

## UTILIZAÇÃO DE SENSOR DE VIBRAÇÃO PARA DETECÇÃO PREDITIVA DE AVARIAS EM EQUIPAMENTOS ROTATIVOS

Alex Aguiar da Silva - [alex.aguiar@ifal.edu.br](mailto:alex.aguiar@ifal.edu.br)  
Clyciane Henrique Cardoso da Silva - [chcs4@aluno.ifal.edu.br](mailto:chcs4@aluno.ifal.edu.br)  
Esley Bertoldo Lino dos Santos - [eb1s1@aluno.ifal.edu.br](mailto:eb1s1@aluno.ifal.edu.br)

**Resumo:** A manutenção preditiva tem se consolidado como uma estratégia eficaz para prolongar a vida útil de equipamentos, reduzir custos operacionais e evitar paradas inesperadas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de vibrações voltado à detecção precoce de falhas mecânicas. A proposta busca oferecer uma solução de baixo custo e alta versatilidade, capaz de identificar anomalias como desalinhamento, desbalanceamento e desgaste estrutural em componentes rotativos. Para isso, integrou-se o sensor MPU6050, que combina acelerômetro e giroscópio, com a plataforma Arduino, permitindo a coleta e análise de dados em tempo real. A metodologia envolveu testes em bancada, simulando diferentes condições operacionais, com monitoramento das vibrações em múltiplos eixos e análise dos comportamentos dinâmicos. Os dados coletados foram analisados em softwares específicos, auxiliando na identificação de padrões anômalos. Os resultados evidenciaram a eficácia do sistema em detectar variações nos sinais de vibração, demonstrando seu potencial como ferramenta acessível para manutenção preditiva. Essa abordagem prática pode contribuir para o aprimoramento do monitoramento de equipamentos, além de aumentar a confiabilidade e segurança nos processos produtivos.

**Palavras-Chave:** Manutenção, Vibração, MPU6050, Monitoramento, Arduino.

**Abstract:** Predictive maintenance has established itself as an effective strategy to extend the service life of equipment, reduce operational costs, and prevent unexpected downtime. This work presents the development of a vibration monitoring system for the early detection of mechanical failures. The goal is to provide a low-cost and versatile solution capable of identifying anomalies such as misalignment, imbalance, and structural wear in rotating components. To achieve this, the MPU6050 sensor — which combines an accelerometer and gyroscope — was integrated with the Arduino platform, enabling real-time data collection and analysis. The methodology included testing on experimental benches simulating different operating conditions, with multi-axis vibration monitoring and the diagnosis of abnormal dynamic behaviors. The results demonstrated the system's effectiveness in detecting anomalous variations in vibration patterns, highlighting its potential as an accessible tool for predictive maintenance. The practical application of this approach can significantly contribute to improving equipment monitoring and increasing reliability and safety in production processes.

**Keywords:** Maintenance, Vibration, MPU6050, Monitoring, Arduino.

### 1 INTRODUÇÃO

A manutenção preditiva destaca-se por monitorar em tempo real as condições das máquinas, diferente da corretiva, feita após falhas, e da preventiva, baseada em intervalos fixos. Ela usa sensores para detectar anomalias antes de falhas graves, otimizando a manutenção, reduzindo custos e evitando paradas inesperadas.

Essa abordagem visa prever falhas com antecedência, por meio da coleta e análise de dados fornecidos por sensores que monitoram parâmetros como vibração, temperatura, análise de óleo e ultrassom. Dessa forma, é possível otimizar os processos de manutenção, reduzir custos operacionais, evitar paradas inesperadas e prolongar a vida útil dos equipamentos.

A análise de vibração é uma técnica eficaz para identificar problemas mecânicos como desalinhamento e desgaste. Sensores como o MPU6050, que combina acelerômetro e giroscópio, oferecem precisão e baixo custo para monitoramento integrado via Arduino (SILVA, 2022).

Este artigo propõe um sistema de detecção de vibração com MPU6050 e Arduino para monitorar falhas em componentes mecânicos, demonstrando a viabilidade de soluções acessíveis na manutenção preditiva.

## MATERIAIS E MÉTODOS

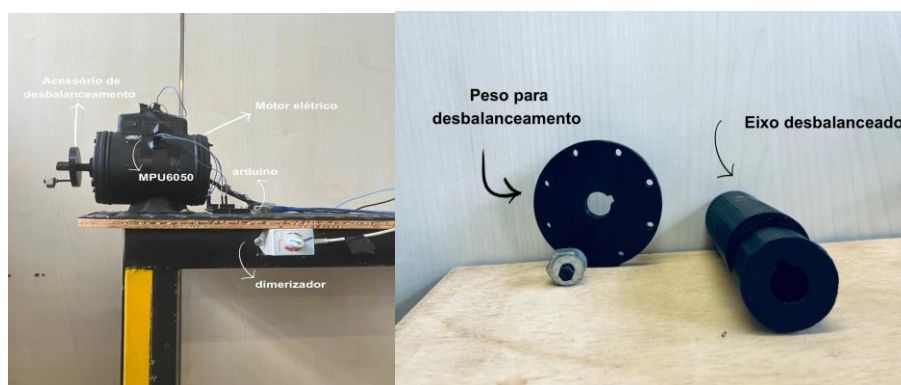
Para concepção do sensor de vibração fez-se necessário dividir este trabalho em três etapas, iniciando pela estrutura e sustentação do motor e falhas mecânicas escolhidas, seguido da montagem do sensor e programação, e finalizando com a coleta de dados a tratativa dos mesmos.

### 1)2.1. Estrutura e Sustentação do Motor e Falhas Mecânicas Selecionadas

A mesa utilizada no experimento, fornecida pelo IFAL campus Coruripe, serviu de base para o sistema de análise vibracional. Ela possui um tampo de madeira com revestimento antiderrapante, fixado a uma estrutura metálica, garantindo estabilidade e minimizando a transmissão de vibrações ao solo.

O motor elétrico de indução monofásico foi fixado à mesa por uma chapa metálica aparafusada (Figura 1). Sua rotação é ajustada manualmente por um dimerizador conectado ao circuito elétrico, permitindo variar a velocidade e analisar diferentes condições operacionais e seus efeitos nas vibrações.

**FIGURA 1.** Bancada Experimental e Suportes



**Fonte:** Autor, (2025).

A vibração mecânica, presente em todos os sistemas rotativos, é o movimento oscilatório de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio, podendo ser desejada em casos específicos, como em peneiras vibratórias, mas geralmente requer monitoramento e controle (Gomez-Mancilla et al., 2008). Em motores e turbinas, as principais causas de vibração são desbalanceamento e desalinhamento, que geram oscilações excessivas e podem comprometer o funcionamento do sistema. A análise de vibrações é fundamental na



manutenção preditiva, permitindo identificar falhas precoces e evitar danos maiores. O estudo aborda três tipos de falhas: desbalanceamento, causado por distribuição irregular de massa no eixo; desalinhamento, quando eixos acoplados ficam fora de posição; e roçamento, associado ao contato anormal entre componentes (Silva; Cavalcanti, 2008; Garcia, 2005).

O roçamento ocorre devido ao contato indesejado entre partes móveis e fixas, causado por folgas, desalinhamento ou falhas nos mancais, acelerando o desgaste e afetando a segurança em altas rotações. A análise de vibrações permite identificar sinais característicos dessas falhas e, com monitoramento preditivo, possibilita a detecção precoce e a prevenção de danos. Para estudar os efeitos das falhas, foram construídos protótipos em impressora 3D simulando desbalanceamento e desalinhamento: uma massa descentralizada representou o motor desbalanceado, enquanto a deformação dos eixos reproduziu o desalinhamento, permitindo observar seu impacto nas vibrações do sistema (Figura 1).

## 2.2. Montagem do sensor e programação

O monitoramento de vibrações em sistemas rotativos depende de sensores como piezoelétricos, capacitivos e MEMS, sendo os MEMS destacados pelo tamanho reduzido, baixo consumo e fácil integração (MakerHero, 2022). Neste estudo, utilizou-se o sensor MEMS MPU6050, que combina acelerômetro e giroscópio triaxial para medir aceleração linear e rotação angular simultaneamente, com comunicação via protocolo I2C, facilitando a conexão com microcontroladores (PCB Piezotronics, 2023).

O Arduino UNO, baseado no ATmega328P, foi escolhido pela versatilidade, baixo custo, ampla comunidade de suporte e compatibilidade com protocolos como I2C, permitindo integração estável com o MPU6050 para monitoramento em tempo real. O circuito foi montado na configuração padrão I2C (pinos 5V, GND, A5/SCL e A4/SDA), garantindo leituras confiáveis. A programação na IDE oficial com as bibliotecas Wire.h e MPU6050.h simplificou a comunicação, e testes iniciais em repouso, inclinação e coleta contínua de 30 segundos confirmaram o bom funcionamento do sensor antes da aquisição de dados.

## 2.3. Coleta e tratativa de dados

A coleta de dados foi realizada com o sensor MPU6050 fixado na bomba e conectado ao Arduino Uno via I2C, monitorando vibrações nos eixos X, Y e Z para detectar falhas como desbalanceamento e desalinhamento. O sensor foi configurado na escala  $\pm 2g$ , garantindo alta sensibilidade para pequenas variações vibracionais. Os dados foram coletados em tempo real e enviados ao Monitor Serial do Arduino, com a biblioteca “MPU6050.h”, e suavizados via média móvel para reduzir ruídos causados por interferências externas e oscilações do circuito. Em seguida, os dados foram exportados em formato CSV para análise em softwares como Excel e OriginLab, facilitando a visualização das variações de aceleração.

Para avaliar o comportamento vibracional, aplicou-se a FFT para identificar frequências associadas às falhas e calculou-se o valor eficaz (RMS) da vibração, refletindo a intensidade das oscilações e a energia mecânica do sistema. A média das leituras nos eixos X, Y e Z permitiu determinar a direção e a magnitude das

oscilações, correlacionando desvios vibracionais às falhas simuladas. Essa metodologia confirmou sua eficácia no diagnóstico precoce, permitindo ações corretivas rápidas, aumentando a vida útil dos componentes e melhorando a confiabilidade do sistema.

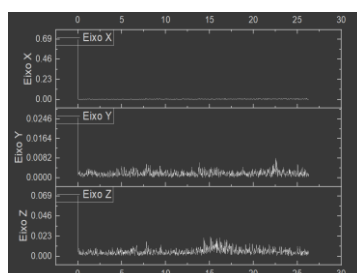
### 3. RESULTADOS

Os testes experimentais foram conduzidos para avaliar o comportamento vibracional do motor sob as condições de desbalanceamento e desalinhamento. Cada teste teve duração de 30 segundos, com os dados sendo coletados pelo sensor MPU6050 e armazenados para análise posterior. O motor foi operado com ajuste manual da rotação, sem um controle fixo de RPM.

#### 3.1 Operação em regime sem defeitos

Foi realizada uma medição inicial do motor em condições normais, sem falhas, para definir uma linha de base vibracional. O comportamento mostrou-se estável, com baixas amplitudes e ausência de picos inesperados nas leituras do MPU6050. Esse padrão, ilustrado na Figura 2, serviu como referência para identificar alterações provocadas pelas falhas simuladas nos testes seguintes.

**FIGURA 2.** Vibração em função da frequência.



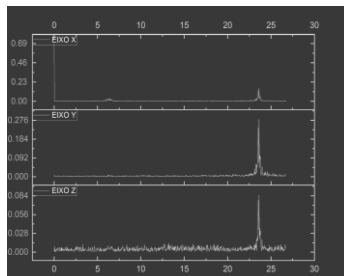
**Fonte:** Autor, (2025).

A estabilização do gráfico, a ser observado na Figura 2, em um padrão previsível foi fundamental para estabelecer uma linha de base para as comparações futuras, uma vez que qualquer alteração nos dados a partir desse ponto poderia ser atribuída a variações como desbalanceamento, desalinhamento ou roçamento, que seriam introduzidas nos testes subsequentes.

#### 3.2 Desbalanceamento

O desbalanceamento gerou aumento acentuado da amplitude das oscilações, concentrado na frequência de rotação do motor. A análise por FFT mostrou um pico proeminente nos eixos X, Y e Z, sem harmônicas relevantes, indicando que o efeito principal está na intensidade da vibração. Conforme apontam Jesus e Cavalcante (2018), Leite (2018) e Lima (2018), esse comportamento é característico do desbalanceamento, o que foi confirmado nos resultados obtidos e ilustrado na Figura 3.

**FIGURA 3.** Pico por desbalanceamento



**Fonte:** Autor, 2025.

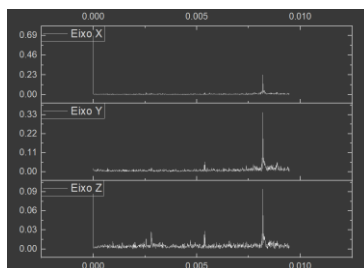
a) A análise por eixo mostrou respostas distintas ao desbalanceamento: no eixo X, quase não houve aceleração, exceto por um pico próximo a 25 Hz; no eixo Y, surgiu o pico mais intenso entre 24–25 Hz, indicando alinhamento da massa desbalanceada e confirmando a sensibilidade direcional do MPU6050 (Svantek, 2023); já no eixo Z, observaram-se baixas acelerações e um pico coincidente com os demais, típico de vibração vertical secundária transmitida pela estrutura.

### 3.3 Desalinhamento

O desalinhamento apresenta comportamento vibracional mais complexo que o desbalanceamento. No tempo, o sinal mostra oscilações irregulares e amplitudes variáveis, indicando forças adicionais no eixo do motor. Na FFT, o eixo X apresenta pico na frequência de rotação; o eixo Y, picos na frequência de rotação e no dobro dela, sugerindo harmônicas (Randall, 2021).

No eixo Z, três picos adicionais indicam distribuição dinâmica mais complexa, possivelmente devido à interação de forças centrífugas e à geometria do conjunto rotativo (Randall, 2021). Assim, o desalinhamento altera amplitude e distribuição de frequências, com harmônicas nos eixos Y e Z, conforme mostrado na Figura 4.

**FIGURA 4.** Harmônicos por desalinhamento



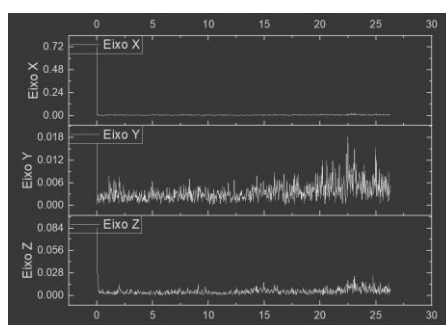
**Fonte:** Autor, 2025.

### 3.4 Roçamento

O comportamento vibracional de falhas em rolamentos apresenta características impulsivas nos domínios do tempo e da frequência, devido à interação entre corpos rolantes e pistas danificadas (Randall e Antoni, 2011). No tempo, observam-se oscilações de baixa amplitude nos três eixos, intercaladas por pulsos abruptos, conforme mostrado na Figura 5.

Na FFT, o eixo X apresenta baixa amplitude e poucos picos, indicando menor sensibilidade à falha. O eixo Y mostra vibração crescente com oscilações intensas, associadas à passagem dos corpos rolantes sobre áreas danificadas (Tandon e Choudhury, 1999). O eixo Z registra múltiplos picos de baixa amplitude e maior densidade espectral, refletindo maior propagação dos impactos nessa direção. Assim, falhas em rolamentos aumentam a amplitude e geram espectros com harmônicas e componentes impulsivos, principalmente nas direções radiais.

**FIGURA 5:** Espectro instável por roçamento.



**Fonte:** Autor, 2025.

## 4.CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou desenvolver e avaliar um sistema experimental de detecção de vibrações mecânicas utilizando o sensor MPU6050 integrado à plataforma Arduino. A proposta visou explorar a viabilidade de soluções de baixo custo para o monitoramento de equipamentos, com ênfase na simplicidade da montagem e na acessibilidade dos componentes.

Durante os testes, o sistema mostrou boa sensibilidade às variações mecânicas do motor, apesar da rotação instável e sem controle, o que limitou a reprodutibilidade e comparação dos dados. Mesmo assim, os sinais captados validaram o funcionamento do sensor e sua utilidade em condições imprevisíveis. O experimento provou que hardware acessível e programação básica podem ser uma base para sistemas de monitoramento mais robustos, com potencial em ensino técnico e ambientes pré-industriais.

Para trabalhos futuros, recomenda-se usar motores com controle de rotação, taxa fixa de amostragem e análise no domínio da frequência, para aumentar a precisão e confiabilidade dos diagnósticos. Em resumo, o projeto atingiu seu objetivo ao demonstrar a viabilidade de detectar vibrações com sensores simples e baratos, abrindo caminho para estudos mais detalhados e aplicação prática na indústria.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Alagoas, campus Coruripe, pelo apoio institucional e pelos recursos disponibilizados para a realização deste trabalho. Minha gratidão especial ao professor Alex Aguiar pela orientação dedicada e incentivo durante todas as etapas do projeto. Também agradeço a Clyciane Henrique, Esley Bertoldo e Bruno Lira pelas importantes contribuições e colaboração para o sucesso deste estudo.

## REFERÊNCIAS

GARCIA, M. S. Análise de defeitos em sistemas mecânicos rotativos a partir de medições de vibração. 2005.

Disponível em: [https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-pem\\_upl/THESIS/1139/pemufrij2005mscmauriciosanchesgarcia.pdf](https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-pem_upl/THESIS/1139/pemufrij2005mscmauriciosanchesgarcia.pdf). Acesso em: 20 maio 2025.

GOMEZ-MANCILLA, J.; SINOU, J.-J.; NOSOV, V. R.; THOUVEREZ, F.; ZAMBRANO, A. The influence of crack-imbalance orientation and orbital evolution for an extended cracked Jeffcott rotor. 2008. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/0801.3019>. Acesso em: 20 maio 2025.

JESUS, S. S.; CAVALCANTE, P. F.; LEITE, L. A. M.; LIMA, I. A. M. Identificação de defeitos em equipamentos rotativos através da análise de vibração. Anais do Congresso de Iniciação Científica, Universidade Federal de Pernambuco, 2018. Disponível em: [https://www.facz.com.br/portal/conteudo/iniciacao\\_cientifica/programa\\_de\\_iniciacao\\_cientifica/2018/anais/identificacao\\_de\\_defeitos\\_em\\_equipamentos\\_rotativos\\_atraves\\_da\\_analise\\_de\\_vibracao.pdf](https://www.facz.com.br/portal/conteudo/iniciacao_cientifica/programa_de_iniciacao_cientifica/2018/anais/identificacao_de_defeitos_em_equipamentos_rotativos_atraves_da_analise_de_vibracao.pdf). Acesso em: 20 maio 2025.

MAKERHERO. Disponível em: <https://www.makeherhero.com/>. Acesso em: 21 maio 2025.

PCB PIEZOTRONICS. Sensores de vibração, acústica, pressão, força, choque e aplicações industriais. Disponível em: <https://www.pcbpiezotronics.com.br/>. Acesso em: 21 maio 2025.

RANDALL, R. B.; ANTONI, J. Rolling element bearing diagnostics—A tutorial. Mechanical Systems and Signal Processing, v. 25, n. 2, p. 485–520, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2010.07.017>.

RANDALL, R. B. Vibration-based condition monitoring: industrial, automotive and aerospace applications. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2021.

SILVA, A. M. da; CAVALCANTI, E. S. de O. Identificação de falhas em sistemas rotativos empregando análise de vibração. 2008. Disponível em: [https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-pem\\_upl/THESIS/135/pemufrij2008mscmelquesedequemeloarcoverde.pdf](https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-pem_upl/THESIS/135/pemufrij2008mscmelquesedequemeloarcoverde.pdf). Acesso em: 20 maio 2025.

SVANTEK. What is an accelerometer? Applications in vibration monitoring. 2023. Disponível em: <https://svantek.com/academy/accelerometer>. Acesso em: 20 maio 2025.

TANDON, N.; CHOUDHURY, A. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. Tribology International, v. 32, n. 8, p. 469–480, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(99\)00077-8](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(99)00077-8).