Sérgio Luiz Pereira
Coordenador de Produto
Telas Secadoras - Albany International

Estudo do balanço da capota da máquina de papel

Introdução

O objetivo do estudo é identificar oportunidades para melhorar a eficiência da máquina de papel estudando as condições existentes na capota da seção de secagem e o desempenho dos sistemas de ventilação e exaustão.
Em uma escala de retornos na otimização do processo de secagem, o primeiro estágio é o do sistema de vapor e condensado seguido da otimização da capota e do sistema de ventilação.

Muitas oportunidades existem para reduzir o consumo de vapor na seção de secagem. O primeiro estudo para otimizar o consumo de vapor nos cilindros é o *"benchmark"* de vapor em relação aos dados de produção. Os valores para *"benchmark"* são estabelecidos para o consumo nos cilindros secadores, perdas no sistema e sistema de insuflamento.

	Kg vapor / Kg de água evaporada	Kg vapor / Kg papel (sem size press)	Kg vapor / Kg papel (size press)
Vapor utilizado no sistema de drenagem dos secadores	1,13 - 1,20	1,20 – 1,70	2,0 – 2,4
Vapor para aquecer o ar de insuflamento da capota	0,18 – 0,20	0,18 – 0,30	0,30 – 0,40
% perda energia para condensador ou atmosfera	< 2%	< 2%	< 2%

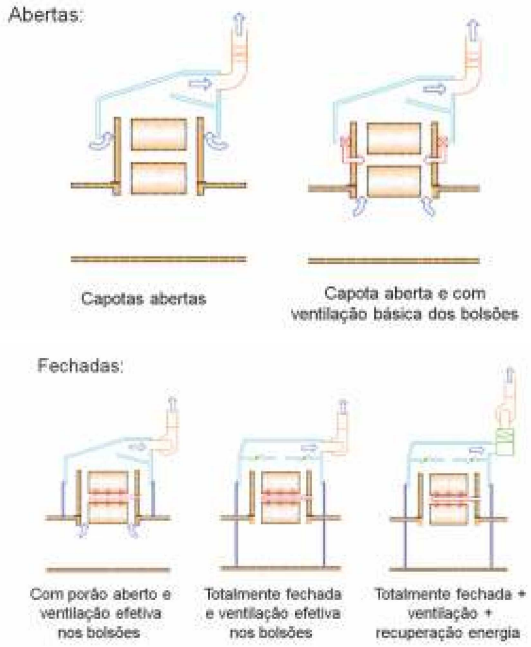
Tabela 1: Valores de *"benchmark"* do uso de vapor

O *"benchmark"* de Kg de vapor/Kg de água evaporada é o melhor para usar na avaliação da seção de secagem. Os valores de kg de vapor/Kg de papel são os mais fáceis, porém, são os menos efetivos para avaliação de eficiência energética. Existe grande variação no teor seco após prensas, dependendo do tipo de papel, sólidos, tipos de prensas, etc. Isto torna muito difícil determinar com precisão um bom parâmetro de *"benchmark"*.

As máquinas mais eficientes têm um consumo específico de 1,2 Kg vapor/Kg de água evaporada, mas a TAPPI considera 1,3 como um bom parâmetro.

Projeto da capota

As principais funções da capota são conter a água evaporada no processo de secagem, proporcionar um ambiente uniforme de secagem controlando os fluxos de ar, temperatura e umidade, e reduzir a energia necessária para evaporação, reduzindo e controlando os fluxos de ar. A seguir, podemos observar os principais tipos de capotas que podemos separar de modo geral em abertas e fechadas.



Sistema de insuflamento da capota

O sistema de ventilação promove condições uniformes de secagem no bolsão e também promove aumento na capacidade de secagem. O aumento da capacidade de secagem de 10 a 15% é considerado de valor médio, mas em alguns casos é possível obter índices acima de 15%.

A principal função do ar de insuflamento é trocar o ar úmido e desta forma manter o nível de umidade necessária para o bolsão de secagem. O ar de insuflamento deve estar com uma temperatura maior que a temperatura da folha ou haverá o risco de condensação no bolsão.

Podemos separar em duas fases o ciclo de secagem: transferência de calor e a evaporação. Na primeira, o cilindro quente aquece a água na folha. Em função da transferência de calor dos cilindros para a folha, existe um diferencial de temperatura entre a folha e o cilindro, e sendo maior o diferencial de temperatura, para determinada área de contato, mais calor será transferido.

A maior parte da evaporação da folha ocorre no passe entre os cilindros secadores. Aqui a diferença entre as pressões parciais de vapor d'água do ar e da folha de papel dará a força motriz para a evaporação. Em um bolsão sem ventilação, o contínuo desprendimento de vapor d'água para o bolsão resultará em acúmulo de umidade no bolsão. Isto faz a pressão de vapor entre a folha e o ar cair e resultará numa evaporação pobre. O ar do bolsão pode estar próximo da condição de saturação, onde quase não ocorre evaporação. Ao mesmo tempo, a baixa evaporação no bolsão resulta em um pequeno resfriamento da folha. Isto significa que haverá um menor diferencial de temperatura entre a folha e a superfície do cilindro,

Sérgio Luiz Pereira
Coordenador de Produto
Telas Secadoras - Albany International

resultando em menor evaporação na próxima fase de aquecimento. Além disto, um sistema de ventilação deficiente pode causar problemas de perfil transversal de umidade da folha.

O volume de ar insuflado pode ser afetado por problemas de manutenção nos motores e ventiladores, filtros entupidos, telas secadoras entupidas e válvulas ou obstruções nos dutos. Indicação de temperatura do ar de insuflamento incorreta pode também aumentar no consumo específico de vapor ou menor temperatura do ar.

A recomendação de volume mínimo do ar de insuflamento pode ser calculada utilizando a tabela abaixo em função da taxa de evaporação considerando a área total dos cilindros.

Taxa de Evaporação kg/h/m²	Objetivo Umidade Bolsão	Diâmetro dos cilindros			
		1,2 m	1,5 m	1,8 m	2,2 m
4,9	0,120	3,2	4,0	4,8	5,9
9,8	0,165	4,4	5,6	6,7	8,1
14,6	0,200	5,4	6,7	8,0	9,8
19,5	0,230	6,1	7,7	9,2	11,2
24,4	0,255	6,9	8,6	10,3	12,6
29,3	0,275	7,6	9,5	11,4	13,9
34,2	0,290	8,3	10,4	12,5	15,3
39,1	0,300	9,2	11,5	13,8	16,9

Tabela 2: Volume de insuflamento de ar no bolsão em m³/min por metro da largura do cilindro

OBS.: Considerando insuflamento de ar está com umidade de 0,02 kg água / kg de ar seco a 93 °C de bulbo seco e 42 °C bulbo seco.
O insuflamento de ar é distribuído na seção de secagem, principalmente, por caixas sopradoras. Está disponível uma gama de diferentes tipos e configurações de caixas sopradoras para diferentes tipos de papéis e gramaturas. A figura abaixo mostra exemplos de configurações.

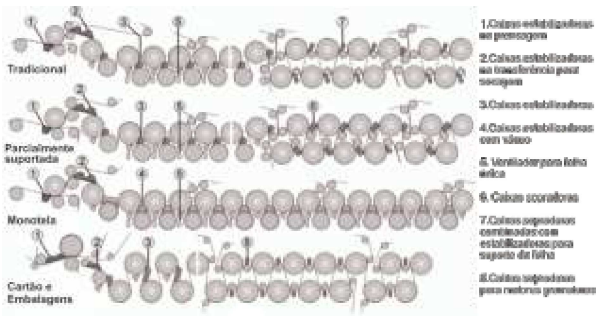


Figura 2: Exemplos de caixa sopradora

Atualmente, as caixas sopradoras não são projetadas apenas para fornecer ar seco para o bolsão e melhorar a secagem, mas também para melhorar o andamento da máquina, estabilidade da folha e evitar quebras.

A temperatura recomendada para o ar de insuflamento é em torno de 90 – 95 °C.
Testes mostraram um pequeno ganho na taxa de evaporação quando a temperatura passou de 80- 90 °C para 120 – 130 °C e o consumo de vapor para os cilindros teve uma pequena diminuição.

Mas como o consumo de vapor para aquecimento do ar de insuflamento aumentou consideravelmente, na condição de maiores temperaturas do ar, o teste evidenciou um aumento líquido de 2% no consumo de vapor na seção de secagem.

A linha ou ponto zero da capota

É o ponto onde a capota torna-se pressurizada e o calor e a umidade tendem a sair para o prédio da máquina.

A capota da seção de secagem opera com um efeito chaminé, com o ar frio do porão sendo aquecido e carregando umidade para cima através da seção de secagem. O ar expande quando aquecido, então a pressão relativa aumenta quanto maior a elevação.

Abaixo do ponto zero (porão e nível baixo do piso de operação) o ar infiltra das portas e outras aberturas. O ponto zero é geralmente medido acima do piso de operação da máquina em vários pontos na direção da máquina ao longo da capota. No desenho abaixo o ponto zero está localizado a 2 metros do piso de operação. O nível recomendado é o topo da porta da capota para uma capota fechada e acima dos painéis da capota (para evitar vazamentos) para capota aberta.

Figura 3: Exemplo de uma capota fechada e o ponto zero

O ponto zero pode ser detectado com as portas abertas e com um manômetro de rotor até a altura em que muda de direção ou utilizando um gerador de fumaça para ver o nível de estagnação ou medindo a pressão estática. Algumas máquinas possuem sensores e sistema para correção do fluxo de ar para ajuste do ponto zero.

O ponto zero pode também influenciar no nível de conforto no prédio da máquina e na estabilidade da folha de papel.

Levantamento prévio para estudo do balanço da capota

Esta etapa é muito importante para planejar a medição, obter as capacidades de projeto dos sistemas de ventilação e insuflamento e/ou modificações que ocorreram e levantar os pontos de amostragem.

Nesta etapa, o levantamento das capacidades nominais pode apresentar dificuldade em função de modificações ou reformas, bem como falta de informações. Os pontos de amostragem para análise dos fluxos de ar e de umidades também devem ser bem selecionados. O ideal é que a medição seja realizada num ponto onde o fluxo de ar seja laminar. Esta é a maior dificuldade devido à proximidade dos motores de ventilação e exaustão da capota, e curvas ou ângulos nos dutos. Em função desta dificuldade, o número de amostragens em cada ponto de medição deverá ser maior.

Sérgio Luiz Pereira
Coordenador de Produto
Telas Secadoras - Albany International

Para levantamento dos dados de volumes de ar e umidades são utilizados tubo de *pitot*, anemômetros e termômetros de bulbo seco e úmido. Para complementar o trabalho também podem ser realizados estudos com máquina de fumaça para avaliação visual dos fluxos de ar. As medições dinâmicas das temperaturas dos cilindros e perfil de umidades dos bolsões são também importantes para uma visão geral de toda a capota.

A seguir, exemplo de uma avaliação da capota numa máquina de papel Kraft.

	Unidade	Dados máquina
Produção bruta	Tons/ h	17,6
Umidade após prensas	%	64
Total água evaporada	Tons/ h	27,7
Consumo de vapor	Tons/ h	37,2
Consumo específico vapor	Tons vapor/ tons água evaporada	1,34
Evaporação específica	Kg água evaporada/ h/ m²	27,0
Capota totalmente fechada com ventilação nos bolsões		

Tabela 3: Dados de produção

A seguir, os levantamentos do sistema de insuflamento e exaustão da capota.

INSUFLAMENTO

Posição	Umidade	Vazão Total	
		Água	**Ar Seco**
	g H_2O/kg ar seco	kg H_2O/h	kg ar seco/h
Ventilador 1	48,6	521	10.728
Ventilador 2	48,6	625	12.865
Ventilador 3	53,2	1.168	21.946
Ventilador 4	41,2	308	7.473
Total		2.622	53.012

Tabela 4: Resumo dos dados da medição do sistema de insuflamento

Na tabela 4, com o resumo dos dados da medição, as umidades do ar de insuflamento estão altas. A recomendação é de o mínimo possível e o máximo 29 g H_2O/Kg de ar seco. Valores acima disto podem ser um indício de vazamentos nos trocadores de calor. Neste caso, o principal motivo destas umidades serem altas são os pontos de admissão do ar para insuflamento, que estão localizados no mezanino e, por um problema no balanço de ar do prédio da máquina de papel, neste ambiente, as umidades são altas.
Podemos observar o fluxo total de ar insuflado e verificamos que os ventiladores de modo geral estão com as vazões de ar seco muito abaixo das capacidades nominais de projeto, que são de 140.000 m³/h de ar seco.
Utilizando a tabela 2, temos a recomendação de volume mínimo do ar de insuflamento. Através do cálculo, vamos obter um volume total de 134.000 m³/h, número muito próximo do valor nominal de projeto.
As temperaturas do ar de insuflamento também estão altas, em torno de 130 °C, devido aos problemas de condensação.
No sistema de insuflamento podemos observar excelentes oportunidades de otimização.

EXAUSTÃO

Posição	Umidade	Vazão Total	
		Água	**Ar Seco**
	g H_2O/kg ar seco	kg H_2O/h	kg ar seco/h
Exaustor 1	162,7	8.527	52.394
Exaustor 2	186,0	17,541	94.298
Exaustor 3	99,6	5.637	56.589
Total		31.705	203.208

Tabela 5: Resumo dos dados da medição do sistema de insuflamento

As umidades do ar de exaustão também são altas nos exaustores 1 e 2, sendo valores recomendados para esta configuração de capota em torno de 130 g H_2O/kg ar seco.
O Balanço da Capota (Insuflamento / Exaustão ar seco) está em 26%, valor muito baixo. O projeto original desta capota, levando em conta os fluxos nominais máximos de projeto do sistema de insuflamento e exaustão, é de 64%. Pela configuração desta capota, a recomendação da TAPPI é de 55% a 80%.
Comparando o total de água evaporada obtido através dos teores secos da entrada e saída da secagem (27,7 tons/h água evaporada) e o total de água da exaustão (31,7 tons/h água na exaustão), obtemos uma relação de 1,14, sendo que os valores de água a mais na exaustão são em função dos volumes de ar de infiltração na capota e umidades do ar de insuflamento. Relação em torno de 1,2 pode ser considerada normal.

Comentários finais

A Albany tem conseguido, junto com os clientes, gerar valores representativos com os estudos do balanço da capota, principalmente, porque os custos de produção são cada vez mais afetados pelos processos de secagem do papel. Algumas máquinas operam com um *range* muito grande de gramaturas e tipos de papéis, porém, nenhum ajuste no sistema de insuflamento é realizado gerando maior consumo específico de vapor para determinada produção.
Muitas máquinas também estão operando com sua carga máxima e, muitas vezes acima da capacidade projetada, sem um condicionamento adequado dos bolsões de secagem, altas umidades no sistema de exaustão, dificuldades de conseguir justificar investimento na seção de secagem e, por vezes, problemas de manutenção.
Neste estudo, levantamos alguns pontos para identificar oportunidades para melhorar a secagem e/ou reduzir o consumo específico de vapor. Porém, o assunto foi discutido de maneira geral e, sem dúvida, existem muitas outras oportunidades, pois, cada máquina ou tipo de produção tem sua particularidade.

Referências:

1. FAPET – Papermaking Science and Technology Books – Book 9/Drying – Chapter 9 / Dryer section ventilation and heat recovery.
2. Optimizing Steam Use in the dryer Section – Jim Nastrom / Mike Soucy – Kadant Johnson Canada.
3. Ganhos de Produção através de Melhorias e Otimizações no Sistema de Vapor e condensado – Apresentação Giovani G. Bezerra - 4º Seminário sobre secagem de vapor e condensado – evento ABTCP.
4. TAPPI – Recommended minimum dryer pocket air requirements - TIP 0404-17.
5. TAPPI – Dryer section performance monitoring - TIP 0404-33.
6. Hood Balance Survey – Joel Calson – Albany International.

Perfil do autor

Sérgio Luiz Pereira é Técnico em Celulose e Papel pelo SENAI (Telêmaco Borba/PR), graduado em Engenharia Química pela FURB (Blumenau/SC), com Pós-Graduação em Processos Têxteis pelo SENAI/UFSC (Blumenau/SC). Iniciou suas atividades na PCC – atual unidade da Klabin, em Correia Pinto, e trabalha há 16 anos na Albany International. Atualmente, é Coordenador de Produtos – Telas Secadoras.