

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE VENTILAÇÃO AXIAL

Adson Bezerra Moreira¹, Ricardo Silva Thé Pontes², Davi Nunes Oliveira², Vanessa Siqueira de Castro Teixeira¹, Victor de Paula Brandão Aguiar³.

¹*Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará – Campus de Sobral, Av. Anahid Andrade, 471, Centro, Sobral-CE. Fone: (88) 3613-2829.*

²*Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, Av. Eng. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3366-9579.*

³*Departamento de Engenharia e Física da Universidade Federal de Rondônia, Av. Presidente Dutra, 2965 - Centro, Porto Velho - RO.*

Abstract: This paper aims to quantify the reduction of the active power in the axial ventilation systems according to the outflow reduction method by speed variation when compared with the throttling by valve method. The rotation speed is regulated by using frequency converter. The methods analyse is based on experimentally data collected in the Laboratory of Energy Efficiency in Industrial Motion Systems (LAMOTRIZ) at the Federal University of Ceará.

Copyright © 2009 CBEE/ABEE

Keywords: Axial Ventilation System, Flow Reduction, Active Power Reduction, Adjust Speed, frequency converter, Throttling by Valve.

Resumo: Este artigo tem como objetivo quantificar a redução de potência ativa em um sistema de ventilação axial, segundo o método da redução de vazão com ajuste na velocidade de rotação do ventilador, quando comparado ao método de estrangulamento por válvula. A variação da velocidade de rotação é executada por um conversor de frequência. A análise dos métodos foi baseada em dados experimentais coletados no Laboratório de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes Industriais (LAMOTRIZ) da Universidade Federal do Ceará.

Palavras Chaves: Sistema de Ventilação Axial, Redução de Vazão, Redução de Potência Ativa, Variação de Velocidade, Conversor de Frequência, Estrangulamento por Válvula.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no Brasil alcançou 359,6 TWh em 2004. Deste consumo total, o setor industrial foi responsável por 47,9% energia elétrica segundo o Ministério de Minas e Energia (2005).

Analisando as diversas cargas presentes no setor industrial, observa-se que os sistemas motrizes são responsáveis por aproximadamente 62% do consumo de eletricidade. Desta forma, evidencia-se que medidas podem ser tomadas para a redução do consumo de energia destas cargas em seu processo de operação, segundo Moreira (2006) e Moreira et al.(2006).

Neste artigo são estudados dois métodos para o ajuste da vazão em sistemas de ventilação axial: controle com o uso de válvula de estrangulamento e controle com o uso de conversor de frequência. Os dois métodos são analisados e comparados, através de medições experimentais, visando determinar qual deles garante que o sistema de ventilação opere com menor consumo de energia elétrica, mensurando a economia alcançada.

Os resultados experimentais obtidos nesse trabalho foram realizados na bancada de ventilação do Laboratório de Eficiência Energética em Sistemas Motrizes Industriais (LAMOTRIZ/UFC), a qual opera segundo os dois métodos de controle de vazão apresentados.

2 BANCADA DE VENTILAÇÃO AXIAL

A Figura 1 descreve a configuração da bancada de ventilação axial instalada no LAMOTRIZ/UFC por meio de um diagrama esquemático. Os elementos deste sistema são detalhados na Tabela 1.

O ventilador axial, o motor de indução trifásico (MIT) e o conversor de frequência apresentam potências nominais de 1,1 kW (1,5 CV).

O multimetido utilizado na monitoração das grandezas elétricas apresenta categoria de medição III, sendo que, juntamente com o seu respectivo *software*, são adquiridas *via* rede as formas de onda das tensões e correntes nas três fases, bem como seus respectivos espectros harmônicos, além de outros dados elétricos como: potência ativa, reativa e aparente; fator de potência; e energia consumida.

Os sinais de saída de todos os sensores anteriormente descritos são enviados a um controlador lógico programável (CLP) de forma a tornar a bancada totalmente automática. Também, estes sensores enviam sinais para: o fechamento/abertura dos contactores (K1 e K2), a operação da válvula de estrangulamento e do conversor.

Tabela 1: Elementos da Bancada de Testes do LAMOTRIZ/UFC.

Item	Descrição	Item	Descrição
R, S e T	Fases	MED	Multimetido
D	Disjuntor	K	Contactor
CON	Conversor	EN	Encoder
PD	Transdutor de Pressão	TT	Transdutor de Temperatura
TC	Transdutor de Corrente	TP	Transdutor de Pressão
VE	Válvula de Estrangulamento	SV	Sensor de Vazão

3 CONTROLE DA VAZÃO

No estudo de sistemas de ventilação, diversos valores são apresentados na forma de curvas em função da vazão (Q) e da carga (H). Tanto o ventilador quanto a instalação na qual ele está inserido apresentam a sua curva $H \times Q$.

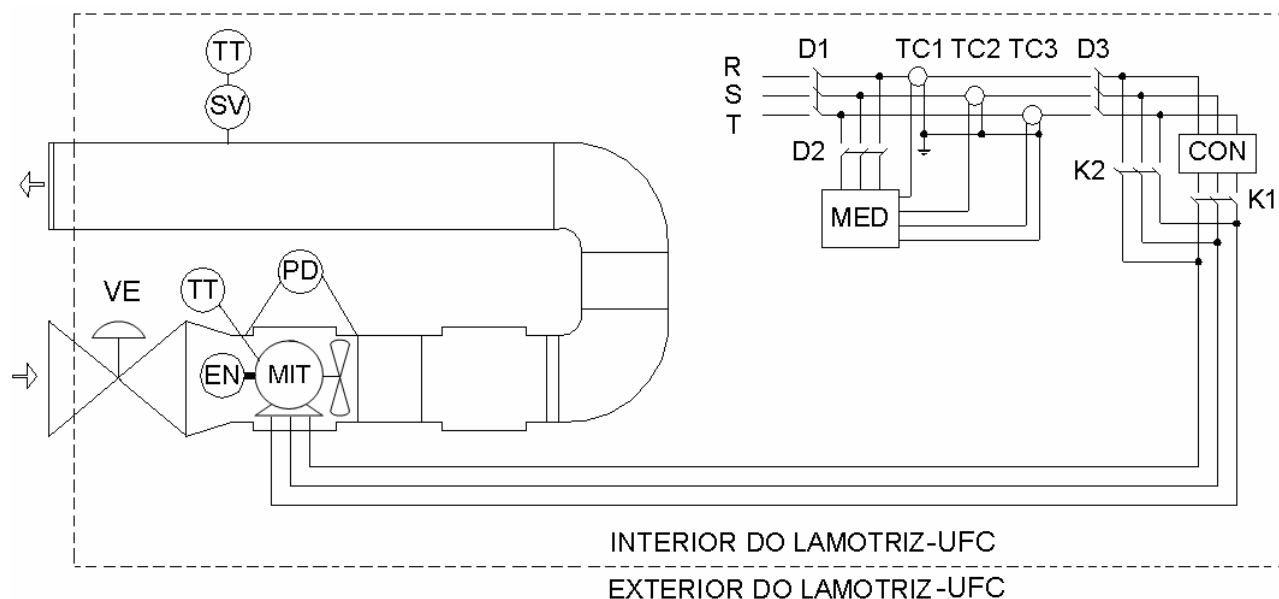


Figura 1: Bancada de ventilação axial do LAMOTRIZ/UFC.

O ponto de operação do sistema, (Q_{op}, H_{op}) , é determinado pelo cruzamento das curvas de carga do ventilador e da instalação conforme é mostrado na Figura 2.

A variação de vazão em alguns processos industriais exige que o ponto de operação do sistema seja modificado. Esta variação pode ser obtida a partir da alteração da curva do ventilador ou da instalação. As subseções 3.1 e 3.2 descrevem estas duas formas de controle de vazão em estudo.

3.1 Variação da Curva da Instalação

A curva da instalação é definida como a energia exigida para o transporte do fluido no interior do duto, sendo calculada por (1):

$$H_{inst}(Q) = H_g + J_{inst}(Q), \quad (1)$$

onde H_g representa a altura geométrica – praticamente constante com a vazão – e J_{inst} a perda de carga existente no deslocamento do fluido no interior do duto. A perda de carga (J_{inst}) é calculada em função da vazão conforme é mostrado em (2).

$$J_{inst}(Q) = \frac{8 \cdot F_R \cdot (L_r + L_{eq})}{\pi^2 \cdot g \cdot d_e^5} \cdot Q^2, \quad (2)$$

onde L_r é a distância percorrida pelo fluido nos dutos retos, L_{eq} é o comprimento equivalente dos acessórios de duto reto, d_e é o diâmetro do duto, g é a aceleração da gravidade e F_R é o fator de resistência do duto.

O método de estrangulamento por válvula é o mais utilizado para o ajuste da curva da instalação. Este é baseado na inserção ou retirada das perdas de carga localizadas em uma válvula controlada por meio do seu fechamento ou abertura.

A Figura 3 ilustra a obtenção de diferentes pontos de operação através da variação da curva da instalação. A curva de instalação 1, quando interceptada pela curva do ventilador, define o ponto de operação $(Q_1; H_1)$. Elevando-se a perda de carga do sistema, é obtida uma nova curva de instalação (curva 2) que define um novo ponto de operação $(Q_2; H_2)$ onde $H_2 > H_1$. Logo, ocorre a redução da vazão uma vez que $Q_2 < Q_1$.

3.2 Variação da Curva do Ventilador Axial

A curva característica do ventilador representa o comportamento da carga em função da vazão volumétrica quando o ventilador opera a velocidade constante.

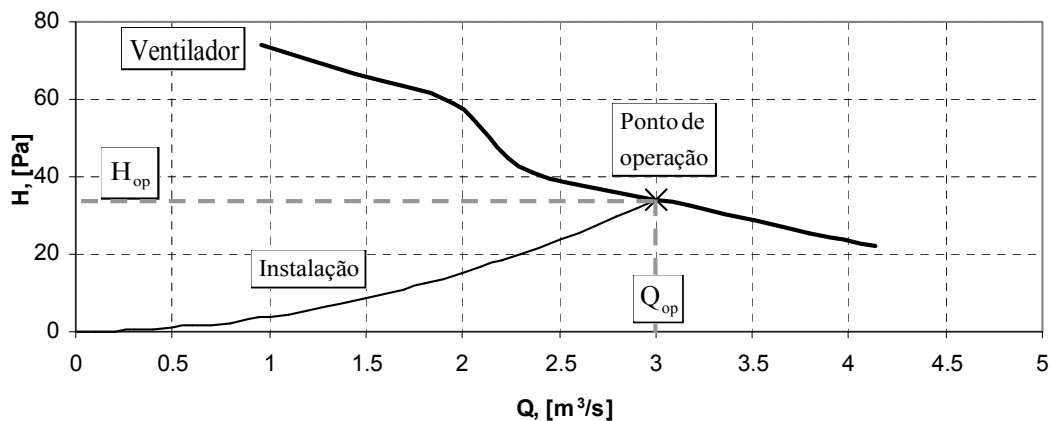


Figura 2: Curva de carga (H) versus Vazão (Q) do sistema de ventilação axial.

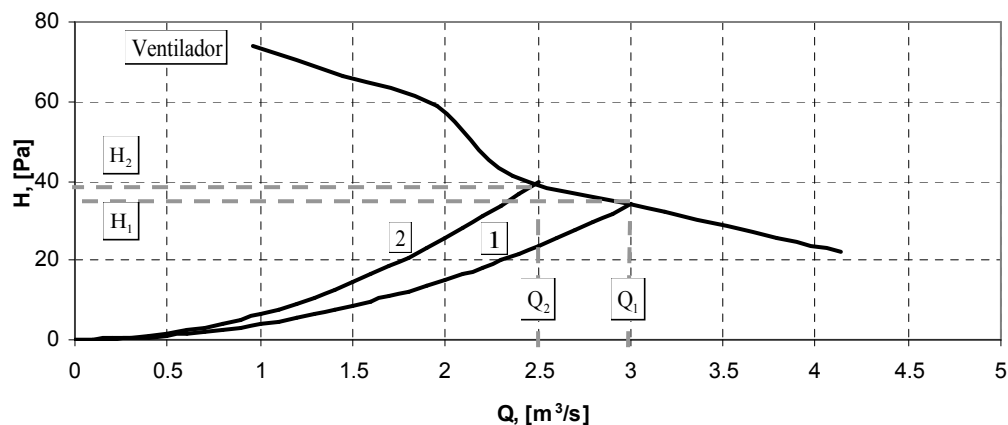


Figura 3: Controle de vazão por estrangulamento de damper.

As grandezas características do ventilador tais como vazão e carga variam em função da velocidade de rotação (ω). Estas variações são determinadas pelas relações (3) e (4) segundo Viana (2002).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (3)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 \quad (4)$$

A Figura 4 ilustra a obtenção de diferentes pontos de operação através da variação da curva H vs Q do ventilador axial. A curva 1 opera a uma velocidade de rotação ω_1 . Quando esta curva é interceptada pela curva da instalação, define-se o ponto de operação (Q_1 ; H_1). Reduzindo a velocidade do ventilador para ω_2 e aplicando (3) e (4) a cada ponto da curva 1, uma nova curva 2 é obtida que, por sua vez, define um novo ponto de operação (Q_2 ; H_2) onde $H_2 < H_1$. Observa-se que novamente ocorre uma redução da vazão, pois $Q_2 < Q_1$.

4 POTÊNCIA MECÂNICA

Para que o ventilador forneça carga ao fluido, é necessária a inserção de potência mecânica (P_C) no seu eixo. A potência mecânica do ventilador, por sua vez, também é função velocidade de rotação (Viana, 2002) conforme é mostrado em (5).

$$\frac{P_{C-1}}{P_{C-2}} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^3 \quad (5)$$

A partir de (5), observa-se que a potência mecânica requerida pelo ventilador tende a reduzir com o cubo da redução de velocidade. Entretanto, vale ressaltar que esta equação não se aplica a um ponto em particular, mas a todos os pontos sobre a curva P_C vs Q . Assim, aplicando-se (3) e (5) a cada ponto da curva de potência mecânica do ventilador à rotação ω_1 , obtém-se a curva P_C vs Q para ω_2 .

A Figura 5 ilustra o comportamento da variação da potência mecânica utilizando o método de controle de vazão com o uso de válvula de estrangulamento e o controle de vazão a partir da variação de velocidade de rotação.

Reduzindo-se a vazão de Q_1 para Q_2 – com o uso da válvula de estrangulamento – a potência mecânica desloca-se de P_{C-1} para $P_{C-2 (val)}$, sendo $P_{C-1} < P_{C-2 (val)}$. Por outro lado, ao variar a velocidade de rotação – com o uso do conversor de frequência – a potência mecânica desloca-se de P_{C-1} para $P_{C-2 (vel)}$, onde $P_{C-2 (vel)} < P_{C-1}$.

Verifica-se que, para uma mesma vazão, a operação com o uso de válvula de estrangulamento requer maior potência mecânica do que a operação com o uso de conversor de frequência.

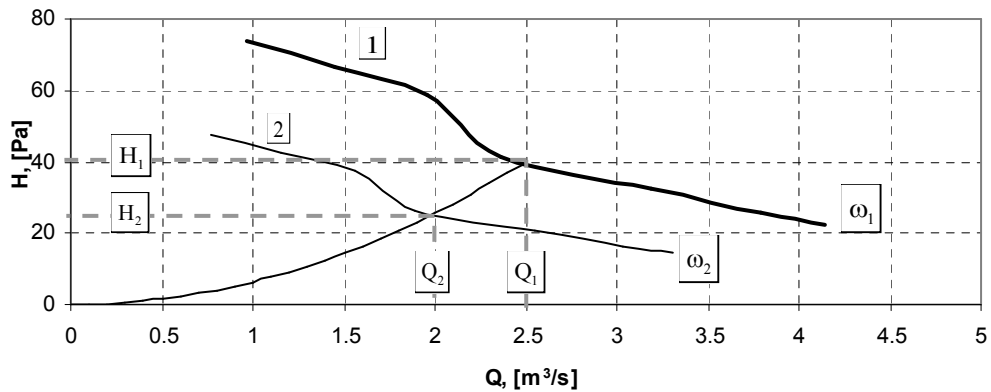


Figura 4: Controle de vazão por variação de velocidade.

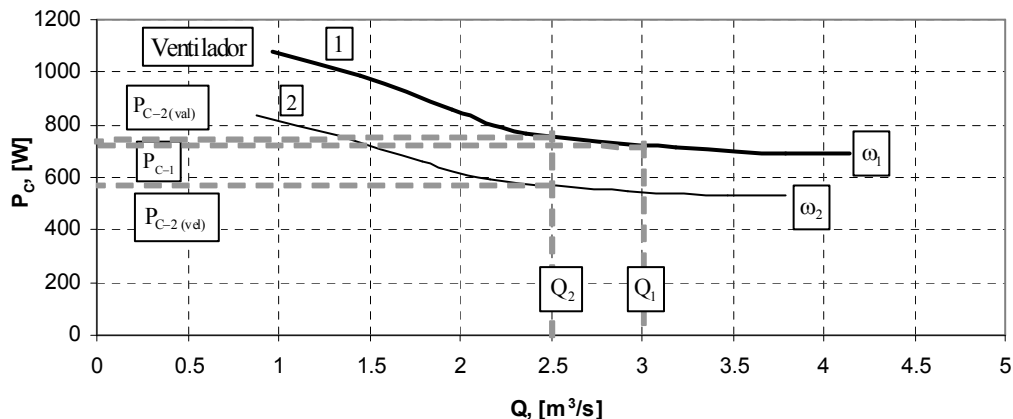


Figura 5: Potência mecânica do ventilador (P_C) em função do método de controle de vazão.

5 RESULTADOS

Os resultados experimentais foram realizados na bancada de ventilação do LAMOTRIZ/UFC. A Fig. 6 mostra as curvas de potência ativa versus vazão. Para traçar as curvas de potência em dada frequência de operação, foram medidas as potências ativas requeridas pelo sistema para vários valores de vazão. De posse desses pontos, polinômios foram utilizados para estimar o comportamento contínuo das curvas.

Na indústria, a operação a partir da válvula de estrangulamento é realizada, em geral, à frequência da rede (60 Hz).

Nota-se que, para uma dada vazão desejada (Q_{des}), quanto menor a frequência, menor é a potência ativa requerida pelo conjunto MIT, ventilador axial e conversor de frequência. Ainda na Fig. 6, para uma mesma vazão, por exemplo $Q_{des} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$, tem-se que a potência ativa requerida pelo sistema varia conforme mostra a Tabela 2.

Com objetivo de demonstrar a economia de energia elétrica obtida com o uso do método de controle de vazão por meio da variação de velocidade, são traçadas

as curvas de potência ativa economizada em função da vazão desejada – $PA_{eco}(Q_{des})$ – ilustrada na Fig. 7.

Tabela 2: Variação da potência ativa em relação frequência para vazão $Q_{des} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Frequência de operação – f_r [Hz]	Potência ativa – PA [W]
60	980
55	825
50	620
45	460

Os valores de potência ativa economizada são determinados a partir das curvas indicadas na Fig. 6, aplicando (6):

$$PA_{eco}(Q_{des}) = \frac{PA_{val}(Q_{des}) - PA_{vel}(Q_{des})}{PA_{val}(Q_{des})}, \quad (6)$$

onde PA_{val} e PA_{vel} são, respectivamente, as potências ativas requeridas segundo o método de estrangulamento por válvula e variação de velocidade. Nota-se que PA_{val} ,

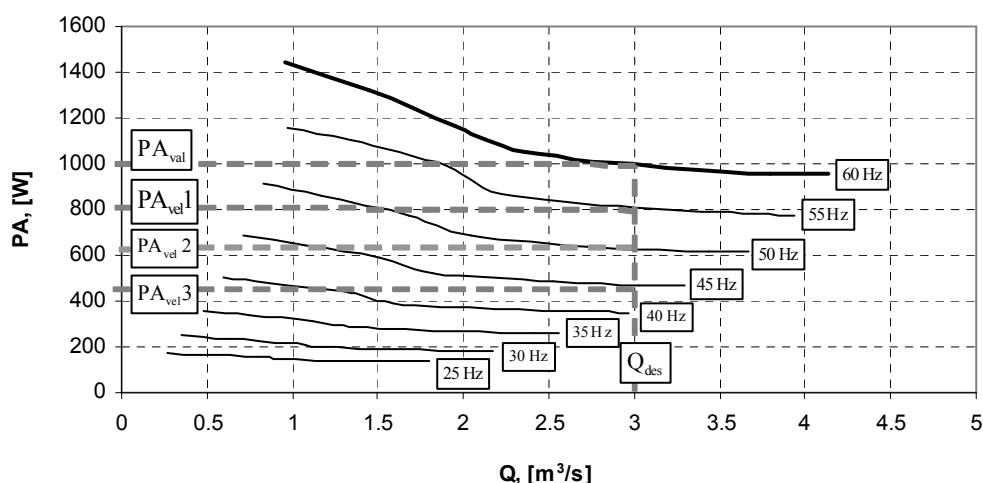


Figura 6: Curvas de potência ativa (PA) para várias frequências.

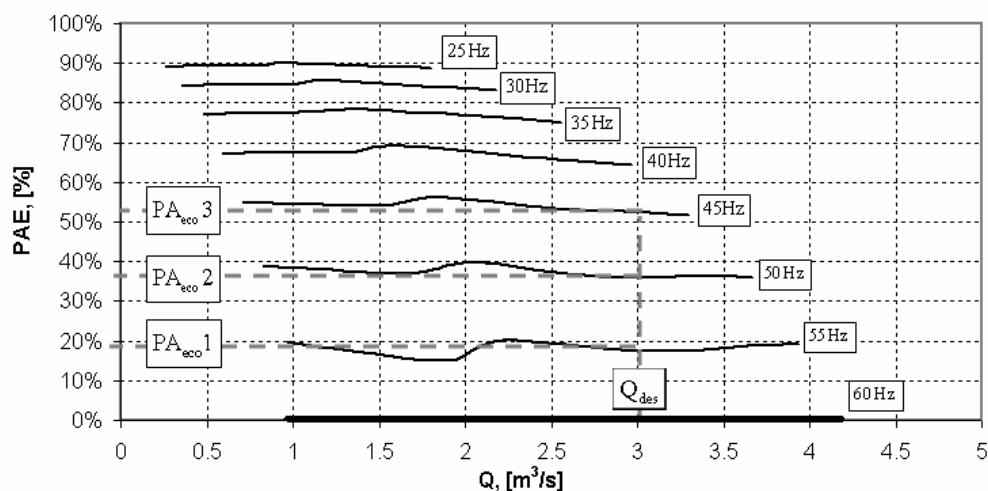


Figura 7: Curvas de potência ativa economizada (PAE) para várias frequências.

é a curva de potência ativa *versus* vazão para rotação nominal, ou seja, para frequência à 60 Hz.

Analisando a Fig. 7, verifica-se que para uma mesma frequência, o percentual de potência ativa economizada é praticamente constante com a vazão, ou seja, este depende da frequência.

A curva do percentual de potência ativa economizada em função da frequência, apresentada na Fig. 8, calculada a partir da Fig. 7. Ela indica que quanto menor a frequência de maior o percentual de potência ativa economizada.

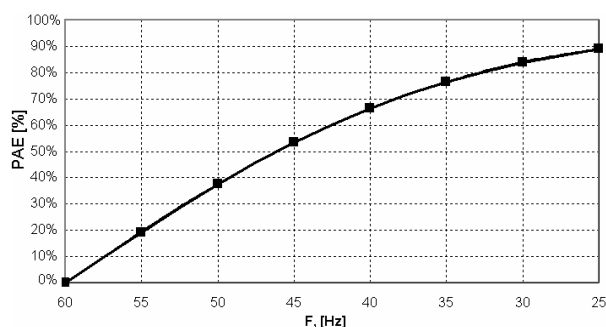


Figura 8: Potência ativa economizada (PAE) em função da frequência.

6 CONCLUSÕES

Com base nos experimentos realizados, o presente trabalho confirma que a redução da vazão por meio da variação de velocidade – com o uso do conversor de frequência – proporciona ao conjunto MIT-ventilador axial uma redução da potência ativa requerida quando comparada ao uso de válvula de estrangulamento.

A redução de potência está relacionada à frequência de saída do conversor: quanto menor a frequência, maior o percentual de economia.

O conversor de frequência pode proporcionar economia de energia elétrica no controle de vazão a partir da redução de frequência, gerando uma redução de potência ativa no acionamento do sistema de ventilação axial na ordem de 19 a 90 % em relação à operação de estrangulamento por válvula.

7 REFERÊNCIAS

- Ministério das Minas e Energia (2005). *Balanço de Energia Útil*. Brasília.
- Moreira, A. B. (2006). *Análise da Operação de Sistemas de Ventilação Industrial Visando à Eficiência Energética*. Dissertação submetida à Universidade Federal do Ceará como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica. Fortaleza-CE.
- Moreira, A. B., Rogério Júnior, C. S., Pontes, R. S. T., Cavalcante Neto, T. N., Holanda, C. A. M. (2006). *Análise da Operação de Sistemas de Ventilação Industrial Visando à Eficiência*

Energética. Artigo apresentado no VII INDUSCON, Recife-Pe.

Viana, C. N. A. (2002). *Manual do Programa de Eficientização Industrial - Módulo: Ventiladores e Exaustores*. ELETROBRÁS / PROCEL, Rio de Janeiro.