



CONCEITO DE INVERSORES DE FREQUENCIA, ECONOMIA DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE¹

Carlos R. Sobral²
Raymond Schmitz³
Atílio Lui⁴

Resumo

Conheça os fundamentos da tecnologia dos inversores de frequência e saiba como obter economia de energia e segurança em acionamentos de cargas centrífugas: exaustores, ventiladores e bombas. A metodologia "Monitorar-Analisar-Controlar" da Rockwell Automation permite otimizar gastos, desenvolver processos e implementar soluções relativas ao uso de energia e ferramentas para desenvolver os cálculos de retorno de investimento.

Palavras-chave: Inversores de frequência; Sustentabilidade; Economia de energia.

FREQUENCY INVERTER CONCEPTS, ENERGY-SAVINGS AND SUSTAINABILITY

Abstract

Know the fundamentals of the frequency inverters technology and how to achieve energy-savings and safety driving for centrifugal loads: exhaust fans, blowers and pumps. The Rockwell Automation "Monitor-Analyze-Control" methodology allows you to optimize expenses, develop processes and implement solutions related to energy use and tools to develop the calculations of ROI.

Key words: Frequency inverters; Sustainability; Energy saving.

¹ Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2010, São Paulo, SP, Brasil.

² Sales Engineer (Rockwell Automation do Brasil Ltda).

³ Business Development Manager - Power Solutions (Rockwell Automation do Brasil Ltda).

⁴ MCC Manager - Power Control Business (Rockwell Automation do Brasil Ltda).

1 INTRODUÇÃO

Nos processos produtivos os motores elétricos de indução são o principal meio de conversão de energia elétrica em mecânica. Estima-se que 70% desses motores são utilizados para acionamento de cargas centrífugas: exaustores, ventiladores e bombas. Neste trabalho, examinaremos prioritariamente estas cargas e como o uso de inversores de frequência nestas aplicações apresentam o maior potencial de economia e uso racional do consumo de energia elétrica.

Mostraremos os conceitos fundamentais da tecnologia dos inversores de frequência bem como os equipamentos e softwares da Rockwell Automation para gerenciamento completo dos sistemas de energia; voltados para o fornecimento de informação, controle e automação para otimização do uso da energia, segurança e sustentabilidade dos processos produtivos.

2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

2.1 Fundamentos

Os inversores de frequência são equipamentos eletro-eletrônicos capazes de controlar (variar ou manter) a velocidade dos motores elétricos, fazer frenagens e acelerações controladas e podendo, em condições especiais, manter o torque nominal no eixo, mesmo em rotações zero.

Estes equipamentos são instalados entre o motor e o barramento de alimentação elétrica, onde a tensão e frequência na entrada do inversor são fixas (lado fonte) e a tensão e frequência na saída do inversor são variáveis (lado carga):

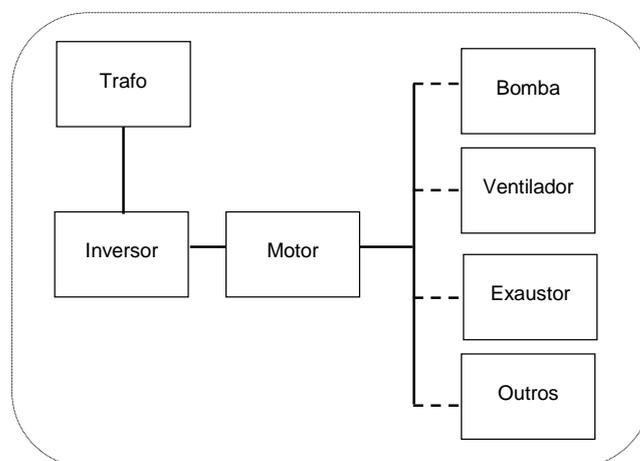


Figura 1. Diagrama de Blocos – Circuito Elétrico Típico.

Internamente, o inversor de frequência é composto basicamente de três partes principais: unidade retificadora, barramento de tensão contínua e unidade inversora.

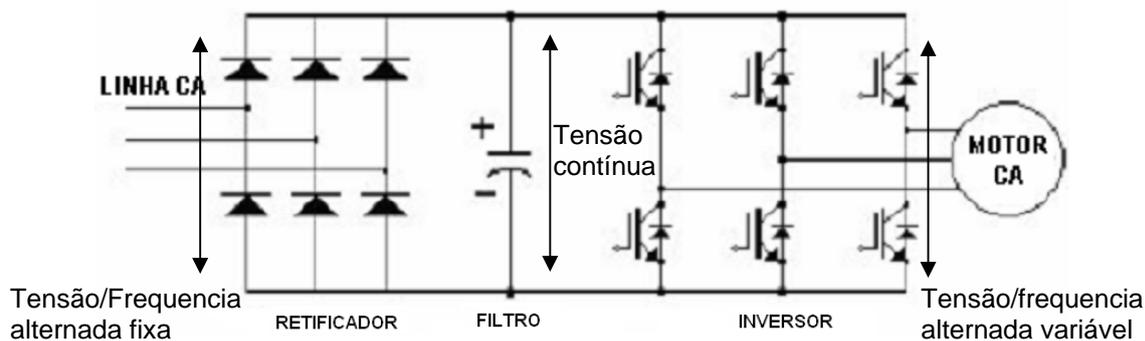


Figura 2. Esquema eletro-eletrônico de Potência (simplificado).

Uma forma de reduzir o consumo de energia e melhorar o fator de potência é instalar Inversores de Frequência (Drives) em aplicações específicas. Benefícios dos Inversores de Frequência:

- reduz a corrente de partida (elimina o pico na demanda);
- reduz o consumo de energia;
- reduz golpe de aríete;
- melhora o controle do processo;
- controle de ruído acústico;
- reduz o desgaste mecânico;
- melhora a manutenção do sistema; e
- controle multi motor.

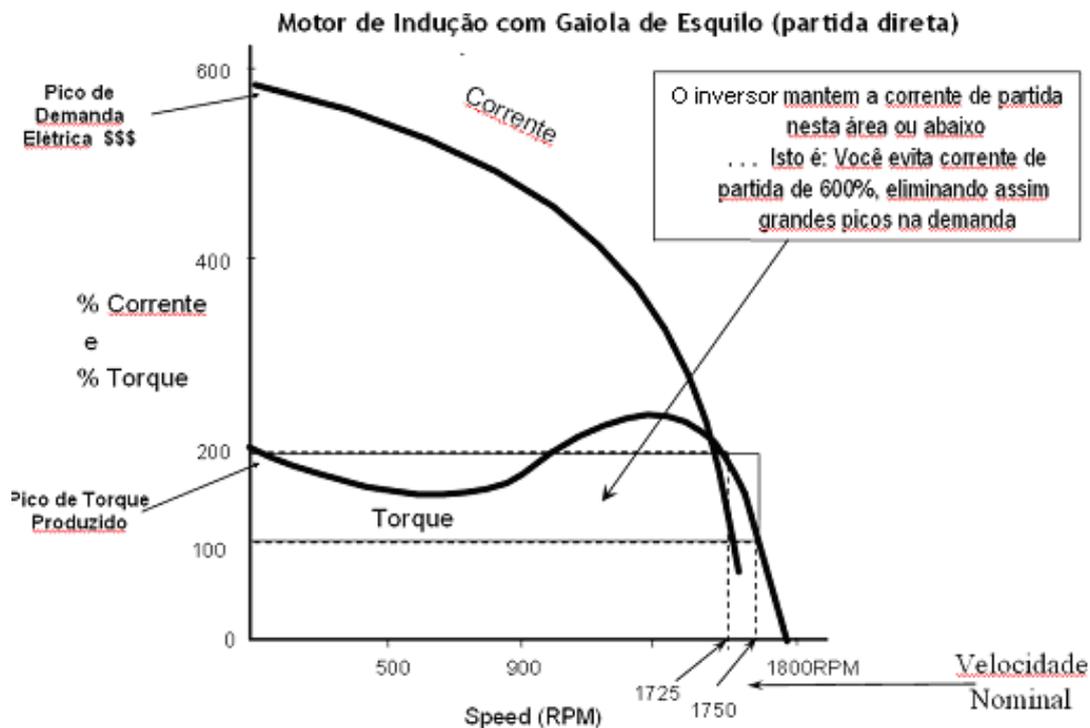


Figura 3. Curva típica de partida direta do motor de indução trifásico em gaiola de esquilo.

2.2 Lei da Afinidade das Cargas Centrífugas

A Lei de Afinidade é aplicada a todos os dispositivos centrífugos e relaciona as grandezas mecânicas e elétricas em relação à rotação da carga. Em uma carga centrífuga a vazão varia linearmente com a velocidade e a pressão (conjugado/torque) varia com o quadrado da velocidade. Como a potência requerida é proporcional ao produto do torque pela velocidade, conclui-se que a potência varia com o cubo da velocidade.⁽¹⁾

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \quad \frac{HP_2}{HP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Onde,

Q : vazão ou fluxo;
N : velocidade;
P : pressão;
HP : potência

- Potência = Torque x Velocidade
- Potência = Pressão x Vazão
- Vazão varia linearmente com a Velocidade
- Pressão varia com o quadrado da Velocidade
- A Potência varia com o cubo da velocidade

Em outras palavras, 100% da potência são necessários a 100% da velocidade/vazão e somente 13% da potência são necessários para 50% da velocidade/vazão.

Resumindo:

- A vazão (Q) varia linearmente com a velocidade (N);
- A pressão (P) é proporcional ao quadrado da velocidade (N) ou fluxo (Q);
- a potência (HP) é proporcional ao cubo da velocidade (N) ou fluxo (Q).

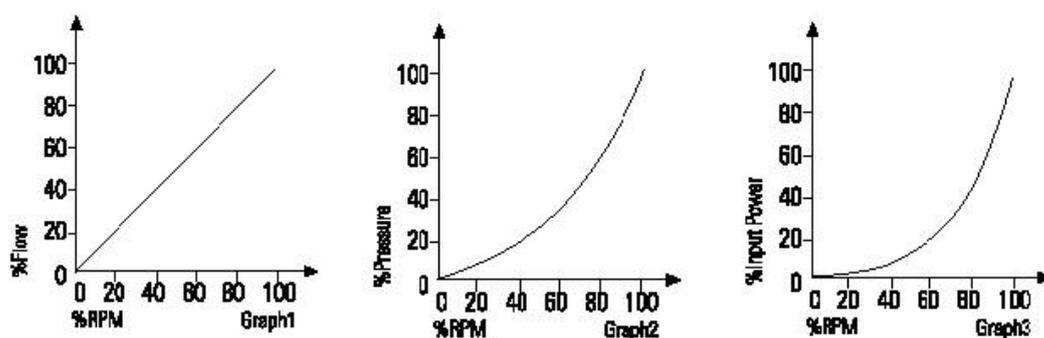


Figura 4. Curvas de variação de vazão, pressão e potência em função da velocidade.

A Potência varia com o cubo da velocidade. Desta forma, quando reduzimos a velocidade, podemos notar uma redução substancial na potência consumida.

Tabela 1. Tabela comparativa da Lei da Afinidade

% VELOC.	% VAZÃO	% POTÊNCIA
100	100	100
80	80	51
60	60	22
50	50	13
40	40	6
30	30	3

2.2 Potencial de Economia em Sistemas de Bombeamento

A Potência Hidráulica é proporcional a área do retângulo. Existem vários tipos de controle de vazão. Para cada um deles podemos calcular a potência hidráulica. Aqui veremos uma comparação entre o método mais comum de estrangulamento do fluxo com o método de variação de velocidade do motor com inversor.⁽²⁾

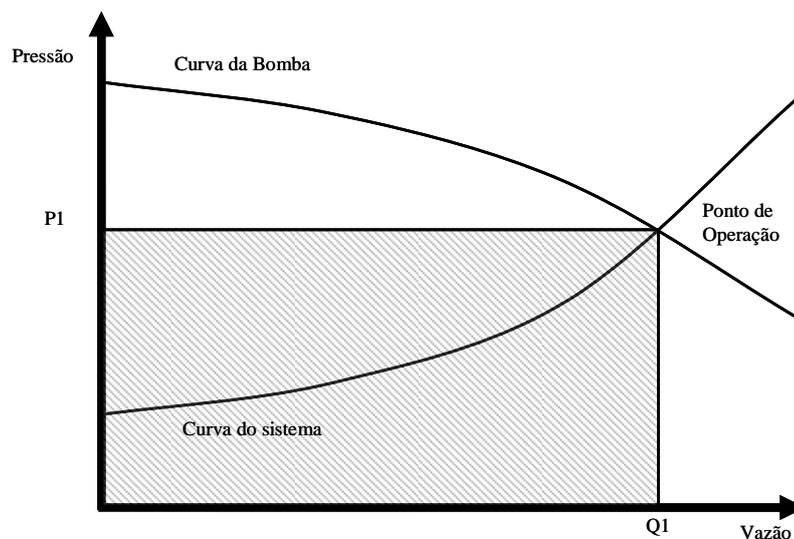


Figura 5. Potência Hidráulica – Pressão x Vazão.

2.2.1 Métodos de controle de fluxo

- *Controle por estrangulamento (throttling):* neste método controla-se a vazão abrindo e fechando a válvula parcialmente, estrangulando a passagem do fluido. O resultado da diminuição da vazão por estrangulamento é um aumento da carga da bomba exigindo um novo ponto de operação e um aumento de pressão (Figura 7). Esta válvula é instalada em série com a bomba.

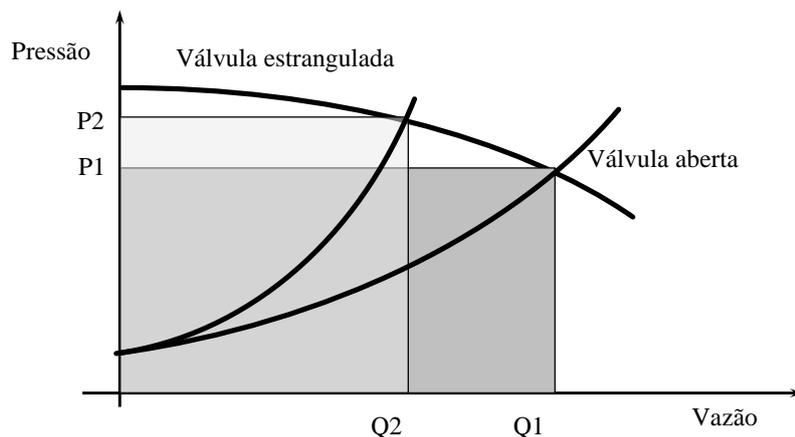


Figura 6. Variação da Pressão e Vazão com Controle por estrangulamento.

- *Controle por variação de velocidade com inversores:* neste caso, a diminuição da vazão é obtida variando-se a velocidade do conjunto moto-bomba. A carga da bomba é reduzida na mesma proporção em que a vazão é reduzida (Figura 9).

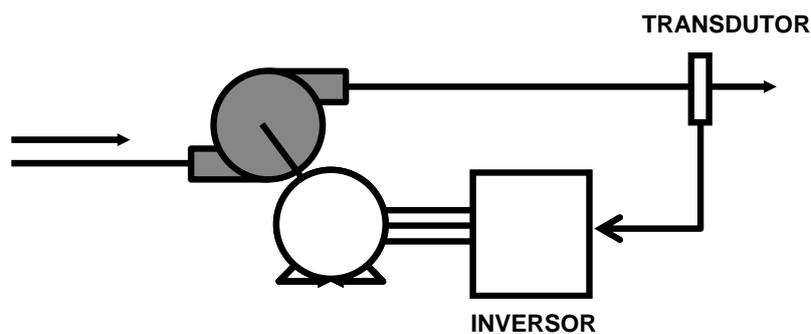


Figura 7. Esquema de controle com inversor e realimentação por transdutor.

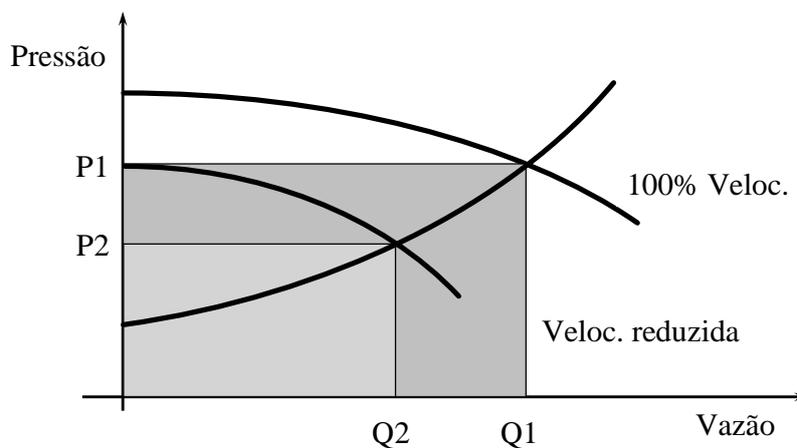


Figura 8. Variação da Pressão e Vazão com Controle por Inversor de Frequencia



Tabela 2. Comparação: Sistema c/ válvula vs sistema c/inversor

Vazão (GPM)	HP (Válvula)	HP (inversor)
1200	25	25
960	23	12.8
720	21	5.4
480	19	1.6

2.3 Potencial de Economia em Sistema de Ventilação/Exaustão

2.3.1 Fórmulas básicas

$$HP = \frac{CFM \times PSF}{33,000 \times \text{Efficiency of Fan}}$$

$$HP = \frac{CFM \times PIW}{6536 \times \text{Efficiency of Fan}}$$

$$HP = \frac{CFM \times PSI}{229 \times \text{Efficiency of Fan}}$$

Onde:

CFM = Cubic Feet per Minute

PSF = Pounds per Square Foot

PIW = Inches of Water gauge

PSI = Pounds per Square Inch

2.3.2 Métodos de controle de fluxo

- *Controle por damper (registros) x controle com inversor.* os dampers de controle são instalados na saída do ventilador controlando o fluxo através do aumento ou redução da resistência na passagem do ar. O controle por inversor reduz a velocidade do motor e tira proveito das leis de afinidade das cargas centrífugas e da alteração na curva do ventilador.⁽³⁾

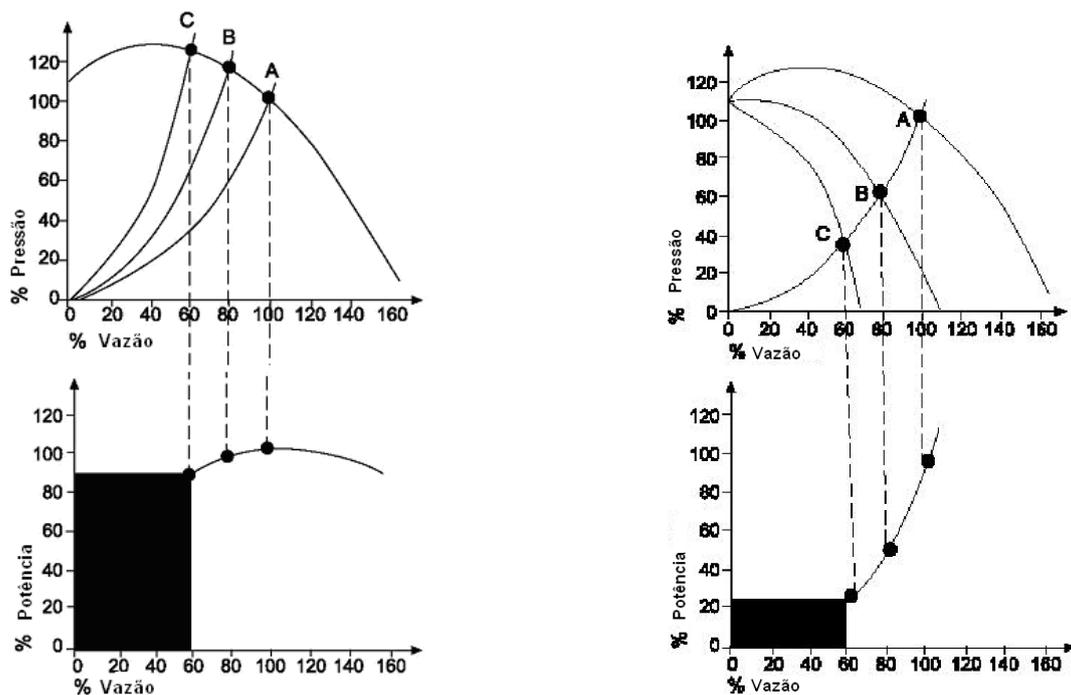


Figura 9. Comparativo da Potência Demandada - Controle por Damper x Controle por Inversor

2.4 Comparação da Energia Elétrica Consumida pelos Dois Métodos de Controle

A seguir vamos comparar a potência de entrada necessária para operar um motor de 100HP a 60% da vazão, pelos dois métodos de controle: damper e inversor.

Tabela 3. Variação da potência e energia consumidas em função do tipo de controle

	Damper de saída	Inversor de frequência
Potência de entrada (HP)	91	28
Potência de entrada (kW)	68	21
Energia anual (KWh)	340.000	105.000

2.5 Cálculo de Economia de Energia e Retorno de Investimento – Exemplo

Um ventilador de 25 HP precisa fornecer ar durante 10 horas por dia durante 300 dias por ano. O custo do ventilador rodando na velocidade nominal, por todo ano será:

$$25\text{HP} \times 0,746 \text{ kW/HP} \times 3000 \text{ hrs} \times \text{R\$}0,26\text{kWh/hr}^* = \text{R\$} 14.547$$

- 25% do tempo a 100% Fluxo /velocidade;
- 50% do tempo a 80% Fluxo /velocidade;
- 25% do tempo a 60% Fluxo /velocidade

O custo de rodar um ventilador com um inversor de frequência será:

$$25 \text{ HP} \times 0,746 \text{ kW/hp} \times 750 \text{ hrs} \times 0,26/\text{kWhr} \times (1.00)^3 = \text{R\$} 3.636,75$$

$$25 \text{ HP} \times 0,746 \text{ kW/hp} \times 1500 \text{ hrs} \times 0,26/\text{kWhr} \times (0.80)^3 = \text{R\$} 3.724,03$$

$$25 \text{ HP} \times 0,746 \text{ kW/hp} \times 750 \text{ hrs} \times 0,26/\text{kWhr} \times (0.60)^3 = \text{R\$} 785,54$$

$$\text{Total} = \text{R\$} 8.146,32$$

$$\text{Economia Anual: R\$} 14.547 - \text{R\$} 8.146,32 = \text{R\$} 6.400,68$$

Custo de inversor de 25cv: R\$ 2.800,00* -> Retorno de investimento: < 6meses

* Valores aproximados e ilustrativos.

2.6 Softwares de Economia de Energia e Retorno de Investimento

A Rockwell Automation possui softwares de simulação para análise de economia de energia e retorno de investimento, para aplicações em sistemas de bombeamento e ventilação/exaustão (http://www.ab.com/drives/energy_savings/index.html).

2.7 Vantagens de Utilizar Inversores de Frequência em Bombas e Ventiladores

- Economia de energia (consumo e demanda);
- Simplificação da rede de dutos com eliminação dos dampers e das válvulas de estrangulamento;
- Alívio da rede elétrica, pois os inversores partem os motores com corrente controlada;
- Eliminação dos golpes de aríetes, aliviando e protegendo a rede de dutos;
- Aumento da vida útil da bomba e do ventilador;
- Diminuição do ruído acústico;
- Integração do equipamento (motor, inversor) em rede de comunicação industrial, permitindo trocas de dados: monitoração, acionamentos remotos, diagnósticos de falhas e alarmes de manutenção preditiva/corretiva

3 METODOLOGIA “MONITORAR-ANALISAR-CONTROLAR”

Monitorar	Analizar	Controlar
<u>Utilidades</u> Á gua V apor (Comprimido) E letricidade A r (comprimido) Ó leo, Gás	<u>Tarifas</u> • Hora da Utilização • Carga Demanda • Opções de Taxas <u>Eficiência do Processo</u> • Custo de Alocação / Prorata • Energia por unidade <u>Opções de Solução</u> • Estratégia Energética • Fontes de Energia • Solução baseado no ROI (Retorno de Investimento)	<u>Demanda & Consumo</u> • Sistema de Gerenciamento • Reduzir Picos • Balancear a Co-geração da Planta • Cargas de Emergencia • Controle Supervisório do Gerador • Controle do banco de Capacitores • Otimização das torres de resfriamento • Gerenciamento do prédio – Onde o meio-ambiente é crítico para o processo

Figura 10. Metodologia Proposta

O objetivo do sistema de controle de energia é produzir informação útil e não simplesmente dados de processo.⁽⁴⁾



3.1 Soluções de Gestão de Energia da *Rockwell Automation* (PEMS – *Power & Energy Management Solutions* - www.ab.com/PEMS.)

Fornecer informação, controle e automação para otimizar o uso de energia e reduzir o gasto com energia, através de:⁽⁵⁾

- Coleta e análise de dados;
- Auditoria de sistemas elétricos;
- Gerenciamento de demanda;
- Medição/Monitoração da energia;
- Qualidade da energia.

Com os objetivos de:

- Evitar cobrança por demanda excedida reduzindo o pico de demanda;
- Eliminar as multas de fator de potência da concessionária;
- Reduzir os efeitos negativos de um fator de potência ruim ou alto valor de harmônicas;
- Controle centralizado do sistema de distribuição de energia da indústria com o mínimo de funcionários;
- Coleta de dados rápida;
- Migrar para sistemas de controle supervisorio;

4 SUSTENTABILIDADE

4.1 Definição

Em um contexto ecológico, sustentabilidade pode ser definido como o habilidade de um ecossistema manter os processos e funções ecológicas, biodiversidade e produtividade ao longo do tempo. Os recursos da Terra devem ser utilizados a uma velocidade na qual seja possível repô-los.⁽⁶⁾

É prover o melhor para as pessoas e para o ambiente tanto agora como para um futuro indefinido. Para um empreendimento humano ser sustentável, tem de ter em vista 4 requisitos básicos. Esse empreendimento tem de ser:

- ecologicamente correto;
- economicamente viável;
- socialmente justo; e
- culturalmente aceito.

Empresa sustentável – como podemos atingir os objetivos de usar menos energia, reduzir o desperdício e manter as pessoas em segurança.

Segurança do Produto & Produção | Proteção do Meio Ambiente | Eficiência Energética

Produção Sustentável é utilizar tecnologias para transformar materiais sem emitir gases poluidores, sem utilizar materiais não renováveis ou tóxicos ou sem gerar lixo enquanto otimiza e integra a cadeia de suprimentos

4.2 O Que é um Produto Sustentável?

São aqueles que oferecem benefícios ambientais, sociais e econômicos em relação aos seus pares.

O mesmo tempo, se preocupam com questões de saúde pública, bem-estar social e ambiente, da extração das matérias-primas ao descarte final.



Isto inclui maior índice de itens recicláveis e menor consumo de energia e de águas nas etapas de produção.

Também inclui mitigação das emissões de CO₂ e menor índice de componentes tóxicos

Os desafios da Produção Sustentável não são apenas sobre energia. A produção sustentável deve equilibrar desempenho ambiental e social, além dos fatores do desempenho da empresa.

4.3 Norma Rohs

É uma norma dizendo que em certos produtos ,não deve haver certas substâncias como chumbo , metais pesados e outros químicos altamente poluidores.

Rohs significa *Restriction of Hazardous Substances* (Restrição de Substâncias Perigosas) é uma norma que faz parte da diretiva WEEE “Waste Electric and Electronic Equipment” (Lixo Vindo de Produtos Eletro-Eletrônicos) – diretiva que trata da reciclagem de produtos eletro-eletrônicos. Rohs também é conhecido como a lei do sem chumbo. A solda atual é composta de 63% de estanho e 37% de chumbo. Prata, cobre e o bismuto são utilizados comumente na nova composição da solda sem chumbo.

5 RESULTADOS E ESTUDOS DE CASOS

5.1 Solução #1 com Inversor

A empresa Liuzhou Steel Plant, situada na cidade de Guangxi, na China, implementou em 2001 um projeto que resultou em uma economia de US\$400.000,00 por ano, com retorno de investimento de 2,5 anos, no processo de sinterização.⁽⁷⁾

O problema: independente da quantidade de ar requerida, o ventilador sempre operava com 100% da velocidade, onde o controle de fluxo era executado através de damper. Isto implicava em uma dificuldade de controle do fluxo e pressão resultando em uma variabilidade alta do produto final, o sinter.

A Liuzhou Steel Plant trabalhou junto com a Rockwell no desafio de reduzir o consume de energia e melhorar a qualidade do produto. O controle por damper foi substituído por controle da velocidade do motor com inversor de frequência.

5.2 Solução #2 com Inversor

A companhia de saneamento da cidade de Sandusky, Ohio, USA, tinha frequentes paradas de produção causando interrupções recorrentes no serviço de abastecimento de água. A causa dos problemas era um processo de bombeamento muito antigo e ineficiente, com partidas excessivas de bombas causando uso excessivo de eletricidade. Outro problema era a variação brusca da pressão da rede de água, que ocasionava movimentação dos dutos e risco de quebras.

A *Rockwell Automation* trabalhou junto com a Sandusky no projeto de instalação de inversores de frequência para controlar os motores das bombas a fornecer regulação precisa da pressão da rede de água. O uso de inversores reduziu o gasto com elergia elétrica em mias de \$31.000 em 12 meses, e diminuiu a quebra de equipamentos em 76%, aumentando a vida útil das bombas e tornando o serviço de abastecimento muito mais confiável.⁽⁴⁾



5.2 Solução com PEMS - *Power & Energy Management Solutions*

A empresa Republic Technologies international (RTI), em Canton, Ohio, USA, produz placas de aço e conseguiu uma redução de US\$800.000,00 por ano com os gastos de energia elétrica.

A empresa implantou junto com a Rockwell Automation um projeto de gerenciamento e controle de demanda dos fornos. O sistema regula o consumo e demanda de energia elétrica da planta de acordo com valores pré-definidos, inibindo e priorizando cargas essenciais ao processo e simulando projeções a cada 5 segundos.⁽⁴⁾

6 CONCLUSÃO

No mercado atual, globalizado, dinâmico e competitivo, a eficiência, agilidade, preservação do meio ambiente e segurança da produção deixaram de ser opções e tornaram-se obrigações para a sobrevivência das empresas; onde é preciso fazer mais com menos, e rápido.

A Rockwell Automation é uma empresa com equipamentos e softwares para soluções completas de sistemas de automação integrados à gestão de ativos de energia, controle de motores

<http://www.rockwellautomation.com/solutions/sustainability/>

<http://www.rockwellautomation.com/literature>

REFERÊNCIAS

- 1 Raymond Schmitz. Utilização de Inversores de Frequência em Bombas e Ventiladores. Revista Intech, número 73.
- 2 Rockwell Automation. Energy Savings with Adjustable Frequency Drives – Centrifugal Pumps. Publication Drives-WP010C-EN-P, 2007.
- 3 Rockwell Automation. Energy Savings with Adjustable Frequency Drives – Centrifugal Fans. Publication Drives-WP009C-EN-P, 2007.
- 4 ARC Advisory Group – Rockwell Automation’s Users Realize Quick Return on Energy Solution “ROE” Investments. White Paper, publication CORP-WP002A-EN-P, 2002.
- 5 Rockwell Automation. Power and Energy Management Solutions Product Overview. Publication EMSE00-BR017-EN-E, 2010.
- 6 Rockwell Automation. Sustainable Production Solutions – Cleaner, Safer, more Energy Efficient Operations. Publication SUST-BR001-EN-P, 2010.
- 7 Rockwell Automation. Variable speed fan drive at Liuzhou Steel Sinter Plant realizes hot savings, Publication METIVP-AP005A-EN-D, 2002.