

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

YOLANDA MARTINS DE ANDRADE

Energia Eólica no Brasil:

uma revisão bibliográfica sobre sua inserção no panorama atual

Wind Energy in Brazil:

a bibliographic review on its insertion in the current panorama

São Paulo

2024

YOLANDA MARTINS DE ANDRADE

Energia Eólica no Brasil:

uma revisão bibliográfica sobre sua inserção no panorama atual

Trabalho de Graduação Individual II (TGI)
apresentado ao Departamento de
Geografia da Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas, da
Universidade de São Paulo, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Geografia.

Área de concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani.

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

A553e Andrade, Yolanda Martins de
 Energia Eólica no Brasil: uma revisão
bibliográfica sobre sua inserção no panorama atual /
Yolanda Martins de Andrade; orientador Emerson
Galvani - São Paulo, 2024.
60 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade
de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Energia eólica. 2. Matriz energética. 3.
Energia renovável. 4. Brasil. I. Galvani, Emerson,
orient. II. Título.

ANDRADE, Yolanda M. de. **Energia Eólica no Brasil**: uma revisão bibliográfica sobre sua inserção no panorama atual. Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. _____ Instituição _____

Julgamento _____ Assinatura _____

Este trabalho é dedicado aos meus queridos familiares que tanto me apoiaram nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

A todos que me acompanharam nessa jornada, em especial meus pais Sueli Martins e Hamilton de Andrade que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

Ao meu irmão, Lorenzo Martins, que sempre foi meu braço direito, me apoiando de todas as formas possíveis, agradeço pelas palavras de incentivo e pela nossa parceria, você sempre foi uma inspiração pra mim.

Agradeço ao meu orientador Emerson Galvani por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa, desde que te conheci sabia que queria ter você como meu orientador, sem sua ajuda e apoio eu não estaria concluindo este ciclo de forma calma.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão à Maria de Fatima Atanazio Mochizuki, bibliotecária do Instituto de Energia e Ambiente da USP, que, com sua dedicação e solicitude, foi fundamental para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC), deixo meu mais profundo agradecimento. Foi uma honra conhecer pessoas incríveis e inspiradoras, que não só contribuíram para meu crescimento profissional, mas também se tornaram amigos.

A todos os meus professores do curso de Geografia da Universidade de São Paulo que me mostraram como o conhecimento é capaz de transformar o mundo, pelas memoráveis experiências em aula, em campo e pela excelência de cada um.

Muito obrigada.

RESUMO

ANDRADE, Yolanda M. de. **Energia Eólica no Brasil**: uma revisão bibliográfica sobre sua inserção no panorama atual. 2024. 61 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2024.

A busca por fontes renováveis para mitigar as mudanças climáticas têm impulsionado a energia eólica globalmente. No Brasil, a capacidade instalada alcançou cerca de 30,45 GW no final de 2023, representando 15,9% da matriz elétrica nacional. Esse avanço, especialmente liderado pelo Nordeste, reflete a combinação de condições naturais favoráveis e investimentos crescentes no setor.

Os resultados deste trabalho destacam que, embora a energia eólica tenha se consolidado como a segunda fonte mais importante de geração de energia limpa no Brasil, com investimentos que já ultrapassam R\$ 48 bilhões e benefícios como a redução de mais de 30 milhões de toneladas de CO₂, sua expansão apresenta desafios significativos. Entre eles, estão os impactos ambientais e sociais, como o desenvolvimento regional, envolvimento da exploração de recursos naturais e de proprietários rurais e a alteração de ciclos geoquímicos naturais.

Além disso, o estudo reforça que, apesar do potencial de mais de 30 GW já instalado, o Brasil ainda possui vastas oportunidades de crescimento, tanto em terra quanto no mar, consolidando-se como um protagonista na transição energética global. Para o mercado de energia eólica continuar se desenvolvendo, são necessárias políticas públicas, incentivos, regulamentações equilibradas e estratégias que aliem avanços tecnológicos à justiça ambiental e social. Este panorama demonstra que a energia eólica é essencial para o equilíbrio energético nacional e para o cumprimento dos compromissos ambientais globais, mas demanda planejamento sustentável para equilibrar a preservação ambiental com as demandas sociais e econômicas.

Palavras-chave: Energia eólica. Matriz energética. Energia renovável. Brasil.

ABSTRACT

ANDRADE, Yolanda M. de. **Wind Energy in Brazil: A Bibliographic Review on its Insertion in the Current Panorama**. 2024. 61 p. Individual Graduation Research (IGR). Faculty of Philosophy, Languages and Human Sciences. University of São Paulo, 2024.

The pursuit of renewable energy sources to mitigate climate change has globally driven the expansion of wind energy. In Brazil, installed capacity reached approximately 30.45 GW by the end of 2023, representing 15.9% of the national electricity matrix. This progress, particularly led by the Northeast, reflects a combination of favorable natural conditions and increasing investments in the sector.

The results of this study highlight that, although wind energy has become the second most important source of clean energy generation in Brazil, with investments exceeding R\$ 48 billion and benefits such as reducing over 30 million tons of CO₂, its expansion poses significant challenges. These include environmental and social impacts, such as regional development intertwined with the exploitation of natural resources and landowners, as well as the alteration of natural geochemical cycles.

Furthermore, the study emphasizes that despite the more than 30 GW of installed potential, Brazil still has vast growth opportunities, both onshore and offshore, positioning itself as a key player in the global energy transition. For the wind energy market to continue developing, effective public policies, balanced regulations, and strategies that integrate technological advancements with environmental and social justice are essential. This scenario demonstrates that wind energy is critical to the national energy balance and the fulfillment of global environmental commitments but requires sustainable planning to balance environmental preservation with social and economic demands.

Palavras-chave: Wind energy. Energy matrix. Renewable energy. Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do tamanho dos aerogeradores nos últimos 20 anos.....	19
Figura 2: Deslocamento do ar devido ao aquecimento desigual da superfície terrestre.....	20
Figura 3: Modelo esquemático e simplificado da circulação geral da atmosfera.....	22
Figura 4: Velocidade média anual do vento a 50 m de altura.....	27
Figura 5: Recorde de geração eólica por região em base diária.....	30
Figura 6: Potencial eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7 m/s.....	31
Figura 7: Localização das usinas eólicas no Brasil.....	32
Figura 8: Gráfico da composição da matriz energética atual e da evolução da capacidade instalada atualmente.....	32
Figura 9: Principais partes de uma turbina eólica	38
Figura 10: Fábrica de naceles, torres e pás, em operação, construção ou planejadas em março de 2012.....	42
Figura 11: Ranking GWEC 2023 da capacidade total instalada <i>onshore</i>	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO GERAL.....	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 JUSTIFICATIVA.....	13
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
5 REVISÃO LITERÁRIA.....	17
5.1 A HISTÓRIA DAS FONTES DE ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA.....	17
5.2 VENTOS, CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA E CLIMA: FUNDAMENTOS PARA A ENERGIA EÓLICA.....	20
5.3 CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS E ESTUDOS DE VIABILIDADE PARA EMPREENDIMENTOS EÓLICOS NO BRASIL.....	27
5.4 POTENCIAL EÓLICO NO BRASIL: AVANÇOS E PERSPECTIVAS NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL.....	30
5.5 POLÍTICAS, LEILÕES E REGULAMENTAÇÃO DO MERCADO DE ENERGIA EÓLICA.....	34
5.6 O SISTEMA EÓLICO E A TECNOLOGIA DOS AEROGERADORES: ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E AVANÇOS.....	38
6 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	43
7 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS.....	47
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, nossa espécie aprendeu e desenvolveu formas de utilizar as formas de energia em benefício próprio, adaptando-se e evoluindo com ferramentas que atendiam às suas necessidades. Desde o uso da força muscular e do fogo até o aproveitamento do vento para movimentar moinhos mecânicos, o ser humano vem explorando os recursos naturais para impulsionar o progresso de suas civilizações. No entanto, à medida que os padrões de vida mudaram e as populações cresceram, as demandas energéticas aumentaram exponencialmente, tornando muitas das tecnologias insuficientes para atender às necessidades energéticas contemporâneas.

De acordo com Goldemberg (1979), já no final do século XX, projetava-se que o consumo de petróleo poderia alcançar cerca de 70% do total de energia utilizada, evidenciando uma trajetória insustentável. Esse cenário agravou-se durante as crises do petróleo, o que revelou a vulnerabilidade de países altamente dependentes dos combustíveis fósseis e reforçou a urgência de se desenvolver fontes alternativas de energia. Foi nesse contexto que a energia eólica, uma tecnologia milenar, voltou a ser desenvolvida e ganhou destaque como uma alternativa viável e sustentável.

Atualmente, com os desafios das mudanças climáticas e as pressões globais para se reduzir as emissões dos gases de efeito estufa, a energia eólica tem se consolidado como uma das principais soluções no esforço global por uma matriz energética diversificada e sustentável. No Brasil, a abundância de recursos naturais e as condições climáticas favoráveis colocaram o país em posição de destaque no cenário mundial das energias renováveis, especialmente no aproveitamento de seu potencial eólico, tanto *onshore* quanto *offshore*.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o panorama atual da energia eólica no Brasil, analisando sua inserção na matriz energética nacional e sua relevância no contexto das energias renováveis. Para isso, serão abordados temas como a história e evolução das turbinas eólicas, os conceitos que envolvem a dinâmica dos ventos, o funcionamento dos aerogeradores, os impactos ambientais e sociais, além das políticas públicas e incentivos que fomentam o setor.

2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre o panorama atual da energia eólica no Brasil, destacando sua inserção na matriz energética nacional e sua relevância no contexto das energias renováveis.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reunir e analisar estudos que discutem as características, conceitos, funcionamento e impactos da energia eólica, utilizando dados de pesquisas científicas, livros, relatórios e outras fontes especializadas, de acordo com o método de pesquisa bibliográfica, que é baseado na “leitura das obras consultadas, tendo uma leitura, exploratória, seletiva e crítica” (Sousa; Oliveria; Alves, 2021, v. 20, p. 81) na função de produzir este trabalho.
- Abordar a história da energia eólica, incluindo conceitos fundamentais e o processo de circulação atmosférica, aerogeradores e a forma de produção e distribuição de energia.
- Discutir as vantagens e desvantagens da exploração da energia eólica para a natureza e a sociedade.
- Explorar os desafios e as oportunidades relacionadas à expansão da energia eólica no Brasil, identificando fatores que contribuem para o crescimento dessa fonte renovável.
- Analisar como o uso da energia eólica pode contribuir para o cumprimento dos compromissos ambientais do Brasil, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa.
- Oferecer um panorama atualizado da energia eólica no Brasil, destacando sua importância no contexto do consumo crescente de energia e do esgotamento de recursos não renováveis.
- Apontar caminhos para o desenvolvimento sustentável da matriz energética nacional, considerando o papel da energia eólica como uma solução plausível.

3 JUSTIFICATIVA

A energia é essencial para a vida humana, sustentando as atividades da sociedade contemporânea, que depende de um fornecimento contínuo para funcionar. Desde os primórdios, a humanidade avançou no controle de recursos, inicialmente sobre seus corpos, depois sobre os animais, até alcançar o domínio do carvão, do vapor e da eletricidade.

Entretanto, a partir da década de 1960, diversos autores destacaram os graves impactos ambientais decorrentes da exploração energética. Além disso, as crises do petróleo alertaram os governos sobre as limitações das fontes convencionais, impulsionando a busca por novas tecnologias e soluções energéticas.

De acordo com os autores Goldemberg, Johansson e Reddy (1998), é importante pensar o porquê da intervenção ser necessária. De forma mais simplificada, os benefícios de capitalizar essas oportunidades de eficiência seriam substanciais, os gastos com serviços de energia seriam reduzidos com base no custo do ciclo de vida e isso liberaria recursos econômicos para outros propósitos. Ainda de acordo com os autores, a mudança irá acontecer visto os desbalanços ambientais e a crescente necessidade de mais energia, onde só fontes convencionais não sustentarão todas as demandas da sociedade.

Já há evidências, segundo os autores, de que a mudança para a eficiência energética já está sendo realizada observando o PIB do uso das energias primárias reduzindo. A energia eólica no Brasil segundo Venturi (2021, p. 296), até 2017 a capacidade eólica era de: 6 GW instalados em 242 usinas, com mais 10,15 GW em construção. Esses 6 GW de energia limpa corresponde a uma redução de 5,2 milhões de toneladas de CO₂ lançados na atmosfera, se essa energia fosse gerada com queima de combustíveis fósseis.

Em 2023, segundo um estudo reportado pela CNN Brasil (2023), dirigido pela Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), 93,1% de toda eletricidade gerada no país veio de fontes renováveis, tais dados mostram como o país vem evoluindo e como uma das piores secas que o Brasil enfrentou em 2021 funcionou como um catalisador de mudanças, onde ameaçou o fornecimento de energia, gerando a

necessidade de diversificar urgentemente o portfólio de fontes de energia renováveis.

Desta forma, fica clara a importância de novas fontes de energias que sejam renováveis serem empregadas e como a mudança é fundamental, visto que mesmo representando “12% de toda a energia elétrica produzida no mundo” (Venturi, 2021, p. 294), uma parcela da energia renovável brasileira consegue reduzir a emissão total dos gases do efeito estufa.

Portanto, mesmo cercada de pontos positivos, mas também negativos, com relação a uma ampla gama de aspectos: sociais, ambientais, locais, tecnológicos entre outros, o fato de a energia eólica ser limpa e inesgotável, não emitindo poluentes na atmosfera e reduzindo a dependência dos combustíveis fósseis mostra, notoriamente, a relevância de se tratar do tema de energias renováveis nos dias de hoje.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho é criado a partir da metodologia de revisão bibliográfica, no qual consiste na revisão de literaturas relacionadas à temática abordada. Desta forma, após a análise dos trabalhos coletados, foi feita uma exposição das principais ideias e autores que tratam sobre assuntos pertinentes ao tema, composto por imagens e dados que apoiam a elucidação dos objetivos do estudo.

Para a elaboração deste trabalho, foi necessário abranger um amplo intervalo temporal de publicações, analisando fontes coletadas em diversas plataformas, como o Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>), uma ferramenta de busca acadêmica que reúne artigos, teses e livros; a SciELO (<https://www.scielo.br/>), uma biblioteca eletrônica de acesso aberto com periódicos científicos revisados por pares; e a Plataforma CAPES (<https://www.periodicos.capes.gov.br/>), que disponibiliza acesso a bases científicas nacionais e internacionais. Das 65 fontes consultadas para a elaboração deste trabalho, foram analisados periódicos, artigos, livros e sites de notícias relacionados aos diversos temas abordados. A pesquisa teve como foco principal os seguintes temas: energia eólica, ventos, geração de energia, fontes renováveis, energia limpa e o panorama energético no Brasil.

Após as pesquisas bibliográficas, foi redigida uma introdução à temática do trabalho, seguida dos objetivos e justificativas para a realização do mesmo. Em seguida, foi realizada uma breve exposição sobre o uso de energia com o passar do tempo mostrando a importância dela no contexto atual e além disso, do uso de fontes renováveis, resgatando a história por trás das turbinas eólicas, o contexto da crise do petróleo e a necessidade das inovações tecnológicas.

Posteriormente, foram analisados os conceitos a respeito dos ventos, da circulação atmosférica e do potencial eólico brasileiro, requisitos para a construção de parques eólicos e órgãos regulamentadores que, em conjunto com relatórios nacionais e internacionais, ilustram o panorama atual da tecnologia eólica, tema central da pesquisa.

Foram estudados, também, os mercados e leilões de energia, introduzindo sobre o início dos estímulos do mercado eólico nacional com o Proinfa e outras atividades. E por fim, foram expostas as consequências da utilização desta fonte, suas vantagens e desvantagens com os impactos sociais e ambientais, os obstáculos de sua expansão e as perspectivas futuras, finalizando-se com considerações a respeito do tema que reiteram a importância do mesmo e seus desafios para a sociedade atual brasileira.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 A HISTÓRIA DAS FONTES DE ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA EÓLICA

Desde os primórdios da civilização o ser humano aprendeu a produzir energia através do fogo, da tração animal e de outras inúmeras formas, o que tornou possível a evolução desde o Paleolítico até a Idade Contemporânea. O ser humano colocou o espaço geográfico em detrimento de todas suas necessidades energéticas, modificando e transformando o espaço no que o conhecemos atualmente, a tração de animais foi uma das formas de uso de energia que permitiu a mudança do ser humano nômade para o sedentário que resultou no desenvolvimento da agricultura onde em alguns milhares de anos da existência do hominídeo na Terra, foi capaz de criar rapidamente inovações significativas com o passar das décadas e dos séculos.

Durante a história do hominídeo, as fontes de energia principais eram força física, fogo, força do vento e da água e posteriormente a combustão de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, que se tornaram vitais para o desenvolvimento do ser humano e sua necessidade progressiva de maior uso energético, visto a comparação do homem primitivo e tecnológico e seus gastos calóricos.

O século XVIII e o XIX foram marcados por transformações nas técnicas de produção e uso de energia, com máquinas a vapor, que se utilizava de calor para produzir energia mecânica, revolucionando profundamente a dinâmica social e econômica da sociedade, desde da relação espaço-tempo à produção do espaço geográfico. Já no século XX com o desenvolvimento de motores à explosão, ampliou-se o uso de petróleo que até hoje se mantém como fonte hegemônica, onde apenas no final do século XIX foi desenvolvida a energia elétrica.

De acordo com Traldi e Rodrigues (2022) o uso da eletricidade possibilitou importantes transformações no processo de produção do espaço pelo homem, mas tal fonte de energia já existia antes do ser humano, assim como o petróleo, os

ventos, o gás natural, o que passam a ser chamados de recursos quando lhe é dada aplicação de uma técnica mediatizada pelo (Raffestin, 1993).

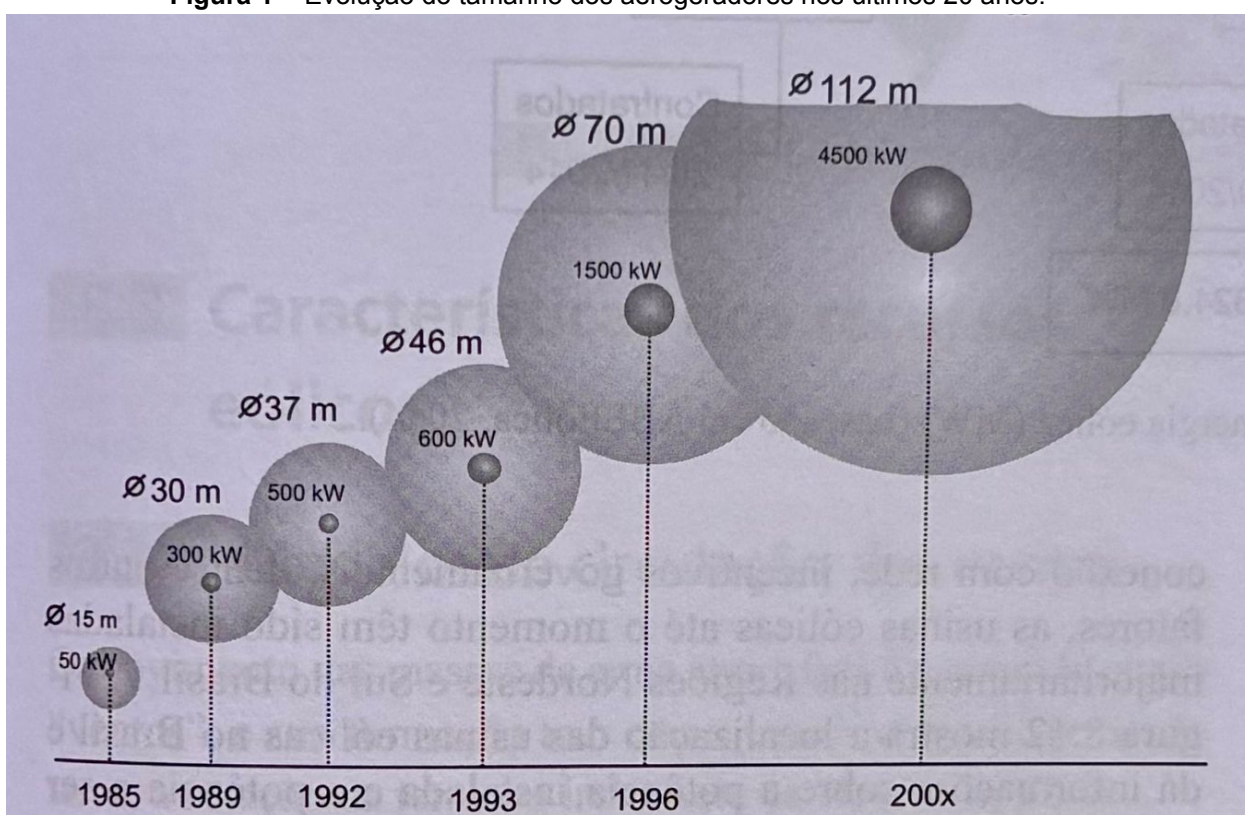
O petróleo durante o século XX, tornou-se a mais importante fonte de energia mundial, onde a dominância sobre suas reservas e exploração passou a ser disputada, gerando diversos conflitos como os dois choques do petróleo que ocorreram em 1973 e 1979. Segundo Traldi e Rodrigues (2022) depois do primeiro choque do petróleo, os países participantes da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) apreensivos com as dimensões da crise, criaram em 1974 a Agência Internacional de Energia (AIE) que estabeleceu diretrizes, entre elas substituir o petróleo por outras fontes de energia e países como EUA, Alemanha e Dinamarca passaram a realizar investimentos na fonte de energia eólica, onde foi apresentada como mais segura para solucionar tanto a crise energética, com o controle de custo e produção, quanto para a crise ambiental, visto os acidentes com energia nuclear.

Para além da questão política, segundo Fadigas (2017) a energia dos ventos foi inicialmente utilizada em moinhos de vento através da energia mecânica onde “a primeira informação confiável é a de que os moinhos de ventos nasceram na Pérsia, há 200 anos a.C., usados na moagem de grãos e bombeamento de água” (Fadigas, 2017, p. 160) e haviam modelos de eixo vertical e horizontal, onde provavelmente os de eixo horizontal tivessem sido inventados na Europa, usados em larga escala em lugares como Inglaterra, França e Holanda, mas após o surgimento de máquinas a vapor seu uso entrou em declínio.

As fontes de energia produzidas e utilizadas na sociedade são divididas em renováveis e não renováveis, e ambas coexistem na maioria dos países, que moldam suas matrizes energéticas de acordo com os recursos disponíveis. Entretanto, há uma crescente necessidade de desenvolver e adotar fontes renováveis, impulsionada pela urgência de transformar e diversificar as matrizes energéticas após crises energéticas e em resposta a acordos e compromissos internacionais relacionados à sustentabilidade e às mudanças climáticas.

Após as crises de petróleo, as tecnologias que já existiam acerca das turbinas eólicas que foram sendo desenvolvidas no século XX em países como os EUA foram sendo retomadas, em 1980 a redução de custos foi resultante do “desenvolvimento dos progressos técnicos e organizacionais” (Goldemberg; Villanueva, 2003, p. 132) e das tecnologias que melhoraram tanto a performance, quanto aspectos de custo e ruído, onde a Figura 1 mostra o desenvolvimento do tamanho das turbinas, e mesmo assim “ainda não atingiram seu potencial máximo, tanto *offshore* como *onshore*” (Fadigas, 2017, p. 163).

Figura 1 - Evolução do tamanho dos aerogeradores nos últimos 20 anos.



Fonte: Fadigas, 2011.

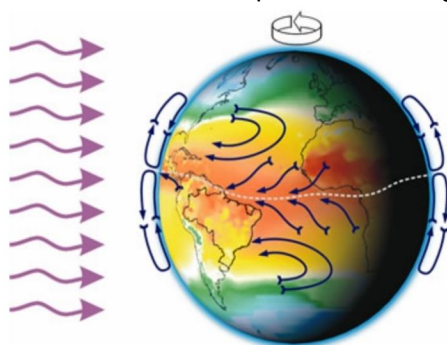
5.2 VENTOS, CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA E CLIMA: FUNDAMENTOS PARA A ENERGIA EÓLICA

A energia eólica tornou-se uma das fontes de geração de energia renovável mais promissoras da atualidade brasileira, graças ao avanço tecnológico em conjunto dos fatores geográficos favoráveis, tornando-se possível o uso dos ventos para gerar energia elétrica. Para compreender melhor seu funcionamento e êxito no mercado nacional é fundamental compreender a dinâmica dos ventos e suas variáveis.

O vento é o ar em movimento gerado pela “circulação das camadas de ar provocadas pelo aquecimento desigual do planeta” (Pinto, 2018, p. 49), e podem ser estudados em escala global e local. De acordo com Fadigas (2017) suas características podem ser moldadas por diferentes aspectos tais como altitude, rugosidade, obstáculos físicos e relevo. Neste tópico será abordado o mecanismo de formação dos ventos, as principais forças que influenciam sua trajetória e suas dinâmicas de circulação atmosférica.

O vento circula das áreas de alta pressão para as de baixa pressão e para entender como se gera esse deslocamento é necessário compreender o significado do gradiente horizontal da pressão atmosférica. Pode-se entender que a diferença de pressão é resultado do aquecimento desigual da superfície terrestre, onde o movimento do ar é, em escala global, principalmente gerado “pelo aquecimento da superfície da Terra nas regiões próximas ao Equador e pelo resfriamento das regiões próximas aos pólos.” (Aldabó, 2002, p. 13), como a Figura 2 exemplifica.

Figura 2 - Deslocamento do ar devido ao aquecimento desigual da superfície terrestre.



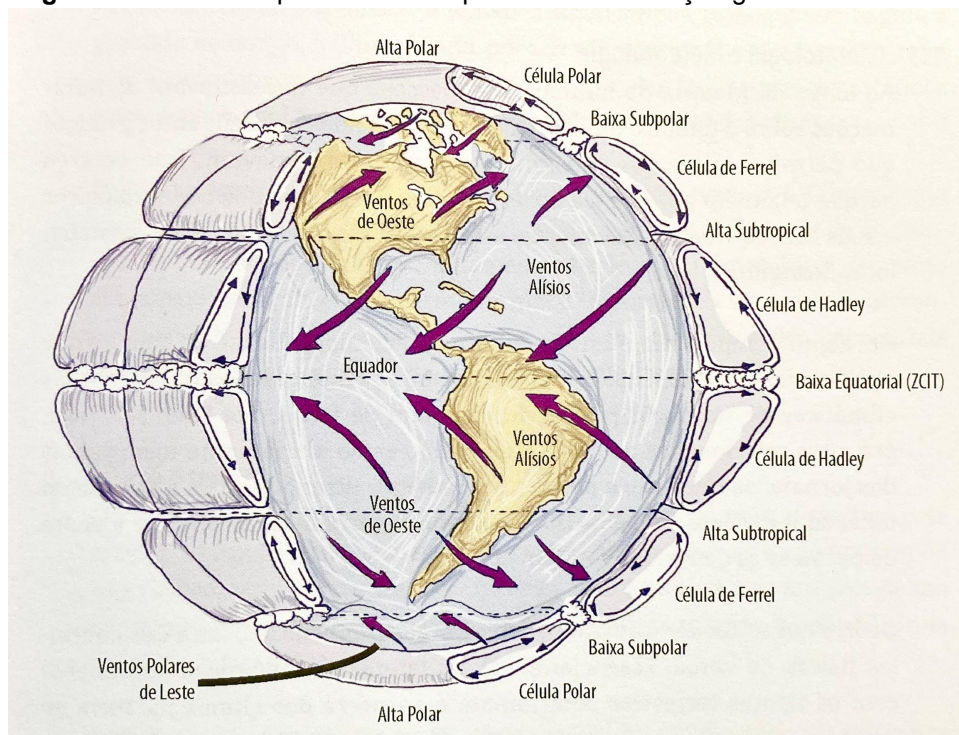
Fonte: Dutra, 2008.

O ar frio se move em direção aos lugares de ar quente, e o inverso também, devido a diferenças na pressão atmosférica e na densidade do ar. Em uma área da superfície que recebe um maior aquecimento, o ar quente sofre um processo de expansão e se torna menos denso, ascendendo na atmosfera e criando os ventos divergentes em altitude, dessa forma o ar frio vai em direção dessa área para substituir o ar quente que ascendeu, caracterizando como vento convergente, visto que tem mais pressão e maior densidade, resultando nos movimentos de convecção. O oposto acontece em zonas de alta pressão, onde ventos convergentes aparecem em altitude e divergem próximo à superfície.

Segundo Steinke (2012) tendo conhecimento de que “o aquecimento diferencial da superfície terrestre gera diferença de pressão atmosférica” (Steinke, 2012, p. 84) o gradiente horizontal de pressão é a variação da pressão ao longo da superfície horizontal, considerando dois pontos geográficos A e B e linhas isóbaras entre eles, sendo A um sistema de alta pressão e B um sistema de baixa pressão, ao se ter uma variação entre esses dois pontos se estabelece um gradiente de pressão com uma força na mesma direção mas sentido oposto, e esta força do gradiente de pressão faz com que o vento se desloque da zona de maior pressão para a de menor pressão, sendo que quanto menor for a diferença de pressão entre as linhas isóbaras, mais fraca será a intensidade do vento, de tal modo que a força do gradiente de pressão gera o deslocamento de massas de ar de pelo planeta. Desse forma, Steinke (2012) ainda enfatiza que exemplos demonstrativos desses fatos em escala local, as brisas marinhas e terrestres, dos quais se mostram importantes para o planejamento de negócios no setor energético brasileiro, considerando bases eólicas *offshore* e *onshore*.

A dinâmica da circulação atmosférica é organizada em três tipos principais: primária, secundária e terciária, cada uma desempenhando um papel crucial na redistribuição de energia e umidade na Terra, para exemplificar melhor sua relação a Figura 3 demonstra o modelo geral de circulação da atmosfera, de Steinke (2012).

Figura 3 - Modelo esquemático e simplificado da circulação geral da atmosfera.



Fonte: Steinke, 2012.

Como citado anteriormente, os ventos podem ser de escala global e local, sendo estudada a circulação em três camadas: primária, secundária e terciária. Diante dessa informação, ao analisar a dimensão global dos ventos e o aquecimento desigual da superfície, os sistemas de aquecimento no Equador e o resfriamento nos polos estarão sempre presentes, mantendo-se ativos e sendo conhecidos como ventos planetários ou constantes, de acordo com CRESESB (2017) que podem ser classificados de diferentes formas: ventos alísios, que se deslocam dos trópicos para o Equador em baixas altitudes; ventos contra-alísios, que se deslocam do Equador para os polos em altas altitudes; ventos do Oeste, que sopram dos trópicos para os polos; e ventos polares, que sopram dos pólos para os trópicos.

De acordo com Cavalcanti et al. (2009), o clima é definido pela dinâmica dos fluidos —água e ar— sob a influência do aquecimento desigual da superfície terrestre em diferentes escalas temporais e espaciais. Esse processo resulta na formação das circulações atmosféricas e correntes marítimas, responsáveis pela redistribuição de energia por meio de movimentos verticais e horizontais.

Como consequência, surgem as células de circulação atmosférica: Hadley, Ferrel —ou célula de latitudes médias— e polares.

Segundo Ayode (1996), divididas em suas escalas de área e de tempo, as circulações atmosféricas são classificadas em primárias, secundárias e terciárias. A circulação primária refere-se à circulação geral da atmosfera, composta por três células principais. A célula de Hadley, predominante entre o Equador e os trópicos, resulta do intenso aquecimento na região equatorial, onde o ar quente e úmido ascende, gerando chuvas. Esse ar resfriado desce nos trópicos, criando zonas secas e de alta pressão, responsáveis por desertos como o Saara. Esse ciclo gera os ventos alísios que sopram dos trópicos para o Equador. Já as células polares atuam nas altas latitudes, enquanto a célula de Ferrel, localizada entre as células polares e a de Hadley, gera os ventos de oeste.

A circulação secundária ocorre em escalas menores, como nas monções, que resultam de variações sazonais na temperatura e pressão entre oceanos e continentes. No verão, o ar quente sobe sobre o continente, atraindo umidade dos oceanos e provocando chuvas intensas, caracterizado pelas monções úmidas. No inverno, a situação se inverte, gerando monções secas.

A circulação terciária abrange fenômenos ainda menores, como as brisas marítimas e terrestres, causadas pela diferença de temperatura entre a terra e o oceano. Durante o dia, o solo aquece mais rápido que o mar, criando uma zona de baixa pressão que atrai o ar mais frio do oceano, denominado brisa marítima. À noite, a terra esfria rapidamente, formando uma área de alta pressão que direciona os ventos para o mar, formando a brisa terrestre. Apesar de sua escala menor, os ventos constantes e fortes nos litorais como o do Nordeste, devido às qualidades físicas locais assim como os ventos alísios, permitiu que essa região tivesse a maior produção de energia eólica no país.

Os ventos, que têm sua trajetória resultante do gradiente de pressão e das várias forças que agem simultaneamente determinando sua direção, considerando em grande escala, sofrem influência das “forças influenciadoras da movimentação do ar.

São elas: a força de Coriolis, a força centrífuga e a força de atrito.” (Steinke, 2012, p. 85). Segundo Steinke (2012) caracterizadas como forças aparentes ou fictícias, a força de Coriolis só atua sobre corpos que estão em sistemas girantes e em movimento, mudando a rotatória do vento “para a direita no hemisfério Norte e para a esquerda no hemisfério Sul, qualquer que seja a direção inicial do movimento”(Steinke, 2012, p. 86).

A força de Coriolis está relacionada à rotação da Terra e à velocidade angular em um sistema inercial. Considerando o centro da Terra como referencial, qualquer corpo em movimento sofre um desvio devido à diferença de velocidade relativa entre ele e o planeta, segundo Ynoue et al. (2017) essa deflexão que o vento sofre forma os ventos alísios de nordeste e sudeste, que convergem em uma região de fraco gradiente horizontal de pressão, favorecendo a formação de nuvens. Esse efeito influencia padrões climáticos globais, como ventos alísios e ciclones tropicais, ao modificar a trajetória dos ventos.

A força centrífuga, apesar de ser considerada uma força fictícia em sistemas não inerciais, faz com que massas de ar se afastem do centro de rotação da Terra, seguindo o princípio da inércia. Já a força de atrito atua próximo à superfície, reduzindo a velocidade do vento devido ao contato com barreiras físicas, como montanhas e irregularidades do terreno.

A interação dessas forças determina a direção e a intensidade dos ventos. Em grandes altitudes, o vento geostrófico ocorre quando a força do gradiente de pressão se equilibra com a força de Coriolis, resultando em um vento que flui paralelo às isóbaras. Esses fenômenos, combinados a outros elementos e fatores climáticos, moldam os padrões atmosféricos de cada região, demonstrando-se, portanto, a importância do estudo detalhado das condições atmosféricas e climáticas locais para a futuros empreendimentos.

Dito isto, é imprescindível o conhecimento da natureza do clima, resultado das interações dos componentes principais do sistema que são “a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a litosfera e a biosfera” (Grotzinger; Jordan, 2013, p. 412) durante um longo período de tempo, que apresentam diferentes comportamentos de

transporte e armazenamento de energia, onde a interação de todos os componentes determinam a variabilidade do clima no espaço e no tempo. Para a classificação do clima apesar de diferentes formas e finalidades, “todos são baseados em dois parâmetros fundamentais: médias anuais e variações sazonais da temperatura, e total anual e distribuição sazonal da precipitação.”(Teixeira *et al.*, 2009, p. 116).

O Brasil, por estar em grande parte entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, tem uma grande variedade de climas. Parte da sua área localizada próximo do Equador em regiões de baixa latitude, onde o clima quente e úmido predomina, registra pouca variação na incidência de radiação solar ao longo do ano, mantendo temperaturas médias elevadas devido ao alto calor específico da água, regiões onde tem uma abundância de água como o litoral, a amplitude térmica será menor que em ambientes secos como desertos, apresentando regimes pluviais distintos em cada região. As principais características influenciadoras no clima, consequentemente alterando o deslocamento dos ventos, são a Zona de Convergência Intertropical, a Cordilheira dos Andes como um obstáculo físico, a ação do Anticiclone Tropical Atlântico e a circulação dos ventos polares advindos do Sul e Sudeste em regime irregular (CEPEL, 2001).

Apesar da discussão entre cientistas a respeito da conceituação de clima, o sistema de classificação mais comumente empregado para os tipos de clima no Brasil se assemelha ao desenvolvido por Arthur Strahler que conceituou “clima como o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre” (Steinke, 2012, p. 17).

As correntes marítimas em interação com as massas de ar podem alterar padrões climáticos locais, como a ocorrência de fenômenos como El Niño e La Niña, alteram os regimes de precipitação através do ciclo d'água. A umidade e a altitude também são fatores importantes e influenciadores dos movimentos de massas de ar, onde a diversidade de condições atmosféricas em zonas de baixa e alta pressão dão características a cada tipo de massa de ar acima delas, como a massa equatorial atlântica, quente e úmida. As massas de ar que atuam sobre o Brasil são as mEc, mEa, mTa, mTc, mPa, sendo elas as massas: equatorial continental ou atlântica, a tropical continental ou atlântica e a polar atlântica.

A alta capacidade instalada no Nordeste, conforme destaca Paulo Lombardi em sua palestra "Geração eólica: o que podemos aprender com a história recente?", é explicada pelas condições favoráveis das regiões litorâneas, que apresentam baixa rugosidade associada às brisas marítimas. Nessas áreas, os ventos alísios geram ventos de alta velocidade e no interior, por outro lado, predominam influências distintas, como as brisas de vale e montanha (Lombardi, 2023).

Ainda segundo Lombardi (2023), a capacidade instalada no Sul do Brasil se justifica pela topografia característica das serras e pela baixa rugosidade do litoral. Além disso, os ventos oriundos do oceano, impulsionados por sistemas de alta pressão, aliados à formação e ao deslocamento de sistemas transientes, favorecem a alta velocidade dos ventos na região.

Além dos fatores ambientais, Lombardi (2023) também ressalta que a energia eólica tem potencial para impactar progressivamente o mercado energético brasileiro. Até alguns anos atrás, sua representatividade era limitada, mas atualmente, o aumento da capacidade instalada tem elevado sua participação no mercado, influenciando positivamente o preço da energia.

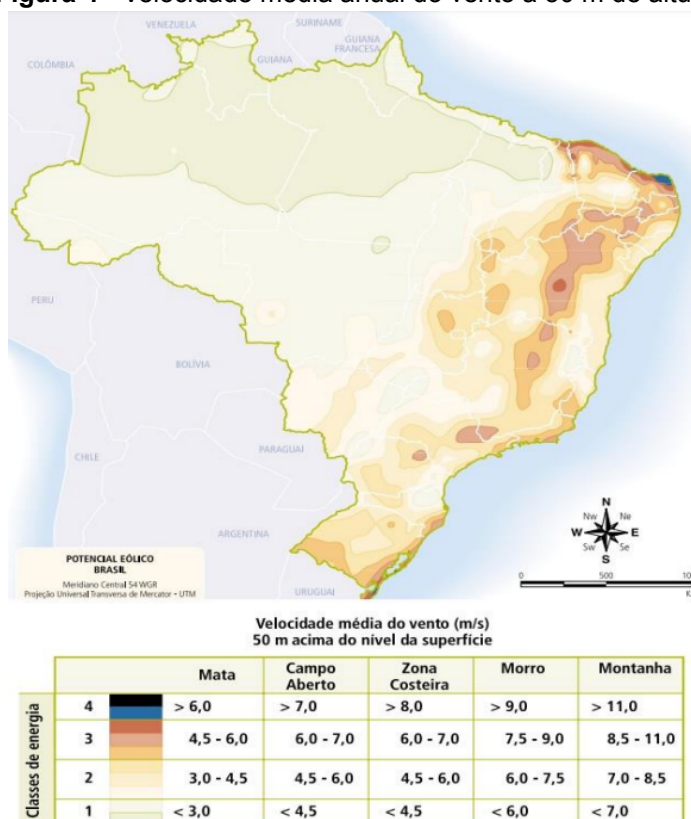
Como resultado, o Brasil apresenta uma variedade de climas, desde condições extremamente quentes e úmidas associadas a massas equatoriais, como visto em grande parte da região amazônica, até climas semiáridos no interior do nordeste. Os tipos de clima encontrados no Brasil são Equatorial, Tropical e Temperado, apresentando variações de acordo com as regiões, desta forma visto que são diversos fatores influenciadores no potencial eólico das regiões, surgiu a necessidade da criação de projetos de estudos para que os empreendimentos se tornassem viáveis.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DE ÁREAS E ESTUDOS DE VIABILIDADE PARA EMPREENDIMENTOS EÓLICOS NO BRASIL

Atualmente, 93% da capacidade instalada de energia eólica no Brasil está concentrada no Nordeste, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Essa predominância se deve à classificação das áreas em classes de potencial eólico, que avaliam a viabilidade de projetos com base na velocidade do vento, sendo necessário que esta seja igual ou superior a 6 m/s (UOL, 2024).

Os meios físicos, como mata, campo aberto, zonas costeiras, morros e montanhas, são categorizados em diferentes classes de potencial eólico, conforme ilustra a Figura 4. Essa classificação utiliza mapas de potencial eólico que indicam quais regiões são mais adequadas para projetos. Áreas de classe 1, por exemplo, possuem baixo potencial eólico e são pouco atrativas para a geração de energia, enquanto áreas de classe 3 e 4 apresentam condições favoráveis e são indicadas para a implementação de projetos eólicos.

Figura 4 - Velocidade média anual do vento a 50 m de altura.



Fonte: Feitosa, 2003.

Para explorar o mercado de energia eólica no Brasil, foi necessário desenvolver um conhecimento abrangente sobre o potencial eólico do país. Nesse contexto, o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro foi publicado em 2001 pelo Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL). Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001, apesar do crescimento expressivo dos empreendimentos eólicos, um dos fatores de limitou essa expansão foi a falta de dados consistentes e seguros para fazer investimentos nos parques eólicos, de tal forma que construíram com base no sistema MesoMap um acervo abrangente de mapas temáticos representando os regimes de vento e fluxos de potência eólica inicialmente na altura de 50 metros, revelando-se as áreas promissoras para a fundação dos empreendimentos futuros. Incluso na avaliação preliminar para a definição de instalação da torre anemométrica é fundamental analisar a área, onde se compreende dentro da pesquisa informações relacionadas ao potencial eólico do local, sua distância até as próximas subestações e condições e restrições físicas, como condições do terreno, do solo, conexão elétrica, impactos ambientais, proprietários e contratos de arrendamento.

Dado a movimentação do ar pelas correntes de convecção, tais deslocamentos de ar têm sua energia explorada através do estudo do cálculo de potência do vento que é a quantidade de energia cinética disponível no fluxo de ar que pode ser convertida em energia elétrica e depende de três fatores principais: a densidade do ar, a área varrida pelas pás da turbina e a velocidade do vento de acordo com a equação. A relação entre essas variáveis pode ser expressa pela fórmula da potência do vento:

$$P/A = (1/2) \rho v^3 \quad (1)$$

Em que P é a potência, ρ é a densidade do ar, A é a área varrida pelo rotor e v é a velocidade do vento. O fator que mais influencia a potência é a velocidade do vento, que está elevada ao cubo, o que demonstra que “pequenas variações de velocidade do vento proporcionam grandes variações de potência” (Aldabó, 2002, p. 31). Segundo Pinto (2018) o vento possui uma característica estocástica, ou seja, ele é variável e imprevisível a curto prazo e esta natureza exige o desenvolvimento de sistemas computacionais que possam lidar com variações na intensidade e direção do vento.

Devido ao principal parâmetro ser a velocidade do vento, segundo Pinto (2018) para fazer a mensuração do mesmo é utilizado um anemômetro que mede a velocidade do vento, junto de uma biruta que irá indicar a direção do vento. Após os dados coletados utilizam-se de ferramentas como o *datalogger* e tecnologias de medição remota com o LIDAR (*Light Detection and Ranging*) e o SODAR (*Sound Detection and Ranging*), onde com os dados são feitas as avaliações da área. Para obter um correto parecer sobre dados, é feita uma medição em um período de pelo menos um ano, a MCP, ajustados em curvas de estatísticas.

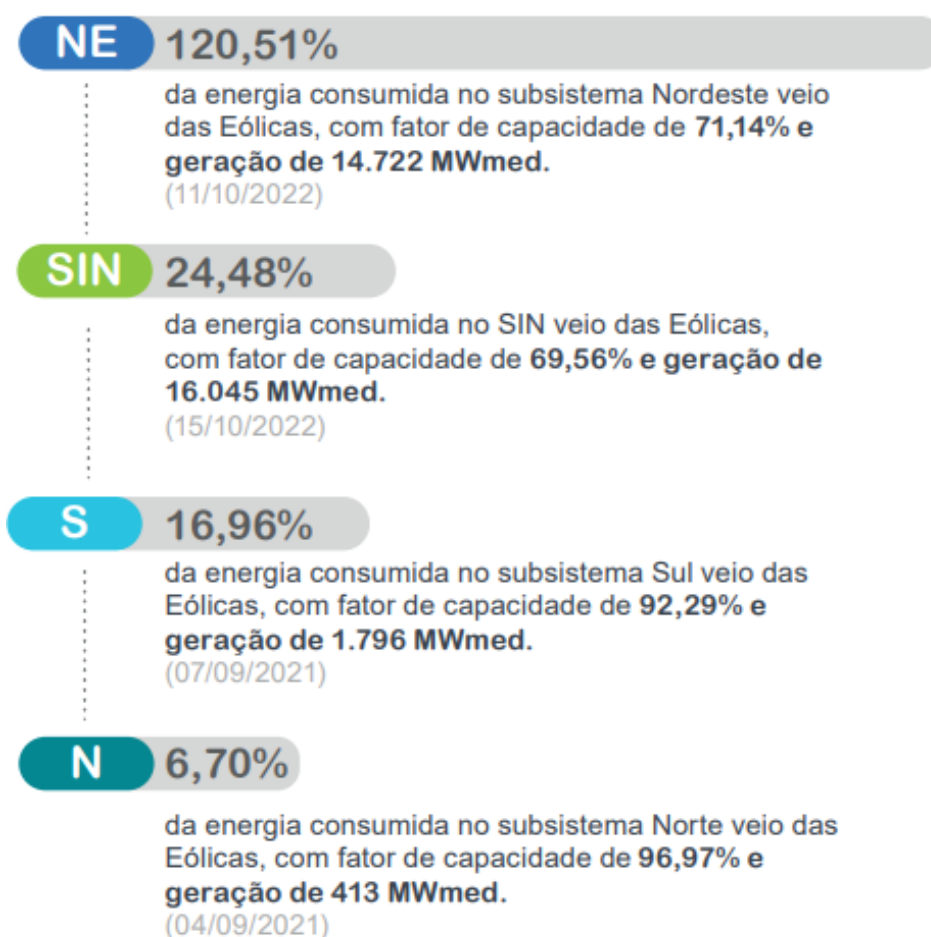
Desta forma, para prever o comportamento do vento em uma determinada região se utiliza de modelos probabilísticos, no caso da energia eólica, um dos mais utilizados segundo Pinto (2018) é a distribuição de Weibull, que oferece uma boa representação da distribuição de velocidades do vento ao longo do tempo, apesar de não se enquadrar em todos locais de estudo. Após tais medições precisas, estima-se se a área será adequada ao empreendimento.

Para a concretização da construção do empreendimento, no Brasil, é necessário realizar um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e um Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) em conformidade com as exigências ambientais, onde o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), regulamenta esse processo através da Resolução CONAMA nº 01/1986 e da Resolução CONAMA nº 279/2001, que consideram os prejuízos ambientais para a instalação dos projetos.

5.4 POTENCIAL EÓLICO NO BRASIL: AVANÇOS E PERSPECTIVAS NA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

Atualmente, o Brasil possui mais de mil parques eólicos distribuídos em doze estados. De acordo com Gouvêa e Silva (2018), a estimativa do potencial da energia eólica no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001 era de 143 GW considerando torres de até 50 metros, e com o desenvolvimento do setor esse potencial pode chegar a 350 GW de capacidade de geração, e, segundo Camargo (2015), tal meta é possível visto a velocidade média dos ventos no Nordeste e no Rio Grande do Sul, tais características são percebidas visto o fator de capacidade das usinas de cada região na figura 5.

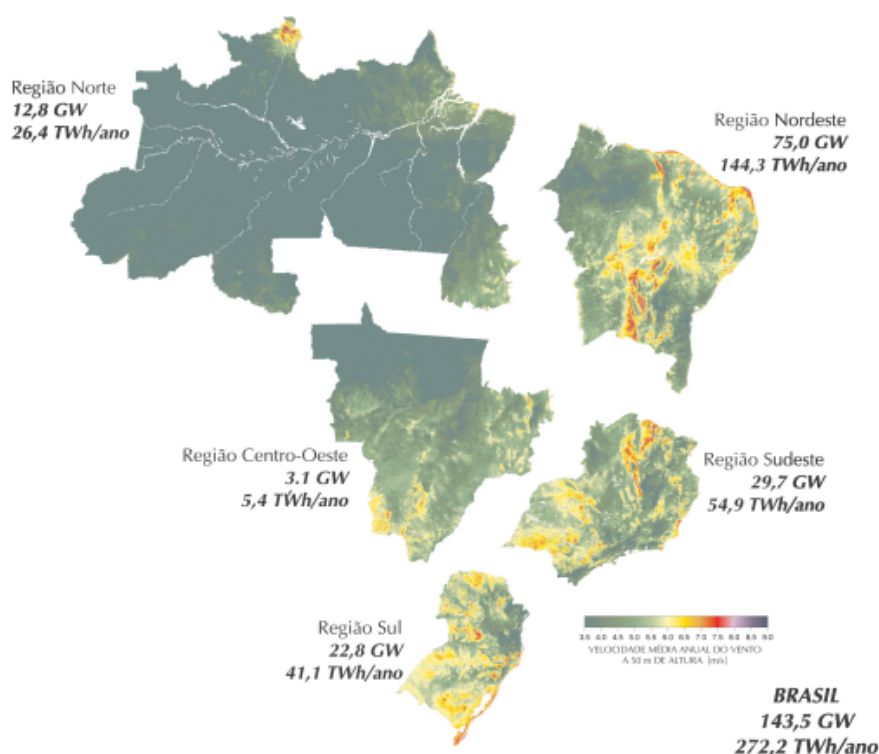
Figura 5 - Recorde de geração eólica por região em base diária.



Fonte: ABEEólica, 2023.

Detentora de maior potencial para a geração eólica, como mostra na figura 6, o Nordeste complementou a geração de energia elétrica das hidrelétricas. Quando a vazão anual do rio São Francisco reduz, a velocidade média dos ventos está intensa, conhecido como “safra dos ventos”, desta forma a eólica complementa o sistema energético, tanto a produção *onshore* e *offshore* e agrega socialmente, visto que através dos investimentos de produção, transmissão e transporte gera desenvolvimento para a região e empregos.

Figura 6 - Potencial eólico estimado para vento médio anual igual ou superior a 7,0 m/s.



Fonte: Amarante *et al.*, 2001.

Segundo o Portal Gov.br (2023), o crescimento do setor foi impulsionado pelos leilões nos últimos 10 anos promovidos pela ANEEL, onde o destaque da produção de energia eólica fica na região Nordeste, demonstrado pela figura 6, com as usinas que alcançaram a marca juntas dos 20 GW: Ventos de Arapuá 1, 2 e 3, Chafariz 4, Filgueira II e Ventos de Santa Martina 11. Além disso, a figura 7 representa o espaçamento das turbinas eólicas espalhadas pelo Brasil, desta forma fica claro como o mercado eólico está em constante expansão.

Figura 7 - Localização das usinas eólicas no Brasil.

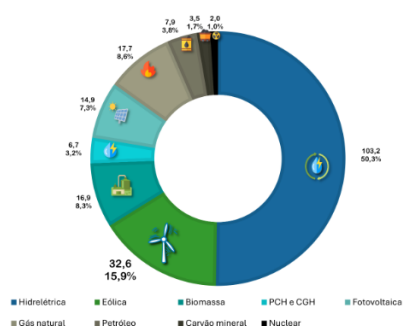
Fonte: Fadigas, 2017.

Atualmente, segundo dados do documentário “Energia Eólica: os bons ventos do Brasil” realizado pela ABEEólica (2024) 16% do país atualmente é abastecido pela energia do vento que vem em momentos de pico, alcançando mais de 47 milhões de residências. Segundo dados da ABEEólica (2024) a capacidade instalada em operação comercial e teste é de 32 GW, contando com 1079 Parques Eólicos e mais de 11.480 aerogeradores em operação distribuídos por 12 estados no Brasil, onde a figura 8 mostra a evolução desta capacidade instalada e como atualmente a energia eólica corresponde à 15,9% da matriz energética brasileira.

Figura 8 - Gráfico da composição da matriz energética atual e da evolução da capacidade instalada atualmente.

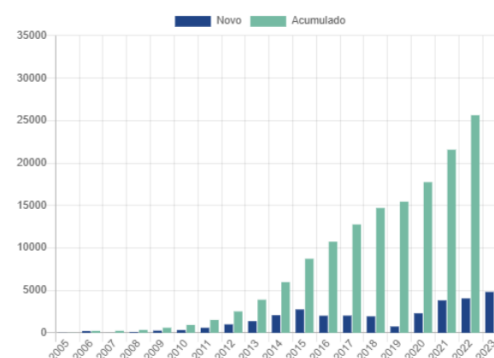
MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

(em GW)



EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA

(em MW)



Fonte: ABEEólica, 2024.

A energia hoje é distribuída para atender demandas de outras regiões do país, e segundo relatório 2024 do Global Wind Energy Council (GWEC), o ano de 2023 marcou um grande progresso da energia eólica *offshore*, onde segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) 96 projetos pediram licença ambiental. Em geral, o Brasil ficou em 3ª posição, atrás dos Estados Unidos e China no Ranking de melhores mercados para instalação em 2023 e em 6º lugar no Ranking Mundial de capacidade instalada de energia eólica (ABEEólica, 2023).

A energia solar e eólica são as principais fontes de energia sustentável em expansão na atualidade da matriz energética brasileira, Thiago Barral destacou no mês de outubro de 2024 o papel fundamental da energia eólica para a segurança energética e sustentabilidade no Brasil, mencionando que essa fonte já representa 16% da matriz elétrica nacional, com uma capacidade instalada de 33 GW (Ministério de Minas e Energia, 2024). Segundo o Boletim Anual da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2023):

“Fechamos o ano de 2023 com 1.027 parques eólicos no Brasil, com 30,45 GW de potência - o que representou um crescimento de 18,79% de potência em relação a dezembro de 2022 quando a capacidade instalada era de 25,63 GW. Em 2023, foram instalados 123 novos parques eólicos, num total de 4,8 GW de nova capacidade, batendo, pelo terceiro ano consecutivo, recorde de instalação eólica no Brasil. O mundo também bateu recorde de instalação com o total de 116,6 GW de capacidade instalada. Fomos o terceiro país que mais instalou eólicas no mundo, repetindo o feito de 2022, e tendo apenas a China e os Estados Unidos à frente, de acordo com os dados do GWEC (Global Wind Energy Council).” (ABEEólica, 2023, p. 2)

5.5 POLÍTICAS, LEILÕES E REGULAMENTAÇÃO DO MERCADO DE ENERGIA EÓLICA

Para que seja feita a integração e distribuição da energia coletada pelos sistemas de transmissão nos parques eólico, o processo é assistido por órgãos reguladores como o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que é responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, assegurando que a energia gerada por usinas eólicas seja incorporada de maneira eficiente à rede elétrica sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

O Sistema Interligado Nacional (SIN) cobre grande parte do Brasil com sua rede integrada de geração e transmissão de energia elétrica, onde conecta usinas eólicas aos centros consumidores. Com a captura da energia cinética do vento pelas turbinas eólicas, as pás acionam um gerador que converte a energia mecânica do vento em eletricidade em corrente alternada, que passará pelas subestações onde terá sua tensão aumentada para ser transmitida pela rede de transmissão coordenada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) gerencia de acordo com a demanda o fluxo de eletricidade entre as regiões do país, e quando a energia transmitida encontra os centros de consumo, a tensão é novamente reduzida em subestações para que a energia possa ser distribuída em níveis seguros, nesse estágio os órgãos responsáveis são as concessionárias de distribuição, como por exemplo a Enel (do italiano, *Ente nazionale per l'energia elettrica*), CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), Cemirim (Cooperativa de Eletrificação e Desenvolvimento da Região de Mogi Mirim).

O uso crescente das fontes renováveis teve seu primeiro passo significativo com a instalação do primeiro aerogerador em 1992, segundo Gouvêa e Silva,

“Quando o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) e a Companhia Energética de Pernambuco (Celpe) firmaram parceria com um instituto dinamarquês para instalar, em Fernando de Noronha/PE, uma turbina de 225 kW. No mesmo ano, foi iniciado o planejamento dos projetos-piloto de Taíba nos municípios de São Gonçalo do Amarante e de Mucuripe, no Ceará, com a instalação de anemômetros. Em 1999, entrou em operação a primeira usina no Ceará, localizada na Praia da Taíba, com capacidade de 5 MW, dez aerogeradores de 44 m de altura e 500 kW instalados (Moreira *et al.*, 2013). Todavia, após essas iniciativas isoladas, a energia eólica no Brasil pouco avançou (Moura; Budke, 2013)”. (Gouvêa; Silva, v. 25, 2018, p. 84)

Depois da crise de energia de 2001 que ocorreu devido à baixa capacidade de geração de energia, dependência de usinas hidrelétricas e um período prolongado de seca que afetou os reservatórios, tal ocorrido expôs a vulnerabilidade do setor elétrico brasileiro, o que gerou a resposta do governo Brasileiro com a criação do Programa Emergencial de Energia Eólica (Proeólica), através da Medida Provisória 2.198-3, em junho de 2001. O governo tinha como objetivo incentivar a diversificação da matriz elétrica e reduzir a dependência das hidrelétricas, promovendo a instalação de projetos de geração eólica, o que abriu caminho para outros projetos de investimento como o Proinfa.

Segundo Gouvêa e Silva (2018) o concreto início das fontes de energia alternativas no Brasil ganhou posição com a “Lei 10.438, de abril de 2002, ano do surgimento do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa)” (Gouvêa; Silva, 2018, v. 25, p.84), que enfrentou dificuldades do risco regulatório e financeiro até que progressivamente, com o amadurecimento das ferramentas regulatórias surgissem os leilões de energia. A partir de 2004 e com o Decreto 5.025/2004 o governo contratou energias renováveis por meio de leilões, que são realizados pela ANEEL com o apoio da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) a fim de otimizar a competitividade entre setores expandindo a geração eólica e com prazo futuro para se obter a energia, com redução de tributos e financiamentos a longo prazo.

Entre 2007 e 2009 a fonte eólica foi se expandindo no mercado quando se apresentou o primeiro leilão exclusivo para fontes alternativas, mas segundo Pinto (2018) pouco benefícios trouxeram para deixar a matriz energética mais limpa, visto que a predominância desses leilões era da matriz térmica. A partir de 2009, com o primeiro leilão exclusivo para a contratação de energia eólica marcou sua entrada

definitiva na matriz energética brasileira e passou a ser negociada nos leilões a preços bem competitivos, onde

“O primeiro leilão (Leilão de Reserva de 2009 – LER 2009) dessa nova fase de comercialização ocorreu em 14 de dezembro de 2009. Nesse evento, dedicado exclusivamente à geração de energia de eólica, foi contratado 1,8 GW, correspondente a 71 projetos ao preço médio de R\$ 148,39/MWh (deságio de 21,49% em relação ao preço-teto de R\$ 189/Wh). A projeção dos investimentos desses projetos foi de aproximadamente R\$ 8 bilhões (a preços de 2009). Os parques foram alocados em cinco estados das regiões Nordeste e Sul: Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Sergipe e Rio Grande do Sul.” (Gouvêa; Silva, 2018, v. 25, p. 86)

Com o objetivo do desenvolvimento de projetos sustentáveis do país e dos leilões, a partir de 2013, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) já participava do credenciamento e financiamentos dos leilões passou a adotar critérios específicos para o setor eólico, com foco em “incentivar maior conteúdo tecnológico a ser produzido no país, estabelecer regras uniformes e transparentes para todos os fabricantes, dinamizar a cadeia de fornecedores” (Gouvêa; Silva, 2018, v.25, p. 86). Segundo o Boletim anual de Geração Eólica (ABEEólica, 2017) o ano de 2017 havia terminado com 12,77 GW de potência instalada e 508 usinas eólicas no total e representava uma participação de 8,10% na matriz energética brasileira, onde comparado com atualmente se apresenta em 2024 uma participação de 15,9% e com uma capacidade instalada de 32 GW (ABEEólica, 2023).

Atualmente, o Brasil está ampliando seu foco em leilões de energias renováveis, incluindo tanto leilões de energia nova quanto de energia existente, com o objetivo de suprir a demanda crescente e incentivar fontes limpas, além da geração de empregos. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2024 foi realizado o leilão de transmissão nº 1/2024 com investimentos estimados em R\$ 18,2 bilhões. O leilão mais recente ocorreu dia 27 de setembro de 2024 e segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) começou com a licitação do Lote 1, vencido pelo Consórcio Engie Brasil Transmissão, onde o lote é composto por linhas de transmissão, construções de subestações e pela continuidade de subestações existentes.

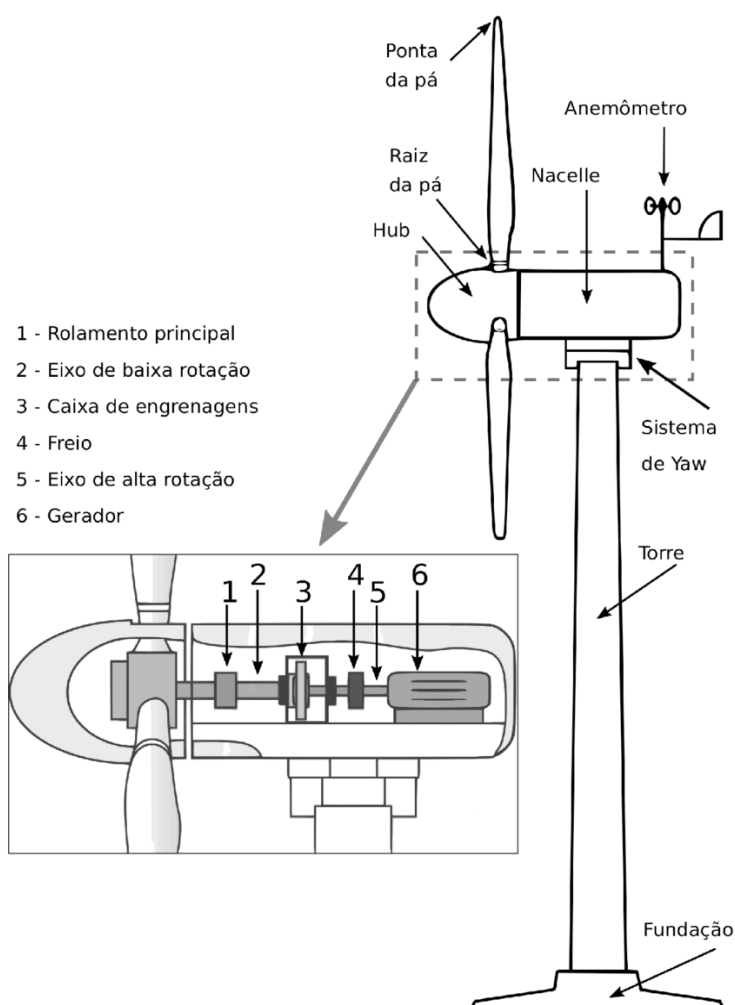
Conforme apresentado por Fadigas (2023), energia eólica pode ser vendida para três tipos diferentes de mercado, o primeiro já citado dos leilões, que são para as distribuidoras de energia que atendem o mercado cativo, onde eles estipulam um teto onde o preço varia em 180 MWh, o mercado livre que são empresas que consomem muita energia e podem escolher diretamente seu fornecedor de energia e o excedente também pode ser comercializado no mercado de curto prazo.

Os leilões de energia no Brasil que são separados em certames de compra de energia nova e existente, baterias, sistemas isolados e linhas de transmissão e são separados em categorias diferentes dependendo do prazo de entrega e para diferentes mercados. Desta forma, para sua ocorrência legal são regulamentados e supervisionados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com a colaboração da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e tais leilões ocorrem como parte da estratégia do governo brasileiro para contratar novas fontes de energia elétrica de forma competitiva e garantir o suprimento energético no longo prazo, dentre elas, a energia eólica.

5.6 O SISTEMA EÓLICO E A TECNOLOGIA DOS AEROGERADORES: ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E AVANÇOS

Os aerogeradores são compostos pela torre, rotor e nacelle. De acordo com a configuração padrão de uma turbina eólica exemplificada na figura 9, o processo de geração de energia inicia-se quando o vento movimenta as pás do rotor efetuando a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação, girando o eixo principal. Este movimento transmite a energia para o gerador através da caixa multiplicadora, que aumenta a velocidade de rotação antes de direcioná-la ao gerador, mas não é necessária em todos os aerogeradores. Dentro da nacelle, que comporta todo o mecanismo do gerador, a eletricidade gerada desce pelo interior da torre através de cabos e segue até as subestações, de onde será direcionada para as redes de transmissão e distribuição.

Figura 9 - Principais partes de uma turbina eólica.



Fonte: Morim, 2019.

O eixo pode ser vertical, como por exemplo o rotor de Savonius e Darrieus, ou horizontal, como rotor hélice, pás múltiplas e holandês. De acordo com Aldabó (2002) os rotores operam entre velocidades de 60 a 100 m/s, com rotações baixas que são aumentadas nas caixas multiplicadoras visto que os geradores conectados às redes possuem rotação típica de 1.800 rpm para 60 Hz, mas se forem em sistemas isolados o uso do gerador síncrono é mais comum, e se for conectado a rede ambos são possíveis, o síncrono ou assíncrono, apresentando-se sistemas do tipo isolado, híbrido e interligados à rede.

Os sistemas de energia eólica são divididos em *onshore* (terrestres), *offshore* (marítimos). Enquanto o *onshore* são a maioria, os *offshore* estão instalados no mar recebendo ventos mais intensos, mas possuem custos mais altos. Além disso, os sistemas híbridos combinam a eólica com outras fontes renováveis, já os sistemas isolados são voltados para pequenos consumidores como em áreas remotas ou urbanas, o que permite adaptar a geração eólica às necessidades locais e às condições geográficas.

Sistemas híbridos combinam diferentes fontes de energia para garantir uma oferta mais estável e atender à demanda em períodos de menor geração eólica, como durante o período de menor vazão do rio São Francisco. Com o avanço das tecnologias de armazenamento de energia, esses sistemas híbridos poderão armazenar com baterias o excedente produzido e fornecê-lo à rede quando a demanda estiver alta, aumentando a eficiência e a estabilidade do sistema energético nacional.

Segundo Aldabó (2002) foram realizadas pelo Centro Brasileiro de Testes de Turbinas Eólicas (CBTTE) pesquisas sobre o comportamento dos ventos e a adaptação das turbinas, tanto que o aerogerador possui um sistema controle de passo da hélice, contador de giros dos cabos, dispositivos de orientação e de controle com sensores de direção e velocidade do vento, que conectados ao anemômetro, biruta, controlador, passo e o freio protegem a integridade do aerogerador e melhoram sua performance através de supervisões remotas. As turbinas eólicas ainda tem modelos que operam com a face contra a direção do vento, chamada de *upwind*, e o contrário, *downwind*.

Construído para sustentar a estrutura, segundo Pinto (2018) existem dois tipos de torres: as tubulares cônicas, construídas em aço ou concreto e as treliçadas, fabricadas em metal, e segundo Aldabó (2002) as torres de pequeno porte são sustentadas por cabos tensores enquanto turbinas de médio e grande porte são auto-portantes. De acordo com Aldabó (2002) os materiais utilizados na fabricação das hélices são: a fibra de vidro, epóxi reforçada com fibra de vidro ou carbono, aramida como reforço e madeira em casos como as de pequeno porte, que se anexam ao cubo, construído “em aço ou liga metálica de alta resistência.” (Pinto, 2018, p. 159).

Adaptados para diferentes condições e locais, os modelos atuais de turbinas eólicas variam em capacidade, eficiência e características técnicas. As turbinas em operação tem em média eficiência entre 30% e 50%, devido às limitações físicas como as variações do vento e a aerodinâmica das pás. A respeito do fator capacidade médio, segundo Manwell, McGowan e Rogers (2010) considerando turbinas mais avançadas e em locais com bons ventos uma média de 40%, mas visto que velocidades mais altas do vento resultam em maior produtividade, a mesma turbina em locais com média dos ventos de 7 m/s e fator de capacidade 29%, produziria mais energia em uma média de vento de 8 m/s, aumentando consequentemente o fator capacidade.

As tecnologias atuais permitem um controle ativo de potência e velocidade, otimizando a produção para as características locais dos ventos e promovendo maior estabilidade e eficiência mesmo em condições variadas, os fabricantes como a GE e a Siemens Gamesa por exemplo, produzem turbinas com diferentes configurações, de 3 a 8 MW para projetos em terra. A fabricação de pás para turbinas eólicas que atendem o mercado *onshore* produzem baseado na capacidade total instalada de certo modelo de turbina e a principal produtora de pás é a Aeris Energy, que fornece pás para a Vestas, Nordex-Acciona, WEG, GE e SGRE. Segundo o ECD:

“Atualmente, a Aeris Energy fornece pás de turbinas eólicas para as empresas Vestas, Nordex-Acciona, WEG, GE e SGRE [32]. Em 2021, a Aeris fabricou pás com mais de 80 metros de comprimento para a Nordex-Acciona, que foram enviadas diretamente do Complexo Portuário do Pecém, no Ceará, onde a fábrica da Aeris Energy possui uma capacidade

de produção anual de 9 GW (2021) [33]. Outros fabricantes de pás também estão localizados no Brasil, atendendo à indústria eólica onshore. A fábrica da LM Wind Power está situada no Complexo Portuário de Suape, no estado de Pernambuco. Recentemente, a LM Wind Power expandiu sua capacidade de produção para pás com mais de 60 metros de comprimento [34], além de firmar uma parceria com a Vestas para a produção das pás da turbina V150-4.2 MW, com início previsto para meados de 2022 [35]. Além disso, o governo da Bahia iniciou recentemente negociações com a empresa chinesa de engenharia Sinoma para estabelecer sua primeira fábrica de pás fora da China, em Camaçari, BA [36].” (ECD, 2022, p. 35, tradução nossa).¹

Visto o alto valor agregado e custo da produção dos aerogeradores, a maioria dos fabricantes instalaram-se nas regiões Nordeste e Sul, de acordo com a figura 10, regiões de alto potencial eólico e logística para transporte dos componentes facilitada. Visto a perspectiva de crescimento do mercado e as condições de financiamento, além dos fabricantes nacionais que firmaram parceria com empresas internacionais como a WEG, as regiões têm atraído interesse internacional, como a Sinoma Wind Power Blade que atualmente produz pás eólicas e instalou sua fábrica em Camaçari, na Bahia (SDE-BA, 2024), e outras empresas chinesas que manifestaram interesse em iniciar operações no Brasil (Rochas, 2011).

¹ “Aeris Energy currently supplies wind turbine blades for Vestas, Nordex-Acciona, WEG, GE and SGRE [32]. In 2021, Aeris manufactured blades over 80 meters in length for Nordex-Acciona that were shipped directly from the Port complex of Pecém, CE, where Aeris Energy’s factory has an annual production capacity of 9 GW (2021) [33]. Other blade manufacturers are also located in Brazil supplying the onshore wind industry. LM Wind Power’s factory is localized in the Port complex of Suape, in the state of Pernambuco. LM Wind Power has recently expanded its production capacity for blades over 60 meters in length [34], besides securing a partnership with Vestas for the production of the V150-4.2 MW turbine blades, to begin in mid-2022 [35]. Also, the government of Bahia has recently started negotiating with the Chinese engineering firm Sinoma to establish their first blade factory outside China in Camaçari, BA [36].”

Figura 10 - Fábrica de naceles, torres e pás, em operação, construção ou planejadas em março de 2012.



Fonte: Simas, 2012

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

A energia eólica tem se consolidado como uma das fontes mais promissoras para a transição energética global, no Brasil, as perspectivas futuras são otimistas, considerando as condições naturais favoráveis como a qualidade dos ventos em várias regiões, especialmente no Nordeste e Sul, que se destacam pela constância e intensidade adequadas para a geração de energia. Além disso, conforme a figura 11 o Brasil ocupa a 6ª posição no Ranking de Capacidade Total Instalada de Energia Eólica *Onshore*, o que ressalta o potencial de crescimento que pode ser explorado nas próximas décadas (ABEEólica, 2024).

Figura 11 - Ranking GWEC 2023 da Capacidade Total Instalada *Onshore*.

Posição	País	Capacidade total instalada <u>onshore</u> (GW)
1	China	403,33
2	USA	150,43
3	Alemanha	61,14
4	Índia	44,74
5	Espanha	30,56
6	Brasil	30,45
7	França	22,00
8	Canadá	16,99
9	Suécia	16,25
10	Reino Unido	14,87

Fonte: ABEEólica, 2024.

Entre os principais avanços tecnológicos que devem impulsionar o setor, estão as inovações nos aerogeradores, detentor do maior custo dentro do projeto de parques eólicos, que vêm se tornando mais eficientes, custando menos e mais silenciosas. Graças aos investimentos realizados no Brasil, a energia eólica registrou um crescimento significativo, e, ao final de 2023, segundo ABEEólica (2024) o Brasil foi o terceiro país que mais instalou eólicas, ficando atrás apenas de China e Estados

Unidos, com mais de 11 mil aerogeradores em operação, além de ser a segunda maior fonte da matriz energética atualmente.

Outra tendência importante é o desenvolvimento da energia eólica *offshore*, onde o Brasil tem um mercado promissor com potencial para elevar significativamente a capacidade instalada de eólica no Brasil. Embora as instalações em alto-mar ainda estejam em estágio inicial no país e sejam de alto custo, a projeção de capacidade eólica *offshore* segundo o estudo da EPE em colaboração com o Banco Mundial apresenta um potencial técnico de mais de 1.200 GW, o que representa quatro vezes a capacidade instalada atual do país. Em outros países, como a Dinamarca, a energia eólica offshore já é uma realidade consolidada, entretanto no Brasil com os investimentos inteligentes em infraestrutura portuária e logística e uma colaboração efetiva entre os setores público e privado é possível que o Brasil tome a vanguarda da transição energética global (EPE, 2024).

O atual vice-presidente do Brasil, Geraldo Alckmin apresentou o NDC brasileiro durante a 29ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática, COP29, onde reiterou os compromissos do Brasil em zerar as emissões líquidas de carbono até 2050 e a redução de emissões de gases do efeito estufa até 67% até 2035. Além disso, para cumprir o as metas da COP28 a indústria deve triplicar seu crescimento para pelo menos 320 GW até 2030, incentivando a descarbonização dos setores produtivos procurando atingir a neutralidade líquida de suas emissões (*net-zero*) até 2050, e se propondo a participar do esforço internacional para a definição de cronogramas para a transição dos combustíveis fósseis nos sistemas energéticos, o que incita o propenso investimento nas fontes renováveis (ONU News, 2024).

Políticas públicas e incentivos como os atuais leilões de energia e o mercado livre de energia continuarão a ser essenciais para garantir que o setor eólico continue a crescer e incentivar a redução de emissões de gases do efeito estufa, estimulando novos investimentos nas fontes de energia renováveis. A energia eólica, com seu impacto ambiental relativamente baixo, será cada vez mais uma escolha estratégica para atender às metas climáticas e garantir segurança energética discutidas na COP29.

Para impulsionar a transição energética e o crescimento da energia eólica até 2030 e além, o GWEC (Global Wind Energy Council) destacou a importância da colaboração entre decisores políticos, investidores e a sociedade civil, sendo essa união necessária para fortalecer áreas principais como investimento, infraestrutura, cadeias de suprimento e consenso público. A indústria eólica, uma das fontes mais promissoras para a transição, enfrenta desafios como gargalos de planejamento, filas de espera para conexão e leilões com estrutura inadequada, que precisam ser superados com políticas bem direcionadas. A estabilidade geopolítica permanece incerta, mas o avanço da energia eólica depende da criação de ambientes de negócios favoráveis e de uma cadeia de suprimentos eficiente, possibilitando um desenvolvimento e crescimento do mercado de energia limpa que contribuirá para o objetivo climático de limitar o aquecimento global a 1,5°C (ABEEólica, 2024).

Para além da característica promissora da fonte eólica, considerando a perspectiva futura da energia eólica no Brasil é necessário o conhecimento dos entraves para a sua expansão. Dentre eles, o transporte rodoviário, que apresenta falhas em infraestrutura de suas vias, base do deslocamento das partes das turbinas eólicas, onde existe uma dificuldade de circulação com trechos esburacados, já tendo ocorrido acidentes e tombamentos na pista, prejudicando os equipamentos. Considerando o transporte, os portos também necessitam de melhorias e investimentos para proporcionar uma melhor logística no transporte dos equipamentos (Barteles, 2015).

Impedimentos também surgem na área de linhas de transmissão, onde as redes de transmissão não são de responsabilidade das mesmas empresas que mantêm o parque eólico, o que impede a distribuição de parte da energia e gera uma dessincronização entre ambas as partes (Barba, 2013). Além dos problemas rodoviários e de linhas de transmissão, ocorrem atrasos jurídicos e esperas para a obtenção de licenças ambientais, o que atrasa a expansão do setor (Barteles, 2015).

A capacidade instalada de energia eólica no Brasil é um fator significativo na transição para fontes de energia renováveis, e para isso, segundo o GWEC (2024) o Brasil planeja aumentar suas linhas de transmissão para 200.000 quilômetros até 2032, com um investimento de aproximadamente \$18 bilhões, apesar de ressaltar a importância de melhorar e tornar mais confiável o sistema elétrico brasileiro.

Ainda segundo o relatório, o Brasil atingiu recordes, com uma capacidade de mais de 30 GW instalados, a matriz hoje é composta 84% de fontes renováveis, demonstrando como o país vem se tornando referência mundial na transição energética mundial.

7 IMPACTOS AMBIENTAIS E SOCIAIS

O setor energético é responsável por boa parte de problemas ecológicos que ocorrem no mundo, como por exemplo a chuva ácida, em contrapartida a energia eólica se apresenta como uma fonte com menores impactos ambientais, com a ausência de emissões de gases de efeito estufa durante a operação utilizando-se apenas da energia do vento, trazendo efeitos positivos para o ambiente e a população, como desenvolvimento regional e rural e a criação de oportunidades de emprego. As empresas proprietárias dos parques eólicos possuem políticas e programas que beneficiam a população, sendo que, “todas as famílias assentadas recebem benefício financeiro referente à produção mensal energética dos aerogeradores, via associação de moradores, por meio do repasse de 1,5% sobre a produção bruta mensal de cada aerogerador” (Brannstrom *et al.*, 2018, v. 63, p. 19).

Segundo o documentário “Energia Eólica: os bons ventos do Brasil” realizado pela ABBEólica (2024), cidades como Umburanas, Santa Luzia e OuroLândia são exemplos de cidades que foram impactadas positivamente pela chegada dos parques eólicos. Em resumo, com melhores infraestruturas, cursos, palestras resultaram em crescimento do IDH e do PIB, redução do êxodo rural, marcando mais de 300 mil postos de trabalho, com um movimento de mais de 300 bilhões na economia brasileira entre 2011 e 2020.

Como fator ético social, segundo Aldabó (2002) a central de geração de energia tem o dever de contribuir com o desenvolvimento da região, com o fornecimento de energia local, infraestrutura adequada e apoios culturais e sociais. A produção de energia limpa deve ir além da não emissão de gases poluentes procurando uma harmonia na exploração dos recursos e o atendimento às necessidades humanas, minimizando poluentes e impactos durante o desenvolvimento da produção de energia, tornando-os mais eficientes e protegendo o meio ambiente.

Os aerogeradores e os parques eólicos atraem turistas, que estimulam a economia local nos centros de visitas como em Osório. Apesar disso, segundo Barra e Teixeira (2022) o ruído das turbinas, de baixa frequência, causam desconforto e doenças como depressão e insônia visto seu funcionamento intermitente, as áreas são inutilizadas próximo dos aerogeradores por segurança e são impedidos de

envolvimentos amorosos, tanto que popularmente se conhece como “filho dos ventos” crianças geradas da relação de operários e mulheres locais.

Segundo Costa et al. (2024) visto que nos leilões seguem vencedoras as propostas com fixação dos menores valores para a produção energética, acaba influenciando diretamente na exploração dos proprietários rurais, dado que este cenário se dá através de contratos de arrendamento com médios e pequenos proprietários oferecendo valores baixos para os moradores, o que gera uma discussão sobre a legalidade desses negócios que interferem na qualidade de vida da população, visto que da mesma forma que trazem empregos criam problemáticas diversas, dentre elas relacionadas à saúde pública e impactos ambientais.

O mercado de energia eólica representa um fenômeno costeiro, visto que “46% das turbinas eólicas estão localizadas na faixa até 25 km de distância do litoral e 26% distam até 5 km da costa brasileira” (Brannstrom *et al.*, 2018, v. 63, p. 3), e os poucos estudos sobre estes impactos ressaltam como tais locais, que foram secularmente ocupados por comunidades tradicionais e em ecossistemas diferentes, como dunas, praias e manguezais são tratados como obstáculos ao progresso do mercado energético (Maireles, 2011).

Eventuais impactos ocorrem, segundo Fadigas (2017), predominantemente durante as fases de construção e operação da energia eólica. Entre eles, destacam-se mudanças na paisagem, destruição da cobertura vegetal, perturbações e alterações no cotidiano da fauna local, ruído gerado por maquinários pesados durante a construção, transporte de equipamentos, além do ruído proveniente da movimentação mecânica e aerodinâmica das pás. Também podem ocorrer alterações nos solos e nos recursos hídricos da região. No âmbito social, incluem-se as receitas locais provenientes de contratos de arrendamento, a geração de empregos para mão de obra local e especializada, além de possíveis danos a patrimônios existentes nas áreas destinadas à construção do parque.

O grande benefício desta fonte de energia renovável é que ela se utiliza do vento, um recurso inesgotável no qual se destaca como uma solução estratégica para mitigar os impactos ambientais associados à queima de combustíveis fósseis. No

entanto, como outras fontes de energia, sua produção está intrinsecamente ligada às consequências da exploração de recursos naturais para a fabricação de seus componentes e da sua infraestrutura, o que exige regulamentação na extração de recursos para minérios compositores das turbinas e no gerenciamento de resíduos, buscando equilibrar a demanda crescente por energia limpa com a preservação ambiental para não comprometer ecossistemas existentes.

De acordo com Vale (2022) o desenvolvimento dessa fonte trás inúmeros benefícios para o país, onde segundo dados apresentados “a energia oriunda de aerogeradores evitou a emissão de 34,4 milhões de toneladas de CO₂, o equivalente ao que 34 milhões de carros de passeio” (Vale, 2022), acrescenta ainda que as cidades que possuem os parques apresentaram crescimento real do PIB e do IDHM, graças à “geração de empregos, aumento da arrecadação dos municípios, melhoria dos serviços públicos e expansão dos canais logísticos.” (Vale, 2022).

Segundo Tolmasquim (2004) tais impactos podem ser significativamente minimizados através de estudos, planejamento adequado e uso de inovações tecnológicas. O mais importante benefício oferecido ao meio ambiente pela energia eólica é que não emite gases do efeito estufa, pauta que mobilizou diversos países nos últimos anos em busca de soluções. Comparada à outras fontes, a energia eólica oferece riscos ambientais e sociais passíveis de mudança através do planejamentos privados e públicos, onde é importante citar as considerações a respeito das críticas à energia eólica segundo Hermann Scheer:

“Não existe forma de conversão energética que consuma menos paisagem do que a energia eólica, o que torna ridícula uma repreensão de tal natureza. O argumento de proteção aos pássaros também não se impõe: na Dinamarca, não morreram sequer 10 pássaros moídos nos rotores, milhares de pássaros morrem todavia nas redes de alta tensão, e são expulsos pela poluição do ar e pelas alterações climáticas, inerentes ao consumo convencional de energia. Por volta de 1900 havia na Costa do Mar do Norte, entre Holanda e Dinamarca, cerca de 100 mil Moinhos de Vento e, somente no interior da Dinamarca, eram 30 mil. Eles são ditos, se ainda existentes, como parte integrante da paisagem natural. Por que isto não poderá ser ainda possível? Os argumentos de proteção da natureza e da paisagem contra a energia eólica são baratos, forjados; entretanto, ele se espalham com exaltação, sobre os aplausos dos grandes fornecedores de energia, que - eles, causadores do *smog* - cunharam a expressão ‘poluição estética do meio ambiente’ ou falam de perturbação acústica, embora um grande aerogerador não produza mais ruído do que um caminhão. As dinamarquesas, que constituem o melhor exemplo, rebatem qualquer

argumento estúpido contra a energia eólica.” (Scheer, 1995, apud Tolmasquim, 2004, p. 196).

Segundo Venturi (2021) os recursos naturais permitem o desenvolvimento das sociedades, mas apesar disso eles sendo usados em desequilíbrio podem acarretar em diversos problemas de cunho contínuos de âmbito político, social, econômico e ambiental, o que se pode perceber com todos os impactos descritos acima.

Além disso, “uma das maiores consequências da nossa exploração dos recursos naturais é que nós humanos estamos interferindo com o balanço de alguns ciclos geoquímicos naturais” (Craig; Vaughan; Skinner, 1998, p. 18). Os autores ressaltam que essa interferência ocorre devido a atividades humanas diversas, como a exploração de recursos e mudanças no uso da terra, desta forma exemplificam como o ciclo do carbono está diretamente ligado às mudanças climáticas, uma das maiores preocupações ambientais atuais.

Portanto, atingimos no mundo atual um uso predatório dos recursos, sejam eles renováveis ou não, que está esgotando, poluindo e criando um desequilíbrio ambiental, alterando ciclos biogeoquímicos associados a crescentes desigualdades sociais (Ribeiro, 2019), no entanto, visto que a produção elétrica é necessária, a fonte eólica se mostra como uma solução com baixos impactos capaz de mitigar os danos futuros dessa exploração energética do território.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo reunir e apresentar a síntese de uma seleção de bibliografias diversas a respeito do tema da energia eólica, proporcionando ao leitor uma revisão de um conjunto diversificado de estudos e visões a respeito do tema por meio de fontes diferentes como artigos, livros, citações e notícias as quais expressam em seu conjunto a relevância do tema atualmente.

Além disso, buscou-se analisar o panorama nacional da energia eólica por meio de dados apresentados por organizações especializadas, que continuamente monitoram as ferramentas e processos associados à produção dessa energia. Esta revisão também incluiu discussões de diversos autores sobre os aspectos físicos, econômicos e políticos envolvidos, abordando desde as características atmosféricas e a estrutura dos aerogeradores até os mecanismos de leilões, financiamentos e os impactos socioambientais decorrentes da implementação desta tecnologia.

Após a realização deste trabalho, percebe-se que diversos pesquisadores e estudos destacam a importância da energia eólica no Brasil, não apenas como uma fonte sustentável de geração elétrica, mas também como um elemento essencial para o equilíbrio energético do país, em conjunto ou não com outras fontes, como visto sobre a vazão do Rio São Francisco, contribuindo significativamente em períodos de ausência de chuva, na redução das emissões de gases de efeito estufa e para a mudança, a longo prazo, do panorama da matrizes energética nacional, em vista de um cenário mundial e nacional cada vez baseado em fontes renováveis.

Apesar de já termos mais de 30 GW de potencial eólico instalado no país, tal quantidade corresponde a uma pequena parte do que estudos apontam do potencial total *onshore* e *offshore* que o Brasil tem a capacidade de atingir, mostrando que o futuro da energia eólica no Brasil é altamente promissor, e que, aliado a outras fontes energéticas limpas, ocupará um crescente espaço no mercado energético brasileiro.

Segundo dados apresentados pela ABBEólica (2024), os investimentos que o Brasil tem recebido para este mercado ultrapassam mais de 48 bilhões, atingindo mais de 47 milhões de residências, gerando milhares de empregos e evitando que assim,

mais de 30 milhões de toneladas de CO₂ fossem dissipadas, mostrando a relevância dessa indústria energética atualmente.

Impulsionada pela qualidade dos ventos em certas regiões, a energia eólica tem se consolidado como a segunda fonte mais importante de geração de energia limpa no Brasil. O ascendente desenvolvimento tecnológico dos aerogeradores de forma que se otimize sua produtividade, em conjunto com outros fatores, como a redução de custos, o crescimento dos mercados e de investimentos nacionais e internacionais, mostram que as oportunidades do setor se encontram em constante evolução.

Embora se trate de uma tecnologia milenar, com registros de sua utilização desde 200 a.C. na Pérsia, além dos desafios a respeito da tecnologia dos aerogeradores, os desafios futuros desse setor também incluem a demanda pela criação de ambientes de negócios favoráveis e uma cadeia de suprimentos eficiente. Esses fatores são fundamentais para viabilizar melhorias e inovações nos aerogeradores, otimizando sua produtividade e permitindo a exploração de áreas e terrenos mais complexos, ampliando a capacidade de geração dessa fonte renovável.

Além disso, políticas públicas e incentivos, como os leilões de energia e o mercado livre, continuarão desempenhando um papel crucial no fortalecimento do setor. Tais ações impulsionam o crescimento da energia eólica, contribuindo para a promoção de novos investimentos em energias renováveis, garantindo uma mudança mais expressiva da matriz energética brasileira.

Positivamente, o desenvolvimento desta fonte permite uma aproximação do Brasil com seus compromissos ambientais estabelecidos na COP29, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa ao reduzir o uso de combustíveis fósseis, se tornando menos dependente desta fonte, oferecendo benefícios para além da mudança da matriz energética, como a geração de empregos e desenvolvimento regional, podendo se tornar uma grande influência na transição energética mundial.

Além de suas vantagens, detalhados durante o desenvolvimento deste trabalho, destacam-se as desigualdades sociais geradas pela exploração dessa fonte, onde a mesma perpetua a exploração da população local por meio de contratos injustos de arrendamento das terras, concentrando o lucro nas mãos de grandes empresas, afugenta e desloca comunidades tradicionais e povos originários que são postos em

posição de obstáculo ao avanço tecnológico. Ademais, os impactos da exploração energética afetam tanto o meio ambiente quanto a sociedade, gerando, em diferentes níveis, revoltas e conflitos pelo uso do território.

A respeito dos impactos ambientais e sociais, a construção desses empreendimentos altera a paisagem e a cobertura vegetal, provoca ruídos que afetam a fauna e as populações humanas próximas, entre outros aspectos abordados durante o trabalho, onde foi identificada a necessidade de uma maior quantidade de estudos referentes aos impactos gerados por essa fonte de energia, que analisem através do viés do campesinato brasileiro, do lugar-mercadoria procurando explorar as relações estabelecidas no espaço vivido, sendo estas, assim, sugestões para futuros trabalhos e pesquisas.

Esses aspectos ressaltam que, mesmo uma fonte tida como sustentável, como a energia eólica, esta pode reproduzir dinâmicas de exploração, como os contratos de arrendamento injustos e depredação de fauna e flora. Portanto, torna-se indispensável a criação de mais estudos e a aplicação de regulamentações melhores planejadas, além da adoção de processos que integrem o desenvolvimento energético à justiça ambiental e social, reduzindo conflitos de âmbito social e ambiental

Além disso, apesar das incertezas no meio acadêmico sobre a existência dos impactos das mudanças climáticas, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) aponta com 90% de probabilidade que essas alterações sejam causadas pela ação humana (Ross *et al.*, 2019). Isso reflete o modo como a sociedade moderna, embora incapaz de subjugar a natureza, aprendeu a redistribuir os encargos dos prejuízos ambientais criados pela mesma, que têm consequências profundas sobre a economia global, as atividades agrícolas e a geração de energia, transformando a vida como a conhecemos.

Diante desse panorama, é essencial reconhecer que o modelo energético atual, baseado no consumo crescente e no esgotamento de recursos naturais como petróleo e gás natural, é insustentável a longo prazo, tanto no mundo quanto no Brasil. A análise feita dos dados contemporâneos sobre a geração de energia eólica, evidencia a urgente necessidade de um planejamento energético limpo e sustentável

que regule a ação humana, legitimada pelo interesse público, no qual se equilibre a preservação ambiental com as demandas sociais e econômicas, alterando a ordem social e produtiva do sistema como o conhecemos. Somente com estratégias mais integradas e sustentáveis feitas pelas instâncias do poder coletivo, “seja por meio do Estado, seja por meio de acordos internacionais estabelecidos em foros multilaterais” (Ribeiro, 2019, p. 249), será possível mitigar os impactos da exploração energética e garantir um futuro mais equilibrado para as próximas gerações.

REFERÊNCIAS

ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

ABEEÓLICA: Associação Brasileira de Energia Eólica. Boletim anual de geração 2017. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2018/04/Boletim-Anual-de-Geracao2017.pdf/>>. Acesso em: 22 maio 2024.

ABEEÓLICA: Associação Brasileira de Energia Eólica. Boletim anual de geração, 2023. Disponível em: Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2024/07/424_ABEEOLICA_BOLETIM-ANUAL-2024_DIGITAL_PT_V3.pdf/>. Acesso em: 24 nov. 2024

ABEEólica. **Energia Eólica: os bons ventos do Brasil.** InfoVento nº 30. 2023. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/03/424_ABEEOLICA_INFOVENTO_N30_MARCO_PT_V3.pdf/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Brasil permanece em 6º lugar no ranking mundial de energia eólica.** 2024. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/brasil-permanece-em-6o-lugar-no-ranking-mundial-de-energia-eolica/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. **Ventos da Transformação - Efeitos multiplicadores da fonte eólica no Brasil - versão completa.** Youtube. 1 de novembro de 2024. 3min38s. Disponível em: <https://youtu.be/zzRcf-HhrV4?si=K115yE5r_V2hkO6Z/>. Acesso em: 25 nov. 2024.

ALDABÓ, Ricardo. **Energia eólica.** São Paulo: Artliber, 2002. 156 p.

AMARANTE, O. A. C; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. de. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Consórcio Engie Brasil Transmissão vence lote 1 do Leilão de Transmissão nº 2/2024.** Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/consorcio-engie-brasil-transmissao-vence-lote-1-do-leilao-de-transmissao-no-2-2024/>>. Acesso em: 5 nov. 2024.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. Revisão de Suely Bastos. Coordenação de Antonio Christofolletti. 332 p.

BARRA, Matheus Martins; TEIXEIRA, Wesley Carminati. **Energia eólica: panorama atual e perspectivas futuras.** *Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica*, v. 4, n. 1, 2022.

BARBA, Mariana Della. **Série de entraves limita uso da energia eólica no Brasil**. 2013. Disponível em:
<https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/06/130604_energia_eolica_mdb#:~:text=Falta%20de%20planejamento%20a%20longo,na%20%C3%A1rea%20de%20energia%20renov%C3%A1veis/> . Acesso em 15 nov. 2024.

BARTELES, Rodrigo Alves. **Matriz Energética Brasileira e a Energia Eólica**. São Paulo, 2015. Disponível em:
<<https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/c6600e2c-c7ec-4930-a260-78d45a8cab3/RODRIGO%20ALVES%20BARTELES%202015.pdf/>> Acesso em 15 nov. 2024.

BRANNSTROM, Christian; GORAYEB, Adryane; SOUZA, Wallason Farias de; LEITE, Nicolly Santos; CHAVES, Leilane Oliveira; GUIMARÃES, Rodrigo; FILGUEIRA GÊ, Dweynny Rodrigues. **Perspectivas geográficas nas transformações do litoral brasileiro pela energia eólica**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 63, n. 1, p. 03-28, jan./jun. 2018. Disponível em:
<https://www.researchgate.net/publication/330571844_Perspectivas_geograficas_nas_transformacoes_do_litoral_brasileiro_pela_energia_eolica/> . Acesso em: 5 nov. 2024.

CAMARGO, F. **Desafios e oportunidades para a energia eólica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. WWF-Brasil, 2015. Brasília. Disponível em:
<<https://www.wwf.org.br/?46523/desafios-e-oportunidades-para-a-energia-eolica-no-brasil-recomendacoes-para-politicas-publicas/>> . Acesso em: 2 nov. de 2024.

CARLOS, Ana Fani Alessandri *et al.* (org.). **A Necessidade da Geografia**. São Paulo: Contexto. 2019. 256 p.

CAVALCANTI, et al. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 464 p.

CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Brasília. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. 2001. Brasília. Disponível em:
<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf/> . Acesso em: 24 nov. 2024

CNN BRASIL. **Brasil registra recorde na produção de energia renovável em 2023, diz estudo**. CNN Brasil, São Paulo, 16 nov. 2023. Disponível em:
<<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/brasil-registra-recorde-na-producao-de-energia-renovavel-em-2023-diz-estudo/>> . Acesso em: 20 nov. 2024.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 01, de 23/01/1986**. Dispõe sobre critérios básicos para o EIA/RIMA. Brasília, 1986. Disponível em:
<https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745/> . Acesso em: 24 nov. 2024.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 01, de 27/06/2001**. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em:

<<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=139361>>. Acesso em: 24 nov. 2024.

COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; MAIA, Fernando Joaquim Ferreira; BASSO, Ana Paula; TRALDI, Mariana; FARIAS, Talden. **Direito da energia, transição energética e mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Letra Capital Editora, 2024. 220 p.

CRAIG, James R.; VAUGHAN, David J.; SKINNER, Brain J. **Resources Of The Earth: origin, use, and environmental impact**. 3. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 1998. 520 p.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Mecanismos de Geração dos Ventos**. 2017. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=3/>. Acesso em: 21 nov. 2024.

DUTRA, Ricardo. **Energia eólica: princípios e tecnologia**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2008.

ECD. Energy Cluster Denmark. **Supply Chain and Port Infrastructure Assessment for Bottom-Fixed Offshore Wind in Ceará, Brazil**. Copenhagen: Energy Cluster Denmark, 2022. Disponível em: <https://www.energycluster.dk/wp-content/uploads/2023/01/INWBD_Supply-Chain-and-Port-Infrastructure-for-Bottom-Fixed-Offshore-Wind-In-Ceara-Brazil_VerFinal-Oct22.pdf>. Acesso em 23, nov. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **EPE com parceria do Grupo Banco Mundial enviaram o estudo para o desenvolvimento de eólicas offshore no Brasil para o MME**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-com-parceria-do-grupo-banco-mundial-enviaram-o-estudo-para-o-desenvolvimento-de-eolicas-offshore-no-brasil-para-o-mme/>>. Acesso em: 14 nov. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Leilão de Transmissão nº 1/2024 é realizado com deságio médio de 40,78% e contrata todos os lotes**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/leilao-de-transmissao-n-1-2024-e-realizado-com-desagio-medio-de-40-78-e-contrata-todos-os-lotes#:~:text=Not%C3%ADcias-,Leil%C3%A3o%20de%20Transmiss%C3%A3o%20n%C2%BA%201%2F2024%20%C3%A9%20realizado%20com%20des%C3%A1gio,e%20contrata%20todos%20os%20lotes&text=Foi%20realizado%20hoje%2C%20dia%2028,R%24%2018%2C%20bilh%C3%B5es/>>. Acesso em: 5 nov. 2024.

FADIGAS, Eliane A. F. A. Energia Eólica. In: MOREIRA, José R. S. *et al.* (org.). **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. 1 ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2017. cap. 8, p. 160-186.

_____, Eliane A. F. A. **Energia Eólica**. Série Sustentabilidade. 1. ed. São Paulo: Ed. Manole, 2011. 356 p.

_____, Eliane A. F. A. **Energia Eólica: Fundamentos**. YouTube.com: Escola Politécnica da USP. 20 set. 2023 2h33min35s. Disponível em: Disponível em: <<https://youtu.be/YUQw-Eh1Sjw?si=e6JigUYrCRxLBwpZ/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

FEITOSA, Everaldo A. N. et al. **Panorama do potencial eólico no Brasil**. Brasília: ANEEL, 2003.

GOLDEMBERG, José. **Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979. 1 v.

_____, José; VILLANUEVA, Luz Dondero. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**. Tradução: André Koch. 2. ed. rev. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003. 234 p.

GOUVÊA, Renato Luiz Proença de; SILVA, Paulo Azzi da. **Desenvolvimento do setor eólico no Brasil**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, v. 25, n. 49, p. 81-118, jun. 2018.

GROTZINGER, John; JORDAN, Tom. **Para entender a Terra**. Tradução: Iuri Duquia Abreu. Revisão técnica: Rualdo Menegat. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 738 p.

GUTIERREZ, F. **'Bom de vento', Nordeste concentra 93% de toda energia eólica do Brasil**. 2024. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2024/08/09/bom-de-vento-nordeste-concentra-93-de-toda-energia-eolica-do-brasil.htm/>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

GWEC. **Global Wind Report 2024**. Bruxelas: Global Wind Energy Council, 2024. Disponível em: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2024/04/GWR-2024_digital-version_final-1.pdf/>. Acesso em: 15 nov. 2024.

LOMBARDI, Paulo. **Geração eólica: o que podemos aprender com a história recente?** YouTube.com: Bem a Tempo! 30 ago. 2023 1h14min55s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dlbjQLrp-mE/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

MANWELL, James F.; MCGOWAN, Jon G.; ROGERS, Anthony L. **Wind Energy Explained: Theory, Design and Application**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

MEIRELES, A. J. A. **Danos socioambientais originados pelas usinas eólicas nos campos de dunas no Nordeste brasileiro e critérios para definição de alternativas locais**. Confins, v. 11, online, 2011.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Geração eólica ultrapassa os 20 GW de capacidade instalada no Brasil**. Portal Gov.br, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/11/geracao->

eolica-ultrapassa-os-20-gw-de-capacidade-instalada-no-brasil/>. Acesso em: 2 nov. 2024.

MME. Ministério de Minas e Energia. **MME destaca importância do setor industrial eólico para desenvolvimento do país**. Portal Gov.br, 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-destaca-importancia-do-setor-industrial-eolico-para-desenvolvimento-do-pais/>>. Acesso em: 02 de nov. de 2024.

MOREIRA, José R. S. et al. (org.). **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. 1. ed. - Rio de Janeiro: LTC. 2017.

MORIM, Ricardo Bortoluzzi. **Controle individual de passo para turbinas eólicas utilizando controlador adaptativo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Santa Maria, 2019. 146 f. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338583990_INDIVIDUAL_PITCH_CONTROL_FOR_WIND_TURBINES_USING_ADAPTIVE_CONTROLLER/>. Acesso em: 17 nov. 2024.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Geração eólica no Nordeste bate recorde e atende 152,8% da demanda**. Portal do ONS, 2024. Disponível em: <<https://ons.org.br/>>. Acesso em: 02 de nov. de 2024.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Sobre o ONS**. Portal de Dados Abertos do ONS, 2021. Disponível em: <<https://dados.ons.org.br/organization/about/ons/>>. Acesso em: 3 nov. 2024.

ONU NEWS. **Brasil precisa “urgentemente” zerar emissões líquidas para evitar aquecimento global acima de 1,5 grau, dizem especialistas em clima**. 2024. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2024/11/1840686/>>. Acesso em: 24 nov. 2024.

PINTO, Milton Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 392 p.

_____, Milton Oliveira. **Fundamentos de energia eólica**. [Reimpr]. Rio de Janeiro: LTC, 2018. 368 p.

RAFFESTIN, Claude. **Por uma geografia do poder**. São Paulo: Ática, 1993. 269 p., il. (Temas, 29. Geografia e política). In: TRALDI, Mariana; RODRIGUES, Arlete Moysés. *Acumulação por despossessão*. Curitiba: Appris Editora, 2022, 313 p.

RIBEIRO, Wagner Ribeiro. Interesse Público e Regulamentação Ambiental. In: CARLOS, Ana Fani Alessandri *et al.* (org.). **A Necessidade da Geografia**. São Paulo: Contexto. 2019. p. 240-250.

ROCHAS, Anna Flávia. **Empresas chinesas de aerogeradores planejam fábricas no Brasil**. O Globo, Rio de Janeiro, 09 nov. 2011. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/empresas-chinesas-de-aerogeradores-planejam-fabricas-no-brasil-4064821/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

ROSS, Jurandyr L. S. **Geografia do Brasil**. 6. ed. São Paulo: EDUSP, 2019. 552 p.

SDE-BA. Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado da Bahia. **Sinoma Blade celebra 39 pás eólicas produzidas com DNA**

Camaçariense. 2024. Disponível em:

<<http://www.sde.ba.gov.br/index.php/2024/10/25/sinoma-blade-celebra-39-pas-eolica-s-produzidas-com-dna-camacariense/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.

SIMAS, Moana S. **Energia eólica e desenvolvimento sustentável no Brasil:**

estimativa da geração de empregos por meio de uma matriz insumo-produto ampliada. Dissertação (Mestrado em Ciências) – EP/ FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Energia, São Paulo, 2012. 220f.

Disponível em:

<<https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2017/07/energia-eolica-e-desenvolvimento-sustentavel-no-Brasil-estimativa-da-geracao-de-empregos-por-meio-de-uma-matriz-insumo-produto-ampliada-pdf.pdf>> Acesso em: 24 nov. 2024.

SOUSA, Angélica Silva de; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; ALVES, Laís Hilário. **A Pesquisa Bibliográfica: princípios e fundamentos**. Cadernos da Fucamp, v.20, 2021, p.64-83.

STEINKE, Ercília T.. **Climatologia fácil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 144 p.

TEIXEIRA, Wilson *et al.* (Org.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 623 p.

TOLMASQUIM, Maurício Tiommo. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2004. 487 p.

TRALDI, Mariana; RODRIGUES, Arlete Moysés. **Acumulação por despossessão**. Curitiba: Appris Editora, 2022, 313 p.

VALE, Thaís Freitas do. **Energia eólica no Brasil e os fatores que estimulam a geração**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em:

<<https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/215b73af-bceb-48af-9624-478d4a10137e/ThaisFreitasdoVale.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

VENTURI, Luis Antonio Bittar. **Recursos Naturais do Brasil**. 1. ed. Curitiba: Editora e Livraria Appis Ltda, 2021. 325 p.

YNOUE, Rita Yuri et al. (Org.). **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 184 p.

96 Projetos de complexos eólicos offshore aguardam regulamentação. Portal Gov.br. Disponível em:

<<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/noticias/2024/96-projetos-de-complexos-eolicos-offshore-aguardam-regulamentacao/>>. Acesso em: 25 nov. 2024.