



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA-FACET  
CURSO DE LICENCIATURA FÍSICA**

**JEFERSON RODRIGUES CARDOSO**

**CONVERSÃO DE ENERGIA EÓLICA EM ELÉTRICA A PARTIR DE  
EXPERIMENTO PARA O ENSINO DE FÍSICA**

**ABAETETUBA – PA**

**2025**

**JEFERSON RODRIGUES CARDOSO**

**CONVERSÃO DE ENERGIA EÓLICA EM ELÉTRICA A PARTIR DE  
EXPERIMENTO PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado de Licenciatura em Física, como requisito parcial para conclusão do curso de graduação Licenciatura em Física da Universidade Federal Pará – UFPA.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco da Silva Costa

ABAETETUBA – PA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)  
autor(a)

---

C268c Cardoso, Jeferson Rodrigues Cardoso.  
Conversão de Energia Eólica em Elétrica a Partir de  
Experimento para o Ensino de Física / Jeferson Rodrigues  
Cardoso Cardoso. — 2025.  
30 paginas f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco da Silva Costa  
Costa  
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade  
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba,  
Curso de Física, Abaetetuba, 2025.

1. Busca por conhecimento. I. Título.

CDD 028.8

---

**JEFERSON RODRIGUES CARDOSO**

**CONVERSÃO DE ENERGIA EÓLICA EM ELÉTRICA A PARTIR DE  
EXPERIMENTO PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado de física, como requisito parcial para conclusão do curso de graduação Licenciatura em Física da Universidade Federal Pará – UFPA.

Orientador: Prof. Dr. José Francisco da Silva Costa

Banca examinadora:

---

**Dr. José Francisco da Silva Costa**

Faculdade de Formação e Desenvolvimento do Campo-FADECAM  
Campus de Abetetuba-CUBT-UUFPA  
Membro interno

---

**Prof. Dr. Flávio Vargas de Andrade**

Faculdade de Ciências Naturais e Tecnologia-FACET.  
Campus de Abetetuba-CUBT-UUFPA  
Membro interno

---

**Prof. Me. Mateus Malato Corrêa**

Faculdade de Ciências Naturais e Tecnologia-FACET.  
Campus de Abetetuba-CUBT-UUFPA  
Membro interno

## RESUMO

A conversão de energia eólica em elétrica, por meio de experimentos didáticos, representa uma abordagem inovadora e eficaz para o ensino de Física, especialmente no contexto da educação ambiental e da busca por fontes energéticas sustentáveis. Este TC (trabalho de curso) teve como objetivo geral investigar como a construção e aplicação de um experimento físico sobre energia eólica pode contribuir para a compreensão dos processos de conversão de energia no ensino de Física. A pesquisa foi realizada em uma escola pública localizada no município de Moju, Pará, envolvendo estudantes do ensino médio. A metodologia adotada baseou-se na experimentação, dividida em quatro etapas: pesquisa teórica inicial, construção de modelos de aerogeradores com materiais recicláveis, aplicação prática com coleta de dados e análise dos resultados. Utilizou-se um ventilador doméstico para simular o vento, hélices plásticas, motor DC reciclado, suporte de madeira ou PVC e multímetro para aferição da tensão gerada. Os resultados demonstraram que os alunos compreenderam de forma mais significativa os conceitos de energia, indução eletromagnética e conservação de energia, além de desenvolverem habilidades de trabalho em grupo, pensamento crítico e consciência ambiental. A análise dos dados coletados permitiu identificar fatores que influenciam a eficiência da conversão energética, como o tipo de hélice e o ângulo de inclinação. Conclui-se que a proposta pedagógica promoveu uma aprendizagem contextualizada e interdisciplinar, despertando o interesse dos estudantes por temas ligados à sustentabilidade e inovação, e contribuindo para a formação de cidadãos críticos e comprometidos com a transformação da realidade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quadro 1- Os tipos de energia e suas funções.....	9
Figura 2: Geração e representatividade da energia eólica no Brasil.....	13
Figura 3: Mapa 1: Mapa de projetos eólicas em processo de IBAMA.....	14
Figura 4: Quantidade de projeto eólico por unidade Federativa.....	14
Figura 5: Formação dos eventos.....	16
Figura 6: Ilustração de perdas de velocidade na turbina.....	18
Figura 7: Fachada do laboratório Galileu, UFPA.....	24
Figura 8: Estrutura interna do Laboratório.....	24
Figura 9: Maquete pronta, geração de energia eólica.....	26
Figura 10: Maquete pronta com multímetro para determinação da corrente.....	26
Figura 11: Maquete pronta, Leds ligadas devido a conversão de energia eólica para elétrica.	27
Figura 12: Réplica de aero gerador.....	27

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>8</b>
<i>1.1.1 Geral.....</i>	<i>8</i>
<i>1.1.2 Específico .....</i>	<i>8</i>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Energias renováveis e a fundamentação histórica da eólica .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Energia eólica no mundo .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3. Produção da energia eólica no Brasil.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Processo de produção e transformação da energia eólica em energia elétrica.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5 Formação dos ventos e as correntes de convecção em áreas litorâneas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6 Potência extraída do vento .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7 Princípio de funcionamento de um sistema eólico .....</b>	<b>21</b>
<b>2.8 Vantagem e desvantagem do sistema eólico.....</b>	<b>21</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Localização da Área de Pesquisa Para o Experimento .....</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Habilidades Desenvolvidas.....</b>	<b>24</b>
<i>3.2.1 Materiais Utilizados.....</i>	<i>24</i>
<b>3.3 Descrição e Resultado Experimental.....</b>	<b>25</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>29</b>
<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no Brasil, observa-se uma crescente preocupação com os impactos ambientais provocados pelo uso excessivo e continuado de fontes de energia não renováveis e poluentes. As emissões massivas de dióxido de carbono, metano que também contribui bastante para o aquecimento Global e outros gases poluentes resultantes da queima de combustíveis fósseis têm contribuído significativamente para o agravamento das mudanças climáticas, poluição atmosférica e degradação ambiental. Diante desse cenário, torna-se essencial a busca por alternativas mais sustentáveis que possibilitem o desenvolvimento energético sem comprometer os recursos naturais nem a qualidade de vida das futuras gerações.

Nesse contexto, as energias renováveis surgem como uma solução viável e cada vez mais necessária. Obtidas a partir de recursos naturais que são constantemente regenerados, como a luz solar (energia solar), os ventos (energia eólica), os rios (energia hidráulica), o calor do interior da Terra (energia geotérmica), as marés e ondas (energia oceânica) e a matéria orgânica (biomassa), essas fontes energéticas não apenas garantem menor impacto ambiental, como também oferecem potencial estratégico para diversificação da matriz energética nacional.

A adoção de tecnologias limpas e renováveis em projetos de desenvolvimento representa uma oportunidade para países em crescimento como o Brasil. Conforme Zerriffi e Wilson (2010), é possível alcançar objetivos de desenvolvimento sem necessariamente replicar o aumento no consumo de combustíveis fósseis observado em países industrializados. Assim, a implementação de políticas públicas, incentivos econômicos e programas educacionais voltados à disseminação e compreensão dessas tecnologias é de suma importância.

Quanto a justificativa, compreende-se que a educação tem papel crucial na formação de cidadãos conscientes e capazes de enfrentar os desafios ambientais da contemporaneidade. O ensino de Física, em especial, apresenta um campo fértil para a abordagem prática de conceitos relacionados à energia, possibilitando a realização de experiências significativas que estimulam o pensamento crítico e científico. Nesse sentido, a utilização de experimentos relacionados à conversão de energia eólica em elétrica pode tornar o conteúdo mais tangível e atraente para os estudantes, ao mesmo tempo em que contribui para o desenvolvimento de uma consciência ambiental mais sólida.

Além disso, o Brasil possui excelente potencial eólico, com destaque para a região Nordeste, onde os ventos constantes e intensos criam condições ideais para a instalação de parques eólicos. Segundo Bezerra (2023, p. 02), “a maioria dos projetos de energia eólica estão localizados no Nordeste”, uma vez que os campos eólicos dessa região oferecem as melhores

condições para a geração elétrica a partir dos ventos. Essa realidade pode ser explorada pedagogicamente, promovendo uma contextualização regional que enriquece o processo de aprendizagem.

Em relação a problemática, apesar dos avanços no campo das energias renováveis e do interesse crescente por parte da comunidade científica e da sociedade em geral, ainda é comum a abordagem teórica e descontextualizada desses conteúdos nos currículos escolares. A ausência de práticas experimentais acessíveis e a falta de conexão com a realidade dos estudantes dificultam a assimilação de conceitos como conversão de energia, trabalho das forças da natureza e geração elétrica. Surge, portanto, a seguinte pergunta: Como a construção e a aplicação de um experimento didático sobre energia eólica podem contribuir para a compreensão dos processos de conversão de energia no ensino de Física?

Partindo da problemática apresentada, formula-se a hipótese de que: A utilização de um experimento físico envolvendo a conversão de energia eólica em elétrica, construído com materiais de baixo custo e acessíveis, pode promover uma aprendizagem mais significativa e interdisciplinar no ensino de Física, contribuindo para a formação crítica e ambientalmente consciente dos estudantes.

Observando esse contexto, desenvolve-se como metodologia com Experimentação a ideia de que para responder à problemática proposta e testar a hipótese, busca-se desenvolver um experimento didático que simula a geração de eletricidade a partir da energia dos ventos. A proposta consiste na construção de um modelo de aerogerador funcional, utilizando materiais simples como hélices plásticas, motor DC reciclado, suporte de madeira ou PVC, multímetro para aferição da tensão gerada e um ventilador doméstico para simular o vento. A metodologia será dividida em quatro etapas principais:

i) Pesquisa Teórica Inicial: Estudo introdutório sobre os conceitos de energia, energia cinética dos ventos, indução eletromagnética, leis da conservação de energia e funcionamento de geradores eólicos. Nessa fase, os alunos também serão apresentados aos dados reais sobre o potencial eólico brasileiro, com ênfase na região Nordeste.

ii) Construção do Modelo Experimental: Os estudantes serão organizados em grupos para desenvolverem seus próprios modelos de aerogeradores. Serão incentivados a usar materiais recicláveis e a aplicar os conhecimentos adquiridos na primeira etapa para otimizar o desempenho de seus protótipos.

iii) Aplicação Prática e Coleta de Dados: Com os modelos prontos, os experimentos serão realizados utilizando o vento gerado por um ventilador. Serão medidos a tensão e a corrente geradas, e os alunos deverão registrar e comparar os dados entre

os grupos, analisando o desempenho de diferentes hélices, ângulos de inclinação e velocidades do vento.

- iv) **Discussão e Análise dos Resultados:** Os dados obtidos serão discutidos à luz dos conceitos teóricos abordados. Os alunos serão convidados a refletir sobre os fatores que influenciam a eficiência da conversão de energia e as possíveis aplicações reais da energia eólica. Serão também incentivados a propor melhorias para os modelos e considerar os aspectos ambientais e sociais da adoção de energias limpas.

#### Considerações Finais

O desenvolvimento de experimentos como o proposto representa uma estratégia pedagógica eficiente para o ensino de Física, pois une teoria e prática em torno de uma temática atual e relevante. Ao abordar a conversão de energia eólica em elétrica de forma acessível e prática, favorece-se uma aprendizagem contextualizada e interdisciplinar, além de despertar nos estudantes o interesse por temas ligados à sustentabilidade e inovação.

A construção e aplicação do experimento não apenas contribui para a compreensão de conceitos físicos fundamentais, como também promove o engajamento e a participação ativa dos alunos, aspectos essenciais para a formação de sujeitos críticos, criativos e comprometidos com a transformação da realidade.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Geral

Compreender e demonstrar a conversão da energia eólica em energia elétrica por meio de um experimento didático, promovendo a aprendizagem prática dos conceitos físicos relacionados e a valorização das fontes de energia renovável no ensino de Física.

### 1.1.2 Específico

- ✓ Investigar os fundamentos físicos envolvidos na conversão da energia eólica em elétrica, com foco em conceitos como energia cinética, indução eletromagnética e transformação de energia.
- ✓ Construir e aplicar um experimento prático de geração de energia elétrica a partir do vento, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo.
- ✓ Analisar os resultados do experimento e os relacionar com a realidade, discutindo o potencial da energia eólica como alternativa sustentável aos combustíveis fósseis.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Energias renováveis e a fundamentação histórica da eólica

A necessidade de diminuição dos impactos ambientais e sociais causados por fontes poluidoras de energia instigou a busca por métodos alternativos para geração de energia com baixo custo ambiental, chamadas energias renováveis, as quais cada vez mais estão se expandindo no Brasil e no mundo. Também conhecidas como energia limpa ou alternativa, são obtidas por meio de fontes naturais que por se regenerar constantemente, não se esgotam.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), em 2023 essa Oferta Interna de Energia (OIE) aumentou para 49,1%, em comparação a 2021 que era 45%. “A Agência Internacional de Energia destaca a necessidade de triplicar a capacidade de energia renovável no setor de energia até 2030 para atingir mais de 11.000 GW, conforme o cenário de Emissões Zero Líquidas, alinhado com os objetivos estabelecidos na conferência de mudanças climáticas COP28”. (Rocha, 2024, p. 2)

As fontes de energias renováveis estudadas por pesquisadores até o momento podem ser analisadas a seguir (quadro 1).

Figura 1: Quadro 1- Os tipos de energia e suas funções.

TIPOS DE ENERGIA	FUNÇÃO
Biomassa	Consiste no conjunto de resíduos orgânicos, animal ou vegetal;
Solar	(Aproveitamento da radiação solar incidida sobre a superfície da terra), pode ser aproveitada tanto na forma de calor (aquecimento), como na forma de luz (fotovoltaica)
Hidrelétrica ou hídrica:	Utiliza o movimento das águas de rios para movimentar turbinas, transformando energia potencial em mecânica e, por fim, em elétrica
Geotérmica ou geotermal:	Obtida do calor presente no interior da Terra (núcleo)
Maremotriz ou oceânica:	Baseia-se no aproveitamento do movimento das águas oceânicas (ondas, marés e correntes marinhas), utiliza um processo de transformação de energia semelhante ao das hidrelétricas
Eólica,	Esta proveniente do aproveitamento dos ventos, utilizando o movimento da massa de ar para movimentar hélices.

Fonte: Própria do autor

Esta última forma de obtenção de energia, será abordada de forma mais aprofundada no decorrer desse trabalho.

## 2.2 Energia eólica no mundo

A força dos ventos usada para gerar energia vem sendo utilizada desde a antiguidade, registros históricos revelam que a china (por volta de 2000 a.C.) e o império Babilônico (aproximadamente 1700 a.C.) utilizavam cata-ventos rudimentares para a irrigação (CHESF-BRASCEP, 1987). (Shepherd, 1994). Em 200 A.C na Pérsia a moagem de grãos era facilitada com o auxílio de cata ventos substituindo a força motriz humana ou animal.

A energia eólica destaca-se como uma alternativa limpa e renovável, cuja aplicação tem ganhado cada vez mais relevância no cenário energético mundial, “denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão de energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas de aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos (e moinhos) para trabalhos mecânicos como bombeamento de água” (ANEEL, 2008, p. 1). Essa fonte de energia, além de não emitir poluentes, apresenta grande potencial de desenvolvimento em regiões com ventos constantes, como o Nordeste brasileiro.

Na Europa, após o retorno das cruzadas, os moinhos tiveram papel significativo por sua importância à economia agrícola, na Holanda a energia eólica era utilizada nos moinhos na drenagem de terras cobertas pelas águas.

Os moinhos de vento de eixo horizontal do tipo “holandês” foram rapidamente disseminados em vários países da Europa. Durante a Idade Média, na Europa, a maioria das leis feudais incluía o direito de recusar a permissão à construção de moinhos de vento pelos camponeses, o que os obrigava a usar os moinhos dos senhores feudais para a moagem dos seus grãos. Dentro das leis de concessão de moinhos também se estabeleceram leis que proibiam a plantação de árvores próximas ao moinho assegurando, assim, o “direito ao vento”. (BRITO 2017 p. 2)

Com a Revolução Industrial no final do Século XIX a utilização dos moinhos de vento diminuiu drasticamente devido a criação de máquinas a vapor. (CRESESB, 2007)

Porém, no início do século XX, com o avanço da rede elétrica pesquisas para o aproveitamento da energia eólica foram feitas. Em 1888, Charles F. Brush ergueu na cidade de Cleveland, Ohio, o primeiro cata-vento destinado à geração de energia elétrica. Ele fornecia 12kW em corrente contínua para carregamento de baterias, as quais eram destinadas, sobretudo, para o fornecimento de energia para 350 lâmpadas incandescentes (Scientific American, 1890 Apud Shepherd,1994) (Righter,1991)

Em 1931, na Rússia, foi criado um aerogerador de grande porte, para aplicações elétricas (Balaclava). Essa foi a primeira tentativa bem sucedida de se conectar um aerogerador de corrente alternada com uma usina termelétrica (Sektorov, 1934 Apud Shepherd, 1994)

A segunda guerra mundial contribuiu para o aumento de investimentos na criação de aerogeradores, isso porque era necessário economizar combustíveis fósseis. Assim, o maior gerador da época, o Smith-Putnam, foi criado nesse período.

Com o término da segunda guerra mundial a utilização da energia eólica perdeu espaço para os investimentos na extração de petróleo e passou a servir para fins de pesquisas em grande parte dos países.

### **2.3. Produção da energia eólica no Brasil**

O potencial eólico Brasileiro se tornou alvo de estudos na década de 70, e se intensificou com as observações de criações e aplicações bem-sucedidas de aerogeradores de médio e grande porte em outros países durante a segunda guerra mundial. Segundo estudos, em 1992 foi feita a primeira instalação para análise prática no arquipélago de Fernando de Noronha, os resultados contribuíram para o aumento de pesquisas aprofundadas visando o a instalação de uma quantidade cada vez maior de turbinas eólicas no Brasil (Brasil, n.d.; WWF-Brasil, 2015).

Com o crescimento do consumo de energia e o aumento dos problemas ambientais o Governo brasileiro passou a investir em programas que incentivassem o aumento da produção de energia oriunda de outras fontes não poluentes além da hidráulica, muito utilizada nesse período (Pêgo Filho, Mota, Carvalho & Pinheiro, 2001; Tolmasquim, 2016). Assim, em 2001 foi criado o PROEÓLICA (Programa Emergencial de Energia Eólica), que determinou a implantação, até o final de 2003, de 1050 MW de geração de energia elétrica a partir da fonte eólica (Ferreira, 2008). Os objetivos do programa foram:

I - Viabilizar a implantação de 1.050 MW, até dezembro de 2003, de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica, integrada ao sistema elétrico interligado nacional; II - promover o aproveitamento da fonte eólica de energia, como alternativa 16 de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental; III - promover a complementaridade sazonal com os fluxos hidrológicos nos reservatórios do sistema interligado nacional (BRASIL, 2001).

No entanto, não obteve muito respaldo (EPE, 2016), assim, em 2002, criou o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) o que impulsionou os investimentos em fontes renováveis (principalmente a eólica). A Lei nº 10.438/2002, também, nesse mesmo período, alterou o artigo 26 da Lei nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996, instituindo a redução de 50% às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão (TUST) e de distribuição (TUSD) incidindo na produção e no consumo da energia associado à geração

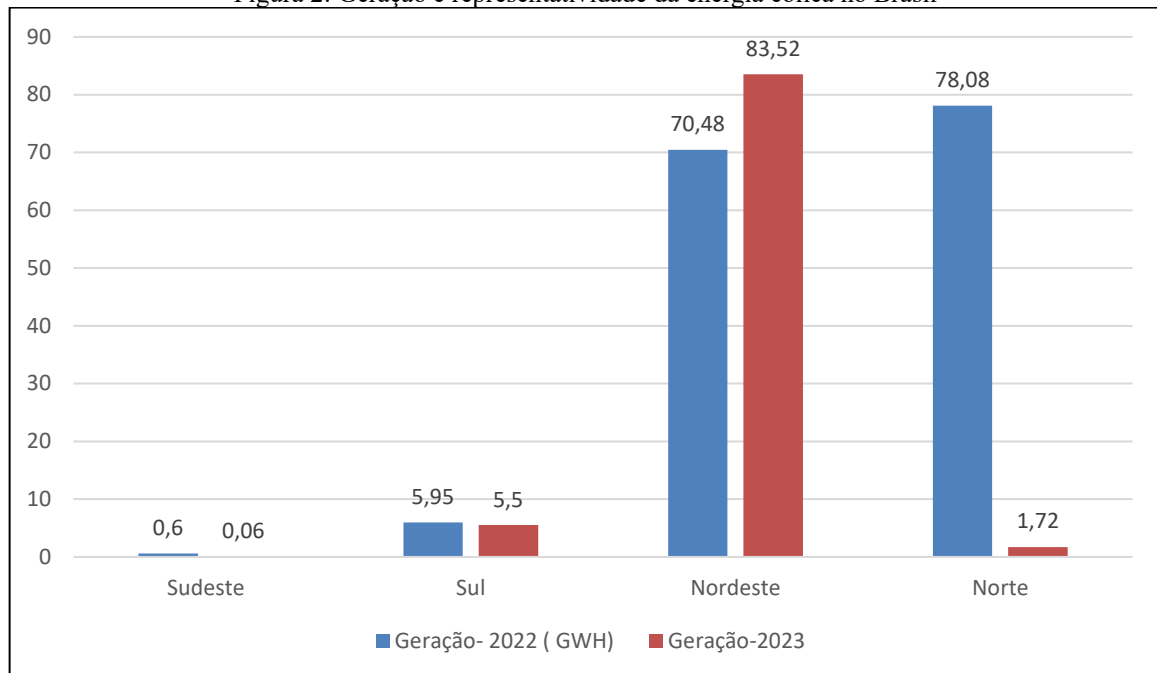
eólica. “Esse subsídio cruzado foi um auxílio adicional à viabilização da geração eólica no Brasil” (Tolmasquim, 2016, P. 241-242).

Art. 3º Fica instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de Produtores Independentes Autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (BRASIL, 2002)

Segundo dados da ABEEÓLICA (Associação Brasileira de Energia Eólica), a geração de energia brasileira proveniente dos ventos, em 2020 foi de 17,7 GW com 777 parques eólicos distribuídos por 12 estados, atualmente, alcançou a marca de 21,03 gigawatts (GW) de capacidade instalada (Machado, 2022). O Brasil ocupa o 6º lugar no ranking mundial, com aproximadamente 80% dos projetos concentrados na região nordeste. “Em junho de 2023 eram 910 usinas eólicas no Brasil, com 10.178 aerogeradores e potência instalada de 26.057,53 MW. Só no Ceará são 98 usinas eólicas em operação, distribuídos em 16 municípios com um total de 1.138 aerogeradores e potência instalada de 2.583,95 MW” (ABEEOLICA, 2023). Neste ano chegamos à marca dos mais de 1.000 Parques Eólicos pelo Brasil com uma capacidade de geração de 33 GW, passando a ocupar a 5º posição no ranking mundial. ( Fonte ANEEL).

A região nordeste é caracterizada como uma das melhores regiões para o desenvolvimento e aproveitamento de energia eólica, inclusive em períodos de estiagem, nessa ocasião, a velocidade dos ventos se torna maior podendo haver a junção com a energia hidráulica, contribuindo com a preservação dos reservatórios (Neto e Vieira, 2009). Abaixo, figura 1, tem-se o percentual de crescimento e representatividade entre os anos 2022 a 2023, mostrando a concentração em massa na região Nordeste.

Figura 2: Geração e representatividade da energia eólica no Brasil



Fonte: ABEEólica, 2023

Ainda segundo a Associação, em “2023 foi gerado no Brasil o equivalente para abastecer mensalmente, em média, 47,2 milhões de residências, isso representa 141 milhões de habitantes (2023, p. 4), e ainda:

A energia eólica terminou o ano de 2023 com 1.027 usinas e 30,45 GW de potência eólica instalada, 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, um novo recorde de instalação para a eólica no Brasil.

As perspectivas para a fonte eólica no Brasil se mostram ainda mais promissoras, em razão da possibilidade do País, principalmente o Nordeste, sediar inúmeros empreendimentos de produção de hidrogênio verde, que demandarão grande volume de energia limpa. Neste cenário, vislumbra-se o nascimento no País do segmento de eólicas offshore (no mar), possibilitando o aproveitamento do elevado potencial existente na costa marítima brasileira. (Bezerra, 2023 P. 02).

Projetos para a geração offshore de energia estão sendo analisados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, a figura 2, abaixo mostra as regiões de concentração em processo de licenciamento ambiental.

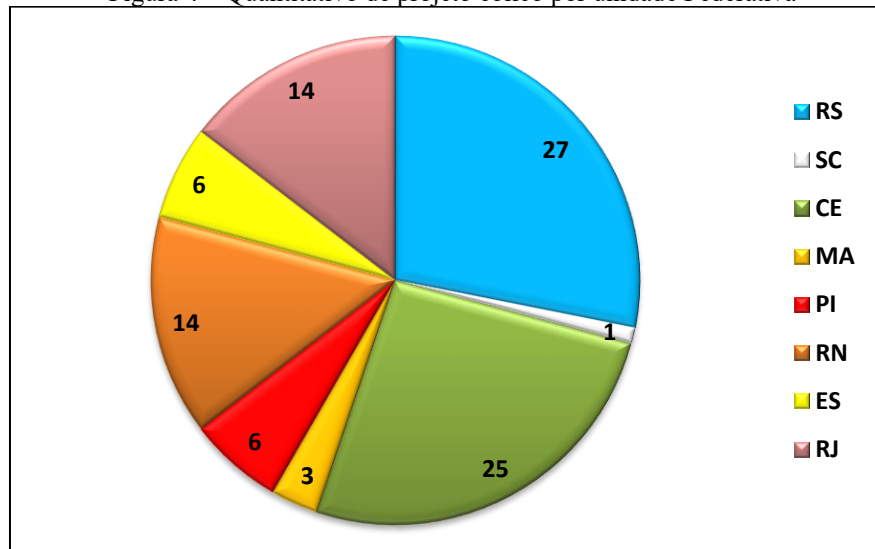
Figura 3: Mapa 1 - Mapa de projetos eólicos em processo pelo IBAMA



Fonte: IBAMA, 2024

Esses projetos somam um total de 98, entre eles a maioria, 48, se concentra na região nordestina, sendo 25 no Ceará, 14 em Rio Grande do Norte, 6 no Piauí e 3 no Maranhão. Seguido por 20 para a região Sudeste, sendo 14 no Rio de Janeiro e 6 no Espírito Santo. Para a região Sul são 28 projetos onde devem ser alocados 27 no Rio Grande do Sul e 1 em Santa Catarina, como mostra o gráfico da figura 3, abaixo.

Figura 4 – Quantitativo de projeto eólico por unidade Federativa



Fonte: ADAPTADO IBAMA, 2024

Segundo estimativas positivas, mundialmente, a energia eólica poderia abastecer 1.700 TW, ou 50% do consumo elétrico total até o ano 2030, usando apenas 1,17% da superfície terrestre, com suporte na instalação de 3,8 milhões de torres de 5 MW (JACOBSON; DELUCCHI, 2011)

## **2.4 Processo de produção e transformação da energia eólica em energia elétrica**

A geração de energia eólica envolve fundamentalmente a conversão da energia cinética do vento em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. Essa transformação é obtida usando turbinas eólicas ou geradores eólicos. Uma turbina eólica consiste principalmente em três componentes principais: o rotor, o eixo e o gerador. O rotor, que inclui as pás e o cubo, captura a energia do vento; o eixo serve como a conexão que transfere essa energia capturada do rotor para o gerador; e o gerador é encarregado de transformar energia mecânica em energia elétrica (TOLMASQUIM, 2016, P. 261).

Conseqüentemente, a força do vento faz com que a hélice gire, levando à rotação do rotor e do eixo principal, que é ligado a uma caixa de engrenagens que amplifica a velocidade de rotação, aumentando assim o movimento do rotor. Por fim, essa energia mecânica rotacional é entregue ao gerador, onde dois ímãs facilitam o processo de indução eletromagnética para gerar eletricidade em corrente alternada. Este movimento é transmitido ao conversor, que utiliza indução eletromagnética para converter a energia cinética rotacional em energia elétrica (Koto 2009).

Assim, a energia produzida será influenciada pela força e consistência dos ventos, pelas dimensões da turbina eólica e pelo espaço abrangido pela rotação de suas pás. Em sistemas que utilizam turbinas eólicas que geram corrente contínua, há um conversor (inversor) dentro da turbina eólica que ajusta a saída para corrente alternada, permitindo compatibilidade com a rede elétrica e dispositivos eletrônicos.

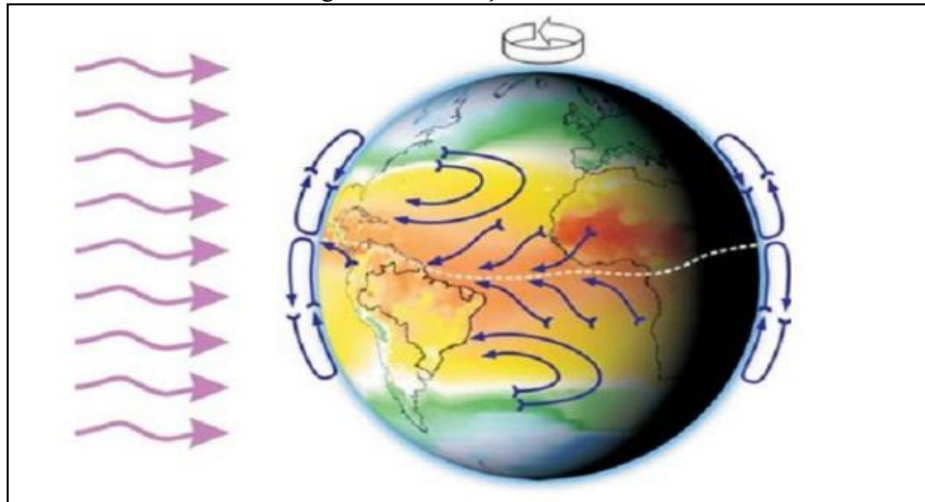
Em parques eólicos extensos, a energia gerada pelas turbinas eólicas é direcionada para subestações transformadoras, que elevam sua voltagem para transporte para áreas urbanas por meio de linhas de transmissão de alta voltagem (Portal Solar, p. 01). Esses parques eólicos podem ser Onshore, situados em terra em locais como campos abertos, colinas, planícies ou regiões costeiras onde os ventos são constantes, ou Offshore, posicionados no mar com turbinas montadas em plataformas flutuantes ou ancoradas no fundo do mar, onde as condições do vento são robustas e confiáveis.

## **2.5 Formação dos ventos e as correntes de convecção em áreas litorâneas**

Os ventos são gerados pela superfície da Terra sendo aquecida de forma desigual, um resultado da incidência variável de energia solar influenciada pelos movimentos da Terra; essencialmente, a energia solar que a Terra absorve se transforma na energia cinética dos ventos. Regiões próximas ao equador, onde a luz solar atinge quase diretamente, experimentam temperaturas mais altas em comparação com as áreas polares. Como resultado, o ar quente em

altitudes mais baixas em regiões tropicais sobe e é suplantado pelo ar mais frio que flui das regiões polares (CRESESB, 2008).

Figura 5 – Formação dos ventos



Fonte: CRESESB (2008)

O movimento do ar ao redor da Terra ameniza a temperatura extrema e produz ventos na superfície com constante transferência de energia, no entanto, apenas ventos das camadas atmosféricas mais baixas são acessíveis para a conversão em energia eólica. Entretanto, segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB) o vento não é constante em todo planeta, entre os principais fatores que influencia no regime dos ventos destacam-se Latitude, altitude, características topográficas e rugosidade do solo (CAMPOS, 2004).

Como citado anteriormente, o vento é uma forma de energia solar, pois resulta das correntes de convecção na atmosfera terrestre, impulsionadas pela energia térmica proveniente do Sol (casth, 2021), assim, ele se origina na superfície terrestre onde há solo e água. “O calor do Sol aquece o solo mais rapidamente do que a água, fazendo com que o ar aquecido se torne mais leve e suba. À noite, o ar sobre a água é mais quente, sendo substituído pelo ar mais fresco do solo” (IBIDEN, 2021 p.1).

Esse movimento gera energia cinética, que pode ser transformada em energia elétrica por meio do movimento das turbinas. No entanto, os equipamentos têm duas limitações: não funcionam na ausência de vento e danificados em condições de vento excessivo.

Dessa forma, em áreas litorâneas os ventos geralmente são mais fortes e regulares, em parte porque não encontram obstáculos, como relevos naturais ou artificiais isso possibilita um fornecimento de energia mais constante e as estruturas estão sujeitas a menos estresse mecânico, também é mais fácil estimar a produção de eletricidade de uma usina com antecedência. Essa

abundancia e constância dos ventos propicia a geração de energia eólica. Daí o fato que grande parte das usinas ou parques eólicos estar situado no litoral do Nordeste e do Rio Grande do Sul.

## 2.6 Potência extraída do vento

O coeficiente de potência é utilizado para comparar a eficiência de diferentes turbinas eólicas e é dado pela a quantidade de potência disponível no vento que pode ser convertida em potência mecânica por uma turbina.

A energia “motriz” de um aerogerador advém da sua capacidade em converter a força exercida pelo vento num momento de força (provoca movimento de rotação) que atua sobre as suas pás (lâminas). A quantidade de energia que o vento transfere em cada segundo para o rotor depende da densidade do ar ( $\rho$ ), da área de varredura do rotor ( $A$ ) e do deslocamento de uma massa de ar ( $m$ ) a uma velocidade ( $v_1$ ). (AMARAL, 2011)

Considerando que a energia cinética é dada pela expressão

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \Delta m \cdot v_1^2 \quad (1)$$

Onde  $\Delta m$  é a massa de ar com velocidade  $v_1$ . Usando o teorema do trabalho e energia. Isto é

$$\tau = \Delta E_{cin} \quad (2)$$

Que mostra que a variação de energia cinética é igual ao trabalho  $\tau$  realizado pela força. Pode-se definir a potência mecânica definida como a razão entre o trabalho executado pelo intervalo de tempo. Isto é,

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} \quad (3)$$

Levando (2) em (3), vem que,

$$P = \frac{\Delta E_{cin}}{\Delta t} \quad (4)$$

Levando a expressão (1) em (4), obtém-se a potência do aerogerador.

$$P = \frac{1}{2\Delta t} \Delta m \cdot v_1^2 \quad (5)$$

Considerando a expressão dada por (1) e levando em (4), obtém-se que,

Pode-se considerar que a densidade  $\rho$  pode ser expressa da seguinte maneira,

$$\rho = \frac{\Delta m}{V} \quad (6)$$

Considerando que a taxa de massa em relação ao intervalo de tempo é dada por,

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \frac{V}{\Delta t} \quad (7)$$

No entanto, o volume  $V$  de uma massa de ar pode ser expressa pela área  $A$  e pelo velocidade do vento  $v_1$ . Isto é,

$$V = A \cdot L \quad (8)$$

Logo a potência mecânica extraída pelo vento é dada juntando as equações (4.3.1) e (4.3.2) acima

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \frac{A \cdot L}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot v_1 \quad (9)$$

Pois a razão  $\frac{L}{\Delta t}$  representa a velocidade  $v_1$  do vento.

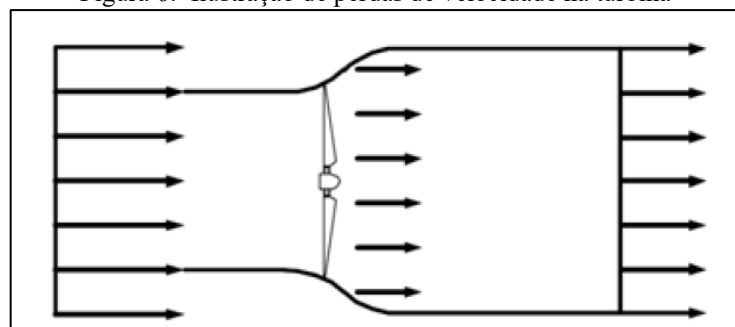
Levando (9) em (5), obtém-se que,

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \quad (10)$$

Onde:  $P_v$  potência média do vento dado na unidade [W];  $\rho$  é a densidade do ar seco dada na unidade [kg/m<sup>3</sup>];  $A$  é a área de varredura do rotor dado na unidade de [m<sup>2</sup>] e  $v_1$  velocidade média do vento dado na unidade de [m/s]

Dessa forma, a potência obtida de uma massa de ar é proporcional à área de captação do vento na turbina, ou seja, a área varrida pela hélice de raio  $r$  ( $A = \pi r^2$ ), a densidade do ar local ( $\rho$ ) e o cubo da velocidade ( $v^3$ ). No entanto, toda essa potência não pode ser obtida através de um aerogerador existem perdas de velocidade do vento na turbina, pois depende do vento incidente no local de instalação como mostra a figura 4, abaixo.

Figura 6: Ilustração de perdas de velocidade na turbina



Fonte: CRESESB, 2008

Dessa forma, a potência mecânica teórica da turbina ( $P_t$ ) é:

$$P_t = \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{\Delta t} (v_1^2 - v_3^2) \quad (11)$$

Onde o fluxo da massa de ar pode ser dado por:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \cdot A \cdot v_2 \quad (12)$$

Adotando que a velocidade do vento que atravessa as pás do rotor seja:

$$v_2 = \frac{v_1 + v_3}{2} \quad (13)$$

Substituindo as equações (12) na equação (11) temos:

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_2 (v_1^2 - v_3^2) \quad (14)$$

Substituindo a expressão (13) em (14), obtém-se que,

$$\begin{aligned} P_t &= \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot \frac{v_1 + v_3}{2} (v_1^2 - v_3^2) \Rightarrow P_t = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_3) (v_1^2 - v_3^2) \\ \Rightarrow P_t &= \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_3) (v_1 + v_3) (v_1 - v_3) \Rightarrow P_t = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_3)^2 (v_1 - v_3) \end{aligned}$$

Portanto, obtém-se que,

$$P_t = \frac{1}{4} \rho \cdot A \cdot (v_1 + v_3)^2 (v_1 - v_3) \quad (15)$$

Assim, o coeficiente de potência ( $c_p$ ) é:

$$c_p = \frac{P_t}{P_v} \quad (16)$$

Se considerar as perdas mecânicas o verdadeiro valor da potência extraída do vento é menor, assim como o coeficiente de potência real da turbina pode ser corrigido, Isto é,

$$c_{p,corr} = c_p \cdot \eta \quad (17)$$

Onde  $\eta$  representa o rendimento das perdas mecânicas e varia entre 0 e 1.

Desta forma, o máximo da energia cinética do vento, que pode ser convertido para energia mecânica por uma turbina eólica, é determinado pela "Lei de Betz". A fração da potência

obtida depende do Coeficiente  $C_p$  de cada turbina; quer dizer que o coeficiente de potência " $C_p$ " (rendimento aerodinâmico) indica a fração da potência eólica disponível,  $P$ , convertida em potência mecânica.

### Aplicação

Uma usina eólica tem uma turbina com um diâmetro do rotor de 50 metros e está localizada em uma área onde a velocidade média do vento é de 10 metros por segundo. Sabe-se que a densidade do ar é de  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . A eficiência de conversão da turbina é de 40%.

- Calcule a energia cinética do vento que passa pela área varrida pelo rotor em um segundo.
- Determine a potência disponível no vento.
- Calcule a potência elétrica gerada pela turbina.

### Solução

Dados fornecidos:

Diâmetro do rotor:  $D = 50\text{m}$ ; Velocidade do vento:  $v = 10\text{m/s}$ ; Densidade do ar:  $\rho = 1,225\text{kg/m}^3$  e eficiência da turbina:  $\eta = 40\% = 0,40$

- Energia cinética do vento que passa pela área do rotor em 1 segundo. A energia cinética por segundo do ar que atravessa a área varrida é dada por:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3 \Delta t$$

Para  $\Delta t = 1 \text{ s}$  e Área varrida pelo rotor (área de um círculo):

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 2.50 = 625\pi = 1963,5\text{m}^2$$

Logo,

$$E_{cin} = \frac{1}{2} 1,225 \cdot 1963,5 \cdot 10^3 \cdot 1 = 0,5 \cdot 1,225 \cdot 1.963,5 = 1.201.893,75\text{j} = 1.202\text{kJ/s}$$

Assim o valor  $E_{cin} = 1.202\text{kJ}$  representa a energia cinética gerada por segundo.

- Potência disponível no vento

Seja a expressão,

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v_1^3$$

Logo, substituindo os valores, como de forma análogo em a), vem que,

$$P_v = 1.222\text{kW}$$

O que significa que a potência é a energia por unidade de tempo.

c) Potência elétrica gerada pela turbina

A potência elétrica útil gerada é:

$$P_u = \eta \cdot P_v$$

Logo,

$$P_u = 0,4 \cdot 1.201.893,75w = 480.757,5w$$

## 2.7 Princípio de funcionamento de um sistema eólico

O princípio de funcionamento baseia-se na conversão da energia cinética do vento, (que é resultante do movimento de rotação causado pela incidência do vento nas pás do rotor da turbina) em energia elétrica por meio de aerogeradores. Nesse processo, os aerogeradores são instalados de forma que o ângulo e a direção das pás possam captar o máximo de vento possível, em locais estratégicos para que a força dos ventos nas pás exerçam a maior força sobre elas, fazendo com que girem em torno de um eixo vertical. “Essa rotação é o resultado da conversão da energia cinética do vento em energia mecânica” (REVISTA AMBIENTE ORGÂNICO, 2023 P. 03).

“A rotação das pás é transmitida por meio de um sistema de engrenagens e eixos para um gerador elétrico. O objetivo dessa transmissão é amplificar a rotação das pás, uma vez que o gerador precisa girar a uma velocidade constante para gerar eletricidade de forma eficiente”(IBIDEM, P. 4). Para converter energia mecânica em eletricidade o gerador é ligado a um alternador. “Isso é feito por meio de princípios eletromagnéticos, onde o movimento rotacional gera um campo magnético variável que induz a corrente elétrica em fios de cobre” (IBIDEM, p. 05). Dessa forma, a eletricidade gerada é finalmente conduzida para um sistema de cabos

## 2.8 Vantagem e desvantagem do sistema eólico

A utilização da energia eólica possui diversas vantagens, a principal delas é a não-emissão de gases poluentes ou resíduos na atmosfera, isso diminui os impactos ao meio ambiente, principalmente se falarmos sobre os gases de efeito estufa, e ainda, sua fonte é inesgotável e totalmente acessível devido não precisar de muita manutenção ou combustível; possui ótima rentabilidade do investimento e ocupam espaços físicos pequenos permitindo a continuidade de atividades entre os aerogeradores (pastagens e agricultura) além de melhorar a economia local e oferta de empregos (GUITARRA, 2024).

Em contrapartida, apesar das vantagens citadas acima, a energia eólica não é uma alternativa perfeita, entre as desvantagens na utilização da mesma podemos citar: sua matéria prima (vento) não se comporta de forma constante isso dificulta a integração da sua produção no programa de exploração; causa impacto sobre a fauna, principalmente em relação a pássaros que podem colidir com a estrutura do sistema e turbinas eólicas; o parque eólico gera efeitos desconhecidos sobre a modificação dos comportamentos habituais de migração de aves e prejudica a de insetos, principalmente em relação a polinização; os ruídos causados pela vento nas pás são alvo de grandes debates por isso as habitações mais próximas devem estar no mínimo a 200 metros de distância; causa impacto visual, em especial para quem mora nas proximidades, pois observam uma grande modificação na paisagem além da interferência eletromagnética (REIS, 2019).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de mostrar a importância e eficiência da energia eólica por meio da intervenção didático-experimental nas aulas práticas no ensino da Física será apresentado aqui proposta para a criação de uma maquete para ilustrar como a energia proveniente dos ventos é gerada. Isso irá possibilitar um maior entendimento sobre o assunto, auxiliando nos processos de construção de aprendizagem dos alunos, visto que atividades experimentais facilitam o ensino e a aprendizagem nas aulas de física.

Para Araújo e Abib “o uso de atividades experimentais como estratégias de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais produtivas de minimizar as dificuldades de aprender e ensinar Física” (ARAÚJO, ABIB, 2003 P. 176). Ele classifica as atividades experimentais em três tipos: atividades de demonstração, de verificação e de investigação. Nas atividades de demonstração, o professor faz toda a atividade e os alunos apenas observam, as atividades de verificação foram realizadas para comprovar uma teoria ou uma lei e somente nas atividades investigativas os alunos participam do processo, interpretando o problema e apresentando possíveis soluções para o mesmo.

De fato, ao montar sistemas experimentais, mesmo os mais simples, manipular os materiais empregados nos experimentos, eventualmente operarem equipamentos, os alunos aprimoram múltiplos saberes procedimentais, o que, segundo alguns pesquisadores, é fundamental para sua formação, especialmente a sociedade atual, cada vez mais cercada pela ciência e tecnologia (GASPAR, 2003, apud OLIVEIRA, 2010, p. 146).

Desse modo, a proposta aqui apresentada sobre a construção de uma maquete eólica permite ao docente um leque de opções para utilizar em suas aulas de Física, no entanto, é ressaltado aqui a importância da participação ativa dos alunos, tanto na construção quanto no levantamento de hipóteses sobre o funcionamento. Para Azevedo (2004) a utilização de atividades investigativas pode conduzir o aluno a refletir, discutir, explicar, relatar e não apenas ficar restrito ao favorecimento de manipulação de objetos e a observação de fenômenos.

### 3.1 Localização da Área de Pesquisa Para o Experimento

O experimento foi realizado no laboratório na Universidade Federal do Pará (UFPA), em Abaetetuba, as figuras 4 e 5, abaixo mostram como ele está organizado.

Figura 7: Fachada do laboratório Galileu, UFPA



Fonte: Autoria Própria, 2024

Figura 8: Estrutura interna do Laboratório



Fonte: Autoria Própria, 2024

### 3.2 Habilidades Desenvolvidas

Compreender a importância da utilização de energias renováveis que não agredem o meio ambiente, conhecer o funcionamento da energia eólica, os fenômenos que envolvem sua produção até a chegada nas residências, aprender a construir uma maquete eólica, analisando como a energia dos ventos pode se transformar em elétrica

#### 3.2.1 Materiais Utilizados

- 1 folha de MDF
- 1 Cabo de vassoura
- 1 EVA
- 1 Palheta de ventilador
- 6 lâmpadas de Leds com

- 1 capacitor
- Fios
- 1 Tufo PVC
- Cola quente
- Voltímetro
- Raio da hélice,

### 3.3 Descrição e Resultado Experimental

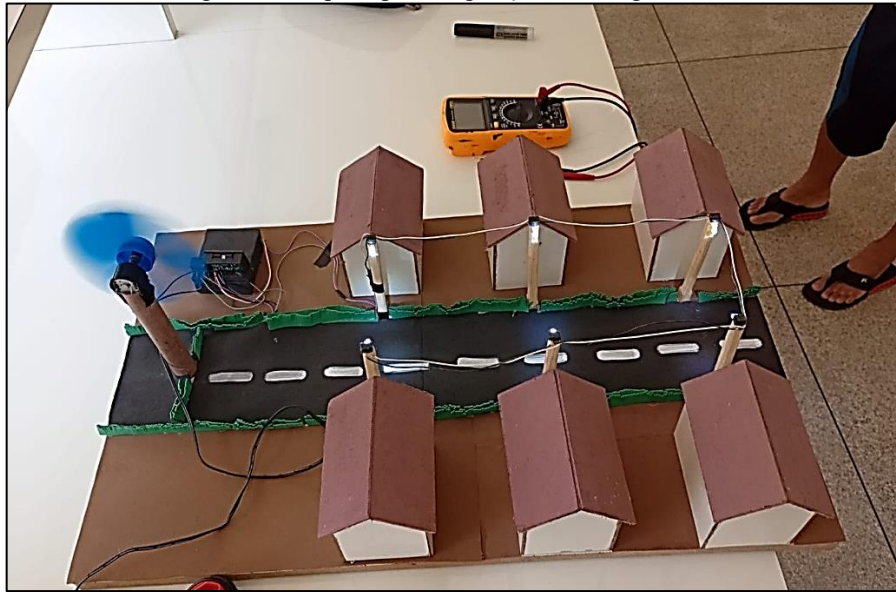
Para a construção da maquete, sendo inicialmente feita a montagem das casas em MDF e fixadas em cima de uma folha desse mesmo material, em seguida utilizando pedaços de madeira (do cabo de vassoura) foi feito os postes para colocar as lâmpadas de led em série que iluminarão a frente das casas.

Posteriormente foram feitas as ruas e o quintal das casas em EVA. Para a montagem do aerogerador utiliza-se um pedaço de cano PVC e se coloca a hélice do ventilador, na parte traseira do motor onde se localizam os pólos e positivo e negativo, utilizando um aparelho de solda com estanho, e soldamos o capacitor ligando um pólo a outro, em seguida sempre observando os pólos ligamos os fios aos leds. Para finalizar foi colocado um voltímetro digital para fins de medição da voltagem.

A figura 2, abaixo, mostra a maquete finalizada, demonstrando a construção bem sucedida, e abrindo espaço para questionamento dos alunos, pois para aprender ciência física é preciso que o aluno consiga fazer a ligação entre a teoria e a prática, relacionando com seu dia a dia. Nesse sentido, a experimentação possibilita fazer essa relação.

Segundo Guimarães “a experimentação pode ser uma estratégia eficiente para a criação de problemas reais que permitam a contextualização e o estímulo de questionamentos de investigação” (2009, p.198), ou seja, desenvolver nos alunos o senso crítico de pessoas que conseguem observar, formular hipóteses e resolver problemas. Assim, ao ligar o aerogerador novas dúvidas poderão ser sanadas, como pode ser observado na figura 3, na maquete com o aerogerador ligado (figura 6).

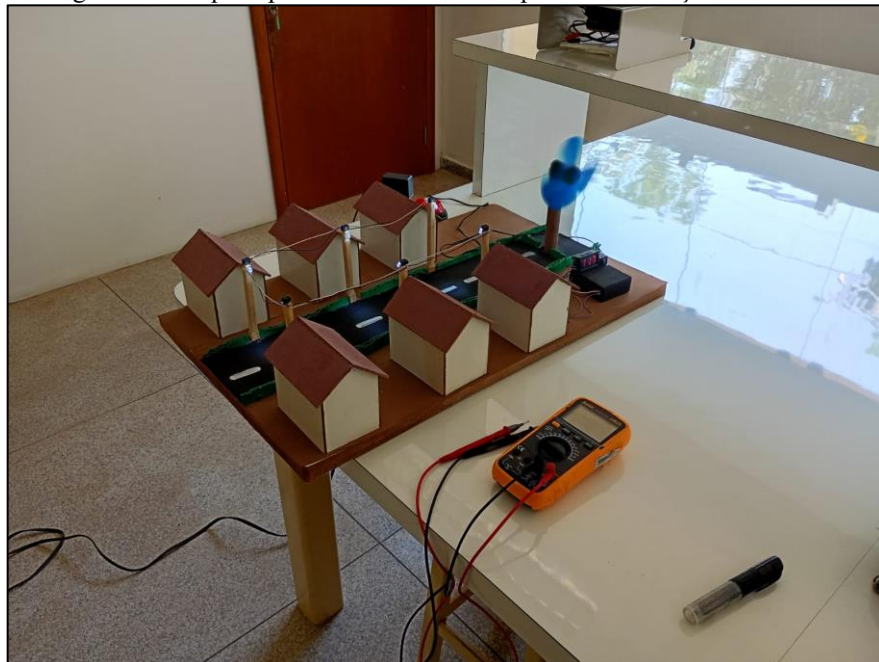
Figura 9: Maquete pronta, geração de energia eólica



Fonte: Autoria própria (2025)

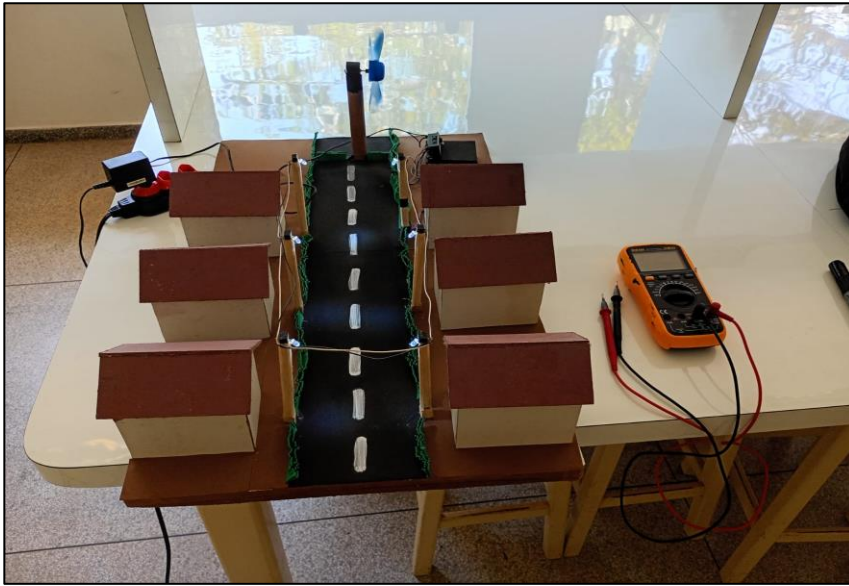
A partir do múltiplo, mediu-se a corrente de cada led obtendo o valor de 15miliamper. Verificou-se que raio da hélice de 5cm. Durante o experimento, foram obtidos os valores: saída da hélice 1,94 volts; resistência dos Leds  $24,6\Omega$ ; corrente dos Leds 120mA; tensão de cada led 2,96V e ddp da Maquete com as leds em série é de 17,76V (figuras 7 e 8).

Figura 10: Maquete pronta com multímetro para determinação da corrente



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 11: Maquete pronta, Leds ligadas devido a conversão de energia eólica para elétrica



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 12: Réplica de aero gerador



A maquete construída representa, em escala reduzida, um sistema de geração e distribuição de energia elétrica a partir de uma fonte renovável, no caso uma turbina eólica. Esse tipo de protótipo permite visualizar, de forma didática, o funcionamento de um modelo real de usina eólica que transforma a energia cinética do vento em energia elétrica, posteriormente distribuída para residências e iluminação pública. No projeto, o movimento da hélice acoplada a um motor gera tensão elétrica, que é conduzida até os pontos de consumo — representados pelos postes com lâmpadas LED e pelas casas.

O princípio é o mesmo: aerogeradores instalados em parques eólicos convertem a força do vento em eletricidade por meio de um gerador acoplado a pás de grande porte. A energia elétrica produzida passa por transformadores e sistemas de controle que regulam a tensão antes de ser enviada à rede de distribuição. No experimento, esse papel de adequação é desempenhado pelo resistor, que limita a corrente elétrica para que os LEDs operem em condições seguras, evitando sobrecarga e demonstrando o mesmo conceito de controle de tensão que ocorre em equipamentos de potência em escala industrial.

Outro aspecto importante é a associação entre os valores medidos na maquete e os cálculos teóricos. A diferença de potencial total de 19,7 V representa a tensão da “rede elétrica” em miniatura, enquanto os 6 LEDs em Nenhuma entrada de índice de ilustrações foi encontrada.série simulam os aparelhos ou pontos de iluminação ligados ao sistema. A análise dos valores de corrente e resistência mostra a importância de dimensionar adequadamente os

componentes, algo que no setor energético corresponde à necessidade de cálculo rigoroso da potência gerada, da capacidade da rede e das perdas no processo de transmissão.

Assim, a atividade experimental aproxima os estudantes da compreensão de conceitos abstratos da eletricidade, pois permite visualizar a geração e a distribuição de energia em um contexto concreto. A maquete é uma representação simplificada de como a energia eólica, já amplamente utilizada em países como o Brasil, a Dinamarca e a Alemanha, é aproveitada para atender cidades inteiras. Esse tipo de comparação evidencia o caráter pedagógico do experimento: por meio de um modelo reduzido, é possível compreender os desafios e as soluções aplicadas em escala real, como eficiência energética, segurança dos circuitos e sustentabilidade no uso das fontes renováveis.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade urgente de utilização de fontes de energia renováveis devido ao aquecimento global nos leva a refletir sobre a importância de atividades experimentais de baixo custo nas escolas que demonstrem as diferentes formas de energia limpa existentes no mundo. Assim, após a preparação e aplicação desta experiência nas aulas, espera-se que os alunos compreendam a importância da utilização da energia eólica como fonte de energia alternativa e a facilidade do processo de conversão para obtenção de energia eólica.

Vale ressaltar que atividades lúdicas como a criação de maquetes podem influenciar positivamente a criatividade, potencializar o trabalho em equipe e estimular a construção do conhecimento, principalmente na área de física, que é considerada por muitos estudantes uma disciplina de difícil compreensão e, por isso, há uma grande necessidade de buscar métodos de ensino que possibilitem aos alunos aprender melhor.

A realização do experimento didático sobre a conversão de energia eólica em elétrica demonstrou ser uma estratégia pedagógica eficaz para o ensino de Física, ao integrar teoria e prática em torno de uma temática atual e relevante. A construção de aerogeradores com materiais acessíveis permitiu aos estudantes vivenciar os conceitos físicos de forma concreta, favorecendo uma aprendizagem significativa e interdisciplinar. Além de promover o entendimento sobre energia cinética, indução eletromagnética e conservação de energia, a atividade estimulou o pensamento crítico, a criatividade e o trabalho colaborativo.

O contexto regional, com destaque para o potencial eólico do Nordeste brasileiro, especialmente relevante para os alunos da escola pública de Moju (PA), contribuiu para a valorização da realidade local e para o fortalecimento da consciência ambiental. Os dados obtidos durante os experimentos possibilitaram reflexões sobre a eficiência dos modelos construídos e sobre os desafios e possibilidades da adoção de fontes renováveis no Brasil.

Conclui-se que a abordagem experimental proposta não apenas enriquece o processo de ensino-aprendizagem, como também prepara os estudantes para atuarem como agentes transformadores, conscientes da importância da sustentabilidade e da inovação tecnológica. A inserção de práticas como essa no currículo escolar é fundamental para formar cidadãos comprometidos com a construção de um futuro mais justo e ambientalmente responsável.

## REFERÊNCIA

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Atlas da energia elétrica do Brasil*. 1. ed. Brasília: ANEEL, 2002.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

ASSOCIAÇÃO PREVÊ CRESCIMENTO NO SETOR EÓLICO E GERAÇÃO DE MIL EMPREGOS. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/01/associacao-preve-crescimento-nosetor-eolico-e-geracao-de-50-mil-empregos>. Acesso em: 2 out. 2024.

ASTH, R. C. Energia eólica. *Toda Matéria*, 2021. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/energiaeolica/>. Acesso em: 2 dez. 2024.

ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=1>. Acesso em: 1 dez. 2024.

CARVALHO, J. F. de. O espaço da energia nuclear no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, p. 293-308, 2012.

CHESF-BRASCEP. *Fontes energéticas brasileiras: inventário/tecnologia – Energia eólica. v.1: De cata-ventos a aerogeradores: o uso do vento*. Rio de Janeiro: CHESF-BRASCEP, 1987.

ELLIOT, D. Renewable energy and sustainable futures. *Futures*, v. 32, p. 261-274, 2000.

ENERGIA EÓLICA NO BRASIL E MUNDO. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256600/Folder+Energia+Eolica.pdf>. Acesso em: [data não informada].

ENERGIA RENOVÁVEL. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/>. Acesso em: 8 out. 2024.

ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL E NO MUNDO – Panorama das principais tecnologias em energias renováveis no mundo e seu desenvolvimento no Brasil. *Revista Greener Tecnologias Sustentáveis*. [S.l.], [s.d.].

GOLDEMBERG, J. Leapfrog energy technologies. *Energy Policy*, v. 26, n. 10, p. 729-741, ago. 1998.

GUIMARÃES, C. C. Experimentação no ensino de Química: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. *Química Nova na Escola*, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 198-202, 2009.

GUITARRARA, P. Energia eólica. *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/energia-eolica.htm>. Acesso em: 29 nov. 2024.

JACOBSON, M. Z.; DELUCCHI, M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power – Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy*, v. 39, p. 1154-1169, 2011.

MACHADO, N. Energia eólica chega a 21 GW de capacidade instalada no Brasil. *Revista Eixos*, 2022. Disponível em: <https://eixos.com.br/energia-eletrica/eolica-chega-a-21-gw-de-capacidade-instalada-no-Brasil>. Acesso em: 25 out. 2024.

O QUE É ENERGIA EÓLICA? Entenda como turbinas geram energia elétrica a partir dos ventos. *Ecycle*. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/2899-o-que-e-energia-eolica-entenda-como-funciona-turbinas-geram-eletricidade-ventos-vantagens-desvantagens-usina-parque-renovavel-limpa.html>. Acesso em: 5 out. 2024.

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

REIS, P. Energia eólica. *Portal Energia*, fev. 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-eolica/>. Acesso em: 29 nov. 2024.

SCIENTIFIC AMERICAN. Mr. Brush's windmill dynamo. *Scientific American*, v. LXIII, n. 25, p. 389, 20 dez. 1890. Apud: SHEPHERD, D. G., 1994.

SHEPHERD, D. G. Historical development of the windmill. In: SPERA, S. A. (ed.). *Wind turbine technology: fundamental concepts of wind turbine engineering*. 1. ed. New York: ASME Press, 1994. p. 1-46.

SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. *Estudos Avançados*, v. 27, n. 77, São Paulo, 2013.

TOLMASQUIM, M. T. (Coord.). *Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica*. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. *Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica*. Rio de Janeiro: EPE, 2016.