



CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS: UMA ABORDAGEM BASEADA EM ENSAIOS E ALGORITMOS

MOREIRA, L.L.A.¹; MENDES, L.F.S.²

¹Discente do curso superior em Engenharia Elétrica IFNMG – *Campus Montes Claros*; ²Docente do IFNMG – *Campus Montes Claros*.

Introdução

O motor de indução trifásico (MIT) é uma notável máquina elétrica, com seu uso difundido principalmente em processos industriais e até mesmo residenciais, e um dos pontos que favorecem a isso é a sua simplicidade e robustez de operação. Com suas diversas aplicações, como, acionamento de bombas, compressores e esteiras, cerca de 68% do consumo bruto de energia da indústria é para a alimentação desse modelo de máquina (SAUER et al., 2015).

Mediante seu amplo uso, sabe-se da importância do monitoramento de seu estado de funcionamento e uma das possíveis formas de realizar essas avaliações é através da determinação dos elementos como resistências e reatâncias, que fazem parte das particularidades de cada MIT, sendo composto então o seu circuito equivalente (SABHARWAL et al., 2006). A determinação destes parâmetros permite a análise de seu torque, fator de potência, rendimento e eficiência energética, dados através de curvas em função de carregamento ou velocidade (IEEE, 2017; SABHARWAL et al., 2006).

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo determinar os elementos do circuito equivalente e estimar os parâmetros eficiência do MIT através da obtenção de dados de ensaio regidos pela norma ABNT NBR 17094-3, denominada, “Máquinas Elétricas Girantes – Parte 3: Motores de indução trifásicos – Métodos de ensaio”. O algoritmo uma vez construído e alimentado obtém-se as características elétricas e mecânicas da máquina, dadas através de curvas.

Material e Métodos

Coleta de dados

Previamente à análise, são realizadas as coletas de dados a partir dos ensaios regidos pela NBR 17094-3, os ensaios de rotor bloqueado e ensaio em vazio acrescido do ensaio para determinação da resistência do enrolamento do estator são efetuados e registrados seus principais dados. Para todos os ensaios são registradas a corrente e tensão de linha, a potência trifásica e velocidade (ensaio em vazio). Esses dados são inseridos em um arquivo de extensão “.txt” em seus locais específicos para que ocorra a correta leitura por parte do algoritmo.

Desenvolvimento matemático

A fundamentação matemática para obtenção dos parâmetros do circuito equivalente e as funções que descrevem o comportamento de variáveis elétricas e mecânicas, partem previamente de uma análise de circuitos elétricos e suas relações com as variáveis coletadas. Trabalhos como Castro *et al.* (2020) e El-Ibiary (2003) descrevem de maneira clara as equações que fundamentam o processo de aquisição dos parâmetros de circuito equivalente e análise de perdas com base no fluxo de potência do MIT.

Algoritmo em Python

Para análise e obtenção dos parâmetros e curvas resultantes, o processo foi implementado em Python 3.11.3 (2023) no Visual Studio Code (VS Code). O algoritmo pode operar de duas maneiras: lendo



dados diretamente de um arquivo ou inserindo dados manualmente conforme solicitado. Durante o ensaio, é crucial seguir a norma NBR 17094-3 para coletar todos os dados necessários. O algoritmo inicialmente obtém os parâmetros de circuito equivalente, R_1 e X_1 sendo a resistência e reatância de dispersão do estator. R_2 e X_2 a resistência e reatância de dispersão do rotor. R_C representando as perdas ôhmicas no núcleo do motor e X_m sua reatância de magnetização, o circuito equivalente é apresentado na Figura 1. Por fim, são geradas as curvas de interesse do MIT com base em equações específicas, produzindo funções de parâmetros elétricos e mecânicos em relação à velocidade de operação da máquina.

Resultados e Discussão

Com base nos resultados obtidos, pode-se verificar o comportamento do MIT e averiguar possíveis falhas de funcionamento se realizada uma análise comparativa com dados de fabricante, com isso poderá ser detectado o comportamento correto ou anormal da máquina. A primeira curva obtida é a de Conjugado vs Velocidade, que apresenta o torque do motor em função de diferentes velocidades, disposta na Figura 2. A segunda curva é a de corrente, onde verifica-se o comportamento da corrente elétrica em função da velocidade do rotor mediante a aplicação de tensão, apresentada na Figura 3. Por fim, na Figura 4, têm-se as curvas de rendimento e fator de potência, onde pode-se verificar o comportamento das conversões de potência em termos do funcionamento do MIT conforme eleva-se a velocidade no eixo. A Tabela 1 apresenta os parâmetros do circuito equivalente encontrados para o motor utilizado no ensaio.

Considerações finais

Obtidas as curvas, é possível verificar o comportamento do MIT em termos do que era esperado de seu desempenho. A avaliação criteriosa e comparativa poderá verificar possíveis falhas e perdas de rendimento, possibilitando ações de intervenção de manutenção ou substituição. Entretanto, é importante citar o avanço em pesquisa de métodos não invasivos para obtenção destes mesmos resultados, como por exemplo a partir da leitura automática de dados com o motor em plena operação.

Agradecimentos

Ao professor Marco Aurélio da UFJF por importantes contribuições em termos de disponibilização de conteúdo gratuito acerca do assunto de máquinas elétricas.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 17094-3**: Máquinas Elétricas Girantes – Parte 3: Motores de Indução Trifásicos – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2018. 131 p.
- CASTRO A. A., M.; OLIVEIRA J. E. Algoritmo para estimação dos parâmetros do motor de indução em plena operação. **Sociedade Brasileira de Automática**, Campinas, v. 2, n. 1, dez. 2020.
- EL-IBIARY, Y. An accurate low-cost method for determining electric motors' efficiency for the purpose of plant energy management. **IEEE Transactions on Industry Applications**, v. 39, p. 1205-1210, 2003.
- IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY.: Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, 2018.
- SABHARWAL, S. C. Methodology for estimating performance characteristics of three phase induction motor operating direct-on-line or with six pulse inverter, 2006. **International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems**. p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PEDES.2006.344343>
- SAUER, I. L. et al. A comparative assessment of Brazilian electric motors performance with minimum efficiency standards. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 308–318, 2015.

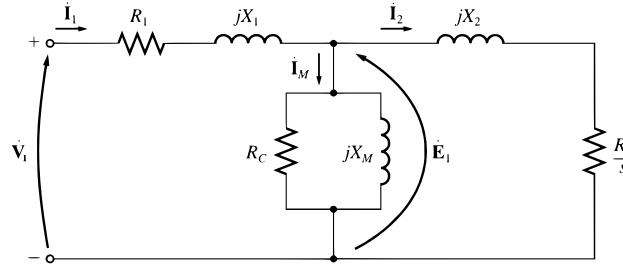


Figura 1. Circuito equivalente. Castro (2020).

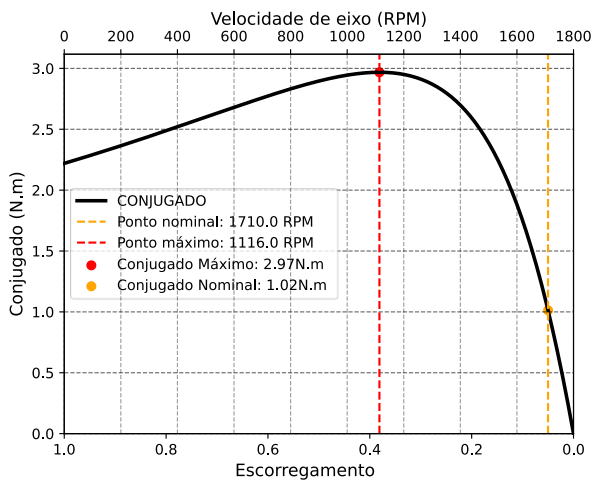


Figura 2. Conjugado vs Velocidade. Acervo pessoal (2023)

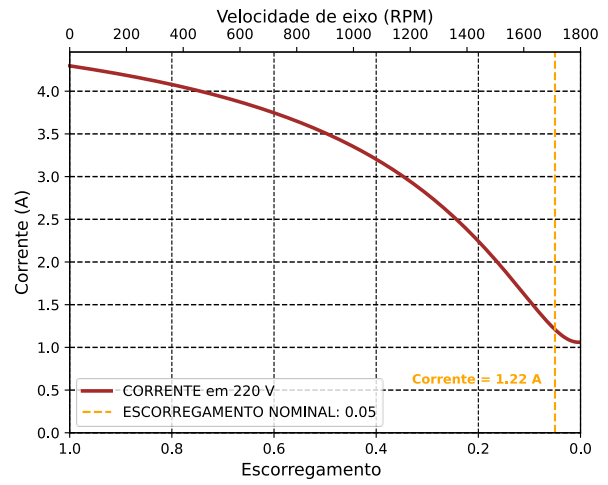


Figura 3. Corrente vs Velocidade. Acervo pessoal (2023)

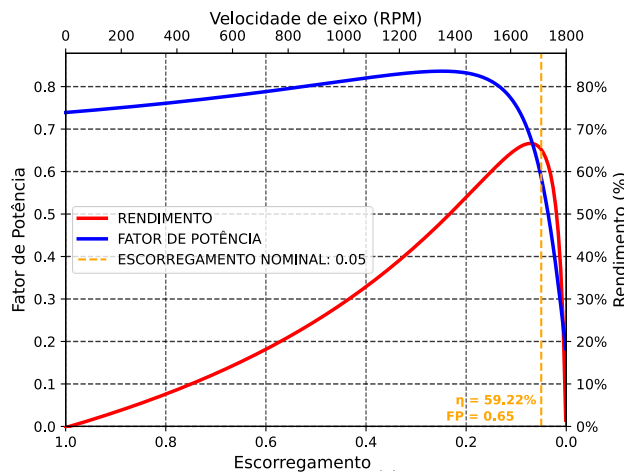


Figura 4. Rendimento e fator de potência. Acervo pessoal (2023)

Tabela 1. Parâmetros do circuito equivalente

	R_1	X_1	R_2	X_2	R_C	X_M
Valor (Ω)	42,70	25,08	28,24	36,89	5675,54	329,77

Fonte: acervo pessoal (2023).