

**Secagem do papel pelo processo de alta intensidade e alta temperatura (a)**

MFN -0453

N CHAMADA:

TITULO: Secagem do papel pelo processo de alta intensidade e alta temperatura (a)

AUTOR(ES): POCOVI, H.C.

EDICAO:

IDIOMA: português

ASSUNTO: 04.2. fabricação de papel: processo e equipamentos

TIPO: Congresso

EVENTO: Congresso Anual da ABCP, 21

PROMOTOR: ABTCP

CIDADE: São Paulo

DATA: 21-25.11.1988

IMPRESSÃO: Sao Paulo, 1988, ABTCP

PAG/VOLUME: p.447-461,

FONTE: Congresso Anual da ABCP, 21, 1988, São Paulo, p.447-461

AUTOR ENTIDADE:

DESCRIPTOR: secagem do papel, balanço de água, balanço de energia

RESUMO: Nos últimos 60 anos ocorreram pouquíssimas mudanças na concepção da Seção de Secagem. Contudo, na próxima década veremos muitas inovações importantes na tecnologia do sistema de secagem, envolvendo principalmente o desenvolvimento da secagem por vácuo térmico criado pela recompressão do vapor, perfilador magnético, aplicação de infravermelhos e outros processos em vias de desenvolvimento para sua aplicação em escala industrial. O presente trabalho objetiva apresentar uma nova tecnologia de secagem do papel baseada no princípio da aplicação de alta intensidade e alta temperatura, propondo apreciáveis economias no que diz respeito à implantação do sistema de secagem, assim como na própria operação do mesmo

A SECAGEM DO PAPEL PELO PROCESSO  
DE ALTA INTENSIDADE E ALTA TEMPE  
RATURA.

Hugo Carlos Pocovi  
Hergen S/A - Máquinas e Equipamentos.  
Rio do Sul (SC) - Brasil.



Introdução

Nos últimos 60 anos ocorreram pouquíssimas mudanças na concepção da Seção de Secagem. Contudo, na próxima década veremos muitas inovações importantes na tecnologia do sistema de secagem, envolvendo principalmente o desenvolvimento da secagem por vácuo térmico criado pela recompressão do vapor, perfilador magnético, aplicação de infravermelhos e outros processos em vias de desenvolvimento para sua aplicação em escala industrial.

O presente trabalho objetiva apresentar uma nova tecnologia de secagem do papel baseada no princípio da aplicação de alta intensidade e alta temperatura, propondo apreciáveis economias no que diz respeito à implantação do sistema de secagem, assim como na própria operação do mesmo.

Considerações Gerais.

Até agora, na máquina de papel convencional, a folha é seca através de sua passagem por uma bateria de cilindros secadores que utilizam o vapor saturado como fonte de energia. O calor é transferido do vapor, liberando o calor de vaporização e o condensado que se formam dentro dos cilindros. Este calor é conduzido através das camadas de condensado e das paredes dos cilindros para a superfície exterior dos mesmos, que se encontra em contato com a folha do papel. O tempo de secagem depende da proporção em que o calor pode ser transferido do vapor para a folha.

Esta Seção é a de maior consumo de energia na máquina de papel e a que menor eficiência apresenta, resultando também a mais onerosa desde o ponto de vista de sua instalação e funcionamento... Assim, alguma coisa deve ser pensada para tentar inverter estes ônus que gravitam sensivelmente sobre os custos de implantação de uma fábrica e também sobre os custos diretos de produção da máquina.

Basicamente, o conjunto de equipamentos que como um todo compõe a máquina de papel, tem por função separar a água da suspensão de fibras que chega à caixa de entrada. Esta separação é feita em três seções que funcionam com base em diferentes princípios físicos:

- . Na Seção Úmida, composta pela Mesa Plana, o desagüamento é processado utilizando-se as propriedades hidrodinâmicas da suspensão fibra/água.
- . Na Seção de Prensas Úmidas o desagüamento é feito por compressão mecânica.
- . Na Seção de Secagem o desagüamento se realiza por evaporação, através do vapor fornecido aos cilindros secadores.

Para definir o custo da separação da água das fibras em cada um destes setores é preciso definir alguns parâmetros de base.

Para os efeitos deste estudo adotou-se uma máquina de papel convencional, com velocidade média de operação de 200m/min, largura útil de 2,40m, papel base 70 gr/m<sup>2</sup>, produção nominal de 50 TPD (23H/dia), funcionando com os seguintes valores:

A) Secura na entrada da Mesa Plana	0,7%
Secura na saída da Mesa Plana	20%
Secura na saída das Prensas Úmidas	43%
Secura na folha acabada	93%

B) Considerando 100% para a massa total de água, adotou-se os seguintes valores práticos na retirada da água:

Mesa Plana	97%
Prensas Úmidas	2%
Secagem	1%

C) Tomando-se o custo total destes três setores como 100%, estes valores práticos de várias implantações permitem adotar como validamente certo os seguintes valores:

I - Custos de Instalação	Equipamentos e Montagem	Obras Civis
Seção Úmida (Mesa Plana)	27%	15%
Seção de Prensas Úmidas	33%	15%
Seção de Secagem	40%	70%

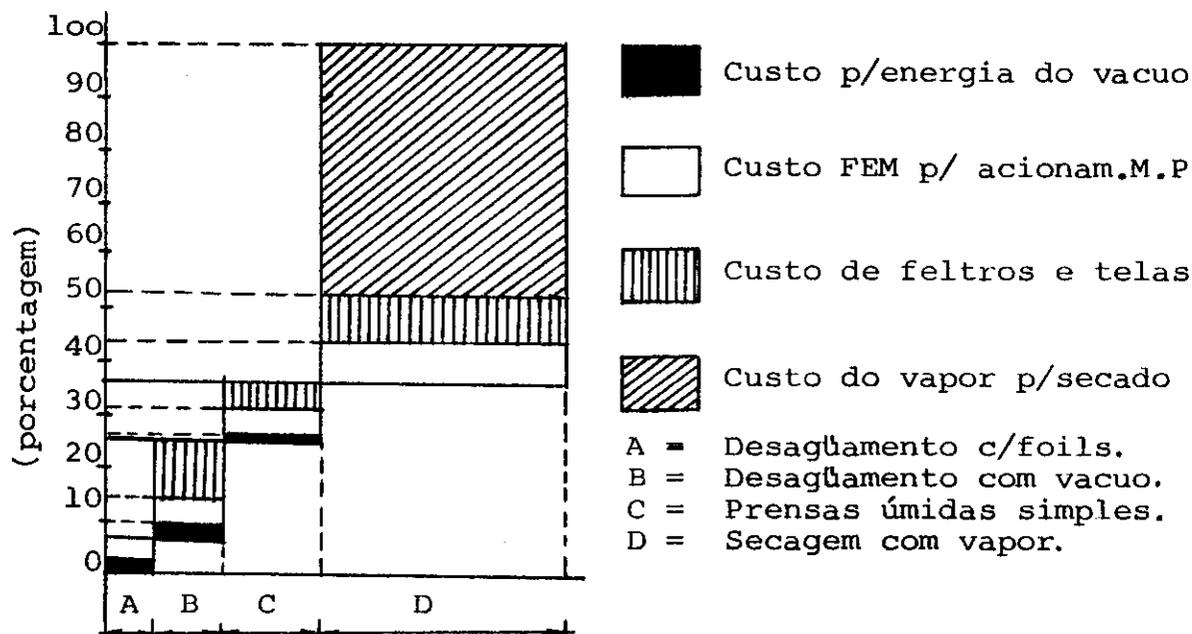
#### II - Custos Operacionais

Estes custos abrangem os custos de energia para o vácuo, custo de energia para o acionamento da máquina de papel, custo dos feltros e telas, custos de vapor, (prescindindo-se dos valores de mão-de-obra e custo das matérias-primas diretas, considerados como constantes).

Em valores médios, os custos operacionais supra por quilo de água retirado na Seção de Secagem são cerca de 12 vezes maiores que nas Prensas Úmidas e 200 vezes maiores que na Mesa Plana.

./...

A Figura I a seguir representa a composição e distribuição geográfica destes custos.



Os maiores custos de implantação são originados na própria conformação das baterias de secagem convencionais que requerem um grande número de cilindros secadores, por natureza pesados, montados sobre robustas estruturas-suporte, que por sua vez requerem estruturas de concreto armado superdimensionadas para absorver eventuais sobrecargas de serviço. Já os maiores custos operacionais são ocasionados pelo consumo de energia térmica necessária para a secagem da folha, insumo em feltros e F.E.M. .

Para se poder economizar nos custos de implantação se faz necessário reduzir drasticamente o tamanho, volume físico e peso das instalações convencionais de secado, com intuito de minimizar os custos dos equipamentos e os custos das obras civis necessárias para a montagem desses equipamentos.

Para se poder economizar em energia se faz necessário um investimento nas instalações acessórias e nos custos de produção e manutenção. Por isso, devido a este confronto de custos, economias só resultam viáveis quando estas forem maiores que os dispêndios originados.

A situação econômica mundial - e o nosso mercado interno não escapa disto - está apresentando uma tendência para um sustenido e acentuado crescimento nos custos dos equipamentos e das obras civis. Por outra parte, o custo da energia também está ano a ano mais alto, apresentando uma tendência de aumentos cada vez maiores e mais frequentes, razão pela qual se torna cada vez mais imperativa uma racionalização na aplicação dos recursos disponíveis, objetivando um rápido retorno do capital investido.

Vejamos então as possibilidades que temos para atingir esses objetivos:

- a) Para reduzir o tamanho, volume e peso das instalações convencionais de secado, se faz necessário aumentar sensivelmente a quantidade de calor aplicada nos secadores para poder manter o nível de evaporação necessário com um menor número de unidades secadoras.
- b) O uso de vapor saturado como fonte de energia para o aquecimento dos secadores nos permite alcançar, na melhor das hipóteses, uma temperatura da ordem de 130°C na superfície destes em contato com a folha.
- c) Para poder atingir um grau de redução praticamente aceitável na bateria de secagem, devemos procurar alcançar temperaturas de pelo menos 300°C na superfície de secado em contato com a folha.
- d) O conceito de secagem em alta intensidade e alta temperatura não é novo. Falta somente definir como estas temperaturas seriam atingidas e a viabilidade comercial da construção de equipamentos compatíveis com este processo.

Existem três formas de poder atingir elevadas temperaturas de secagem nos cilindros:

- 1ª) Pela utilização de queimadores externos de alta temperatura aquecendo diretamente a superfície dos secadores. Tal procedimento pode ser viável, porém dificulta bastante a recuperação térmica.
- 2ª) Pela utilização de aquecimento interno em alta temperatura dos cilindros secadores, seja por meio de queimadores diretos, injeção de gases quentes de alta temperatura ou utilização de fluido térmico. Tal metodologia facilita teoricamente um melhor aproveitamento energético com a possibilidade de reaproveitamento dos gases quentes de saída para a secagem complementar da folha.
- 3ª) Sistema misto, com aplicação simultânea de ambas as formas acima indicadas de aquecimento.

Porém, seja qual for a alternativa escolhida, para conseguir atingir temperaturas na folha superiores a 100°C, a folha deve ser pressurizada através de uma pressão externa moderada, embora constante, obtida por Nips múltiplos ou cinta envolvente contínua, com intuito de nivelar a subpressão interna nesta, originada pelo acúmulo do vapor de água.

Existem algumas dúvidas sobre a secagem de alta intensidade tais como: eficiência térmica do processo, maior carga sobre os mancais operando em altas temperaturas, uniformidade alcançada na secagem, efeitos sobre a qualidade da folha acabada, etc...

./...

A fim de poder apresentar valores comparativos aproximados do processo de secagem em alta intensidade com relação à secagem convencional é necessário avaliar ambos os processos. Para a análise da eficiência térmica em um ou outro processo, optou-se por desenvolver um método simplificado e prático com intuito de não perder a objetividade do conjunto, cientes de que as diferenças entre esta aproximação e os cálculos mais complexos derivados da aplicação pura das leis que regem a termodinâmica não invalidam os mesmos.

Os cálculos estão baseados nos dados gerais da máquina de papel convencional supra apontada, implementados quando necessário com dados específicos aos processos em questão:

O PROCESSO DE SECAGEM NA MÁQUINA DE PAPEL CONVENCIONAL.

FOLHA DE DADOS

PAPEL

Tipo: Kraft  
 Largura (m) = 2,40  
 Gramatura (Gr/m<sup>2</sup>) = 70  
 Umidade (%): Entrada = 57; Saída = 07  
 Velocidade (m/min) = 200

VAPOR

Vazão (Kg/h) = 4.774  
 Pressão (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 2,00  
 Temp. (°C) = 132,9

CONDENSADO

Vazão (Kg/h) = 4.260  
 Pressão (Kgf/cm<sup>2</sup>) = 0,00  
 Temperatura (°C) = 90

EXAUSTÃO

Vazão de Ar Seco (Kg/h) = 70.000  
 Temp. Bulbo Seco (°C) = 54  
 Temp. Bulbo Úmido (°C) = 42

AR DE AQUECIMENTO

Temp. Bulbo Seco (°C) = 68  
 Temp. Bulbo Úmido (°C) = 31

INFILTRAÇÃO DE AR

Temp. Bulbo Seco (°C) = 26  
 Temp. Bulbo Úmido (°C) = 16

TEMPERATURA DO PAPEL

Entrada (°C) = 32  
 Saída (°C) = 38

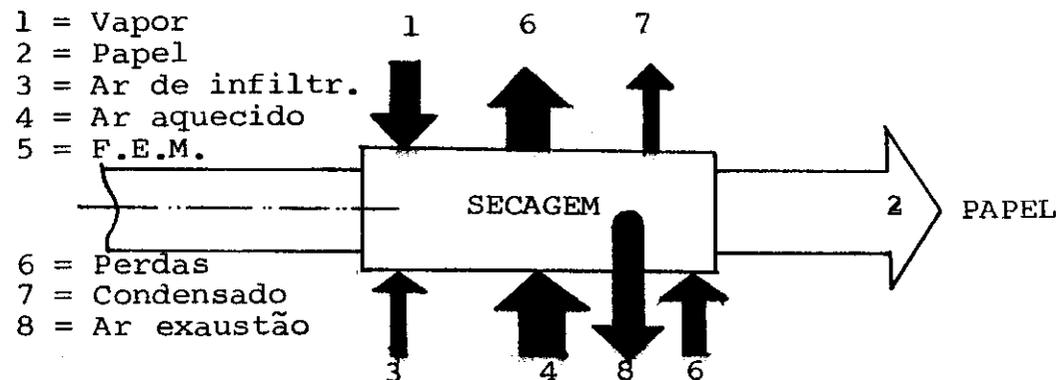
Consumo de F.E.M. na Seção de Secagem (Kwh/T papel) = 60

Rendimento de produção do papel (%) = 93

Área de Secagem (m<sup>2</sup>) = 293

Temp. média do vapor nos cilindros (°C) = 120

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA INSTALAÇÃO - Figura 02



Água a ser evaporada na secagem:

$$\frac{57\% \text{ H}_2\text{O na entrada do sistema}}{43\% \text{ de mat. seco na entrada}} = 1,325 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg papel} \quad (1)$$

$$\text{Água residual na folha acabada: } \frac{7}{93} = 0,075 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Total de água a evaporar por Kg/papel fabricado} &= \\ 1,325 - 0,075 &= 1,250 \quad (3) \end{aligned}$$

Produção média = 36 Kg de papel/min (na Enroladeira)

$$\begin{aligned} \text{Água a evaporar: } 1,250 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg papel} \cdot 36 \text{ Kg/min} &= \\ 45 \text{ Kg H}_2\text{O/min} &= 2.700 \text{ Kg H}_2\text{O/h} \end{aligned}$$

Com relação à massa de água a ser evaporada, pode-se determinar um parâmetro - coeficiente de evaporação - através da seguinte expressão:

$$Cev = \frac{Mev}{As} \quad \text{onde,}$$

Mev = quantidade de água a evaporar

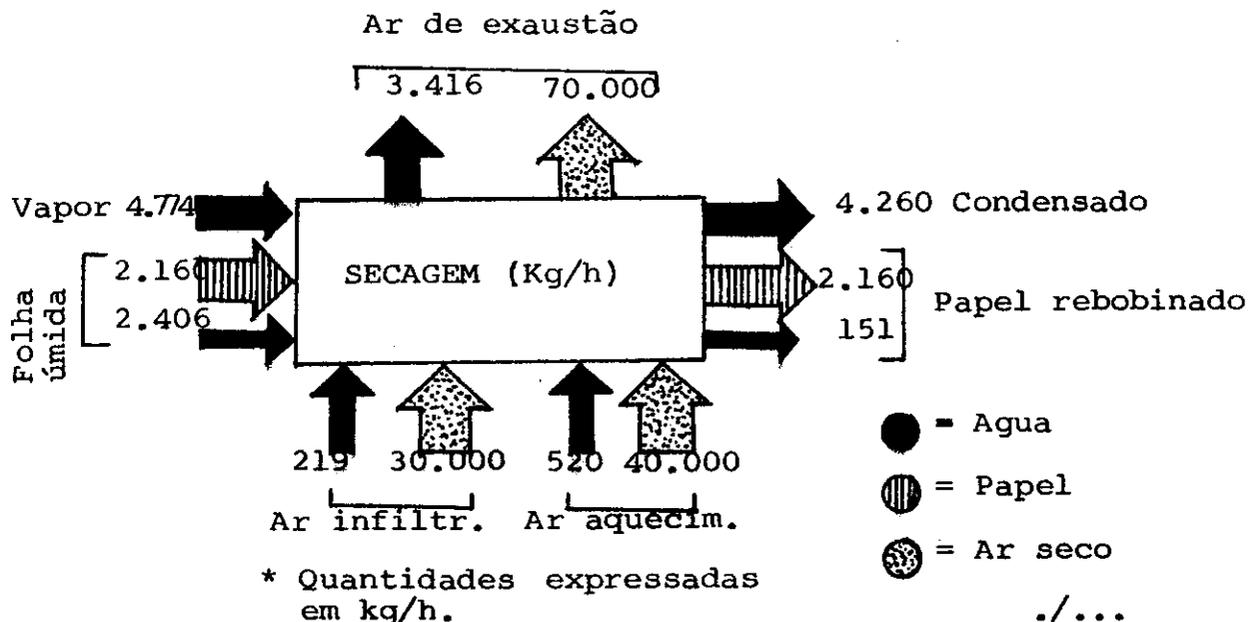
As = área útil de secagem disponível

$$\text{Assim: } Cev = \frac{2700 \text{ Kg H}_2\text{O/h}}{293 \text{ m}^2 \text{ úteis}} = 9,21 \text{ Kg H}_2\text{O/m}^2\text{/h} \quad (4)$$

O valor obtido para este coeficiente é considerado como "bom" conforme os parâmetros TAPPI/55. Porém, para o tipo de papel considerado, o coeficiente de evaporação pode atingir valores de até 16 Kg H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h em média, o que significa que podem ser promovidas alterações na secagem para uma melhor eficiência operacional do sistema convencional ora analisado.

Estas melhorias geralmente são proporcionadas pela implantação de um sistema racional de ar aquecido.

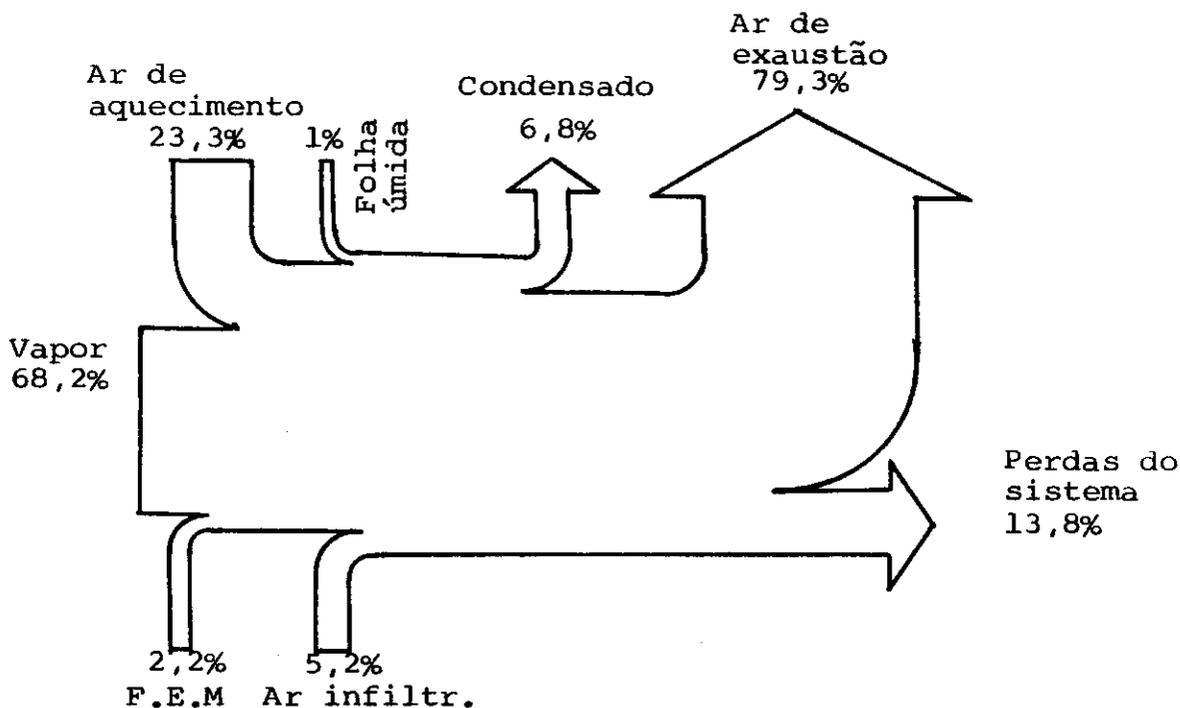
O Balanço de Massa do sistema proposto pode ser representado esquematicamente conforme a Figura 03 a seguir.



Em função dos dados considerados, podemos expressar a demanda energética da seguinte forma aproximada:

. Fluxo de entalpia de entrada do ar de infiltração	172.112 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de entrada do ar de aquecimento	778.502 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de entrada na folha úmida	34.075 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de entrada do vapor	2.268.720 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de saída do papel bobinado	9.352 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de saída do condensado	226.030 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de saída do ar de exaustão	2.632.493 Kcal/h
. Perdas do sistema (por radiação, convecção, vazamentos, etc.)	457.838 Kcal/h
. Energia (F.E.M.) requerida para a insuflação e exaustão do ar aquecido.	85 Kw/h

Assim, a distribuição da energia necessária para a secagem da folha numa máquina convencional como a estudada, pode ser representada conforme a Figura 04 a seguir.



./...

O consumo de vapor/h é de 4.774 Kg/h.

Aceitando-se como rendimento prático da Caldeira, a produção de 12 T/vapor/T de óleo, o consumo de óleo será de:

$$4.774 \text{ Kg/h}/12 = 397 \text{ Kg de óleo/h}$$

Agora, vamos comparar o consumo teórico conforme a demanda energética calculada, aceitando um P.C. inf. de 9.820 Kcal / Kg de óleo combustível:

$$\frac{3.711.247 \text{ Kcal/h nec.}}{9.820 \text{ Kcal/Kg}} = 377 \text{ Kg óleo/h} \quad (5)$$

Assim, em termos genéricos, pode-se aceitar como válido um consumo real arredondado em 400 Kg/h de óleo combustível.

#### O PROCESSO DE SECAGEM EM ALTA INTENSIDADE

A seguir, se propõe uma aproximação inovadora para um melhor aproveitamento energético, utilizando-se como fonte de calor a geração de gases quentes insuflados dentro de um secador maior, a 420/430°C.

Os cálculos a seguir estão baseados nos dados assumidos para a secagem em máquina de papel, tal como foi supra apontado, com as modificações próprias ao processo.

Praticamente, foi determinado que do total de água a ser evaporada: 2700 Kg H<sub>2</sub>O/h, 70% é possível evaporar através do aquecimento interno do secador em alta temperatura e 30% através da insuflação do ar quente da saída do secador, distribuído sob a face externa da folha. Assim teremos:

$$2700 \text{ Kg H}_2\text{O/h} \begin{cases} 70\% (1890 \text{ Kg H}_2\text{O/h}) \text{ aquecim. int. secador} \\ 30\% (810 \text{ Kg H}_2\text{O/h}) \text{ insuflação de ar quente} \end{cases}$$

#### DADOS GERAIS DO CILINDRO SECADOR PROPOSTO:

Secador utilizado:  $\emptyset$  3,60m x 2,55m de face

Superfície útil de secado: 28m<sup>2</sup>

Desenvolvimento periférico: 11,30m

Contato da folha com o secador: 9,00m = 2,7 seg.

Para a evaporação de 1 Kg de água são aceitas nas condições normais, como necessárias, 586 Kcal. Porém, considerando as perdas por: radiação, convecção, vazamentos e outros, resulta válido aceitar um consumo prático de 850 Kcal/Kg H<sub>2</sub>O a ser evaporada. Assim, será necessário dispor de:

$$2700 \text{ Kg H}_2\text{O/h} \cdot 850 \text{ Kcal} = 2.295.000 \text{ Kcal/h}$$

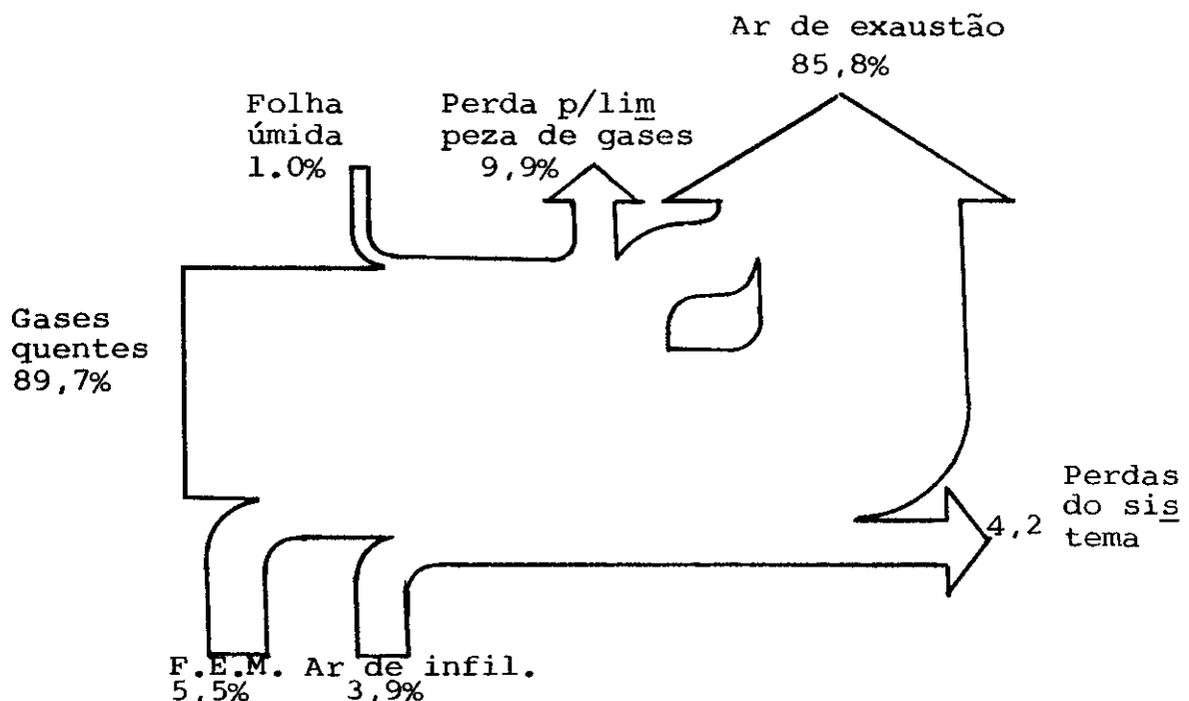
./...

Levando-se em consideração que nos atuais níveis de desenvolvimento tecnológico, um gerador convencional de gás quente, utilizando biomassa, opera com uma eficiência de 76-78%, a demanda energética real será de:  $2.295.000 \text{ Kcal/h} \cdot 1,24 = 2.845.800 \text{ Kcal/h nec.}$

A fim de possibilitar uma adequada comparação entre os processos, se detalha, a seguir, a demanda energética para a secagem em alta temperatura:

. Fluxo de entalpia de entrada do ar de infiltração:	90.000 Kcal/h
. Fluxo de entalpia na folha úmida	34.000 Kcal/h
. Fluxo de entalpia para o pré-aquecimento	65.000 Kcal/h
. Fluxo de entalpia de entrada de ar quente	2.295.000 Kcal/h
. Fluxo de entalpia do papel bobinado	19.862 Kcal/h
. Fluxo de entalpia do ar de exaustão	2.450.000 Kcal/h
. Perdas do sistema (total)	361.800 Kcal/h
. Energia (F.E.M.) requerida para a insuflação e exaustão dos gases quentes	80 Kw/h

A distribuição de energia necessária para a secagem neste processo pode ser representada conforme a Fig. 05 a seguir.



Considerando para o gás de biomassa um PC inf. de 1.365 Kcal/m<sup>3</sup>, o consumo será de:

$$\frac{2.845.800 \text{ Kcal/h}}{1.365 \text{ Kcal/m}^3} = 2.084 \text{ Nm}^3/\text{h} \quad (6)$$

Aceitando-se como ar de combustão uma média de 11,0 Nm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de gás, o volume de gás quente gerado a 400°C, será:

$$11 \cdot 2.084 \cdot \frac{400 + 273}{273} = 56.393 \text{ m}^3/\text{h} \text{ a } 400^\circ\text{C} \quad (7)$$

Durante a limpeza e filtragem destes gases se processa uma perda térmica de aproximadamente 30%, reduzindo-se consequentemente o volume dos gases de insuflação para aproximadamente 46.300m<sup>3</sup>/h a 280°C. (8)

O volume de gases quentes necessário para a evaporação da água superficial (30%) por insuflação na face externa da folha, será de:

$$\frac{810.365 \text{ Kcal/L H}_2\text{O} \cdot 6}{280^\circ\text{C} \cdot 0,25} = 44.087 \text{ m}^3/\text{h} \text{ a } 280^\circ\text{C} \quad (9)$$

ou seja, ficarão ainda como excedente teórico, aproximadamente 2.220m<sup>3</sup>/h de gases a 280°C.

(Onde 273 é o grau de dilatação de um gás (ar) por um grau Celsius de aumento de temperatura; 0,25 é o coeficiente do calor específico adotado para o gás e 6 é o coeficiente prático de aproveitamento térmico).

O tempo de contato teórico necessário da folha com a face externa do secador aquecida a 350°C será de:

$$\frac{\left(\frac{1.890 \text{ Kg H}_2\text{O}}{60}\right) \cdot 750 \text{ Kcal/L H}_2\text{O}}{350^\circ\text{C} \cdot 23\text{m}^2 \text{ úteis}} = 2,9 \text{ seg.} \quad (10)$$

A eficiência do sistema ainda pode ser melhorada introduzindo-se um cilindro de aquecimento da folha, já que esta sai das prensas com aproximadamente 40°C e deve ser aquecida até atingir a temperatura necessária para a evaporação. O vapor então originado precisa ser controlado e retirado através de uma exaustão que facilite a rápida evacuação deste vapor, assim como dos gases quentes insuflados.

Operando-se com um sistema fechado (coifa fechada) pode-se determinar e controlar o que deve entrar e o que deve sair. Outrossim, a quantidade de ar de descarga é uma função do "Ponto de Orvalho" na coifa, isto é, quanto mais alto for o ponto de orvalho, menor será a quantidade necessária de ar para a extração da água, sobrando maior quantidade de gases quentes para ser aproveitada em outros fins, permitindo-se consequentemente reduzir a potência e tamanho dos equipamentos de insuflação de ar.

./...

Para poder manter o "ponto de orvalho" em um valor elevado e constante é necessário otimizar os seguintes pontos em nosso sistema:

- a) Não deve haver vazamentos.
- b) Deve ser restrita ao mínimo possível a entrada de ar falso.
- c) As perdas de calor (isolamento térmico) devem ser mantidas as menores possíveis.

A fim de poder estabelecer um parâmetro prático da economia em termos de combustíveis que o processo analisado representa sobre o processo de secagem convencional utilizado nas máquinas de papel até agora, vamos converter as Kcal necessárias ao processo em Kg de óleo combustível necessário à sua geração. Assim teremos:

$$\frac{2.845.800 \text{ Kcal/h nec.}}{9.820 \text{ Kcal/Kg óleo}} = 285 \text{ Kg óleo/h}$$

Aceitando-se um valor prático de 300Kgs de óleo/h e comparado com o consumo necessário de óleo para a geração de vapor num processo de secagem convencional (5), chega-se à conclusão que pode-se atingir com o processo em questão, economias da ordem de 30% ou mais de combustível.

#### EFEITOS DA ALTA TEMPERATURA SOBRE A QUALIDADE DA FOLHA ACABADA.

O conteúdo de lignina e hemicelulose contida nas massas utilizadas na preparação da folha varia conforme for o processo de fabricação da celulose e com o tipo de madeira utilizada, porém em maior ou menor grau estas frações estão sempre presentes com as fibras celulósicas.

Quando a folha úmida é submetida a altas temperaturas e pressão, a lignina e a hemicelulose cristalina amolecem, conferindo uma maior flexibilidade às fibras, permitindo, assim, aumentar a área disponível para uma melhor ligação fibra/fibra, o que contribui para uma maior resistência interna da folha acabada.

Isto resulta particularmente interessante quando se trabalha com pastas de alto rendimento, com fibras relativamente rígidas e ligeiramente refinadas.

Outrossim, este processo de secado resulta bastante interessante quando se trabalha com fibras recicladas, já que vários fatores contribuem nestes casos para a perda da resistência da folha. Estes incluem principalmente as calosidades superficiais das fibras recicladas, a formação de finos e colóides na massa de fibras, presença de partículas estranhas como caulim, pigmentos, etc..., que diminuem as áreas de ligação e finalmente o enfraquecimento efetivo das fibras pelos processos físicos como a calandragem. O processo de secagem de alta intensidade apresenta o potencial de aumentar a formação de ligação entre as fibras recicladas, conferindo à folha melhores características finais.

./...

A temperatura de transição vítrea da lignina nativa em esta do úmido situa-se em torno de 115°C, mas cai para 80°C quando parcialmente sulfonada ou oxidada. O ótimo fluxo requer uma temperatura de 60/80°C acima da temperatura de transição vítrea. Para aumentar a temperatura da folha acima de 100°C é necessário que a pressão de vapor dentro desta supere a pressão atmosférica, devendo a folha permanecer nestas condições de pressurização o tempo suficiente para que sua temperatura seja aumentada.

Existem três parâmetros internos que afetam as ligações fibra/fibra: a temperatura da folha, a pressão na folha e o conteúdo de umidade; isto porque o estado de transição vítrea é uma função da umidade e da temperatura (que por sua vez é uma função da pressão). Acima dos 100°C a temperatura da folha é limitada pela pressão nesta ou pela temperatura na superfície de contato (temperatura de placa). Os parâmetros operacionais externos são: a temperatura de placa, o conteúdo de umidade inicial, o tempo de permanência no Nip e a permeabilidade ou meio através do qual o vapor escapa.

Existem muitos problemas associados com a aplicação da secagem de alta intensidade de pressão e temperatura, e, para que a folha possa ir acima dos 100°C, se faz necessária a introdução de Nips de prensas múltiplas em volta do cilindro aquecido ou a aplicação de uma correia impermeável em volta do cilindro quente, a fim de dar tempo para que se complete o processo de transição vítrea da lignina e que requer de 1,5 a 2 segundos sob as condições apontadas.

Por outra parte, a aplicação de uma pressão moderada na direção "Z" da folha durante todo o processo de transição vítrea da lignina produz sobre a folha uma melhoria de aproximadamente 15% a mais sobre suas propriedades de resistência, uma vez acabada.

#### ENGENHARIA DO PROJETO.

Veremos, a seguir, os problemas que devem ser resolvidos pela engenharia para projetar e construir um sistema de secagem capaz de produzir, na prática, operando comercialmente em nível industrial, as condições supra apontadas para uma secagem intensiva em alta temperatura e pressão numa máquina de papel.

#### PONTOS PRINCIPAIS DA ENGENHARIA DE PROJETO A SEREM CONSIDERADOS.

- . Verificação do comportamento dos mancais sob carga e com altas temperaturas (aproximadamente 400°C).
- . Introdução de Nips que garantam uma pressão efetiva sobre a folha de 10 até 25 Kg/cm<sup>2</sup>, por um tempo mínimo de 0,8 a 1,1 segundos.

./...

- . Verificação do comportamento estrutural do cilindro seca dor sob pressão em altas temperaturas.
- . Sistema gerador de altas temperaturas (aproximadamente 400/450°C) mais adequado (queimador interno direto, geração de gás quente, utilização de fluídos térmicos, etc.).
- . Sistema para o adequado controle da umidade longitudinal da folha em processo.

Vamos fazer uma ligeira análise conceitual sobre estes pon tos, tentando definir aqueles que já têm uma solução efetiva dentro do atual estado de nossa tecnologia e identificar aqueles nos quais pesquisas mais aprofundadas devem ser con sideradas.

Com relação ao comportamento dos mancais sob carga e altas temperaturas, isto pode parecer uma situação nova dentro dos costumes operacionais da indústria do papel; porém, em ou tras indústrias, tal situação é considerada como "normal".

Vejamos, por exemplo, a indústria do cimento, uma fábrica mé dia, com capacidade de produção de 1000TPD de cimento Port land, ocupa usualmente para a moagem das matérias-primas e do "clinker", moinhos horizontais de bolas com injeção de ar quente a altas temperaturas. Estes moinhos são apoiados so bre um eixo central oco (utilizado para carga e descarga do material em processo), que por sua vez gira sobre mancais de grande diâmetro, com regime de 250 a 350rpm, recebendo insu flação (através do eixo de entrada) de grandes vazões de gá ses quentes com aproximadamente 450/500°C, sendo feita sua exaustão através do eixo de saída junto com o material moído.

Um secador como o analisado neste trabalho é bem mais leve que o corpo de um cilindro de moagem. Outrossim, sua veloci dade operacional média situa-se (neste caso) entre 21 e 25 rpm, e sua temperatura interna não ultrapassa os 400°C. En tão, se a indústria do cimento trabalha na moagem de suas ma térias-primas em condições bem mais severas e com equipamen tos de comprovada eficiência técnica, por que não se adotar esta tecnologia para solucionar este ponto? Pelas razões su pra, acreditamos desnecessário tecer maiores comentários a respeito.

Como já vimos, a pressurização da folha se faz necessária pa ra elevar a temperatura desta por sobre os 100°C, facilitan do-se, assim, o processo de transição vítrea da lignina. Por ém, neste ponto não são necessárias grandes pressões. Car gas lineares gradativamente aplicadas com valores de 10 a 25 Kg/cm<sup>2</sup> parecem ser suficientes para atingir o amolecimento das frações cristalinas.

Para que a folha consiga atingir o tempo necessário de perma nência no Nip, achou-se como melhor solução prática a adoção de Nips múltiplos diametralmente opostos ao redor do cilin dro secador. Desta forma, consegue-se atingir um equilíbrio entre as forças externas e internas a que está submetido o cilindro secador em operação.

Costelas internas dispostas radialmente contribuem para aumentar a rigidez da seção circular e para melhorar a transferência térmica dos gases quentes no interior do secador para a face em contato com a folha.

Por outra parte, pressões de 10 a 25 Kg/cm<sup>2</sup> são relativamente pequenas, se comparadas com as pressões usuais nas prensas úmidas, de 125 a 150 Kg/cm<sup>2</sup> ou mais, e onde os arranjos mecânicos adotados funcionam satisfatoriamente.

Talvez o principal problema relacionado com este ponto esteja na adoção de uma adequada armação mecânica para suportar as prensas múltiplas capazes de produzir as condições requeridas pelo processo.

Dos meios disponíveis para a geração de gases quentes, a queima direta de gases combustíveis dentro do secador ou a geração externa de gases quentes são os processos que melhor se adaptam para esta tecnologia de secagem em altas temperaturas.

A queima direta de gases combustíveis dentro do próprio secador proporciona um melhor aproveitamento térmico de calor gerado pela combustão; porém, em contrapartida, apresenta os inconvenientes de carregar nos gases de escapamento partículas de carvão provenientes de uma combustão incompleta, o que pode resultar no aparecimento de "pontos pretos" inconvenientes na fabricação de determinados tipos de papéis. A eliminação destas impurezas resulta viável, porém ocasiona uma perda térmica nos gases de saída. Outrossim, a queima direta proporciona uma intensidade de temperatura maior dentro do secador que não chega a ser uniformemente distribuída, gerando também maiores problemas de dilatação, deformação, etc.

Hoje em dia, a tecnologia para a geração de gases quentes está bastante desenvolvida, existindo aparelhos que operam comercialmente isentos de fumaça ou fuligem, proporcionando gases limpos com temperatura de saída de 450°C e alta eficiência térmica, com rendimentos de 76 a 78%, razão pela qual este método de aquecimento, por enquanto, é o que melhor se ajusta às necessidades do processo. Também existem alguns fornos geradores para operar com todos os combustíveis sólídos, inclusive biomassa e rejeitos agrícolas, o que também significa outra vantagem operacional se se considerar o "modu s operandi" da maioria das fábricas de papel funcionando no país.

Com relação ao controle do conteúdo de umidade longitudinal da folha em processo, esta pode ser feita através da regulagem automatizada da vazão de ar quente na coifa de alto rendimento, de forma a ser realizada uma insuflação diferencial e controlada do ar quente recuperado dos gases de escapamento do interior do secador, em função das variações do perfil de umidade determinado através de um sistema sensor por meio de arranjos eletromecânicos bem parecidos aos atualmente utilizados nestes tipos de coifas.

./...

## CONCLUSÕES:

O processo de secagem sumariamente apresentado significa um efetivo avanço tecnológico nesta área, permitindo-se alcançar com o mesmo as seguintes vantagens:

- . Reduzir os custos de instalação da Seção de Secagem em aproximadamente 50% no que diz respeito aos custos de equipamentos e montagem, e em aproximadamente 70% com relação aos custos das obras civis necessárias a esta seção, os quais representam vultosas economias sobre o total dos investimentos requeridos para a implantação de uma máquina de papel.
- . Diminuir sensivelmente os custos operacionais da secagem através da eliminação dos custos das telas secadoras, diminuição na demanda de F.E.M. no acionamento, e diminuição prática de até 35% no consumo de óleo ou combustíveis para a geração da energia térmica necessária à secagem.
- . Permite melhorar as propriedades finais da folha acabada, favorecendo a transição vítrea da lignina nativa, facilitando assim as possibilidades de melhores ligações fibra/fibra, e aumentando a resistência da estrutura interna do papel. Este aspecto ganha principal importância quando se trabalha com pastas de alto rendimento ou quando são utilizadas altas porcentagens de aparas de papel recicladas na massa.

Porém, apesar de todas estas significativas vantagens apresentadas, até agora só se conta com dados experimentais à nível de ensaio-piloto com secadores de até 1,00m de largura. Assim, se faz indispensável um maior aprofundamento nas pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos que permitam reproduzir os resultados do estudo-piloto à nível industrial, aplicados em máquinas largas, operando nas velocidades usualmente aceitas pela prática.

## DADOS BIBLIOGRÁFICOS:

- . Secagem por Prensa Quente - P. Hartwell - Paper Magazine - USA - Maio/85.
- . A review of press drying - E.L. Back - Svenka Traforskningsinstitut - DD 224/84.
- . Will continuous presses replace existing pressliner for wood based panels - P. Wiecke - SPCI/84.
- . Temperature and restraint variable in continuous and intermittent press drying. - D.E. Gunderson - TAPPI - USA - July/84.
- . Considerações referentes ao emprego da energia de vapor. A. B. Webzell.
- . Tecnologia Atual na Secagem do Papel - J.L. Chance - Rev. O Papel - Abril/85.
- . Recomendações para um programa de redução do consumo de energia na indústria de celulose e papel. I.P.T. (SP) - Junho/78.