

## Capítulo II

# Oportunidades de eficiência energética em motores e em acionadores de velocidade ajustável (AVAs)

Por Antonio Sergio Alves de Lima\*

Na edição anterior foram abordadas as perspectivas de economia de energia com a eficiência energética no Brasil. Neste artigo trataremos das perspectivas em motorização, como é possível obter ganhos energéticos e as dificuldades encontradas na prática.

A força motriz tem uma participação expressiva no consumo de energia elétrica. No setor industrial, ela representa cerca de 70% (128 TWh) e no setor comercial e público representa 48% (35 TWh). Isso significa 38% do consumo total brasileiro (dados do Anuário Estatístico da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – 14/09/2012).

De acordo com diagnóstico realizado pela Confederação Nacional da Indústria em 2009, foi

estimado um potencial de economia na indústria, só em força motriz, de 12% (23 TWh). Já o Ministério de Minas e Energia (MME) estimou no Plano Nacional de Energia 2030, que o setor comercial e público pode obter, em força motriz, uma economia de 40% no cenário de viabilidade técnica; ou 30% (10 TWh) no cenário de viabilidade econômica; ou de 20% (7 TWh) em ações introduzidas naturalmente pelos usuários.

Por meio dos dados de 2009 do Plano Nacional de Energia 2030 e de matrizes consolidadas pela EPE com dados de 2005, foi possível montar a tabela a seguir, que mostra a energia em GWh relativa à força motriz na indústria por setor:

SETOR	CONSUMO (GWh/ANO)	PARTICIPAÇÃO NO TOTAL	FORÇA MOTRIZ (GWh/ANO)		PARTICIPAÇÃO FORÇA MOTRIZ	BOMBAS E VENTILADORES (GWh/ANO)	
ANO BASE	2009		2005				
LEGENDA	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Cimento	4.730	3%	99%	4.664	4%	35%	1.628
Ferro-Gusa e Aço	14.868	8%	84%	12.422	10%	24%	2.981
Ferro-Ligas	6.730	4%	3%	207	0%	24%	50
Mineração e Pelotização	8.208	4%	92%	7.584	6%	24%	1.820
Não Ferrosos e Outros	36.113	19%	30%	10.951	9%	24%	2.628
Química	23.155	12%	76%	17.641	14%	40%	7.056
Alimentos e Bebidas	23.488	13%	81%	18.942	15%	28%	5.247
Têxtil	7.713	4%	98%	7.521	6%	21%	1.579
Papel e Celulose	18.271	10%	95%	17.420	14%	54%	9.320
Cerâmica	3.494	2%	90%	3.145	2%	35%	1.101
Outros	39.509	21%	69%	27.458	21%	32%	8.732
Total	186.280	100%	69%	127.957	100%	33%	42.143

Para facilitar a compreensão desses dados, segue a explicação de cada coluna:

- (1) Consumo total de cada setor
- (2) Participação de cada setor no total
- (3) Percentual de consumo da força motriz sobre o consumo total de cada setor (1)
- (4) Consumo devido à força motriz
- (5) Participação de cada setor no total de força motriz (4)
- (6) Parcela da força motriz (4) destinada a bombas e ventiladores
- (7) Consumo devido à força motriz em bombas e ventiladores

### Como obter economia de energia na motorização

Os acionadores de velocidade ajustável, mais comumente conhecidos como inversores de frequência, desempenham um papel importante na eficiência energética quando se trata de motorização, pelos ganhos energéticos que eles podem proporcionar.

Existem diversas formas de se obter um ganho na motorização. A tabela a seguir mostra algumas ações possíveis:

Ação	GANHO APROXIMADO (%)
Perdas na transmissão, acoplamentos, etc.	2
Troca por motor de alto rendimento	3
Troca por motor de ímãs (IPM) com inversores	10
Otimização de processos com inversores com PID	25
Bombas e ventiladores com inversores	30
Uso de inversores regenerativos (ciclos de energia cinética/potencial)	50

A possibilidade de se variar a rotação do motor pelo inversor vem do fato que a rotação é função da frequência de alimentação:

$$\text{Rotação} = (120 \div n^\circ \text{ de pólos}) \times \text{frequência (0 a 60 Hz)}$$

Portanto, variando-se a frequência podemos controlar a rotação do motor.

Entretanto, deve-se garantir o torque que o motor deve oferecer. Isso é possível mantendo-se o seu fluxo magnético:

$$\text{Fluxo magnético} \times n^\circ \text{ de espiras} = \text{Tensão} \div (\text{Frequência} \times 4,44)$$

Ou seja, se mantivermos constante a relação entre a tensão e a frequência, mantemos o fluxo magnético e, portanto, o torque no eixo do motor.

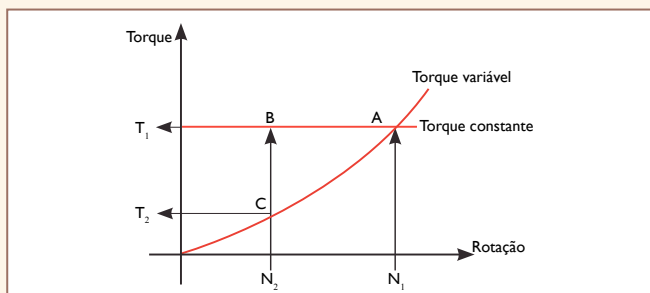
Existem dois tipos de carga:

- Torque constante: cargas que desde a partida do motor exigem um torque para serem movimentadas (ex.: ponte rolante, elevador, esteira transportadora).

- Torque variável: cargas cujo torque aumenta à medida que a rotação aumenta (ventiladores e bombas).

Mas como o inversor permite economizar energia?

A Figura 1 mostra os dois tipos de carga.



**Figura 1 – Tipos de carga.**

A potência consumida pelo motor é o produto do torque pela rotação.

Notem que para torque constante a variação de potência (do ponto A para B) é função só da rotação:

$$\Delta \text{Potência} = T_1 \times (N_2 - N_1)$$

Já para torque variável (do ponto A para C) teremos uma variação maior:

$$\Delta \text{Potência} = (T_1 \times N_1) - (T_2 \times N_2)$$

e a energia economizada será a variação de potência multiplicada pelo tempo:

$$\text{Energia} = \Delta \text{Potência} \times \text{tempo}$$

### Situações práticas

#### Ventiladores e bombas

No caso de ventiladores e bombas, é possível fazer o controle da vazão com restrição mecânica por meio de dampers e válvulas respectivamente. Estes equipamentos deslocam massa e não volume, e quando colocamos uma restrição, a diminuição da massa deslocada exigirá menos torque do motor e, portanto, proporcionará uma economia de energia. Mas ao mesmo tempo estamos introduzindo uma perda de carga (que é uma perda de energia) pela utilização do damper ou válvula.

Se, ao invés de utilizarmos a restrição mecânica, fizermos o controle pelo inversor de frequência variando a rotação, teremos as seguintes relações:

A vazão é diretamente proporcional à rotação:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left[ \frac{N_2}{N_1} \right]^1$$

A pressão estática é proporcional ao quadrado da rotação:

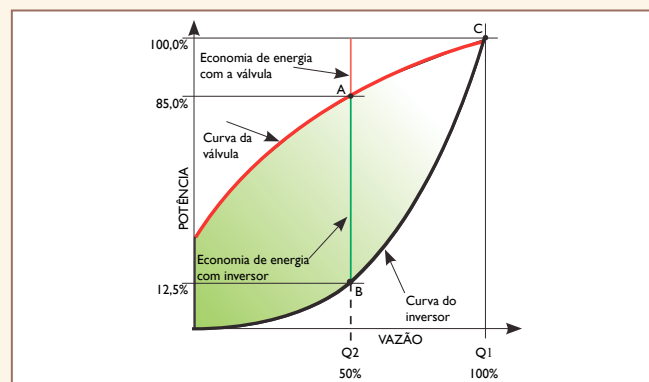
$$\frac{P_2}{P_1} = \left[ \frac{N_2}{N_1} \right]^2$$

Como a potência é função do produto entre a vazão e a pressão ( $W = Q \times P$ ), ela será proporcional ao cubo da rotação:

$$\frac{W_2}{W_1} = \left[ \frac{N_2}{N_1} \right]^3$$

Esta relação faz uma variação na rotação proporcionar uma grande variação na potência. Por exemplo, se reduzirmos a rotação para 50% da nominal, o resultado será que a potência consumida cairá para  $(0,50)^3 = 0,125$ , ou 12,5% e, neste caso, a economia será de 87,5%.

A Figura 2 mostra um exemplo da economia obtida com a restrição mecânica e com o inversor de frequência.

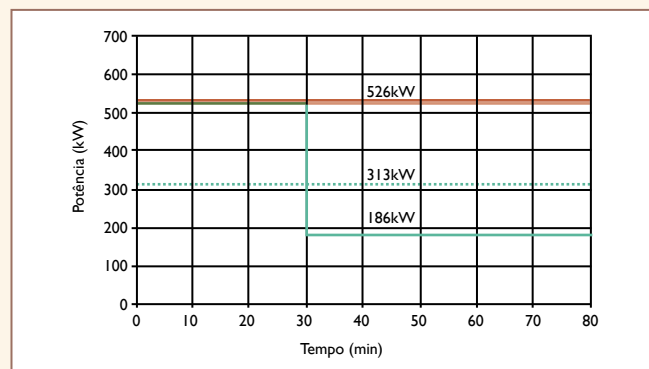


**Figura 2 – Economia de energia com inversor.**

No ponto C, temos 100% da potência para 100% da vazão. Se o sistema já atua com uma válvula restringindo a vazão, por exemplo, para 50%, o equipamento estará trabalhando no ponto A e tendo uma economia, por exemplo, de 15%. Mas, se retirarmos a válvula e instalarmos um inversor, passaremos a trabalhar no ponto B com 12,5% da potência. O trecho AB, que é a perda de energia provocada pela válvula, também representa a economia obtida com o inversor, que neste exemplo é de 72,5%.

### Operação por ciclo

Há também as aplicações em ciclos, nas quais numa parte do ciclo poderíamos alterar ou anular a rotação, porém o motor é mantido a 100% durante todo o ciclo ou a restrição



**Figura 3 – Operação por ciclos.**

é mecânica (damper ou válvula). Na Figura 3, é dado um exemplo desta aplicação. Supondo que o motor consome uma potência de 526 kW durante 80 minutos, com o inversor ele pode trabalhar nesta potência durante 30 minutos e nos 50 minutos restante cair para 186 kW.

A potência ativa média no ciclo nada mais é que a média ponderada dos valores, ou seja:

$$\frac{(526 \times 30) + (186 \times 50)}{80} = 313\text{kW}$$

#### Operação com controle por P.I.D.

Em processos que necessitam controlar vazão, pressão, temperatura, etc., através de set-point, podemos utilizar o controle pelo inversor de frequência, conforme é ilustrado na Figura 4. Nos momentos em que o consumo cai, a variável controlada sobe (por exemplo, a pressão). O inversor reduz a rotação para estabilizá-la e, neste momento, economiza energia.

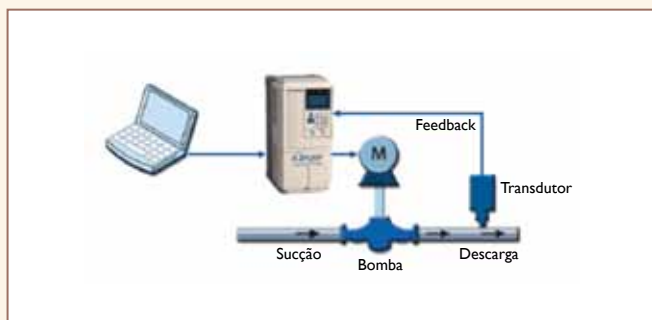


Figura 3 – Operação por ciclos.

#### Operação sob demanda

Neste caso varia-se a rotação de acordo com o tráfego (pessoas ou materiais). É uma aplicação apropriada para escadas ou esteiras rolantes e para esteiras transportadoras. Por exemplo, se não há tráfego de pessoas, a escada rolante pode ser movimentada em rotação baixa (indicando que está funcionando) e economizando energia. Se uma ou mais pessoas a utiliza, a rotação é aumentada. Se o tráfego aumenta, eleva-se mais a rotação. Após um tempo, se não houver mais tráfego, ela volta à rotação baixa.

#### Regeneração de energia

Em situações em que há uma movimentação vertical ou inclinada da carga (ponte rolante, elevador, esteira transportadora), temos um ganho de energia potencial ao subir a carga. Durante a descida esta energia pode ser recuperada com um inversor regenerativo e ser devolvida à rede para ser consumida por outro equipamento.

Outra possibilidade são os equipamentos com alta inércia,

tais como centrífugas, ônibus e trem elétrico, que também podem devolver energia para a rede.

#### Equipamentos passíveis de ganho energético com inversores

Basicamente qualquer equipamento que se enquadre nas situações descritas anteriormente é passível de economizar energia, porém dependerá do investimento necessário, valor do ganho e do tempo de pay-back para que se pague.

#### Resultados positivos em sistemas já instalados

##### Resumo

- Levantamento realizado em 14 sistemas;
- Economia obtida em 11 sistemas (de 36 a 58%);
- Ganho energético de 36 GWh/ano;
- Economia de R\$ 6,1 milhões/ano;
- Pay-back de 15 a 39 meses.

#### Ganho por sistema

SETOR	SISTEMA	GANHO ENERGÉTICO
Oficina de cilindros	Ponte rolante	53%
Aciaria	Ponte rolante	42%
Laminação a frio	Bomba de emulsão	36%
Convertedor	Exaustor de gases 1	58%
Convertedor	Exaustor de gases 2	58%
Convertedor	Exaustor de gases 3	58%
Convertedor	Exaustor de gases 4	50%
Convertedor	Exaustor de gases 5	50%
Sinterização	Ventilador do resfriador	53%
Laminação a quente	Bomba para filtragem de água	40%
Gasômetro	Bomba booster de BFG	57%

#### Dificuldades encontradas em projetos de eficiência energética

##### Barreiras

O CNI, por meio de entrevistas com profissionais de vários setores industriais, apresentou as seguintes barreiras (que nós também vivenciamos) que impedem efetivar potenciais de eficiência energética:

- Legislação desfavorável a investimentos industriais em energia;
- Ausência ou não adequação das linhas de financiamento para ações de eficiência energética;
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento;
- Necessidade de capacitação de pessoal para identificar

oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis;

- Aversão a riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consumam menos energia.

### **Contrato de performance**

Na edição anterior, foi mencionado o “contrato de performance”, por meio do qual a Esco, responsável pelo projeto de eficiência energética, recebe de acordo com a economia de energia obtida.

As dificuldades, dependendo do cliente no setor industrial, são:

- Medições de energia, antes de se adotar a solução técnica, que podem demorar até se obter uma medição confiável, ou com informações importantes que não são passadas pelos responsáveis do equipamento em estudo;
- Documentação legal exigida pelo cliente, podendo retardar o início do projeto;
- Execução do serviço durante uma parada de produção, que pode demorar meses para acontecer, pode ser adiada, ou pode ser em um tempo exíguo para se executar todo o serviço;
- Medições de performance com informações novas que não foram passadas na primeira fase do projeto;

- Burocracia para realizar o pagamento após a finalização das medições de performance.

Estas dificuldades atrasam e prolongam a finalização do projeto, ficando a Esco como “financiadora” do projeto por um tempo muito longo.

### **Conclusão**

Os números apresentados mostram que é possível obter ganhos energéticos consideráveis nas aplicações em motorização com inversores de frequência, porém será necessário vencer as barreiras existentes nas empresas.

Projetos com um tempo longo de execução só se tornarão viáveis se as condições financeiras obtidas no mercado forem mais favoráveis.

---

*\*ANTONIO SERGIO ALVES DE LIMA é engenheiro eletricista, formado em 1978. Atua na Yaskawa Elétrico do Brasil como engenheiro de aplicações. Coordenou a primeira fase do projeto de eficiência energética em motorização implantado na Usiminas em sete equipamentos de média tensão entre 200 kW e 1.800 kW.*

#### **Continua na próxima edição**

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osestoreletrico.com.br](http://www.osestoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)