



Análise de métodos de detecção de falha em máquinas de indução

ANALYSIS OF FAULT DETECTION METHODS IN INDUCTION MACHINES

Thiago Kenzo Mori¹, Marcelo Favoretto Castoldi²,
Alessandro Goedel³

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento, visando avaliar métodos que possam trazer informações acerca de uma iminente falha em máquinas de indução trifásicas, possibilitando a manutenção preditiva da máquina para que esta não danifique e prejudique o processo de produção. Pensando nisso, no decorrer da pesquisa, foi realizado o levantamento de estratégias de monitoramento, onde foi iniciado o desenvolvimento do sistema, utilizando métodos inteligentes para a aquisição de dados a partir de sensores de temperatura e vibração, que irão se comunicar com o microcontrolador ESP32. Após a realização dos testes iniciais, foi possível observar o comportamento dos sensores em relação ao parâmetro medido, onde foi descoberto que o sensor de temperatura embutido no circuito integrado de um sensor possui uma linearidade e precisão melhor que em comparação ao sensor de temperatura analógico utilizado para testes. Posteriormente será realizado o processamento desses sinais, possibilitando a escolha do sensor que proporcione o melhor monitoramento de vibração e temperatura para esta situação.

Palavras-chave: Motor de indução trifásico, Detecção de falhas, Aquisição de dados, Métodos inteligentes, ESP32.

ABSTRACT

This work will present the development of a monitoring system, that aims to evaluate methods that can bring information about an imminent failure of three-phase induction machines, enabling the predictive maintenance of the machine so that it does not damage and harm the production process. Therefore, during the research, a study of monitoring strategies was carried out, where the development of the system was started, using intelligent methods for data acquisition from temperature and vibration sensors, which will communicate with the ESP32 microcontroller, after the tests, it will be possible the behavior of the sensors in relation to the measured parameter, where it was discovered that temperature sensor built into the integrated circuit of a sensor has better linearity and accuracy than compared to the analog temperature sensor used for tests, later the processing of these signals will be carried out, making it possible to choose the sensor that provides the best vibration and temperature monitoring for this situation.

Keywords: Three-phase induction machines, Fault detection, Data acquisition, Intelligent methods, ESP32.

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial está em constante desenvolvimento, havendo a necessidade de converter a energia elétrica em mecânica, fazendo máquinas e equipamentos funcionarem, já que um humano não consegue desempenhar a mesma função que um motor. Dentre as possibilidades para realização desta conversão, se encontra o Motor de Indução Trifásico (MIT), sendo este motor amplamente utilizado na indústria pois a sua

¹ Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil; thiagomori@alunos.utfpr.edu.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio; marcastoldi@utfpr.edu.br

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. agoedel@utfpr.edu.br



estrutura robusta apresenta uma construção simples, forte e de baixo custo de aquisição e manutenção, gerando assim, um melhor custo-benefício quando comparado a outros motores (CAPELLI, 2013).

Quando expostos a fatores e esforços indesejados, a maioria dos motores desenvolve falhas no funcionamento devido ao desgaste. Para que fosse possível determinar o motivo dessas falhas, pesquisadores desenvolveram estudos, destacando algumas das causas responsáveis, sendo elas: falha no enrolamento, estator ou rotor desbalanceado, barras do rotor quebradas, sobrecorrente, superaquecimento, entre outras causas (SIDDIQUE ET AL., 2005).

Com o objetivo de evitar que essas falhas danifiquem o motor, é necessário que haja o monitoramento contínuo de grandezas, sendo a corrente e vibração os dois fatores mais encontrados na pesquisa. A fim de detectar e analisar esses dados, é possível encontrar a execução da correção apropriada, o melhoramento do desempenho, redução dos danos originados pelas falhas, assim como o aumento da vida útil e diminuição da quantidade de manutenção do motor (SIDDIQUE ET AL., 2005). Assim, um maior controle do processo de produção é obtido, aprimorando os “três pilares” de processo, que seriam a qualidade, redução de custo operacional e melhor desempenho de produção, gerando assim um aumento na competitividade no mercado (CAPELLI, 2013).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar um método para fazer o diagnóstico das grandezas de vibração e temperatura, e projetar uma plataforma utilizando métodos inteligentes para aquisição de dados, realizando assim o monitoramento de máquinas elétricas, permitindo a detecção de uma eminente falha no motor de indução trifásico em um estágio inicial para que seja realizada a manutenção preditiva, aumentando assim sua vida útil. Para isso, será utilizado um microcontrolador para aquisição dos dados condicionados pelos sensores para que seja realizada a análise dos sinais.

1.1 Sensor de aceleração

Os sensores de aceleração, mais conhecidos como acelerômetros, são dispositivos capazes de medir a variação da aceleração do movimento em um, dois ou três eixos espaciais (X, Y e Z) e, para medir a vibração de uma estrutura, estes transformam a grandeza em sinais ou impulsos elétricos. A maioria dos acelerômetros encontrados no mercado são sensores do tipo *Micro-Electro-Mechanical-Sensors* (MEMS). O princípio de funcionamento de um acelerômetro MEMS se dá pelo deslocamento de uma pequena massa de prova encapsulado em um circuito integrado (CI) e suspensa por pequenas vigas flexíveis, onde ao aplicar uma aceleração nele, ocorre o deslocamento dessa massa. Assim, esse sistema mecânico gera impulsos elétricos, que quando condicionado e lido por um microcontrolador, é equivalente à aceleração que havia sido aplicada, tornando possível a medição do parâmetro vibração.

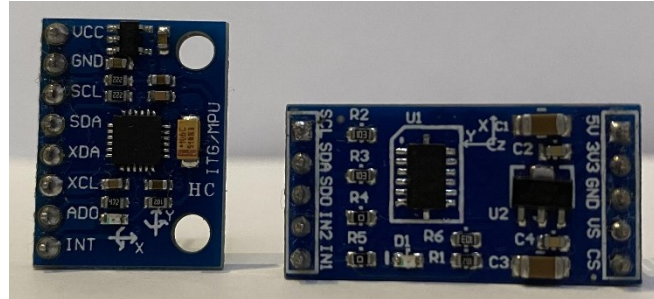
2 METODOLOGIA

Essa pesquisa foi projetada para realizar as medições dos parâmetros em um motor de indução trifásico, mas devido a pandemia do COVID-19, não foi possível realizar essas análises presencialmente na bancada de testes do laboratório da Universidade Tecnológica Federal do Paraná do Campus Cornélio Procópio, impossibilitando a medição das tensões e correntes do motor através da placa de condicionamento de sinais. Logo, foram utilizadas algumas alternativas para que fosse possível realizar as medições das grandezas de vibração e temperatura com os materiais adquiridos com a bolsa de iniciação tecnológica cedida pela CNPq, elaborando assim uma plataforma para monitoramento de máquinas elétricas utilizando métodos inteligentes.

2.1 Levantamento da estratégia de monitoramento

Nessa etapa, foram realizados estudos do modo de obtenção do parâmetro vibração do motor, onde o acelerômetro foi o sensor mais adequado para fazer a leitura desse sinal. Com isso, foi feito o levantamento dos módulos ADXL345(*Analog Devices*) e GY521(*IvenSense*), indicados na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Acelerômetros avaliados (Da esquerda para a direita: GY521, ADXL345)



Fonte: Autoria própria (2021)

Os pontos analisados durante esse levantamento foram: custo, disponibilidade nacional, sensores digitais ou analógicos, além dos parâmetros indicados na Tab. 1 a seguir.

Tabela 1 - Tabela comparativa dos parâmetros de cada acelerômetro

	ADXL345	GY521
Faixa de medição	± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g/ ± 16 g	± 2 g/ ± 4 g/ ± 8 g/ ± 16 g
Output data rate	3200 Hz	1000 Hz
Sensibilidade	282 LSB/g	16384 LSB/g
Resolução do ADC	13-bit	16-bit
Tensão de operação	3-5 V	3-5 V
Protocolo de comunicação	I2C e SPI	I2C

Fonte: Adaptação dos *datasheets* respectivos a cada módulo (2021)

O GY521 apresentou um diferencial, possuindo um sensor de temperatura embutido ao seu CI, permitindo medições de -40°C até $+80^{\circ}\text{C}$. Como será realizada a medição do parâmetro temperatura, foi adquirido o sensor analógico de temperatura LM35 para que fosse possível realizar a comparação entre os sinais de temperatura.

Para que esses sinais condicionados fossem possíveis de serem entendidos, seria necessário um componente que realizasse a conversão dos sinais analógicos dos sensores para digitais e, para isso, foi utilizado o microcontrolador ESP32, que possui alta capacidade de processamento de dados e possibilita a comunicação com a rede, possuindo grande capacidade para desenvolvimento posterior. Com isso, os módulos realizam a aquisição de dados do parâmetro vibração e o ESP32 converte o sinal para que seja possível a análise desses dados.

Foi acoplado um sensor por vez a máquina de cortar tecido, respeitando o mesmo posicionamento na mesma orientação de cada sensor, como apresentado na Figura 2.

Para comparar o funcionamento do sensor de temperatura integrado ao CI do GY521 com o sensor de temperatura analógico LM35, estes foram colocados lado a lado, programados e conectados ao ESP32, para que os dois sensores começassem o teste com uma temperatura inicial o mais uniforme possível. Logo em seguida, foi aproximado um ferro de solda e, ao alimentá-lo, foi iniciada a medição, conforme mostra a Figura 3.

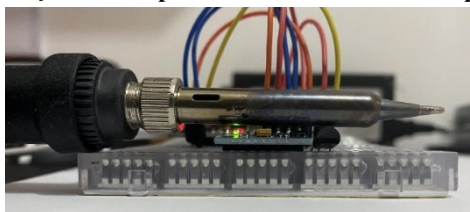


Figura 2 – Acelerômetro acoplado na carcaça da máquina



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 3 – Medição da temperatura do ferro de solda pelos dois sensores



Fonte: Autoria própria (2021)

Após a medição dos parâmetros, foi utilizado o programa Microsoft Excel para anotar todos os dados, e o programa Matlab, para realizar a plotagem dos gráficos, além de ser um software de simulação de alta performance, possibilitando também o desenvolvimento posterior do projeto.

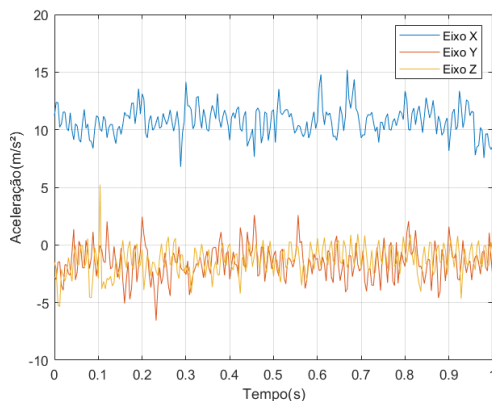
3 RESULTADOS

Serão apresentados nessa seção os resultados mensurados descritos durante este trabalho. É possível adiantar que por ter sido utilizada uma máquina de cortar tecido e um ferro de solda para emular os parâmetros, os resultados obtidos podem ser diferentes quando utilizados um motor de indução trifásico como era esperado.

Tratando-se da medição da grandeza de vibração, a programação possibilitou que os dois sensores realizassem a leitura de 300 dados por segundo.

Com os dados registrados e armazenados foi possível traçar o sinal de vibração dos três eixos para cada sensor, tendo como resultado os gráficos apresentados nas Figuras 4 e 5.

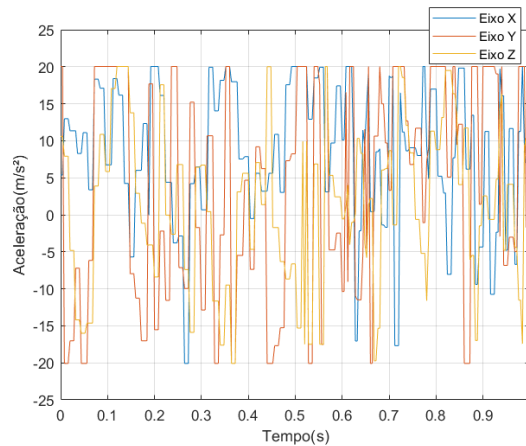
Figura 4 – Resultado do GY521



Fonte: Autoria própria (2021)

Ao analisar o resultado dos 3 eixos do GY521, obteve-se um resultado promissor. O eixo X está com a aceleração positiva devido a orientação que o sensor estava posicionado, onde os eixos Y e Z são os que oscilam na aceleração negativa. Porém, com base nesse gráfico, não é possível concluir se ele é o melhor sensor, pois é necessário realizar um processamento nesse sinal, como a *Fast Fourier Transform* (FFT).

Figura 5 – Resultado do ADXL345

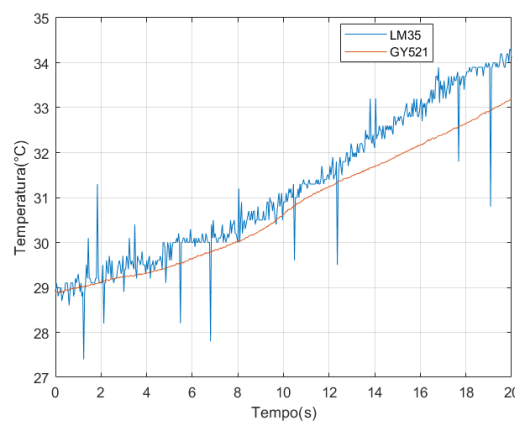


Fonte: Autoria própria (2021)

Ao analisar o resultado dos 3 eixos do ADXL345, obteve-se um resultado inesperado, uma vez que o sinal apresentou baixa frequência de amostragem. Mesmo repetindo o teste, o resultado foi similar, e as possíveis causas desse erro é devido ao método utilizado para emular a vibração de um motor e à sensibilidade do sensor, pois quanto mais sensível o sensor é, uma pequena variação na aceleração provoca uma grande variação no sinal de saída do acelerômetro, fornecendo assim um resultado mais preciso. Onde a sensibilidade do ADXL345 é 282 LSB/g enquanto o GY521 é 16384 LSB/g.

As temperaturas obtidas pelos sensores do LM35 e o embutido no CI do GY521, são apresentadas na Figura 6.

Figura 6 – Comparação entre os sensores de temperatura LM35 e o embutido no CI do GY521



Fonte: Autoria própria (2021)

Um resultado que chamou a atenção nesse teste foi a linearidade do sinal de temperatura medido pelo GY521 em comparação ao medido pelo LM35. Isso se dá pelo fato do GY521 ser um sensor digital realizando o processamento de dados mais rápido que o LM35 que é um sensor analógico, gerando assim uma saída mais precisa.



4 CONCLUSÃO

Através desse trabalho tornou-se possível entender alguns dos parâmetros encontrados a partir de levantamentos bibliográficos, que possibilitam a detecção de possíveis falhas no motor e entender o funcionamento de alguns sensores de baixo custo que realizam a medição desses parâmetros, onde trabalhando em conjunto com o ESP32, é possível desenvolver métodos inteligentes para analisar esses dados, desenvolvendo assim a plataforma para monitoramento contínuo de máquinas elétricas.

O estudo e as medições realizadas durante essa pesquisa formaram a primeira etapa desse trabalho. Os próximos passos da pesquisa será realizar um tratamento melhor do sensor ADXL345 para obter o sinal esperado e realizar o processamento de dados nos sinais de vibração, para que seja possível analisar e qual sensor possui o melhor desempenho para efetuar a medição dessa grandeza, que será empregada em tarefas posteriores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao PIBIT junto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro à pesquisa que tornou esse projeto possível e a instituição UTFPR pela oportunidade de desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- Analog Devices, 2015. **ADXL345 Digital Accelerometer Datasheet, revisio E**. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>. Acessado em: 27 set, 2021.
- CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.
- IvenSense Inc., 2013. **MPU-6000/MPU-6050 Product Specification, PS-MPU-6000A-00 Datasheet, revision 3.4**. Disponível em: <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>. Acessado em: 27 set, 2021.
- SIDDIQUE, Arfat; YADAVA, G. S.; SINGH, Bhim., **A Review of Stator Fault Monitoring Techniques of Induction Motors**. IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 20, No. 1, 2005, p. 106-114.
- TOLEDO JÚNIOR, Emerson Galdino. **Acelerômetro sem fio de baixo custo para monitoramento dinâmico estrutural**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora -MG, 2018.