of wind farms in Brazil (LIMA, 2018; SIQUEIRA, 2019). Considering that blades can exceed 70 meters in length, their movement requires detailed planning, special routes, and significant additional costs (BROWER, 2012; PEREIRA et al., 2018). The main objective is to discuss the barriers faced and present perspectives that may contribute to improving the wind power expansion process in the country (ANEEL, 2020; SANTOS, 2020). The methodology adopted is based on a literature review and documentary analysis of technical reports and secondary data provided by ANEEL and ABEEólica, in addition to the application of Transportation Engineering concepts combined with Geographic Information Systems (GIS) (GOLDEMBERG; LUCON, 2017). It is concluded that the logistics of transporting wind turbine blades is not only a technical issue but a strategic link in the Brazilian energy transition (PEREIRA et al., 2018).

Keywords: Transport. Wind Energy. Logistics. Road Infrastructure. Sustainability.

RESUMEN

Este artículo analiza los desafíos logísticos relacionados con el transporte de palas de aerogeneradores, un elemento crítico para la implementación de parques eólicos en Brasil (LIMA, 2018; SIQUEIRA, 2019). Considerando que las palas pueden superar los 70 metros de longitud, su movimiento requiere una planificación meticulosa, rutas especiales y costos adicionales significativos (BROWER, 2012; PEREIRA et al., 2018). El objetivo principal es discutir las barreras enfrentadas y presentar perspectivas que puedan contribuir a mejorar la expansión de la generación eólica en el país (ANEEL, 2020; SANTOS, 2020). La metodología utilizada incluye una revisión bibliográfica y un análisis documental de informes técnicos y datos secundarios proporcionados por ANEEL y ABEEólica, además de la aplicación de conceptos de Ingeniería de Transporte combinados con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (GOLDEMBERG; LUCON, 2017). Se puede concluir que la logística del transporte de palas de aerogeneradores no es solo una cuestión técnica, sino un eslabón estratégico en la transición energética brasileña (PEREIRA et al., 2018).

Palabras clave: Transporte. Energía Eólica. Logística. Infraestructura Vial. Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

A transição energética global tem se consolidado como uma das principais estratégias para mitigar os efeitos das mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável. Nesse cenário, a energia eólica ocupa posição de destaque, sobretudo pela sua capacidade de geração limpa e pela rápida evolução tecnológica de seus componentes (BROWER, 2012; PEREIRA et al., 2018). A Organização das Nações Unidas e a Agência Internacional de Energia têm enfatizado que a descarbonização do setor elétrico depende da ampliação de fontes renováveis, em especial a eólica e a solar, cuja expansão se mostra viável técnica e economicamente em países de grande extensão territorial, como o Brasil (GOLDEMBERG; LUCON, 2017).

No contexto brasileiro, a energia eólica tem se tornado um dos pilares da matriz elétrica nacional. Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2020), o Brasil ocupa posição de liderança na América Latina e figura entre os dez países com maior capacidade instalada no mundo. Essa expansão é particularmente evidente na região Nordeste, onde as condições naturais – como ventos constantes e de alta velocidade – criaram o chamado “corredor de vento”, que abrange estados como Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí (PEREIRA et al., 2018). Tal potencial tem atraído investimentos nacionais e internacionais, transformando a região em referência mundial em geração eólica.

Apesar do cenário promissor, a implantação de parques eólicos enfrenta um dos maiores gargalos no âmbito da Engenharia de Transportes: a logística de movimentação de componentes superdimensionados, notadamente as pás de aerogeradores. Com comprimentos que ultrapassam 70 metros, essas estruturas exigem veículos especiais, rotas detalhadamente planejadas e intervenções em rodovias e centros urbanos (LIMA, 2018). Esse desafio vai além da simples operação de transporte, pois envolve a adequação de infraestrutura viária, a compatibilização com áreas urbanas e rurais, e a necessidade de articulação institucional entre órgãos federais, estaduais e municipais.

A logística de transporte das pás eólicas apresenta impactos significativos nos custos dos empreendimentos. Estudos apontam que o transporte pode representar até 20% do custo logístico total de um parque eólico, elevando de forma substancial o valor do megawatt-hora gerado (SIQUEIRA, 2019). Além dos custos, a complexidade logística resulta frequentemente em atrasos de cronograma, necessidade de construção de acessos alternativos e conflitos sociais decorrentes da passagem de veículos de grande porte em comunidades locais (SANTOS, 2020). Esses fatores reforçam a importância de compreender o transporte de pás como um elo estratégico e não apenas técnico na cadeia de implantação dos projetos de energia renovável.

Nesse sentido, a Engenharia de Transportes desempenha papel fundamental ao oferecer ferramentas de análise, simulação e planejamento que permitem avaliar a viabilidade de rotas, identificar gargalos e propor soluções integradas. Tecnologias como os Sistemas de Informação

Geográfica (SIG), amplamente utilizados no planejamento urbano e de transportes, têm se mostrado eficazes na modelagem de trajetos, cálculo de curvaturas viárias, análise de relevo e definição de alternativas logísticas (GOLDEMBERG; LUCON, 2017). A aplicação dessas tecnologias no contexto da energia eólica ainda é incipiente no Brasil, mas apresenta grande potencial para reduzir custos e riscos operacionais.

Além da dimensão técnica, é importante considerar a relevância social e territorial da logística de transporte para o setor eólico. A passagem de cargas superdimensionadas em áreas urbanas e rurais gera impactos que vão desde a necessidade de remoção de postes e sinalizações até a interrupção temporária do tráfego em comunidades locais (LIMA, 2018). Esses impactos, quando não planejados adequadamente, podem comprometer a aceitação social dos empreendimentos, gerando resistência por parte da população e atrasos adicionais. Portanto, o transporte das pás deve ser analisado sob uma ótica multidimensional, envolvendo aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais (SIQUEIRA, 2019).

A literatura internacional demonstra que países líderes em energia eólica, como Estados Unidos e Alemanha, têm investido na criação de corredores logísticos exclusivos para o transporte de componentes renováveis, integrando rodovias, ferrovias e portos (BROWER, 2012). Esse modelo tem permitido maior eficiência, segurança e redução de custos, além de impulsionar a competitividade do setor no cenário global. No Brasil, contudo, a predominância do modal rodoviário e a ausência de infraestrutura adaptada revelam a necessidade urgente de políticas públicas específicas voltadas para a integração transporte-energia (PEREIRA et al., 2018).

Outro aspecto a ser destacado é a evolução tecnológica das pás eólicas, que têm aumentado em tamanho e complexidade à medida que os aerogeradores se tornam mais potentes. Se em 2010 era comum encontrar pás de 40 a 50 metros, hoje existem pás superiores a 75 metros, e as projeções indicam que em breve poderão ultrapassar 100 metros (ANEEL, 2020). Esse crescimento acentua os desafios logísticos, pois amplia as restrições de raio de curvatura em estradas, a necessidade de reforço estrutural de pontes e viadutos, e a dificuldade de transposição de áreas urbanas consolidadas (SIQUEIRA, 2019).

Diante desse contexto, torna-se evidente a lacuna existente na literatura científica nacional, que ainda carece de estudos aprofundados sobre a interface entre a Engenharia de Transportes e a expansão da energia eólica. Embora existam pesquisas sobre impactos ambientais e socioeconômicos dos parques eólicos, poucos trabalhos se dedicam a investigar de forma sistemática as barreiras logísticas associadas ao transporte de pás (LIMA, 2018; SANTOS, 2020). Essa lacuna justifica a necessidade de artigos como o presente, que buscam aproximar o debate da logística à agenda da transição energética brasileira.

Assim, a análise deste tema é essencial para alinhar os avanços da Engenharia de Transportes com a expansão das energias renováveis (SANTOS, 2020). Os principais desafios logísticos relacionados ao transporte de pás de aerogeradores no Brasil, tomando como referência estudos de caso no Nordeste, especialmente na Bahia, estado líder em capacidade instalada de geração eólica. A análise se apoia em revisão bibliográfica, relatórios técnicos e estudos aplicados de Engenharia de Transportes, discutindo as barreiras enfrentadas e apontando perspectivas para a expansão sustentável do setor (PEREIRA et al., 2018). Espera-se que os resultados possam contribuir não apenas para a academia, mas também para gestores públicos, empresas e comunidades locais envolvidas no processo de implantação de parques eólicos.

2 METODOLOGIA

Este artigo adota uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em revisão bibliográfica e análise documental. Foram consultados artigos científicos, livros especializados e relatórios técnicos nacionais e internacionais sobre logística de transporte de cargas superdimensionadas e energia eólica (LIMA, 2018; SIQUEIRA, 2019; BROWER, 2012).

Além disso, foram analisados dados secundários disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2020; 2024) e pela Associação Brasileira de Energia Eólica – ABEEólica (2023), que oferecem um panorama atualizado da capacidade instalada e da distribuição regional dos parques eólicos no Brasil.

A análise concentrou-se na identificação dos principais gargalos logísticos apontados pela literatura e em sua sistematização em tópicos comparativos, buscando destacar as implicações técnicas, econômicas e sociais do transporte das pás. Também foram utilizadas referências internacionais (BROWER, 2012; PEREIRA et al., 2018) para estabelecer comparações com práticas adotadas em outros países.

3 CONTEXTO DO SETOR EÓLICO NO BRASIL

A energia eólica consolidou-se como uma das principais fontes renováveis no Brasil, resultado não apenas da abundância de recursos naturais, mas também do amadurecimento institucional e da implementação de políticas públicas que impulsionaram a diversificação da matriz elétrica. O fortalecimento do setor está diretamente relacionado à conjugação entre marcos regulatórios estáveis, a ampliação da cadeia produtiva nacional e o avanço tecnológico dos aerogeradores, fatores que posicionaram o Brasil entre os países com maior expansão da capacidade instalada de energia limpa na última década (ABEEÓLICA, 2024; EPE/MME, 2025).

Segundo dados da Associação Brasileira de Energia Eólica, o país alcançou, em 2023, a marca de 30,45 GW de potência instalada, e em 2024 adicionou aproximadamente 3,3 GW, atingindo uma participação de 16,1% na matriz elétrica nacional (ABEEÓLICA, 2025)

Esse crescimento expressivo confirma a atratividade dos investimentos no setor, reforçada pelo cenário de estabilidade regulatória e pelo constante interesse de empresas nacionais e internacionais. A Agência Nacional de Energia Elétrica destaca que a renovabilidade da matriz elétrica brasileira alcançou 88,2% em 2024, sendo a energia eólica, ao lado do solar fotovoltaico, responsável por 23,7% da geração de eletricidade, evidenciando a relevância da fonte no processo de transição energética do país (ANEEL, 2024; EPE/MME, 2025).

A expansão da geração eólica possui uma forte concentração regional no Nordeste, responsável por mais de 80% da capacidade instalada nacional, com destaque para os estados da Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí. A Bahia lidera o ranking, com cerca de 7.200 MW, equivalente a 31% da geração eólica nacional, mas enfrenta gargalos logísticos associados às rodovias BR-116 e BR-324, que apresentam curvas acentuadas e limitações estruturais (ABEEÓLICA, 2024). O Rio Grande do Norte, pioneiro na instalação de parques eólicos no país, conta com aproximadamente 6.400 MW, representando 28% da capacidade total, mas enfrenta dificuldades em áreas urbanas durante o transporte de pás superdimensionadas, que impactam diretamente comunidades locais (LIMA, 2018). O Ceará, com 3.000 MW, tem se beneficiado da proximidade do Porto do Pecém, que atua como hub logístico estratégico para importação e exportação de componentes (COMPLEXO DO PECÉM, 2025). O Piauí, por sua vez, possui cerca de 2.400 MW instalados, o que representa 10% da matriz nacional, mas enfrenta sérias limitações de acesso em função da precariedade de estradas secundárias e da interiorização dos projetos (SANTOS, 2020; SIQUEIRA, 2019).

Esse panorama revela um paradoxo: ao mesmo tempo em que o Nordeste brasileiro se consolida como motor da expansão eólica nacional, a ausência de uma infraestrutura de transportes adequada ameaça a competitividade do setor. A concentração geográfica aumenta a pressão sobre rodovias federais e estaduais, já saturadas pelo fluxo de cargas comuns, e potencializa os riscos de atrasos e custos adicionais decorrentes da necessidade de intervenções emergenciais e de rotas alternativas (SIQUEIRA, 2019; ANEEL, 2024).

Figura 1 – Transporte rodoviário de pá de aerogerador rumo ao Parque Eólico de Brotas de Macaúbas (BA)



Fonte: AGECOM (2011). Brotas de Macaúbas recebe os primeiros equipamentos para parque eólico.

A imagem mostra o deslocamento de uma pá de aerogerador em rodovia baiana, etapa integrante da implantação do primeiro parque eólico do estado, localizado em Brotas de Macaúbas. O transporte, acompanhado por batedores e escolta da Polícia Rodoviária Federal, exemplifica a complexidade logística envolvida na movimentação de cargas superdimensionadas no contexto da expansão da energia eólica no semiárido baiano.

Outro fator que amplia os desafios logísticos é a evolução tecnológica dos aerogeradores. Enquanto no início da década de 2010 as pás possuíam entre 40 e 50 metros de comprimento, hoje já se fabricam componentes superiores a 75 metros, e estudos internacionais projetam pás que poderão ultrapassar 100 metros nos próximos anos (BROWER, 2012; PEREIRA et al., 2018). Esse aumento da dimensão resulta em ganhos de eficiência energética, mas eleva de forma significativa as exigências de infraestrutura, uma vez que poucas rodovias brasileiras apresentam raio de curvatura, largura de pista e obras de arte compatíveis com o transporte de tais equipamentos (SANTOS, 2020).

As políticas públicas voltadas à expansão da geração elétrica reconhecem essa necessidade de integração logística. O Plano Decenal de Expansão da Energia – PDE 2034, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética em conjunto com o Ministério de Minas e Energia, destaca a urgência de coordenação entre a expansão das renováveis e a adequação da infraestrutura de transportes. O documento propõe investimentos em corredores multimodais e melhorias da malha rodoviária no Nordeste, evidenciando que a competitividade do setor depende de uma visão integrada entre energia e logística (EPE/MME, 2024). A ausência de um marco regulatório específico para o transporte de cargas superdimensionadas, por outro lado, mantém entraves burocráticos que atrasam cronogramas e elevam custos de implantação de parques (SIQUEIRA, 2019).

A comparação internacional reforça que os gargalos logísticos não são exclusivos do Brasil. A Alemanha investiu na criação de corredores rodoviários e ferroviários adaptados, garantindo maior eficiência no transporte de pás (BROWER, 2012). Os Estados Unidos utilizam portos de águas

profundas como pontos de entrada e distribuição de equipamentos eólicos, reduzindo a dependência de longos trajetos rodoviários e integrando cabotagem, ferrovias e rodovias (PEREIRA et al., 2018). A Dinamarca, pioneira no setor, implementou zonas industriais estrategicamente localizadas próximas a portos, diminuindo a distância entre produção e instalação (SIQUEIRA, 2019). Já a Espanha estruturou sua indústria eólica com base em políticas territoriais integradas, otimizando fluxos logísticos e aproximando fábricas de parques eólicos (GOLDEMBERG; LUCON, 2017).

Esse conjunto de experiências evidencia que os desafios enfrentados pelo Brasil podem ser superados por meio de planejamento integrado, investimentos direcionados e políticas públicas consistentes. Assim, o contexto atual do setor eólico brasileiro demonstra não apenas a relevância da fonte para a matriz elétrica, mas também a urgência de alinhar o crescimento energético às condições reais da infraestrutura logística, de forma a garantir competitividade, sustentabilidade e previsibilidade para os próximos ciclos de expansão (ABEEÓLICA, 2025; EPE/MME, 2025).

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir da análise bibliográfica e documental demonstram que os principais gargalos logísticos estão relacionados à infraestrutura rodoviária e aos custos associados ao transporte (LIMA, 2018; SIQUEIRA, 2019). Além disso, verificou-se a concentração da geração eólica no Nordeste, especialmente na Bahia e no Rio Grande do Norte, reforçando a necessidade de soluções logísticas específicas (ANEEL, 2020).

Tabela 1 – Panorama da geração eólica no Nordeste brasileiro e desafios logísticos associados				
Estado	Capacidade Instalada (MW)	Nº de Parques	Participação Nacional (%)	Observações Logísticas
Bahia	7.200	300+	31%	Desafios na BR-116 e BR-324
Rio Grande do Norte	6.400	200+	28%	Trechos críticos em áreas urbanas
Ceará	3.000	100+	13%	Porto de Pecém como ponto logístico
Piauí	2.400	80+	10%	Dificuldades de acesso interiorano

Fonte: ANEEL (2020; 2024), ABEEólica (2023) e PEREIRA et al. (2018)

A tabela acima apresenta um panorama da geração eólica nos principais estados do Nordeste, destacando-se a Bahia como líder nacional em capacidade instalada (ANEEL, 2020). Observa-se que, apesar da expansão, os gargalos logísticos se mantêm, impactando diretamente nos custos e prazos dos empreendimentos (SIQUEIRA, 2019).

O panorama da geração eólica nos principais estados do Nordeste, destacando-se a Bahia como líder nacional em capacidade instalada, com mais de 7.200 MW e cerca de 31% de participação na matriz eólica brasileira (ANEEL, 2020; ABEEólica, 2023). O Rio Grande do Norte aparece em

seguida, com 6.400 MW, representando 28% do total nacional, consolidando-se como um dos estados pioneiros na implantação de parques eólicos. Ceará e Piauí também têm papel relevante, com 13% e 10% de participação, respectivamente, reforçando a concentração regional da produção eólica (PEREIRA et al., 2018).

Em conjunto, esses quatro estados concentram mais de 80% da capacidade instalada de energia eólica do Brasil, o que evidencia o caráter estratégico do Nordeste na transição energética nacional. No entanto, essa concentração também amplia a necessidade de soluções logísticas específicas, uma vez que grande parte da infraestrutura de transporte da região não foi projetada para suportar cargas indivisíveis de grande porte (SIQUEIRA, 2019).

A análise evidencia que os gargalos logísticos não estão apenas na distância percorrida, mas principalmente em trechos críticos das rodovias federais e estaduais. Na Bahia, por exemplo, destacam-se as dificuldades encontradas na BR-116 e BR-324, que apresentam curvas fechadas e rampas acentuadas, exigindo intervenções de engenharia para permitir o tráfego dos veículos de transporte (LIMA, 2018). No Rio Grande do Norte, os principais desafios ocorrem em travessias urbanas, com impacto direto sobre comunidades locais. Já no Ceará, o uso do Porto de Pecém tem representado uma vantagem competitiva, pois possibilita a chegada de equipamentos de grande porte por via marítima, reduzindo custos logísticos. No Piauí, por outro lado, a interiorização da geração eólica aumenta as dificuldades de acesso, uma vez que muitas estradas ainda não são pavimentadas ou adequadas ao transporte especial (SANTOS, 2020).

Portanto, a interpretação da tabela revela que a liderança do Nordeste na geração eólica está diretamente associada a desafios logísticos significativos. Ao mesmo tempo em que a região desponta como eixo estratégico para a matriz elétrica brasileira, também se mostra como a área mais vulnerável às limitações da infraestrutura de transportes. Essa dualidade reforça a necessidade de políticas públicas e investimentos em infraestrutura capazes de alinhar a expansão da geração de energia renovável com soluções logísticas de médio e longo prazo.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos confirmam que a logística de transporte das pás de aerogeradores é um dos maiores entraves para o avanço da energia eólica no Brasil (LIMA, 2018). A concentração da geração no Nordeste demanda soluções estruturais de longo prazo, sobretudo porque a infraestrutura rodoviária existente não foi planejada para atender a cargas indivisíveis dessa magnitude. (Custo Brasil).

Comparando-se com países líderes no setor, observa-se que a Alemanha tem investido em corredores logísticos especializados, com rodovias adaptadas e planejamento de rotas exclusivas para equipamentos de energia renovável. Além disso, o país tem priorizado o uso de ferrovias para o

transporte de componentes de grande porte, reduzindo custos e aumentando a segurança (BROWER, 2012).

Nos Estados Unidos, os estados do Meio-Oeste que concentram a maior parte dos parques eólicos contam com programas de incentivo para a utilização de portos de águas profundas como pontos de entrada e distribuição de pás eólicas, aproveitando a multimodalidade (marítima, ferroviária e rodoviária) para otimizar a cadeia logística (PEREIRA et al., 2018). Essa estratégia tem permitido reduzir significativamente os custos com transporte rodoviário de longa distância.

Já a Dinamarca, pioneira na energia eólica, se destaca pelo planejamento territorial integrado. O país estabeleceu zonas industriais específicas para fabricação e armazenamento de componentes eólicos próximas a portos estratégicos, reduzindo a distância entre produção, embarque e instalação. Essa proximidade logística tem sido fundamental para manter a competitividade da indústria eólica dinamarquesa no cenário internacional (SIQUEIRA, 2019).

No Brasil, contudo, ainda prevalece a predominância do modo rodoviário marcado por limitações estruturais, deficiências de manutenção e altos custos operacionais. Nesse contexto, torna-se urgente o investimento em alternativas multimodais, como o fortalecimento da cabotagem e da infraestrutura ferroviária, especialmente em estados do Nordeste com elevada concentração de parques eólicos (SANTOS, 2020). Além disso, políticas públicas devem ser direcionadas à modernização da malha viária e à criação de rotas especiais para cargas superdimensionadas, garantindo maior previsibilidade, segurança e competitividade para o setor.

Assim, a experiência internacional demonstra que os entraves logísticos não são exclusivos do Brasil, mas que podem ser mitigados por meio de planejamento estratégico, investimentos em infraestrutura multimodal e políticas de incentivo. Ao adaptar essas práticas à realidade nacional, o Brasil poderá não apenas superar os gargalos identificados, mas também consolidar-se como liderança mundial na produção e exportação de energia eólica.

6 CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu compreender que o problema logístico de transporte das pás de aerogeradores configura-se como um dos principais desafios para a expansão sustentável da energia eólica no Brasil. A partir da revisão bibliográfica, da análise documental e dos dados apresentados, fica evidente que os entraves logísticos não se restringem a problemas técnicos, mas envolvem também dimensões sociais, econômicas e institucionais. Essa constatação reforça a necessidade de tratar o transporte de pás não como uma etapa estratégica que merece uma abordagem no processo de implantação de parques eólicos, mas como um elo estratégico na cadeia da transição energética brasileira (LIMA, 2018; SIQUEIRA, 2019).

Entre os principais problemas identificados estão as limitações geométricas das rodovias, que apresentam curvas de raio reduzido e rampas acentuadas, inviabilizando a passagem de veículos de grande porte; em vista das restrições estruturais, desenho de pontes e viadutos, os quais não foram projetados para suportar cargas indivisíveis desse porte. Adicionalmente evidenciaram-se dificuldades de travessia dessas cargas em áreas urbanas, que acarretam custos adicionais e resistência social (ANEEL, 2020). Além disso, verificou-se que a evolução tecnológica das pás eólicas, que atualmente já superam os 75 metros de comprimento, tende a intensificar tais gargalos no trânsito região nordeste para os próximos anos (PEREIRA et al., 2018).

Diante desse cenário, algumas soluções estratégicas podem ser propostas. Em primeiro lugar, destaca-se a necessidade de criação de corredores logísticos especializados, à semelhança do que ocorre em países como Estados Unidos e Alemanha (BROWER, 2012). Esses corredores devem integrar diferentes modais – rodoviário, ferroviário e portuário – permitindo maior flexibilidade e redução de custos no transporte. O uso de ferrovias e portos estratégicos, como o Porto de Pecém (CE) e o Porto de Aratu (BA), pode ser fundamental para reduzir a dependência do modal rodoviário, que hoje concentra quase a totalidade da operação (SIQUEIRA, 2019).

Outra medida essencial é o investimento em infraestrutura viária, com a ad de reestruturação das rodovias federais e estaduais para atender às demandas do transporte de cargas superdimensionadas. Isso envolve desde o alargamento de curvas e pistas até o reforço estrutural de pontes e viadutos. Tais investimentos não beneficiariam apenas o setor eólico, mas toda a logística nacional, fortalecendo a competitividade do Brasil em outros setores estratégicos (SANTOS, 2020).

No campo institucional, é necessário avançar na integração entre órgãos públicos e empresas privadas, de modo a facilitar a concessão de autorizações, reduzir a burocracia e garantir maior previsibilidade nos cronogramas logísticos. Atualmente, o transporte de pás demanda licenças de diferentes instâncias (federal, estadual e municipal), o que frequentemente gera atrasos e custos adicionais. A criação de marcos regulatórios específicos para a logística de energias renováveis poderia simplificar esses processos e proporcionar maior segurança jurídica aos investidores (PEREIRA et al., 2018).

Também merece destaque a necessidade de planejamento territorial integrado, que considere os impactos sociais e ambientais do transporte em comunidades locais. A remoção de postes, árvores e sinalizações, bem como a interrupção temporária do tráfego, geram impactos sociais, econômicos e ambiental que precisam ser mitigados por meio de diálogo com a população, programas de compensação e estratégias de comunicação social. Ao incluir a dimensão social no planejamento logístico, amplia-se a aceitação dos projetos e reduz-se o risco de conflitos (LIMA, 2018).

No campo acadêmico e tecnológico, recomenda-se a ampliação de pesquisas que utilizem Sistemas de Informação Geográfica (SIG), modelagem computacional e simulações logísticas para

planejar rotas e avaliar alternativas (GOLDEMBERG; LUCON, 2017). Tais ferramentas permitem identificar gargalos antes da execução do transporte, reduzindo riscos e custos operacionais. Além disso, abrem espaço para o desenvolvimento de soluções inovadoras, como veículos especiais adaptados às condições brasileiras ou sistemas de monitoramento em tempo real do transporte.

Por fim, é importante ressaltar que a solução dos desafios logísticos relacionados ao transporte de pás de aerogeradores deve ser entendida como parte de uma estratégia nacional de transição energética. O Brasil, ao investir na modernização de sua infraestrutura logística e na criação de políticas públicas específicas para o setor, poderá não apenas ampliar sua capacidade de geração eólica, mas também consolidar-se como liderança mundial em energias renováveis. Isso implica ganhos econômicos, sociais e ambientais, alinhados aos compromissos internacionais de redução de emissões de gases de efeito estufa (PEREIRA et al., 2018).

Em síntese, a conclusão deste estudo aponta que a superação dos entraves logísticos exige uma abordagem multidimensional, combinando investimentos em infraestrutura, integração institucional, planejamento territorial e inovação tecnológica. Somente com essa articulação será possível garantir que a logística de transporte das pás de aerogeradores deixe de ser um obstáculo e passe a ser um catalisador para a expansão sustentável da energia eólica no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. Boletim Anual de Geração Eólica 2023/2024. São Paulo: ABEEólica, 2024.

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica. Relatório Anual 2025. São Paulo: ABEEólica, 2025.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2020.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Dados da Geração Eólica no Brasil – 2024. Brasília: ANEEL, 2024.

BROWER, M. Wind Resource Assessment: A Practical Guide to Developing a Wind Project. New Jersey: Wiley, 2012.

COMPLEXO DO PECÉM. Relatório Anual de Operações Portuárias – 2025. Pecém: Governo do Estado do Ceará, 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; MME – Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2034. Brasília: EPE/MME, 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética; MME – Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional (BEN) 2025 – Síntese. Brasília: EPE/MME, 2025.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente. São Paulo: Edusp, 2017.

LIMA, J. A. Logística de transporte de cargas indivisíveis no Brasil. Revista Transportes, v. 26, n. 2, p. 45-60, 2018.

PEREIRA, M. G. et al. Renewable energy in Brazil: current status and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 81, p. 2887–2902, 2018.

SANTOS, J. A. Engenharia de Transportes e Sustentabilidade. Rio de Janeiro: Elsevier, 2020.

SIQUEIRA, T. F. Desafios logísticos para a energia eólica no Brasil. Revista de Engenharia Civil, v. 12, p. 89-104, 2019.