

UMA BRISA DE MUDANÇA: OS DESAFIOS DA ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO EM BUSCA DE UM FUTURO SUSTENTÁVEL

Fábio Tadeu Côrtes Moraes¹
Amilcar Baiardi²

RESUMO: O artigo explora a expansão da energia eólica no Brasil, com ênfase na região Nordeste, reconhecida por seu elevado potencial para essa fonte renovável. A análise fundamenta-se na necessidade de fontes de energia limpa para suprir a crescente demanda nacional e promover o desenvolvimento sustentável. O estudo foca nos impactos ambientais e econômicos resultantes da instalação de parques eólicos, destacando as consequências para a biodiversidade e as comunidades locais. O principal objetivo é investigar como a expansão dessa modalidade energética influencia os habitats naturais, seres vivos como aves e morcegos, e os moradores das áreas adjacentes, ao mesmo tempo em que avalia os benefícios econômicos e sociais, como a criação de empregos e a diversificação da matriz energética. A metodologia adotada consiste em uma revisão documental, que permitiu a coleta de dados relevantes sobre impactos ambientais, sociais e políticas públicas relacionadas à energia eólica. Conclui-se que, para assegurar um desenvolvimento sustentável, é imprescindível um planejamento mais eficiente, que inclua políticas de mitigação, utilização de tecnologias avançadas e maior engajamento das comunidades locais.

2947

Palavras-chave: Energia eólica. Sustentabilidade. Impactos ambientais. Desenvolvimento energético.

ABSTRACT: The article explores the expansion of wind energy in Brazil, focusing on the Northeast region, recognized for its high potential for this renewable source. The analysis is grounded in the need for clean energy sources to meet the growing national demand and promote sustainable development. The study focuses on the environmental and economic impacts resulting from the installation of wind farms, highlighting the consequences for biodiversity and local communities. The main objective is to investigate how the expansion of this energy modality influences natural habitats, living beings such as birds and bats, and nearby residents, while also evaluating the economic and social benefits, such as job creation and diversification of the energy matrix. The adopted methodology consists of a documental review, which allowed the collection of relevant data on environmental and social impacts and public policies related to wind energy. It is concluded that to ensure sustainable development, more efficient planning is imperative, including mitigation policies, the use of advanced technologies, and greater engagement of local communities.

Keywords: Wind energy. Sustainability. Environmental impacts. Energy development.

¹ Mestrando em Planejamento, Território e Meio Ambiente na Universidade Católica do Salvador (UCSAL).

² Docente na Universidade Católica do Salvador (UCSAL).

INTRODUÇÃO

Em um cenário global de crescente demanda energética e urgência na busca por alternativas mais limpas e sustentáveis, a energia eólica destaca-se como uma solução promissora, capaz de impulsionar o desenvolvimento econômico e social com impactos ambientais mínimos. O Brasil, com seu vasto território e condições climáticas favoráveis, possui um potencial eólico notável, especialmente na região Nordeste, que se consolida como um dos principais polos geradores de energia eólica do país.

O Nordeste brasileiro, conhecido por seus ventos fortes e constantes, vislumbra na energia eólica uma oportunidade singular para superar desafios históricos de desenvolvimento socioeconômico, fomentando a geração de empregos, a diversificação da matriz energética e a redução da dependência de combustíveis fósseis. Os parques eólicos, com suas imponentes turbinas, representam não apenas uma fonte de energia limpa, mas também um símbolo de progresso e inovação tecnológica para a região.

Entretanto, é crucial reconhecer que a implantação de parques eólicos, apesar de seu inegável potencial para um futuro mais sustentável, gera impactos socioambientais que demandam avaliações detalhadas para compensações e mitigação. Assim, torna-se essencial garantir que a transição para uma matriz energética mais limpa contribua para o bem-estar das comunidades locais e para a preservação da rica biodiversidade do Nordeste, especialmente do bioma Caatinga, conhecido por sua fragilidade e importância ecológica.

2948

A origem da energia eólica remonta a tempos antigos, com registros de seu uso anteriores à era cristã. Civilizações como Egito, China e Babilônia foram pioneiras na utilização dos ventos para diversos fins (Wade, 2022). Inicialmente, o vento era empregado principalmente como meio de propulsão para embarcações, facilitando o desenvolvimento do comércio e a exploração marítima. Um exemplo notável é a frota liderada por Zheng He da Dinastia Ming no início do século XV, que realizou sete grandes expedições a mais de 30 países da Ásia e África utilizando navios à vela (Wade, 2022). Essa forma de aproveitamento da energia eólica persistiu como principal meio de navegação até o advento dos navios a vapor no século XIX, marcando um longo período em que o vento foi fundamental para o transporte e as trocas comerciais globais.

O desenvolvimento da tecnologia eólica para fins terrestres teve um marco significativo no século VII, com o surgimento dos primeiros moinhos de vento na região atualmente

correspondente ao Irã (*Who first invented the windmill?*, 2022). Essa inovação disseminou-se rapidamente pela Europa, especialmente em áreas com ventos fortes e constantes, como os Países Baixos. Os moinhos de vento, juntamente com os moinhos d'água, podem ser considerados os primeiros sistemas que substituíram o esforço humano no beneficiamento ou fabricação de bens, iniciando a transição do artesanato para a indústria ao combinar estruturas físicas, fontes de energia, maquinário e mão de obra (*Who first invented the windmill?*, 2022). No início do século XIV, estima-se que havia entre 10 e 12 mil moinhos na Inglaterra, evidenciando a ampla adoção dessa tecnologia (*Who first invented the windmill?*, 2022).

A utilização da energia eólica para a produção de eletricidade marca um novo capítulo na história dessa fonte renovável. Contrariando a crença comum, a primeira turbina eólica a gerar eletricidade foi construída em 1883 pelo austríaco Josef Friedländer, quatro anos antes do feito geralmente atribuído ao escocês James Blyth (Möllerström et al., 2024; A. & Dayal, 2024). Em 1919, a turbina dinamarquesa Agricco tornou-se a primeira a ser conectada à rede pública de energia (Möllerström et al., 2024). Apesar desses avanços iniciais, o interesse pela energia eólica para geração elétrica permaneceu modesto até a década de 1970, quando a busca por fontes alternativas de energia revitalizou o setor. Nesse período, enquanto empresas e governos focavam em turbinas de grande escala, foram desenvolvidos modelos menores para o mercado dinamarquês no final dos anos 1970, pavimentando o caminho para a indústria eólica moderna (Möllerström et al., 2024). Desde então, o setor amadureceu significativamente, evidenciado pela evolução tecnológica das turbinas, que hoje apresentam maior eficiência e capacidade de geração, consolidando a energia eólica como uma alternativa viável e sustentável aos combustíveis fósseis no cenário energético global.

2949

Este artigo propõe analisar de forma inicial e exploratória os efeitos ambientais dos parques eólicos no ambiente rural do Nordeste brasileiro, buscando alternativas para mitigar impactos e contribuir para a construção de um modelo de desenvolvimento energético sustentável e inclusivo socialmente.

2 A ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO

A estrutura de geração de energia elétrica do Brasil é de grande porte e mista, composta por fontes hidrelétrica, termelétrica e eólica, com predominância das usinas hidrelétricas. O Sistema Interligado Nacional (SIN) é interligado nacionalmente e constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte.

A interconexão dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite ganhos sinérgicos e explora a diversidade dos regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão assegura o atendimento ao mercado com segurança e economicidade.

A capacidade instalada de geração do SIN é majoritariamente composta por usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, cresceu significativamente, aumentando a relevância dessa fonte para o atendimento do mercado.

Segundo dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) de 2023, as usinas termelétricas representavam 15% da matriz energética elétrica brasileira, conforme ilustrado no Gráfico 1. Esses empreendimentos estão, em sua maioria, localizados nas proximidades dos principais centros de consumo energético, com predominância na região Sudeste.

A localização estratégica dessas usinas confere-lhes papel significativo para a segurança e estabilidade do SIN. Essa disposição geográfica contribui para a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, especialmente em períodos de alta demanda ou em situações de contingência no sistema elétrico nacional.

A proximidade dessas unidades geradoras aos centros de carga possibilita uma resposta mais ágil às flutuações de demanda, além de reduzir as perdas associadas à transmissão de energia a longas distâncias, fatores que corroboram para a eficiência e resiliência do sistema elétrico brasileiro.

Conforme relatórios do ONS de 2022 e 2023, as usinas termelétricas operam sob regime de standby, sendo ativadas de acordo com as condições hidrológicas vigentes. Essa estratégia visa otimizar a gestão dos recursos hídricos armazenados nos reservatórios das usinas hidrelétricas, assegurando o fornecimento ininterrupto de energia elétrica e preservando os níveis dos reservatórios. A ativação seletiva das termelétricas constitui um mecanismo de salvaguarda do sistema elétrico nacional, permitindo a manutenção de níveis adequados nos reservatórios hidrelétricos e contribuindo para a segurança energética em períodos de estiagem ou baixa pluviosidade, refletindo uma gestão integrada dos recursos energéticos para maximizar a eficiência e garantir a continuidade do suprimento elétrico no âmbito do SIN.

De acordo com a legislação brasileira, o sistema elétrico opera em processo de integração com gerenciamento de demanda e geração. Assim, os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor

conforme estabelecido pelo ONS.

Segundo o ONS (2022 e 2023), o sistema elétrico do Nordeste corresponde a quase 26% da geração nacional, sendo que 90,2% dessa energia gerada é oriunda de fontes renováveis, distribuídas da seguinte forma:

42,00% de origem hidrelétrica;

27,80% de origem eólica;

20,40% de origem solar;

9,80% de origens diversas.

A energia eólica destaca-se como uma das principais fontes de energia renovável no Nordeste brasileiro, uma região privilegiada por suas condições climáticas favoráveis, onde os ventos são constantes. O desenvolvimento de parques eólicos no Nordeste fortalece a segurança energética do Brasil e impulsiona o crescimento econômico regional, gerando empregos e estimulando a infraestrutura local.

No contexto da sustentabilidade, a energia eólica se apresenta como uma solução eficaz para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos. A geração de energia a partir do vento preserva os recursos naturais e reduz o impacto ambiental, além de promover a conservação dos ecossistemas locais.

2951

Estudos de Gorayeb et al. (2023), Carneiro et al. (2023) e Machado & Serrano (2023) indicam que a energia eólica pode ter impactos que merecem atenção. Esses estudos sugerem considerar efeitos sociais, na saúde e no meio ambiente ao planejar novos parques eólicos. A expansão desses parques poderia se beneficiar de um planejamento que leve em conta tanto os impactos positivos em termos ambientais, como a geração de empregos e renda, quanto os possíveis impactos negativos na biodiversidade e nas comunidades locais.

3 SUSTENTABILIDADE E ENERGIA EÓLICA

A definição de desenvolvimento sustentável emergiu com destaque na década de 1980, quando a preservação ambiental começou a ocupar um lugar central na agenda global. Definido pela *World Commission on Environment and Development*, o conceito refere-se a atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias necessidades (Hilson e Murck, 2000). Essa definição sublinha a harmonização do crescimento econômico com a conservação dos recursos naturais e a proteção ambiental. Sachs (2015) complementa essa visão ao afirmar que o desenvolvimento sustentável integra questões

econômicas, sociais e ambientais, visando garantir qualidade de vida para gerações atuais e futuras.

O conceito surgiu como uma resposta às crescentes preocupações ambientais e socioeconómicas globais. Definido no relatório *Brundtland* de 1987, desenvolvimento sustentável é "satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades". Este princípio baseia-se em três pilares fundamentais: ambiental, social e econômico. A importância das fontes de energia renováveis, como a eólica, destaca-se nesse contexto devido à sua capacidade de fornecer energia limpa e reduzir a emissão de gases de efeito estufa. As energias renováveis, incluindo a eólica e a solar, ganharam centralidade no debate sobre sustentabilidade por serem limpas e renováveis, além de contribuírem significativamente para a redução das emissões atmosféricas de gases poluentes (Noronha et al., 2021).

A abordagem interdisciplinar e participativa é essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável, considerando as práticas culturais e sociais locais (Sachs, 2015). Diversos teóricos evoluíram o conceito nessa perspectiva. Sen (1997) amplia a ideia de sustentabilidade ao enfatizar que a liberdade no desenvolvimento vai além do crescimento econômico, incorporando a capacidade das pessoas de viverem vidas que valorizam. Para Sen (1997), a liberdade de escolha, participação política e garantia de direitos básicos são cruciais para um desenvolvimento genuinamente sustentável (School et al., 2013). Na pesquisa de Silva e Baiardi (2022), o conceito de sustentabilidade refere-se à capacidade de utilizar recursos naturais de maneira contínua e equilibrada, sem prejudicar o meio ambiente ou comprometer as futuras gerações. Isso inclui a integração equilibrada dos aspectos ambientais, econômicos e sociais.

A perspectiva de Leff (2003) reforça a importância de uma abordagem que considere, além dos aspectos econômicos e ambientais, as questões sociais e culturais. Essas diversas abordagens evidenciam a complexidade do conceito de desenvolvimento sustentável, que continua a se aprimorar e adaptar às novas realidades. A interdependência dos desafios ambientais, sociais e econômicos é sublinhada pelas ideias de Ostrom (2009), que destaca a importância da governança descentralizada e da cooperação entre usuários locais para a sustentabilidade a longo prazo. Essa evolução do conceito demonstra que o desenvolvimento sustentável requer uma compreensão holística das interações entre sociedade, economia e meio ambiente.

A energia eólica, parte integrante da matriz energética, tem se mostrado uma opção estratégica para governos e empresas que buscam soluções sustentáveis, alinhadas às recomendações dos protocolos ambientais para redução das emissões de carbono. Sua capacidade de crescimento e a adoção de inovações tecnológicas a posicionam como uma das principais fontes de energia renovável no cenário global.

Conforme dados da Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias (ABEEólica) de 2022 e estudos de Noronha et al. (2021), os comitês Europeu e Americano projetam que, até 2050, as fontes eólicas e solares deverão compor cerca de 70% da matriz energética global. Essas estimativas apontam para uma transição na composição do abastecimento energético mundial nas próximas décadas. A perspectiva sugere uma reorientação dos investimentos e das políticas energéticas globais em direção a essas tecnologias renováveis, potencialmente alterando o modelo atual de geração e distribuição de energia elétrica internacionalmente. Esses dados resultam dos benefícios ambientais e da redução da dependência de combustíveis fósseis, características essenciais para a promoção do desenvolvimento sustentável. A energia eólica, em particular, destaca-se por sua pegada de carbono quase nula durante a operação, tornando-se uma das formas mais eficientes de reduzir os impactos ambientais associados à geração de energia (Manhães et al., 2021).

2953

O Brasil, com uma matriz elétrica predominantemente renovável, tem se beneficiado da expansão da energia eólica. De acordo com dados do ONS de 2023, o Brasil possui uma capacidade instalada de 28,2 GW de energia eólica, posicionando-se como o segundo maior gerador de energia elétrica a partir de parques eólicos, atrás apenas do Uruguai. No contexto global, o Brasil ocupa a oitava posição no ranking de capacidade instalada de energia eólica. Esses dados refletem o desenvolvimento da matriz eólica brasileira e sua relevância no cenário energético nacional e internacional. A implantação de parques eólicos no Nordeste brasileiro, em especial, tem sido vista como uma solução vantajosa, atendendo à crescente demanda energética nacional sem desconsiderar os impactos negativos (Gorayeb e Brannstrom, 2020).

A adoção de tecnologias eólicas é incentivada pela necessidade de mitigar os impactos ambientais das fontes tradicionais de energia. Estudos indicam que a produção de energia eólica não apenas reduz as emissões de CO₂, como também apresenta menores impactos ao longo do ciclo de vida das turbinas, especialmente quando comparada a outras fontes de energia renovável (Manhães et al., 2021). A reciclagem de elementos de terras raras utilizados nas turbinas eólicas é uma prática que aumenta a sustentabilidade desse tipo de geração, diminuindo

a dependência de importações e mitigando os impactos ambientais (Manhães et al., 2021).

O desenvolvimento sustentável e a energia eólica estão intrinsecamente ligados na busca por soluções energéticas que atendam às necessidades atuais sem comprometer o futuro. A expansão da energia eólica, impulsionada por inovações tecnológicas e políticas públicas favoráveis, representa uma resposta eficaz às demandas por energia limpa e renovável. A implementação estratégica de parques eólicos, especialmente em regiões com altos potenciais de vento, como o Nordeste brasileiro, deve alinhar o crescimento econômico, com geração de empregos e aumento de rendas, à sustentabilidade ambiental por meio de estudos para minimizar ou evitar os impactos negativos provocados pela implantação de parques eólicos. Assim, a energia eólica contribui para a diversificação da matriz energética, concomitantemente à promoção de um desenvolvimento mais equilibrado e responsável.

A análise do desenvolvimento sustentável e da energia eólica revela um panorama promissor para a integração de soluções energéticas renováveis que impulsionam o progresso econômico e social sem sacrificar a integridade ambiental. No entanto, a implementação de parques eólicos, especialmente no Nordeste do Brasil, não está isenta de desafios e controvérsias. É imperativo considerar os impactos ambientais e sociais decorrentes dessa expansão, incluindo a transformação do uso do solo, a interferência com a biodiversidade local e as reações das comunidades afetadas. Para compreender plenamente a contribuição da energia eólica para a sustentabilidade, é essencial examinar como esses projetos influenciam o meio ambiente e as populações locais, avaliando tanto os benefícios quanto as adversidades. A seguir, abordaremos detalhadamente os impactos ambientais e sociais dos parques eólicos no Nordeste brasileiro, explorando as dinâmicas de conflito e sustentabilidade que emergem dessa interseção.

2954

4 ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS DA ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE DO BRASIL

A energia eólica tem se destacado como uma alternativa para diversificar a matriz energética, oferecendo uma fonte limpa e renovável de eletricidade. No entanto, sua implementação traz desafios ambientais que requerem atenção e estratégias de mitigação eficazes. Um dos principais impactos observados está relacionado à fauna, especialmente às aves. A instalação de parques eólicos pode interferir nos habitats naturais, afetando locais de nidificação, alimentação e rotas migratórias. O risco de colisão entre aves e aerogeradores é uma

preocupação que tem limitado a expansão mais intensa desse tipo de energia limpa (Faustino, 2023).

Para abordar essa questão, diversos esforços estão sendo realizados para entender e mitigar os riscos das turbinas para as aves. Isso inclui a criação de mapas locais e globais de riscos de colisão (Faustino, 2023). Uma iniciativa notável nesse sentido é o software Avistep, desenvolvido pela organização ambiental *Birdlife International*, que mapeia as regiões mais propensas a riscos para as aves, permitindo um uso mais seguro das turbinas (Faustino, 2023). Além disso, o setor está adotando novas tecnologias para tornar as turbinas eólicas mais seguras para os pássaros. Mapeamentos atualizados, turbinas inteligentes e até mesmo a inteligência artificial estão sendo utilizados para evitar a morte de aves nos locais onde existem parques eólicos (Faustino, 2023).

Em contrapartida a esses efeitos ambientais que requerem atenção, a energia eólica apresenta vantagens em termos de sustentabilidade ambiental. Os parques eólicos em operação não emitem gases de efeito estufa, contribuindo para a redução das emissões a longo prazo. Estudos indicam que o balanço energético da tecnologia eólica moderna é favorável, com as emissões de CO₂ associadas à produção, instalação e operação sendo compensadas em poucos meses de funcionamento (Lucena & Lucena, 2019). No entanto, é importante reconhecer que as fases de fabricação, transporte e instalação dos aerogeradores geram emissões de carbono. Para abordar essa questão, a indústria eólica pode adotar práticas mais sustentáveis ao longo de toda a cadeia produtiva, incluindo o uso de materiais reciclados, a otimização dos processos de fabricação e a utilização de meios de transporte mais eficientes.

A implementação bem-sucedida de projetos eólicos requer uma abordagem abrangente que considere tanto os benefícios quanto os potenciais impactos negativos. É crucial buscar constantemente maneiras de mitigar os efeitos adversos, garantindo uma produção responsável que preserve ecossistemas e comunidades (Fernandes & Arrais Júnior, 2017). O envolvimento das comunidades no processo de planejamento e operação dos parques eólicos pode ajudar a identificar e abordar preocupações específicas, promovendo uma coexistência harmoniosa entre a produção de energia e a conservação ambiental.

Com o uso crescente de novas tecnologias, há expectativas de que as preocupações com colisões de aves possam ser significativamente reduzidas no futuro (Faustino, 2023). Ao adotar essas estratégias de mitigação e envolver todas as partes interessadas, a energia eólica pode desempenhar um papel crucial na transição para uma matriz energética mais sustentável,

minimizando seus impactos negativos e maximizando seus benefícios para o meio ambiente e a sociedade.

Para fins de análise, foram levantados dados de Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA) provenientes da região Nordeste Brasileiro de Complexos Eólicos, dos últimos cinco anos, especialmente dos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba, Sergipe e Bahia, conforme apresentado na tabela abaixo:

Impacto Ambiental	Fase(s) de Ocorrência	Medidas Mitigadoras
Afugentamento e deslocamento da fauna	Instalação e Operação	Monitoramento da fauna, afugentamento controlado, manejo e relocação quando necessário
Alteração da cobertura vegetal e supressão da vegetação nativa	Instalação	Realizar supressão apenas quando necessário, restringir às áreas estritamente necessárias, reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e compensação ambiental
Alteração da camada superficial do solo, erosão e uso do solo	Instalação e Operação	Adoção de técnicas de manejo sustentável do solo, planejamento de uso do solo, técnicas de controle de erosão (barreiras), gestão adequada
Alteração da paisagem	Operação	Nada a fazer
Alteração de cursos d'água e recursos hídricos	Instalação e Operação	Implantação de sistemas de drenagem eficientes, construção de bacias de contenção, preservação do padrão de escoamento das águas pluviais
Alteração na qualidade do ar (poeira, gases, particulados)	Instalação	Controle de emissão de partículas através de umidificação de vias e áreas expostas, manutenção preventiva de equipamentos
Alteração na recarga do aquífero	Instalação	Preservar o padrão de escoamento das águas pluviais
Aumento do tráfego de veículos	Instalação	Priorizar mobilização em períodos de pouco movimento
Contaminação de solo e água	Instalação e Operação	Controle e gestão de produtos químicos, gestão adequada de resíduos químicos e perigosos, monitoramento
Emissão de ruídos	Instalação e Operação	Instalação de barreiras acústicas, controle de horários de atividades, manutenção de máquinas e equipamentos
Geração de resíduos sólidos	Instalação e Operação	Implementação de plano de gerenciamento de resíduos sólidos
Interferência no patrimônio arqueológico	Instalação	Executar programas de prospecção e resgate arqueológico
Risco de acidentes de trabalho	Instalação	Sinalização de segurança, exames médicos periódicos

Tabela 1 – Impactos ambientais RIMA

Após a análise dos impactos ambientais causados durante a fase de instalação de projetos de infraestrutura de complexos eólicos citados acima, o estudo revela diversas consequências diretas ao meio ambiente, especialmente relacionadas à vegetação, solo e recursos hídricos. Dentre elas, a supressão da vegetação nativa destaca-se como um dos principais impactos, resultando na perda de biodiversidade e na alteração dos habitats. Para mitigar esses efeitos, os relatórios analisados recomendam que a supressão seja restrita às áreas estritamente necessárias, acompanhada de ações de reflorestamento e compensação ambiental. Outro impacto relevante é a possibilidade de alteração da camada superficial do solo, gerando riscos de erosão. Nesse caso, a aplicação de técnicas de manejo sustentável do solo e a implementação de barreiras para controle de erosão são medidas recomendadas para reduzir esses danos.

Outro aspecto significativo na fase de instalação é a interferência nos recursos hídricos, como a alteração de cursos d'água. Para mitigar esses impactos, a implantação de sistemas de drenagem eficientes e a construção de bacias de contenção são medidas adotadas para preservar o padrão natural de escoamento das águas pluviais. A geração de poeira e a emissão de particulados também afetam a qualidade do ar, sendo necessário o controle rigoroso dessas emissões através da umidificação de vias e da manutenção preventiva dos equipamentos utilizados na obra. Cada uma dessas ações visa minimizar os impactos negativos e garantir uma operação mais sustentável na fase de implantação do projeto.

Os relatórios apontam que, durante a fase de operação, os impactos ambientais tornam-se mais contínuos e prolongados, afetando aspectos como a fauna, a qualidade do ar e o uso do solo. O afugentamento e deslocamento da fauna, que também ocorre durante a instalação, persiste nessa fase, exigindo monitoramento constante e medidas de manejo controlado para reduzir os efeitos sobre os ecossistemas locais. A geração de ruídos durante a operação das instalações, especialmente em atividades industriais, é um impacto relevante, sendo necessário o uso de barreiras acústicas e a realização de manutenção periódica em equipamentos para minimizar a poluição sonora.

2957

Outro impacto significativo durante a operação é a geração de resíduos sólidos, que demanda a implementação de um plano de gerenciamento eficaz para assegurar que os resíduos sejam adequadamente tratados e descartados, evitando a contaminação do solo e da água. Ademais, a alteração da paisagem é uma consequência inerente à fase operacional, uma vez que a infraestrutura instalada modifica permanentemente o cenário natural. Embora não haja medidas de mitigação diretas para esse aspecto, é essencial que o planejamento inicial tenha considerado a preservação de áreas de valor paisagístico ou cultural sempre que possível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo evidencia o papel central da energia eólica na transição energética sustentável do Brasil, com foco específico no Nordeste, região que se destaca pela abundância de recursos eólicos. A análise revela que a energia eólica é uma alternativa promissora para diversificar a matriz energética, oferecendo uma fonte limpa e renovável de eletricidade. Contudo, conforme apontado por Faustino (2023), sua implementação traz desafios ambientais que demandam atenção e estratégias de mitigação cuidadosamente planejadas.

Um dos principais impactos observados, destacado tanto no texto quanto na tabela de impactos (Tabela 1), está relacionado à fauna, especialmente às aves. Faustino (2023) ressalta que a instalação de parques eólicos pode interferir nos habitats naturais, afetando locais de nidificação, alimentação e rotas migratórias. Este ponto é corroborado pela tabela, que lista "Afugentamento da fauna" e "Deslocamento de fauna local" como impactos significativos tanto na fase de instalação quanto na de operação.

Para abordar essa questão, Faustino (2023) menciona diversos esforços, incluindo a criação de mapas locais e globais de riscos de colisão e o desenvolvimento de tecnologias. Essas iniciativas alinham-se com as medidas mitigadoras listadas na tabela, que incluem "Monitoramento da fauna, afugentamento controlado, manejo e relocação quando necessário". No entanto, é importante notar que a tabela oferece uma visão mais abrangente das medidas mitigadoras, demonstrando a preocupação dos empreendimentos na previsão desses impactos.

Assim, o presente artigo visa proporcionar uma visão mais abrangente das medidas mitigadoras, enriquecendo a discussão existente ao integrar uma análise detalhada dos efeitos ambientais atuais da energia eólica no Nordeste. Essa reflexão evidencia a necessidade de um planejamento integrado que considere tanto a sustentabilidade ambiental quanto o bem-estar das comunidades locais. Dessa forma, o trabalho contribui para o avanço das discussões sobre a transição energética justa e os desafios que emergem na interface entre tecnologia e sociedade. 2958

Entretanto, é importante reconhecer algumas limitações inerentes à metodologia adotada. A revisão bibliográfica, embora essencial para uma visão abrangente do tema, não abrange todos os efeitos diretos sobre as comunidades afetadas ou sobre a biodiversidade em áreas específicas. Outro desafio enfrentado foi a dificuldade em acessar dados atualizados e específicos sobre o impacto a longo prazo dos parques eólicos na fauna local. A falta de uniformidade nos dados disponíveis em diferentes fontes também representou uma barreira para uma análise comparativa mais robusta.

Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de estudos de longo prazo que acompanhem os impactos sociais e ambientais dos parques eólicos ao longo do tempo, especialmente no que diz respeito à saúde das comunidades e à mortalidade de espécies de fauna. Além disso, investigações sobre o processo de consulta prévia e o engajamento das comunidades locais podem oferecer um panorama sobre como garantir que os benefícios econômicos da energia eólica sejam distribuídos de maneira mais equitativa. Por fim, estudos sobre tecnologias emergentes para minimizar os impactos ambientais, como o uso de inteligência artificial na

mitigação de colisões de aves, seriam relevantes para aprimorar a gestão sustentável desses projetos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA E NOVAS TECNOLOGIAS (ABEEólica). Boletim anual de produção de energia - 2022. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/06/Boletim-de-Geracao-Eolica-2022.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

AMBIENTE GAIA. Licenciamento ambiental de parques eólicos no estado da Bahia. Salvador, BA. Disponível em: <https://www.ambientegaia.com.br/blog/licenciamento-ambiental/licenciamento-ambiental-de-parques-eolicos-no-estado-da-bahia>. Acesso em: 01 out. 2024.

ARAÚJO, A. A.; MOURA, G. J. B. de. A literatura científica sobre os impactos causados pela instalação de parques eólicos: análise cirométrica. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 13, n. 28, p. 207-223, maio 2017.

BOTASSIO, D. C.; BENEVENUTO, R. G.; TAVARES, F. de S. Impacto socioeconômico dos parques eólicos: uma avaliação para políticas públicas. Disponível em: ResearchGate. 2022.

BRANDÃO, A. M. S. A implantação de parques eólicos em Aranaú e as alterações na paisagem e vida comunitária. Fortaleza: UFC, 2022.

2959

BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; MENDES, J. S.; LOUREIRO, C.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V.; FREITAS, A. L. R.; OLIVEIRA, R. F. Is Brazilian wind power development sustainable? Insights from a review of conflicts in Ceará state. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 67, p. 62-71, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.047>.

CARNEIRO, G.; SETE, A.; ZERO, M. Comunidades rurais do Nordeste enfrentam desafios causados por parques eólicos. Out. 2023. Mongabay. Disponível em: <https://brasil.mongabay.com/2023/10/comunidades-rurais-do-nordeste-enfrentam-desafios-causados-por-parques-eolicos/>. Acesso em: 27 jun. 2024.

CARVALHO, G. O. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma visão contemporânea. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e12019789-792>.

CEARÁ. Atlas do potencial eólico do estado do Ceará. Secretaria de Infraestrutura, Fortaleza, 32 p., 2001.

CER ENERGIA. Estudo de impacto ambiental (EIA) e relatório de impacto ambiental (RIMA). Curitiba, PR. Disponível em: <https://www.cer-energia.com.br/eia-rima/>. Acesso em: 01 out. 2024.

CLARK, S. S.; MILES, M. L. Assessing the integration of environmental justice and sustainability in practice: a review of the literature. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132011238>.

DA SILVA MENEZES, F. O.; GUIMARÃES, M. D. A. Os impactos socioambientais das fontes geradoras de energia alternativa nas comunidades do entorno dos parques eólicos da Serra da Babilônia e da Força Eólica do Brasil. *REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 39, n. 1, p. 328-349, 2022.

DULLEY, R. D. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.

FISCHER, J., et al. Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological systems perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 14, p. 144-149, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.06.002>.

FISHER, R.; URY, W.; PATTON, B. *Getting to yes: negotiating agreement without giving in*. Penguin Books, 1991.

GAST, J.; GUNDOLF, K.; CESINGER, B. Doing business in a green way: a systematic review of the ecological sustainability entrepreneurship literature and future research directions. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.065>.

GÊ, D. R. F.; CARVALHO, R. G. de; BRANNSTROM, C.; GORAYEB, A.; SILVA, M. R. F. da. Análise socioambiental do processo de implantação/operação de usinas eólicas na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão, Macau/Guamaré, Rio Grande do Norte – Brasil. *Caminhos de Geografia*, v. 23, n. 85, p. 115-136, 2022. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG238557408>.

2960

GEOCONSULT - PI PROJETOS E SERVIÇOS AMBIENTAIS LTDA. Estudo de impacto ambiental (EIA) do Complexo Eólico Chapada do Piauí III. Simões e Curral Novo do Piauí, PI, 2015. Disponível em: https://ewsdirectionsrightsinddevelopment.org/files/documents/74/IFC-38774_NliliTSd.pdf. Acesso em: 04 out. 2024.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; MEIRELES, A. J. de A. Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil. 1^a ed. Coletânea CAPES. Fortaleza: UFC, 2019.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Licenciamento ambiental e oposição social à energia eólica: estudo de caso com foco no social gap em comunidade litorânea do Ceará, Brasil. *Magazine of Geography (Recife)*, v. 37, n. 3, 2020.

GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C.; SOARES, M. de O.; XAVIER, T. Desafios sociais e ambientais da energia eólica offshore no Brasil. In: *Descarbonização na América do Sul: conexões entre o Brasil e a Argentina*. p. 312-325, 2022.

GUIMARÃES, P. R.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. *Ambiente & Sociedade*, v. 12, n. 2, p. 307-323, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2009000200007>.

HAESBAERT, R. Território e descolonialidade: sobre o giro (multi)territorial/de(s)colonial na América Latina. Buenos Aires: CLACSO, 2022.

HILSON, G.; MURCK, B. Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0301-4207\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/s0301-4207(00)00041-6).

HOFSTAETTER, M.; PESSOA, Z. S. Energia eólica: um novo debate, entre defesas e contradições. In: VII Jornada Internacional de Políticas Públicas, São Luís, Maranhão, 2015.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). Sistema de licenciamento ambiental - RIMAS. Natal, RN. Disponível em: <https://sislia.idema.rn.gov.br/rimas/rimas.php>. Acesso em: 01 out. 2024.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (INEMA). Estudo de impacto ambiental dos parques eólicos Serra Negra e Serra Dourada. Salvador, BA. Disponível em: http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/EIA_Parques_Elicos_Serra_Negra_e_Serra_Dourada_-_III.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.

KALDELLIS, J. K.; APOSTOLOU, D.; KAPSALI, M.; KONDILI, E. Environmental and social footprint of offshore wind energy. Comparison with onshore counterpart. *Renewable Energy*, v. 92, p. 543-556, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.018>.

KEAHEY, J. Sustainable development and participatory action research: a systematic review. *Systemic Practice and Action Research*, v. 34, n. 3, p. 291-306, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11213-020-09535-8>.

LEFF, E. *A complexidade ambiental*. São Paulo: Cortez, 2003.

2961

MACHADO, L.; SERRANO, V. Depressão, insônia, surdez: o drama dos agricultores que vivem embaixo de parque eólico em cidade de Lula. *BBC News*, jan. 2023. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cglyg8np3mno>. Acesso em: 28 jun. 2024.

MANHÃES, R. R.; LIMA, F. M. da R. de S.; ALVARADO, L. M. T. Uma breve revisão sobre energia eólica, sustentabilidade, reciclagem e suas relações. XXX Jornada de Iniciação Científica e VI Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2614/1/Renan%20Rodrigues%20Manh%C3%A3es.pdf>.

MEIRELES, A. J. A. Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas do Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locacionais. *Confins*, n. II, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.6970>.

MIRANDA, J. A.; NASCIMENTO, J. C. *Portugal terra de moinhos*. Lisboa: Chronos Editora, 2008.

MOREIRA, R. N.; BIZARRIA, F. P. de A.; MARQUESAN, F. F. S.; BARBOSA, F. L. S. Sustentabilidade e energia eólica: percepções comunitárias no interior do Ceará - Brasil. *COLÓQUIO - Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 14, n. 1, p. 79-97, jul. 2017.

MOREIRA, R. N.; VIDAL, F. A. B.; VIANA, A. F.; OLIVEIRA, D. A. B. Energia eólica no quintal da nossa casa?! Percepção ambiental dos impactos sociambientais na instalação e operação de uma usina na comunidade de Sítio do Cumbe em Aracati-CE. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 2, n. 1, p. 45-73, jun. 2013.

NETO, M. C. P.; DE OLIVEIRA, D. V.; SILVA, J. V. Os refúgios da biodiversidade no Seridó Potiguar frente à instalação de parques eólicos. *Revista GeoInterações*, v. 8, n. 1, 2024.

NOGUEIRA, L. R. de S.; RIBEIRO, A. Í.; MEDEIROS, G. A.; MARTINS, A. C. G.; LONGO, R. M. Análise integrada dos aspectos e impactos ambientais da atividade operacional em parque eólico no sudoeste da Bahia / Brasil. *Revista Gestão Sustentabilidade Ambiental - UFSC*, Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 40-63, out/dez. 2020.

NORONHA, M.; BENFATTI, G.; THEMOTEO, A.; GANNOUM, E. O papel do ecossistema de inovação e a estruturação de um arcabouço regulatório para o mercado de energia eólica offshore no Brasil. *International Journal of Business & Marketing (IJBMKT)*, v. 6, n. 2, p. 32-51, 2021. Disponível em: <https://www.ijbmkt.org/ijbmkt/article/view/219>.

OBSERVATÓRIO DA ENERGIA EÓLICA. Impactos socioambientais da implantação dos parques de energia eólica no Brasil. Fortaleza, CE: Universidade Federal do Ceará, 2019. Disponível em: https://www.observatoriodaenergiaeolica.ufc.br/wp-content/uploads/2019/07/livro_web.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.

O POVO ON LINE. Operação Marambaia: 11 condenados por crime ambiental. Disponível em: <http://www.opovo.com.br/app/opovo/cotidiano/2014/12/03/noticiasjornalcotidiano,3357067/operacao-marambaia-11-condenados-por-crime-ambiental.shtml>. Acesso em: 01 out. 2024.

2962

OLIVEIRA, A. J. D., et al. Cleaner production practices, motivators and performance in the Brazilian industrial companies. *Journal of Cleaner Production*, v. 231, p. 359-369, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.013>.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Relatório consolidado anual de produção de energia elétrica 2022. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/noticias/details.aspx?i=9839>. Acesso em: 20 abr. 2024.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Relatório consolidado anual de produção de energia elétrica 2023. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/2023-Relatorio-Anual-acessivel_21032024.pdf. Acesso em: 10 jun. 2024.

OSTROM, E. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1172133>.

PASQUALETTI, M. J. Social barriers to renewable energy landscapes. *Geographical Review*, v. 101, n. 2, p. 201-223, 2011.

PORTO-GONÇALVES, C. W. De caos sistêmico e de crise civilizatória: tensões territoriais em curso. *Territorium*, v. 27(II), p. 5-20, Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2020. Disponível em: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_27-2_1.

SILVA, C. C.; BAIARDI, A. Desenvolvimento territorial com preceitos de sustentabilidade no trajeto da Ferrovia de Integração Oeste-Leste – FIOL. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 6, e31711629054, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29054>. Acesso em: 01 out. 2024.

SOURCES, P. E. I. *The tragedy of the commons*. 1^a ed. New Jersey: Wiley, 1997.

SACHS, J. D. *The age of sustainable development*. Columbia University Press, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.7312/sach17314>.

SALVIA, A. L., et al. Assessing research trends related to sustainable development goals: local and global issues. *Journal of Cleaner Production*, v. 208, p. 841-849, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.242>.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO PIAUÍ (SEMAR). Relatório de impacto ambiental. Teresina, PI, 2023. Disponível em: <https://sigae.semar.pi.gov.br/media/uploads/2023/02/27/822cdd36-778d-4729-89a8-96c745599f91.pdf>. Acesso em: 01 out. 2024.

SEN, Amartya. *On economic inequality*. SCHOOL of Business, London Metropolitan University. Expanded Edition. Oxford: Clarendon Press, 1997. 2963

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMACE). EIA/RIMA – estudos e relatórios de impacto ambiental. Fortaleza, CE. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/eia-rima/>. Acesso em: 01 out. 2024.

TERCIOTE, R. A energia eólica e o meio ambiente. In: *Encyclopédia Energética Meio Rural*, v. 4, 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSCooooooooooooo22002000100002&script=sci_arttext&tlang=pt.