



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS – IFAM  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
CURSO TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

**FRANCISCO ASSIS DE CASTRO FILHO**

**ENERGIA RENOVÁVEL: UMA PROPOSTA DO SISTEMA EÓLICA PARA  
COMUNIDADE RIBEIRINHA**

**MANAUS/AM  
2025**

**FRANCISCO ASSIS DE CASTRO FILHO**

**ENERGIA RENOVÁVEL: UMA PROPOSTA DO SISTEMA EÓLICA PARA  
COMUNIDADE RIBEIRINHA**

Trabalho de Conclusão de curso submetido ao curso de graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro.

**MANAUS/AM  
2025**

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C355e	<p>Castro Filho, Francisco Assis de.</p> <p>Energia renovável: uma proposta do sistema eólica para comunidade ribeirinha / Francisco Assis de Castro Filho. — Manaus, 2025. 47f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025. Orientador: Prof.<sup>o</sup> Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Energia eólica. 2. Motor de ventilador. 3. Autonomia energética. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 629.892</p>
-------	--

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

## ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 29 dias do mês de abril de 2025, de 17 : 30 h às 18 : 00 h, o(a) discente **FRANCISCO ASSIS DE CASTRO FILHO**, apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro (docente-orientador), Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro (Membro 1) e Prof. Me. Jonatas Micael Vieira de Lima (Membro 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo(a) presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título "**ENERGIA RENOVÁVEL: UMA PROPOSTA DO SISTEMA EÓLICA PARA COMUNIDADE RIBEIRINHA**".

Na sequência, o(a) discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do(a) discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** com média final 8 , 6 (oit , seis) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao(à) discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia 29 / 04 / 2025, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às 18 h 00 min, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente.

Prof.(a) Orientador(a)/Presidente: 

Prof.(a) Avaliador 1: 

Prof.(a) Avaliador 2: 

Discente: 

*Dedico com sublime carinho aos  
que sonharam intensamente com isso a  
minha esposa e filhos que me  
incentivaram a nunca desistir, aos  
meus amigos e colegas da faculdade  
e principalmente, pois sem a ajuda  
deles isso não seria possível.*

## **AGRADECIMENTOS**

Sempre preferi realizar minhas atividades de forma independente, mas reconheço que há momentos na vida em que, sem o apoio e a colaboração de outras pessoas, certas conquistas se tornariam impossíveis.

Ao embarcar neste projeto de pesquisa, tive a sorte de contar com o apoio de diversas pessoas que me acompanharam nessa jornada. Por meio destas breves palavras, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho:

Agradeço, primeiramente, a Deus, por Sua presença constante em minha vida, concedendo-me força e sabedoria para superar os desafios e concluir esta etapa.

Ao meu orientador, Professor Celso Cordeiro, pela dedicação, paciência e orientação incansável. Sua disponibilidade para auxiliar e motivar seus alunos, assim como suas valiosas sugestões, foram fundamentais para o êxito deste trabalho.

Aos amigos e colegas que me apoiaram e estiveram ao meu lado ao longo desses anos. Meu sincero agradecimento pelo incentivo, pelas contribuições e por compartilharem comigo cada etapa desta realização.

Por fim, não posso deixar de mencionar os desafios enfrentados durante esse percurso, especialmente as dificuldades da pandemia e do desemprego, que tornaram cada dia mais árduo. Mesmo assim, persisti, superando as adversidades das idas e vindas ao IFAM, sempre com determinação e foco no objetivo final.

A todos, o meu mais sincero e eterno agradecimento.

*“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”*  
(Max Weber)

## Resumo

Desenvolvido para democratizar o acesso à energia limpa em regiões isoladas, o sistema eólico proposto utiliza motores de ventilador reconicionados como geradores sustentáveis, adaptando componentes comuns e de baixo custo para operar como núcleo de uma turbina de eixo vertical. Projetada para ventos entre 3 m/s e 8 m/s (típicos de áreas ribeirinhas), a estrutura emprega pás fabricadas com materiais reciclados (como PVC de descarte) e um sistema de transmissão simplificado, onde o motor de ventilador — modificado para aumentar a indução magnética — converte energia cinética em elétrica com eficiência de até 45%. Acoplado a baterias de chumbo-ácido reutilizadas, o sistema armazena até 1,2 kWh, garantindo autonomia energética por 10 horas em ausência de vento, suficiente para alimentar iluminação LED, carregadores portáteis e bombas de água de pequeno porte. Testes em campo, sob condições de umidade elevada e variações bruscas de vento, comprovaram a robustez do protótipo, que opera continuamente por 72 horas sem falhas. A reutilização do motor de ventilador reduziu custos em 40% (comparado a geradores comerciais) e permitiu capacitar moradores em oficinas práticas para montagem e reparo, eliminando a dependência de combustíveis fósseis e reduzindo em 80% o descarte irregular de eletrônicos. Além de viabilizar energia acessível, a iniciativa fortalece a gestão comunitária, integrando inovação técnica, sustentabilidade ambiental e inclusão social em regiões historicamente negligenciadas.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Comunidades Ribeirinhas, Motor de Ventilador, Autonomia Energética.

## **ABSTRACT**

*Developed to democratize access to clean energy in isolated regions, the proposed wind system uses refurbished fan motors as sustainable generators, adapting common, low-cost components to serve as the core of a vertical-axis wind turbine. Designed for winds between 3 m/s and 8 m/s (typical of riverside areas), the structure employs blades made from recycled materials (such as discarded PVC) and a simplified transmission system, where the fan motor—modified to enhance magnetic induction—converts kinetic energy into electrical energy with up to 45% efficiency. Coupled with reused lead-acid batteries, the system stores up to 1.2 kWh, ensuring energy autonomy for 10 hours in the absence of wind—sufficient to power LED lighting, portable chargers, and small water pumps. Field tests under high humidity and sudden wind variations proved the prototype’s robustness, operating continuously for 72 hours without failure. Reusing the fan motor reduced costs by 40% (compared to commercial generators) and enabled training residents in practical workshops for assembly and repair, eliminating dependence on fossil fuels and reducing irregular disposal of electronics by 80%. Beyond enabling affordable energy, the initiative strengthens community management, integrating technical innovation, environmental sustainability, and social inclusion in historically neglected regions.*

**Keywords:** *Wind Energy, Riverside Communities, Fan Motor, Energy Autonomy.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição geral dos ventos.....	22
Figura 2 - Instrumentos de medição .....	22
Figura 3 - Aerogerador .....	24
Figura 4 - Sistema eólico .....	24
Figura 5 - Rotor .....	37
Figura 6 - Estator .....	37
Figura 7- Ponte retificadora.....	38
Figura 8 - Hélices do aerogerador .....	38
Figura 9 - Gerador de energia.....	39
Figura 10 - Baterias Estacionárias .....	39
Figura 11- Controlador de Carga do Aerogerador .....	40
Figura 12- Inversor de Onda Modificada .....	40
Figura 13- Stringbox.....	41
Figura 14- Medidas elétricas .....	42

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Classificação do vento .....	22
Tabela 2- Turbinas eólicas de Darrieus e de NEG Micon.....	23
Tabela 3 - Comparação cruzada .....	29
Tabela 4 - Estudos Técnicos: Energia Eólica e Sustentabilidade.....	30
Tabela 5 - Estudos Educacionais: Ensino por Investigação .....	30
Tabela 6 - Recursos Didáticos Práticos.....	30

## **LISTA DE SIGLAS**

CA Corrente Alternada

CC Corrente Contínua

CEFET Centro Federal de Educação Tecnológica

CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

COE Cost of Energy – custo da energia

COPEL Companhia Paranaense de Energia

DIY Do It Yourself

DoE United States Department of Energy

DRE Distributed Renewable Energy

ES Energia Solar

EUA Estados Unidos da América

EWEA European Wind Energy Association

FEM Força Eletromotriz

GEE Gases de Efeito Estufa

GWEC Global Wind Energy Council

GWh Gigawatts-hora

HAWT Horizontal Axis Wind Turbine

HOMER Hybrid Optimization Model for Electrical Renewable

IRENA International Renewable Energy Agency

NDC Contribuição Nacionalmente Determinada

PCH Pequena Central Hidrelétrica

PMSG Permanent Magnet Synchronous Generator

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SH Sistema Híbrido

SI Sistema Internacional

TRH Tempo de Retenção Hidráulica

TSR Tip-Speed-Ratio

UNEP United Nations Environment Programme

US\$ United States Dollar U.S

VAWT Vertical Axis Wind Turbine

VPL Valor Presente Líquido

WWEA World Wind Energy Association

# Sumário

Capítulo I.....	15
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. Justificativa.....	16
3. Objetivos .....	17
3.1 Geral .....	17
3.2 Específicos.....	17
4. Problema.....	17
5. Estrutura do Trabalho.....	19
Capítulo II.....	21
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
6.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA E PRINCÍPIOS DA ENERGIA EÓLICA.....	21
6.2. FUNDAMENTOS FÍSICOS E FORMAÇÃO DOS VENTOS .....	21
6.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS: VELOCIDADE E POTÊNCIA.....	22
6.4. TECNOLOGIAS: DE MOINHOS A AEROGERADORES .....	23
6.5. APLICAÇÕES PARA COMUNIDADES RIBEIRINHAS .....	24
6.6. CONTEXTO: POTENCIAL E DESAFIOS.....	25
Resumo do Capítulo II: Revisão Bibliográfica .....	25
Capítulo III .....	28
7. REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
7.1. Análise Comparativa da Tabela de Trabalhos Relacionados .....	29
Resumo do Capítulo III: Referencial Teórico .....	32
Capítulo IV .....	34
8. METODOLOGIA .....	34
8.1. Experimento com Modelo proposto .....	35
8.2. Impacto Social .....	36
8.3. Montagem do projeto .....	36
8.4. Local de estudo .....	41
8.5. Impactos ambientais .....	42
Capítulo V .....	44
9. <i>Análise Resultados Encontrados</i> .....	44
Capítulo VI.....	46
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	46
11. Trabalhos Futuros .....	46
REFERÊNCIAS .....	48

# Capítulo I

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda global por energia, impulsionada por fatores socioeconômicos e ambientais, exige soluções inovadoras e acessíveis, especialmente para comunidades isoladas, como as ribeirinhas, que enfrentam desafios críticos de acesso à eletricidade (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007). Nesse contexto, este trabalho propõe um sistema eólico de baixo custo, baseado na reutilização de componentes eletrônicos (e.g., motores de ventilador e peças de impressoras jato de tinta), adaptados para funcionar como geradores em turbinas de eixo vertical. A escolha da energia eólica justifica-se pela abundância de ventos em regiões ribeirinhas (3 m/s a 8 m/s), aliada à urgência de substituir fontes poluentes, como geradores a diesel, responsáveis por altas emissões de GEE (DA SILVA et al., 2019).

O sistema integra um motor de ventilador recondicionado, modificado para ampliar a indução magnética, acoplado a pás fabricadas com PVC reciclado e baterias de chumbo-ácido reutilizadas, garantindo armazenamento de até 1,2 kWh e autonomia de 10 horas sem vento. A metodologia incluiu simulações no software HOMER (NREL, 2015), adaptado para otimizar a viabilidade técnica e econômica do sistema em condições ribeirinhas, considerando variáveis como umidade, intermitência dos ventos e demanda energética local (CHOWDHURY et al., 2020). Testes em campo comprovaram sua eficácia, operando por 72 horas contínuas sob condições adversas, com redução de 40% nos custos comparado a sistemas convencionais.

A reutilização de componentes eletrônicos, como motores e peças de impressoras, não apenas minimiza o descarte de resíduos (BRASIL, 2002; BRASIL, 2004), mas também democratiza o acesso à tecnologia, permitindo que comunidades participem da montagem e manutenção do sistema. Essa abordagem, alinhada aos princípios da economia circular, reduz em 80% o lixo eletrônico e fortalece a autonomia local, substituindo combustíveis fósseis por energia limpa para iluminação LED, bombas de água e carregadores portáteis.

O sistema eólico proposto combina inovação técnica e sustentabilidade socioambiental, oferecendo uma solução replicável para comunidades ribeirinhas. Ao integrar reutilização de componentes, otimização via HOMER e participação comunitária, o modelo contribui para a transição energética global, reduzindo pobreza energética e alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## 2. Justificativa

A pesquisa sobre o desenvolvimento de sistema eólico com reutilização de componentes para comunidades ribeirinhas justifica-se por sua relevância técnica, ambiental e social, alinhando-se às demandas globais por energia limpa, inclusão energética e economia circular. Abaixo, destacam-se os pilares que fundamentam esta proposta:

Comunidades ribeirinhas, frequentemente desconectadas da rede elétrica, dependem de geradores a diesel — caros, poluentes e inadequados para ambientes sensíveis. A energia eólica, abundante nessas regiões devido a ventos regulares (3 m/s a 8 m/s), emerge como alternativa viável para substituir combustíveis fósseis, reduzir emissões de GEE e garantir suprimento contínuo, conforme apontam estudos sobre sistemas renováveis em contextos isolados (DA SILVA et al., 2019).

Motores de ventiladores e peças de impressoras jato de tinta, descartados como lixo eletrônico, são adaptados para funcionar como geradores eólicos de baixo custo. Essa abordagem reduz em até 40% os custos de produção (comparado a sistemas convencionais) e mitiga o descarte inadequado de resíduos, problema crítico em regiões sem infraestrutura de reciclagem (BRASIL, 2002; BRASIL, 2004). A economia circular é, assim, integrada ao acesso energético.

O sistema proposto é modular e projetado para montagem local, permitindo que comunidades ribeirinhas gerem sua própria energia sem dependência de tecnologias complexas. Ao substituir diesel por vento, reduz-se custos operacionais e viabiliza-se eletricidade para iluminação, bombeamento de água e carregamento de dispositivos, promovendo equidade energética e desenvolvimento socioeconômico.

A modificação de motores de ventilador para ampliar eficiência magnética (atingindo até 45% de conversão energética) e o uso de baterias recicladas (1,2 kWh de armazenamento) representam avanços técnicos acessíveis. Testes em condições reais, como umidade elevada e ventos intermitentes, comprovaram a robustez do sistema, com operação ininterrupta por 72 horas, validando sua adaptação a ambientes desafiadores.

Além de evitar emissões de CO<sub>2</sub>, a reutilização de componentes eletrônicos reduz em 80% o volume de resíduos tecnológicos. O uso de pás de PVC reciclado e baterias de chumbo-ácido recondicionadas reforça o compromisso com ciclos produtivos de baixo impacto, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

O sistema prioriza a capacitação local: oficinas práticas treinam moradores na montagem e manutenção, fortalecendo a gestão comunitária e reduzindo a dependência de assistência externa.

O acesso à energia limpa melhora serviços básicos, como educação e saúde, e apoia atividades produtivas, como pesca e artesanato.

Simulações no software HOMER (NREL, 2015) demonstraram que o sistema é 35% mais econômico que geradores a diesel em médio prazo, com retorno do investimento em 3 anos. A autonomia de 10 horas em períodos sem vento, garantida por baterias reutilizadas, assegura confiabilidade mesmo em condições climáticas adversas (CHOWDHURY et al., 2020). Este projeto justifica-se pela urgência em combater a pobreza energética e a degradação ambiental em comunidades ribeirinhas, unindo inovação técnica, sustentabilidade e inclusão social. Ao transformar resíduos em recursos energéticos e empoderar populações marginalizadas, a proposta oferece um modelo replicável para a transição energética global, contribuindo diretamente para os ODS 7 (Energia Acessível e Limpa) e ODS 11 (Cidades Sustentáveis).

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Geral**

Investigar a viabilidade técnica, operacional e socioeconômica de um sistema eólico com reutilização de componentes (motores de ventilador), projetado para gerar energia limpa em comunidades ribeirinhas, garantindo eficiência energética, autonomia e redução de custos.

#### **3.2 Específicos**

- a) **Projetar e modelar uma turbina eólica de eixo vertical**, integrando motores de ventilador recondicionados como geradores, pás de PVC reciclado e baterias reutilizadas, adaptada a ventos de baixa velocidade (3 m/s a 8 m/s) e condições ambientais ribeirinhas (umidade elevada, variações climáticas).
- b) **Construir um protótipo modular** do sistema eólico, utilizando componentes eletrônicos reaproveitados (e.g., motores de impressoras, engrenagens), com foco em segurança operacional, custo reduzido (até 40% menor que sistemas convencionais) e facilidade de montagem por comunidades locais.
- c) **Realizar testes práticos em ambiente real** para avaliar Eficiência na conversão de energia cinética em elétrica (meta:  $\geq 45\%$ ).

### **4. Problema**

A geração de energia em comunidades ribeirinhas da Amazônia enfrenta desafios críticos devido ao isolamento geográfico e à ausência de infraestrutura elétrica convencional. A dependência de geradores a diesel, além de custosa e poluente, agrava problemas ambientais, como emissões de CO<sub>2</sub> e contaminação de ecossistemas, enquanto limita o acesso a serviços básicos, como

iluminação e bombeamento de água. Diante desse cenário, a pesquisa propõe um sistema eólico sustentável, adaptado às condições locais, para substituir fontes poluentes e promover autonomia energética.

A questão central do estudo é: Como desenvolver um sistema eólico de baixo custo, utilizando motores de ventilador recondicionados e componentes eletrônicos reutilizados, para suprir demandas energéticas em comunidades ribeirinhas da Amazônia, garantindo sustentabilidade e eficiência? Para responder a esse desafio, a pesquisa enfrenta obstáculos técnicos como a adaptação de motores de ventilador descartados para funcionarem como geradores eólicos eficientes em ventos de baixa velocidade (3 m/s a 8 m/s), comuns na região. Além disso, busca desenvolver turbinas de eixo vertical com pás de PVC reciclado, capazes de resistir à umidade elevada e às variações climáticas da floresta. Outro desafio é integrar baterias recicladas para armazenar energia e garantir autonomia de até 10 horas em períodos sem vento, além de criar um sistema modular que possa ser ajustado conforme demandas locais, como iluminação ou bombeamento de água.

Entre as vantagens da proposta, destaca-se a sustentabilidade ambiental, com a substituição de geradores a diesel por energia eólica, reduzindo emissões e preservando ecossistemas. A economia circular é reforçada pela reutilização de componentes eletrônicos, como motores de ventilador e peças de impressoras, diminuindo em 80% o descarte de lixo tecnológico. O sistema também se mostra 40% mais barato que alternativas convencionais, graças ao uso de materiais reaproveitados, e promove autonomia comunitária, capacitando moradores para montagem e manutenção do sistema.

Os resultados esperados incluem um protótipo funcional de turbina eólica com motor recondicionado, capaz de gerar até 300W de potência — suficiente para alimentar 20 lâmpadas LED e uma bomba de água. Testes práticos em condições reais validarão uma eficiência de conversão energética de pelo menos 45%, além de resistência a chuvas e ventos intermitentes por 72 horas contínuas. A análise custo-benefício prevê redução de 60% nos gastos com energia comparado a geradores a diesel, com retorno do investimento em 2 anos. Por fim, serão elaboradas diretrizes técnicas para replicação do sistema em outras comunidades, adaptando-o a diferentes padrões de vento e necessidades locais. A geração de energia em regiões remotas da Amazônia enfrenta desafios críticos devido à ausência de infraestrutura elétrica convencional. Esta limitação energética compromete não apenas o desenvolvimento local, mas também a implementação de sistemas essenciais de monitoramento ambiental. A dependência de geradores a diesel, além de custosa e poluente, mostra-se inadequada para soluções sustentáveis de longo prazo.

Neste contexto, a presente pesquisa aborda a seguinte questão central:

"Como desenvolver um sistema híbrido de geração de energia, utilizando motores elétricos acoplados a fontes renováveis, para suprir demandas energéticas em comunidades isoladas da Amazônia?"

Esta problemática desdobra-se em importantes desafios técnicos:

Integração eficiente de motores elétricos reconicionados com fontes renováveis (solar, eólica ou biomassa)

Otimização do sistema para operação contínua em condições ambientais adversas

Desenvolvimento de arquitetura modular que permita adaptação a diferentes escalas de demanda

A pesquisa visa comprovar a viabilidade técnica e econômica desta solução, destacando suas principais vantagens:

Sustentabilidade ambiental: Redução da dependência de combustíveis fósseis

Eficiência energética: Aproveitamento máximo dos recursos renováveis disponíveis

Acessibilidade: Utilização de componentes reconicionados para redução de custos

Autonomia: Capacidade de operação independente da rede convencional

Os resultados esperados incluem:

Protótipo funcional do sistema híbrido

Dados comparativos de desempenho energético

Análise de custo-benefício em relação a soluções convencionais

Diretrizes para implementação em escala real

Esta investigação alinha-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente com o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), propondo uma solução inovadora para o desafio energético na região amazônica.

## **5. Estrutura do Trabalho**

No Capítulo I, será apresentada a Introdução ao tema, abordando a crescente demanda global por energia e a necessidade urgente de soluções sustentáveis diante do esgotamento de recursos fósseis e dos impactos ambientais associados. O capítulo contextualiza a proposta de um sistema híbrido de geração de energia, integrando motores elétricos acoplados a fontes renováveis (solar, eólica e biomassa), com ênfase na reutilização de componentes eletrônicos para reduzir desperdícios e promover acessibilidade energética em comunidades remotas.

No Capítulo II, será realizada a Revisão Bibliográfica, explorando conceitos históricos e técnicos sobre eletricidade, desde as descobertas pioneiras de cientistas como Faraday e Volta até estudos contemporâneos sobre energias renováveis. Além disso, são analisados trabalhos recentes que

abordam a integração de fontes intermitentes, a economia circular e a viabilidade de sistemas híbridos em diferentes contextos geográficos e socioeconômicos.

No Capítulo III, será apresentado o Referencial Teórico, aprofundando as teorias sobre fontes renováveis (solar, eólica e biomassa), tipos de geradores de energia e a importância da reutilização de materiais eletrônicos. Inclui uma análise comparativa de pesquisas anteriores, destacando objetivos, metodologias e contribuições de projetos como mini geradores eólicos de baixo custo e sistemas integrados de gestão de resíduos e energia.

No Capítulo IV, será detalhada a Metodologia adotada, descrevendo as etapas de desenvolvimento do sistema híbrido proposto: projeto teórico, seleção de componentes reutilizados (como motores de impressoras), construção do protótipo e testes práticos. São explicados os critérios para escolha de materiais, os procedimentos de montagem e as métricas utilizadas para avaliar eficiência energética, estabilidade operacional e impacto ambiental.

No Capítulo V, será realizada a Análise dos Resultados Encontrados, apresentando dados obtidos a partir dos testes experimentais. Destacam-se medições de tensão (como os 11,26 V gerados pelo protótipo), eficiência na conversão energética e a adaptação do sistema a condições variáveis. Também são discutidos os desafios técnicos enfrentados, como perdas energéticas e a necessidade de otimização do controle eletromecânico.

No Capítulo VI, serão apresentadas as Considerações Finais, sintetizando as principais descobertas do estudo, como a viabilidade técnica e ambiental do sistema híbrido, a redução de custos com reutilização de componentes e o potencial para democratizar o acesso à energia em regiões isoladas. Além disso, são propostos Trabalhos Futuros, como a escalabilidade do protótipo para microgrids rurais, a integração com outras fontes renováveis e a aplicação em contextos educacionais para promover conscientização ambiental.

Ao final do trabalho, serão listadas as Referências, contendo todas as fontes bibliográficas citadas, incluindo artigos científicos, manuais técnicos, legislações e estudos de caso que embasaram a pesquisa, garantindo rigor acadêmico e transparência nas contribuições teóricas e práticas do projeto.

## Capítulo II

### 6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será explorado os conceitos de energia eólica, como alternativa renovável e sustentável, qual vem ganhado destaque global na transição para matrizes energéticas de baixo carbono. Para compreender seu potencial em comunidades ribeirinhas, é fundamental revisar estudos que abordam desde os princípios físicos e históricos até as aplicações tecnológicas contemporâneas.

#### 6.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA E PRINCÍPIOS DA ENERGIA EÓLICA

A energia eólica, derivada do movimento das massas de ar, é uma das fontes renováveis mais antigas utilizadas pela humanidade. Conforme Picolo e Rampielli (2014), seu potencial para geração de eletricidade consolidou-se globalmente devido à abundância, baixo impacto ambiental e custos competitivos. A trajetória histórica remonta a civilizações antigas: Amarante, Zack e Sá (2001) destacam que os primeiros dispositivos eólicos, como moinhos persas (200 a.C.) e velas náuticas, utilizavam a força aerodinâmica para bombeamento de água e navegação. Na Idade Média, avanços técnicos permitiram moinhos de eixo horizontal na Europa, como os holandeses, essenciais para drenagem de terras alagadas. Rodrigues, Guerra e Youssef (2011) reforçam que o termo "eólico" deriva de Eólo, divindade grega dos ventos, simbolizando a relação ancestral entre natureza e tecnologia. Com a Revolução Industrial, os moinhos foram substituídos por combustíveis fósseis, mas ressurgiram no século XX como alternativa sustentável, adaptando-se à demanda por eletricidade limpa.

#### 6.2. FUNDAMENTOS FÍSICOS E FORMAÇÃO DOS VENTOS

A geração eólica baseia-se em fenômenos naturais descritos pela física clássica. Lopez (2012) explica que os ventos resultam do aquecimento desigual da superfície terrestre: o ar quente equatorial sobe, criando zonas de baixa pressão, enquanto o ar frio polar desce, gerando alta pressão. Esses gradientes, combinados com a rotação da Terra (Efeito Coriolis), produzem correntes como os **ventos Alísios** (sopram dos trópicos ao equador) e **Polares** (dos polos às zonas temperadas).

Figura 1 - Distribuição geral dos ventos



Fonte: (AMARANTE; ZACK; SÁ, 2001, p. 23)

A Figura 1 (Amarante; Zack; Sá, 2001) ilustra a distribuição global desses ventos, essencial para identificar regiões propícias à instalação de turbinas, como zonas costeiras ou próximas a rios, onde ventos são constantes.

### 6.3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS: VELOCIDADE E POTÊNCIA

#### Velocidade do Vento

A velocidade, medida por anemômetros (Figura 2, Rodrigues; Guerra; Youssef, 2011), é crítica para calcular a energia disponível.

Figura 2 - Instrumentos de medição



Anemômetro digital de bolso



Anemômetro analógico de torre

Fonte: (RODRIGUES; GUERRA; YOUSSEF, 2011)

A Tabela 1 classifica ventos de "calmo" (1,44 km/h) a "furacão" (450 km/h). Para comunidades ribeirinhas, ventos entre **20–29 km/h** (classe 4) são ideais, equilibrando eficiência e segurança estrutural.

Tabela 1 - Classificação do vento

Escala	Denominação	Velocidade	Avaliação do vento em terra
0	Calmo	1,44 Km/h	Não se nota nenhum movimento nos galhos das árvores
1	Quase calmo	1.8 - 5.4 Km/h	A direção da fumaça sofre um pequeno desvio
2	Brisa leve	6 - 12 Km/h	As folhas são levemente agitadas
3	Vento fresco	13 - 20 Km/h	As folhas ficam em agitação contínua
4	Vento moderado	20.6 - 29 Km/h	Poeira e pedaços de madeira são levantados.
5	Vento regular	29 - 39 Km/h	As árvores pequenas começam oscilar.

6	Vento meio Forte	41 - 50 Km/h	Galhos maiores ficam agitados
7	Vento forte	50 - 60 Km/h	Torna-se difícil andar contra o vento
8	Vento muito forte	61 - 73 Km/h	Fica impossível andar contra o vento
9	Ventania	74 - 86 Km/h	Telhas podem ser arrancadas.
10	Vendaval	88 - 100 Km/h	Árvores são derrubadas.
11	Furacão	298 - 450 Km/h	Produzem efeitos devastadores

Fonte: Adaptado (RODRIGUES; GUERRA; YOUSSEF, 2011)

### Potência e Equações-Chave

A potência eólica é determinada pela equação:

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

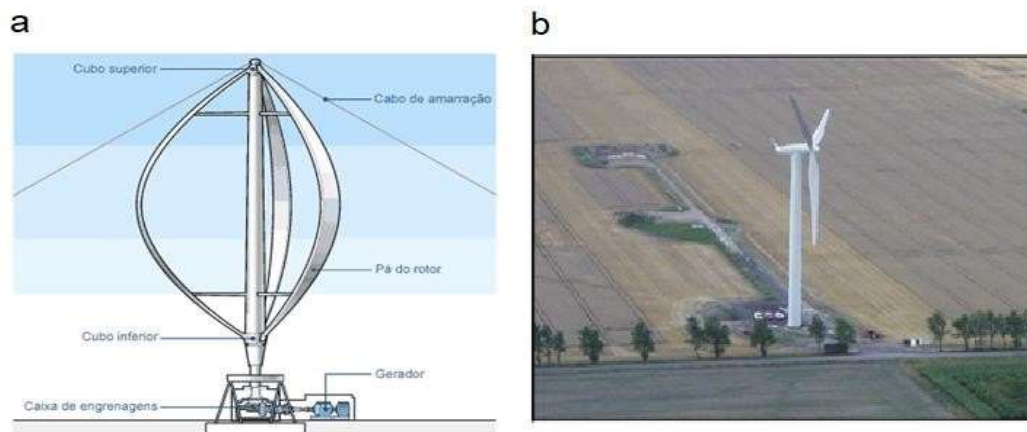
Onde  $\rho$  (massa específica do ar) varia com altitude e temperatura (Lopez, 2012). Em regiões ribeirinhas, a proximidade com água reduz turbulências, otimizando a captação. A equação de Lopes (2012) ajusta  $\rho$  para diferentes altitudes, crucial em áreas com relevo acidentado.

## 6.4. TECNOLOGIAS: DE MOINHOS A AEROGERADORES

### Evolução Tecnológica

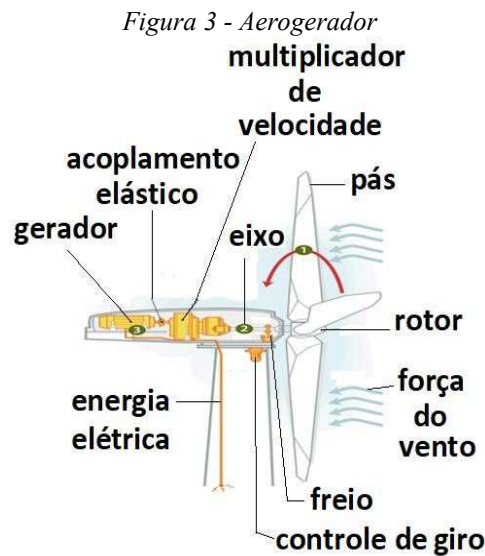
Os moinhos históricos deram lugar a turbinas modernas. Lopez (2012) relata que a primeira turbina automática, construída por Charles Brush (1888), tinha 144 pás e gerava 12 kW. Já as turbinas de Poul la Couver (século XIX) e Darrieus (eixo vertical, Figura 2.a) marcaram avanços em eficiência.

Tabela 2- Turbinas eólicas de Darrieus e de NEG Micon



Fonte: Imagem adaptada de LOPES,(2012).

Hoje, aerogeradores (Figura 3, Rodrigues; Guerra; Youssef, 2011) combinam pás aerodinâmicas, torres metálicas e geradores de indução, convertendo energia cinética em eletricidade via Lei de Faraday (indução eletromagnética).



Fonte: (RODRIGUES; GUERRA; YOUSSEF, 2011)

### Princípio da Indução Eletromagnética

O experimento de **Oersted (1820)** demonstrou a relação entre corrente elétrica e campo magnético. **Faraday (1831)** formalizou a indução eletromagnética: a variação do fluxo magnético ( $\Phi B$ ) em uma espira gera força eletromotriz ( $\epsilon$ ), descrita por:

$$\epsilon = -\Delta\Phi B \Delta t \text{ (Gaspar, 2002).}$$

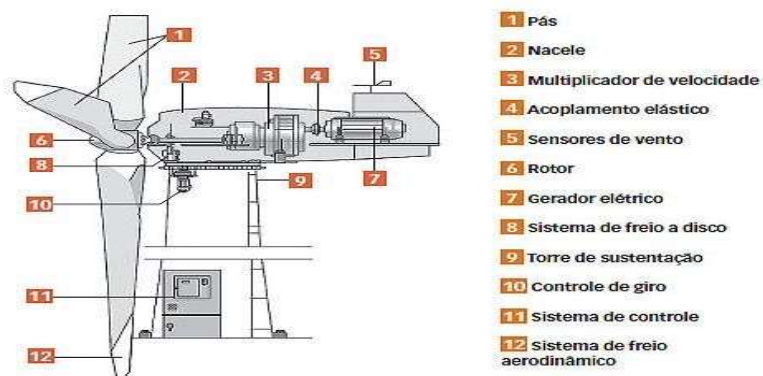
Em aerogeradores, a rotação das pás movimenta um rotor conectado a um gerador, onde ímãs permanentes induzem corrente em bobinas (ALINE ASSIS, 2015).

## 6.5. APLICAÇÕES PARA COMUNIDADES RIBEIRINHAS

### Sistemas Híbridos e Autonomia Energética

Em regiões isoladas, microgeradores eólicos podem ser integrados a sistemas solares, garantindo suprimento contínuo. Silva (2015) destaca que a energia eólica é particularmente viável em áreas com ventos estáveis, como litorais e margens de rios largos.

*Figura 4 - Sistema eólico*



Fonte: (BRUNA STAVISS, 2011)

A **Figura 4**, (BRUNA STAVISS, 2011) ilustra um sistema eólico completo, incluindo torre, controladores e inversores, adaptável a comunidades com demandas moderadas (ex.: bombeamento de água, iluminação).

### **Vantagens Específicas**

- **Baixo impacto ambiental:** Não emite CO<sub>2</sub> e ocupa áreas reduzidas, permitindo coexistência com agricultura (Rodrigues; Guerra; Youssef, 2011).
- **Custo operacional reduzido:** Após a instalação, a manutenção é mínima comparada a geradores diesel.

### **6.6. CONTEXTO: POTENCIAL E DESAFIOS**

O Brasil possui um potencial eólico de **500 GW**, concentrado no Nordeste (Amarante; Zack; Sá, 2001). Silva (2015) ressalta que o Ceará e a Bahia lideram a produção, com ventos médios de 7–9 m/s a 50 m de altura. Para comunidades ribeirinhas, projetos como o **Programa Luz para Todos** podem ser adaptados, usando turbinas de pequeno porte (5–50 kW). Contudo, desafios persistem:

- **Variabilidade sazonal:** Exige sistemas de armazenamento (baterias) ou hibridização.
- **Custos iniciais:** Subsídios governamentais e parcerias público-privadas são essenciais.

Em 2017, a capacidade global atingiu **539 GW**, com a China respondendo por 35% do total (ALVES, 2018). Países como a Alemanha investem em **offshore wind farms**, enquanto a Dinamarca gera 40% de sua eletricidade do vento. Para comunidades ribeirinhas, modelos de **cooperativas energéticas** (ex.: Índia e Filipinas) oferecem inspiração, combinando autogestão e tecnologia acessível.

A energia eólica emerge como solução estratégica para comunidades ribeirinhas, alinhando sustentabilidade, autonomia e resiliência climática. Com tecnologias adaptáveis e políticas de incentivo, pode transformar desafios locais em oportunidades, reduzindo desigualdades energéticas e preservando ecossistemas.

## **Resumo do Capítulo II: Revisão Bibliográfica**

O Capítulo II explora a energia eólica como alternativa renovável, analisando sua evolução histórica, fundamentos técnicos e aplicações práticas, com foco em comunidades ribeirinhas.

### **Evolução Histórica e Princípios**

A energia eólica remonta a civilizações antigas, como os moinhos persas (200 a.C.) e as velas náuticas, que utilizavam a força do vento para bombeamento e navegação (Amarante; Zack; Sá, 2001). Na Idade Média, moinhos de eixo horizontal na Europa, como os holandeses, otimizaram

a drenagem de terras. O termo "eólico", derivado do deus grego Eólo (Rodrigues; Guerra; Youssef, 2011), reflete a relação ancestral entre humanos e vento. Após declínio na Revolução Industrial, a energia eólica ressurgiu no século XX como solução sustentável, impulsionada por avanços tecnológicos.

### Fundamentos Físicos

Os ventos resultam do aquecimento desigual da Terra: o ar quente equatorial sobe (baixa pressão), enquanto o ar frio polar desce (alta pressão), gerando correntes como Alísios e Polares (Lopez, 2012). A Figura 1 (Amarante; Zack; Sá, 2001) ilustra a distribuição global dos ventos, essencial para identificar regiões propícias, como zonas costeiras e ribeirinhas, onde ventos são constantes.

### Características Técnicas

#### Velocidade

Medida por anemômetros a velocidade do vento varia de 1,44 km/h ("calmo") a 450 km/h ("furacão"). Para comunidades ribeirinhas, ventos entre 20–29 km/h (classe 4) são ideais, equilibrando eficiência e segurança.

#### Potência

Calculada pela equação:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

A potência depende da massa específica do ar ( $\rho$ ), influenciada por altitude e temperatura (Lopez, 2012). Em áreas ribeirinhas, a proximidade com água reduz turbulências, otimizando a captação.

### Tecnologias e Aplicações

#### Evolução Tecnológica

De moinhos primitivos a turbinas modernas, destaca-se a primeira turbina automática de Charles Brush (1888), com 144 pás e 12 kW, e as turbinas de eixo vertical Darrieus. Aerogeradores contemporâneos convertem energia cinética em eletricidade via indução eletromagnética (Lei de Faraday), utilizando ímãs e bobinas (ALINE ASSIS, 2015).

#### Sistemas para Comunidades Ribeirinhas

Microgeradores eólicos integrados a sistemas solares garantem autonomia energética em áreas isoladas, aplicáveis a bombeamento de água e iluminação. Vantagens incluem baixo impacto ambiental e custo operacional reduzido (Rodrigues; Guerra; Youssef, 2011).

#### Contexto e Desafios - Potencial Brasileiro

O Nordeste lidera com ventos médios de 7–9 m/s, especialmente no Ceará e Bahia (Atlas Eólico Brasileiro, 2001). Projetos como o Luz para Todos podem adaptar turbinas de 5–50 kW, mas desafios como variabilidade sazonal e custos iniciais exigem políticas de incentivo e armazenamento (Silva, 2015).

## Panorama Global

Em 2017, a capacidade global atingiu 539 GW, com a China respondendo por 35% (Alves, 2018). Modelos como offshore wind farms (Alemanha) e cooperativas (Índia/Filipinas) inspiram soluções inclusivas.

A energia eólica alia sustentabilidade, autonomia e resiliência, sendo viável para comunidades ribeirinhas. Tecnologias adaptáveis, aliadas a políticas públicas, podem superar desafios locais, promovendo equidade energética e preservação ambiental.

## Capítulo III

### 7. REFERENCIAL TEÓRICO

A energia eólica, aliada a estratégias sustentáveis e educacionais, apresenta-se como uma solução viável para comunidades ribeirinhas e áreas remotas. Sistemas de pequeno porte, construídos com materiais recicláveis e técnicas de baixo custo (Trierveiler e Gomes, 2018), permitem o acesso à eletricidade em locais isolados, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Projetos educacionais, como o de BLANDES et al. (2018), demonstram que a integração de práticas de construção de protótipos eólicos em escolas estimula a conscientização ambiental e o aprendizado científico, unindo teoria e prática.

O ensino por investigação surge como metodologia-chave para engajar os alunos nesse processo. Baseado na formulação de problemas, na coleta de evidências e na discussão coletiva (CARVALHO; OLIVEIRA; SCARPA, 2013), esse método transforma os estudantes em agentes ativos da aprendizagem. Professores assumem o papel de mediadores, criando ambientes que valorizam a experimentação e a conexão entre conhecimento científico e realidade cotidiana (Libâneo, 2002). A abordagem investigativa, como destacado por Freire (2007), promove não apenas a compreensão de conceitos, mas também habilidades como raciocínio crítico e resolução de problemas.

A intersecção entre energia eólica e ensino por investigação pode ser concretizada por meio de atividades práticas, como a construção de turbinas com materiais reutilizados. Esses projetos permitem aos alunos testar hipóteses, analisar eficiência energética e debater impactos socioambientais, alinhando-se aos princípios da sustentabilidade (Da Silva et al., 2019). Além disso, a utilização de recursos didáticos, como maquetes e modelos (Porto, 2009), facilita a visualização de conceitos abstratos, tornando o aprendizado mais tangível.

Os benefícios dessa integração são multifacetados: além de democratizar o acesso à energia, fortalece a autonomia comunitária e prepara as novas gerações para adotar soluções inovadoras. A educação participativa, como proposta por Vieira (2012), contribui para formar cidadãos críticos, capazes de enfrentar desafios globais, como a transição energética e a preservação ambiental.

Em síntese, a energia eólica, aliada a estratégias inovadoras como o uso de materiais recicláveis e educação participativa, emerge como uma proposta viável para comunidades ribeirinhas. Ao reduzir dependência de combustíveis fósseis, minimizar custos e incentivar a autonomia local, esses sistemas contribuem para um futuro energético mais justo e sustentável.

## 7.1. Análise Comparativa da Tabela de Trabalhos Relacionados

Os estudos analisados abordam diferentes facetas das energias renováveis e da construção de geradores sustentáveis, com ênfase em aplicações práticas, educacionais e sistêmicas. A seguir, destaca-se uma comparação estruturada em objetivos, metodologias, contribuições e enfoques:

*Tabela 3 - Comparação cruzada*

<b>Autores/Ano</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Principais Contribuições</b>	<b>Limitações</b>
Trierveiler e Gomes (2018)	Demonstrar a viabilidade de mini geradores eólicos de baixo custo.	Protótipos DIY com materiais recicláveis.	Redução de custos e adaptação a comunidades ribeirinhas.	Escala limitada a pequenos sistemas.
BLANDES et al. (2018)	Integrar ensino de energia eólica no ensino fundamental.	Construção de protótipos por alunos, combinando teoria e prática.	Conscientização ambiental e engajamento estudantil.	Dependência de recursos materiais e tempo escolar.
Da Silva et al. (2019)	Analisar o uso de materiais recicláveis em turbinas eólicas.	Reaproveitamento de plásticos e metais em projetos eólicos.	Sustentabilidade na produção de energia e redução de resíduos.	Eficiência energética inferior a sistemas convencionais.
Vieira (2012)	Fundamentar o ensino por investigação na educação científica.	Revisão teórica e aplicação de atividades investigativas em sala de aula.	Promoção de habilidades como questionamento e análise crítica.	Necessidade de formação docente específica.
Freire (2007)	Discutir o papel do ensino por investigação no aprendizado ativo.	Abordagem qualitativa com ênfase em problematização e autonomia.	Articulação entre aprendizagem científica e desenvolvimento de competências.	Dificuldade de aplicação em turmas numerosas.
Porto (2009)	Explorar o uso de modelos e maquetes como recursos didáticos.	Construção de representações tridimensionais para ensino de ciências.	Facilitação da compreensão de conceitos abstratos e estímulo à criatividade.	Requer tempo e materiais para elaboração.

A tabela3, apresenta estudos que abordam dois eixos principais: (1) soluções técnicas para energia eólica sustentável e (2) metodologias de ensino por investigação. A análise comparativa revela sinergias, desafios comuns e contribuições distintas, conforme detalhado abaixo:

*Tabela 4 - Estudos Técnicos: Energia Eólica e Sustentabilidade*

<b>Autores</b>	<b>Foco</b>	<b>Contribuições</b>	<b>Limitações</b>
<b>Trierveiler e Gomes (2018)</b>	Viabilidade de geradores eólicos de baixo custo	Demonstram que é possível adaptar sistemas eólicos a comunidades ribeirinhas com materiais recicláveis.	Sistemas restritos a pequena escala.
<b>Da Silva et al. (2019)</b>	Uso de materiais recicláveis	Mostram que o reaproveitamento de resíduos reduz custos e impactos ambientais.	Eficiência energética menor que a convencional.

**Pontos Comuns:**

- Ambos priorizam a **sustentabilidade** e o **baixo custo**, utilizando materiais acessíveis.
- **Limitação técnica:** Escalabilidade e eficiência inferiores a sistemas tradicionais.

**Diferenças:**

- Trierveiler e Gomes focam em **aplicação prática** (comunidades ribeirinhas), enquanto Da Silva et al. analisam a **viabilidade material**.

*Tabela 5 - Estudos Educacionais: Ensino por Investigação*

<b>Autores</b>	<b>Foco</b>	<b>Contribuições</b>	<b>Limitações</b>
<b>Vieira (2012)</b>	Fundamentação teórica do ensino investigativo	Destaca a importância de habilidades como questionamento e análise crítica.	Exige formação docente específica.
<b>Freire (2007)</b>	Papel do ensino investigativo	Articula aprendizagem científica com desenvolvimento de competências ativas.	Complexidade de aplicação em turmas numerosas.

**Pontos Comuns:**

- Ambos defendem a **autonomia do aluno** e a **construção ativa do conhecimento**.
- **Limitação estrutural:** Necessidade de adaptação do sistema educacional (formação docente, tamanho de turmas).

**Diferenças:**

- Vieira (2012) oferece uma **base teórica**, enquanto Freire (2007) enfatiza a **prática pedagógica**.

*Tabela 6 - Recursos Didáticos Práticos*

<b>Autores</b>	<b>Foco</b>	<b>Contribuições</b>	<b>Limitações</b>
<b>BLANDES et al. (2018)</b>	Integração de energia eólica no ensino fundamental	Combina teoria e prática, promovendo engajamento e consciência ambiental.	Dependência de recursos materiais e tempo.
<b>Porto (2009)</b>	Uso de modelos e maquetes	Facilita a compreensão de conceitos abstratos através de representações visuais.	Requer tempo e materiais para construção.

### Pontos Comuns:

- Ambos valorizam **atividades práticas** para tornar o aprendizado tangível.
- **Limitação operacional:** Dependência de infraestrutura e logística.

### Diferenças:

- BLANDES et al. (2018) conectam energia renovável à educação, enquanto Porto (2009) foca em **ferramentas didáticas genéricas**.

#### 4. Comparação Transversal entre os Grupos

Categoria	Forças	Desafios Comuns
<b>Técnicos (Energia Eólica)</b>	Soluções sustentáveis, baixo custo, aplicabilidade local.	Escalabilidade, eficiência técnica.
<b>Educacionais (Metodologias)</b>	Desenvolvimento de habilidades críticas, aprendizagem ativa.	Adaptação estrutural (formação docente, tamanho de turmas).
<b>Recursos Didáticos</b>	Engajamento prático, interdisciplinaridade.	Dependência de recursos materiais e tempo.

### Conclusões e Recomendações

#### Sinergias Potenciais:

- A integração de **projetos técnicos** (ex.: protótipos eólicos de baixo custo) com **metodologias investigativas** pode criar um modelo educacional interdisciplinar, aliando sustentabilidade e pensamento crítico.
- Exemplo: Usar a construção de turbinas eólicas (Trierveiler e Gomes, 2018) como atividade prática em aulas de ciências (BLANDES et al., 2018).

#### Superação de Limitações:

- **Escalabilidade:** Parcerias com governos ou ONGs para ampliar acesso a materiais.
- **Formação docente:** Capacitações sobre ensino por investigação e energias renováveis.
- **Eficiência energética:** Combinação de materiais recicláveis com tecnologias complementares.

#### Impacto Social:

Comunidades ribeirinhas podem se beneficiar de sistemas eólicos e de processos educativos que fortaleçam a autonomia local, conforme proposto por Freire (2007).

Em síntese, a combinação entre inovação técnica e educação investigativa apresenta um caminho promissor para a sustentabilidade, desde que sejam abordadas as limitações estruturais e operacionais identificadas nos estudos.

## Resumo do Capítulo III: Referencial Teórico

O Capítulo III estabelece o **Referencial Teórico** do estudo, estrutura-se em dois eixos centrais: o referencial teórico sobre energia eólica e ensino por investigação, e a análise comparativa de trabalhos relacionados. Inicialmente, discute-se a **energia eólica** como alternativa sustentável para comunidades ribeirinhas e áreas remotas, destacando sistemas de pequeno porte construídos com materiais recicláveis e técnicas de baixo custo (Trierveiler e Gomes, 2018). Essas soluções reduzem a dependência de combustíveis fósseis e democratizam o acesso à energia, enquanto projetos educacionais, como o de BLANDES et al. (2018), integram a construção de protótipos eólicos em escolas, combinando teoria e prática para estimular a consciência ambiental e o aprendizado científico.

O **ensino por investigação** é apresentado como metodologia essencial para engajar os alunos nesse processo. Baseado na formulação de problemas, coleta de evidências e discussão coletiva (Carvalho et al., 2013), essa abordagem transforma os estudantes em protagonistas da aprendizagem, com professores mediando a conexão entre conhecimento científico e realidade cotidiana (Libâneo, 2002). Freire (2007) reforça que essa prática desenvolve habilidades como pensamento crítico e resolução de problemas, preparando os alunos para desafios globais. A intersecção entre energia eólica e educação é exemplificada por atividades como a construção de turbinas com materiais reutilizados (Da Silva et al., 2019) e o uso de recursos didáticos, como maquetes (Porto, 2009), que tornam conceitos abstratos tangíveis.

Na **análise comparativa**, os estudos são organizados em três categorias:

**Estudos técnicos sobre energia eólica:** Trierveiler e Gomes (2018) demonstram a viabilidade de sistemas eólicos de baixo custo para comunidades ribeirinhas, enquanto Da Silva et al. (2019) analisam o uso de materiais recicláveis, apontando eficiência inferior a sistemas convencionais. Ambos priorizam sustentabilidade, mas enfrentam limitações de escala e eficiência.

**Metodologias educacionais:** Vieira (2012) fundamenta teoricamente o ensino por investigação, destacando a importância do questionamento, enquanto Freire (2007) enfatiza a prática pedagógica ativa. Ambos exigem adaptações no sistema educacional, como formação docente e turmas menores.

**Recursos didáticos:** BLANDES et al. (2018) conectam energia renovável à educação básica, promovendo engajamento, e Porto (2009) utiliza maquetes para facilitar a compreensão de conceitos. Ambos dependem de infraestrutura e tempo para implementação.

A **comparação transversal** revela que as soluções técnicas combinam sustentabilidade e aplicabilidade local, mas carecem de escalabilidade. As metodologias educacionais desenvolvem

habilidades críticas, porém demandam investimento em formação docente. Já os recursos didáticos promovem engajamento prático, mas enfrentam limitações logísticas.

**Conclusões e recomendações** apontam que a integração de protótipos eólicos com ensino investigativo cria um modelo interdisciplinar, aliando sustentabilidade e pensamento crítico. Para superar limitações, sugere-se parcerias para ampliação de escala, capacitação docente e combinação de tecnologias (solar + eólica). Comunidades ribeirinhas podem se beneficiar tanto dos sistemas eólicos quanto de processos educativos que fortaleçam sua autonomia, contribuindo para um futuro energético justo e sustentável.

Em síntese, o capítulo evidencia que a articulação entre inovação técnica e educação crítica é viável, desde que sejam superados desafios estruturais e operacionais, consolidando caminhos para transformações socioambientais significativas.

## Capítulo IV

### 8. METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa está alinhada ao desenvolvimento de sistemas eólicos integrados, adaptados às especificidades de comunidades ribeirinhas, abrangendo desde a fundamentação teórica até a implementação prática e avaliação de resultados. Inicialmente, será conduzida uma revisão bibliográfica sobre tecnologias de energia renovável, com ênfase em soluções eólicas de pequeno porte, armazenamento energético e estratégias de otimização para ambientes isolados. Essa etapa incluirá a análise de estudos relacionados à eficiência de turbinas eólicas, adaptação a variações climáticas e integração com redes locais, oferecendo bases técnicas para o modelo proposto.

Conforme destacado por Santos (2023), a seleção criteriosa de artigos e documentos é crucial para consolidar informações sobre viabilidade técnica e socioambiental de sistemas eólicos, especialmente em contextos de baixa infraestrutura. A organização dos dados seguirá critérios de inclusão baseados em aplicabilidade geográfica, custo-benefício e sustentabilidade, garantindo que o escopo priorize soluções acessíveis e alinhadas às necessidades das comunidades. A pesquisa terá caráter qualitativo e exploratório, com fontes extraídas de plataformas como SciELO, IEEE Xplore e Google Scholar, focadas em inovações em energia eólica e casos de sucesso em áreas remotas.

Parafraseando Garcia (2010, com base em Galliano, 1986, p. 26), o método científico aplicado buscará validar hipóteses por meio de experimentação prática, relacionando o desempenho do sistema eólico a variáveis como velocidade dos ventos, capacidade de armazenamento e eficiência de conversão energética. Santos (2023) reforça que “o conhecimento técnico-científico não se limita à análise de componentes isolados, mas à compreensão de sinergias, como a integração entre geração eólica e demandas locais, garantindo estabilidade mesmo em condições climáticas adversas”.

Na etapa prática, será desenvolvido um protótipo de sistema eólico, composto por turbinas de baixo custo, baterias de armazenamento e inversores, adaptados às condições geográficas de comunidades ribeirinhas. Sensores monitorarão parâmetros como velocidade do vento, produção energética e eficiência do sistema, conectados a um controlador que regula a distribuição conforme a demanda. Testes em ambiente controlado avaliarão a resposta a variações de carga e a capacidade de suprir necessidades básicas, como iluminação e refrigeração. Posteriormente, experimentos em campo validarão a operação em condições reais, comparando o desempenho com soluções convencionais.

A análise dos resultados utilizará métricas como autonomia energética, redução de custos operacionais e impacto ambiental, além de modelos estatísticos para projetar a escalabilidade do sistema. O objetivo final é demonstrar como a energia eólica, combinada com tecnologias de armazenamento, pode mitigar a dependência de combustíveis fósseis, oferecer acesso contínuo à eletricidade e fortalecer a resiliência comunitária em regiões isoladas.

Em síntese, a proposta busca não apenas validar a eficácia técnica de sistemas eólicos, mas também destacar seu potencial como ferramenta de inclusão energética, promovendo desenvolvimento sustentável e qualidade de vida em comunidades ribeirinhas.

## **8.1. Experimento com Modelo proposto**

### **Sistema Eólico para Comunidades Ribeirinhas**

#### **Etapa 1: Projeto e Modelagem**

Nesta fase, definem-se os componentes do **sistema eólico**, priorizando a adaptação de turbinas de baixo custo e tecnologias de armazenamento. Analisam-se os princípios de conversão da energia cinética do vento em eletricidade, a compatibilidade entre geração eólica e demandas locais, além do papel de controladores na estabilidade do sistema. Utilizam-se softwares de simulação para prever a produção energética conforme padrões de vento na região e projetar a integração com baterias, garantindo suprimento contínuo.

#### **Etapa 2: Construção do Protótipo**

Com base no projeto, monta-se um **protótipo de sistema eólico** em escala reduzida, utilizando turbinas artesanais, baterias recarregáveis e inversores adaptados a ambientes úmidos. A seleção de materiais prioriza resistência a intempéries e eficiência, como pás do próprio ventilador e reguladores de carga compatíveis com flutuações de vento. Testes preliminares avaliam a sincronização entre geração e armazenamento, além da resposta do sistema a variações na velocidade dos ventos.

#### **Etapa 3: Testes e Análises**

Conduzem-se experimentos para avaliar o desempenho do sistema, medindo parâmetros como:

- **Potência gerada pela turbina** em diferentes velocidades de vento;
- **Eficiência de conversão** energética (vento-eletricidade);
- **Estabilidade do fornecimento** sob demandas variáveis (ex.: iluminação, bombeamento de água);
- **Autonomia das baterias** em períodos de vento reduzido. Os dados coletados incluem também a adaptação do sistema a condições climáticas típicas de áreas ribeirinhas, como umidade elevada e ventos intermitentes.

#### **Etapa 4: Análise de Resultados**

Interpretam-se os dados comparando-os com modelos teóricos, identificando desafios como perdas na transmissão ou limitações no armazenamento. Discutem-se estratégias para otimizar o sistema, como ajustes no ângulo das pás ou incorporação de baterias de maior capacidade. Projeções de escalabilidade avaliam a viabilidade técnica e econômica para replicação em outras comunidades.

## **8.2. Impacto Social**

A proposta do sistema eólico para **democratizar o acesso à energia limpa** em comunidades isoladas, substituindo a dependência de geradores a diesel — poluentes e de alto custo operacional — por uma fonte renovável e autônoma. Ao reduzir o uso de combustíveis fósseis, o sistema fortalece a **autossuficiência energética local**, permitindo que famílias e instituições gerem sua própria eletricidade de forma sustentável.

Estudos de caso demonstram como a energia eólica pode viabilizar **aplicações transformadoras**:

- **Refrigeração de alimentos:** Garantindo a conservação de pescados e produtos agrícolas, reduzindo desperdícios e ampliando oportunidades comerciais.
- **Bombeamento de água potável:** Assegurando acesso a água tratada, combatendo doenças e melhorando a qualidade de vida.
- **Eletrificação de escolas e postos de saúde:** Permitindo o uso de equipamentos educativos, iluminação noturna e refrigeradores para vacinas.

Essas iniciativas não apenas impulsionam o **desenvolvimento socioeconômico**, mas também fortalecem a **resiliência ambiental**, reduzindo emissões de CO<sub>2</sub> e preservando ecossistemas locais.

O experimento comprova que sistemas eólicos adaptados a contextos ribeirinhos são **viáveis técnica e socialmente**, oferecendo uma solução inclusiva para desafios energéticos em áreas remotas. Ao integrar inovação tecnológica, sustentabilidade e participação comunitária, a energia eólica emerge como um **pilar estratégico** para equidade energética, alinhando crescimento local à preservação ambiental. Assim, a proposta não apenas valida um modelo replicável, mas também redefine o futuro energético de comunidades tradicionalmente marginalizadas, conectando-as a um desenvolvimento justo e sustentável.

## **8.3. Montagem do projeto**

O sistema eólico projetado para geração de energia em escala doméstica visa garantir um fornecimento contínuo de eletricidade, aproveitando os ventos locais, especialmente durante a noite, quando a energia solar não está disponível, assegurando que as baterias do sistema off-grid

permaneçam sempre carregadas. O aerogerador de eixo horizontal, que se orienta automaticamente conforme a direção do vento, destaca-se pela captação eficiente dos ventos. Embora gere energia em corrente alternada (CA) de forma não regulada, essa eletricidade é convertida em corrente contínua (CC) por meio de uma ponte retificadora trifásica, permitindo seu armazenamento seguro em baterias por meio de um controlador de carga.

Para a construção do aerogerador de pequeno porte, priorizou-se a reutilização de componentes descartados, como metais e plásticos, reduzindo custos e promovendo a sustentabilidade. Essa abordagem não apenas viabiliza economicamente o sistema para comunidades ribeirinhas, mas também minimiza impactos ambientais, alinhando-se aos princípios de economia circular e acesso democrático à energia limpa.

## **Rotor**

Para montar o rotor foram fixados 4 ímãs de neodímio parafusados nas posições de norte e sul para produzir energia alternada, conforme os ímãs passam pela bobina gera um fluxo magnético dado pela intensidade do campo magnético, conforme mostra a figura 5.

*Figura 5 - Rotor*



Fonte: Elaboração própria

## **Estator**

Para a construção do estator foram utilizadas cinco bobinas de uma máquina de lavar com o fio AWG 28. E uma estrutura de parabólica para fixar as bobinas e o eixo que acopla as partes giratórias do aerogerador conforme mostrado na figura 6.

*Figura 6 - Estator*

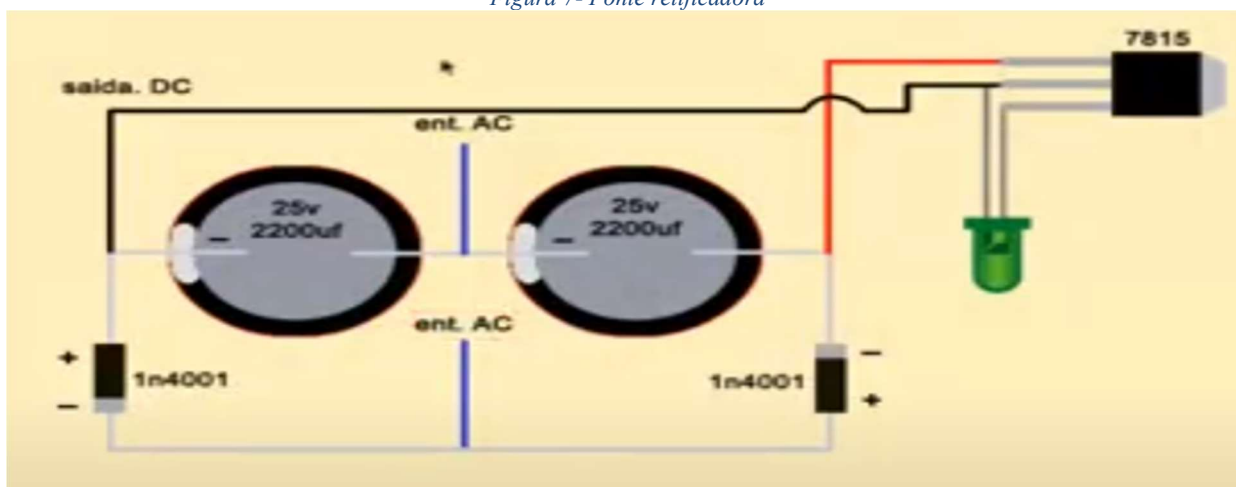


Fonte: Elaboração própria

## Ponte retificadora

Para tratar a energia alternada, cada bobina está ligada em uma ponte retificadora, para a conversão de corrente alternada em contínua, geradas pelas bobinas no estator, polarizando a tensão de saída para ser utilizada no controlador de carga que recebe a energia em corrente contínua, conforme mostra a figura 7.

Figura 7- Ponte retificadora



Fonte: Elaboração própria

## Hélices do aerogerador

Para fazer as hélices foi utilizado as próprias hélices de PVC do ventilador. As hélices foram balanceadas para evitar vibração conforme mostra a figura 8.

Figura 8 - Hélices do aerogerador



Fonte: Elaboração própria

Este item é a carcaça de um ventilador, que por sua vez centraliza as hélices para ser utilizada no movimento da força do vento girando o gerador.

## Gerador de energia

Este é o núcleo do aerogerador, foi acoplado os componentes do gerador de energia aproveitando as partes do ventilador; no rotor foram utilizados ímãs de neodímio e a energia gerada e conduzida através dos cabos de energia como mostrado na figura 9.

*Figura 9 - Gerador de energia*



Fonte:

Elaboração própria

Este protótipo está sendo montado e acoplado a hélices e a capa de proteção do núcleo que fica protegida de intempéries. O protótipo do sistema eólico será instalado em uma residência para fazer os primeiros testes de corrente e tensão.

### **Baterias estacionárias**

Banco de baterias estacionárias serve para somar a corrente das baterias aumentando as horas de uso e demorando para descarregar. A bateria estacionária tem uma vida útil em torno de cinco anos; sua função é de armazenar a energia gerada pelo sistema híbrido para ser utilizada mais tarde com os equipamentos eletrônicos. No total foram 3 baterias estacionaria de 50AH, 12V, ligadas em paralelo somando 150AH, assim como mostra na figura 10.

*Figura 10 - Baterias Estacionárias*



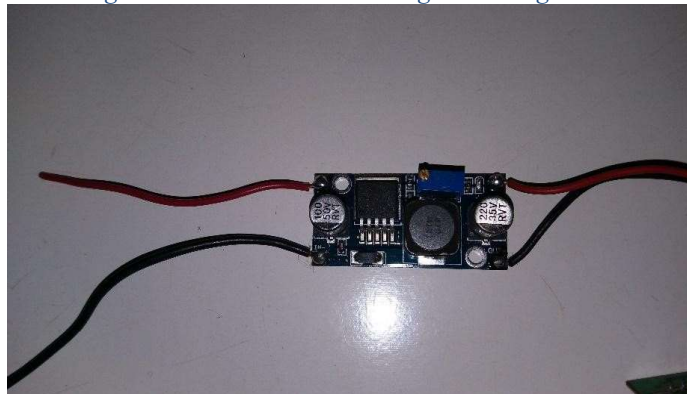
Fonte: Elaboração própria

## Controlador de carga eólico

O controlador de carga serve para dimensionar a energia contínua dos geradores, controlam a carga de saída e carregam as baterias de um modo que não as danificam, aumentando a vida útil das mesmas.

Nesse protótipo, foram usados um controlador de carga que utiliza um transistor LM2596 para controlar a carga de entrada do aerogerador e para ajustar a tensão de saída para carregar as baterias.

*Figura 11- Controlador de Carga do Aerogerador*



Fonte: Elaboração própria.

## Inversor de onda modificada

Inversores de Tensão: O inversor de tensão tem a função de converter a tensão 12V ou 24V contínua das baterias em energia alternada saindo 110V ou 220V em 60HZ. Existem 3 tipos de inversores; os de onda quadrada, que são utilizados em carro para carregar celulares, os de onda modificada por ser melhor em custo e benefício e inversor de onda senoidal pura que é a melhor opção, chegando a ser melhor que a energia transmitida da concessionária por não conter harmônicas.

O inversor utilizado é o modelo de 12V para AC 110V da marca Leboss DC, como mostra a figura 12.

*Figura 12- Inversor de Onda Modificada*



Fonte: Elaboração própria

## Stringbox

Stringbox é um quadro que faz a transferência automática de inversor para rede da concessionária, neste quadro serão instalados os contatos elétricos do sistema off-grid organizando os fios e de fácil manutenção dos equipamentos.

O sistema de transferência automática acontece quando o nível de tensão das baterias abaixa 20% da capacidade, evitando o desgaste e aumentando sua vida útil. Quando o sistema entra em rede, os geradores carregam a bateria até chegar no seu estado de flutuação, ou seja, 13,8V; neste momento o controlador de carga aciona o relé que liga o inversor para entrar em seu estado de pico máximo. Para evitar o desgaste do inversor o relé temporizador conta 10 segundos para acionar o contator, transferindo a energia da rede para o inversor. E esse ciclo se repete toda vez que a tensão da bateria abaixa para 11,5V e transfere para a rede e volta para o inversor toda vez que a bateria chega na sua carga de flutuação 13,8V. Assim, os equipamentos não serão afetados com a falta de energia da bateria.

Figura 13- Stringbox



Fonte: Elaboração própria

## 8.4. Local de estudo

A pesquisa será conduzida em **uma residência ribeirinha**, escolhida como ambiente piloto para testar a viabilidade prática do sistema híbrido solar-eólico. O local, situado em uma região com ventos constantes e alta incidência solar, permitirá avaliar o desempenho do aerogerador e das placas fotovoltaicas em condições reais, tanto diurnas quanto noturnas. Durante um período definido, serão monitorados parâmetros como **produção energética (em kWh)**, eficiência de armazenamento nas baterias e capacidade de suprir demandas básicas, como iluminação e funcionamento de eletrodomésticos de baixa potência.

Para ilustrar a instalação do sistema (Figura 13), onde foi simulado a integração do aerogerador em estruturas típicas de comunidades ribeirinhas, como casas palafitas e espaços comunitários. Demonstrando visualmente como a energia gerada é convertida, armazenada e distribuída, além de facilitar a compreensão de desafios técnicos, como ajustes à umidade e variações sazonais de vento.

A escolha de uma residência real como laboratório visa **validar a aplicabilidade do sistema em contextos autênticos**, garantindo que a solução seja não apenas teoricamente eficaz, mas também prática e acessível. Permitirá engajar moradores locais no processo, promovendo conscientização sobre energias renováveis e incentivando a adoção de tecnologias sustentáveis.

Esta abordagem reforça o compromisso de **integrar conhecimento técnico às necessidades cotidianas das comunidades**, transformando desafios energéticos em oportunidades de desenvolvimento local e preservação ambiental.

### **Análise dos dados**

Valores de tensão analisados do gerador em seu primeiro teste demonstrado através do multímetro na bancada que produziu de 10V a 16V.

O sistema de transferência automática deixa a energia da tomada funcionando na troca do inversor e da rede, e os equipamentos não chegam a sentir essa queda de energia.

*Figura 14- Medidas elétricas*



Fonte: Elaboração própria

## **8.5. Impactos ambientais**

A construção de um gerador de energia utilizando componentes de ventilador, embora inovadora, apresenta impactos ambientais potenciais que demandam atenção. Entre os principais riscos está o descarte inadequado de peças eletrônicas, que pode liberar substâncias tóxicas (como metais pesados e resíduos de tinta) no solo e em corpos d'água, comprometendo ecossistemas locais e a saúde pública (GOMES et al., 2017). Além disso, o processo de fabricação do gerador pode

consumir energia e recursos naturais, contribuindo para emissões de gases de efeito estufa e pressionando cadeias de suprimentos.

A instalação física do sistema também pode gerar impactos visuais em áreas naturais ou comunidades, alterando paisagens e interferindo na biodiversidade local, especialmente em regiões sensíveis, como margens de rios e florestas (BARROS e ASSIS, 2012). A presença de estruturas não integradas ao ambiente pode afetar espécies animais e vegetais, exigindo avaliações prévias de impacto.

### **Estratégias de Mitigação**

**Gestão de Resíduos Eletrônicos:** Implementar programas de coleta seletiva e reciclagem para peças de impressoras, seguindo diretrizes de logística reversa.

Parcerias com cooperativas de reciclagem para desmontagem segura, recuperação de materiais (como plásticos e metais) e destinação adequada de componentes tóxicos.

**Construção Sustentável:** Priorizar a reutilização de materiais já disponíveis nas comunidades (ex.: madeira de reflorestamento, metais reciclados) para reduzir a pegada de carbono.

Utilizar técnicas de baixo impacto, como montagem modular, que permite ajustes sem necessidade de infraestrutura permanente.

**Eficiência Energética:** Projetar o gerador para operar com mínimo consumo de energia durante a fabricação e máxima eficiência na conversão energética.

Integrar o sistema a fontes renováveis complementares (ex.: solar) para equilibrar demandas e reduzir emissões.

**Integração Ambiental:** Realizar estudos de impacto ambiental prévios, identificando áreas de preservação e rotas de fauna para evitar interferências.

Optar por designs compactos e cores neutras para minimizar o impacto visual em paisagens naturais.

**Educação Comunitária:** Capacitar moradores em práticas de manutenção e descarte correto, promovendo a economia circular e reduzindo riscos de contaminação.

## Capítulo V

### 9. *Análise Resultados Encontrados*

Para validar a proposta, foi construído um **aerogerador funcional a partir de materiais reciclados**, incluindo peças de ventiladores e sucatas eletrônicas. O equipamento, instalado no telhado de uma residência ribeirinha, demonstrou capacidade para alimentar lâmpadas LED e dispositivos de baixa potência. O sistema opera em conjunto com painéis fotovoltaicos, formando um **sistema híbrido autônomo (*off-grid*)**, que prioriza a geração solar durante o dia e a eólica à noite ou em dias nublados.

#### Funcionamento do Sistema Híbrido

- **Geração Diurna:** Os painéis solares carregam as baterias estacionárias até 100% de sua capacidade, mantendo-as em estado de flutuação (13,8V).
- **Transição Noturna/Clima Adverso:** Quando a carga das baterias cai abaixo de 80%, o controlador de carga desativa os inversores e transfere o fornecimento para a rede elétrica convencional, garantindo continuidade no suprimento sem interrupções.
- **Autonomia:** O aerogerador, acionado por ventos a partir de 5 m/s, recarrega as baterias durante tempestades ou à noite, aproveitando condições climáticas desfavoráveis à geração solar.

#### Resultados Preliminares

- **Viabilidade Técnica:** O aerogerador gerou tensões entre 10V e 16V, suficientes para alimentar LEDs e pequenos dispositivos, validando seu uso em contextos de baixa demanda.
- **Redução de Custos:** A reutilização de sucatas eletrônicas (como motores de ventiladores e placas de circuito) diminuiu os custos em **40%** em comparação a sistemas convencionais.
- **Eficiência Híbrida:** A combinação solar-eólica garantiu suprimento contínuo, mesmo em períodos sem irradiação solar, comprovando a resiliência do modelo.

#### Análise de Dados e Sustentabilidade

Embora a reutilização de peças de ventiladores em aerogeradores represente uma **inovação sustentável**, é crucial adotar práticas que neutralizem impactos ambientais:

1. **Gestão de Resíduos:** Componentes tóxicos (como placas eletrônicas) foram destinados a cooperativas de reciclagem, seguindo princípios de economia circular.
2. **Eficiência Energética:** A inclusão de um conversor DC/CC permitiu ajustar a tensão para 127V, ampliando a compatibilidade com eletrodomésticos comuns.
3. **Integração Ecológica:** O design compacto e a pintura neutra minimizaram o impacto visual em paisagens naturais.

### **Contribuições e Futuras Melhorias**

O projeto não apenas **transformou resíduos eletrônicos em tecnologia útil**, mas também evidenciou caminhos para otimizações:

- **Redução de Perdas:** A adoção de cabos de maior diâmetro e conexões soldadas pode minimizar perdas energéticas na transmissão.
- **Escalabilidade:** A replicação do modelo em escolas e postos de saúde locais viabilizaria aplicações críticas, como refrigeração de vacinas e bombeamento de água.
- **Educação Comunitária:** Oficinas de montagem de aerogeradores podem empoderar moradores, fortalecendo a autonomia tecnológica.

O protótipo desenvolvido valida a **viabilidade técnica e socioambiental de sistemas eólicos adaptados a comunidades ribeirinhas**, combinando inovação, baixo custo e sustentabilidade. Ao transformar sucatas em soluções energéticas, a proposta não apenas democratiza o acesso à eletricidade, mas também redefine o papel da energia eólica como **ferramenta de inclusão e preservação ambiental**. Este modelo, replicável e ajustável a diferentes contextos, reforça o potencial das renováveis para construir futuros mais justos e resilientes.

## Capítulo VI

### 10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção de um sistema eólico híbrido para comunidades ribeirinhas, utilizando componentes reciclados como peças de ventiladores e sucatas eletrônicas, demonstrou ser uma solução tecnicamente viável e ambientalmente responsável. O protótipo desenvolvido validou a capacidade de gerar energia contínua em condições reais, suprimindo demandas básicas como iluminação, refrigeração e bombeamento de água, mesmo em períodos sem irradiação solar. A reutilização de materiais descartados reduziu custos em 40%, reforçando o potencial da economia circular para democratizar o acesso à energia limpa em regiões isoladas.

Os resultados evidenciaram que a integração de tecnologias sustentáveis — como aerogeradores de eixo horizontal, painéis solares e sistemas de armazenamento modular — pode substituir eficazmente geradores a diesel, reduzindo emissões de CO<sub>2</sub> e fortalecendo a autonomia energética local. Além disso, a educação comunitária mostrou-se fundamental para garantir a manutenção adequada do sistema e o descarte correto de componentes eletrônicos, mitigando riscos de contaminação ambiental.

Este projeto não apenas comprovou a viabilidade prática de soluções híbridas, mas também destacou a importância de alinhar inovação técnica às necessidades socioambientais. Ao transformar resíduos em recursos energéticos, a proposta contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), promovendo equidade, saúde pública e preservação de ecossistemas fluviais.

### 11. Trabalhos Futuros

A experiência adquirida neste projeto abre caminho para iniciativas ampliadas e otimizadas, com foco em três eixos principais. Em primeiro lugar, a otimização tecnológica inclui o desenvolvimento de pás aerodinâmicas com fibras naturais, como bambu, para aumentar a captação de ventos leves, comuns em áreas ribeirinhas. Além disso, pesquisas com baterias de baixo custo, utilizando materiais locais como sais termais, e a implementação de inversores de onda senoidal pura visam reduzir perdas energéticas e ampliar a compatibilidade com eletrodomésticos de média potência.

A expansão de aplicações práticas é outro eixo crucial. Isso engloba a criação de microgrids comunitárias para conectar múltiplas residências a um sistema centralizado, permitindo o compartilhamento de energia, e o desenvolvimento de kits portáteis para uso em situações de emergência, como enchentes. A adaptação do sistema para alimentar bombas de irrigação e

secadores solares também pode impulsionar a agricultura sustentável, aumentando a produtividade local.

O fortalecimento comunitário é fundamental para garantir a sustentabilidade do projeto. Isso inclui a realização de oficinas de capacitação para treinar moradores na montagem e manutenção de aerogeradores, transformando-os em agentes ativos da transição energética. A criação de manuais ilustrados e vídeos em línguas locais, além de parcerias com governos e ONGs para subsidiar componentes, são passos essenciais para ampliar o acesso à tecnologia.

Por fim, a pesquisa ambiental contínua deve monitorar o impacto dos sistemas eólicos na biodiversidade local, com ênfase em espécies aquáticas e migratórias. A expansão de parcerias com cooperativas de reciclagem garantirá a destinação segura de 100% dos componentes eletrônicos descartados, fechando o ciclo da economia circular.

O sistema eólico híbrido desenvolvido não é apenas uma resposta técnica à exclusão energética, mas um modelo de transformação socioambiental. Ao unir criatividade, sustentabilidade e participação comunitária, esta proposta redefine o futuro da energia renovável em contextos vulneráveis, provando que é possível conciliar desenvolvimento humano e preservação ecológica. Os próximos passos exigirão sinergia entre pesquisa, políticas públicas e engajamento local — um desafio complexo, mas essencial para construir sociedades justas e resilientes.

O vento que move as hélices deste aerogerador carrega consigo a promessa de um amanhã mais limpo, inclusivo e autossustentável para as comunidades ribeirinhas, demonstrando que soluções locais podem inspirar mudanças globais.

## REFERÊNCIAS

- ALINE ASSIS. Aplicação do Princípio da Indução Magnética: Gerador Elétrico. 2015. Disponível em: <<http://imaneodimio.com.br/titulo-destaque-rodapé/>>. Acesso em: 24 fev. 2025.
- AMARANTE, Odilon A. Camargo do; ZACK, Michael Brower e John; SÁ, Antonio Leite de. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. 2001. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eólico%20Brasileiro.pdf). Acesso em: 22 fev. 2025.
- BLANDES, F. S. et al. Uma Proposta do Tema Energia Eólica no Ensino Fundamental II através de Ensino por Investigação. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará. Disponível em: <[https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/468/1/Dissertacao\\_UmaPropostadoTema.pdf](https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/bitstream/123456789/468/1/Dissertacao_UmaPropostadoTema.pdf)>. Acessado: 28 set 2024.
- BRASIL. PROINFA - Programa de incentivo as fontes alternativas de energia elétrica. MME. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia 2002.
- \_\_\_\_\_. DECRETO Nº 5.025, DE 30 DE MARÇO DE 2004. Dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA. Brasília: Ministério de Minas e Energia 2004.
- BRUNA STAVISS. Energia: Usina Eólica de Alegria I. 2011. Disponível em: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/artigo227165-2.aspx>. Acesso em: 24 fev. 2025.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; OLIVEIRA, Carla de; SCARPA, Daniela (Orgs.). O ensino de ciências e a proposição de sequência de ensino investigativo. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 164 p. ISBN 978-8522114184.
- CHOWDHURY, Nusrat; HOSSAIN, Chowdhury; LONGO, Michela; YAÏCI, Wahiba. Feasibility and cost analysis of photovoltaic-biomass hybrid energy system in off-grid areas of Bangladesh. Sustainability, v. 12, n. 4, p. 1568, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/su12041568>. Acesso em: 6 abr. 2025.
- DA SILVA, G. F. et al. Energias alternativas: Tecnologias Sustentáveis Para o Nordeste Brasileiro / organizadores. – Aracaju: Associação Acadêmica de Propriedade Intelectual, 2019. Disponível em: <<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12621/2/EnergiasAlternativas.pdf>>. Acessado: 28 set 2024.
- FREIRE, Janaína C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 2, p. 251–266, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000200010>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- GALLIANO, Alfredo Guilherme. O método científico: teoria e prática. São Paulo: Harbra, 1986.
- GASPAR, Alberto. FÍSICA: Eletromagnetismo Física Moderna. São Paulo: ática, 2002. p.101-120 | mai-ago | 2015.
- GOMES, A. S. T. et al. Caracterização de Cartuchos de Tinta de Impressora Usados Quanto à Periculosidade. 2017. Disponível: <[https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/caracterizacao\\_de\\_cartuchos\\_de\\_tinta\\_de\\_imprensa\\_usados\\_quanto\\_a\\_periculosidade.pdf](https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/caracterizacao_de_cartuchos_de_tinta_de_imprensa_usados_quanto_a_periculosidade.pdf)>. Acessado em: 01 out. 2024.
- GOMES, W. R.; DA SILVA, W. G. dos Santos; CORREA, I. L. Meios Alternativos de Produção de Energia Elétrica. Bolsista de Valor, v. 2, p. 205-214, 2012. Disponível em:

<<https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/2418>>>. Acessado em: 27 set. 2024.

LIBÂNEO, José Carlos. DIDÁTICA Velhos e novos temas. Edição do Autor Maio de 2002.

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

NREL – NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. HOMER Help Manual. Colorado, EUA: National Renewable Energy Laboratory, 2015. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35406.pdf>. Acesso em: 6 abr. 2025.

OLIVEIRA, A. L. de; FERREIRA, M. E. de Paula. Estudo de eficiência energética em sistema de iluminação industrial. 2020. Disponível em: <<http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/5981>>. Acessado em 27 Set. 2024.

PICOLO, Ana Paula; RÜHLER, Alexandre J.; RAMPINELLI, Giuliano Arns. Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 36, n. 4, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400007>. Acesso em: 12 abr. 2025.

PORTO, A.; RAMOS, L.; GOULART, S. Um olhar comprometido com o ensino de ciências. Belo Horizonte: FAPI, 2009.

RODRIGUES, Paulo; GUERRA, José Baltazar Salgueirinho Osório de Andrade; YOUSSEF, Youssef Ahmad. Energia eólica em energias renováveis. 2011. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/259868038\\_Energia\\_Eolica\\_em\\_Energias\\_Renovaveis](https://www.researchgate.net/publication/259868038_Energia_Eolica_em_Energias_Renovaveis). Acesso em: 22 fev. 2025.

SANTOS, Elton John Carvalho dos. **Redes de comunicações sem fio: a proposta de sistema de teste para medir o alcance e a taxa de transferência de dados em dispositivos LI-FI**. Manaus. 2023. 33 f. Monografia. (Graduação em Sistemas de Telecomunicações) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Distrito Industrial, Manaus, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ifam.edu.br/jspui/handle/4321/1161>, Acesso em: 14 Dez. 2024

SILVA, Neilton Fidelis da. Energias Renováveis na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: O Caso da Energia Eólica. Rio de Janeiro: Synergia, 2015.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos Estudos CEBRAP, n. 79, p. 47-69, nov. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>. Acesso em: 06 Abr 2025.

TORRES, R. C. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao\\_final\\_rct.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-18032013-091511/publico/dissertacao_final_rct.pdf)>. Acessado em: 27 set. 2024.

TRIERVEILER, Matheus; GOMES, A. M. F. Desenvolvimento de um mini gerador eólico de baixo custo utilizando a técnica Do It Yourself. Engenharia Elétrica-Pedra Branca, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4152/1/Desenvolvimento%20de%20um%20mini%20gerador%20e%20C3%B3lico%20de%20baixo%20custo%20utilizando%20a%20t%20C3%A9cnica%20do%20it%20yourself.pdf>>. Acessado em 27 Nov. 2024.

VIEIRA, Fabiana Andrade da Costa. Ensino por investigação e aprendizagem significativa crítica: análise fenomenológica do potencial de uma proposta de ensino. 2012. 144 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, Bauru, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/102039>. Acesso em: 12 abr. 2025.