



ECONOMIA DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO USO  
DE CONVERSORES DE FREQUÊNCIA EM APLICAÇÕES  
COM BOMBAS CENTRÍFUGAS E VENTILADORES

---

Henrique Matheus

Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Mato Grosso em (2003) e técnico em Eletrônica pela Escola Técnica Federal de Mato Grosso (1998).

Iniciou seu trabalho na EJM Engenharia em 1996 atuando nas áreas de projetos de elétricos e de automação.

## Introdução

Os conversores de frequência podem trazer outros benefícios, além da possibilidade de variação de velocidade em motores de indução trifásicos?

Esse pequeno trabalho tem como objetivo trazer algumas idéias, já conhecidas por um grande público, mas ainda obscuras para outros. Será que esses equipamentos podem economizar energia elétrica?

A resposta é sim. Pode-se conseguir economia de energia pela redução da velocidade de alguns dos maiores consumidores de energia nas instalações industriais e comerciais: bombas e ventiladores, utilizados principalmente em aplicações tipo HVAC (*Heat, Ventilation and Air conditioning* ou em português: Aquecimento, ventilação e ar condicionado).

Bombas e ventiladores, em instalações antigas, normalmente rodam a velocidade máxima o tempo todo. O ajuste do valor desejado de fluxo ou pressão é feito, normalmente, através de válvulas, dampers ou recirculadores. O que não apresenta eficiência do ponto de vista energético.

Quando usamos um VSD (Variable Speed Drivers ou em português: Dispositivo para Variação de Velocidade) para controle de bombas ou ventiladores, podemos conseguir consideráveis ganhos com a economia de energia.

## Como é a carga de uma Bomba Centrífuga ou um Ventilador?

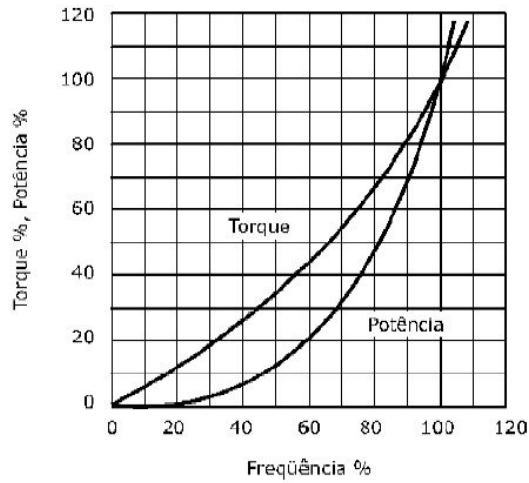
Antes de qualquer coisa convém citar a definição de carga da WEG em seu Guia de Aplicação de Conversores de Frequência: a palavra carga significa: “*O conjunto de componentes da máquina que se move, ou que está em contato e exerce influência sobre eles, começando a partir da ponta-de-eixo do motor*”. (WEG – Guia de Aplicação de Conversores de Frequência)

Observada essa definição, podemos dizer que a carga de um sistema centrífugo (bombas ou ventiladores) possui características quadráticas, pois, a massa do fluido movimentada por um de sistema como esse tem relação direta com a velocidade da máquina (quanto maior a velocidade da máquina, maior o volume do fluido movimentado). O torque angular é dado por  $T = J \times \alpha$ ,  $J$  é o momento de inércia da carga que é diretamente proporcional a massa da carga que por sua vez é proporcional a velocidade da máquina e  $\alpha$  é a aceleração angular da máquina que é diretamente proporcional a velocidade da mesma, portanto na equação do torque temos as duas variáveis diretamente proporcionais a velocidade, portanto  $T \propto n^2$ .

Já a potência demandada é  $P = T \times \omega$ , e como  $T \propto n^2$  e  $\omega = n$ , temos que  $P \propto n^3$ .

*“O torque demandado aumenta com o quadrado da velocidade de rotação, e a potência com o cubo (Figura 1). Exemplos típicos são máquinas que movimentam fluidos (líquidos ou gases) por processos dinâmicos, como, por exemplo, bombas centrífugas, ventiladores, exaustores e agitadores centrífugos. Estas aplicações apresentam o maior potencial de economia de*

*energia já que a potência é proporcional à velocidade elevada ao cubo”. (WEG – Guia de Aplicação de Conversores de Frequência).*



**Figura 1-Cargas Típicas (Torque com Crescimento Quadrático)**

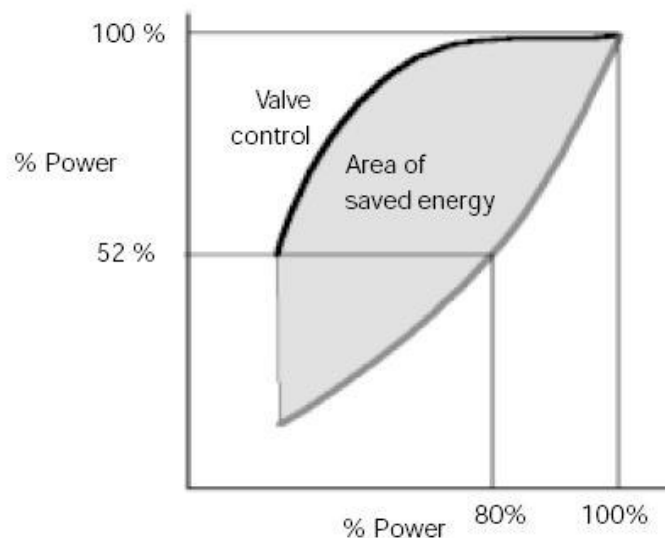
Portanto, se o motor rodar a uma velocidade de 80% da nominal, o consumo de energia será reduzido na ordem de 50%.  $P = f(n^3) = 80\%^3 = 51,2\%$

Sistemas de ventilação usando ventiladores de velocidade constante com dampers para controlar o fluxo de ar, consomem uma grande quantidade de energia, porque o motor é utilizado sempre na velocidade nominal.

Circuitos de bombeamento, como chillers, rodam com velocidade constante, desperdiçando água fria pela utilização de circuitos de by-pass, retornando o excesso de água fria não utilizado pela instalação.

A energia é desperdiçada em ambos, pelos motores da bomba e pela água fria desnecessária.

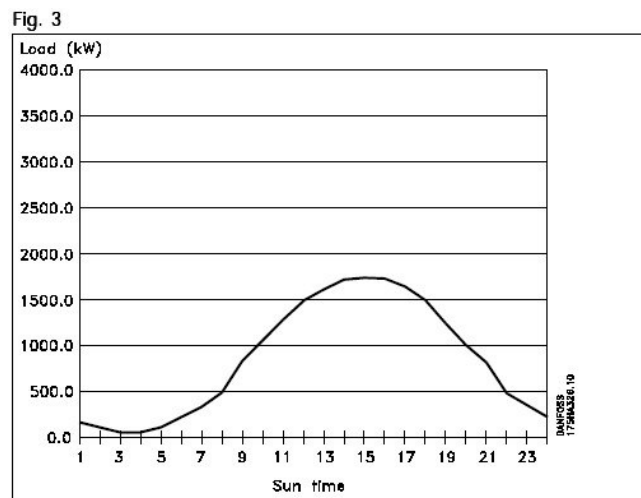
Em comparação com um sistema de velocidade constante, o consumo de um sistema utilizando VSD, pode ser calculado pela real necessidade: ( $P = n^3$ ).



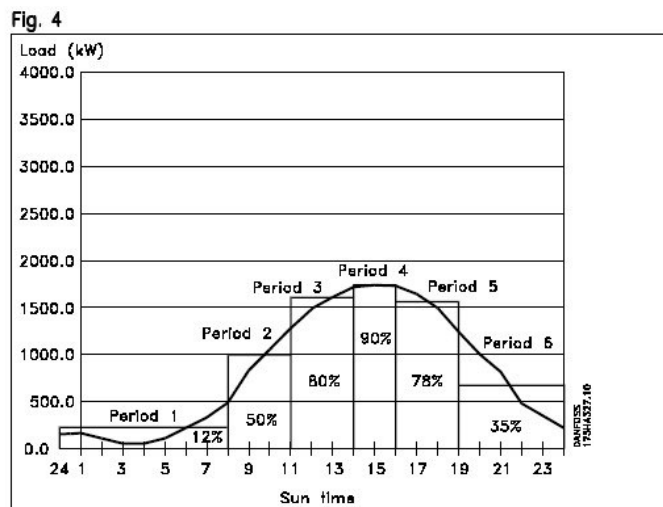
**Figura 2-Consumo de potência típico de um controle com válvula e com VSD**

Exemplo de um sistema real de economia de energia pela utilização de conversores de frequência. (*Retirado do Why use VSD in existing HVAC installations. Danfoss Group division of Motion controls.*)

Este exemplo mostra o desenvolvimento dos cálculos para o Museu Asiático de História, Hong Kong. Foi dada a curva de carga de resfriamento do prédio para um período de 24 horas.

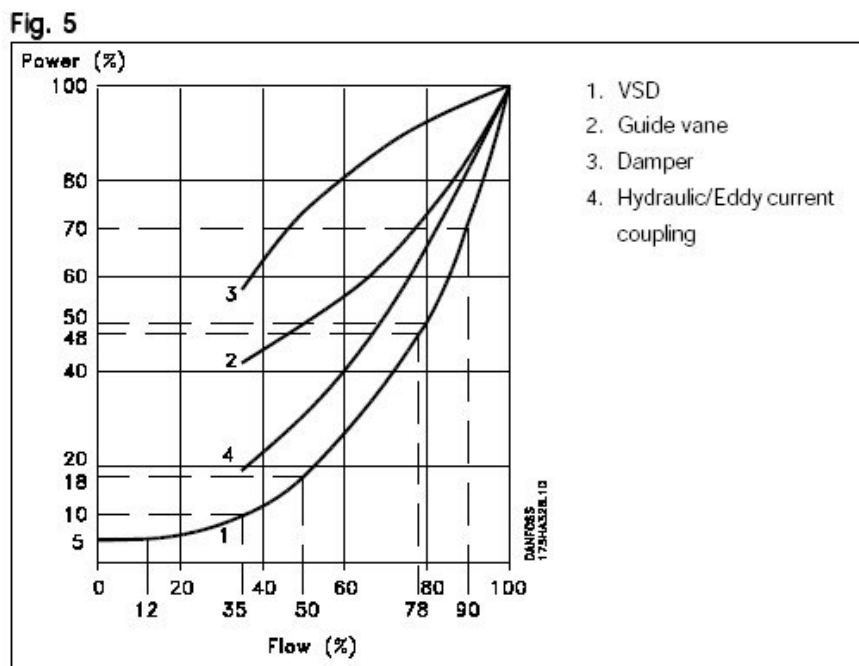


Baseando-se na figura 3, um perfil de blocos para curva foi feito, dando alguns valores médios das velocidades necessárias aos ventiladores em %, usando VSD's, para encontrar a carga de resfriamento.



% is expected fan speed to meet cooling load

Do “Good Practice Guide” livro n°. 2 distribuído pelo Departamento de Energia do Reino Unido, gráficos foram utilizados para converter as velocidades dos ventiladores [%], encontrados na fig.4, para potência consumida [%].



Baseados nas velocidades médias, fig.4 e no consumo de potência (kW) relacionados na fig.5, o consumo de energia em diferentes períodos, bem como o total de energia kWh, para um regime de velocidade variável pode ser calculado:

**Fig. 6**

Period	Av. Fan Speed In period %	% Power	Actual Power kW	Hours Run	kWh's Used
1	12	5	2	8	16
2	50	18	6	3	18
3	80	50	17	3	51
4	90	70	23	2	46
5	78	48	16	3	48
6	35	10	4	5	20
Per day				24	199

Para a alternativa dada os cálculos para energia consumida em regime de velocidade constante também foram feitos:

Regime de velocidade constante (valores médios):

Assumindo 50% da carga do ventilador (16 kW) para 24h = 384 kWh (um grupo rodando direto)  
 Assumindo 50% da carga do ventilador (16 kW) para 12h = 192 kWh (um grupo rodando somente durante o dia)  
 Energia consumida por dia: 576 kWh

Agora a economia de energia gerada pela diferença entre um regime de velocidade variável e um regime de velocidade constante pode ser calculada:

Baseado em um regime de 365 dias por ano:

Regime Constante	$365 \times 576 kWh$	210.240,00
Regime Variável	$365 \times 199 kWh$	72.625,00
Total		137.615,00
A um custo de US\$ 0,1/kWh		US\$ 13.762,00

***Isso representa uma economia de 65% na conta de energia elétrica!***

O custo total dos conversores de frequência VLT 6000 HVAC da Danfoss para este caso foi de US\$ 17.406,00.

## **Redução do desgaste mecânico. (Why use VSD in existing HVAC installations, Danfoss Group, motion division).**

Além do benefício da economia de energia, outros benefícios são conseguidos:

- Aumento da vida útil das correias dos ventiladores.
- Menor desgaste nos mancais, já que o choque nas correias e mancais é reduzido através de partidas e paradas suaves.
- VSD's modernos incluem monitoramento de correias, significando maiores intervalos entre manutenção.

E já que dampers e atuadores não são mais necessários:

- Não existe mais guias de pás e dampers estragados.
- Não existe mais perda de performance.
- Não existe mais custo de manutenção com guia de pás.
- Menores ruídos, melhor controle da qualidade do ar.
- Menores intervalos entre trocas nos sistemas de filtro de ar (menor velocidade=menor sujeira).

Nas bombas:

- Não existe mais o golpe de aríete em situações de partida/parada.
- Previne a explosão de válvulas.
- Reduz-se os vazamentos, já que a pressão é mantida constante.

## Aumento no nível de conforto. . (Why use VSD in existing HVAC installations, Danfoss Group, motion division).

Já que os ventiladores não giram mais com velocidade máxima, existe também a redução do ruído acústico dos mesmos. Além disso, os ruídos produzidos pelo ar passando pelos dampers também são eliminados, já que os mesmos não são mais necessários.

Além disso, os conversores de frequência permitem um controle muito preciso da temperatura e pressão.

## Conclusão

*“Como descrito em várias partes desse trabalho, a maioria das instalações existentes de HVAC, que rodam suas bombas e ventiladores com velocidade constante, poder ser convertidas em instalações lucrativas, com custo eficiente, economizando energia (leia dinheiro), através do investimento em conversores de frequência e alguns transmissores.*

*Além disso, a redução com o custo de manutenção e a troca de peças é óbvia e a melhoria no nível de conforto irá melhorar a climatização e por conseqüência irão aumentar a produtividade das pessoas.*

*Tudo isso junto, a alta redução da conta de energia, normalmente 50% ou mais, um tempo muito curto de retorno do investimento, tipicamente 1 ou 2 anos e uma melhora no conforto são obtidos.” (Why use VSD in existing HVAC installations, Danfoss Group, motion division).*

## Contato

EJM ENGENHARIA CONSTRUÇÃO E COMÉRCIO LTDA.

Contato: Eng. Henrique

Telefone: 65-686-2114 / 9981-8968