



**COMO UTILIZAR  
MOTORES  
ELÉTRICOS  
DE FORMA MAIS  
EFICIENTE**



Os motores elétricos respondem por mais de 40% do consumo de eletricidade no Brasil. Na indústria, o consumo de eletricidade associado a motores é superior a 68%, e no setor comercial esta participação é de 48%.

Outro fator importante é a idade média dos motores em operação no Brasil, estimada em 17 anos. Motores de fabricação mais recente apresentam menores perdas elétricas, resultando em economia com energia para o consumidor.

Para a Neoenergia, é importante que seus clientes utilizem a eletricidade sempre de uma forma eficiente. Este guia apresenta conceitos e orientações para seleção e aplicação de motores elétricos de indução, garantindo seu uso de maneira mais eficiente.

As distribuidoras CELPE, COELBA e COSERN, do Grupo Neoenergia, apoiam o uso eficiente de energia por meio de seus Programas de Eficiência Energética, regulados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e outras ações institucionais.

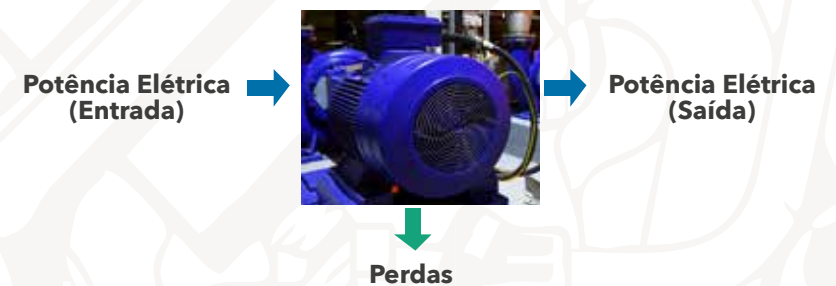
## CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Para que você possa utilizar seu motor de uma forma mais eficiente, é importante conhecer (ou relembrar) alguns conceitos e definições. Os principais, considerando especificamente a eficiência no uso da energia, são os seguintes:

**Carga:** é a solicitação imposta a um motor, tanto do ponto de vista mecânico (acionamento) como elétrico, em um dado instante.

**Potência nominal:** É a potência mecânica máxima que o motor pode fornecer no seu eixo em regime de trabalho normal usualmente expressa em cv.

**Potência elétrica:** é a potência absorvida pelo motor em sua alimentação, normalmente expressa em Watt (W).



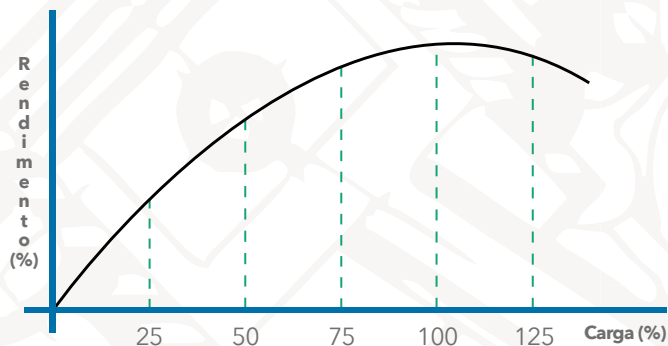
**Carregamento:** é a relação entre a carga mecânica verificada em operação e sua potência nominal, em %.

**Rendimento:** é a relação entre a potência mecânica (no eixo do motor) e a potência elétrica requerida, nas condições de operação, em %.

Os demais elementos que caracterizam um motor elétrico—como rotação, tensão nominal, conjugado e fator de serviço—são fundamentais para a adequada especificação de um motor, e devem ser observados com cuidado no momento da aquisição de um novo motor.

Para eficiência energética, é fundamental observar o rendimento do motor em suas condições efetivas de operação.

É importante destacar que o rendimento de um motor varia conforme seu carregamento: quanto maior o carregamento, maior o rendimento. Ou seja, um motor com baixo carregamento está operando com rendimento mais baixo, com maiores perdas elétricas.



Para se obter mais eficiência no uso de motores, deve-se buscar o maior rendimento para as condições de operação. Para isso, é importante:

- Selecionar adequadamente o motor, de modo que seu carregamento seja próximo a 100%.
- Utilizar motores de alto rendimento, reduzindo as perdas em comparação com motores convencionais.

## MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

O uso de energia em motores elétricos pode ser reduzido quando elevamos seu rendimento – a conversão entre a potência elétrica absorvida e a potência mecânica disponível no eixo do motor.

Os fabricantes de motores, em combinação com iniciativas governamentais, ao longo do tempo vêm aumentando o rendimento dos motores disponíveis no

mercado. As classes de rendimento são apresentadas em normas técnicas, e identificadas por Índice de Rendimento (IR).

As classes são identificadas como:

- IR1: Padrão
- IR2: Alto Rendimento
- IR3: Premium

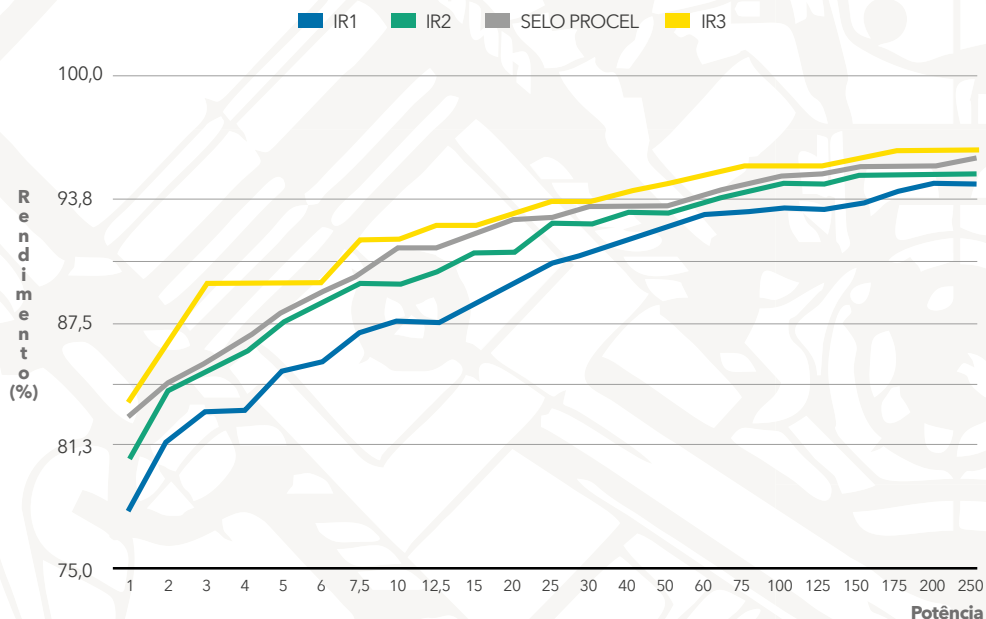
Atualmente, só podem ser fabricados ou comercializados no Brasil motores trifásicos de classe IR2 ou superiores, cujos rendimentos mínimos a plena carga dos motores são definidos na Norma ABNT NBR 17094-1:2013.

Motores de indução trifásicos, em seus tipos e faixas de potências mais usuais, recebem etiqueta do Programa Brasileiro de Etiquetagem, atestando que cumprem os requisitos de eficiência da NBR 17094. Há também o Selo PROCEL de economia de energia, que destaca motores com rendimentos superiores aos mínimos estabelecidos para a classe IR2.



Alguns fabricantes já disponibilizam motores da classe IR3 ("Premium"), IR4 ("Super Premium") e IR5 ("Ultra Premium").

A figura abaixo apresenta comparação entre os rendimentos, desde as classes IR1 até IR3 e Selo Procel, tendo como referência um motor de 4 polos.



No momento da aquisição de um novo motor, é importante observar os seguintes aspectos:

- **Regime de utilização do motor.** De uma forma geral, o uso contínuo de um motor favorece a aquisição de motores de mais alto rendimento, pois a diferença de preço pode ser justificada por uma maior economia de energia.
- **Planejamento da troca.** Os motores de classes de mais alto rendimento (IR3 em diante) normalmente não estão disponíveis para venda imediata. Com isso, pode ser perdida a oportunidade de uma solução atrativa do ponto de vista econômico, quando a troca é realizada por queima ou falha no motor existente.

Para identificar a melhor alternativa, é importante que a diferença de economia obtida com motores de mais alto rendimento seja comparada aos custos de cada

tipo de motor. É fundamental que esta identificação seja realizada em conjunto com o fornecedor, que permitirá a simulação de diferentes configurações de preço e economia.

## MAIS EFICIÊNCIA

Para um menor consumo de energia, além da classe de rendimento do motor elétrico, outros aspectos também devem ser observados.

### Dimensionamento do motor

Como já indicado, o rendimento de um motor cresce com seu carregamento. Se é possível a redução da potência nominal do motor para uma mesma aplicação, elevando o carregamento, o aumento do rendimento resultante pode ser maior que o alcançado com a troca por motores de classes de eficiência superiores.

O sobredimensionamento de um motor (o uso de um equipamento com potência maior do que a realmente necessária) cria uma falsa impressão de eficiência. O dimensionamento adequado é importante para redução das perdas – ou seja, desperdício de eletricidade.

### Carga acionada

Um motor elétrico consome energia para acionar outro equipamento – como bombas, ventiladores ou transportadores mecânicos. Além de um maior rendimento dos motores, a carga também merece ser avaliada em busca de maior eficiência do sistema.

- Para ventiladores e bombas, observar especialmente se o tipo de equipamento utilizado foi selecionado adequadamente, para os requisitos de vazão e pressão. Estes equipamentos também possuem um rendimento energético, que deve ser maximizado.

- Para compressores, verificar qual a menor pressão requerida para atendimento dos pontos de consumo.
- Para transportadores mecânicos, avaliar se o carregamento do dispositivo é adequado, evitando sobrecarregamento do motor.

### **Partida com soft-starters**

Soft-starters são dispositivos que permitem uma partida (e parada) mais suave do motor, estendendo a vida do motor e da máquina acionada.

A maioria dos soft-starters modernos possui um dispositivo de economia de energia. No entanto, a economia com soft-starters normalmente só é significativa para motores que operam com carregamento inferior a 50%.

### **Inversores de frequência**

Quando motores acionam cargas variáveis, deve ser avaliada a possibilidade de utilização de um inversor de frequência para seu acionamento.

Bombas e ventiladores centrífugos de vazão variável, principalmente, merecem uma atenção especial. Ainda é comum o emprego de válvulas para regulação da vazão, o que significa a introdução de perdas no sistema e de energia. A instalação de um inversor pode servir para modular a vazão, com significativos ganhos energéticos.

A seleção de um inversor deve ser realizada de forma criteriosa, pois:

- Nem todos os equipamentos acionados permitem variação na velocidade de operação (afetando, por exemplo, sua lubrificação);
- As condições para partida do motor podem ser alteradas, e o motor simplesmente não iniciar sua jornada;
- Deve ser garantida a ventilação do motor, diretamente afetada pela redução na rotação.

Além disso, o emprego de inversores normalmente exige a instalação de sensores e outros dispositivos de controle, tornando a instalação mais complexa.

### **Rebobinamento**

Quando um motor elétrico queima, muitas vezes se opta por seu reparo ao invés da aquisição de um equipamento novo. Normalmente, o rebobinamento representa aumento nas perdas do motor e dos custos com eletricidade, pois não há garantias de que o rendimento original não será afetado.

A aquisição de um novo motor de mais alto rendimento resultará em menor consumo de energia do que o rebobinamento de um motor. A diferença de preços entre um novo motor e o rebobinamento normalmente é compensado pela economia obtida.

## **VIABILIDADE FINANCEIRA**

Para que a viabilidade financeira da troca de um motor possa ser avaliada, devem ser considerados a economia prevista com esta substituição e o custo para realizá-la. Normalmente, consideramos que a potência de saída (mecânica) não é alterada com a instalação de um novo motor. Esta é uma boa aproximação. Veja abaixo dois métodos para calcular se a troca por um novo motor é vantajosa do ponto de vista financeiro. Estes métodos são simplificados e servem para uma primeira avaliação quanto à viabilidade financeira da troca de um motor.

### **Método 1: Dados nominais**

Este método leva em conta dados nominais do motor e cálculo simplificado do custo com eletricidade.

- Com uma conta de energia, calcule o custo médio da eletricidade dividindo o valor total da conta pelo consumo total. Se na conta forem indicados consumo em diferentes horários (ponta e fora de ponta), some estes dois valores.

$$\text{Custo médio (R\$/kWh)} = \frac{\text{valor total da conta (R\$)}}{\text{consumo total (kWh)}}$$

- Estime o tempo de operação do motor por ano, da seguinte forma:

$$\text{Horas/ano} = \text{horas/dia} \times \text{dias/semana} \times 52 \text{ semanas/ano.}$$

- Calcule o custo total com eletricidade para este motor:

$$\text{Custo anual (R\$/ano)} = \text{potência do motor (cv)} \times 0,736 \text{ (kW/cv)} \times \text{horas/ano} \times \text{custo médio (R\$/kWh)}$$

- A economia anual com a substituição do motor pode ser calculada, considerando o aumento de rendimento previsto, utilizando a fórmula abaixo:

$$\text{Economia anual (R\$/ano)} = \text{custo anual (R\$/ano)} \times \left( \frac{1}{n1} - \frac{1}{n2} \right)$$

Onde n1 é o rendimento do motor existente e n2 é o rendimento do motor novo.

O valor de n1 (rendimento do motor existente) pode ser obtido da própria placa do motor. Se não for possível, utilize os valores da classe IR1 da tabela como uma referência inicial.

O valor de n2 (rendimento do motor novo) pode ser obtido de catálogos e informações de fabricantes. A tabela também serve como referência, considerando os valores de rendimento apresentados para motores das classes IR2 e IR3 com 4 polos.

- Calcule o tempo de retorno simples para a substituição do motor:

$$\text{Tempo de retorno (ano)} = \frac{\text{custo do motor novo (R\$)}}{\text{economia anual (R\$/ano)}}$$

Rendimentos Nominais (motor 4 polos - plena carga)			
Potência(CV)	Classe IR1	Classe IR2	Classe IR3
1	0,78	0,81	0,84
2	0,82	0,84	0,87
3	0,83	0,85	0,90
4	0,83	0,86	0,90
5	0,85	0,88	0,90
6	0,86	0,89	0,90
7,5	0,87	0,90	0,92
10	0,88	0,90	0,92
12,5	0,88	0,90	0,92
15	0,89	0,91	0,92
20	0,90	0,91	0,93
25	0,91	0,92	0,94
30	0,91	0,92	0,94
40	0,92	0,93	0,94
50	0,92	0,93	0,95
60	0,93	0,94	0,95
75	0,93	0,94	0,95
100	0,93	0,95	0,95
125	0,93	0,95	0,95
150	0,94	0,95	0,96
175	0,94	0,95	0,96
200	0,95	0,95	0,96
250	0,95	0,95	0,96

### Método 2: Medição da potência de entrada

Este método é similar ao Método 1, porém considera a potência medida do motor, e não a potência nominal. Com isso, as estimativas de custo anual e economia se tornam mais precisas.

- Com um Wattímetro, meça a potência elétrica absorvida pelo motor em operação. Os cálculos do tempo de operação e do custo médio da eletricidade são iguais aos do Método 1. Para o custo anual, utilize a seguinte fórmula:

$$\text{Custo anual (R\$/ano)} = \text{potência medida (kW)} \times \text{horas/ano} \times \text{custo médio (R\$/kWh)}$$

- A economia anual com a substituição do motor é calculada utilizando a mesma fórmula já apresentada:

$$\text{Economia anual (R\$/ano)} = \text{custo anual (R\$/ano)} \times \left( \frac{1}{n1} - \frac{1}{n2} \right)$$

onde n1 e n2 são os rendimentos dos motores existente e novo, respectivamente, podendo ser obtidos da mesma forma do Método 1.

Com medição de potência, pode ser considerada a adequação da potência do motor. Lembrando que o rendimento de um motor é mais baixo quanto menor for seu carregamento. De uma forma geral, se a potência medida for metade do valor da potência nominal do motor, deve ser avaliada com atenção a possibilidade de utilização de um motor de potência menor que a do existente.

Além de um maior rendimento, a redução da potência do motor novo traz benefícios financeiros adicionais, pois seu custo de aquisição será menor. Ou seja, ocorre a combinação de dois benefícios: um ganho adicional de rendimento e um menor preço para aquisição.

### Exemplo de aplicação

Numa situação hipotética, uma fábrica pagou na última conta de energia R\$ 81.000,00, com um consumo total (somando períodos de ponta e fora de ponta) de 135.000 kWh. A fábrica funciona 18 horas por dia durante toda a semana. Deseja-se avaliar o tempo de retorno com a substituição de um motor de acionamento de um ventilador que funciona ininterruptamente durante o

expediente da fábrica. O motor existente é de 10 cv com 4 polos e o valor medido para a potência igual a 7,36 kW. Os preços para aquisição de novos motores de alto rendimento são R\$ 3.200,00 e R\$ 4.000,00 para classes IR2 e IR3, respectivamente.

- Calculando o custo médio da energia:

$$\text{Custo médio (R\$/kWh)} = \frac{\text{R\$ 81.000,00}}{135.000 \text{ kWh}}$$

$$\text{Custo médio (R\$/kWh)} = \text{R\$ 0,60 / kWh}$$

- Calculando o regime médio de funcionamento:

$$\text{Horas/ano} = 18 \text{ h/dia} \times 7 \text{ dias/semana} \times 52 \text{ semanas/ano} = 6.552 \text{ h/ano}$$

- Calculando o custo total com energia para o motor:

$$\text{Custo anual (R\$/ano)} = 7,36 \text{ kW} \times 6.552 \text{ h/ano} \times 0,60 \text{ R\$/kWh} = \text{R\$ 28.933,63 /ano}$$

- Utilizando a tabela com os rendimentos:

$$n1 \text{ (motor existente)} = 0,88$$

$$\text{Para o motor IR2, } n2 = 0,90$$

- Calculando a economia com a substituição do motor por um novo de classe IR2:

$$\text{Economia anual (R\$/ano)} = \text{R\$ 28.933,63 /ano} \times \left( \frac{1}{0,88} - \frac{1}{0,90} \right) = \text{R\$ 730,65 / ano}$$

- O tempo de retorno simples para este motor:

$$\text{Tempo de retorno (ano)} = \frac{\text{R\$ } 3.200,00}{\text{R\$ } 730,65/\text{ano}} = 4,4 \text{ anos}$$

- Para o motor IR3, n2 = 0,92

$$\text{Economia anual (R\$/ano)} = \text{R\$ } 28.933,63/\text{ano} \times \left( \frac{1}{0,88} - \frac{1}{0,92} \right) = \text{R\$ } 1.429,53 / \text{ano}$$

- O tempo de retorno simples para este motor:

$$\text{Tempo de retorno (ano)} = \frac{\text{R\$ } 4.000,00}{\text{R\$ } 1.429,53/\text{ano}} = 2,8 \text{ anos}$$

Pode ser visto que, embora apresente um investimento inicial mais alto, o tempo de retorno para um novo motor IR3 é menor.

## VIABILIDADE FINANCEIRA - MÉTODOS MAIS DETALHADOS

Um maior detalhamento na análise da viabilidade pode ser conseguido com:

- Utilização de softwares específicos para análise e dimensionamento de motores elétricos;
- Detalhamento dos custos com energia e regime de utilização do motor, diferenciados pelo período (ponta ou fora da ponta).

É importante também calcular com maior precisão o custo da energia elétrica utilizada, especialmente para clientes com tarifas horossazonais (em que o valor da energia é diferenciado conforme o horário, e há cobrança de parcela de demanda). Em métodos mais detalhados, deve-se:

- Determinar o regime de funcionamento do motor segundo o horário (ponta

e fora da ponta);

- Calcular valores unitários do consumo para cada um dos horários;
- Avaliar o impacto do ICMS. Clientes industriais normalmente recuperam parte do ICMS incidente sobre a conta de energia, que pode ser abatido do custo da eletricidade.

Para clientes no mercado livre, os custos com eletricidade devem considerar, conjuntamente, as parcelas de suprimento e conexão.

Os cálculos de viabilidade econômica devem considerar, também, o custo do capital a ser utilizado.



