

Estudo sobre Motores Elétricos de Alta Performance

Vinicius Frazão de Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Marcos Carneiro Rodrigues

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Giovanna Nakamura Pinto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Caio Vinicius Carvalho Pereira Britto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Wagner Guimarães dos Santos Pinto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Prof. Dr. Charles Artur Santos de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFSP, Cubatão, SP, Brasil

Resumo: Motores elétricos são equipamentos que estão no cotidiano em várias aplicações, desde em industriais até em utensílios domésticos. São fabricados para consumirem a menor potência possível, sendo os tipos mais conhecidos classificados como motores de corrente contínua ou de corrente alternada. O trabalho a seguir é um estudo a respeito dos motores elétricos de alto rendimento, com informações sobre cada categoria, particularidades e usos. Como conclusão, é apresentado que os motores de alto rendimento possuem custo mais elevado quando comparado com as outras categorias, porém com uma performance de até 6% do que motores de pequeno porte e 2% em motores maiores.

Palavras-chave: Motores CA. Motores CC. Rendimento.

Abstract: Electric motors are everyday equipment in various applications, from industrial to domestic tools. They are manufactured to consume the least possible power, with the most popular types being classified as direct current or alternating current motors. The following work is a study of high efficiency electric motors, with information about each category, particularities, and uses. As a conclusion, it is presented that high efficiency motors have a higher cost when compared to the other categories, but with a performance of up to 6% than small engines and 2% in larger ones.

Keywords: *CA Motors. DC motors. Performance.*

INTRODUÇÃO

Os motores elétricos são equipamentos que transformam energia mecânica em energia elétrica, assim, permitem movimentar máquinas e transmitir rotação para outros componentes. Mesmo sem perceber, eles estão no nosso dia a dia, em diversas aplicações, como em ar-condicionado, furadeiras, esteiras rolantes, micro-ondas, refrigeradores, impressoras, ventiladores, drones, aspiradores de pó, elevadores, entre outros (CHAPMAN, 2013).

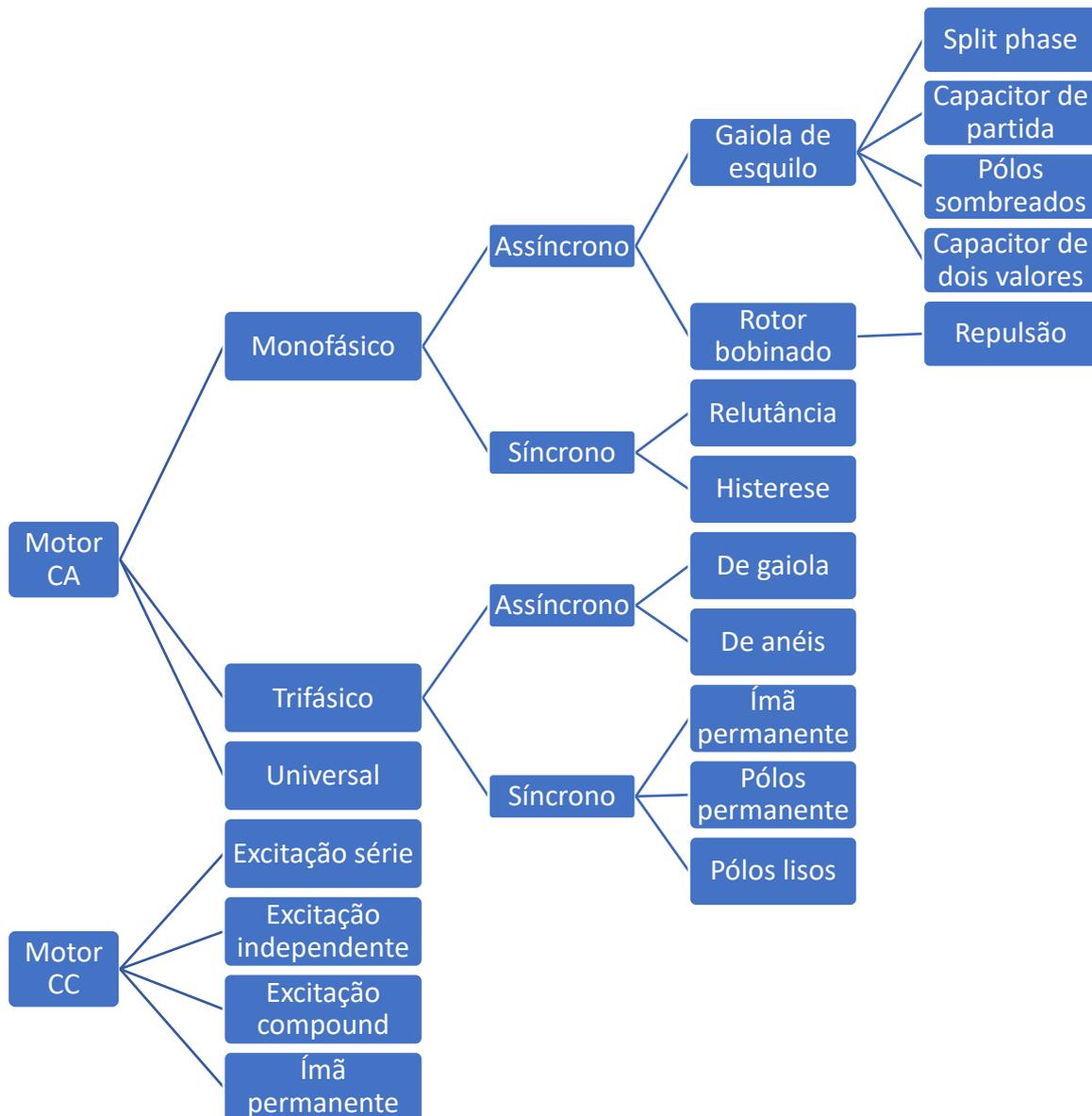
Os motores estão dispostos em vários tipos, onde o consumo de energia e rendimento variam quando comparados entre si. São fabricados com o intuito de consumirem a menor potência possível e produzirem o movimento mecânico necessário à função que se pretende que desempenhem (CLETO, 2012). Quanto a sua alimentação, podem ser classificados principalmente entre motores de corrente contínua (CC) e motores de corrente alternada (CA).

O presente trabalho dedica-se a apresentar um breve estudo sobre motores elétricos de alto rendimento, ou seja, a máquinas elétricas que transformam energia elétrica em energia mecânica utilizando de recursos de engenharia que buscam a maior performance possível para o seu funcionamento. Este estudo é dividido em 3 seções principais: tipos de motores elétricos, que é dividido entre motores de corrente contínua, motores de corrente alternada síncronos e assíncronos, onde são apresentadas as principais informações a respeito de cada motor e suas particularidades; eficiência energética dos motores CA; motor de alto rendimento; e por fim, as conclusões.

TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos podem ser separados em dois grupos considerando a natureza da tensão dos motores, sendo eles: corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA) (FRANCHI, 2008). A principal diferença entre eles é a forma como são alimentados, se operam com corrente alternada, contínua ou ambas. Dentre esses tipos de motores há outras categorias de motores. A Figura 1 ilustra uma forma de classificação de motores.

Figura 1 – Tipos de Motores Elétricos



Fonte: (FRANCHI, 2008. Adaptado)

Para escolher qual tipo de motor é o mais adequado para cada aplicação, é preciso levar em conta alguns fatores, como: fonte de alimentação, condições ambientais, exigências da carga e condições de serviço, consumo e manutenção, e como é realizado o controle (FRANCHI, 2008). Portanto, conhecer bem o funcionamento do tipo de motor e a aplicação que se deseja aplicá-lo é essencial para a seleção do motor e implementação.

Motores de Corrente Contínua (CC)

Os motores de CC são ativados a partir de uma fonte de corrente contínua. É uma máquina que é construída por uma armadura, estator, comutador, escovas, eixo e enrolamentos. Uma das vantagens dos motores CC é a possibilidade de alterar a sua velocidade de maneira relativamente simples, variando só a sua tensão (CASTRO, 2016). Os motores de corrente contínua são classificados dependendo do modo de construção, sendo dividido em motores de ímã permanente, de excitação independente (também chamado de *shunt*), série e motores *compound* (também chamados de compostos ou paralelos) (ALCIATORE e HISTAND, 2014).

A alimentação de um motor de corrente contínua é realizada a partir da força eletromotriz nos enrolamentos do motor, transformando a energia elétrica em mecânica (SIMONE, 2000; NASCIMENTO, 2006). Um campo indutor é gerado através da passagem de corrente elétrica nas bobinas do estator. Nos motores de ímã permanente, essas bobinas são substituídas pelos ímãs. A intensidade do campo magnético depende do valor de corrente que percorre as espiras do rotor, que é feito através de bobinas. O movimento de rotação é criado a partir da interação entre o campo magnético do estator e do rotor (MATOS, 2012).

Motores de Corrente Alternada (CA) Síncronos

Existem dois tipos de motores de corrente alternada, os síncronos e os assíncronos. Um motor síncrono possui rotor(es) bobinado(s), cuja rotação é diretamente proporcional à frequência de alimentação. Por sua vez, é inversamente proporcional ao número de polos magnéticos. Os motores síncronos funcionam com velocidade constante, com custo elevado para fabricação e manutenção mais frequente. O rotor desse equipamento permite a passagem da corrente em seus enrolamentos, criando um campo magnético que interage com o campo magnético do estator, produzindo a rotação. A equação (1) apresenta a velocidade de sincronismo de um motor de corrente alternada (MATOS, 2012):

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

Onde n_s representa a velocidade síncrona, apresentada em RPM (rotações por minuto), f é a frequência em Hz (Hertz) e p é igual ao número de polos do rotor.

Motores de Corrente Alternada (CA) Assíncronos

Um outro tipo de motor de corrente alternada é o assíncrono, também chamado de motor de indução. Ele possui um rotor em curto-circuito, ou seja, lâminas suportadas por aço ou ferro fundido, com enrolamentos envolvidos pelos espaços entre as lâminas. O rotor se assemelha a uma gaiola de alumínio (CASTRO, 2016). Esse tipo de motor possui uma corrente de várias fases, sendo chamado de:

- a) Monofásico: quando este é acionado ligando-o a um condutor de fase e um condutor neutro;
- b) Bifásico: quando necessidade de dois condutores de fase para funcionar;
- c) Trifásica: quando é alimentado com 3 condutores de fase.

O campo magnético criado no estator induz corrente na gaiola do rotor, criando um campo magnético no rotor opositor ao campo do estator. Neste tipo de motor, pois a velocidade de rotação do campo magnético do estator não é proporcional à velocidade de rotação do rotor. Essa diferença entre a velocidade do rotor e a velocidade do campo magnético é denominada de escorregamento do motor, fornecido em porcentagem por grande parte dos fabricantes. É possível calculá-lo também, cuja fórmula é apresentada na equação (2) (MATOS, 2012).

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde S é o escorregamento em porcentagem, n_s a velocidade síncrona do motor e n a velocidade medida no rotor, ambas em rotações por minuto.

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DOS MOTORES CA

A quantidade de energia consumida por determinado equipamento em relação a energia realmente utilizada para realizar o trabalho é definida como eficiência energética (IEA, 2016). Pode-se definir a eficiência energética como a otimização que podemos fazer no consumo de energia.

De acordo com Chapman (2013), os motores CA transformam potência elétrica em potência mecânica, contudo, há uma perda quando se é realizado este processo. Essas perdas são separadas em quatro divisões:

- a) Perdas elétricas;
- b) Perdas no núcleo;
- c) Perdas mecânicas;
- d) Perdas suplementares.

As perdas elétricas, também chamadas de perdas no cobre, ocorrem quando há um aquecimento resistivo nos enrolamentos do estator (armadura) e do rotor (campo). As perdas no núcleo, ou perdas no ferro, acontecem por conta de histerese ou até mesmo correntes parasitas que são encontradas no metal do motor (CHAPMAN, 2013).

As perdas mecânicas têm relação com os efeitos mecânicos e são separadas em dois tipos: por atrito ou por ventilação. Perdas por atrito são causadas pelo atrito dos rolamentos da máquina e dependem da lubrificação, alinhamento e montagem do motor. Já as perdas por ventilação ocorrem pelo atrito entre as partes móveis da máquina e o ar contido dentro da carcaça do motor (AUGUSTO, 2001 apud RAMOS, 2005; CHAPMAN, 2013).

E as perdas suplementares são todas as outras perdas que ocorrem nos motores, porém, que não são possíveis serem alocadas nas categorias citadas acima e representam, por convenção, 1% da carga total (CHAPMAN, 2013).

Para obter-se uma elevada eficiência energética nos motores é preciso levar em conta alguns fatores. É necessário usar métodos de projeto e construção específicos para elevar o rendimento. O principal objetivo é reduzir ao máximo as perdas. Para tal, é preciso considerar os aspectos construtivos dos motores e utilizar

algumas técnicas, como: utilizar mais cobre nos enrolamentos do estator para reduzir perdas elétricas, aumentar o comprimento dos núcleos do rotor e estator para diminuir as perdas no núcleo, e utilizar mais aço no estator da máquina para reduzir perdas por ventilação, entre outras (CHAPMAN, 2013).

Com a redução das perdas tem-se conseqüentemente o aumento de eficiência.

MOTOR DE ALTO RENDIMENTO

Um motor de alta performance possui rendimento superior ao motor padrão e, conseqüentemente, perdas mais reduzidas (RAMOS, 2005). Isto é possível devido a mudanças no projeto de construção, materiais e melhores processos de fabricação.

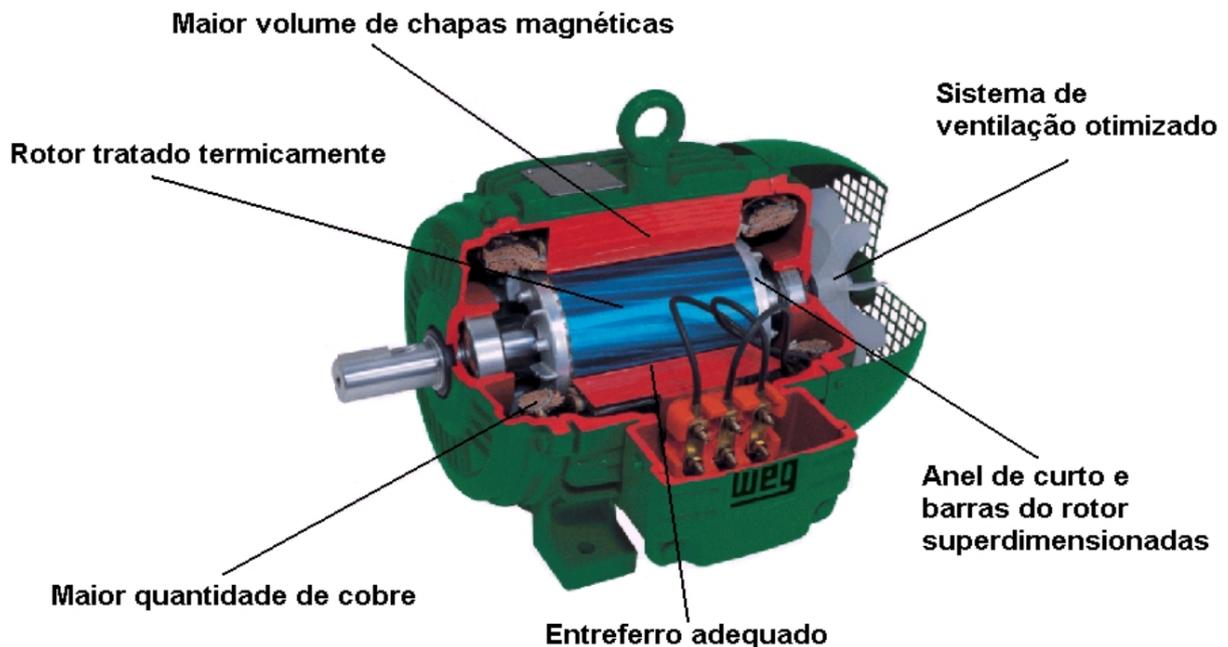
O rendimento pode ser definido como a relação entre a potência mecânica realizada no eixo do motor e a potência elétrica ativa requerida da rede de alimentação. Um motor de alto rendimento é capaz de produzir a mesma potência que um motor padrão, porém exigindo menor potência de entrada. Assim, o motor de alto rendimento possui um menor custo de operação (SHINDO *et al.*, 2002).

De acordo com Shindo *et al.* (2002), as principais vantagens dos motores de alto rendimento, quando comparados com motores clássicos padrão, são as seguintes:

- a) Reduzem o consumo de energia elétrica;
- b) A maioria deles apresenta um fator de potência mais alto;
- c) Menores temperaturas de operação;
- d) O rendimento decai menos para cargas baixas;
- e) Minimizam o sobredimensionamento nas situações em que não se possam corrigir a potência do motor (SHINDO *et al.*, 2012, p. 6).

Os motores de alto rendimento são uma alternativa para obter a economia de energia em sistemas motrizes, mesmo que não sejam as soluções definitivas para todos os problemas energéticos relacionados aos motores de indução, já que são tão sensíveis a fatores exógenos (condições do alimentador, método de partida, ambiente de trabalho etc.) quanto os motores de projeto padronizado (VIANA *et al.*, 2012). Na Figura 2 são apresentadas as características principais para ter um motor de alto rendimento.

Figura 2 – Características Construtivas de um Motor de Alto Rendimento



Fonte: (RAMOS, 2005).

A melhoria em pontos vitais onde se concentram a maioria das perdas é a principal característica desses motores. Por exemplo (VIANA *et al.*, 2012):

- f) O aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, incluindo o projeto otimizado das ranhuras e o superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule;
- g) A diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização;
- h) O emprego de rolamentos adequados e otimização do projeto dos ventiladores para diminuir as perdas por atrito e ventilação;
- i) A regularidade do entreferro, melhoria no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e do rotor para reduzir as perdas adicionais (VIANA *et al.*, 2012, p. 2012).

Segundo Viana *et al.* (2012), as medidas de (a) a (d) citadas acima podem resultar numa redução das perdas em até 30%, trazendo uma economia da energia.

Os motores de pequeno porte, com potências inferiores a 10 cv (Cavalo-Vapor), representam 85% dos motores instalados e contribuem com cerca de 25% de todo o consumo industrial. Com isso, a substituição dessas pequenas máquinas por motores de alto rendimento é considerado um grande potencial de aplicação, e resulta numa melhora da eficiência de 4 a 6 pontos percentuais, já em motores grandes essa melhora seria apenas de 2 pontos percentuais (VIANA *et al.*, 2012).

Nos últimos 20 anos, cerca de 2,5 milhões motores de indução trifásicos foram vendidos no mercado brasileiro, e quase 90% desses motores estão entre 0,5 e 10 cv (Cavalo-Vapor), porque nessa faixa de potência há maiores ganhos nos rendimentos dos motores de projeto eficiente, como foi observado anteriormente (VIANA *et al*, 2012).

CONCLUSÃO

O trabalho abordou os motores elétricos e suas aplicações de forma segmentada por suas características construtivas e de operação, sendo elas: os motores de corrente contínua, motores de corrente alternada síncronos, motores de corrente alternada assíncronos e os motores de alto rendimento. Suas aplicações são definidas de acordo com a finalidade do processo que o equipamento deverá desempenhar, mas em todos os casos analisados, sempre há espaço para perda da energia elétrica convertida em energia mecânica, sejam essas perdas por atrito, correntes Foucault, ventilação, ambiente de trabalho ou qualquer outro fator que impacte direta ou indiretamente no desempenho da máquina elétrica.

Com a finalidade de evidenciar o impacto gerado ao não utilizar motores com desempenho acima do que é empregado atualmente, este texto expôs os pontos mais interessantes a respeito dos motores de alto rendimento. Esta categoria específica de equipamento surgiu a partir de um projeto mais elaborado da tecnologia já existente, trazendo melhorias construtivas que trataram dos maiores ofensores de desempenho dos motores elétricos, as perdas. Por ser um equipamento mais preciso do que os mais comumente utilizados, possuem um custo mais elevado de fabricação, mas em retorno garante um aumento de rendimento e eficiência. Os de pequeno porte, por cobrirem uma grande parcela das máquinas elétricas empregadas na indústria, apresentam uma perspectiva promissora para aplicação de motores de alto rendimento na indústria, com um impacto direto na produtividade das fábricas, podendo se refletir no produto final, e conseqüentemente nos lucros das indústrias.

REFERÊNCIAS

ALCIATORE, D. G.; HISTAND, M. B. Introdução à mecatrônica e aos sistemas de medições. 4. ed. Porto Alegre: **AMGH**, 2014.

AUGUSTO, N. Motores de alto rendimento: dimensionamento e viabilidade econômica. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, **Universidade de São Paulo**, São Paulo. 2001.

CASTRO, F. P. de. SERVO MOTORES: visão geral, controle e aplicação. 38f. Monografia de especialização. **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, Curitiba. 2016.

CHAPMAN, S. J. Fundamentos de Máquinas Elétricas. 5 ed. São Paulo: **McGraw-Hill**, 2013.

CLETO, A. C. C. Motores elétricos de alto rendimento. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia, **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**. 2012.

FORTES, M. Z.; SOUSA, L. B.; BORBA, B. S. M. C. Análise do impacto econômico no setor industrial com a utilização de motores de alto rendimento. **Revista Brasileira de Energia**, v. 25, n. 3, 16 dez. 2020.

FRANCHI, C. M. Acionamentos Elétricos. 4. ed. São Paulo: Érica Ltda., 2008.

IEA. International Energy Agency. **Energy efficiency**. França, 2016. Disponível em: <<http://www.iea.org/topics/energyefficiency/>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

MATOS, N. M. de. Análise do Funcionamento de um Servomotor de Corrente Alternada com Ímãs Permanentes. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores). **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**, Blumenau. 2012.

NASCIMENTO, G. C. Máquinas elétricas: teorias e ensaios. 1. ed. São Paulo: **Érica**, 2006.

RAMOS, M. C. do E. S. Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos: Estudo de Caso. 91 f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, **Universidade de São Paulo**, São Paulo. 2005.

SHINDO, R.; *et al.* Motor de Alto Rendimento. **Eletróbrás/PROCEL & CEPEL**. 2002.

SIMONE, G. A. Máquinas de Corrente Contínua: Teoria e Exercícios. 1. ed. São Paulo: **Érica**, 2000.

VIANA, A. N. C. *et al.* Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações. Campinas: **Elektro**, p. 314, 2012.