



Associação Propagadora Esdeva
Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora – CES/JF
Curso de Engenharia Elétrica
Artigo do Grupo de Estudos

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

*Alunos: Breno P. Anastacio; Douglas M. G. Pires; Jéssica de L. A. Magalhães e
Marcelo P. Dias*

Prof. Orientador: Marcelo P. Dias

Centro de Ensino Superior de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG

Linha de Pesquisa: Eficiência Energética

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo propor um estudo sobre o dimensionamento de motores elétricos de indução, visando o aumento da eficiência energética e redução do consumo de energia. É apresentado um panorama sobre o consumo de energia entre os setores da economia. São abordados os conceitos básicos sobre motor de indução, mostrando suas principais vantagens em aplicações na indústria. É apresentada uma metodologia para avaliar a eficiência do motor através da sua condição operacional utilizando como referência as curvas de desempenho fornecidas pelo fabricante. Através deste estudo é possível avaliar se o motor está dimensionado adequadamente ou se é necessário uma possível troca do motor para melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia. Por fim, é realizado um experimento para mostrar o comportamento da eficiência do motor em função da variação da carga.

Palavras-chave: Motor de indução. Eficiência energética. Inversor de Frequência. Dimensionamento de motores.

ABSTRACT

This paper aims to propose a study on the design of induction motors, aiming at increasing energy efficiency and reducing energy consumption. An overview of energy consumption among the sectors of the economy is presented. The basic concepts about induction motor are presented, showing its main advantages in industrial applications. A methodology is presented to evaluate the engine efficiency through its operating condition using as reference the performance curves provided by the manufacturer. Through this study it is possible to evaluate if the motor is

adequately sized or if a possible engine change is necessary to improve efficiency and reduce energy consumption. Finally, an experiment is performed to show the motor efficiency behavior as a function of load variation.

Keywords: Induction Motor. Energy Efficiency. Frequency Inverter. Motors Sizing.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Balanço Energético Nacional, 65,2% de toda matriz elétrica brasileira é gerada por hidrelétrica e por mais que seja uma fonte de energia renovável, temos que buscar novas fontes de energia para suprir nossa demanda (EPE, 2018). A dificuldade de se construir novas usinas em locais próximos aos grandes centros consumidores devido à necessidade de grandes áreas e rios. Uma maneira de reduzir a demanda de energia está no uso consciente através da utilização de equipamentos mais eficientes, ou seja, equipamentos que realizam o mesmo trabalho, mas que consomem menos energia.

O setor industrial é o que mais demanda energia no Brasil, sendo responsável por consumir 41,8% da energia gerada no país como mostrado na Figura 1 (SOUZA, 2018). Logo, o uso de equipamentos eficientes neste setor pode gerar uma grande economia de energia.

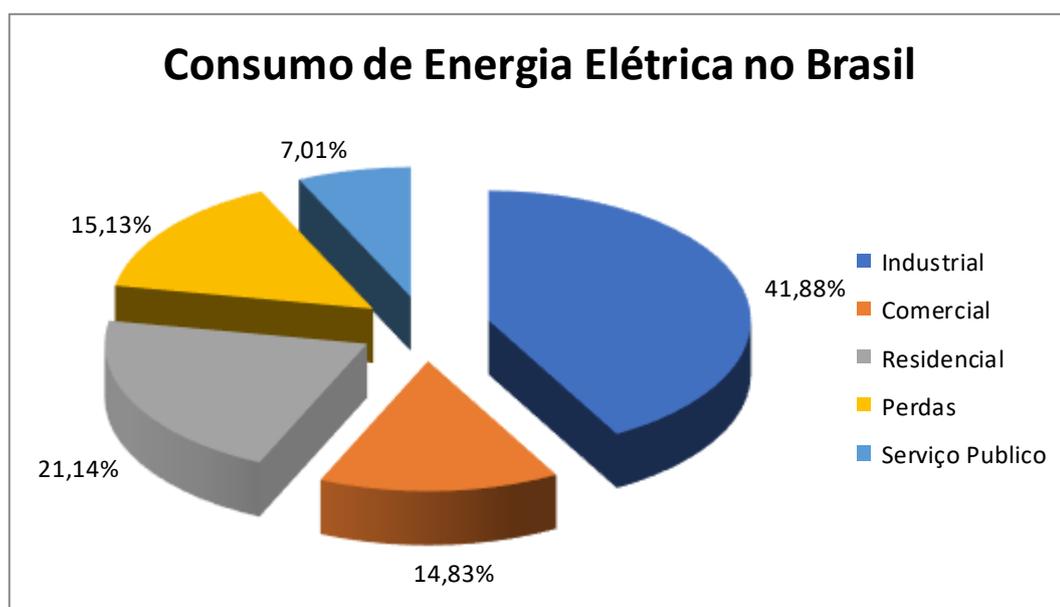


Figura 1: Consumo de energia elétrica dos setores da economia.

Devido a importância do setor industrial no contexto de racionamento de energia elétrica, foi publicado, em outubro de 2001, a lei 10295 conhecida como lei da Eficiência Energética que prevê a criação de regulamentações específicas de desempenho mínimo para equipamentos de uso final de energia elétrica (GARCIA, 2003). Segundo o Ministério de Minas e Energia, 68% de toda energia destinada a esse setor é consumida por motores elétricos como apresentado na Figura 2. Devido a sua importância em 11 de dezembro de 2002, foi publicado o decreto nº 4508 que estabeleceu níveis de desempenho mínimo para sua comercialização (SOUZA, 2018).

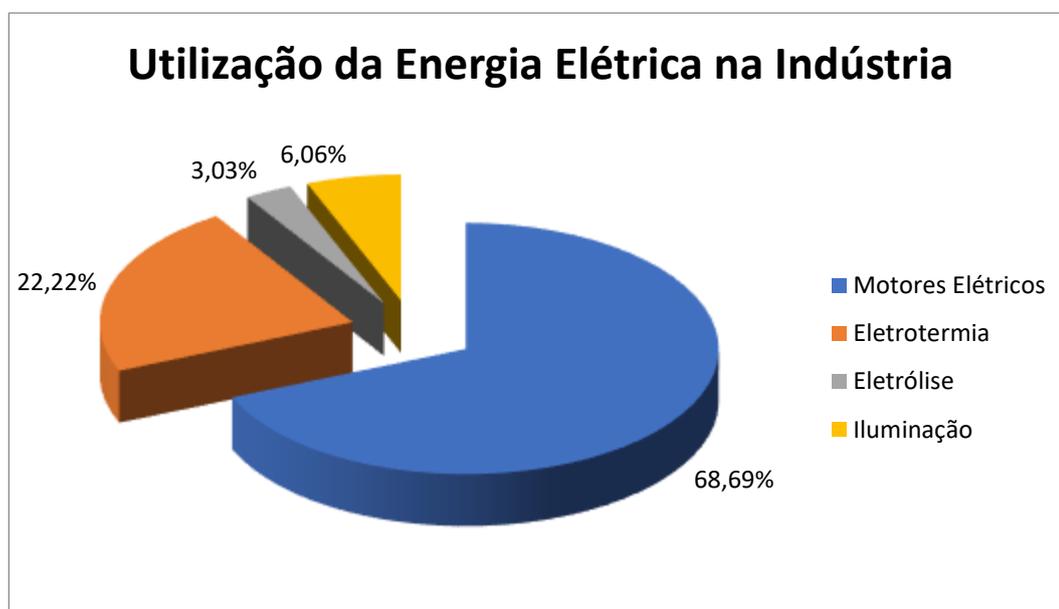


Figura 2: Utilização final da energia elétrica na indústria.

Estima-se atualmente que cerca de 30% de todos os motores em funcionamento na indústria estejam operando de forma ineficiente, acarretando no maior consumo de energia (LUCA, 2018). Assim, é necessário um estudo para avaliar o dimensionamento dos motores elétricos, pois se estiverem inadequadamente dimensionados ocasionará desperdício de energia, que poderia ser evitado a partir do correto dimensionamento.

Uma forma de avaliar o desempenho dos motores elétricos de indução trifásico é através do nível de carregamento que ele está sujeito em operação. Estes motores são construídos para possuírem seu maior rendimento quando estão carregados entre 75% a 100% da sua potência nominal. Assim, carregamentos

abaixo e acima desses valores provocam redução da eficiência acarretando em maior consumo de energia (ELETROBRÁS, 2007).

Este trabalho tem por objetivo propor um estudo sobre o dimensionamento de motores elétricos de indução, visando o aumento da eficiência energética e redução do consumo de energia.

2 MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO

O motor elétrico é um equipamento que transforma energia elétrica em energia mecânica. O motor de indução apresentado na Figura 3, inventado por Nikola Tesla, é o mais utilizado em razão de sua simplicidade, robustez, baixo custo e melhor eficiência (WEG, 2012). O motor apresenta sua maior eficiência quando trabalha com cargas entre 75% a 100% de sua potência nominal (MELLO, 2013).

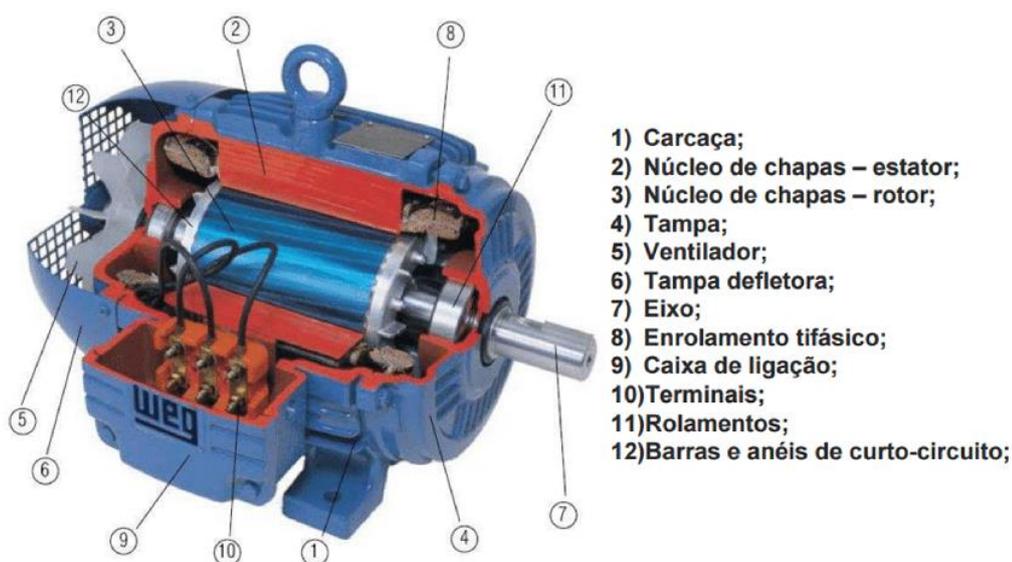


Figura 3: Motor elétrico de indução trifásico (SANTOS, 2016).

O motor é constituído basicamente dos seguintes itens:

- **Rotor:** ligado ao eixo transmite a energia mecânica para a carga.
- **Estator:** contém as bobinas que geram os campos magnéticos do motor e o núcleo, conjunto de chapas metálicas que serve de estrutura de fixação das bobinas
- **Ventilador:** responsável por auxiliar a troca térmica do motor.
- **Rolamentos:** permitem que o eixo gire livremente com relação à carcaça, exibindo baixo atrito e pouco desgaste.

Há grande variedades de motores de indução no mercado, visando atender as mais diversas aplicações na indústria. No entanto, o conhecimento das características da carga é de fundamental importância para a escolha correta do motor a ser utilizado (ASSUNÇÃO et al., 2010).

A eficiência do motor é definida com base no seu rendimento como mostrado na Figura 4. Quanto maior o rendimento, maior será sua eficiência e menor as perdas de energia devido ao aquecimento, atrito e etc. O emprego de materiais de melhor qualidade na fabricação contribui para a redução das perdas e aumento do desempenho do motor (LIANG et al., 2018).

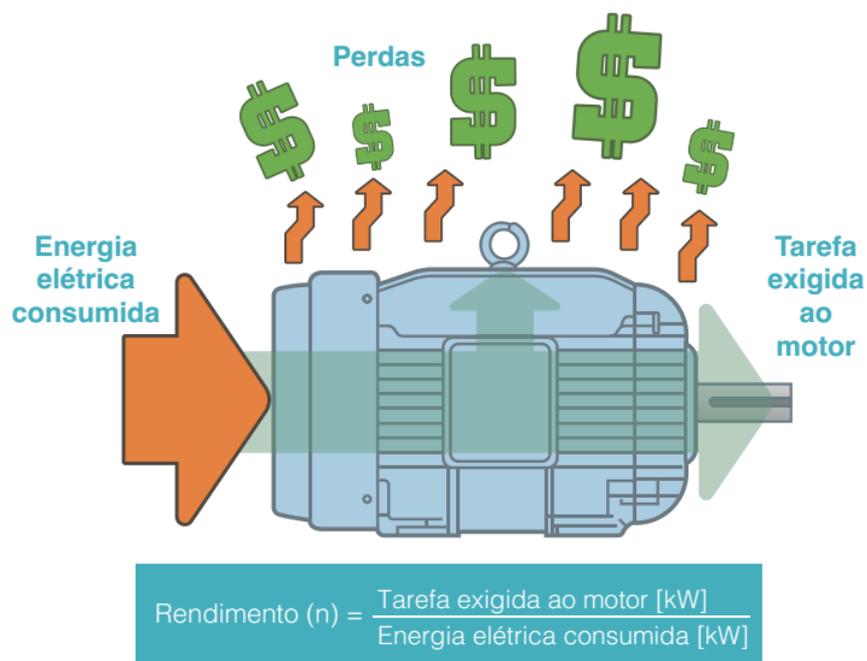


Figura 4: Rendimento do motor elétrico (SOUZA et al., 2019).

Outro ponto que contribui para elevar a eficiência é o método utilizado no acionamento do motor de indução. Em aplicações que exigem velocidade variável o uso do inversor de frequência é amplamente empregada na indústria sendo o método mais eficiente (RAMOS, 2009).

O inversor de frequência apresentado na Figura 5 é um dispositivo eletrônico que controla o valor da tensão e da frequência fornecida ao motor. Através da alteração destes parâmetros é possível variar a velocidade no eixo do motor. Alguns dos benefícios em utilizar o inversor estão a diminuição dos custos, o controle à

distância, a versatilidade, a aumento de qualidade, de produtividade e a melhor utilização da energia (WEG, 2012).



Figura 5: Inversor de frequência (LORENZO, 2018).

Na indústria, as cargas centrífugas (bombas, ventiladores e compressores) correspondem a grande parte das aplicações de motores. Assim, o controle do fluxo pode ser feito através do controle da velocidade de motores empregando inversores de frequência e constitui um enorme potencial para redução do consumo de energia (MARQUES et al., 2006).

Como a velocidade do motor varia em razão da frequência, o seu torque permanece o mesmo sem alterar o conjugado, com isso, o motor parte com menor frequência para obter uma menor corrente de partida e aos poucos a frequência é aumentada até atingir à velocidade de trabalho. Há uma gama de configurações e recursos que podem ser aplicados com o uso de inversor de frequência aumentando seu desempenho e eficiência.

3 METODOLOGIA

É comum encontrar motores sobredimensionados na indústria, entretanto mesmo sabendo da elevada potência do motor para determinada operação a tarefa de substituição é muitas vezes difícil devido a falta de informação da carga acionada. Outras principais causas de uso ineficiente do motor é o reparo inadequado, uso de motores de baixo rendimento e acoplamento motor-carga de baixa eficiência.

Começando o levantamento por dados da placa é possível ver a primeiro momento a situação dos motores na planta industrial. O levantamento por amostragem é aconselhado nas indústrias que possui a maior parte dos motores similares realizando as mesmas tarefas, nesse caso mede-se no campo alguns motores e pressupõe os valores para os demais. Por último o levantamento detalhado é a combinação do levantamento por dados da placa e levantamento por amostragem, ele consiste tanto em analisar os dados da placa, quanto medir os motores em campo (SZYSZKA et al., 2004).

É comum na indústria não ter dados do funcionamento do motor armazenado em horímetros ou algum software, logo, para verificar as horas de funcionamento é necessário informações dos funcionários de manutenção e caso os mesmos não tenham esse conhecimento é preciso o monitoramento por um determinado tempo para colher esse dado.

Os dados construtivos do motor mostra como ele foi inserido na planta industrial, essas informações são fixação, montagem, suporte, posição relativa do eixo dentre outros. Esse dados são importante para substituição de motores ou acoplamentos mais eficientes.

Um dos principais fatores para implementação do motor é analisar a demanda da carga. Uma das causas de sobredimensionamento é o desconhecimento das características da própria carga. Atualmente tem muitas opções de motores no mercado que atendem diversos tipos de carga. Segundo (ELETROBRÁS, 2007) a primeira etapa é determinar as suas propriedades dinâmicas que são torque em função da velocidade e o momento de inércia.

As medições elétricas e mecânicas são muito importantes pois traz dados detalhados dos motores. Para começar, as planilhas devem ser separadas por setores da planta industrial e serem feitas quando os motores estiverem trabalhando com carga máxima. O ideal para medir as grandezas elétricas é um wattímetro alicate e na velocidade pode ser usados tacômetros óticos. Os dados que devem ser obtidos são corrente e tensão de cada fase, potência ativa de entrada, fator de potência, velocidade, vazão, pressão, temperaturas, massa, volume nível, etc.

O objetivo é obter os dados e verificar se o motor está sobredimensionado ou operando em condições adequadas.

Para redimensionamento dos motores elétrico faremos os seguintes passos abaixo (SZYSZKA et al., 2004; REZENDE et al., 2014):

O primeiro passo é coletar os dados no momento que o motor estiver operando com máxima carga. Os primeiros dados a coletar são as três correntes de fase e em seguida fazer a média dessas correntes:

$$I_{\text{médio}} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \quad (1)$$

Com o valor média das correntes de fase deve-se providenciar as curvas de desempenho do motor mostrado na Figura 6 fornecida pelo fabricante para analisar o carregamento, fator de potência e rendimento.

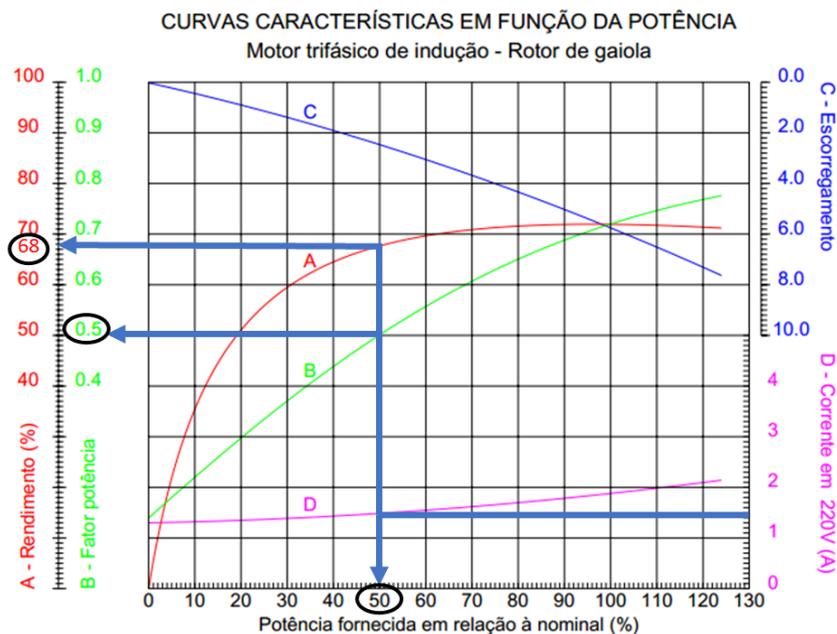


Figura 6: Curva de desempenho do motor antigo.

Se o carregamento do motor estiver abaixo 75% continue o procedimento para dimensionar um novo motor, o carregamento de um motor corretamente dimensionado estará acima desse valor.

O segundo passo é calcular a energia demandada pelo motor com a seguinte fórmula:

$$Energia = \frac{P_{\text{motor}} \times \text{Carregamento} \times h \times 0,736}{\text{Rendimento}} \quad (2)$$

Energia = dada em kWh;

P_{motor} = Potência do motor em cv;

Carregamento = Carregamento atual do motor;

Rendimento = Rendimento do motor;

h = número de horas de funcionamento.

O terceiro passo é calcular a potência real requerida pela carga para selecionar um motor mais adequado:

$$Potência\ requerida\ (carga) = P_{motor} \times Carregamento \quad (3)$$

De posse desse valor, escolhe-se o novo motor com potência imediatamente acima da potência requerida. O carregamento do novo motor é calculado da seguinte forma:

$$Carregamento_{novo\ motor} = \frac{P_{requerida}}{P_{novo\ motor}} \quad (4)$$

A partir das curvas de desempenho do novo motor apresentadas na Figura 7 e adotando como ponto de partida o novo carregamento, encontra-se a corrente, o rendimento e o fator de potência.

A energia consumida pelo novo motor pode ser determinada através da Equação 2. Para determinar a economia de energia basta fazer a diferença entre o consumo do motor antigo e novo.

$$Economia_{energia} = Energia_{antigo\ motor} - Energia_{novo\ motor} \quad (5)$$

Em termos financeiros a economia de energia é dada por:

$$Economia(R\$) = Economia_{energia} - tarifa\ de\ energia \quad (6)$$

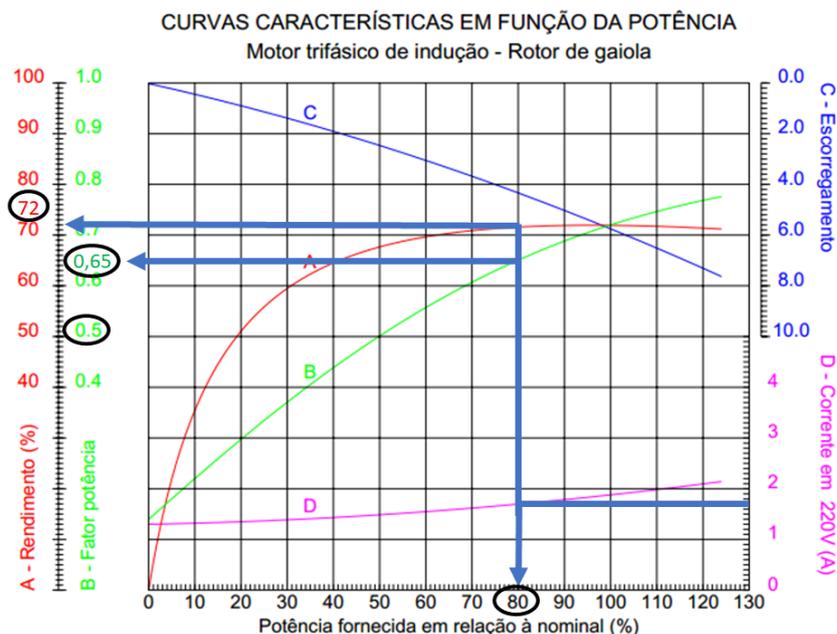


Figura 7: Curvas de desempenho do novo motor.

Utilizando o método apresentado pode-se realizar o diagnóstico energético de motores de indução na indústria com o objetivo de melhorar a eficiência e reduzir o consumo de energia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como forma de mostrar os resultados do estudo, foi elaborado um estudo de caso para demonstrar o comportamento dos parâmetros do motor de indução para diferentes níveis de carregamento.

Os equipamentos utilizados no estudo foram:

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

A Figura 8 mostra o esquemático montado no laboratório de máquinas elétrica do CES/JF utilizado para o estudo do comportamento do motor de indução trifásico.

Durante o teste a carga aplicada ao motor foi alterada utilizando o freio eletromagnético. À medida que a corrente através do freio é aumentada, mais torque é exigido do motor, simulando o aumento de carga.

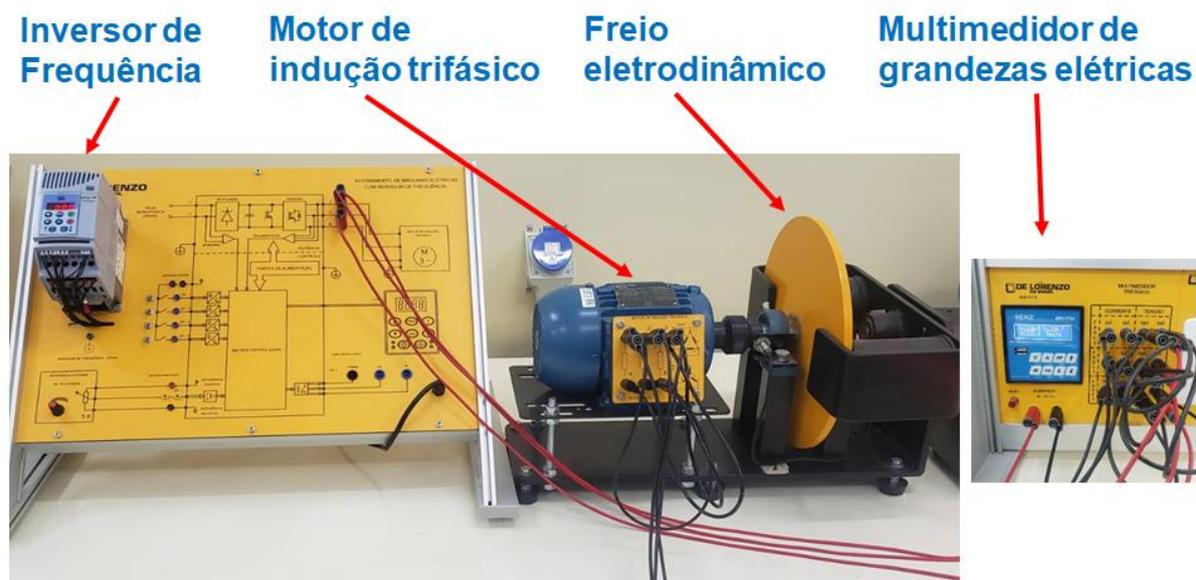


Figura 8: Bancada de teste do motor de indução trifásico.

As grandezas elétricas do motor no decorrer do experimento foram registradas pelo multimedidor MRI-TF92 para posterior análise dos dados. Na Figura 9 é possível ver o gráfico do comportamento da corrente do motor, os degraus representam a variação da carga. Já na Figura 10 é mostrado o gráfico da potência requerida pelo motor durante o teste.

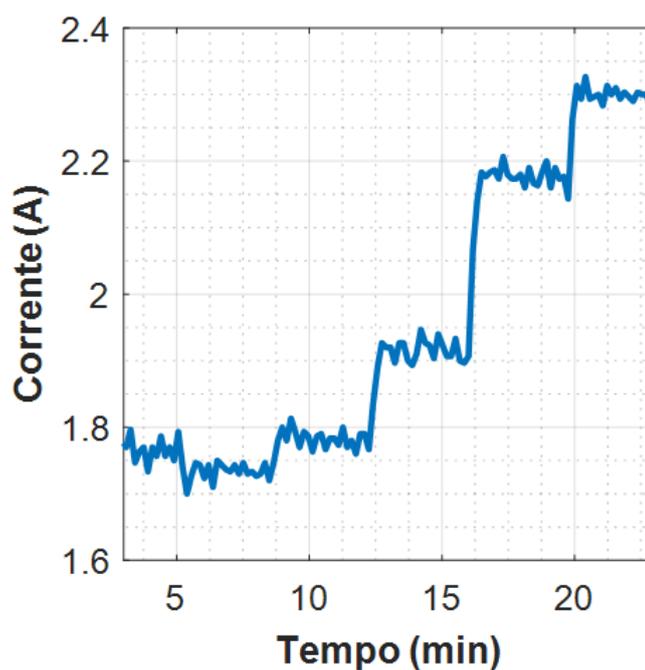


Figura 9 : Gráfico da corrente do motor durante o teste.

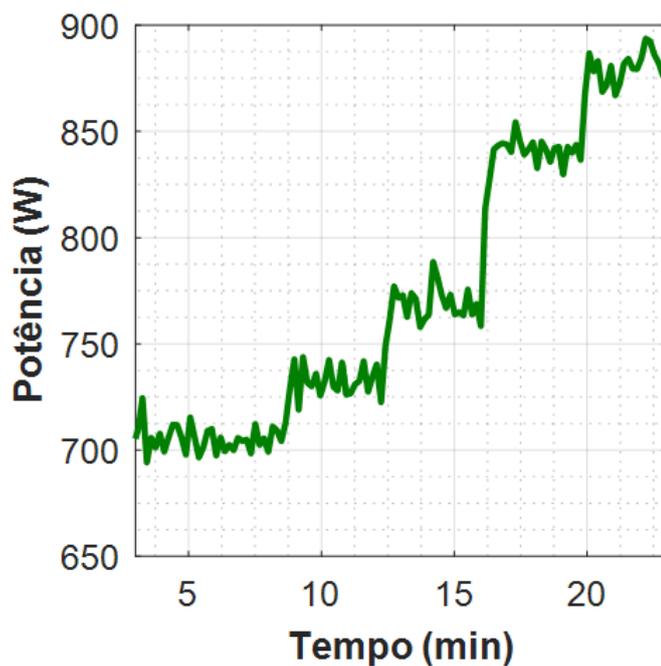


Figura 10: Gráfico da potência do motor durante o teste.

Comparando os dados das medições com as curvas de desempenho do motor (fabricante) mostradas na Figura 11, verificou-se que o rendimento e o fator de potência do motor melhoram com o aumento do carregamento contribuindo para a elevação da sua eficiência.

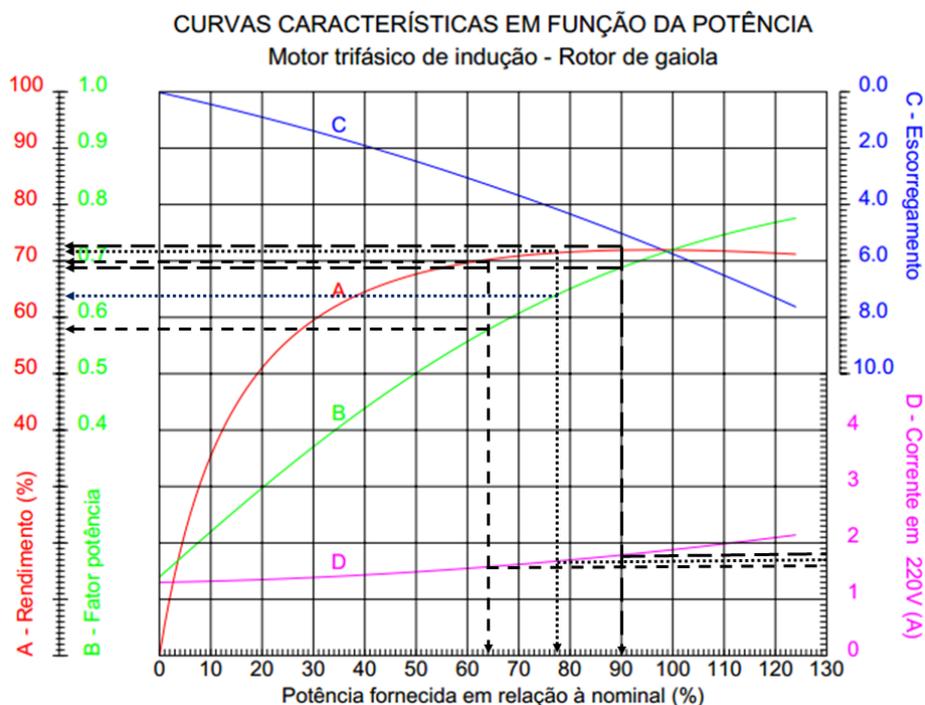


Figura 11: Curvas de desempenho do motor de 0,5 cv.

Conforme apresentado em (U. S. DOE, 2012) um único ponto percentual de aumento na eficiência proporciona uma economia significativa de energia, mesmo para motores pequenos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo se dedicou a mostrar que no setor industrial 68 % do consumo de energia é destinado aos motores elétricos. Logo, facilmente constata-se a importância de se reduzir gastos de energia com estes equipamentos.

O uso de métodos de acionamento eletrônico para controle de velocidade também é um grande aliado para diminuir o consumo de energia em aplicações destinadas à movimentação de fluídos.

A técnica de diagnóstico energético apresentada, é uma ferramenta para determinar o desempenho de motores instalados na indústria de forma a verificar se os mesmos foram corretamente dimensionado. A partir dessa análise é possível avaliar a eficiência dos motores é propor soluções para aumentá-la e assim diminuir o consumo de energia elétrica.

O resultado do experimento mostrou como o nível de carregamento do motor interfere no seu desempenho. Foi possível verificar que com carregamento acima de 75% da sua potência nominal, o motor apresenta maior eficiência energética. Logo, é importante conhecer as características da carga antes de selecionar o motor, pois o seu correto dimensionamento para uma determinada aplicação implica na redução do consumo de energia.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, T. C. B. N.; ASSUNÇÃO, J. T.; DE SOUZA-BOLSISTA, F. A. L. **Seleção e especificação do motor de indução trifásico com validação experimental**. In: 2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications-INDUSCON. IEEE, 2010.

ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO. **Eficiência energética: teoria & prática**. Fupai, 2007.

EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balço energético nacional 2018: ano base 2018**. Ministério de Minas e Energia (MME), Rio de Janeiro, 2018.

GARCIA, A. G. P. **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria**. COPPE UFRJ, M. Sc., Planejamento Energético–Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

LIANG, D.; ZHOU, V. **Recent market and technical trends in copper rotors for high-efficiency induction motors**. In: 2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018-ECCE Asia). IEEE, 2018.

LORENZO, DE. **Guia do Usuário Sistema Didático de Acionamento de Motor AC com Inversor de Frequência DLB MAQCA**. Brasil, 2018.

LUCA, H. P. **Redimensionamento de motores elétricos com foco em eficiência energética**. Webinar. Leonardo Energy, 2018.

MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Itajubá: Fupai, 2006.

MELLO, R. L. C. **Eficiência energética em motores elétricos trifásicos de indução**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2013.

RAMOS, M. C. do E. S. **Metodologia para avaliação e otimização de motores elétricos de indução trifásicos visando a conservação de energia em aplicações industriais**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

REZENDE, P. H. O.; BISPO, D. **Estudo da eficiência energética e dimensionamento de motores de indução trifásicos a partir da plotagem de suas curvas características**. In: Proceedings of International Conference on Engineering and Computer Education. 2014.

SANTOS, A. M. **Estudo da influência da tensão na partida e operação dos motores de indução utilizando o atpdraw**. DOI: 10.13140/RG.2.2.15952.71682, 2016.

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.

SOUZA, R. C.; CALILI, R. F.; VIEIRA, R. S., FAGUNDES, W. **Cartilha de orientação para usuários de motores elétricos reconicionados**. Procobre, 2019.

SZYSZKA, E.; AMÉRICO, M. **Metodologia de Realização de Diagnósticos Energético**. Eletrobrás/PROCEL. Rio de Janeiro, 2004.

U.S. Department of Energy (DOE). **Estimating Motor Efficiency in the Field**. DOE/GO-102012-3734, 2012.

WEG, S. A. **Motores elétricos: guia de especificação**. WEG, Jaraguá do Sul-SC, 2012.