

# Oportunidades de Economia de Energia na Partida e Operação de Motores de Indução

Motores Industriais

Motores Comerciais & Appliance

**Automação**

Digital & Sistemas

Energia

Transmissão & Distribuição

Tintas

**Guia comparativo**  
de torque, corrente e consumo de energia



Driving efficiency and sustainability



# SUMÁRIO

<b>Introdução</b>	03
Curva de corrente x velocidade de rotação do motor	04
Curva de torque x velocidade de rotação do motor	04
<b>Métodos de partida de motor</b>	06
Partida direta	06
Estrela-triângulo	07
Soft-starter	09
Inversor de frequência	09
<b>Exemplo de automação</b>	11
<b>Conclusão</b>	13

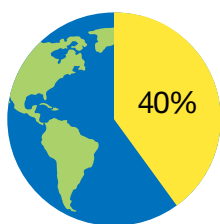


# Introdução

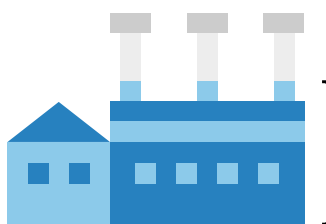
O consumo elétrico se refere à quantidade de eletricidade que uma instalação utiliza por hora, dia, mês ou ano. Esse consumo é comumente medido e cobrado por quilowatt-hora (kWh).

Na indústria, melhorias na eficiência energética podem reduzir o consumo de energia para fabricar um produto ou prestar um serviço, reduzindo custos de processo e produção, além de proporcionar outros benefícios sociais e ambientais.

Economia é obtida quando o consumo desnecessário de energia é eliminado. Nas indústrias, isso pode ser feito a partir de equipamentos mais eficientes ou por meio da automação de processos.



Estima-se que cerca de 40% da energia consumida no mundo esteja diretamente relacionada à indústria.



Decompondo isso no setor industrial, os motores elétricos são responsáveis por cerca de 68% do consumo de energia.

Estima-se também que 90% dos motores elétricos da indústria sejam motores de indução trifásicos.

Considerando essas estimativas e a relevância da demanda por energia dos motores de indução no consumo geral de eletricidade no mundo, este artigo técnico destaca as possibilidades de economia de energia com a utilização de motores elétricos combinados com equipamentos da WEG Automação. Este documento enfatizará possíveis economias em dois pontos de operação diferentes:

- Partida do motor
- Regime de serviço do motor

## Curva de corrente x velocidade de rotação do motor

Os motores de indução possuem uma curva definida de Corrente x Velocidade de Rotação quando alimentados com tensão e frequência nominais. A curva típica é ilustrada no gráfico a seguir:

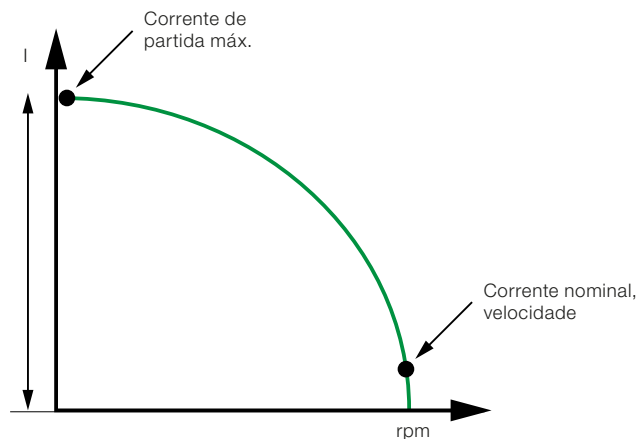


Figura 1 - Diagrama de corrente para um típico motor de gaiola de esquilo

Embora cada motor de indução possua sua própria curva característica, em geral, todos apresentam respostas semelhantes de corrente x velocidade. Você encontra a curva específica e demais informações sobre os motores WEG em suas folhas de dados.

O gráfico mostra que, ao dar partida em um motor de indução (a partir da velocidade zero) com tensão e frequência nominais, espera-se um alto nível de corrente enquanto o motor estiver acelerando até a velocidade nominal. Essa corrente de partida é muitas vezes maior (5 a 8 vezes) que a corrente nominal do motor. A relação entre a corrente de partida e a corrente nominal é especificada na folha de dados do motor WEG.

## Curva de torque x velocidade de rotação do motor

Os motores de indução também apresentam uma curva típica de Torque x Velocidade de Rotação quando alimentados com tensão e frequência nominais:

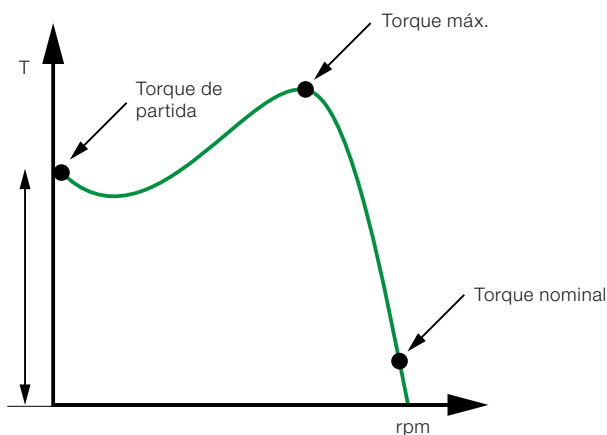


Figura 2 - Diagrama de torque para um típico motor de gaiola de esquilo





Torque é a medida da energia necessária para girar um eixo. Quando energia mecânica é aplicada na forma de um movimento rotativo, a potência desenvolvida depende do torque e da velocidade de rotação. A proporção é a seguinte:

$$P = \frac{T.n}{9555}$$

Onde:

**P** é a potência [kW];

**T** é o torque [Nm];

**n** é a velocidade de rotação do rotor [rpm].

A curva de Torque x Velocidade está relacionada à potência disponível no eixo do motor para ser fornecida à carga acionada. A WEG fornece a curva precisa de Torque x Velocidade dos seus motores.

Cada tipo de carga possui sua própria curva de torque exigido. Se o motor fornecer à carga acoplada um torque maior do que o solicitado, a demanda será atendida, e o motor acelerará. Se o torque entregue não for maior que o exigido, a aplicação não poderá ser acionada, e o motor não acelerará.

Assumindo uma curva de torque de carga aleatória chamada  $C_r$  e uma curva de torque do motor chamada  $C$ :

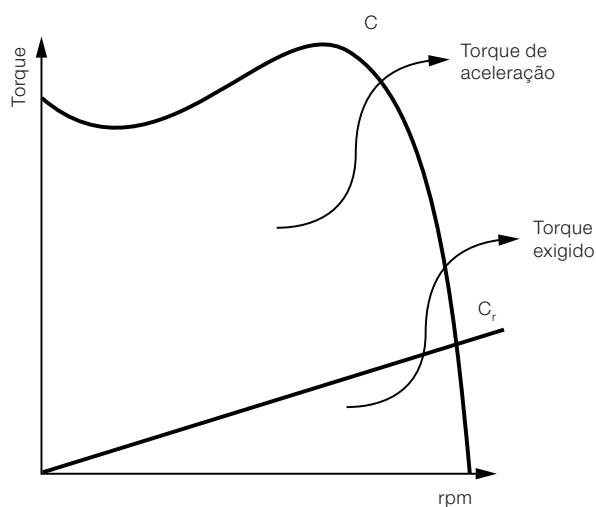


Figura 3 - Torque do motor e torque exigido pela carga

O gráfico mostra o torque disponível “C” que é fornecido pelo eixo do motor e o torque exigido pela carga “ $C_r$ ”. Enquanto o torque do motor for maior que o torque da carga, o motor acelerará. Esse torque excedente é chamado de torque de aceleração. Quando  $C_r$  é igual a  $C$ , a aplicação não acelera mais, e a velocidade permanece fixa naquele ponto.



# Métodos de partida de motor

Agora que foram apresentadas as curvas características do motor de indução, abordaremos alguns dos métodos de partida de motores e suas respostas em termos de torque e corrente.

## Partida direta



Figura 4 - Opções mais utilizadas de partida direta WEG

A partida direta é um método de partida que consiste em alimentar um motor elétrico puramente com sua tensão e frequência nominais. O motor é conectado à fonte de alimentação por meio de um contator/disjuntor/interruptor. O nível de tensão e a frequência na fonte de alimentação são fixos e serão a tensão e a frequência da rede elétrica. As Figuras 1 e 2 ilustram a resposta típica do motor de indução à partida direta.

A WEG possui diversas soluções para partida direta, desde a venda de componentes separados, que podem ser montados em painéis elétricos, até a venda do pacote completo em invólucros plásticos ou metálicos.

Na Figura 6, é ilustrado o torque de aceleração que, embora necessário, representa um “desperdício de energia” quando muito elevado. Quanto maior o torque disponível, maior será a potência mecânica entregue e, portanto, maior será a energia elétrica consumida. Um excesso de torque disponível (torque de aceleração) também pode estressar os acoplamentos e outras partes mecânicas da máquina acionada.

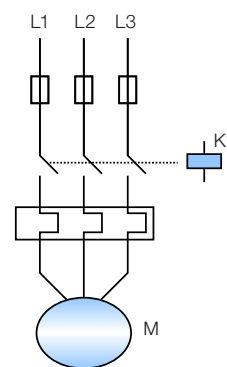


Figura 5 - Ilustração de um circuito elétrico da partida direta

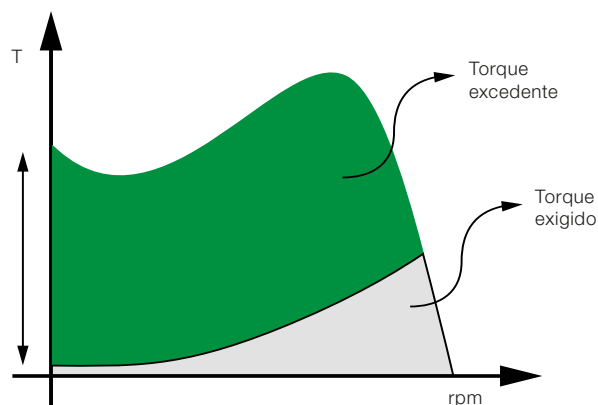


Figura 6 - Curva de Torque x Velocidade em uma partida direta

# Estrela-triângulo

A ideia principal da partida estrela-triângulo é reduzir a tensão nos enrolamentos do motor durante a partida. Tal método visa dar a partida no motor com seus enrolamentos ligados em Estrela (ou Y) e, após o período inicial de aceleração, alterar a ligação dos enrolamentos para Triângulo. Quando a ligação é em estrela, a corrente é reduzida entre 25 e 30% em relação à corrente de partida com a ligação em triângulo.

A ligação em estrela fornece menor tensão, corrente e, conseqüentemente, menor torque de partida ao motor.

Contator +  
Relé de Sobrecarga



Contator +  
Disjuntor

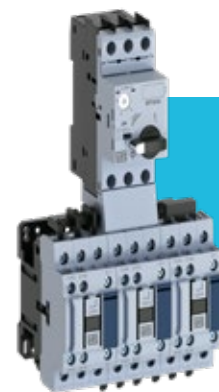


Figura 7 - Algumas opções de partida estrela-triângulo WEG

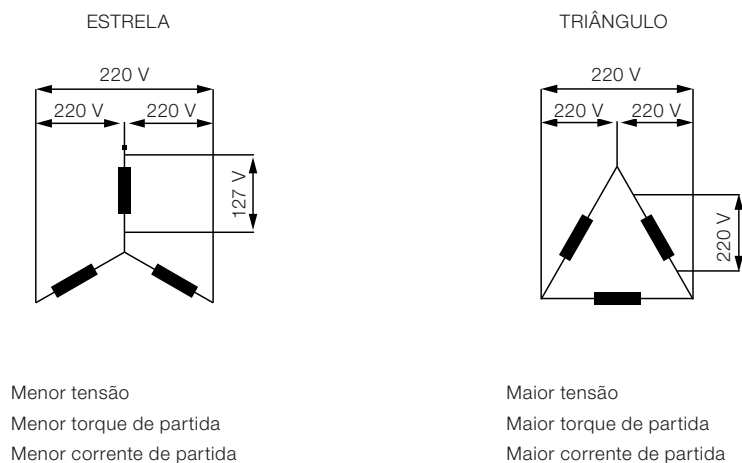


Figura 8 - Comparação entre as conexões em estrela e triângulo

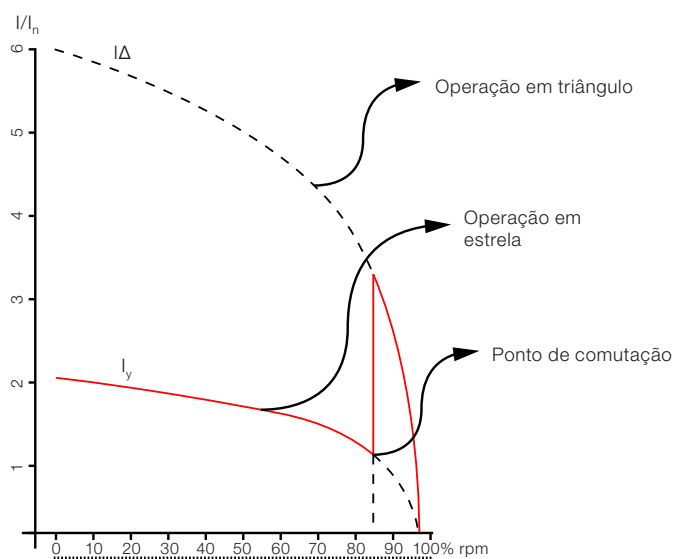


Figura 9 - Curva de Corrente x Velocidade na partida estrela-triângulo

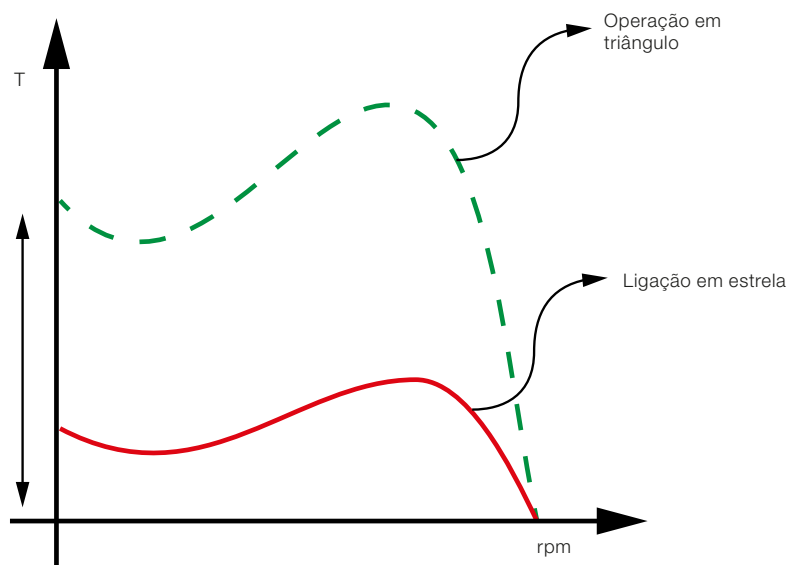


Figura 10 - Curva de Torque x Velocidade em ligações estrela e triângulo

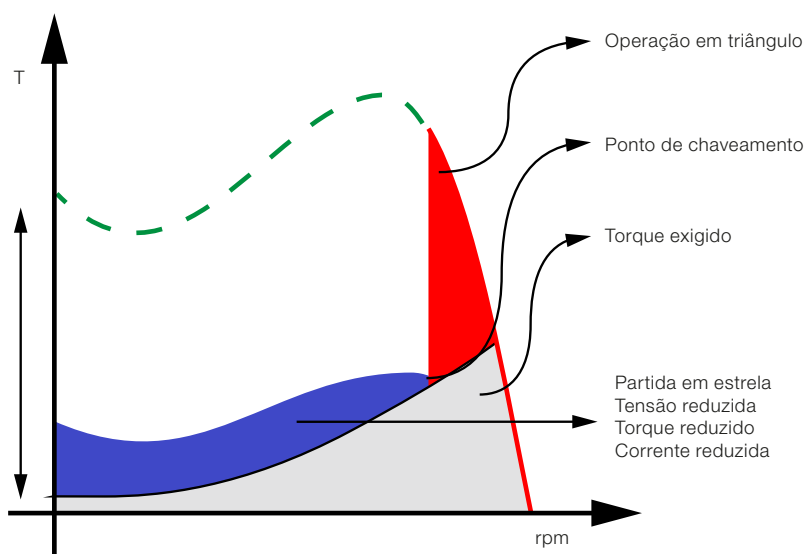


Figura 11 - Curva Torque x Velocidade na partida estrela-triângulo

Conforme mostrado nas figuras anteriores, fica claro que a partida estrela-triângulo pode ser mais eficiente que a partida direta em termos de economia de energia, uma vez que o torque de partida excedente é menor.



## Soft-starter

Soft-starter é um dispositivo projetado para dar a partida em um motor elétrico de modo suave, controlando a tensão fornecida ao motor. A tensão atinge seu valor nominal seguindo uma rampa de aceleração suave ao invés de ser submetida a incrementos ou picos repentinos.

As soft-starters WEG permitem que o usuário configure rampas de aceleração, rampas de tensão, rampas de corrente e muito mais.

Os gráficos a seguir ilustram as comparações entre os métodos de partida direta, estrela-triângulo e soft-starter. O gráfico da esquerda compara as curvas de Torque x Velocidade, e o gráfico da direita compara as correntes de partida. Para fins desses gráficos, a soft-starter foi considerada usando um método de partida por rampa de tensão.



Figura 12 – Soft-starter WEG SSW900

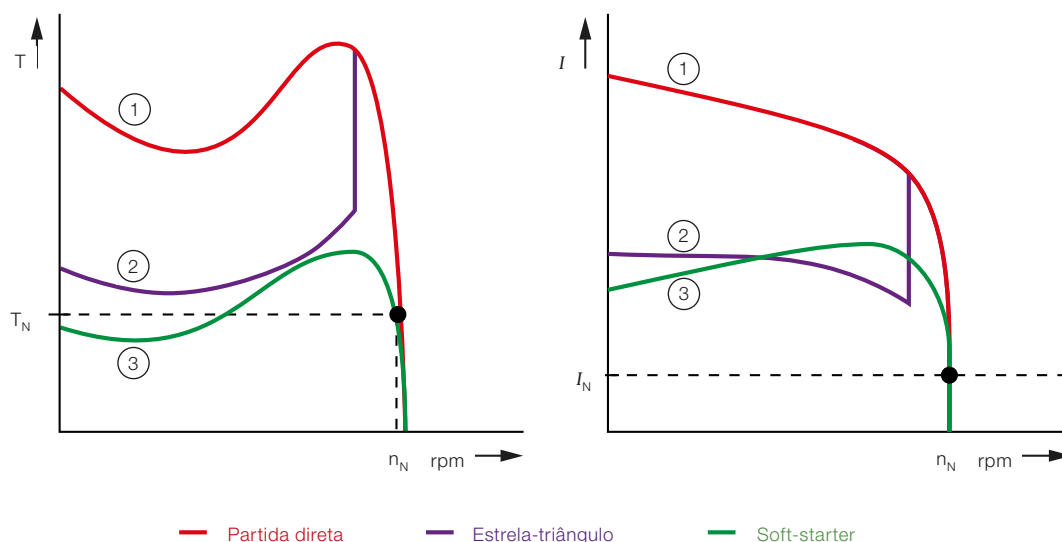


Figura 13 - Comparação de métodos de partida

As soft-starters permitem um aproveitamento otimizado do torque de aceleração. Essa partida produz menos torque e corrente para atingir a velocidade nominal e, portanto, consome menos energia elétrica na rampa de partida em comparação com as partidas direta e estrela-triângulo.

## Inversor de frequência

Um inversor de frequência é um dispositivo de controle de motores que protege e controla a velocidade de um motor de indução CA. Um inversor de frequência pode controlar a velocidade do motor durante o ciclo de partida e parada, bem como durante todo o ciclo de operação, controlando a tensão e a frequência fornecida ao motor.

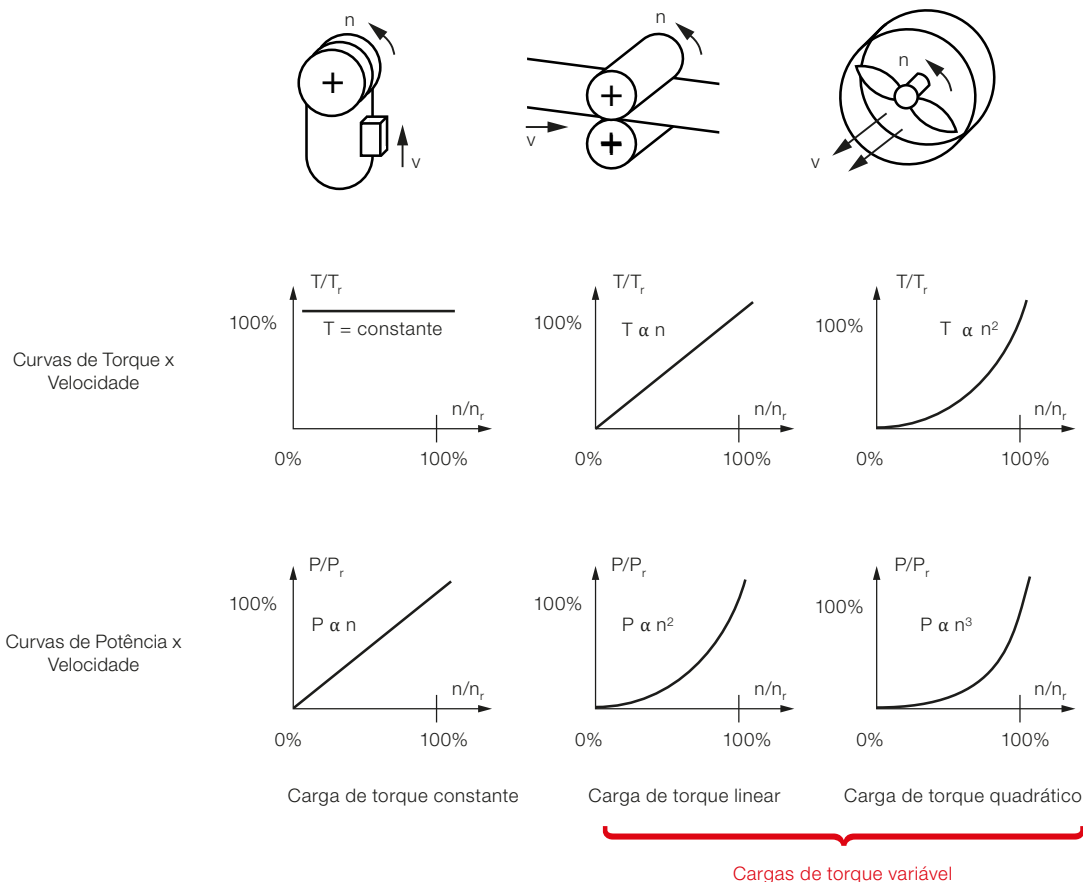
Em aplicações que não exigem que o motor opere em velocidade nominal o tempo todo, o uso de inversores de frequência pode levar a uma grande economia de energia. A potência transmitida é proporcional à velocidade do rotor multiplicada pelo torque, conforme apresentado na equação abaixo. Assim, quando a velocidade do motor diminui, a potência diminui.

$$P = \frac{T \cdot n}{9555}$$



Figura 14 - Inversor de frequência WEG CFW900

Observe que a economia de energia do inversor de frequência é ainda maior ao acionar cargas de torque variável (cargas que apresentam torque proporcional à velocidade) em velocidades abaixo da nominal. Os gráficos a seguir ilustram como o consumo de potência varia com a velocidade para cada tipo de carga.



Equipamentos centrífugos (por exemplo, ventiladores, bombas e compressores) seguem um conjunto geral de leis de afinidade de velocidade. Estas leis afirmam que a potência necessária é proporcional ao cubo da velocidade ou vazão. Isso significa que se a velocidade do motor cair, ocorrerá uma queda de potência cúbica.

Por exemplo, se um motor opera a 80% da sua velocidade nominal (redução de 20%), a potência necessária nesta nova velocidade é:

$$\frac{\text{Potência}_{80\% \text{ de velocidade}}}{\text{Potência}_{\text{velocidade nominal}}} = \left( \frac{0,8 \cdot \text{velocidade nominal}}{\text{velocidade nominal}} \right)^3$$

$$\frac{\text{Potência}_{80\% \text{ de velocidade}}}{\text{Potência}_{\text{velocidade nominal}}} = (0,8)^3 = 0,512$$

0,512 → Redução de 48,8%

Portanto, a potência necessária para operar um ventilador (ou bomba, ou compressor) a 80% da velocidade é quase **metade da potência nominal**.

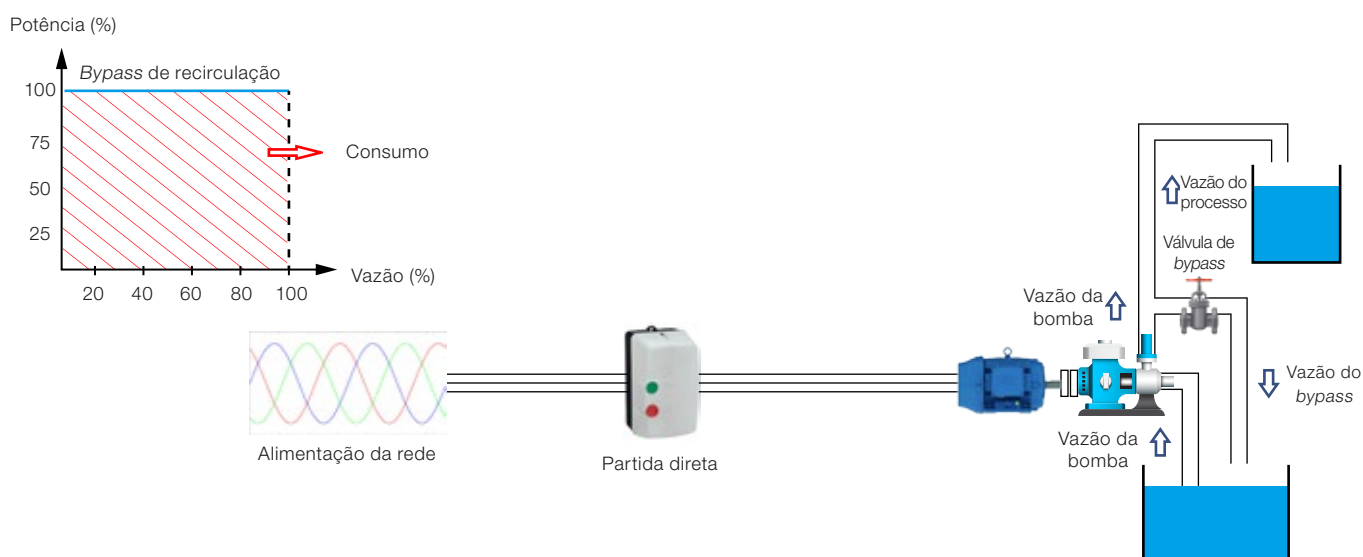
Para entender melhor onde essas aplicações podem ocorrer, apresentamos um exemplo.





# Exemplo de automação

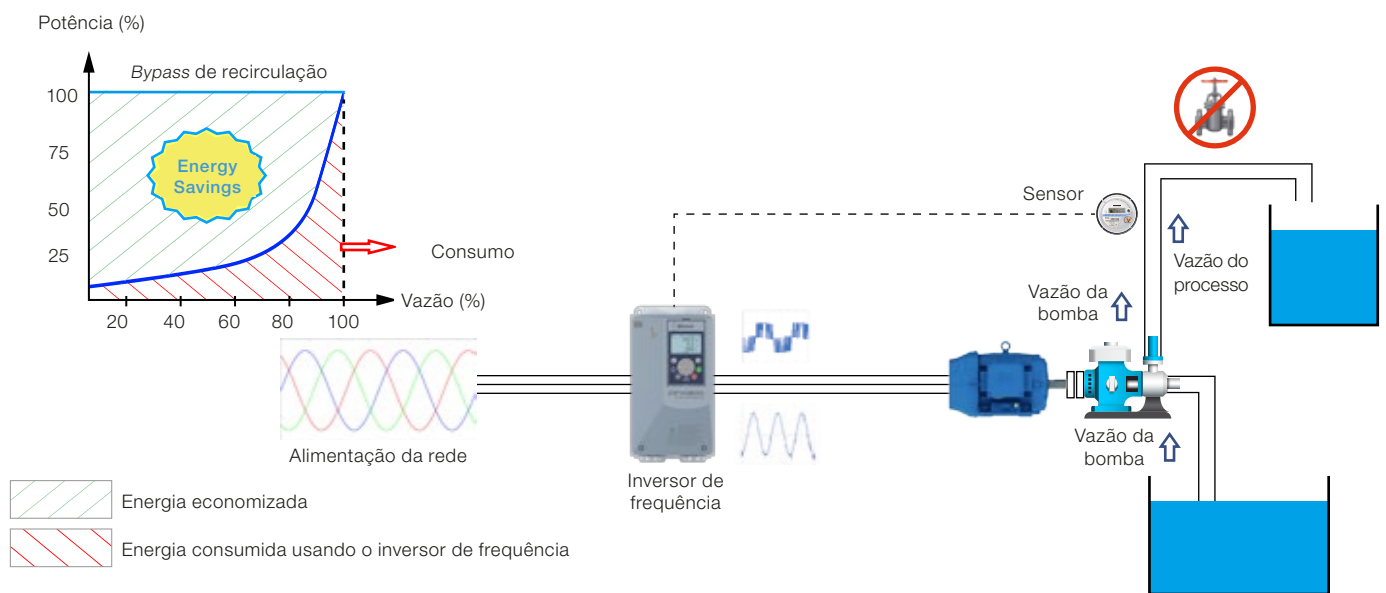
Em um sistema de bombeamento acionado por um motor com partida direta, uma válvula de *bypass* é usada para controlar a vazão da água em uma tubulação:



Note que, nessa aplicação, embora a vazão do tanque superior esteja controlada, a bomba funciona em plena carga, e o motor funciona sempre na velocidade nominal. Conseqüentemente, o motor exige a sua potência nominal da rede durante todo o ciclo de trabalho. O consumo de energia é constante, conforme apresentado no canto superior esquerdo.



Considerando agora o mesmo sistema acionado por um inversor de frequência WEG e sem a válvula de *bypass*:



O controle de vazão do sistema nesse cenário é feito através da variação da velocidade do conjunto motor/bomba, o que é possível devido ao inversor de frequência. Assim, ao diminuir a velocidade do motor, a potência mecânica e o torque do sistema também diminuirão e, conseqüentemente, a potência elétrica absorvida da rede também diminuirá, resultando em economia de energia.

Para tais aplicações, o regulador PID integrado aos inversores de frequência WEG pode ser utilizado para controlar um processo em malha fechada. Nesse exemplo, um transdutor de vazão é instalado nas tubulações e fornece um sinal de realimentação analógico para o inversor de frequência, que é comparado com um valor de referência (definido pelo operador), e o inversor de frequência controla a velocidade do motor para eliminar qualquer erro e manter a variável de processo igual ao valor de referência.



# Conclusão

Os motores de indução ocupam uma posição de destaque no consumo de energia elétrica nas plantas industriais. Embora parte dessa eletricidade consumida pelos motores de indução seja de fato necessária para entregar trabalho, parte dela pode ser considerada desperdício, e seu consumo pode ser otimizado.

Durante a partida do motor, em plena carga e frequência nominal, as características de partida do motor exigem níveis de corrente extremamente elevados que se transformam em alto torque de partida. Quando esse torque de partida é consideravelmente superior à demanda de carga, esse excedente é desperdiçado. Existem algumas opções para mitigar o desperdício na partida do motor que são:

- Partida estrela-triângulo: consiste em reduzir o nível de tensão para o motor durante parte da rampa de aceleração, diminuindo a corrente e o torque entregue. Como funciona durante parte da rampa de aceleração, a outra parte consumirá normalmente.
- Soft-starter: consiste em controlar o nível de tensão para o motor. Para aplicações em que nenhum controle de velocidade é exigido, esta opção otimiza a partida para sua melhor condição.

Agora, deixando de lado o período de partida, os motores de indução também podem estar realizando trabalho desnecessário ao acioná-los/alimentá-los com métodos que não alteram a frequência de alimentação (como a partida direta, estrela-triângulo e soft-starter), ou seja, que não têm capacidade de variar a velocidade. Assim, com uma velocidade fixa em uma aplicação, o motor fornecerá torque fixo. Esse torque fixo pode ser excessivo em certas condições de modo que ter a capacidade de variar a velocidade e o torque traria economia no consumo de eletricidade.

Considere um ventilador ou uma bomba. Operá-los com velocidade fixa produziria uma quantidade fixa de água bombeada ou de ar circulando. Quando em excesso, é necessário instalar um *damp*er para os ventiladores ou uma válvula de *bypass* para as bombas. Isso é certamente um desperdício de energia. Ao controlar a velocidade do motor (leia-se fluxo de água ou ar), evita-se a recirculação de água/ar, trazendo mais eficiência ao sistema e conseqüentemente reduzindo a demanda por energia elétrica.

Para todas essas opções, durante a partida ou a operação, a WEG tem o produto certo para atender às suas demandas. Contate a nossa equipe mais próxima para saber como se beneficiar do nosso portfólio de produtos.



O escopo de soluções do Grupo WEG não se limita aos produtos e soluções apresentados nesse catálogo.


**Para conhecer nosso portfólio,  
consulte-nos.**


**Conheça as operações  
mundiais da WEG**




**[www.weg.net](http://www.weg.net)**



 +55 47 3276.4000

 [automacao@weg.net](mailto:automacao@weg.net)

 Jaraguá do Sul - SC - Brasil