Eletrobras

MOTOR ELÉTRICO *PREMIUM*

Cu International Copper Association Brazil
Copper Alliance

Carlos Aparecido Ferreira

MOTOR ELÉTRICO *PREMIUM*

2016

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras

1ª Edição - Rio de Janeiro

E393

Eletrobras

Motor Elétrico Premium / Carlos Aparecido Ferreira (Coordenador). – Rio de Janeiro: Eletrobras, 2016.

64 p. : il. ; 26,5 cm.

ISBN 978-85-87083-54-8

1. Eficiência energética. 2. Sistemas motrizes. 3. Motor elétrico. I. Ferreira, Carlos Aparecido, coordenador.

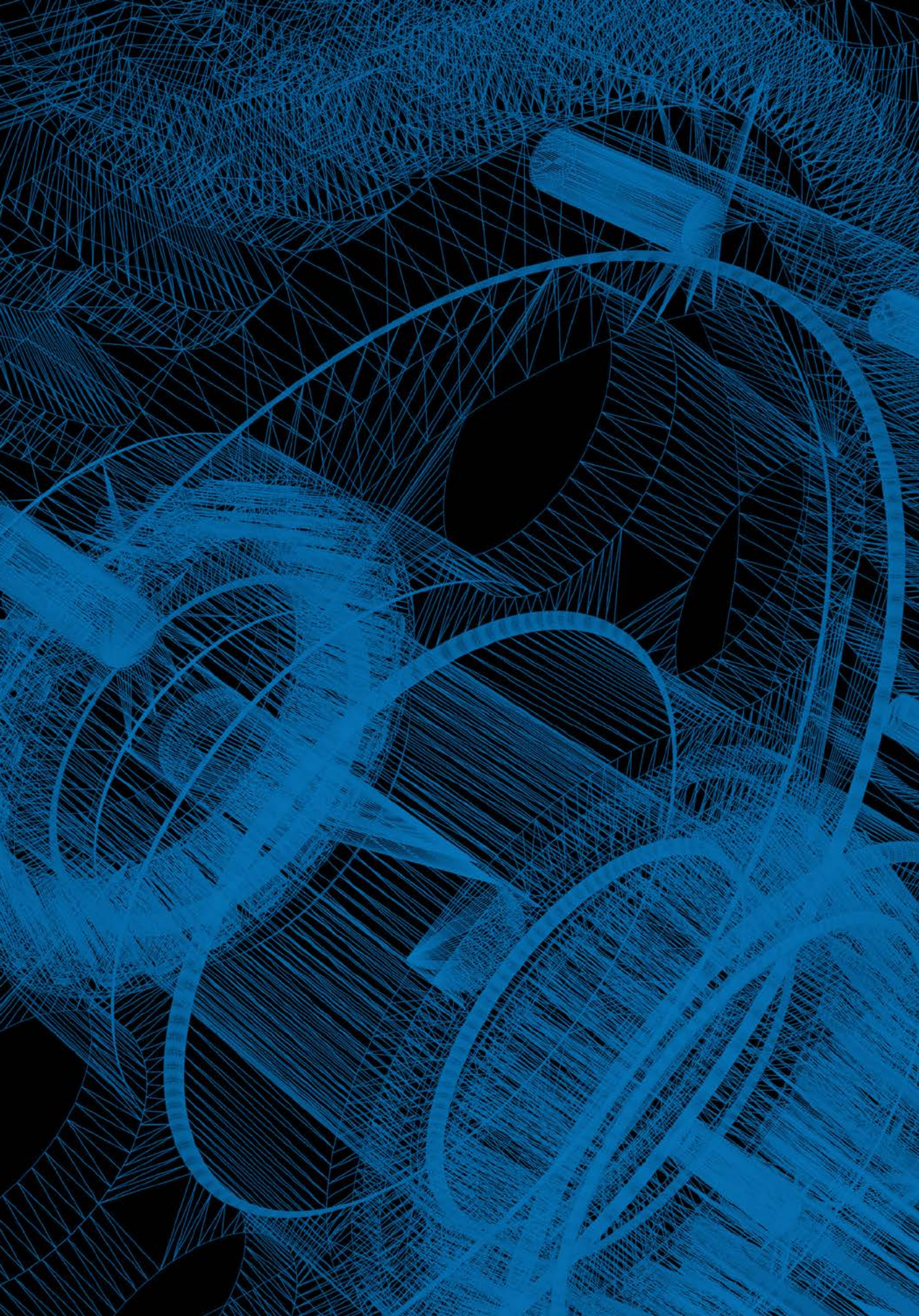
II. Título.

CDD 621.46

Eletrobras

MOTOR ELÉTRICO *PREMIUM*

Cu International Copper Association Brazil
Copper Alliance



Sobre o Guia

A versão inicial deste guia foi elaborada pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Eletrobras Cepel, em 1998, para auxiliar o usuário de motores elétricos a entender melhor o motor de indução de alto rendimento (classe IR2), selecionar o melhor motor para sua aplicação e operá-lo de forma a maximizar sua eficiência, confiabilidade e vida útil. Com o aumento dos rendimentos previstos na revisão de 2013 da norma ABNT NBR 17094-1, na qual são apresentados os motores *premium* (classe IR3) pela primeira vez em seu texto e, principalmente, pela necessidade de aumentar o patamar de eficiência energética dos motores elétricos brasileiros, seguindo uma tendência internacional, o guia foi revisado e aperfeiçoado, no âmbito de uma parceria entre as Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras e o *International Copper Association - ICA*. Este guia utiliza um linguajar e formato não acadêmico, com a máxima simplicidade e objetividade, de forma a disseminar as informações sobre os motores *premium* para o máximo de usuários possível.

Comentários ou dúvidas sobre as informações contidas neste guia podem ser dirigidas para procel@eletrobras.com

As informações contidas neste guia foram cuidadosamente preparadas, mas a Eletrobras e o *ICA*, pela diversidade e complexidade das instalações, não se responsabilizam por qualquer tipo de dano como consequência do uso de tais informações.

Cabe ainda destacar que, este guia foi escrito com base na última versão da norma ABNT NBR 17094-1, disponível para a sociedade na data da sua publicação. Cabe aos usuários e fabricantes de motores elétricos se manterem atualizados com as revisões e modificações. As citações da referida norma, sempre devem ser conferidas com a última revisão da mesma, não tendo este guia o objetivo de substituí-la.

Introdução

O motor elétrico é o mais importante uso final de energia elétrica no país, tendo grande participação no setor industrial. No Brasil, a quantidade de energia que eles processam é de aproximadamente 60% da energia elétrica total consumida no país. Diante disto, qualquer iniciativa que se desenvolva para aumentar o rendimento destes equipamentos, trará benefícios ambientais, energéticos e, principalmente, redução de custos, com aumento da competitividade.

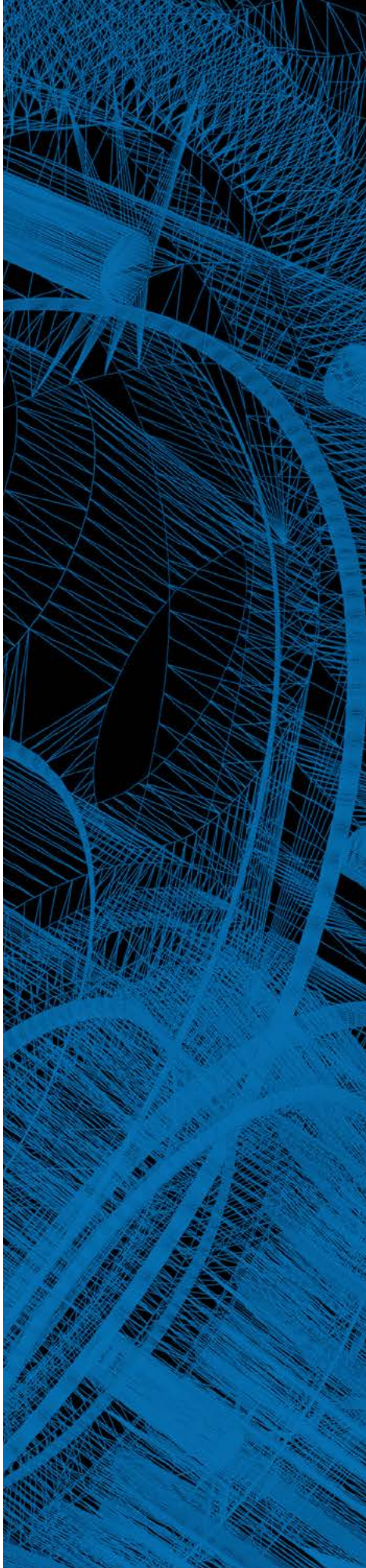
Há mais de duas décadas que os fabricantes de motores vêm desenvolvendo esforços para a redução das perdas destes equipamentos. Até 2010, eram fabricados motores classificados como *standard* ou IR1 (motores da linha padrão ou convencional) e motores classificados como de alto rendimento ou IR2. Posteriormente a 2010 (de acordo com a Portaria Interministerial 553 de 2005), somente motores elétricos com eficiências iguais ou superiores aos de alto rendimento (IR2), sob as especificações regulamentadas, podem ser fabricados, comercializados e importados no Brasil.

Por outro lado, a revisão da normalização brasileira para motores elétricos de 2013 (ABNT NBR 17094-1) já prevê, pela primeira vez em seu texto, motores com rendimentos superiores aos de alto rendimento (classe IR2), que seriam os motores da classe IR3 ou rendimento *premium*. Vários fabricantes já produzem motores elétricos com esta classe (ou até superior), seguindo uma tendência internacional.

A redução das perdas, com o consequente aumento da eficiência, é obtida através de mudanças

no projeto, utilização de processos de fabricação mais complexos e modificações em materiais utilizados, implicando evidentemente em aumento dos custos de fabricação. Assim, motores da classe IR3 ou *premium* são mais caros comparados aos motores da classe IR2. Na média são 25% mais caros atualmente, com tendência de diminuição com o aumento da escala nos próximos anos. No entanto, por serem mais eficientes gastam menos energia para a mesma aplicação. Logo, este custo (ou investimento) adicional de aquisição é retornado pelo menor custo operacional, cabendo destacar que motores elétricos têm uma elevada relação entre estes dois custos.

Como exemplo, um motor que tem um custo de R$10.800,00 pode ter um custo operacional de aproximadamente R$ 1.560.000,00, considerando uma vida útil de 12 anos, como será mostrado neste guia. Cabendo destacar, que segundo a Associação Brasileira de Manutenção, a idade média dos equipamentos/instalações das empresas brasileiras é de 17 anos. Em resumo, o uso de motores com maiores rendimentos deve ser considerado na tomada de decisão sobre a compra, analisando-se também os custos de operação e não apenas o custo inicial de aquisição. Como será mostrado neste guia, um mês de operação de um motor elétrico pode ser o suficiente para igualar os custos de operação e de aquisição. Cabe destacar por fim que, após o retorno do investimento com a aquisição do motor *premium*, os ganhos financeiros obtidos com a economia de energia elétrica são convertidos diretamente em lucro para o usuário, aumentando sua competitividade.



Resumo

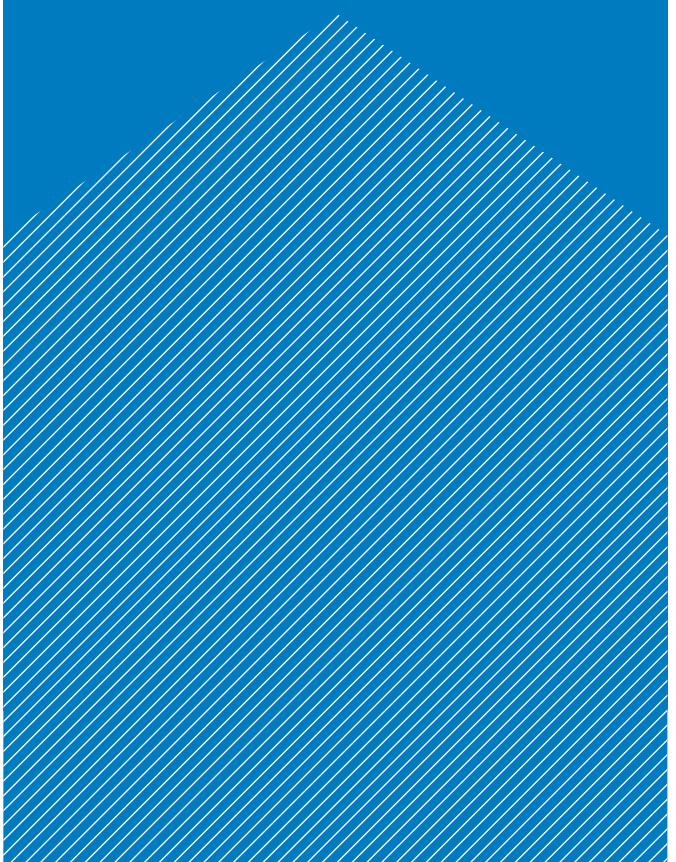
Vantagens do Motor da Classe IR3 ou *Premium*

As principais vantagens, quando comparados com os motores da linha alto rendimento (IR2) são:

- Reduzem o consumo e a demanda de energia elétrica (acarretando em redução de custos);
- Menores temperaturas de operação, acarretando em maior confiabilidade e vida útil, com menores custos com manutenção e postergação de investimentos nas trocas;
- Rendimentos permanecem superiores para baixas cargas;
- Minimizam os efeitos dos baixos rendimentos encontrados em motores superdimensionados (em situações que não se possa redimensioná-los).

Não Esquecer do *Premium*

- Para as novas plantas industriais, comerciais, dentre outras;
- Para a maioria das expansões ou alterações (em sistemas e processos) das plantas existentes;
- Para a compra de novos equipamentos que contêm motores elétricos;
- Quando trocar o motor usado;
- Quando comprar motor para estoque;
- Para trocar motores superdimensionados que operam com baixo rendimento;
- Antes de recondicionar um motor danificado. O investimento ao adquirir um motor *premium* comparado ao de recuperar o danificado, poderá retornar em poucos meses graças à redução do consumo (e demanda) de energia elétrica;
- Como parte de programas de gerenciamento de energia, como a ISO 50.001;
- Para obter vantagens em descontos especiais, quando incentivados pelos fabricantes e/ou programas de eficiência energética.



Índice

POR QUE UTILIZAR MOTOR *PREMIUM*? 15

A Importância dos Motores Elétricos nos Sistemas Motrizes 16

O que é um Motor *Premium*? 19

Normalização, Regulamentação e Selo Procel 20

Motores *Premium* (IR3) x Alto Rendimento (IR2) x Padrão (IR1) 25

Perdas do Motor 26

- Perdas nos Núcleos 26
- Perdas Mecânicas 26
- Perdas por Efeito Joule no Estator 27
- Perdas por Efeito Joule no Rotor 27
- Perdas Suplementares 28

Características dos Motores *Premium* 29

Benefícios Econômicos do Motor *Premium* 30

- Economia de Energia e Financeira ao Escolher um Motor *Premium* 30
- Tempo de Retorno do Investimento 31
- Custo de Operação dos Motores Elétricos Durante sua Vida Útil 34
- Custo de Operação Mensal dos Motores Elétricos 36

Motores Elétricos com Maiores Eficiências 37

CONSIDERAÇÕES QUANDO COMPRAR MOTOR *PREMIUM* 39

Especificação 40
Dimensionamento do Motor 42
Rendimento 43
Fator de Potência 44
Fator de Serviço 45
Características de Aceleração 46
Características da Rede de Alimentação 48
Características Construtivas 48

COMO OPERAR MOTOR *PREMIUM* 51

Dicas para Prolongar a Vida Útil do Motor 52
Os Cuidados na Limpeza do Motor 52
A Lubrificação do Rolamento e do Mancal 53
Vibração 53
Regime de Partidas do Motor 53
Sistema de Proteção 54
Locais para Instalação de Motores 54
Influência da Rede Elétrica na Operação do Motor 54
Variação da Amplitude da Tensão 55
Desequilíbrio da Rede Elétrica 56
Harmônicos 58
O que Fazer Quando o Motor Danificar? 60

Bibliografia 63
Anexo A 64
Expediente 66

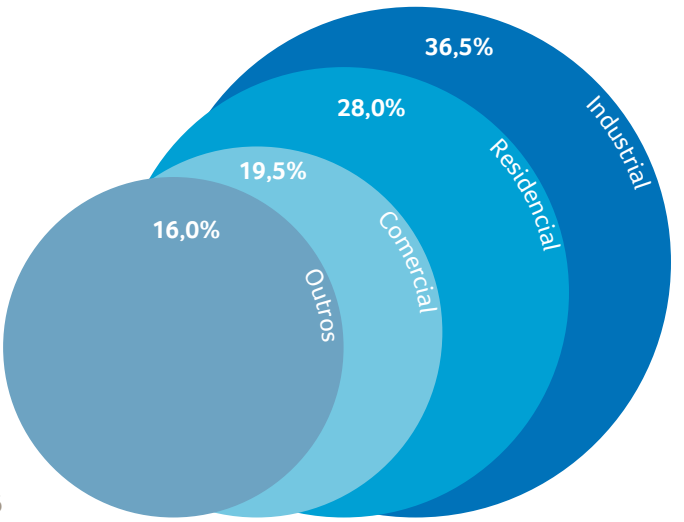
POR QUE UTILIZAR MOTOR *PREMIUM*?

Parte 1

A Importância dos Motores Elétricos nos Sistemas Motrizes

As participações dos diversos setores no consumo de energia elétrica no Brasil em 2015 são apresentadas na Figura 1. Percebe-se que o setor industrial apresenta maior importância quantitativa com relação à energia elétrica.

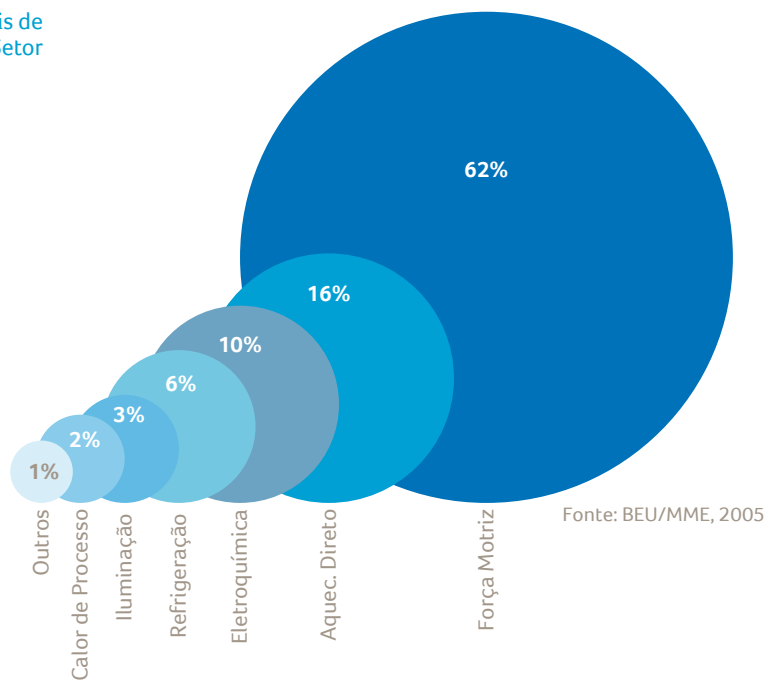
Figura 1 – Participações Setoriais no Consumo de Energia Elétrica no Brasil em 2015



Fonte: EPE, 2016

Por outro lado, no setor industrial, a distribuição do consumo de energia elétrica por usos finais é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Industrial



Fonte: BEU/MME, 2005

Dentro do setor industrial, onde há o maior consumo de energia elétrica no Brasil (36,5%), o uso final "Força Motriz" (ou Sistemas Motrizes), corresponde ao maior percentual: 62% ou 68% (incluindo refrigeração). Isto significa que os sistemas motrizes, utilizados pelo setor industrial, são responsáveis por aproximadamente 25% do consumo de energia elétrica do país.

Numa visão mais geral, na Tabela 1, apresentam-se as participações dos sistemas motrizes nos diversos setores da economia, além do industrial. Como pode ser observado, 58% do consumo de energia elétrica no Brasil se refere aos sistemas motrizes. Cabe apresentar na sequência, uma análise sobre o conceito de sistemas motrizes.

Tabela 1: Participação de Sistemas Motrizes * no Consumo de Energia Elétrica Brasileiro de Acordo com o BEU 2005

Industrial	Comercial	Residencial	Público	Transporte	Agropecuário	Energético	Brasil
68%	48%	35%	46%	100%	95%	93%	58%

(*) Incluindo refrigeração e ar condicionado

O motor elétrico é um conversor de energia elétrica em energia mecânica com baixas perdas quando opera em condições nominais e é especificado e operado corretamente, passando por manutenções recomendadas (condições frequentemente não observadas na prática). Sendo assim, seu real consumo refere-se às suas perdas internas, com a maior parte da energia elétrica sendo convertida para acionar a carga mecânica. Logo, em análises de eficiência energética, constata-se a necessidade de avaliar todo o sistema motriz (e não somente o motor elétrico), que abrange a instalação elétrica (dispositivos e aparelhos para MPCC – Medição, Proteção, Comando e Controle), os motores elétricos, a transmissão mecânica, as cargas acionadas (bombas, compressores, ventiladores etc.), a instalação mecânica e o uso final da energia mecânica. Cada componente do sistema motriz possui suas próprias perdas, como pode ser visto na Figura 3. Cabe destacar que existem sistemas motrizes elétricos (acionados por motores elétricos) e sistemas motrizes térmicos (acionados por turbinas a vapor e motores de combustão interna).

Os principais sistemas motrizes encontrados nas indústrias são sistemas de bombeamento, sistemas de ventilação / exaustão e sistemas de ar comprimido, normalmente pertencentes às utilidades (de acordo com o jargão industrial) e não aos processos.

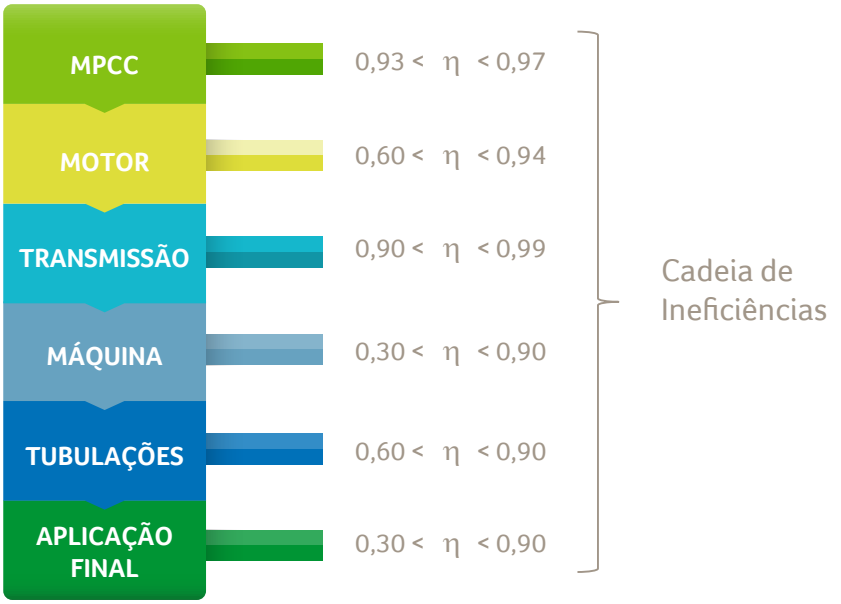


Figura 3 - Rendimentos dos Componentes do Sistema Motriz (referência 3).

Por outro lado, destaca-se a importância de se trabalhar com o motor elétrico (mas não somente com ele), considerando que são componentes comuns a todos os sistemas motrizes elétricos (bombeamento, ar comprimido, ventiladores, exaustores, transporte de cargas, processos etc.), em conjunto com os aparelhos e dispositivos para MPCC e a transmissão mecânica.

Além disso, no setor industrial, é muito comum o uso de motores sobredimensionados, o que faz com que os níveis de eficiência energética sejam menores, como será apresentado adiante. Sem contar o fato de que, segundo a Associação Brasileira de Manutenção, a idade média de equipamentos / instalações nas empresas brasileiras é de 17 anos (vide referência 5). Assim, mesmo que os motores estejam operando em condições nominais, estes apresentam patamares de eficiência energética menores, comparados aos existentes hoje no mercado, mesmo que ainda atendam aos valores de placa, sem contar as perdas de rendimento durante sua vida útil.

Adicionalmente, o custo de operação dos motores elétricos (considerando apenas a energia elétrica) é muito superior ao seu custo de aquisição (preço do motor elétrico). Para uma determinada situação analisada, apresentada adiante, referente a um motor de alto rendimento (IR2), o custo de operação foi de aproximadamente 140 vezes o seu custo de aquisição. Assim, ao decidir que motor elé-

trico comprar, é necessário efetuar análise considerando o custo de operação do motor elétrico durante sua vida útil e não apenas o custo de aquisição do motor elétrico.

Destaca-se, todavia, que é recomendável que antes de se analisar o motor elétrico e eventual necessidade de substituição deste equipamento, seja analisada a parte mecânica do sistema motriz, ou seja, os elementos a jusante do motor elétrico.

Sistemas motrizes otimizados com motores elétricos de indução *premium*, especificados e operados adequadamente, trarão benefícios imediatos aos usuários e a toda sociedade brasileira, na medida em que para os primeiros, reduzir-se-ão os custos da produção, ressaltando-se que a economia de energia elétrica será convertida diretamente em lucro, posteriormente ao tempo de retorno de investimento, acarretando em aumento de competitividade. Para o país, haverá uma considerável economia de energia, postergando investimentos no setor elétrico, trazendo benefícios ambientais.

Voltando à Tabela 1, cabe destacar que os motores elétricos utilizados nos diversos setores são de naturezas variadas (corrente contínua, universais, síncronos, de indução etc.). Por outro lado, os motores de indução (trifásicos e monofásicos) respondem por mais de 95% do total de motores instalados nos setores industrial, rural, comercial e residencial. Além disso, são responsáveis por aproximadamente 75% do total da potência instalada do universo de todos os motores, de acordo com a referência bibliográfica 3.

O que é um Motor *Premium*?

O motor *premium* (classe ou índice de rendimento IR3) possui perdas reduzidas comparadas com o motor padrão (IR1) e de alto rendimento (IR2) e, consequentemente, rendimento superior. Isto é possível devido a mudanças no projeto, materiais e processos de fabricação mais sofisticados.

O rendimento é a relação entre a potência mecânica desenvolvida no eixo do motor e a potência elétrica ativa que ele consome da rede de alimentação.

Sua expressão pode ser escrita, em valores percentuais, como:

$$\eta\,(\%) = \frac{\text{Potência mecânica (kW)}}{\text{Potência elétrica (kW)}} \times 100$$

ou por

$$\eta\,(\%) = \frac{\text{Potência de saída}}{\text{Potência de entrada}} \times 100$$

Ao considerarmos que
Potência de entrada = Potência de saída + Perdas
o rendimento pode ser expresso como:

$$\eta\,(\%) = \frac{\text{Potência de entrada - Perdas}}{\text{Potência de entrada}} \times 100$$

Normalização, Regulamentação e Selo Procel

A normalização brasileira sempre esteve um passo a frente com relação aos níveis de eficiência energética praticados e exigências governamentais. A antiga ABNT NBR 7094:1996, já apresentava rendimentos mínimos para motores de indução trifásicos de alto rendimento (IR2), com as seguintes características: regime tipo S1, uma velocidade, categorias N e H, grau de proteção IP44, IP54 ou IP55, de potência nominal igual ou superior a 0,75 kW (1 cv) até 150 kW (200 cv), 2, 4, 6 ou 8 polos, 60 Hz, tensão nominal igual ou inferior a 600 V, qualquer forma construtiva.

Na revisão do ano de 2000 da norma ABNT NBR 7094:1996, são incluídos os valores de rendimentos mínimos para motores de indução trifásicos da linha padrão. Além disso, são elevados os valores mínimos dos rendimentos dos motores de alto rendimento (IR2). Adicionalmente foi elevada a faixa de motores normalizados: até 180 kW (250 cv), com as mesmas características apresentadas anteriormente.

No ano de 2003, foi feita uma revisão da versão da norma do ano de 2000, novamente aumentando (de uma maneira geral) os valores mínimos dos rendimentos dos motores da linha padrão (IR1) e de alto rendimento (IR2). Estes novos valores passaram a estar de acordo com o decreto nº 4.508/2002 da presidência da república que dispunha sobre a regulamentação dos níveis mínimos de eficiência energética dos motores elétricos (primeiros equipamentos a serem regulamentados no Brasil), com as especificações apresentadas anteriormente.

Cabe destacar que, desde 2010, somente motores elétricos com rendimentos mínimos da classe IR2 (alto rendimento) podem ser fabricados, comercializados e importados no Brasil, de acordo com a portaria interministerial nº 553 de 2005, ou seja, os motores da classe IR1 (padrão) foram retirados do mercado ofertante destes equipamentos. Também deve ser destacado que os motores elétricos foram os primeiros equipamentos a terem plano de metas de aumento de sua eficiência.

No ano de 2008 foi cancelada a norma ABNT NBR 7094 que foi substituída pela ABNT NBR 17094 subdividida na parte 1, referente a motores de indução trifásicos e parte 2, referente aos monofásicos. Os índices mínimos de motores da linha padrão (IR1) e de alto rendimento (IR2) foram mantidos, porém foram inseridos motores de potências mais elevadas (até 500 cv para 4 polos).

Até a data de publicação deste guia, a última versão da ABNT NBR 17094-1 é do ano de 2013. Esta versão expande o universo de motores elétricos normalizados (inclui categorias NY e HY e eleva as tensões até 1.000 V). Nesta revisão, foram excluídos os motores elétricos da linha padrão, em coerência com a portaria interministerial nº 553 de 2005, e incluídos rendimentos mínimos para a linha da classe IR3 ou *premium,* pela primeira vez no texto da referida norma.

Apresentando de uma maneira detalhada, os motores normalizados, pela norma ABNT NBR 17094-1:2013, possuem as seguintes características: motores de indução de gaiola, trifásicos, com capacidade de operação contínua em suas condições nominais sem que a elevação da temperatura ultrapasse a classe térmica especificada, uma rotação, categorias N, H, NY, HY e as categorias equivalentes A, B e C, com refrigeração a ar, acoplada ou solidária ao próprio eixo de acionamento do motor elétrico, de potência nominal igual ou superior a 0,75 kW (1cv) e até 370 kW (500 cv) em dois, quatro, seis e oito polos, 60 Hz ou 50 Hz para operação em 60 Hz, tensão igual ou inferior a 1000 V, qualquer forma construtiva. A ABNT NBR 17094-1:2013 está atualmente sendo revisada de forma a aumentar o escopo dos motores *premium*, ajustar alguns rendimentos, tornar algumas partes do texto mais claras, dentre outras modificações. Oportunamente, esta revisão será disponibilizada para a sociedade.

Cabe destacar que, o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), presidido pelo Ministério de Minas e Energia, aprovou um Estudo de Impacto Regulatório, visando à evolução da regulamentação para a classe IR3 (moto-

res *premium*). Este estudo foi feito pelo CT-Motores (Comitê Técnico), coordenado pela Eletrobras. Este assunto será submetido à consulta pública, visando obter sugestões para implantar a evolução dos níveis atuais da Portaria n°553 de 2005.

Na Tabela 2, apresentam-se os rendimentos mínimos exigidos no Brasil desde o ano de 2010, de acordo com a portaria interministerial nº 553 de 2005 (classe IR2).

Tabela 2 - Menores Valores de Rendimentos Nominais a Plena Carga para Motores Fabricados, Comercializados e Importados no Brasil (Classe IR2)

Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)			
kW	cv	3600 2 polos	1800 4 polos	1200 6 polos	900 8 polos
		Rendimento Nominal			
0,75	1	80,0	80,5	80,0	70,0
1,1	1,5	82,5	81,5	77,0	77,0
1,5	2	83,5	84,0	83,0	82,5
2,2	3	85,0	85,0	83,0	84,0
3	4	85,0	86,0	85,0	84,5
3,7	5	87,5	87,5	87,5	85,5
4,4	6	88,0	88,5	87,5	85,5
5,5	7,5	88,5	89,5	88,0	85,5
7,5	10	89,5	89,5	88,5	88,5
9,2	12,5	89,5	90,0	88,5	88,5
11	15	90,2	91,0	90,2	88,5
15	20	90,2	91,0	90,2	89,5
18,5	25	91,0	92,4	91,7	89,5
22	30	91,0	92,4	91,7	91,0
30	40	91,7	93,0	93,0	91,0
37	50	92,4	93,0	93,0	91,7
45	60	93,0	93,6	93,6	91,7
55	75	93,0	94,1	93,6	93,0
75	100	93,6	94,5	94,1	93,0
90	125	94,5	94,5	94,1	93,6
110	150	94,5	95,0	95,0	93,6
132	175	94,7	95,0	95,0	94,5
150	200	95,0	95,0	95,0	94,5
185	250	95,4	95,0	95,0	95,0

Na Tabela 3, apresentam-se os rendimentos mínimos para a classe IR3 ou *premium* previstos pela norma ABNT NBR 17094-1:2013. Na verdade, para ser considerado um motor *premium*, o rendimento obtido através de ensaio não pode ser inferior ao valor obtido pela aplicação da tolerância estabelecida na norma. Cabe destacar que, além do aumento dos

rendimentos, comparados à Tabela 2, há também uma extensão das potências, para até 500 cv. Como mencionado anteriormente, a norma ABNT NBR 17094-1 está sendo revisada, cabendo aos usuários e fabricantes de motores elétricos se manterem atualizados com as alterações. Os valores dos rendimentos (e demais informações) dos motores elétricos devem sempre ser consultados na norma, não tendo este guia o objetivo de substituí-la.

Tabela 3 - Menores Valores de Rendimentos Nominais a Plena Carga para Motores da Classe IR3 ou *Premium* de Acordo com a ABNT NBR 17094-1:2013

Potência Nominal		Velocidade Síncrona (rpm)			
kW	cv	3600 2 polos	1800 4 polos	1200 6 polos	900 8 polos
		Rendimento nominal			
0,75	1	77,0*	83,5[a]	82,5	75,5
1,1	1,5	84,0	86,5[b]	87,5[c]	78,5
1,5	2	85,5	86,5	88,5[d]	84,0
2,2	3	86,5	89,5[e]	89,5[f]	85,5
3	4	88,5	89,5	89,5	86,5
3,7	5	88,5	89,5	89,5	86,5
4,4	6	88,5	89,5	89,5	86,5
5,5	7,5	89,5	91,7[g]	91,0	86,5
7,5	10	90,2	91,7	91,0	89,5
9,2	12,5	91,0	92,4	91,7	89,5
11	15	91,0	92,4	91,7	89,5
15	20	91,0	93,0	91,7	90,2
18,5	25	91,7	93,6	93,0	90,2
22	30	91,7	93,6	93,0	91,7
30	40	92,4	94,1	94,1	91,7
37	50	93,0	94,5	94,1	92,4
45	60	93,6	95,0	94,5	92,4
55	75	93,6	95,4	94,5	93,6
75	100	94,1	95,4	95,0	93,6
90	125	95,0	95,4	95,0	94,1
110	150	95,0	95,8	95,8	94,1
132	175	95,4	96,2	95,8	94,5
150	200	95,4	96,2	95,8	94,5
185	250	95,8	96,2	95,8	95,0
220	300	95,8	96,2	95,8	95,0
260	350	95,8	96,2	95,8	95,0
300	400	95,8	96,2	95,8	95,0
330	450	95,8	96,2	95,8	95,0
370	500	95,8	96,2	95,8	95,0

* Erro (valor inferior à classe IR2).
a Para motores na carcaça 80, o valor mínimo do rendimento é 83%
b Para motores na carcaça 80, o valor mínimo do rendimento é 84%
c Para motores na carcaça 90, o valor mínimo do rendimento é 85,5%
d Para motores na carcaça 100, o valor mínimo do rendimento é 86,5%
e Para motores na carcaça 90, o valor mínimo do rendimento é 87,5%
f Para motores na carcaça 100, o valor mínimo do rendimento é 87%
g Para motores na carcaça 112, o valor mínimo do rendimento é 91%

Além da normalização e da regulamentação, a utilização de motores elétricos eficientes também é estimulada por meio do Selo Procel de Economia de Energia, apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Selo Procel de Economia de Energia para Motores Elétricos

O Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente Selo Procel, tem como finalidade ser uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos (atualmente inclui também edificações) à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia.

Dessa forma, o Selo estimula a fabricação e a comercialização de equipamentos mais eficientes, minimizando ainda os impactos ambientais no país.

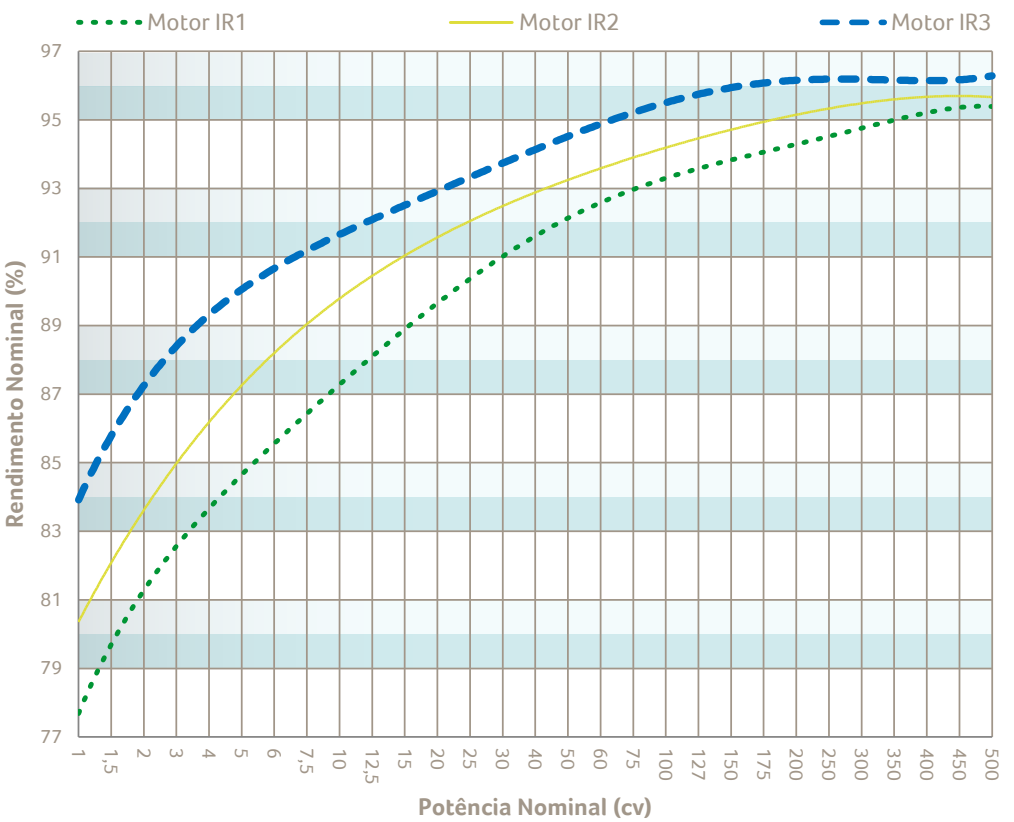
Concedido anualmente aos motores nacionais ou importados, que apresentam os melhores rendimentos, o Selo Procel para motores elétricos existe desde 1997. O uso de motores com o Selo vem proporcionando uma economia de energia suficiente para suprir o consumo de energia elétrica de mais de 710 mil residências.

Para comprovar que o seu motor atende aos requisitos exigidos pelo Procel, o fornecedor deve submetê-lo a ensaios em laboratórios de terceira parte indicados pelo Procel.

Motores
Premium (IR3) x Alto Rendimento (IR2) x Padrão (IR1)

Na Figura 5 apresenta-se uma comparação entre os rendimentos nominais mínimos de motores padrão (classe IR1, de acordo com a norma ABNT NBR 17094-1:2008), motores de alto rendimento (IR2, de acordo com a norma ABNT NBR 17094-1:2013) e motores *premium* (classe IR3, de acordo com a norma ABNT NBR 17094-1:2013). Por esta figura fica clara a maior eficiência energética nominal do motor *premium*, comparando às classes padrão e alto rendimento para todas as potências. Optou-se por efetuar esta comparação (e outras apresentadas adiante) para motores de 4 polos (1800 rpm), tendo em vista que são os mais utilizados.

Figura 5 - Rendimento Nominal para Motores Padrão (IR1), de Alto Rendimento (IR2) e *Premium* (IR3), 4 Polos



Perdas do Motor

Os vários tipos de perdas podem ser classificados de diversas formas, as mais usuais são: perdas fixas, que praticamente independem da carga, e perdas que variam com o carregamento do motor. As perdas fixas são perdas nos núcleos e mecânicas. As perdas variáveis com a carga são as perdas nos enrolamentos do estator e do rotor e as perdas suplementares.

Perdas nos Núcleos (15 a 25% das perdas totais)

Também denominadas de perdas no ferro, são as perdas que ocorrem nas chapas magnéticas do estator e do rotor.

Estas perdas se devem aos fenômenos de histerese e correntes induzidas nos pacotes magnéticos (correntes parasitas ou correntes de Foucault) e dependem da frequência e da densidade máxima de fluxo.

No caso particular da perda por correntes parasitas, ela depende também da espessura das lâminas do pacote magnético.

As perdas por histerese e correntes parasitas podem ser reduzidas pela diminuição da densidade de fluxo. Isto pode ser conseguido aumentando-se o comprimento do pacote magnético ou através de um melhor projeto do circuito magnético.

Outro procedimento adotado para redução destas perdas é a utilização de material magnético de melhor qualidade.

Perdas Mecânicas (5 a 15% das perdas totais)

São as perdas devidas ao atrito nos mancais ou nos rolamentos e na ventilação. Em geral, quando o motor está operando em carga nominal, elas são as menores parcelas das perdas totais.

As perdas por atrito são diminuídas utilizando-se rolamentos com baixas perdas e com uma melhor lubrificação (como, por exemplo, lubrificantes sintéticos).

As perdas por ventilação podem ser reduzidas pela otimização do projeto do ventilador. Como o

motor *premium* produz menores perdas nos enrolamentos e no núcleo, torna-se menor a própria necessidade de ventilação. Uma boa consequência indireta disto é a redução do nível de ruído produzido pelo motor.

Perdas por Efeito Joule no Estator (25 a 40% das perdas totais)

São as perdas por efeito Joule devido à circulação de corrente nos condutores do enrolamento do estator. Frequentemente são denominadas por perdas $I^2 R$, onde R é a resistência do enrolamento e I, a corrente.

Nos motores *premium* (IR3), a resistência destes enrolamentos é diminuída utilizando-se condutores de cobre de maior bitola (condutores mais grossos). Os fabricantes nacionais têm alcançado estes resultados mantendo a mesma carcaça do motor padrão (IR1) e de alto rendimento (IR2), com algumas exceções apresentadas na Tabela 3.

Perdas por Efeito Joule no Rotor (15 a 25% das perdas totais)

De maneira análoga ao que acontece no enrolamento do estator, são perdas por efeito Joule ($I^2 R$) que ocorrem na gaiola do rotor e dependem da carga, do material do condutor da gaiola, da área da ranhura (que depende da área do condutor) e do comprimento das barras condutoras da gaiola. Estas perdas são proporcionais ao escorregamento de operação.

Assim como no estator, a diminuição destas perdas é feita pelo aumento da quantidade de material condutor da gaiola. Naturalmente, isto pode contribuir também para o aumento das dimensões da carcaça.

No entanto, a resistência elétrica do rotor apresenta forte influência no desempenho do motor. A redução destas perdas fica limitada devido ao aumento da corrente de partida. Por outro lado, o aumento da resistência do rotor também fica limitado, devido à redução do conjugado de partida.

Perdas Suplementares (10 a 20% das perdas totais)

São todas as perdas que não estão incluídas nos outros tipos de perdas. São definidas como a diferença entre a perda total do motor e os outros quatro tipos de perdas.

Elas levam em conta vários fenômenos, tais como a distribuição não uniforme da corrente nos enrolamentos, o efeito de saturação e as imperfeições na densidade de campo magnético (devido às ranhuras do estator e do rotor). Estas imperfeições provocam perdas nos dentes das lâminas do estator e do rotor e ocasionam perdas ôhmicas nas barras das gaiolas, associadas aos harmônicos de corrente.

As perdas que ocorrem nas partes metálicas próximas ao campo magnético de dispersão produzido pelas cabeças das bobinas (parte externa das ranhuras), são também computadas nas perdas suplementares.

Os elementos que mais afetam estas perdas são: o projeto do enrolamento do estator, a razão entre a largura do entreferro e a abertura das ranhuras, a razão entre o número de ranhuras do estator e do rotor e as superfícies dos pacotes magnéticos do estator e do rotor.

As perdas suplementares variam, aproximadamente, com o quadrado da corrente de carga, de acordo com a referência 4. São as mais difíceis de serem reduzidas. No entanto, podem apresentar uma grande contribuição para o aumento da eficiência do motor. Elas podem ser reduzidas pela adoção de um projeto otimizado e com cuidados de qualidade na fabricação. Estas perdas são um importante componente das perdas totais do motor.

Por fim, cabe destacar que os vários tipos de perdas dos motores não são independentes. Por exemplo, aumentar o comprimento do pacote de lâminas para redução das perdas magnéticas provoca aumento no comprimento dos condutores o que, por sua vez, aumenta suas perdas por efeito Joule. O projeto final destes motores deve ser fruto de um

balanço dos vários tipos de perdas, de modo a se alcançar um elevado rendimento, mas mantendo-se os níveis de conjugado de partida, capacidade de sobrecarga, corrente de partida e fator de potência.

Características dos Motores *Premium*

Os motores da classe IR3 ou *premium* foram desenvolvidos para proporcionar um menor consumo de energia elétrica da rede devido ao seu elevado rendimento. Para isso, construtivamente, estes motores possuem a maioria das seguintes características:

- Chapas magnéticas de melhor qualidade;
- Maior volume de material condutor;
- Rotores tratados termicamente, reduzindo perdas rotóricas;
- Altos fatores de enchimento das ranhuras, que provêm melhor dissipação do calor gerado;
- Projeto das ranhuras otimizado para incrementar o rendimento;
- Tampas traseiras e dianteiras com fluxo de ar otimizado;
- Anéis de fixação dos mancais com superfície aletada para melhorar a dissipação do calor dos mancais;
- Alojamento do rolamento projetado para fora, para melhor dissipação do calor;
- Sistema de ventilação mais eficiente (ex.: tampa defletora do sistema de ventilação com conceito aerodinâmico e com melhor distribuição do fluxo de ar);
- Projeto da carcaça com redução da dispersão do fluxo de ar, contribuindo para o aumento da troca térmica entre o motor e o ambiente, resultando, ainda, na redução de pontos quentes na superfície e no aumento do intervalo de lubrificação dos enrolamentos.

Benefícios Econômicos do Motor *Premium*

O custo de um motor envolve não só o seu preço inicial, mas também o seu custo operacional. O preço inicial do motor *premium* (IR3) é superior ao motor de alto rendimento (IR2). Por outro lado, o motor *premium* consome menos energia para executar o mesmo trabalho realizado por outro de alto rendimento porque possui maior rendimento. Após algum tempo de operação, a economia obtida compensará e ultrapassará a diferença entre o seu preço e o do motor equivalente da linha de alto rendimento.

A economia no consumo de energia e o tempo de retorno do investimento, ao se optar por um motor *premium* ao invés de outro da linha de alto rendimento, são funções dos seus rendimentos, do tempo de operação, da potência solicitada pela carga, da tarifa de energia elétrica e dos seus preços iniciais, como será apresentado a seguir.

Economia de Energia e Financeira ao Escolher um Motor *Premium*

Se um motor opera H horas por ano, solicitando da rede elétrica uma potência elétrica Pe (em kW), a energia elétrica consumida por ano é:

$$E = H \times Pe$$

A potência elétrica Pe se relaciona com a potência mecânica P (em cv) desenvolvida no eixo através do rendimento η e do fator de conversão entre cv e kW (caso a potência do motor seja dada em HP, *horse power*, o fator de conversão deve ser 0,746). Desta maneira, o consumo de energia elétrica pode ser calculado por:

$$E = 0{,}736 \times H \times P \times \frac{1}{\eta}$$

Considerando-se, respectivamente, os rendimentos η_{AR} e η_{PR} para os motores da linha alto rendimento (IR2) e *premium* (IR3) e ambos desenvolvendo a mesma potência mecânica, a economia de energia anual EEA, ao se optar pelo motor *premium*, será:

$$EEA = 0{,}736 \times H \times P \times \left(\frac{1}{\eta_{AR}} - \frac{1}{\eta_{PR}} \right)$$

A equação acima se aplica à operação com carga constante, com os motores operando com mesma tensão e velocidade. Para carga variável, deve-se calcular os valores da economia obtidos em cada intervalo de carga e somá-los para a obtenção da economia anual.

Optando-se pelo motor *premium* (IR3), em vez do motor de alto rendimento (IR2), tem-se uma economia financeira anual dada por:

$$EFA = EEA \times T$$

Onde T (em R$/kWh) é a tarifa de energia elétrica.

Porém, ao se optar por um motor *premium*, é necessário um investimento adicional, dado pela diferença de preços entre os motores (PR_{PR}-PR_{AR}, em R$).

Considerando a economia financeira anual EFA, depois de determinado período, o investimento é retornado, conforme é mostrado a seguir.

Tempo de Retorno do Investimento

O cálculo do tempo de retorno do investimento simplificado (*payback* simples) ao se optar por um motor *premium* é dado por :

$$TRI = \frac{PR_{PR} - PR_{AR}}{EEA \times T}$$

Observa-se que o tempo de retorno do investimento eleva-se com o aumento da diferença de preços entre os motores e do valor da taxa de juros (no caso do *payback* composto). Por outro lado, será tanto menor quanto maior for:

- A tarifa de energia;
- O número de horas de operação;
- A diferença entre os rendimentos;
- A potência da carga.

Destaca-se que após o tempo de retorno do investimento, a economia de energia em cada ano é convertida diretamente em lucro (R$) que é dado pela multiplicação da economia de energia anual EEA pela tarifa T.

Por exemplo, consideremos dois motores de 50 cv, 4 polos, 220 V, um da linha alto rendimento

(IR2) e outro *premium* (IR3). Seus rendimentos nominais[1] valem η_{AR} = 93,6% e η_{PR} = 94,6% (observar que estes valores são superiores aos apresentados nas Tabelas 2 e 3). Se os motores desenvolverem potência nominal, operando com tensão nominal e mesma velocidade durante 6.000 horas por ano, então a economia anual de energia ao se optar pelo uso do motor *premium* será:

$$EEA = 0{,}736 \times 6000 \times 50 \times \left(\frac{1}{0{,}936} - \frac{1}{0{,}946} \right)$$

ou

$$EEA = 2.493{,}6 \text{ kWh/ano}$$

Admitiremos que os preços dos motores são PR_{AR} = R$ 10.785,06 e PR_{PR} = R$ 12.726,37 e que a tarifa de energia elétrica é igual a T = R$ 0,550/kWh. Para as condições citadas, o tempo de retorno do investimento para a opção de compra do motor *premium* será:

$$TRI = \frac{12.726{,}37 - 10.785{,}06}{2.493{,}6 \times 0{,}550} = 1{,}42 \text{ anos ou } 17 \text{ meses.}$$

O lucro anual após o TRI será de R$ 1.371,50 (2.493,6 x 0,550).

O cálculo do TRI apresentado anteriormente (*payback* simples) considera a tarifa de energia elétrica média, e ainda, constante ao longo desse tempo. Uma boa estimativa da tarifa pode ser obtida dividindo o valor da conta pela energia consumida. Isto de certa maneira inclui a demanda.

Também é importante destacar que o cálculo do TRI apresentado anteriormente (*payback* simples) não leva em conta o valor da moeda no tempo, desconsiderando-se a taxa de juros do *payback* composto. Todavia, o *payback* simples é uma estimativa inicial frequentemente utilizada na tomada de decisão sobre investimentos. É importante mencionar que esta estimativa é otimista, ou seja, os valores dos tempos de retorno do investimento obtidos utilizando *payback* composto são maiores. Cabe mencionar que os valores obtidos por meio do *payback* composto também são estimativas, tendo em vista a previsão necessária para a taxa de juros ao longo do tempo. Destaca-se que taxas de juros elevadas podem inviabilizar o retorno do

1 No anexo A apresentam-se as curvas do rendimento x carregamento destes motores.

investimento para situações em que o motor elétrico opera por um menor número de horas ao ano.

A Tabela 4 é uma fonte de consulta rápida do TRI (*payback* simples) para a compra de um motor *premium* (IR3) ao invés de outro da linha alto rendimento (IR2) de 4 polos. Ela é uma aproximação baseada nas hipóteses do período de funcionamento de 2000, 4000, 6000 e 8000 horas por ano. A tarifa de energia elétrica considerada é de R$ 0,550/kWh e a carga do motor é constante e nominal. Como pode ser observado, quanto maior a utilização dos motores elétricos, menor o tempo de retorno de investimento. Cabe destacar, que a maioria dos motores elétricos instalados nas indústrias operam mais de 4.000 h/ano.

Tabela 4 - Tempo de Retorno do Investimento (*Payback* Simples em Anos) para Compra do Motor *Premium* (IR3) ao invés do Motor da Linha Alto Rendimento (IR2) para Carga Nominal (Tarifa Considerada de R$ 0,550/kWh)

P (cv)	2000 h/ ano	4000 h/ ano	6000 h/ ano	8000 h/ ano
1,0	5,51	2,76	1,84	1,38
1,5	2,22	1,11	0,74	0,55
2,0	5,38	2,69	1,79	1,34
3,0	4,06	2,03	1,35	1,02
4,0	2,89	1,45	0,96	0,72
5,0	5,36	2,68	1,79	1,34
6,0	6,64	3,32	2,21	1,66
7,5	5,83	2,91	1,94	1,46
10,0	6,67	3,34	2,22	1,67
12,5	4,32	2,16	1,44	1,08
15,0	7,74	3,87	2,58	1,93
20,0	6,56	3,28	2,19	1,64
25,0	6,16	3,08	2,05	1,54
30,0	6,55	3,27	2,18	1,64
40,0	4,77	2,38	1,59	1,19
50,0	4,25	2,12	1,42	1,06
60,0	7,12	3,56	2,37	1,78
75,0	6,37	3,18	2,12	1,59
100,0	6,25	3,12	2,08	1,56
125,0	10,16	5,08	3,39	2,54
150,0	11,00	5,50	3,67	2,75
175,0	7,68	3,84	2,56	1,92
200,0	9,11	4,56	3,04	2,28
250,0	10,08	5,04	3,36	2,52
300,0	14,02	7,01	4,67	3,50
350,0	13,16	6,58	4,39	3,29
400,0	12,14	6,07	4,05	3,03
450,0	11,84	5,92	3,95	2,96
500,0	11,73	5,86	3,91	2,93

Considerando-se o *payback* composto e utilizando-se a taxa de juros SELIC utilizada no fechamento desta publicação (de 14,25%), os tempos de retorno de investimento para 2.000, 4.000, 6.000 e 8.000 horas de operação ao ano foram 52%, 36%, 25% e 20%, na média, superiores aos valores apresentados na Tabela 4. Cabe destacar que, quanto maior a taxa de juros, maior o *payback*, podendo inviabilizar economicamente a aquisição do motor *premium* em alguns casos.

Custo de Operação dos Motores Elétricos Durante sua Vida Útil

As perdas menores do motor *premium* (IR3) significam que este motor produz a mesma potência mecânica de saída com menos potência elétrica de entrada que um motor da linha de alto rendimento (IR2). Desta maneira, o motor *premium* tem custo de operação inferior.

Considerando uma vida útil V, o custo de operação CO dos motores elétricos é obtido pela seguinte expressão:

$$CO = 0{,}736 \times H \times V \times P \times \frac{1}{\eta} \times T$$

Voltando ao exemplo apresentado anteriormente, os custos de operação dos motores elétricos de alto rendimento (IR2) e *premium* (IR3), considerando-se uma vida útil de 12 anos, são os seguintes:

$$CO_{AR} = 0{,}736 \times 6.000 \times 12 \times 50 \times \frac{1}{0{,}936} \times 0{,}550 = \text{R\$ } 1.556.923{,}07$$

$$CO_{PR} = 0{,}736 \times 6.000 \times 12 \times 50 \times \frac{1}{0{,}946} \times 0{,}550 = \text{R\$ } 1.540.465{,}11$$

Verifica-se, assim, que os custos de operação dos motores elétricos analisados de alto rendimento e *premium* são 144 e 121 vezes superiores aos preços dos respectivos motores. A elevada relação entre os custos de operação e aquisição mostra que, ao adquirir um motor elétrico, não se deve utilizar como

fator de decisão para escolha apenas o preço do motor elétrico, mas também os gastos com energia elétrica ao longo da vida útil do equipamento. Cabendo destacar que premissas conservadoras foram utilizadas no cálculo das relações entre os custos de operação e de aquisição, como será destacado a seguir.

O custo de aquisição utilizado anteriormente se referiu simplesmente ao valor desembolsado no momento de sua compra.

Cabe destacar que alguns fabricantes possuem plano de troca, de forma que o motor usado entre como parte do pagamento, havendo um desconto ou *rebate* na aquisição do motor elétrico mais eficiente.

Um dos fabricantes de motores elétricos brasileiros, por exemplo, oferece um desconto (ou *rebate*) de 12%. Cabe comentar que os motores recebidos são desmontados e que os materiais são encaminhados à reciclagem, num índice que chega em torno de 99% de reaproveitamento. Alguns fabricantes chegam a arcar, ainda, com o frete de motores com potências mais elevadas. Estas situações, que acarretam em redução do valor do motor, foram desprezadas no cálculo da relação entre o custo de operação e o custo de aquisição, apresentados anteriormente.

Por outro lado, o custo de operação é composto pelo somatório do custo de manutenção mais o custo com energia elétrica durante a vida útil do motor elétrico. Os valores dos custos de manutenção também foram desprezados na relação calculada anteriormente.

Outra condição conservadora utilizada foi a vida útil considerada de 12 anos. Estudos da ABRAMAN (referência 5), apontam que a idade média de equipamentos e instalações das indústrias brasileiras é de 17 anos.

Com as mesmas considerações apresentadas anteriormente, na Tabela 5, apresentam-se as relações entre os custos de operação e aquisição, para as diversas potências e número de horas de operação, para motores de alto rendimento (IR2) e *premium* (IR3).

Tabela 5 – Relações entre Custos de Operação e Aquisição para Motores de Alto Rendimento (IR2) e *Premium* (IR3) com Vida Útil de 12 anos e Tarifa de R$ 0,550/kWh

P (cv)	2000h/ano		4000h/ano		6000h/ano		8000h/ano	
	IR2	IR3	IR2	IR3	IR2	IR3	IR2	IR3
1,0	17	14	35	27	52	41	69	54
1,5	23	17	46	35	69	52	92	70
2,0	24	18	49	37	73	55	97	73
3,0	31	24	62	47	94	71	125	94
4,0	32	25	64	49	96	74	129	99
5,0	37	29	75	57	112	86	150	115
6,0	32	27	65	53	97	80	129	107
7,5	37	31	75	62	112	93	150	124
10,0	41	33	83	65	124	98	165	131
12,5	46	36	92	72	138	108	184	145
15,0	51	41	102	81	154	122	205	163
20,0	48	37	96	74	143	111	191	148
25,0	51	40	102	79	154	119	205	158
30,0	43	34	86	68	129	102	172	136
40,0	43	36	86	72	128	108	171	143
50,0	48	40	96	81	144	121	192	161
60,0	40	32	80	63	120	95	160	127
75,0	45	36	90	71	135	107	180	142
100,0	51	40	102	81	153	121	204	162
125,0	43	34	86	67	129	101	171	134
150,0	47	37	94	74	141	110	188	147
175,0	42	33	85	67	127	100	169	134
200,0	46	36	92	73	138	109	184	146
250,0	49	39	98	78	147	116	196	155
300,0	40	32	79	63	119	95	158	127
350,0	42	34	85	68	127	102	169	136
400,0	46	37	92	74	138	111	184	147
450,0	47	38	95	76	142	114	189	152
500,0	48	38	96	77	144	115	192	154

Custo de Operação Mensal dos Motores Elétricos

O motor elétrico de 50 cv, apresentado anteriormente, operará 500 h (6.000/12) a cada mês. Assim, os custos de operação mensal dos motores de alto rendimento (IR2) e *premium* (IR3) serão:

$$CO_{AR} = 0{,}736 \times 500 \times 50 \times \frac{1}{0{,}936} \times 0{,}550 = \text{R\$ } 10.811{,}96$$

$$CO_{PR} = 0{,}736 \times 500 \times 50 \times \frac{1}{0{,}946} \times 0{,}550 = \text{R\$ } 10.697{,}67$$

Comparando estes custos com os preços dos motores elétricos, apresentados anteriormente, verifica-se que os gastos com energia elétrica em um mês de operação, são aproximadamente iguais ao custo de aquisição deste equipamento.

Motores Elétricos com Maiores Eficiências

O Motor de indução existe desde 1885, quando foi inventado quase simultaneamente, por Galileu Ferraris e Nicolas Tesla. A engenharia de materiais propiciou grande evolução na densidade de potência (kg/kW) destes motores elétricos. Na sua criação eram 86 kg para cada kW, ao passo que na metade da década de 80 do século passado eram 6,8 kg para cada kW. Esta evolução foi fortemente influenciada pelas modificações nos materiais utilizados nos isolamentos, que passaram a suportar temperaturas mais elevadas.

Como efeito negativo do aumento da temperatura, o rendimento dos motores de indução foi sacrificado, de modo que os motores de indução do início da década de 80 eram menos eficientes que os de décadas anteriores. Por outro lado, as crises do petróleo da década de 70, motivaram a criação de programas de eficiência energética na década de 80, que estimularam o desenvolvimento de motores de indução (que são os mais utilizados) mais eficientes. Dessa maneira foram desenvolvidos os motores da linha padrão (classe IR1), da linha alto rendimento (IR2) e da linha *premium* (IR3). Todos estes abordados neste guia. Cabe destacar que alguns fabricantes de motores elétricos já fabricam e comercializam no Brasil a linha super *premium* (IR4) e até ultra *premium* (IR5).

Motores super *premium* ainda são disponibilizados na tecnologia motor de indução. Porém, motores fabricados utilizando outras duas tecnologias vêm ganhando grande espaço no mercado para a linha super *premium*. São os motores síncronos de relutância e os motores de ímã permanente. Ambas as tecnologias utilizam inversores de frequência. Com relação à linha ultra *premium*, estas duas tecnologias substituem os motores de indução, que não atingem o mesmo patamar de eficiência.

CONSIDERAÇÕES
QUANDO COMPRAR

MOTOR *PREMIUM*

Parte 2

Especificação

Ao se especificar um motor elétrico, além do rendimento, outros parâmetros devem ser considerados, de acordo com a utilização deste equipamento. Como por exemplo:

- Fator de potência;
- Conjugado de partida;
- Conjugado máximo;
- Velocidade de operação;
- Capacidade de aceleração;
- Classe de isolamento;
- Corrente de partida;
- Fator de serviço;
- Ruído;
- Temperatura de operação;
- Tipo de carcaça;
- Grau de Proteção.

A especificação técnica deve definir quais dos parâmetros apresentados anteriormente são os mais importantes para a aplicação. Ao priorizar determinados parâmetros apresentados, necessários para a aplicação desejada, pode-se implicar num decréscimo do rendimento do motor.

No caso de substituição de um motor de alto rendimento (IR2) por um *premium* (IR3), deve-se evitar (por uma questão de custo) modificar elementos básicos do projeto do motor, tais como:

- Projeto da carcaça;
- Projeto dos rolamentos;
- Projeto do rotor;
- Classe de isolamento.

Outros parâmetros também devem ser avaliados na substituição do motor, como o comportamento conjugado x rotação do motor elétrico, de forma que a carga consiga ser acionada.

É desejável que a especificação de um motor elétrico contenha:

1. Características da carga:

- Tipo da carga (bomba centrífuga, bomba alternativa, compressor, ventilador, laminador, prensa, guindaste, ponte rolante etc.);
- Gráfico da curva do conjugado resistente;
- Momento de inércia e a que rotação está referida;

- Sobrecargas adicionais;
- Cargas axial, radial ou mista e seu sentido quando existentes;

2. Tipo de transmissão mecânica (polia, direto flexível, direto rígido, cardan, redutor, hidráulico etc.);

3. Característica da rede de alimentação:

- Tipo de alimentação (monofásico ou trifásico);
- Tensão de alimentação;
- Frequência da rede;

4. Características do motor:

- Potência nominal (cv);
- Forma construtiva (vista pelo lado da caixa de ligação);
- Frequência;
- Rotação nominal;
- Rendimento nominal ou classe do motor (alto rendimento ou IR2, *premium* ou IR3, super *premium* ou IR4, ultra *premium* ou IR5);
- Fator de potência nominal;
- Categoria (comportamento do conjugado em função da rotação);
- Tensão;
- Sentido de rotação (horário, anti-horário ou ambos);
- Tensão da resistência de aquecimento (recomendada para ambientes úmidos);
- Tipo de flange;
- Modelo de fixação da chaveta;

5. Condições ambientais de operação do motor:

- Temperatura máxima;
- Umidade relativa máxima;
- Altitude;
- Local da instalação (ao tempo, local coberto, local fechado, ambiente corrosivo, sujeito a vapor, sujeito a pó, etc.);
- Se área classificada, informar qual;

6. Sistemas de proteção do motor:

- Proteção contra sobrecorrente;
- Tipo(s) de proteção térmica: termorresistores, termistor PTC (*Positive Temperature Coefficient*), termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*), termostato, protetor térmico;

- Proteção contra subtensão;
- Proteção contra tempos de partida muito longos e partidas sucessivas.

7. Método de partida do motor (chave estrela-triângulo, chave compensadora, *soft-starter*, inversor etc.);

8. Observações adicionais relevantes.

Dimensionamento do Motor

No Brasil, o superdimensionamento de motores é uma das causas mais comuns de operação ineficiente e as razões mais frequentes para esta ocorrência são:

- Desconhecimento das características da carga;
- Desconhecimento de métodos para um dimensionamento adequado;
- Aplicação de sucessivos fatores de segurança nas várias etapas de um projeto;
- Expectativa de aumento futuro de carga;
- A não especificação de fator de serviço maior que 1,0; para motores que esporadicamente apresentam picos de carga;
- Prática conservadora da manutenção de algumas indústrias, na qual o motor avariado é substituído imediatamente por outro de potência maior existente no almoxarifado.

O uso de motores superdimensionados aumenta os custos com:

- A compra do motor com potência maior;
- A compra de equipamentos da fonte de alimentação, por solicitar maiores potências;
- A energia elétrica consumida e demandada por apresentar rendimento menor;
- O baixo fator de potência (possibilidade de multa e aumento das perdas).

Em condição normal de funcionamento, o motor deve ser adequado à carga, ou seja, deve operar entre 75% e 100% da potência nominal. Por exemplo, se o dimensionamento mostra que a carga é de 35 cv, um motor de 40 cv deverá ser usado, operando com 88% da potência nominal. Quando um motor é usado para atender a uma carga constante, como um ventilador, o motor deve ser dimensionado o mais próximo possível de 100% da potência nominal.

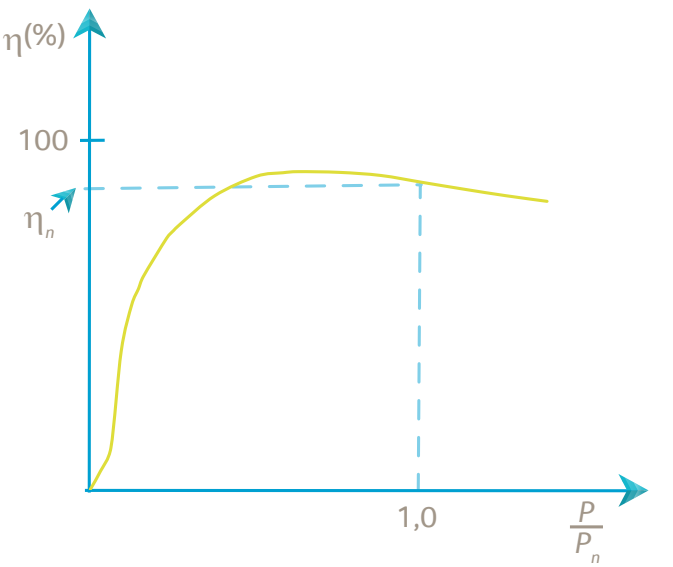
O motor *premium* bem dimensionado proporcionará economia de energia, permitindo obter elevados rendimento e fator de potência, reduzindo os custos com a energia elétrica.

Rendimento

Um motor *premium* (IR3) é especificado da mesma forma que outro da linha de alto rendimento (IR2). Ambos, geralmente, possuem a mesma carcaça padronizada, assim nenhuma modificação especial é, normalmente, necessária para trocar um motor de alto rendimento por um motor *premium*.

Uma vez que os outros parâmetros especificados tenham sido satisfeitos, o rendimento deve ser um fator determinante na seleção do motor, tendo em vista o elevado custo de operação dos motores elétricos, mostrado na Parte 1 deste Guia Técnico.

Figura 6 - Comportamento Típico do Rendimento em Função da Carga de um Motor de Indução Trifásica



Na Figura 6 observa-se que, para cargas pequenas, em relação a sua potência nominal, o rendimento é baixo. Isso acontece porque as perdas fixas tornam-se grandes comparadas com a potência fornecida, sendo preponderantes em relação à redução das perdas variáveis no cálculo do rendimento. Quando o carregamento do motor cresce, o rendimento se eleva e, quando o motor opera com mais de 50% de sua potência nominal, o rendimento é muito próximo dos valores de rendimento no-

minal e máximo, que para alguns motores ocorre em torno de 75% da potência nominal. No Anexo A apresentam-se as curvas Rendimento x Carregamento para o motor de 50 cv apresentado na Parte 1 deste Guia Técnico.

No Brasil, o rendimento nominal para motores trifásicos é determinado através da norma ABNT NBR 5383–1:2002, baseado no método de segregação das perdas com dinamômetro. Esta norma passará a fazer parte da família ABNT NBR 17094.

Fator de Potência

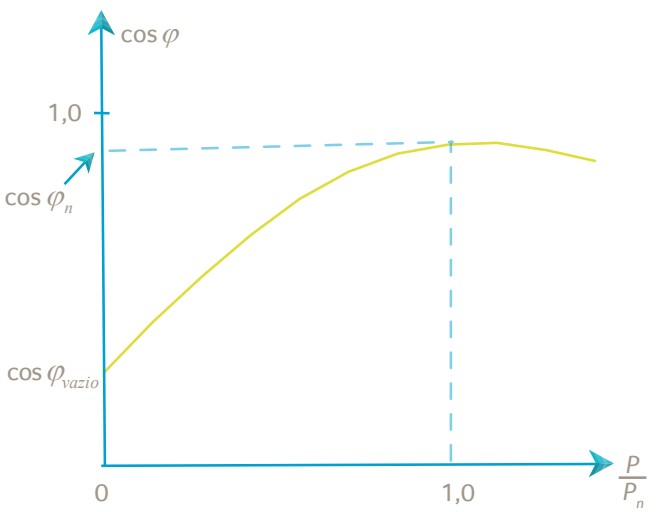
Este fator relaciona a potência que o motor realmente precisa para acionar a carga e suprir suas perdas internas, chamada potência ativa, e a potência total solicitada à rede, chamada potência aparente. A potência aparente engloba duas componentes distintas de potência:

- Potência ativa (P) relacionada com trabalho mecânico e perdas, W;
- Potência reativa (Q) necessária para magnetização, ou seja, para assegurar a existência dos campos magnéticos, VAr.

É importante que se trabalhe com valor de fator de potência próximo a unidade. A legislação atual exige que os consumidores do grupo tarifário A (no geral, os maiores consumidores, com tarifação binômia: pagamento pela energia e pela demanda) operem com fator de potência mínimo de 0,92 indutivo ou capacitivo, de acordo com o período do dia. Abaixo deste valor existem penalizações financeiras aos consumidores (artigo 95 da Resolução Normativa nº 414/2010).

A correção do fator de potência geralmente pode ser feita com a instalação de capacitores, que fornece reativo para a carga, reduzindo a potência aparente fornecida pela concessionária. Outra solução, porém, pode ser a eliminação ou diminuição da quantidade de motores elétricos operando em vazio, com baixo carregamento ou superdimensionados.

Figura 7 – Comportamento Típico do Fator de Potência em Função da Carga de um Motor de Indução Trifásico



Analisando-se a Figura 7, verifica-se que em vazio o fator de potência é muito baixo. Isso acontece porque a potência ativa entregue ao motor é praticamente a necessária para suprir somente as perdas, sem realizar trabalho. Efeito análogo ao que ocorre em vazio ou com pouca carga, ocorre quando o motor está superdimensionado. Observa-se que o fator de potência cresce com o carregamento do motor, atingindo valores mais próximos a unidade quando o motor está operando a partir de 75% de sua potência nominal.

O fator de potência depende da qualidade do material magnético utilizado e do projeto. A normalização não fixa valores mínimos de referência. No momento da compra, o usuário deve consultar o catálogo do fabricante, analisar seu comportamento com a carga e o impacto no aumento da potência reativa da instalação.

Fator de Serviço

O fator de serviço é um multiplicador que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada ao motor, sob tensão e frequência

nominais e com limite de elevação de temperatura do enrolamento estabelecido. A utilização do fator de serviço implica em vida útil inferior àquela do motor com carga nominal, devido à elevação da temperatura. Assim, deve ser utilizado apenas para atender a picos esporádicos de carga, sem que seja necessário superdimensionar o motor.

Além disso, os valores declarados, por exemplo, de rendimento e fator de potência não são garantidos pelo fabricante quando o motor estiver operando acima da potência nominal. A norma ABNT NBR 17094-1:2013 prevê que para motores de 1,5 a 200 cv, o fator de serviço quando especificado deve ser igual a 1,15 (para motores de gaiola, categorias N e H).

Características de Aceleração

Os motores de indução trifásicos com rotor de gaiola são classificados em categorias, segundo a norma ABNT NBR 17094-1:2013, conforme suas características de conjugado em relação à velocidade. Na Figura 8, apresentam-se as curvas típicas de motores das categorias N, H e D.

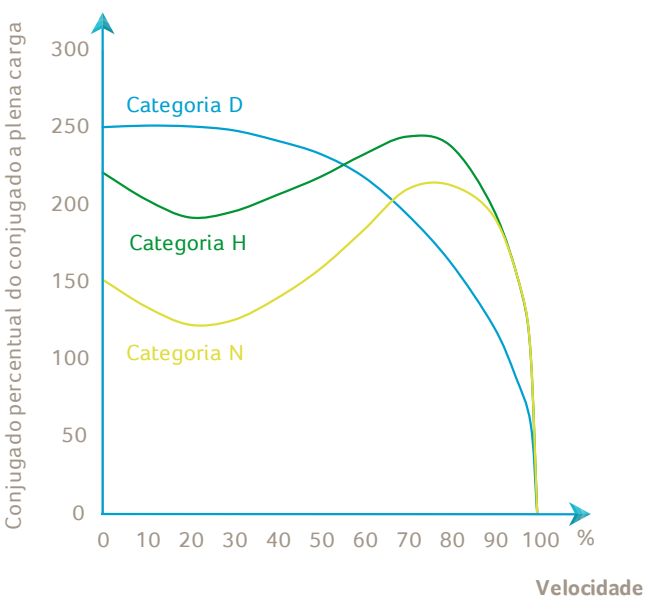


Figura 8 - Curvas de Conjugado por Velocidade das Diversas Categorias

Desta figura destacamos e definimos alguns pontos importantes:

- Conjugado nominal é o conjugado desenvolvido pelo motor à potência nominal, sob tensão e frequência nominais;
- Conjugado de partida ou com rotor bloqueado é o valor de conjugado que deve ser desenvolvido pelo motor quando o seu eixo está bloqueado;
- Conjugado mínimo é o menor conjugado desenvolvido pelo motor ao acelerar desde a velocidade zero até a velocidade correspondente ao conjugado máximo;
- Conjugado máximo é o maior conjugado desenvolvido pelo motor, sob tensão e frequência nominais;
- Escorregamento nominal refere-se à diferença relativa entre a velocidade do motor à plena carga e a velocidade síncrona.

Cada categoria é adequada a um tipo de carga e se caracteriza como:

- Categoria N - Possui conjugado de partida normal, corrente de partida normal e baixo escorregamento. Constitui a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bombas, máquinas operatrizes e ventiladores;
- Categoria H - Possui conjugado de partida alto, corrente de partida normal e baixo escorregamento. Usados para cargas que exigem maior conjugado de partida, como peneiras, transportadores, carregadores, cargas de alta inércia, britadores, etc;
- Categoria D - Possui o mais alto conjugado de partida, corrente de partida normal e alto escorregamento (superior a 5%). Usados em prensas excêntricas, onde a carga apresenta picos periódicos. Usados também em elevadores e cargas que necessitam de conjugados de partida muito altos e correntes de partida limitadas.

Adicionalmente às características apresentadas anteriormente, existem ainda, motores das categorias NY e HY, previstos para partida estrela-triângulo.

Características da Rede de Alimentação

A operação eficiente dos motores de indução trifásicos depende, dentre outros fatores, da qualidade da rede elétrica de alimentação. As principais distorções que ocorrem nas redes trifásicas são:

- Variação da tensão;
- Desequilíbrio da rede trifásica, com as tensões apresentando diferentes amplitudes e/ou defasagens;
- Conteúdo de harmônicos.

Uma visão mais detalhada de cada distorção é apresentada na Parte 3, a seguir.

Características Construtivas

As carcaças dos motores elétricos, conforme as características do local em que serão instalados e de sua acessibilidade, devem oferecer um determinado grau de proteção padronizado. Assim, por exemplo, um motor a ser instalado num local sujeito a jatos d'água, deve possuir uma carcaça capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência, sem que haja penetração de água. A padronização consiste no código IP (*Ingress Protection*) seguido, normalmente, de dois algarismos, de acordo com a IEC 529. O primeiro algarismo se refere a contato com sólidos e o segundo se refere a contato com líquidos.

COMO OPERAR MOTOR *PREMIUM*

Parte 3

Dicas para Prolongar a Vida Útil do Motor

O motor de indução trifásico é uma máquina robusta e quando utilizado apropriadamente irá operar vários anos com o mínimo de manutenção. Manutenções preventivas e inspeções periódicas do motor e do sistema elétrico de alimentação irão aumentar ainda mais a sua vida útil.

A vida de um motor praticamente termina quando o isolamento dos seus enrolamentos se deteriora, tornando-se ressecado e quebradiço.

A melhor maneira de prevenir defeitos é seguir as instruções de manutenção do fabricante e observar o desempenho normal do motor. A interpretação adequada destas observações pode ajudar a evitar sérios defeitos ou falhas do motor. Questões como as listadas abaixo devem ser respondidas:

- O motor está mais ruidoso que o normal?
- A temperatura na carcaça do motor está maior que o normal?
- O tempo de aceleração do motor para atingir a velocidade de operação está maior que o normal?
- Há um aumento da vibração?

Os Cuidados na Limpeza do Motor

A limpeza do motor é um ponto primordial da sua manutenção. A presença de poeira, umidade, partículas em suspensão, óleo, etc. são uma das principais causas de falhas dos motores. Falhas do sistema isolante são frequentemente causadas pela ação da umidade.

A limpeza da superfície externa é extremamente importante, pois é através dela que o calor gerado pelas perdas do motor é liberado para o exterior. Uma camada de sujeira dificulta a liberação deste calor, o que provoca a elevação de temperatura, principalmente nos motores em regime contínuo. Isto pode reduzir consideravelmente a vida útil da isolação do enrolamento. Esta limpeza deve ser feita esfregando-se um pano (que não solte fiapos) embebido em solvente.

A presença de sujeiras e/ou resíduos estranhos no óleo de lubrificação do mancal ou na graxa do rolamento provoca alterações nas suas propriedades lubrificantes, aumentando as perdas por atrito e, consequentemente, a temperatura.

A grade de proteção do ventilador nunca deve acumular detritos, para se obter uma boa renovação do ar de refrigeração.

A Lubrificação do Rolamento e do Mancal

Os mancais devem ser periodicamente inspecionados, de modo a garantir uma lubrificação correta. Uma consulta ao fabricante ou seu representante local, aliada à própria experiência prática do usuário, pode definir a periodicidade desta inspeção.

O fabricante do motor sempre apresenta recomendações sobre procedimentos e uso das graxas ou óleos lubrificantes adequados ao seu produto.

Não se deve misturar diferentes graxas, pois elas podem se deteriorar mutuamente e, consequentemente, privar o rolamento da lubrificação adequada.

Uma quantidade reduzida ou um volume excessivo de lubrificante nos mancais é prejudicial ao motor. O excesso de graxa é uma das causas mais comuns de falhas do rolamento, pois aumenta o atrito e, consequentemente, a temperatura.

Vibração

Um notável aumento na vibração do motor é um indicativo de defeitos. Se isto ocorrer, verificar:

- Se os parafusos da montagem estão apertados;
- Se o eixo está apropriadamente alinhado;
- Se alguns rolamentos devem ser trocados.

Identificar a fonte de vibração pode, às vezes, ser difícil. Neste caso, o usuário deve procurar uma assistência técnica especializada.

Regime de Partidas do Motor

Devido ao valor elevado da corrente de partida dos motores de indução, o tempo gasto na aceleração de cargas de inércia apreciável resulta na elevação rápida da temperatura do motor. Se o intervalo entre partidas sucessivas for muito reduzido, isto levará a uma elevação de temperatura excessiva nos enrolamentos, danificando-os ou reduzindo a sua vida útil. A norma ABNT NBR 17094-1:2013 estabelece um regime de partida mínimo que os motores (categorias N, H e D) devem ser capazes de rea-

lizar: duas partidas consecutivas a frio (com retorno ao repouso entre partidas) e uma partida a quente, após terem funcionado nas condições nominais.

Em cada caso, uma partida adicional é permitida somente se a temperatura do motor antes da partida não exceder a temperatura de equilíbrio térmico sob carga nominal.

No caso de motores das categorias NY ou HY, os requisitos de partida são os mesmos apresentados anteriormente. Adicionalmente, entretanto, é necessário que o conjugado resistente seja reduzido, pois o conjugado de partida em "estrela" pode ser insuficiente para acelerar algumas cargas a uma rotação aceitável.

Sistema de Proteção

Os dispositivos de proteção devem ser corretamente dimensionados e instalados para proteger o motor durante as partidas, sobrecargas e curtos-circuitos. Se for instalado banco de capacitores de correção do fator de potência junto ao motor, então é necessário redimensionar os dispositivos de proteção.

Locais para Instalação de Motores

Deve-se evitar locais pouco ventilados que resultem no aumento da temperatura ambiente ao redor do motor, prejudicando a troca de calor do motor, tais como:

- Poços;
- Proximidades de paredes;
- Cubículos fechados;
- Saída da refrigeração de um motor na entrada da refrigeração do outro.

Influência da Rede Elétrica na Operação do Motor

Mesmo que o motor esteja em perfeitas condições, seu rendimento e sua vida útil podem ser reduzidos se o sistema elétrico apresentar uma baixa qualidade de energia. O monitoramento da tensão é uma maneira importante de prevenir problemas decorrentes de uma baixa qualidade de energia.

Variação da Amplitude da Tensão

O rendimento e o fator de potência dos motores de indução trifásicos variam segundo o valor da tensão de alimentação. Estes motores são projetados para suportarem variações de mais ou menos 10% da tensão nominal.

As principais causas de redução da amplitude da tensão são transformadores e/ou cabos subdimensionados e, também, fator de potência reduzido.

Quedas de tensão excessivas na rede também causam redução da tensão. Se o motor está conectado na extremidade final de um longo cabo de alimentação, pode ser conveniente uma reconfiguração do sistema.

Dependendo da causa, a tensão da rede pode ser restaurada por meio de alguns procedimentos como:

- Ajuste do *tap* do transformador, quando possível;
- Instalação de equipamentos de ajuste automático do *tap* do transformador, se a carga varia consideravelmente ao longo do dia;
- Instalação de banco de capacitores, que elevam a tensão ao mesmo tempo que corrigem o fator de potência;
- Redimensionamento dos cabos de alimentação.

Um valor de tensão acima do nominal acarreta redução (piora) do fator de potência e aumento da corrente de partida. Tensão permanentemente elevada pode ocorrer devido a uma ligação errada do *tap* do transformador.

Por outro lado, se um motor está superdimensionado, dependendo da carga acionada, talvez seja possível aumentar o seu fator de potência e a sua eficiência, alimentando-o com tensão reduzida.

Porém, como o conjugado dos motores de indução trifásicos é proporcional ao quadrado da tensão, motores alimentados com tensão abaixo do valor nominal apresentam dificuldades para partir ou acionar cargas de alta inércia. Por exemplo, se a tensão de alimentação for 80% do valor nominal, o conjugado de partida disponível será de 64% do seu valor original.

O nível de tensão da rede deve ser regularmente monitorado e registrado, preferencialmente durante um ciclo completo de operação.

Desequilíbrio da Rede Elétrica

Entre as causas do desequilíbrio de um sistema trifásico, a principal é a ligação desproporcional de cargas monofásicas, tais como, sistemas de iluminação e motores monofásicos. Outras causas de desequilíbrio podem ser:

- A utilização de cabos com bitolas diferentes. Isto pode ocorrer em pequenas instalações onde transformou-se uma rede monofásica em trifásica;
- Uma falta (curto-circuito) fase-terra não identificada;
- Um circuito aberto em algum ponto do sistema de distribuição.

O desequilíbrio das tensões provoca vários problemas, tais como:

- Desperdício de energia devido à existência de maiores perdas provocadas por altas correntes desequilibradas, que são dissipadas por efeito Joule, não contribuindo com a conversão da energia elétrica em energia mecânica;
- Elevação da temperatura acima dos limites aceitáveis pelo motor;
- Redução do conjugado disponível para a carga, pela existência de componente de campo magnético girante em sentido contrário ao da rotação do motor (de sequência negativa);
- Pequena redução do fator de potência.

Segundo a ABNT NBR 17094-1:2013, motores trifásicos devem estar aptos a operar em um sistema de tensões trifásicas nas seguintes condições:

- Com uma componente de sequência zero que não exceda 1% da componente de sequência positiva;
- Com uma componente de sequência negativa que não exceda 1% da componente de sequência positiva por um período prolongado ou 1,5% durante um período curto não superior a alguns minutos.

O cálculo do desequilíbrio, levando-se em consideração apenas amplitudes diferentes, pode aco-

bertar erros, mas como a medição da defasagem exige instrumentação sofisticada, a nível industrial, a ABNT NBR 17094-1:2013 admite, para fins práticos, que o desequilíbrio da rede seja definido pela seguinte expressão aproximada:

$$\text{Desequilíbrio de tensão} = \frac{\text{Máxima tensão medida - Valor médio das tensões medidas}}{\text{Valor médio das tensões medidas}} \times 100$$

Por exemplo, suponha que foram feitas medições nas três fases de uma rede e os seguintes valores foram encontrados: Va = 210 V; Vb = 215 V e Vc = 205 V.

- O valor médio é 210 V;
- A diferença entre a máxima tensão e o valor médio é 5 V;
- O desequilíbrio de tensão é 2,4% (100 x 5 / 210).

Na Figura 9 (retirada da referência 7) ilustra-se a influência do desequilíbrio das tensões no desequilíbrio das correntes, para as condições de partida, plena carga e em vazio. Por exemplo, um desequilíbrio de 2,4% das tensões provoca um desequilíbrio das correntes de plena carga na faixa de 16 a 20%.

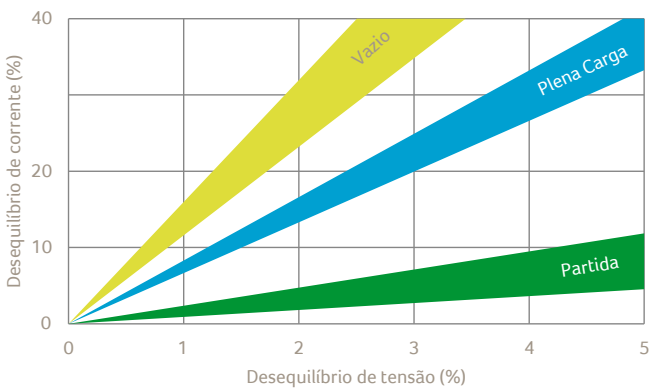


Figura 9 - Efeito do Desequilíbrio da Tensão nas Correntes de um Motor de Indução Trifásico

Estudos já demonstraram que um pequeno desequilíbrio de 3,5% na tensão pode aumentar as perdas do motor em 20%. Um desequilíbrio de 5% ou mais pode destruí-lo rapidamente.

Desequilíbrios severos (acima de 5%) causam problemas imediatos, mas pequenos valores, na faixa de 1% a 2%, também são prejudiciais, pois podem ocasionar aumentos significativos no consumo de energia por muito tempo, sem serem detectados, principalmente se o motor está superdimensionado. A tensão da rede deve ser regularmente monitorada e um desequilíbrio maior do que 1% deve ser corrigido.

Segundo a norma ABNT NBR 17094-1:2013, deve-se aplicar fatores de redução para a potência disponível no eixo de motores da categoria N quando os mesmos são alimentados por tensões desequilibradas, de modo que a elevação de temperatura admissível não seja excedida. Para as outras categorias e para potências nominais superiores a 630 kW, é recomendável consultar o fabricante ou examinar as medições de temperatura de funcionamento.

Na Figura 10 indicam-se os fatores de redução (previstos pela ABNT NBR 17094-1:2013) que devem ser adotados conforme o valor percentual do desequilíbrio das tensões da rede.

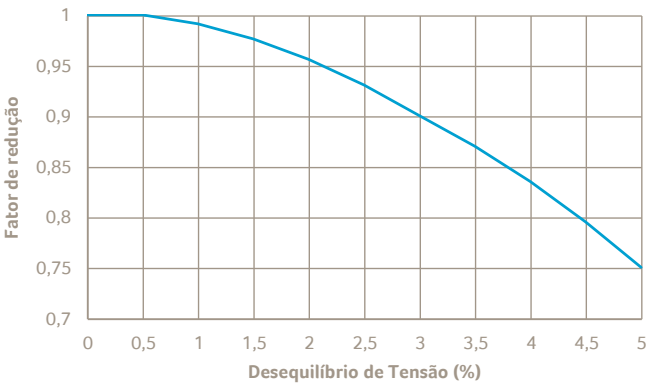


Figura 10 - Curva do Fator de Redução para a Potência Disponível no Eixo

Harmônicos

Dentre as diversas formas de se acionar um motor elétrico, existe o emprego cada vez maior de inversores de frequência. Ocorre que a utilização destes equipamentos causa distorção nas formas de onda da tensão e/ou da corrente. As curvas das tensões e correntes apresentam um comportamento diferente de uma senoide pura, contendo uma série de harmônicos.

Os harmônicos aumentam as perdas do motor, reduzem o conjugado disponível para a carga e provocam a existência de conjugados pulsantes. Conse-

quentemente, o motor apresenta aquecimento, vibração e redução de sua eficiência. Os harmônicos podem ainda ocasionar redução da vida útil, pela danificação dos rolamentos, fadiga no eixo ou deterioração do sistema de isolação devido ao aquecimento.

Segundo a ABNT NBR 17094-1: 2013, os motores de indução trifásicos (exceto os motores de categoria N) devem poder funcionar sob uma tensão de alimentação cujo Fator de Harmônicos de Tensão (FHV) seja igual ou inferior a 0,02; salvo declaração em contrário do fabricante. Os motores de categoria N devem poder funcionar sob uma tensão de alimentação cujo FHV seja igual ou inferior a 0,03.

O FHV deve ser calculado usando a seguinte expressão:

$$FHV = \sqrt{\sum \frac{u_n^2}{n}}$$

onde:

u_n - valor por unidade do harmônico de tensão, referido à tensão nominal;

n - ordem do harmônico (que não seja divisível por três no caso de motores trifásicos).

Geralmente é suficiente considerar os harmônicos de ordem inferior a 13.

Por exemplo, suponha um motor da categoria N alimentado por um inversor fonte de tensão de 6 pulsos. A tensão aplicada ao motor tem o seguinte conteúdo harmônico:

Ordem do harmônico	5	7	11	13
Amplitude do harmônico	Vn/5	Vn/7	Vn/11	Vn/13

$$FHV = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{5}\right)^2}{5} + \frac{\left(\frac{1}{7}\right)^2}{7} + \frac{\left(\frac{1}{11}\right)^2}{11} + \frac{\left(\frac{1}{13}\right)^2}{13}} = 0{,}11 > 0{,}03$$

Logo, a alimentação do motor por este inversor somente é permitida se forem utilizados filtros para os harmônicos.

Os motores *premium* suportam mais facilmente os efeitos prejudiciais dos harmônicos, por apresentarem uma maior margem térmica e menores perdas.

O que Fazer Quando o Motor Danificar?

A queima do motor provoca uma tomada de decisão: ou se compra um motor novo ou providencia-se o seu reparo. Esta decisão deve ser influenciada por:

- Custos de reparo e de aquisição de um motor novo;
- Custos operacionais do motor reparado e do motor novo;
- Idade do motor;
- Características elétricas ou mecânicas especiais;
- Necessidade de ter o motor de volta em operação imediatamente.

O reparo do motor, geralmente, apresenta um menor custo inicial em relação ao custo da aquisição do motor novo. Entretanto, o motor reparado pode apresentar um rendimento menor devido ao processo utilizado durante o reparo e/ou por originalmente já possuir baixo rendimento. Em geral, isto se deve ao fato de que no reparo do motor, as suas características elétricas e/ou magnéticas e/ou mecânicas de projeto podem ser alteradas, aumentando-se suas correspondentes perdas.

Uma das principais causas do aumento destas perdas é o processo utilizado para remoção das bobinas do estator. A prática normalmente utilizada é

de aquecer o núcleo numa estufa para facilitar a remoção do enrolamento. No entanto, se o núcleo do estator é aquecido demasiadamente, ele perde as suas propriedades através da ruptura da isolação entre as lâminas do pacote magnético, provocando aumento das perdas do núcleo. Outras práticas de remoção do enrolamento conhecidas são o uso de maçarico e o uso de combustíveis. Estas práticas são extremamente danosas e devem ser evitadas.

É fundamental que as perdas dos motores não sejam aumentadas durante o processo de reparo, pois isto aumentará o desperdício de energia elétrica.

Como apresentado, os motores elétricos são os maiores usos finais de energia elétrica no Brasil, tendo grande destaque em setores expressivos, como o industrial e comercial. Assim, podemos concluir que rebobinar ou não motores queimados deve ser uma decisão baseada não só na comparação de preços entre a compra de um motor novo ou do seu reparo, mas também no custo operacional do motor ao longo dos anos, que levará em consideração as horas de operação no ano, o preço da energia elétrica, a potência do motor elétrico e seu rendimento.

Se o reparo for a opção a ser adotada, é importante procurar uma empresa especializada envolvida com a questão do rendimento do motor.

Bibliografia

1. Empresa de Pesquisa Energética. Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.epe.gov.br. Acesso em: abril de 2016

2. Ministério de Minas e Energia. Balanço de Energia Útil - BEU. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: http://www.mme.gov.br. Acesso em: abril de 2016.

3. Filippo Filho, G. Motor de Indução. 2. ed. São Paulo: Érica, 2013.

4. Locatelli, E. R. Motor Elétrico – Guia Técnico Avançado da Eletrobras. Rio de Janeiro, 2004.

5. Associação Brasileira de Manutenção. A Situação da Manutenção no Brasil. Bahia, 2013. Disponível em: http://www.abraman.org.br. Acesso em: abril 2016.

6. ABNT NBR 17094-1 – Máquinas Elétricas girantes – Motores de Indução Parte 1: Trifásicos. Rio de Janeiro, 2013.

7. Eletrobras & Cepel, Guia Operacional de Motores Elétricos, 1998.

8. British Columbia Hydro (B.C.Hydro). High - Efficiency Motors. Power Smart.

9. Department of Energy - U.SA. & Bonneville Power Administration. Energy Efficient Electric Motor Selection Handbook, 1993.

10. Electrical Apparatus Service Association (EASA). Understanding A-C Motor Efficiency, 1994.

11. Empresa WEG. Catálogo WEG. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.weg.net/. Acesso em: abril de 2016.

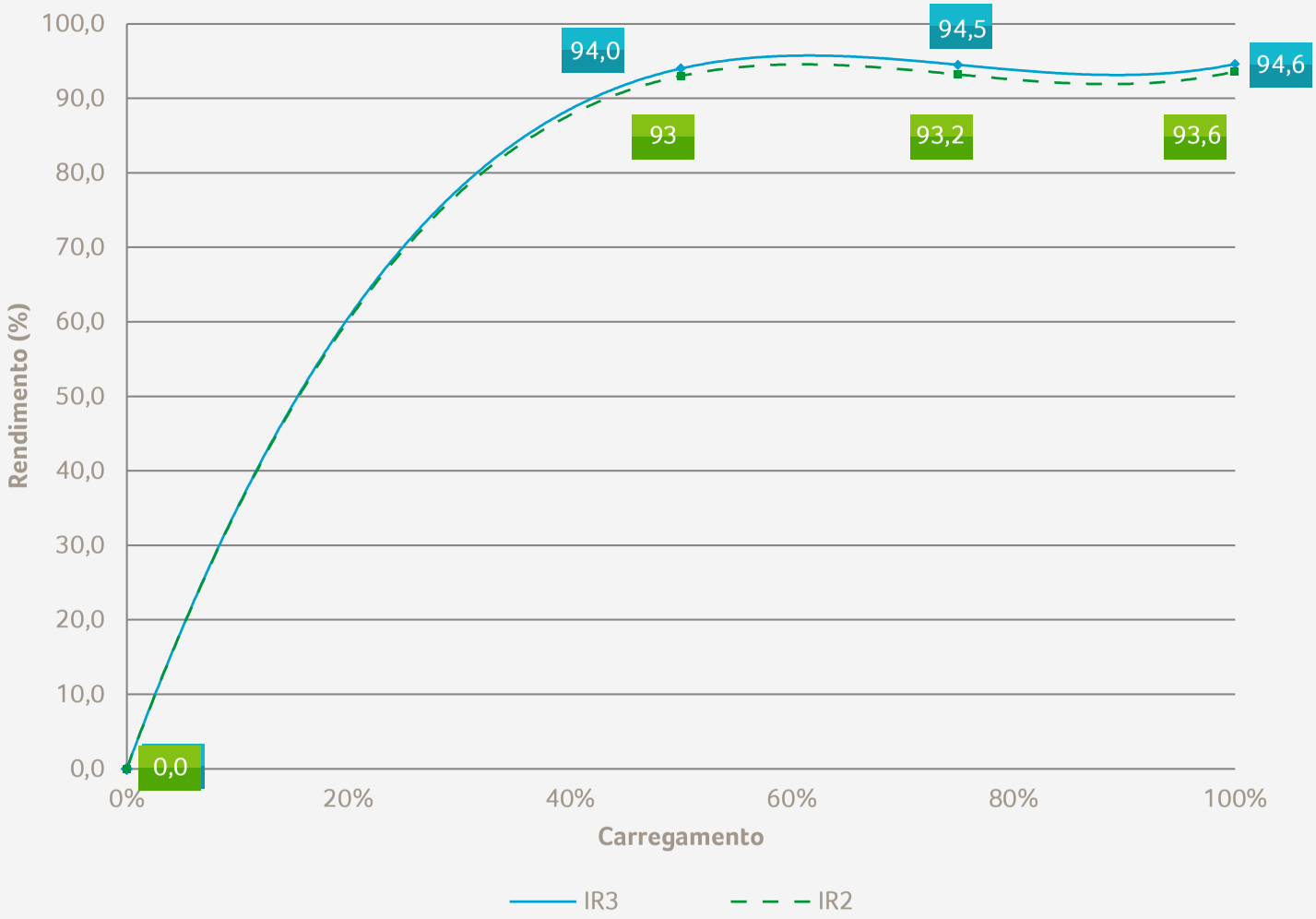
Anexo A

Curvas Rendimento x Carregamento para Motor Elétrico Analisado

Na Figura A, são apresentadas as curvas rendimento x carregamento para o motor elétrico de Indução Trifásico Rotor Gaiola de Esquilo, 50 cv, 220 V, 4 polos, analisado no exemplo apresentado na Parte 1 deste guia técnico. Estas curvas foram obtidas por meio de interpolação dos rendimentos para carregamento de 50%, 75% e 100%, obtidos em catálogo (referência 11).

Cabe destacar que, devido à ausência de valores de rendimento entre os carregamentos compreendidos no intervalo de 0% a 50%, os valores encontrados pela interpolação das curvas IR2 (alto rendimento) e IR3 (*premium*) foram praticamente os mesmos. Porém, considerando-se as características do motor *premium*, que o torna mais eficiente, apresentadas na Parte 1 deste guia, espera-se que os rendimentos permaneçam superiores aos do motor de alto rendimento em todos os carregamentos, como ocorreu para os pontos a 50% e 75% do carregamento.

Figura A - Curvas Rendimento x Carregamento para Motor Elétrico Analisado



Eletrobras

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras

Presidência	José da Costa Carvalho Neto
Superintendência de Eficiência Energética	Renata Leite Falcão
Assessoria Corporativa e de Novos Negócios em Eficiência Energética	George Alves Soares
Assessoria de Comunicação e Relacionamento com a Imprensa	Renata Petrocelli Bezerra Paes
Departamento de Projetos de Eficiência Energética	Marcel da Costa Siqueira
Divisão de Eficiência Energética no Setor Privado	Marco Aurélio Ribeiro Gonçalves Moreira
Autor	Carlos Aparecido Ferreira
Suporte técnico:	Bráulio Romano Motta Clareana Rangel de Oliveira Elizabeth Fiori Merçon Gabriel Pereira Rabha Leonardo Nunes Alves da Silva Samuel Moreira Duarte Santos
Autores / versão de 1998	Reinaldo Shindo George Alves Soares Ronaldo de Paula Tabosa

Cu International Copper Association Brazil
Copper Alliance

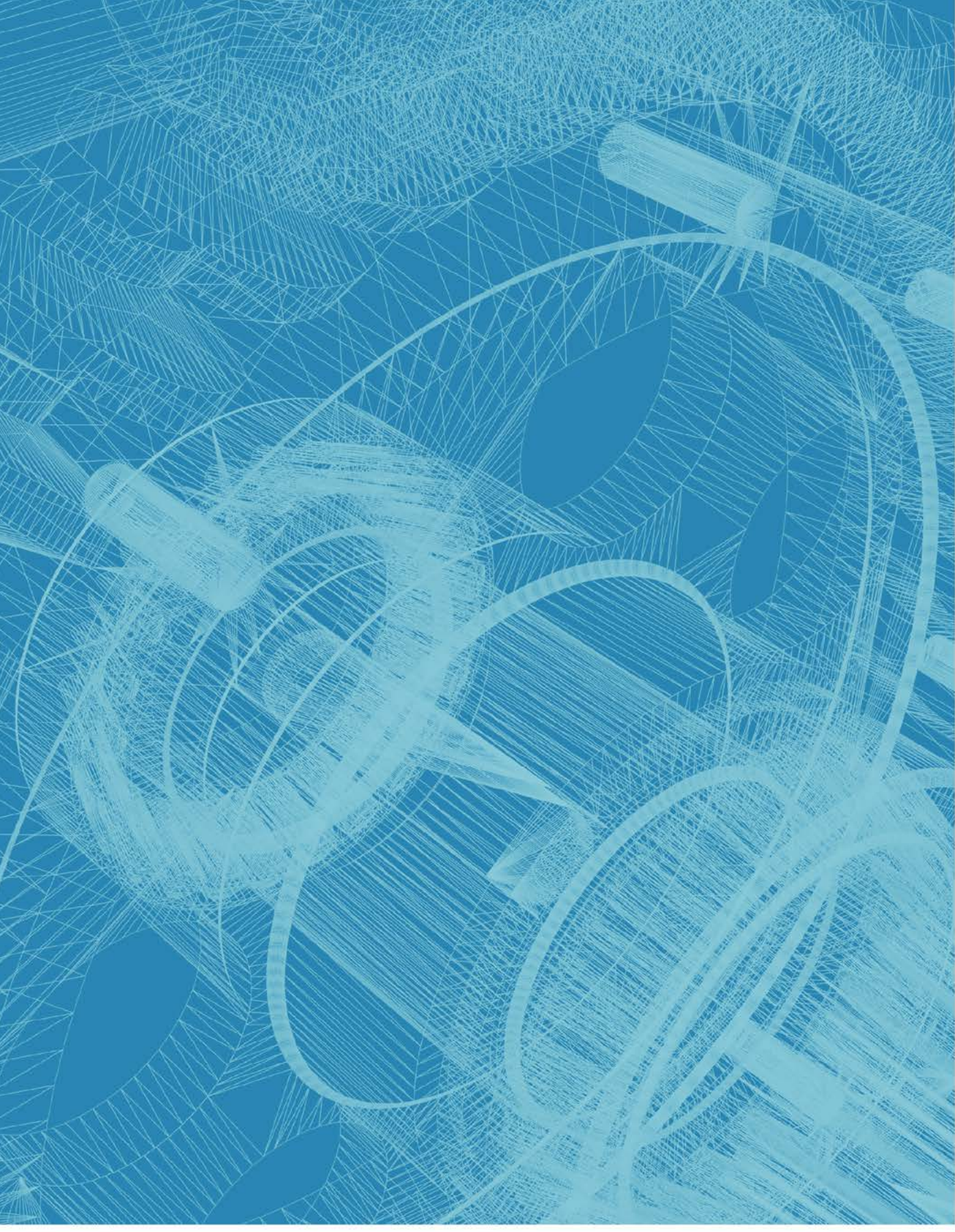
Procobre Brasil

Energia Sustentável na América Latina	Glycon Garcia Junior Carlos Simões de Campos

Projeto gráfico e editoração eletrônica

Abóboraxdesign
www.aboborax.com.br

Imagem de fundo da capa e introdução: cherezoff / 123RF Banco de Imagens
Texto composto na Família Foco e The Serif Office. Miolo impresso em couchê brilho 150 g/m²
e capa em Duo designer 250 g/m², com laminação alto brilho na frente e laminação fosca no verso.



International Copper Association Brazil
Copper Alliance

APOIO:

PROCEL
PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Eletrobras