

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE GERADOR EÓLICO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Bruno Eduardo Marçal Corrêa Bruno Rolim Mansur
Caio Arcanjo Rodrigues da Cunha Luis Fernando Herculano Silva
Samuel Marques Vinícius Luiz Dias Gonçalves

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de gerador eólico para estudo de geração de energia renovável. O objetivo é projetar, construir e testar um sistema que converta a energia cinética do vento em energia elétrica. O protótipo será composto por eixo, gerador elétrico e sistema de armazenamento. Serão abordados os princípios de aerodinâmica, conversão de energia mecânica em elétrica e eficiência do sistema. Os testes realizados avaliarão o desempenho e a viabilidade da solução proposta. Este estudo busca contribuir para a compreensão e aplicação de tecnologias sustentáveis, alinhando-se à demanda global por fontes de energia limpa e renovável.

Palavras-chave: Energia renovável, Conversão de energia cinética, Eficiência energética, Conservação de energia.

Área do Conhecimento: Máquinas e Equipamentos Elétricos; Eletrônica de Potência; Eletromagnetismo e Circuitos Elétricos e Energias Renováveis.

Introdução

A questão energética é um dos tópicos de maior importância na atualidade. A qualidade de vida de uma sociedade está intimamente ligada ao seu consumo de energia [Martins, Guarnieri e Pereira 2008]. Há uma demanda energética crescente por razão dos melhores padrões de vida dos países em desenvolvimento, entre eles o Brasil.

O presente trabalho tem como objetivo a construção de um gerador eólico de pequena escala, com o intuito de estudar o funcionamento de um sistema de geração de energia eólica e suas aplicações. Este projeto abrange a concepção e dimensionamento do gerador, incluindo o sistema de transmissão e a implementação de um circuito retificador de tensão para adequar a energia gerada às necessidades de consumo.

A energia eólica é uma forma de energia renovável que utiliza a força do vento para gerar eletricidade. Os geradores eólicos convertem a energia cinética do vento em energia mecânica, que aciona um gerador elétrico para produzir eletricidade. Essa eletricidade pode ser utilizada para diversos fins, como alimentar

residências, empresas e equipamentos eletrônicos.

A construção de um gerador eólico de pequena escala se apresenta como um desafio para a engenharia elétrica, poderá permitir a aplicação dos conhecimentos teóricos e práticos em áreas como eletromagnetismo, eletrônica de potência e projeto de máquinas elétricas. Além disso, o projeto contribui para a conscientização sobre a importância da energia renovável e seus benefícios para o meio ambiente.

O circuito retificador de tensão será o responsável por converter a energia elétrica gerada em corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC), possibilitando assim o armazenamento ou o uso em dispositivos eletrônicos.

Metodologia

A Lei de Faraday afirma que a força eletromotriz induzida em um circuito fechado é diretamente proporcional à taxa de variação do fluxo magnético através do circuito [Jr. e Buck 2013]. Matematicamente, ela é expressa por:

$$f_{em} = -\frac{d\Phi}{dt}V$$

onde f_{em} é a força eletromotriz induzida, Φ é o fluxo magnético e t é o tempo. A proposta do trabalho é a implementação prática deste princípio. Para isso serão necessários definir os requisitos do sistema de operação.

1 Definição dos Requisitos do Sistema

O primeiro passo para a construção do gerador eólico com circuito retificador foi a definição do que seria necessário para montar o gerador e retificador. Para isso, foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

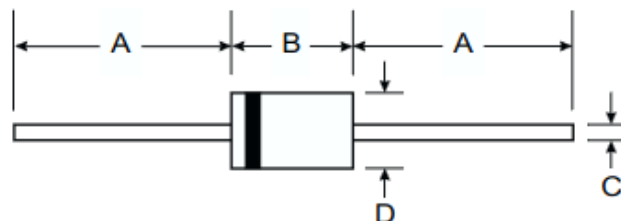
- Potência nominal desejada do gerador;
- Velocidade mínima e máxima de operação do vento;
- Tipo de carga que será alimentada pelo sistema;
- Eficiência esperada do circuito retificador.

2 Seleção e Dimensionamento dos Componentes

Com base nos requisitos definidos, foram selecionados e dimensionados os principais componentes do sistema:

- **Gerador:** Para o gerador foram utilizados ímãs de neodímio para o fluxo magnético variável, fios de cobre esmaltados para a montagem das bobinas. Na estrutura foram utilizados madeira e ferro.
- **Circuito retificador:** Escolha dos materiais para o retificador em ponto de onda completa. Para isso foram utilizados quatro diodos 1n4007 [Datasheet]. O diodo semicondutor, quando na polarização direta, funciona como uma chave fechada [Boylestad e Nashelsky 2013].

Figura 1 – Informações do Diodo 1n4007



	DO-41 Plastic		A-405	
Dim	Min	Max	Min	Max
A	25.40	—	25.40	—
B	4.06	5.21	4.10	5.20
C	0.71	0.864	0.53	0.64
D	2.00	2.72	2.00	2.70
All Dimensions in mm				

"L" Suffix Designates A-405 Package
No Suffix Designates DO-41 Package

Fonte: Datasheet 1N4001G/L-1N4007G/L

- **Capacitores, resistores e diodo zener:** Foram utilizados estes componentes para a suavização da tensão de saída e estabilidade da alimentação da carga. O capacitor será necessário para armazenar a energia e permitir que a tensão na saída do circuito ponto tenha uma queda menor de tensão não chegando a zero. O diodo Zener é um diodo semicondutor feito para trabalhar na região de ruptura, também chamada de região zener [Boylestad e Nashelsky 2013]. Este diodo foi escolhido para manter a tensão abaixo de 3,7V.

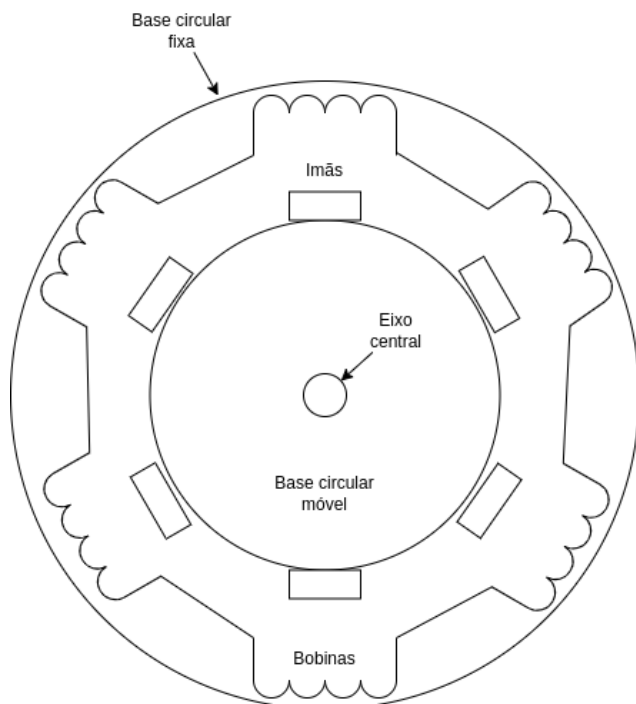
3 Montagem do Sistema

A montagem do sistema foi dividida em três etapas principais:

1. **Construção e fixação da estrutura do gerador eólico:** Para a montagem do gerador foi utilizada uma base circular de madeira presa ao eixo (uma barra rosca de 3/8" de 30 cm). Para esta conexão foram utilizadas 6 porcas de 3/8". A este eixo foram conectados os ímãs de Neodímio. As bobinas foram montadas na base circular fixa e interligadas. Foram construídas 6 bobinas com enrolamento (140 voltas) de fios de cobre esmaltado de 0,33mm² de seção. Além disso foram utilizados 6 ímãs de neodímio com dimensões de 40X20X4 mm. Os ímãs e as bo-

binas foram dispostas de forma a ter a mesma distância entre si conforme mostra a figura 2.

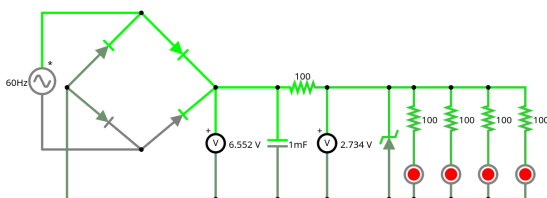
Figura 2 – Esquema de montagem do gerador



Fonte: O autor

2. **Montagem do circuito retificador:** Montagem na placa de ensaio dos diodos, capacitores e outros componentes necessários para conversão CA-CC. A montagem foi feita conforme o esquema da figura 3:

Figura 3 – Circuito retificador



Fonte: O autor

Considerando a tensão de 6V alternada, após a passagem pelo retificador teria uma queda de tensão de 1,4V (0,7V para cada diodo), ou seja, a tensão de saída do retificador seria:

$$6V - 1,4V = 4,6V$$

. A tensão no capacitor é dada pela fórmula:

$$V_{cap}(t) = V_{saida} * e^{\frac{-t}{RC}}$$

Dado os valores:

$$R = 100\Omega$$

$$C = 1mF$$

$$V_{saida} = 4,6V$$

Ou seja, em um tempo t a tensão iria cair da seguinte forma:

$$V_{cap}(t) = 4,6 * e^{\frac{-t}{100 * 10^{-3}}}$$

3. **Integração do sistema:** Conexão do gerador ao circuito retificador e adaptação do sistema para alimentar a carga desejada.

4 Testes e Validação

Após a montagem, foram realizados testes para verificar o funcionamento e a eficiência do sistema:

- Medição da tensão e corrente geradas pelo gerador e medição no osciloscópio da forma de onda de saída do gerador;
- Avaliação da eficiência do circuito retificador e validação no gerador de onda da efetividade na retificação e se a potência estaria sendo entregue para a carga;
- Comparação dos valores medidos com os valores teóricos calculados.

5 Análise dos Resultados e Ajustes

Os dados obtidos nos testes foram analisados para identificar possíveis melhorias. Caso necessário, ajustes foram realizados no sistema, como:

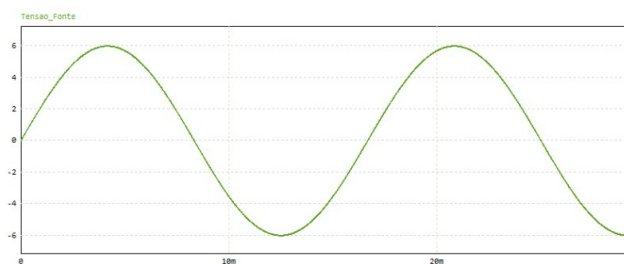
- Ajustes nas bobinas do gerador;
- Substituição de componentes no circuito retificador para otimização da conversão de energia;
- Implementação de um sistema de armazenamento de energia (baterias) para melhor aproveitamento da energia gerada.

Resultados

Os testes demonstraram que o gerador eólico foi capaz de converter a energia mecânica do vento em energia elétrica de forma eficiente. Os principais resultados obtidos foram:

- A tensão medida na saída do gerador medida foi 12V pico-a-pico conforme o gráfico da figura 4.

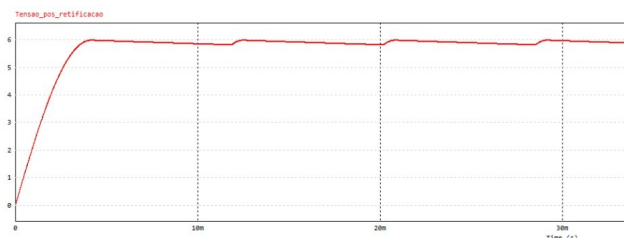
Figura 4 – Simulação da saída de tensão no gerador



Fonte: O autor

- A tensão na saída do circuito em ponte (diodos 1N4007) (figura 3) em paralelo com o capacitor a forma de onda ajustada ficou conforme o gráfico 5.

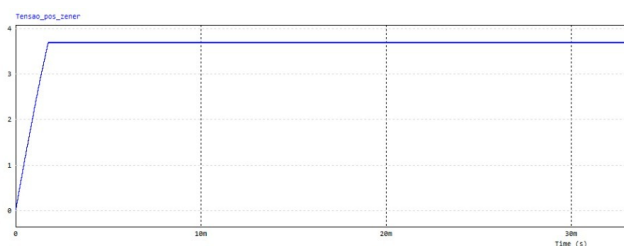
Figura 5 – Simulação da saída de tensão no circuito ponte com o capacitor



Fonte: O autor

- A tensão média gerada pelo sistema foi de 3,1V, compatível com a carga projetada conforme gráfico da figura 6;

Figura 6 – Simulação da saída diodo Zener



Fonte: O autor

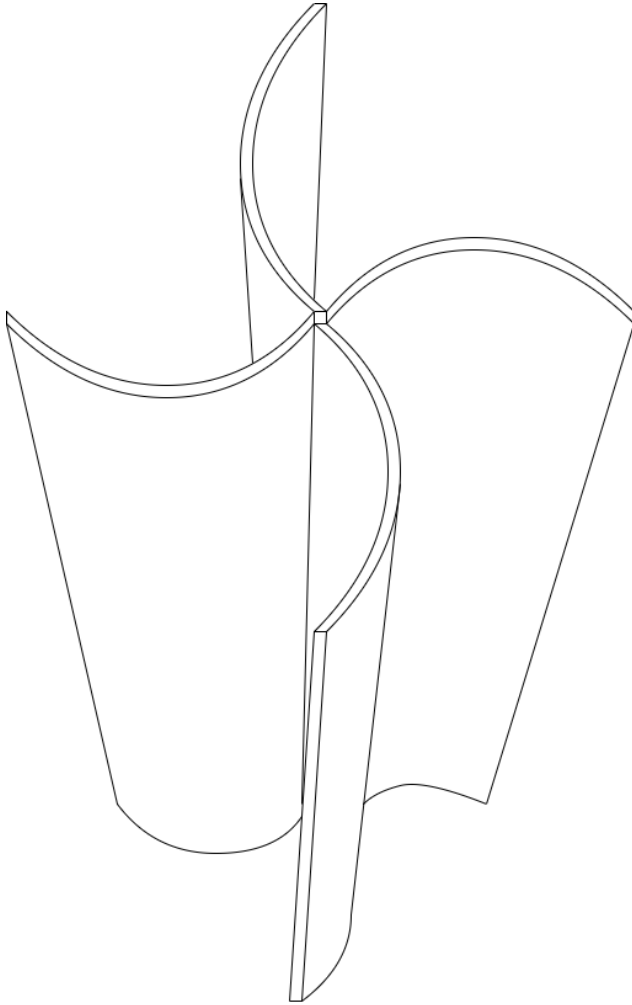
- A corrente fornecida apresentou uma variação de 210mA dependendo da intensidade da rotação do eixo;
- O sistema operou de forma estável com o eixo central girando em 2040 rpm (34 hertz) demonstrando robustez estrutural e elétrica.

Os dados obtidos indicam que o sistema desenvolvido pode ser utilizado como uma fonte alternativa de energia em pequenas aplicações. Entretanto, melhorias devem ser implementadas para aumentar a eficiência do sistema, como a instalação de ímãs mais potentes, maior número de voltas nos bobinamentos e implementação de um núcleo ferromagnético para aumentar o fluxo magnético no interior da máquina.

Discussão

O objetivo que era criar um gerador funcional e um circuito retificador que conseguisse alimentar uma carga, porém para que o gerador possa ser utilizado em uma demanda de consumo diária é preciso melhorar os aspectos construtivos do gerador como um núcleo interno feito de ferro, aumentar o número de voltas no enrolamento das bobinas. Além disso poderia ser utilizado um circuito estabilizador capaz de retificar e estabilizar a tensão de saída sem a perda de 1,4V de tensão. Além do aspecto construtivo é preciso acoplar pás ao gerador para que ele possa efetivamente transformar o vento que for captado por elas em energia elétrica. As pás poderiam ser feitas de cano PVC retorcido e teriam o aspecto da figura 7.

Figura 7 – Pás do gerador eólico



Fonte: O autor

Conclusão

O objetivo central deste trabalho foi alcançado com êxito, permitindo a validação dos conceitos teóricos e práticos envolvidos na conversão de energia cinética do vento em energia elétrica. Os testes realizados em bancada forneceram resultados condizentes com

as expectativas, possibilitando uma análise aprofundada dos fenômenos eletromagnéticos responsáveis pela geração de tensão e das características eletrônicas dos componentes utilizados no circuito retificador.

Além disso, a modelagem matemática do sistema retificador contribuiu para uma melhor compreensão do processo de retificação e das perdas associadas à conversão da tensão alternada gerada pelo rotor em uma tensão contínua. O desenvolvimento e a experimentação do protótipo ampliaram nosso entendimento sobre sistemas de geração de energia renovável, reforçando a importância da pesquisa e inovação nesse campo.

Dessa forma, este estudo não apenas atingiu seus objetivos, mas também evidenciou oportunidades de aprimoramento e a necessidade de soluções eficientes para otimizar o desempenho de sistemas de geração de energia limpa e sustentável.

Referências

- [Boylestad e Nashelsky 2013]BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. *Dispositivos Eletrônicos*. São Paulo: Pearson, 2013.
- [Datasheet]DATASHEET, A. *1N4007 Datasheet*. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58825/DIODES/1N4007.html>. Acessado em: 2025-01-26.
- [Jr. e Buck 2013]JR., W. H. H.; BUCK, J. A. *Eletromagnetismo*. São Paulo: Mc Graw Hill, 2013.
- [Martins, Guarnieri e Pereira 2008]MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 30, p. 1304–1, 2008.