



## Eficiência energética em um sistema de exaustão

**Tiago Alexandre da Silva<sup>1</sup>, Luiz Filipe Alves de Cordeiro<sup>1,2</sup>, Vilma Alves de Souza<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco ([tiagoalex02@gmail.com](mailto:tiagoalex02@gmail.com), filipecordeiro@gmail.com)

<sup>2</sup> Tribunal de Justiça de Pernambuco ([luiz.filipe@tjpe.jus.br](mailto:luiz.filipe@tjpe.jus.br), vilma.alves@tjpe.jus.br)

### Resumo

A indústria é responsável por mais de um terço do consumo de energia elétrica do país. Associado a isso, tem o maior potencial e interesse na conservação de energia devido à competitividade do mercado. Os equipamentos motrizes são responsáveis por grande parte do consumo das grandes indústrias, por isso a eficiência energética desses equipamentos é de extrema importância. Portanto, este trabalho tem como objetivo o estudo da eficiência energética no sistema de exaustão industrial, sistema este, presente em grande parte das indústrias, no qual é principalmente responsável pelo controle da temperatura e partículas em suspensão. Neste trabalho foi feita a análise do consumo de energia elétrica para duas formas distintas de controle de vazão. Então, foi simulado um estudo de caso, comparando os gastos entre os sistemas de controle de vazão, possibilitando uma análise econômica da viabilidade da troca entre esses controles, sendo explorados os custos economizados mensalmente nas diversas estruturas tarifárias a qual pode pertencer uma indústria, o tempo de retorno desse investimento e a redução da emissão de CO<sub>2</sub> que está associada à redução do consumo de energia. Todo o trabalho foi possível graças à utilização de uma bancada de um sistema de exaustão, que tem o objetivo de realizar simulações para estudos de eficiência deste tipo de sistema.

Palavras-chave: Eficiência energética. Emissão de CO<sub>2</sub>. Exaustor industrial.

Área Temática: Energia e energias renováveis ou Economia e meio ambiente.

### *Energy Efficiency in an Exhaust System*

#### *Abstract*

*The industry is responsible for more than one third of the country's energy consumption. While it also has the highest potential and interest in energy conservation because of market competitiveness. Driving forces are responsible for the greatest amount of consuming of big industries. That is the reason this final course assignment has the purpose to study the energetic efficiency in the industrial exhaust system, analysis of electrical energy consumption for two different types of flow control. So, a study case was simulated, comparing the costs between the two flow control systems and allowing an economic analysis of viability of changing the two controllers, exploring, of course, the monthly expenses at the range of pricing structures that an industry can own, the return on investment and the reduction of CO<sub>2</sub> emissions associated to the energy consumption. The entire work was enabled because of the use of an exhaust system with the purpose to run simulations for studies of efficiency of the type of system described.*

*Key words: Energy efficiency. Emission of CO<sub>2</sub>. Industrial exhaustion.*

*Theme Area: Energy and renewable energies or Economy and environment.*



## 1 Introdução

No presente momento da sociedade, a energia elétrica é indispensável na vida do homem em vários aspectos, como alimentação, locomoção e utilizada nas demais atividades cotidianas. Esse insumo é essencial para o desenvolvimento tecnológico e econômico do país, mas a demanda crescente de energia elétrica que é solicitada para os diversos setores da economia e para a realização das mais variadas atividades, traz à tona a ineficiente utilização desse recurso, aumentando as discussões sobre o uso consciente da energia elétrica, sendo esse o motivo de vários debates, incentivos e investimentos.

Segundo a American Council for an Energy-efficient Economy (ACEEE), uma organização americana sem fins lucrativos que visa incentivar políticas, programas e investimentos em eficiência energética, entre as vinte e três maiores economias do mundo, o Brasil se encontra em penúltimo lugar no ranking de eficiência energética, atrás somente da Arábia Saudita. Para esse estudo foram analisados quatro aspectos relacionados a esse tema: os esforços nacionais, edificações, indústrias e transporte (AGUIAR, 2015).

Para a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), esse resultado confirma o que sempre ficou claro para as empresas que trabalham com conservação de energia elétrica, o país tem um grande potencial de economia neste setor, mas o principal motivo da ineficiência é a falta de investimento. A grande maioria das ações governamentais nas últimas décadas foram voltadas para a geração de energia, o que fez a matriz energética do país ser uma das mais limpas do mundo, mas com altos índices de desperdício. (ABESCO, 2017).

De acordo com o Relatório de Brundtland, o desenvolvimento sustentável é concebido como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades.

A conservação de energia é mais do que uma questão apenas financeira, se trata também de uma questão ambiental, tendo uma contribuição significativa para a preservação do meio ambiente, contribuído com a redução da emissão de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ).

## 2 Metodologia

A metodologia utilizada foi feita através da análise dos dados de consumo de energia, levantados através de experimentos realizados com os diferentes tipos de controle de vazão presentes da bancada de exaustão do Laboratório de Sistemas Motrizes (LAMOTRIZ), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Posteriormente esses valores foram comparados e utilizados para a avaliação econômica e de redução da emissão de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ).

### 2.1 Comparação entre o consumo com o uso do inversor de frequência e o estrangulamento de válvula

Para o controle da vazão de fluidos, principalmente no meio industrial, é muito utilizado um método mecânico que controla a velocidade de escoamento de tal fluido pela variação da área do duto de admissão ou saída desse material através de uma válvula, esse método é conhecido como estrangulamento. O principal motivo da utilização desse método é pelo seu baixo investimento inicial e a maior facilidade de operação. Porém, essa prática resulta no aumento da pressão interna no duto, ocasionando maior fadiga dos materiais e equipamentos ali presentes contribuindo assim, para sua menor vida útil. Ademais, o uso do estrangulamento de válvula contribui para a ineficiência energética do sistema devido à dissipação de energia que ocorre tanto na forma mecânica quanto térmica. (CORDEIRO,



2008).

Portanto, serão realizadas as comparações do consumo desse sistema onde foram realizados os experimentos, com as duas formas de controle de vazão, o método convencional de estrangulamento de válvula e o uso da técnica de controle com inversor de frequência, onde se pode ajustar a frequência exata para que o motor trabalhe para atender a vazão solicitada. Com essas opções foram realizados os experimentos em regime permanente com o foco principal voltado a potência que foi solicitada pelo motor para o estrangulamento de 40%, 60% e 80% do duto de admissão de ar.

## 2.2 Análise Econômica

As análises foram realizadas admitindo-se alguns valores para a atuação do sistema, tentando aproximar ao máximo o uso de tal sistema em um processo industrial. Para a quantidade de horas de utilização do equipamento foram usados valores de 24 (trabalho durante o dia todo), 18 e 9 horas diárias. Utilizando os valores de consumo de energia para o estrangulamento em 40%, 60% e 80% do duto de admissão de ar será feita a análise da economia em cada tipo de estrutura tarifária incluindo os valores economizados com a redução da demanda contratada. Para as tarifas horrossazonais serão consideradas respectivamente 3 horas na ponta para os dois primeiros casos, 24 e 18 horas. E nenhuma no período na ponta para o terceiro caso.

A técnica para a análise do investimento utilizada foi o valor presente líquido, ou normalmente conhecido por suas siglas VPL, é um método tradicional de avaliação de projetos utilizado na maioria das empresas, e consiste em converter o dinheiro que entra ao longo do tempo no fluxo de caixa, para um valor equivalente da data de investimento, ou seja, ele considera a desvalorização do dinheiro com o tempo (BREALEY, 2008).

## 2.3 Análise da Mitigação da Emissão de CO<sub>2</sub>

O CO<sub>2</sub> foi escolhido como gás que serve de base para essa unidade, por ser a substância cuja emissão é mais afetada pelas emissões antrópicas, ou seja, que resulta da atuação humana (IPCC, 2007).

Para o cálculo dessa redução são utilizados fatores de emissão, o objetivo dos fatores de emissão médios de CO<sub>2</sub> para energia elétrica, é estimar essa quantidade em relação à geração ou consumo de energia elétrica. Segundo Cordeiro (2015), o fator de emissão no consumo é de 0,47kg/MW, valor utilizado neste trabalho para a obtenção dos resultados de redução da emissão de CO<sub>2</sub>.

## 3 Resultados e Discussões

A seguir são apresentados os resultados das análises de consumo de energia para os dois tipos de controle de vazão e a análise econômica do investimento.

### 3.1 Descrição do Sistema Utilizado

A bancada do exaustor industrial está presente no Laboratório de Eficiência Energética e Qualidade de Energia (LEEQE) - UFPE tem como objetivo a simulação de cargas e ensaios para o estudo da eficiência energética em motores elétricos, e é composta por um conjunto de equipamentos e dispositivos eletrônicos de controle, proteção e medição.

O motor utilizado nesses testes foi um motor de indução trifásico de alto rendimento de 1,1kW. Na Figura 1, é possível visualizar a bancada onde foram realizados os ensaios e estudos para o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 1 - Foto da bancada de exaustão do LAMOTRIZ



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018



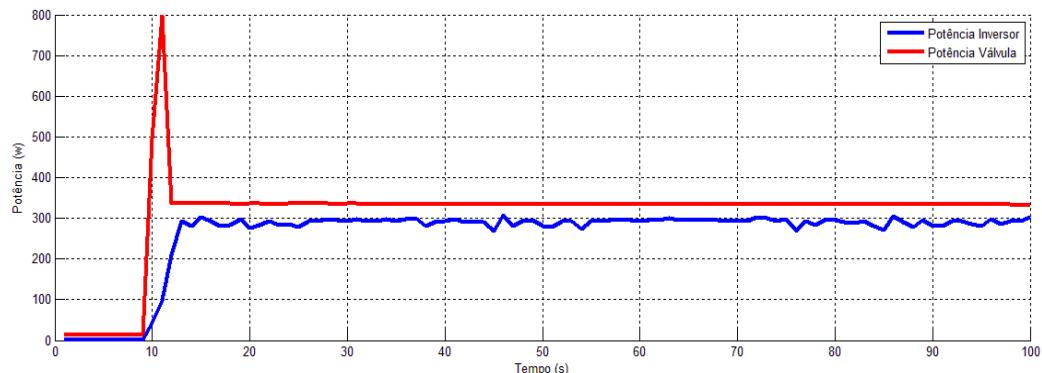
### 3.2 Medições de Consumo

Os resultados do experimento para a aferição da eficiência energética obtida com o uso do inversor são realizados através da análise dos gráficos gerados por um analisador de energia.

#### 3.2.1 Válvula estrangulada em 40%

Como observado na Figura 2, em regime permanente, ou seja, desprezando o transitório na partida, com o estrangulamento da válvula em 40% observa-se a potência consumida em aproximadamente 340W para uma das fases e com o inversor de frequência uma potência consumida de aproximadamente 300W, sendo assim é comprovada uma redução no consumo de energia elétrica total do motor trifásico de 120W, ou seja, um pouco mais de 11% com essa troca de controle.

Figura 2 - Potência ativa com a válvula 40% estrangulada e utilizando o inversor de frequência para a fase A



Vale ressaltar que a partida do motor com a válvula estrangulada foi feita de forma direta, por isso o grande transitório na figura anterior.



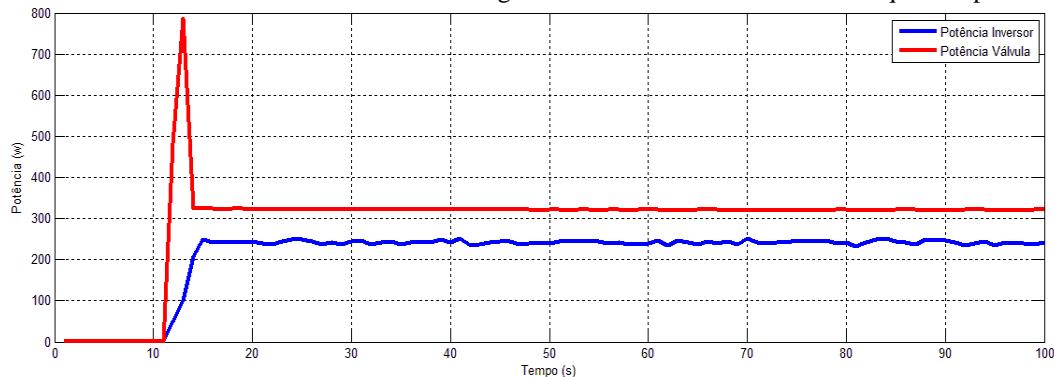
## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

### 3.2.2 Válvula estrangulada em 60%

Conforme a Figura 3, são registradas a potência ativa consumida, por fase, pelo método de estrangulamento em 320W e com a utilização do inversor em 250W, o que representa uma diminuição de 210W de potência total consumida em regime permanente apenas com a troca do tipo de controle de vazão, o que equivale a expressiva queda no consumo de 21%.

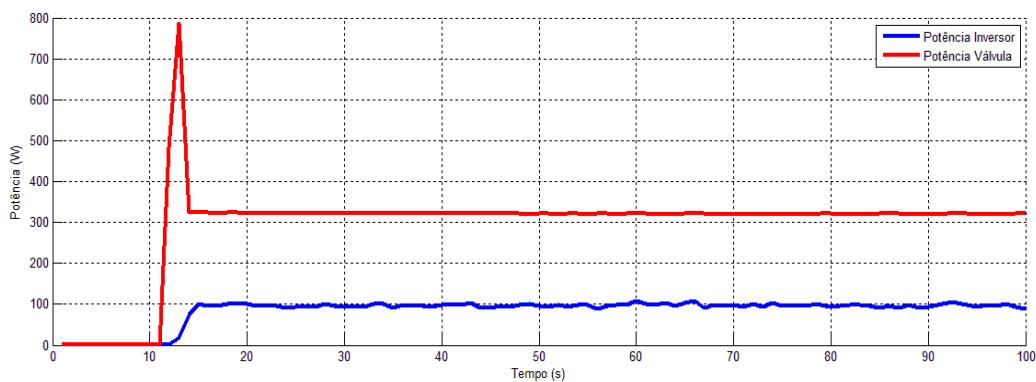
Figura 3 - Potência ativa com a válvula 60% estrangulada e utilizando o inversor de frequência para a fase A



### 3.2.3 Válvula estrangulada em 80%

A partir da análise da Figura 4, pode ser facilmente observada a grande diferença entre os valores da potência ativa consumida pelos diferentes métodos de controle de vazão. Com a utilização do estrangulamento de 80% da válvula, a potência consumida, por fase, foi de aproximadamente 320W. No entanto, com o inversor a potência consumida ficou próxima de 100W por fase, ou seja, para maiores valores de estrangulamento essa eficiência no uso do inversor tende a aumentar chegando nesse caso em 660W considerando a soma das três fases do motor. Este valor que representa mais de 69% de economia.

Figura 4 - Potência ativa com a válvula 80% estrangulada e utilizando o inversor de frequência para a fase A



### 3.2.4 Resultados do experimento

Portanto, para o experimento realizado foi possível obter a Tabela 1, onde é observada a economia com o uso do inversor de frequência em relação ao estrangulamento da válvula para obtenção de uma mesma vazão.



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Tabela 1 - Índices de economia obtidos com o uso do inversor de frequência comparado ao uso da válvula estrangulada

Estrangulamento da válvula (%)	Economia (%)
40	11
60	21
80	69

Fonte: próprio autor

Sendo assim é notória a economia da energia consumida que pode ser causada pelo uso de um sistema mais eficiente de exaustão, como no caso desta análise. Com o aumento do estrangulamento, mais energia é dissipada térmica e mecanicamente, um grande responsável por essas dissipações é o aumento da pressão interna do duto que aumenta proporcionalmente com o valor do estrangulamento (CORDEIRO, 2008).

### 3.3 Análise Econômica

Para análise econômica foi considerada a redução mensal do valor da fatura e o retorno do investimento, ambos mostrados a seguir.

#### 3.3.1 Redução no valor da fatura

O tipo de estrutura tarifária a qual as indústrias são submetidas pode ser verde ou azul, as indústrias que são atendidas no nível de tensão entre 2,3 e 25 kV se encaixam no subgrupo A4 e podem ter a escolha do tipo de tarifa a ser cobrada. A partir do consumo em média tensão, são cobrados além do consumo de energia, um valor referente à demanda. Logo, foi criada a tabela a seguir para possibilitar a análise da economia mensal, sendo levado em conta os valores alusivos ao consumo e a demanda em cada tipo de tarifação, referente a uma indústria que teria como valor máximo de vazão para esse sistema, 902,5m<sup>3</sup>/s, que seria correspondente ao estrangulamento de 40% da válvula, podendo assim ver se o projeto de troca do método de controle de vazão é viável ou não. Deste modo estes valores podem ser utilizados para verificar a redução no valor da fatura mesmo se a vazão não for constante durante todo o dia, sendo necessário apenas que o valor de vazão não exceda o limite máximo.

Tabela 2 - Índices de economia obtidos com o uso do inversor de frequência comparado ao uso da válvula estrangulada

Estrutura tarifária	Horas por dia	Economia (R\$)		
		Demandा	Consumo	Total
Horrossazonal Verde	9	2,42	10,73	13,15
	18	2,42	34,81	37,24
	24	2,42	41,97	44,39
Horrossazonal Azul	9	9,86	10,73	20,59
	18	9,86	22,90	32,76
	24	9,86	30,05	39,92

Fonte: próprio autor

Vale ressaltar que esses cálculos foram feitos para um sistema atuando com um estrangulamento de 40%, que é o menor dos valores testados e tem a menor taxa de economia, então para valores de maior estrangulamento esses resultados poderiam ser bem maiores e



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

mais satisfatórios.

### 3.3.2 Retorno do investimento

O retorno do investimento foi explorado através do método do valor presente líquido para as estruturas horrossazonais. Assim como em todo o estudo, os cálculos do retorno do investimento são para a troca do controle de um sistema já existente utilizando o estrangulamento de válvula, para a utilização do inversor de frequência.

O valor presente líquido, que retorna o valor economizado durante a vida útil do equipamento considerando a desvalorização do dinheiro durante esse tempo, para esse cálculo foi utilizado o valor da inflação no ano de 2016, que foi de 6,8%, e a vida útil do inversor de 10 anos que é o mínimo previsto pelos fabricantes. Na Tabela 3, podem ser observados os valores do VPL para os casos estudados.

Tabela 3 - VPL durante a vida útil do inversor

Estrutura tarifária	Horas por dia	Economia (R\$)		
		40%	60%	80%
Horrossazonal Verde	9	117,09	788,44	4.145,18
	18	2.126,63	4.305,14	15.197,65
	24	2.723,39	5.349,45	18.479,80
Horrossazonal Azul	9	738,12	1.409,47	4.766,21
	18	1.753,60	3.186,56	10.351,35
	24	2.350,36	4.230,88	13.633,50

Fonte: próprio autor

Vale salientar que esses valores são para a troca do método de controle de vazão. Caso o investimento fosse para o projeto inicial da instalação de um sistema, além desses valores presentes na tabela acima, seria somado o valor da válvula que para o caso da bancada estudada vale aproximadamente R\$ 192,00, segundo um revendedor autorizado, válvula esta que durante esse período também pode necessitar de manutenção, reparo ou até troca.

### 3.4 Mitigação da emissão de CO<sub>2</sub>

Utilizando o fator de emissão de CO<sub>2</sub> por quilowatt-hora, foi construída a Tabela 5.12 que contém o valor mensal, para cada vazão do exaustor representada pelo seu respectivo valor de estrangulamento, da redução da emissão de CO<sub>2</sub> gerada pela trova do controle com o estrangulamento do duto, pelo controle por meio do inversor.

Tabela 5.12- Redução da emissão de CO<sub>2</sub> com a utilização do inversor

Horas por dia	Redução da emissão de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> )		
	40%	60%	80%
9	13,19	23,09	72,58
18	26,39	46,19	145,17
24	35,19	61,58	193,56

Fonte: próprio autor.

Em alguns casos é possível chegar até duas toneladas de CO<sub>2</sub>, por ano, a serem evitadas. Portanto, a utilização do inversor de frequência no controle de vazão gera não só um



## 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

ganhos econômicos para a empresa, mas torna o consumo menos prejudicial ao meio ambiente, possibilitando que com o ganho de créditos de emissão de carbono possa ganhar incentivos para futuros projetos.

### 4 Considerações Finais

É inegável que existe a urgente necessidade do uso eficiente da energia elétrica, não só pelo custo associado ao consumo deste insumo, mas também com o objetivo de diminuir a necessidade de geração, para que seja utilizada o mínimo possível de fontes de geração poluidoras, tendo associado a esse aumento a maior emissão de CO<sub>2</sub>.

A indústria, que é responsável por quase 40% do consumo de energia elétrica do país, detém o maior potencial de eficiência, por isso é o principal alvo dos programas que visam à conservação de energia no Brasil. Diante da grande quantidade de sistemas e processos presentes em uma indústria, o sistema de ventilação é utilizado em grande parte das indústrias, independentemente do setor a que se destina, devido a sua grande variedade de utilização, tem papel fundamental na melhoria dos processos fabris.

A análise econômica realizada, teve como objetivo o estudo do tempo de retorno do investimento, comprovando e aplicando os dados gerados nos experimentos, nas diferentes estruturas tarifárias que podem ser utilizadas na indústria. Neste trabalho foram realizadas as fases do desenvolvimento de uma ação que visa implantar a eficiência energética, mostrando assim, os pontos que devem ser explorados, por um profissional, na tentativa de mostrar a viabilidade do investimento.

### Referências

ABESCO, (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia). **Potencial de eficiência energética no Brasil:** De 2008 a 2016. São Paulo: 2017. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/potencial-de-eficiencia-energetica-no-brasil-2008-2016/>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

AGUIAR, Rodrigo. **Eficiência energética: Brasil em penúltimo lugar em ranking internacional.** 2015. Disponível em: <<https://www.petronoticias.com.br/archives/69555>>. Acesso em: 21 maio 2017.

BREALEY, R. A. **Princípios de Finanças Corporativas** / Richard A. Brealey, Stewart C. Myers, Franklin Allen; tradução Maria do Carmo Figueira, Nuno de Carvalho; revisão técnica Fabio Gallo Garcia, Luiz Alberto Bertucci. 8<sup>a</sup> Ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

CORDEIRO, Luiz Filipe Alves. **Eficiência Energética no Controle Inteligente de Sistemas de Bombeamento.** 2008. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

CORDEIRO, Luiz Filipe Alves. **Planejamento do setor elétrico brasileiro com foco nas emissões de CO<sub>2</sub>.** 2015. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Cap. 6.

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL CLIMATE CHANGE). **Cambio climático:** informe de síntesis. Genebra, Suíça, 2007.