



Associação Propagadora Esdeva
Centro Universitário Academia - Uniacademia
Curso de Engenharia Elétrica
Artigo do Grupo de Estudos

SISTEMA ELETRÔNICO PARA MONITORAR A OPERAÇÃO DOS MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO NA INDÚSTRIA

Alunos: Evandro J. P. Pedro; Lucas B. Firmino; Rodrigo G. Guimarães; Tamiris A. de Souza

*Prof. Orientador: Marcelo P. Dias
Centro Universitário Academia, Juiz de Fora, MG*

Linha de Pesquisa: Automação / Eficiência Energética.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor um estudo para desenvolver um dispositivo eletrônico com arduino capaz de monitorar o funcionamento do motor de indução trifásico na indústria. São apresentadas as principais características dos motores de indução, as possíveis causas de falhas que podem ocorrer na condição operacional e como identificar essas falhas. Em seguida são exibidos os sensores responsáveis por coletar os dados durante a operação do motor. É apresentada a metodologia utilizada para identificar falhas no motor de indução através do tratamento dos dados empregando a linguagem de programação Python. Por meio desse estudo, é possível examinar o comportamento do motor variado a carga, velocidade e seus parâmetros elétricos. Apesar de toda pesquisa realizada, não foi possível realizar a montagem do protótipo devido as limitações provenientes da pandemia do covid-19.

Palavras-chave: Motor de indução. Arduino. Sensores. Internet das coisas.

1 INTRODUÇÃO

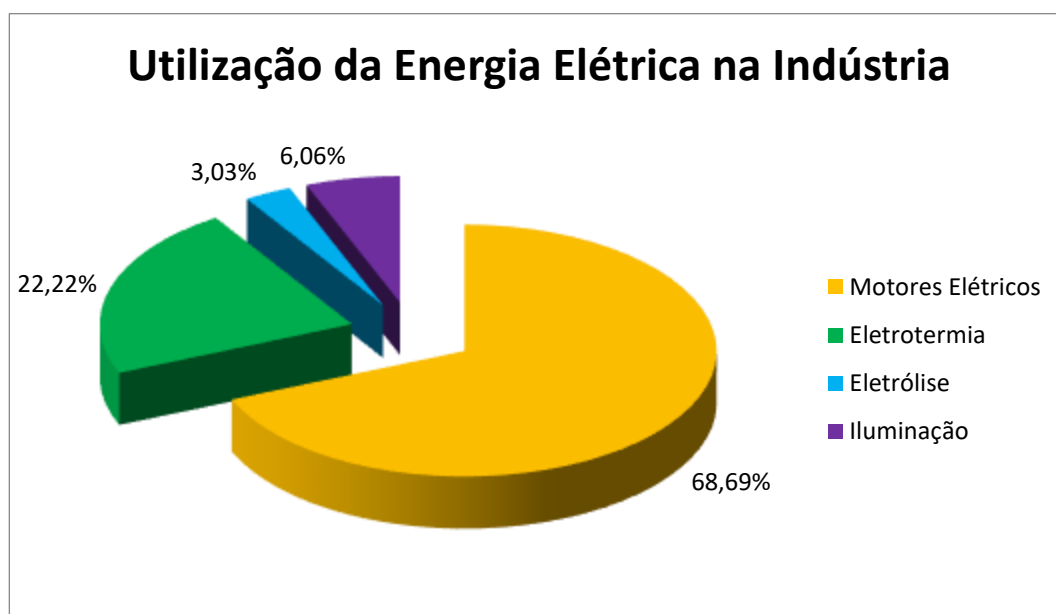
Motores elétricos de indução trifásicos são utilizados nas indústrias em diversas aplicações e estão presentes em inúmeros tipos de acionamentos. São responsáveis por uma grande parcela do consumo de energia elétrica neste setor como mostra a Figura 1 (VIANA et al., 2012).

Para operar de forma eficiente, o motor precisa ser corretamente dimensionado levando em conta as características da carga que ele irá movimentar.

Aliado a isso, um bom programa de manutenção para monitorar e corrigir falhas, contribui para melhorar o desempenho energético e operacional do motor.

A manutenção realizada em motores elétricos tem como principal função aumentar a confiabilidade além de ser necessária para que seja atingido índices de qualidade e evitar falhas do processo.

Figura 1: Utilização final da energia elétrica na indústria.



Fonte: SOUZA, 2018.

Na manutenção corretiva o reparo é feito após falha funcional do equipamento, por isso não é possível agendar o trabalho de reparo com antecedência e, também, é denominada manutenção em falhas (NARAYAN, 2012). A manutenção corretiva ocorre após uma falha funcional que pode resultar de peças defeituosas, redução de velocidade, redução de saída e condições inseguras de operação.

A manutenção preventiva é baseada em períodos de utilização do motor elétrico que está associado com os dados históricos dos equipamentos e, na falta desses dados, as informações dos operadores e conhecimento a respeito da relação entre falhas e tempo de uso podem ajudar na definição apropriada da tarefa (FOGLIATO et al., 2009). As inspeções que avaliam a condição de um equipamento,

estão relacionadas a substituição de itens de serviço como, por exemplo, filtros, óleos, correias e peças lubrificantes.

Manutenção preditiva está relacionada as condições reais de funcionamento das máquinas com base em dados que indicam o seu nível de desgaste ou processo de degradação. Este tipo de manutenção tem como principal função tentar estimar o tempo de vida útil dos componentes das máquinas, equipamentos e as condições para que esse tempo de vida útil seja bem aproveitado. Logo, de acordo com a modificação de parâmetros de condição ou desempenho do equipamento a manutenção preditiva visa a integridade estrutural e a funcionalidade dos componentes do motor.

Com o propósito de tornar os motores elétricos mais eficientes e os processos produtivos mais enxutos, encurtando o tempo e os recursos necessários para produzir com qualidade, está a internet das coisas como um dos pilares mais importantes da indústria 4.0. A internet das coisas está relacionada a conexão de aparelhos físicos à internet e sua comunicação mútua em que é possível monitorar os equipamentos eletrônicos e prevenir situações acidentais, favorecendo uma gestão com mais controle. Assim, o uso de dispositivos eletrônicos capazes de monitorar as condições operacionais dos motores elétricos em tempo real é um grande aliado da manutenção preditiva (PITOLI, 2013).

Por meio do sensoriamento, dados de tensão, corrente, temperatura, vibração e campo magnético são coletados e enviados para as nuvens, onde serão analisados com a finalidade de diagnosticar a atual situação que se encontra o motor de indução.

Este trabalho tem por objetivo propor o desenvolvimento de protótipo utilizando Arduino e IoT para monitorar as condições operacionais de motores elétricos na indústria. Através do monitoramento em tempo real será possível detectar falhas, reduzir os custos com manutenção e avaliar o seu desempenho energético.

2 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Atualmente o coração de uma indústria é o motor elétrico de indução, sem ele em uma linha de produção não seria possível operar de forma eficiente, braços

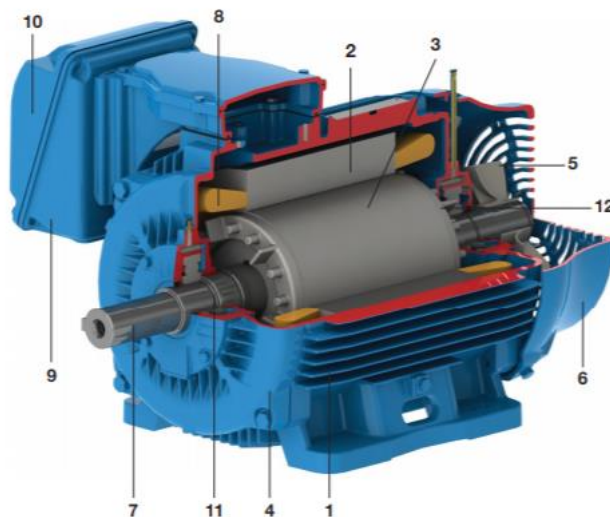
robóticos, correias transportadoras entre outras diversas aplicações, além de ter um baixo custo, facilidade de limpeza e transporte combinado com a simplicidade de comando.

O motor elétrico é uma máquina capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica, os tipos mais comuns de motores são os de corrente contínua e o de corrente alternada.

Devido seu baixo custo, robustez e simplicidade de aplicação o motor de indução trifásico é o mais utilizado de todos, podendo ser utilizado nos mais diversos tipos de máquinas. Sua velocidade pode ser manipulada através de um inversor de frequência uma vez que para manter seus RPM alto ou baixo depende da frequência aplicada na entrada do circuito. Sua principal característica é que apenas o estator está ligado à rede elétrica e no rotor as correntes que irão circular por ele são induzidas eletromagneticamente dando origem a seu nome motor de indução.

A Figura 2 mostra o motor de indução e suas principais partes.

Figura 2: Motor de indução.



Fonte: WEG, 2020.

De acordo com (WEG, 2020) “No estator está presente Carcaça (1) - é a estrutura suporte do conjunto de construção robusta em ferro fundido, aço ou alumínio injetado, resistente à corrosão e normalmente com aletas; Núcleo de chapas (2) - as chapas são de aço magnético; Enrolamento trifásico (8) - três

conjuntos iguais de bobinas, uma para cada fase, formando um sistema trifásico equilibrado ligado à rede trifásica de alimentação.

No Rotor está presente: Eixo (7) - transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor; Núcleo de chapas (3) - as chapas possuem as mesmas características das chapas do estator; Barras e anéis de curto-circuito (12) - são de alumínio injetado sob pressão numa única peça.

Outras partes do motor de indução trifásico: (4) Tampa, (5) Ventilador, (6) Tampa defletora, (9) Caixa de ligação, (10) Terminais e (11) Rolamentos.

Os demais componentes são acoplados no estator ou no rotor originando assim o motor de indução.

2.1 CAUSAS DE FALHAS EM MOTORES DE INDUÇÃO

Os motores são de fundamental importância para a operação de uma indústria e um bom programa de manutenção nesses componentes pode impedir uma parada inesperada na linha de produção.

Falhas podem aparecer de formas diversas, e conhecer os problemas mais comuns encontradas pode ser o fator primordial para prolongar a vida útil do motor e evitar paradas inesperadas.

Existe no mercado diversos equipamentos capazes de monitorar possíveis falhas que possam ocorrer no motor de indução e para isso é de suma importância o conhecimento das principais causas de falhas no motor de indução trifásico (BRAGA, 2019; SOARES et al., 2019; MARCOS, 2018; FASILTEC, 2017).

1) Transiente de Tensão

Essa falha está ligada ao transitório presente quando acionamos uma carga. Tais transientes podem ser provenientes de cargas internas ou externas a planta da fábrica em que o motor está instalado e estão relacionados a picos de interferência eletromagnética que variam de amplitude e frequência. Este distúrbio pode causar a quebra e ou a perda do isolamento do enrolamento do motor resultando na sua parada inesperada.

2) Fases Desbalanceadas

Na indústria é comumente utilizado motores de indução com gaiola de esquilo, nos quais são assíncronos e trifásicos, é necessário um equilíbrio entre as três fases para que desta forma o campo girante atue de forma correta. Uma falha na distribuição de carga de impedância pode gerar o desequilíbrio nas três fases do motor, falhas essas que podem ser encontradas no cabeamento do motor, terminações do motor, nas espiras elevando assim o fluxo de corrente em um ou em todos os circuitos de fase aumentando assim a temperatura de operação e levando a quebra da isolação do motor.

3) Distorção de Harmônicas

Harmônicas podem ser classificadas como um distúrbio que altera a forma de onda da tensão e ou corrente. Isso ocorre pois é inserido na rede sinais cuja frequência é um múltiplo da frequência nominal da rede devido ao grande número de equipamentos eletrônicos conectados à rede elétrica. Essa energia adicional no enrolamento do motor contribui para perda de energia interna ocasionando o aquecimento do motor diminuindo a eficiência de operação e gerando custo adicional. A detecção desse distúrbio pode ser feita utilizando um analisador de qualidade de energia e comparar com os níveis de distorção harmônica aceitáveis definidas na IEEE 519-1992.

4) Corrente Sigma

Conhecida como corrente parasita, são geradas a partir de uma frequência do sinal, capacitância ou indutância nos condutores. Esse tipo de corrente pode encontrar caminho para o sistema de proteção chegando ao terra causando um Trip de circuito sem causas aparentes ou o aquecimento excessivo do enrolamento, isso devido ao fluxo de corrente de proteção para terra.

5) Sobrecarga Operacional

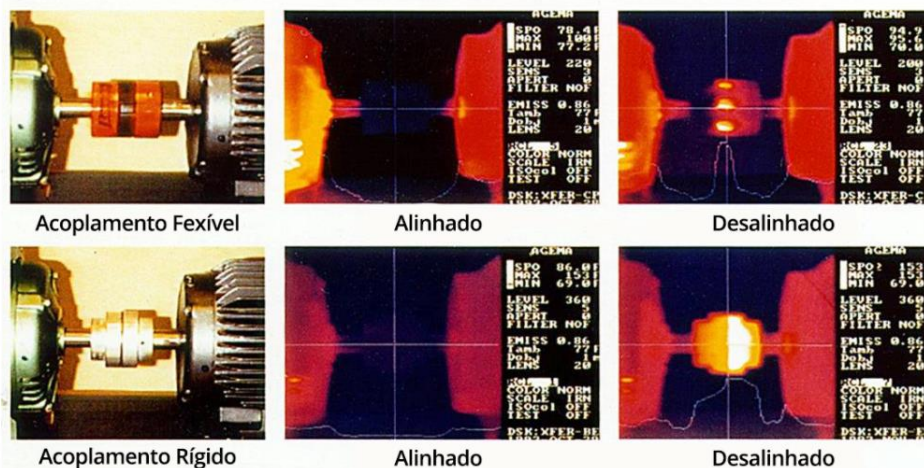
Cada atividade em que é necessária a utilização de um motor de indução é preciso realizar um dimensionamento adequado em relação ao torque e a carga a

ser operada. Quando um motor atua com uma carga acima do que seu torque nominal pode realizar, há um consumo excessivo de corrente, gerando superaquecimento e desgaste prematuro de componentes mecânicos. A persistência dessa condição pode levar a falha permanente do motor de indução.

6) Desalinhamento

O desalinhamento ocorre quando o eixo de acionamento do motor não está em alinhamento com a carga ou componente que acopla o motor a carga. Um eixo mal alinhado pode transmitir forças prejudiciais do eixo para o motor, além de gerar vibrações axial e radial no sistema, troca prematura de rolamentos, vedações, acoplamento, aumento da temperatura da carcaça próximo aos rolamentos, vazamento de óleo na vedação dos mancais, alta temperatura do óleo e parafusos de fixação frouxos. Com isso o desalinhamento leva a uma perda de energia reduzindo a eficiência do motor. A figura 3 mostra exemplos de motor desalinhado.

Figura 3: Desalinhamento em motor de indução



Fonte: BRAGA, 2019.

7) Desbalanceamento de Eixo

A ocorrência desta falha se dá devido a uma parte giratória está fora do eixo de rotação gerando assim um ponto de desequilíbrio no rotor. Por ser uma falha na qual não é possível sua eliminação total deve se identificar alguns fatores fora do normal. O desbalanceamento pode ocorrer devido ao acúmulo de sujeira, falta de

pesos de balanceamento, defeitos de fabricação, fatores relacionados com o desgaste do enrolamento do motor gerando massas irregulares. Um analisador de vibração pode ser utilizado para verificar se o motor está ou não em equilíbrio, evitando assim o desgaste prematuro em componentes de transmissão mecânica e paradas inesperadas.

10) Folga no Eixo

A folga acontece quando há um desgaste entre as partes ou o uso de peças mal dimensionadas durante a manutenção. Também pode ser causada pelo afastamento entre os elementos fixos em duas partes estacionárias. Neste tipo de falha analisar se há vibração no sistema é de fundamental importância para que se evite o desgaste acelerado dos componentes rotativos.

11) Desgaste do Rolamento

O desgaste do rolamento pode aparecer devido a utilização mais pesada do que o dimensionado, lubrificação inadequada ou incorreta, vedação do rolamento ineficaz, desalinhamento do eixo, ajuste incorreto, desgaste normal e tensão induzidas no eixo. Essa falha cria um efeito cascata levando a outras falhas já mencionadas anteriormente.

13) Tensão no Eixo

Ao exceder a capacidade de isolamento da graxa do rolamento do motor devido a tensões em excesso sobre o eixo, sulcos são gerados além da corrosão nos canais do rolamento. A identificação desta falha se dá a partir da percepção de ruídos, vibração, superaquecimento, fragmentos de metal junto a graxa devido ao desgaste do rolamento. Isto pode levar a destruição do rolamento em pouco tempo e parada do motor.

3 METODOLOGIA

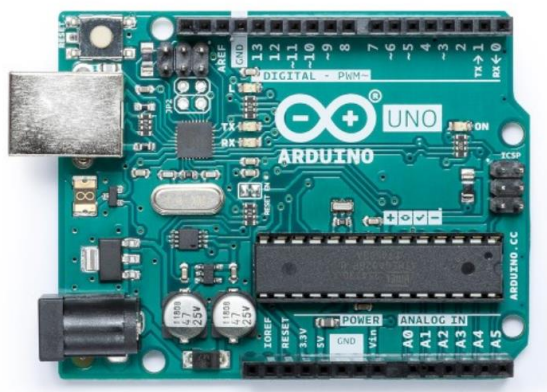
O protótipo do dispositivo eletrônico para monitoramento de motores elétricos será construído utilizando a plataforma arduino e os sensores de temperatura, acelerômetro e magnetômetro. Através do trabalho conjunto dos sensores aliados a uma programação em Python a condição operacional do motor será monitorada em tempo real, além da possível identificação de falhas.

3.1 ARDUINO

O Arduino vem a anos sendo o centro de muitos projetos desde projetos simples como o de ligar um led a mais complexo como automação residencial, criado pelo Ivrea Interaction Design Institute como uma plataforma voltada para leigos em eletrônica e programação por ter uma fácil prototipagem a placa alcançou uma ampla comunidade, atualmente é possível encontrar placas voltadas para IoT, placas de 8 bits, impressão 3D e ambientes integrados (QUEIROZ, 2018).

É uma plataforma open source desenvolvido com o conceito de hardware e software fáceis de utilizar permitindo assim que qualquer pessoa possa aprender e desfrutar das aplicabilidades do Arduino.

Dentre todos os tipos de Arduino existentes no mercado utilizaremos para o desenvolvimento do protótipo o Arduino uno apresentado na Figura 4. Essa plataforma utiliza um processador ATMEGA328, contém também 14 portas digitais, sendo elas 6 usadas como saídas PWM além de 6 portas analógicas, a alimentação pode ser feita via cabo USB ou por uma fonte externa, existe também uma versão do Arduino uno que possui um soquete para acoplar o processador, permitindo assim a troca do ATMEGA238 caso ocorra algum defeito no mesmo.

Figura 4: Arduino Uno.

Fonte: Arduino.

3.2 SENSOR DE TEMPERATURA

O sensor de temperatura que será utilizado no projeto é o DS18B20 mostrado na Figura 5. Este sensor digital de 9 bits utiliza apenas um fio para enviar as informações de temperatura para o arduino. Possui uma boa precisão de medição ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$), além da possibilidade de conectar vários destes sensores e um mesmo barramento. Opera em uma tensão de 3V a 5,5V com faixa de medição de -55°C a 120°C (MAXIM, 2019).

Figura 5: Sensor de temperatura DS18B20.

Fonte: Filipeflop.

3.3 ACELERÔMETRO

O sensor acelerômetro a ser utilizado no projeto é o modelo MMA7361 que pode ser visualizado na Figura 6. Este sensor é capaz de medir a aceleração de

um corpo em relação à gravidade através dos 3 eixos (x, y, z) presentes em um único chip (FREESCALE, 2008). O seu baixo consumo e alta sensibilidade favorecem o uso com o arduino em projetos de eletrônica.

Figura 6: Acelerômetro MMA7361.

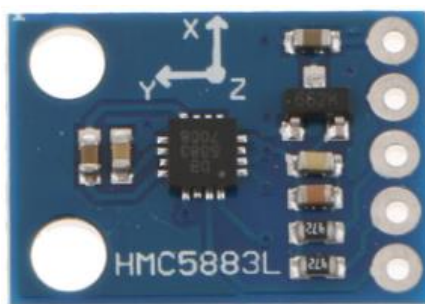


Fonte: Filipeflop.

3.4 MAGNETÔMETRO

O sensor magnetômetro que será utilizado no projeto é o modelo HMC5883L apresentado na Figura 7. Este sensor é capaz de medir a intensidade do campo magnético nos 3 eixos (X, Y e Z) presentes no chip. Possui um conversor analógico digital de 16 bits para converter as medidas armazenadas nos registradores internos.

Figura 7: Magnetômetro HMC5883L.



Fonte: Dhgate.

3.5 LINGUAGEM PYTHON

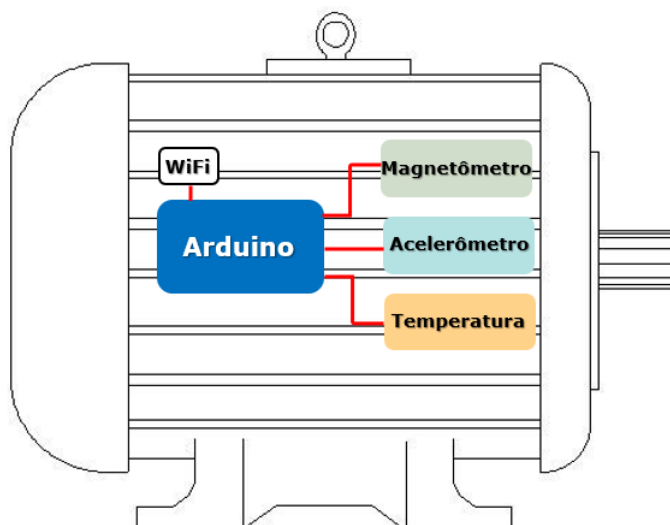
Se trata de uma linguagem de altíssimo nível, fácil aprendizagem, possui um alto nível, orientada a objetos e ser um software de código aberto. O Python permite

a utilização dos mais diversos recursos como introspecção, herança múltipla, metaclasses, decorators e duck typing, diversas bibliotecas, possibilita utilizar pacotes de terceiros e diversos Frameworks, sendo versátil as mais diversas aplicações e protótipos (CANTÚ, 2013). Esta linguagem será empregada para manipular os dados coletados pelos sensores do protótipo e gerar os resultados sobre o desempenho operacional do motor.

3.6 PROTÓTIPO

A Figura 8 mostra o esquema de como ficará o protótipo do sistema de monitoramento acoplado ao motor de indução. Nela também é apresentada a ligação dos sensores ao arduino.

Figura 8: Dispositivo de monitoramento acoplado ao motor de indução.



Fonte: autor.

3.5 DETECÇÃO DE FALHAS NO MOTOR DE INDUÇÃO

O sensor de temperatura acoplado a carcaça do motor de indução irá captar a todo momento a temperatura do motor e enviar essas informações para o arduino, que encaminhará os dados para as nuvens. Através da programação realizada na linguagem Python, os dados serão comparados com a temperatura ideal para o funcionamento do motor. Também será possível visualizar o gráfico com a curva de

temperatura durante o tempo de utilização do motor e caso a temperatura captada esteja fora dos padrões esperados uma mensagem será gerada para alertar o responsável pela manutenção.

O sensor acelerômetro será acoplado à carcaça do motor de indução, a fim de, detectar vibrações. Através da programação em Python utilizando o conceito de análise no domínio da frequência será possível identificar o tipo de falha relacionada a vibração detectada pelo sensor. Após o sistema detectar a causa do excesso de vibração, uma mensagem é gerada para a equipe de manutenção fazer a correção da avaria.

O sensor magnetômetro vai medir o campo magnético externo presente durante o funcionamento. Esses dados serão lançados em um analisador de frequência criado em Python, onde um algoritmo capaz de isolar os ruídos presentes na frequência fundamental através da FFT (Fast Fourier Transform) ou Transformada rápida de Fourier, a fim de, isolar a frequência de operação do motor e assim comparar com a frequência esperada, possibilitando a detecção de uma possível falha no equipamento. Além disso, vamos estimar os parâmetros elétricos como tensão e corrente para monitorar a potência elétrica e mecânica do motor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as etapas de programação e montagem do protótipo, o mesmo será fixado na carcaça de um motor de indução trifásico do laboratório de máquinas elétricas da Uniacademia.

Os equipamentos a serem utilizados no estudo são:

- Motor de indução trifásico WEG: 0,5 cv, 220 V, 60Hz, 4 polos;
- Inversor de frequência CFW08 WEG para acionamento do motor;
- Multimedidor de grandezas elétricas MRI-TF92 para coleta de dados durante o teste;
- Freio eletrodinâmico.

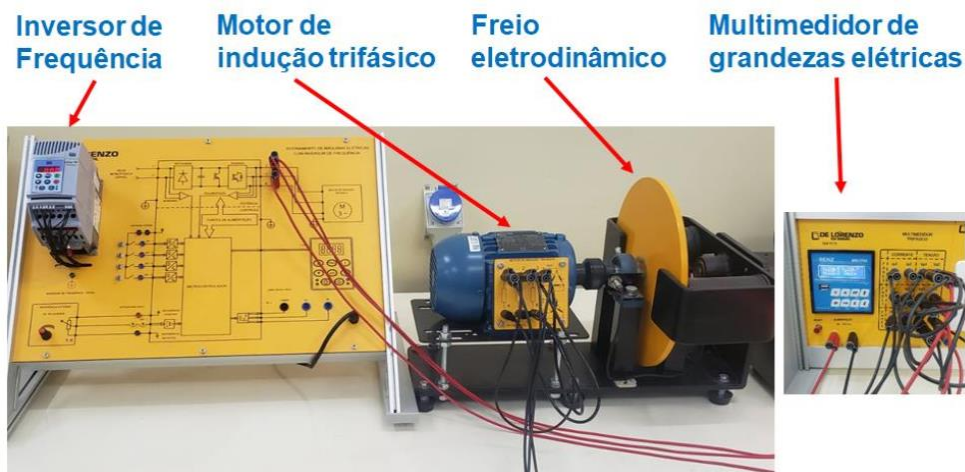
A Figura 9 mostra os equipamentos do laboratório de máquinas elétrica da Uniacademia a serem utilizados para o estudo do comportamento do motor. Com o freio eletromagnético podemos variar a carga aplicada ao eixo do motor, a

velocidade pode ser alterada através do inversor de frequência e o multimetror mede os parâmetros elétricos de tensão, corrente e potência.

Com o uso destes equipamentos será possível impor ao motor diversas condições operacionais para que o protótipo possa realizar as medições de temperatura, vibração e campo magnético. A análise dos dados coletados pelo protótipo pode ser confrontada com as condições impostas ao motor de indução para validar o funcionamento do dispositivo de monitoramento.

Os resultados das medições não serão apresentados neste trabalho, pois em função da pandemia de covid19 não foi possível acessar o laboratório para realizar a construção do protótipo.

Figura 9: Bancada de teste do motor de indução trifásico.



Fonte: autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa possibilitou o estudo e entendimento do funcionamento dos motores de indução, bem como as possíveis falhas que ocorrem nessas máquinas. Permitiu também compreender a integração entre o arduino e sensores para desenvolver um dispositivo eletrônico capaz de monitorar os parâmetros do motor durante o seu funcionamento.

A utilização de um dispositivo eletrônico de monitoramento gera benefícios como redução de custos de produção, melhora a eficiência do equipamento, reduz o tempo de reparo das manutenções, melhora a confiabilidade além de reduzir as falhas que o equipamento possa a vir a ter.

Devido a pandemia do Covid-19 não foi possível realizar a prototipagem do dispositivo a ser acoplado ao motor, e com isso a impossibilidade de execução da coleta dos dados pelos sensores.

Como trabalhos futuros será feita a confecção do dispositivo de monitoramento, coleta de dados e realização dos cálculos provenientes das informações obtidas utilizando a linguagem de programação Python.

ABSTRACT

This work aims to propose a study to develop an electronic device with arduino capable of monitoring the operation of the three-phase induction motor in the industry. The main characteristics of the induction motors are presented, the possible causes of failures that can occur in the operational condition and how to identify these failures. Then, the sensors responsible for collecting the data during the operation of the electric motor are displayed. The methodology used to identify flaws in the induction engine through data treatment using the Python programming language is presented. Through this study, it is possible to examine the behavior of the motor varied at load, speed and its electrical parameters. Despite all the research carried out, it was not possible to assemble the prototype due to the limitations arising from the covid-19 pandemic.

Keywords: Induction motor. Arduino. Sensors. Internet of things.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc>>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRAGA, D. **Como o desalinhamento de eixos ocorre e quais os perigos para o seu equipalemento**, 2019. Disponível em: < <https://dynamox.net/como-o-desalinhamento-de-eixos-ocorre-e-quais-os-perigos-para-o-seu-equipamento/>>.

Acesso em: 21 out. 2020.

CANTÚ, Dyego. **Sistema web para monitoramento de sensores de temperatura e umidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.

DHGATE. Disponível em : <https://pt.dhgate.com/product/hmc5883l-triple-axis-compass-magnetometer/553148683.html#redirect_detail=WAP2PC >. Acesso em: 20 nov. 2020.

FASILTEC. 7 causas de falhas em motores elétricos, 2017. Disponível em: <<https://fersiltec.com.br/blog/manutencao-industrial/7-causas-falhas-em-motores-eletricos/>>. Acesso em: 21 out. 2020.

FILIFELOP. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/acelerometro-3-eixos-mma7361-arduino/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

FOGLIATO, F.; RIBEIRO, J. Confiabilidade e Manutenção Industrial. 1ª ed., Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FREESCALE SEMICONDUCTOR. Datasheet MMA7361L: Sensor acelerômetro. 2008.

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

MARCOS, **Conheça as causas de falhas em motores elétricos**, 2018. Disponível em: <<http://www.vibmaster.com.br/falhas-em-motores-eletricos/>>. Acesso em: 21 out. 2020.

MAXIM INTEGRATED. **Datasheet DS18B20: Sensor de temperatura digital**, 2019.

NARAYAN, V. **Effective Maintenance Management. Risk and Reliability Strategies for Optimizing Performance**. 2ª ed., New York: Industrial Press, 2012.

PITOLI, M. H. **Sistema portátil para monitoramento e identificação de falhas em motores de indução trifásicos através da técnica da Análise da Assinatura Elétrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

QUEIROZ, W. R. O.; SOUSA, W. Q. **A Importância da plataforma arduino do Meio Acadêmico**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 08, Vol. 12, pp. 123-133, Agosto de 2018. ISSN:2448-0959.

SOARES, A.; Raniel, T.; Cabral, D. **Falhas em motores de indução trifásico: Estudo de caso**, Rev. Conexão Eletrônica – Três Lagoas, MS - Volume 16 – Número 1 – Ano 2019. Ciências Exatas e da Terra, Engenharias e Ciências Agrárias 166.

SOUZA, D. F. de. **Uma avaliação do desempenho de motores elétricos de indução trifásicos comercializados no Brasil entre 1945-2016 e o impacto da legislação brasileira**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

VIANA, A. N. C. et al. **Eficiência energética: fundamentos e aplicações**. Elektro, Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai, v. 1, 2012.

WEG, S. A. **Motores elétricos: Guia de Especificação**. Jaraguá do Sul, 2020.