

# USINA EÓLICA CONTROLAVEL

João Vitor Benicio<sup>1</sup>; Matheus Jorge Alves Lima<sup>2</sup>; Raul Perez Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Aluno do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>3</sup> Aluno do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo.** *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema de orientação automática para usinas eólicas, com foco na sustentabilidade e baixo custo. O sistema proposto utiliza um leme mecânico como sensor de direção do vento, o qual está acoplado a um potenciômetro linear. A variação de resistência é captada por um microcontrolador RP2040, que calcula o ângulo de incidência do vento em relação à posição atual da turbina. Com base nesses dados, o microcontrolador envia comandos para um motor de passo, responsável por girar a estrutura da turbina em direção ao vento. O sistema foi testado em ambiente controlado, apresentando tempo de resposta rápido e pouco erro angular. Os resultados demonstraram a eficiência e viabilidade da solução para aplicações de pequeno porte e médio, além de permitir futuras melhorias, como motores de passo melhores para uma maior acuracidade na posição e força para aguentar turbinas maiores. O projeto reforça a importância de soluções e acessíveis para o aproveitamento de energia renovável em cenários educacionais e de geração de energia local.*

## Introdução

A crescente busca por fontes de energia local e renovável tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas eficientes e de baixo custo para a geração de eletricidade. Entre as alternativas sustentáveis, a energia eólica destaca-se por sua abundância e baixo impacto ambiental. No entanto, para maximizar a eficiência de “mini-usinas” eólicas, é fundamental que as turbinas estejam continuamente alinhadas com a direção do vento.

Sistemas convencionais de orientação utilizam sensores eletrônicos complexos, como anemômetros digitais, o que pode elevar significativamente o custo do projeto. Nesse contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de orientação de turbina eólica baseado em um sensor mecânico simples: um leme conectado a um potenciômetro linear através de um sistema de polias, que fornece um sinal analógico proporcional à direção do vento.

O processamento do sinal é realizado por um microcontrolador RP2040 (Raspberry Pi Pico 2), que interpreta a posição angular e controla um motor de passo responsável pela rotação da estrutura da turbina. A proposta visa oferecer uma solução de fácil implementação, com baixo consumo de energia e custo reduzido, ideal para aplicações acadêmicas, comunidades isoladas e projetos de pequeno porte para geração de energia local.

O objetivo deste artigo é descrever o desenvolvimento, a implementação e os testes do sistema, apresentando seus resultados e destacando as principais vantagens da metodologia adotada.

## Material e Métodos

### Sensor analógico

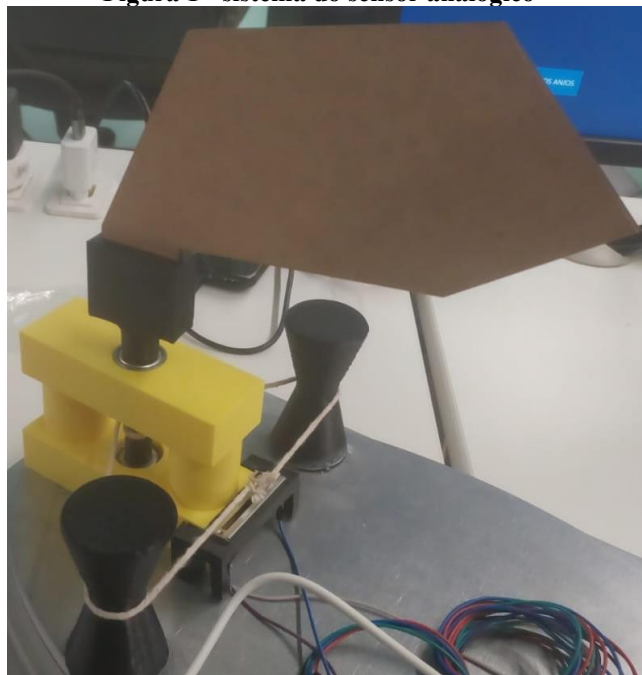
A escolha do sensor de direção do vento foi um dos primeiros desafios enfrentados no desenvolvimento do projeto. Inicialmente, considerou-se o uso de potenciômetros convencionais, no entanto, optou-se por uma solução mecânica: a utilização de um leme acoplado a um potenciômetro linear.

O princípio de funcionamento baseia-se na movimentação do leme, que sofre deslocamento angular conforme a direção do vento. Esse movimento é transmitido, por um sistema de polias adaptadas, a um potenciômetro linear de 10 k $\Omega$ , o qual converte o deslocamento em variação de resistência elétrica. Essa resistência é posteriormente convertida em sinal de tensão.

A construção do leme foi feita com chapa de MDF leve, recortadas e fixadas a uma haste de impressão 3D. A ligação entre o leme e o potenciômetro foi realizada por meio de um sistema de tração com linhas, podendo ser desde nylon ou barbantes, garantindo precisão e suavidade no movimento. Esse sistema foi escolhido por ser de fácil montagem, além de possibilitar manutenção futura.

Durante a montagem, priorizou-se o alinhamento correto entre o eixo do leme e o cursor do potenciômetro, de forma a garantir linearidade na resposta do sensor. Para evitar interferências, o sistema foi fixado sobre uma base rígida, de três camadas de MDF 9mm, e o circuito de leitura foi posicionado próximo ao sensor.

**Figura 1 - sistema do sensor analógico**



#### Microcontrolador

O microcontrolador escolhido para o projeto foi o Raspberry Pi Pico, equipado com o processador RP2040. Esse controlador foi usado devido ao requisito do projeto e pela facilidade de programação utilizando a linguagem adaptada de C para Raspberry, Além do C também pode ser usado o MicroPython.

O sinal analógico gerado pelo potenciômetro foi conectado a uma das entradas ADC (Conversor Analógico-Digital) do RP2040.

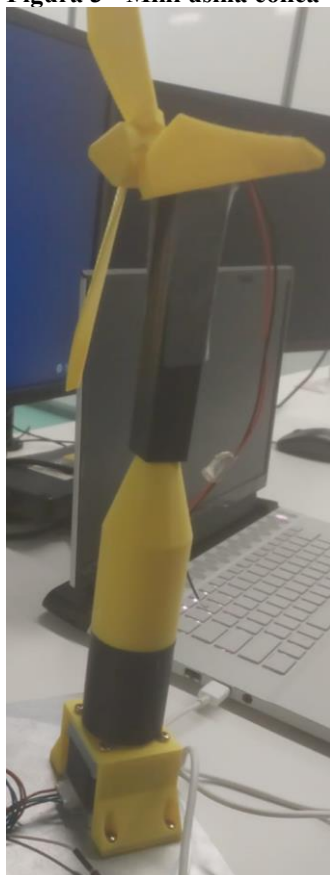
O controlador é carregado com um código que lê a resistência e a transforma em tensão que servirá para mover um motor de passo, convertendo em valores de ângulo, representando a posição atual do leme em relação ao eixo da turbina. O software compara continuamente o ângulo do vento com a posição atual da estrutura da turbina.

Sempre que é detectada uma diferença significativa entre ambas as posições, o microcontrolador calcula o número de passos necessários e a direção de rotação que o motor de passo deverá executar. A movimentação é feita por meio de um driver, conectado a um motor, responsável por girar a base da turbina.

Para a alimentação do sistema, foi utilizada uma fonte de 12V para o motor e um notebook para alimentar e carregar o código para o microcontrolador. Durante os testes, o código foi otimizado para evitar movimentos errôneos ou desnecessários.



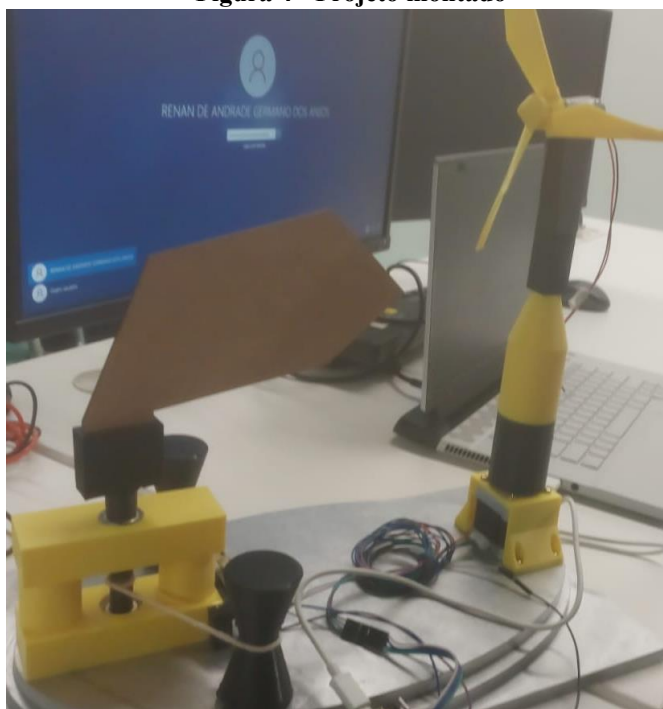
**Figura 3 - Mini usina eolica**



A movimentação da estrutura foi suave, sem trepidações ou travamentos, graças ao uso de um sistema com haste acoplada ao motor. O motor de passo, acionado pelo circuito de controle via um driver, operou de forma estável com corrente controlada.

Os resultados demonstram que a solução proposta é eficiente, de baixo custo e apresenta desempenho satisfatório para aplicações de pequeno porte, projetos educacionais.

**Figura 4 - Projeto montado**



## **Conclusões**

O projeto apresentado demonstrou a viabilidade da utilização de um sistema de orientação automática para aerogeradores baseado em sensor mecânico e microcontrolador de baixo custo. A combinação de um leme com potenciômetro linear e o microcontrolador Raspberry Pi Pico permitiu o desenvolvimento de uma solução funcional, simples e eficaz para manter as pás alinhadas com a direção predominante do vento.

Os testes realizados comprovaram que o sistema responde de forma precisa e com tempo de reposicionamento adequado para aplicações de pequeno porte. A estratégia de controle implementada no firmware, aliada ao acionamento por motor de passo, possibilitou movimentações suaves e bem controladas da base giratória, sem muitas oscilações indesejadas.

Além disso, a montagem mecânica e eletrônica mostrou-se acessível e replicável, o que reforça o potencial do projeto para fins acadêmicos, para geração de energia local ou até mesmo como solução inicial para comunidades isoladas que desejam explorar a energia eólica.

## **Referências Bibliográficas**

- FRANÇA, Rodrigo. Aula prática sobre leitura analógica com potenciômetro e Raspberry Pi Pico. Instituto Mauá de Tecnologia, Aula presencial, 1º semestre de 2025.
- MARTINS, Andressa. Fundamentos de eletrônica para instrumentação. Instituto Mauá de Tecnologia, Aula presencial, 1º semestre de 2025.
- CANAL Marcio Soares (Arne). Aprenda a controlar um motor de passo c/ Raspberry Pi Pico. YouTube, 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=-vEWMKirKiM>. Acesso em: 15 mai. 2025.
- CANAL miliohn. How to Use Analog Wind Direction Sensor with Arduino. YouTube, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fl7YmycQckI>. Acesso em: 15 mai. 2025.