

## USO RACIONAL DE ENERGIA EM PLANTAS DE PAPEL E CELULOSE

Eng<sup>o</sup> Sebastião de Souza Gomes

Asea Brown Boveri Ltda · Divisão ABB Service SP · Brasil



### 1. INTRODUÇÃO

Diversos critérios podem ser utilizados na análise da aplicação correta da energia em plantas industriais.

O balanço de energia é um método de análise que constitui o primeiro passo na pesquisa para a conservação de energia.

Este balanço pode ser feito no nível de uma máquina, de uma instalação, de um processo, de uma fábrica ou de um setor industrial completo.

Outro método de análise utilizado é a correlação de consumo de energia com a produção de uma fábrica, para se obter o consumo específico de energia (expresso em MWh/t, GJ/t, etc).

Independentemente do método utilizado, para uma interpretação correta dos resultados, temos diversos pontos a considerar, tais como:

- As convenções escolhidas devem ser bem especificadas e justificadas.
- As limitações do método devem ser bem conhecidas.
- Os recursos para a coleta de dados e medições devem ser bem preparados.

Temos ainda, que ter sempre em mente a Lei da Conservação de Energia, o que nos permitirá avaliar a validade dos dados coletados e medições efetuadas, estimar dados desconhecidos ou concluir a respeito de dados falsos ou incompletos.

Este trabalho procura mostrar o papel fundamental da Engenharia de Manutenção como suporte eficaz para aplicação de tecnologia e produtos para o Uso Racional de Energia.

## 2. BALANÇO DE ENERGIA

Neste nível, o objetivo é se obter dados corretos sobre as quantidades de energia que são consumidas e utilizadas na fábrica.

Deve-se lembrar que a energia é sempre definida em comparação com um nível referencial arbitrário. Diferentes sistemas de referência são utilizados. Cada um destes sistemas requerem a seleção de um grupo de componentes básicos, de um estado físico de referência para cada componente e de uma temperatura de referência.

Em grande parte do setor industrial, o conteúdo energético é expresso por meio de valores caloríficos.

Neste sistema os componentes básicos (cuja energia é zero por convenção) são o oxigênio, nitrogênio,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  na temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Estes componentes são todos tomados no estado gasoso, exceto a água que pode ser selecionada para o estado gasoso ou líquido (trabalhando - se então com o valor calorífico correspondente).

Este sistema, largamente utilizado para definir a energia contida de fluidos, torna-se insuficiente quando os componentes do sistema analisado incluem outros elementos além do oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, carbono e enxofre.

Na indústria química e metalúrgica, por exemplo, um sistema de referência diferente é normalmente utilizado.

Os componentes básicos são normalmente os elementos químicos tomados num estado padrão. a energia contida, ou seja, a energia de formação desses elementos é então considerada.

Este sistema permite calcular o balanço de energia de vários sistemas químicos.

Como a energia de formação é completamente diferente da energia calorífica, os dois sistemas nunca poderão ser misturados numa análise, para se evitar incoerências.

## 3. CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGIA

Uma vez que as referências de estado e sistemas de unidade são corretamente definidos e as entradas de energia de uma fábrica são determinadas, é interessante correlacionar o consumo de energia com a produção da fábrica, para se obter o consumo específico de energia.

A determinação do consumo específico de energia, ao nível das fábricas ou ao nível de certas partes do processo, é importante para nos mostrar onde é possível a racionalização do uso da energia.

O resultado da análise dependerá, de um lado, de escolha do sistema de referência a ser utilizado, e do outro lado, da escolha das formas de energia que serão valorizadas e das formas que serão consideradas como perdas.

Podemos citar um simples exemplo que mostra a importância desta escolha:

- Vamos considerar duas fábricas, com o mesmo material de entrada  $M_i$  e com o mesmo produto final na saída  $M_o$ . A primeira fábrica compra eletricidade ( $E_1$ ) e combustível ( $F_1$ ); o combustível é convertido em vapor ( $S_1$ ) para uso final. Ao lado do produto final  $M_o$ , a fábrica produz também rejeitos ( $W$ ). Na segunda fábrica, uma parte do material de rejeito é usado como combustível, tal que o combustível comprado ( $F_2$ ) é menor que o da primeira fábrica ( $F_1$ ) para produzir a mesma quantidade de vapor ( $S_2 = S_1$ ). De outro lado a compra de eletricidade deverá ser maior no segundo caso ( $E_2 > E_1$ ), em função da necessidade de manuseio e tratamento do rejeito. O consumo específico de energia pode ser definido, referindo-se à energia comprada ( $E_1$  e  $F_1$ ,  $E_2$  e  $F_2$ ) ou a forma final de energia utilizada ( $E_1$  e  $S_1$ ,  $E_2$  e  $S_2$ ), se as compras de energia são consideradas, a comparação do consumo específico:  $E_1/M_o < E_2/M_o$ ;  $F_1/M_o > F_2/M_o$ . Se o uso final da energia é considerado, temos:  $E_1/M_o < E_2/M_o$ ;  $S_1/M_o = S_2/M_o$ .

Na segunda hipótese, a fábrica que recupera energia do material rejeitado aparecerá com uma menor performance, quando os consumos específicos de energia são considerados.

Então se queremos comparar o uso final da energia, a energia recuperada no processo ou nos materiais rejeitados tem que ser considerados.

Geralmente os consumos específicos de energia são fáceis de se determinar quando se usa energia comprada, mas são muito difíceis de se comparar entre fábricas, por causa fundamentalmente da existência de diferentes fontes para se obter o mesmo tipo de uso final da energia (por exemplo no caso da produção combinada de vapor e eletricidade).

O correto uso do consumo específico de energia, requer que os materiais de entrada usados na fabricação dos produtos sejam todos claramente e precisamente especificados. Contudo, na prática, isto é raramente possível, e somente os produtos principais envolvidos são especificados.

Uma comparação direta entre fábricas normalmente não é possível, porque existe uma grande variedade de produtos fabricados de diferentes materiais de entrada. Podemos completar a análise utilizando outras ferramentas para a localização das perdas de energia e o seu cálculo, como por exemplo fazendo uma análise entrópica do processo.

#### 4. OS CUSTOS DA RACIONALIZAÇÃO

O critério essencial para analisar a eficiência de energia de um processo é sempre o custo financeiro da energia associada a produção.

Este critério, na verdade, será decisivo no exame dos investimentos necessários para se implantar um programa de uso racional de energia ou para substituir uma forma de energia por outra.

Com um mercado cada dia mais competitivo, e com os preços dos produtos sendo balizados por um mercado mundial, chegamos num ponto que é fundamental a implantação de programas de Uso Racional de Energia na maioria das empresas do setor industrial.

Muitas empresas ainda não iniciaram um programa por várias razões. A maioria dos gerentes industriais percebem que os custos com energia podem ser reduzidos, e o ponto de partida em um programa de Uso Racional de Energia é o exame e auditoria do sistema de energia da fábrica. Contudo, na maioria dos casos os recursos técnicos não estão disponíveis, uma vez que seu Staff técnico esta totalmente alocado a produção, no desenvolvimento de processos, na manutenção e em expansões.

Atualmente com os recursos disponíveis em tecnologia, equipamentos, etc associados à experiência e avaliações de casos práticos da Engenharia de Manutenção, podemos ter a inspeção dos equipamentos orientada para a implantação de medições, aproveitando ciclos de manutenção e através do seu próprio pessoal, implantar um esquema de instalação de sensores e aparelhos de medição.

É muito difícil para um gerente industrial definir a taxa de retorno de investimento para um programa de Uso Racional de Energia.

Mais difícil ainda é iniciar o programa em virtude da não existência do Banco de Dados dos fluxos de energia e Auditoria do Sistema.

Com o auxílio da Engenharia de Manutenção, estas tarefas, e as duas fases essenciais de um projeto deste tipo (Identificação das Oportunidades e Implementação das Opções), passam a ter um outro enfoque em termos de execução e taxas de retorno de investimento, ou seja:

- Montamos um banco de dados dinâmico do fluxo de energia da fábrica.
- Execução do programa sem aumento significativo de custo, apenas através de mudança de procedimento (como numa TPM).
- Diluição do investimento total em pequenos investimentos (Isto significa que as oportunidades de racionalização são detetadas não só a nível de processo, mas também a nível dos componentes do sistema).
- Obtenção de Feed - Back necessário para a definição das características e dimensionamento de novos equipamentos (Rendimento , Potência, Grau de Proteção, etc).

## 5. IDENTIFICAÇÃO DAS OPORTUNIDADES E APLICAÇÕES

Com o banco de dados disponível e com a auditoria do sistema de energia englobando todos os consumidores de vapor e eletricidade da instalação, a identificação das oportunidades, com mudanças ou não no processo (modificações de baixo, médio e alto custo), pode ser facilmente concluída.

Como modificações de baixo custo podemos citar aquelas relacionadas com mudanças nos procedimentos da operação ou da manutenção e as relacionadas com perdas em sistemas de distribuição elétrica e redes de vapor. Por exemplo: eliminação de pontos quentes do sistema elétrico e vazamento na rede de vapor.

No elenco das modificações de médio custo, entretanto com elevada taxa de retorno de investimento, podemos considerar:

- Mudança de métodos de controle de Fluxo em Ventiladores e Bombas.
- Redimensionamento de Motores.
- Correção do Fator de Potência.

Como modificações de alto custo, mas também com elevada taxa de retorno de investimento, consideramos:

- Grupos secadores compactos para máquinas Desaguadoras de Celulose (secagem em colchão de ar).

Os custos de energia de aquecimento para secar a celulose representam um grande percentual de despesas operacionais da linha de secagem.

A solução é se utilizar secadores compactos com baixo consumo para o aquecimento.

Estes secadores, com um sistema de reaquecimento e recirculação fechado, consomem muito menos energia do que máquinas de cilindros. O secador compacto produz ainda menos radiação de aquecimento, comparado aos secadores convencionais, devido sua alta evaporação relacionada a superfície de evaporação.

Aproximadamente 2/3 de toda a energia de aquecimento inicial usada para a secagem, pode ser economicamente reutilizada para aquecer o ar de ventilação e água do processo.

- Sistemas de capota para máquinas de Papel.

Para uma efetiva redução no consumo de energia, as capotas devem ser dimensionadas para um ponto de orvalho elevado, o que significa um alto conteúdo de água no ar de exaustão.

Isso representa um impacto direto na economia de energia de aquecimento da máquina de papel.

O ponto comum do ponto de orvalho considerado neste sistema é de 58°C, para o qual o consumo de energia é de aproximadamente 3000KJ por quilo de água evaporada, dependendo do nível de recuperação do aquecimento.

- Sistemas Digitais para Gerenciamento da energia de toda a Planta com controle de potência para:

- . Otimizar Importação de Energia da Concessionária
- . Buscar os pontos de maior eficiência operacional dos geradores
- . Gerenciar o fluxo de reativos, evitando perdas
- . Controlar Demanda

Com a utilização destes sistemas, conseguimos gerenciar à carga da fábrica, o que significa otimizar o uso das fontes de energia em operação normal e promover desligamentos rápidos de carga no caso de perda de uma ou mais dessas fontes, de modo a manter a planta em condições seguras de operação.

Em situações normais, o sistema de gerenciamento seleciona o arranjo mais econômico, para suprir energia aos diversos consumidores.

Isto implica no controle automático da operação do gerador e da potência de saída, monitorando o pico de demanda e o fator de potência.

Em caso de insuficiência de fornecimento de potência, o sistema de controle, salvaguarda potências críticas e vitais ao processo, enquanto serviços não essenciais serão desligados.

O que proteger e o que desligar pode depender da situação produtiva, o que pode ser monitorado pelo sistema.

Para exemplificação de algumas aplicações, tomemos por base o consumo específico de energia, medido em algumas seções de três diferentes máquinas, com produção de diferentes tipos de Papel, em KWh/t

	MP1	MP2	MP3
PULPERS	67,4	85,2	139,1
AGITADORES	33,2	65,4	47,9
REFINADORES	5,6	75,1	134,0
BOMBAS	92,6	173,9	193,9
ACIONAMENTO DA MÁQUINA	37,8	36,1	106,1
PARCELA REFERENTE A GRANDES MOTORES	74,1	82,0	103,0

Algumas conclusões a nível das seções das máquinas começam a surgir. Por exemplo, no caso dos refinadores existem diferenças para máquinas fazendo o mesmo papel (em função da qualidade do papel); outras diferenças podem ser citadas:

- Construção pobre do refinador
- Ciclo de carga do refinador

Em algumas fábricas com quatro ou mais refinadores trabalhando em paralelo, cada um com metade da carga, teríamos uma eficiência maior parando dois deles e então operando os outros em plena carga.

Um outro exemplo seria o caso das Bombas (Água, Vácuo, Condensado)

- Melhor vácuo para as prensas úmidas significa alto consumo elétrico de potência para as bombas, entretanto menos vapor será necessário para as seções de secagem.
- As bombas d'água também tem alto consumo, em alguns casos, devido algumas "melhorias / facilidades" implementadas no processo ou a própria construção da tubulação.

No caso do acionamento da máquina, como a parcela da potência destinada a puxar a tela é considerável em relação a potência total consumida por esta seção, podemos concluir que o consumo específico para papéis espessos é baixo, enquanto para papéis finos ele é alto.

Um aspecto importantíssimo, e que atualmente começa a ser analisado com atenção especial, nos acionamentos das máquinas de papel e celulose são os reflexos, no consumo de energia, da aplicação do acionamento com Inversores de Frequência no lugar de acionamentos de Corrente Contínua.

Como os Inversores de Frequência, com tecnologia mais avançada, possuem na seção de entrada Retificadores a diodo o que dá ao conjunto um Fator de Potência próximo de 1, é fácil concluir a respeito da economia de energia e também a economia na instalação (cabos de bitolas menores, leitos fisicamente menores, equipamentos de proteção e manobra menores, etc).

Observando ainda os valores de consumo específicos apresentados e orientando nossa análise para o elenco de modificações de médio custo com elevada taxa de retorno de investimento, observamos um grande potencial para melhorias no consumo de energia na área dos acionamentos de bombas da máquina e nos grandes motores da planta.

No caso das bombas, um sistema de bombeamento é normalmente projetado para atender a 100% do fluxo necessário, mas muitas vezes pode operar abaixo do valor nominal. Vamos supor que 50% do fluxo é necessário por uma hora.

Quais são as opções?

. 50% pode ser recirculado(FIG.1)

Custo da Energia = 100%

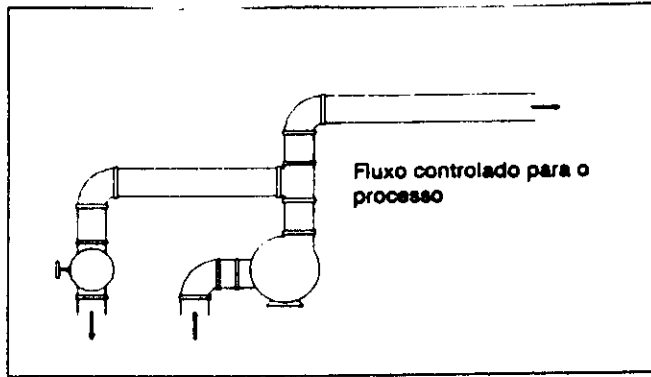


FIG.1 - RECIRCULAÇÃO

. Fluxo restrito por válvula de estrangulamento(FIG.2)

Custo de Energia = 70%

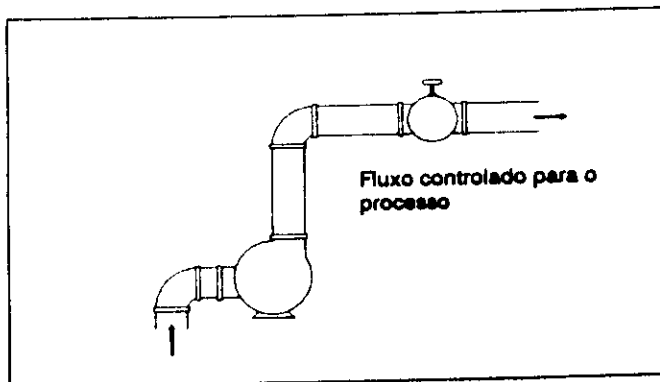


FIG.2 - ESTRANGULAMENTO

. Acionar a bomba apenas 50% do tempo

Custo da Energia = 50%

. Redução da velocidade da Bomba variando a velocidade do motor através de Inversor de Frequência

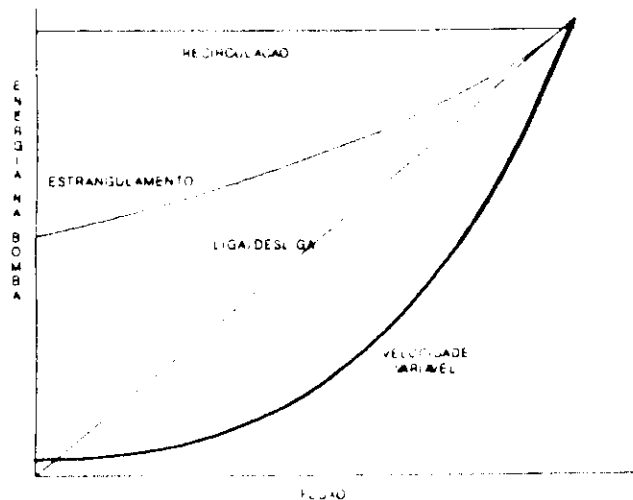
Custo da Energia = 25%



Podemos ressaltar algumas observações sobre estes métodos:

- . A recirculação seria uma boa opção se a energia fosse grátis.
- . Válvulas de estrangulamento não devem ser utilizadas em bombas de fluxo axiais. Elas também tem uma limitada curva de atuação para baixos fluxos.
- . A recirculação reduz a vida do motor e da bomba, além de aumentar a demanda de energia.
- . Os inversores de frequência habilitam o redimensionamento das bomba para a exata necessidade através do controle de velocidade do propulsor. Ele também regula o fluxo muito melhor do que uma válvula e utiliza menos energia.

Curvas de Energia consumida em função das formas de controle de fluxo:



A economia de energia por si só justifica a instalação do inversor de frequência, entretanto podemos relacionar ainda os seguintes fatores importantes de economia:

- . Desgaste mecânico e manutenção reduzida.
- . "Fator de Demanda" de energia reduzida porque o motor partirá suavemente com uma corrente de partida controlada.
- . Fator de potência melhorado (aproximadamente 1, em toda a faixa de controle de velocidade).

Uma tendência atual e características das caldeiras utilizadas em fábricas de papel e celulose, é a redução do consumo de energia elétrica através do aumento da eficiência e economia da energia em suas instalações auxiliares.

O controle de rotação de ventiladores, bomba de alimentação de água, bombas de licor negro, representa uma grande economia de energia. Como no caso das Bombas, um equipamento de ventilação ou exaustão, e projetado para produzir 100% do fluxo necessário, porém muitas vezes poderá trabalhar bem abaixo desta condição.

Vamos supor que 50% do fluxo é necessário por algum tempo.

Quais são as opções? Veja a FIG.3

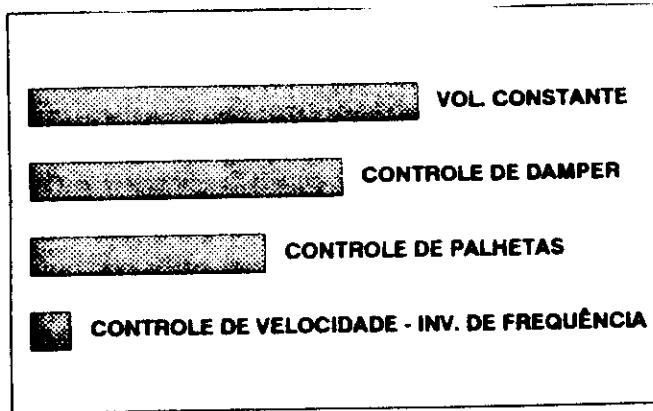


FIG.3 - ENERGIA UTILIZADA PARA 50% DO FLUXO

Podemos ressaltar as seguintes observações sobre estes métodos:

- . Volume constante desperdiça energia.
- . Dampers podem ser ruidosos e tem uma atuação limitada para fluxos baixos.
- . Palhetas restringem o fluxo mesmo quando totalmente abertas.
- . O inversor de frequência habilita redimensionar o ventilador para a exata necessidade através do controle da velocidade. Isto também reduz o ruído do ventilador enquanto, ao mesmo tempo, economiza energia.

A figura 4 mostra a energia requerida pelo ventilador em função do fluxo para vários métodos de controle. Estas curvas indicam uma redução substancial na energia do ventilador quando se utiliza o controle de velocidade.

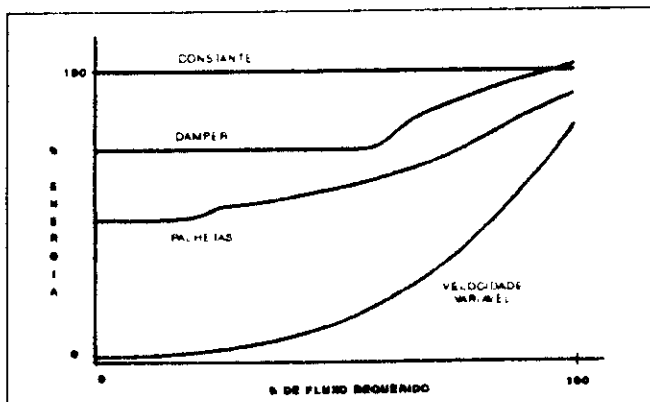


FIG.4

Como para o caso das Bombas a economia de energia sozinha justifica a instalação do inversor, entretanto outros fatores como Desgaste, Manutenção, Fator de Demanda de Energia e Fator de Potência devem também ser considerados.