



UNILAB

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
BACHARELADO EM ENGENHARIAS DE ENERGIAS**

AMÉLIA ROSA MENDES

**OS IMPACTOS AMBIENTAIS DA GERAÇÃO EÓLICA: O CASO DA CENTRAL
EÓLICA SANTA MÔNICA**

ACARAPE

2023

AMÉLIA ROSA MENDES

**OS IMPACTOS AMBIENTAIS DA GERAÇÃO EÓLICA: O CASO DA CENTRAL
EÓLICA SANTA MÔNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado para banca examinadora como requisito parcial à conclusão do curso de Bacharelato em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Rejane Felix Pereira.

ACARAPE

2023

AMÉLIA ROSA MENDES

**OS IMPACTOS AMBIENTAIS DA GERAÇÃO EÓLICA: O CASO DA CENTRAL
EÓLICA SANTA MÔNICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para conclusão do curso de Bacharelato em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rejane Felix Pereira (Orientadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

Profa. Dra. Juliana Alencar Firmo de Araujo

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira - UNILAB

Eduardo de Sousa Lemos

Procurador de Ministério Público junto ao TCE

Ao meu tio, minha mãe, meu irmãozinho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus Pai, pelo Dom da vida e a força de superar as dificuldades e continuar a lutar pelos meus sonhos.

Dedico este trabalho ao meu tio Luís Có e à minha mãe Ana Maria Djú, por serem a base de tudo que eu sou hoje e por estarem sempre ao meu lado em todas as situações felizes e difíceis.

Ao meu irmãozinho Nicolau N'dael Nanque de seis aninhos, que quando estava vindo para cá, ele só tinha um aninho. Tive que me ausentar do crescimento dele ao longo deste percurso, e uso isso como um incentivo para continuar a lutar.

Aos meus primos, sobrinhos, meu pai, meu padrasto, meus tios e toda minha família em geral pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À UNILAB, por ter me dado a oportunidade de estudar e ao instituto de Engenharia de Energias (IEDS).

Agradeço à minha orientadora na qualidade da Prof.^a Dr.^a Rejane Felix Pereira, por todo suporte, orientação e por ser uma inspiração como uma mulher na engenharia.

Meus agradecimentos a todos os professores que de forma direta acompanharam a minha jornada enquanto universitária, foram completamente importantes e essenciais na minha formação como um profissional, e que proporcionaram um bom ensino e excelente aprendizado.

Aos meus colegas do curso, meus amigos com quem convivi ao longo desses anos por estarem presentes todos os dias, dividindo a vida comigo e por serem o meu porto seguro, tenho certeza de que estaremos juntos sempre.

RESUMO

Os impactos provocados pela geração e transmissão de energia eólica carecem de mais estudos, pois, embora essa fonte de geração de energia seja considerada limpa, seus impactos adversos podem influenciar problemas sociais e ambientais, sobretudo, nas zonas que são instaladas as usinas eólicas. Mundialmente, a energia eólica é cada vez mais competitiva devido à economia de escala do setor e, conseqüentemente, o barramento de preços dos seus equipamentos. O Brasil possui um imenso potencial de geração de energia eólica, o Norte e o Nordeste são regiões com maior potencial, principalmente, na costa litorânea na qual há ventos constantes e fortes durante todo o ano. O presente trabalho visa identificar os tipos de impactos, seja positivo ou negativo, a fim de analisar os impactos causados pelo Central Eólica Santa Mônica, localizada no estado do Ceará, concretamente no município de Trairi. O estudo está ancorado no seguinte método: revisão bibliográfica baseada na coleção das matérias referentes ao tema, incluindo o documento EIA/RIMA de Central Eólica Santa Mônica. No que refere aos resultados, os principais impactos negativos apontados são: emissão de sombras e ruídos, danos à fauna e flora local, interferências eletromagnéticas, impacto visual na paisagem e riscos de acidente no trabalho. Depois da construção da usina a vegetação em torno tende a se recuperar beneficiando o retorno da fauna que sofreu invasão ao seu habitat. É muito importante ressaltar que a maior parte da área usada para a implementação e operação da usina eólica pode ser destinada para outras finalidades como a agricultura e a pecuária, pode-se dizer que esses são os impactos positivos. Tendo em conta as discussões desenvolvidas em relação a um plano de ações e boas práticas para reduzir ou evitar os impactos identificados, abrangendo auxílio das legislações, elaboração de mapas de zoneamento, escolha de turbinas modernas, entre outras ações de mitigação.

Palavras-chave: Energia Eólica. Geração. Impactos Ambientais.

ABSTRACT

The impacts caused by the generation and transmission of wind energy require further studies, because, although this source of energy generation is considered clean, its adverse impacts can influence social and environmental problems, especially in areas where wind farms are installed. Globally, wind energy is increasingly competitive due to the sector's economy of scale and, consequently, the price barrier of its equipment. Brazil has an immense potential for wind energy generation, the North and Northeast are regions with the greatest potential, mainly on the coast, where there are constant and strong winds throughout the year. The present work aims to identify the types of impacts, whether positive or negative, in order to analyze the impacts caused by the Central Eólica Santa Mônica, located in the State of Ceará, specifically in the municipality of Trairi. The study is anchored in the following methods: bibliographical review based on the collection of articles related to the subject, including the EIA/RIMA document of the Santa Mônica Wind Power Plant. With regard to the results, the main negative impacts pointed out are the emission of shadows and noise, damage to the local fauna and flora, electromagnetic interference, visual impact on the landscape and risks of accidents at work. After the construction of the plant, the surrounding vegetation tends to recover, benefiting the return of the fauna that suffered invasion to its habitat. It is very important to point out that most of the area used for the implementation and operation of the wind farm can be used for other purposes such as agriculture and livestock, it can be said that these are the positive impacts. Taking into account the discussions developed in relation to an action plan and good practices to reduce or avoid the identified impacts, including assistance from legislation, preparation of zoning maps, choice of modern turbines, among other mitigation actions.

Keywords: Wind Energy. Renewable energy. Generation. Environmental impacts.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Central eólico Santa Mônica.
- Figura 2 – Mapa geográfica de município de Trairi.
- Figura 3 – Modelo de moinho persa.
- Figura 4 – Moinho de vento típico da Holanda.
- Figura 5 – Moinho de vento de múltiplas pás.
- Figura 6 – Moinho de vento de Charles Brush.
- Figura 7 – Potência eólica instalada no mundo, 2008-2018.
- Figura 8 – Gráfico 2 – Capacidades instaladas no mundo, 2020-2030.
- Figura 9 – *Ranking* de capacidade total instalada *onshore*.
- Figura 10 – *Ranking* nova de capacidade instalada de *onshore* em 2021.
- Figura 11 – Primeiro aerogerador instalado no Brasil.
- Figura 12 – Matriz elétrica Brasileira (em GW).
- Figura 13 – Evolução da capacidade instalada (em MW) 2021.
- Figura 14 – Gráfico da geração por estado, 2021 (MWmed).
- Figura 15 – Emissão de CO_2 evitadas por mês (toneladas).
- Figura 16 – Construção da fundação do parque eólico em Trairi.
- Figura 17 – Visão geral da localização da CE eólica Santa Mônica.
- Figura 18 – Poligonal da CE Santa Mônica.
- Figura 19 – aii, aid e ada do meio socioeconômico da central eólica Santa Mônica.
- Figura 20 – Zoneamento zeoambiental.

LISTA DE QUADROS

Tabela 1 – Nível de tensão na rede elétrica.

Tabela 2 – Geração e representatividade da fonte eólica.

Tabela 3 – Geração por estado, 2021 (MWmed).

Tabela 4 - Usos do solo na área da central eólica Santa Mônica.

Tabela 5 – Impactos na fase de instalação e operação e suas respectivas medidas mitigadoras.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABEEÓLICA – Associação Brasileira de Energia Eólica.
AIA – Avaliação de Impacto Ambiental .
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.
CBEE – Centro Brasileiro de Energia Eólica.
CELPE – Companhia Energética de Pernambuco.
COELCE – Centrais Elétricas do Ceará.
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente.
EIA – Estudo de Impacto Ambiental.
EMBRAPII – Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial.
EUA – Estados Unidos da América.
EWEA – European Wind Energy Association.
GEWC – Global Wind Energy Council.
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IRENA – International Renewable Energy Agency.
NASA – National Aeronautics and Space Administration.
OPEP – Organização dos Países Exportadores de Petróleo.
PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas.
PROINFA – Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental.
SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente, Ceará.
SIGA – Sistema de Informação de Geração da ANEEL.
SIN – Sistema Integrado Nacional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1.2 Objetivos específicos	16
1.2 Justificativa	16
1.3 Metodologia	16
1.3.1 Área de estudo	17
2 BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA	19
2.1 Primeiros aerogeradores	22
2.2 Energia eólica no mundo	24
3 GERAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO NA REDE ELÉTRICA	30
4 GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL	33
4.1 Geração de energia eólica no Nordeste do Brasil	35
5 IMPACTOS AMBIENTAIS EM UM PARQUE EÓLICO	38
5.1 Impactos sobre a fauna	39
5.2 Impactos sobre a flora	39
5.3 Poluição sonora	40
5.4 Impactos advindos da radiação eletromagnética	41
5.5 O impacto visual	41
5.6 Aspectos Benéficos	42
6 OS IMPACTOS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELA IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL EÓLICA SANTA MÔNICA	43
6.1 O empreendimento em estudo	44
6.3 O zoneamento geoambiental	47
6.4 Análises dos impactos ambientais e as medidas mitigadoras	48
6.4.1 Os impactos na fase de estudos e projetos	50
6.5 Legislação dos impactos	53
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A geração da energia eólica é uma das formas alternativas de energia, é uma fonte da energia que não só evita a poluição do ambiente, como também, é a menos arenosa. Nesse sentido, é uma possível solução para resolução de vários problemas da humanidade, uma vez que a energia é a fonte de vida, importante para segurança dos seres humanos e, que sem ela, a vida seria muito mais difícil de se adaptar ao planeta.

De acordo com Barradas (2014), o homem sempre procurou atender suas necessidades de sobreviver e proteger a natureza com a finalidade de descobrir respostas convenientes para aumentar e melhorar as suas condições de vida. Para realizar todos esses trabalhos, ele usava apenas a sua força muscular e a transformava em outra forma de energia.

Com o passar do tempo, surgiram as demandas por parte da sociedade, que para serem realizadas, exigiu-se mais energia, mais força braçal e animal. Assim, o homem precisou cada vez mais de ferramentas a fim de auxiliar em diversas fases do trabalho da agricultura, como no bombeamento da água e na moagem de grãos. Isso levou ao desenvolvimento do moinho de vento. Portanto, o moinho de vento foi a ferramenta fundamental para a geração e produção de energia ao longo do tempo (DUTRA, 2008).

De maneira idêntica, Goldemberg (2010) e Tessmer (2013) destacam que houve o crescimento dependente, ao compararem os aprendizados de desenvolvimento das civilizações humanas no que diz respeito ao consumo médio de energia *per capita* em cada período da humanidade. Na época do homem nômade, o consumo era estimado em 5.103 kcal/dia; na era agrícola houve um aumento no consumo médio e o valor apreciado era de 12.103 kcal/dia; no período industrial esse número cresceu para 77.103 kcal/dia e, atualmente, considerando o período tecnológico, o número subiu para 220.103 kcal/dia.

De acordo com Lopez (2012), a energia vem desempenhando um papel primordial na vida de um ser humano. porque tem influência em toda a cultura humana, por exemplo: na telecomunicação, no transporte de águas de

saneamento, também é uma infraestrutura indispensável para incorporar o homem a um designado protótipo de desenvolvimento.

A energia é a capacidade de realizar mudanças em um sistema. Essa capacidade pode envolver transformações mecânicas, biológicas e químicas. Ainda pode provocar o acréscimo de um gás e sua capacidade de produzir trabalho, como uma queda d'água, a produção de biogás na degeneração de matéria, a combustão de um dos hidrocarbonetos e o uso de uma corrente elétrica para fazer rodar um motor (GOLDEMBERG, 2010).

Em face do cenário dos últimos séculos, principalmente, no século XX, Lopez (2012) salientou que para ter um estilo de vida industrial mais fácil, os homens queimavam enorme quantidade de energia para a produção de gás natural, petróleo e carvão mineral. A queima desses combustíveis fósseis significa a liberação de gases do efeito estufa na atmosfera, isso afeta negativamente o funcionamento dos ecossistemas e o clima do planeta.

Quanto às civilizações anteriores, a sociedade industrial está caminhando para o estágio final da sua criação de sistema energético. Sendo assim, o custo para absorver os gases de efeito estufa, acumulados devido à produção da energia, representa um valor tão alto em relação ao valor líquido da quantidade de energia já disponível, o que está sendo produzida e o que já foi consumida (LOPEZ, 2012).

Diante desse cenário, nos últimos anos (2012), o mundo está sentindo os efeitos do aquecimento global devido a poluição e do esgotamento de petróleo. Esse problema provocou a urgência em relação à procura de alternativas de substituição desses combustíveis poluentes e não renováveis, em uma energia limpa e renovável, e uma das soluções é a energia eólica (SOVERNIGO, 2009). Para encontrar um desenvolvimento sustentável, é necessário promover um avanço de muita disciplina e considerar todos os problemas, tecnológicos, sociais, políticos, econômicos e ambientais (LOPEZ, 2012).

Conforme o Lopez (2012), a energia eólica é uma fonte de energia renovável que está se desenvolvendo de forma intensiva em várias regiões do mundo, desde o início da década de 1980. Esse desenvolvimento foi incentivado por uma política energética voltada para a energia renovável com intensas pesquisas e novas tecnologias. Em duas décadas a energia eólica passou da

categoria de fonte de energia alternativa para a indústria de ponta, sem subsídios e com fabricantes de aerogeradores que produzem energia com custos competitivos.

A instalação da energia eólica de uma maneira significativa na matriz elétrica Brasileira, considerando sua potencialidade de geração de investimento maciço, pode ser uma solução para os períodos de crise hídrica em que é necessário o acionamento das usinas termelétricas. Estas além de serem muito poluentes, geram uma energia muito mais cara do que a das usinas eólicas.

De acordo com a pesquisa feita pelo Abeeólica (2022), para a produção de energia eólica, é preciso ventos bons, estáveis, sem mudanças de direção nem mudanças precipitadas da velocidade e também na intensidade certa. O Brasil possui esse tipo de vento de grande qualidade, o que define o sucesso da energia eólica até 2022 com o dobro da média mundial.

Este trabalho está dividido em três partes. A primeira traz a contextualização histórica da energia eólica e sua distribuição no mundo. A segunda trata-se da energia eólica no Brasil, com destaque na região Nordeste, região com a maior produção de energia eólica do país. A terceira, aborda os impactos da geração da energia eólica, com enfoque no parque eólico de Santa Mônica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Discutir os impactos da geração de energia na Central Eólica Santa Mônica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar os impactos sociais e ambientais da geração da energia eólica na Central Eólica Santa Mônica;
- Classificar os impactos da central eólica estudada;
- Refletir sobre a adequação dos espaços em que são instaladas as usinas.

1.2 Justificativa

Atualmente, a energia eólica é caracterizada como energia limpa, que causa, em relação às outras, poucos danos à atmosfera, ao ambiente e à sociedade, portanto, é uma alternativa para o futuro da humanidade. Partindo desse pressuposto, percebe-se que há uma necessidade de aprofundar os estudos sobre esse tema, visando contribuir não só no campo acadêmico, como também preencher algumas lacunas das pesquisas anteriores sobre a temática.

Além disso, pretende-se manter a sociedade mais ciente e informada sobre a vantagem e a importância de instalações das usinas eólicas nas zonas bem situadas e adequadas. Diante desta visão, foi escolhida a Central Eólica Santa Mônica com o intuito de analisar os impactos trazidos por este parque, que situa-se no município de Trairi, no estado de Ceará.

1.3 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido baseando nos seguintes métodos: a pesquisa exploratória, a partir da pesquisa da revisão bibliográfica e documental. Assim, foi feita uma busca na internet dos artigos e trabalhos relacionados a este tema. Já em relação à análise de impactos ambientais causados pelo Central Eólico

Santa Mônica com a finalidade de atingir o objetivo da pesquisa. Observou-se o detalhamento dos impactos ambientais contida no documento EIA/RIMA do empreendimento em estudo, visando analisar os respectivos impactos ocorridos ao longo do processo da implantação e operação do empreendimento em estudo.

A Figura 1 apresenta a Central Eólica Santa Mônica. Por fim, uma importante contribuição deste estudo é a proposição de um conjunto atualizado e eficiente de ações e boas práticas com potencial para evitar os muitos impactos ambientais vistos na Central Eólicos Santa Mônica.

Figura 1: Central eólica Santa Mônica



Fonte: Wikipédia (2022)

1.3.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada na Central Eólica Santa Mônica, situada no município de Trairi, no estado de Ceará, Nordeste do Brasil. Essa central foi projetada com capacidade de gerar 21,0 MW. Seus sete aerogeradores instalados numa área de 122,34 *ha* , com o objetivo de produzir a energia elétrica em uma escala comercial. A equipe responsável pela elaboração do estudo são os profissionais multidisciplinares da empresa MRS Estudos Ambientais LTDA, com experiência de mais de 20 anos e com um conhecimento ampla acerca de, bióticos, socioeconômicos e físicos (SEMACE-RIMA, 2013).

Do ponto de vista geográfico, o município de Trairi se encontra numa região com clima tropical típico e tropical atlântico, os meses de janeiro e maio são os meses mais chuvosos, com média de 1.289 mm de precipitação pluviométrica, e com a temperatura variável média mínima de 22°C e média máxima de 32°C. está localizado na Latitude sul paralelo de 03°10'10'', na 03°35'57'' e longitude oeste de Greenwich 39°31'37'' e 39°09'02'', e tem uma área de 928,725km² com a população, em 2021, estimada de 56.653 pessoas, que corresponde a 0,62% do território do Estado (WIKIPEDIA, 2022).

A figura 2, abaixo, mostra a localização do município de Trairi, este município faz fronteira ao leste com o município de Paraipaba, ao norte com o Oceano Atlântico e o sudeste com o município de Itapipoca. Já ao sul com o município de São Luís do Curu, a sudeste com o município de São Gonçalo do Amarante e com o município de Turu.

Figura 2: Mapa geográfica de município de Trairi



Fonte: BING (2022)

2 BREVE HISTÓRICO DA EVOLUÇÃO DA ENERGIA EÓLICA

Segundo Fadigas (2011), um olhar no passado mostra que a energia eólica não é atual, pois, antigamente esse tipo de energia exercia um papel muito importante no cotidiano das pessoas. Ainda existem dúvidas em relação a que país precisamente a energia eólica é proveniente, porém muitos relatos apontam o Egito, próximo de Alexandria, aparentemente 3.000 anos, no entanto, não há provas para certificar.

A primeira informação confiável tirada das fontes históricas antigas é que a energia do vento surgiu na Pérsia, por volta do ano 200 a. C, e era usada na moagem de grãos e bombeamento da água através de cata-ventos. Nesse período, o moinho era composto de um eixo vertical ativado por haste longa presa nele. Com o passar do tempo começou a alastrar-se pelo mundo e, principalmente, no mundo islâmico é utilizado por vários séculos (LOPEZ, 2012). O autor ainda acrescenta que antes do invento dos moinhos de vento na Pérsia, a China e o Império Babilônico, por volta 1700 a.C, também usavam cata-ventos rústicos para regar as plantações, eram moinhos de eficiência baixa e primitivo. A Figura 3 apresenta modelo de moinho de vento Persa, que tem um formato vertical com duas pás em forma parabólica.

Figura 3: Modelo de moinho persa



Fonte: atlas Paraíba (2016)

Alguns séculos depois, os europeus receberam a notícia de que os chineses já estariam usando a tecnologia para drenagem de arroz no campo e não se sabia a partir que momento. O que se sabe é que a estrutura era feita de bambu, velas de pano e tinha o eixo de rotação vertical. Os moinhos de eixo de rotação horizontal, provavelmente, foram criados na Europa. A primeira informação fundamentada aponta seu aparecimento em Duchy, Normandia, no ano de 1180 (FADIGAS, 2011).

Durante a Idade Média, na Europa, com a evolução da tecnologia das pás, do sistema de controle, dos eixos, o uso de moinho de vento proporcionou a pulverização de muitas habilidades que utilizavam a força motriz do vento. A significância econômica de moinho de vento continua crescendo até a metade do século XIX, quando havia, na Holanda, mais de 9.000 moinhos e, na Alemanha, mais de 20.000, E por toda a Europa a estimativa era de mais de 200.000 (OLIVEIRA, 2014).

Os moinhos de vento foram finalmente abandonados quando as áreas rurais começaram a ser eletrificadas. Atualmente muitos são preservados como monumento histórico, contudo o equipamento chamado Eclipse, desenvolvido pelo Reverendo Loenhard R. Wheeler de Wisconsin, muito parecido aos cata-ventos aproveitados hoje no bombeamento de água, tornou-se o modelo padrão da turbina eólica Americana (Hau, 2005).

Segundo Oliveira (2014), nos séculos XVII e XVIII, com a física e matemática mais estabelecidas, a tecnologia dos moinhos de vento foi sistematicamente tratada pelas ciências naturais então emergentes. Como boa parte do território holandês está abaixo do nível do mar, os holandeses fizeram grande uso de moinho de vento para drenagem da terra e moagem de grãos. Por volta do século XIV, os holandeses introduziram ou adotaram algumas tecnologias, como as torres.

Por volta de 1600, os moinhos de vento estavam tão na Holanda. O engenheiro civil inglês John Smeaton (1724-1792) é considerado o primeiro a tratar da questão do desempenho dos moinhos de vento em um enfoque mais científico. Entretanto, o próprio Smeaton, em um artigo enviado à Royal Society em 1759, indica que outros já haviam feito experiência a respeito, citando os nomes de Rouse e B. Robins (OLIVEIRA, 2014). Oliveira (2014) traz a estimativa dos moinhos que eram usados no século XIX, na Europa:

Com a evolução industrial no século XIX havia pelo menos 30 mil moinhos de vento funcionando na Europa, esses moinhos não eram usados somente para a moagem de grãos e bombeamento da água, porém também tinham outros usos na indústria, como na plantação da pimenta, do cacau, de tabacos e de corantes (OLIVEIRA 2014, p.10).

Shepherd (1994 *apud* Dutra, 2008) completaram que, a partir do século XVII até os XIX, o uso de moinho de vento na Holanda é de maior escala e era usado para a drenagem das terras abonadas pelas águas. Por exemplo, o espaço de senhor Beemster Polder, que era localizado três metros abaixo do mar e foi drenada por 26 moinhos de vento de aproximadamente 50 HP para cada moinho. Além disso, a região de Schermer Polder, nos anos de 1608 a 1612, também foi drenada durante quatro anos numa vazão total de 1.000m³ /min por 36 moinhos de vento. O moinho de vento na Holanda possui um papel histórico, e não é por acaso que o país é um dos mais amigáveis quando o assunto é vento. A figura 4 mostra o tipo de moinho de vento que era usado na Holanda.

Para Oliveira (2014), mais de um milhão de moinhos de vento foram produzidos por aproximadamente 300 companhias nos Estados Unidos entre 1850 e 1970. Embora fossem em sua maioria pequenos e usados por fazendeiros para bombear água, algumas pás eram grandes com até 8 metros de comprimento.

Figura 4: Moinho de vento típico da Holanda



Fonte: Dutra (2008)

Lopez (2012) e Dutra (2008) completaram suas observações salientando que o moinho de vento de pás múltiplas, conforme a Figura 5, nas regiões da

Rússia, África, Austrália e na América Latina. Além de ser de fácil manutenção e operação, também ajustou-se perfeitamente às condições do campo. Era composto de metal, o aparelho de bombear era constituído de bombas de pistões, beneficiado pelos altos toques e equipado pelos grandes números de pás. Atualmente, esse equipamento é amplamente usado em muitos países do mundo para bombear água.

Figura 5: Moinho de vento de múltiplas pás



Fonte: Atlas Paraíba (2016)

2.1 Primeiros aerogeradores

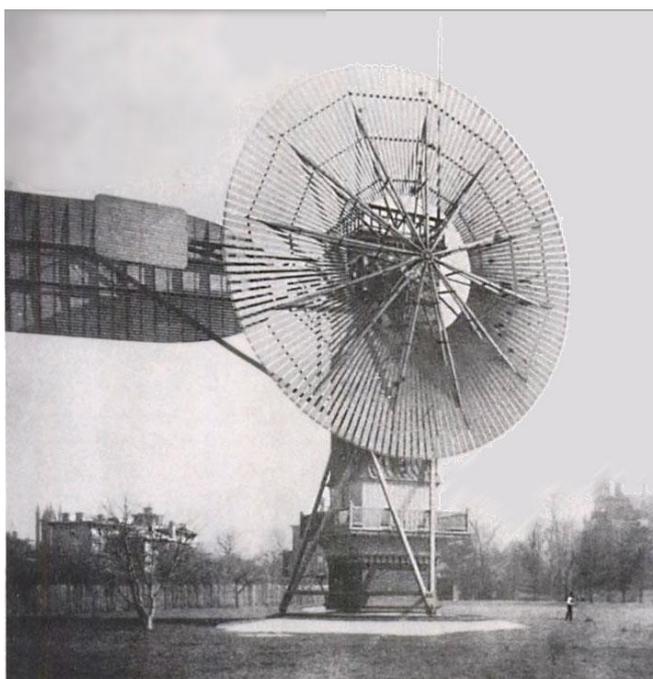
De acordo com Oliveira (2014), o primeiro moinho de vento utilizado para a produção de eletricidade foi arquitetado, em julho do ano 1887, numa cidade escocesa chamada Glasgow, pelo professor e engenheiro eletricitista chamado James Blyth (1839-1965). No ano de 1891, Blyth conseguiu a patente britânica da turbina que tem 10 m de altura, com eixo vertical.

Blyth instalou essa turbina na sua casa do campo em Marykirk, Kincardineshire. Era aproveitada para carregar os acumuladores do francês Camille Alphonse Faure e usada para a iluminação da casa. Assim tornou-se no mundo a primeira casa a ter eletricidade própria proveniente do catavento. Erroneamente costuma-se dizer que o americano Charles Francis Brush (1849-

1929) foi o primeiro que produziu a eletricidade através de um moinho de vento, no ano de 1888, em Cleveland, Ohio (OLIVEIRA, 2014).

No final do século XIX, quando os geradores elétricos apareceram, era razoável esperar que os homens apostassem em modificá-los em rotores para moinhos de vento. No entanto, a mais notável foi construída pelo americano Charles Brush em Cleveland, Ohio, nos Estados Unidos da América, nos anos de 1888. Sua casa foi a primeira a ter energia elétrica na cidade. Ele usava um gerador eólico que alimentava as suas 12 baterias, conseqüentemente sua turbina se tornou amplamente defendida nos anos subsequentes. A máquina de eixo horizontal do Charles era bem maior do que a do Blyth, tinha 144 pás com quase 17m de diâmetro de rotor e a altura da torre era de 18,3m, como visto na Figura 6 (OLIVEIRA, 2014).

Figura 6: Moinho de vento de Charles Brush.



Fonte: Wikipédia (2022)

Para Lopez (2012), no início do século XX, com o acrescentamento da rede elétrica, foram realizadas muitas pesquisas para a aplicação da energia eólica em geração de maiores grupos de energia. Os Estados Unidos já estavam conquistando e usando aerogeradores de porte pequeno nas fazendas e nas

comunidades rurais afastados da cidade. Já a Rússia estava tendo um salto na conexão de aerogeradores de médio e grande porte abertamente na rede elétrica.

Segundo Lopez (2012, p. 29), “o primeiro aerogerador de grande dimensão foi construído na França, em 1929, e era constituído de duas pás com 20m de diâmetro”. O processo de análise do lugar para instalar aerogeradores considerava todos os parâmetros regionais que impactam nas condições do vento como: a alteração da velocidade com a altura, a viscosidade do terreno, que é qualificada pela vegetação, o uso da terra e construções, a apresentação de obstáculo nas circunvizinhanças e o relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

2.2 Energia eólica no mundo

Para conceituar a energia eólica, ou seja, a energia do vento, pode-se dizer que é uma fonte renovável de grande quantidade, limpa e que pode ser encontrada em qualquer lugar. É adquirida pela energia cinética comprimida na massa do ar em movimento, nesse caso, esse modelo de energia já foi usado a mais de mil anos. Foi uma das primeiras formas energéticas de tração não animal que o homem usava para movimentar o barco estimulados com as velas (AMARANTE, 2001).

Existem dois tipos de fontes energéticas que são: não renováveis e renováveis. O primeiro é denominado de temporário, tem reservas limitadas e o prazo de renovação é longa, cerca de milhares anos. O segundo é permanente, ou seja, tem capacidade de renovação em curto prazo, não se esgota, por exemplo, os provenientes do vento (eólica), do sol (fotovoltaico), entre outros (CARVALHO, 2003; SIMS *et al.*, 2007).

Segundo Terciote (2002), a fonte eólica não emite o gás de efeito estufa durante a sua operação. Assim, é uma ótima alternativa de produção de energia sustentável, desde que as análises ambientais sejam respeitadas, sobretudo, na escolha da localização das usinas de forma que a população humana próxima ao entorno e os sistemas ecológicos sejam preservados.

O reaparecimento da energia eólica se deu no início dos anos 1960, nos Estados Unidos. Em vez da crescente preocupação com questões ambientais, não houve mudanças no desenvolvimento da energia eólica até a crise do petróleo, em meados dos anos 1970. Em 1973, a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentou o preço do petróleo que passou de 3 para 12 dólares. Além de diminuir a oferta, o preço do petróleo bruto multiplicou seu preço original, e os países industrializados do Ocidente tomaram consciência de sua dependência econômica das fontes primárias de energia. As energias renováveis então atuaram de modo mais presente (OLIVEIRA, 2014).

Percebe-se que essa advertência do autor é muito fundamental para se prevenir dos impactos que a geração da energia eólica e sua conexão podem causar.

Ainda Lopez (2012, p. 55) assevera que:

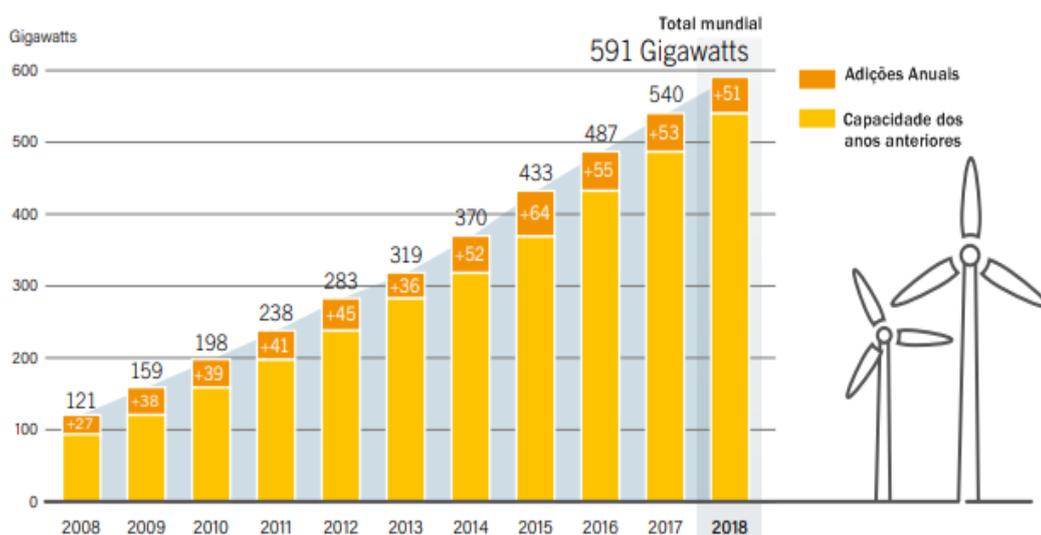
Um estudo conjunto da *European Wind Energy Association* (EWEA) e o Greenpeace concluiu que mesmo com o rápido crescimento da demanda com a eletricidade, a energia eólica terá capacidade para fornecer 10% da demanda mundial no ano 2020. Isto implica num crescimento médio anual da potência eólica instalada de 30% até 2010 (meta já superada) e 20% entre 2010 e 2020 (tendência de superar). Em outros países, a energia eólica já é economicamente competitiva com o combustível fóssil e a energia nuclear, levando-se em conta os custos ambientais.

Nos Estados Unidos, a agência espacial norte-americana (NASA) buscou uma solução para o problema da alta dependência do petróleo. Em 1973, foi adotado o programa de energia eólica do governo federal americano. Sua administração política foi entregue ao departamento de energia e foi autorizado um orçamento de 200 milhões de dólares. No mesmo período, em 1974, na Dinamarca, uma comissão de especialistas declarou que seria possível gerar 10% da necessidade de energia no país, a partir da energia do vento, sem criar problemas maiores à rede pública (OLIVEIRA, 2014).

Com a evolução, a aplicação da energia eólica para geração elétrica tem crescido extraordinariamente, e grande parte dos parques está instalada em terra e é chamada de *onshore*. Também há um número significativo dos parques instalados no mar que é chamado de *offshore*, por causa do abaixamento de lugares adequados em terra para empreendimentos iniciais e pelo potencial ótimo, a despeito de adaptarem custos altos (TOLMASQUIM, 2016).

Tolmasquim (2016) ressaltou que independentemente do crescimento significativo da capacidade instalada, a fonte eólica é responsável unicamente por uma parte muito pequena da energia elétrica produzida no mundo inteiro, como visto no Figura 7. O percentual total gerado, em 2014, é cerca de 3%, ainda assim, esses números podem alterar conforme o país, por exemplo, em 2014, a Dinamarca abasteceu cerca de 39% da sua demanda de eletricidade com a energia eólica.

Figura 7: Potência eólica instalada no mundo, 2008-2018



Fonte: EMBRAPPII (2020)

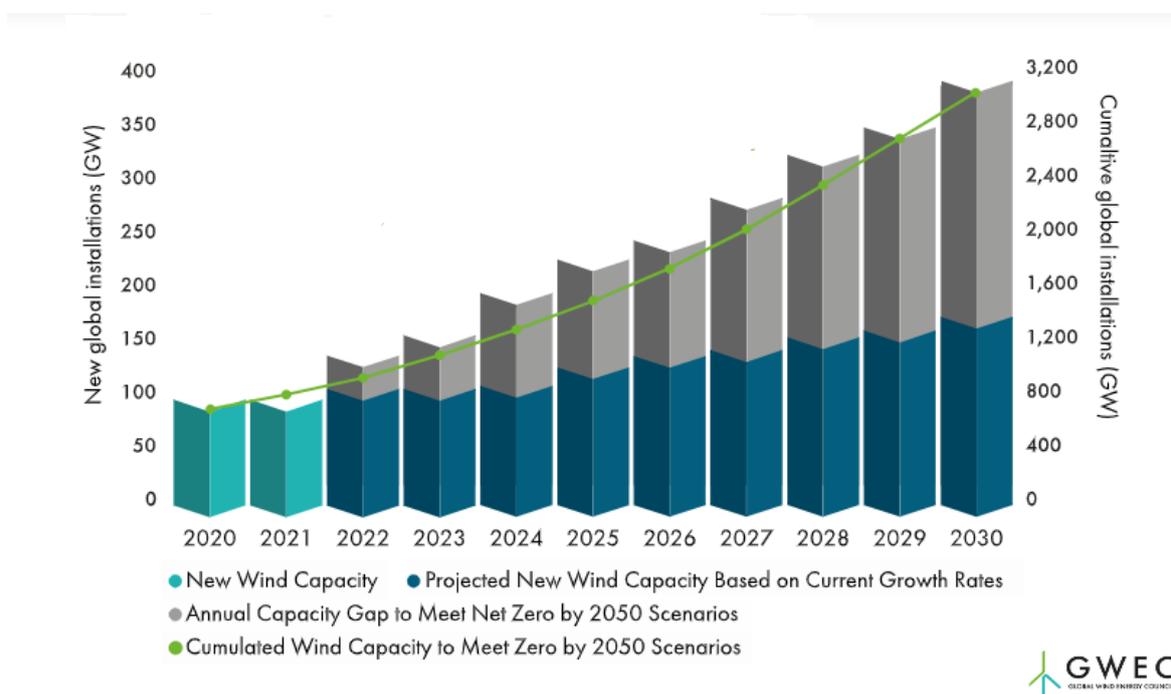
Em 2014, 84% da capacidade instalada foi produzida por 10 países, onde sabendo que os três maiores foram: China (31%), Estados Unidos (18%) e Alemanha (10%). Esses países são grandes nos mercados dos serviços vinculados da aquisição e instalação de parques eólicos novos, bem como na fabricação de aerogeradores. O Brasil ocupa 1,6% da capacidade total instalada no mundo, logo adquiriu o décimo lugar da posição da lista (TOLMASQUIM, 2016).

De 2008 a 2018, a potência de energia eólica instalada nas Américas cresceu 221,7%, isso significa que, ocorreu um salto de 46 GW para 148 GW nesse espaço de tempo (EMBRAPPII, 2020). Esse crescimento é surpreendente, sendo que a Europa levou três décadas para chegar a esse nível. Hoje a capacidade mundial de energia eólica é de 837 GW, ou seja, está evitando mais de 1,2 bilhão

de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) por ano e é igual às emissões anuais de carbono da América do Sul (GWEC,2022).

As agilidades dos leilões eólicos se readquiriram em 2021, com a maior quantidade de 88 GW de capacidade eólica concedida universalmente, 153% a mais do que em 2020. Depois de um ano em que os acordos de zero líquido ganharam impulso global, juntamente com a urgência renovada de alcançar a segurança energética, as perspectivas de mercado para a indústria eólica global parecem ainda mais positivas. Acredita-se que 557 GW de capacidade novas sejam acrescentados nos últimos cinco anos sob as políticas atuais, isso banca mais de 110 GW de novas instalações a cada ano até 2026, com visto na Figura 8. Esse desenvolvimento necessita ser quadruplicado até o final da década, isto é, se o mundo almeja permanecer no caminho de 1,5°C e zero líquido até 2050 (GWEC, 2022).

Figura 8: capacidades instaladas no mundo, 2020-2030



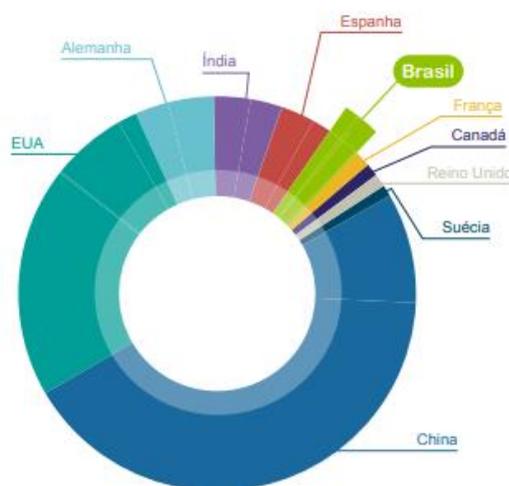
Fonte: GWEC (2022)

De acordo com a pesquisa feita pelo GWEC, a energia eólica não está se desenvolvendo largamente o necessário para realizar uma mudança energética universal segura e invulnerável, as taxas atualizadas de instalação. A GWEC Market Intelligence antecipa que até no ano de 2030, estarão abaixo de dois terços

da capacidade de energia eólica indispensável para o caminho de 1,5°C e zero líquido definido pela Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA) em seu roteiro até 2050, condenando efetivamente a perder as metas climáticas (GWEC, 2022).

Como aponta Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA), no ano de 2021, o Brasil ascendeu para sexta posição no *ranking* mundial de capacidade eólica acumulada e ficou na terceira posição do *ranking* mundial na nova capacidade instalada organizado pelo *Global Wind Energy Council* (GWEC).

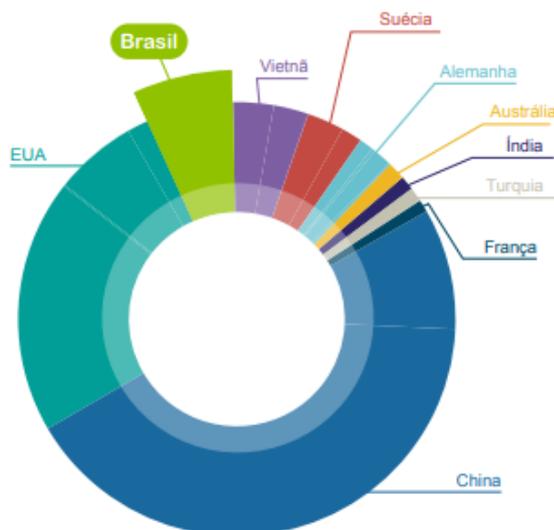
Figura 9: *Ranking* mundial da Capacidade total Instalada *Onshore*



Fonte: ABEEÓLICA (2022)

Nas figuras 9 verifica-se que a China é um dos maiores produtores de energia eólica, seguida dos Estados Unidos (EUA), Alemanha, Índia, Espanha, Brasil, França, Canadá, Reino Unido e Suécia. Na energia nova o Brasil está na terceira posição, logo após China e Estados Unidos (EUA), isso mostra que a produção da energia eólica está crescendo cada vez mais no país conforme Figura 10.

Figura 10: *Ranking* da nova capacidade instalada eólica em *Onshore* em 2021



Fonte: ABEEÓLICA (2022)

3 GERAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO NA REDE ELÉTRICA

O ponto mais importante na percepção de um projeto eólico é a conexão de um parque eólico no sistema. A conexão de um parque eólico causa a cobrança principal de 2% do limite do desvio de tensão nominal. A potência do curto-circuito é o valor categórico para a instalação do sistema eólico, sem isso, não será instalada. Um parque eólico insere a potência ativa na rede de conexão, uma das primeiras cobranças a ser considerada são os valores das correntes de regime estacionário (LOPEZ, 2012). Oliveira (2014) demonstra a precaução que precisa ser tomada no processo de instalação de um parque eólico:

Ao se injetar potência em um sistema, deve-se observar o efeito elétrico causado tanto na rede como no parque eólico em si. Problema de estabilidade da tensão pode ocorrer, e, para solucionar tal questão, algumas medidas devem ser tomadas, como por exemplo reforçar a linha de transmissão. No ponto de conexão de parque eólico com a linha de transmissão da energia elétrica, vários fatores devem ser considerados, como por exemplo, a análise do nível de curto-circuito e do sistema de proteção. Também é altamente importante fazer um estudo do fluxo de potência, de regime permanente e de transitórios eletromagnéticos, pois com a análise desses dados podemos saber se uma linha de transmissão ou alimentador é robusta o suficiente para receber o fluxo de energia que é injetado pelo parque. E isso principalmente se todo o sistema terá estabilidade mesmo em condições de distúrbio elétrico (OLIVEIRA, 2014; p.189).

O conhecimento da velocidade média é uma questão central para a avaliação da energia gerada, sendo que os aerogeradores iniciam a produção com uma quantidade específica de velocidade do vento, voltado só para gerar quando ultrapassa um determinado número de segurança. Visto que a energia eólica é uma fonte renovável e alternada, está se desenvolvendo intensamente em vários países, desde o início da década de 1980. Logo, planejá-la depende das políticas energéticas, industriais e ambientais (LOPEZ, 2012).

De acordo com Oliveira (2014), algumas precauções na conexão de uma turbina eólica com a rede elétrica precisam ser tomadas: rápidas desconexões de gerador, como no caso de tensão, ou seja, se a frequência da rede ultrapassar ou reduzir a um certo limite, em contrapartida a potência ativa, isso estabelece capacitores no sistema elétrico. Sendo assim, os inversores produzem harmônicos que devem ser filtrados, conexão do gerador da indução somente na faixa da velocidade síncrona com quase 95% a 105%. Além do mais tem um movimento que garante os sistemas de monitoramento.

Existem muitos tipos de conexões, a escolha correta depende fundamentalmente de duas variações em relação à instalação: a potência na rede e a tensão na rede. No Brasil o limite da tensão na rede é organizado de acordo com a quadro 1:

Quadro 1: Nível de tensão na rede elétrica

Classificação da tensão	Tensão (kv)
BT- Baixa Tensão	Menor que 1
MT- Media Tensão	Entre 1 e 34,5
AT- Alta Tensão	Entre 34,5 e 230
EAT- Extra Alta Tensão	Entre 230 e 750
UAT- Ultra Alta Tensão	Maior que 750

Fonte: (elaborado pela autora a partir do Oliveira (2014))

A tabela 1 apresenta as classificações de limite de tensão no Brasil. Os parques eólicos com entre 10 a 15 MW, geralmente precisam ser instalados numa rede elétrica de tensão alta, e em casos difíceis, é preciso que a conexão seja na rede de extra alta tensão. Em diferentes casos de conexão, o equipamento e o custo são determinados por quatro fatores: o distanciamento da turbina à rede; a capacidade de tensão e a transmissão da rede; o controle de potência e o equipamento elétrico da turbina; e as condições técnicas usados nas estações de energia em paralelo com a rede. Os parques eólicos pequenos de mais ou menos 15 kv a 30 kv são sempre conectados à rede de média (LOPEZ, 2012).

Quando possível o melhor custo-benefício. A aparelhagem e os transformadores são muito mais baratos do que a necessária para a conexão em alta tensão. A conexão geralmente é feita nas linhas de transmissão de até 138 kV. Tecnicamente é possível também ter a conexão nas linhas com valor a partir de 230 kV. Entretanto, o investimento seria maior, e normalmente é realizada apenas nos parques eólicos com a potência instalada acima de 100 MW (LOPEZ, 2012).

Os parques eólicos precisam ser instalados em áreas com bons ventos. As melhores condições geralmente são encontradas em áreas remotas, com baixa densidade populacional. Para analisar o impacto da conexão do parque eólico no nível de tensão da rede, é importante avaliar o ângulo de impedância da rede (OLIVEIRA, 2014).

No geral, não há uma definição aceita da qualidade de energia, porém existem alguns componentes principais para sua medida como: a variação de tensão, *flickers* de tensão, total de distorção harmônica, gerada especialmente

pelos inversores e retificadores de tensões transitórias causadas por distúrbios e faltas do sistema. Portanto, os distúrbios de tensão são divididos nestes quatro elementos: a qualidade de energia, a tensão (variações de tensão, *flickers* harmônicos e transitórios), a frequência e a interrupção (OLIVEIRA, 2014).

Há um imenso potencial de geração de energia eólica no Brasil, principalmente, nas regiões Nordeste e Norte, regiões com o maior potencial, nas suas zonas litorâneas em que há ventos constantes e fortes durante todo o ano.

De acordo com os dados disponíveis no NEOENERGIA (2022 s.p.):

[...]O salto da capacidade instalada das usinas eólicas em todo o país é surpreendente. Pulou de 935,4 MW, em 2010, para 12.966 MW em 2017. E considerando o que foi contratado em leilões, alcançará 17.452 MW ainda em 2020, um aumento de 1.772% em uma década.

Esse salto em percentual em poucos anos, como apontam os dados estatísticos, evidencia um grande sucesso científico e tecnológico. Essa é uma conquista da geração atual e da vindoura, representando um grande ganho para a sociedade brasileira. Uma vez que esse aumento significativo da capacidade das usinas instaladas terá o impacto positivo para o país, possibilitando, de certa maneira, a redução de emissão dos efeitos estufas.

Para Terciole (2002), a geração elétrica pelas usinas eólicas consiste no aproveitamento da energia dos ventos pelos aerogeradores, ou seja, a energia cinética proveniente do vento é transformada em energia mecânica por meio do movimento das pás do rotor e, conseqüentemente, convertida em energia elétrica pelo gerador. Algumas das desvantagens da utilização da energia eólica em relação às fontes convencionais está na questão do armazenamento, já que, se depende de sistema de bateria que ainda são de custos muito elevados.

4 GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Em 1973 houve uma grande crise do petróleo, que induziu a comunidade internacional a procurar ideias inovadoras para produzir e gerar energia. Nos anos de 1973 a 1983, o IEA/CAT (Instituto de Aeronáutica e Espaço/Centro de Tecnologia Aeroespacial) constituiu e fez o ensaio de 15 protótipos de turbinas eólicas. Foi montado o primeiro protótipo no ano de 1976, com potencial nominal de 20kw, que operou apenas por algumas semanas até apresentar fadigas na estrutura de suporte das pás. Em 1977 começou a produzir o protótipo com o potencial nominal de 1kw e 5m de diâmetro, que também sofreu dificuldades com a resistência do material dos rotores que levaram a um funcionamento limitado, inferior a 1 ano, essa questão causou abandono dos projetos (OLIVEIRA, 2014).

A primeira turbina eólica instalada no Brasil foi em 1992, no estado de Pernambuco, nordeste do Brasil, no arquipélago de Fernando Noronha. Constituído por um gerador assíncrono trifásico de 75 kw de potência, torre treliçada de 23 m, 17m de diâmetro do rotor e o controle de sistema por estol passivo. No tempo que a instalação foi feita correspondia 10% de energia gerada no arquipélago (OLIVEIRA, 2014). A Figura 11 apresenta a primeira turbina eólica implantada no Brasil.

Figura 11: Primeiro aerogerador instalado no Brasil.



Fonte: EMBRAPPII (2020).

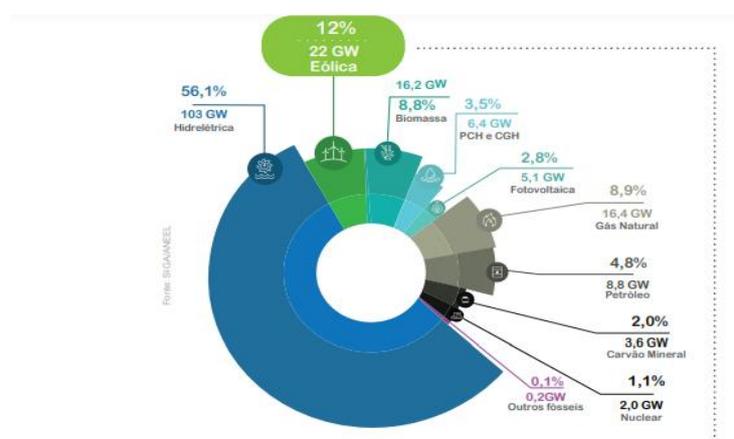
A energia eólica ocupa um espaço significativo na matriz elétrica Brasileira, mas tem espaço para crescer ainda mais e ser uma fonte alternativa para

momentos de crise hídrica de 2014 e atual de 2021 ao invés das custosas e poluentes termelétrica. Lopez (2012) afirmou que para trabalhar com energia eólica, é necessário conhecer como uma turbina eólica opera sob o ponto de vista técnico, ser hábil para estimar os recursos do vento num local específico. Visto que a velocidade do vento pode alterar expressivamente em curtas distâncias.

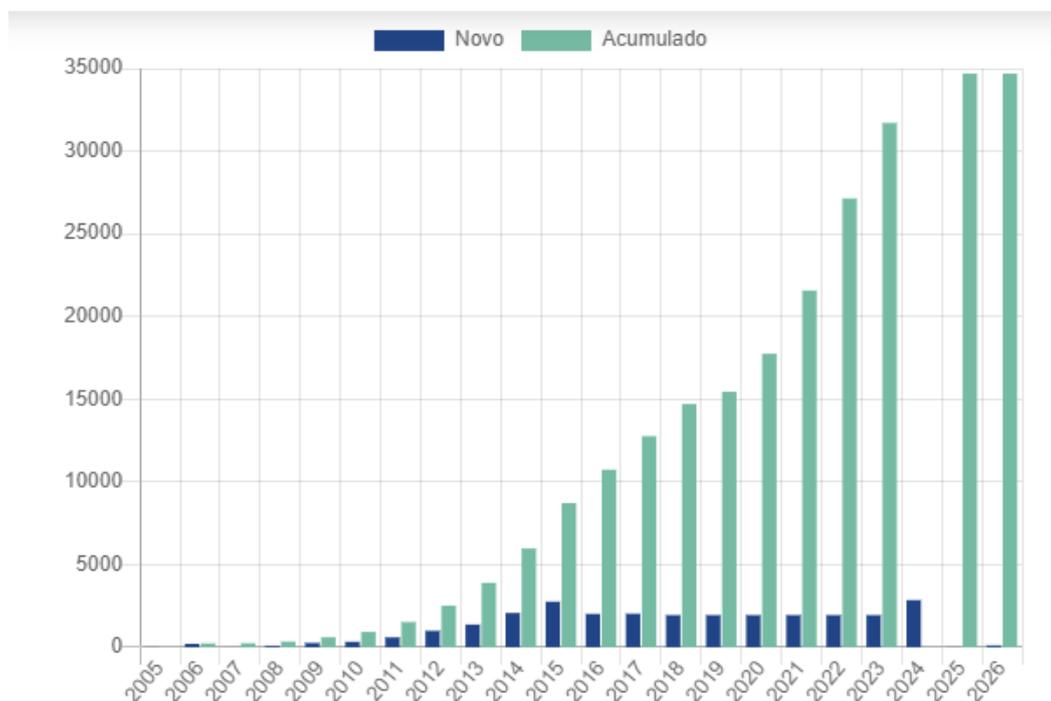
O Centro Brasileiro de Energia Eólicas (CBEE), apoiado pelo Riso National Laboratory da Dinamarca e com um investimento de 1,2 milhões de R\$ da Aneel, instalou a segunda turbina na região de porto de Santo Antônio. Essa instalação começou, em maio de 2000 e foi entregue em 2001 (OLIVEIRA, 2014).

De acordo com os dados disponíveis no site da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEÓLICA, 2021), foram instalados em 12 estados, 812 parques eólicos e cerca de 9200 aerogeradores em operação 22,0 GW de capacidade instalada de toda a geração inserida no Sistema Integrado Nacional (SIN) em 2021. Em 2022 foram gerados 12,1% e 72,2 TWh de energia eólica, correspondendo a 1,2% de crescimento em comparação com a geração eólica em 2020. Na Figura 12, a energia eólica ficou na segunda posição no que diz respeito à classificação da matriz elétrica brasileira. Já o Figura 13 apresenta a evolução na capacidade instalada e os que estão em construção de 2005 até 2022.

Figura 12: Matriz Elétrica Brasileira (em GW)



Fonte: ABEEÓLICA (2022)

Figura 13: Evolução Da Capacidade Instalada (em MW) 2021

Fonte: ABEEÓLICA (2021)

Em 2021 foram gerados uma média de 8.222,5 MW de energia eólica, no total são 72,20GWh gerados (ABEEÓLICA, 2022). O Brasil somou 188.980,9 MW de potência fiscalizada até 31/12/2022, de acordo com dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL (SIGA), atualizado diariamente com dados de usinas em operação e de empreendimentos outorgados em fase de construção. Desse total em operação, ainda de acordo com o SIGA, 83,24% das usinas são consideradas renováveis (ANEEL, 2022).

4.1 Geração de energia eólica no Nordeste do Brasil

Diante deste cenário, os estados com mais benefícios pela combinação dos ventos alísios de leste com a brisas terrestres e marinhas são: Rio Grande de Norte, Ceará, Maranhão e Piauí, considerando as médias anuais na faixa de 6/m/s a 9/m/s. O litoral entre a Bahia e Paraíba tem velocidade de 3,5m/s e 6m/s, as serras que se encontram entre a costa de Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro,

nas áreas mais alta da Chapada Diamantina, a média de vento anual é de 6,5/m/s a 8/m/s. Isso acontece por causa do efeito de compressão vertical de escoamento, isto é, quando ultrapassa a barreira das serras. Na parte Nordeste do planalto central no lado esquerdo da bacia do rio São Francisco a velocidade é de 4/m/s a 6/m/s (OLIVEIRA, 2014).

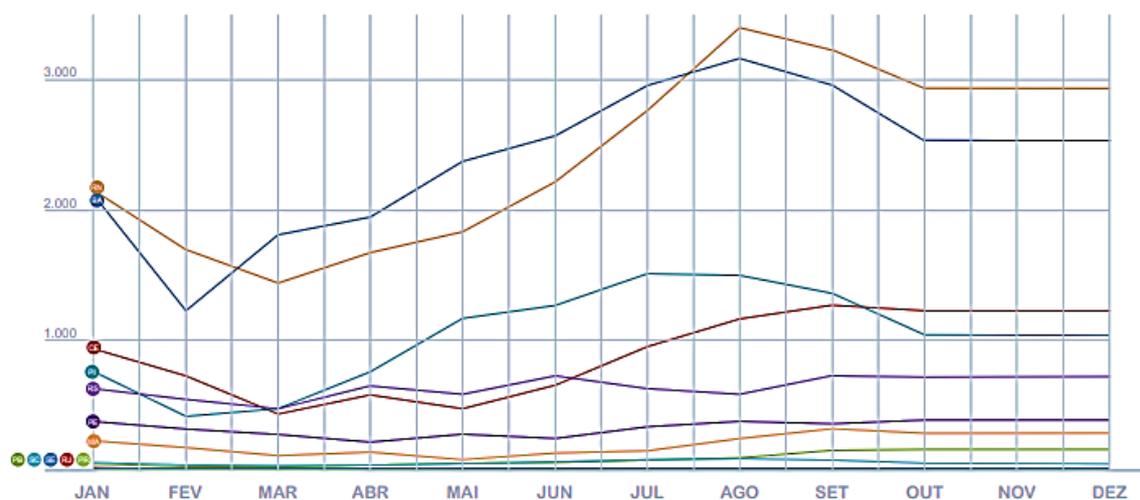
Na Figura 14 e 15 e no quadro 2, a ABEEOLICA (2021) afirma que, em 2021, o sistema total Nordestino se encontra com 88,7% de geração, 21, 23 TWh no Rio Grande de Norte, Bahia com 21,23 TWh, 9,10 TWh em Piauí, Ceará com 7,91 TW. Esses são os quatro estados com a maior geração no ano de 2021.

Quadro 2: Geração e representatividade da fonte eólica

Região	2020		2021		% de Crescimento
	Geração (TWh)	Representatividade	Geração (TWh)	Representatividade	
Sudeste	0,05	0,1%	0,06	0,1%	4%
Sul	6,33	11,5%	6,20	8,7%	-2%
Nordeste	47,00	85,6%	63,20	88,7%	34%
Norte	1,50	2,7%	1,76	2,5%	17%
Total	54,89	100%	71,22	100%	29,7%

Fonte: ABEEÓLICA

Figura 14: Gráfico da Geração por Estado - 2021 (MWmed)



Fonte: ABEEOLICA (2021)

Figura 15: Tabela da Geração por Estado - 2021 (MWmed)

REGIÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
RN	2.153,7	1.703,5	1.454,7	1.678,1	1.810,4	2.112,5	2.777,0	3.404,2	3.207,4	2.906,9	2.906,9	2.906,9
BA	2.115,3	1.272,1	1.831,7	1.948,5	2.398,0	2.589,2	2.957,9	3.175,5	2.993,1	2.533,2	2.533,2	2.533,2
PI	767,0	408,5	482,0	760,1	1.185,3	1.287,1	1.514,0	1.513,4	1.364,3	1.045,2	1.045,2	1.045,2
RS	609,9	544,1	489,3	641,1	595,8	724,2	608,6	597,8	736,3	722,0	722,0	722,0
CE	936,6	725,5	454,8	574,5	485,5	642,4	946,5	1.163,2	1.272,1	1.206,7	1.206,7	1.206,7
PE	377,5	306,5	277,0	238,3	271,8	244,6	338,4	388,9	376,3	398,3	398,3	398,3
MA	231,4	175,5	105,4	130,1	71,2	117,0	140,4	245,8	314,7	294,4	294,4	294,4
PB	62,2	45,5	44,7	48,8	57,5	59,8	75,8	93,5	153,7	154,6	154,6	154,6
SC	66,4	48,2	46,6	50,4	58,4	68,3	82,1	86,3	75,8	62,2	62,2	62,2
SE	7,4	7,9	6,4	4,0	4,7	4,3	5,2	8,1	7,7	8,1	8,1	8,1
RJ	13,3	7,0	5,1	3,0	2,8	4,0	4,4	8,4	8,7	6,7	6,7	6,7
PR	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4

Fonte: ABEEÓLICA (2021)

Em comparação com as outras fontes de energia, pode-se dizer que a energia eólica, em 2021, gerou a energia elétrica suficiente para as populações do Sudeste e Norte, com 108,5 milhões de habitantes (ABEEOLICA, 2022).

5 IMPACTOS AMBIENTAIS EM UM PARQUE EÓLICO

Os impactos ambientais causados pela turbina eólica estão relacionados, principalmente, aos impactos sonoros, impactos voltados para a fauna e a flora. Radiação eletromagnética, impacto visual, entre outras. Esses impactos acontecem no período da implantação do empreendimento e operação, que podem ser positivos ou negativos.

Zhou *et al.* (2012) salientam que durante 8 anos nas regiões do Texas, os dados de satélite relataram um aumento de temperatura de 0.724 °C na área abastecida com 2.358 turbinas eólicas, sendo que, à noite, a temperatura é bem mais evidente. Wang e Prinn (2010) comprovam que se a população consumisse 10% de energia eólica mundialmente até no ano de 2100, a temperatura mundial aumentaria para 1° C. Além disso, os parques eólicos podem mudar a distribuição universal de nuvens e chuvas. No entanto, esse efeito de aquecimento é ainda muito mais fraco em comparação com a emissão de gases de efeito estufa em escala mundial.

Gong (2004) demonstrou nos seus estudos outros fatores de alta preocupação no momento da construção de parque eólico, que é a erosão do solo e o desmatamento. Alguns trabalhos como construção de estradas, escavação e fundação prejudicam o bio-sistema da área no qual o parque está sendo montado. Também as plantas de superfície são removidas e a superfície ficará exposta a grandes chuvas e ventos derivando em erosão do solo. Ainda destacam que o óleo de canteiro de obra e as águas sujas podem infiltrar-se no solo e causar graves problemas ambientais.

Neste caso, as implantações dos parques podem ser nos lugares semidesertos, charnecas e de pastagens, porque habitualmente tem pequenas biodiversidades e ecossistemas fracos. O uso das máquinas pesadas pode incomodar a estabilização ecológica da área, ter implicação no meio ambiente local por um bom tempo. Nesse sentido, a fabricação de turbinas eólicas precisa envolver o trabalho humano, se possível, para diminuir a perturbação provocada por máquinas pesadas (GONG, 2004).

Entre os principais impactos ambientais trazidos pela implantação da usina eólica verifica-se a grande degradação de áreas em que há os

empreendimentos. O desmatamento para implantação dessas usinas é provável a supressão do ambiente levando à fragmentação dos ecossistemas nas áreas das usinas e é claro que essa pressão possui uma escala muito menor, comparando com aquela causada pelas usinas hidrelétricas. A instalação e a operação de uma usina eólica podem gerar o fenômeno de terraplenagem, como o próprio nome indica, significa (a colocação ou retirada na terra para deixar um terreno plano).

Segundo Filho (2013), a terraplenagem pode modificar o nível hidrostático do lençol freático influenciando no fluxo da água subterrânea. Além disso, a circulação padrão do ar é modificada pela operação das turbinas que pode afetar o clima local e gerar microclima.

5.1 Impactos sobre a fauna

Outro aspecto da geração de energia eólica é seu impacto sobre as aves e morcegos, animais que podem controlar pragas. De acordo Oliveira (2014), as usinas fazem com que as aves sofram mudanças nos padrões de imigração, movimentação e perda de *habitat* de reprodução e alimentação. Além disso, às vezes, as aves se chocam contra as turbinas das estruturas das usinas (colisão) e eletrocussões. No entanto, é importante ressaltar que o desenvolvimento eólico também pode trazer benefícios aos pássaros, como a proteção da terra contra mais perdas do *habitat* e a proteção de pássaros contra a perseguição indiscriminada.

As turbinas também são uma ameaça para as populações de morcegos, nesse caso, o principal problema não é um choque direto com as hélices, quando estão próximas das usinas. Esses mamíferos sofrem despressurização gerada pela rotação das turbinas, ou seja, os formões dos morcegos se expandem repentinamente resultando no rompimento dos vasos capilares pulmonares, o que leva a uma hemorragia interna. As aves não sofrem esse processo de alteração de pressão interna graças a seu sistema respiratório mais robusto (MIGRANE, 2004).

5.2 Impactos sobre a flora

Entre os principais impactos ambientais trazidos pela implantação da usina eólica verifica-se a grande degradação de áreas onde há empreendimentos. No desmatamento para implantação dessas usinas, é provável a supressão do ambiente levando a fragmentação dos ecossistemas relacionados à área das usinas e essa pressão possui uma escala muito menor, do que é causada, por exemplo, pelas usinas hidrelétricas. A instalação e a operação de uma usina eólica pode gerar o fenômeno de terraplenagem, como o próprio nome indica, significa a colocação ou retirada na terra para deixar um terreno plano.

Segundo Filho (2013), a terraplenagem pode modificar o nível hidrostático do lençol freático influenciando no fluxo da água subterrânea e, além disso, pode-se destacar que a circulação padrão do ar é modificada pela operação das turbinas que pode afetar o clima local e gerar microclima.

Depois da construção da usina a vegetação em torno tende a se recuperar beneficiando o retorno da fauna que sofreu invasão ao seu *habitat*, importante ressaltar que a maior parte da área usada para a implementação e operação da usina eólica pode ser destinada para outras finalidades como a agricultura e a pecuária.

5.3 Poluição sonora

As turbinas produzem ruído, e mesmo sendo pequeno, pode ter um impacto negativo para as pessoas e os animais que moram próximo de um parque eólico. O ruído da usina eólica é geralmente contínuo, contém baixa frequência que decaem vagarosamente. Os sons de baixa frequência, em particular as frequências inferiores a 20 Hz (infrassom), são conhecidos por causar efeitos fisiológicos como náuseas e dores de cabeça (OLIVEIRA, 2014).

As turbinas eólicas produzem dois tipos de ruído: o mecânico e o aerodinâmico. O ruído mecânico é produzido pelo maquinário da nacela e a caixa de engrenagem, que são a principal fonte desse ruído. Também uma percentagem muito significativa do seu ruído é proveniente do gerador. O ruído mecânico tem sido praticamente eliminado pelos materiais de isolamento, ao passo que, o ruído aerodinâmico é a função da velocidade do vento sobre a turbina eólica. A sua

redução depende do *design* das pás e da própria torre. Alguns projetos estão sendo utilizados para reduzir o ruído aerodinâmico das usinas.

É importante destacar que existe uma série de efeitos adversos à saúde das pessoas que moraram próximas aos aerogeradores, principalmente por conta do efeito da baixa frequência do ruído nos órgãos do ouvido interno (FILHO 2013).

5.4 Impactos advindos da radiação eletromagnética

A radiação eletromagnética gerada pelas usinas eólicas pode intervir nas comunicações de ondas eletromagnéticas. Como a interferência é limitada em pequenas áreas, as rotas de navegação ou no *link* de rádio podem ser evitadas ao escolher um local apropriado para a turbina. Essa situação é diferente com respeito à recepção pública de TV e rádio, já que, estão praticamente em todo lugar (OLIVEIRA, 2014).

Oliveira (2014) ressalta que durante o estudo feito pela NASA, a interferência com os sinais de TV pode essencialmente ser atribuída a duas causas. A primeira é o sinal da estação de TV perturbado pelo giro das pás, isto é, se estiver na posição direta em linha com o receptor. Esse efeito é altamente definido na faixa de UHF (*ultra-high Frequency*). Já a segunda, menos significativa, é a interferência movida pela turbina ao refletir o sinal do mesmo modo que os receptores encontrados em um ângulo adequado de reflexão. Nesse caso, recebem um segundo sinal não desejado, essa decorrência é causada por outras grandes constituições que provocam imagens não existentes na TV analógica quando o rotor está girando, porém, as TVs digitais não são afetadas.

5.5 O impacto visual

Segundo o Oliveira (2014), o impacto visual é causado por fatores como: as cores que as pás e o aerogeradores são pintadas; o tipo de paisagem; o número de pás; e o *design* das turbinas, por exemplo, as turbinas de grande porte formam uma alteração subjetiva na paisagem. Mesmo assim, precisa ser considerado o efeito circular da sombra de pá em movimento, tendo em conta que pode provocar

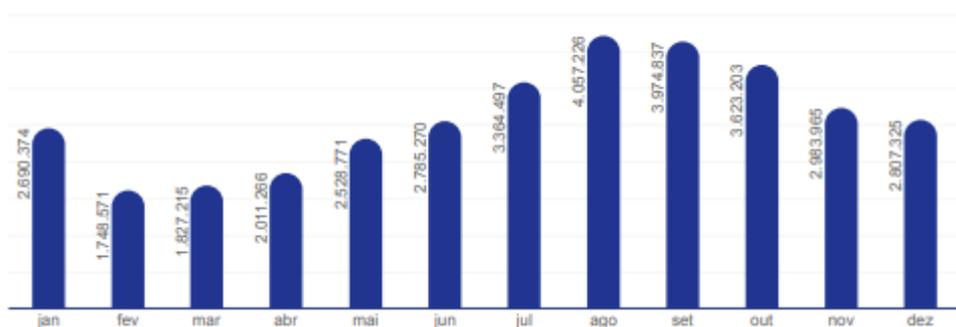
um molesto visual nos moradores perto da turbina eólica, por isso, devem ficar distantes das residências e da orientação da incidência solar.

As turbinas eólicas com aproximadamente 40m de altura e hélice de 20m, juntamente as movimentações das sombras provocadas pela hélice interferem no visual da paisagem. Esse problema leva ao sombreamento intermitente que é chamado de efeito estroboscópica, pessoas que sofrem com epilepsia em especial podem ser bastante prejudicadas com esse fenômeno (TERCIOTE, 2002).

5.6 Aspectos Benéficos

A energia eólica tem um impacto negativo pequeno, pois não polui e não emite o dióxido de carbono em sua operação. Além disso, em 2021 foi evitada cerca 34,4 milhões de tonelada de dióxido de carbono (CO_2). Como observado no Figura 16. Existem outros benefícios como: gerar renda e melhorar a vida dos proprietários do local em que foram instaladas as torres com arrendamento e gerar um dos melhores custos benefícios na tarifa de energia, além de ser renovável (ABEEÓLICA, 2021).

Figura 16: missões de CO_2 evitadas por mês (Toneladas)



Fonte: ABEEÓLICA (2021)

6 OS IMPACTOS AMBIENTAIS OCASIONADOS PELA IMPLANTAÇÃO DA CENTRAL EÓLICA SANTA MÔNICA

Atualmente, a energia eólica está sendo uma grande alternativa na geração de energia elétrica, visto que, não polui, ou seja, não emite o gás de efeito estufa. Para diminuir essa demanda de poluição que provoca mudanças no meio ambiente, vários os empreendimentos estão sendo instalados nos lugares adequados. Para saber se o lugar é adequado para a instalação dos parques ou usinas eólicas é necessário estudar o local.

O empreendimento objeto deste trabalho está localizado no Complexo Eólico Santa Mônica, caracterizada por um conjunto de parques eólicos organizados, conforme a descrição que se segue, segundo o relatório: Central Eólico Ouro Verde, Central Eólica Estrela, Central Eólica Cacimbas e o Central Eólico Santa Mônica, objeto deste estudo. A Figura 17 mostra a construção da fundação de parque eólico Trairi.

Figura 17: Construção da fundação de parque eólico em Trairi



Fonte: Diário de Nordeste (2021)

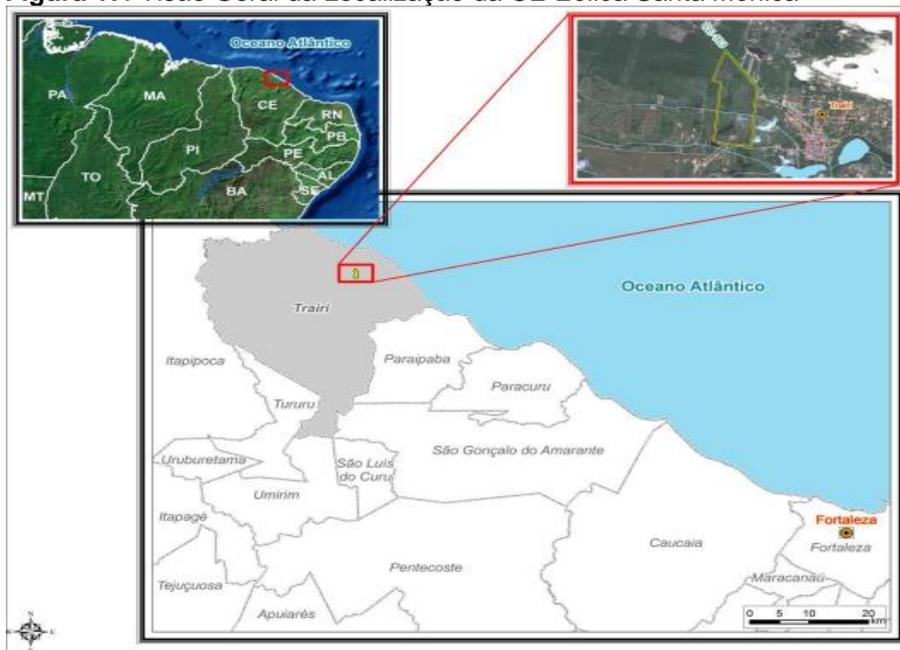
Os impactos ambientais trazidos pela implantação e operação da turbina estão diretamente relacionados, principalmente aos efeitos sonoros, impactos sobre as aves, impacto eletromagnético, impactos sobre a fauna, entre outros. Esses impactos podem ser positivos e negativos. O EIA juntamente com o RIMA,

do Central Eólico Santa Mônica são documentos necessários que têm ferramentas úteis para efetuar o estudo de viabilidade deste empreendimento a fim de analisar os impactos sofridos nesta região.

6.1 O empreendimento em estudo

O empreendimento refere-se à implantação de uma Central Eólica, ou seja, um Parque Eólico, instalada no município de Trairi/CE, na Fazenda Ilha acerca de 1,0 km a oeste da sede municipal, como apresenta a Figura 17. O município de Trairi, concretamente na região em que foi implantado o empreendimento, apresenta ventos fortes com velocidade superior a 6m/s começando no mês de agosto, principalmente na direção sudeste e leste da região. Para diminuir as emissões atmosféricas na fase de implantação, foram elaboradas medidas mitigadoras como: utilização de um sistema de umectação de vias de acesso e tráfego, composto por caminhões pipa; utilização de lona sobre a carga, durante o transporte de material; monitoramento dos equipamentos e veículos e manutenção preventiva e corretiva de equipamentos e veículos, visando à diminuição de emissão de gases poluentes (RIMA, 2013).

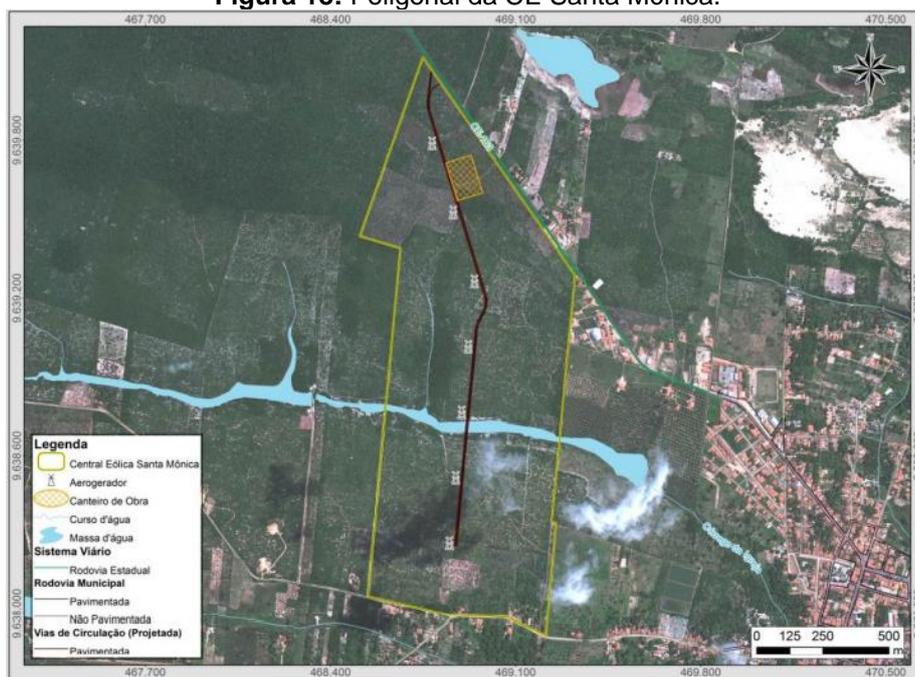
Figura 17: Visão Geral da Localização da CE Eólica Santa Mônica



Fonte: RIMA (2013)

Figura 18 apresenta a poligonal da Central Eólica Santa Mônica. O traçado amarelo é a área afetada do empreendimento, ou seja, a área onde é implantada o Central Eólica Santa Mônica. O retângulo branco são os sete aerogeradores constituídos no local. O retângulo amarelo é o carteiro de obra usado para atender à instalação do projeto e uma via de acesso.

Figura 18: Poligonal da CE Santa Mônica.



Fonte: RIMA (2013)

6.2 Áreas influenciadas

Para a implantação do empreendimento é necessário realizar um estudo ambiental. A área de influência inclui um lugar onde podem acontecer modificações ambientais no decorrer da instalação ou durante a operação. No entanto, são colocados limites geográficos no decorrer dos estudos ambientais para prevenir o desenvolvimento de ações, eliminar os impactos ambientais ou diminuir os níveis aceitáveis. Diante desse cenário, para preparação do Estudo de Impacto Ambiental da Central Eólica Santa Mônica, de acordo com a Resolução CONAMA nº 01/1986, são definidos três tipos de áreas: Área de Influência Indireta (AII), Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA).

Área diretamente afetada (ADA) pela Central Eólica Santa Mônica, para os meios físicos e bióticos, são as áreas ocupadas no processo de instalação

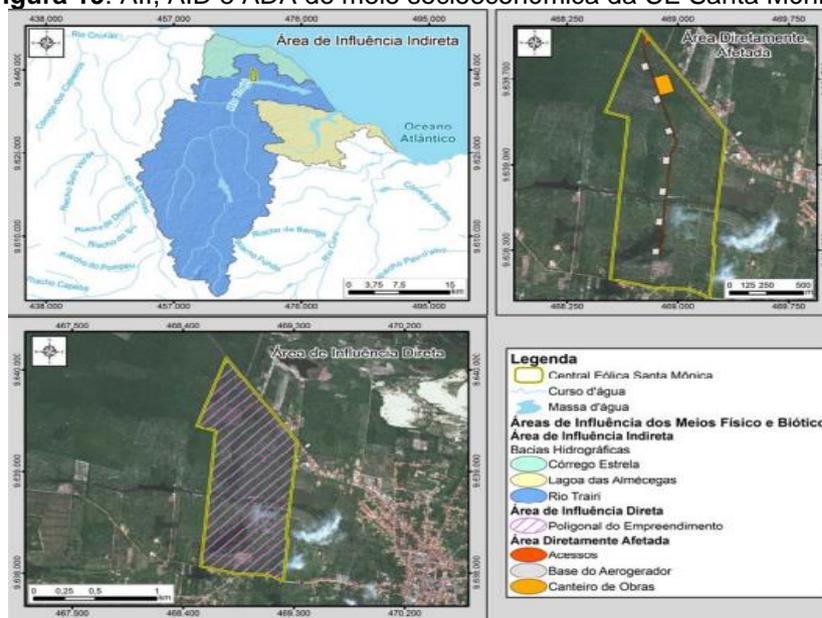
e seus espaços arredores, ou seja, o lugar onde foram posicionados os aerogeradores e vias de circulação, canteiro de obras e estruturas de apoio, edificações da subestação elétrica e tudo o que é necessário para a implantação e operação do central. Em relação ao meio socioeconômico, é considerado os aspectos da população habitada na área alugada e infraestrutura física e social. Com isso, a área poligonal da Central Eólica Santa Mônica é conceituada como uma Área Diretamente Afetada (ADA).

Na **Área de Influência Indireta (All)** Do meio socioeconômico, é conceituada como a totalidade do município de Trairi. Dos meios físicos e biótico são incluídos os trechos das sub-bacias do Rio Trairi, Cruxati, Córrego da Conceição e Córrego Estrela.

Área de Influência Direta (AID) A poligonal é para os meios físico e biótico da Central Eólica Santa Mônica. Para o meio socioeconômico foi estipulado um *buffer* de 4 km a partir dos limites da poligonal do empreendimento, visto que, a AID da Central Eólica Santa Mônica possui 12.793 habitantes dentro de seus 72,17 km².

A figura 19 apresenta as áreas influenciadas pelo empreendimento.

Figura 19: All, AID e ADA do meio socioeconômica da CE Santa Mônica



Fonte: RIMA (2013)

6.3 O zoneamento geoambiental

O zoneamento agroambiental mostrado na Quadro 4 foi realizado com base nos usos do solo na Área de Influência Direta (AID) e Área Diretamente Afetada (ADA) da Central Eólica Santa Mônica, assim como nas formações geomorfológicas que se acena ao levantamento dos cursos d'água, áreas de várzea, massas d'água e de preservação permanente.

Quadro 4 - Usos do solo na AID e ADA da CE Santa Mônica

Usos do Solo	Hectares	Porcentagem
Agricultura extensiva	0,339779	0,282636
Área construída	0,160114	0,133186
Área de regeneração	6,841697	5,69108
Área desmatada	1,487713	1,237514
Complexo vegetacional de Tabuleiro Litorâneo (TV1 e TV2)	78,924731	65,65139
Pastagem	3,154001	2,62357
Solo exposto	10,006372	8,323529
Rede viária existente	1,467616	2,875683
Várzeas	3,457086	10,38543
Vegetação arbórea	12,48515	0,95572
Vegetação arbustiva	1,148946	0,30973
Massas d'água	0,744702	1,220796
TOTAL	120,21907	

Fonte: Pela autora a partir de SEMACE – RIMA (2013)

A avaliação das Áreas de Preservação Permanente de em 4,305286 hectares. No que diz respeito à geomorfologia, o levantamento demonstrou duas concepções: que são a Glacis Pré-Litorâneo, representando cerca de 97,84% da área reservada para o empreendimento ou pode-se dizer que é 117,589258 ha da área preservada; e, a Planície Fluvial, representando aproximadamente 2,16%, ou seja, ocupando cerca de 2,626072 ha do total da Área de Influência Direta (AID) da Central Eólica Santa Mônica (RIMA, 2013).

A figura 20 apresenta o zoneamento geoambiental do empreendimento em estudo.

Figura 20: Zoneamento geoambiental



Fonte: RIMA (2013)

6.4 Análises dos impactos ambientais e as medidas mitigadoras

Intenta-se por conseguinte discorrer sobre os impactos da instalação das usinas em Trairi a partir dos seus aspectos temporários e contínuos com base no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da Central eólica Santa Mônica. Todavia, a partir do diagnóstico realizado, foram identificadas as variáveis ambientais que efetiva e potencialmente poderiam ser afetadas pela atividade de construção da Central Eólica, estes foram caracterizados por:

Meio: mostra qual é o tipo de meio, se é meio físico, biótico ou socioeconômico, o impacto irá causar seus efeitos, porém, em alguns casos o impacto poderá afetar mais de um meio ao mesmo tempo.

Natureza: identifica se o impacto ambiental é negativo ou positivo, do seguinte modo: positivo, quando o ato deriva no progresso da característica de um parâmetro ambiental ou de um fator; negativo, quando o ato deriva de um dano da característica de um parâmetro ambiental ou de um fator.

Forma: como é manifestado o impacto, isto é, se o impacto é considerado direto, proveniente de relação de causa e efeito, ou um impacto indireto derivado de uma reação secundária.

Duração: divide os impactos em temporário (com duração determinada), Permanente (com a duração contínua) e cíclico (quando se manifesta em intervalo de tempo determinado).

Prazo de ocorrência: indica se o impacto ambiental ocorre de forma curto, de médio ou longo prazo, a partir do momento em que se dá a atividade transformadora (causa).

Probabilidade: os impactos potenciais associados às situações de risco devem ser analisados de acordo com a sua probabilidade de ocorrência, como: certo é aquele cuja possibilidade de ocorrência seja muito grande ou quando existem evidências de muitas ocorrências no passado. Provável é aquele cuja possibilidade de ocorrência seja razoável ou quando existem evidências de algumas ocorrências no passado. Pouco provável é aquele que a possibilidade existe, mas não é esperado acontecer.

Reversibilidade: mostra se o impacto ambiental é irreversível ou reversível. O irreversível, se o fator ou parâmetro ambiental que foi afetado não retorna às suas condições originais em um prazo previsível. Já o reversível é quando o parâmetro ambiental afetado interrompe a ação da atividade transformadora, voltando para as suas condições originais.

Abrangência: mostra se o impacto ambiental é local, regional ou estratégico. Local é quando a ação afeta o próprio lugar e suas imediações; regional é quando o impacto se faz sentir além das imediações do lugar no qual se produz a ação; estratégico é quando o componente ambiental afetado tem ressaltante interesse coletivo ou nacional.

Magnitude: é o grau de incidência de um impacto sobre o fator ambiental, em relação ao universo desse fator ambiental e é classificada como alta, média ou baixa.

Importância: é quando o grau de interferência do impacto ambiental sobre diferentes fatores da mesma, estando relacionada exatamente com a relevância da perda ambiental, por exemplo, se houver extinção de uma espécie ou perda de um solo raro, embora de pouca extensão. É classificada como

pequena, média ou grande, na medida em que tenha maior ou menor influência sobre o conjunto da qualidade ambiental local.

Significância: é dividido por três graus: pouco significativo, significativo e muito significativo. É muito significativo quando a magnitude apresentar níveis elevados do impacto; é significativo quando apresentar níveis médios, e quando as magnitudes são pequenas, o impacto poderá ser classificado como de pouca significância.

Medidas mitigadoras: correspondem à proposição de ações que venham a minimizar ou eliminar os impactos negativos analisados, abrangendo as áreas de implantação e influência do empreendimento e referindo separadamente as fases de instalação e operação. Serão também citadas, caso necessário, as medidas otimizadas para os impactos positivos.

Quanto aos critérios abaixo estabelecidos para as fases de implantação e operação do empreendimento são classificados os seguintes critérios.

Natureza: indica qual a medida mitigadora é preventiva ou corretiva.

Permanência: é quando à permanência de aplicação da medida mitigadora, podendo ser a curto, médio ou em longo prazo.

Exequibilidade: quando há a possibilidade ou impossibilidade de execução em termos de meios, recursos, tecnologia, etc.

Responsabilidade de Implantação: mostra o responsável por sua implantação, e que é o empreendedor, poder público ou outros.

6.4.1 Os impactos na fase de estudos e projetos

No processo de implantação do empreendimento, foram estudados os seguintes impactos positivos causados, por motivos de baixa interferência no lugar escolhido para a implantação de Central Eólica Santa Mônica. Esses impactos estão alistados de acordo com as atividades realizadas.

Aquisição de serviços especializados: esse processo decorre da necessidade dos estudos de inventário, da elaboração do Projeto Básico e do próprio Estudo de Impacto Ambiental.

Crescimento do comércio local: esse crescimento dará principalmente pelo aumento do trânsito de pessoas nas áreas estudadas.

Arrecadação de impostos: refere-se ao aumento da arrecadação de impostos no município advém, especialmente, do crescimento do comércio local.

Aumento do conhecimento técnico científico: este impacto é positivo e inclui, os meios biótico, físico e socioeconômico presentes no local.

Planejamento do uso do solo: são realizados vários estudos que permitam que faça o uso planejado e adequado do terreno, com a delimitação das áreas de interesse ambiental, sendo um dos conceitos de uso sustentável da área.

Emissão de ruídos e vibrações: impacto relacionado aos estudos geotécnicos a serem realizados no local.

Emissão de poeiras e particulados: de acordo com os estudos geotécnicos, este impacto é bastante localizado, não se prevendo prejuízos maiores aos habitantes da área, nem mesmo às comunidades vizinhas ao futuro empreendimento.

Com o que foi publicado, foi possível agrupar as ações de mitigação para os impactos ambientais presentes na implantação e operação no parque eólico Santa Mônica do estudo é elaborado o Quadro 5 abaixo:

Quadro 5: Impactos na fase de instalação e operação e suas respectivas medidas mitigadoras. (Continuação)

IMPACTO	CONSEQUÊNCIAS	ETAPAS CAUSADORAS	MITIGAÇÃO
Alteração da qualidade do ar	Emissão de material particulado e de gases de combustão provenientes de fontes difusas (fixas e móveis)	Estudo; Implantação	Execução do Programa Ambiental da Construção junto ao Subprograma de Proteção ao Trabalhador e Segurança do Ambiente de Trabalho
Alteração dos níveis de ruído	Estes podem repercutir de forma distinta sobre a população local e sobre a fauna em geral, resultando em incômodo e desconforto ambiental	Implantação; Operação	Execução do Programa de Monitoramento do Nível de Ruído e Vibrações, Programa Ambiental da Construção junto ao Subprograma de Proteção ao Trabalhador e Segurança do Ambiente de Trabalho; e Programa de Comunicação para as Comunidades Circunvizinhas ao Empreendimento.
			Serão executadas nos Programa Ambiental da Construção (PAC) considerando o Subprograma de

(Continuação)

Riscos de acidente no trabalho	O trabalhador, em suas funções, se expõe aos diversos riscos de acidentes inerentes à instalação do empreendimento	Implantação; Operação	Proteção e Segurança no Ambiente de Trabalho e Plano de Desmatamento Racional (PDR); Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) e Plano de Ação de Emergência (PAE)
Alteração da dinâmica erosiva	Essas alterações podem influenciar na estabilidade do terreno, com carreamento de sedimentos e alteração da capacidade de escoamento dos terrenos e cursos fluviais.	Estudo; Implantação	Execução do Programa de Monitoramento da Qualidade do Solo e Programa Ambiental da Construção (PAC) junto ao Programa de Recuperação de Áreas Degradadas e Controle de Processos Erosivos.
Contaminação do solo	O uso, acondicionamento e destinação final inadequados de produtos químicos; utilização de máquinas e equipamentos sem a devida manutenção durante as atividades de instalação, poderão promover a contaminação do solo local.	Implantação	Execução do Programa de Monitoramento da Qualidade do Solo, Programa Ambiental da Construção (PAC) junto ao Programa de Recuperação de Áreas Degradadas e Controle de Processos Erosivos e Programa de Educação Ambiental.
Alteração da paisagem	Resulta em alteração dos aspectos paisagísticos da área, gerando impactos visuais, principalmente por considerar que suas estruturas não são contempladas com ambientações, paisagismos e outros artifícios que minimizam as alterações na paisagem natural	Implantação; Operação	Execução do Programa de Comunicação para as Comunidades Vizinhas ao Empreendimento, Programa Ambiental da Construção (PAC) junto ao Subprograma de Conservação Paisagística, Subprograma de Recuperação de Áreas Degradadas e Controle de Processos Erosivos, Plano de Desmatamento Racional (PDR).
Perda de hábitat	Afugentamento da fauna	Implantação; Operação	Execução do Programa Ambiental da Construção (PAC) junto ao Plano de Desmatamento Racional (PDR); e Programa de Monitoramento da Fauna considerando o Subprograma de Manejo da Fauna durante a Supressão Vegetal.
	Os campos eletromagnéticos de turbinas podem afetar a qualidade de rádio e		Execução do Programa de Comunicação para as Comunidades Circunvizinhas ao Empreendimento;

(Continuação)			
Interferências eletromagnéticas	telecomunicações, bem como de microondas, celular, internet e transmissão via satélite.	Operação	contemplar uma distância mínima do aeroporto e, ainda, uma área de servidão radioelétrica de ação da torre de energia eólica em relação à rota de navegação da aeronave.
Impacto sobre as aves e morcegos	Colisões das aves e morcegos com os aerogeradores	Operação	Execução do Programa de Monitoramento da Fauna junto ao Subprograma de Monitoramento da Avifauna e Quirópteros e Programa de Educação Ambiental; execução da pintura das pás, conforme a melhor metodologia; buscar desenvolver repelentes visuais mais eficientes para aves.

Fonte: Pela autora a partir de SEMACE – RIMA (2013).

6.5 Legislação dos impactos

Segundo o relatório, com vista a compensar os impactos gerados pelo empreendimento, existe uma Lei que estabelece diretrizes de como calcular, um montante financeiro a ser direcionada uma Unidade de Conservação Ambiental mais próxima do empreendimento.

A Lei nº 9.985/2000, que estabeleceu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, em seu artigo 36, impõe ao empreendedor a obrigatoriedade de apoiar a implantação e manutenção de unidade de conservação do grupo de proteção integral, quando, durante o processo de licenciamento e com fundamento em EIA/RIMA, um empreendimento for considerado de significativo impacto ambiental. O valor estipulado para a compensação é calculado pelo Grau de Impacto (GI), definido pelo Decreto Federal nº 6.848, de maio de 2009 (RIMA, 2013; p. 12).

Para aplicação dos recursos de compensação ambiental as ações prioritárias estão descritas no Decreto nº 4340/02, regularização fundiária e demarcação das terras; elaboração, revisão ou implantação de plano de manejo; aquisição de bens e serviços necessários à implantação, gestão, monitoramento e

proteção da unidade, compreendendo sua área de amortecimento; desenvolvimento de estudos necessários à criação de nova unidade de conservação; e desenvolvimento de pesquisas necessárias para o manejo da unidade de conservação e área de amortecimento (RIMA, 2013).

Deve-se enfatizar que embora a geração eólica possua um conjunto de efeitos negativos, esses efeitos podem ser minimizados ou até extinguidos. Por exemplo, a escolha correta da localização da usina e a distribuição dos aerogeradores podem atenuar os danos ambientais aos sistemas ecológicos e a saúde humana, com uma análise ambiental adequada pode-se instalar as usinas longe das rotas de movimentação e migração de aves e morcegos, a pintura das pás das turbinas com cores mais visíveis, porque a maioria destes mamíferos não possui uma visão de distinguir cores mais visíveis e menos visíveis.

Depois da construção da usina a vegetação em torno tende a se recuperar beneficiando o retorno da fauna que sofreu invasão ao seu *habitat*. É muito importante ressaltar que a maior parte da área usada para a implementação e operação da usina eólica pode ser destinada para outras finalidades como a agricultura e a pecuária.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia renovável é uma solução para o problema energético global, além disso, é a fonte de energia que é mais compatível com animais e seres humanos no mundo. O presente estudo apresenta os impactos ambientais referente ao projeto eólico do Central Santa Mônica para geração de eletricidade a partir dos ventos.

A energia eólica tem mostrado crescente desenvolvimento na sua aplicação para gerar energia elétrica a nível mundial, assim como no Brasil, particularmente no Estado do Ceará.

Constitui o aproveitamento de uma fonte renovável de alta relevância por não apresentar impactos ambientais de grande magnitude na fase de implantação e operação do empreendimento em relação às demais formas de geração de energia elétrica, exceto geração fotovoltaica.

Diante deste fato, não se pode desprezar os impactos decorrentes na implantação e operação de uma usina eólica apesar de não serem tão significativos comparando com as fontes convencionais e tradicionais. Após a construção da usina eólica da Santa Mônica, existe uma enorme possibilidade de recuperação natural da vegetação no local em que foi instalada a usina eólica, permitindo o retorno da fauna ao seu *habitat*.

Por fim, pode-se inferir a partir da análise geral dos impactos que a produção de energia eólica através da implantação de parques eólicos, conforme apresentado pelo acordo geral do projeto da Central Eólica Santa Mônica, representa benefícios relevantes frente às adversidades naturais e inerentes às atividades humanas.

REFERÊNCIAS

ABEEÓLICA - **Associação Brasileira de Energia Eólica**. Boletim anual, 2021. Disponível em: < <https://www.abeeolica.org.br/> >. Acesso em: 19 dez. 2022.

AZEVEDO, João Paulo Minardi de; NASCIMENTO, Raphael Santos do; SCHRAM, Igor Bertolino. Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo de revisão. Revista **UNINGÁ**, Maringá, Paraná, Brasil, v.51, pp.101-106, Jan/mar. 2017. Disponível em: <<https://www.revista.uninga.br/uninga/article/view/1340/958>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

BARRADAS, Renato Vianna. **Impactos Socioambientais nas Aplicações de Energia Eólica para Geração de Eletricidade**. LAVRAS – MG, 2014.

CARVALHO, Paulo. Geração Eólica. Fortaleza: Imprensa Universitária. 2003 Disponível em: <<https://www.mapaeolico.pb.gov.br/energia-eolica-e-tecnologia/historico.html>>. Acesso em: 20 dez. 2022.

Diário de Nordeste. Disponível em: < <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/com-investimento-de-quase-r-2-bilhoes-qair-brasil-inaugura-complexo-eolico-no-trairi-1.3082605> >. Acesso em: 21 dez. 2022

Disponível em:
<https://www.pt.m.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Wind_turbine_1888_Charles_Brush.jpg>. Acesso: 05/01/2023

Disponível em: < <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trairi> >. Acesso: 05/01/2023.

DUTRA, Ricardo. **Energia eólica**: Princípios e tecnologia. Rio de Janeiro: Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Britto, 2008.

FILHO, Wilson Pereira Barbosa. **Impactos Ambientais em Usina Eólicas**. 2013. Disponível em:
<<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/ag-267.pdf>>. Acesso em: 17.dez.2022.

GOLDEMBERG, José. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Blucher, 2010. Série Sustentabilidade Vol.4.

GWCE – **Global Wind Energy Council**, 2022. Disponível em:
<<https://www.gwec.net/global-wind-report-2022/>>. Acesso em: 17 dez. 2022
<https://inriufsm.com.br/energia-eolica/a-expansao-da-energia-eolica-no-brasil-e-no-mundo/>.

IBGE. **Instituto Brasileira de Geografia e Estatística**. Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/trairi.html>>. Acesso: 05/01/2023

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Energia eólica**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **FUNDAMENTOS DE ENERGIA EÓLICA**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Artliber Editora Ltda, 2014.

MIGRAINE, Marjolaine Villey. **Eoliennes, sons et infrasons: effets de l'éolien industriel sur la sante des hommes**, 2004. Disponível em: <http://docs.wind-watch.org/villey-migraine_eoliennesinfrasons.pdf>. Acesso em: 27.dez. 2022.

NEOENERGIA – 2022. Disponível em: <<https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/energia-eolica-ventos-do-nordeste.aspx>>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SIMS, R. E.; SCHOCK, R. N.; ADEGBULULGBE, A. *et al.* Introduction. Climate change 2007: Mitigation. **Contribution of working group III to the fourth Assessment report of the Intergovernmental panel on climate change**. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007.

SOUZA, Jocemar Santos de. **Estudo sobre a energia eólica no Brasil e seus impactos**. São Gabriel-RS. 2014.

SOVERNIGO, Matheus Hobold. **Impacto dos aerogeradores sobre a avifauna e quiropterofauna no Brasil**, 2009. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas Departamento de Ecologia e Zoologia.

TERCIOTE, Ricardo. A energia eólica e o meio ambiente. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

TESSMER, Hélio. **Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem**. Disponível em: <<https://vdocuments.mx/uma-sintese-historica-da-evolucao-do-consumo-de-energia-chamado-periodo.html?page=1>>. Acesso em: 02. Jan. 2023.

WANG, Chien; PRINN, Ronald G. **Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms**. Atmospheric Chemistry and Physics, v. 10, n. 4, p. 2053-2061, 2010.

Zhou, Liming, Yuhong Tian, Somnath Baidya Roy, Chris D. Thorncroft, Lance F. Bosart and Yuanlong Hu. "Impacts of wind farms on land surface temperature." *Natureza Alterações Climáticas 2* (2012).