

# Medição de rotação de motores elétricos por meio de sensores ópticos

Hugo Moreira Passos<sup>1</sup>, André Luiz Perin<sup>2</sup>

<sup>1,3</sup> Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, Brasil

[hugo.moreirapassos@gmail.com](mailto:hugo.moreirapassos@gmail.com), [andreperin@fei.edu.br](mailto:andreperin@fei.edu.br)

## Resumo

O objetivo dessa pesquisa é estudar a medição da rotação de motores elétricos por meio de sensores ópticos. Os motores elétricos são amplamente utilizados na indústria devido à fácil manutenção e torque de partida adequado. Sensores são dispositivos sensíveis que medem diversas grandezas físicas, tornando possível a medição da velocidade através dos próprios.

## 1. Introdução

O marco do surgimento dos motores elétricos data do final do século XIX. O potencial revolucionário dos motores para a indústria estava só por crescer. Atualmente, eles estão presentes e exercem atividades cotidianas em toda sociedade, por exemplo, em casa, nos liquidificadores, ventiladores e até mesmo coolers de computadores [1], e na indústria com os mais diversos empregos.

Com a grande demanda de motores elétricos, surge a necessidade de medir a rotação destes (RPM ou Hz) e controlar com precisão seus movimentos. Assim, o estudo de sensores que ajuda a melhorar o desempenho dos motores elétricos, se torna primordial [2], [3].

O termo "sensor" se refere a dispositivos sensíveis à energia do ambiente, como energia térmica, cinética ou luminosa, permitindo a medição de diversas grandezas, como por exemplo velocidade, no caso de veículos automotores e ventiladores industriais; pressão, altitude, e monitoramento de níveis de oxigênio no sangue; a corrente elétrica, por meio de multímetros e amperímetros; a temperatura com termômetros. Esses dispositivos possuem uma interface que pode ser lida por computadores e, em alguns casos, amplificam a tensão para a utilização eficaz. A utilização e estudo dos sensores são cruciais, desempenhando papéis essenciais em várias áreas da sociedade, desde a culinária e cuidados médicos até a indústria automotiva e meteorologia [4].

Como metodologia para este estudo, selecionamos dois modelos de sensores, o TCRT5000 e o Sensor de Velocidade Encoder com comparador LM393. O intuito era captar até 2000 rpm ou 33,3 Hz, e controlar com eficiência a velocidade e sentido do motor.

## 2. Configuração experimental

A Figura 1 mostra o protótipo desenvolvido para a medição de rotação. A montagem do protótipo foi realizada com o uso de materiais e componentes disponíveis no Centro de Laboratórios Elétricos (CLE) da FEI (Arduino UNO, sensores, transistores, resistores, motor DC, potenciômetro, por exemplo). Os softwares utilizados são de acesso gratuito, como por exemplo: Arduino IDE, Tinkercad, Openscad, Autocad e Cura. As

peças de apoio e enconders em material plástico, foram fabricadas pela impressora 3D.

A montagem do protótipo foi realizada sobre uma base de MDF (28,5mm x 18mm). O protótipo foi preso com alças de alumínio e parafusos. Na primeira rodada de testes, o sensor óptico utilizado foi o TCRT5000, montado em um suporte plástico. O suporte do motor foi preso por um parafuso ajustável para facilitar a movimentação no sentido vertical, com o propósito de variar o tamanho do raio dos discos e minimizar o balanço do motor ao girar. Eventualmente, a maioria dos jumpers foram reduzidos a fios curtos, rentes à protoboard, para reduzir o mau contato e deixar o protótipo mais compacto.

Na configuração estabelecida, o motor DC foi alimentado pelo Arduino por meio de uma das saídas PWM disponíveis, para permitir a variação da rotação do motor [5], [6].

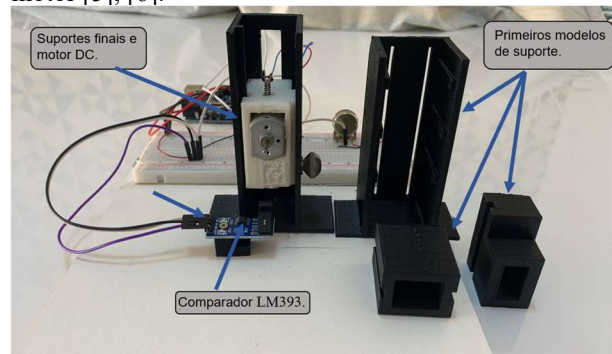


Figura 1- Protótipo e associações

## 3. Montagem do teste

O sensor TCRT5000 foi conectado a um pino de leitura digital. Apresentou o nível lógico 1 quando alinhado e o nível lógico 0 quando desalinhado. Em intervalos grandes de obstrução, o par emissor-receptor funcionou como o esperado, variando entre 1 e 0. Já em intervalos curtos de obstrução, o nível lógico apresentado não variou de 0. Depois de averiguar o funcionamento do componente, com LEDs conectados nos caminhos de cada par do sensor, foi determinado que havia corrente passando, mas a tensão não era o suficiente para apontar resultados nos sinais lógicos diferentes de 0 em velocidades maiores.

Para a segunda rodada de testes, o sensor TCRT5000 foi substituído pelo Sensor de Velocidade Encoder com comparador LM393. Foram mantidas as condições lógicas de alinhamento, o que resultou em êxito no teste com o emprego do encoder. A utilização do comparador LM393 funcionou como amplificador da baixa tensão recebida no par emissor-receptor em velocidades maiores, apresentando os devidos níveis lógicos. Em seguida, para testar o espaçamento mais adequado das aberturas dos discos, foi utilizado um disco com uma

única abertura com partes destacáveis, variando a abertura de 2mm até 27mm. Adicionalmente, se utilizou um osciloscópio para determinar o tempo de subida e descida dos sinais lógicos do sensor.

#### 4. Resultados

Na modelação das peças 3D, ao utilizar o Tinkercad, foi adotada uma margem de erro entre 0,5 mm até 1 mm (a depender da necessidade de encaixe), devido a imprecisão nas medidas das primeiras amostras.

A programação utilizada foi desenvolvida no aplicativo Arduino IDE, com uma versão da linguagem C personalizada para o Arduino. O propósito do código é determinar a velocidade a partir de um disco com N dentes ou furos a cada variação de 1 para 0. Em intervalos de um segundo, é chamada a função de interrupção do processamento (“attachInterrupt”), que realiza o incremento de um contador, que por sua vez é dividido pela constante predeterminada do número intervalos do disco, revelando a velocidade em Hz. A análise das condições de ativação da interrupção revelou que ela era invocada duas vezes durante a transição ascendente e uma vez durante a transição descendente, ocasionada pela taxa de transmissão de 9600 bits por segundo, utilizada no código e na visualização do monitor serial.

Ao conduzir a avaliação, por meio do osciloscópio, foi permitido determinar os valores de tempo de subida e do tempo de descida do sensor, os quais foram quantificados em 40  $\mu$ s. Foram observadas ainda, quedas de tensão durante a alimentação do motor, defeito nos pinos A0 e 6 do Arduino e mau contato nos cabos de ligação do circuito, refletindo nas leituras do sensor.

Os resultados da caracterização da abertura do disco com um único dente com partes destacáveis em relação à frequência, foram detalhados na Tabela 1 e no gráfico 1.

Tabela 1 – Variação da frequência em função do tamanho da abertura

Abertura (mm)	Média frequência (Hz)
2	224,13
7	248,29
10	171,14
12	120,88
17	113,58
22	102,50
27	103,33

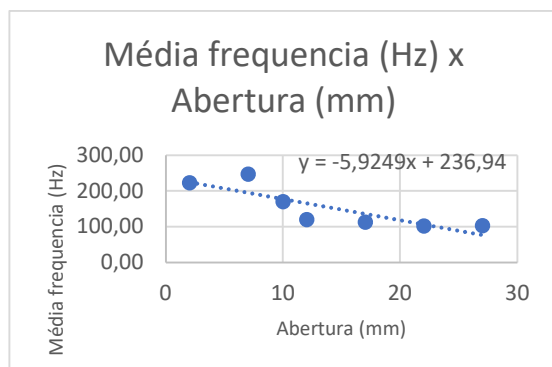


Gráfico 1 – Variação da frequência em função do tamanho da abertura

#### 5. Conclusões

Para a impressão 3D, o Tinkercad, por não ser sua finalidade principal, apresenta imprecisão nas amostras. Futuramente, o software Autocad será a ferramenta para modelação e impressão 3D de arquivos STL por oferecer a precisão adequada.

A função de interrupção do Arduino IDE, demonstrou acréscimo na variável de cálculo da velocidade duas vezes na ascensão e uma no declínio, contradizendo a única chamada esperada no declínio. As quedas de tensão do circuito também revelaram interferência nas leituras do sensor. Assim, pode-se assumir que os dados da Tabela 1, estão comprometidos, apresentando velocidades maiores que o dobro da capacidade máxima do motor.

A partir dos dados do osciloscópio, foi verificado que o sensor com comparador LM393 apresenta o funcionamento esperado, variando corretamente os sinais lógicos e apresentando os tempos de subida e de descida condizentes.

Por fim, pretende-se aumentar a taxa de transferência da transmissão serial do Arduino para 115.200 bits por segundo, com o intuito de melhorar a comunicação entre o computador e o microcontrolador, obtendo assim, precisão na interpretação da velocidade e separar as fontes de alimentação do circuito com o objetivo de diminuir ruídos e quedas de voltagem no sistema.

#### 6. Referências

- [1] G. C. do Nascimento Junior, *Máquinas elétricas: teoria e ensaios.*, 2.ed. São Paulo: Editora Érica, 2008.
- [2] J. Cousteau da Silva Borges, “ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM TRANSDUTOR DE TORQUE PARA EIXOS ROTATIVOS POR MEIO DE SENSORES DE EFEITO HALL,” Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- [3] R. S. Popovic, *Hall effect devices*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- [4] P. U. B. de Thomazini, Daniel; Albuquerque, *Sensores industriais: fundamentos e aplicações*, 8.ed. Editora Érica, 2014.
- [5] T. Hirzel, “Basics of PWM (Pulse Width Modulation),” 2023. .
- [6] G. M. Ronald Tocci, Neal Widmer, *Sistemas Digitais: Princípios e Aplicações*, 12.ed. Editora Pearson Universidades, 2019.

#### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro da FEI, da disponibilização do Centro de Laboratórios (CLE) e seus equipamentos. <sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI Projeto com vigência de 02/2023 a 02/2024.