

INDÚSTRIA 4.0: APLICAÇÃO EXPERIMENTAL EM MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO

JOSÉ WILLIAM RIBEIRO BORGES^{1*}; ANTÔNIO RONIEL MARQUES DE SOUSA²;
ELEN PRISCILA DE SOUZA LOBATO³; JEFFERSON ALAN DA SILVA LIMA⁴; WELLINGTON DA SILVA
FONSECA⁵

¹Estudante de Engenharia Elétrica, UFPA, Belém-PA, josewilliamrb01@gmail.com;

²Estudante de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFPA, Belém-PA, roniel.pcp@gmail.com;

³Estudante de Engenharia da Computação, UFPA, Belém-PA, elenprisl@gmail.com;

⁴Estudante de Engenharia da Computação, UFPA, Belém-PA, j.a.lima027@gmail.com;

⁵Dr. em Engenharia Elétrica, Prof. Titular do ITEC, UFPA, Belém-PA, fonseca@ufpa.br;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A quarta revolução industrial já é uma realidade e está gerando grandes impactos, logo é importante conhecer e buscar usufruir ao máximo de seus benefícios. Baseado nisso, utilizou-se do conceito de Indústria 4.0, atrelado a um de seus principais princípios - Internet das Coisas (IoT), para desenvolver uma aplicação experimental utilizando um motor de indução monofásico, muito presente em fábricas e importante componente no processo produtivo. Em síntese, é realizado o sensoriamento do motor, onde os dados de corrente e temperatura são enviados para o *software Finite Element Method Magnetics* (FEMM), que através método de Elementos Finitos, realiza a análise eletromagnética e térmica. Quem comanda tudo isso é o microcontrolador ESP 32 e toda a comunicação é feita via WiFi.
PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0, Internet of Things (IoT), Elementos Finitos, ESP 32.

INDUSTRY 4.0: EXPERIMENTAL APPLICATION IN A SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR

ABSTRACT: The fourth industrial revolution is already a reality and is generating great impacts, so it is important to know and seek to make the most of its benefits. Based on this, the concept of Industry 4.0 was used, linked to one of its main principles - Internet of Things (IoT), to develop an experimental application using a single-phase induction motor, widely used in factories and important component in the production process. In summary, the motor sensing is performed, where current and temperature data are sent to the Finite Element Method Magnetics (FEMM) software which, through the Finite Element method, performs electromagnetic and thermal analysis. Who controls all this is the microcontroller ESP 32 and all communication is done via WiFi.

KEYWORDS: Industry 4.0, Internet of Things (IoT), Finite element, ESP 32.

INTRODUÇÃO

Estamos no início de uma revolução que nos fará viver uma experiência que será diferente de tudo o que já vivemos, em sua escala, alcance e complexidade (SCHWAB, 2016) A quarta revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0. É um conceito desenvolvido por um projeto alemão que objetiva implementar sistemas de produção inteligentes assegurando a importância da tecnologia como alicerce para a mudança e evolução necessárias na indústria de todo o mundo. Essa metodologia permite coletar e analisar dados entre máquinas, criando processos mais rápidos, mais flexíveis e mais eficientes para produzir produtos de maior qualidade a custos reduzidos. Assim, essa realidade só se torna possível devido aos crescentes avanços tecnológicos da área da tecnologia da informação e engenharia (KAGERMANN et al., 2013).

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a IoT (*Internet of Things*) definida como uma infraestrutura global que permite o fornecimento de serviços avançados com a interligação de coisas (físicas e virtuais) utilizando as tecnologias de informação e comunicação (AZEVEDO, 2017). Nesse contexto, o emprego de tecnologias de sensoriamento conectado com redes de comunicação permite a coleta de informações em tempo real dos equipamentos, por exemplo, que pode ser integrada às práticas e decisões da administração de produção (SHAROUF et al., 2014).

No cenário brasileiro, há diversos fatores que entram no avanço da Indústria 4.0. O principal deles é a falta de conhecimento sobre as novas tecnologias disponíveis, dessa forma há grande desconfiança acerca dos reais benefícios refletidos para a indústria. Além disso, outros fatores são relacionados ao alto custo de implantação e a falta de pessoal qualificado para utilização das tecnologias. Mesmo diante de tais entraves, é importante incentivar o desenvolvimento do mundo 4.0, indústrias manufatureiras que implementaram soluções em IoT em seu processo produtivo relatam ter 82% de aumento na eficiência, menos 49% de defeitos nos produtos e 45 % obtiveram maior satisfação dos seus clientes (PRWeb, 2018).

Dentro das indústrias brasileiras, o motor elétrico de indução é a máquina mais utilizada, demandando grande quantidade de energia elétrica (MELLO, 2013). Dessa forma, é imprescindível conhecer o comportamento do motor tendo em vista que falhas neste equipamento, as quais proporcionam perdas de produção, energética e econômica para a indústria.

Tendo em vista essa realidade, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de sensoriamento remoto de um motor monofásico, gerando dados de temperatura e umidade, os quais são enviados para um servidor web local, onde o *software* FEMM de simulação computacional utiliza o Método de Elementos Finitos para realização de simulações eletromagnéticas e térmicas, tudo isso de forma automática. Dessa forma, é possível observar o comportamento da máquina em tempo real viabilizando a atuação do operador no caso de fenômenos adversos: como sobreaquecimento, desbalanceamento magnético, entre outros problemas que podem afetar o processo produtivo.

MATERIAL E MÉTODOS

Nessa seção, será abordada a metodologia utilizada para desenvolver o sistema. O projeto é subdividido em 7 processos interligados entre si, como exposto na Figura 1. Além disso, a descrição de cada processo será apresentada a seguir.



O sensor de temperatura e umidade DHT11 está acoplado ao motor, os dados são enviados para o microcontrolador ESP32 e posteriormente encaminhados para o ponto de acesso que se encarrega de os enviar para o servidor web local, no servidor está instalado o programa FEMM, responsável por realizar a análise eletromagnética e térmica dos dados através do método de elementos finitos. Dessa forma, o operador pode realizar a consulta tanto dos dados brutos, quanto das análises térmicas e eletromagnética para tomar as decisões que julgar necessárias.

Motor

As máquinas de indução são amplamente utilizadas em uma variedade de aplicações industriais devido ao seu baixo preço, construção simples, menos manutenção e maior confiabilidade (POPESCU & STINGA, 2014). Motor de indução é um motor elétrico construído de tal maneira que se têm dois campos magnéticos girantes, esses equipamentos são compostos basicamente de duas partes: o estator e o rotor.

O estator é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente ou de aço silício para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e histerese. O rotor também é composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente, com o formato de anel (vista frontal) (FITZGERALD et al., 1975). Neste trabalho foi utilizado um motor de indução de pequeno porte, a Figura 2 ilustra o equipamento utilizado. Para efetuar a modelagem do motor foram utilizados os seguintes dados construtivos descritos na Tabela 1.

Figura 2. Motor utilizado no trabalho

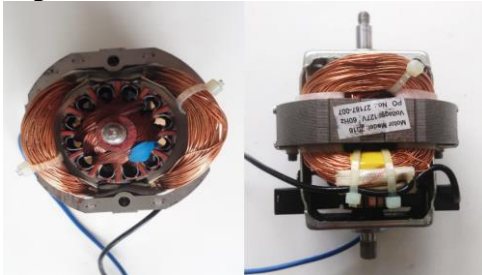


Tabela 1. Características do motor utilizado neste trabalho.

Especificações	
Tensão	127-240 V
Corrente	1 A
Potência	300-400 W
Frequência	50/60 Hz
Rotação	20000 rpm

Sensor

O DHT11 é um sensor de temperatura e umidade que permite fazer leituras frequentes de temperaturas de 0 a 50° Celsius com $\pm 2^{\circ}\text{C}$ de margem de erro. O sensor opera entre de 3 a 5.5 V, por isso ele amplamente empregado por microcontroladores. Além disso, possui corrente máxima de 2.5mA durante a captura de dados, ou seja, consumo muito baixo.

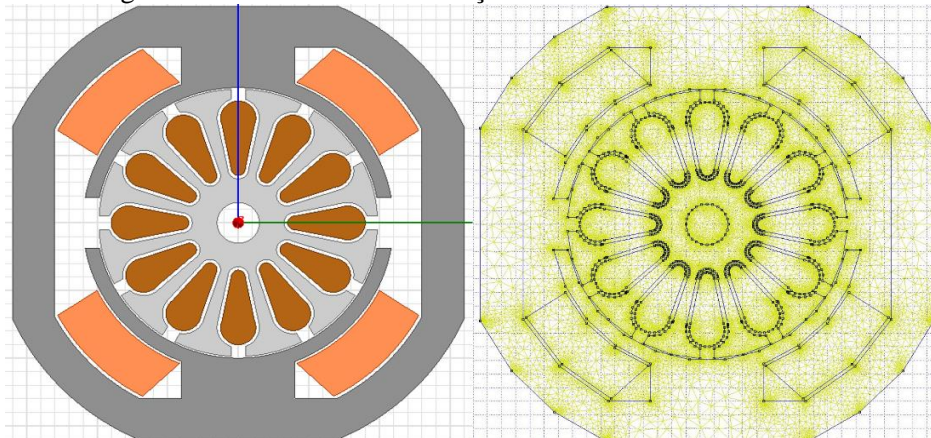
Microcontrolador

A ESP32 é um microcontrolador que possui comunicação Wifi e Bluetooth, além de ter com ultra consumo de energia, possibilitando a implementação de projetos com mais eficiência. O modelo utilizado neste projeto foi o da DEV KIT V1.

Simulação Computacional - FEMM

Para realização da simulação computacional, os dados coletados foram digitalizados em um documento *.txt* contendo as medições de corrente, temperatura do motor. A partir disso, foi desenvolvido um script em formato *.BAT* que contém instruções capazes de realizar leituras intermitentes dos dados armazenados, além de enviar e abrir para o *software Finite Element Method Magnetics (FEMM)* para implementação das simulações computacionais utilizando o Método de Elementos Finitos (MEF) (MEEKER, 2015). A geometria do motor utilizada para realização das simulações está ilustrada na Figura 3. Os dados obtidos na fase de sensoriamento são inseridos como parâmetros de entrada nas simulações.

Figura 3. Geometria e discretização do motor monofásico



Análise magnetostática

O *software* FEMM encontra a solução do problema através da Equação 1. Essa equação é obtida a partir das equações de Maxwell na forma estática e considerando também a relação constitutiva da permissividade magnética (MEEKER, 2015).

$$-\frac{1}{\mu} \nabla^2 \bar{A} = \bar{J} \quad (1)$$

Onde J densidade de corrente e A potencial vetorial magnético.

Para a simulação, os dados de corrente elétrica são inseridos como parâmetro de entrada. Além disso, a solução do problema é realizada em função do potencial magnético (A) e, a partir disso, podem ser extraídos dados de densidade de campo magnético, força e torque magnéticos no motor. Ademais, é possível obter os dados de perdas resistivas nos enrolamentos que serão inseridos na análise térmica.

Análise térmica

Para a realização da análise térmica, o FEMM soluciona o problema em torno da temperatura do modelo, utilizando a Equação 4. A partir disso, é possível obter os valores de temperatura e gradiente de temperatura no modelo (MEEKER, 2015).

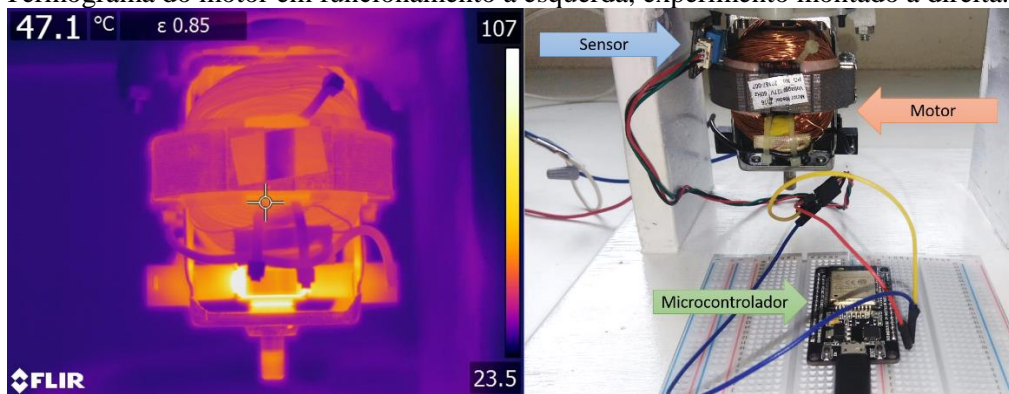
$$-\nabla \cdot (k \nabla T) = q \quad (2)$$

Os dados de temperatura obtidos no sensoriamento são inseridos como condições de contorno na geometria. Além disso, os dados de perdas resistivas adquiridos na análise magnética são implementados como fonte de calor nessa análise. Dessa forma, é possível analisar o comportamento térmico do motor a cada dado recebido pelo sensoriamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, os dados de corrente e temperatura do motor foram extraídos e enviados para o microcontrolador ESP32, capaz de enviar os dados para o servidor web local de modo a realizar o armazenamento. Os dados obtidos pelo sensoriamento são inseridos em arquivo de texto pelo microcontrolador e armazenados diretamente no computador onde o FEMM será utilizado.

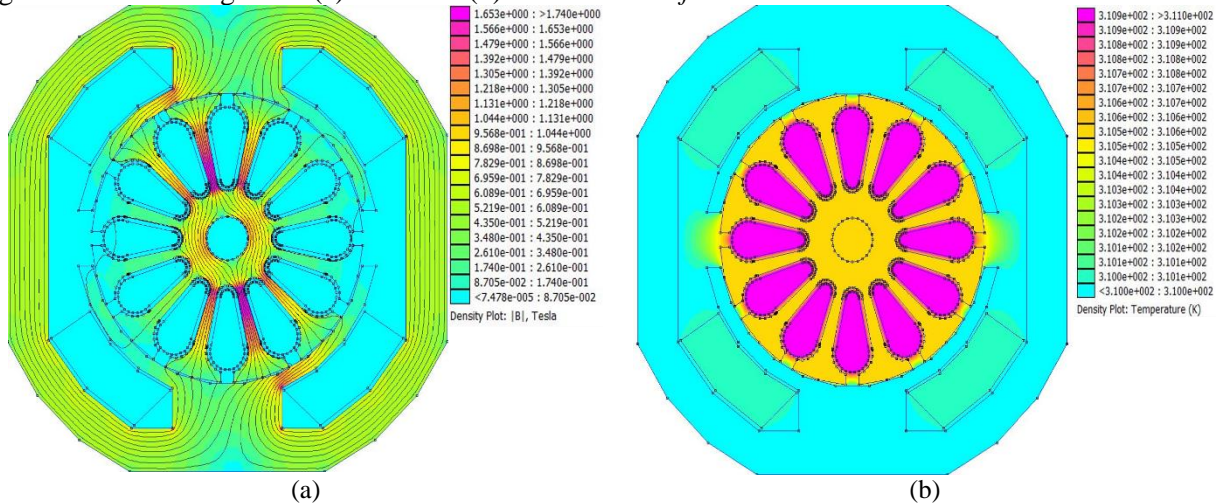
Figura 4. Termograma do motor em funcionamento a esquerda, experimento montado a direita.



A Figura 4, a esquerda, ilustra um termograma do motor em funcionamento que foi utilizado para calibrar as medições de temperatura do sensor, e a direita está o experimento montado.

Assim, os resultados obtidos pelas simulações computacionais estão ilustrados na Figura 5. Na Figura 5(a), é possível observar a distribuição de densidade de campo magnético no motor monofásico a partir dos dados obtidos através do sensoriamento, os maiores valores dessa grandeza estão localizados no rotor do equipamento demandando observação do operador para fenômenos mecânicos. Na Figura 5(b), apresenta-se a distribuição de temperatura no motor com a inserção das perdas resistivas nos enrolamentos onde os maiores valores de temperatura estão localizados nessa região.

Figura 5. Análise magnética (a) e térmica (b) utilizando o software FEMM



CONCLUSÃO

O desenvolvimento e implementação do projeto está em estágio inicial devido às dificuldades encontradas dada a complexidade da comunicação e da diversidade de sistemas, a qual dificultou a sua integração. Dessa forma, alguns subprocessos abordados anteriormente ainda estão em processo de aprimoramento, como o armazenamento dos dados que passará a ser em nuvem, para poder contemplar mais um dos princípios da indústria 4.0, a computação em nuvem. Porém, *a priori*, os resultados obtidos demonstram a viabilidade do projeto e comprovam que sua implementação em nuvem irá o aprimorar ainda mais, por isso como proposta de melhorias no mesmo, esta última etapa está em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- Azevedo, M. T. de. Transformação digital na indústria: Indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil. 177f. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2017.
- Fitzgerald, A. E.; Kingsley, C.; Kusko, A. J.: Maquinas Elétricas. 322p. Tradução de Josefa Neves. Editora McGRAW-HILL do Brasil, LTDA. 1975.
- Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 working group. Federal Ministry of Education and Research, Alemanha. 2013. 82.
- Meecker, D. Finite element method magnetics version 4.2: User's manual. 161 p, 2015.
- Mello, R. L. C. Eficiência energética e motores elétricos trifásicos de indução. Trabalho de conclusão de curso (Pós-graduação em engenharia de sistemas eletrônicos, automação e controle industrial). Instituto Nacional de Telecomunicações. Minas Gerais, 2013.
- Sharouf, F.; Ordieres, J.; Miragliotta, G. Smart factories in Industry 4.0: a review of the concept and energy management approached in production based on the internet of things paradigm. In: Proceedings of the 2014 IEEE IEEM, 2014. Bandar Sunway. Anais. Malaysia, 2014.
- Popescu, D.; Stinga, F.: Robust Model Predictive Control of an Induction Motor. 6p. Proceedings of the 18th International Conference on System Theory, Control and Computing, Sinaia, Romania, October 17-19, 2014.
- PRWeb *apud* Tudo sobre IoT. Tudo sobre IoT. 2018. Disponível em: <tudosobreiot.com.br/OQUEEIOT>. Acesso em: 28 de maio de 2018
- Schwab, Klaus. A Quarta Revolução Industrial. 1ª São Paulo: EDIPRO, 2016.