

Avaliação da eficiência energética de máquinas de indução trifásica

Evaluation of the energy efficiency of three-phase induction machines

Ana Cristina Delboni Lomba¹, Ailton de Oliveira Louzada², Avyner Lorrán de Oliveira Vitor³
Wesley Angelino de Souza⁴, Marcelo Favoretto Castoldi⁵, Alessandro Goedtel⁶

RESUMO

A eficiência energética se tornou um assunto bastante abordado nos dias atuais, principalmente porque está relacionada com os motores de indução trifásicos, utilizados em grande escala nas indústrias mundiais. Por conta disso, tem-se a necessidade de se estudar sobre ferramentas para aumentar sua eficácia, com a finalidade de diminuir o consumo de energia. Pensando nisso, apresenta-se uma proposta de metodologia para avaliar o rendimento, visando economia e maior eficiência no processo. Neste trabalho utilizamos os parâmetros como base para os cálculos da eficiência energética, de uma maneira não invasiva e também de um modo viável, com o motor em pleno funcionamento na condição saudável e com falha de curto-circuito de estator. Se o motor de indução trifásico estiver com menos de 75 por cento de rendimento, sua troca será aconselhada por um de maior rendimento, gerando uma economia a longo prazo. Logo, a indústria terá um ganho em eficiência energética.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência energética; motor de indução; parâmetros do motor.

ABSTRACT

Energy efficiency has become a hot topic, mainly because it is related to three-phase induction motors used on a large scale in global industries. Because of this, there is a need to study tools to increase their effectiveness to reduce energy consumption. This paper proposes a methodology to evaluate performance, aiming for savings and greater efficiency in the process. This work uses the parameters to calculate energy efficiency in a non-invasive and viable method with the motor in the whole healthy and with stator short-circuit fault condition operation. Suppose a three-phase induction motor has less than 75 percent performance. In that case, it will be recommended to exchange it for one with higher performance, generating economic savings in the long term and energy efficiency.

KEYWORDS: energy efficiency; induction motor; motor parameters.

INTRODUÇÃO

O Motor de Indução Trifásico (MIT) consiste em uma máquina assíncrona, onde circulam pelo estator correntes trifásicas alternadas. No rotor, por sua vez, circulam correntes oriundas da indução eletromagnética a partir do fluxo eletromagnético originado

¹ Discente do curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: lomba@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4138057307626686

² Discente do curso de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: ailtonlouzada@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 4667399882503400

³ Discente do curso de Doutorado em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: avyner.vitor@ifpr.edu.br. ID Lattes: 3393300443778558

⁴ Docente no curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: wesleyangelino@utfpr.edu.br. ID Lattes: 8594457321079718

⁵ Docente no Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: marcastoldi@utfpr.edu.br. ID Lattes: 6178029384175205

⁶ Docente no Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: agoedtel@utfpr.edu.br. ID Lattes: 1920650157123774

no estator, como em um transformador. O rotor de gaiola é o mais comum entre motores de indução. Este rotor possui um enrolamento que é constituído por barras condutoras encaixadas em ranhuras no ferro do rotor e curto-circuitadas por anéis condutores (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2006).

Este tipo de motor é o mais utilizado nas indústrias, pois possui uma variedade de aplicações onde necessita-se converter energia elétrica em energia mecânica. Na indústria os motores de indução trifásicos são amplamente utilizados devido a sua robustez e baixo custo quando comparado a outros tipos de motores (BRANDT, 2011).

Sistemas que usam esse tipo de acionamento, contribuem com um total de 70% da energia consumida no ramo industrial. Em grande parte, esses motores operam abaixo de sua eficiência nominal, resultando em desperdício de energia (DONA; MANJUSHA; ANTO, 2013).

Com isso, fez-se necessário a criação, em nível nacional, de etiquetagem energética com o objetivo de aumentar a eficiência de equipamentos industriais e também domésticos, o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica).

O PROCEL atribui padrões mínimos de padrão de desempenho para avaliar o quão eficiente o equipamento se propõe, e só assim, recebe uma etiqueta com seu nível referente. Ele cita que o carregamento de um motor dimensionado corretamente deve se situar acima de 75% da potência nominal. De acordo com dados atualizados em 2021, no decorrer de 36 anos do selo PROCEL, na área de motores, economizou-se 2.322 GWH por ano (PROCEL, 2022).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para estimar a eficiência energética do MIT, utilizou-se o método do torque no entreferro (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2006; MACEDO, 2016). O referido método é considerado pouco invasivo e estima a eficiência do motor através da medida indireta do torque eletromagnético. O rendimento pode ser definido conforme (1) em termos de (τ) torque eletromagnético, (ω) velocidade no rotor e potência de saída.

$$\eta = \frac{\tau \omega}{P_{saída}} \quad (1)$$

Todos os dados foram aferidos do motor de alto rendimento da WEG de 1 e 2 cv, saudável e com 10 por cento de curto no estator, de maneira equilibrada. Na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Cornélio Procópio, no Laboratório de Sistemas Inteligentes (LSI) por um grupo de pesquisadores, e os mesmos foram armazenados em um banco de dados para o uso posterior.

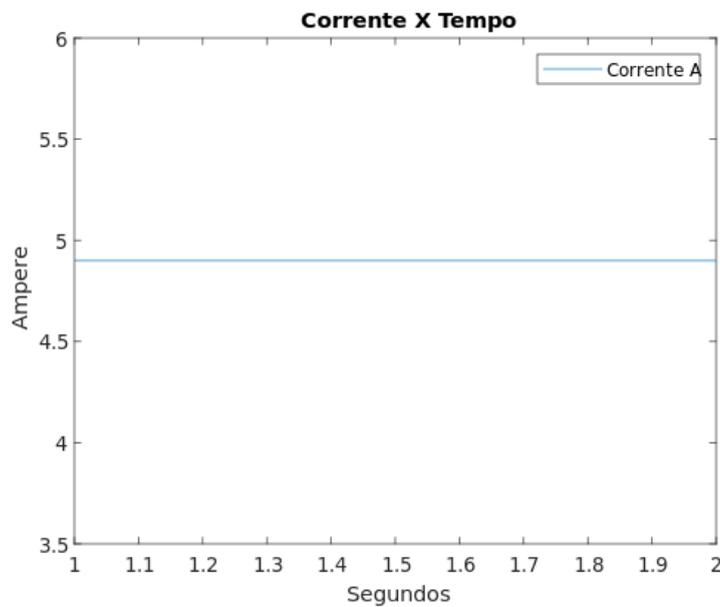
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho apresenta valores determinados pelo *software* Matlab que auxiliou nos cálculos e apresentação dos gráficos. Realizou-se a análise do banco de dados para o motor até 8 N.m, em curto e em seu estado normal.

Com o *software*, encontrou-se a corrente e a tensão eficazes, torque eletromagnético, e a velocidade do motor. Com esses dados, consegue-se aferir a potência de entrada e de saída mecânica do eixo.

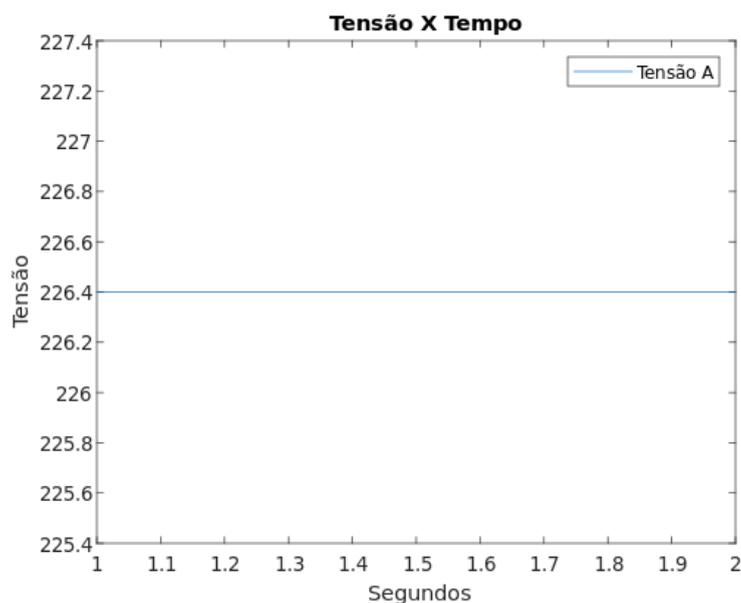
As Figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam os gráficos do motor de 2cv saudável utilizado no trabalho. Todos os parâmetros aferidos foram comparados com o tempo de funcionamento do MIT.

Figura 1 – Gráfico da Corrente A eficaz do motor de 2cv saudável



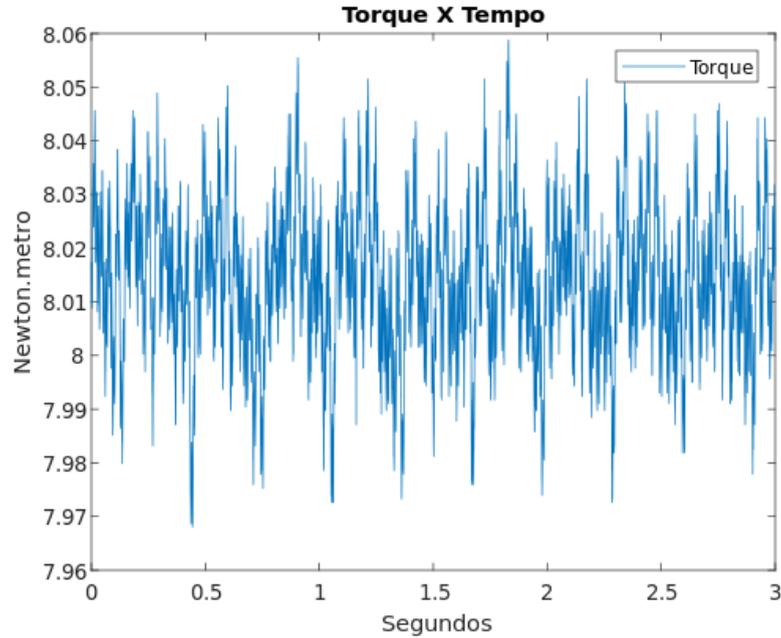
Fonte: Autoria própria.

Figura 2 – Gráfico da Tensão A eficaz do motor de 2cv saudável



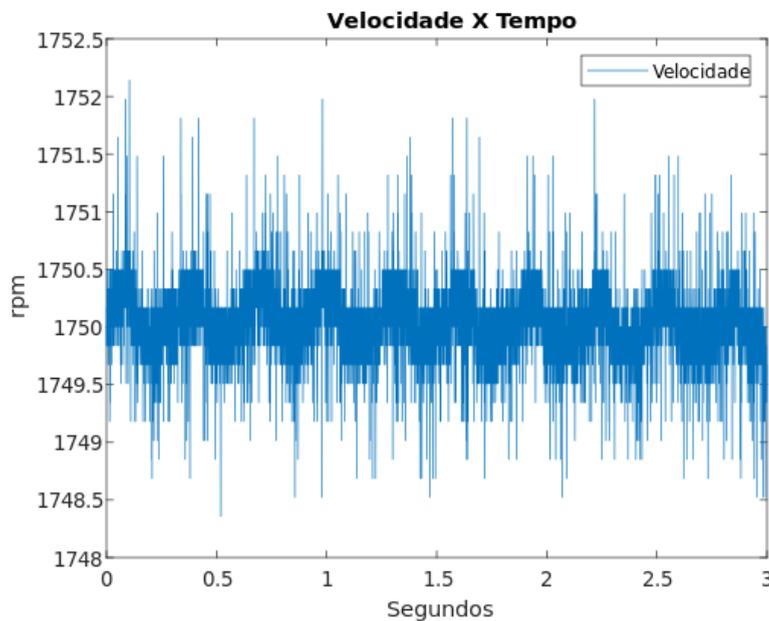
Fonte: Autoria própria.

Figura 3 – Gráfico do torque eletromagnético do motor de 2cv saudável



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 – Gráfico da velocidade do motor de 2cv saudável



Fonte: Autoria própria.

Assim, encontrou-se através da equação (1) o valor do rendimento, conforme a Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Motor com 1cv

Motor	Rendimento (%)
Motor com 8 N.m saudável	69,92
Motor com 8 N.m com 10% de curto	39,49

Fonte: Autoria própria (2023)

Tabela 2 – Motor com 2cv

Motor	Rendimento (%)
Motor com 8 N.m saudável	77,79
Motor com 8 N.m com 10% de curto	45,63

Fonte: Autoria própria (2023)

Nota-se que o MIT de 1cv saudável e com 10% de curto estão abaixo do 75% do rendimento mínimo, já o de 2cv apenas o com 10% de curto está abaixo dessa premissa.

Também se pode observar que de acordo com a Tabela 3 o motor que apresenta o estado de curto possui uma diferença maior que 30% de rendimento em comparação com o motor saudável.

Tabela 3 – Motor comparação em curto e saudável

Motor	Rendimento (%)
10% de curto - saudável 1cv	30,43
10% de curto - saudável 2cv	32,16

Fonte: Autoria própria (2023)

CONCLUSÃO

Considerando que o motor de 2 cv saudável tem um rendimento dentro da faixa esperada, ele não precisaria ser trocado.

Observa-se neste trabalho a redução significativa da eficiência do MIT em condição de falha no estator quando comparado às mesmas condições em operação sem falhas. Assim, podemos concluir que a análise contínua da eficiência poderia ser utilizada para identificar falhas de estator em motores de indução trifásicos.

Uma alternativa para incremento da eficiência energética na indústria consiste na troca dos motores atuais por motores de alto rendimento dimensionados corretamente para a carga mecânica conectada ao seu eixo.

Agradecimentos

Agradecemos a todos que contribuíram para a realização do trabalho.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

BRANDT, Rodrigo. **Análise de métodos de baixa intrusividade para estimativa da eficiência de motores trifásicos de indução**. 2011. 143 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

DONA, Sebastian; MANJUSHA, V.A; ANTO, Robins. **Energy Management of Induction Motors Using Non-Intrusive Methods**. 6 f. IEEE International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013.

FIEG. **Orientações para a Eficiência Energética na Indústria**. Disponível em: fieg.com.br/publicacoes/diversos. Acesso em: 04 Set. 2023

FITZGERALD, A.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. **Máquinas Elétricas**. Porto Alegre, RS: ARTMED-BOOKMAN, 2006.

MACEDO, Érico. **Uma proposta de metodologia de avaliação da eficiência de máquinas elétricas no setor industrial**. 2016. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016

PROCEL. **Resultados 2022 Ano Base 2021**. Disponível em: www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2022. Acesso em: 04 Set. 2023