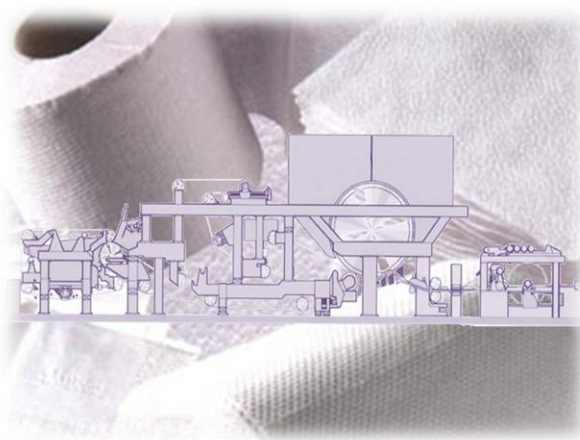


# **CURSO DE FABRICAÇÃO DE PAPÉIS “TISSUE”**



**INSTRUTOR:**  
Edison da Silva Campos

**Apostila (revisão: 06)  
2012**

## 0. INTRODUÇÃO

### 0.1. VISÃO GERAL

Um setor no qual a tecnologia é sempre protagonista é o dos papéis para uso higiênico e sanitário (“tissue”), com investimentos constantes em pesquisa e desenvolvimento e com um ciclo da transformação que é destinada a melhorar as características de maciez, resistência e personalização, alinhando-se a contínua exigência do “marketing” do produto.

Os elementos distintos do papel “tissue” utilizado para a higiene e a limpeza das pessoas e do ambiente são o aspecto agradável de cada produto e a qualidade, principalmente referente à maciez. A análise do estado da arte das várias fases produtivas permite apresentar as condições operacionais ótimas para orientar os técnicos envolvidos na valorização das melhores técnicas disponíveis da completa linha de produtos.

Desde a matéria-prima até o final da fabricação, conversão e logística há o envolvimento de vários fatores tais como desempenho do processo, sistemas de controle e automatização, redução contínua de custos, mas sempre procurando manter um elevado nível qualitativo.

Falando em termos mundiais, na fabricação dos papéis “tissue” até, aproximadamente, quinze anos atrás, eram utilizadas fibras de celulose branqueada com eventuais adições das cores na máquina contínua “tissue” com mesa plana. Ao final da máquina era operada uma rebobinadeira de onde, com o rebobinamento de 2, 3 ou 4 rolos jumbos era criada uma bobina com as características especificadas para sua posterior transformação. A evolução tecnológica dos maquinários e dos processos produtivos tem sido constituído nos anos recentes de desenvolvimentos: pasta com vários tipos de fibras e aditivação controlada, máquinas contínuas com caixa de entrada pressurizada e formação de dupla tela, prensa sapata (“shoe press”), tecnologia TAD (“Trough Air Dryer”) para a secagem e a maciez, “creping” com ângulo de incidência variável e lâminas de ar e “coating” controlado a densidade constante. Todas as operações com o suporte dos sistemas envolvidos do controle nas misturas, na gestão e nos acionamentos, têm permitido melhorar a qualidade e produtividade do ciclo de fabricação nas fábricas de “tissue”.

O ciclo da transformação teve sucesso com as modernas máquinas e instalações de conversão, por melhorar diversas funções como a maciez, acabamento e personalização, enquanto os desenvolvimentos na gofragem consistem de melhorar a maciez do produto final, produzindo relevos com desenhos e logos de acordo com a aplicação de “marketing”. Os

---

principais produtos “tissue” obtidos são, hoje, as toalhas, o papel higiênico, o lenço, o papel facial, o lençol médico, os rolos multiuso e os guardanapos simples.

## 0.2. A MASSA

A base da massa para o papel “tissue” são as fibras virgens de celulose e as fibras de papel reciclado. É possível também a mistura entre os dois tipos de fibras no percentual ótimo para o tipo de papel a ser produzido.

Os aditivos são de notável importância para obter as características de maciez, brancura e higiene, e a fixação das fibras para reduzir a poeira. São previstos tratamentos bactericidas com adequados produtos químicos. Também é de grande interesse a utilização dos produtos químicos e antiespumantes utilizados para evitar a formação de depósitos na máquina contínua e manter limpas as tubulações e reservatórios.

Uma das características dos produtos “tissue”, a baixa gramatura, é a condição que requer uma adequada refinação da fibra e uma notável homogeneidade do grau de refino para fornecer uma perfeita formação, o que melhora o aspecto do produto final.

A planta deve prever o sistema de reciclagem através dos reservatórios, enquanto são requeridas análises em linha para verificar as características da mistura antes de enviar a massa ao tanque de máquina. É assim possível interferir com a aditivação dos componentes necessários para manter os valores especificados. A fábrica de papel “tissue” programada para produzir papel colorido dispõe neste processo de um esquema de aditivação de corantes que são misturados nas dosagens especificadas.

## 0.3. A MÁQUINA

A moderna máquina contínua para a produção de papel “tissue” deve possuir a versatilidade necessária para satisfazer as especificações projetadas, fornecendo os tipos de produtos definidos diretamente às plantas de conversão.

A velocidade da máquina contínua tem alcançado até agora (e superado) os 2.000 m/min (hoje, podendo chegar a 2.500 m/min), também nas condições de trabalho normal, com boa funcionalidade de fabricação se estas condições são mantidas em perfeita eficiência. A necessidade de satisfazer os requisitos de mercado com um belo aspecto em ambas as faces da

folha tem inclinado nos últimos anos as construtoras a desenvolver evoluídos sistemas de formação do tipo: dupla tela, “crescent former”, etc. Além disso, a caixa de entrada pressurizada ou hidráulica, a “shoe press” para melhorar a maciez e o “bulk” são definidas para satisfazer as exigências produtivas da fabricação de papel.

A máquina contínua do “tissue” se diferencia da máquina típica para papel por ser compacta, uma vez que para os baixos valores da gramatura, de 10 a 40 g/m<sup>2</sup>, consiste em concentrar a secagem no cilindro monolúcido (“Yankee”) com a respectiva capota, limitando o comprimento da máquina a valores confortáveis. A manutenção dos máximos valores de velocidade em condições operacionais coloca em condições críticas muitos dos elementos da máquina, tais como sua estrutura, o cilindro, a prensa, a tela e os feltros. Uma vista geral de uma máquina “tissue” atual é mostrada na figura 0.3.01.

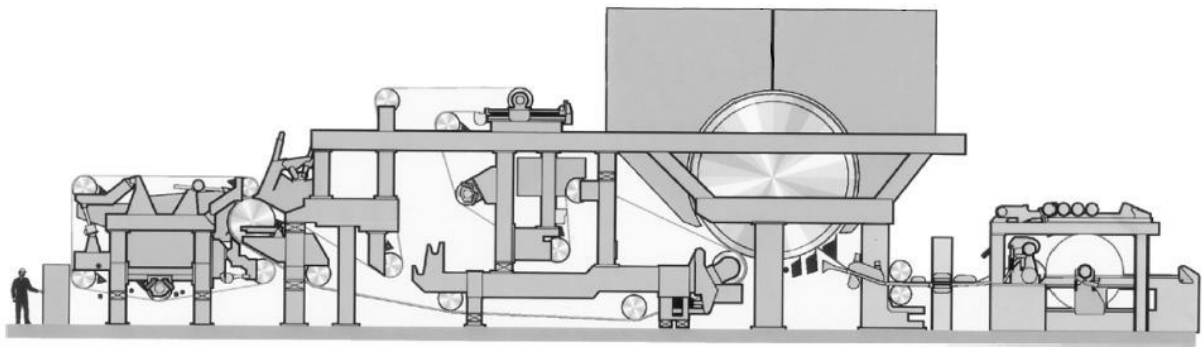


Figura 0.3.01 (Fonte: Industria della carta – marzo 2006)

Para verificar praticamente a operacionalidade e resolver algumas condições críticas, diversas construções têm simulado máquinas e plantas-piloto colocando à prova novos materiais e componentes, e permitido aos próprios clientes realizar alguns testes de produção com as altas velocidades para determinados tipos de papel.

Os materiais para construção de diversas partes da máquina, sempre com o objetivo de prolongar sua vida útil, estão sendo direcionados ao emprego de aços inoxidáveis e/ou especiais. Esta é uma necessidade, também, pela utilização de aditivos químicos mais complexos que, para melhorar as características do papel, possam provocar problemas nos materiais não protegidos da máquina. O tanque da máquina tem a função de pulmão, entre o tanque de mistura e a caixa de entrada, e de garantir a alimentação final da máquina no caso de falta de pasta.

A função da máquina de papel é remover a água (água branca) da suspensão de fibras proveniente do circuito de preparação de massa e formar a folha de papel. Basicamente, a máquina de papel é constituída de quatro seções (mostradas na figura 0.3.02): formação (I), prensagem (II), secagem (III) e enroladeira (IV). Como a “Crescent Former” representa uma tendência de utilização de máquinas “tissue”, ela será usada aqui para descrição geral da máquina de papel.

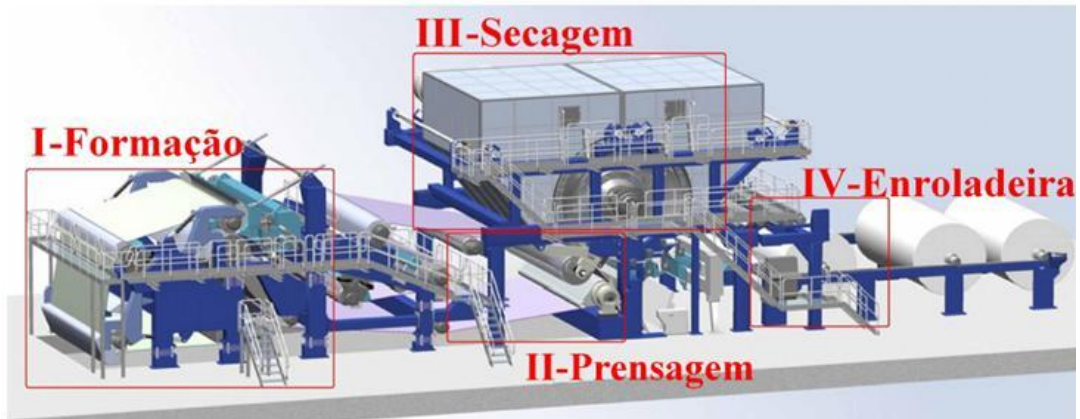


Figura 0.3.02

(FONTE: Seleção de materiais para redução de custos em uma máquina de papel)

A figura 0.3.03 mostra o caminho do papel desde a formação até a enroladeira.

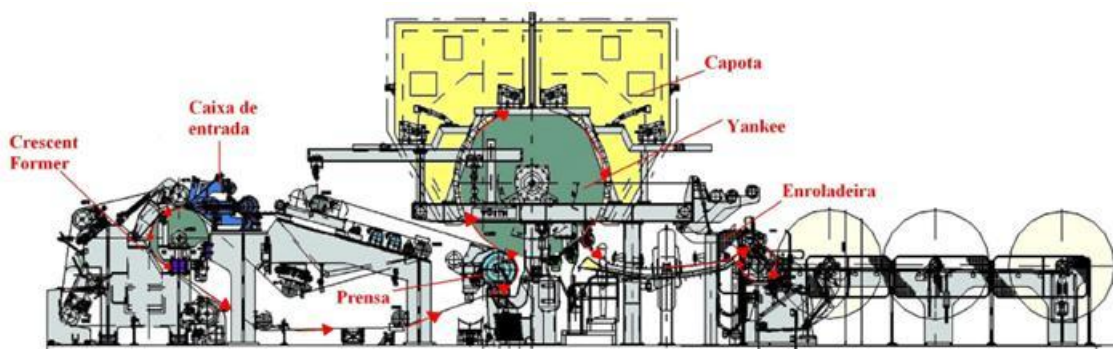


Figura 0.3.03

(FONTE: Seleção de materiais para redução de custos em uma máquina de papel)

O teor seco é uma medida para quantificar a suspensão de fibras no papel e é definido pela massa de fibras em 100 gramas de suspensão. Quanto maior for o teor seco do papel, menor será a quantidade de água no mesmo. Os teores secos nas diversas seções da máquina de papel estão apresentados na figura 0.3.04.

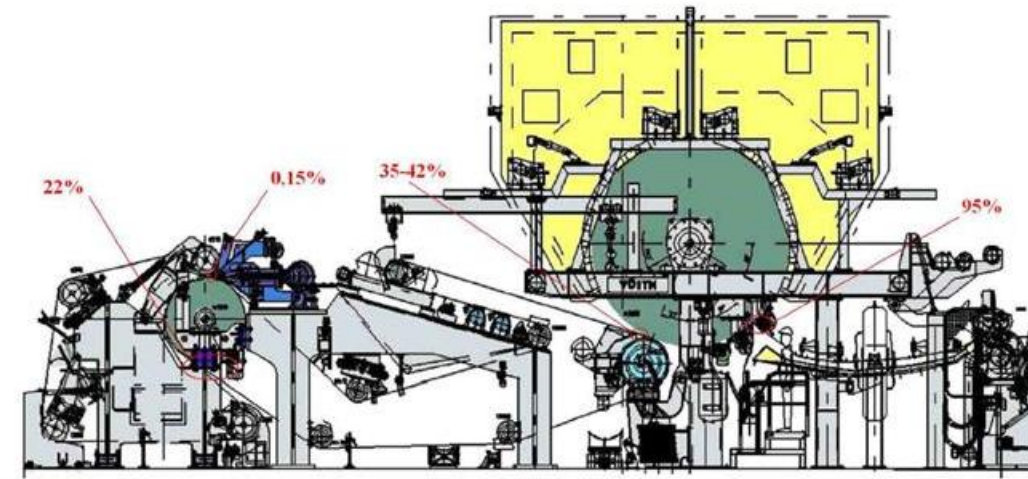


Figura 0.3.04

(FONTE: Seleção de materiais para redução de custos em uma máquina de papel)

A caixa de entrada pode ser hidráulica ou pressurizada, com comando eletropneumático sobre o lábio para o controle de perfil de gramatura. O cursor é dimensionado com base na largura da máquina, e deve ser de tal maneira a garantir o fluxo com base na velocidade máxima de produção que pode alcançar nove toneladas por hora. O campo do cursor, regulado pela válvula de gramatura deve ter uma elevada faixa de trabalho com um mínimo jato livre. O sistema de difusão e de alta turbulência tem um efeito eficaz e permite garantir uma completa homogeneidade da pasta. A construção é do tipo que possui elevada rigidez para eliminar todo efeito de vibração, mas é prevista uma movimentação no “cantilever” para toda a estrutura.

O jato da caixa de entrada, que é distribuído na tela, possibilita a formação da folha, levando em conta os elementos de drenagem. Na máquina com mesa plana a formação se realiza com sistema a dois cilindros e a drenagem da água é obtida com a ajuda das caixas de sucção e, em alguns casos, do rolo “couch”. Nos sistemas com caixa pressurizada e “Crescent Former” a formação é realizada com o conceito a quatro cilindros. Os projetos modernos buscam também um conceito que permita reduzir cada vez mais as trocas tela-feltro. O sistema de coleta de água é analisado e estruturado para prevenir a formação das névoas, típico na parte úmida da máquina contínua.

Na seção de formação, o jato de suspensão de fibras proveniente da caixa de entrada atinge a tela formadora, consolidando-as e formando uma folha. Neste momento, também

---

ocorre o desaguamento inicial por ação da força centrífuga gerada pelo movimento do rolo formador conhecido como “Crescent Former”.

Após a formação, o papel segue sobre o feltro para a prensagem, onde ocorre o desaguamento por compressão mecânica e ação do vácuo. Outra função importante da prensa é transferir o papel do feltro ao cilindro secador “Yankee”.

Na indústria de “tissue”, a folha úmida é aderida ao “Yankee” com um teor de seco de 35 a 42% com um ou dois rolos de pressão que têm a função de retirada de água da folha de papel por compressão. Nas máquinas “tissue” mais modernas é composta de uma prensa de sucção de grande diâmetro ou “shoe press”, operante na máxima pressão linear, com um particular projeto que consiste de articular o percurso feltro na direção “z” para melhorar a eliminação da água. A construção deve permitir a retirada para manutenção do rolo de sucção em vigas e em grades com uma estrutura “cantilever”. O estudo do posicionamento da prensa consiste de realizar o máximo ângulo de contato do papel sobre o monolúcido, para elevado desempenho da seção de secagem.

Os rolos de pressão, além de aderir à folha à superfície do cilindro, reduzem mecanicamente o conteúdo de umidade através da transferência de água da folha úmida para o feltro. Frequentemente, vácuo é aplicado ao primeiro rolo para auxiliar neste processo e para prevenir a folha de ser lançada fora do rolo de pressão em altas velocidades.

As cargas de pressão variam, geralmente, de 35 a 90 kg/cm no primeiro rolo e 62 a 90 kg/cm no segundo rolo, com a pressão no primeiro rolo igual ou maior que o primeiro. Ocasionalmente, uma caixa de vapor é instalada para aquecer a folha e reduzir a viscosidade da água, aumentando a remoção da água e melhorando a uniformidade da umidade da folha no primeiro rolo de pressão. A secagem condutiva inicia no “nip” de pressão e continua contanto que a folha permaneça em contato com a superfície do cilindro. A secagem convectiva e irradiante inicia sob o começo da construção da capota.

A secagem consiste no cilindro “Yankee” e capota de insuflamento, onde o cilindro realiza a secagem por condução de calor e a capota realiza a secagem por convecção. Em alguns casos, devido às baixas gramaturas dos papéis fabricados, a secagem é realizada com um “Yankee” ranhurado internamente, com diâmetro acima de três metros, proporcional a velocidade da máquina. A função da secagem é efetuada com vapor saturado no interior do cilindro, cuja energia térmica é transmitida à folha, enquanto que a secagem na parte externa da folha é realizada com a capota do tipo de alta eficiência, que incorpora um sistema de

controle do fluxo de ar e com aquecedores com uma regulação digital. Após a secagem, o papel é destacado do cilindro e segue para a enroladeira, onde são formados os rolos do tipo jumbo.

A separação da folha seca do monolúcido acontece com lâminas ou raspas a fim de realizar a crepagem graças à qual se melhora a maciez. A folha é crepada no “Yankee” a um teor de seco de 55 a 98%. Máquinas, onde o crepe (úmido) é realizado em aproximadamente na faixa de 55 a 70% de teor de secagem e, posteriormente, recebe secagem com cilindros menores são referidos como máquinas de crepagem a úmido. Máquinas as quais o crepe está acima deste nível são chamadas de crepagem a seco que será o enfoque deste curso. Uma raspa é instalada anterior à raspa de crepagem na direção da rotação do cilindro para remover a folha enquanto a raspa de crepagem está sendo trocada. Uma raspa de limpeza é freqüentemente é instalada seguindo (após) a raspa de crepagem para remover fibras e manter uniforme o “coating” na superfície do “Yankee”.

Finalmente, chuveiros de “spray” químico são freqüentemente empregados, situados antes do primeiro rolo de pressão, para controlar as características de adesão e soldura da folha e, em troca, conceder propriedades físicas desejadas no produto que está sendo produzido.

A folha destacada do “Yankee” segue para a enroladeira (“Pope”) que é projetada para produzir os rolos jumbos com diâmetros de dois a três metros. A movimentação automática seja do rolo jumbo, seja da estanga é realizada com um sistema de extração incorporado à máquina, sem a necessidade de pontes.

Os sistemas com alimentador automático, incorporando um extrator de estanga, permitem conseguir uma rápida operação da troca de bobina. O percurso do papel é realizado com suporte estático para a introdução com segurança da ponta do papel durante as etapas de reinício. Nesta seção é instalado um sistema para medição, principalmente, da gramatura e umidade com seus respectivos perfís. São previstas soluções técnicas para a troca automática dos rolos jumbos, realizando um sistema de conexão rápida da ponta, operação que permite a troca de bobina com o mínimo descarte de papel no seu início.

#### 0.4. BREVE HISTÓRICO DA FABRICAÇÃO DOS PAPÉIS “TISSUE”

A primeira patente para a fabricação de papel toalha foi concedida no ano de 1.871 e abrangia o uso de papel em substituição aos tecidos para toalhas absorventes, guardanapos, toalhas para mesas, etc. Na fabricação deste papel estava previsto secá-lo, sem prensagem prévia, flotando-o e amassando-o sobre uma prancha de madeira ou superfície áspera para



desprender as fibras e obter um papel flexível com uma superfície enrugada para melhor limpar o rosto e as mãos.

Ainda que o papel produzido desta maneira fosse possível usar como substituto das toalhas, não havia uma absorção suficiente para secar o rosto e mãos de maneira adequada. Seguiram-se investigações para encontrar um processo que permitisse realizar uma maior absorção e, em 1.889, William Lysle fez uma descoberta que permitiu o desenvolvimento da indústria de papel “tissue” crepado. A ele foi concedida a primeira patente para a produção de papel crepado, obtido com uma raspa contra a superfície em rotação, destacando uma folha úmida. Isto se conseguia nos rolos de prensa, obtendo assim uma folha de papel poroso ou absorvente.

A máquina de papel que fabricava papel “tissue” crepado tal como se descreve na patente de Lysle se parecia muito pouco com as máquinas atuais que trabalham a altas velocidades. A máquina de 1.890 tinha uns bastidores muito leves, rolos e secadores rodavam muito devagar e estavam montados sobre mancais rudimentares. Sua velocidade ficava na faixa dos 30 aos 60 m/min e o movimento transmitia-se com uma multidão de correias e polias. O motor principal consistia, normalmente, uma máquina a vapor.

Pela literatura consultada, não se sabe exatamente quando a máquina “Yankee” foi utilizada para a fabricação de papéis “tissue”. Sabe-se que a primeira máquina com este tipo de cilindro foi construída por Oeschelhaeuser em 1.827 (figura 0.4.01), mas acredita-se que os primeiros papéis construídos com estas máquinas foram os papéis monolúcidos.



Figura 0.4.01  
(FONTE: Detalhes da construção e planejamento para máquinas de papéis finos)

Há uma variedade de histórias sobre a origem do termo cilindro “Yankee”, porém a de maior circulação relata que um holandês, cujo sobrenome era Yonke, estava envolvido com o desenvolvimento inicial do cilindro. Quando o conceito foi importado para os Estados Unidos, a versão americanizada do cilindro associada como o nome tornou-se “Yankee”.

Os motores elétricos foram introduzidos na indústria no princípio de 1.900 e se esperava com eles aumentar a velocidade das máquinas. Todavia, a velocidade e largura das

---

máquinas continuaram limitadas devido à elevada fricção dos mancais e à elevada potência necessária para mover a máquina. A largura das telas geralmente não passava de 2,5 a 3,4 m e a velocidade de trabalho ficou limitada a 200 m/min. Isto constituía um importante obstáculo para o desenvolvimento das indústrias de papel “tissue” apesar de todas as invenções para vencer estas limitações. O caminho não permaneceu aberto até o ano de 1.922, graças à invenção dos rolamentos de esferas.

A primeira máquina de papel equipada com estes rolamentos de esferas foi uma máquina de papel “tissue”, que foi posta em marcha (“start up”) com êxito no ano de 1.922. A força necessária para mover uma máquina de papel foi reduzida consideravelmente com o emprego de rolamentos e o que ocorreu em seguida foi lógico; as larguras das telas e as velocidades começaram a aumentar. Entre os anos 1.922 e 1.942, as velocidades de trabalho das máquinas de papel “tissue” aumentaram de 200 para 460 m/min, e a largura das telas de 3,4 m a 5,0 m.

Depois da interrupção causada pela Segunda Guerra Mundial, a indústria de papel “tissue” retomou suas realizações sempre a velocidades e produções mais elevadas. Os engenheiros não haviam permanecido inativos durante os anos de guerra e prontamente os resultados de seus estudos começaram a dar frutos. Adotaram novas idéias sobre formação da folha; as construções de máquinas melhoraram as técnicas de fundição e fabricaram rolos secadores para pressões de vapor mais elevadas, chegando a 4,9 m de diâmetro e pressão até 10,4 atm. Dispuseram-se, além disto, de melhores materiais de construção e de novas técnicas de solda; tudo isto permitiu melhorar ainda mais as velocidades que alcançaram os 760 m/min.

A adoção da caixa de entrada com pressão pneumática, que data do ano de 1.950 permitiu melhorar a uniformidade da gramatura transversal e uniformizar a distribuição de fibras. Todavia restaram problemas devido à drenagem na mesa plana pela grande quantidade de água necessária para formar a folha de “tissue” de alta qualidade. Isto seguiu sendo o principal fator limitante. Quando foi ultrapassada a velocidade de 600 m/min, a transparência e a aparência da folha resultaram de inferior qualidade pelas estrias e demais inconvenientes causados pelos rolinhos desaguadores abertos e pelos defletores. Estes elementos de limitação somente puderam ser solucionados pela década de 1.960, a qual se caracterizou pela eliminação dos fatores que limitavam a formação da folha, a drenagem da água e a secagem.

Os problemas de formação da folha estão intimamente ligados à enorme quantidade de água que deve ser utilizada nas etapas iniciais de formação da folha. As proporções normais de diluição para os diferentes papéis “tissue” compreendem consistências que vão de 0,14 a 0,17%. Tem-se empregado diversos métodos para aumentar a eliminação da água para atingirem-se altas velocidades, tais como a chamada formação por pressão, imediatamente depois da saída da caixa de entrada.

A aplicação do rolo cabeceira com vácuo em máquinas de papel “tissue” representa uma verdadeira revolução para se alcançar velocidades mais elevadas sem perder qualidade. Ainda que, desde 1.930, este equipamento já aparecia descrito nas publicações técnicas, não foi aplicado industrialmente até 1.948. Até então, este sistema era propriedade de uma só empresa. Toda a indústria de papel “tissue” não pode beneficiar-se dela até 1.960.

Depois disto, muitas inovações seviram para o aumento da velocidade, aumento da largura das máquinas e melhoria da qualidade dos papéis “tissue”. Entre estas inovações pode-se citar: capotas de alto rendimento, formadores do tipo “gap former” (dupla tela e “crescent former”, cilindro secadores “Yankee” com chapas, máquinas do tipo TAD, ADT, Atmos, etc. A figura 0.4.02 mostra a evolução da velocidade das máquinas “tissue” em relação às máquinas de papel imprensa e para publicação (livros, revistas, etc.).

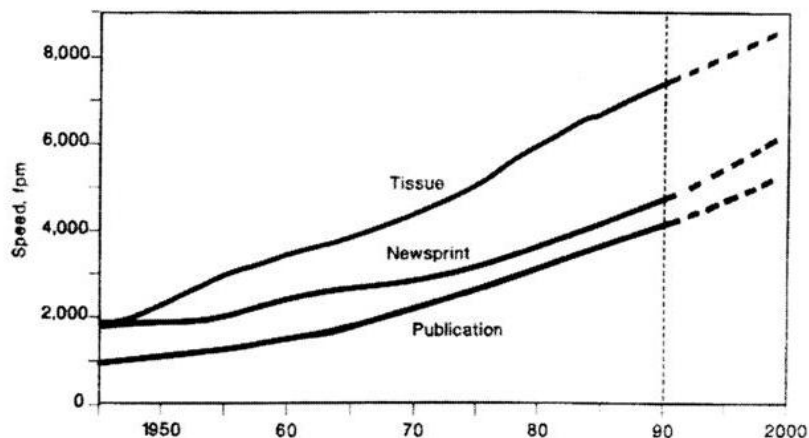


Figura 0.4.02 (FONTE: Papermaking Report 1.991)

## 1. PREPARAÇÃO DE MASSA

### 1.1. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FABRICAÇÃO DE PAPÉIS TISSUE

#### 1.1.1. Matérias-primas fibrosas

Neste curso focalizaremos principalmente as fibras virgens originadas da madeira e as fibras recicladas. A denominação pasta celulósica, ou celulose, se refere à pasta seca ou em

suspensão constituída de fibras oriundas da madeira ou de vegetais que não são madeira. A madeira é constituída basicamente de fibras (celulose e hemicelulose), lignina e extrativos. As madeiras utilizadas na indústria de celulose possuem a seguinte composição média: celulose -  $\approx 50\%$ ; lignina - 15 a 35 %; hemiceluloses -  $\approx 20\%$ ; extrativos - 3 a 10%; compostos minerais -  $\approx 0,5\%$ . Para o fabricante de papel são importantes as definições de celulose e hemicelulose.

A celulose é um polissacarídeo linear, com um único tipo de unidade de açúcar (D-glicose) (figura 1.1.01 e 1.1.02).

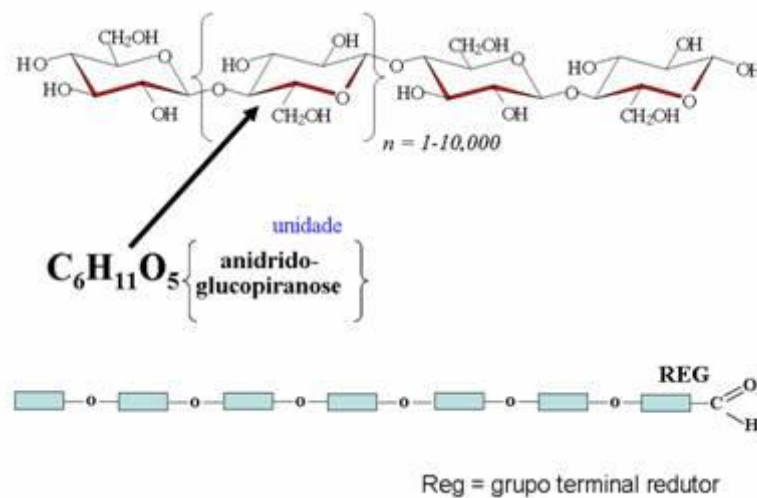


Figura 1.1.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

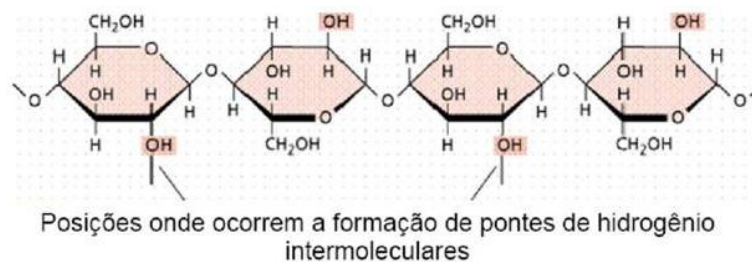


Figura 1.1.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As hemiceluloses ou poliooses também são polissacarídeos diferindo, no entanto, da celulose por conterem vários tipos de unidades de açúcar (D-xilose, D-manose, D-glicose, L-arabinose, etc.). São polímeros ramificados (amorfo) e de cadeias mais curtas. Na figura 1.1.03 aparece um exemplo de um tipo de hemicelulose.

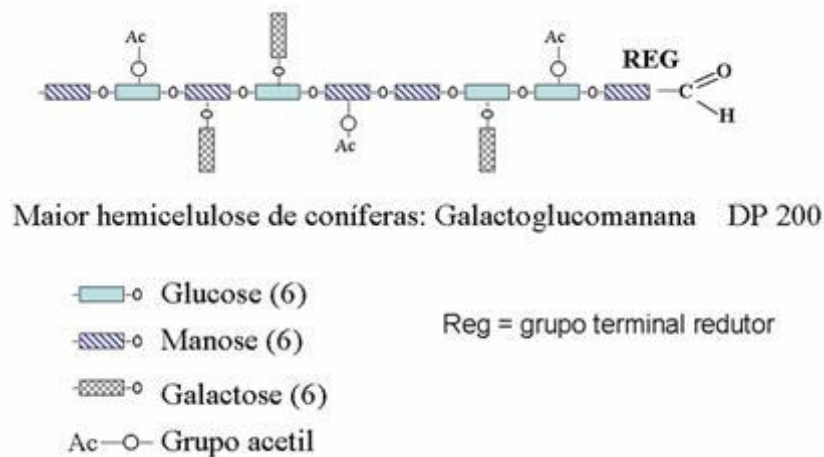


Figura 1.1.03 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

#### 1.1.1.1. Fibras virgens

A denominação fibras virgens é dada às fibras que são utilizadas pela primeira vez para a fabricação de papel, a partir de sua obtenção como fibra. No caso das fibras branqueadas de madeira, seria a após a etapa de branqueamento (fábricas integradas) ou após a máquina de secagem e enfardamento (fábricas não integradas). Algumas fábricas utilizam máquinas desaguadoras para posterior utilização no processo ou para fábricas de papel próximas a de celulose.

A figura 1.1.04 mostra o modelo de uma fibra de conífera, evidenciando a organização estrutural das microfibrilas nas paredes. Mostra também a parede primária e a secundária dividida em três camadas (S1, S2 e S3). A camada mais próxima da parede primária é denominada S1 (espessura: 0,2 microns). A camada seguinte é S2, bem mais espessa (2 a 5 microns), representando cerca de 70 a 75% do total da parede celular. A camada S3 é semelhante à S1 e, às vezes, pode apresentar-se revestida por outra, a camada verrugosa (W).

O composto predominante na parede da célula vegetal é a celulose, formada por cadeias de moléculas de glicose ( $C_6H_{10}O_5$ ) unidas entre si por átomos de oxigênio. Estas cadeias são agrupadas em feixes (cristalinos), formando as micelas. As micelas são agrupadas em unidades maiores (microfibrilas), as quais possuem uma largura de 250 Å ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ ) e reúnem cerca de 2.000 moléculas de celulose na secção transversal. As microfibrilas agregam-se em fibrilas mais grossas.

Quando as fibras são imersas em água ou em uma atmosfera saturada de vapor de água, uma quantidade de água é absorvida por toda a superfície cristalina exposta, ocorrendo desta

forma a hidratação. Isto diminui a atração de uma fibra por outra e permite que uma quantidade adicional de água entre na estrutura pelos espaços existentes através dos cristalitos e as fibrilas produzindo então o inchamento. Com o refino e o inchamento, as superfícies que anteriormente estavam dentro da celulose ficam expostas onde será formada a resistência, dependente em grande parte das ligações formadas entre as fibras. Por causa do aumento da superfície produzida pela refinação o número de contato e conseqüentemente as ligações aumentam o que resulta de uma folha mais resistente.

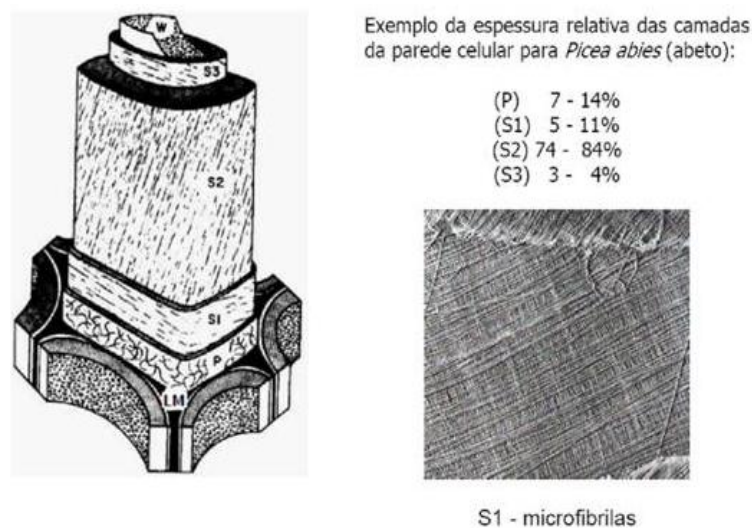


Figura 1.1.04 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

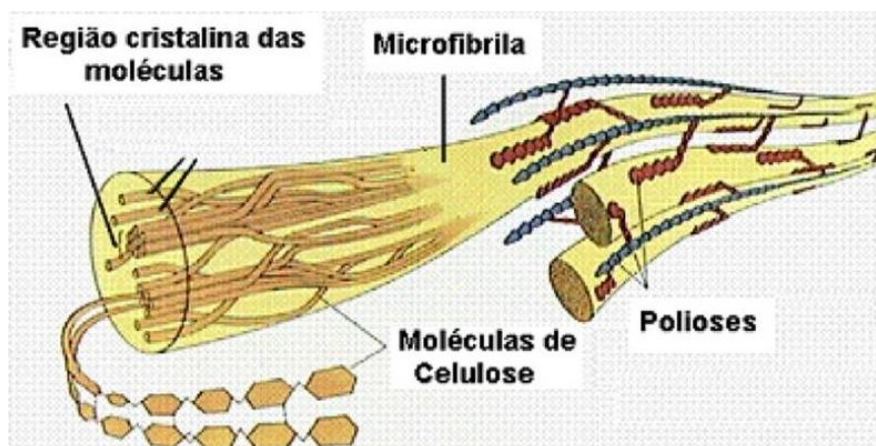


Figura 1.1.05 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As fibras provenientes das madeiras do tipo “hardwood” (latifólias ou folhosas) possuem tamanhos típicos que variam de 1 a 2 mm e são denominadas fibras curtas. Sua utilização é requerida para papéis que não exijam altos valores de resistência físico-mecânica, mas que possam ter boa formação, maciez e absorção como é o caso dos papéis higiênicos e

---

facial. No Brasil, as madeiras contribuem em torno de 97% da matéria-prima fibrosa utilizada na produção de pasta para papel, sendo que o eucalipto (*Eucalyptus spp*), madeira do tipo “hardwood”, é responsável por grande parte desta demanda. O eucalipto é uma espécie proveniente da Austrália e que se adaptou favoravelmente ao clima tropical do Brasil, fazendo com em cerca de 5 a 7 anos a árvore esteja em tamanho de corte para a produção de polpa.

Por outro lado, as fibras das madeiras do tipo “softwood” (coníferas) possuem tamanhos típicos que variam de 3 a 5 mm e são denominadas fibras longas. Estas fibras são utilizadas principalmente para papéis que necessitam ser bastante resistentes fisicamente, tais como papéis toalha, por exemplo. No Brasil, as fibras “softwood” mais utilizadas são as de pínus (*Pinus spp*).

As chamadas fibras virgens podem ser obtidas basicamente através de três processos: químicos (por exemplo, o processo “Kraft”), semiquímicos (por exemplo, o processo NSSC: “Neutral Sulfito Semimechanical Pulp”) e de alto rendimento (por exemplo, CTMP: “Chemithermomechanical Pulp”). No caso dos papéis “tissue”, os processos mais utilizados são o “Kraft” e os de alto rendimento (P.A.R. = Pastas de Alto Rendimento). O processo “Kraft” produz fibras bastante resistentes e de alta alvura, embora o seu rendimento fique em torno de 50%. Já os processos de alto rendimento produzem fibras menos resistentes, com menor alvura e maior reversão de alvura, mas com rendimento acima de 90%.

Entre as principais vantagens da fibra virgem está sua maior resistência físico-mecânica quando comparada com a fibra reciclada; o seu custo figura como sua principal desvantagem. Entretanto, alguns ambientalistas apontam o corte das árvores como sendo a maior desvantagem na utilização das fibras virgens. Devemos lembrar, porém, que estas árvores fazem parte de florestas plantadas para a produção de celulose, e não de florestas nativas.

#### 1.1.1.2. Fibras recicladas

Fibras recicladas ou fibras secundárias podem ser definidas como qualquer fibra para papel que foram reutilizadas na sua produção. A maior diferença observada entre as fibras virgens e as recicladas são as baixas propriedades mecânicas obtidas, causadas pela ação mecânica de equipamento, principalmente máquinas refinadoras, e pela ação de químicos. O comprimento das fibras é um fator de muita importância na resistência mecânica. Os tratamentos a que são submetidas durante o processo de fabricação causam o seu

---

encurtamento. O encurtamento, aliado à perda das paredes externas, além de diminuir a resistência à tração diminui também sua plasticidade.

No Brasil os papéis recicláveis recebem a denominação de aparas. Entretanto, as verdadeiras aparas (em inglês, “trimmings”), grupo caracterizado como de pré-consumo, juntamente com materiais refugados e não utilizados, resultam de operação industrial que transforma os papéis e cartões em uma variada gama de artefatos. Já os papéis usados (em inglês, “waste paper”), também designados de papéis velhos, grupo caracterizado como de pós-consumo, são os diferentes tipos de papéis e artefatos de papel descartados pelos usuários finais, após utilização.

A última classificação de aparas no Brasil, concluída em 2007, foi elaborada pela Comissão de Estudos de Aparas de Papel (53 empresas inscritas; 92 profissionais; fabricantes de papel; aparistas, associações, institutos de pesquisas e fabricantes de equipamentos), instalada em 2.005, do CB29 (Comitê Brasileiro de Celulose e Papel), que é responsabilidade da ABTCP e que conta com apoio financeiro da Bracelpa. Como exemplo desta classificação, a tabela 1.1.01 mostra alguns tipos de aparas específicas para a fabricação de papéis “tissue”. Para obtenção da norma na sua totalidade, esta deve ser adquirida junto a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Os materiais proibitivos e/ou impurezas, cuja presença em quantidade acima da especificada torna o lote em que estão contidos não utilizáveis para a fabricação específica de um determinado tipo de papel.

A impureza é todo material que não pode ser transformado em papéis e que pode comprometer o processo de produção. É possível ser retirado no processo de fabricação. Por exemplo: metal, plástico, vidro, pedra e areia. Já o material proibitivo é todo o material que compromete a qualidade do papel produzido e não é possível de ser retirado no processo de fabricação específico de um determinado tipo de papel. Por exemplo: papel parafinado, betuminado, papéis higiênicos usados e fitilhos (internos no fardo).



<b>Material</b>	<b>Descrição</b>	<b>Especificação</b>
Aparas de papel branco I	Mantas e refis de papéis brancos (isentos de pasta de alto rendimento) e cartões brancos (todas as camadas brancas) sem impressão de qualquer espécie, sem papel revestido, sem cola, sem papel autocopiativo.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco II	Aparas de papéis brancos usados em escritório, manuscritos, impressos, cadernos usados sem capas, sem cola, formulários contínuos, impressos, papéis autocopiativos, sem carbono, com até 10% de papel revestido, sem papel resistente a umidade e sem adesivos insolúveis.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco III	Aparas de papéis brancos, couché e/ou offset, manuscritos, impressos em cores, cadernos usados sem capas, livros sem capa, sem cola, formulários contínuos, impressos, papéis autocopiativos, sem carbono, sem papel resistente a umidade e sem adesivos.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco IV	Aparas de papéis brancos, couché e/ou offset, manuscritos, impressos em cores, cadernos usados e livros com ou sem capa, com ou sem cola, formulários contínuos, impressos, papéis autocopiativos, sem carbono, sem papel resistente a umidade.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 4% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papel branco V	Aparas de papel branco com grande quantidade de impressão.	Teor máximo de umidade: 10% Teor máximo de impurezas: 2% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%

Tabela 1.1.01 (FONTE: ABNT NBR 15483:2007)

Alguns materiais (que não são papéis, mas estão agregados com embalagens de papel), não foram considerados como impurezas e/ou materiais proibitivos, pois estão descritos na especificação do produto, como, por exemplo, a janela de plástico das embalagens de papel para brinquedos e as janelas dos envelopes para correspondências. Caso este material não esteja especificado na classificação das aparas, é considerado impureza.

As vantagens das fibras recicladas são: economia de fibras virgens, proteção ao meio ambiente, evitar o desperdício, gerar empregos, economizar energia e participar no fechamento de circuito de água (efluente zero). As desvantagens são: alto teor de cinzas, “stickies”, contaminantes, vida das vestimentas, consumo de energia, consumo de água, controle de efluentes e o seu próprio fornecimento.

#### 1.1.1.3. Utilização de fibras virgens e recicladas na fabricação do papel “tissue”

A base da massa para o papel “tissue” são as fibras virgens de celulose e a fibra de papel reciclado. É possível também a mistura entre os dois tipos de fibras no percentual ótimo para

o tipo de papel a ser produzido. Os papéis chamados “tissue” englobam a todos os papéis sanitários tais como o papel toalha, o higiênico, os guardanapos e os chamados faciais. As características mais importantes exigidas a cada um destes papéis são mostradas na tabela 1.1.02. Observamos que o “bulk” e a maciez são características desejadas para a maioria dos papéis “tissue”.

<b>Papel “tissue”</b>	<b>Características</b>
Toalha	Resistência a úmido e a seco, absorção e “bulk”
Higiênico	Maciez, “bulk”, resistência a seco e absorção
Guardanapo	Resistência a seco, “bulk” e maciez
Facial	Maciez, resistência a seco e a úmido

Tabela 1.1.02 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos – várias fontes)

Tem-se utilizado diferentes tipos de pasta para fazer papel: de coníferas (“softwood”), de folhosas (“hardwood”), quimotermomecânica (CTMP: “Chemithermomechanical Pulp”), destintada (DIP: “Deinked Pulp”) e outras. O controle da resistência e do alongamento é importante para o papelero a fim de assegurar um mínimo de rupturas da folha durante os processos de fabricação e conversão.

Atualmente, os fabricantes de “tissue” tentam aumentar o “bulk”. Os papéis ficam com um melhor aspecto, as bobinas se tornam mais robustas e se deseja que se possam converter estes ganhos de “bulk” em ganhos de maciez (para o caso do papel higiênico, por exemplo), utilizando uma crepagem mais fina. O aumento em “bulk” também resulta em maior absorção, maior maciez e redução do custo da pasta. O fabricante deve decidir qual é a relação apropriada dos tipos de pastas para conseguir as desejadas propriedades operacionais da folha. As pastas que produzem mais “bulk” são pela ordem: CMTP, “softwood”, “hardwood” e fibra secundária.

Analisando as fibras virgens e escolhendo a composição correta, podemos aumentar o “bulk”, a maciez, a resistência à tração e todos os outros parâmetros do papel “tissue”. As fibras, oriundas de vários processos de obtenção da pasta, que produzem o papel mais macio são, pela ordem: “hardwood”, “softwood”, fibras secundárias e CTMP.

Como será apresentada no capítulo 4, a crepagem aumenta a maciez estrutural, rompendo as ligações das fibras. O tipo de crepe obtido está relacionado com a força de adesão da folha; quanto maior a adesão, pior a qualidade do crepe, maior desgaste e desgaste irregular das raspas. A adesão uniforme da folha ao “Yankee” produz uma crepagem apertada e uma boa separação das ligações das fibras. A adesão ao “Yankee” pode ser alterada,

dependendo do tipo de pasta usada. As fibras que proporcionam melhor adesão natural são pela ordem: “hardwood”, “softwood”, fibras secundárias e CTMP.

A resistência pode ser obtida através de variáveis mecânicas ou da pasta. Produzem folhas mais resistentes, pela ordem, as fibras “softwood”, “hardwood”, CTMP e fibras secundárias. Entretanto, certos tipos de fibras secundárias podem produzir papéis fortes. Por exemplo, a fibra longa reciclada produz geralmente um papel mais forte do que a fibra virgem refinada. A resistência pode ser aumentada através do aumento de refinação, até certo ponto. Além desse ponto, mais refinação pode causar danos à formação, drenagem e resistência.

A tabela 1.1.03 mostra vários tipos de fibras e sua influência nos parâmetros do papel “tissue”. Como exemplo, é interessante utilizar pasta “softwood” no papel toalha onde a resistência à tração tanto a seco como a úmido é a característica mais importante. A princípio poderia utilizar-se 100% de “softwood”, mas como para o papel toalha é importante ter uma alta absorção, poderia substituir-se em torno de 30% de pasta “softwood” por pasta CTMP. Se o objetivo maior é reduzir custos, estes 30% de CTMP poderia ser substituído por pasta de eucalipto, por exemplo.

Para o papel higiênico e facial predomina a maciez como propriedade comum aos três tipos. Portanto, é interessante aumentar a porcentagem da pasta de eucalipto (“hardwood”) cujas fibras apresentam propriedades morfológicas que garantem a esta pasta um desempenho melhor que as outras do mercado com relação à maciez. Por isto, pode-se usar de 60% a 100% de pasta de eucalipto, nestes casos. A dosagem de fibras de eucalipto para guardanapos atinge, normalmente, até 60%.

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Parâmetros do papel “tissue”</b>
“Softwood”	Resistência à tração
“Hardwood”	Maciez, boa formação e “bulk”
CTMP	Absorção

Tabela 1.1.03 (FONTE: El Papel – Noviembre 2001 – Pg. 42 a 47)

### 1.1.2. Aditivos

Os aditivos são de notável importância para obter as características de maciez, brancura e higiene, e a fixação das fibras para reduzir a poeira. Há dois tipos básicos de aditivos: funcionais e auxiliares.

Os aditivos funcionais são aqueles que fazem parte da receita (“furnish”) do papel e conferem-lhe propriedades desejáveis para cada especificação desejada. Estes produtos

---

químicos têm muita influência na qualidade do papel “tissue”, sob diversos aspectos significativos. As propriedades que definem a qualidade final do papel “tissue” podem variar de acordo com a classe de papel e seu uso final. Estas propriedades nem sempre são compatíveis com as características físicas exigidas pelo papel, uma vez que a melhoria na absorvência e maciez implica em diminuição da resistência, havendo, portanto, a necessidade do uso de matérias-primas não fibrosas. Assim, a aplicação de produtos químicos confere ao produto final propriedades físicas e ópticas desejadas por sua especificação.

Os aditivos auxiliares são aqueles que fornecem condições para que o processo de fabricação de papel atinja um melhor desempenho, sem necessariamente fazer parte da receita do papel. Por exemplo, são previstos tratamentos bactericidas com adequados produtos químicos. Também é de grande interesse a utilização dos produtos químicos e antiespumantes utilizados para evitar a formação de depósitos na máquina contínua e manter limpas as tubulações e reservatórios.

#### 1.1.2.1. Aditivos funcionais

##### **Agentes de resistência a seco**

Estes aditivos são agentes que incrementam a resistência a tração, quando a folha está seca. O amido é o mais comum agente de resistência a seco utilizado: corresponde a quase 95% dos produtos e aditivos utilizados para esta finalidade. Normalmente, tem de ser “modificado” devido à retenção natural de um amido “in natura” ser ao redor de somente 40% (geralmente, para indústria de papel é necessário criar “sites” catiônicos). Sua utilização na indústria papelera é ampla: emulsões (colas alcalinas), “coatings”, agentes de colagem superficial. É constituído por dois tipos de estruturas: linear (amilose) e ramificada (amilopectina) (figura 1.1.06).

A estrutura linear da amilose tem uma grande tendência a formar cristais agregados (retrogradação do amido). O que normalmente interessa a fabricação de papel é a quantidade de amilopectina (alto PM). O amido, em geral, é composto de pequenos grânulos (5 a 100 microns) e suas fontes principais podem ser as seguintes: batata, milho, mandioca e trigo (tabela 1.1.04).

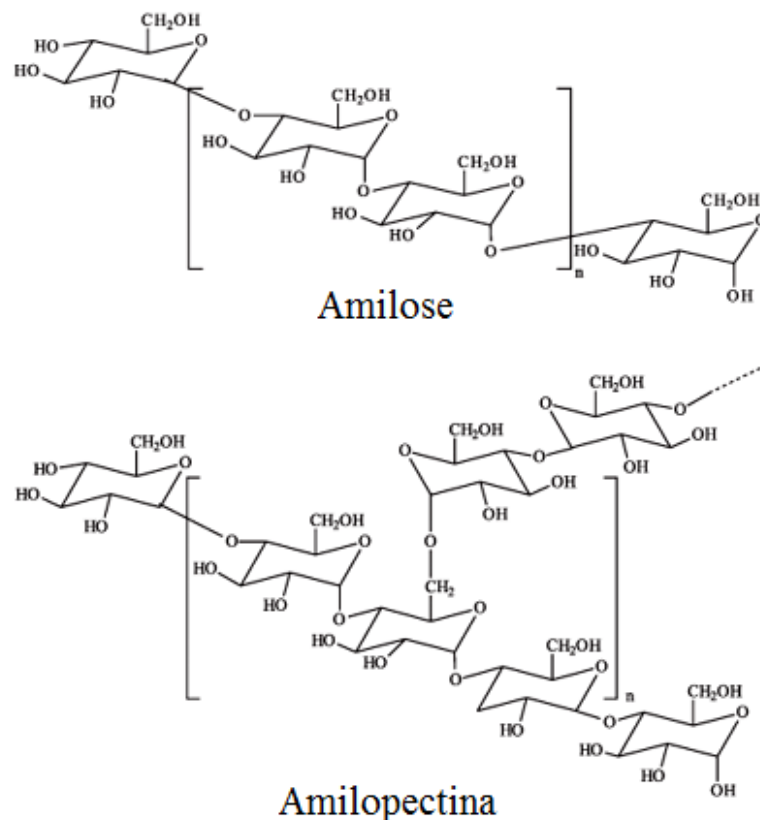


Figura 1.1.06

(FONTE: Comparative studies of corn thermoplastic starches with different amylose content)

Características do amido	Batata	Milho	Mandioca	Trigo
Amylose, %	20	24	16	25
Amylopectina, %	80	76	84	75
Peso molecular	Méd-alto	Médio	Méd-alto	Médio

Tabela 1.1.04 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

No caso do amido catiônico, trata-se de um pó granulado, produto da reação entre o amido e um grupo quaternário de amônio, o que faz aumentar a polaridade e a afinidade por materiais iônicos. Utilizado para incrementar a força física do papel e sua retenção na parte úmida da máquina.

### Resina para resistência a úmido

O aumento da umidade do papel resulta em uma nova hidratação de fibras (quase que completa) e em uma perda de 95 % (aprox.) em resistência. Agentes típicos de resistência a úmido são, normalmente, resinas poliméricas de poliamida-amina-epicloridrina de caráter

---

catiônico ou aniônico, solúveis em água. Estes quando adicionados à massa do papel, conferem-lhe, depois de seco e curado, resistência úmida, que pode atingir até 35 % da resistência seca. Normalmente, é usado para papéis toalha e facial.

O “Kymene” é uma resina catiônica de alta eficiência para a resistência a úmido; muito utilizado em papéis “tissue”, é também utilizado na aplicação na superfície do secador para melhorar a adesão do papel e com isto a crepagem a seco. Temos também alguns tipos de “Kymene” que atuam também como agentes de retenção das fibras. É aplicado à polpa em quantidades que variam de acordo com o nível de resistência a úmido desejado. Utiliza-se em papéis de guardanapo, lenço e toalha.

Os aditivos para resistência em úmido têm carga moderadamente catiônica e se atraem com as partículas de fibras e cargas aniônicas, os quais têm áreas superficiais grandes. Neste caso, os aditivos de resistência em úmido são consumidos para neutralizar a carga aniônica e não lhes é dada a oportunidade de aderir-se às fibras, as quais podem comunicar propriedades de resistência. A maioria deles se perde através da malha e se encaminha ao circuito de água branca.

A eficiência dos aditivos para resistência em estado úmido pode ser melhorada através da adição de coagulantes catiônicos. Um polímero de alta carga catiônica antes dos químicos de resistência em úmido neutralizará a carga das partículas de fibras e finos e outros materiais coloidais, melhorando a retenção. Um pequeno aumento na retenção das partículas de fibras pode levar a um grande aumento da eficiência da resistência em úmido.

Em sistemas excessivamente catiônicos o uso de um flocculante aniônico de alto peso molecular pode melhorar a eficiência de uma resina de resistência em úmido. A carga catiônica faz com que maior quantidade de cinzas e finos seja retida na folha. Em geral, programas duais de polímeros para retenção e resistência em úmido em sistemas de fibra secundária podem ser danificados pela retenção de cinzas, pois à medida que estas aumentam geralmente são afetadas a maciez e a resistência.

## **Corantes**

Estes aditivos são substâncias que conferem cor ao papel, alterando o estado visual da fibra. Alguns corantes insolúveis chamados de pigmentos são também utilizados em papéis coloridos. Os corantes podem ainda ser divididos em dois grupos principais: corantes

---

inorgânicos (naturais e sintéticos) e corantes orgânicos sintéticos. Os corantes orgânicos sintéticos solúveis em água são os mais utilizados. Estes podem ser ainda classificados como corantes básicos, ácidos ou diretos.

### **Alvejantes ópticos**

Muito usados em produtos “tissue”, auxiliando no incremento do aspecto visual dos produtos. Os alvejantes ópticos são complexos que possuem a capacidade de refletir luz quando exposto a incidência de luz com baixo comprimento de onda (faixa do ultravioleta - UV), isto é, são constituídos por substâncias fluorescentes que podem “transformar” a radiação UV em “luz azul visível”. Normalmente é adicionado à massa no desagregador, no caso de papéis brancos, de forma a melhorar o grau de brancura.

O alvejante óptico tem característica aniônica e necessitam de algum aditivo para sua fixação à fibra. A melhor eficiência para sua fixação é atingida com a utilização de álcool polivinílico, amidos, CMC, caseína ou fixadores sintéticos também são utilizados para esta finalidade.

Sua eficiência é proporcional ao grau de brancura da polpa. A pasta CTMP normalmente apresenta lignina que anula o alvejante ótico (absorção de UV). Os corantes amarelos podem contribuir para a perda de eficiência do alvejante ótico, componentes do “furnish”, agentes de resistência e alguns agentes de retenção que possuem visível absorção na região azul do espectro.

Ainda interferem na eficiência do alvejante ótico os agentes catiônicos fortes: agentes de resistência, polímeros catiônicos, amidos catiônicos, agentes de coagulação (pontos de aplicação). Não devem ser misturados e aplicados diretamente com alumínio. “Slimicidas” e biocidas catiônicos devem ser cuidadosamente estudados ou evitados.

### **Amaciantes**

Os amaciantes, especialmente aqueles utilizados na parte úmida, interferem com as uniões entre fibras, resultando na redução da resistência da folha. A influência da lubrificação superficial pode dificultar o controle das características de aderência, que podem deteriorar. Nestes casos, é melhor buscar a maciez melhorando a crepagem.

Os amaciantes químicos são tipicamente produtos redutores da tensão superficial da água, muito freqüentemente aminas quaternárias. Podem ser também uma mistura de ésteres, ácidos graxos e óleos minerais, de caráter iônico, utilizado para melhorar a maciez do papel. Também pode ser empregado como “realease”, controlando a aderência da folha no secador.

Trabalham prevenindo o enlace entre as fibras e na maioria dos casos, a adesão de um amaciante resultará em perda de tensão total. O fabricante de papel deve avaliar o benefício da maciez, contra os problemas operacionais potenciais que podem ocorrer devido às tensões mais baixas. Os amaciantes químicos produzem maciez de corpo e uma folha mais flexível.

Os melhores resultados são obtidos adicionando o produto químico na parte úmida, na massa de alta consistência, pois precisa de tempo para reagir com as fibras e produzir os resultados desejados. Novamente, em sistemas com circulação, a carga catiônica dos agentes amaciantes pode produzir aumento da retenção de cinzas. Isto pode causar mais rigidez e reduzir a maciez. Um produto químico bem controlado na parte úmida pode limitar os efeitos negativos dos amaciantes químicos e fornecer ao fabricante de papel os resultados esperados.

### **Surfactantes**

Para melhorar a absorção da folha, as fábricas que trabalham com produto de “tissue” usam normalmente agentes que baixam a tensão superficial da água (surfactante), criando um enlace de hidrogênio mais fraco entre as fibras. Estes podem também destruir qualquer resíduo de cola presente e fazem com que as fibras se dilatam. Durante a formação, estes fatores produzem uma folha mais absorvente depois da secagem. Estes materiais afetam somente o coeficiente de absorção da água, não a quantidade que pode ser retida. Deve-se ter cuidado ao usar estes produtos.

A utilização destes aditivos produz espuma, de modo que uma auxiliar de absorção acrescentado na parte úmida pode requerer uma adição extra de antiespumante. Além disto, certos produtos podem produzir um efeito adverso nos programas de retenção.

Como já foi mencionado, o aumento de cinza no sistema de circulação pode danificar a absorção, levando os agentes redutores da tensão superficial da água diretamente à folha, sem que seja necessário balancear a resistência ou a química da parte úmida. Neste ponto, a aplicação e o controle são decisivos para a absorção à medida que se encrespa para aumentar o volume.



### 1.1.2.2. Aditivos auxiliares

#### **Agentes de retenção**

Os contaminantes orgânicos ou inorgânicos, que tendem a formar depósitos podem interferir no processo de fabricação de diversos modos. Se forem ignorados, eles podem acumular-se no sistema, formando depósitos nas telas formadoras, feltros e outras partes da máquina papelreira. A capacidade de fixar corretamente estes contaminantes às fibras melhora sua retenção na folha, evitando que se transfiram da folha para a superfície do cilindro, reduzindo, simultaneamente, os problemas de funcionamento da máquina. Este procedimento pode reduzir a perda de fibra, principalmente fibrilas e aumentar a capacidade produtiva da máquina de papel, já que se pode aumentar a secagem do papel. Existe um mecanismo de controle laboratorial do controle de drenagem que monitora a aplicação de tais químicos.

Tradicionalmente, a indústria química vem oferecendo três principais grupos de agentes de retenção:

- Produtos inorgânicos (sulfato de alumínio, aluminato de sódio, substâncias minerais etc.);
- Produtos orgânicos naturais e seus derivados (amidos, CMC, cola animal etc.);
- Produtos orgânicos sintéticos: polietilenoiminas e suas modificações, poliamida-aminas e suas modificações, e poliacrilamidas e seus derivados.

Por muito tempo a indústria papelreira utilizou apenas o sulfato de alumínio, polieletrólito inorgânico, como agente de retenção. Atualmente, o uso de polietetrólitos orgânicos sintéticos tornou-se uma prática bastante comum, com melhoras consideráveis na retenção de finos.

O polieletrólito é basicamente um polímero orgânico que apresenta grupos funcionais; carregado eletricamente, ou neutro, torna-se carregado em solução aquosa, o que permite sua solubilidade em água e sua atuação como eletrólito.

Os polieletrólitos podem ser classificados de acordo com a funcionalidade dos grupos iônicos (carga) em: não iônicos, aniônicos, catiônicos e anfóteros. Os polieletrólitos não iônicos não possuem cargas em solução. São capazes de desenvolver uma carga transiente em solução aquosa, via protonação (reação química que ocorre quando um próton  $H^+$  liga-se a um átomo, uma molécula ou um íon). Como resultado, são solúveis em água e se comportam como polieletrólitos fracos. Nesta categoria podemos citar: poliálcoois, os poliéteres e as poliamidas.

---

Os produtos aniônicos possuem grupos funcionais ácidos sulfônicos, fosfônicos ou carboxílicos, portanto, com carga negativa. Esses polímeros são normalmente utilizados em sistemas ácidos que contenham sulfato de alumínio. Os polímeros catiônicos contêm grupo funcional com carga positiva que reside em um enxofre trissubstituído (sulfônico), em fósforo tetrassubstituído (fosfônio) ou em um nitrogênio tetrassubstituído (amônio). Os polieletrólitos anfóteros possuem ambos os grupos funcionais, na mesma cadeia polimérica. Sua vantagem está na capacidade de funcionar sob condições mais diversas, incluindo uma ampla faixa de pH.

Os polieletrólitos podem ser obtidos na forma sólida (mais fácil transporte), solução aquosa (fácil manuseio) e ainda na forma de emulsão (alto peso molecular de fácil manuseio). Vários estudos mostram que pastas em dispersão aquosa apresentam uma carga superficial negativa. Observa-se também que, ao aumentar essa concentração de sais, esse potencial negativo é reduzido, sendo esse efeito acentuado na presença de sais portadores de cátions multivalentes ou polímeros catiônicos. Há, portanto, uma estreita correlação entre a redução do potencial negativo e os fenômenos de floculação e retenção.

Polímeros de cadeia muito longa, embora não provoquem alteração da carga superficial, são capazes de formar pontes entre as superfícies altamente resistentes à turbulência, desencadeando a floculação e a retenção.

Uma característica comum dos **coagulantes** é a alta densidade de carga e baixo peso molecular. O mais comum é o sulfato de alumínio, porém, existem coagulantes sintéticos como as poliaminas, onde a maioria é solúvel em água e podem ser dosados diretamente na massa.

Os coagulantes poliméricos são 100% catiônicos e variam entre si em relação ao peso molecular e intensidade de carga. Pode-se afirmar que o amido quando adicionado na massa (alta consistência) funciona também como um coagulante no sistema.

A coagulação não é instantânea. Um pouco de tempo é necessário para que o coagulante faça o contato inicial com as partículas e seja adsorvido pela sua superfície. Entretanto, se houver muito tempo de contato o coagulante pode entrar na esfera das partículas perdendo parte de sua força de neutralização.

Os pequenos flóculos formados ou agregados que podem ser formados durante a coagulação, podem ser quebrados em áreas de tensão como no sistema de “approach flow”, por exemplo: “cleaners”, depurador vertical, refinadores bomba de mistura. Os flóculos

formados durante a coagulação podem ser formados novamente após passarem pelos pontos de alta tensão de cisalhamento.

Os **floculantes** são polímeros de alto peso molecular, com função de criar pontes entre fibras, finos, cargas e mantê-los presos na folha de papel. Poliácridamidas são os flocculantes mais utilizados. Produzidos pela polimerização do monômero da acrilamida, dominam o mercado devido à química da amida que forma pontes de hidrogênio com a celulose e outros aditivos.

Também apresentam um bom custo/benefício, podendo ser manufaturado até um peso molecular elevado, e podendo ser modificado entre catiônico e aniônico. A principal função da carga iônica é estender a cadeia o mais longe possível. Um polímero não modificado fica enrolado como uma mola em soluções aquosas, pois não existem forças que mantenham a cadeia estendida em seu completo comprimento.

A figura 1.1.07 mostra as ações de coagulação e floculação combinadas:

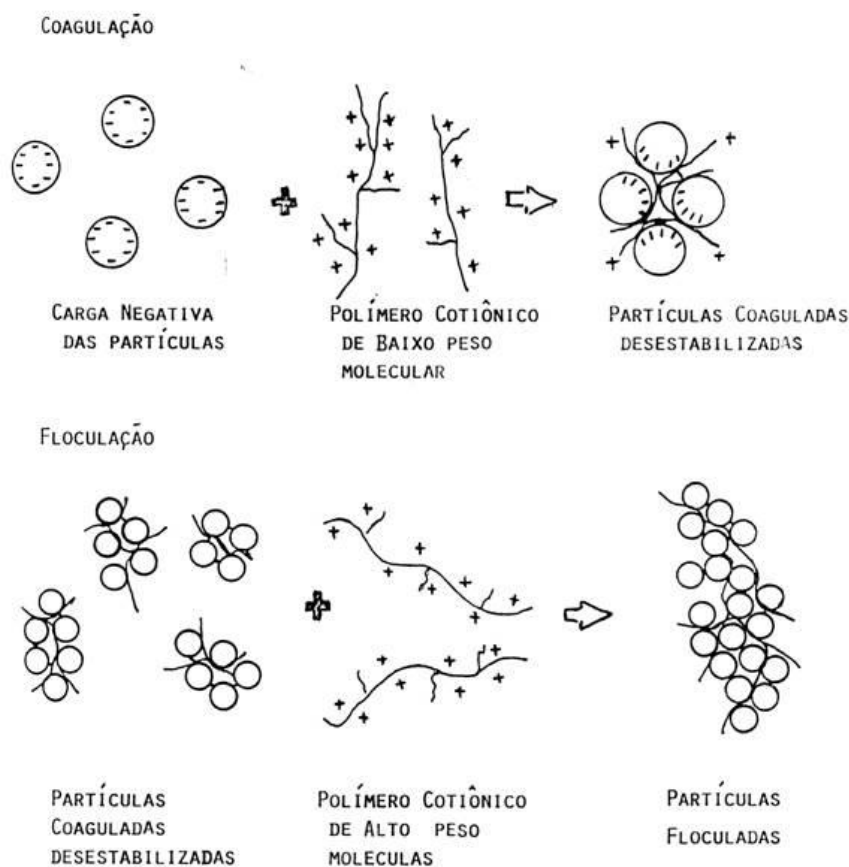


Figura 1.1.07 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

### **Adesivo (resina)**

Os primeiros adesivos foram componentes naturais da polpa, principalmente “pitch” e hemiceluloses. Posteriormente, descobriu-se que a adesão da folha pode melhorar adicionando-se resinas a pasta. A maioria das resinas comercializadas atualmente são à base de poliamida-epicloridrina, as mesmas de resistência a úmido, aplicadas por meio de um “spray”, junto com o “release” e o MAP, sobre a superfície do cilindro “Yankee”.

A resina contribui, portanto, para a adesão da folha ao “Yankee”, gerando um duro e frágil recobrimento na superfície do cilindro. É especialmente indicado para obter um “creping” fino e estável, uma folha macia e um perfil regular de umidade. Além de influenciar as forças de adesão e desprendimento da folha ao cilindro, as quais geram o “creping”, a camada pegajosa (“soft coat”) gerada protege a superfície do cilindro secador e as raspas do desgaste mecânico.

### **“Release” para controle da crepagem do papel**

Este produto é basicamente um óleo (mas, que atualmente, existe também à base d’água) que atua juntamente com o produto para aumentar a adesão do papel. Trata-se de uma mistura de óleo e polietileno glicol que com a água forma uma emulsão estável.

O “realease” é um agente amaciante e de liberação; tem sido projetado especificamente para controlar a dureza, espessura e adesão do “coating”. Sua adição úmida amacia o papel “tissue” e melhora as propriedades de liberação do “Yankee” pelo método de aplicação superficial por “spray”.

### **Fosfato de amônio monobásico (MAP)**

Trata-se de um produto inorgânico que é dosado sob a forma de solução em “spray”, diretamente no feltro, ou no cilindro “Yankee”, de forma a proteger a sua superfície do desgaste mecânico. Sua fórmula estrutural é  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ .

A aplicação deste produto em conjunto com a resina resulta em um controle de crepagem correto permitindo, com isto, obter algumas vantagens tais como: evitar o desgaste prematuro do cilindro “Yankee” (crepador), redução do desgaste das lâminas de crepagem, uniformidade na crepagem e, conseqüentemente, aumento da eficiência. Normalmente, é

usado sob a forma de emulsão a 0,4% v/v e aplicado no “spray” (“chilling shower”) do secador. Veja na figura 1.1.08, um exemplo de aplicação deste chuveiro.

O chamado “coating” ideal deverá ser constituído normalmente por três camadas: uma camada dura (“hard coat”), predominando o MAP, com a função de proteger o cilindro; uma camada pegajosa (“soft coat”), predominando a resina, com a função de aderir o papel ao cilindro; e uma camada suave, predominando o “realise”, que permite que a folha se desprenda do cilindro.

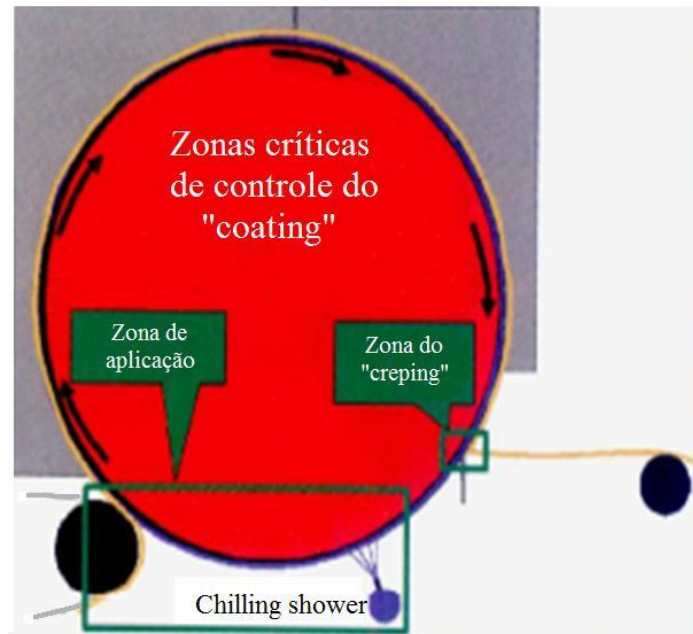


Figura 1.1.08 (FONTE: Tissue World)

### Alcalinizantes

São substâncias utilizadas com o objetivo de elevar o pH (potencial hidrogeniônico) da polpa e obter como consequência, melhor desagregação da pasta fibrosa. Utilizam-se, normalmente, os carbonatos ou o hidróxido de sódio (soda cáustica). A soda cáustica é um produto que pode ser apresentado em dois estados: líquido e sólido (tipo escamas). É ideal, também, para limpeza do sistema e lavagem de feltro.

### Acidificantes

São substâncias químicas que possuem caráter ácido e promovem a neutralização da alcalinidade, quando o pH estiver elevado. Usa-se normalmente o sulfato de alumínio, o ácido sulfúrico e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O sulfato de alumínio pode ser encontrado em dois estados: líquido e sólido, além de ser isento de ferro e ferroso. É usado também como fixador de corante.

### **Antiespumantes**

Os antiespumantes ou desespumantes são substâncias tensoativas gordurosas que previnem formação de espuma e sedimentações associadas. É adicionado sob a forma de solução, com concentração em função da necessidade, na piscina da tela, de forma a manter controlada a formação de espuma.

Normalmente, os antiespumantes são utilizados nos papéis “tissue” que usam agentes de resistência a úmido (onde os problemas de espuma são mais graves), em papéis que utilizam amido e em processos que utilizam fibra secundária com matéria fibrosa. O uso destes produtos deve ser controlado, pois normalmente produzem ação “release” ou afetam a capacidade de absorção de água. Este produto exige constante acompanhamento de sua aplicação podendo gerar mais espuma se aplicado inadequadamente.

### **Dispersantes**

Estes aditivos são substâncias que diminuem a tração superficial das partículas, promovendo uma força de repulsão destas partículas com a fibra, e fazendo com que não seja notada visualmente ou, até que tais partículas sejam removidas do sistema. Existe um grande número de produtos disponível no mercado, mas cada caso deve ser estudado junto à constituição química do produto, para que possa alcançar os objetivos desejados. São adicionados a um meio em suspensão para auxiliar na separação de partículas extremamente finas tais como pigmentos ou colóides.

### **Agentes tensoativos**

Os tensoativos são agentes coletores usados na flotação que se precipitam sobre as partículas em suspensão, modificando suas características, formando um agregado de menor densidade que faz com que as bolhas de ar arrastem as partículas de tinta com maior facilidade e formando assim a espuma, na parte superior da suspensão. A espuma deve ser estável para que as partículas de tinta não voltem a se incorporarem na suspensão. Os tensoativos, também são chamados de auxiliares de desagregação.

## Controladores de “stickies”

Apesar dos esforços para controlar a pasta usada, as fábricas que utilizam fibras secundárias podem obter folha de pouca qualidade, redução das velocidades da máquina e perda de tempo em limpeza de tela e feltros.

As substâncias pegajosas são atribuídas a uma variedade de fontes: fibra secundária ou aparas de fabricação que contém látex dos recobrimentos, laminadores de metal, adesivos sensíveis à pressão, ligantes dos livros ou amidos. Como na maioria dos depósitos, eles não possuem um só componente, mas uma combinação de materiais diferentes como substâncias pegajosas também podem conter componentes de breu, auxiliares de “realease” e antiespumantes. O problema agrava-se por mudança de pH, temperatura e agitação.

As substâncias pegajosas podem ser removidas do sistema de um dos seguintes modos:

- Permitindo-se sua formação e depois limpando periodicamente os feltros, telas, caixas de sucção ou secadores;
- Purgando-os do sistema e lançando-se grandes quantidades de água branca;
- Usando dispersantes ou agentes próprios para tornar as partículas de fibras mais hidrófilas; fazendo que se colem à fibra e sejam captados na folha.

A última das opções, sem dúvida, pode dar resultados mais benéficos. O uso de polímeros catiônicos de alta densidade de carga na pasta de alta consistência, numa zona de baixa agitação, neutraliza a carga superficial negativa das substâncias pegajosas, junta-as às fibras, partículas de fibras e pigmentos, promovendo desta forma a aglomeração destes materiais.

A área superficial dos aglomerados maiores é muito menor que a soma das áreas superficiais de todas as partículas individuais. Uma área superficial menor significa que há uma superfície menor para aderir-se às telas, prensas e feltros. Partículas de fibras microscópicas maiores colam-se às fibras e são captadas pela folha.

Existem diversos mecanismos no controle destas substâncias indesejáveis como a repulsão elétrica promovida nas vestimentas da máquina, evitando a aderência dos “stickies”. Papéis com baixa gramatura são problemáticos nesta linha de atuação. A neutralização das cargas iônicas do meio em se mostrado efetivo para evitar a deposição de alguns tipos de “stickies”. Também chamado de controle do potencial zeta do meio, pode ser medido através de aparelhos específicos ou através da análise volumétrica em laboratórios.

Na impossibilidade da remoção de tais perturbadores, existe a aplicação de solventes que removem os “stickies” depositados. São usados solventes como querosene e xileno, entre outros. A definição do produto mais adequado esta amarrada à adequação das borrachas que revestem os cilindros das máquinas. É o método mais rude de resolver o problema, porém, em circuitos especialmente fechados sua aplicação ainda se faz necessária.

### **Agente para controle de depósitos**

Evita a formação de depósitos de modo a eliminar pintas e manchas no papel, decorrentes de material orgânico.

### **Microbicida**

Controla os microorganismos presentes no processo, tornando a máquina com baixo nível de contagem de fungos e bactérias, e aumentando o intervalo entre as lavagens químicas (“boil out”).

### **Sabão para limpeza de feltros**

São sabões utilizados para limpeza de feltros, que normalmente são empregados após a lavagem com solução de soda, usados sob a forma de solução.

### **Querosene e xileno**

São solventes derivados do petróleo, comumente utilizados para a remoção de “pitch” e outros contaminantes da celulose e sistemas com graxas que aderem aos feltros e tela.

### **Agentes condicionadores de feltro e tela**

Composto orgânico à base de resina amina-formaldeído que age formando uma película sobre as vestimentas a fim de que não haja aderência de “pitch” e “stickies” nas mesmas.



## 1.2. DESAGREGAÇÃO

A chegada das fibras na preparação de massa pode ser realizada de várias formas: por tubulações como suspensão cuja consistência pode variar de 3 a 6%, quando a fábrica é integrada com o processo de fabricação de celulose; em folhas ou rolos oriundos de uma secadora de celulose, com umidade em torno de 10%, ou oriundos de uma desaguadora, com umidade em torno de 60%. No caso de aparas, a entrega é em fardos com cerca de 10% de umidade.

Exceto no caso das fábricas integradas, existe a necessidade de formar uma suspensão de fibras em água com a consistência adequada para poder utilizá-la nas etapas posteriores do processo. Isto é obtido através da etapa de desagregação. O desagregador, também chamado de “Hydrapulper” ou simplesmente “Pulper”, é um equipamento semelhante a um liquidificador gigante, cuja estrutura corresponde a um tanque de aço, de ferro fundido, de concreto, ou mesmo, com azulejos. O formato do tanque e seu tamanho são determinados pela capacidade de produção de papel requerida e da consistência de operação.

A figura 1.2.01 mostra um típico desagregador vertical, onde se pode ver na sua parte inferior, um rotor provido de hélices, que é a peça do equipamento que gera a turbulência necessária para fazer com que as fibras fiquem em suspensão de forma homogênea dentro do tanque. A instalação de aletas ou chicanas na parte inferior do tanque melhora as condições de agitação. Abaixo do rotor, encontra-se a câmara de extração que é coberta por uma placa perfurada, também chamada de placa extratora, através da qual a pasta desagregada é retirada do tanque. Os orifícios da placa perfurada possuem diâmetro que varia entre 6 e 30 mm em função do tipo de matéria prima a ser desagregada.

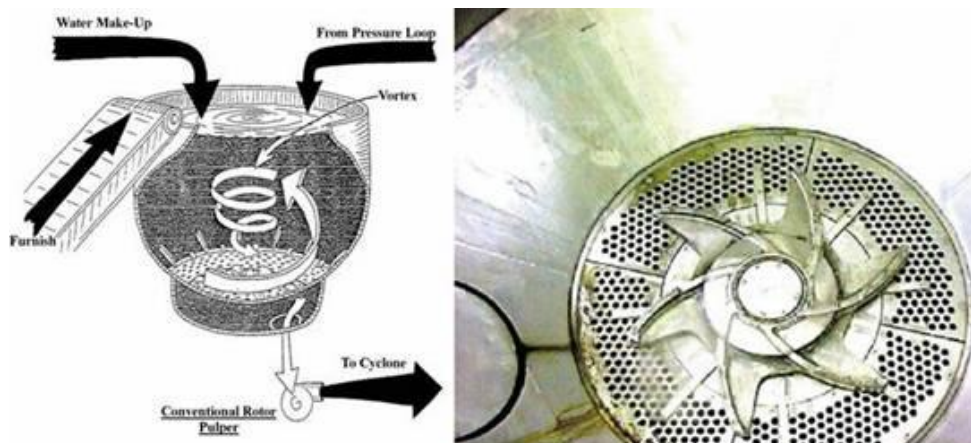


Figura 1.2.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

O desagregador vertical pode ser de processamento por bateladas (periódico) ou contínuo. Como exemplo, no caso do processamento por bateladas a placa extratora estende-se 152 mm em torno da periferia do rotor cujas perfurações apresentam, nessa faixa, diâmetro de 25 mm. O segmento da placa que trabalha sob o rotor, por sua vez, apresenta perfurações de 9,5 mm de diâmetro. A ação de bombeamento do rotor impele a massa para baixo, através dos furos de 9,5 mm, e devolve-a a bacia pela periferia, através dos furos de 25 mm, mantendo sempre limpa a câmara de extração. Toda a massa ao ser descarregada é forçada pelo rotor a passar através da placa extratora.

No caso do desagregador vertical contínuo, a placa extratora é perfurada no segmento sob o rotor. As palhetas do rotor impelem a massa através das perfurações de forma que a massa, já suficientemente desfibrada, é facilmente bombeada para fora da bacia, enquanto que a massa ainda insuficientemente desfibrada, é fracionada pela passagem das palhetas do rotor rente às bordas dos orifícios, assim desfibrando-se também.

O desagregador conhecido como “Sydrapulper”, que aparece na figura 1.2.03, também pode ser de processamento periódico ou contínuo, e seu sistema de trabalho é idêntico ao do Hidrapulper. Este equipamento desfibra de maneira eficiente papéis que são resultantes de quebras ou aparas, possibilitando seu posterior bombeamento. O diâmetro do rotor varia de acordo com a produção especificada em projeto. Normalmente, esse tipo de desagregador é utilizado no porão da máquina de papel ou em locais onde o espaço não permita o uso de repolpeadores convencionais.

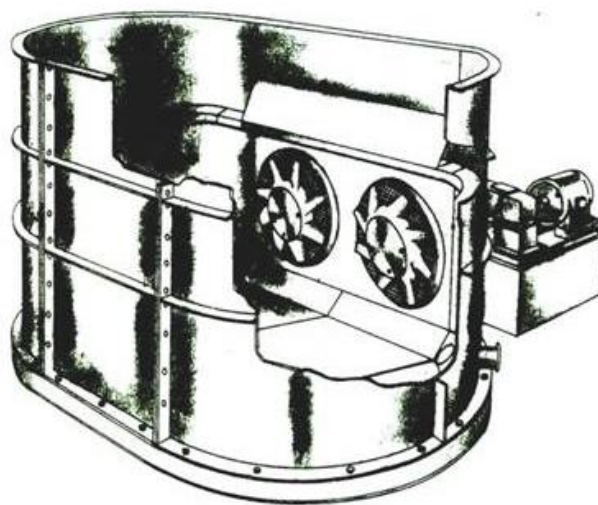


Figura 1.2.02 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

---

A retirada da massa desagregada é realizada através de um tubo de saída, processada através da válvula de descarga pneumática. O desagregador é alimentado através de uma esteira transportadora. A água fresca é introduzida por uma válvula de alimentação e a água clarificada é alimentada por outra válvula.

O funcionamento do desagregador se processa com a adição de água até mais ou menos 50% de sua capacidade, seguida de seu movimento. A seqüência de adição das matérias primas é normalmente feita de acordo com a receita de fabricação. Em geral, para quem trabalha principalmente com reciclados, aconselha-se a adição de álcali. Os fardos são colocados no interior do desagregador e são rompidos sob os efeitos dos golpes das pás do rotor, iniciando o processo de trituração. O rotor produz efeitos mecânicos que dissolvem a matéria prima, umedecendo-a, cortando-a e afrouxando suas ligações fibrosas, resultando em uma suspensão fibrosa fluida que pode ser bombeada para as etapas posteriores.

Após a colocação das matérias-primas, deve-se acertar a consistência final e o pH, conforme as recomendações do controle de processos. Qualquer anormalidade que ocorra no setor de desagregação irá influenciar diretamente na eficiência dos equipamentos posteriores, na máquina de papel e no produto final. Ao desagregador não cabe homogeneizar a massa. Seu funcionamento econômico vai até quando se obtém uma massa com, aproximadamente, 30% de pastilhas ou pequenos aglomerados, que seguirão no processo e serão tratados imediatamente.

Para o caso das aparas, o processo de reciclagem começa nos desagregadores, onde são retiradas as impurezas pesadas, tais como arames, pregos, pedras, madeira, barbantes, etc. Os desagregadores podem funcionar com e sem atrito. O segundo efetua a desagregação somente através de forças de cisalhamento e impacto, enquanto que no caso do desagregador com atrito, além das forças do cisalhamento e impacto, há também forças de fricção, pois o rotor do desagregador gira próximo a um disco ou a uma placa estacionária, desfazendo assim, os aglomerados de fibras. Os dois tipos de desagregadores funcionam em sistemas de batelada ou contínuo. No sistema contínuo a velocidade de alimentação de fardos de polpa deve controlada proporcionalmente com a entrada de água de diluição e a descarga deve ser feita em tanques com capacidades de pelos menos uma hora.

Para um mesmo tamanho, os desagregadores contínuos têm capacidade maior que os de batelada, pois não há perda de tempo no carregamento; a retirada contínua de fibras serve para

classificar a massa, removendo o material desagregado e alguns pequenos aglomerados de fibras, enquanto que a parte não desagregada de massa permanece no equipamento.

Os desagregadores de batelada são usados, geralmente, quando se requer elevada limpeza e isenção de impurezas, como adesivo “hot melt”, látex e plásticos. Com desagregadores de batelada é possível selecionar o material desagregado antes de lançá-lo no sistema e, se necessário, desprezar uma batelada fortemente contaminada.

Os papéis que sofrerão destintamento requerem desagregadores do tipo sem atrito, porque têm menor tendência a moer as partículas de tinta e reduzir o tamanho das impurezas plásticas. Desagregadores de papelão ondulado, jornais e papéis velhos operam com grande quantidade de impurezas, por isso geralmente são contínuos, e funcionam em baixa consistência. Outros tipos de aparas permitem usar qualquer tipo de desagregador, dependendo do material a ser desagregado.

Os desagregadores com rotor helicoidal (figura 1.2.03) que operam de forma descontínua com alta consistência (12 a 18%) foram desenvolvidos no fim dos anos 1.970 e desde então, têm cumprido um papel importante na desagregação eficiente sem a necessidade de se reduzir o tamanho das impurezas. Estes desagregadores são empregados especialmente no processamento de aparas de papéis revestidos e com resistência a úmido.

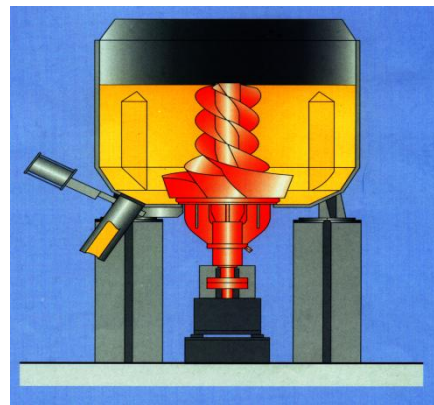


Figura 1.2.03 (FONTE: Preparação de Massa – SENAI CETCEP)

Um rotor helicoidal é feito de maneira a gerar um fluxo vertical descendente até o fundo do tanque e, secundariamente, uma movimentação no sentido horizontal. O tempo de desagregação é aproximadamente o mesmo comparado com desagregadores verticais convencionais.

Este tipo de desagregador possui algumas vantagens quando comparados com desagregadores convencionais:

- Economia de até 20% de energia, para qualquer tipo de aparas;
- Desagrega de forma mais suave, pois promove o atrito fibra-fibra, que possibilita uma melhor separação de tintas das fibras;

- Desagrega materiais de difícil desagregação como materiais revestidos por plásticos e papéis resistentes a úmido;
- Economiza produtos químicos e vapor no caso da desagregação de aparas resistentes a úmido ou em instalações de destintamento, corte reduzido de materiais estranhos.

A desagregação em altas consistências proporciona um baixo consumo de energia específica, principalmente para altos níveis de desagregação de matéria-prima de difícil desagregação. Além disso, a quantidade de massa tratada por volume é alta, ou seja, pouco espaço específico. O método permite um alto grau de remoção de impurezas, devido ao baixo nível de redução das impurezas durante a desagregação.

### 1.3. DEPURAÇÃO

#### 1.3.1. Conceito de depuração

A qualidade do papel a ser produzido depende fortemente do grau de limpeza da massa. Astilhas, nós, areia, partículas metálicas, etc., causam danos à máquina de papel, desgaste de equipamentos, problemas na secagem e consumo adicional de vapor. Depuração é o nome que se dá a operação de limpeza da mistura de celulose com os demais componentes da receita. Deve-se ter sempre em mente que o maior desafio da depuração é fazer com que o “aceito” tenha menos “rejeito” e o “rejeito” tenha menos “aceito” (figura 1.3.01).

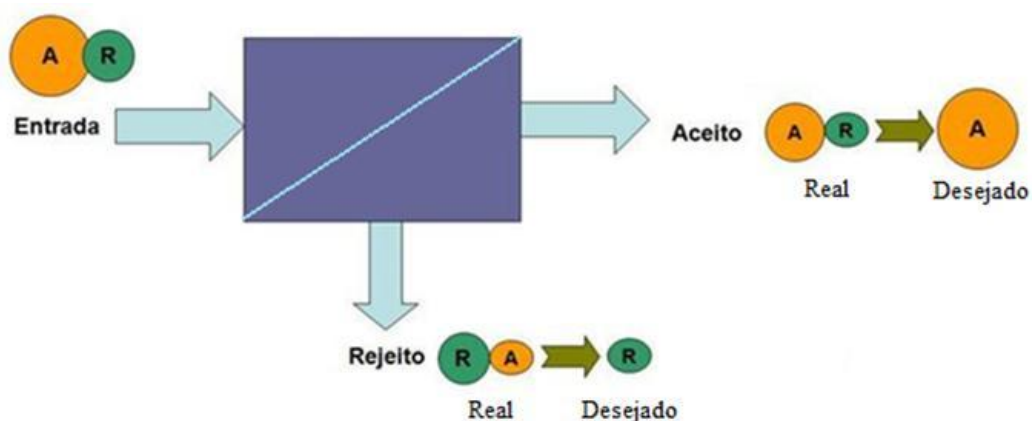


Figura 1.3.01 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

A depuração destina-se a retirar sujeiras e outros corpos estranhos, que são indesejáveis para a aparência e finalidade da folha de papel. A qualidade do papel depende fortemente do grau de limpeza de massa. As impurezas podem vir de várias fontes: da matéria prima fibrosa,

---

papéis reciclados, impurezas introduzidas durante o transporte, produtos químicos, proveniente de equipamentos, água, processo de fabricação, etc. Podemos classificar em quatro tipos de contaminações:

- Contaminações da massa (exemplos: fibras sem beneficiamento, fibras entrelaçadas, “stickies”, cargas, etc.);
- Contaminações externas na fábrica de papel (exemplos: sujeiras das embalagens, arame das embalagens);
- Contaminações internas à fábrica (exemplos: ferrugem dos canos, cavacos de madeira, pedaços de concreto, etc.).

A eliminação das impurezas é necessária tanto do ponto de vista do papel acabado como do próprio funcionamento do processo. Com relação ao papel, a presença de impurezas afeta as características mecânicas (a impureza é um ponto débil) e ao aspecto exterior (alvura, por exemplo). Com relação à fabricação, a presença de impurezas volumosas ou gelatinosas pode causar perfurações e quebras no papel na saída da máquina, na seção de prensas e na seção de secagem. Os motivos pelo quais as impurezas são removidas nos processos de fabricação de papel, bem como a eficiência de depuração, dependem de cada processo.

Equipamentos de depuração exigem condições adequadas para o seu funcionamento, pois, representam investimentos relativamente altos, tanto na implantação como no funcionamento. Pelo tipo de trabalho a que são submetidos, devem ser minuciosamente analisados, a fim de reduzir ao mínimo possível a eliminação de matéria-prima, pois, além das perdas econômicas, sobrecarregariam o tratamento de efluentes, podendo trazer danos ao meio ambiente. Para serem eliminadas, as impurezas devem ser identificadas, conhecidas e analisadas.

A depuração pode ser realizada em um ou vários pontos entre a desintegração e a máquina de papel, dependendo tanto da matéria prima contendo muitas impurezas (por exemplo, papel sem classificação). Uma primeira depuração é feita no “pulper” e prosseguiria depois a uma consistência de 3 a 4% com o objetivo de eliminar todas as partículas que poderiam desgastar os equipamentos posteriores (despastilhadores, refinadores, etc.), assim como obter uma suspensão com o mínimo possível de impurezas.

As impurezas podem ser classificadas em três categorias: sujeiras pesadas e volumosas, sujeiras pesadas e finas, e sujeiras leves. Os sistemas de depuração mais conhecidos são:

---

peneiramento ou “screen” (plana, rotativa e pressurizada – depurador vertical) e centrifugação (“cleaner” – depurador centrífugo).

No caso do peneiramento, é estabelecida a relação dos componentes da massa, essencialmente, em função do tamanho e formato. A classificação é feita por: diafragma ou tela plana, cilindro com alimentação externa, cilindro com alimentação interna, cilindros pressurizados.

No caso dos depuradores centrífugos, a separação é feita em função da densidade. A classificação é feita por: separadores de areia, cestas rotativas, cilindros e ciclones. O custo de acionamento, capital disponível, facilidade de operação e manutenção entre outros fatores determinam, para cada situação em particular, a escolha do equipamento a ser utilizado, uma vez que há uma quantidade e variedade de diferentes princípios de funcionamento.

### **1.3.2. Depuração por peneiramento**

O tamanho dos orifícios das peneiras representa o fator fundamental do peneiramento. A situação ideal será a escolha de orifícios que selecionem impurezas de tamanhos inferiores aos aceitos pela máquina de papel e produto acabado. Mesmo mantendo constante a área aberta da peneira, uma redução no diâmetro dos orifícios produz rápida queda de vazão da peneira, devido à tendência de entupimento dos orifícios pela retenção de impurezas e fibras entrelaçadas.

A redução dos orifícios resulta em aumento da quantidade de rejeitos. Para que haja equilíbrio deste efeito é necessário aumentar a vibração ou, em sistemas pressurizados, a pressão de recalque. O diâmetro dos orifícios deverá ser definido de maneira a atender aos seguintes requisitos: minimizar a rejeição de fibras boas, impedirem a passagem de uma grande quantidade de impurezas, evitarem perda de carga exagerada, dispensar forte vibração da tela, para não haver aumento do consumo de energia. As peneiras podem ser: planas (ou de diafragma), rotativas e pressurizadas.

#### **1.3.2.1. Peneiras planas ou vibratórias**

As peneiras planas ou vibratórias são utilizadas para a classificação de toda classe de massa fibrosa e podem ser utilizadas para classificação em baixa e alta consistência de massa.

Em baixa consistência localiza-se próxima ao depurador vertical, e normalmente recebe seu rejeito.

Este tipo de peneira assemelha-se a uma caixa que contém uma placa ranhurada ou perfurada, colocada na posição horizontal ou levemente inclinada. Abaixo da placa existe dispositivo que transmite movimento vibratório à placa, que geralmente é em diafragma acionado por um mecanismo excêntrico. A vibração desfaz o colchão de massa e evita o entupimento das aberturas.

O funcionamento deste tipo de peneira pode ser visto na figura 1.3.02, abaixo: pelo movimento vibratório a massa é conduzida através de um funil de entrada até a superfície da chapa de peneiramento. A massa, então, passa pela furação da peneira, e o rejeito sai pela parte posterior, onde se encontra um chuveiro de dispersão, para evitar que fibras sejam levadas juntamente com os rejeitos.

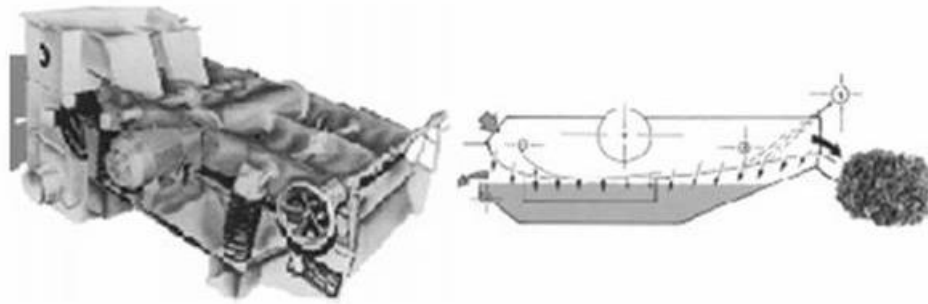


Figura 1.3.02 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

#### 1.3.2.2. Depuradores de baixa pressão (peneiras pressurizadas)

As peneiras pressurizadas são usadas nas fases primárias e secundárias e consistem de cilindro de paredes perfuradas (figura 1.3.03), contra as quais a suspensão de fibras é impelida pela ação centrífuga, gerada pelo movimento de rotação do próprio cilindro ou de um rotor.



De acordo com o escoamento da suspensão fibrosa em relação ao cilindro perfurado pode ser de fluxo para fora do cilindro (“outward flow screen”) ou de fluxo para dentro do cilindro (“inward flow screen”).

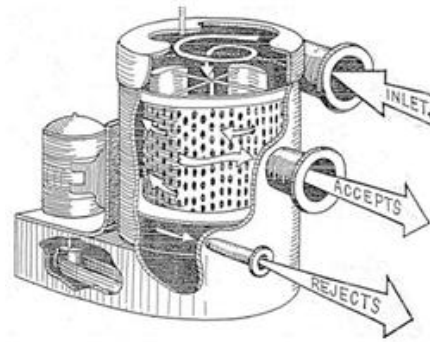


Figura 1.3.03 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

A passagem de uma impureza depende de alguns fatores que são: tamanho da partícula, forma e rigidez e o tempo de permanência no equipamento. O tipo da perfuração da peneira tem também grande importância: em peneiras pressurizadas geralmente placas de furos redondos são mais eficientes para reter partículas longas e delgadas e partículas delgadas e planas; as placas ranhuradas separam materiais esféricos ou cúbicos. A figura 1.3.04 mostra as peneiras com furos e ranhuradas, respectivamente.



Figura 1.3.04 (FONTE: apostilas ABTCP)

Havendo duas peneiras do mesmo tamanho, aquela, com furos redondos, possui maior capacidade que placas ranhuradas porque na primeira a área aberta é muito maior e pode processar massas de consistência mais elevada, com menor possibilidade de entupimento.

Estes depuradores probabilísticos (figura 1.3.05) têm a superfície da peneira situada no interior de uma carcaça, trabalhando completamente cheios de suspensão fibrosa para evitar o contato desta com o ar. A circulação da pasta a depurar se realiza a diferença de pressão existente entre a alimentação e a saída do aceite, de onde vem sua denominação.

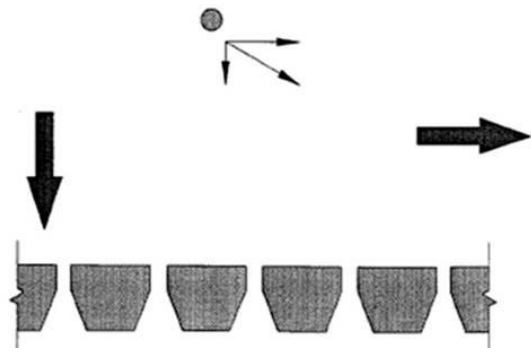


Figura 1.3.05 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Existem diversas configurações, porém, o princípio de funcionamento é o seguinte: a suspensão fibrosa a depurar chega a uma câmara onde uma das paredes será constituída pela peneira; a fração fina atravessa as aberturas da peneira, enquanto que o rejeito se acumula na zona inferior da câmara de entrada de onde é retirado de uma forma contínua ou intermitente.

No interior do equipamento existem hastes móveis que se deslocam paralelamente à peneira e muito proximamente à mesma com o objetivo de produzir pequenas pulsações de pressão que evitem o comprometimento das performances e a floculação da pasta.

Outro efeito produzido por estas partes internas é de melhorar a depuração; com efeito, devido a que a velocidade das pás (10 a 15 m/s) é da ordem de dez vezes superior à velocidade da pasta, esta chega à superfície da peneira com uma trajetória fortemente inclinada (1.3.06), pelo que as dimensões aparentes das perfurações ficam reduzidas.

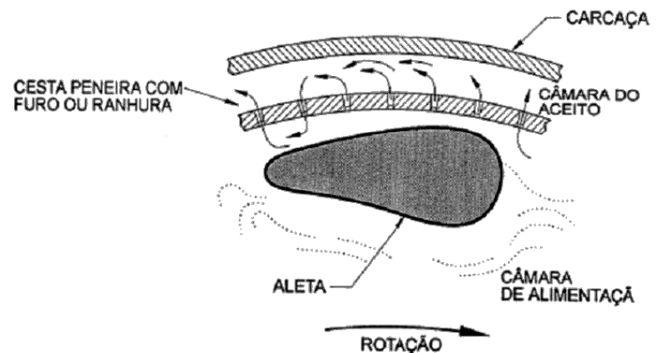


Figura 1.3.06 (FONTE: apostilas ABTCP)

As configurações mais clássicas dos depuradores de baixa pressão não permitiam superar valores de concentrações superiores a 2% de consistência, ainda que na atualidade existam configurações específicas para trabalhar a consistência até 4%, o que permite sua utilização em preparação de pastas, sem a necessidade de incorporar uma diluição prévia e uma etapa de engrossamento posterior.

As vantagens das peneiras pressurizadas são: alta capacidade, redução da quantidade de lodo formado dentro do equipamento, pequeno espaço ocupado, redução do número necessário de tubulações e bombas, flexibilidade de localização dentro das instalações e trabalham com queda de pressão.

### 1.3.3. Depuração por centrifugação

Os depuradores centrífugos são cones, nos quais a suspensão de fibras entra tangencialmente e por diferença de pressão de entrada e saída, provoca um movimento de rotação interno (vórtice), gerando uma força centrífuga que separa por diferença de densidade todas as impurezas ou contaminantes mais pesados que as fibras. A alta eficiência do equipamento é conseguida quando a operação é realizada corretamente, ou seja, para cada tipo de material (fibroso), da natureza e do tratamento das sujeiras, será ajustada a consistência ideal e o diferencial de pressão correto.

Em seu desenvolvimento, um desenho de separador centrífugo é determinado considerando o fluxo com o respectivo diferencial de pressão em relação à eficiência de separação, ou seja, por razões óbvias procura-se a melhor eficiência com o menor diferencial de pressão.

O funcionamento dos depuradores centrífugos é baseado na diferença de massa específica das fibras e impurezas que serão separadas pela ação da força centrífuga. A suspensão fibrosa contendo sujeiras é introduzida tangencialmente na parte superior do aparelho, o qual tem uma forma de um longo cone invertido. Imediatamente, a massa desenvolve um movimento de rotação e assim, penetrando na parte cônica, as partículas descem com uma trajetória espiralada em direção ao vértice e rapidamente adquirem aceleração uniforme (figura 1.3.07).

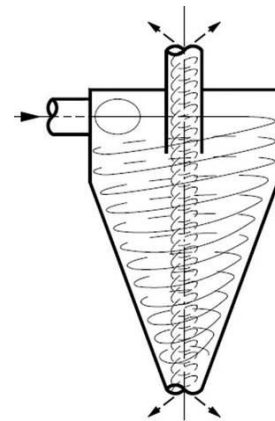


Figura 1.3.07 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

A força centrífuga, sob a qual as partículas mais pesadas mantêm-se junto à parede do aparelho, aumenta muito na zona próxima do vértice do cone. À medida que o fluido se aproxima do vértice, o espaço torna-se grandemente menor e a parte da suspensão mais

afastada da parede reverte à direção do fluxo. O material em suspensão ascende em uma espiral em torno do eixo vertical do cone e é retirado como aceite na parte superior. O material pesado, que se concentra junto à parede, acompanha uma trajetória espiralada descendente até atingir o vértice do cone, de onde é recolhido como rejeito.

Outra particularidade da centrifugação é que estão disponíveis em vários tamanhos. O tamanho do equipamento está muito mais relacionado à sensibilidade do princípio desejado da centrifugação do que a capacidade de produção da planta. É importante ressaltar que o fluxo é razão direta do tamanho do equipamento e o comprimento do cone é razão direta de seu diâmetro maior.

A iluminação do cone de vidro facilita a inspeção, possibilitando o controle da separação, sendo eliminados os rejeitos através da alavanca.

Os separadores centrífugos (“hidrociclones”, “centercleaners” ou, simplesmente, “cleaners”) são utilizados principalmente para retirar pequenas partículas de sujeira de elevada massa específica da massa, cuja remoção seria muito difícil ou impossível, somente com o emprego de peneira.

Devido sua pequena capacidade individual, os ciclones são montados em grupos e alimentados por uma linha comum, e os aceites coletados em uma mesma tubulação. Assim cada estágio é constituído por uma bateria de ciclones ligados em paralelo (figura 1.3.08).

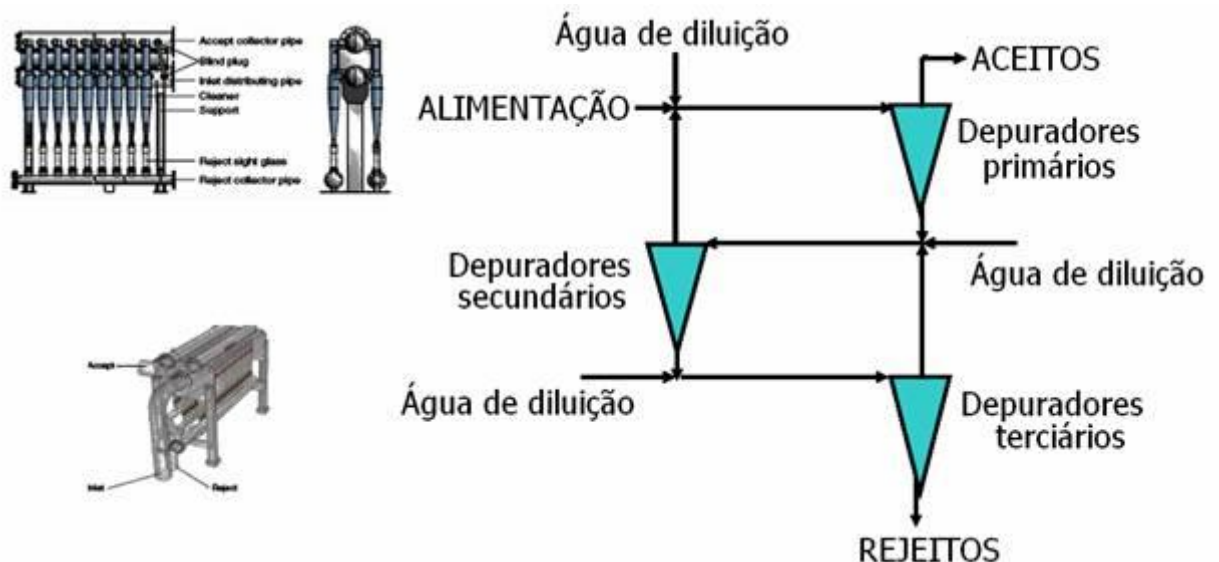


Figura 1.3.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Os separadores de massa grossa (figura 1.3.09) destinam-se a limpeza grosseira e contínua de todas as suspensões de massa, de consistência mínima de 3% e máxima de 6% seco absoluto. Separam parafusos, grampos, pedras, pregos, etc. São instalados antes do pré-refinador e refinadores, pois evita estragos nos mesmos e seu desgaste prematuro.

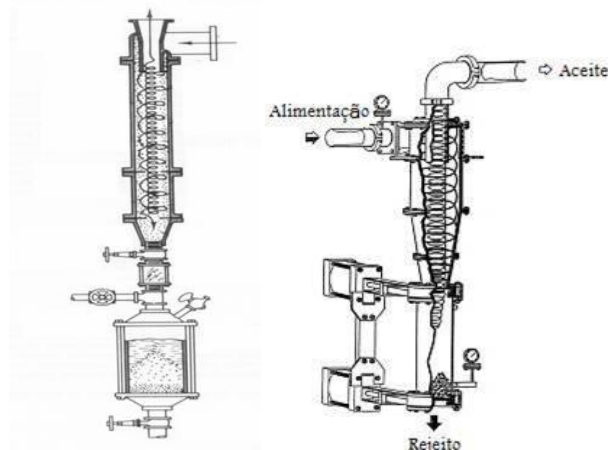


Figura 1.3.09 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

O funcionamento dos separadores de massa grossa obedece ao princípio de funcionamento dos depuradores centrífugos, sendo que as impurezas de alto peso específico descem pelo cone para o depósito de rejeitos. O depósito de rejeitos recebe água de lavagem pela válvula que regula o fluxo, evitando assim sedimentação de fibras no depósito.

#### 1.3.4. Tratamento de aparas

Ao longo do tempo e principalmente após os anos 1.970, a utilização de papel reciclado tem sido incrementada. Este aumento no consumo requer seu uso em papéis que historicamente somente utilizavam fibras virgens. Isto provocou mudanças fundamentais, seja pela maior contaminação no sistema ou pelas diferentes características da matéria-prima reciclada. As alterações nas fibras causam impactos no processo de produção e requerem modificações e adaptações no tratamento e utilização desta matéria prima em comparação com a utilização de fibras virgens. O grande problema está na anexação de elementos estranhos à fibra (materiais impróprios: impurezas e proibitivos).

A depuração no tratamento de aparas é realizada por **classificação, depuração centrífuga, flotação/lavagem e branqueamento**. Estes efeitos são influenciados principalmente pelo tamanho, em segundo lugar pelo peso específico e num grau de menor intensidade, pelo formato. Na figura 1.3.10 aparece um exemplo de fluxograma de processamento de aparas para papéis “tissue”.

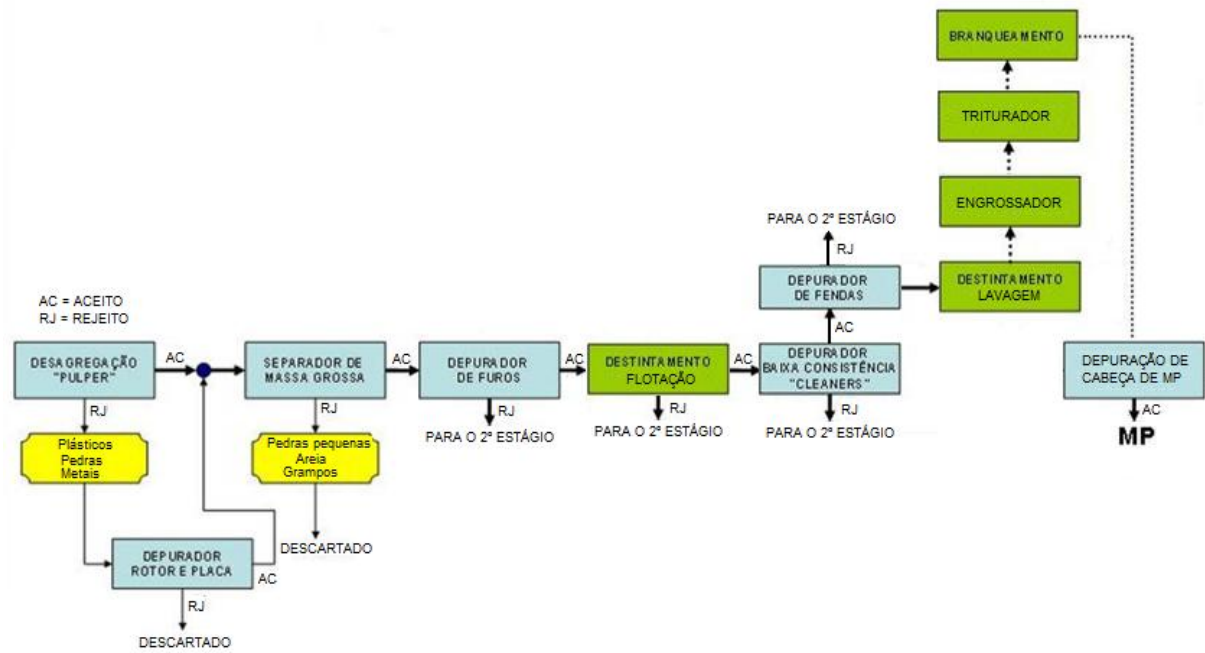


Figura 1.3.10 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

#### 1.3.4.1. Classificação

O princípio de classificação é o primeiro e mais simples na remoção de impurezas e contaminantes. A rigidez, forma e tamanho (maiores que a fibra) facilitam sua remoção através de peneiras com pressurização ou por gravidade em desagregadores, tambores, depuradores pressurizados, etc.

A classificação é feita pela passagem de um fluxo através de placas com aberturas apropriadas, seja pela ação da gravidade ou por pressurização. O princípio básico desta operação é a seleção de elementos pelo seu tamanho, ou seja, partículas maiores que as aberturas serão retidas e eliminadas. A seguir serão mostrados alguns tipos de classificadores: tambores rotativos e turboseparadores como exemplo de classificadores.

#### Tambores rotativos

Os tambores rotativos são elementos classificadores por rotação de um cilindro perfurado. São alimentados pela sua parte interna e a massa é classificada pelo giro do próprio do cesto ou tambor perfurado (figura 1.3.11).

Embora tendo configuração e funcionamento bastante simplificado e ser de conceito técnico antigo, são equipamentos utilizados com muito sucesso no início do processo, em matérias primas com quantidade excessiva de impurezas de maior porte, principalmente em material.

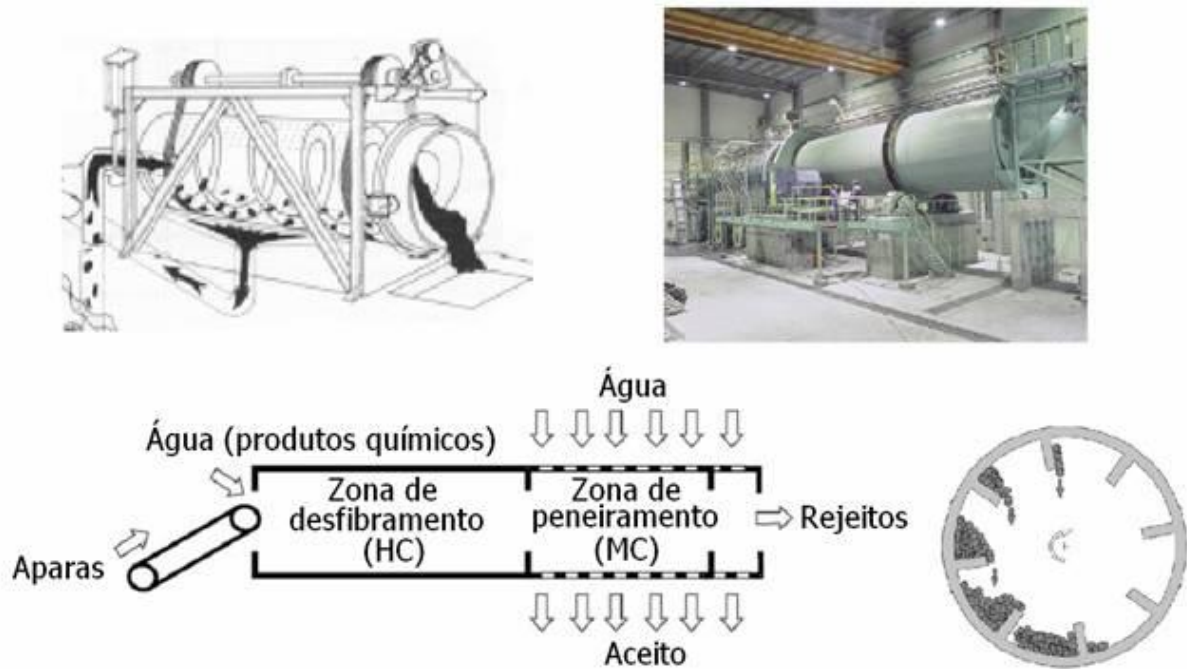


Figura 1.3.11 (FONTE: Papermaking Science and Technology - Collection)

### Turboseparadores

Os turboseparadores, também chamados de trituradores ou “pulpers” secundários, são normalmente instalados em sistemas que trabalham com materiais reciclados de elevado grau de contaminação.

Este equipamento retira impurezas leves e pesadas como mostra a figura 1.3.12.

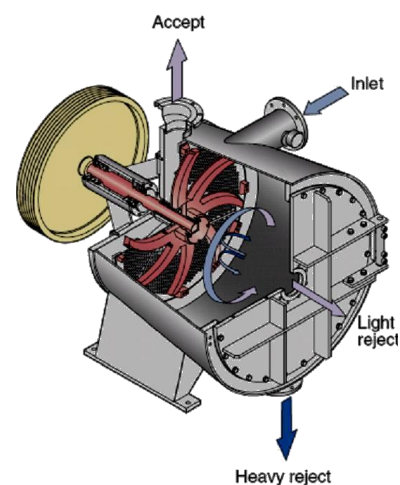


Figura 1.3.12 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Possuindo uma entrada de massa na tangencial, o turbo separador trabalha pressurizado, em seu interior existe um rotor que auxilia a ação da força centrífuga, onde o material leve dirige-se para o centro, enquanto o material pesado dirige-se para a lateral do equipamento.

O fluxo de aceite passa através de uma placa perfurada com furos de 2,4 a 3,0 mm (depuração probabilística), localizada atrás do rotor. Um conjunto de válvulas atua por temporizador regulado de acordo com a quantidade de impurezas e as descargas de rejeito.

#### 1.3.4.2. Depuração centrífuga

Assunto semelhante ao que foi apresentado para fibras virgens.

#### 1.3.4.3. Destintamento por flotação

O destintamento por flotação é feito em um reservatório que faz a dosagem correta do fluxo de massa e o controle das bolhas de ar na quantidade quanto no tamanho para permitir a retirada de partículas de tinta do sistema através da geração controlada de espuma.

Para permitir que estas partículas de tintas sejam agregadas e arrastadas pelas bolhas de ar, é necessário que sua composição química final seja hidrófoba (repelente à água) em pelo menos uma parte de sua estrutura química, pois as fibras de celulose são hidrófilas e estão junto com as tintas de forma homogênea. Neste caso todo o fluxo de massa deve sofrer as seguintes etapas:

- Quaisquer que sejam os ligantes já devem ter sido neutralizados;
- As partículas de tintas devem estar separadas das fibras;
- Reagentes químicos, á tornaram as partículas de tinta hidrófobas.

A partir das condições acima o fluxo de massa está apto a ser destintado pelo método de flotação, e pode ser trabalhado nas células de flotação. É lógico que, ao misturar ar ao fluxo de massa, a criação de espuma é inevitável e desejável, porém esta deve ser bem controlada e minimizada, trabalhando com a característica da água a ser utilizada ou no dito popular, endurecendo a água através de minerais.



Como todo o sistema preparado e controlado em condições ideais, teremos toda a tinta sendo eliminada pela célula de flotação em sua parte superior com a eliminação de espuma e as fibras seguem o sistema em condições de serem reaproveitadas.

Estas impurezas são eliminadas com a espuma a uma consistência de aproximadamente 2 a 3%, devendo ser engrossados e concentrados para serem retiradas do processo.

Após um tratamento eficiente, a água recuperada deve retornar sempre para o tratamento de aparas e nunca deve ser enviada à máquina de papel para não influir na produção da máquina e por já ter características convenientes ao tratamento de aparas. A figura 1.3.13 apresenta um diagrama esquemático do flotador Thermo Black Clawson.

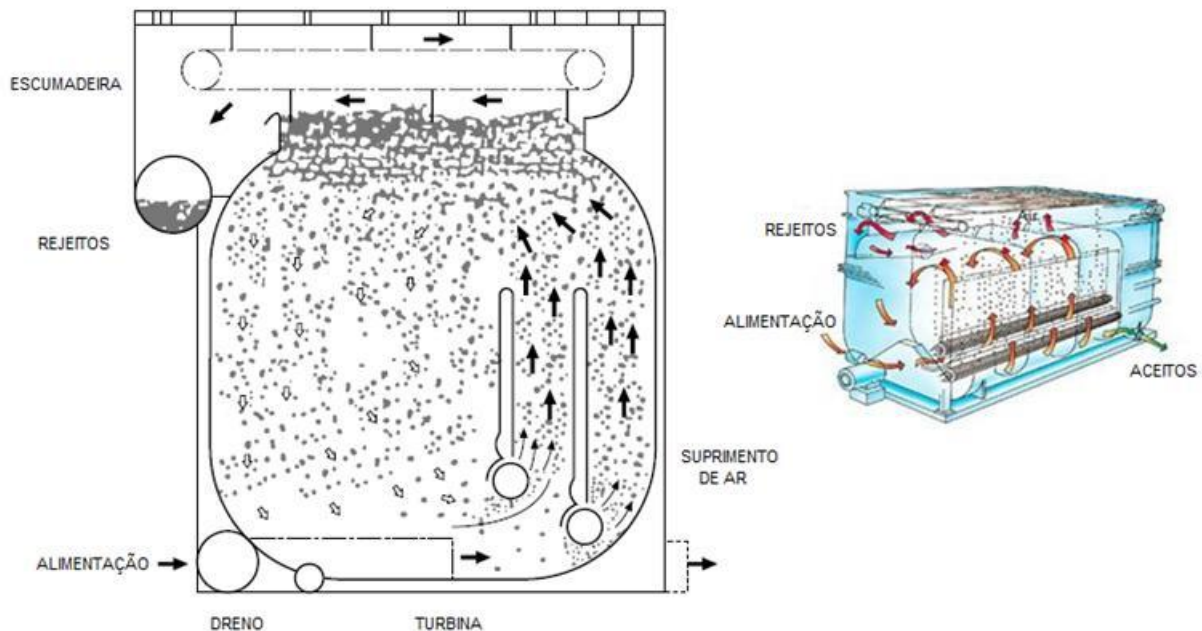


Figura 1.3.13 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

#### 1.3.4.4. Destintamento por lavagem

O destintamento por lavagem é feito através de máquinas ou equipamentos, onde se tenta a troca total da água que vem da planta de aparas com diferentes reagentes e tintas. Para permitir que estas partículas de tintas sejam conduzidas pela água de lavagem é necessário principalmente que as mesmas estejam na forma de partículas, em tamanhos bem menores aos da própria fibra e estejam distribuídas no fluxo de forma homogênea. Neste caso todo o fluxo de água, massa e impurezas, devem sofrer as seguintes etapas:

- Os ligantes, sejam de que tipo for, devem ser neutralizados;

- As partículas de tintas devem ser separadas das fibras;
- As partículas de tinta devem ser minimizadas em seu tamanho.

A partir das condições acima o fluxo de massa está apto a ser destintado pelo método de lavagem e pode ser trabalhado em qualquer lavador. Com todo o sistema preparado e controlado, em condições ideais, teremos toda a tinta sendo eliminada pela água de lavagem que atravessam os lavadores num sistema de conceito simples de filtragem das fibras com respectivo engrossamento.

As fibras que permanecerem sobre as telas dos lavadores estão aptas a serem enviadas à fabricação, e para seu bombeamento pode ser utilizada água de retorno da máquina de papel, quando não se tem branqueamento posterior.

A água de lavagem conduz estas impurezas numa concentração bastante baixa, gerando uma circulação bem alta de água. Estas devem ser recuperadas e num tratamento primário de rejeitos são extraídos com uma consistência aproximada de 2 a 3%, devendo ser engrossados e concentrados para serem levados a aterros sanitários e sua composição é principalmente de cargas, componentes das fibras e um pequeno percentual de tintas.

Idêntico ao sistema de flotação, a água recuperada deve retornar sempre para o tratamento de aparas e nunca deve ser enviada à máquina de papel, para que não possa influir na produção da máquina e por já ter características convenientes ao tratamento de aparas.

Os lavadores, diferentemente das células de flotação, são de diferentes conceitos de operação: lavador com tela sem fim, engrossador a tambor, “side hill”, prensa desaguadora, rosca inclinada, etc. Na figura 1.3.14, aparece um diagrama esquemático de

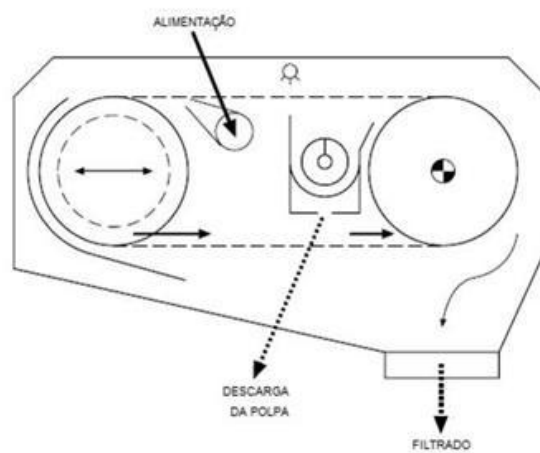


Figura 1.3.14 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

#### 1.3.4.5. Branqueamento

Após terem sido retiradas as tintas das aparas ou em combinação com esta ação, as fibras recuperadas podem sofrer uma ação de branqueamento. Este branqueamento só é justificável caso as aparas que estejam sendo tratadas já não possuam tintas impressas, sobretudo tintas a base de negro de fumo, responsáveis por mais de 90% dos processos de impressão. A justificativa desta afirmação é que estas tintas destacam-se com maior intensidade, quanto mais claro ou mais branco estiver este produto e, sendo assim, todo o objetivo deste tratamento será anulado.

Para se branquear uma pasta de aparas é importante ter conhecimento da matéria prima original, pois esta é a condição que determina o tipo de agente de branqueamento que se irá utilizar. É importante ressaltar que o branqueamento só age em corantes solúveis e não em corantes a base de pigmentos.

Existem inúmeras técnicas de branqueamentos que podem ser usadas no tratamento das aparas, tais técnicas se alteram em relação aos agentes de branqueamento usados, que mais uma vez é influenciado pela composição fibrosa das aparas. Normalmente, é a etapa mais importante para a reciclagem, e também uma das mais complexas. O branqueamento pode ser utilizado ainda em etapas iniciais do processo como na desagregação, ou em torres de branqueamentos que são de uso exclusivo para a realização da reação química. Pode-se ainda utilizar diversos estágios de branqueamento, de acordo com o aspecto visual da polpa que se deseja obter.

Nesta etapa do branqueamento têm-se os agentes de branqueamento, substâncias que, quimicamente, comportam-se como oxidantes ou redutores, propiciando incremento de alvura das fibras por complexas reações com a estrutura das fibras. Estes agentes são capazes de transformar alguns compostos derivados da celulose (como por exemplo, a lignina), presentes no meio em substâncias inertes do ponto de vista visual ou de contaminação. Como há uma tendência cada vez maior de se utilizar peróxido de hidrogênio neste tipo de branqueamento, a este químico será dado enfoque neste curso.

O peróxido de hidrogênio, que também é conhecido como água oxigenada, tem-se mostrado o mais completo agente de branqueamento utilizado atualmente; é compatível com a presença de lignina transformando-a em compostos que não prejudicam a cor da polpa alvejada. O peróxido possui a grande vantagem de formar compostos inertes como produtos

de suas reações, contribuindo muito para a preservação do meio ambiente e facilitando o trabalho das estações de tratamento de efluentes.

O peróxido de hidrogênio é bom alvejante quando aplicado em meio alcalino (pH entre 10,0 e 11,0), e na presença de silicato de sódio que atua como estabilizador do peróxido. Para esta função pode-se utilizar também agentes quelantes que contribuem na remoção de metais, tais como ferro, cobre, manganês, etc., presentes no instante da reação. Nestas condições o peróxido pode propiciar um incremento de alvura na ordem de 10% em relação a alvura inicial. É necessário um efetivo controle laboratorial durante a reação química, já que pode haver falta de peróxido no final da reação, pois nas faixas de trabalho do pH, certamente ocorrerá a reversão de cor. A temperatura e o tempo de reação contribuem para atingir o incremento citado, devendo ser controlado em função das demais variáveis de processo.

O hidrossulfito de sódio, também conhecido como ditionito de sódio, é um agente redutor e quimicamente atua por um mecanismo inverso da reação do peróxido, porém útil como alvejante, principalmente para aparas com altos teores de P.A.R. Necessitam de alguns cuidados de aplicação como consistência baixa e torre de fluxo ascendente. Em algumas plantas utilizam-se duas etapas de branqueamentos com hidrossulfito de sódio inicialmente e peróxido de hidrogênio no final, assim as etapas de branqueamento se completam e resultam em valores elevados de alvura.

É importante frisar que qualquer que seja o processo de branqueamento utilizado, é conveniente dispor de uma etapa de lavagem posterior ao branqueamento para a remoção de grupamentos cromóforos formados na reação com os derivados celulósicos, estabilizando a cor final e evitando os fenômenos de reversão.

Concluindo o processo de reciclagem das aparas e estando aptas para serem utilizadas na fabricação do papel, pode-se utilizar a fibra como tal, no caso de papéis produzidos com 100% de fibras recicladas. Em alguns casos, não se torna necessário o uso de refinação, já em outros casos, em que a polpa é enviada à área de refinação para torná-la mais hidratada e melhorar suas propriedades de resistência. Existem ainda casos de papéis “tissue” que exigem forte refinação, como será visto mais adiante. Assim resta somente a aditivção química para que seja concluído o processo de preparação de massa e a polpa produzida entregue à máquina de papel.

A polpa reciclada é também usada em mistura com fibras virgens que variam em proporções diferenciadas de acordo com a necessidade de qualidade do produto final. Assim a

mistura deve ser feita em tanques onde seja possível controlar a proporção, mas antes disto é necessário tornar a celulose preparada para a mistura com as aparas, sendo necessária a refinação e aditivação química.

#### 1.4. REFINAÇÃO (PRINCÍPIOS BÁSICOS)

##### 1.4.1. Objetivos da refinação

A palavra refinação é sinônima de refino, refinagem e moagem (termo mais antigo) e é considerado como uma das etapas mais importantes na fabricação de papel. Na literatura técnica em inglês podemos encontrar a expressão “beating”, uma expressão bem antiga, utilizada quando as fibras de celulose eram batidas com um malho de madeira ou dentro de um pilão. Normalmente, em inglês utiliza-se o termo “refining” quando se quer enfatizar que o tratamento é feito tão somente em equipamentos denominados refinadores.

A refinação das pastas celulósicas é geralmente o tratamento mecânico das fibras cujo principal objetivo consiste em melhorar a capacidade das fibras unirem-se umas às outras, a fim de que seja possível a obtenção de uma folha de papel homogênea e resistente aos esforços mecânicos a que estiver sujeita, seja durante o processo de consolidação na máquina de papel, ou durante sua etapa de acabamento e conversão, ou ainda, durante sua aplicação final. A figura 1.4.01 mostra folhas feitas em laboratório, onde à esquerda não há refino e à direita as fibras foram refinadas com moinho PFI até 45 °SR.

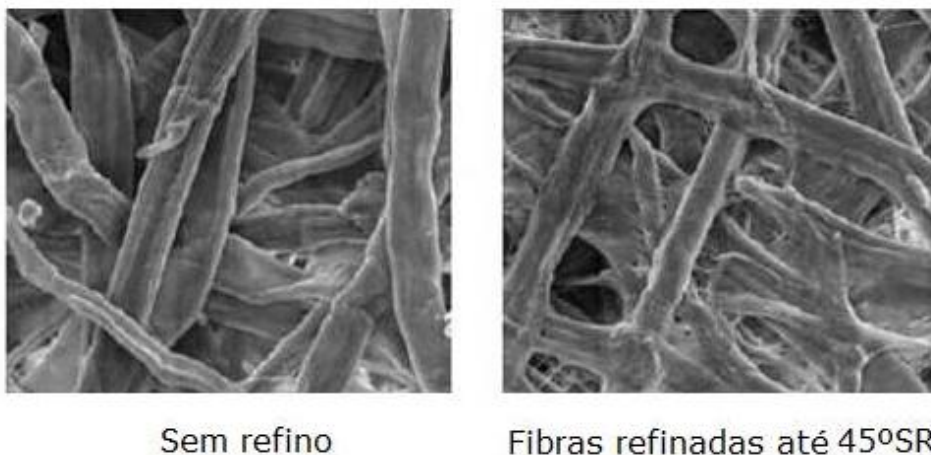


Figura 1.4.01 (FONTE: Yasumura – 2004)

Outros objetivos da refinação incluem a modificação das características das fibras para a obtenção de determinadas propriedades do papel. Para poder chegar a esses objetivos, as

fibras podem chegar a serem encurtadas, hidratadas, fibriladas, etc., operações essas que ajudarão a desenvolver as propriedades como resistência física, absorvência, porosidade e várias propriedades ópticas. As propriedades desejadas para os papéis dependem também de sua aplicação final ou de processamento, mas poderíamos dizer que se caracterizam por propriedades de resistência, propriedades ópticas, propriedades superficiais, propriedades de interação com substâncias químicas, entre outras.

A refinação modifica simultaneamente várias propriedades da pasta; alguns efeitos são desejáveis, porém, outros não. Como norma, a tração, o arrebatamento, união interna, densidade e tempo de drenagem aumentam com a refinação, enquanto que a opacidade, permeabilidade, poder absorvente, estabilidade dimensional e compressibilidade diminuem. O rasgo, às vezes, aumenta no início, porém, diminui posteriormente (figura 1.4.02).

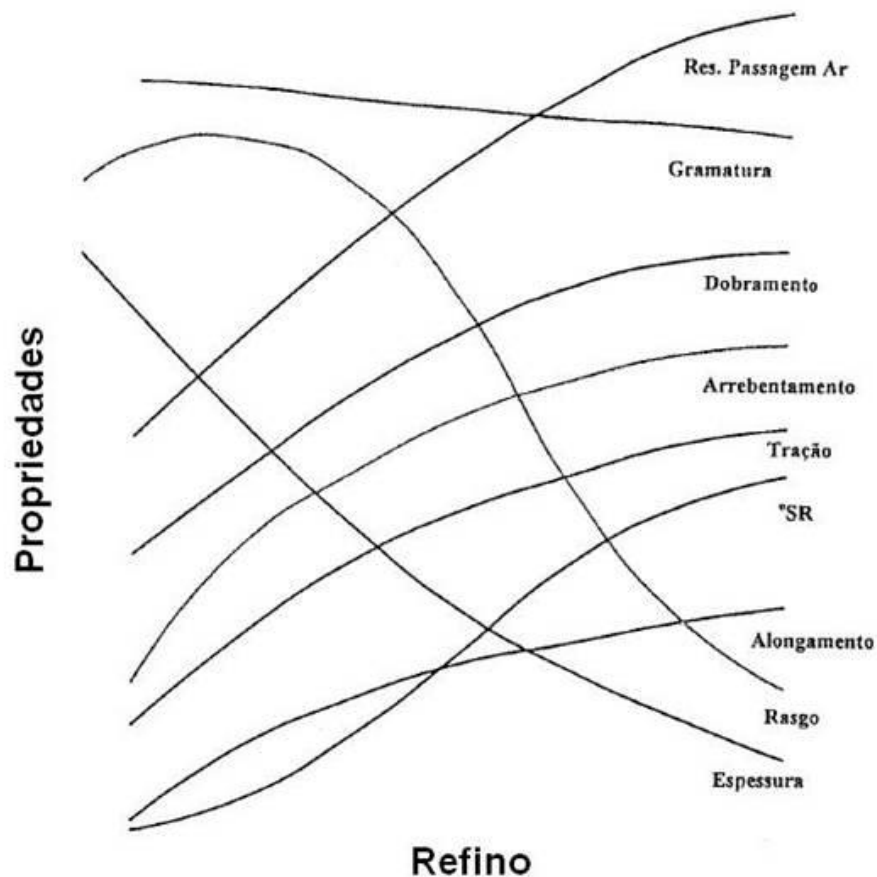


Figura 1.4.02 (FONTE: Apostila “O processo de produção de papéis” – ABTCP/UFV)

O desenvolvimento das propriedades anteriormente indicadas depende de diversos fatores tais como: a quantidade de refinação, a forma de refinação, geometria das guarnições e

considerações do processo. Estes fatores – as condições de refinação (figura 1.4.03) – devem determinar de acordo com a composição da fibra, o produto final e as condições da fábrica.

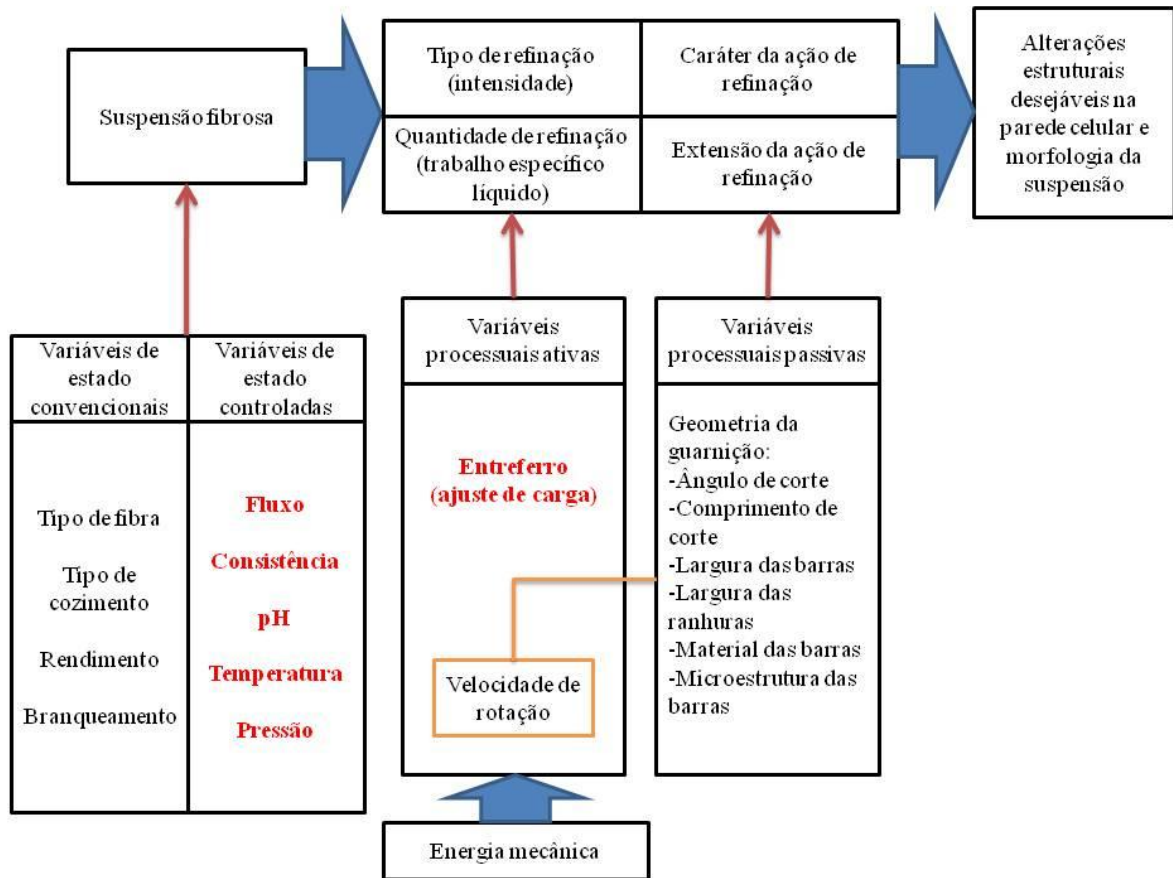


Figura 1.4.03 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

A ação mecânica imposta pelos elementos refinadores à polpa em suspensão, seja fibra contra metal ou fibra contra fibra, introduz modificações irreversíveis na estrutura das fibras e demanda um elevado consumo de energia. Devido a estes fatores, é de fundamental importância a compreensão dos mecanismos de transferência de energia para as fibras e como ela é utilizada no desenvolvimento das propriedades da polpa refinada.

## 1.4.2. Principais teorias qualitativas da refinação

### 1.4.2.1. Teoria tradicionalmente aceita

A teoria tradicionalmente aceita sobre refinação da massa a fim de transformá-la em pasta foi proposta por **Campbell**, que estendeu e desenvolveu uma teoria mais antiga proposta por **Strachan**. Segundo esta teoria, quando fibras ligno-celulósicas são imersas em água, a

superfície e os poros das fibras absorvem água, causando um inchamento interno que é mantido pela estrutura da fibra (figura 1.4.04).

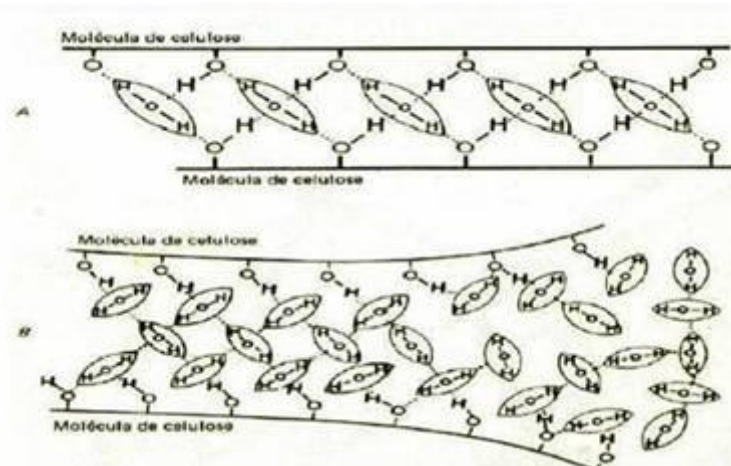


Figura 1.4.04 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Ao entrarem no refinador, estas fibras estarão sujeitas a um tratamento mecânico bastante severo. **Fox** lembra que, em escala industrial, a distância entre os discos é mantida em torno de 100  $\mu\text{m}$  e que há evidências, obtidas através de fotografias ultra-rápidas tiradas com um disco translúcido, de que os flocos de fibras são da ordem de 1 mm de diâmetro, o que vem reforçar a teoria de que a ação de refino será muito drástica sobre as de fibras.

Assim, as fibras, que podem ser visualizadas como tubos, são constantemente pressionadas pelas facas das guarnições do disco. Como resultado, as ligações que mantêm firme a estrutura da fibra vão se quebrando, permitindo a separação de suas paredes. Fibrilas são destacadas do corpo principal da fibra, expondo novas superfícies que absorvem mais água e, como consequência, fibrilam mais facilmente. Durante este processo de inchamento, impactos e fibrilação, as fibras tornam-se mais flexíveis e mais hábeis em receber impactos sem se quebrarem. Um dos resultados importantes deste processo é o colapsamento das fibras (figura 1.4.05) que contribui para a RBA (“Relative Bonded Area” = Área Relativa de Ligação) do papel formado.

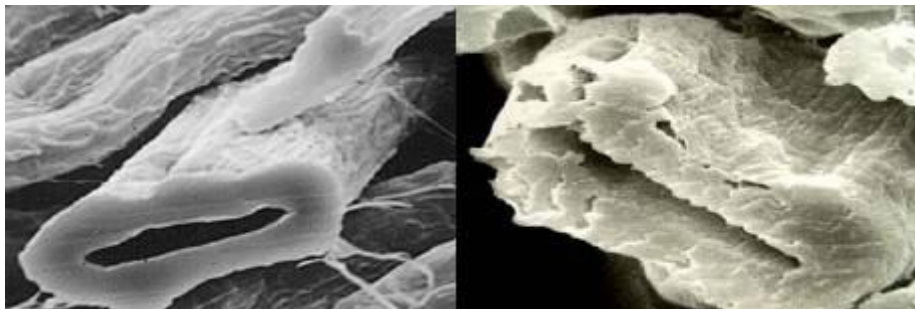


Figura 1.4.05 (FONTE: [www.celso-foelkel.com.br](http://www.celso-foelkel.com.br))



Sumarizando, durante a refinação ocorrem basicamente três modificações da fibra: corte-ruptura da fibra do plano perpendicular ao seu eixo longitudinal; machucadura (“bruizing”) – esmagamento e diminuição da rigidez interna da fibra, e fendilhamento e ruptura da fibra em planos.

#### 1.4.2.2. Teoria dos flocos

As fibras, presentes na massa, fazem parte dos flocos, ou seja, não existem individualmente e não podem mover-se independentemente. Isso ocorre na massa de consistência compreendida entre 2 a 6%. Com a manipulação da massa, como agitação, bombeamento, depuração, os flocos se deformam e formam continuamente. Esse fenômeno ocorre também durante o refino, quando a massa passa por refinador, atravessando os sulcos e lâminas (barras). O diâmetro de um floco, dependendo do tipo de fibras e da consistência, pode variar de 1 a 6 mm, valor este bastante alto, quando comparado com a folga entre os discos, comumente na faixa de 50 a 150  $\mu\text{m}$  (figura 1.4.06).

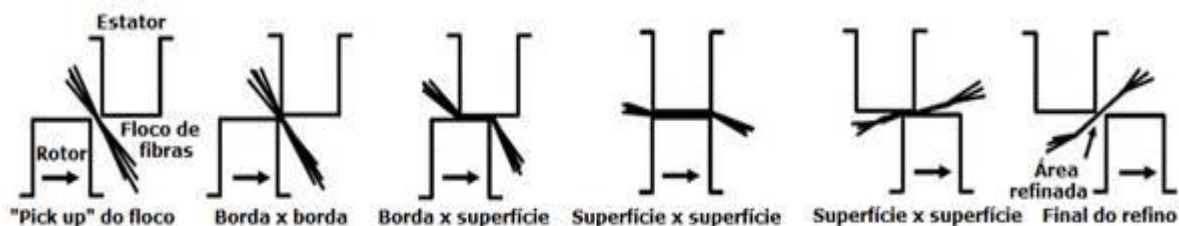


Figura 1.4.06

(FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End)

Por isso a probabilidade de um floco destes na entrada (boca) de alimentação é bastante pequena. Por outro lado, o fluxo da massa através dos sulcos é bem maior do que pela folga entre os discos. Este fato normalmente causa um refino desigual e leva às significativas perdas de energia com o bombeamento de massa, em vez de refiná-la. A formação de vórtice, para facilitar a alimentação, também fica prejudicada.

Por isso, a seleção de segmentos (largura de lâminas, largura e profundidade dos sulcos), bem como manutenção de condições constantes durante o processo de refinação é de grande importância.

Page e seus colaboradores foram os primeiros a afirmar em 1.962 que a refinação envolvia a ruptura de flocos e o tratamento de resíduos desses flocos (**Ebeling**, 1.980).

Chegaram a estas conclusões através da análise de fotografias de alta velocidade. **Banks** em 1.967 resumiu a mecânica da refinação da seguinte forma:

- Consolidação de flocos quando estes são presos entre barras que se aproximam;
- Pressão mecânica induzida pelas barras torna-se suficientemente elevada para provocar deformação plástica;
- Tensão de corte é exercida nos flocos comprimidos, provocando a ruptura de flocos e fibras;
- Redução da pressão mecânica permite absorção de água pelas fibras e fibrilas rompidas;
- Agitação turbulenta dispersa os flocos ou seus resíduos.

### 1.4.3. Principal teoria quantitativa da refinação

#### 1.4.3.1. ‘Carga Específica de Borda’ ou intensidade de refino

Dentre os diversos modelos já propostos para o equacionamento da ação de refino, a teoria da ‘Carga Específica de Borda’ - CEB (“Specific Edge Load” – SEL) é dos mais simples e já vem sendo bastante utilizado. De acordo com este modelo, a intensidade de refino, definida como CEB, e a quantidade de refino, representada pela ‘Energia Específica de Refino’, são os parâmetros que melhor descrevem a ação do refino sobre a polpa.

*Observação: nesta apostila será adotada a denominação ‘Carga Específica de Borda’ (CEB) ao invés de ‘Carga Específica de Lâminas’ (CEL), como é usual nas literaturas brasileiras sobre o assunto, para não confundir com a demoninação “Cutting Edge Length” (CEL), que é o ‘Comprimento Específico de Corte’(CEC), em português. A denominação ‘Carga Específica de Borda’ aproxima-se também da denominação em espanhol “Carga Específica de Borde”.*

Esta teoria constitui uma importante ferramenta para o controle da operação de refino e, teoricamente, permite a comparação entre resultados de refinamentos de uma mesma polpa, mesmo que realizados em refinadores diferentes. A CEB é calculada pela equação abaixo:

$$CEB = P_u / L \text{ (w.s/m)}$$

Onde:

$P_u$ : potência líquida aplicada, kW

L: comprimento de lâminas que se entrecruzam por segundo, km/s

Na figura 1.4.07 é mostrado um gráfico onde refinações de uma determinada polpa “hardwood” são levadas a cabo tratando-a em dois valores de CEB, usualmente 1,0 e 3,0

Ws/m, usando refinadores de plantas piloto. A energia específica de refino foi considerada de 0 a 250 kWh/t líquida e a propriedade medida foi “comprimento de ruptura”, que possui uma boa relação com tração. Neste caso, observa-se que com uma menor CEB obtêm-se melhores resultados em termos de resistência.

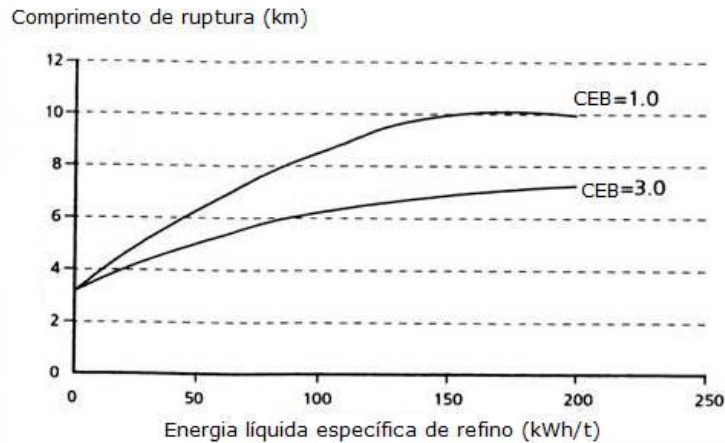


Figura 1.4.07 (FONTE: Refining Technology)

Ebeling em extensa revisão de literatura sobre refino relata as principais críticas feitas por diversos autores à teoria. De um modo geral, estes autores mencionam que o modelo não é um sistema perfeitamente compreensivo para a caracterização do refino ou para a estimativa de seus resultados, pois não considera os efeitos devidos ao material dos discos, consistência de refino, desgaste das barras, velocidade de rotação dos discos e profundidade dos canais.

#### 1.4.4. Efeitos primários da refinação

Pode-se definir como efeito primário da refinação toda aquela modificação na estrutura da fibra que possibilite – pelo menos em teoria – diferenciar as fibras refinadas e não refinadas. Outro requisito é que não se possa dividir em componentes. Deve ainda ser uma modificação estrutural irreversível.

Analisa-se nos parágrafos subsequentes a evolução dos conceitos relativos aos seguintes efeitos primários: a fibrilação (interna, externa e molecular) e os destrutivos (corte e geração de finos). Faz-se ainda uma referência aos efeitos secundários.

#### 1.4.4.1. Fibrilação interna

A fibrilação interna (figura 1.4.08) consiste na delaminação interna essencialmente tangencial da estrutura coaxial da parede celular que ocorre com o aumento da quantidade de água. **Emerton**, em 1.957, teve uma contribuição notável ao utilizar as técnicas de microscopia na avaliação das modificações ultraestruturais que ocorrem nas fibras durante a refinação, (**Atack**, 1.977). Ele reiterou e estendeu o conceito postulado na década de 1.930 por Campbell de fibrilação interna.



Figura 1.4.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

A fibrilação interna seria a delaminação da parede média secundária da fibra ocorrida durante a refinação. Evidências experimentais eram então escassas e circunstanciais.

**Page e De Grâce** (1.967) observaram a delaminação em fibras de pasta ao sulfito e ao sulfato de baixo rendimento, ao longo da refinação de baixa consistência. **McIntosh** (1.967) observou igualmente delaminação e intumescimento nas seções transversais de fibras de *Pinus taeda* refinadas. Stone e Scaltan propuseram um modelo estrutural da parede celular semelhante ao observado microscopicamente nas fibras refinadas e intumescidas com água (Scallan, 1978). O seu modelo foi baseado numa técnica de medida de absorção da água chamada de ‘exclusão do soluto’, que permitiu a avaliação quantitativa rigorosa da distribuição de tamanho dos poros da parede da fibra intumescida com água.

#### 1.4.4.2. Fibrilação externa

A fibrilação externa (figura 1.4.09) envolve a desagregação, separação e perda parcial de material lamelar e microfibrilar (visível ao microscópio óptico) das camadas externas da parede celular. As paredes externas das fibras das resinosas permanecem essencialmente intactas ao longo dos processos de cozimento convencionais. A refinação subsequente rompe e progressivamente remove estas camadas. A natureza da composição química e da superfície exposta é importante a dois níveis. Primeiro, a amplitude da ruptura da parede externa pode controlar a quantidade de fibrilação interna e externa.

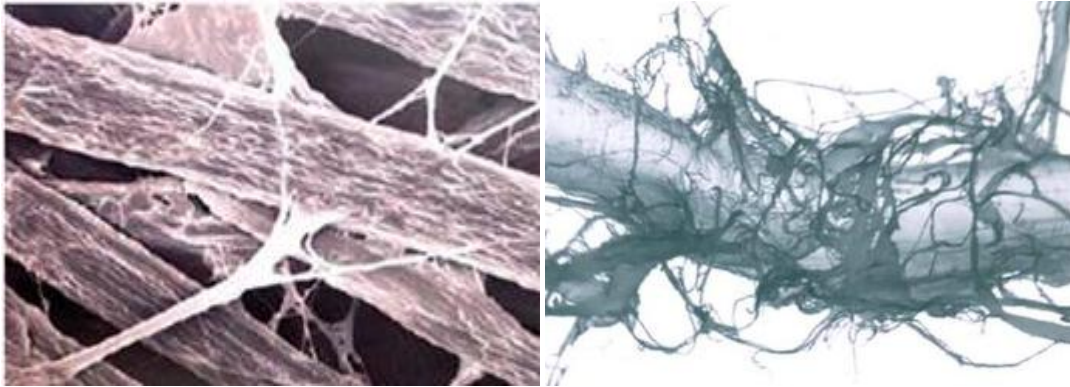


Figura 1.4.09 (FONTE: [www.celso-foelkel.com.br](http://www.celso-foelkel.com.br))

Depois, a resistência das ligações desenvolvidas entre as fibras é finalmente determinada pela natureza química das superfícies expostas durante as últimas fases de remoção da água. É atualmente reconhecido que partes consideráveis da parede externa ( $S_1$ ) e da parede secundária média ( $S_2$ ) são removidas durante a refinação. Os efeitos principais da fibrilação interna e externa sobre as propriedades da fibra são o aumento de sua capacidade de absorção de água (com o conseqüente intumescimento) e a plastificação e flexibilidade da fibra. Na fibrilação externa criam-se igualmente novas áreas de ligação. De importância crucial é o aumento da superfície específica das partículas na suspensão fibrosa, que vai diminuir a aptidão para a drenagem da água sobre a tela da máquina de papel, trata-se de um parâmetro de sustentáculo para a produtividade global do processo de produção do papel.

#### 1.4.4.3. Fibrilação molecular

A fibrilação molecular é definida como a solubilização parcial de estruturas poliméricas da matriz de componentes da parede celular. Não existe evidência direta, mas existem resultados que indicam que uma pequena parte dos materiais da parede celular é dissolvida durante a refinação (**Levlin e Nordman**, 1.977). As quantidades relatadas de material dissolvido variam entre 0,5% e 4% para pastas de resinosas. Assim, este fato afeta o rendimento em massa da produção de papel.

#### 1.4.4.4. O corte das fibras e a geração de finos

O corte das fibras e o desprendimento de partes da lamela (“geração de finos”) constituem um efeito primário da refinação, fato acerca do qual existe abundante evidência experimental (**Ebeling**, 1.980). O desprendimento de material lamelar e macrofibrilar da

parede celular é frequentemente apelidado de “geração de crill”, existindo também significativa evidência experimental. A figura 1.4.10 mostra finos e fragmentos de fibras em uma suspensão de fibras de baixa consistência.

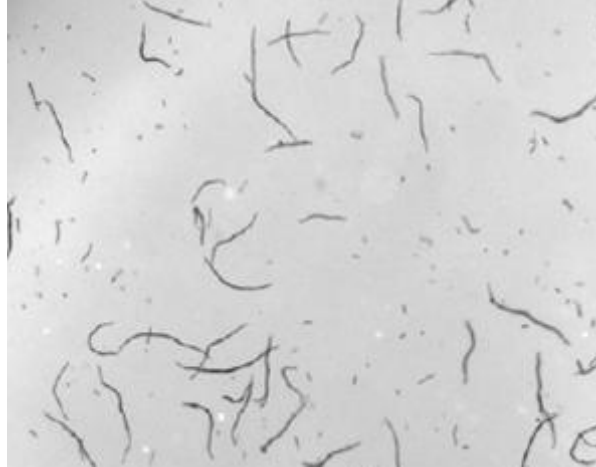


Figura 1.4.10 (FONTE: [www.celso-foelkel.com.br](http://www.celso-foelkel.com.br))

#### 1.4.5. Efeitos secundários da refinação

Alguns efeitos secundários catalogados são a compressão longitudinal (da qual existem boas evidências experimentais), o enrolamento ou endireitamento da fibra e o colapso da parede celular. **Silvy** (1.975; 1.999) refere um efeito fundamental que é o da compressão radial das fibras. Esta compressão provoca uma extensão radial das fibras que provoca finalmente um efeito de corte e encurtamento. Outros efeitos normalmente citados são: delaminação da fibra, inchaço da fibra, aumento da flexibilidade da fibra, remoção das paredes externas, “microcreping” das fibras e introdução de outros defeitos, encanoamento e torcedura de fibras, e aumento da superfície específica. Como resultado destes efeitos ao passar pela refinação, as fibras colapsam, ou seja, tornam-se mais achatadas e bem mais flexíveis. A sua superfície de contato torna-se maior.

As propriedades óticas do papel tais como a tonalidade e a opacidade, por exemplo, são importantes para os papéis “tissue”, onde a aparência visual normalmente é atribuída às questões higiênicas pelos clientes finais. As propriedades superficiais, por sua vez, também têm relação com sua utilização final. Uma folha de papel macia é mais desejada pelas pessoas que utilizam lenços de papel, papel higiênico, papel toalha e outros cuja função está relacionada a um contato direto com a pele.

Enfim, as especificações de cada tipo de papel relacionadas às suas propriedades, as quais seguem a sua finalidade de aplicação ou processamento, dependem principalmente do

---

material fibroso. Entretanto, estas especificações podem ser melhoradas pela utilização das matérias-primas não fibrosas ou pela tecnologia de fabricação do papel que inclui a preparação de massa, máquina de papel e conversão.

#### **1.4.6. Refinadores a discos (simples e duplos)**

O refinador a discos evoluiu para substituir o refinador cônico (que não foi apresentado neste curso por ser raramente utilizado para “tissue”). Em geral, os refinadores a discos estão capacitados para trabalhar em rotações maiores e utilizar discos de refinação com um comprimento de corte maior por área. Isto equivale a propiciar uma intensidade de refino muito mais baixa, adequada para as fibras curtas. Os refinadores a discos utilizam relativamente menos energia do que os refinadores cônicos, conseguindo um custo menor por tonelada produzida.

De um modo geral, esses equipamentos possuem dois discos, um estator e um rotor. A massa é alimentada sob pressão através de um orifício que está no centro do disco estator e, em seguida, é obrigada a passar entre os discos, onde é refinada.

Entretanto, podem ainda ser enquadrados como refinadores de disco os seguintes tipos: de disco simples (com um disco móvel e um estacionário); de contra-rotação (com os dois discos móveis, um girando contra o outro) e de disco duplo (com dois discos estacionários fixados à carcaça, e dois móveis (de face dupla de refinação) fixados ao eixo central do refinador.

Os refinadores de discos duplos (“Double-Disc Refiner” - DDR) oferecem alta eficiência e bom potencial para tratamento por causa de duas zonas no refinador. O refinador também oferece um considerável grau de flexibilidade em operação por causa da diversidade de desenhos de discos rotativos. O refinador a discos oferece um grande número de impactos curtos de barra. O refinado de duplos discos é mostrado nas figuras 1.4.11 e 1.4.12.

Entretanto, os refinadores de discos também possuem seus problemas. Nos refinadores de discos com diâmetros maiores utilizados nas máquinas de papel que operam em alta velocidade e grandes produções, suas rotações de operação estão limitadas pelas velocidades periféricas nos diâmetros externos. Esta característica limita a desejada habilidade da refinação em atingir a baixa intensidade, vantajosa para as fibras curtas (“hardwood”) e pasta mecânica.

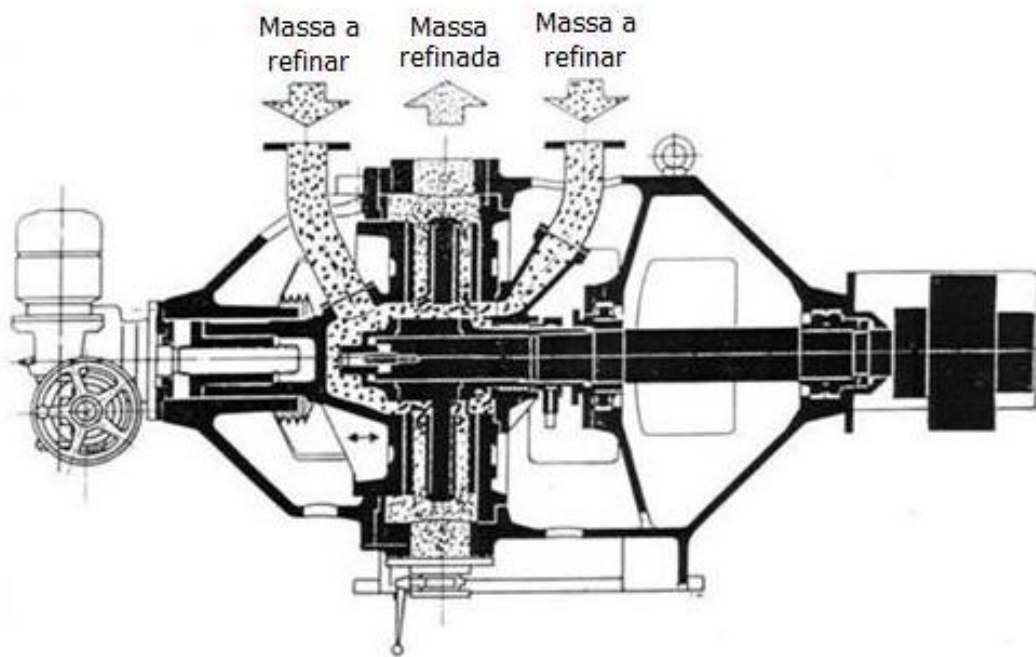


Figura 1.4.11 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

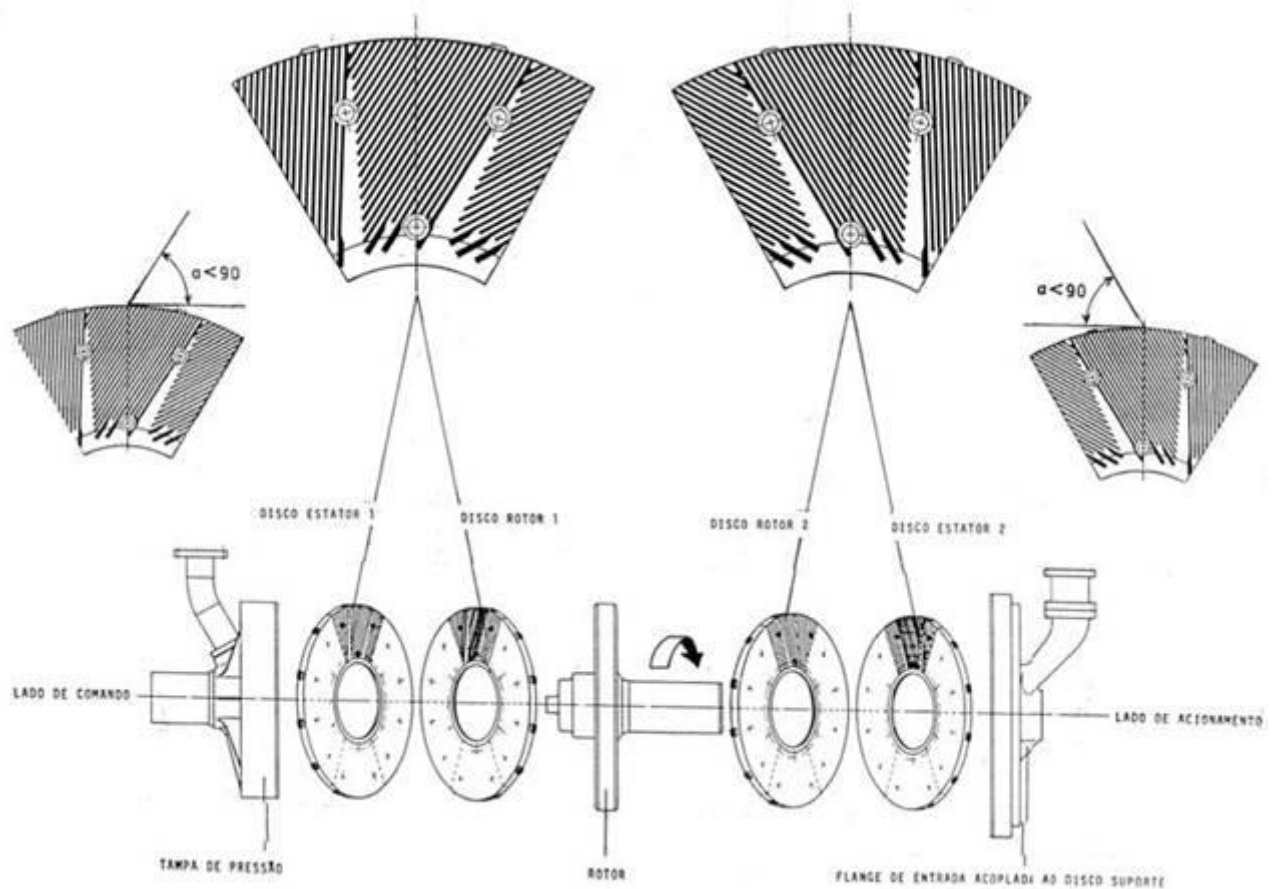


Figura 1.4.12 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)



Devido aos fluxos de vórtice e forças centrífugas, nem todas as fibras presentes são refinadas, pois várias seguem as ranhuras dos discos. Nestas condições, a eficiência da refinação e da energia é baixa. Mesmo assim, segundo RATNIEKS (1.993), somente 40% das fibras sofre algum impacto ao passar por um refinador.

#### 1.4.7. Refinadores tri-cônicos

Em meados de 1.990, a Pilão S/A do Brasil, fabricante de refinadores de discos, começou um desenvolvimento para melhorar os projetos de refinadores cônicos então existentes no mercado. Os objetivos eram desenvolver um refinador que combinasse o desenvolvimento da fibra com as características de redução de energia de novos refinadores cônicos com a maior capacidade e eficiência de energia. O resultado deste desenvolvimento foi um refinador cônico com três cônicos de refinação (figura 1.4.13).

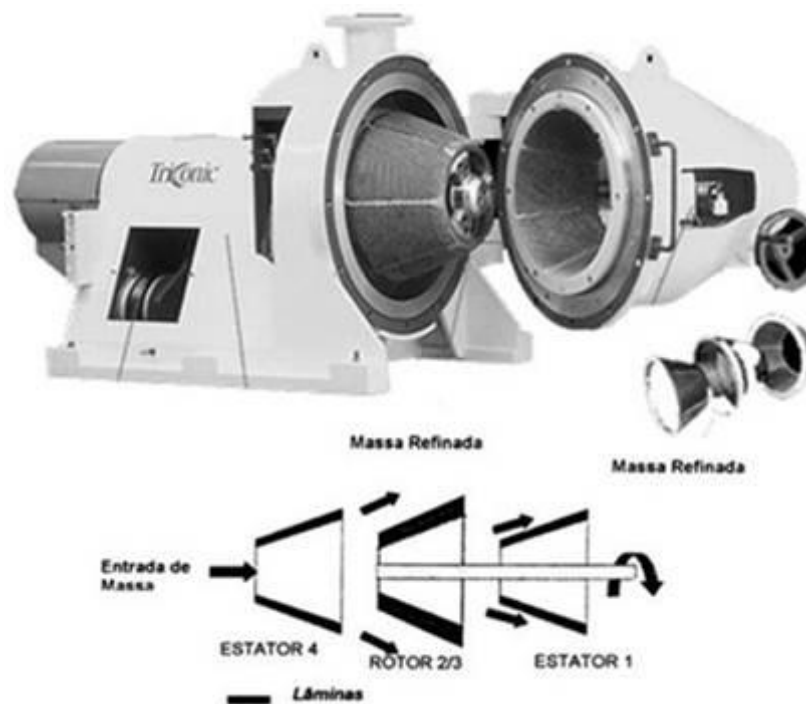


Figura 1.4.13 (FONTE: [www.redetec.org.br/inventabrasil/pilao](http://www.redetec.org.br/inventabrasil/pilao))

O sistema de refinação compõe-se de um refinador cônico com ângulo de 20°, duplo fluxo com um rotor cônico de dupla face e dois estatores cônicos. Como no caso dos refinadores de discos, o rotor flutua e se posiciona pelo fluxo da pasta mecânica e pela pressão hidrodinâmica em ambos os lados. Como conceito, este refinador pode ser imaginado como um refinador de duplo disco, dobrado para trás de si próprio.

O projeto incorpora cônicos de pequenos diâmetros com uma área de refinação comparativamente maior. Por exemplo, para conseguir a mesma área de refinação de um refinador de discos de 34 in, o novo projeto utiliza cônico como o maior diâmetro de somente 540 mm (21,25 in).

Uma vez que o diâmetro do rotor é menor, a velocidade periférica no diâmetro externo do rotor para uma dada rotação é consideravelmente reduzida. Isto permite que a rotação máxima aceitável do refinador seja aumentada, oferecendo assim intensidades de refinação mais baixas. Em teoria, então, o novo refinador cônico deveria ser melhor para fibras “hardwood” e papel reciclado por oferecer refinação de baixa intensidade, equivalente a maior fibrilação e menor corte.

O total do consumo de energia, incluindo as necessidades de energia para “no-load”, também mostra redução para a área de refinação equivalente. Usando os projetos existentes para a fabricação dos corpos e dos elementos rotativos dos refinadores de discos, a equipe de engenharia dedicada ao novo projeto de refinador redesenhou a porta do refinador para acomodar o conceito do conjunto de três elementos cônicos.

A relação geométrica entre as barras e as ranhuras também é mantida constante durante toda a vida útil dos elementos cônicos (no caso dos elementos cônicos fundidos, a relação geométrica barra/ranhura se modifica à medida que as barras sofrem desgaste).

Os elementos cônicos (rotor e estatores) são comparativamente pequenos e são removidos pelo lado da porta do refinador. A troca dos elementos cônicos desde a parada do refinador até a partida do mesmo pode ser conseguida em 1 h a 2 h. Quando se torna necessária a manutenção do refinador, todo o conjunto rotativo incluindo eixo, rolamentos e retentores, pode ser removido pelo lado da porta do refinador.

#### **1.4.8. Avaliação da refinação**

A propensão de uma pasta à refinação pode caracterizar-se pela energia específica (ou o tempo) necessária para alcançar um determinado grau de refinação, empregando um determinado material.

O grau de refinação pode ser avaliado mediante medidas sobre a suspensão fibrosa (por exemplo, °SR, I.R.A., etc.), características físicas da pasta (por exemplo, superfície específica da fibra), propriedades mecânicas do papel, etc. Os aparelhos “Schopper Riegler” e “Freeness” (figura 1.4.14) são utilizados para medição do grau de refinação, indicado pelo grau de drenabilidade de uma suspensão aquosa de fibras. O primeiro aparelho expressa seu

resultado em °SR (graus Schopper Riegler), enquanto o segundo expressa seu resultado em CSF (“Canadian Standard Freeness”).

O efeito da refinação pode ser avaliado, também, pelo I.R.A. (Índice de Retenção de Água) ou, em inglês, W.R.V. (“Water Retention Value”), o qual prediz o comportamento do desaguamento de uma suspensão de fibras.

O método consiste na determinação da quantidade, expressa em percentagem, de água retida em 1 g de pasta, absolutamente seca, suspensa em água (10% de consistência), após centrifugação a 900 g, sendo “g” a aceleração da gravidade, por 30 min.

Neste ensaio, durante a centrifugação, somente a água retida nos capilares formados entre as fibras é eliminada da pasta, ficando retida a água situada no lúmen e nas paredes das fibras. O valor medido está relacionado com a plasticidade das fibras. A fórmula para determinação do I.R.A. é a seguinte:  $I.R.A. = \frac{\text{massa de pasta após centrifugação} - \text{massa de pasta seca}}{\text{massa de pasta seca}} * 100$ . Para uma determinada pasta celulósica tipo sulfato, por exemplo, 36 °SR corresponde a 189% I.R.A.

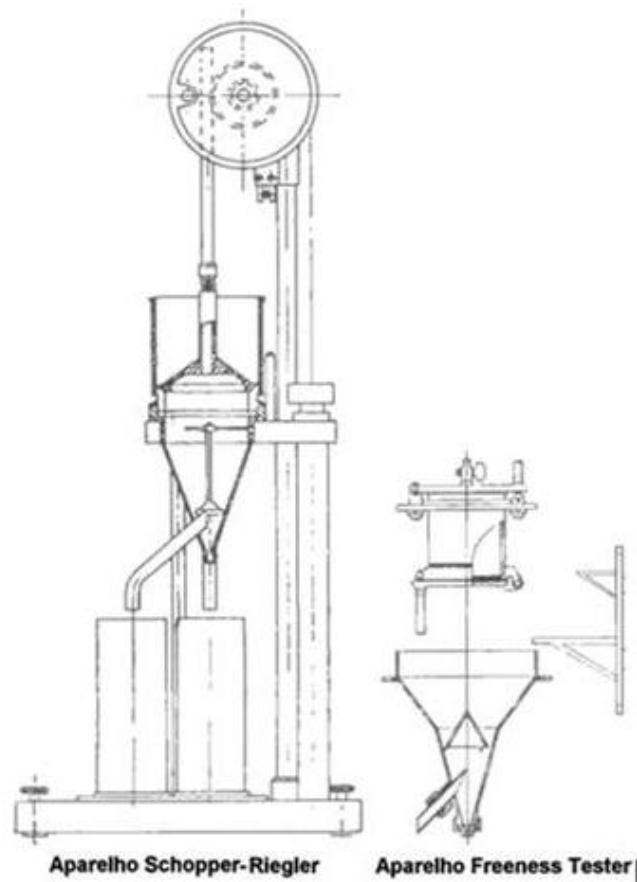


Figura 1.4.14 (FONTE: Tecnologia de Fabricação de Papel – SENAI/IPT)

#### 1.4.9. Refinação para o caso de papéis “tissue”

Mesmo que a refinação possa contribuir para gerar muitas propriedades úteis da folha, sobretudo resistência e melhor retenção de aditivos catiônicos, ela pode também ser prejudicial em termos de maciez, pois tem a tendência de tornar a folha mais rígida.

Portanto, é importante não executar uma refinação excessiva e, se possível, refinar somente a fibra “softwood” para o caso das fibras virgens. Refinar a fibra “hardwood” pode aumentar o conteúdo de finos, mas aumentará em parte também a resistência. No caso das fibras virgens utilizadas para a fabricação de papel higiênico, por exemplo, a fibra longa branqueada requer de 80 a 120 kWh/t de energia líquida, dependendo da velocidade da máquina e da capacidade de secagem. Já a fibra curta branqueada, preferencialmente de eucalipto devido ao “bulk” e à resistência mecânica, normalmente não é refinada para este tipo de papel. Se houver mistura de fibras longas e curtas, a energia requerida será determinada pelo percentual de cada tipo de fibra na mistura.

No caso do papel toalha, a refinação é geralmente caracterizada pela tração desenvolvida para uma dada capacidade de drenagem. O desenvolvimento da tração com a maior drenagem possível permite velocidades maiores na máquina de papel e reduz a dosagem de produtos químicos para a resistência a úmido. A fibra virgem longa para toalha requer de 140 a 180 kWh/t de energia líquida. Se houver mistura de fibras virgens curtas e longas, a energia líquida requerida deverá ficar na faixa de 80 a 120 kWh/t, dependendo da quantidade de fibra longa na mistura. Tanto para os papéis higiênicos como para os papéis toalha, para desenvolver resistência na fibra é importante refinar com baixa intensidade.

Uma prática comum quando se procura melhorar suavidade é reduzir a refinação e manter a resistência das folhas com um aditivo de resistência a seco (“dry strenght additive” – DSA). Uma longa experiência, suportada por dados consolidados e uniformes de laboratório, mostra que uma resistência mecânica equivalente pode ser obtida com uma rigidez da folha notoriamente inferior, o que leva a uma maior maciez. Isto é devido ao fato de que a dimensão do polímero que constitui o DAS (natural ou sintético) criará algumas ligações a uma grande distância entre fibras em comparação às ligações naturais por pontes de hidrogênio entre as fibras refinadas, melhorando, portanto, a flexibilidade da fibra. A consolidação da superfície obtida sempre mediante o DAS melhorará também a sensação superficial ao tato.

No caso das fibras recicladas, sabe-se que toda vez que passam pelo processo de fabricação de papel sua capacidade de inchamento e ligação é reduzida. Quanto mais forte a

tensão, maior a redução. Na fabricação de papel, a prensagem e a secagem são muito mais intensas do que a secagem de polpa e, conseqüentemente, seu efeito é mais extenso. Estudos recentes confirmaram que quanto mais baixo o rendimento, maiores são as perdas de capacidade de ligação e inchamento no processo de fabricação de papel.

Além disso, o processo de aperfeiçoamento da fibra reciclada, como já foi visto, inclui estágios de desagregação, depuração e limpeza que reduzem muito a quantidade de fibras e fibrilas a uma boa ligação da fibra na fabricação de papel. Os diversos estágios de tratamento de fibra reciclada regeneram a capacidade de inchamento e ligação, até certo ponto, mas o tratamento não é suficientemente forte. Por esse motivo, um tratamento mais intensivo como a refinação é necessário. Entretanto, em relação às fibras virgens, as aparas destintadas necessitam de baixa energia de refinação, de 20 a 60 kWh/t de energia líquida, para a fabricação de papel higiênico e de 30 a 80 kWh/t para o papel toalha. A intensidade de refino também é menor para as fibras recicladas. Por exemplo, a fibra longa branqueada requer intensidade de refinação de 1,5 Ws/m, enquanto as aparas destintadas requerem intensidade de 1,0 Ws/m.

As fibras recicladas normalmente contêm palitos dos componentes da pasta mecânica. Dado que os palitos podem ser prejudiciais, a refinação também é necessária para a redução de palitos. Atualmente, há vários motivos para a refinação de fibras recicladas, e a afirmação comum de que “uma vez refinadas, as fibras não devem ser refinadas novamente” deve ser reconsiderado.

Finalmente, cada reutilização enfraquece as fibras e causa modificações irreversíveis, o que torna as fibras recicladas mais sensíveis a erros na refinação do que as fibras virgens. Se não forem refinadas corretamente, o resultado pode ser desastroso. Os efeitos indesejáveis tais como um aumento elevado de resistência à drenagem e reduções importantes no comprimento da fibra e uma redução da resistência ao rasgo podem ser evitados pela escolha correta do equipamento e das condições de refinação.

## 1.5. CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO (“APPROACH FLOW”)

### 1.5.1. Introdução

O circuito de aproximação corresponde ao elo entre a área da preparação de massa e a unidade de formação da máquina de papel. Sua função básica é o transporte da suspensão até a máquina, proporcionando um fluxo estável, homogêneo e limpo. Dele, fazem parte os

---

sistemas de alimentação de massa grossa (caixa de nível, válvula de gramatura, bomba de mistura, etc.), e de diluição, “centricleaners”, de peneiras pressurizadas e de controle de fluxo. Trata-se de um conjunto essencial para a fabricação de um produto de boa qualidade. Este conglomerado de equipamentos estáticos e dinâmicos de vários fornecedores deve funcionar junto em todas as faixas de gramatura e velocidades da máquina de papel.

Parâmetros como perfil longitudinal de gramatura, formação da folha, ausência de contaminantes no papel podem ser influenciados e controlados através do circuito de aproximação. Fenômenos como flutuações de consistência e/ou de fluxo, pulsações hidráulicas, vibrações mecânicas, admissão de ar, velocidades inadequadas no interior das tubulações e acabamento inapropriado das superfícies internas das mesmas, influenciarão negativamente os parâmetros acima. Portanto, um circuito de aproximação bem projetado deverá oferecer condições para que tais fenômenos não ocorram ou que sejam minimizados a níveis não prejudiciais à qualidade desejada.

O sistema de aproximação pode ter um significativo impacto no desempenho da máquina e na qualidade do papel, portanto deve ser considerado importante como qualquer outra parte da máquina de papel.

Um sistema corretamente projetado deve ter:

- Estabilidade de fluxo e controle satisfatório;
- Boa mistura e dispersão de fibras;
- Sistema de limpeza e facilidade para lavagem.

A folha de papel com maior qualidade (e as melhorias que ocorreram nas máquinas de papel) resultou em sistemas de aproximação cada vez mais complexos. Caixas de entrada hidráulicas, alta velocidade nas máquinas e melhoria nas características da folha forçaram o sistema de aproximação a incluir múltiplos estágios de separadores centrífugos, depuração e melhor controle do ar contido no fluxo de massa. A figura 1.5.01 mostra uma parte do circuito de aproximação para uma máquina “Crescent Former”.

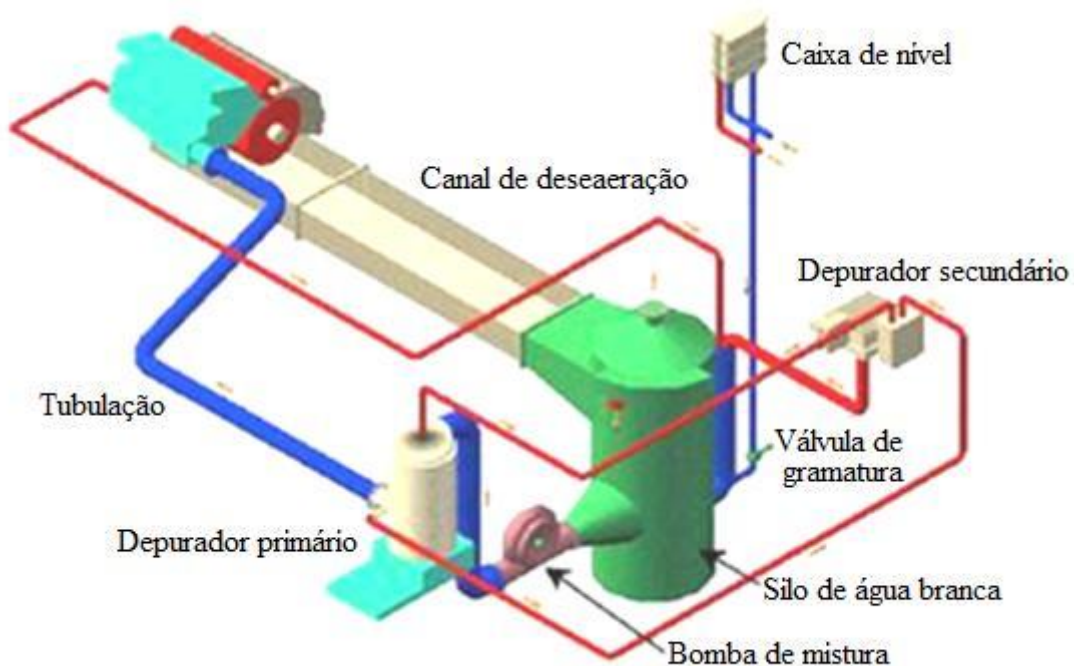


Figura 1.5.01

(FONTE: Apostila “Approach flow” – Curso Técnico de Cel. Papel – Guaíba, RS)

Os sistemas de aproximação utilizados atualmente variam desde o sistema com simples diluição com apenas um depurador até complexos arranjos com múltiplas camadas e sistemas com dupla diluição com depurador e separadores ou sistema de dupla diluição com depurador, separadores e desaerador. Alguns desses sistemas facilmente adaptados ao controle da caixa de entrada, usando bombas de mistura com velocidade variável e outros são mais adaptados ao controle por “by pass”.

A melhor maneira de evitarem-se problemas seria iniciar com um bom projeto. Como nem sempre isso é possível, pois uma vez tendo o problema no sistema de aproximação, a fonte de variação precisa ser encontrada, o que nem sempre é muito fácil.

### 1.5.2. Depuração de cabeça de máquina

A depuração de cabeça de máquina (figura 1.5.02), que faz parte do “approach flow”, tem por objetivo proporcionar ao formador uma composição livre de impurezas que possam afetar a qualidade final do papel e a produtividade da máquina (as impurezas podem ser as causas de quebras da folha de papel durante a produção). Desde o ponto de vista da eliminação de impurezas nas matérias-primas pouco limpas, estas devem ser eliminadas

eficientemente nos circuitos de preparação de massa, restando, em todos os casos, a depuração de cabeça de máquina como um mero “filtro” prévio ao formador.

Os depuradores pressurizados corretamente dimensionados têm sido geralmente considerados como equipamentos necessários em todos os sistemas de aproximação à caixa de entrada. Usando o método correto para o projeto da peça de transição entre o silo e a bomba de mistura, poderemos assegurar uma boa mistura e fluxo estável até a bomba. Antes da bomba de mistura sempre deverá existir uma pressão constante que normalmente é determinada pelo tanque da tela ou silo.

A depuração dinâmica é encarregada de eliminar partículas de maior densidade que as fibras. A importância desta operação é função do tipo de papel a fabricar, correspondendo às maiores exigências a papéis “tissue”, por exemplo.

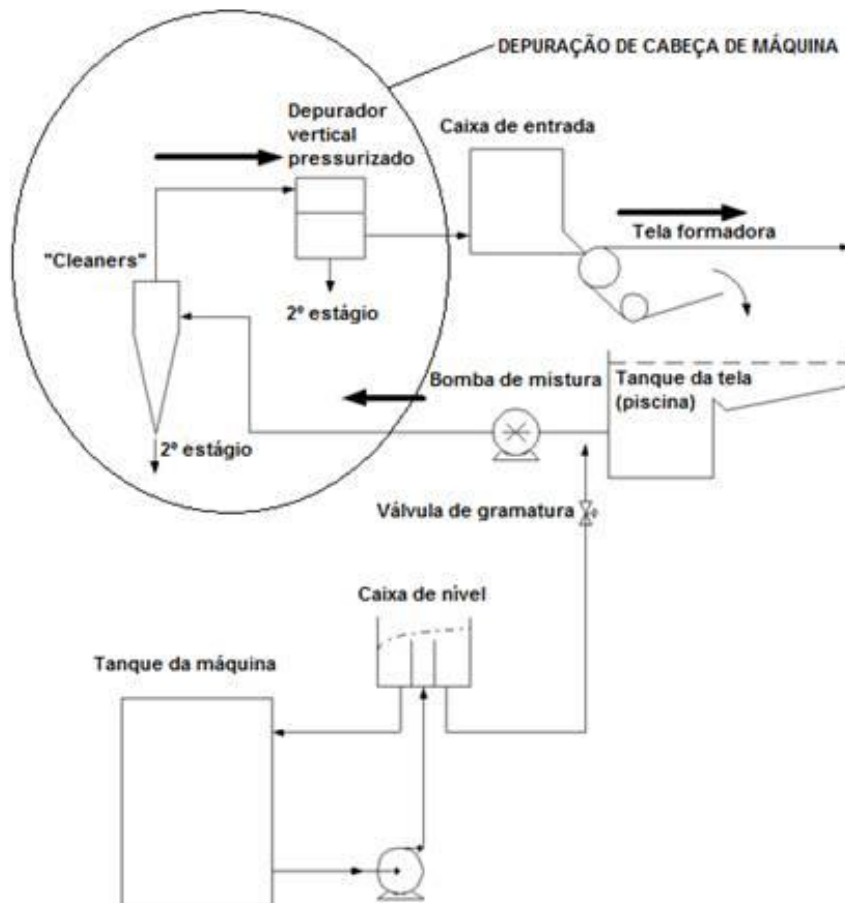


Figura 1.5.02 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos)



---

## 2. MÁQUINA DE PAPEL – PARTE INICIAL E FORMAÇÃO

### 2.1. CAIXA DE ENTRADA

Dentro do processo de fabricação de papel, a caixa de entrada ocupa uma posição de extrema importância. Representa o elo de união entre a parte constante (“approach flow”) da instalação de preparação de massa e o restante da máquina de papel, cabendo-lhe a tarefa de introduzir e distribuir a massa de fibras em suspensão ao longo de toda a largura da máquina, a um fluxo com volume e pressão constantes quanto ao tempo e a ponto de incidência na zona de formação da folha, com concentração uniforme de material fibroso e não fibroso.

A alimentação da suspensão fibrosa para a máquina de papel deve ser realizada de maneira mais uniforme possível, com fluxo perfeitamente regular e homogêneo sobre toda a largura, com as fibras dispersadas uniformemente, sem agrupamento em flocos, torvelinhos ou correntezas; o fluxo da suspensão deverá ter ainda uma velocidade constante e compatível com a velocidade da tela. A utilização de baixas consistências nos permite obter esta homogeneização e distribuição uniformemente dispersas na suspensão. Com altas consistências, existe a tendência de formar flocos de fibras que afetam a formação da folha.

A caixa de entrada tem participação efetiva para a qualidade do produto (folha de papel), bem como para a produtividade da máquina de papel. Para cada tipo de formador há uma caixa de entrada apropriada, mas o princípio básico de funcionamento da caixa de entrada e do sistema de aproximação (“approach flow”) não se altera. Todo este processo define a formação da folha, ou seja, é o ponto mais importante no processo de fabricação de papéis “tissue”. Nas caixas de entrada do tipo “fourdrinier” a regulagem é feita somente no lábio superior e no “crescent former”, além desta regulagem, deve ser controlado o posicionamento da caixa no sentido horizontal e vertical, e o ângulo de impacto do jato na tela.

A maioria das caixas de entrada para máquinas “tissue” é hidráulica e não necessita de colchões de ar. Todos os cuidados especiais devem ser tomados antes da caixa de entrada. O seu funcionamento é feito em função do fluxo, e é baseado nas diferentes velocidades do fluxo interno para que gere microturbulência e não haja floculação das fibras ou outras perturbações de processo. Esta condição é indispensável para qualquer tipo de formador. Seguem abaixo exemplos de caixas de entrada antigas e modernas para os variados tipos de formadores para “tissue” e outros tipos de papéis.

### 2.1.1. CAIXAS PRESSURIZADAS

As primeiras caixas de entrada das máquinas de papel eram abertas. Com o aumento da velocidade das máquinas de papel, logo se percebeu que, para velocidades acima de 300 m/minuto, a altura requerida para a caixa de entrada provocava problemas como a estagnação da pasta e formação de aglomerados. A solução encontrada foi a construção de uma caixa de entrada pressurizada (figura 2.1.01), na qual o ar comprimido desempenhava a função da altura geométrica. Este tipo de caixa é um desenvolvimento das caixas citadas antes. Se eles fossem fechados e a eles fosse acoplado um sistema de ar comprimido, poderiam desempenhar as mesmas funções das caixas pressurizadas. Nas caixas pressurizadas os fatores mais importantes são:

- Espaço útil no seu interior;
- Desenho e arranjo dos rolos;
- Eficiência dos chuveiros.

Desde que o volume de massa dentro da caixa seja independente da velocidade da máquina e sendo sua vazão sobre a tela controlada por meio de ar comprimido, o desenho da mesma pode ser bastante simplificado e seu controle feito com rigor e facilidade. O diâmetro dos furos e o espaçamento entre os rolos variam de acordo com a velocidade com que se vai trabalhar, porém, normalmente, a porcentagem de área aberta permanece constante. Os rolos devem ser bem lisos e não possuir rebarbas em suas faces.

Atualmente alguns deles têm revestimento de borracha, “fiberglass” ou outro tipo de revestimento visando evitar a retenção de fibras. Com a evolução natural das caixas de entrada pressurizadas surgiu a caixa “nozzle” onde todo o sistema, desde a bomba do sistema de circulação de massa até o lábio, é preenchido com massa. Os chuveiros são necessários para evitar a formação de aglomerados de fibra e eliminar a espuma que se forma na superfície da massa. Em caixas de entrada pressurizadas, utiliza-se em geral, chuveiros rotativos.

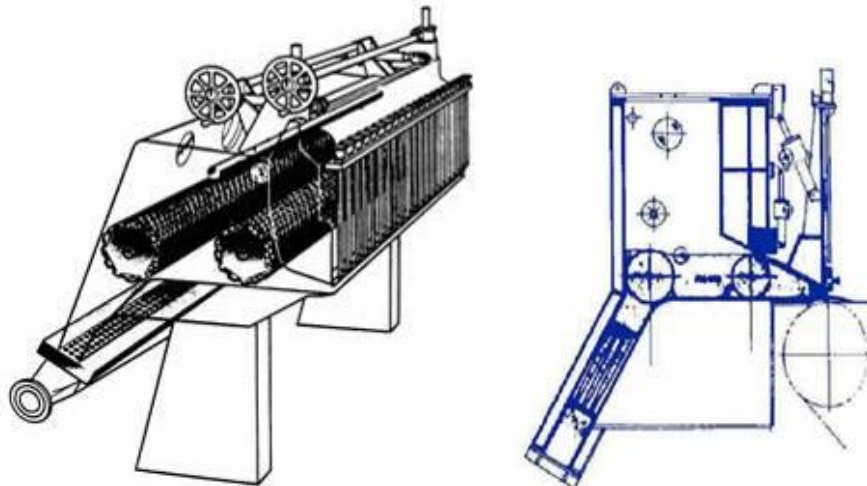


Figura 2.1.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

### 2.1.2. CAIXAS DE FLUXO DIRETO OU HIDRÁULICAS

Caixa hidráulica, pressurizada hidraulicamente pela própria suspensão fibrosa, e onde as forças de cisalhamento (forças que interferem no movimento natural das fibras) para a geração da turbulência anti-floculação são geradas pelo atrito da massa contra as paredes de bancos de tubos de perfil especial e em canais transversais que convergem para o lábio. A figura 2.1.02 mostra uma caixa hidráulica típica.

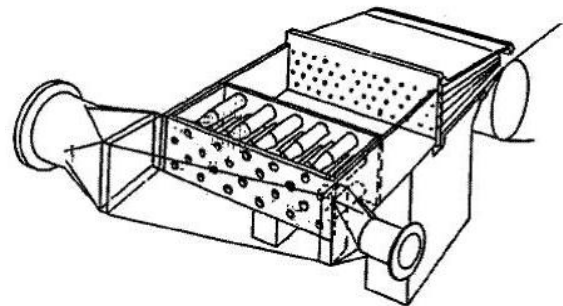


Figura 2.1.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

### 2.1.3. CAIXAS DE ENTRADA PARA FORMAÇÃO DE PAPEL COM VÁRIAS CAMADAS

Esta classe de caixas tem, nos desenvolvimentos recentes, equipamentos “multijato” (figura 2.1.03: OptiFlo II TIS headbox da Metso Paper), ou seja, caixas que podem depositar sobre a tela duas e três camadas estratificadas e superpostas de massa de características diferentes. Caixas modernas podem ser dotadas, ainda, de sistema que permite o controle transversal da gramatura mediante injeções controladas de água branca que corrige pontualmente a consistência e, por extensão, a gramatura.

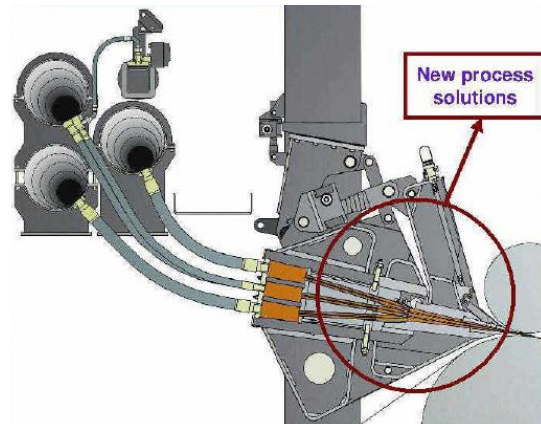


Figura 2.1.03 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Esta alternativa consiste na instalação de caixas de entrada construídas para fabricar papéis com duas ou três camadas. Este tipo de caixa de entrada permite a utilização de tipos de fibras diferenciadas em cada camada, por exemplo, buscando obter ao mesmo tempo a resistência requerida e maior maciez do papel, ou então, buscando fabricar um produto de boa qualidade com a utilização de fibras menos nobres. Como exemplo (figura 2.1.04) na fabricação de um papel higiênico de folha dupla comum à caixa de entrada de duas camadas se poderiam utilizar as fibras curtas que têm uma característica de maior maciez e as fibras longas que têm característica de maior resistência no lado oposto. Na duplicação da folha, na etapa de conversão, as superfícies com fibras curtas serão posicionadas nas faces externas do papel garantindo a maciez do mesmo e as compostas por fibras longas serão posicionadas nas faces internas.

Outro exemplo seria uma caixa de entrada de três camadas utilizando-se fibras menos nobres (pasta mecânica ou fibras recicladas) na camada interna e fibras de maior qualidade (fibras virgens branqueadas de eucalipto) nas camadas externas. Com isto os inconvenientes das matérias-primas menos nobres como as impurezas do reciclado ou o problema de amarelecimento da pasta mecânica seriam encobertos pelas camadas de celulose. Outra característica interessante é que o “bulk” da folha aumenta quando separamos as fibras longas

das curtas em uma caixa tipo multicamadas quando comparado a uma folha produzida em uma caixa de entrada de uma só camada utilizando-se uma mistura das fibras curtas e longas.

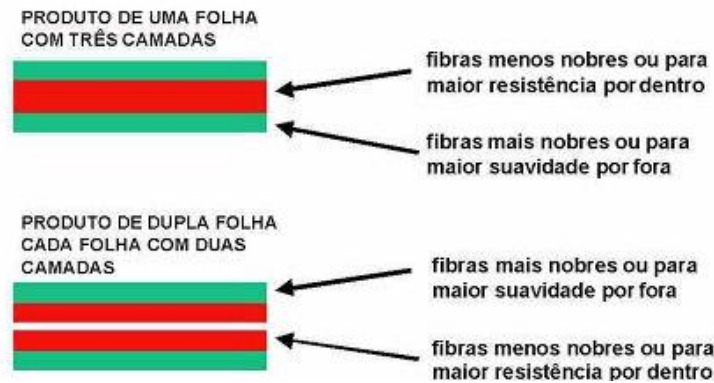


Figura 2.1.04 (Fonte: apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP)

#### 2.1.4. CAIXAS DE ENTRADA PARA TELA INCLINADA

O formador para tela inclinada ("suction breast roll former") tem sido utilizado desde os anos 1.940, com o "gap former" aparecendo somente nos anos 1960. Apesar disto, o seu comportamento é pouco entendido. É difícil visionar o jato quando se descreve este tipo de formador por ele ser totalmente fechado nos limites entre a caixa de entrada e o rolo cabeceira de sucção. Em uma típica caixa de entrada deste tipo (figura 2.1.05), o lábio inferior, o ângulo de ataque ou colisão ("impingement angle"), a posição horizontal do rolo cabeceira, a parte superior do lábio da caixa de entrada ("headbox roof"), o contorno deste lábio ("roof contour") não são ajustáveis, ao menos para o operador. Em muitos casos, estes componentes do sistema jamais são ajustados durante a vida útil do equipamento.

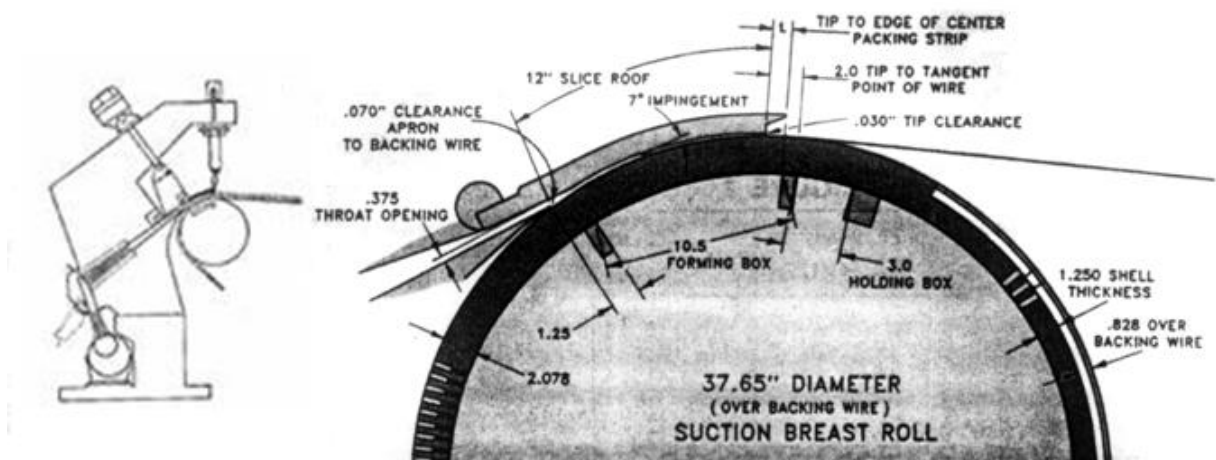


Figura 2.1.05 (Fonte: apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP)

São limitados os ajustes que o papelheiro tem com relação a abertura da garganta (“throat opening”), folga do lábio superior com relação à tela de formação, vácuo do rolo cabeceira e a distribuição do vácuo do rolo cabeceira entre as zonas do rolo. Em uma base menos freqüente, a localização das caixas de vácuo com relação à zona de formação, e a localização vertical do rolo cabeceira ou sua folga em relação ao lábio inferior podem ser ajustadas. As pessoas que operam este tipo de formador sabem como a folha responde a estes tipos de ajustes em termos de formação. Como exemplo de valores típicos correlacionados, pode-se citar uma máquina correndo a 914 m/min (3000 fpm), uma garganta de 0,45 in, níveis de vácuo de 2 e 1 in Hg nas caixas de formação e retenção, respectivamente, uma relação jato/tela de 0,97 e uma consistência de caixa de entrada de 0,17%.

### **2.1.5. CRITÉRIOS PARA UMA CAIXA DE ENTRADA “TISSUE”**

As gramaturas para muitos tipos de papéis “tissue” têm sido reduzidas durante as últimas décadas. Com menores gramaturas a economia de fibras tem sido alcançada ao mesmo tempo em que a qualidade da folha de papel tem sido melhorada. Isto tem sido possível em função dos novos desenvolvimentos em telas formadoras e também pelas melhorias nos projetos de máquinas “tissue”, onde a caixa de entrada é uma parte crítica. Esta é uma tendência que continuará e aumentará a demanda por desempenho da caixa de entrada.

A caixa de entrada gera um jato e a qualidade deste jato é extremamente importante para a qualidade do papel final. A flocculação de fibras e a orientação do jato têm uma grande influência na orientação das fibras e na formação. A irregularidade da superfície do jato aumenta com a distância a partir do lábio, perturbando o percurso do jato entre as telas. Os requisitos básicos de uma caixa de entrada “tissue” são os seguintes:

#### **2.1.5.1. Perfil uniforme de gramatura**

O perfil de gramatura determinará o perfil de umidade na raspa de crepagem. Sem um uniforme perfil de umidade no cilindro “Yankee”, a partir da prensa até a raspa de crepagem não será possível obter um bom e uniforme “coating”. Sem um “coating” uniforme, a qualidade e andamento da folha serão afetados. Variações de gramatura em pequena escala afetarão a resistência da folha. Melhorando a variação de gramatura em pequena escala

mesmo a variação na resistência da folha será reduzida e resultará em melhor desempenho de máquina.

A figura 2.1.06 mostra um controle de gramatura transversal feito mecanicamente por um sistema de manípulos. Consiste em um conjunto de hastes, de comprimento variável, fixadas sobre o lábio superior ao longo de toda sua largura, guardando um espaçamento regular entre si.

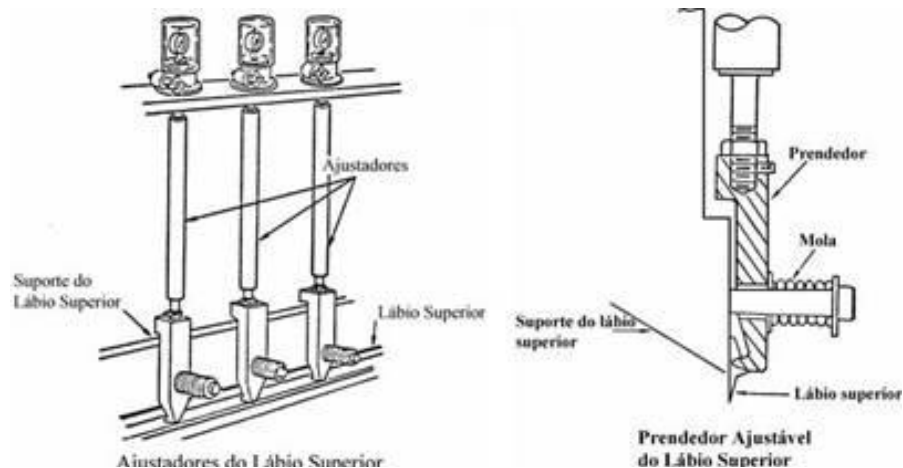


Figura 2.1.06 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Estas hastes podem estar acopladas a atuadores, para o desenvolvimento do controle automático. Alteração do fluxo de massa em uma pequena região do lábio através de mudança na abertura do mesmo, conseguida com o auxílio do movimento das hastes. Esta operação promove mudança no fluxo de massa e na vazão, naquela região do lábio.

A redução local na abertura do lábio resulta em um decréscimo na saída de massa (e gramatura) e também em um acréscimo na velocidade local do jato. Um aumento local na abertura do lábio significa aumento da saída de massa (e gramatura) e ao mesmo tempo também resulta em uma velocidade reduzida local do jato no local onde a velocidade do lábio variou. Uma redução local na abertura do lábio (figura 2.1.07), por exemplo, também resulta em uma mudança local na direção do jato:

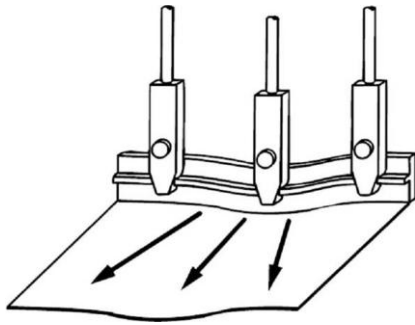


Figura 2.1.07 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

O controle do perfil transversal de gramatura pode também ser feito por uma série de válvulas misturadoras individuais, pelo princípio do controle da consistência por meio de diluição, de forma localizada e por zonas, do jato lançado pela caixa de entrada.

O equipamento utilizado (figura 2.1.10) é uma seqüência de válvulas misturadoras (de diluição) distribuídas equidistantemente ao longo de toda a largura da caixa de entrada. Nas zonas onde o perfil apresenta distorções, controla-se convenientemente a diluição das válvulas correspondentes.

- Fluxos transversais na suspensão são gerados, deixando-se levar do local da redução do lábio. O maior efeito está na vizinhança do controle local do lábio;
- O plano vertical do ângulo do jato é também afetado.

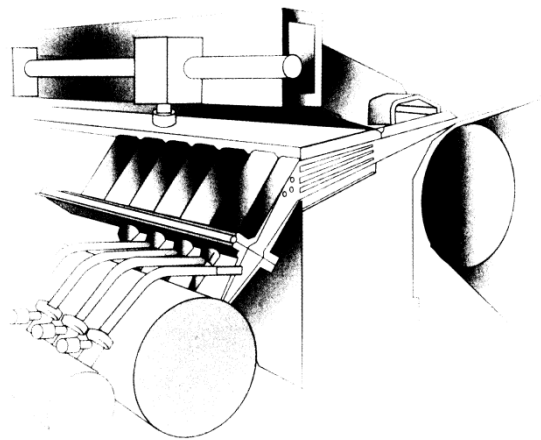


Figura 2.1.08 (FONTE: Fabricação de Papel – Formação da folha – SENAI CETCEP)

#### 2.1.5.2. Boa formação da folha

A formação em uma escala muito fina com nenhum floco e nenhuma granulação é desejada. Isto significa que a caixa de entrada deve gerar suficiente energia para a desfloculação das fibras. Entretanto, a formação não é só resultado do desempenho da caixa de entrada, mas também do método de formação, consistência da caixa de entrada, diferença de velocidade entre o jato e a tela, desenho da tela formadora, etc.



### 2.1.5.3. Uniformidade na orientação (MD/CD) de fibras

A orientação de fibras deve ser uniforme através da máquina, o que significa que fluxos transversais não devem ser aceitos. Fluxos transversais provocam interferências na distribuição de fibras, provocando alterações indesejáveis nas propriedades físicas do papel. Uma das causas dos fluxos transversais é a distribuição irregular de pressão da caixa de entrada na direção transversal (figura 2.1.09). O “manifold” apresenta um sistema de recirculação que possibilita manter a mesma pressão na sua entrada e na saída pelo controle de uma válvula presente na tubulação. Este equilíbrio de pressão pode ser visualizado através de uma tubulação de material transparente que faz parte do sistema. A ausência de um fluxo de massa circulando dentro desta tubulação nos indica pressões iguais na entrada e na saída. Quando existem diferenças de pressão, os perfis de gramatura serão variáveis.

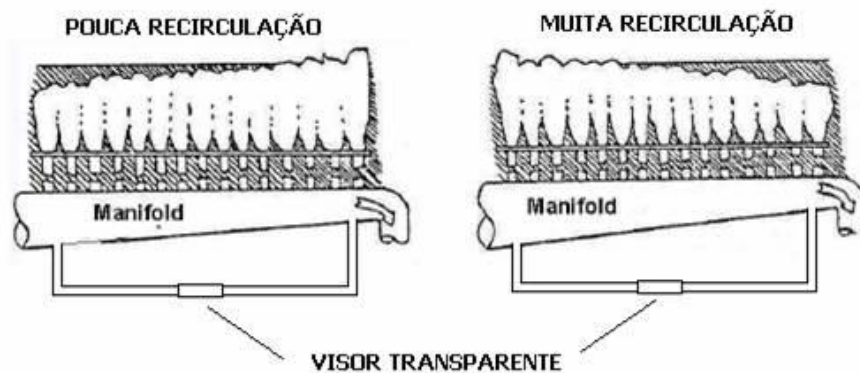


Figura 2.1.09 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Freqüentemente, o grau de orientação das fibras na folha de papel é estimado a partir da razão entre as resistências à tração no sentido longitudinal e transversal. A orientação dominante ou resultante será tanto maior, quanto maior for a relação numérica obtida. O processo de orientação de fibras na máquina de papel é acompanhado pelo cisalhamento entre fibras e conseqüentemente desfloculação das mesmas. A figura 2.1.10 mostra um exemplo de orientação uniforme de fibras.

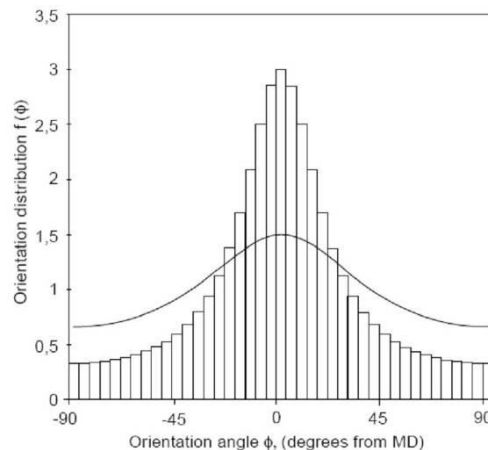


Figura 2.1.10 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

#### 2.1.5.4. Limpeza

A caixa de entrada deve operar continuamente sem incrustações de sujeira, fibras ou químicos. Com o uso de mais e mais fibras recicladas isto tem se tornado muito importante para as caixas de entrada “tissue”. O desenho da caixa de entrada e a velocidade de fluxo através dela são os parâmetros críticos.

#### 2.1.5.5. Geometria estável do jato

Como o jato pode colapsar com o aumento da distância até a área de formação é importante que o comprimento livre do jato seja tão pequeno quanto possível.

#### 2.1.5.6. Capacidade de assentamento de camadas

O assentamento em camadas nos vários tipos de papel é, hoje, muito comum e das novas instalações de caixa de entrada, muitas são agora com a capacidade de assentamento em camadas. A pureza da camada obtida determinará a melhoria do produto e também um certo grau de melhoria no desempenho e andamento da máquina.

## 2.2. SEÇÃO DE FORMAÇÃO DOS DIFERENTES TIPOS DE FORMADORES (CARACTERÍSTICAS E DIFERENÇAS)

A variação de tipos de máquinas está muito ligada ao tipo de formador que a máquina possui. Para isso classificamos as máquinas através dos variados tipos de formadores. Existem

---

no mercado vários tipos de formadores disponíveis: forma redonda, mesa plana ou “Fourdrinier”, tela inclinada com rolo formador de sucção, dupla tela com rolo formador sólido e “Crescent Former”.

A formação é a chave do sucesso para se obter um bom produto “tissue”. O formador do tipo “Crescent Former”, comprovadamente, proporciona uma formação bem superior a mesa plana, independentemente da matéria prima.

Um formador é composto por rolos cabeceira, rolos-guia para suportar a tela e rolo acionador. No caso do “Crescent Former”, o rolo formador é o próprio acionador. Um desses rolos guias é utilizado para tencionar a tela e outro rolo guia é utilizado para esticar a tela.

No formador de mesa plana, todos os rolos são fixos e no “Crescent Former” o rolo cabeceira deve ter posição ajustável para permitir melhor alimentação e direcionamento do jato. O último rolo guia deve ser também ajustável para não interferir na saída da folha.

No formador “Crescent Former”, a grande preocupação é como o recolhimento da água branca. Pelo volume, direcionamento do fluxo e o pequeno espaço físico, este recolhimento tem que ser adequadamente dimensionado para evitar turbulências, incorporação de ar e permitir homogeneidade no fluxo. Esta preocupação também deve ter com a mesa plana, porém, neste caso a condição física favorece a instalação.

Os fatores mais importantes que afetam o processo de formação da folha são os seguintes:

- Matérias-primas e tipos de fibra;
- Consistência da massa na caixa de entrada e grau de refinação: normalmente trabalhamos com consistência na caixa de entrada na ordem de 2 a 4 g/l (0,2 a 0,4%), e as fibras devem estar uniformemente distribuídas e homogeneamente dispersas na suspensão;
- A geometria do jato da caixa de entrada;
- Velocidade do jato em relação à tela;
- Tipo de tela / feltro;
- Retenção de fibras.

### 2.2.1. Máquina com mesa plana (“Fourdrinier”)

A máquina com mesa plana (figura 2.2.01) tem as seguintes características de processo:

- a) O jato controlado pelo lábio da caixa de entrada é lançado sobre a tela a uma consistência de 0,2 a 0,4 %, dependendo principalmente da gramatura.
- b) O fluxo de massa permanece sobre a tela cerca de 6 metros e durante este estágio, normalmente, há três fases de desaguamento. A primeira sobre o efeito simples da gravidade até atingir cerca de 1,5 % de consistência. O segundo, sobre o efeito dos “foils” das caixas úmidas até atingir 3 % de consistência.
- c) Por último, o sobre o efeito do vácuo (de 0,2 a 0,4 mca) aplicado nas chamadas caixas de pressão, até atingir cerca de 10 a 20 % de consistência. Algumas máquinas de maior velocidade são dotadas de rolo cabeceira com tela.

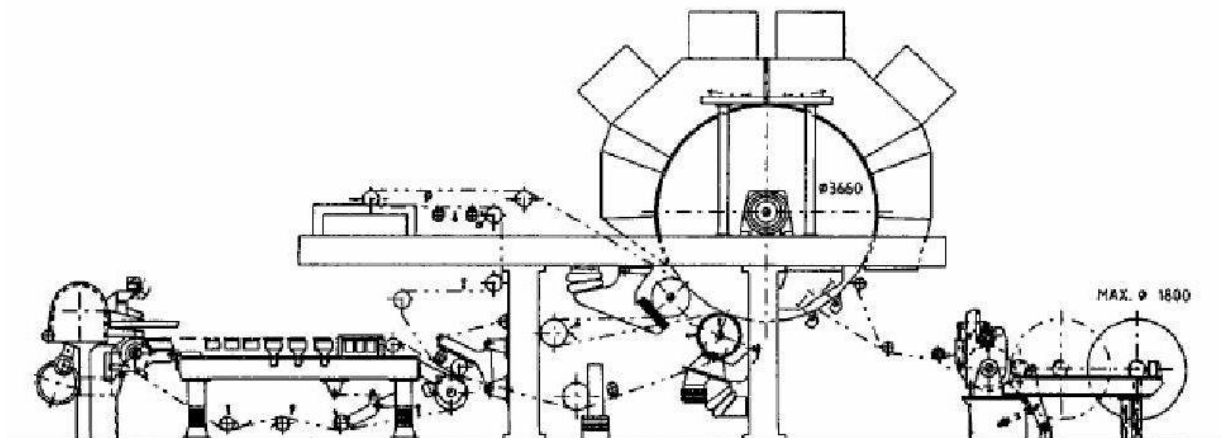


Figura 2.2.01 (FONTE: Apostilas ABTCP)

O direcionamento das fibras é também consequência da relação entre as velocidades de jato e da tela. Esta relação é fundamental para equacionar as características físicas de resistência da folha, seja mais para um quadrado (em toalhas e lenços) ou mais para longitudinal (papel higiênico).

A grande dificuldade na operação deste tipo de máquina é conseguir um forte efeito de desaguamento com boa formação sem, entretanto, fechar demasiadamente o papel, pois esta situação gera diminuição no corpo (“bulk”) com respectiva perda de absorção, principalmente quando se utiliza fibras de diferentes características. Esta regulagem é conseguida com o auxílio das régua colocadas sobre as caixas da tela.

Para efeito comparativo, a folha normalmente é formada de 0,375 segundos até por volta de 2 segundos, e este tempo é suficiente para haver um rearranjo na distribuição das fibras, principalmente no sentido vertical. Após a mesa a folha é retirada da tela e transferida para o feltro. Em velocidades maiores que 400 m/min é necessário o auxílio de um tubo a vácuo denominado de tubo “pick up”.

Outra característica deste formador é a necessidade de refile contínuo (cerca de 25 a 50 mm, em cada lado) na saída da tela, para limitar o formato. O recolhimento de água branca é dividido em duas partes. A primeira, que corresponde a cerca de 90% do total, através de bandeja metálica de simples construção, e pelo espaço, direcionamento de fluxo vertical e configuração disponível, pode ser planejada de forma simples somente respeitando seu direcionamento. O segundo desague é dirigido a uma caixa de selagem, pois é feito através de vácuo. Este fluxo por ser “pobre” em sólidos e retorna ao processo no circuito secundário.

As principais características da mesa plana são:

- Tipo de formação convencional;
- Potencial de velocidade limitado (aproximadamente 1000 m/min);
- Utilização de média consistência na caixa de entrada;
- Dificuldade em se obter melhor formação;
- Limitações na relação de tensões longitudinais e transversais.

Os elementos básicos deste tipo de formador são:

- Rolo cabeceira sólido ou ranhurado tipo “egoteur”;
- Elementos desaguadores da mesa.

Para este tipo de formador é necessário que o desaguamento ocorra de uma maneira brusca em cima do rolo cabeceira tipo ranhurado (quando existir). Estima-se que 80 % da água deva ser removida logo na entrada da mesa e o restante ao longo dos elementos desaguadores, devendo ocorrer de uma maneira uniforme gradual e positiva. Esta drenagem ao longo da mesa plana deve obedecer aos limites de trabalho para não afetar a formação da folha.

No início da formação devemos utilizar “foils” com pequenos ângulos e bem espaçados, dando com isso uma agitação moderada nas fibras e permitindo atingir as propriedades e qualidade de formação da folha desejada. Com a primeira etapa concluída, ou

seja, a formação da folha, se pode iniciar o estágio de drenagem, sempre adotando a sistemática de ser gradativa para evitar as excessivas perdas de finos e de outros problemas que afetem a qualidade da folha. Após a drenagem com elementos desaguadores de alta drenagem, entra-se na fase de drenagem severa através das caixas de vácuo. Quando não possuímos rolos cabeceiras tipo ranhurado, neste tipo de formador, não devemos considerar o valor de 80 % de desaguamento no início da mesa.

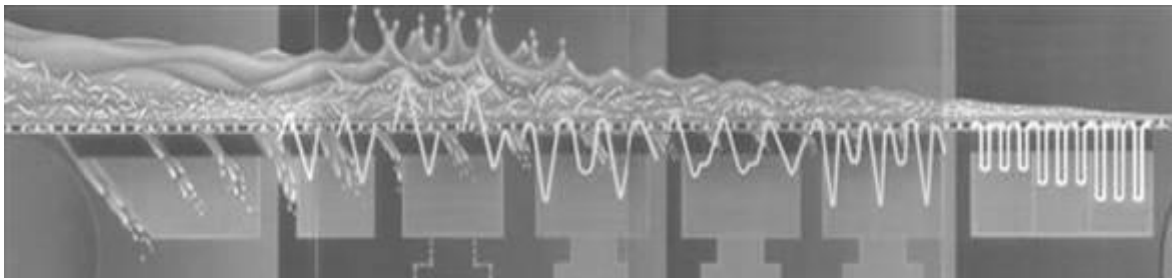
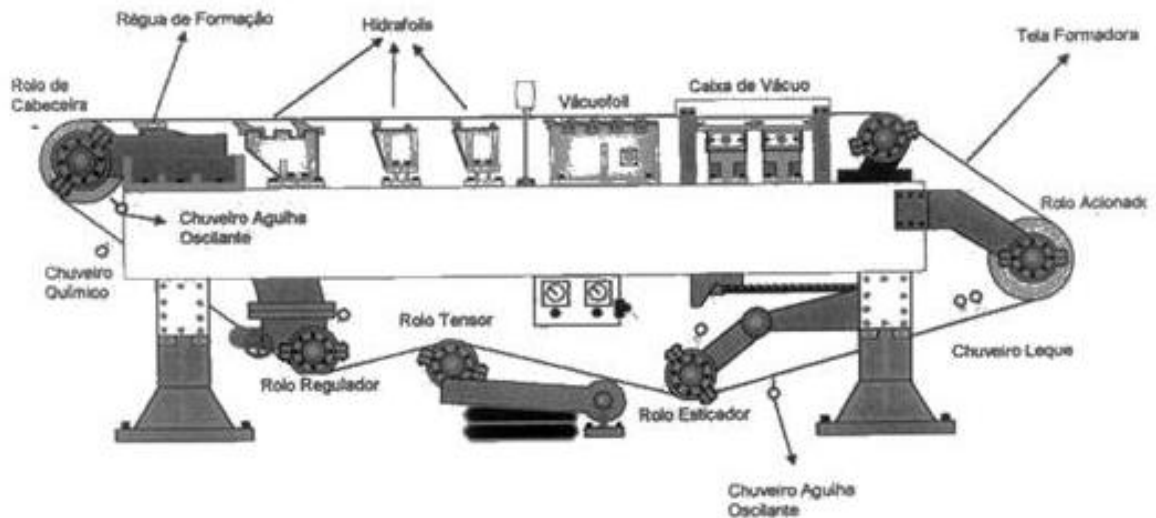


Figura 2.2.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A mesa plana tem a função de suportar a tela o receber o jato de massa vindo da caixa de entrada. Consiste de uma tela sem fim que escorrega sobre uma série de elementos desaguadores suportados numa estrutura física adequada, além destes elementos, a mesa plana possui uma série de acessórios, tais como os rolos guias e os chuveiros limpadores da tela formadora.

Na figura 2.2.02 aparece a mesa plana com seus principais componentes: rolo cabeceira, régua de formação (“forming board”), “hidrofoils”, “vácuofoils”, caixas de vácuo,

tela formadora, rolo acionador, chuveiro leque; chuveiro agulha oscilante; rolo esticador; rolo tensor; rolo regulador; chuveiro químico e chuveiro agulha oscilante.

#### 2.2.1.1. Formação da folha de papel

A folha de papel é feita pela deposição de fibras de uma suspensão aquosa, com consistência a partir de 0,2% (“tissue”), sobre a tela da máquina. Mais de 98 % da água pode ser removida por drenagem na tela. Para qualquer sistema de formação, o principal requisito é produzir uma folha que possua distribuição uniforme de fibras. Para alcançar isto, as fibras devem ser uniformemente dispersas na suspensão, a qual deve ser enviada à seção de formação já como um filme uniforme. No nível físico, poderíamos comparar a formação à uniformidade com que o papel transmite a luz. Assim, pois, o melhor papel será aquele que apresenta um aspecto mais uniforme contra a luz (figura 2.2.03).

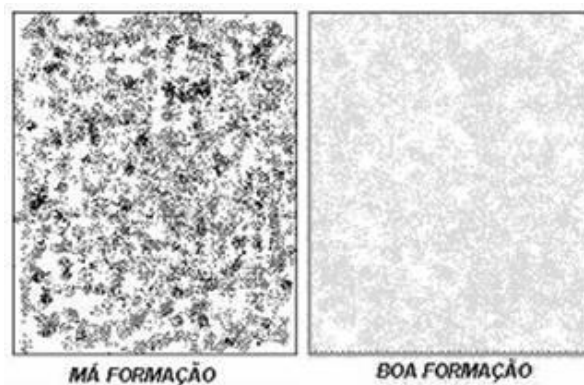


Figura 2.2.03 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

No caso de uma consistência de caixa de entrada de 0,2%, por exemplo, as 99,8 partes de água (que foram de grande utilidade como veículo de transporte das fibras e finos) passam a ser indesejáveis e têm que ser eliminadas. Esta eliminação é feita pela drenagem de água feita através das malhas da tela da mesa plana e provocada pelos elementos desaguadores representados na tabela 2.2.01. Estes elementos podem ser construídos com materiais de “polietileno de ultra-alto peso molecular” ou, em alguns casos, de cerâmica.

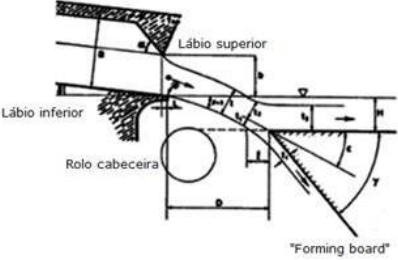
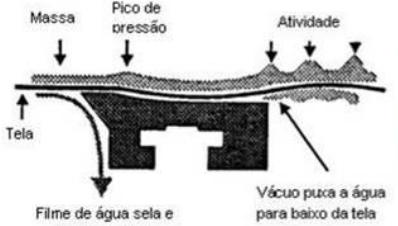
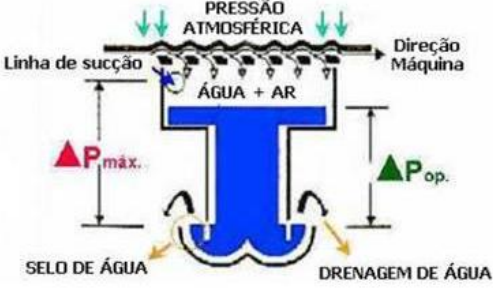
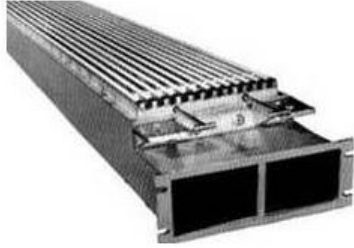
Elemento desaguador	Características
<p>Mesa de formação (“forming board”)</p> 	<p>A razão do nome mesa de formação (“forming board”) para este dispositivo pode ter advindo da observação dos papaleiros da tremenda influência que tinha a localização deste dispositivo, sobre a formação.</p> <p>O “forming board” está entre o rolo cabeceira e o primeiro “foil”. Este trecho é crítico na formação da folha. O “forming board” não só suporta a tela de fabricação, mas também evita a drenagem da massa de forma brusca.</p> <p>O desenho mais conveniente de “forming board” é aquele que permite mover horizontalmente e verticalmente o papel em relação ao rolo cabeceira modificando desta forma o ângulo do jato.</p>
<p>“Foils”</p> 	<p>“Hidrofoils” ou “foils” são elementos estáticos de desaguamento constituídos de uma lâmina cuja inclinação varia de 0° a 5°. A tela (elemento móvel) ocasiona o arrasto de ar, esta quantidade de ar não pode ser recuperada pela atmosfera, e assim, após a zona de contato (“foil”- tela) se produz o vácuo. Quando a tela sai de um “foil” a água não removida fica colada na parte inferior da mesma, no “foil” seguinte a tela em contato com o ângulo de ataque do “foil” faz com que a água retida na sua parte inferior seja eliminada.</p>
	<p>Estas caixas possuem alta capacidade de drenagem sem introdução de distúrbios na folha formada, e de controle simples. O vácuo utilizado para a remoção de água através das caixas se processa pela redução de pressão abaixo da pressão atmosférica dentro da caixa, o que força a água e os finos a passagem através da tela para o seu lado inferior, na medida em que a tela passa sobre o rasgo.</p> <p>A régua esse raspa esse material fora da tela para dentro da caixa. Tal ação se repetirá de acordo com o número de rasgos e lâminas ou até que a selagem da folha ocorra. Por esta razão o corpo da caixa é razoavelmente alto e fechado, atuando como uma perna barométrica.</p>
<p>Caixas de alto vácuo</p> 	<p>As caixas de alto vácuo, também conhecidas por caixas de sucção da tela, são revestidas por material plástico ou cerâmico, com aberturas de sucção do tipo rasgo ou orifício. Devido à sua dureza, o material cerâmico não se impregna com partículas duras (tais como quartzo), evitando desgastes localizados na tela.</p> <p>De uma maneira geral, as caixas são usadas em grupos de doia a três no caso de papéis “tissue”, e o vácuo nelas aplicado cresce de caixa para caixa, no sentido da tela. As primeiras caixas retiram maiores quantidades de água do que as últimas.</p>

Tabela 2.2.01 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos – Várias fontes)

### 2.2.2. Mesa inclinada

Na década de 1.970, em função do crescimento do consumo de papéis “tissue” pelo mundo, a adaptação de máquinas já não era um bom negócio e fez-se necessário o desenvolvimento de máquinas específicas, principalmente pelos fabricantes de papéis “tissue” da América do Norte. Ao criarem sua tecnologia, eram patenteadas e os resultados não eram



divulgados. O principal objetivo era otimizar a formação e os fabricantes de máquinas partiram para a mesa inclinada (figura 2.2.02) com o rolo cabeceira de sucção.

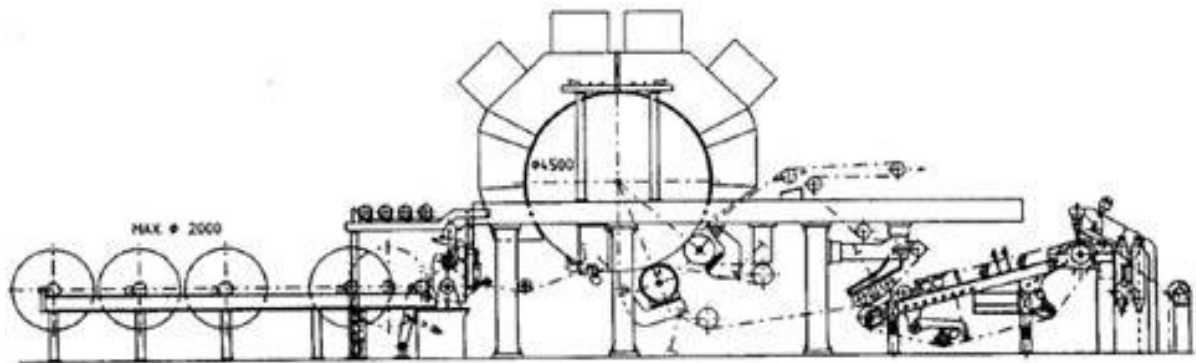


Figura 2.2.02 (FONTE: Apostilas ABTCP)

Em termos de Brasil nesta época foram instaladas três máquinas deste tipo, fabricação Voith, e com velocidade máxima de operação de 1.500 m/min. Acima deste valor, haveria problemas de formação, provocado pela forte coluna de vácuo que seria necessária para drenagem da água no rolo cabeceira (este é que tem a sucção). Deste tipo de máquina instalada no mundo deve-se ter cerca de 30 unidades.

O desenho mostra um grande rolo cabeceira com a massa entrando na mesa plana. A grande quantidade de sucção desenvolvida no rolo cabeceira é utilizada para drenar a água rapidamente. Esta mesma alta velocidade de forma ao pode beneficiar a folha congelando, isto é, rapidamente estancando o fluxo turbulento vindo da caixa de entrada ou pode prejudicar a formação da folha por remover muitas fibras e finos da mesma. A localização exata do ponto o qual a massa sai do lábio da caixa para a tela varia de fábrica e tipos de papéis fabricados. A formação é por pressão, isto é, o lábio superior da caixa de entrada pressiona a tela, deformando-a pela pressão do fluxo da suspensão e produzindo uma drenagem forçada.

O jato controlado pelo lábio da caixa de entrada é lançado sobre a tela a uma consistência de 0,2 a 0,4 %, dependendo principalmente da gramatura. O fluxo de massa e água permanece sobre a tela cerca de 6 metros, porém, para efeito de formação em torno de 0,8 m. Sobre este rolo e sobre o efeito do vácuo (normalmente, duas zonas de 0,1 a 0,2 mca), a folhas atinge cerca de 4 % de consistência. O segundo sobre o efeito também de vácuo (0,4 mca) aplicados nas caixas úmidas atinge cerca de 10 a 20 % de consistência. O direcionamento das fibras também é relação simples da relação de velocidades jato e tela.

---

A folha é retirada da tela pelo feltro “pick up” este entrega a folha no secador “Yankee”. Máquinas deste tipo podem também fabricar toalhas, mas a saída da caixa (lábio) provavelmente será mudada para trás com relação ao rolo cabeceira e por aumentar o peso do papel sobre a tela será necessário também aumentar a seção de formação.

O problema maior no funcionamento deste tipo de máquina, como já foi citado, é a operação do rolo cabeceira de sucção (consumo de vácuo e ruídos na máquina), porém, os problemas de formação da mesa plana de acomodação das fibras com perda de absorção foram eliminados. A velocidade máxima atingida numa máquina deste tipo pode chegar a 1.600 m/min.

Para efeito comparativo a folha normalmente é formada de 0,03 segundos até por volta de 0,05 segundos e este tempo tornou-se insuficiente para haver um rearranjo na distribuição das fibras. Após a mesa inclinada, a folha é retirada da tela e transferida para o feltro com o auxílio de um tubo a vácuo chamado tubo “pick up”.

O recolhimento da água branca é dividido em duas partes, como numa mesa plana, porém com o auxílio do vácuo já na formação.

As características deste tipo de formador ROLO FORMADOR DE SUCÇÃO são:

- Alta capacidade de drenagem através do rolo formador de sucção;
- Potencial de velocidade limitada pelo formador (aproximadamente 1.500 m/min);
- Possibilidade de utilizar baixa consistência da massa na caixa de entrada;
- Qualidade de formação muito boa;
- Boa capacidade de ajuste nas relações longitudinais e transversais.

O lábio superior da caixa de entrada possui sua parte frontal prolongada envolvendo o rolo formador de sucção. O fluxo de água e massa é direcionado contra o rolo formador de sucção. Este rolo é constituído de duas ou três zonas de sucção (esta variação depende do fabricante), recoberto por uma camisa sintética que provoca a drenagem removendo a água por sucção e lançando-a para a calha da mesa da tela. Pode-se considerar que este rolo é responsável pela formação e, aproximadamente, pela drenagem total da água da parte da tela formadora.

### 2.2.3. Dupla tela

A dupla tela (figura 2.2.03) foi desenvolvida no final da década de 1.970 e muito comercializada principalmente na Europa na década de 1.980, sendo já uma tecnologia totalmente diferente. A tela dupla foi na realidade um desenvolvimento dos fabricantes de máquina inspirado na “Crescent Former”, que já era conhecida, porém, era um equipamento patenteado por um fabricante de “tissue”.

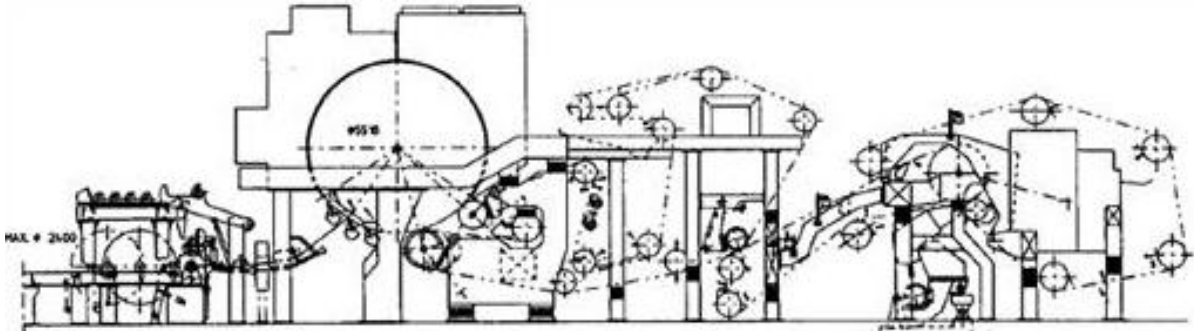


Figura 2.2.03 (FONTE: Apostilas ABTCP)

As características de alimentação são bem diferentes, o jato da caixa de entrada é lançado entre duas telas. Estas telas estão apoiadas em rolo de grande diâmetro (1.100 a 1.500 mm), chamado rolo formador.

O tempo de formação é bastante reduzido, mesmo considerando a mesa plana inclinada. O papel é formado em torno de 0,15 metros e o tempo de formação é de cerca de 0,01 a 0,004 segundos. A folha permanece sobre a tela cerca de 6 metros, porém, somente para condução, sem efeito de formação ou desaguamento. O direcionamento das fibras também é idêntico em todos os conceitos de máquina, ou seja, a relação simples de velocidades do jato e da tela. A velocidade máxima para este conceito de máquina não é conhecida. Hoje, estão sendo projetadas para 2.200 m/min.

Após a folha ser formada no “sanduíche” das duas telas, a folha permanece sobre a segunda tela e é retirada para o feltro com o auxílio de um tubo a vácuo chamado tubo “pick up”.

O recolhimento de água branca é feito em um só ponto, na frente da máquina, atrás do rolo formador, horizontalmente, através de bandejas e dutos especialmente desenhados para evitar respingos, homogeneizar a saída do fluxo e ainda não permitir excesso de nebulosidade.

As características deste formador são:

- Alta capacidade de drenagem através das telas;
- Alto potencial de velocidade (opera até aproximadamente 2.200 m/min);
- Possibilidade de utilizar baixa consistência da massa na caixa de entrada;
- Qualidade de formação muito boa;
- Boa capacidade de ajuste nas relações longitudinais e transversais;
- Geralmente apresenta dificuldades com “stickies” quando utiliza-se fibras secundárias.

Este sistema é constituído por um rolo formador sólido e o fluxo da caixa de entrada é direcionado entre duas telas forçando o desaguamento através da tela superior. Após o desaguamento por centrifugação ocorrido no rolo formador ocorre a separação das telas, sendo necessária a transferência da folha para a tela inferior. Isto ocorre através da ação de uma caixa “foil” de sucção instalada interna a tela inferior que, através do “foil” com vácuo, provoca a permanência da folha na tela inferior. As figuras 2.2.04 e 2.2.05, respectivamente, mostram uma máquina “C-Former” com prensa de sucção (80 kg/cm) e uma máquina “S-Former” com prensa de sucção e “dry-press”, ambas “Twin Wire”.

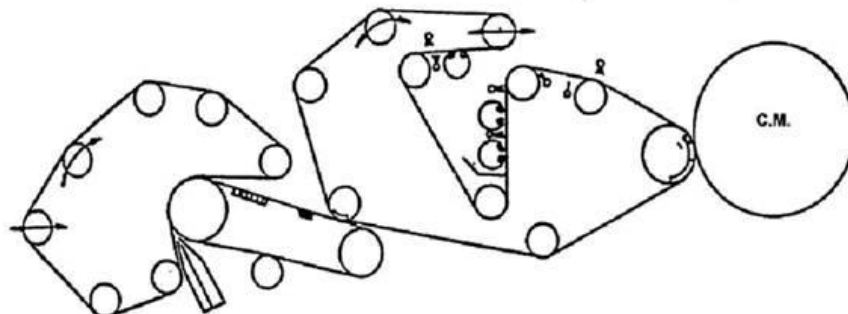


Figura 2.2.04 (FONTE: Apostilas ABTCP)

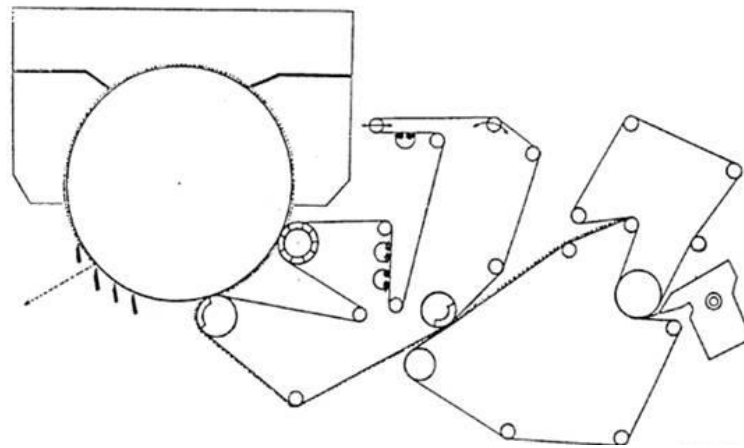


Figura 2.2.05 (FONTE: Apostilas ABTCP)

#### 2.2.4. “Crescent Former”

O “Crescent Former” (figura 2.2.06), atualmente, atualmente a máquina de fabricação de papel “tissue” mais utilizada comercialmente, responde por mais de 60 % do fornecimento de máquinas “tissue”. Suas vantagens são incontestáveis e suas únicas limitações, ainda não muito bem conhecidas, são: a aplicação em papéis de alta gramatura (acima de 30 g/m<sup>2</sup>) e o limite mínimo de velocidade (cerca de 400 m/min).

Uma comparação entre os formadores do tipo “crescent former” e os demais formadores é muito difícil de ser feito, devido a simplicidade de seu desenho que gera vantagens na operação, manutenção e consumo energético.

A alimentação é feita com o jato da caixa de entrada lançado na tela, no instante seguinte a folha é conduzida em forma de “sanduíche” entre esta tela e o feltro. Tanto a tela como o feltro são apoiados em um único rolo de grande diâmetro (1.100 a 1.500 m/min), chamado de rolo formador. O tempo de formação é similar ao de dupla tela, ou seja, o papel é formado em cerca de 0,15 segundos.

Todo o desague é feito nesta faixa e, posteriormente, a folha é conduzida pelo feltro até a prensa de sucção contra o monolúcido sem nenhum auxílio ou função. O vácuo somente é aplicado no rolo de sucção e no condicionamento do feltro. Como todos os conceitos de máquina, a resistência é a simples relação de diferenças de velocidades do jato e da tela.

Como na dupla tela, a velocidade máxima para este conceito de máquina ainda não é conhecida. Hoje, estão sendo projetadas para 2.200 m/min, podendo chegar a 2.500 m/min.

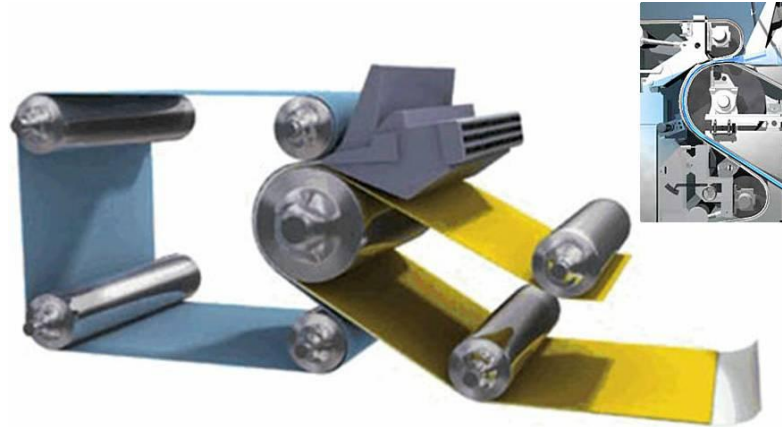


Figura 2.2.06 (FONTE: Apostilas ABTCP)

São características do “Crescent Former”:

- Alta capacidade de drenagem através das telas;
- Alto potencial de velocidade; é atualmente o formador que possui possibilidades de operar nas maiores velocidades (opera até aproximadamente 2.200 m/min, estimando-se atingir até 2.500 m/min);
- Possibilidade de utilizar baixa consistência da massa na caixa de entrada;
- Qualidade de formação muito boa;
- Boa capacidade de ajuste nas relações longitudinais e transversais;
- Excelente conceito para operar com fibras secundárias.

Este sistema é constituído por um rolo formador sólido em que o fluxo da caixa de entrada é direcionado entre a tela formadora e o feltro, forçando o desaguamento por centrifugação através da tela. Na separação da tela e feltro, o papel acompanha naturalmente o feltro. Este sistema possui a vantagem de não necessitar do sistema “pick up” para transferência da folha ao feltro. Outro ponto importante a se observar no sistema “Crescent Former” é a não existência de elementos desaguadores na parte da tela que provocam atrito na mesma desgastando-a de uma maneira prematura.

O recolhimento de água branca é feito em um só ponto, na frente da máquina, atrás do rolo formador, quase horizontalmente, através de bandejas e dutos especialmente desenhados para evitar respingos, homogeneizar a saída do fluxo e ainda não permitir excesso de

nebulosidade (figura 2.2.07). A diferença entre a dupla tela e o “crescent former” é que o jato neste caso é lançado sobre o rolo formador e na dupla tela sob o rolo formador.

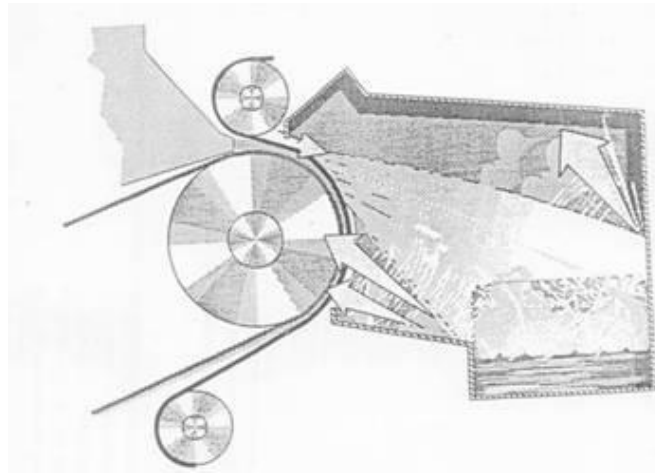


Figura 2.2.07 (FONTE: indeterminada)

Na seção de formação o controle dos defeitos e das propriedades qualitativas do papel em geral é função dos seguintes parâmetros relacionados às vestimentas:

- Velocidade relativa entre feltro-tela e o jato da massa;
- Ângulo entre tela e feltro;
- Forma geométrica do jato de massa em função da abertura dos lábios CE;
- Desenho e estrutura da tela e feltro utilizados;
- Consistência da massa;
- Movimentos de turbulência que se originam na zona de formação;
- Velocidade de impacto do jato sobre a malha da tela;

É necessário trabalhar sobre estes parâmetros aperfeiçoar a formação. É importante a cobertura da malha ao redor do rolo formador, pois irá influir sobre a eficiência da drenagem (varia o tempo de permanência da pasta entre feltro e tela); fora de certo limite pode-se comprometer a regularidade da separação da folha. A variação da superfície de cobertura da tela ao redor do rolo formador se obtém ajustando a posição do rolo superior (movimento seguindo eixos “y”) e inferior do percurso da tela (figura 2.2.08).

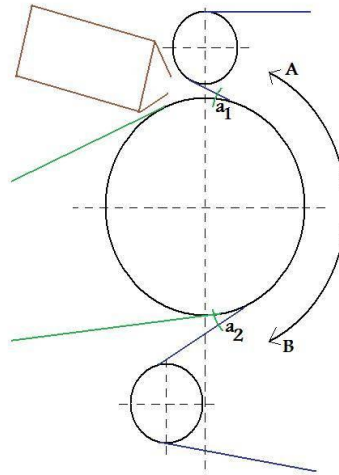


Figura 2.2.08 (FONTE: Celulosa y Papel)

Provas experimentais efetuadas demonstram que se deve manter os ângulos  $a_1$  e  $a_2$  dentro de uma escala de 8 a 12° que constitui o limite dentro do qual pode-se variar o braço da tela – arco AB.

Outro problema se refere ao impacto do jato sobre a tela. É um fenômeno hidrodinâmico muito instável e difícil de controlar devido a três razões:

- Elevada velocidade como, por exemplo, 1.700 m/min (tela), 1.650 m/min (jato);
- Elevada tensão da tela: 7 kg/cm;
- Estado superficial do feltro.

Estes parâmetros criam turbulência e formação irregular se não se efetua um adequado ajuste. Notamos que o impacto do jato tem que ser adiantado sobre o feltro para permitir um escape hidráulico das pressões para “nutrir” o mecanismo de formação da folha.

Também esta oportunidade de ajuste se limita dentro de uma escala bem definida, pois um jato orientado preferencialmente em direção ao feltro o abarrotará.

O ajuste deste fenômeno sempre se obtém baixando e elevando na direção “y” o rolo superior do percurso da malha. Os ângulos entre malha/feltro e de cobertura são função das particularidades construtivas da zona de formação, quer dizer dos diâmetros dos rolos guia feltro e do rolo formador. Isto é mostrado na figura 2.2.09, onde também se pode ver o jato de pasta que sai dos lábios da caixa de entrada.



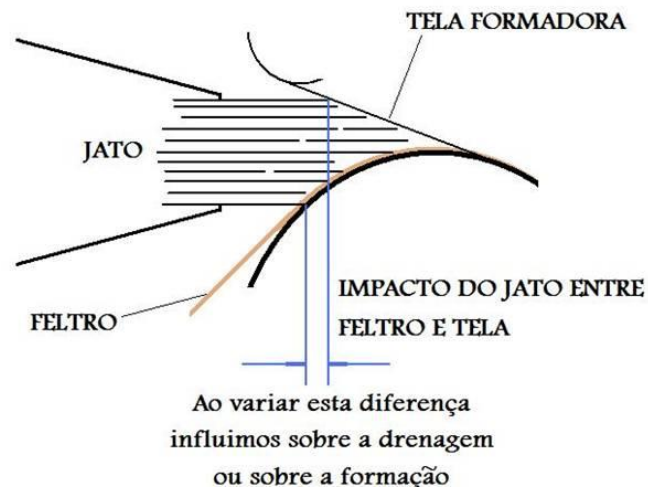


Figura 2.2.09 (FONTE: Celulosa y Papel)

Depois de umas provas averigou-se que a abertura ótima do jato varia entre 9,5 e 13 mm, pois pode-se controlar os fenômenos de turbulência e obtém-se uma formação ótima da folha.

Na tabela 2.2.02 aparecem alguns dados de máquinas “Crescent Former”:

Máquina	CF 01	CF 02	CF 03
Velocidade tela, m/min	1700	1840	1500
Velocidade enroladeira, m/min	1560	1660	1350
Matéria prima	FC destintada	FC destintada	FC+FL+aparas
Gramatura, g/m <sup>2</sup>	12,9	13,0 a 16,0	13,0 a 26,0
Largura do lábio, m	5,31	5,28	3,35
Consistência na cx de entrada (%)	0,25 a 0,30	0,18 a 0,23	0,25 a 0,30
Medidas da tela, m	18,20 x 5,35	18,90 x 5,31	17,10 x 3,38
Duração da tela	4 meses	2 a 3 meses	2 a 3 meses

Tabela 2.2.02 (FONTE: Celulosa y Papel)

A tabela 2.2.03 mostra algumas diferenças entre os tipos de formadores apresentados.

Propriedade	Mesa plana	Mesa inclinada (“Suction Breast Roll”)	Dupla tela (“Twin Wire”)	“Crescent Former”
Formação	Regular	Boa	Ótimo	Excelente
“Bulk” (volume específico)	Regular	Boa	Ótimo	Ótimo
Gramatura	Regular	Boa	Excelente	Ótimo
Resistência L/T	Regular	Ótima	Boa	Ótimo
Limite de velocidade (m/min)	1000	1600	2100	2100
Tempo para troca de tela (h)	3 a 4	1	2	0,5
Maciez	Regular	Ótima	Boa	Boa
Eficiência	Regular	Ótima	Boa	Ótima
Custo-benefício	Ruim	Bom	Bom	Excelente

Tabela 2.2.03 (FONTE: Voith Paper; Sandusky Papermaking Machinery)

### 2.3. MANEJO DA ÁGUA

As fábricas de papel utilizam um volume muito grande de água em suas operações e a busca do seu reaproveitamento ainda é nos dias de hoje um fator de constantes estudos. A maioria da água que é desaguada na seção de formação da mesa plana é utilizada para alimentar vários setores da fábrica. Mas esta água desaguada contém certo teor de fibras de, aproximadamente, 10%, na sua maioria finos que atravessam os orifícios da tela formadora e se encontram em suspensão nesta água. Estima-se que esta quantidade de fibra que passa pela tela seja algo em torno de 5% do total (dependendo do tipo de processo, é óbvio). Representa, portanto, uma quantidade bastante expressiva. Com a função de recuperar esta fibra e limpar a água para que ela possa ser reutilizada, existem equipamentos que promovem esta separação de maneira satisfatória. Um exemplo destes equipamentos é o “krofta supercell” (figura 2.3.01).



Figura 2.3.01 (FONTE: [www.kroftaengineering.com](http://www.kroftaengineering.com))

O “krofta” é um equipamento que consiste em um tanque onde toda água branca proveniente da drenagem da mesa plana é descarregada. Esta água é chamada de branca porque contém fibras de celulose. Com uma pá giratória que pode ser controlada a sua velocidade, ela recolhe as fibras que ficam suspensas com a sua pá giratória e essas fibras são transportadas para um tanque e misturadas com o refugo e mais tarde serão reutilizadas no processo na forma de dosagem de refugo.

A água recuperada é denominada água clarificada. Esta água é utilizada em várias outras seções da fábrica como, por exemplo, desagregação de fardos, água de limpeza, água de gaxetas e até mesmo água de diluição. Mas, em alguns casos, o fechamento completo do sistema não é recomendado porque na falta de uma entrada de certa quantidade de água fresca surgem problemas de resina e lodo, o que constitui um sistema ideal para a proliferação de bactérias de lodo. Além da proliferação de bactérias, o lodo pode ficar depositado em tubulações, tanques e outras partes do circuito, podendo se soltar e penetrar na massa, formando no papel furos e outros defeitos. Este problema bacteriológico é contornado com a

adição de bactericidas e com um controle bacteriológico realizado periodicamente em tanques de massa. Outros equipamentos de recuperação de fibras são: “side-hill”, filtro cilíndrico de gravidade, recuperadores por sedimentação e recuperadores mecânicos.

#### 2.4. TIPOS DE TELAS FORMADORAS E SUA LIMPEZA

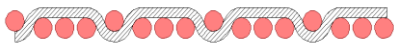
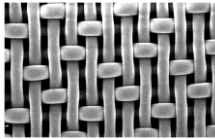
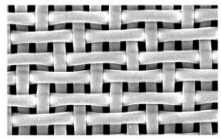
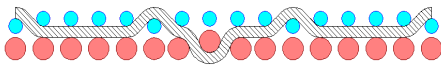
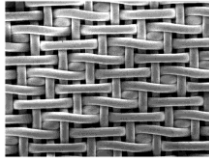
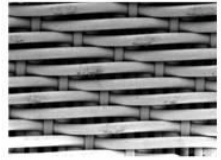
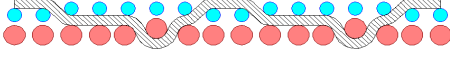
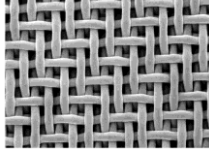
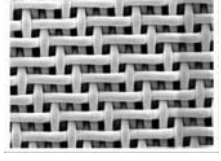
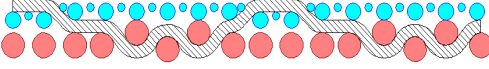
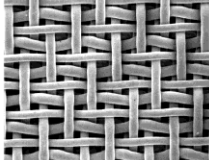
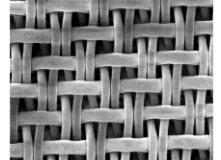
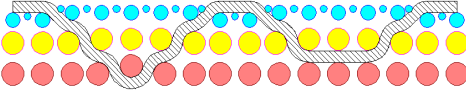
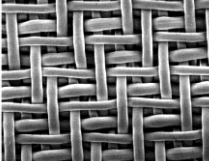
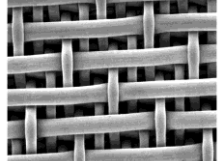
TIPO DE TELA	LADO PAPEL	LADO FELTRO
 MONOCAMADA		
 CAMADA E MEIA		
 DUPLA CAMADA		
 DUPLA CAMADA E MEIA		
 TRIPLA CAMADA		

Figura 2.4.01 (FONTE: Kufferath)

Uma tela formadora para a parte de formação de folha de uma máquina de papel, composta de um tecido constituído de mais de uma camada de fios sintéticos, de textura particularmente plana, com fios longitudinais que se estendem no sentido de operação da máquina e fios transversais dispostos transversalmente àqueles, sendo que um grupo de fios transversais situa-se no plano voltado para o papel, flutuando ali sobre fios longitudinais cujo número é, pelo menos, tão grande quanto o número de fios sobre os quais os fios longitudinais flutuam do lado voltado para o papel, e em que o plano voltado para a

máquina é formado exclusivamente de um segundo grupo de fios transversais. A figura 2.4.01 mostra alguns tipos de telas formadoras fabricadas pela empresa Kufferath.

Os chuveiros utilizados para a limpeza e condicionamento das telas formadoras e para outras funções ligadas às telas são basicamente os seguintes (figura 2.4.02 a 2.4.05):

- Chuveiro interno de alta pressão (“inside high pression shower”): este chuveiro é raramente utilizado hoje em dia, porém quando utilizado, funciona intermitentemente para remover contaminantes dos vãos livres da tela para a base, deslocando-os para a superfície. Trata-se de um chuveiro oscilante com bicos de jato agulha espaçados a cada 3 in e operando com pressão entre 250 e 400 psi. Fica normalmente instalado a uma distância de 4 a 6 in da vestimenta e a 90° em relação a superfície aspergida.

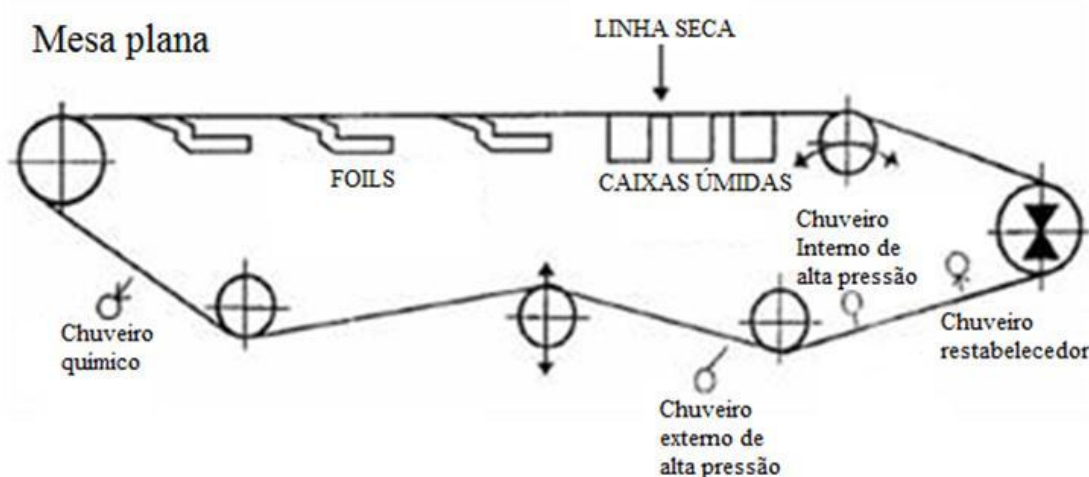


Figura 2.4.02 (FONTE: Apostilas ABTCP)

- Chuveiro de alta pressão da face papel da vestimenta (“sheet side high pression shower”): é o chuveiro mais eficaz no sistema de limpeza, utilizado em todos os tipos de formadores e operado continuamente. Seu objetivo é remover contaminantes da superfície, onde a maioria acaba se fixando. Este chuveiro é do tipo oscilante e utiliza jatos de agulha a cada 3 in, operando com pressão entre 250 e 400 psi. Seu posicionamento é de 4 a 8 in distante da vestimenta no interior do circuito em ângulo de 0 a 15° e próximo a um rolo de retorno.

## Mesa inclinada

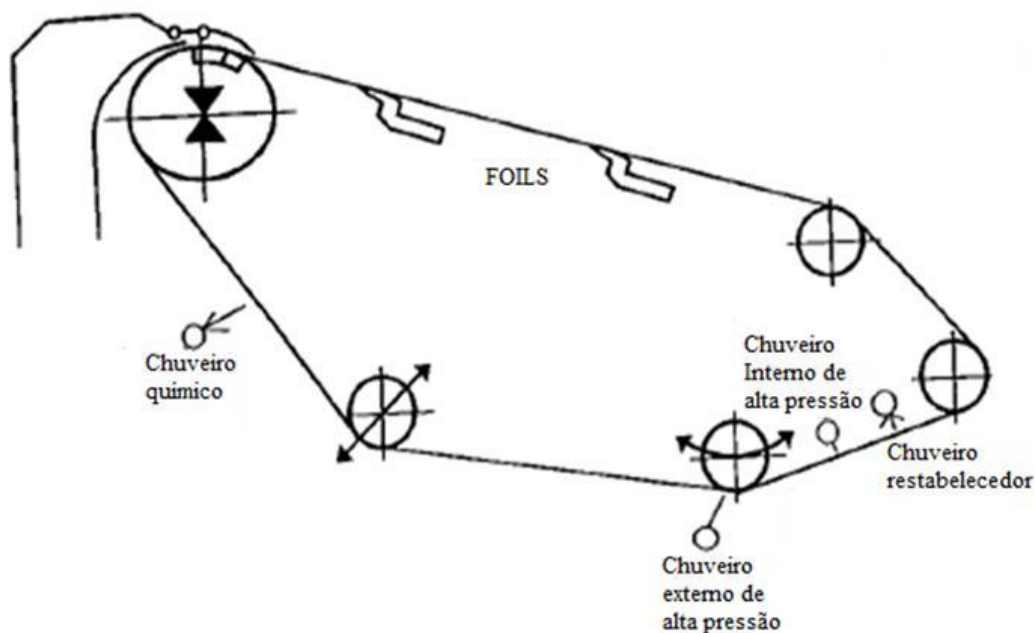


Figura 2.4.03 (FONTE: Apostilas ABTCP)

- Chuveiro químico (“chemical shower”): é um chuveiro de aplicação química e controle de pH, utilizado para condicionar a vestimenta preparando-a para receber o produto da caixa de entrada. É um chuveiro estacionário com bicos de jato em leque espaçados a cada 6 in, operando com pressão entre 40 e 60 psi.
- Chuveiro de “nip” submerso (“flooded nip shower”): é usado em quase todos os tipos de formadores de circuito no início da operação ou durante quebras da folha. Este chuveiro também é excelente dispositivo de limpeza. É, porém, de operação cara devido à quantidade de água que utiliza. É um chuveiro estacionário com bicos de jato em leque espaçados a cada 3 in, operando com pressão entre 80 a 150 psi. A quantidade de água usada é calculada a partir dados tais como espessura da tela, largura da tela, velocidade da máquina e volume vazio da vestimenta.
- O chuveiro restabelecedor (“knock-off shower”): é o chuveiro de remoção das fibras e destacamento da folha, utilizados em todos projetos de mesas formadoras pode funcionar continuamente, e para soltar a folha durante “start-up” ou quebras. É um chuveiro estacionário com jatos em leque espaçados a cada 3 in e operando com pressão entre 200 a 400 psi. Fica localizado no circuito da vestimenta.

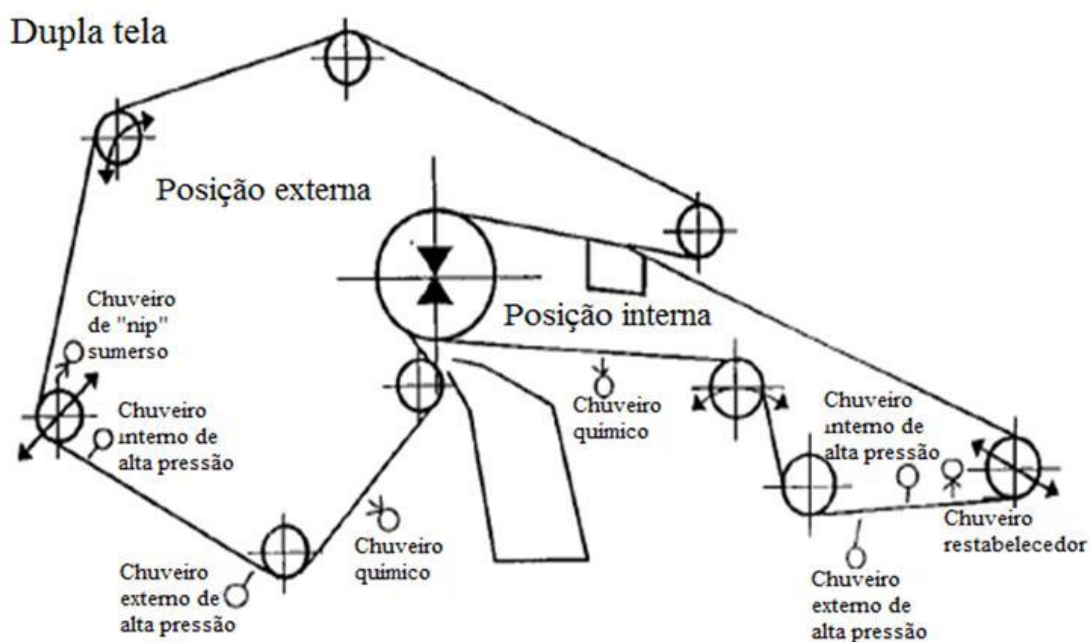


Figura 2.4.04 (FONTE: Apostilas ABTCP)

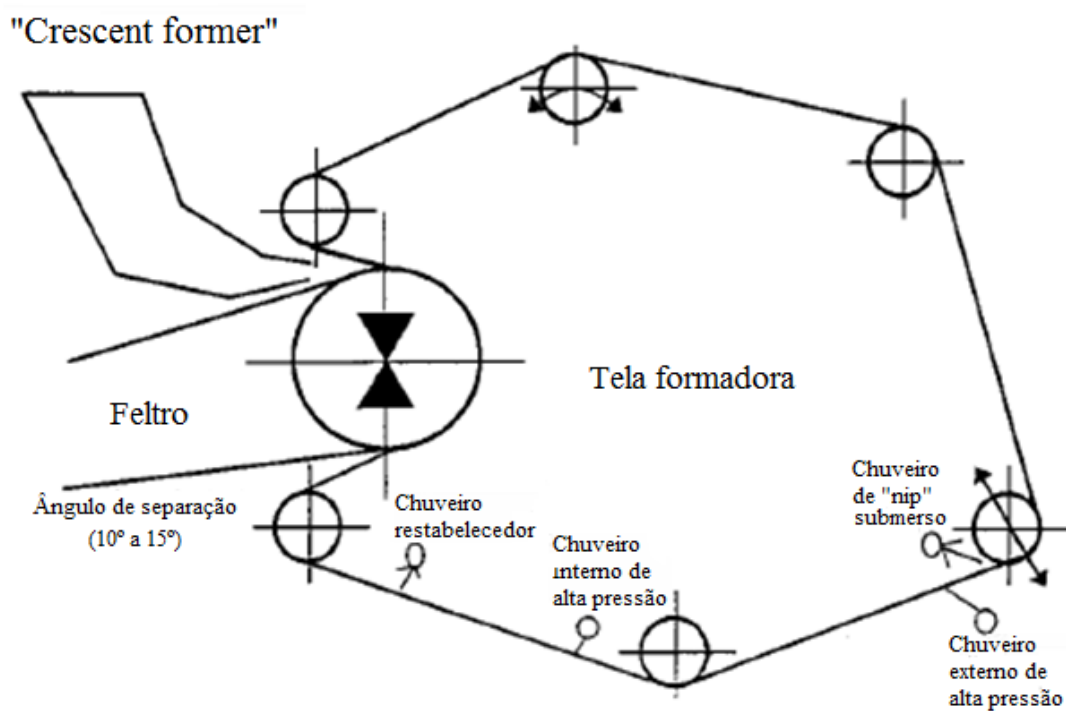


Figura 2.4.05 (FONTE: Apostilas ABTCP)

### 3. MÁQUINA DE PAPEL – SEÇÃO DE PRENSAS

#### 3.1. TEORIA DA PRENSAGEM

Na máquina a resistência mecânica da folha úmida aumenta à medida que a água é removida. Na saída da caixa de entrada a suspensão de fibras que está com uma consistência de 0,2 %, por exemplo, e por drenagem chega a 2,5 % quando se aproxima das caixas de sucção e, dependendo do papel, alcança após passar pelo rolo de sucção uma concentração de sólidos de 10 a 20 %. Estes são os limites possíveis de remoção de água por vácuo. O filme de água, mantido pela tensão superficial nas fibras, pode ser removido por prensagem. A água remanescente após prensagem estará retida por força da capilaridade dentro dos poros das fibras e dentro dos cristalitos da celulose. Esta água, principalmente a última, só pode ser removida pela aplicação de calor.

A função primordial da prensagem de uma máquina de papel é remover a quantidade máxima possível de água da folha de papel (para incremento do teor seco) antes de submetê-la à secagem por calor, interferindo na consolidação desta no “nip”. O “nip” é a denominação dada à área de contato entre o cilindro e a prensa. Esta área pode variar em função da dureza do material do revestimento da prensa, força aplicada pela prensa, espessura do feltro, diâmetro da prensa, etc. O incremento de 1 % no teor seco final da folha nas prensas resulta na economia de vapor de, aproximadamente, 4 a 5 % ou o equivalente em aumento de velocidade. A função secundária é aumentar a resistência úmida da folha e influir nas propriedades físicas e superficiais da mesma: a redução do volume específico e a melhoria da lisura da folha. A figura 3.1.01 apresenta o que acontece com a água contida na folha a medida que o papel recebe uma prensagem.

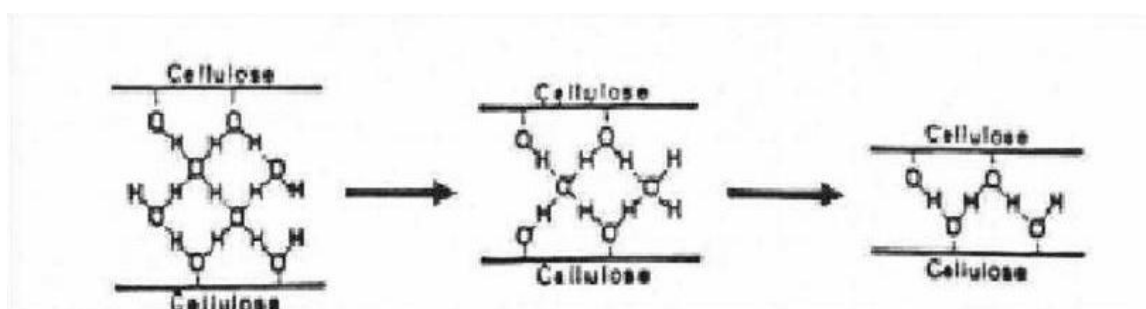


Figura 3.1.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A importância do investimento na seção úmida, a fim de alcançarmos o maior teor seco possível antes da secagem, pode ser elucidada pela tabela 3.1.01.

<b>Seções da máquina</b>	<b>Consistência</b>	<b>Desaguamento</b>	<b>Consumo aprox. de energia</b>	<b>Custo aprox. de desaguamento</b>
Formação	De 0,2 % a 10,0 %	98,2 %	13,0 %	~10%
Prensagem	De 10,0 % a 44,0 %	1,6 %	7,0 %	~12%
Secagem	De 44,0 % a 94,0 %	0,2 %	80,0 %	~78%

Tabela 3.1.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Devido aos aumentos constantes do preço da energia (tanto elétrica, quanto dos derivados do petróleo), as seções de prensagem e de secagem estão em contínuo processo de otimização, visando à redução destes custos. Além da importância econômica, estas seções são responsáveis por boa parte das características ligadas ao “handfeel” do papel “tissue”.

Até o final da década de 1.960 a prensagem estava resumida em prensas planas e de sucção, porém, sem o aproveitamento do potencial destas. A teoria do “nip” de Wahlstrom formulada em 1.960, e refinada posteriormente em 1.968, teve influência decisiva na rápida evolução da prensagem. Surgiu, portanto, o conceito do fluxo vertical, contribuindo para a maior eficiência de prensagem das prensas de sucção e plana, bem como no desenvolvimento de novos tipos de prensas: ventiladas (prensa ranhurada ou prensa de furação cega), prensa com tela “fabric” e prensa duplamente feltrada. Os estudos evoluíram com o aumento do diâmetro dos rolos e carga das prensas, e a introdução da prensa de sapata (“shoe press”) a partir dos anos 1.980.

A prensagem úmida era originalmente baseada na compressão mecânica da folha de papel entre dois rolos sólidos. Esta compressão faz a água escoar a partir do “nip”, isto é, da linha de menor distância entre os rolos, através do rolo inferior. Em máquinas de baixa velocidade, o uso de rolos lisos e sólidos era um modo eficiente de remoção de água, mas não adequado em máquinas com velocidades altas, devido à necessidade de se retirar maior quantidade de água em menor tempo que a capacidade que os feltros possam comportar, causando assim o esmagamento da folha.

Nas máquinas atuais, a prensagem é feita com rolos de sucção, ranhuradas ou com furos cegos, que possuem capacidade de remoção de água muito maior que as prensas de rolos lisos. No caso das prensas de sucção a remoção da água é efetuada pela ação combinada da compressão mecânica e da sucção, aplicada através da estrutura porosa do rolo inferior.



O fluxo longitudinal ocorre no feltro quando a água flui na direção oposta ao movimento do feltro, quando o mesmo está saturado antes ou após o centro do “nip”. Este tipo de fluxo está normalmente associado à prensa plana. As prensas de sucção ranhuradas, de furos cegos ou de telas prensas, camisas encolhíveis ou feltros combinados são classificados como prensas de fluxo vertical. Isto se deve ao fato da água fluir perpendicularmente à superfície do feltro para espaços vazios incompressíveis, tais como os furos e ranhuras em um rolo ou entre ou entre as malhas de telas ou camisas, que se tornam receptáculos para a água. A pressão hidráulica é dramaticamente reduzida por este tipo de prensa. A teoria das prensas de fluxo vertical tem sido muito importante no desenvolvimento de novas prensas e construções de vestimentas, e será, pois discutida detalhadamente. A figura 3.1.02 mostra os dois tipos de fluxos: horizontal e vertical.

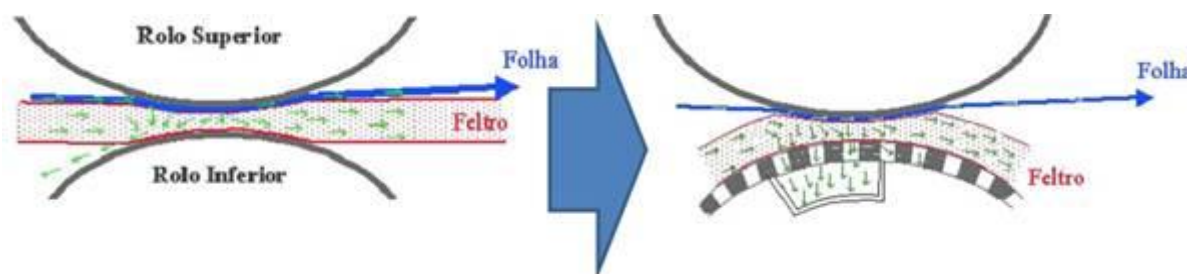


Figura 3.1.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Diversos modelos foram estudados e discutidos para o conhecimento do que ocorria no “nip” de uma prensa. Eles estão baseados em estudos e experiências de laboratório, os quais foram extrapolados para uma condição real de prensagem.

O conceito básico de prensagem foi primeiramente formulado por B. Wahlstrom em 1.960, e progressivamente refinado pelo próprio Wahlstrom e muitos outros, resultando no rápido desenvolvimento do conceito de prensagem. O modelo matemático de Wahlstrom apresentado no Simpósio Internacional de Prensagem e Secagem em 1.968, é o mais difundido e foi de grande valia para o entendimento da prensagem entre os “nips” de pressão controlada e fluxo controlado.

Com base nas figuras 3.1.03 e 3.1.04 procurar-se-á mostrar a teoria de Wahstrom para o processo de prensagem. Quando o feltro suportando a folha úmida com 10 a 20% de teor seco entra no “nip” formado pelo cilindro “Yankee” e a prensa SPR (“suction pressure roll” – prensa de sucção), ocorre o início da compressão, onde o ar escapa da folha e feltro até a

saturação da folha. Ambos estão insaturados na entrada do “nip”, e contém quantidade de água suficiente para atingir a saturação no centro do “nip” (“mid-nip”). Nesta fase não é gerada nenhuma pressão hidráulica e o feltro está insaturado. Pode ocorrer uma pequena alteração no teor seco da folha por forças capilares.

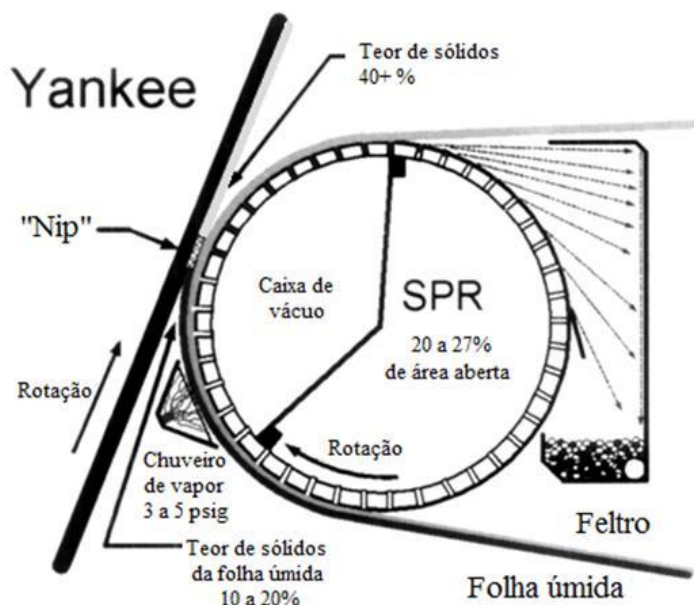


Figura 3.1.03 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A partir daí, a folha está saturada, iniciando-se o desenvolvimento da pressão hidráulica. A água move-se tridimensionalmente da folha através da matriz permeável do feltro, preenchendo os buracos perfurados da cobertura da SPR. Quando o feltro alcança a saturação, o movimento da água resulta no crescimento da pressão do fluido. As forças de compressão atuando sobre a folha e feltro aumenta durante toda esta fase.

O “nip” se expande até a pressão do fluido na folha ser zerado. Após o centro do “nip” a pressão da estrutura fibrosa e o teor seco atingem o ponto máximo. Nesta fase a folha ainda está comprimida, e ocorre a expansão do feltro com este passando de saturado para insaturado. Isto cria um vácuo no feltro, forçando ar e água entrarem por debaixo do feltro e espaços de rolos ventilados;

Ambos, feltro e folha, se expandem, e a folha se torna insaturada. Uma pressão negativa é criada na estrutura de ambos. Nesta fase a folha está com o teor seco máximo e absorve água do feltro, por uma ou pela combinação dos mecanismos de reumedecimento. Efeito das forças capilares na interface do feltro/folha e através do fluxo de duas fases criado pela

diferença de pressão entre eles na expansão. O vácuo gerado na folha é maior do que no feltro, criando um fluxo de duas fases de ar e água para o feltro e do feltro para a folha. Portanto para minimizar o efeito de reumedecimento feltro e folha devem ser separados imediatamente no final desta fase.

O tempo de permanência no “nip” é de 1 a 3 ms e a pressão de pico está na faixa de 200 a 400 psi. A água é segurada nos buracos por uma caixa de vácuo estacionária. O vácuo é aliviado na borda de fuga da caixa com a água sendo descarregada a partir dos buracos para dentro de uma calha recuperadora de fibras para uma potencial reutilização. O teor de sólidos tipicamente aumenta para 40% após o “nip”.

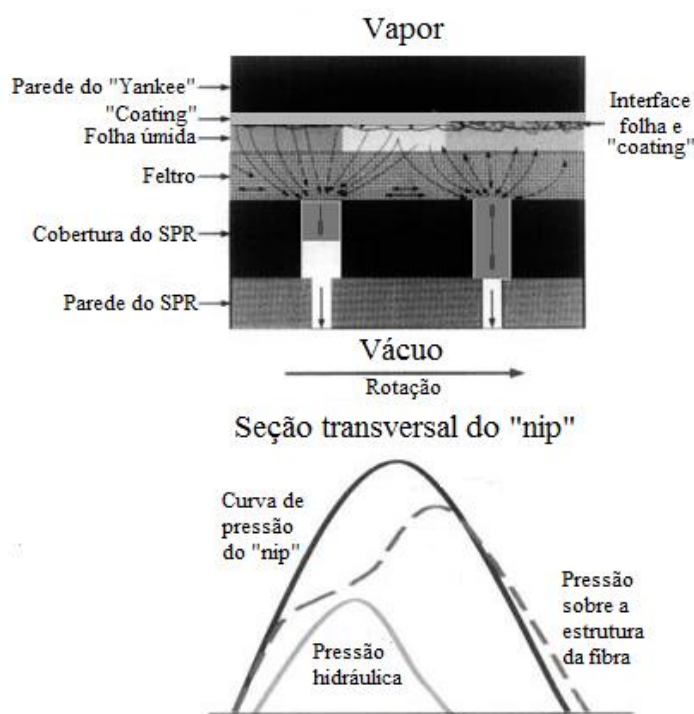


Figura 3.1.04 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

### 3.2. ROLO DE PRESSÃO E “DRY PRESS”

Nos papéis “tissue”, a presença de um tubo “pick up” para fazer a transferência do papel da tela para o feltro, isto é, da seção de formação para a seção de prensas, é função do tipo de formador utilizado. No caso de “Crescent Former” este elemento não existe. O tipo de feltro está relacionado ao tipo de formador utilizado e normalmente o fornecedor de feltro possui a sua tecnologia própria de aplicação.

A maioria das máquinas de papel “tissue” tem como característica a prensagem da folha contra o cilindro secador, estando, portanto, intimamente relacionadas às seções de prensagem e de secagem. Assim como nos outros tipos de máquinas de papel, a função principal da seção de prensagem é a de remover a maior quantidade possível de água da folha (sem danificá-la) antes de submetê-la a seção de secagem por calor.

A folha é carregada pelo feltro a um teor de seco de 10 a 20% e transferida para o cilindro “Yankee” no “nip” da primeira prensa. A folha é desaguada em um ou dois “nips” de prensas usando o mesmo feltro em ambos “nips”. A primeira prensa é normalmente um rolo de sucção. Se uma segunda prensa é usada, emprega-se uma de furos cegos que é chamada de prensa de compactação ou “dry press” (figura 3.2.01).

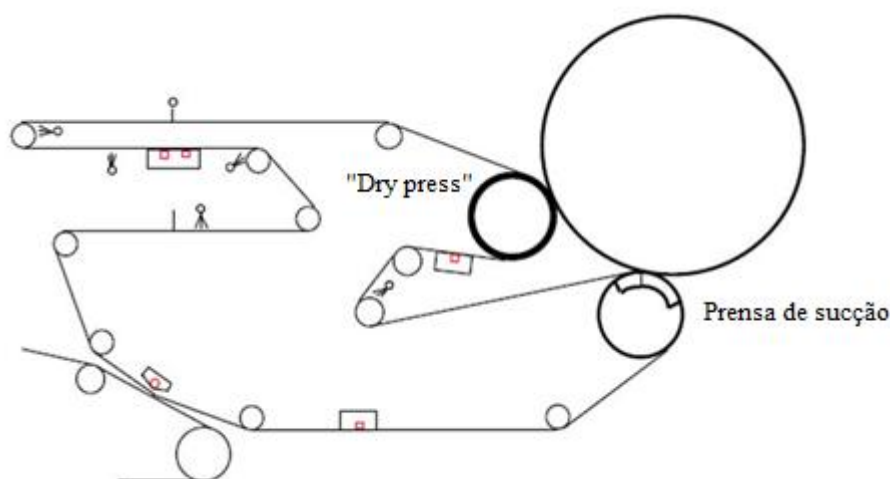


Figura 3.2.01 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

A carga no “nip” da primeira prensa é tipicamente de 80 a 85 kN/m e no segundo “nip” de 85 a 90 kN/m. No caso da prensa de sucção, o desenvolvimento de materiais para as camisas, ou seja, o uso de aço-cromo-níquel, permite as altas pressões necessárias em torno de 100 kg/cm.

Uma vez que o diâmetro da segunda prensa é menor, a pressão específica na segunda prensa é maior. Isto é importante para o desempenho da prensa. Ocasionalmente, um chuveiro de vapor é instalado na primeira prensa sobre sua zona de vácuo para aquecer a folha e reduzir a viscosidade da água. Isto melhora o desaguamento. Alguns chuveiros de vapor têm zonas de controle do perfil transversal para melhorar a uniformidade da umidade na folha.

Atualmente como se busca produzir papéis com maior “bulk” (espessura / gramatura) e, conseqüentemente, com maior maciez estrutural, utiliza-se somente a primeira prensa, porém, temos uma redução de capacidade de secagem, como conseqüência. O teor de secagem usando somente uma prensa é cerca de 2 a 3% menor. Uma vez que a capota pode ser aumentada em função de não haver uma segunda prensa, a produção final é muito similar para os dois conceitos de prensa. Um novo conceito que foi introduzido recentemente é o da “shoe press” substituindo uma prensa convencional. O uso de uma “shoe press” contra o cilindro “Yankee” permite a produção de papel “tissue” com maior “bulk” ou maior produção. Também melhora a adaptação do abaulamento entre prensa e “Yankee”.

### **3.2.1. Prensa de sucção (1ª prensa)**

A prensa de sucção (SPR: “suction pressure roll”) em uma seção de prensagem “Yankee” é uma importante ferramenta na operação de uma máquina “tissue”. Entender como se usa esta ferramenta e as variáveis que os operadores têm a sua disposição é necessário para maximizar a eficiência de prensagem enquanto mantém importantes qualidades da folha de papel e atinge uma operação satisfatória.

A SRC é sempre o primeiro rolo quando há um arranjo de duas prensas e é o primeiro lugar onde ocorre significativa remoção de água da folha. Este “nip” de pressão é também onde a folha contata inicialmente a superfície do cilindro “Yankee”. As propriedades finais da folha no rolo jumbo são parcialmente dependentes de um andamento suave e uma eficiente primeira pressão de “nip”. A fim de conseguir um bom andamento e os altos níveis de eficiência requeridos em uma prensa “Yankee” de alta produção, ambos a SRC e o feltro da prensa devem ser projetados e operados de forma a maximizar a remoção de água sem sacrificar a qualidade da folha de papel.

Como mostrado na figura 3.2.02, a SRC consiste de uma camisa (carcaça) perfurada a qual roda em torno de uma caixa de sucção interna estacionária. A caixa de sucção pode ser dividida em compartimento de alto e baixo vácuo para servir aos propósitos de desaguamento e retenção de água. Estes compartimentos de vácuo são selados por gaxetas que definem os limites de compartimento de vácuo nas direções CD e MD. Montados no final desta caixa de sucção estacionária estão os rolamentos do cilindro de serviço pesado e a carcaça do rolamento que permitem uma alta velocidade de rotação da camisa. A saída de vácuo em muitos rolos é através do munhão do rolo dianteiro e do ponto de apoio do rolamento para a

tubulação de vácuo da fábrica através do piso ou para dutos que direcionam o fluxo de ar através dos vigamentos para uma conexão trazeira de vácuo.



Figura 3.2.02 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

A eficiência da prensagem, ou seja, o teor de sólidos obtidos após a prensagem está diretamente ligado com a força linear da(s) prensa(s), o comprimento do nip e o perfil de pressão hidráulica no nip. Maiores forças lineares resultam em maiores teores secos na saída da prensa. Esta não é uma prensa 100 % vertical, visto que a água flui parte verticalmente da folha para o feltro e parte da água no sentido horizontal na direção dos furos.

Esta prensa possui, além das características apresentadas acima, uma ou duas zonas de sucção. A utilização de uma ou duas zonas depende de se estar utilizando uma ou duas prensas contra o cilindro crepador. Em função da geometria do feltro, utilizamos uma zona de sucção para circuito com prensa única e duas zonas para o circuito com duas prensas. A primeira zona é chamada de zona de sucção e a segunda, quando for o caso, de zona de retenção. O valor de vácuo é definido por cada fabricante de equipamento em função de seu desenvolvimento técnico.

À medida que a folha e o feltro vão passando pelo “nip”, a compressão vai aumentando, fazendo com que a água presente na folha de papel vá sendo forçada para os espaços vazios do feltro. O feltro fica saturado e a água em excesso é succionada para os furos da camisa.

Parte da água passa através dos furos da camisa, mas grande parte fica retida nos mesmos; sendo expulsa pela força centrífuga após o final da zona de sucção (ou retenção). Por isso é que existe uma calha junto a estas prensas, na qual se devem calibrar muito bem as régua de vedação para evitar o reumidecimento do feltro e, conseqüentemente, da folha de papel.

A distribuição de pressão não é uniforme, pois entre as áreas sólidas e de furação da camisa o desaguamento é desigual, resultando o sombreado da folha. Estas diferenças têm que ser eliminadas pela aplicação de feltros adequados formando pontes para a melhor distribuição de pressão e eliminação do sombreado. É uma prensa que está limitada à aplicação de maiores pressões, devido o núcleo do rolo não ser sólido. O custo de manutenção e instalação é elevado, e necessita de energia fornecida pela bomba de vácuo.

### 3.2.2. Prensa de furação cega (2ª prensa)

No “nip” da prensa de sucção, normalmente, não conseguimos retirar toda a água que poderia ser retirada da folha através de prensagem. Com isto várias máquinas utilizam uma segunda prensa em que a camisa possui a furação cega “dry press” (figura 3.2.03). Neste tipo de prensa sólida, a água proveniente do “nip” de prensagem é transferida para os furos cegos da camisa da prensa. Cabe ressaltar que o volume de água retirado é muito pequeno, sendo facilmente captado pelos furos, desde que bem dimensionados. Após o “nip”, a água é reabsorvida pelo feltro ou é evaporada, não sendo necessária a calha de contenção nesta posição. Devemos manter sempre limpa a furação destas prensas, tendo o cuidado de inspecioná-las e limpá-las antes da sua instalação em máquina.

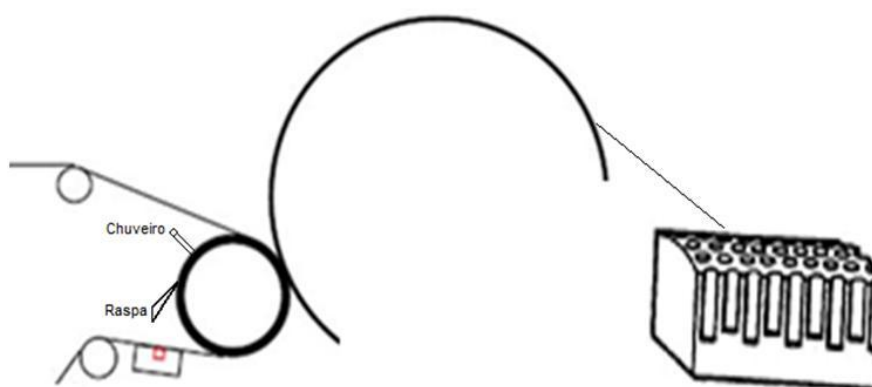


Figura 3.2.03 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Outra função da segunda prensa é a de melhorar a aderência da folha sobre o cilindro, retirando possíveis bolhas de ar ou de vapor d’água que se formaram após a primeira prensa. A superfície perfurada da prensa é de normalmente 20 %, com o diâmetro de furos de aproximadamente 2,5 mm.

Além destes tipos, estão-se propondo a utilização de prensas de “nip” estendido (“shoe press”), semelhante às utilizadas na 4ª prensa de papéis planos, que poderiam elevar em até 55 % o teor de seco após a prensagem. O item a seguir traz um exemplo deste tipo de prensa.

### 3.2.3. Sistemas “TissueFlex®” (Voith) de prensagem com rolo prensa tipo sapata

As “shoe press” foram desenvolvidas pela Beloit para superar os limites de aplicação de carga das prensas jumbo (prensas com rolos de grandes diâmetros -  $\approx 1.200$  a  $1.500$  mm) e desta maneira incrementar a intensidade de prensagem. Isto foi feito através do uso de uma sapata estacionária côncava de aproximadamente 254 mm, rodando contra uma manta de poliuretano lubrificada e um rolo ranhurado superior (Figura 3.2.04). A primeira unidade comercializada foi em 1.980 com carga linear de  $1.050$  KN/m. Hoje a carga máxima permitida é de  $1.500$  kN/m e a largura normal da sapata é 290 mm, devido principalmente as limitações do tamanho do rolo superior e estrutura. Uma “shoe press” pode fornecer um aumento de teor seco de até 10 %, quando comparado com uma prensa convencional.

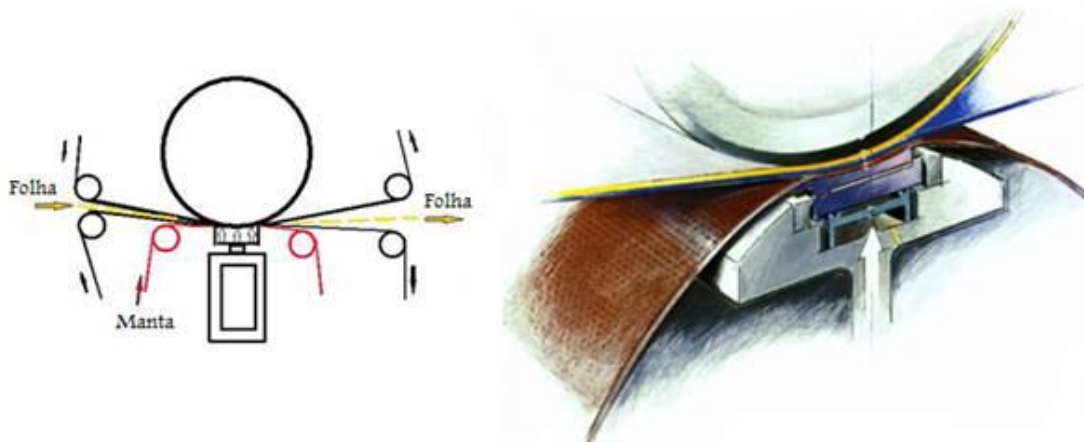


Figura 3.2.04 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Na Figura 3.2.05 temos uma comparação do pico de pressão e tempo de permanência para prensas convencionais, rolos de grande diâmetro e prensas de sapata. As diferenças observadas na redução do pico de pressão e aumento do tempo de permanência são significativas, e representam muito em ganhos de teor seco e eficiência operacional em papéis que requerem “nip” de fluxo controlado.





Figura 3.2.05 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As “shoe presses” atuais independente do fornecedor são de conceito fechado, implementação esta efetuada visando à melhor eficiência de prensagem e de operação, além das facilidades operacionais oferecidas pelo sistema mais compacto. A Figura 3.2.06 ilustra uma “shoe press” fechada. A sapata é suportada sobre uma viga rígida e pressurizada contra uma camisa impermeável de poliuretano. A camisa lubrificada gira ao redor da sapata fixa pressionando o conjunto feltro e folha contra um rolo superior.

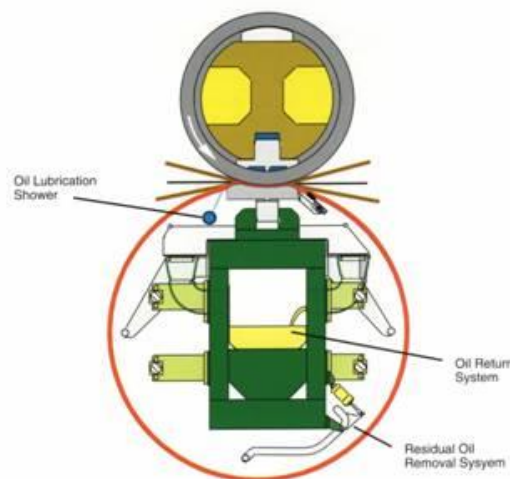


Figura 3.2.06 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Novas configurações estão sendo propostas para novas máquinas de alta velocidade, sempre visando ganhos maiores de teor seco e no mínimo sem perda de qualidade do papel. No geral em todas as “shoe presses” para máquinas acima de 800 m/min deveria ser aplicadas mantas ou camisas de poliuretano ranhuradas, pois estas apresentam maior desaguamento e ganhos de teor seco que as mantas de furação cega. Também é muito importante a perfeita interação do volume vazio da manta e feltro para maximizar a eficiência de prensagem.

Esta é uma alternativa muito interessante quando se deseja obter um produto de qualidade diferenciada ou uma redução no custo de produção sem perda de qualidade do papel. É um sistema que pode ser instalado em uma máquina convencional e que não

acrescenta nenhum custo operacional adicional em termos de energia ou manutenção quando comparado a um sistema de prensagem convencional. Este sistema está baseado na separação das funções de prensagem e sucção em dois rolos distintos, as quais em uma máquina “tissue” com sistema de prensagem convencional ocorrem em um único rolo. Além disto, neste sistema utiliza-se um rolo prensa tipo sapata aplicado contra o cilindro “Yankee” (figura 3.2.07 e 3.2.08).

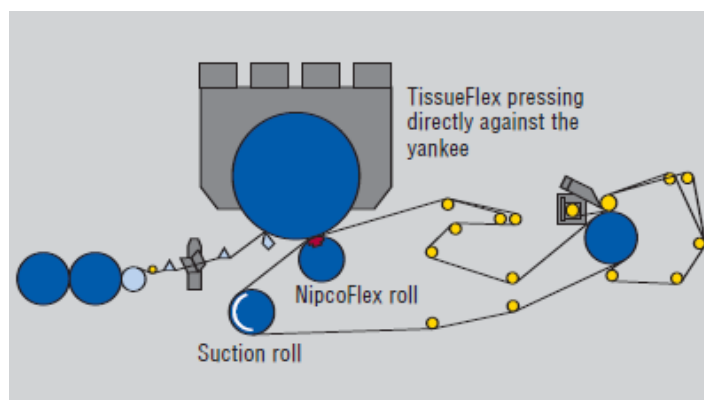


Figura 3.2.07 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

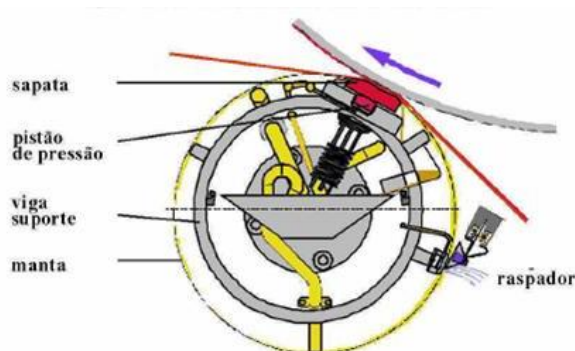


Figura 3.2.08 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A “shoe press” permite uma maior área de contato (“nip”) com o cilindro “Yankee” do que com um rolo de pressão convencional, e devido a isto com uma mesma força linear a pressão no “nip” em uma prensa sapata é menor que em uma prensa convencional (figura 3.2.09). Com isto para um mesmo teor de seco após as prensas o sistema de “shoe press” permite um ganho de “bulk” em relação a uma prensa convencional podendo chegar até 20 % em papéis com fibra virgem e 15 % em papéis com fibra reciclada. Com isto a qualidade do papel é aumentada no que se refere às características de suavidade superficial e estrutural importantes para o papel higiênico e facial, e um aumento de 6 a 9 % na capacidade de

retenção de água e um aumento de 15 a 20 % na velocidade de absorção de água, importantes para o papel toalha.

Outra opção é converter o ganho de “bulk” e de qualidade obtido com a prensa sapata em uma diminuição do custo de produção do papel através da redução do consumo de fibras gramatura de 5 a 7 %, porém, conservando o mesmo “bulk” e qualidade do papel fabricado com uma prensa convencional. Outra possibilidade de redução de custos de produção é a utilização da prensa sapata juntamente com uma matéria-prima menos nobre podendo se obter um papel com qualidade final similar ao produzido com uma prensa convencional utilizando uma matéria-prima mais nobre. O sistema “TissueFlex®” permite a utilização de sapatas de várias configurações que geram perfis de prensagem distintos e que podem ser utilizados em diferentes aplicações com distintos resultados. A utilização de uma sapata especial permite inclusive o aumento do teor de secagem do papel após as prensas e com isto um aumento de capacidade de produção da máquina.

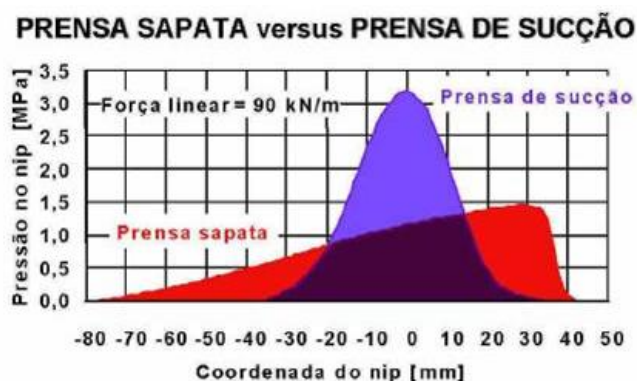


Figura 3.2.09 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

### 3.3. ABAULAMENTO (“BOMBÉ”) DOS ROLOS DAS PRENSAS

Quando a prensa é forçada contra o cilindro secador, devido à deflexão dos rolos, ocasionada pelo próprio peso e pela pressão externa aplicada, a distribuição de carga não é uniforme ao longo de todo o “níp”.

Para compensar esta variação e conseguir uma distribuição uniforme de carga no “níp”, o perfil da prensa obedece a uma curva cossenoidal, curva esta que denominamos abaulamento.

A maneira de checar se o abaulamento está correto e, conseqüentemente, a distribuição de carga no “níp” está correta, é através do que chamamos de impressão de “níp”, que nada

mais é do que a impressão estática obtida quando colocamos no “nip” uma folha de papel alumínio ou duas folhas carbonatadas e aplicamos a carga normal de operação da prensa.

Na impressão obtida devemos observar a uniformidade em todo o comprimento da folha e na largura do “nip”. Ela nos indicará: se está correto o abaulamento e a dureza do revestimento da camisa da prensa; se existe variação de aplicação de carga pelos pistões da prensa, etc.

A seguir, (figura 3.3.01), estão relacionados alguns tipos de impressão de “nip” que poderemos obter e suas possíveis causas:

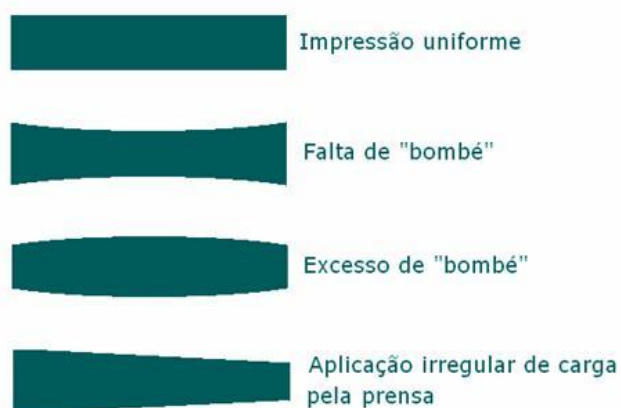


Figura 3.3.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

#### 3.4. TIPOS DE FELTROS E SUA LIMPEZA

O exame de um feltro úmido típico revela duas subestruturas: a base e a manta (figura 3.4.01). A manta é mecanicamente ligada à base através de agulhamento. A base serve de fundamento para a estrutura do feltro. Geralmente, compõe-se de dois sistemas de fios, um no sentido da máquina e outro no sentido transversal. Os tipos de fios a serem utilizados, bem como a sua disposição (ligamentos) são inúmeros.

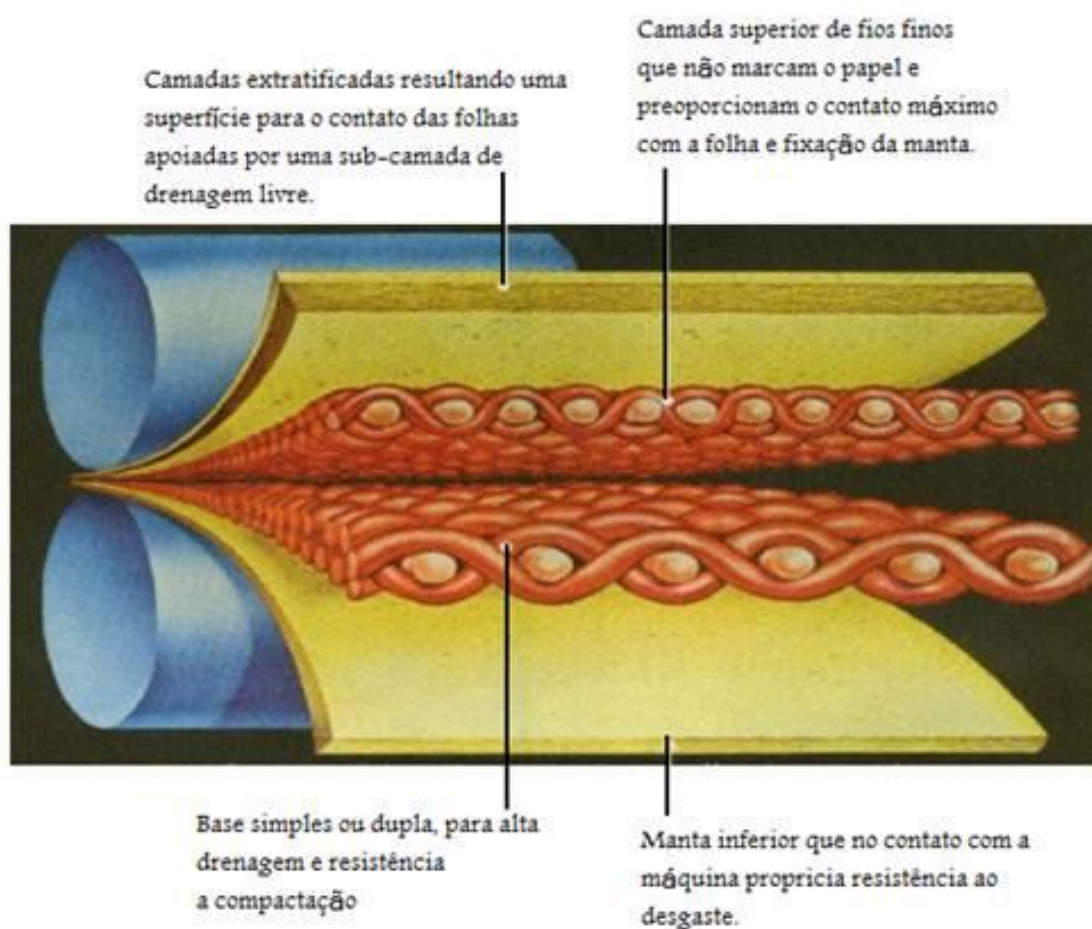


Figura 3.4.01 (Fonte: apostila “Básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Os ligamentos da base estabelecem a geometria pela qual os fios longitudinais (sentido da máquina) e transversais são entrelaçados. As variações dos ligamentos podem ser infinitas, mas normalmente são classificados de acordo com o número de lajes colocadas umas sobre as outras (figura 3.4.02). As bases mais comuns compõem-se de uma, duas ou três lajes. Existem dois métodos de se conseguir mais de uma laje que são: tecer a estrutura de base completa ou colocar uma laje sobre a outra, ou outras, durante o agulhamento.

A seção de prensas de uma máquina de “tissue”, especialmente uma “Crescent Former” é muito exigente com relação ao projeto de sua vestimenta. O fabricante de feltros tem que compreender as exigências mecânicas e hidráulicas na prensa junto com as características de compressibilidade do feltro. As novas tecnologias de base e trama podem proporcionar ao fabricante de “tissue” muitas vantagens.

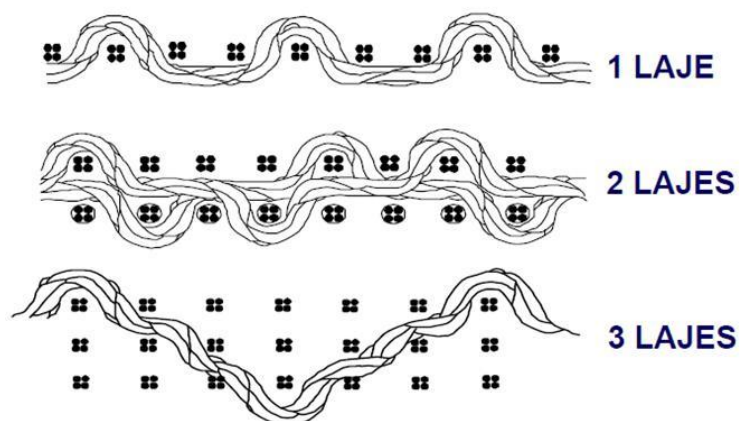


Figura 3.4.02 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

Na construção das bases podemos combinar diferentes tipos de materiais, diferentes tipos de fios e diferentes combinações de desenhos de tecelagem. As bases também podem ser combinadas, formando o que chamamos de feltro laminado. A aplicação de feltros laminados teve um grande impulso na busca de soluções, principalmente quando se considera a qualidade da folha. A combinação de bases robustas com bases muito finas pode proporcionar elevada capacidade hidráulica e ao mesmo tempo acabamento superficial. Com isto é possível a aplicação de elevadas cargas na prensa com reduzido risco de marcação da folha. Outra vantagem do feltro com construção laminada é a de prensagem consistente ao longo da vida. As construções laminadas podem ser encontradas em duas ou três lajes (figura 3.4.03)

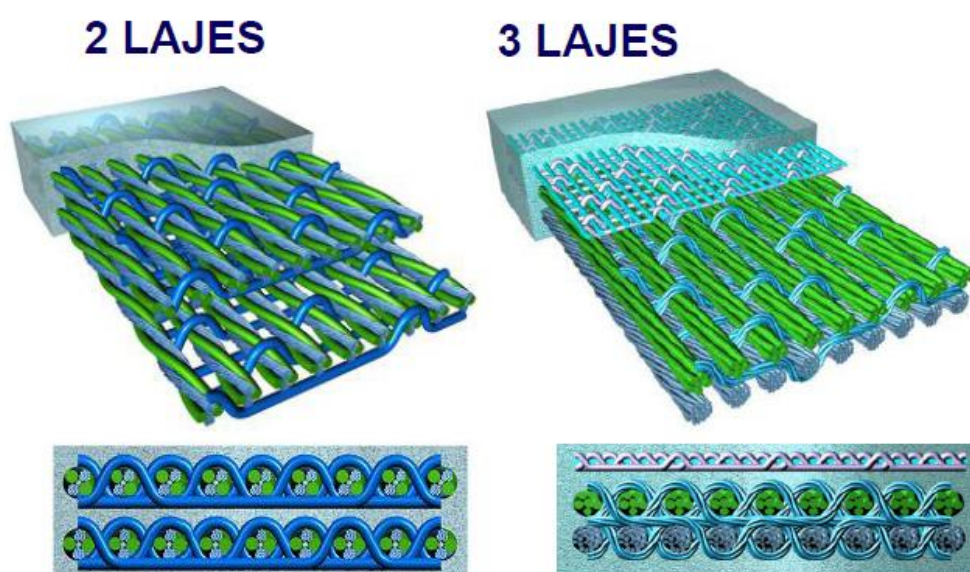


Figura 3.4.03 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

A técnica de manufatura de telas formadoras produz tecidos de altíssima qualidade a partir do tecido plano, ao contrário do tecido tubular usado para feltros. Infelizmente, os fios de poliamida, usados para prensagem, não permitem aplicação de emendas de alta qualidade como os de poliéster, usados nas telas formadoras. Por isso, uma nova tecnologia de fabricação foi desenvolvida. Esta construção nos fornece bases cujos fios formam ângulos diferentes em relação às direções dos fios longitudinais e transversais. Estes fios não estão apenas em tecidos diferentes, com dois sistemas de fios em planos diferentes, mas também estão posicionados em ângulos diferentes. Assim os fios longitudinais de uma base não vão formar um berço nos fios longitudinais da outra base evitando o colapso da estrutura. Isto fornece maior resistência à compactação e menor perda de espessura ao longo do tempo permitindo maior vida.

O projeto da vestimenta, desta forma, se mantém mais aberto sob carga, o que vai favorecer a manutenção das propriedades e facilitar a sua limpeza. Outro benefício é a estabilidade dimensional; uma vez que os fios que suportam a tensão do feltro não estão na direção longitudinal, a estrutura das bases não permite o alongamento típico que pode ocorrer com outras vestimentas. A tecnologia de fabricação de feltros com bases laminadas multiaxiais (figura 3.4.04) apresenta ainda a vantagem da uniformidade de distribuição de pressão, que traz como consequência, uma operação com perfil de umidade mais uniforme.

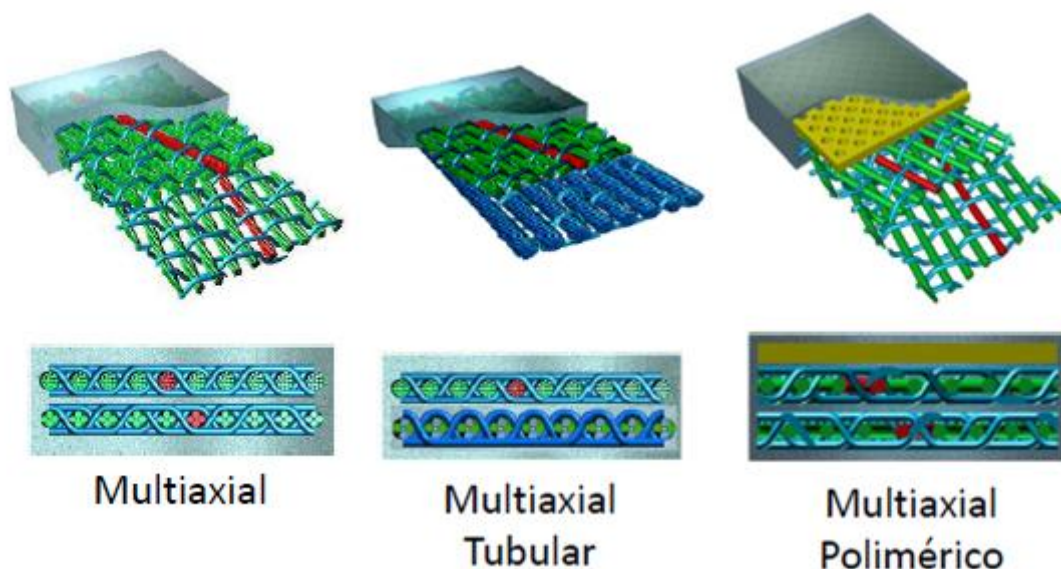


Figura 3.4.04 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

A busca pelo desenvolvimento de estruturas que permitam operação estável, com manuseio de água adequado, aliada a qualidade da folha levou os fabricantes de vestimentas a desenvolver novas estruturas. O uso de estruturas não tecidas, e novos materiais permitem a construção de feltros que forneçam excelente superfície, otimizando as propriedades de manuseio de água. Visando unicamente facilitar e aumentar a segurança durante a instalação desenvolveu-se feltro com emenda (figura 3.4.05). As variações de construção de bases com emenda aliada às diferentes combinações atende a todos os requisitos mencionados acima. Isto permite que se tenha garantida a fácil instalação e atender ao mesmo tempo as necessidades de cada posição de prensagem das diferentes máquinas que produzem diferentes tipos de papéis.

A outra parte do feltro correspondente à manta pode ser constituída com diferentes estratificações, com diferentes objetivos. A manta deve ser construída de maneira a atender tanto a demanda de desaguamento quanto as demais necessidades de acabamento. Muitos materiais estão sendo desenvolvidos e aplicados. Existem materiais próprios para aplicação em posições com potencial para desgaste visando maior vida. Materiais de alto peso molecular também podem ser aplicados para maior resistência química. Novos conceitos também estão sendo aplicados para evitar reumedecimento, como por exemplo, fibras de diferentes formas e materiais.

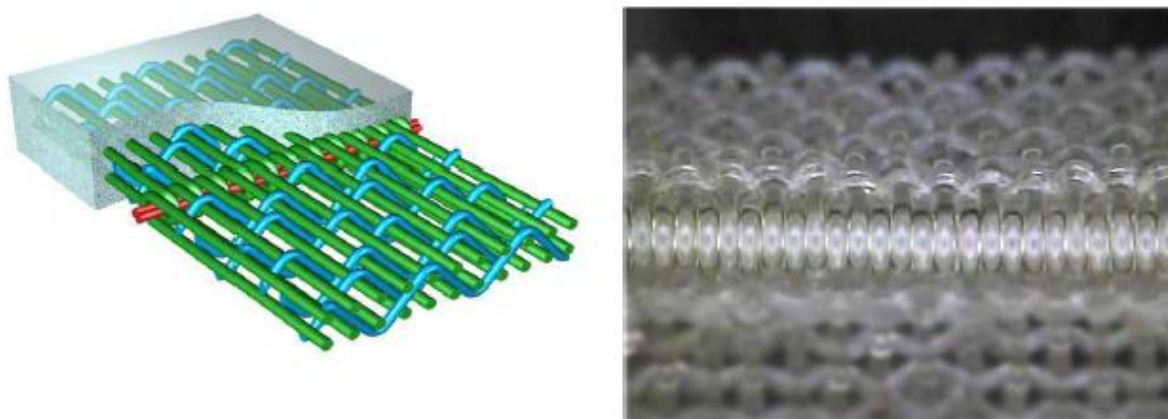


Figura 3.4.05 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

A tabela 3.4.01 mostra os tipos de feltros mais comuns para papéis “tissue” em função da máquina tissue usada.



<b>Características do processo</b>	Máquinas de duplo feltro ou feltro único sem prensa de sucção.  Máquinas como condicionamento deficiente.  Baixas cargas de prensagem.	Feltro único com prensa de sucção.  Média / alta velocidade.  Condicionamento normal.	Crescent Former: Geralmente alta velocidade. Bom condicionamento. Prensa única ou duas prensas.	Prensa de sapata: Média e alta velocidade. Longo tempo de residência no nip. Desaguamento interno na pré-secagem.
<b>Tipo de feltro</b>	Laje simples ou laje dupla bastante compressível	2 lajes tecidos ou laminados.  1+1 multiaxial.  Com emenda	2 lajes tecidas ou laminados.  1+1 multiaxial.	Laminados.  1+1 multiaxial.

Tabela 3.4.01 (FONTE: Feltros para máquinas “tissue” – Albany Internacional)

Para criar um novo projeto de feltro é necessário conhecer os seguintes dados: velocidade, gramatura do papel, tipo de matéria-prima, produtos químicos utilizados, tipo de formador, sistema de limpeza, nível de vácuo na primeira prensa, consumo de energia, melhoria esperada com o projeto do novo feltro, etc. Os futuros projetos de feltros deverão contemplar a redução do consumo de energia, facilitar sua instalação e aumentar sua duração.

Os chuveiros utilizados para a limpeza e condicionamento dos feltros são basicamente os seguintes (figura 3.4.06):

- Chuveiro de “nip” submerso e de aplicação de químicos: usado continuamente nos “layouts” de prensagem, este chuveiro é usado para ajustar a quantidade de água aplicada a vestimenta. Também pode ser utilizado para aplicar produtos químicos de limpeza intermitentemente ou continuamente. É um chuveiro oscilante com jato em leque, com espaçamento de 3 in entre os bicos, operando com pressão entre 40 e 60 psi. É posicionado de modo a aplicar água no primeiro “nip” interno, se possível.
- Chuveiro interno de alta pressão: é um chuveiro oscilante de alta pressão do tipo agulha, o qual é usado em uma base intermitente com o propósito de remover contaminantes dos volumes vazios da vestimenta da prensa. Os bicos normalmente estão espaçados a cada 6 in e posicionados em ângulo de até 15°. Opera com pressão entre 150 e 300 psi e se coloca à uma distância de 4 a 8 in da face da vestimenta.

- Chuveiro externo de alta pressão: semelhante ao chuveiro anterior é também um chuveiro jato de agulha de alta pressão, só que, agora, da face papel da vestimenta e, provavelmente, o mais importante do sistema de limpeza. Este chuveiro também faz um arrepelamento na superfície da vestimenta, melhorando assim o “bulk”.
- Chuveiros de lubrificação das caixas aspirantes do lava-feltro. São utilizados nos conjuntos lava-feltros de todas as posições e instalados para reduzir o atrito entre as superfícies de desgaste da caixa lava-feltro e a vestimenta. Também são utilizados para assegurar que seja mantida boa vedação para prevenir vazamentos de ar falso ao longo da largura da máquina. Devem funcionar continuamente e ter oscilação, operando com jato em leque. Os bicos devem ter espaçamentos de 6 a 8 in e operar com pressão de 25 a 30 psi.
- Chuveiro de lubrificação da raspa: este chuveiro é usado para lubrificar a interface entre a superfície do rolo e a raspa. Também fornece um filme de água de tal forma que as partícula possam tornarem-se suspensas e facilmente retiradas pela raspa. Este chuveiro é estacionário e tem bicos de jato em leque, espaçados de 6 a 8 in, operando com pressão entre 25 e 30 psi.

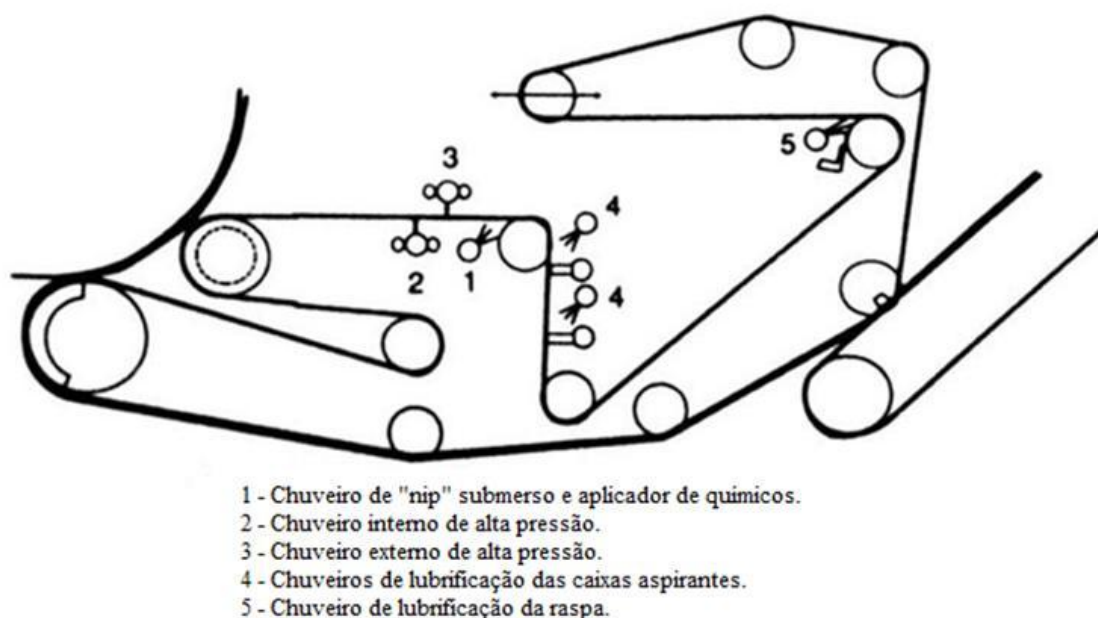


Figura 3.4.06

(Fonte: Tissue Machine Shower Applications – Tissue Runnability Seminar - 1992)

#### 4. MÁQUINA DE PAPEL - SECAGEM

A secagem através da evaporação é o estado final da remoção da água da folha de papel depois que esta é formada sobre a mesa plana ou outro tipo de formador (drenagem) e prensada na seção de prensas. Devido ao alto custo da remoção de água mediante evaporação, é essencial que a umidade da folha antes da secagem seja a mais baixa possível.

#### 4.1. PROCESSO DE SECAGEM COM CILINDRO “YANKEE”

Sob a denominação de cilindro “Yankee” estão incluídos todos os cilindros secadores de ferro fundido empregados na fabricação de papéis do tipo crepado, tais como papéis sanitários e faciais, muitas variedades de papéis guardanapo, toalhas, enchimentos para estofamento e outros produtos especiais. Estes produtos são todos diferenciados pelo fato de que eles têm sido removidos do cilindro através da ação mecânica de uma raspa crepadora. Cilindros similares ao cilindro “Yankee”, que são usados na produção de papéis planos ou papéis monolúcidos, são chamados de cilindros MG (“Machine Glazed”). Ao invés de crepados a partir da superfície do cilindro, estes produtos são retirados dele afim de que o lado contra o cilindro assuma a verdadeira característica superficial de lisura da parte externa polida do ferro fundido.

“Yankee” e MG são termos genéricos na indústria, dependendo do produto manufaturado. Por motivo de simplificação e devido à maior quantidade de cilindros “Yankee” em relação ao MG, a denominação “Yankee” será usado nesta apostila para representar a categoria. Em geral, os produtos “tissue” são feitos às mais altas velocidades e altas pressões de vapor que os papéis monolúcidos. As características de projeto que distinguem o cilindro “Yankee” dos outros cilindros é o eixo central. Devido ao fato de que os cilindros “Yankee” são tipicamente maiores em diâmetro que os demais secadores, o eixo central é necessário para estabilizar a pressão e reduzir a esforço axial da carcaça do cilindro. O cilindro “Yankee” é o coração da máquina de papel na indústria de “tissue” devido a alta taxa de secagem por contato, 10 a 20 lbs H<sub>2</sub>O/(ft<sup>2</sup>)(h) vs. 2 a 3 lbs H<sub>2</sub>O/(ft<sup>2</sup>)(h) no secadores convencionais com telas secadoras, baseado na circunferência total, a qual equivale a 49 a 59 kg H<sub>2</sub>O/(m<sup>2</sup>)(h) no “Yankee” e 10 a 15 kg H<sub>2</sub>O/(m<sup>2</sup>)(h) nos cilindros secadores convencionais a eliminação de passes abertos possibilita que a folha seja forte suficientemente para se suportar; a habilidade para conceder propriedades associadas com o produto particular, isto é, “bulk”, maciez, e resistência mecânica.

Os cilindros “Yankee” têm, normalmente, um diâmetro variando de 3,5 a 6,0 m, sendo responsável por 45 % a 65 % da secagem. Trabalha com pressões de 6 kgf/cm<sup>2</sup> (158 °C) a 8 kgf/cm<sup>2</sup> (170 °C) de vapor saturado, sendo considerados vasos de pressão. Em alguns casos se utilizam pressões maiores ou iguais a 10 kgf/cm<sup>2</sup> e opera a velocidades que podem superar 2.200 m/min, atualmente. Estes secadores atuais chegam a pesar cerca de 180 toneladas. Muito tipicamente, um “Yankee” desse tamanho poderia ter uma geometria de carcaça guarnecida com suportes, e projetada para aumentar a transferência de calor e resistência.

Podendo chegar a 6 m, a largura destes cilindros é, normalmente, de 200 a 250 mm superior a largura da folha de papel, para evitar que o papel, durante a secagem, fique ondulado. Deve-se prestar a máxima atenção à necessidade de manter o polimento espelhado da superfície do cilindro monolúcido.

Velocidades acima de 2.000 m/min estão se tornando comuns. Cilindros MG têm sido fabricados com 7 m de diâmetro e 5,25 m de comprimento de face. Os cilindros MG são normalmente lisos internamente porque o processo de transferência de calor requerido é geralmente baixo.

Cilindros “Yankee” são projetados de acordo com as normas de segurança vigentes no país onde estão sendo instalados. Nos Estados Unidos, por exemplo, estas normas são definidas pela Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos, onde estão incluídas as caldeiras e os vasos de pressão. O projeto consiste das partes de conteúdo de pressão – carcaça, cabeças, munhões, e eixo central – capas de isolamento para proteger os rolamentos de altas temperaturas, juntas de vapor para fornecer passagem de vapor e condensado, (sem vazamentos) onde as tubulações externas estacionárias conectam-se ao cilindro rotativo, entradas para inspeção, e equipamentos de remoção interna de condensado.

O “Yankee” é suportado por rolamentos que são encaixados em suportes, e lubrificados através de um sistema de circulação de óleo. O rolamento do lado de trás é usualmente fixado enquanto o do lado da frente é permitido “flutuar” a fim de admitir expansão axial que ocorre quando o cilindro é levado a operar em altas temperaturas. A figura 4.1.01 ilustra uma configuração padrão de um cilindro “Yankee”.

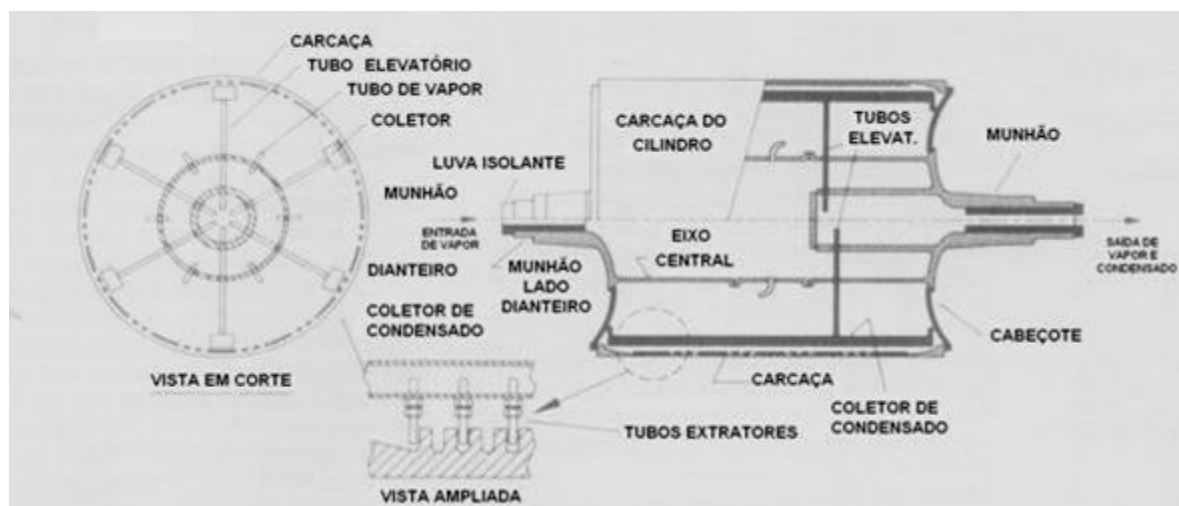


Figura 4.1.01 (FONTE: Yankee Dryers – W.G. Corboy, Jr.)

A carcaça é invariavelmente feita de ASME AS-278 ou equivalente, classe 30 a 60, ferro fundido cinzento, com mais novas carcaças na faixa de classe de 50 a 60, somente. Cabeçotes, munhão e eixo central são fundidos da classe 50, ou menos, ferro fundido cinzento, ferro dúctil ou aço, ou fabricados a partir do aço.

Normalmente são fundidos, podendo ter ou não sua superfície metalizada com aço inox, ligas de cromo-molibdênio e outras ligas de dureza elevada, que não afetem o coeficiente de transmissão de calor, possuindo uma maior resistência ao desgaste provocado pela ação do raspador visando minimizar o desgaste superficial. A superfície do cilindro é mantida limpa por meio de duas ou mais rasps em contato com a mesma, e que possui um movimento oscilatório de vai e vem.

Todos os metais quando aquecidos sofrem dilatação, em todas as direções. Os secadores “Yankee”, normalmente, quando são aquecidos da temperatura ambiente à temperatura de trabalho sofrem uma dilatação em torno de 0,1 %, ou seja, um secador com 4,5 m dilata-se, aproximadamente, 4,5 mm no diâmetro. Aquecimentos e resfriamento, feitos de maneira inadequada, poderão gerar tensões e deformações levando a falhas e fadigas.

Outra opção de construção dos cilindros “Yankee” é a utilização de chapa de aço laminada, posteriormente curvada e soldada. Este tipo de aplicação permite conhecer, em primeiro lugar, as possíveis irregularidades do material das chapas, mediante o controle com ultrassons e, em segundo lugar, o estado da soldagem de união mediante a radiografia dos cordões.

---

Os argumentos apresentados a favor da utilização da chapa de aço para a construção de cilindros “Yankee” são os seguintes:

- Maior segurança no projeto do “Yankee” em relação ao cilindro fundido;
- Melhores características mecânicas do aço que na fundição. Maior resistência estática à fadiga do aço;
- Melhor conhecimento do estado final do material de partida utilizado no caso do aço;
- Maior facilidade no controle de qualidade do produto em aço (controle dinâmico de soldagem);
- Menor peso do “Yankee” de aço que o de fundição, dada a maior espessura requerida neste último material;
- Condutividade térmica similar em ambos os casos. O maior coeficiente de condutividade da fundição, que seria uma vantagem, acaba perdendo-a pela necessidade de maior espessura de parede.

A superfície de um cilindro monolítico deve ser perfeitamente lisa, isto é, particularmente importante quando o secador é usado para produzir papéis lustrosos (monolíticos), porque a superfície do secador é usada para dar um acabamento brilhante. Quando se faz papel “tissue” crepado é necessário uma superfície lisa para obter um crepe uniforme. Como o uso do cilindro monolítico envolve a adesão da folha de papel, o acabamento superficial do mesmo é mais importante que nos cilindros secadores para secagem multicilindros, apesar de que uma superfície lisa é importante em ambos os casos. A superfície do cilindro secador monolítico deve preencher especificações, dependendo do papel a se produzir. No secador mostrado na figura 4.1.02, o vapor é introduzido através de uma extremidade e o condensado é removido através de outra.

Uma vez que o papel monolítico deve secar completamente sobre a superfície do cilindro, é necessário que este tenha um diâmetro conveniente. Naturalmente, as dimensões deste cilindro condicionam a velocidade e, conseqüentemente, a potencialidade produtiva da máquina para a produção do papel monolítico. O problema não é tanto construir os cilindros monolíticos nas dimensões desejadas, mas de assegurar o seu transporte.

Além das vantagens de economia de vapor e de espaço ocupado pela máquina, uma parte secadora “Yankee” necessita muito menos manutenção preventiva e corretiva do que

uma máquina de cilindros múltiplos, e é de operação muito mais simples na parte secadora do que uma máquina convencional.

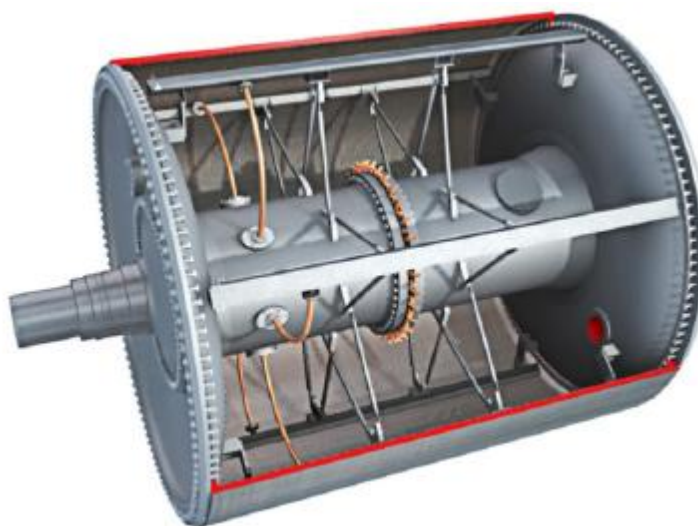


Figura 4.1.02 (FONTE: Metso Paper)

Entretanto, devido a suas dimensões e por operar com elevadas pressões de vapor, os cilindros “Yankee” são, muitas vezes, de difícil operacionalidade. Para garantir uma vida longa ao secador e segurança aos operadores, algumas normas devem ser observadas (lembrar que são apenas referenciais, pois cada projeto tem suas próprias normas):

- O secador deve estar em rotação durante o aquecimento. Uma velocidade mínima de 4 rpm é suficiente para garantir uma distribuição uniforme. É recomendável a introdução de “interlocks” para garantir que não será aquecido, enquanto estiver parado;
- O monitoramento do aquecimento, através da temperatura externa da camisa do secador tem se mostrado eficiente, não resultando em tensões excessivas. O uso de um pirômetro manual é bastante útil no caso de não se ter um controle automatizado. A taxa máxima indicada é de 20 °C/h, devendo ser o mais linear possível. Secadores com muita massa requerem taxas menores para maior segurança. A utilização de válvulas reguladoras são indicados durante o período de aquecimento, minimizando possíveis falhas humanas ou de equipamento;
- Após o aquecimento a pressurização do cilindro crepador deve ser controlada;

- Durante o resfriamento devemos tomar os mesmos cuidados que são tomados no aquecimento.
- Não se deve desferir nenhum golpe com elementos metálicos contra a camisa do cilindro;
- Durante uma parada de emergência, o cilindro deve se manter em movimento;
- Deve-se controlar a espessura da camisa do cilindro em função da pressão de vapor de trabalho.
- Deve-se fazer inspeção interna ao cilindro crepador periodicamente (anualmente, é uma boa opção);
- Devem-se verificar os elementos de alimentação e controle de vapor em períodos recomendados pelo fornecedor destes elementos;

#### 4.2. TEORIA DA SECAGEM COM CILINDRO “YANKEE”

O fluxo de energia pelas diferentes camadas que compõem o sistema de transmissão de calor está representado na figura 4.2.01.

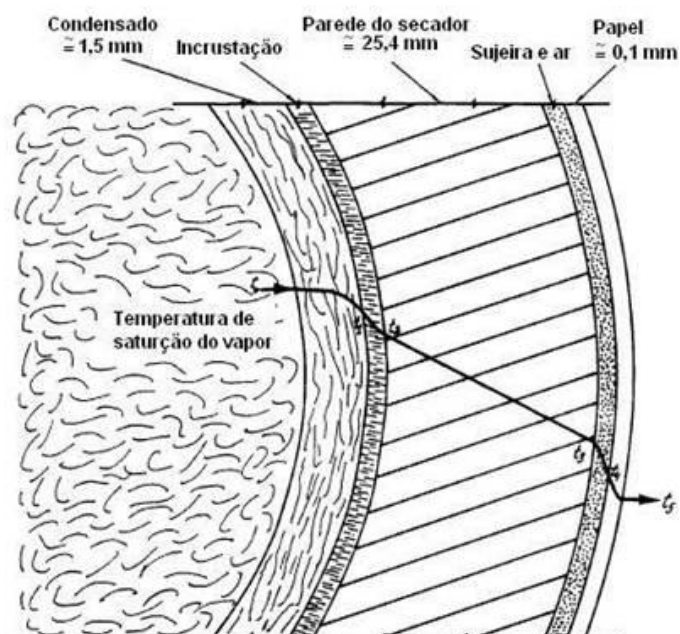


Figura 4.2.01 (FONTE: Apostilas ABTCP)

Observar que o fluxo de energia é inversamente proporcional à espessura da camada. A camisa do secador (ferro fundido) oferece uma baixa resistência ao fluxo de energia quando



---

comparada à resistência imposta pela película de condensado que se forma no interior do cilindro secador. Para uma melhor ilustração basta que façamos uma comparação entre os coeficientes de condutibilidade térmica do ferro fundido e do condensado, 59 W/mK e 0,67 W/mK, respectivamente.

Com estes dados pode-se, de um modo simples, dizer que o condensado apresenta uma resistência à condução de calor noventa vezes maior que o ferro fundido, ou seja, cada milímetro de película de condensado que se forma no interior do cilindro equivale a 90 mm de incremento na espessura da camisa do cilindro secador. Portanto, o controle da espessura da lâmina de condensado constitui um fator de extrema importância no rendimento térmico do sistema. O controle de espessura da lâmina de condensado é feito pelo ajuste da distância entre a sapata do sifão e a camisa do cilindro secador.

A secagem do papel ocorre através do processo de evaporação. Com papel, o qual é um meio fino e poroso, a evaporação procede, termodinamicamente, através de uma complexa interação dos mecanismos de transferência de massa e calor. Este processo tem sido diferentemente descrito por muitos autores. Em resumo, quando uma folha úmida é prensada sobre a superfície do secador há um curto período de alta transferência de calor, como água de superfície é elevado à temperatura de interface e gradientes são estabelecidos.

Isto poderia ser denotado como um período de pré-aquecimento. O calor é conduzido da superfície quente da carcaça para a superfície saturada de umidade do papel da carcaça para a interface do papel. Assim que esta umidade evapora, ela migra para o local de alta temperatura e pressão de vapor através da folha até que alcance uma mais baixa temperatura e pressão de vapor, onde condensa.

Assim que a umidade vaporiza e se move para longe a partir da superfície de secagem, micro-vácuos desenvolvidos no papel os quais resultam em uma região de reduzida pressão de vapor, e assim, por ação de capilaridade, a umidade é retirada através da superfície do secador. Então um ciclo é criado de vaporização, fluxo de vapor para longe da superfície do secador, condensação e migração de água capilar atrás para a superfície de evaporação. Em papéis mais grossos e pesados onde a folha é seca em lados alternados por uma sucessão de secadores, este processo resulta em uma umidade bastante simétrica e perfil de temperatura na folha, i.e., alta umidade e baixa temperatura no centro da folha com o reverso na superfície interna e externa.

---

A fase de secagem é uma na qual a água de superfície ainda está presente do secador para a interface da folha, e assim a taxa de transferência de calor permanece relativamente constante. Esta fase é adequadamente denominada o período de taxa constante. Ao mesmo ponto a deficiência da umidade livre da superfície é alcançada, quando uma umidade insuficiente está disponível na folha para enchê-la pelo fluxo capilar. A água é agora dita ser “saltada” para as fibras, a pressão de vapor diminui e a taxa de secagem cai; conseqüentemente, tem-se um período de taxa decrescente.

Devido à estrutura porosa e fina da folha de papéis “tissue”, a secagem “Yankee” difere um pouco do que foi dito acima. No fim da fase de pré-aquecimento, a uma curta distância após o primeiro rolo de pressão, a temperatura da folha alcança um valor fixo em torno de 90°C. É provável que uma porção do vapor criada na superfície quente passe através da estrutura aberta da folha diretamente, sem condensar. Como resultado da alta adesão da superfície, a transferência de calor ocorre muito rapidamente; se o vapor formado é incapaz de escapar, os problemas de bolhas e empolamento podem resultar. A habilidade do vapor suficiente para passar através da folha sem empolamento sem dúvida contribui para as altas taxas de secagem com cilindros “Yankee”.

No caso de folhas finas, o perfil de umidade dentro da folha, durante o período de taxa constante, pode ser significativamente alterado, dependendo da separação entre a secagem “Yankee” e da capota. Esta separação tem maiores implicações, bem como, no desenvolvimento e controle do “coating” na superfície do cilindro quando se produz produtos “tissue”.

Os coeficientes de transferência interna de calor podem ser substancialmente melhorados através da instalação de geradores de turbulência, também conhecidos como “spoiler bars” (figura 4.2.03), axialmente orientados e estrategicamente posicionados ao longo do diâmetro interno para criar uma oscilação ressonante de condensado entre as barras, e um alto nível de agitação devido à formação e colapso de saltos hidráulicos e cascadeamento do fluxo sobre as barras.

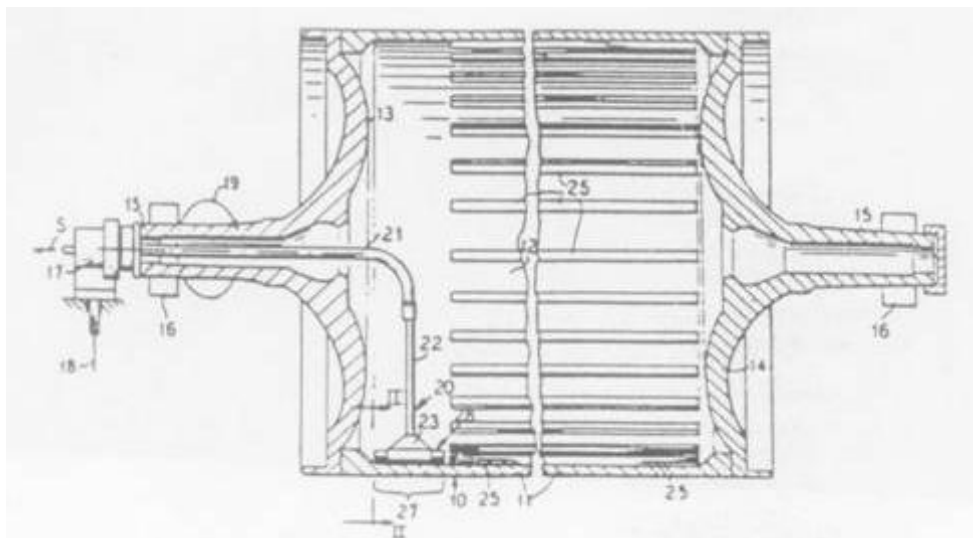


Figura 4.2.03 (FONTE: Yankee Dryers – W.G. Corboy, Jr.)

Outro elemento que utiliza se para melhorar a eficiência de transmissão de calor são os chamados blocos ou barras de turbulência (figura 4.2.04), no caso de camisas não ranhuradas. Estes elementos instalados internamente à camisa do cilindro possuem a função de provocar uma turbulência interna ao anel de condensado criando uma homogeneização da transferência de calor do cilindro.

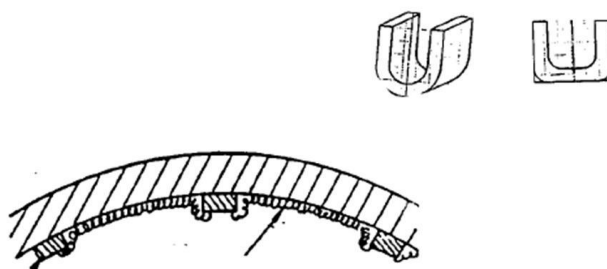


Figura 4.2.04 (FONTE: Apostilas ABTCP)

O que foi considerado acima serve de base para o que será tratado no restante deste capítulo, principalmente no que diz respeito aos comentários sobre a configuração da máquina, projeto do secador, taxas de secagem, faixas de variedade de propriedades físicas, mecânicas e propriedades dos materiais, etc. Há uma evolução constante deste tipo de equipamento com relação ao tamanho, velocidades e desempenho.

#### 4.3. SISTEMA DE VAPOR E CONDENSADO

O projeto interno do cilindro “Yankee” consiste de um método de introduzir vapor saturado, o meio de transferência de calor, através do munhão lado da frente (comando) e no interior do eixo central, onde é distribuído através do cilindro via chuveiros internos de vapor. A energia necessária para o aquecimento e evaporação da água contida na folha é fornecida pelo vapor (saturado) que condensa no interior dos cilindros secadores.

Há um número de variações no conceito básico dos sistemas de remoção interna de condensados dependendo da data de fabricação, fabricante e geometria interna da carcaça. Entretanto, em cilindros “Yankee” modernos e de alta velocidade, o projeto de sifão rotativo, utilizando excesso de vapor de arraste para desenvolver um fluxo de transporte de duas cargas é um de maior interesse.

A entrada de vapor e a remoção do condensado é feita como nos cilindros convencionais. Tal como no caso da secagem multicilindros, a energia proveniente do cilindro “Yankee”, necessária para a evaporação da água contida na folha, é fornecida através do vapor, e o papel em contato com a camisa, consome esta energia, provocando a condensação interna ao cilindro.

Entretanto, o secador “Yankee” pode retirar até 10 vezes mais água que secadores comuns, com a mesma área de secagem disponível em igual período de tempo. O grande diâmetro torna necessária a utilização de uma geometria um pouco diferente que a aplicada em cilindros secadores de papel de pequenos diâmetros. O coletor de vapor serve para reduzir os esforços da camisa e nos cabeçotes, bem como para distribuir o vapor no cilindro monolúcido.

Ao ceder calor para o cilindro, o vapor dá lugar à condensação interna gerando um acúmulo de condensado. Nas baixas rotações, este condensado, devido à ação da gravidade, cai formando uma cascata e permite assim a transmissão de calor uniforme e eficiente. Com o aumento de velocidade ocorre a formação do anel de condensado, cuja configuração depende da rotação (velocidade angular) do cilindro. Situações típicas do lago de condensado, desde baixas velocidades até o extremo da película formada em alta velocidade são demonstradas na Figura 4.3.01.

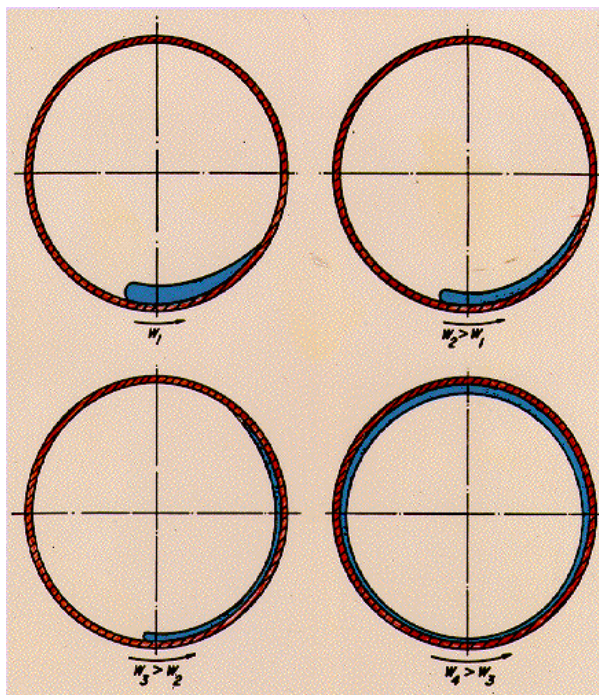


Figura 4.3.01 (FONTE: Papermaking Science and Technology)

Os sifões (ou pescadores) constituem um ponto de extrema sensibilidade no sistema de vapor e condensado, e de grande importância na eficiência do desaguamento dos cilindros secadores. Há sifões rotativos e estacionários. Entretanto, em cilindros “Yankee” modernos e de alta velocidade, o projeto de sifão rotativo, utilizando excesso de vapor de arraste para desenvolver um fluxo de transporte de duas cargas é um de maior interesse.

Os sifões operam pelo seguinte princípio físico: um diferencial de pressão é estabelecido entre a entrada e a saída do cilindro, de modo a criar um fluxo e arrastar o condensado pelo sifão, propiciando sua retirada do cilindro. Para isto, é necessário um fluxo de vapor adicional ao vapor que deverá condensar-se para fornecer a energia necessária. Esta quantidade de vapor adicional é denominada de “vapor de arraste” ou “vapor de passagem”.

Se não existisse o vapor de arraste, teríamos a formação crescente de uma coluna de condensado no interior do sifão, com o conseqüente aumento do diferencial de pressão requerido para drenagem. Além das perdas impostas pelo sistema teríamos que vencer uma pressão adicional da coluna de condensado. No caso dos sifões rotativos, a situação é mais crítica, pois a aceleração da gravidade deve ser considerada. Portanto, este vapor de arraste evita a formação da coluna de condensado, pois o fluxo estabelecido no interior do sifão

arrasta o condensado, originando uma mescla de baixo peso específico, diminuindo a influência da aceleração da gravidade e da força centrífuga.

Há um número de variações no conceito básico dos sistemas de remoção interna de condensados dependendo da data de fabricação, fabricante e geometria interna da carcaça. Atualmente podemos contar com cilindros “Yankee” com a parte interna da camisa diferenciada. A camisa do secador pode possuir a parte interna lisa ou ranhurada e a espessura da camisa está entorno de 40 mm mais a ranhura, quando existir. Recomenda-se utilizar a camisa interna lisa para máquinas de baixas velocidades (inferior a 60 rpm) e para máquinas acima desta velocidade, camisas ranhuradas. Como foi visto, anteriormente, em altas velocidades, a eficiência da transmissão de calor diminui, justificando a utilização da camisa ranhurada que aumenta a eficiência devido a sua maior área interna de transmissão de calor. Existem casos, nos quais a capacidade de secagem do cilindro foi aumentada de 15 a 20 % com este tipo de camisa.

Temos abaixo exemplos de tipos de sifão rotativo para cilindros de camisa lisa (figura 4.3.02), e camisa ranhurada (figura 4.3.03).

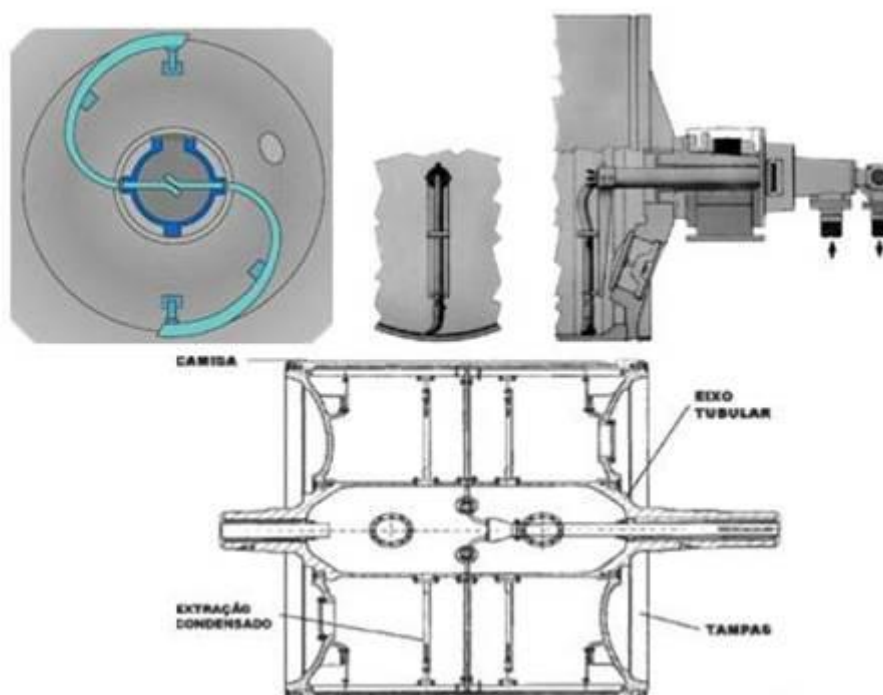


Figura 4.3.02 (FONTE: Papermaking Science and Technology)

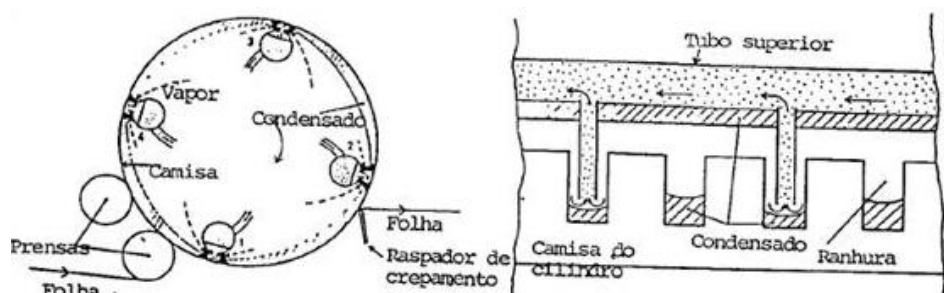


Figura 4.3.03 (FONTE: Apostilas ABTCP)

Em camisas ranhuradas, o sistema de extração de condensado é fornecido, incluindo muitos cabeçotes alinhados axialmente – novamente em mais novos projetos – uma série de tubos sifões de pequeno diâmetro, conhecidos como tubos extratores (figura 4.3.04).

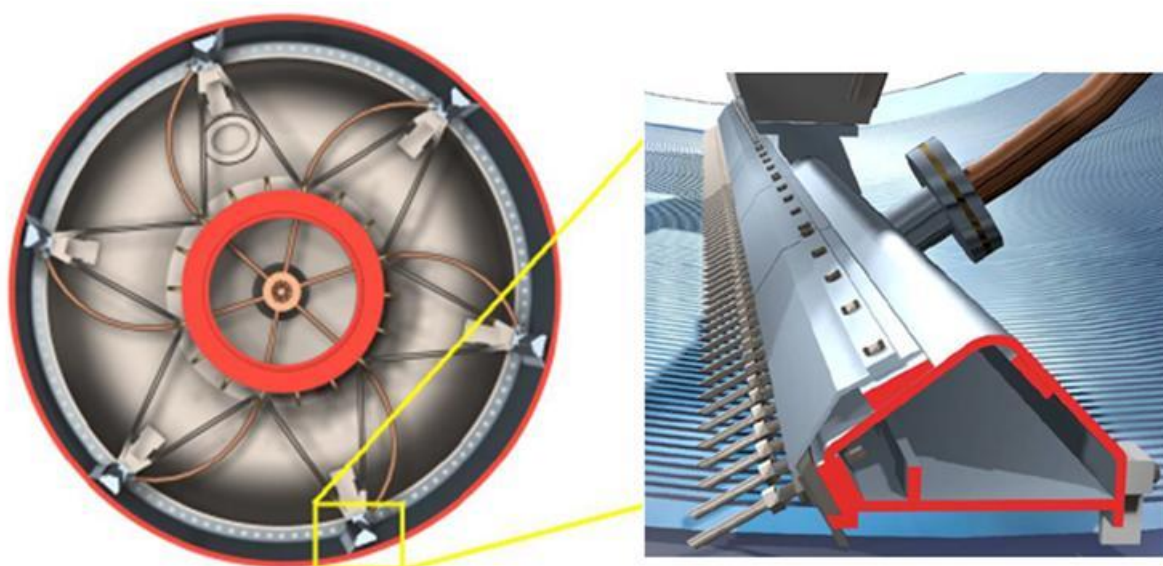


Figura 4.3.04 (FONTE: kau.diva-portal.org)

Como já foi visto a pressão diferencial entre o suprimento de vapor e descarga e a resultante ação de aspiração do excesso de vapor de arraste fornece a força motora para arrastar e remover o condensado dos orifícios do tubo extrator, mantendo um fino, filme uniforme e não permitindo a formação de poças de condensado no secador. Passando os tubos extratores, o condensado é coletado nos coletores. De lá, é novamente retirado através de tubos elevatórios, conectados a parte traseira dos cabeçotes, e transportada em um pote coletor para descarregar para fora em uma luva traseira isolante.

---

O cilindro ranhurado permite uma parede mais fina com boa estabilidade de forma. As desvantagens, porém, de um cilindro com ranhuras são bem evidentes. Por um lado, o cilindro resulta muito mais caro e por outro, é problemático uma retificação repetida, dado que podem aparecer poros causando vazamentos. A remoção do condensado, das ranhuras é um pouco mais difícil, dado que em cada ranhura é intercalado um caminho pelo qual o condensado passa para o coletor. A distância dos tubos extratores de condensado até a camisa é um fator muito importante. Como referência, podemos considerar para cilindro de camisa lisa a distância de aproximadamente 2 mm e para cilindros ranhurados, aproximadamente, entre 6 e 8 mm.

Podem ocorrer variações dos conceitos simples da taxa constante de secagem, causadas por:

- 1) Não-uniformidades nas condições do ar ao redor da folha;
- 2) Sifões inadequados;
- 3) Variações na condensação do vapor do secador.

A caldeira normalmente se encontra a alguma distância das máquinas de papel, sendo necessárias, portanto, extensas tubulações, vários equipamentos, válvulas e instrumentos. Saber a finalidade e os princípios básicos de funcionamento destes elementos das linhas de vapor é obrigação de todos que trabalham nas proximidades dos mesmos, pois acidentes nestas áreas podem causar sérios danos pessoais e materiais.

O condensado que é extraído do secador, normalmente, ainda contém muita energia. Uma das maneiras de reaproveitá-la é captar este condensado em um separador (onde a pressão é inferior ao do secador) e o vapor “flash” (reaproveitado) que é produzido, repressurizá-lo. O termo compressor faz a combinação deste vapor “flash” com vapor de alta energia, e obtém vapor na pressão de operação, gerando considerável economia de energia.

O sistema termo compressor é composto por subsistemas independentes, onde o vapor de arraste obtido no separador é reaproveitado no próprio grupo por meio do termo compressor. A função do termo compressor é aumentar a pressão do vapor de arraste, já utilizado no grupo de cilindros, por intermédio de vapor de média ou alta pressão (vapor motriz). O princípio de funcionamento do termo compressor se baseia no “Venturi”, onde o vapor de arraste é succionado por uma zona de baixa pressão gerada pela injeção do vapor motriz no termo compressor. No difusor do termo compressor, a energia cinética fornecida



pelo vapor motriz é convertida em pressão até alcançar o ponto necessário para entrar novamente ao sistema (vapor de descarga). A Figura 4.3.05 apresenta um corte esquemático de um termocompressor:

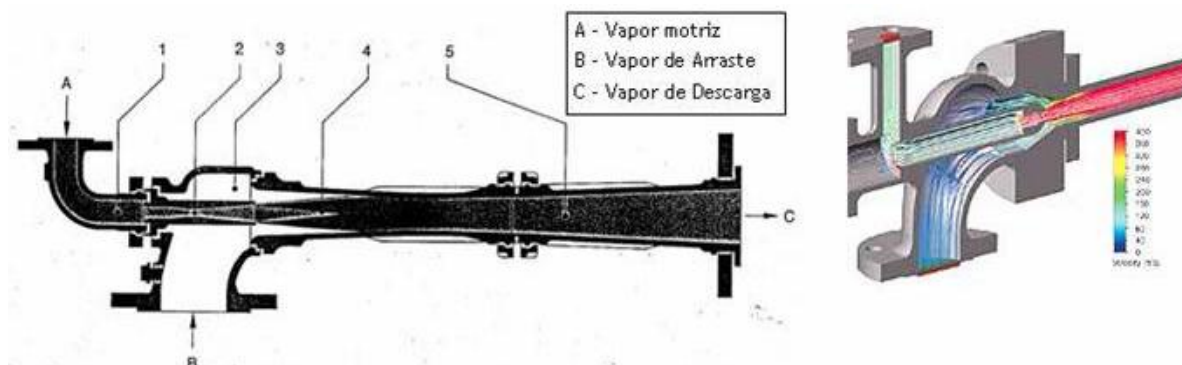


Figura 4.3.05 (FONTE: Apostilas ABTCP)

Com o sistema termocompressor, os grupos de cilindros podem operar com qualquer pressão, dentro dos limites de projeto, sem que haja a interdependência do diferencial para drenagem entre os mesmos.

O vapor gerado pela caldeira, ao passar pela tubulação, pode se condensar ao entrar em contato com as paredes mais frias dos tubos. Se a liberação na partida da máquina for feita de maneira muito rápida, devido à pressão elevada, este condensado pode assumir velocidades muito altas e provocar estragos de grande monta. A isso se dá o nome de golpe de aríete. Para retirar o condensado da linha são utilizados os purgadores de vapor. Estes purgadores devem ser limpos e revisados periodicamente, pois aumentam a vida útil de válvulas e tubulações.

Válvulas de segurança devem ser colocadas em posições estratégicas, com a finalidade de se evitar sobrepressão nos equipamentos e sempre que possível devem ser testadas quanto ao seu funcionamento normal. Para uma melhor ilustração, a figura 4.3.06 apresenta um fluxograma típico do sistema de vapor e extração de condensado tipo termocompressor utilizado em máquinas “Yankee”.

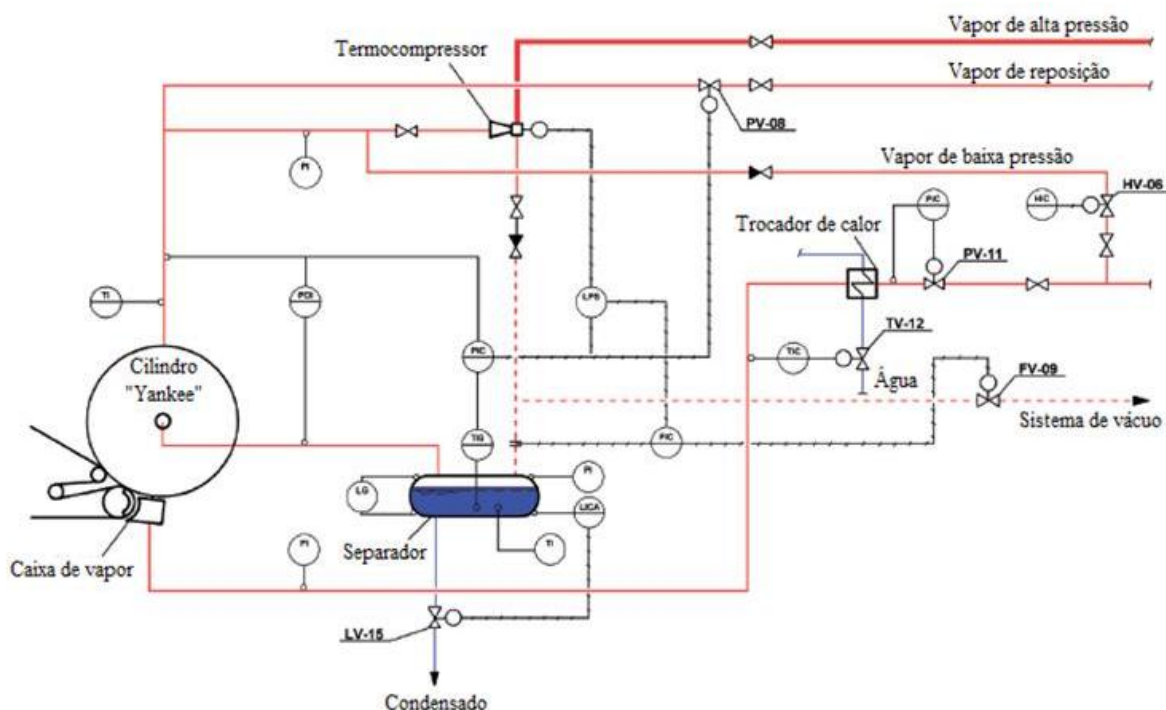


Figura 4.3.06 (FONTE: <http://valveproducts.metso.com/neles>)

#### 4.4. CAPOTA “YANKEE” E SISTEMA DE AR

A principal função da capota é a evaporação da água da folha e a exaustão do vapor d’água liberado no processo de secagem. Devido ao fato da folha estar sempre sobre o cilindro secador, a aplicação de ar a alta velocidade torna-se praticável. Isto reduz ao mínimo a parte laminar da camada de contorno, aumentando assim a transferência de massa. Com este sistema, é também possível suprir calor adicional para a folha por intermédio do ar para aumentar ainda mais a taxa de secagem.

Até poucos anos, as capotas contribuíam com aproximadamente 45 % da secagem e o “Yankee” com os outros 55 %. As capotas de alto rendimento que equipam as modernas máquinas de papel “tissue” de alta velocidade alcançaram um nível muito alto de desenvolvimento contribuindo em torno de 65% da capacidade de secagem, podendo operar com temperatura de ar insuflado de até 510 °C e velocidades de até 160 m/s. A combinação de altas temperaturas, altas velocidades e aproximação da folha contribuíram para o desenvolvimento de capotas com altas taxas de secagem.

As capotas de alto rendimento atuais são o resultado de muitos anos de desenvolvimento evolutivo. O conceito de projeto tem sido utilizado na indústria de papel

desde a década de 1.960. Nos primeiros anos, o interesse ficou voltado à ventilação do cilindro secador. A água evaporada do cilindro secador permanecia dentro do prédio, o que criava um ambiente de alta umidade e gerava desconforto para o pessoal da operação. No inverno, a alta umidade do ar condensava em todas as superfícies frias, criando goteiras sobre a área da máquina. Esta condensação danificava o equipamento e o prédio. As primeiras tentativas foram de instalar uma coifa com extração de ar, através de corrente natural ou forada.

O próximo passo foi introduzir um fluxo de ar aquecido dentro da coifa e distribuir esse ar ao redor do cilindro secador. Esta aplicação provou ser bastante eficaz não somente na ventilação do cilindro secador, mas também na melhora do seu desempenho de secagem. Algumas destas capotas ainda estão em operação ao redor do mundo. As temperaturas de ar ficam sempre por volta dos 150 °C, com velocidade dos insufladores na taxa de 15 a 30 m/s.

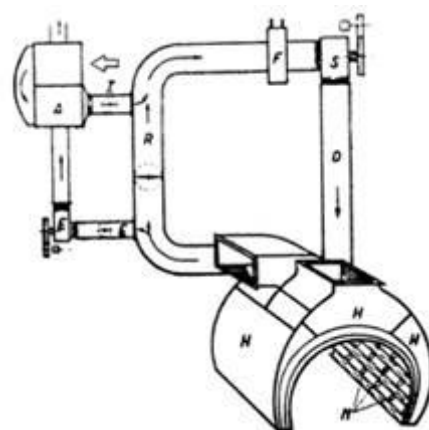


Figura 4.4.01 (FONTE: Revista O PAPEL – Novembro de 1.959)

Na capota bi-partida com duas zonas, normalmente, cada metade da capota é projetada com um sistema de ar independente, cada um com ventilador de alimentação e queimador separados. Os sistemas de ar separados permitem maior flexibilidade no caso de falha de algum equipamento. Com um sistema duplo, a máquina pode continuar operando com metade do sistema, apesar de estar funcionando com velocidade menor. Nesta situação com um sistema único, a máquina teria que ser desligada. Segue abaixo (figura 4.4.01) um fluxograma como exemplo de um sistema de secagem da capota.

Com o aumento do rendimento das capotas, há necessidade de aumento de consumo de energia. Para melhorar a eficiência térmica, todas as capotas hoje em dia utilizam altas taxas de recirculação. Como consequência, as umidades absolutas no ar recirculado são projetadas para valores de 0,4 kg H<sub>2</sub>O/kg de ar seco. Para atingir altas taxas de secagem, normalmente na ordem de 150 a 175 kg H<sub>2</sub>O/h/m<sup>2</sup>, é necessário utilizar temperaturas de alimentação de ar na faixa de 450 a 480 °C, juntamente com velocidades de ar dos insufladores na faixa de 120 a 130 m/s.

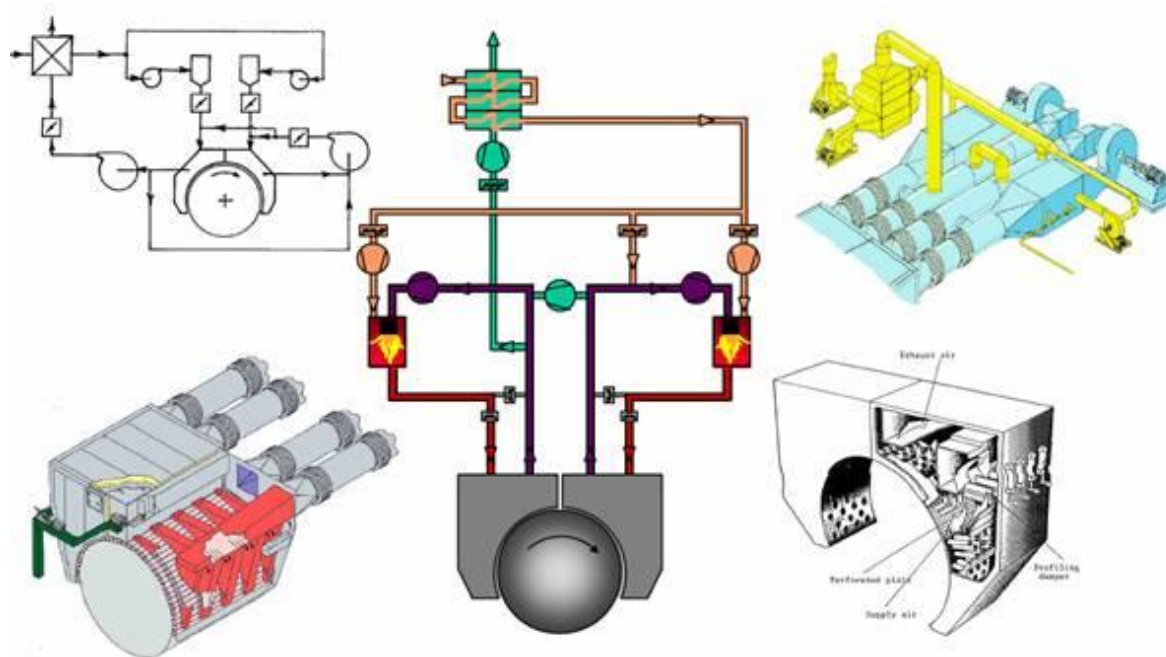


Figura 4.4.01 (FONTE: Papermaking Science and Technology)

Há duas áreas principais de preocupação durante o projeto de uma capota de alto rendimento: uma é o tipo de sistema de ar a ser utilizado e a outra é o projeto da geometria de transferência de calor. As capotas atuais são projetadas com um sistema de ar de alta recirculação (~85%).

Normalmente, as capotas devem ser construídas em aços especiais para suportar a alta temperatura. A eficiência da transferência de calor do ar insuflado depende basicamente de alguns fatores tais como:

- Distância da capota até o papel;
- Geometria dos furos de insuflamento de ar;
- Temperatura e velocidade do ar insuflado.

Com a variação destes pontos temos, conseqüentemente, uma perda de capacidade de produção.

A distância entre a capota e o secador “Yankee”, na qual se observa uma maior eficiência está na faixa de 18 e 20 mm. Esta distância deve ser calibrada em todos os quadrantes da capota, principalmente, após retificar-se o “Yankee”. Outros fatores de influência, além da velocidade, são a temperatura e a umidade do ar insuflado.

Com o aumento da temperatura, aumenta também a transferência de calor para a folha. Devido ao aumento da temperatura da folha, a troca térmica com o cilindro fica mais difícil, não sendo, portanto, linear o aumento de secagem como aumento da temperatura do ar insuflado. Este efeito é pequeno, mas deve ser considerado quando do cálculo do incremento da capacidade de secagem e aumento de velocidade de máquina. Atualmente está se evoluindo muito o controle das capotas, sendo que as atuais possuem divisões e controles transversais para poder corrigir erros no perfil de secagem. O objetivo da recirculação de ar é manter a umidade a um nível compatível. Às vezes, o ar novo é previamente aquecido em trocadores de calor.

A figura 4.4.02 mostra alguns detalhes interessantes sobre uma determinada capota de alto rendimento, evidenciando as diferenças entra a parte úmida e seca da capota.

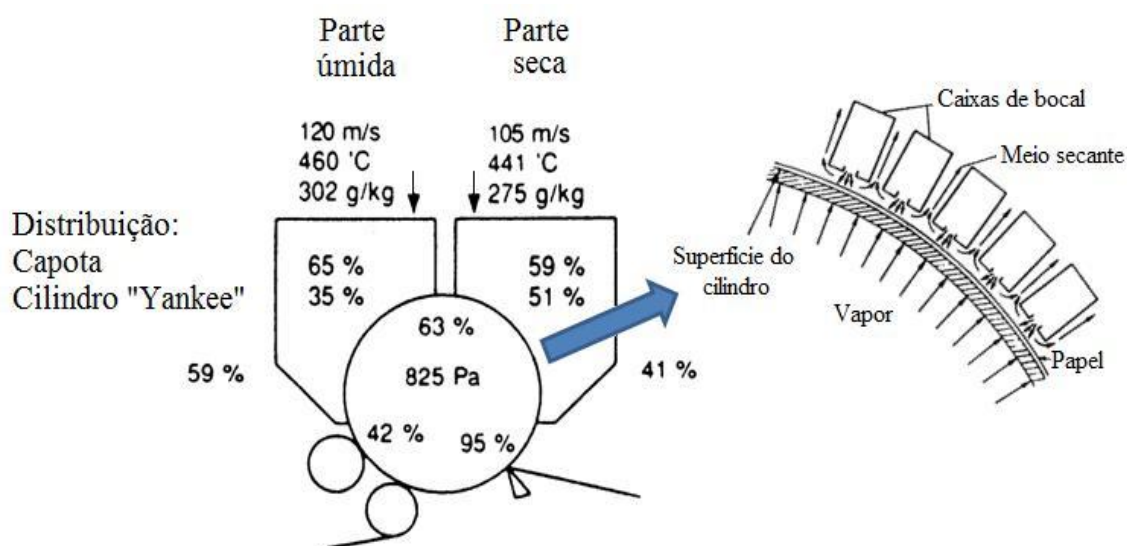


Figura 4.4.02 (FONTE: Tissue Runnability Seminar – 1.992)

#### 4.4.1. MÁQUINAS COM SECAGEM DO TIPO TAD (“THROUGH AIR DRYING”)

Este tipo de máquina vem sendo utilizado principalmente em países de alto poder aquisitivo como os EUA Canadá e países do Oeste Europeu para o atendimento de um mercado exigente por produtos de alta qualidade. Em máquinas tipo TAD são fabricados os produtos considerados como referência de alta qualidade no mercado. A alta qualidade neste tipo máquina é obtida através da secagem quase que total do papel e em alguns casos total através da passagem de um fluxo de ar quente através da folha de papel ao invés do método convencional de secagem por contato utilizado em uma máquina convencional.

A secagem por sopro de ar quente proporciona um maior volume livre entre fibras e com isto o papel fabricado neste tipo de máquina tem a característica de um maior “bulk” e de outras características como maior suavidade e melhor absorção e retenção de líquidos.

Há vários conceitos e configurações de máquinas TAD desenvolvidos pelos fabricantes de papel e pelos fabricantes de equipamentos, porém, de forma genérica podemos citar as seguintes seções de máquina (figura 4.4.03):

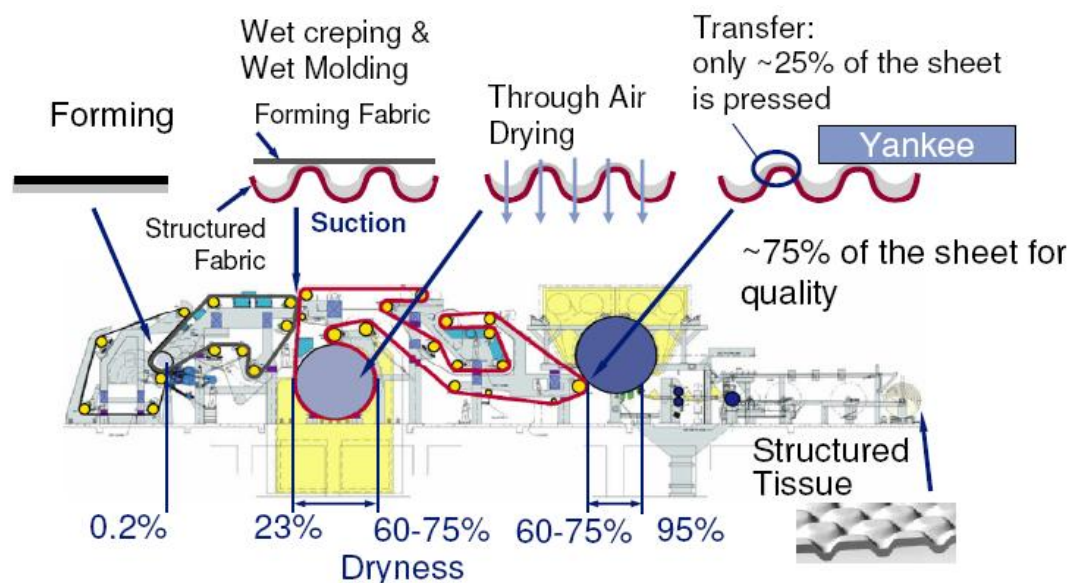


Figura 4.4.03 (FONTE: Voith)

- A seção úmida da máquina composta pela caixa de entrada e formador é responsável por produzir uma folha com ótimo perfil de gramatura e secagem imprescindíveis para o bom desempenho da secagem TAD. A folha ao final do formador possui um teor de seco em torno de 23%.
- Em seguida encontra-se a caixa de alto vácuo que irá succionar a folha para dentro da tela especial e formar a textura no papel. A folha passa então pela secagem por sopro a qual dependendo da configuração possui um ou mais cilindros TAD (figura 4.4.04) e que podem operar por sucção ou aspiração. A folha na saída da secagem por sopro dependendo do conceito de máquina estará com um teor de seco em torno de 60 a 75 %.

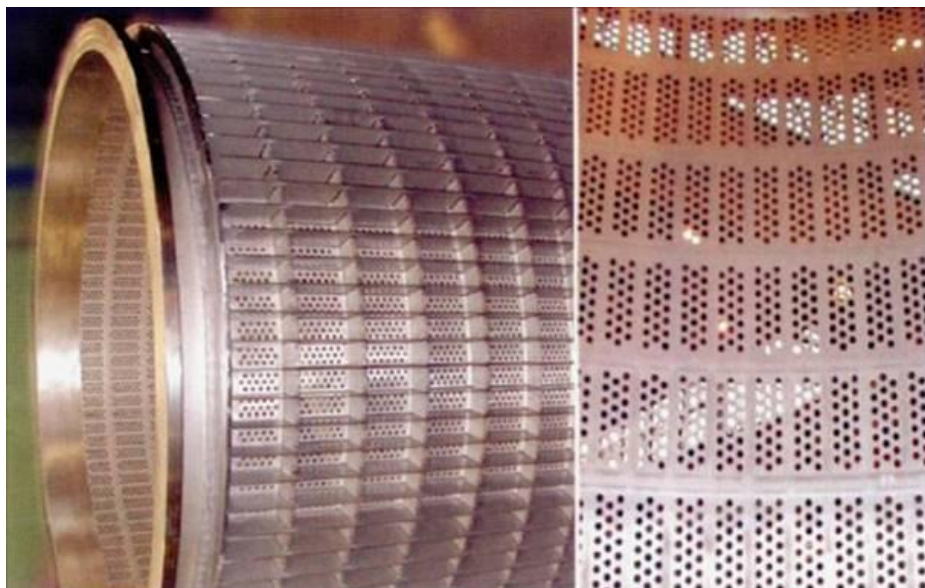


Figura 4.4.04 (FONTE: Tissue World)

- Em alguns conceitos de máquina não existe uma seção de prensas. Mesmo nas máquinas onde ela existe apesar do nome de seção de prensas na verdade a função do rolo de pressão é o de somente garantir uma ótima adesão da folha sobre a superfície do cilindro “Yankee”.
- Nem todas as máquinas possuem uma sessão de secagem complementar por contato feita em um cilindro “Yankee”, porém, nas que a possuem esta seção é responsável por complementar a secagem da folha até 95 a 99 % de seco.
- A calandra tem a função de fazer um ajuste na espessura da folha e eliminar as irregularidades provocadas pela texturização do papel.
- Com a intenção de evitar a perda de todo o ganho de “bulk” obtido nas seções anteriores em geral a enroladeira neste tipo de máquina possui acionamentos independentes das estangas e controle linear de pressão de enrolamento.

Outra característica neste tipo de máquina é a utilização de uma tela especial ao invés de um feltro na seção de prensas. A instalação de uma caixa de alto vácuo no lado oposto desta tela especial (figura 4.4.05) faz com que a folha seja sugada para dentro da estrutura da tela e com isto a folha a final da máquina terá uma textura especial que trará como benefícios um volume natural ainda maior do produto acabado.

Além do maior volume do produto final esta maior espessura traz benefícios em termos de absorção e retenção de água. Interessante notar que ao contrário do que ocorre como gofrado obtido na conversão esta textura obtida com a tela especial não desaparece quando a folha é umedecida. Com isto há uma contribuição ainda maior para a retenção da água na folha mesmo após a folha estar umedecida.

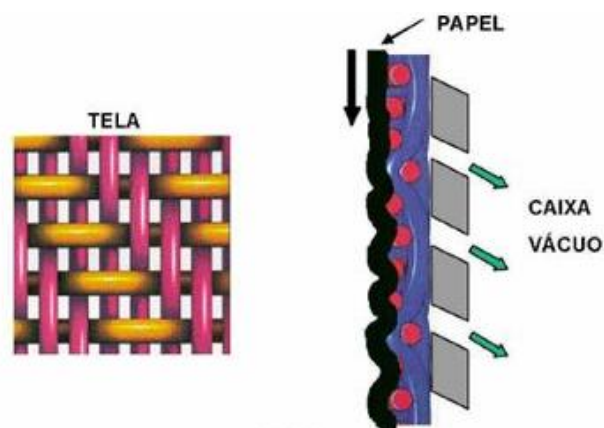


Figura 4.4.05 (FONTE: Voith)

#### 4.4.2. TECNOLOGIA ATMOS DA VOITH

O objetivo do projeto ATMOS era a inserção no mercado de um produto inovador que proporcionasse aos clientes a capacidade de produzir papéis “tissue” premium com menores investimentos e custos de operação, utilizando a compressão da folha de papel através de telas especiais para a remoção de água, proporcionando uso de fibras recicladas e economia de energia. A figura 4.4.06 apresenta um esquema de componentes do módulo ATMOS.

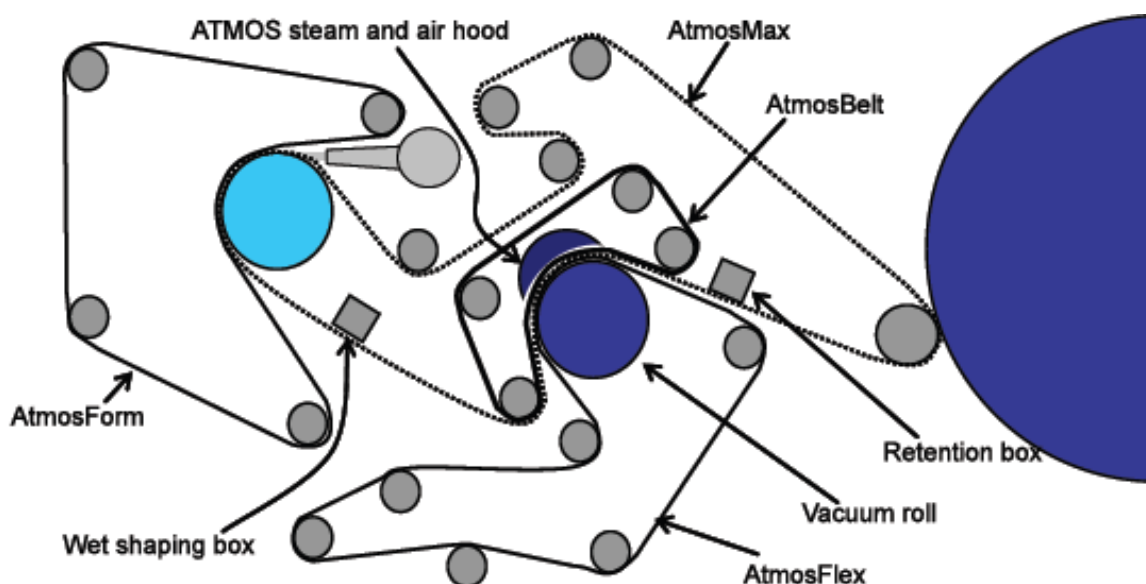


Figura 4.4.06 (FONTE: Voith)

O novo produto pode ser adaptado a máquinas existentes e permite tanto a produção de papéis “tissue” premium como a de papel convencional, enquanto que os equipamentos



TADs produzem somente papel premium. A figura 4.4.07 apresenta a máquina ATMOS completa.

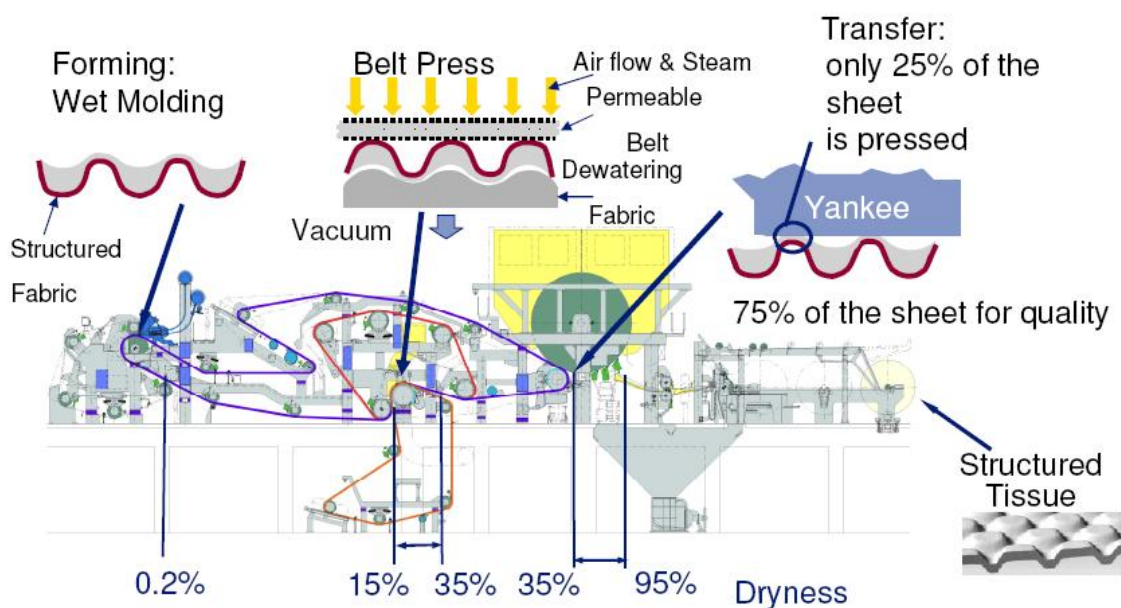


Figura 4.4.07 (FONTE: Voith)

#### 4.4.3. MÁQUINAS COM SECAGEM DO TIPO ADT (“AIR DRIED TISSUE”)

Um novo equipamento para papéis “tissue” que não utiliza cilindro “Yankee” está sendo desenvolvido. É o chamado ADT (“Air Dried Tissue”). A figura 4.4.08 apresenta um croqui deste tipo de equipamento.

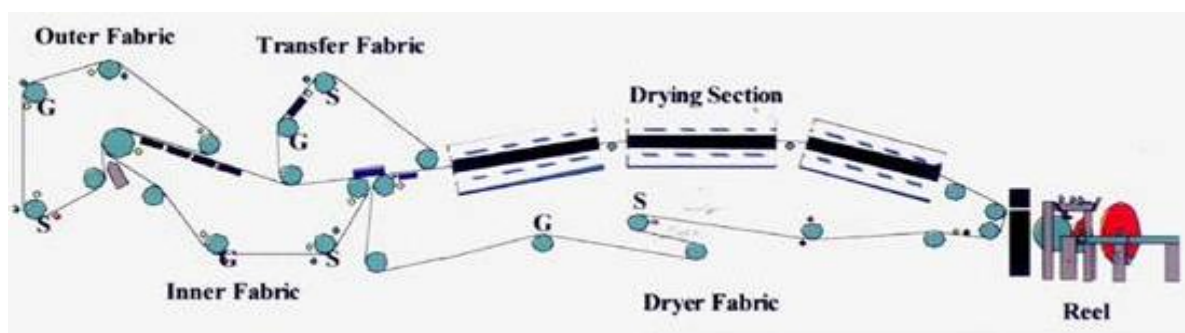


Figura 4.4.08 (FONTE: Tissue World)

#### 4.5. “COATING”

A camada ou revestimento (“coating”) começa a formar-se quando a água é evaporada do papel, à medida que entra em contato com a superfície de secagem, devido aos compostos

---

orgânicos e inorgânicos solúveis que se depositam na superfície juntamente com as partículas de fibras da folha. O revestimento inorgânico fornece um suporte esquelético para captar orgânicos. Podem obter-se um revestimento no “Yankee” mais grosso, uniforme e flexível, ao melhorar a retenção de cargas, partículas de fibras e resina de resistência na parte úmida. O revestimento é importante para a remoção da folha da superfície do “Yankee” por intermédio da lâmina de crepagem.

Para papéis não-colados, com polpas sulfito de alto rendimento, por exemplo, tem sido observado que esta fina camada adesiva se forma na superfície do secador limpo após 15 minutos de ter sido iniciada a produção. Como a camada forma-se gradualmente, a qualidade da crepagem melhora dramaticamente. Se o conteúdo de umidade da folha a ser nivelada é permitido ser aumentado um pouco acima de 10 %, a cobertura irá eventualmente desaparecer e a qualidade da crepagem será degenerada. Desta forma, é essencial uma folha seca para a formação desta camada.

A observação microscópica de cópias da superfície da camada formada no secador durante operações de crepagem comercial tem revelado a presença de pequenos fragmentos de fibra embebidos em um delgado filme adesivo com poucos micrômetros. Este filme alisa quaisquer irregularidades prévias na superfície do secador, isto é, estrias de refinação. Como resultado, a área efetiva de contato folha/secador e, conseqüentemente, a adesão, é aumentada.

A análise química da camada mostra que esta é composta, principalmente, de hemiceluloses, junto com pequenas quantidades de lignina, celulose, extrativos da polpa e fibrilas dispersas. Surpreendentemente, quantidades significativas de extratos da polpa (por exemplo, breu) são encontradas, indicando que embora estes materiais estejam muitas vezes presentes quando a adesão é excessiva, eles são componentes majoritários da camada adesiva. A figura 4.5.01 mostra a superfície do cilindro “Yankee” com os componentes do revestimento.

A solubilidade e concentração de hemiceluloses na água branca dependem fortemente do pH, proporção de grupos ácidos presentes na hemiceluloses, concentração de lignina e concentração de vários aditivos químicos, tipo de polpa e pré-tratamento de polpa. Portanto, todas estas variáveis podem influenciar a extensão da adesão da folha. Para uma variedade de polpas sem cola, o valor ótimo para uma adesão controlada da folha na faixa entre 30 e 70 mg/litro de hemiceluloses dissolvidas na água branca.

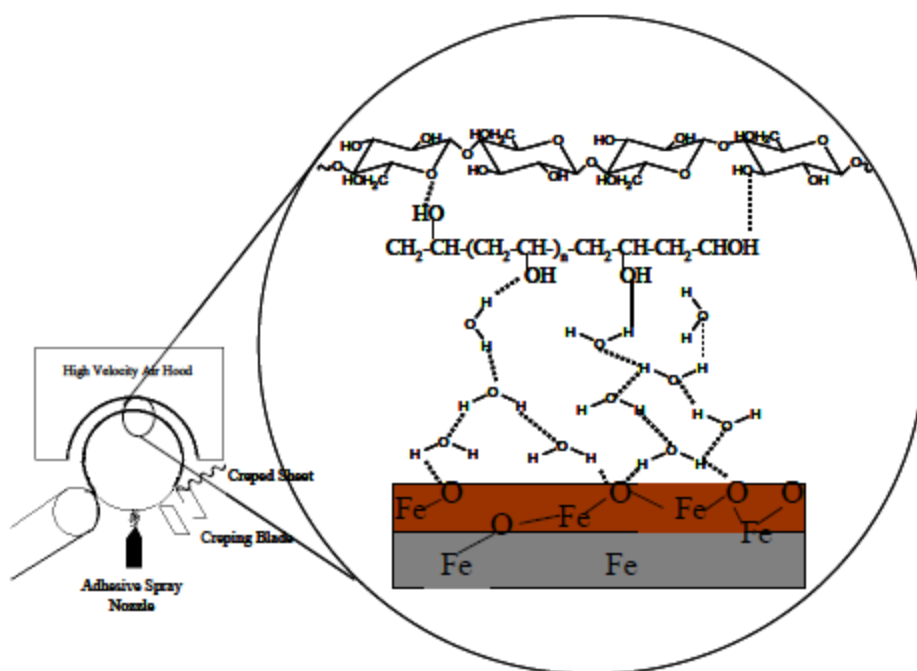


Figura 4.5.01 (FONTE: Adhesion Mechanism between Polymer and Metal Interface – Birol Ünner)

Devido à sensível interdependência entre a concentração de hemiceluloses dissolvidas e os vários componentes químicos presentes na polpa e sistemas de água branca, manter constante e uniforme a adesão da folha no secador é, muitas vezes, o mais difícil problema de produção encontrado no processo de crepagem a seco.

Devido à importância do revestimento (“coating”), é importante que este revestimento seja produzido e controlado como uma variável de processo. Um revestimento uniforme e flexível produz uma crepagem mais uniforme e lubrifica a lâmina de crepagem à medida que se remove a folha da superfície do secador “Yankee”, baixando seu coeficiente de fricção e diminuindo o desgaste da lâmina e do secador.

O revestimento orgânico à superfície do cilindro secador é um parâmetro importante a considerar, devido à sua influência sobre as características da folha. A otimização das características de aderência e soltura podem alterar, significativamente, a qualidade do papel “tissue”, podendo a estrutura química de revestimento ser modificada ou alterada para que se alcancem os resultados desejados. Para uma crepagem uniforme, é essencial formar um revestimento orgânico na superfície.

É desejável um revestimento durável e grosso. Um revestimento fino produzirá crepagem áspera e, como não se põe suficiente energia na folha da lâmina de crepagem, o volume conseguido é baixo e significa fraca tensão. Por outro lado, um revestimento muito agarrado pode causar maior desgaste de lâminas e tamponamento. O revestimento de “Yankee” equilibra o alto volume com enrolamento similar.

Um recobrimento controlado do “Yankee” melhorará a qualidade da folha e reduzirá a frequência das trocas de lâminas. Um bom revestimento pode resultar num perfil de umidade mais uniforme, o que pode, conseqüentemente, aumentar a velocidade da máquina. A qualidade de enrolamento uniforme é decisiva para as operações de conversão.

Muitas pessoas têm dificuldade em determinar o que é um bom ou um mau revestimento. Um bom revestimento é aquele que é uniforme, e a melhor maneira de julgá-lo é observar se o enrolamento do papel, a vida útil das lâminas, a espessura e a gramatura estão uniformes.

Para melhorar a uniformidade da camada adesiva e liberação da folha, é prática comum o uso de diversos adesivos ou químicos de liberação. Estes químicos, normalmente são adicionados na polpa ou nos sistemas de água branca (parte úmida), fazendo com que as partículas de fibras, recheios e resinas de resistência em estado úmido sejam transportadas à superfície do “Yankee” através da malha, por meio dos mecanismos de retenção e drenagem.

Muitos auxiliares de descolamento contínuo atuam também como eliminadores de espuma na máquina, de tal forma que a adição na parte úmida poderá também dar características de maciez e absorção. Muitos dos produtos químicos utilizados na parte úmida, que não sejam adesivos ou químicos de liberação, têm efeitos significativos sobre a crepagem tais como, por exemplo, as resinas de resistência a úmido que aumentam a aderência da folha ao cilindro.

No entanto, para evitar perturbações na química da parte úmida e utilizar menos produtos químicos, eles podem também ser borrifados sobre a folha exatamente antes do rolo de pressão ou diretamente no secador “Yankee” o que, alega-se produzir uma cobertura mais uniforme. Entretanto, no caso de não serem projetados adequadamente, os chuveiros são difíceis de controlar e podem dar maus resultados. Na figura 4.5.02 aparecem os vários estágios na formação do “coating”.

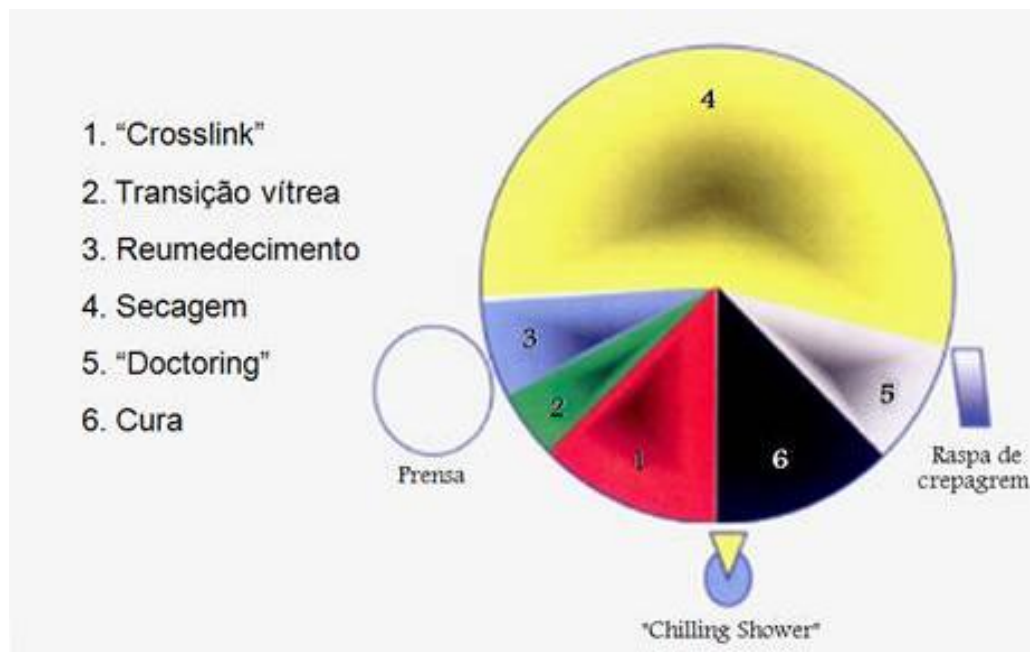


Figura 4.5.02 (FONTE: Tissue World)

Cada uma destas etapas é descrita da seguinte forma:

- “Crosslinking”: o polímero forma uniões entre si e com a celulose presente;
- Transição vítrea: o polímero muda de estado (aderente);
- Reumectação: ponto onde o revestimento é reumectado pela folha no nip;
- Assentamento: desidratação do polímero na capota;
- “Doctoring”: a lâmina controla a espessura do coating;
- Cura: o polímero forma a capa protetora.

#### 4.6. “CREPING”

A crepagem é um processo controlado de desligamento na folha base. Desligamento é a quebra de parte das ligações entre fibras (figura 4.6.01). O alto nível de ligações entre as fibras, atingido pela folha base durante a prensagem e secagem, é produzido significativamente pela compressão da folha contra a raspa crepadora.

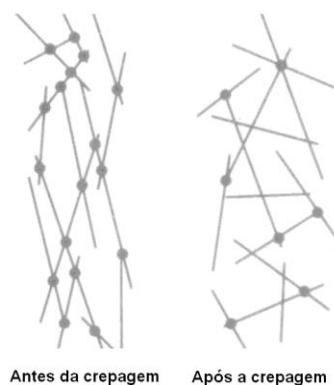


Figura 4.6.01 (FONTE: “La hoja de papel tissue” - NALCO Colômbia)

O crepe é considerado outro item chave no processo. Ele gera as últimas propriedades do papel “tissue”. A palavra crepe é definida como leve, macio fino tecido com uma superfície crespada. O crepe é o que distingue o “tissue” de outro papel. No geral, o processo de crepagem consiste em destacar a folha do secador com o auxílio de uma lâmina crepadora. Isto produz um crepe acabado. O crepe é para fazer o “tissue” macio, volumoso e mais absorvente.

O Processo de crepagem pode ser dividido em três partes:

- As propriedades da folha de papel;
- A adesão da folha de papel no secador;
- Geometria da raspa crepadora.

O processo de crepagem inicia quando o papel é transferido do feltro para a superfície do secador via rolo de pressão.

A superfície do secador é construída com um acabamento muito fino para permitir íntimo contato da folha e eficiente transferência de calor e reduzir o desgaste da lâmina de crepagem. Uma manta de fibras úmida previamente formada é desaguada a aproximadamente 2 MPa e secada em um conteúdo de umidade de aproximadamente 65 % contra a superfície de um secador “Yankee”, aquecido a uma temperatura superficial de cerca de 85 °C.

Durante a secagem, forças de tensão superficial arrastam as fibras próximas umas das outras, produzindo ligações entre as fibras. A maior parte é derivada destas ligações, visto que as fibras papeleiras convencionais oferecem um pequeno, ou nenhum, embaraço de fibras. Após alcançar um teor de seco de aproximadamente 90 a 95 %, a folha aderida é raspada da

superfície do secador rotativo com o auxílio de uma lâmina niveladora que produz um enrugamento (acabamento crepado). Esta ação de crepagem quebra algumas ligações das fibras e torna a folha mais macia, volumosa e mais absorvente. A maciez é ainda altamente dependente do teor de seco da folha na qual a crepagem é realizada, e melhora, aumentando-se o teor de seco. Aditivos (agente de adesão, de soltura e água) são borrifados sobre a superfície do secador antes da sua passagem pelo rolo prensa. Eles são borrifados no sentido de controlar o nível de adesão entre a folha de papel e a superfície do secador. A folha, então, acompanha o secador e é destacada pela raspa crepadora.

A ação de crepagem ocorre quando a folha se choca com a raspa crepadora. Quando isto acontece, o papel incha e torce, próximo do ponto onde a lâmina contata com a superfície do secador. As pequenas dobras formadas quando a folha é destacada do secador são chamadas de microdobras (figura 4.6.02). Estas microdobras são criadas sucessivamente na área entre o secador e a superfície de crepagem.

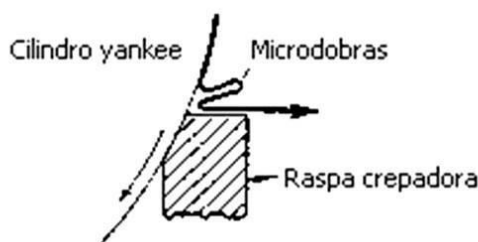


Figura 4.6.02 (FONTE: “Teoria do crepe” – Carlos Alberto de Souza Macedo)

Quando o número de microdobras aumenta, o ponto no qual a folha se destaca do secador, gradualmente, se afasta a um ponto superior na superfície do secador (figura 4.6.03).

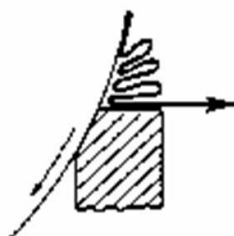


Figura 4.6.03 (FONTE: “Teoria do crepe” – Carlos Alberto de Souza Macedo)

Quando o pacote de microdobras torna-se grande o suficiente a folha aderida ao secador fica cunhada entre a superfície do secador e o pacote de microdobras. Isto causa certo comprimento não crepado na folha de papel. Um grupo de microdobras junto com a porção não crepada da folha é chamada macrodobras (figura 4.6.04).

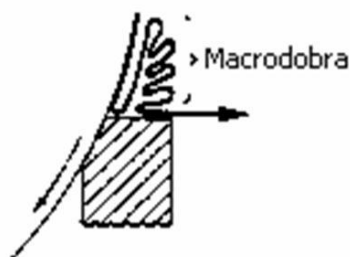


Figura 4.6.04 (FONTE: “Teoria do crepe” – Carlos Alberto de Souza Macedo)

O processo continuará produzindo um pacote de macrodobras. Quando o pacote de macrodobras na bolsa de crepado torna se grande suficiente, o crepe fluirá livremente da bolsa e é enrolado no rolo de papel (figura 4.6.05).



Figura 4.6.05 (FONTE: “Teoria do crepe” – Carlos Alberto de Souza Macedo)

O tamanho da macrodobra é dependente da bolsa de crepe (figura 4.6.06). A bolsa de crepe é a área entre o secador e a lâmina crepadora. No geral, uma bolsa de crepe maior produzirá grandes macrodobras. Elas produzirão um fino e mais desejável crepe. Crepe fino é caracterizado pela diminuição da altura do crepe e um aumento na frequência das dobras crepe. Se a bolsa de crepe é pequena, o número de microdobras por macrodobras diminuirá. A diminuição em microdobras formara um crepe grosso. O crepe grosso é caracterizado por um aumento na altura da dobra crepe e uma diminuição na frequência das dobras. Grandes macrodobras são desejadas porque elas contêm mais microdobras.



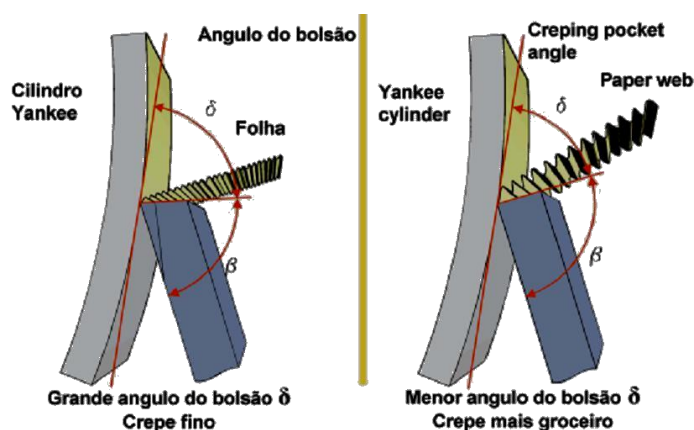


Figura 4.6.06 (FONTE: indeterminada)

A condição ideal deve ser um crepe uniforme com menores porções de folha não crepada. O crepe (dobras) deverá estar ao acaso e não em linhas através da folha. As dobras devem ser arredondadas e não na forma de picos agudos. A geometria do crepe é crítica para o processo de crepagem.

Devido à força de fricção atuante entre a superfície da raspa e as macrodobras, o inchamento e torção continuam. Quando a quantidade de material crepado aumenta entre o secador e a raspa, a pressão aumenta dentro da bolsa de macrodobras. A quantidade de pressão que acumula na bolsa de macrodobras depende do ângulo da raspa crepadora. O ângulo entre a superfície do secador e a raspa é chamado de bolsa de crepe (figura 4.6.07).

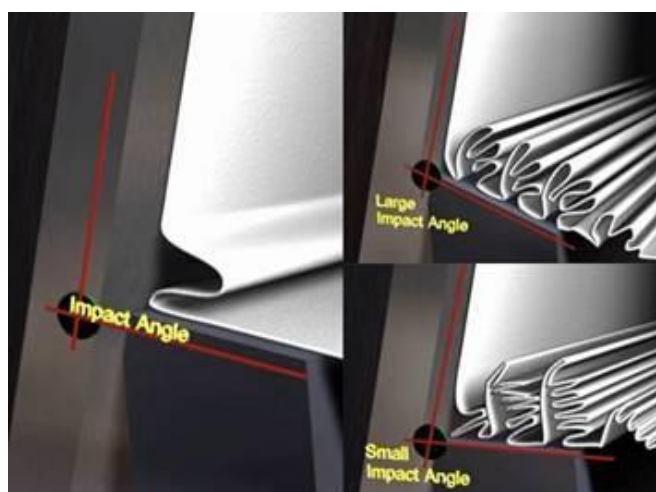


Figura 4.6.07 (FONTE: Hércules)

---

Quanto mais macrodobras são formadas, a pressão dentro da bolsa aumenta. A pressão de fora da superfície do secador é alguma coisa inferior, fazendo as macrodobras livrarem-se e eventualmente cair da bolsa. Se o ângulo da bolsa é grande, a pressão aumenta lentamente permitindo a formação de grandes bolsas. Se o ângulo é pequeno, a pressão aumenta rapidamente. Isto causa o colapso das macrodobras mais freqüente e o número de microdobras por macrodobras diminui. A bolsa de crepe que é importante para a estrutura do crepe, é influenciada pelos seguintes itens:

- Ângulo de retifica da raspa;
- Ângulo do suporte da raspa;
- Pressão da raspa;
- Extensão da raspa (“stick out”);
- Ângulo de desgaste da raspa.

O sistema de crepagem possui um enorme impacto na qualidade final do papel acabado. Podemos considerar que a variação do tipo de crepe está ligado:

- A adesão do papel no cilindro “Yankee”;
- As propriedades finais dos papéis como as diferentes necessidades de maciez, tensões e espessura do papel. Nesta parte temos que considerar ainda: a matéria-prima (natureza da fibra) que compõe a folha, a umidade da folha que está sendo crepada e a gramatura;
- Preparação de massa;
- Condições da água;
- Química da parte úmida;
- Prensas;
- Posição do chuveiro;
- Condições superficiais do cilindro “Yankee”;
- Tipo de lâmina e a geometria de atuação contra o crepador: espessura da lâmina de crepe utilizada, ângulo de contato da lâmina, ângulo de retifica da raspa, ângulo de saída do papel e pressão na raspa;

- Parte final da MP.

#### **4.6.1. Influência da adesão folha / cilindro**

Por ser, talvez, o parâmetro de maior influência sobre a crepagem e por ser dependentes de muitos outros parâmetros listados acima, será primeiramente apresentado neste trabalho.

A adesão natural do papel contra o cilindro “Yankee” ocorre devido ao pH do papel que, deve ficar, normalmente, na faixa de 6,5 a 8,0. Nesta faixa de pH ocorre a formação do “coating” natural do papel sobre o secador, porém, se esta adesão não for uniforme, irá afetar qualidade do papel. A adesão, além de manter o papel no secador até a crepagem, aumenta de maneira uniforme a transmissão de calor. Outro ponto que afeta a adesão da folha ao secador é a gramatura do papel, pois, com gramaturas menores a adesão ao secador é maior.

Testes de laboratório indicam que a camada adesiva que se formaria naturalmente na superfície do secador origina-se por três mecanismos possíveis:

- Água branca, que contém pequenas quantidades de hemiceluloses dissolvidas, prontamente molha a superfície metálica do secador e, pela evaporação, forma um fino filme adesivo. Este mecanismo é sustentado por estudos em laboratório os quais mostram que extratos alcalinos obtidos de várias polpas, quando concebidos evaporar em uma superfície de metal quente, formam uma fina camada com adesão muito forte. A formação e preservação do filme adesivo são também altamente dependentes do teor de seco no momento em que é pressionado contra a superfície do secador, como evidenciado pela redução da adesão da folha com aumento do teor de seco;
- Pequenos fragmentos de fibra (material fibrilar) que são removidos da folha por arrancamento. Isto ocorre quando a adesão sobre o cilindro excede a coesão da manta de fibra. Evidência para este tipo de mecanismo resulta da análise microscópica de depósitos fibrosos encontrados na superfície do secador e lâmina niveladora;
- Durante a crepagem a seco, fibras de papel sofrem uma transformação termoplástica fazendo que uma fina camada de hemiceluloses seja transferida das fibras úmidas para a superfície quente do secador. Baseado nas medições de amolecimento térmico e ligação adesiva de amostras isoladas de lignina, hemiceluloses e celulose, é mais provável que as condições de crepagem sejam altamente contribuintes para tal transformação.

Acredita-se que o grau desejado de crepagem demanda um balanço delicado entre as forças adesivas, mantendo a folha na superfície do secador e as forças de liberação geradas na borda de contato da lâmina niveladora.

Para tornar a lâmina niveladora apta a produzir o número requerido de pregas no papel, é essencial que a folha esteja aderida suficientemente à superfície cilíndrica do secador. Além disso, a adesão deve ser uniforme. Caso contrário, grandes variações podem influenciar as propriedades do produto final tais como, por exemplo, absorção de água, espessura, resistência à tração e alongamento.

A adesão da folha sobre o “Yankee” afeta as propriedades do papel, uma adesão baixa proporciona um produto com crepe mais grosso e maior volume específico, resultando em melhor resistência à tração e alongamento. Neste caso, dependendo de quão baixa for a adesão, a folha poderá deixar o secador sem ter sido crepada, pois irá se separar do cilindro antes de alcançar a lâmina niveladora.

Por outro lado, se a adesão é muito alta, muita força é necessária para destacar a folha do secador, causando um péssimo crepe ou pode causar ação de crepagem intermitente (com interrupções). A folha pode, ainda, resistir completamente a crepagem e passar sob o nivelador. Dependendo da resistência coesiva da folha, particularmente em relação às fibras superficiais, o nivelador de crepagem tenderá a remover e arrastar fibras da superfície da folha, causando furos, formação de poeira e, algumas vezes, ruptura da folha. Na figura 4.6.08 aparecem os resultados da crepagem para diferentes adesões, mantendo o mesmo ângulo da lâmina. A figura 4.6.09 mostra um crepe mais grosso na esquerda e um crepe mais fino na direita.

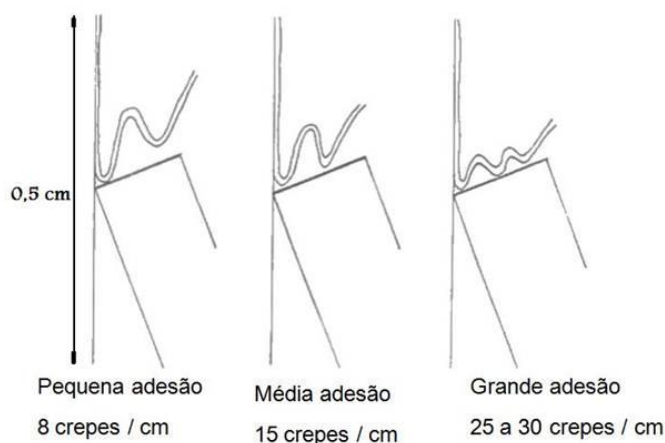


Figura 4.6.08 (FONTE: indeterminada)

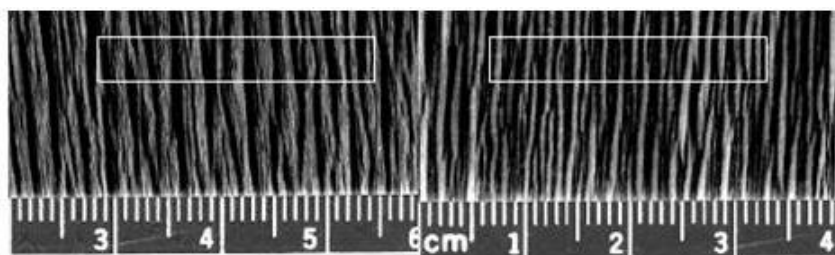


Figura 4.6.09 (FONTE: indeterminada)

As diferenças na natureza química, peso molecular e linearidade da molécula do adesivo terão impacto em sua dureza e aderência. Quanto mais ligações transversais ocorrem durante a cura, tanto mais duro e com pouca capacidade de reumedecer será o revestimento, enquanto uma estrutura mais linear define um revestimento mais brando e mais solúvel em água. Um sistema que permita modificar esta umidade, misturando dois componentes na máquina de papel, proporcionará flexibilidade, permitindo aplicar, em cada caso, um único composto, que será específico para cada máquina e tipo de papel que está sendo fabricado.

Os aditivos químicos formulados para descolar a folha da superfície do secador, são geralmente misturas de óleos, solventes ou agentes de tratamento de superfície, que formam uma fina película lubrificante na superfície do “Yankee”. Entretanto, atualmente, existem agentes de “release” à base d’água.

A aplicação de adesivos e agentes de soltura à superfície do secador tem três propósitos:

- Formar um recobrimento protetor sobre o secador;
- Manter a folha em seu lugar até que dada energia seja transmitida à folha via a raspa crepadora. Isto resulta no desligamento de fibras;
- Servir como um meio de transferência de calor do secador para a folha. Boa adesão da folha ao secador aumenta de maneira uniforme a transferência de calor.

A utilização excessiva ou insuficiente dos auxiliares de descolamento pode causar danos ao revestimento e a adesão. Colocando produtos à base de óleo (auxiliares de descolamento ou eliminadores de espuma) na parte úmida, será eliminada a espuma, porém se usados em dose excessiva podem também descolar o revestimento do “Yankee” e contribuir

para a formação de depósitos na máquina, feltro e cilindros de prensa. Muitas fábricas usam aditivos para revestimento e auxiliares de descolamento. A relação apropriada de ambos é ajustada com base nas características desejadas, tanto da folha como operacionais. A dose excessiva de um deles pode levar à dose excessiva do outro.

O excesso de óleo de descolamento ou eliminador de espuma pode prejudicar o rendimento da resistência em estado úmido. Em vez de diminuir a dose, neste caso muitos operadores preferem aumentar o uso da resina de resistência a úmido. Isto pode criar espuma, o que requer mais antiespumante e, por conseguinte, mais resistência em úmido; a espiral continua.

Apesar das reivindicações dos produtores por uma liberação da folha uniforme e controlável, vida prolongada da lâmina niveladora e reduzida abrasão do secador “Yankee”, aditivos químicos fornecem apenas uma solução temporária para o controle de adesão. Invariavelmente, eles interferem com a concentração de hemiceluloses dissolvidas e, deste modo, afeta a uniformidade e homogeneidade da camada adesiva. Isto resulta em freqüentes reajustes nas marcas durante a produção.

#### **4.6.2. A influência da natureza das fibras**

A natureza das fibras afeta significativamente as propriedades da folha tais como flexibilidade, capacidade de conformação, resistência e crepe, devido às diferenças no nível de ligação das fibras. Uma folha produzida com fibras longas produzirá um crepe mais grosso do que aquele de uma folha produzida com fibra curta. Uma folha de fibras curtas contém menos ligações que deverão ser quebradas durante a crepagem, resultando numa folha mais macia.

A rigidez da fibra tem sido aceita como uma variável de influência sobre a crepagem. Um exemplo prático extremo pode ser descrito no uso de pastas termomecânicas. Elas possuem fibras rígidas, o que determina a necessidade de elevada adesão no cilindro para obter crepe comparável ao obtido com fibras convencionais. A matéria prima tem influência, também, no que diz respeito ao conteúdo de hemiceluloses.

#### **4.6.3. Influência da preparação de massa**

Outros fatores de influência sobre a adesão estão na preparação de massa. O tempo de desintegração e o refino têm efeitos distintos. A maior residência na desintegração causa menor tendência à adesão no “Yankee”, enquanto o aumento do grau de refino determina liberação de hemiceluloses, liberação de finos e fibrilas bem como flexibilidade de fibras com aumento de sua área de ligação. Estes fatores de refino determinam uma adesão maior.

O refino deve ser realizado com cuidado, pois reduz a porosidade (aumenta a resistência à passagem de ar) dos papéis, rapidamente. Em casos de máquinas antigas que necessitam de maior resistência a úmido para satisfazer o seu andamento, torna-se crítico o compromisso entre qualidade final do papel e nível de produção atingida. Neste caso, as fibras longas refinadas podem ser utilizadas para promover a resistência a úmido.

#### **4.6.4. A influência da umidade**

A umidade da folha afeta a crepagem, em parte porque ela afeta a adesão da folha ao secador (por interagir com os aditivos de adesão) e em parte porque ela muda as características da fibra tais como flexibilidade e conformação. Estes são parâmetros importantes no processo de crepagem. Muita umidade resulta numa menor adesão, causando menos saliências. Esta condição produz um crepe grosso, o que é pouco desejável. Por outro lado, em baixa umidade, a folha adere fortemente ao secador. A crepagem nestas condições produz pequenas saliências e cria volume, produzindo uma folha com condições mais desejáveis.

#### **4.6.5. A influência da gramatura**

A gramatura influencia a estrutura do crepe. A facilidade com que a folha pode dobrar ou torcer é determinada, em parte, pela gramatura. A folha de papel é mais rígida com valores de gramatura mais altos; e mais macia, em valores mais baixos. O crepe torna-se grosso com o aumento da gramatura. Com uma gramatura muito baixa a folha pode aderir fortemente ao secador e uma gramatura muito alta pode não aderir ao secador com intensidade suficiente para um adequado crepe. Se a gramatura é irregular ao longo da folha, então o crepe será também desigual.

#### **4.6.6. Influência da condição da água**

As condições da água têm influência significativa sobre os resultados da crepagem. O pH das máquinas de ‘tissue’ situa-se entre 6 e 8, sendo que a maioria atua num pH 7 ou mais elevado. Acidez no sistema pode desequilibrar a estabilidade, podendo até remover o revestimento existente.

Em sistemas fechados de água branca, controlar a concentração de hemiceluloses dissolvida torna-se mais difícil, especialmente, durante quebras da folha na máquina. A dureza da água também é importante, pois as concentrações específicas e íons de cálcio proporcionam uniformidade da aplicação. Sem dúvida, a insolubilidade de alguns sais de cálcio de adesivos químicos naturais podem facilitar o desenvolvimento do revestimento, bem como sua uniformidade. A faixa de dureza mais favorável para operação de crepagem fica entre 80 e 125 mg de  $\text{CaCO}_3$  / litro.

Se a necessidade por mais água fresca aumenta, é preferível usar chuveiro de água branca e garantir que a sua temperatura seja mantida abaixo de 50 °C. Deste modo, parece que a concentração e natureza de certas espécies iônicas no papel e na água branca desempenham um papel significativo. De fato, alguns estudos em polpas comerciais mostram que a substituição de vários cátions por aqueles inerentemente associados com a polpa, definitivamente afetam a resistência do papel. Uma importante consequência de um mecanismo de troca do íon pode envolver a solubilidade das hemiceluloses, que depende, junto com outros fatores, da proporção dos grupos ácidos presentes na molécula de hemiceluloses.

#### **4.6.7. Influência da química da parte úmida**

O conhecimento da química de parte úmida da máquina tem um papel vital no revestimento do “Yankee”. Assim como existem materiais que podem ser usados para criar um bom revestimento, outros aditivos na máquina, como o cloro, se usados incorretamente ou em excesso podem danificar ou desprender o revestimento do “Yankee”. Finalmente, é importante lembrar que um bom programa químico de revestimento não pode compensar os problemas operacionais do “Yankee” ou da máquina.

Conseguir propriedades na folha criando um revestimento químico pode ser extremamente difícil se a superfície do secador “Yankee” estiver furada ou riscada ou se a transferência de calor através da superfície do “Yankee” não for uniforme. A formação de incrustações na superfície interna do sistema de vapor e condensado pode provocar variações



no coeficiente de transferência de calor, causando oscilação no perfil de gramatura e um perfil não homogêneo de umidade, assim como variações na crepagem, volume e tensão. Um bom método para manter um perfil de transferência de calor homogêneo através do tambor pode ser a limpeza periódica da superfície interna do secador “Yankee”.

Uma das considerações mais importantes de processo, na extremidade úmida, é o conhecimento das variáveis deste setor durante o processo de fabricação do “tissue” e de como pode ser usado este conhecimento para definir e alcançar a qualidade desejada no produto final. Entre elas incluem-se: composição da massa e a condição da água em termos de pH, dureza de cálcio e presença de inorgânicos. Deve-se levar em consideração a influência de aditivos, por exemplo, os agentes de resistência a úmido ou a seco, bem como determinados antiespumantes.

#### **4.6.8. Influência das prensas**

Esta seção da máquina, em geral é avaliada em termos de desempenho; por exemplo, quanto tempo o feltro está na máquina e em que estado se encontra. Esta seção influi na formação do revestimento, motivo pelo qual se deve avaliar o perfil da umidade transversal. Um perfil não uniforme, consequência de um feltro mal condicionado, pode ocasionar franjas no revestimento do cilindro, causando perda das características de aderência nestes setores, terminando por uma crepagem desigual na largura da folha.

Os novos modelos de feltro “pick up” melhoram o controle da crepagem. Os seus benefícios são: melhor perfil transversal da umidade na largura, devido às melhores características de menor rugosidade da superfície do feltro, o que produz uma crepagem fina e “tissue” mais macio. Essa superfície mais macia e uniforme passa para a superfície do “Yankee” uma folha de papel prensada de forma uniforme, sendo que quanto mais uniforme for a folha prensada, mais uniforme será a distribuição do revestimento do cilindro.

Alguns dos parâmetros críticos dos feltros em relação ao controle do processo de crepagem são: o volume livre, a compressibilidade e a textura superficial. O condicionamento químico contínuo do feltro na produção de “tissue” manterá estas características durante toda a vida do mesmo, assegurando um feltro livre de contaminantes orgânicos e inorgânicos. Atualmente, existem produtos que conservam as características funcionais do feltro sem interferir com os revestimentos orgânicos do cilindro “Yankee”. Estes produtos aplicados por meio de “sprays” de baixa pressão impedem a acumulação de contaminantes e,

conseqüentemente, aumentam a vida útil e melhoram o desempenho do feltro durante a operação.

#### **4.6.9. Influência da posição do chuveiro (“coating shower” ou “chilling shower”)**

O chuveiro deve estar localizado de maneira tal que permita aplicar o produto diretamente à superfície do secador. Em geral, é necessário testar mais de uma posição, a fim de encontrar o ponto ótimo de localização, antes do “nip” da primeira prensa. Quanto mais afastado se encontra o ponto de aplicação em relação ao “nip” e quanto mais alta for a temperatura do cilindro, tanto mais rapidamente o revestimento se adere. Por outro lado, o chuveiro se localiza logo após o raspador de limpeza, a fim de minimizar o arraste de uma capa de ar próxima da superfície, o que alterará a aplicação do revestimento.

#### **4.6.10. Influência das condições da superfície do cilindro “Yankee”**

Se aceita que a crepagem é determinada por um balanço delicado entre a superfície do secador e a lâmina crepadora. A formação do crepe uniforme é fundamental, se não, ocorrem variações incontroláveis no produto final, expresso pela absorção de água, espessura, resistência à tração e alongamento.

A formação da camada também é extremamente dependente da natureza da superfície do cilindro secador. Mesmo um secador altamente polido, ainda possui uma rugosidade superficial microscópica da ordem de 0,1 a 0,2  $\mu\text{m}$ . A presença de tal rugosidade de pequena escala pode influenciar profundamente a difusão de líquidos e capacidade de umectação da superfície. Por essa razão, a capacidade de umectação do cilindro secador no contato inicial com uma folha úmida pode variar consideravelmente dependendo da orientação e textura da rugosidade superficial. E compensação, esta pode ter um efeito importante na formação da camada adesiva, particularmente na uniformidade e, assim, na adesão da folha ao cilindro.

Quando a superfície do secador entra em contato com uma folha úmida ou uma solução aquosa de componentes de polpa dissolvidos, um potencial eletroquímico é gerado entre a superfície de metal e a solução. O valor da diferença de potencial depende da composição da camada de óxido da superfície e as propriedades eletrolíticas da solução aquosa. Com uma superfície de ferro fundido, uma absorção química rápida provavelmente ocorrerá, levando, eventualmente, a uma mais extensiva reação química e a formação de um filme óxido, o qual

---

invariavelmente cresce em espessura por difusão. Portanto, tanto a adesão de diferentes compostos químicos na superfície do cilindro quanto à quantidade de corrosão são simultaneamente afetadas.

A rápida corrosão dos secadores “Yankee” de ferro fundido durante sua operação causa a formação de um filme grosseiro de óxido. Visto que o filme é ligado fracamente à superfície, pode facilmente ser quebrado e, com isso, romper a camada adesiva. Esta situação é altamente inoportuna no processo de crepagem a seco. No entanto, um desenvolvimento que parece superar esta dificuldade é um processo de metalização com arco elétrico, no qual uma cobertura uniforme muito fina de aço inoxidável rico em cromo é aplicada diretamente ao secador “Yankee”.

A resistência química do filme de óxido de cromo formado na cobertura inibe a corrosão do substrato básico. O menor potencial eletroquímico do aço inoxidável e, por isso, a menor afinidade para formar uma camada adesiva, não parece apresentar problemas sérios durante a crepagem. De fato, alega-se que a adesão é mais uniforme e a crepagem mais controlável.

Outras vantagens, de acordo com os fabricantes são: retificação menos freqüente e prolongada vida útil da lâmina de crepagem devido às pressões reduzidas da lâmina. Para compensar a perda de transferência de calor resultante da menor condutividade do aço inoxidável comparado ao ferro fundido, coberturas mais finas de metal são preferíveis, isto é, 1,5 mm ao invés da espessura padrão de 2,5 mm, particularmente nas máquinas com capacidade limitada do secador.

Deve também ser compreendido que outro importante fator que afeta a transferência de calor é a resistência ao contato entre a folha e a superfície do secador, o qual é dependente da rugosidade da folha. No caso de uma folha fina, tal como “tissue”, onde a resistência é relativamente alta, a rugosidade do feltro usado para pressionar a folha contra o secador é provavelmente decisiva.

Um refinamento adicional proposto para controlar a extensão da adesão é a aplicação direta de tratamento de coroa na superfície do secador “Yankee”. Dependendo do tipo de polpa e intensidade de coroa, é possível aumentar a adesão da folha sob controle e, em alguns casos, a adesão pode também ser reduzida. Essencialmente, aumento da adesão da folha é conferido pela acentuada capacidade de umectação do cilindro por razões pelas quais já foram elucidadas. Se a força de arrancamento da folha pode ser monitorada continuamente, pode-se

em princípio ser possível manter o nível desejado de adesão variando a intensidade do tratamento da coroa.

#### 4.6.11. Influência da posição e da geometria da raspa

A crepagem possui dois parâmetros que interagem: a geometria de crepe e a pega sobre o cilindro “Yankee”. A geometria da lâmina de crepe (figura 4.6.10) afeta as propriedades e a estrutura da folha. Em pequenos ângulos de lâmina, o crepe é fino, tornando-se mais grosso com o aumento do ângulo, enquanto a resistência à tração decresce, principalmente na direção longitudinal da máquina de papel. A lâmina de crepagem ajustável é uma ferramenta excelente para ajustar a qualidade do produto: maciez superficial versus maciez devido ao volume específico.

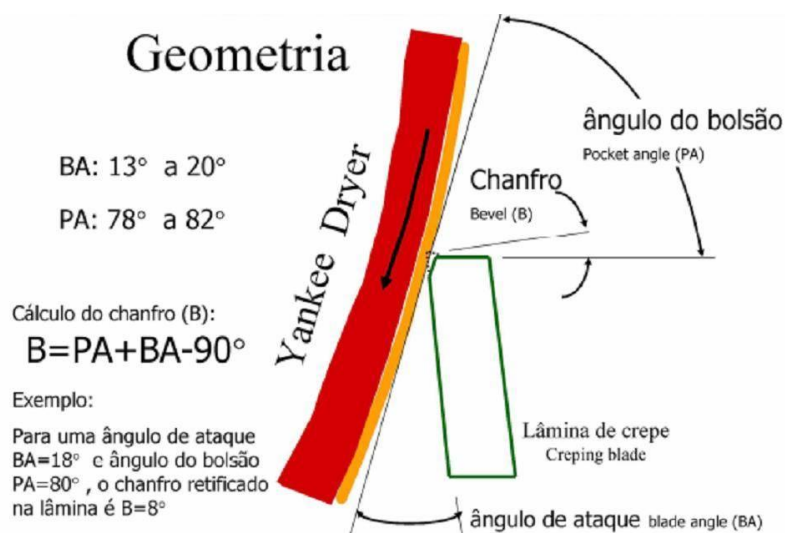


Figura 4.6.10 (FONTE: indeterminada)

A bolsa de crepe afeta a espessura do crepe. Quando ela diminui, a espessura do crepe aumenta. Quando aumenta, a espessura do crepe diminui. A bolsa do crepe ideal está entre 85° a 90°. O ângulo da bolsa de crepe é igual a 90° menos o ângulo de desgaste da raspa mais o ângulo de retificação da raspa. O ângulo de desgaste da raspa é a área entre o secador e a traseira da raspa crepadora. O ângulo de desgaste e a medida do desgaste na lâmina pelo secador. Quando o ângulo de desgaste aumenta, a bolsa de crepe torna-se menor, o que causa um crepe espesso. O ângulo de desgaste da lâmina é determinado pela extensão da lâmina e a pressão de carga.

A distância que a lâmina estende para fora do suporte é conhecida como extensão da lâmina. Reposicionando a raspa crepadora no suporte, mudará o ponto de contato da lâmina na superfície do secador. Portanto, mudando a bolsa de crepe, a pressão de carga na raspa crepadora afeta o processo de crepagem. Uma baixa pressão em conjunto com a alta extensão da lâmina causa um menor ângulo de desgaste. Um pequeno ângulo de desgaste faz a bolsa de crepe aumentar produzindo um crepe fino. Uma boa condição de processo é mantida quando há uma pressão de carga em 25 PSI, em extensão de 0,75 polegadas e um ângulo de desgaste de 22°.

A geometria da lâmina, o ângulo que a superfície de crepe da lâmina forma com o secador é importante para o processo de crepagem. O ângulo no qual a lâmina contata a superfície do secador afeta a espessura do crepe. Em geral, quando o ângulo diminui, a espessura do crepe aumenta. A figura 4.6.11 mostra isto de forma gráfica.

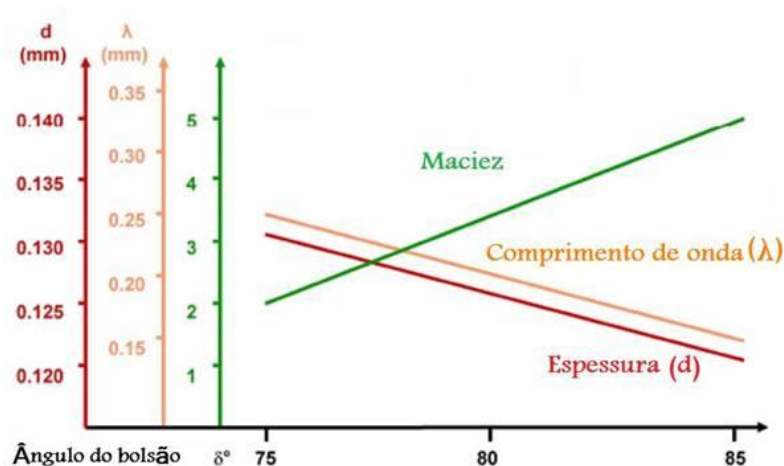


Figura 4.6.11 (FONTE: indeterminada)

A forma da lâmina e a posição do suporte de raspa com relação à superfície do secador têm uma significativa influência sobre a forma do crepe tanto quanto as propriedades da folha crepada. A largura e altura da lâmina também têm um direto efeito sobre a espessura do crepe. O chamado “stick out” que é a distância da fixação da lâmina do crepado no suporte varia de 1,25 a 2,00 in. A uma mesma pressão, quanto mais alta a lâmina menos “coating” será removido. O aumento da altura da lâmina resulta em menos crepagem e redução de desgaste de lâmina. A espessura típica da lâmina varia de 0,025 in a 0,050 in.

O ângulo do crepe tem um efeito fundamental na amplitude do crepe, comprimento da onda e dobras radicais. Quanto menor for o raio, maior será a resistência e provavelmente a folha parecerá mais áspera.

Ajuste do crepe pode ser modificado por:

- a) Mudando a posição do suporte;
- b) Abaixando ou levantando a raspa em relação ao suporte;
- c) Alterando a carga da raspa, ocasionando a flexão da raspa.
- d) Ajustando a largura das raspas (raspas com espessuras diferentes: “backs cuts” na raspa com uma lima, mas isto não é muito recomendável);
- e) Alterando o ângulo da retífica das facas.

#### **4.6.12. Influência da parte final da máquina**

Algumas das propriedades mais importantes do “tissue” são produzidas na parte seca da máquina. As três operações que afetam o produto final são: a crepagem, a calandragem e o bobinamento. O processo de crepagem produz o volume específico, o alongamento e a maciez, acompanhando-se o declínio da resistência à tração.

No caso da enroladeira, a sua velocidade é utilizada na relação de crepagem, relação esta que se aproxima bastante do valor de alongação quando se realiza o teste de tração longitudinal:

$$\text{Crepagem} = \frac{(\text{velocidade do cilindro "Yankee"} - \text{velocidade da enroladeira}) \cdot 100\%}{(\text{velocidade da enroladeira})}$$

A calandragem melhora a maciez superficial e diminui o volume específico, uniformizando-o, isto é devido ao rompimento das ligações interfibras durante a compressão e fricção com afrouxamento da rede fibrosa. O resultado é também diretamente correlacionado com a perda de resistência à tração a seco. O bobinamento deve preservar as propriedades e produzir rolos uniformes.

Seguindo a crepagem, o papel pode ser calandrado para realçar sua maciez. No entanto, melhoramentos maiores na maciez têm sido alcançados, visto o desenvolvimento dos processos de “tissue” macio de baixa densidade. Pelo uso de secadores antes e, algumas

vezes, após o “Yankee”, pode-se evitar severa compactação mecânica da folha, preservando deste modo o volume (“bulk”).

## 5. FINAL DA MÁQUINA DE PAPEL

### 5.1. GERAÇÃO DE POEIRA

A poeira é formada por fibras, pedaços de fibras (finos) e outras partículas de tamanho reduzido em relação ao tamanho médio das fibras durante a produção de papel “tissue” e outros tipos de papel. A quantidade de poeira gerada pela máquina de papel “tissue” tem aumentado como o aumento de velocidade das folhas de papel passando através da máquina. Grandes quantidades de poeira tendem a ser criadas nas máquinas que produzem papéis “tissue” macios e papéis com altas relações de crepe.

O controle de pó gerado durante o processo de fabricação de papel “tissue” tem-se convertido em um fator muito importante a se ter em conta, já que afeta tanto a produção e sua qualidade como a saúde dos operadores que atendem as máquinas do processo. Para isto muitos fabricantes de equipamentos têm desenvolvido e instalado sistemas integrais de remoção da poeira tanto na máquina “Yankee” como nas áreas de conversão.

Estes equipamentos permitem reduzir a poeira tanto no ambiente como na superfície da folha conseguindo, além das melhorias advindas desta redução, uma redução no risco de incêndios. Mediante a simulação em modelos computadorizados, provas em plantas pilotos e instalações em fábricas têm permitido definir perfeitamente os elementos a instalar, assim como seus fluxos, em função das exigências de projeto. As figuras 5.1.01 e 5.1.02 mostram o desenho esquemático e dimensional de um típico sistema de remoção de poeira da Andritz (LDC).

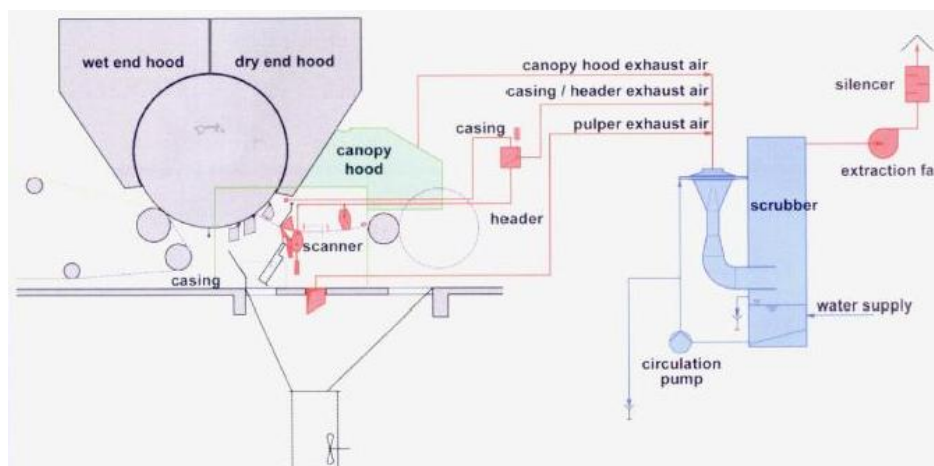


Figura 5.1.01 (FONTE: Tissue World)

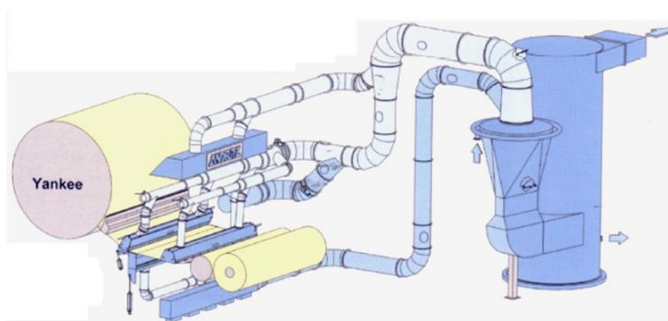


Figura 5.1.01 (FONTE: Tissue World)

## 5.2. MANEJO DA FOLHA DE PAPEL

O manejo da folha de papel refere-se às providências tomadas durante a fabricação do papel para evitar possíveis problemas (defeitos) na folha durante o processo de bobinamento ou conversão. Abaixo são apresentados alguns destes defeitos, suas possíveis causas e correções.

### 5.2.1. Bobina ondulada

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Variação do pH	Ajustar o pH
Perfil irregular	Corrigir o perfil
Aderência	Ajustar a aderência
Raspa alta	Ajustar altura da raspa

### 5.2.2. Ralheira

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Tela suja, entupida	Lavar tela
Espuma	Aumentar o anti-espumante
Água avançando na tela	Acertar espelho / Verificar °SR
Diferença de velocidade entre a tela e o feltro	Ajustar sincronismo



### 5.2.3. Repelência

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Prensagem	Corrigir a prensagem
Água suja no flotador (chuveiros)	Limpar a água
Feltro sujo	Lavar o feltro
Secagem	Ajustar a secagem
Excesso de produtos químicos no flotador	Reduzir a dosagem de produto químico
Feltro no fim de vida	Trocar o feltro

### 5.2.4. “Spot”

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Sujeira no feltro	Lavar o feltro. Trocar o lote de matéria prima.
pH baixo	Ajustar o pH

### 5.2.5. Bolha de ar ou bexiga

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Acúmulo de vapor atrás da 1ª prensa	Colocar uma mangueira de ar comprimido (provisório)
Acúmulo de condensado no secador	Ajustar os instrumentos para a retirada do condensado (diferencial de pressão)
Produto químico mal preparado	Preparar os produtos sem grânulos

### 5.2.6. Espessura alta

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Raspa baixa	Levantar raspa
pH baixo	Aumentar pH
Secador com pouco “coating”	Aumentar “coating”

Elongação alta	Reduzir alongação até o objetivo
Excesso de “release”	Reduzir a vazão
Excesso de secagem	Abaixar o vapor
Falta de pressão na enroladeira	Aumentar pressão na enroladeira

### 5.2.7. Espessura baixa

#### POSSÍVEIS CAUSAS

#### CORREÇÕES

O contrário de espessura alta	O contrário de espessura alta
-------------------------------	-------------------------------

### 5.2.8. “Hand feel” insatisfatório

#### POSSÍVEIS CAUSAS

#### CORREÇÕES

Umidade alta	Umidade dentro do objetivo
Secador sem “coating”	Aumentar “coating” no secador
Crepe enrugado	Trocar raspas
Elongação baixa	Ajustar alongação
Raspa reta (sem grau)	Fazer grau na raspa
Receita incorreta	Ajustar receita / usar amaciante

### 5.2.9. Corrente ou fichas

#### POSSÍVEIS CAUSAS

#### CORREÇÕES

Alta pressão da enroladeira	Diminuir a pressão na enroladeira
Folha solta	Prender a folha
Feltro sujo	Lavar o feltro
Umidade alta	Ajustar a umidade até o objetivo
Chuveiro entupido	Desentupir o chuveiro
“Release” forte demais	Reduzir vazão na bomba

---

Perfil irregular	Ajustar o perfil
“Dampers” de secagem desregulados	Ajustar os “dampers”

#### 5.2.10. Furos de feltro

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Sujeira no feltro	Lavar o feltro Trocar lote de matéria prima Colocar dispersante Verificar sistema de depuração Verificar consumo de sulfato de alumínio

#### 5.2.11. Furos de tela

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Sujeira na tela	Lavar a tela Trocar o lote de matéria prima Colocar dispersantes Verificar sistema de depuração Verificar consumo de sulfato de alumínio (precipita “stickies” devido ao baixo pH)

#### 5.2.12. Umidade alta nos refilos

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Feltro largo	Refilar o feltro
Avanço de água nas laterais da tela	Ajustar castelos da caixa de vácuo
Perfil irregular	Ajustar o perfil
Prensagem irregular	Ajustar a prensagem
Feltro no fim de vida	Trocar o feltro
Feltro entupido	Lavar o feltro

Desgaste nas laterais do secador	Retificar o cilindro
Mangueira de água aberta nas laterais do feltro “pick up”	Fechar a mangueira

### 5.2.13. Tensão transversal insatisfatória

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Alta	Fechar lábio, retirar água da máquina, verificar °SR, diminuir produto para retenção
Baixa	Abrir lábio, dar água na máquina, adicionar amido na receita, Verificar °SR, entrar com produto para retenção

### 5.2.14. Tensão longitudinal insatisfatória

POSSÍVEIS CAUSAS	CORREÇÕES
Alta	Diminuir amperagem do refinador, verificar receita, verificar °SR, diminuir produto para retenção
Baixa	Aumentar amperagem do refinador, verificar receita, adicionar amido, verificar °SR, entrar com produto para retenção

## 5.3. ENROLADEIRA “POPE” E MANEJO DO ROLO

A seção de enrolamento ou de corte é a última seção da máquina de papel. Do rolo-cabeceira até a entrada na seção de enrolamento ou corte, o processo de fabricação da folha é contínuo. Neste ponto, torna-se necessário transformar a folha contínua em unidades finitas e independentes, a fim de facilitar a sua manipulação e utilização posterior.

Basicamente, existem dois princípios usados para o enrolamento do papel: enrolamento por acionamento na face e enrolamento por acionamento no eixo. Cada um deles originou uma série de configurações de enroladeiras.

No enrolamento por movimento axial, a folha é enrolada em canudo fixo, e um eixo é acionado mecânica ou eletricamente. No caso de movimento mecânico, o eixo recebe movimento por meio de correias que utilizam embreagens para controlar a velocidade. Uma

---

regulagem automática varia a velocidade do motor, de acordo com o aumento do diâmetro da bobina. Porém, como a velocidade de produção da máquina é praticamente constante e a rotação do eixo variável, o controle e a operação deste tipo de enroladeira é complicado, além de impossibilitar sua utilização em máquinas de alta velocidade. Isto faz sua utilização cada vez menos freqüente, praticamente limitada a máquinas que produzam papéis em que não possa haver atrito entre sua face e o cilindro de acionamento (como é o caso do acionamento na face).

No enrolamento por acionamento na face, não há necessidade de regulagem da velocidade de enrolamento, à medida que aumenta o diâmetro da bobina, pois a velocidade periférica continua constante. As enroladeiras que trabalham com este sistema são conhecidas como “Pope” ou de superfície. São compostas de um cilindro de ferro fundido denominado tambor, parecido com um cilindro secador, cujo eixo é oco, podendo ser instalado com um sistema de refrigeração, e de um sistema de braços móveis nos quais se apóia a estanga principal onde será enrolado o papel.

Em cima do tambor está colocado uma estanga auxiliar, apoiado em braços móveis, e a folha passa entre os dois antes de ser enrolada na estanga principal. O enrolamento se faz forçando a estanga contra o tambor. Quando a bobina atinge seu diâmetro máximo, rasga-se a folha por meio de ar comprimido, obrigando-a a enrolar-se sobre a estanga auxiliar, sem que haja interferência com a bobina já pronta. Em seguida, é retirada com o auxílio de ponte rolante e a estanga auxiliar é colocado em seu lugar.

O tipo de enroladeira esta muito ligada ao produto final fabricado. Quanto maior a qualidade final do papel, melhor tem que ser os controles da enroladeira. Na figura 5.3.01 vemos uma enroladeira do tipo “Pope”. Atualmente as enroladeiras podem ter os seguintes controles:

- Controle de pressão linear de enrolamento;
- Controle de tensão de enrolamento;
- Sistema de alimentação automática de tambor;
- Sistema completo de armazenamento de bobinas.

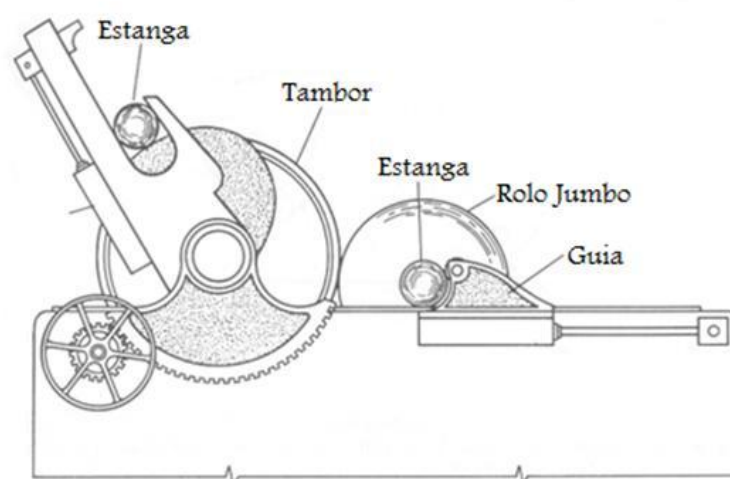


Figura 5.3.01 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Embora todos os produtos sejam “tissue” cada um deles é feito de diferentes matérias-primas e pequenas diferenças de processo. Para cada produto há um “hardroll” (rolo jumbo). Um “hardroll” é um rolo de “tissue” que foi produzido na enroladeira ou rebobinadeira nas larguras e diâmetros adequados as máquinas de conversão. A área de fabricação de papel produz “hardrolls”, os quais são convertidos e embalados como produtos que chegarão ao consumidor.

Como cada produto tem diferentes propriedades este é o motivo de se fazer diferentes “hardrolls”. Cada “hardroll” deve ter receita de fibras, químicos, resistência, gramatura e espessura próprias.

Dos produtos “tissue” o lenço é o que tem a menor resistência à tração e o maior valor de branquura. Possui baixa gramatura (porém, adequada ao seu uso) em comparação com a do guardanapo e a da toalha de cozinha. O guardanapo normalmente tem a gramatura levemente inferior a do papel toalha, e resistência consideravelmente menor. O papel toalha normalmente tem a maior resistência e gramatura das quatro categorias de papel tissue exceto os papéis institucionais.

O papel higiênico folha dupla tem aproximadamente a mesma gramatura do lenço e resistência levemente superior. Todos os produtos devem ter boa aparência e idêntica formação. As quebras no “hardroll” devem ser mantidas num mínimo (não mais que três). As quebras devem ser marcadas na bobina quando ocorrerem para que sejam tomadas as devidas providências. Finalmente os rolos devem ser etiquetados para fácil identificação.

---

## **6. ANDAMENTO DE MÁQUINA**

### **6.1. PERDAS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO “TISSUE”**

As maiores perdas na fabricação de papel “tissue” ocorrem devido às quebras da folha durante a formação, prensagem e secagem.

#### **6.1.1. Quebras da folha durante a formação**

As principais causas de quebra na formação da folha são:

- Pelotes de massa na lateral da tela;
- Massa depositada no lábio da caixa de entrada;
- Queda de impurezas dos pichãos;
- Corte irregular da folha (pichão);
- Falta de água limpa;
- Subida de massa nas beiradas do rolo cabeceira;
- Subida de massa no rolo de sucção;
- Entupimento dos orifícios da tela;
- Tela formadora suja;
- Folha com alto teor de umidade na saída do rolo de sucção;
- Folha com beiradas mais finas;
- Bloqueio da tela por excesso de sucção nas caixas;
- Má formação da folha;
- Chuveiros de limpeza entupidos;
- Baixa retenção da tela;
- Massa muito refinada (alto °SR).

#### **6.1.2. Quebras da folha durante a prensagem**

As principais causas de quebra na prensagem da folha são:

- 
- Presença de pelotes de massa sobre o feltro;
  - Raspa da prensa gasta;
  - Quebra de refilo que cai sobre a folha;
  - Prensa defeituosa;
  - Feltro em mau estado ou com fichas;
  - Feltro manchado ou danificado;
  - Feltro sujo;
  - Desgaste da tala (“pick up”);
  - Excesso de vácuo (“pick up”);
  - Mau estiramento do feltro;
  - Lateral abrasiva do feltro;
  - Sucção excessiva do rolo de sucção;
  - Folha úmida na entrada das prensas;
  - Mau funcionamento da caixa de sucção do feltro;
  - Pelotes de massa (caixa de vapor);
  - Piques na lateral da folha.

### **6.1.3. Quebras da folha durante a secagem**

As principais causas de quebra na prensagem da folha são:

- Raspa mal retificada;
- Sujeira na superfície do cilindro;
- Falha no “coating” (excesso ou falha nos bicos);
- Passe da enroladeira muito esticado;
- Tempo excessivo para troca de raspas;



- Excesso de produtos químicos (“coating”);
- Variação na dosagem de produtos químicos;
- Variação de temperatura do cilindro;
- Mau funcionamento da capota;
- Aumento da acidez da massa;

## 6.2. QUALIDADE DO PAPEL

Cada um dos produtos é feito para diferentes propósitos, possuindo conseqüentemente diferentes propriedades. Por exemplo, no papel higiênico, guardanapo e facial o consumidor identifica a maciez como sendo o seu mais importante atributo.

Há duas formas de maciez: de superfície e de corpo. A maciez de superfície pode ser conseguida pela calandragem. A maciez de corpo pode ser obtida através de uma adesão uniforme ao “Yankee”, o que produz uma crepagem apertada e ainda uma boa separação das ligações da fibra.

A maciez do papel está relacionada diretamente com a velocidade com que a folha é seca. Quanto mais lenta a secagem, mais macio será o papel, evitando-se que fique “carteado”. Visando apenas maciez, quanto maior a participação da capota na secagem, melhor serão os resultados.

Sabendo disto, os papeleiros ficam numa situação delicada, pois o secador “Yankee” deve trabalhar com a máxima pressão possível para minimizar os efeitos negativos da prensagem sobre o mesmo. Acontece que para papéis de baixas gramaturas, que devem ser normalmente mais macios, a limitação está na velocidade devido à formação, com conseqüente sobra de secagem.

Muitos papeleiros preferem modular a secagem no secador, mesmo sabendo que a vida útil do mesmo será menor, tentando com isto, corrigir uma falha de projeto. As máquinas mais modernas não têm mais este problema, pois, normalmente, a limitação é de secagem e não de velocidade e, também, com maior participação da capota na secagem.

A resistência a seco é uma necessidade do papel toalha, guardanapo e facial, mas para o primeiro papel a resistência a úmido é mais importante. Isto se deve ao fato de que as pessoas quando usam normalmente um papel toalha estão com as mãos molhadas e, por conta disto, a

---

absorção também é uma propriedade decisiva para o papel toalha. Toalhas de papel são também frequentemente usadas para limpeza da face, assim como para limpeza de portas, janelas e líquidos entornados.

No papel higiênico, a maciez também tem sido identificada pelo consumidor como sendo o mais importante atributo. Em adição a maciez, a absorção e resistência são também identificadas como sendo importante no sentido de obter bom desempenho do produto. Para todos os produtos, a boa aparência da folha é importante. Elas não devem conter furos, rasgos ou estar amassada. A poeira deve ser mantido num nível baixo para evitar irritação nos olhos dos operadores.

Os guardanapos de papel foram projetados para serem substitutos dos guardanapos de pano. Eles devem ter desempenho tão bom quanto os de pano e oferecendo, ainda, a conveniência do descarte. Os mais importantes atributos de desempenho são: textura, absorção, embalagem e resistência.

No caso do papel facial, a resistência a seco é mais necessária para tarefas de limpeza tais como remoção de maquiagem. É também importante na retirada do lenço do cartucho. A resistência a úmido é vital para o mais comum dos usos destes produtos, ou seja: assuar o nariz.

Na máquina de papel, a resistência é importante para evitar quebras da folha. O grau de estiramento da folha é importante na máquina, mas chega a ser mais crítico na bobinadeira contínua para conversão e embalagem. Em geral, controla-se a tensão nas direções da máquina e na transversal, conforme as necessidades do produto acabado. Além disto, a tensão na folha pode ser um fator primordial nas áreas de conversão e embalagem. Os fabricantes de papel higiênico e toalha procuram trabalhar com um mínimo de tensão total. O resultado é uma melhoria na absorção, melhor maciez e um aumento de volume.

Outros atributos essenciais podem variar de produto para produto, tais como: gramatura, espessura, gofragem, aparência e brancura. A absorção, estética do cartucho e custo têm também sido identificado pelo consumidor como sendo importante. O volume da folha é relevante na embalagem, para manter diâmetro e qualidade do rolo e para contagem da folha. O balanço de cada um desses atributos deverá estar reunido no sentido de atender totalmente a necessidade dos consumidores.

Além das propriedades acima descritas, há outras que são importantes para a qualidade do papel, as quais aparecem a seguir com os fatores que podem influenciar cada uma delas:

---

### **6.2.1. Formação**

- Tipo de formador;
- Relação jato/tela;
- Geometria da incidência do jato;
- Consistência na caixa de entrada;
- Tensão da tela;
- Matéria prima (“furnish”);
- pH.

### **6.2.2. Condicionamento do feltro e da tela**

- Chuveiros de alta e baixa pressão;
- Nível de vácuo nos tubos de sucção;
- Tempo de exposição ao vácuo;
- Desgaste do revestimento;
- Tipo de matéria prima;
- Grau de entupimento do feltro;
- Tensão de esticamento;
- Aplicação de produtos químicos.

### **6.2.3. Prensagem**

- Carga linear do “nip”;
- Abaulamento / chanfros;
- Dureza do revestimento;
- Nível de vácuo no rolo de sucção;

- 
- Capacidade hidráulica do feltro.

#### **6.2.4. Secagem com contato**

- Temperatura do vapor (saturado);
- Pressão do vapor;
- Pressão diferencial;
- Termocompressor;
- Extração do condensado (cilindro).

#### **6.2.5. Secagem sem contato**

- Temperatura do ar;
- Velocidade de sopro;
- Umidade do ar;
- Distância: caixa sopradora x papel.

#### **6.2.6. Crepagem**

- Relação de crepe;
- Ângulo da lâmina / afiação / saída do papel;
- Espessura da lâmina;
- Carga linear da lâmina;
- Estabilidade do revestimento;
- Dosagem de resina e “release”;
- pH e alcalinidade da água;
- Carga iônica /catiônica do sistema;
- Teor seco do papel.

### **6.2.7. Transferência do papel**

- Gramatura;
- Fissuras na folha;
- Resistência da folha;
- Relação de crepe;
- Secagem das bordas;
- Alinhamento dos estabilizadores;
- Abertura da folha;
- Incrustações.

### **6.2.8. Enrolamento**

- Carga linear no “nip” de enrolamento;
- Umidade;
- Gramatura;
- Fator de crepe;
- Conicidade da bobina.

## **6.3. CLASSIFICAÇÃO ABNT DE PRODUTOS “TISSUE”**

ABNT NBR 15464-1:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 1: Papel higiênico folha simples – Classificação;

ABNT NBR 15464-2:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 2: Papel higiênico folha dupla – Classificação;

ABNT NBR 15464-3:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 3: Guardanapo de papel folha simples – Classificação;

ABNT NBR 15464-4:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 4: Guardanapo de papel folha dupla – Classificação;

ABNT NBR 15464-5:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 5: Toalha de papel folha dupla – Uso doméstico – Classificação;

ABNT NBR 15464-6:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 6: Lenço de papel folha dupla – Classificação;

ABNT NBR 15464-7:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 7: Toalha de papel folha simples interfolhada institucional – Classificação;

ABNT NBR 15464-8:2007 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 8: Toalha de papel folha dupla interfolhada institucional – Classificação.

ABNT NBR 15464-9:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 9: Papel higiênico institucional folha simples em rolo – Classificação

ABNT NBR 15464-10:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 10: Papel higiênico institucional folha dupla em rolo – Classificação

ABNT NBR 15464-11:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 11: Toalha de papel institucional folha simples em rolo – Classificação

ABNT NBR 15464-12:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 12: Toalha de papel institucional folha dupla em rolo – Classificação

ABNT NBR 15464-13:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 13: Papel higiênico institucional interfolhado folha simples – Classificação

ABNT NBR 15464-14:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 14: Papel higiênico institucional interfolhado folha dupla – Classificação

---

ABNT NBR 15464-15:2010 - Produtos de papel para fins sanitários - Parte 15: Lençol hospitalar de papel – Classificação

#### APÊNDICE 01: RETENÇÃO E DRENAGEM

Muitas máquinas de “tissue” operam com 30 a 50 % de retenção de primeira passagem. Um programa de retenção para uma máquina de “tissue” deve contribuir na produção mais uniforme das partículas de fibras, cargas e outros aditivos, reduzir a dupla face da folha, melhorar a retenção de resinas de resistências, economizar fibras, devendo produzir melhor secagem e drenagem. Ao aumentar a retenção de primeira passagem reduz-se a carga na circulação da água branca. A volta destes sólidos à reciclagem contribui para o aumento da demanda de branqueamento e ainda reduz a produção em máquinas de drenagem lenta.

A retenção de partículas de fibras na máquina de papel realiza-se de duas formas:

1) Através da retenção mecânica dos finos no tecido de fibras durante a formação, que é o resultado de diferentes características da máquina, tais como velocidade, gramatura, tipo de tela, velocidade de formação e composição da pasta.

2) Através de coagulação, neutralização de cargas e floculação. A maioria das fibras, partículas de fibras e material de enchimentos têm uma carga superficial iônica (negativa). A repulsão eletrostática das partículas coloidais evita que se colem às fibras ou se unam umas às outras e permite sua passagem através da malha em direção à água branca.

A coagulação através do uso de polímeros inorgânicos ou orgânicos sintéticos neutraliza estas cargas repelentes. As partículas neutralizadas combinam-se então através do processo de floculação para produzir aglomerados suficientemente grandes para serem captados no tecido de fibra. Isto se realiza através do uso de polímeros de alto peso molecular e com base acrilamida, que podem ser aniônicos, catiônicos ou não iônicos, dependendo das necessidades específicas do fabricante de papel.

---

**BIBLIOGRAFIA**

- \_. Capota para máquina de papel tipo Yankee, usando ar superaquecido. O Papel. Novembro, 1959.
- ANDRIONI, J. Luís. Fabricação de Papel – Formação da Folha, Curitiba, 2006. 316 p.
- ANDRIONI, J. Luís. Fabricação de Papel – Preparo de Massa, Curitiba, 2006. 252 p.
- ARCHER, S. FURMAN, G.S. DAILY, W. Creping optimization. Tissue World. April/May, 2006. Pg. 22-26.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Condicionamento de papel e papelão para ensaios. ABTCP - P4/94. São Paulo, 1994. 12p.
- BARROS, L.B.M. Seleção de materiais par a redução de custos em uma máquina de papel “tissue”. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- BARROTTI, S. L. B., BERGMAN, S. Propriedades do papel e ensaios para sua avaliação. In: SENAI, IPT Celulose e papel: Tecnologia de fabricação de papel. 2.ed. São Paulo, 1988. v.2. Cap. 7, p.818-842.
- BRITT, K.W., Handbook of pulp and paper technology. 2ª ed. New York, USA, Van Nostrand Reinhold, 1970. 723 p.
- CASALS, R. Características del papel. Barcelona, Howson - Algraphy, [s.d.]. 174 p.
- COMA, F.A. Imprimibilidad de los papeles. In: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE BARCELONA. Relaciones Tinta-Papel, III, IV, V. Terrasa, 1988. 431 p. Cap. 1, p. 1-31.
- CUTTS, M.M. Tissue machine shower applications. Tissue Runnability Seminar, 1992.
- D’ALMEIDA, M.L.O., et alli, TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE PAPEL. 2ª ed. São Paulo. Escola SENAI “Theobaldo De Nigris” e IPT, 1988, 968 p.
- DEMEL, P. VERHAERT, D. El futuro de las vestiduras para máquinas de tisú. El papel 99. Septiembre, 2002. Pg. 36-41.
- DI SIERVO, L. Capota de alto rendimento – CBTI. Seminário sobre papéis tissue. Curitiba. Agosto, 2004.
- DOS SANTOS, C.H.G. Curso: papel “tissue” (técnicas de fabricação – parte 1). ABTCP, maio, 1994.



- 
- ERIKSON, J. KLERELID, I. Tissue headbox operation. TAPPI. Tissue Runnability Short Course. s/d. Pg. 133-146.
- FALL, Y. Diversos aspectos de lãs camisas de los cilindros “Yankee”. El Papel. Septiembre, 1992. Pg. 35-38.
- GALLO, C.R.M., Conceitos de máquinas para a fabricação de papéis tissue de alta qualidade. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 34º, São Paulo, 2001. Anais ABTCP.
- GONÇALVES, C. Fibra de eucalipto para papel tisú. El Papel. Noviembre, 2001. Pg. 42- 47.
- MACEDO, C.A.S., Teoria do crepe. Santher / ABCTP
- OYAKAWA, D. SCHERB, T. BERARDI, R. PARK, S.W. Avaliação das condições de operação de máquina nas propriedades do papel tissue. CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACIÓN EN CELULOSA Y PAPEL, 2004
- PALESTRA SOBRE DEPURAÇÃO DE APARAS (CBTI / KADANT). Seminário sobre Reciclagem em Juiz de Fora, MG, nos dias 27 e 28 de julho de 2004.
- PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2, Drying. 1º ed. Helsinki, Finland, Finnish Paper Engineers’ Association and TAPPI, 2000. 498 p.
- PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 1º ed. Helsinki, Finland, Finnish Paper Engineers’ Association and TAPPI, 2000. 466 p.
- POIRIER, N.A., PIKULIK, I.I., Novos desenvolvimentos no campo da secagem. O Papel. Fevereiro. 2003. p71-p79.
- RODRIGUES, J.F. Curso de preparação de massa (aparas). ABTCP, 2005.
- RODRIGUES, J.F. Papéis “tissue”. ABTCP. Julho, 1998.
- RODRIGUES, J.F. Preparação de massa. Curso ABTCP
- ROVERI, M. Curso fabricação de papéis tissue. ABTCP. Outubro, 1997.
- SCOTT, W.E., TROSSET, S. Properties of paper: an introduction. Atlanta, Tappi, 1989. 170 p.
- STITT, J. Every yankee has its coating. Tissue World. April/May, 2005. Pg. 22-26.
- SUNDQVIST, H. New development on Yankee hood air system. Tissue Runnability Seminar, 1992. Pg. 239-248.

---

TARNAWSKI, W.Z. Redução de perdas de calor secundário no secador Yankee. O Papel. Janeiro, 1992. Pg. 37-41.

TISSUE WORLD. Vários artigos.

TREZZANI, R. La seccheria e il monolucido. 9o Corso do Tecnici Cartari. Edizione 2001/2002.

TRUCCO, J.V. et alli, Mejoramiento de la calidad final del papel tisú mediante un proceso quimico moderno. Publicação BetzDearborn

ÜNER, B. Adhesion Mechanism between Polymer and Metal Interface. (Under the direction of Drs. M.K. Ramasubramanian, J.F.Kadla). A dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirement for the Degree of Doctor of Philosophy in Wood and Paper Science. 2002.

UENO, P.Y., Curso sobre formação, prensagem e secagem do papel. Santa Luzia, MG. ABTCP. Dezembro, 2005.

VCP. Tendência de mercado e qualidade. 200\_

<http://disproquin.com.co/papel-higienico.html>

<http://valveproducts.metso.com/neles>

kau.diva-portal.org

---

## Índice

### 0. Introdução (pg. 2)

- 0.1. Visão geral (2)
- 0.2. A massa (3)
- 0.3. A máquina (3)
- 0.4. Breve histórico sobre a fabricação de papéis “tissue” (9)

### 1. Preparação de massa (12)

- 1.1. Matérias primas para a fabricação de papéis “tissue” (12)
- 1.2. Desagregação (33)
- 1.3. Depuração (37)
- 1.4. Refinação (53)
- 1.5. Circuito de aproximação (70)

### 2. Máquina de papel – Parte inicial e formação (73)

- 2.1. Caixa de entrada (73)
- 2.2. Seção de formação dos diferentes formadores (característica e diferenças) (83)
- 2.3. Manejo da água (98)
- 2.4. Tipos de telas e sua limpeza (99)

### 3. Máquina de papel – Prensagem (103)

- 3.1. Teoria da prensagem (103)
- 3.2. Rolo de pressão e “dry-press” (107)
- 3.3. Abaulamento (“bombé”) dos rolos das prensas (115)
- 3.4. Tipos de feltros e sua limpeza (116)

### 4. Máquina de papel – Secagem (123)

- 4.1. Processo de secagem com cilindro “Yankee” (123)
- 4.2. Teoria da secagem com cilindro “Yankee” (128)
- 4.3. Sistema de vapor e condensado (132)
- 4.4. Capota “Yankee” e sistema de ar (138)
- 4.5. “Coating” (145)
- 4.6. “Creping” (149)

### 5. Final da máquina de papel (167)

- 5.1. Geração de poeira (167)
- 5.2. Manejo da folha de papel (169)
- 5.3. Enroladeira e manejo do rolo (173)

### 6. Andamento de máquina (176)

- 6.1. Perdas no processo de fabricação do “tissue” (176)
- 6.2. Qualidade do papel (178)
- 6.3. Produtos (Classificação ABNT) e propriedades do papel (182)

### Apêndice (184)

### Bibliografia (185)

### Índice (188)