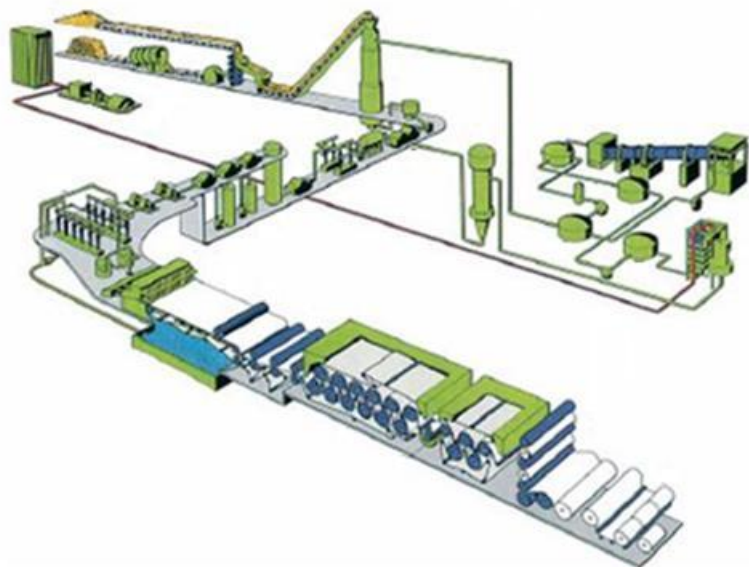


CURSO BÁSICO DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL



INSTRUTOR:
Edison da Silva Campos

Apostila (revisão 01)

2011

Índice

1. INFORMAÇÕES RECENTES SOBRE O SETOR NACIONAL DE C&P (Pg. 3)
 2. MATÉRIAS PRIMAS FIBROSAS (3)
 3. NOÇÕES DE MORFOLOGIA E QUÍMICA DA MADEIRA (5)
 4. VARIABILIDADE NA ÁRVORE (12)
 5. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA (15)
 6. REFLORESTAMENTO DAS ESPÉCIES (16)
 7. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA CELULOSE (21)
 8. PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA A FABRICAÇÃO DE CELULOSE (26)
 9. PROCESSO “KRAFT” (33)
 10. INTRODUÇÃO À FABRICAÇÃO DE PAPEL (63)
 11. PRINCIPAIS TIPOS DE PAPÉIS (69)
 12. DESAGREGAÇÃO DA MASSA E SEUS PERIFÉRICOS (73)
 13. DEPURAÇÃO DA MASSA (76)
 14. REFINAÇÃO (PRINCÍPIOS BÁSICOS) (86)
 15. CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO (“APPROACH FLOW”) (101)
 16. INTRODUÇÃO À MÁQUINA DE PAPEL (CAIXAS DE ENTRADA) (104)
 17. FORMAÇÃO DA FOLHA DE PAPEL (111)
 18. PRENSAGEM (124)
 19. SECAGEM (134)
 20. COLAGEM SUPERFICIAL (156)
 21. CALANDRAGEM (158)
 22. ENROLADEIRA (162)
 23. REBOBINADEIRA DUPLICADORA (163)
 24. PRODUTOS QUÍMICOS USADOS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL (164)
 25. PRINCIPAIS PROPRIEDADES PARA PAPÉIS DE IMPRESSÃO / ESCRITA (185)
 26. PRINCIPAIS PROPRIEDADES PARA PAPÉIS DE EMBALAGENS (214)
 27. NOÇÕES BÁSICAS DE REVESTIMENTO DE PAPÉIS (220)
 28. TRATAMENTO DE EFLUENTES (222)
 29. RECUPERAÇÃO DE FIBRAS (227)
 30. SUSTENTABILIDADE NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL (228)
 31. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (229)
- BIBLIOGRAFIA (232)

1. INFORMAÇÕES RECENTES SOBRE O SETOR NACIONAL DE CELULOSE E PAPEL

FONTE: <http://portaldoagronegocio.com.br>

A receita de exportação do setor de celulose e papel no primeiro trimestre de 2011 acumulou US\$ 1,8 bilhão, montante 9,6% superior às vendas externas até março de 2010, que somaram US\$ 1,6 bilhão. O crescimento da receita de exportação de celulose no primeiro trimestre deste ano foi de 9,3% em relação ao mesmo período do ano passado, totalizando US\$ 1,2 bilhão. Destaque também para a receita de exportação de papéis que somou, nesse trimestre, US\$ 545 milhões, 10,1% acima do valor registrado até março do ano anterior.

De janeiro a março de 2011, a produção de celulose foi de 3,6 milhões de toneladas, aumento de 1,4% em relação aos 3,5 milhões de toneladas produzidas no mesmo período do ano passado.

Nesses três primeiros meses de 2011, a produção total de papéis foi de 2,4 milhões de toneladas e as vendas domésticas permaneceram estáveis em relação aos três primeiros meses de 2010. Destaque para o segmento de papéis de fins sanitários, cujas vendas domésticas registraram crescimento de volume de 7,3%, na comparação com janeiro a março do ano passado.

2. MATÉRIAS PRIMAS FIBROSAS

No Brasil, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de pinheiro (*pinus spp.*) e de eucalipto (*eucalyptus spp.*), responsáveis por mais de 98% do volume produzido. A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas, não-madeiras, como bambu, babaçu, sisal e resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar).

Para fins especiais são ainda utilizadas, isoladamente ou em conjunto com as de origem vegetal, fibras de origem animal (lã, seda, etc.), fibras minerais (asbesto, fibra de vidro, etc.) e sintéticas (polietileno, polipropileno, etc.).

2.1. FIBRAS DE VEGETAIS DO TIPO MADEIRA

As fibras de madeira são provenientes de dois tipos principais de matéria prima:

- Gymnospermas ou coníferas, também chamadas de madeiras macias (“softwoods”), são as fontes principais de fibras longas. São exemplos para o caso do Brasil: Pinheiro - *Pinus*

spp. (elliottii, taeda, caribaea, patula, etc.) - originárias dos EUA e América Central (algumas originalmente vieram da Europa); em menor escala: *Araucaria angustifolia* (pinheiro-do-paraná). Fora do Brasil: abeto vermelho (“spruce”), cicuta (“hemlock”), etc.

- Angiospermas ou folhosas, também chamadas de madeiras duras (“hardwoods”), são as fontes principais de fibras curtas. São exemplos para o caso do Brasil: Eucalipto - *Eucalyptus spp. (saligna, grandis, urophylla, globulus, teriticornis, etc.)* - originário da Austrália e Tasmânia; em menor escala: *Gmelina Arborea* (originária da Ásia), *Acácia Mearnsii* (originária da África do Sul), *Mimosa Scrabella* (Bragantina, espécie nativa). Fora do Brasil: bétula (“birch”), bordo (“maple”), álamo ou faia (“aspen”), carvalho (“oak”), etc.

O eucalipto e o pinheiro começaram a ser introduzidas no Brasil no século passado, em decorrência da diminuição dos povoamentos das espécies nativas. Mas, foi somente com a lei dos incentivos fiscais, em 1966, que o reflorestamento dessas espécies tomou impulso, formando maciços florestais para os mais diversos fins.

A escolha do eucalipto, principalmente, para o reflorestamento foi baseada, principalmente, em seu rápido crescimento, aproximadamente três a quatro vezes mais rápido que em seus países de origem. Devido às condições climáticas favoráveis (clima tropical e semitropical), a produtividade das florestas brasileiras é bastante alta, a qual associada a desenvolvimentos biotecnológicos atinge os maiores níveis mundiais. Podemos citar como exemplos:

- Eucalipto: em algumas regiões a produtividade ultrapassa 52 m³/ha/ano, tendo como média no país 44 m³/ha/ano;
- Pinheiro: maior do que 37 m³/ha/ano.

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.

2.1.1. Eucalipto

Originário da Austrália e da Indonésia, o eucalipto é hoje uma das principais fontes de matéria-prima para produzir papel. Pertence ao gênero *Eucalyptus*, que reúne mais de 600 diferentes espécies. Em território brasileiro, o eucalipto encontrou ótimas condições de clima

e solo para se desenvolver, com crescimento mais rápido que nos demais países e alto índice de produtividade.

As primeiras espécies de eucalipto introduzidas no Brasil datam de 150 anos atrás. Porém, seu cultivo intensivo iniciou-se no estado de São Paulo a partir de 1904, para cobrir as necessidades de lenha da antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro, sendo seu chefe florestal o idealizador deste evento que introduziu, entre 1904 e 1919, quase 220 espécies diferentes.

2.1.2. Pinheiro ou pinus

O pinus é uma espécie tolerante a baixas temperaturas e ao plantio em solos rasos e pouco produtivos para agricultura. Dele se origina a celulose de fibra longa, muito resistente e ideal para a fabricação de papéis para embalagens e papéis de imprensa, entre outros tipos. As árvores deste gênero ocupam 388 mil hectares, o que corresponde a 17,2% das áreas de florestas plantadas que abastecem as fábricas de celulose instaladas no Brasil. O melhoramento genético tornou o uso industrial do pinus cada vez mais viável.

A introdução das espécies de pinheiro, de procedência européia iniciou-se em 1936, através do Serviço Florestal do estado de São Paulo. Em 1947 foram importadas as primeiras sementes de *Pinus elliotti* dos EUA. Devido aos resultados promissores alcançados deu-se início a um grande reflorestamento.

3. NOÇÕES DE MORFOLOGIA E QUÍMICA DA MADEIRA

3.1. COMPOSIÇÃO DO TRONCO

Conforme a figura 3.01, no corte transversal de um tronco de árvore distingue-se:

- **CASCA:** tem a função de proteção mecânica e evitar uma dessecação demasiada do caule;
- **FLOEMA:** tem a função de conduzir a seiva com nutrientes;
- **CÂMBIO:** regula o crescimento do vegetal em espessura (desenvolve simultaneamente o floema e o xilema (constitui o alborno, com células ativas, e o cerne, com células inativas));
- **ALBURNO:** tem a função de condutor de água (suas células são ativas);
- **CERNE:** constituído de células inativas do xilema;

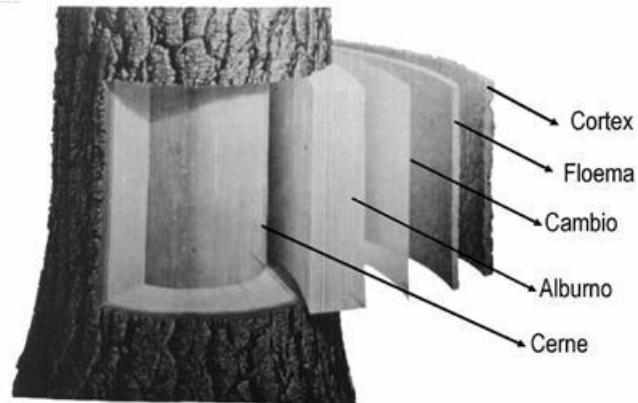


Figura 3.01 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

A figura 3.02 mostra uma amostra de madeira de eucalipto e uma amostra de pinus em corte.

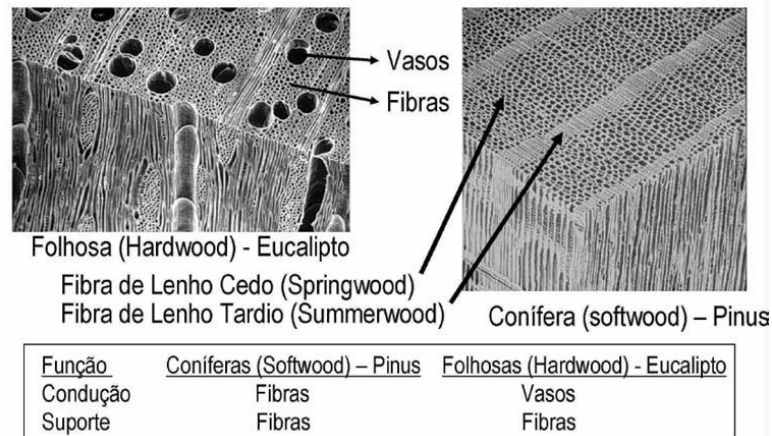


Figura 3.02 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

3.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

3.2.1. Definições

Celulose: é um polissacarídeo linear, com um único tipo de unidade de açúcar (D-glucose) (figura 3.03 e 3.04). Seu peso molecular pode variar de 162.000 a 2.400.000.

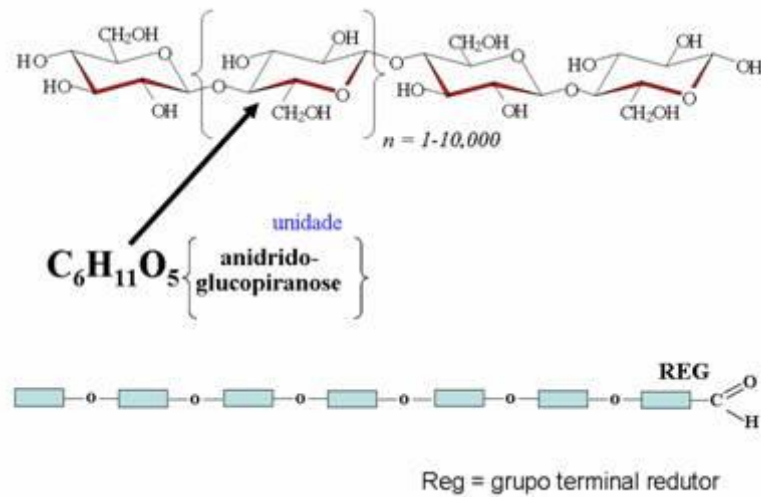


Figura 3.03

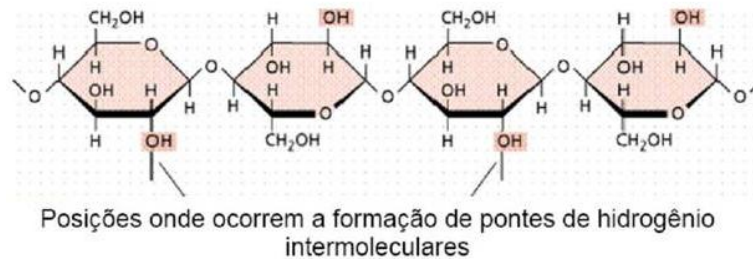


Figura 3.04 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Hemiceluloses (polioses): também são polissacarídeos diferindo, no entanto, da celulose por conterem vários tipos de unidades de açúcar (D-xilose, D-manose, D-glucose, L-arabinose, etc.) (figura 3.05). São polímeros ramificados (amorfos) e de cadeias mais curtas. Na figura 3.06 aparece um exemplo de um tipo de hemicelulose.

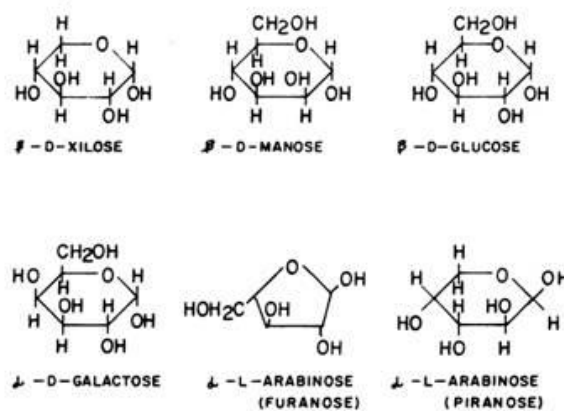


Figura 3.05 (FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli))

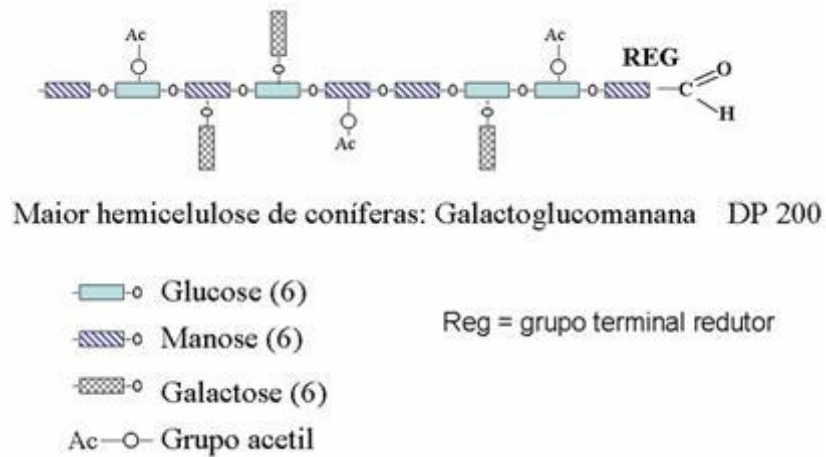


Figura 3.06 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Lignina: é constituída de polímeros amorfos, de composição complexa não totalmente caracterizada (figura 3.07a). Sua finalidade é conferir firmeza à estrutura (figura 3.07b). É o ligante que mantém as fibras unidas na estrutura da madeira. É resistente à hidrólise ácida e possui alta reatividade com agentes oxidantes.

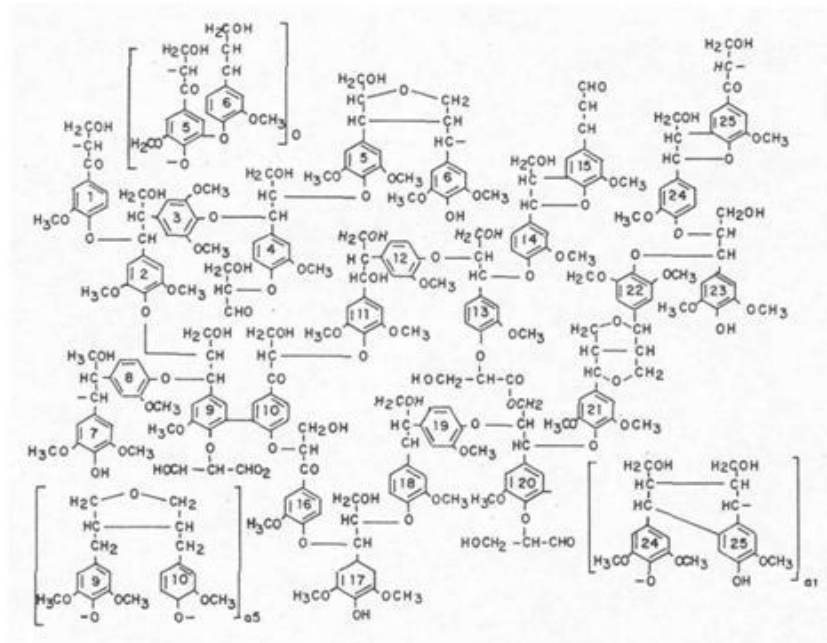


Figura 3.07a (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

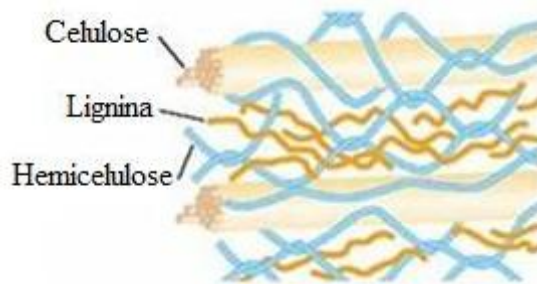


Figura 3.07b (FONTE: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar>)

Extrativos: representam ácidos livres: ácido acético, ácido fórmico; ácidos voláteis; ésteres; óleos voláteis (essenciais): hidrocarbonetos, álcoois, cetonas, lactonas, terpenos, terebintina e óleo de pinho (em coníferas); ácidos resinosos: ácidos abiético e pimáricos; ácidos graxos: ácidos oleico, linoleico, palmítico, esteárico, etc.; esteróides e taninos

Compostos inorgânicos: são constituídos principalmente de sulfatos, fosfatos, oxalatos, carbonatos e silicatos de Ca, K e Mg.

Na figura 3.06 apresenta um fluxograma resumo da constituição química da madeira.

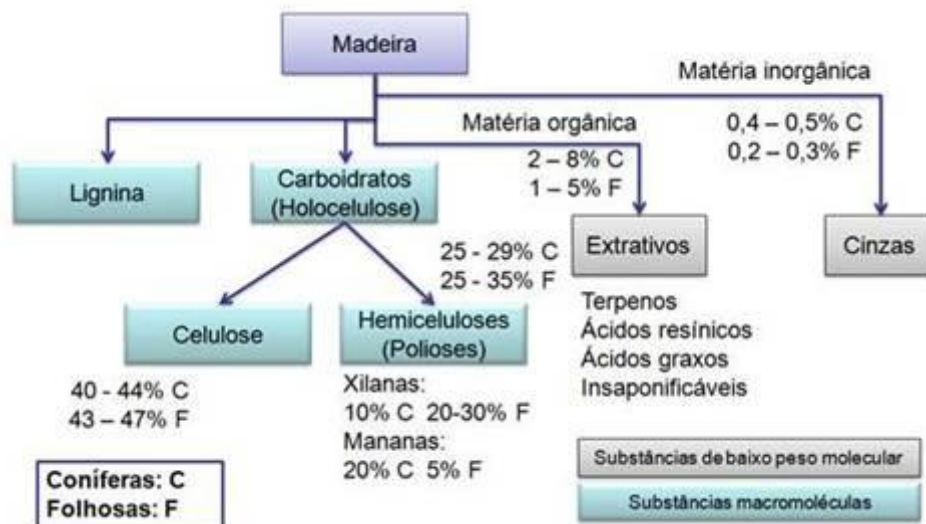


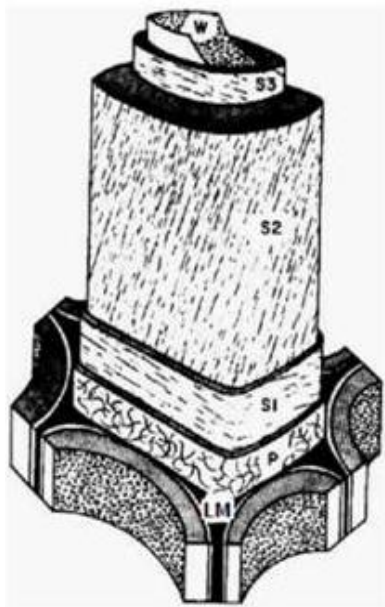
Figura 3.06 (FONTE: montagem elaborada por E.S.Campos)

3.3. 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

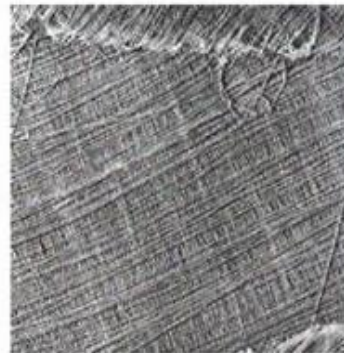
madeira, seria a após a etapa de branqueamento (fábricas integradas) ou após a máquina de secagem e enfiamento (fábricas não integradas). Algumas fábricas utilizam máquinas desaguadoras para posterior utilização no processo ou para fábricas de papel próximas a de celulose.

A figura 3.08 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 3 camadas (S1, S2 e S3). A camada mais próxima da parede primária é a 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).



Exemplo da espessura relativa das camadas da parede celular para *Picea abies* (abeto):

(P)	7 - 14%
(S1)	5 - 11%
(S2)	74 - 84%
(S3)	3 - 4%



S1 - microfibrilas

Figura 3.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

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 e reúnem cerca de 2.000 moléculas de celulose na secção transversal. As microfibrilas agregam-se em fibrilas

mais grossas. A figura 3.09 mostra cadeias de celulose, microfibrilas e macrofibrilas (macrofibrilas), com largura de 0,4 mm e 5×10^5 moléculas de celulose na secção transversal.

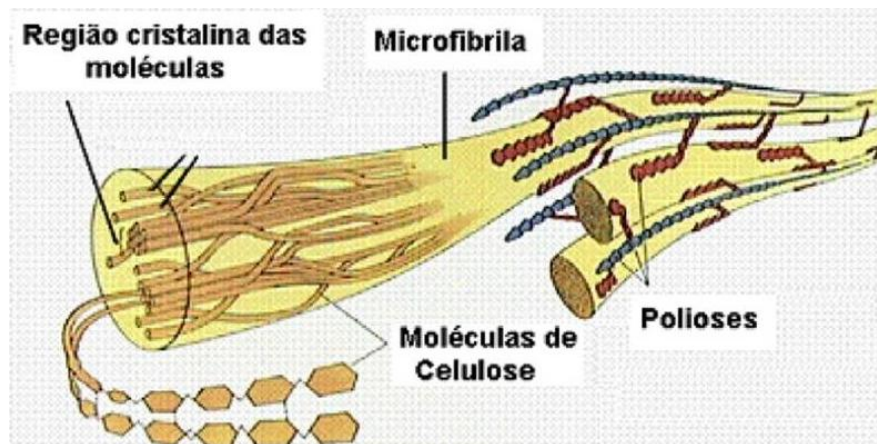


Figura 3.09 (FONTE: Química da madeira – Umberto Klock et al.)

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, acontecendo assim a hidratação das fibras. 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.

No Brasil, as madeiras contribuem com cerca de 97% da matéria-prima fibrosa utilizada na produção de pasta para papel, sendo o eucalipto (*Eucalyptus spp*) 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.

3.3.1. Fibras longas

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 para embalagem, por exemplo.

3.3.2. Fibras curtas

Por outro lado, 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, superfície bastante homogênea, boa opacidade, como é o caso dos papéis para impressão e escrita. A tabela 3.01 abaixo compara algumas propriedades das pastas celulósicas obtidas por processo químico e discriminadas como fibras longas e curtas.

Propriedade	Fibra longa	Fibra curta
Tempo de refinação	Longo	Curto
Resistência mecânica	Alta	Baixa
Maciez	Baixa	Alta
Volume específico	Baixo	Alto
Formação	Má	Boa
Absorção	Razoável	Boa
Alvura	Alta	Alta
Opacidade	Baixa	Alta

Tabela 3.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

4. VARIABILIDADE NA ÁRVORE

4.1. MADEIRA JUVENIL E ADULTA

O tronco de uma árvore pode ser dividido em duas regiões distintas entre si, a madeira juvenil e a madeira adulta. Madeira juvenil é aquela região mais próxima à medula, proveniente do crescimento inicial, enquanto que a madeira adulta é aquela porção mais externa do tronco, formada pela atividade do câmbio fisiologicamente maduro (figura 4.01).

A madeira juvenil corresponde ao xilema secundário produzido durante a fase inicial da vida da árvore, caracterizando anatomicamente por um progressivo aumento nas dimensões e mudanças correspondentes, na forma estrutural e disposição das células nas sucessivas camadas de crescimento. Comparando-se coníferas com folhosas, a formação da madeira juvenil é mais acentuada nas primeiras.

De um modo geral, a madeira com características juvenis forma um cilindro no centro da árvore, estendendo-se desde a base até o topo. Essa forma cilíndrica em toda a extensão da árvore pode ser atribuída ao fato de que a árvore juvenil é formada também no topo de árvores velhas. Dessa forma, o topo de árvores adultas contém essencialmente madeira juvenil

formada durante os primeiros anos de desenvolvimento, que é encontrada próxima à base da mesma árvore.

À medida que aumenta a idade do povoamento, diminui a proporção de madeira juvenil, tanto em peso como em volume. Outro ponto a ser mencionado é que o espaçamento de plantio influencia na proporção de madeira juvenil, estudos preliminares mostram que à medida que aumenta o espaçamento, aumenta a proporção de madeira adulta.

Devido às diferenças estruturais e propriedades existentes entre a madeira juvenil e adulta, diversos problemas ou inconvenientes podem surgir durante a industrialização da árvore. Observou-se que a madeira juvenil apresenta menor produção de celulose e maior de hemiceluloses. Essas diferenças se explicam em função das diferenças estruturais, tais como tamanho de fibra e densidade.

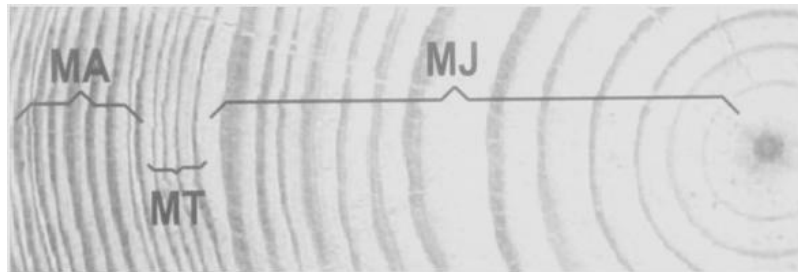


Figura 4.01 (FONTE: Fabricação de celulose – SENAI - CETCEP)

4.2. MADEIRA DE REAÇÃO

Árvores que se desenvolvem sob o efeito de esforços externos contínuos (ventos, ação da gravidade, forte insolação lateral, crescimento unilateral da copa, quantidade insuficiente de nutrientes) formam tipos especiais de lenhos, provavelmente devido a um estímulo assimétrico de hormônios de crescimento visando compensar o esforço imposto.

Este tipo especial de lenho tem o nome genérico de lenho de reação. Nas coníferas, o lenho de reação surge sempre na porção sujeita à compressão (lenho de compressão), enquanto que nas folhosas este se localiza na zona tensionada (lenho de tensão) (figura 4.02).

É comum a ocorrência deste defeito em árvores que apresentam troncos curvos, por exemplo, por crescerem em encostas acentuadamente inclinadas, ou na base de ramos.

Entretanto, nem sempre a sua presença pode ser detectada em árvores vivas, pois muitas vezes está presente em indivíduos que apresentam externamente troncos cilíndricos e verticais.

O lenho de compressão caracteriza-se macroscopicamente pela presença de crescimento excêntrico, transição quase indistinta entre o lenho inicial e tardio, devido ao fato de que as células do primeiro apresentam paredes mais espessas que o normal, aparência sem brilho e cor mais forte que o tecido normal. Ocorre nas coníferas principalmente nas partes inferiores dos troncos e galhos. Esses lenhos possuem excessiva dureza, elevado conteúdo de lignina e baixo conteúdo de celulose. Suas principais conseqüências são: coloração típica que pode diminuir o seu valor, elevada instabilidade dimensional, dificuldade de refinação das fibras exigindo um alto consumo de energia específica.

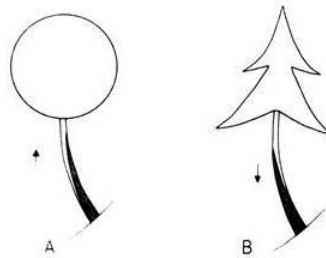


Figura 4.02 (FONTE: Fabricação de celulose – SENAI - CETCEP)

O lenho de tensão também é geralmente associado com o crescimento excêntrico, mas é bem mais difícil de ser constatado macroscopicamente. Normalmente, apresenta uma coloração distinta, mais clara (branco-prateada) do que o lenho normal e a superfície da madeira apresentam sedosos.

Ocorre nas partes superiores dos troncos e galhos. A madeira de tensão é mais densa, contém menos elementos de vasos e as fibras se distinguem por uma camada gelatinosa composta por celulose altamente cristalina. O lenho de tensão é encontrado na maioria das frondosas. Todavia sua quantidade e intensidade dependem do crescimento de cada árvore (figura 4.03). As paredes destas células possuem elevado conteúdo de celulose, enquanto que a lignina é quase ausente.

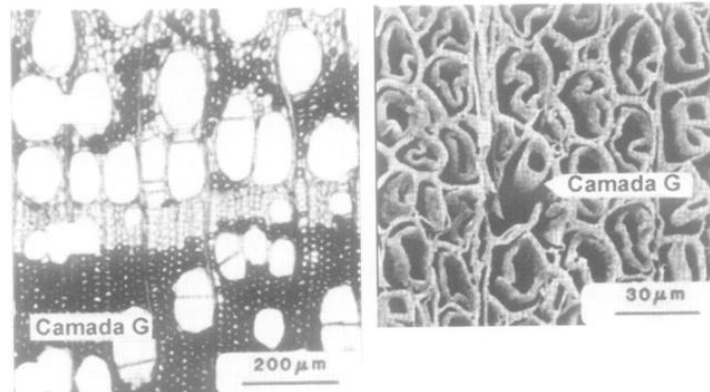


Figura 4.03 (FONTE: Fabricação de celulose – SENAI - CETCEP)

5. PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA

5.1. UMIDADE OU TEOR DE ÁGUA

O teor de água torna-se um importante fator, pois influi na maioria das propriedades físicas da madeira, tais como na resistência e no peso. A madeira retém água por capilaridade (poros da madeira, principalmente lúmen das fibras) e por absorção (paredes da fibra).

Contrariamente a água livre situada nos capilares da madeira, as águas absorvidas pelas paredes celulósicas influenciam todas as propriedades da madeira; o inchamento é um exemplo. Observa-se que o teor de água na madeira varia em função da umidade relativa do ar.

$$U(\%) = \frac{\text{Peso úmido} - \text{peso seco } (103 \pm 2^{\circ}\text{C}) \times 100}{\text{Peso Úmido}}$$

A madeira recém cortada, em forma de toras ou cavacos, possui normalmente em torno de 50 a 65% de quantidade de água. Diz-se que a madeira atingiu o ponto de saturação quando as paredes das fibras se encontram completamente saturadas, ou seja, com umidade em torno de 25 a 30%.

5.2. PODER CALORÍFICO DA MADEIRA

Por razões de economia de energia utiliza-se a casca e resíduos de cavacos (finos) oriundos do pátio de madeira para a geração de vapor, ou seja, na queima e na caldeira de força. Os cavacos de eucalipto, por exemplo, possuem calor específico superior de 19,6 MJ/kg (8.430 Btu/lb) e inferior de 18,3 MJ/kg (7.871 Btu/lb), enquanto a casca de eucalipto possui 16,8 MJ/kg (7.256 Btu/lb) e inferior de 15,7 MJ/kg (6.753 Btu/lb).

5.3. DENSIDADE BÁSICA

O uso da densidade básica fornece ao papelheiro uma indicação da quantidade de fibras que ele pode obter por unidade de volume de uma espécie madeireira. Por exemplo, se uma fábrica de celulose recebe 100 m^3 de madeira de *Pinus elliotti* de densidade igual a 520 kg/m^3 ($0,52 \text{ g/cm}^3$), terá a sua disposição 52.000 kg ou 52 t de matéria-prima.

Por outro lado, a densidade da madeira é uma variável importante pelo fato de indicar a quantidade de madeira de verão (lenho tardio) e de primavera (lenho rápido) presente na árvore, e dessa forma auxilia no entendimento da taxa de crescimento. Em geral o lenho de verão é mais denso que o de primavera, este fato explica porque os anéis são mais estreitos.

Atribui-se à densidade a maioria das propriedades da polpa e do papel. O rendimento celulósico normalmente se incrementa com o aumento da densidade. Uma densidade básica elevada indica geralmente resistências à tração e estouros menores, volume específico maior e melhoria na resistência ao rasgo.

6. REFLORESTAMENTO DAS ESPÉCIES

A importância econômica e social assumida pela atividade florestal no Brasil, principalmente após o advento dos incentivos fiscais, é indiscutível. Torna-se mais evidente quando se leva em conta a utilização de extensas áreas, até então improdutivas e a ocupação de mão-de-obra ociosa no meio rural.

As espécies do gênero *Eucalyptus*, bem como as do gênero *Pinus*, têm sido utilizadas de maneira intensa com bons índices de crescimento, boa forma e propriedade da madeira, nas diversas condições ecológicas, desde que criteriosamente selecionadas. A execução de um reflorestamento pode ser dividida nas seguintes etapas: produção de mudas, preparo do solo, sulcamento e marcação do solo, plantio, proteção e cuidados posteriores ao plantio, manejo, exploração e transporte de matéria-prima.

Os métodos para a produção de mudas são: a semeadura direta em recipientes (germinação de sementes), reprodução vegetativa, estaquia ou macroestaquias (enraizamento de estacas) e micropropagação “in vitro” (microestaquias).

6.1. PREPARO DO SOLO

O correto preparo do solo é fundamental para o êxito da plantação, qualquer que seja a espécie a ser reflorestada. Todos os trabalhos estão orientados a deixar uma superfície

adequada para o correto enraizamento das mudas, e eliminar a concorrência de outras espécies de vegetação.

Quando existe vegetação de porte, tal como mata primária ou vegetação de cerrados é efetuado, previamente, um desmatamento. Sempre que os terrenos forem planos ou com pouca declividade, são utilizados, para esta atividade, tratores de grande porte.

Quando o terreno apresenta declividade que dificulta a utilização de tratores, a derrubada das árvores é realizada com motosserras. Após serem derrubadas, as árvores são enfileiradas ou empilhadas, e queimadas.

Uma vez limpo, o terreno é gradeado. As máquinas empregadas são providas de grandes grades ou arados de discos. Essa gradeação é de cerca de 25 cm de profundidade. Muitas vezes, é efetuada uma limpeza adicional, na qual são retiradas manualmente ou mecanicamente, raízes ou restos de árvores remanescentes, que são empilhadas e queimadas novamente.

A seguir, efetua-se a aração com arados de disco maiores, puxados por tratores agrícolas. Os objetivos principais dessa operação são os de incorporar a matéria orgânica superficial ao solo e promover aeração do mesmo. Os objetivos principais dessa operação são os de incorporar a matéria orgânica superficial ao solo e promover aeração do mesmo.

Quando o solo no qual o eucalipto vai ser plantado é ácido, é necessário realizar uma operação denominada calagem, que consiste na aplicação de calcário sobre a superfície do solo, objetivando a correção da acidez do mesmo.

6.2. SULCAMENTO E MARCAÇÃO DO SOLO

Um pouco antes de se iniciar o plantio das mudas, é realizado o sulcamento e a marcação do lugar onde se instalará a muda. Esse trabalho é usualmente efetuado com um trator, com arado simples, trabalhando em direções cruzadas. O ponto de cruzamento é o lugar que ficará a muda.

O espaçamento (forma de distribuição das plantas sobre o terreno e a distância entre elas), normalmente empregado em eucalipto, é de 2 x 2,5 m, equivalendo a 2.000 árvores por hectare. Para *Pinus*, o espaçamento adotado no Brasil é de 2 x 2 m. Essas distâncias vão aumentando à medida que são executados cortes intermediários (desbastes). Esta operação também é aproveitada para fazer a separação entre plantios e deixar as estradas e aceiros de proteção contra possíveis incêndios.

6.3. PLANTIO

Antes do envio das mudas para o plantio no campo, tanto para as mudas produzidas por estaquia quanto por sementes, os lotes de mudas passam por um rigoroso processo de avaliação.

Os parâmetros considerados são: comprimento, coloração, estado fisiológico da muda e consistência do torrão.

A operação de plantio consiste em colocar as mudas no lugar definido. Assim, no caso de eucalipto e pinheiro, as mudas são despojadas dos tubetes, e plantadas diretamente em covas no campo.

O plantio manual é utilizado quando existe boa disponibilidade de mão-de-obra, ou quando as superfícies a reflorestar têm muita declividade, impossibilitando o uso de máquinas.

As operações mecanizadas são realizadas com máquinas plantadeiras, máquinas puxadas por um trator pequeno provido de pneus, as quais abrem sulcos na terra, onde são deixadas as plantas, operação realizada por um operário. O eucalipto é sensível às geadas. Devem-se evitar terrenos rasos com excesso de pedras e devem-se escolher as terras altas da propriedade. No caso do pinus, trata-se de uma árvore resistente às geadas. Adapta-se bem em todos os terrenos, inclusive em solos pedregosos e rasos. Pode ser plantado em terras baixas da propriedade.

6.4. MANEJO

Os povoamentos podem ser administrados de acordo com dois sistemas: alto fuste ou talhadia. No primeiro sistema, as árvores crescem até adquirirem grandes dimensões. Geralmente essa prática é aplicada em espécies cujos troncos não podem rebrotar depois de cortados, como é o caso do pinus encontrado no Brasil, embora também possa ser aplicado ao eucalipto.

Já os eucaliptos que se caracterizam pelo rebrotamento depois do corte, normalmente são manejados pelo sistema de talhadia, ou seja, todas as árvores são cortadas depois de certa idade (7 ou 8 anos), durante um período de 20 anos. Alguns brotos, que são produzidos nos tocos, são deixados para crescerem por alguns anos até alcançarem dimensões aceitáveis para os usos desejados.

6.5. EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE

Denomina-se exploração aos vários trabalhos de manuseio da madeira, efetuados desde o abate da árvore até a sua chegada à porta da fábrica. Em cada etapa da exploração podem, ainda, serem empregados vários tipos de máquinas e número de pessoas, acarretando grande variabilidade dos sistemas de exploração encontrados. As principais máquinas florestais utilizadas no sistema de colheita mecânica ou semimecânica são mostradas na figura 6.01.

Forwarders		Estes tratores florestais carregam e removem cargas pesadas da floresta e são utilizadas para movimentação das árvores cortadas.
Harvester		Máquina utilizada para corte, desgalhe e traçamento.
Skidder		Utilizado para o arraste de árvores inteiras.
Feller-buncher		Tratores florestais com função de realizar a derrubada e o enleiramento (agrupamento) da madeira.

Figura 6.01 (FONTE: <http://www.deere.com.br>)

Não existe uma única solução para um problema de exploração, e por essa razão, sempre serão encontrados diversos sistemas de exploração. A solução depende de vários fatores, tais como o uso final do produto, dimensões das toras, características topográficas do local em que se encontra a floresta, disponibilidade de mão-de-obra, custos das máquinas e ferramentas, clima, etc.

Define-se como sistema de exploração a um grupo organizado de funções ou trabalhos, nos quais são incluídos diferentes tipos e números de máquinas (colheita mecânica) ou pessoas (colheita manual). Esses grupos são: corte ou derrubada da árvore, traçamento, derrama, descascamento, pré-transporte, empilhamento, cubagem, carregamento e transporte principal, os quais se destacam a seguir:

- Corte da árvore: normalmente, esse trabalho é efetuado empregando-se moto-serra ou mecanicamente pelos “harvesters” ou pelos “feller-bunchers”. Em casos especiais como, por exemplo, no corte de madeira muito fina, a moto-serra pode ser substituída pelo machado;
- Traçamento: consiste na segmentação da árvore em toras ou toretes, sendo que na indústria de pasta celulósica, o comprimento usual do torete é de 1,2 a 2,2 m. O aproveitamento da árvore não é total, atingindo, no máximo 5 cm de diâmetro na ponta mais fina do fuste. Dessa forma, parte do fuste ou caule é deixada na árvore junto com a copa, que é composta de galhos e folhas;
- Derrama: nesta operação, a árvore é despojada dos ramos, que não são aproveitados na indústria de pasta celulósica. A ferramenta utilizada é a motosserra, ou o machado, ou mecanicamente pelos “harvesters”, ou pelos “feller-bunchers”;
- Descascamento: essa operação é efetuada quando os toretes são utilizados como matéria-prima para a fabricação de celulose. Normalmente, esse trabalho é realizado em máquinas descascadoras. Há casos em que o descascamento é realizado na própria fábrica com a utilização de tambores descascadores, sendo a casca, normalmente, utilizada nas caldeiras de biomassa;
- Pré-transporte: empilhamento e cubagem. Depois de processado, o torete é transportado até o ponto mais próximo de uma estrada. Nesse lugar, aproveita-se para empilhar, medir ou cubar a madeira com a finalidade de calcular a remuneração do trabalho ou, simplesmente, calcular os rendimentos ou estoques. Quando a distância é curta e os toretes são leves, o serviço é executado manualmente, caso contrário, são empregados tratores, caminhões pequenos ou tratores florestais (“forwarder” e “skidders”) com garras, guinchos, cabos ou lâminas para empurrar.
- Carregamento: essa operação pode ser efetuada manualmente ou mecanicamente, com catracas, guindastes ou tratores com garras;

- Transporte para a fábrica: o transporte das toras ou toretes para a fábrica é a última etapa da exploração florestal. Para essa fase, podem ser utilizados caminhões com ou sem reboque, bem como trem.

Atualmente predominam no Brasil dois sistemas de colheita de madeira: “tree-length” (toras longas) que é o desgaste das árvores no local de derrubada. Segundo se dá o transporte e o processamento à margem das estradas ou pátios, e o sistema “cut-to-length” (corte pelo comprimento), com as árvores de menor comprimento cortadas e processadas em toras tudo realizado diretamente no local da colheita. No segundo sistema as dimensões processadas já ficam de acordo com o uso final. Uma combinação das máquinas “feller-buncher” e “skidder” podem ser consideradas representativas do sistema de toras longas, enquanto que o módulo utilizando “harvester” e “forwarder” trabalha em sistemas de colheita com processamento da árvore derrubada no local.

Entre as vantagens da mecanização está a redução de custo e mão-de-obra, que passa a ser mais especializada. Um “harvester”, por exemplo, que realiza o corte, desgalhe e traçamento substitui 15 motosserras. A substituição do sistema semimecanizado pelo sistema “harvester” e “forwarder” representa redução de 6 a 7% no custo da produção e 80 a 85% na quantidade de mão-de-obra empregada na colheita florestal de grandes empresas.

A vida útil dos equipamentos varia em função dos cuidados e da manutenção como, por exemplo, no caso do “feller-buncher” e “skidder” que está estimada em 25 mil ha.

7. PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA CELULOSE

A madeira é uma matéria prima formada de fibras em múltiplas camadas, ligadas entre si por forças interfibrilares e pela lignina que age como ligante. Para separação dessas fibras, unidas por forças coesivas intermoleculares, é necessário despende certa quantidade de energia. A qualidade, as características e as utilizações da pasta produzida serão funções da quantidade de energia aplicada. Deste modo, pode-se definir o processo de polpação como sendo o processo de separação das fibras da madeira mediante a utilização de energia química e/ou mecânica. Os diversos processos de polpação podem ser classificados de acordo com seus rendimentos em polpa ou de acordo com o pH utilizado. São vários os processos utilizados para produção de polpas de celulose (tabela 7.01).

Processos de alto rendimento	Mecânico	
	Termomecânico	
	Quimitemecânico	
	Semiquímico	Sulfito neutro
Processos químicos	Alcalinos	Soda a frio
		Soda a quente
		Soda
	Ácidos	“Kraft”
		Sulfito alcalino
		Sulfito neutro
		Sulfito ácido

Tabela 7.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Os dois principais processos alcalinos na produção de pastas químicas são: processo soda e processo “Kraft” (ou sulfato). No Brasil, que segue uma tendência mundial, cerca de 90% da produção de polpa química é feita pelo processo “Kraft”.

Historicamente, o cozimento alcalino iniciou em 1854, através do processo soda. Em 1884, foi patenteado o processo “Kraft” que, nada mais é do que uma modificação no processo soda. O processo “Kraft” foi utilizado comercialmente pela primeira vez em 1885 na Suécia, tomando impulso a partir de 1930 e predominando no mercado até os dias atuais. Os dois processos são similares, diferindo na aplicação do sulfato de sódio no processo kraft ou sulfato, ao invés de carbonato de sódio no processo soda, para cobrir as perdas do ciclo de recuperação dos reagentes do cozimento. A palavra “Kraft” é de origem sueca e alemã que significa “força” (resistência).

O processo “Kraft” consiste, então, em atuar sobre a madeira na forma de cavacos com uma combinação de dois reagentes químicos hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), obtendo-se como resultado a dissolução da lignina e a liberação das fibras. As fibras liberadas constituem a “celulose” marrom ou massa marrom.

O processo pode ser exemplificado de maneira simplificada através da equação:
Madeira (fibras + lignina) + reagentes químicos = “celulose” + lignina solúvel

Utilizando-se a terminologia de uso corrente na indústria, a equação acima fica:
Madeira + licor branco (NaOH + Na₂S) = “celulose” + licor negro

No processo “Kraft” a presença de sulfetos no álcali acelera a deslignificação, produzindo uma pasta de melhor qualidade e com menor teor de lignina para um determinado rendimento. Em meio alcalino e temperaturas altas, as ligações carbono-oxigênio na lignina

podem ser rompidas, formando fragmentos menores, mais solúveis e mais estáveis à recombinação (condensação).

Já ficou provada a combinação do enxofre com a lignina, porém a exata natureza desta reação e a causa do aumento da velocidade de deslignificação ainda não foram completamente esclarecidas. É atribuído aos íons HS^- (formados pela reação do Na_2S com H_2O) no licor kraft uma espécie de ação catalisadora. Em uma seqüência cíclica, que começa com sua adição à molécula de lignina, é seguida pelo rompimento destas ligações pelo álcali, regenerando desta forma os íons HS^- , deixando-os novamente disponíveis para novas reações e, produzindo lignina kraft contendo pequenas quantidades de enxofre.

O processo de obtenção de celulose apresenta um sub-produto, denominado “licor negro”, o mesmo contém a parte da madeira dissolvida (lignina), combinada com reagentes químicos utilizados no início do processo. Por razões econômicas e ambientais, é absolutamente necessário o reaproveitamento do licor preto num processo denominado “recuperação de produtos químicos”.

Durante o ciclo de recuperação do processo “kraft”, o sulfato de sódio é reduzido a sulfeto de sódio, o qual, juntamente com hidróxido de sódio, constituem os reagentes utilizados no processo “kraft”. Portanto é errado denominar-se de processo sulfato, pois o mesmo não atua como reagente de polpação, sendo o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio os responsáveis.

Como resultado da queima obtém-se o calor, que gera os vapores e reagentes químicos fundidos. Os fundidos, após a dissolução e um tratamento adequado, transformam-se em licor branco, contendo reagentes químicos idênticos aos utilizados no início do processo. A Figura 7.02 mostra em resumo o ciclo de produção do processo “kraft”.



Figura 7.02 (FONTE: Senai CETCEP)

A recuperação consiste em queimar o licor preto previamente concentrado a 60% de sólidos e enriquecido em sulfato de sódio Na_2SO_4 . Atualmente, na maioria das empresas não há a adição de Na_2SO_4 , mas a adição de uma diluição de enxofre no licor branco após a caustificação.

As vantagens do processo “kraft” sobre os demais são: flexibilidade a todas as espécies de madeiras, tempos mais curtos de cozimento, a pasta pode ser branqueada a altos níveis de alvura (maior custo em relação às pastas sulfito), não há problemas com resinas (coníferas), produção de pastas de alta resistência, produção de subprodutos valiosos (“tall-oil” e terebintina) e recuperação relativamente fácil dos reagentes utilizados.

Todavia, o processo “kraft” também apresenta certas desvantagens, tais como: alto custo de investimento na montagem da fábrica, problema de mau cheiro dos gases produzidos (H_2S e mercaptanos), baixa alvura após cozimento em relação a outros processos como o sulfito, por exemplo, baixo rendimento (40 a 50%) e alto custo de branqueamento.

Após a lavagem da massa marrom, ocorrem as etapas de pré-branqueamento e branqueamento, onde se faz uso de insumos como oxigênio, ozônio, peróxido de hidrogênio e dióxido de cloro para que possa obter, finalmente, a celulose branqueada (figura 7.03 e 7.04).

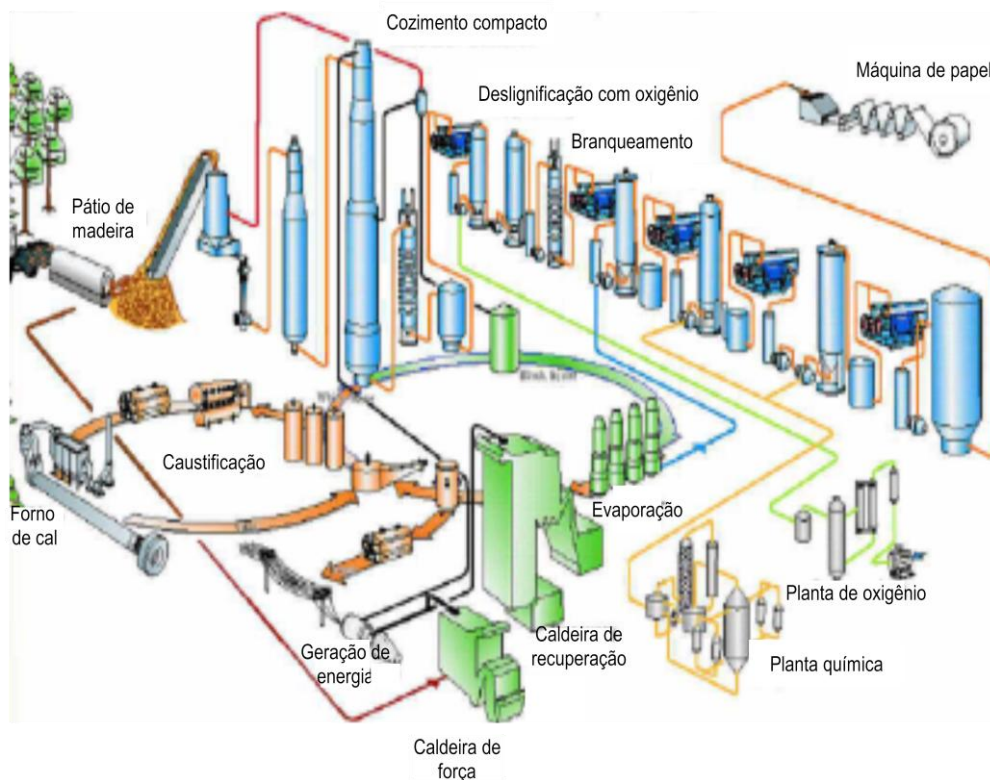


Figura 7.03 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

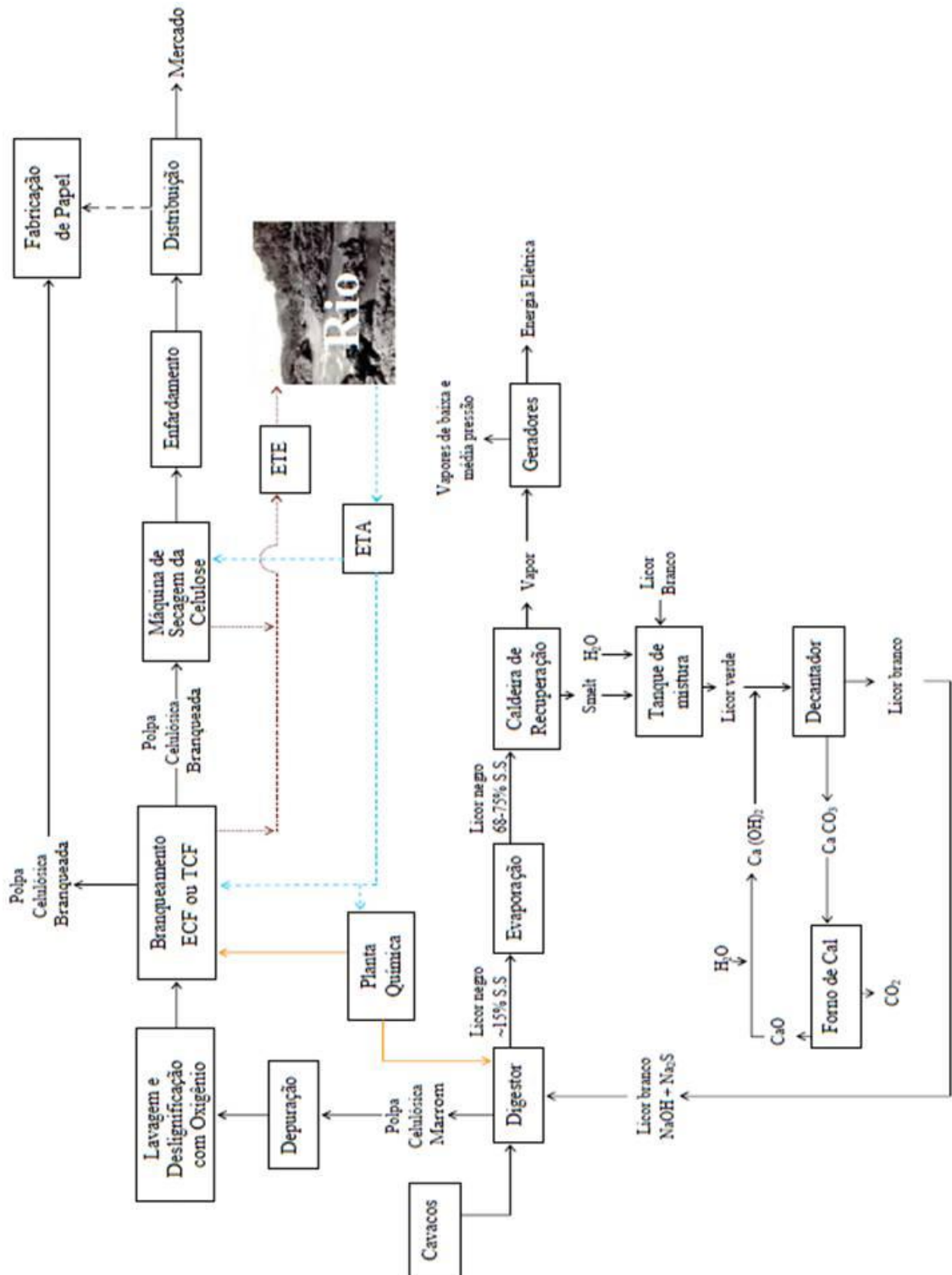


Figura 7.04 (FONTE: Redução do consumo de água na etapa de branqueamento da celulose via reutilização de efluentes industriais – Dissertação de mestrado – Alexandre Augusto de Andrade)

8. PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA A FABRICAÇÃO DE CELULOSE

O meio de transporte das toras de madeira usado pode ser o rodoviário, ferroviário, etc. Em sua chegada à fábrica esta madeira é pesada e inspecionada. Os itens observados na inspeção são diâmetro de toras (quando necessário), comprimento de toras (quando necessário), tempo de corte, presença de madeira queimada ou brocada, etc. Nesta etapa também é verificado o destino que deverá ser dado a esta madeira. Se for destinada a fabricação de celulose, as toras são encaminhadas para a linha principal. No caso de ser utilizada para biomassa poderá ser encaminhada à uma linha auxiliar, por exemplo.

As toras poderão já vir descascadas ou não da floresta. Quando não há o descascamento na floresta, ele será realizado na fábrica através de um tambor descascador. Neste caso, a linha principal é responsável pela preparação de madeiras com cascas, podendo o estoque ser feito em forma de toras ou de cavacos. É importante ressaltar que os resíduos que são rejeitos do processo de preparação de madeira compostos essencialmente de galhos, folhas e sílicas, são utilizados como adubo para novos plantios de eucalipto.

A preparação da madeira tem como finalidade processar a madeira em forma de toras provenientes das florestas, descascando-as (se for o caso), transformando-a em cavacos (madeira picada) e classificando-os (separação de material conforme especificação desejada), os quais são então depositados na pilha de cavacos até seguirem para a etapa de cozimento, onde será obtida a celulose. A figura 8.01 mostra simplificada este processo.

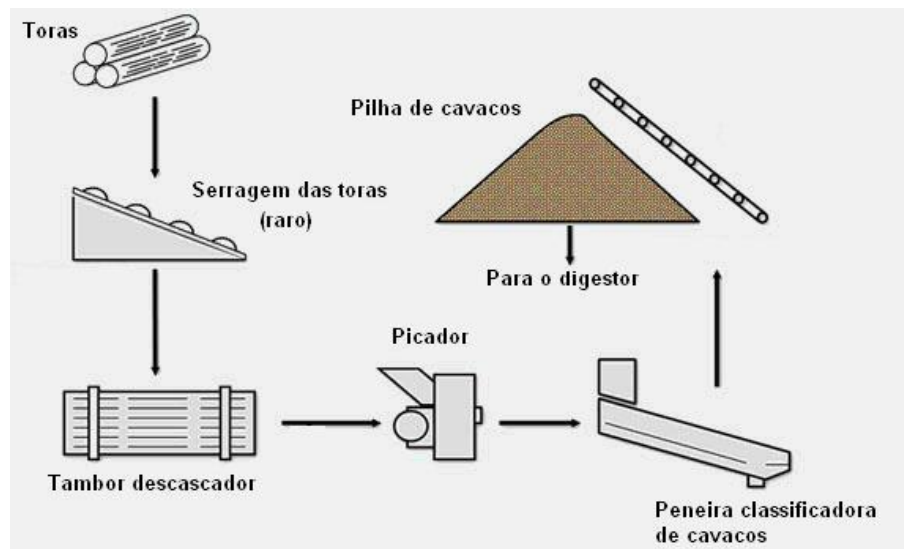


Figura 8.01 (FONTE: indeterminada)

8.1. DESCASCAMENTO

A madeira extraída da floresta sob a forma de toras, antes de ser utilizada na produção de celulose deverá ser descascada, devido ao fato da casca conter pouca quantidade de fibras, resinas e areia. Além disto, causaria maior consumo de reagentes químicos nas etapas de polpação química e de branqueamento, ocuparia espaço útil nos digestores (diminuindo a produtividade), dificultaria a lavagem e depuração da polpa, diminuiria as propriedades físicas do produto final e prejudicaria o aspecto visual da pasta (aumento de sujeira).

Existem vários modelos de equipamentos utilizados para o descascamento da madeira na forma de toras, tais como: descascador de tambor, descascador de bolsa, descascador de anel, descascador de corte, descascador hidráulico e descascador de faca. Dentre todos, os mais utilizados industrialmente são os de tambor e de anel.

8.1.1. Descascador de tambor

Neste equipamento, de acordo com a Figura 8.02, a madeira é alimentada continuamente, por meio de uma correia transportadora, em um cilindro rotativo de aço possuindo fendas longitudinais que permitem a saída das cascas. Estes cilindros são inclinados e giram à baixas velocidades, o que ocasiona o impacto das toras entre si e as paredes do tambor (providas de saliências longitudinais).

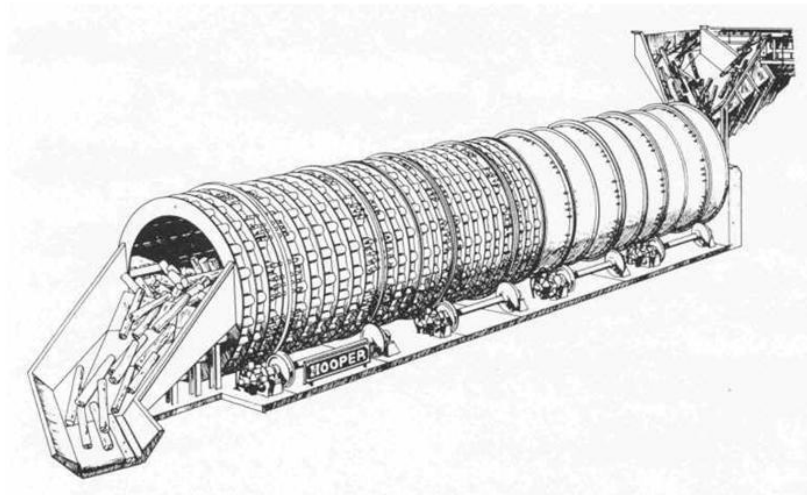


Figura 8.02 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

Estes impactos ocasionam o rompimento das cascas (separando-as das toras), as quais são desprendidas e arrastadas para fora (pelas fendas) mediante jatos d’água (chuveiros) situados no interior do tambor. A casca é o subproduto desta etapa do processo, podendo ser utilizadas nas caldeiras de biomassa para geração de vapor. As toras descascadas seguem por

esteiras rolantes e passam sob chuveiros, onde são lavadas com água para a retirada de resíduos e impurezas (figura 8.03).

O dimensionamento dos tambores depende de inúmeras variáveis, tais como, taxa de alimentação, comprimento das toras, diâmetro médio das toras, tipo de madeira (tipo de casca), etc. O diâmetro do descascador pode variar de 4,0 a 6,0 m e o comprimento de 20,0 a 40,0 m.

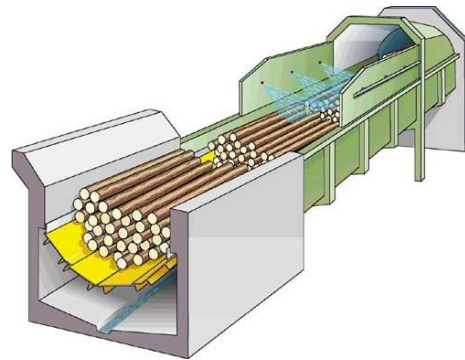


Figura 8.03 (FONTE: não identificada)

Por exemplo, o diâmetro dos tambores é geralmente de 1,6 a 1,8 vezes o comprimento das toras, por isso as toras antes de entrarem no descascador são bitoladas em mesas alinhadoras munidas de serras circulares, de modo a uniformizar seu comprimento. Como exemplo, supor-se-á que as toras possuam 2,70 m de comprimento. Neste caso, poderia ser escolhido um descascador de 28 m de comprimento e 5 m de diâmetro, inclinado levemente e munido de movimento giratório de 8 rpm.

Devido ao custo destes equipamentos, ele é restrito à indústrias de produção contínua e de porte razoável. Além disso, estes equipamentos são montados no perímetro da instalação industrial, onde será acumulada a casca gerada. A figura 8.04 mostra a foto de um tambor descascador.



Figura 8.04 (FONTE: <http://www.eucalyptus.com.br>)

8.1.2. Descascador de anel

Neste equipamento, de acordo com a Figura 8.05, a madeira é alimentada axialmente no centro de um anel rotativo, em cuja periferia estão dispostas, com o mesmo espaçamento, facas e raspadeiras. Ambas, em ação conjunta, removem a casca.

Os descascadores de anel podem ser construídos estacionários ou móveis. Quando móvel, ele é acoplado em tratores ou caminhões, permitindo seu deslocamento e operação na área florestal. A produtividade destes equipamentos é influenciada por diversos fatores, tais como: diâmetro e uniformidade da tora, espécie de madeira (e da casca), velocidade e tipo de alimentação.

Com relação à casca gerada nos processos de descascamento, se a madeira é descascada na floresta ela servirá como formadora de “húmus” no solo. No entanto, se for descascada na indústria, a casca causará problemas de disposição, uma vez que ela representa um volume de 10 a 20% do volume total da madeira utilizada. Transportar a casca para aterro florestal seria muito dispendioso, face à sua baixa densidade aparente. A alternativa lógica de eliminação das cascas é a sua queima em fornalhas apropriadas para a geração de vapor (fornalha de biomassa), uma vez que o seu poder calorífico é da ordem de 4.000 kcal/kg, base seca.

8.2. PICAGEM

Como foi dito anteriormente, quando se pretende realizar uma polpação química de uma madeira, esta deverá ser reduzida a fragmentos (cavacos) para aumentar a superfície de contato de modo a facilitar a penetração do licor de cozimento e para facilitar o transporte da madeira ao ser processada. As dimensões dos cavacos deverão obedecer a uma distribuição tão estreita quanto possível, de modo a promover um cozimento bastante uniforme e gerar uma polpa bem homogênea, evitando desta forma um severo cozimento dos menores e um

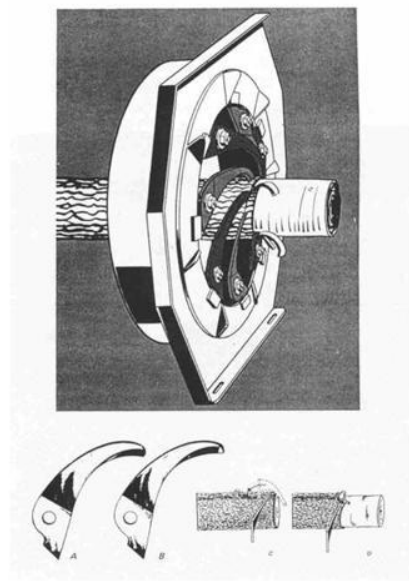


Figura 8.05 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

cozimento incompleto dos maiores (dentro dos limites operacionais fixados). Os fatores mais importantes que afetam a qualidade dos cavacos são:

- A direção e velocidade da tora que entra no picador;
- O ângulo de corte das facas;
- A velocidade de corte (alta velocidade gera alta produção e grande quantidade de finos);
- A troca constante das facas (sempre afiadas).

Antes da alimentação no picador, as toras devem ser lavadas afim de retirar areia ou terra nelas contidas, visando diminuir o desgaste das facas do picador. Além disso, a madeira úmida é mais facilmente cortada, diminuindo desta forma o consumo energético e o risco de quebra das facas. Normalmente a madeira entra no picador logo após sair do descascador (quando for de tambor) vindo, portanto, lavada e úmida. Quanto aos equipamentos utilizados, existem basicamente dois tipos de picadores:

- De disco com múltiplas facas;
- De tambor.

8.2.1. Picador de disco de múltiplas facas (mais utilizado)

Este equipamento é o mais utilizado industrialmente, o qual, de acordo com a figura 8.06, consiste de um disco rotativo reforçado de aço, munido de facas (lâminas de corte) distribuídas na área de uma de suas faces.

O disco tem um diâmetro que varia de 70 a 450 cm e pode ser equipado com 4, 8, 10, 12 ou mais facas.



Figura 8.06 (Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

O ajuste das facas permite regular o tamanho dos cavacos, os quais são obtidos pelo impacto da tora com as facas, deixando o picador através de fendas existentes no disco. A velocidade de rotação do disco será regulada em função do diâmetro do disco e do número de

facas. Por exemplo, para um disco com 214 cm de diâmetro, com 12 facas, a velocidade recomendada é de 450 rpm.

8.2.2. Picador de tambor

Este equipamento, de acordo com a Figura 8.07, consiste basicamente de um tambor de aço com, aproximadamente, 1,8 m de diâmetro e de 1,0 a 2,5 m de comprimento. A madeira é alimentada e prensada contra o tambor, cuja superfície é provida de facas, girando a uma velocidade de 30 rpm. As toras são mantidas deitadas na câmara de alimentação, com orientação paralela ao eixo rotacional do tambor.

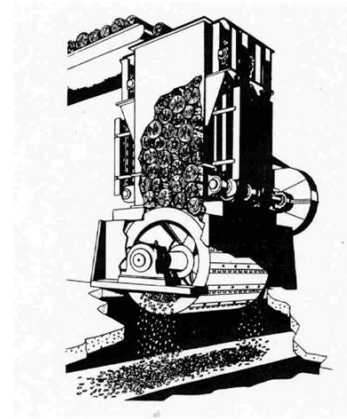


Figura 8.07 – Picador de tambor

8.2.3. Classificação dos cavacos

Após a picagem, os cavacos são estocados no pátio e, posteriormente, passam por um sistema classificatório constituído de peneiras vibratórias onde são separados por tamanho. Os cavacos dividem-se em sobredimensionados (tamanho acima do padrão), aceitos e finos (tamanho abaixo do padrão). O comprimento e a espessura do cavado ideal deveria ser de 25 mm e 4 mm, respectivamente.

Entretanto, são aceitáveis comprimentos de 10 a 30 mm, e espessura de 2 a 8 mm. A largura ideal está em torno de 20 mm, mas não é um parâmetro normalmente controlado. A Figura 8.08 mostra a peneira de classificação granulométrica.



Figura 8.08

(FONTE: <http://www.demuth.com.br>)

A classificação é feita em função de que os cavacos sobredimensionados (“over-size”) dificultam a impregnação do licor, os finos degradam rapidamente e prejudicam a operação do digestor levando a uma polpação não uniforme, aumento do teor de rejeitos, diminuição do

rendimento depurado, pasta de baixa qualidade e aumento do custo de produção (consumo de reagentes para o cozimento), além de dificultar o controle do processo. Normalmente, o percentual de cavacos aceitos está ao redor de 95%.

Os cavacos são lançados sobre a primeira tela perfurada por um funil dosador de descarga que pode, opcionalmente, ser provido de uma rosca equalizadora de fluxo. Os cavacos menores que a perfuração da malha desta primeira tela de classificação são lançados sobre a segunda e terceira tela com malhas mais fechadas, que por sua vez descarregam aqueles com dimensões aceitas ao processo.

Já os cavacos sobredimensionados são retirados da peneira, por saída adequada, para serem repicados e retornarem ao processo inicial da seleção.

Os cavacos que saem do repicador reingressam no sistema classificatório. O último patamar recebe todos os cavacos de menor tamanho que não são aceitos no processo (finos). O material constituído de finos poderá ser polpeado separadamente (produto de mais baixa qualidade) ou então queimado em caldeiras (mais comum). A figura 8.09 apresenta um esquema da peneira oscilatória DPO da Demuth.

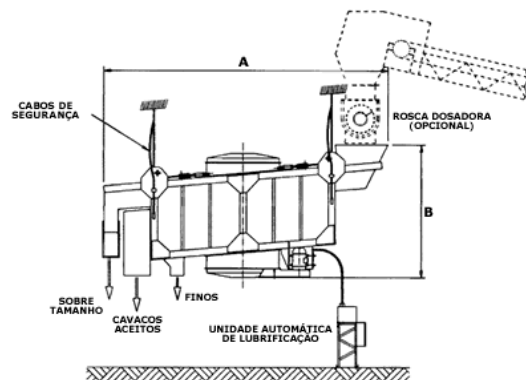


Figura 8.09

(FONTE: <http://www.demuth.com.br>)

8.3. ESTOCAGEM

Consiste no armazenamento dos cavacos em forma de pilha ao ar livre. As vantagens do estoque de cavacos perante o de toras são as seguintes: maior facilidade no manuseio, maior disponibilidade de cavacos e redução de mão-de-obra no pátio.

Após a estocagem, os cavacos são enviados para o cozimento através de roscas sem fim, inicialmente, que são conduzidas às esteiras transportadoras ou transporte pneumático, e daí ao digestor. A figura 8.10 mostra um pátio de madeira típico com a estocagem dos cavacos.



Figura 8.10 (FONTE: Papier Masson Itée – www.papiermassom.com)

9. PROCESSO “KRAFT”

9.1. POLPAÇÃO

A madeira pode ser comparada a uma parede onde os tijolos correspondem às fibras e o cimento que une os tijolos, à lamela média composta pela lignina. A polpação tem a finalidade de separar as fibras da sua organização compacta através da dissolução da lamela média composta por lignina.

O cozimento consiste na transformação (desintegração) da madeira em celulose na presença de produtos químicos, pressão (8 kgf/cm^2) e temperatura ($165 \text{ }^\circ\text{C}$), promovendo a individualização das fibras, a remoção da lignina que as une entre si e a menor degradação possível dos polissacarídeos (Figura 9.01).

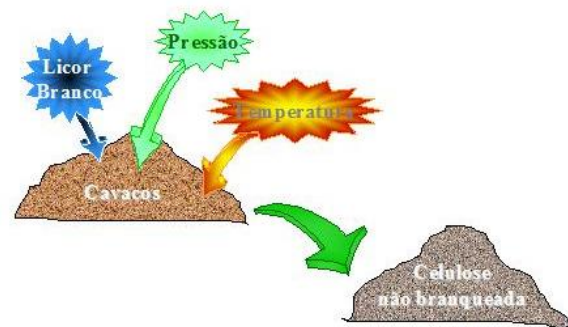


Figura 9.01 (SENAI CETCEP)

Esta operação é feita através de um equipamento denominado digestor, no qual é adicionada a madeira picada (cavacos) com uma solução contendo água e reagentes químicos (ativos do cozimento) dissolvidos. A solução denomina-se licor branco e contém hidróxido de sódio ou soda cáustica (NaOH) e sulfeto de sódio (Na_2S). A operação dos digestores pode ser descontínua ou contínua, mas os digestores contínuos, principalmente os cilíndricos verticais

são predominantes na indústria brasileira de celulose, razão pela qual será enfoque neste curso. A Figura 9.02a mostra um fluxograma simplificado de um digestor contínuo com uma configuração mais antiga e na figura 9.02b aparece um fluxograma de um digestor com sistema de dois vasos.

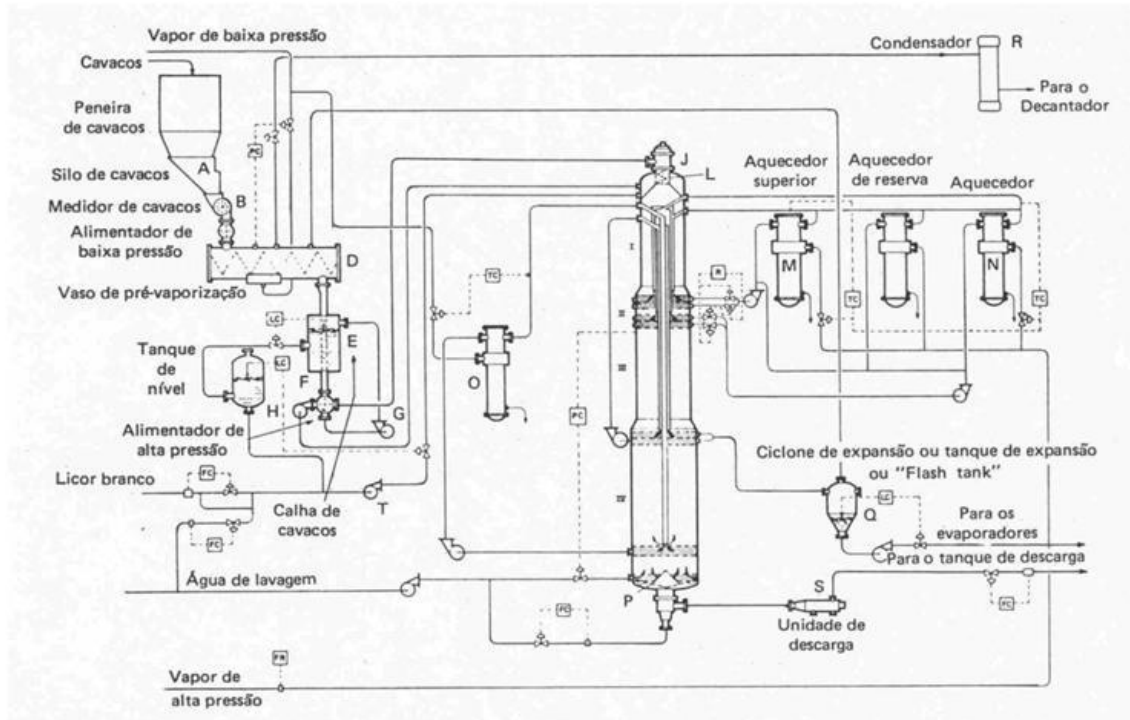


Figura 9.02a (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

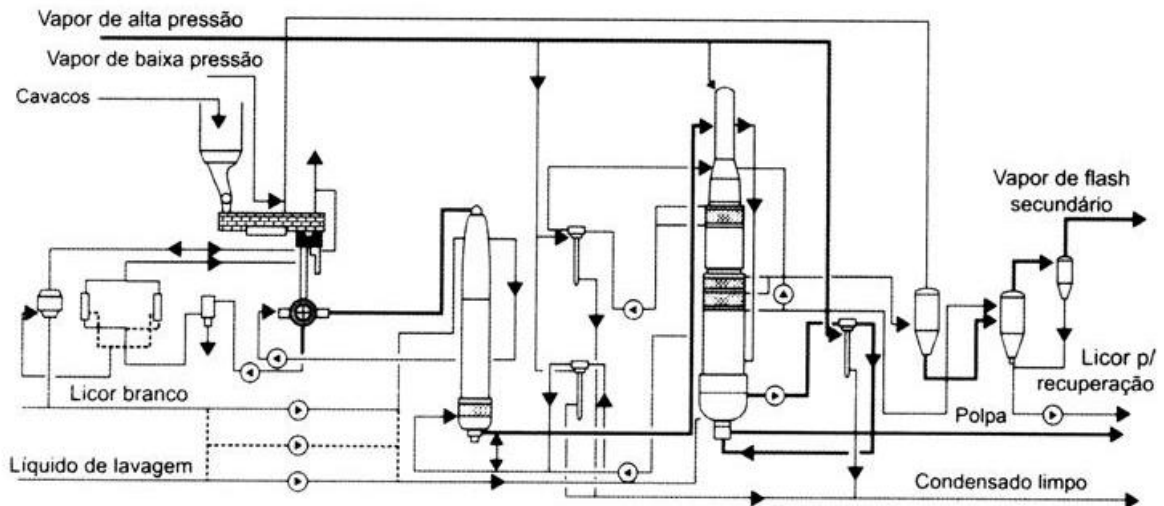


Figura 9.02a (FONTE: Fabricação de celulose – SENAI CETCEP)

O digestor contínuo é um vaso de pressão, com altura aproximada de 60 m, onde os cavacos e licor branco forte são introduzidos continuamente pela parte superior. O tempo total

do cozimento da madeira é de 120 minutos, e realiza-se do topo até o centro do digestor. Do centro até a parte inferior, realiza-se uma operação de lavagem, a fim de se retirar a solução residual - o licor preto fraco (licor branco forte usado no cozimento mais lignina dissociada da madeira), que será utilizado como combustível na caldeira de recuperação.

O grau ou efeito do cozimento depende de uma série de fatores entre os quais podemos citar o tipo ou qualidade da madeira e a quantidade de reagentes químicos aplicados, além do tempo de cozimento. Este grau de cozimento é função da lignina residual remanescente nas paredes das fibras é determinado por um teste químico, expresso como número “kappa”.

No final do processo de cozimento o licor branco é transformado em licor preto (licor branco + lignina dissolvida), sendo enviado a uma unidade de recuperação de produtos químicos, onde é recuperado, retornando ao cozimento.

A primeira etapa do cozimento, que é a impregnação, consiste na expulsão de todo ar do interior dos cavacos, permitindo um tratamento químico e térmico idêntico a todas as fibras e a obtenção de um desfibramento uniforme. A impregnação geralmente é realizada com vapor seguido de licor.

No cozimento “kraft” há variáveis associadas à madeira e ao processo. As associadas com a madeira são:

- Tipo e espécie de madeira: a madeira é normalmente o maior custo individual de cada fábrica e responsável por grandes diferenças na qualidade e nas propriedades da pasta.
- Idade da madeira: é determinada através da curva de crescimento da árvore estabelecendo a idade ideal para corte, de uma determinada espécie.
- Uniformidade: é importante que as características da madeira permaneçam aproximadamente constantes como:
 - Densidade básica;
 - Características das fibras;
 - Características da madeira.

As variáveis associadas ao processo de cozimento são:

- Carga de álcali: é a quantidade de químicos NaOH e Na₂S proporcional à quantidade de madeira. A taxa de adição varia bastante de fábrica para fábrica. Usualmente, esta taxa é expressa como porcentagem de álcali ativo (AA) em relação à madeira: tonelada de AA/tonelada de madeira, ou porcentagem de álcali efetivo (AE) em relação à madeira: tonelada de AE/tonelada de madeira. **Observação:** É importante que todo cavaco, esteja

envolvido com a carga de álcali contida no licor, porém, sem muita diluição (volume excessivo).

- **Concentração:** As concentrações podem sofrer variações, mantendo-se a carga de álcali constante, mediante mais ou menos diluição. Concentrações baixas ou altas devem ser evitadas, pois, prolongam o tempo de cozimento ou interferem na uniformidade, respectivamente. Uma concentração mínima é necessária para manter os compostos dissolvidos em solução.

- **Sulfidez:** A presença de sulfeto acelera a deslignificação, permitindo obter polpas com fibras mais resistentes para um mesmo grau de deslignificação. A sulfidez é expressa percentualmente em relação ao álcali ativo: $S = (Na_2S / NaOH + Na_2S) \times 100\%$. Utiliza-se normalmente uma sulfidez de até 30% para coníferas e 20% para folhosas.

- **Tempo e temperatura:** o tempo e a temperatura são variáveis interdependentes, ou seja, quanto maior a temperatura, menor o tempo de cozimento. O cozimento precede normalmente na temperatura entre 150 a 160°C onde o tempo de cozimento não é tão prolongado e a degradação da celulose, é mínima.

- **Fator H:** Cozimentos com diferentes combinações de tempo e temperatura para um mesmo fator H e com as demais condições constantes devem produzir pastas com teor de lignina e rendimento semelhantes. É uma variável que relaciona a temperatura e o tempo de cozimento, utilizado freqüentemente como variável de controle. O fator H normalmente está em torno de 700 para as folhosas e de 1500 a 2000 para as coníferas.

Os detalhes funcionais do digestor contínuo são os seguintes:

9.1.1. Vaso de vaporização (Figura 9.03)

Destina-se a impregnar completamente os cavacos com licor, ainda em temperatura insuficiente para o cozimento. Com esta função, espera-se: estabilizar qualidade, aumentar rendimento e reduzir rejeitos.

Os objetivos principais da vaporização ou impregnação com vapor dos cavacos são: a remoção dos gases não condensáveis e dos terpenos, a preparação dos cavacos para imergir rapidamente no licor branco, o inchamento dos cavacos e, conseqüentemente, um cozimento mais uniforme. Utiliza-se vapor expandido dos ciclones que aquece os cavacos de 80 a 85°C.

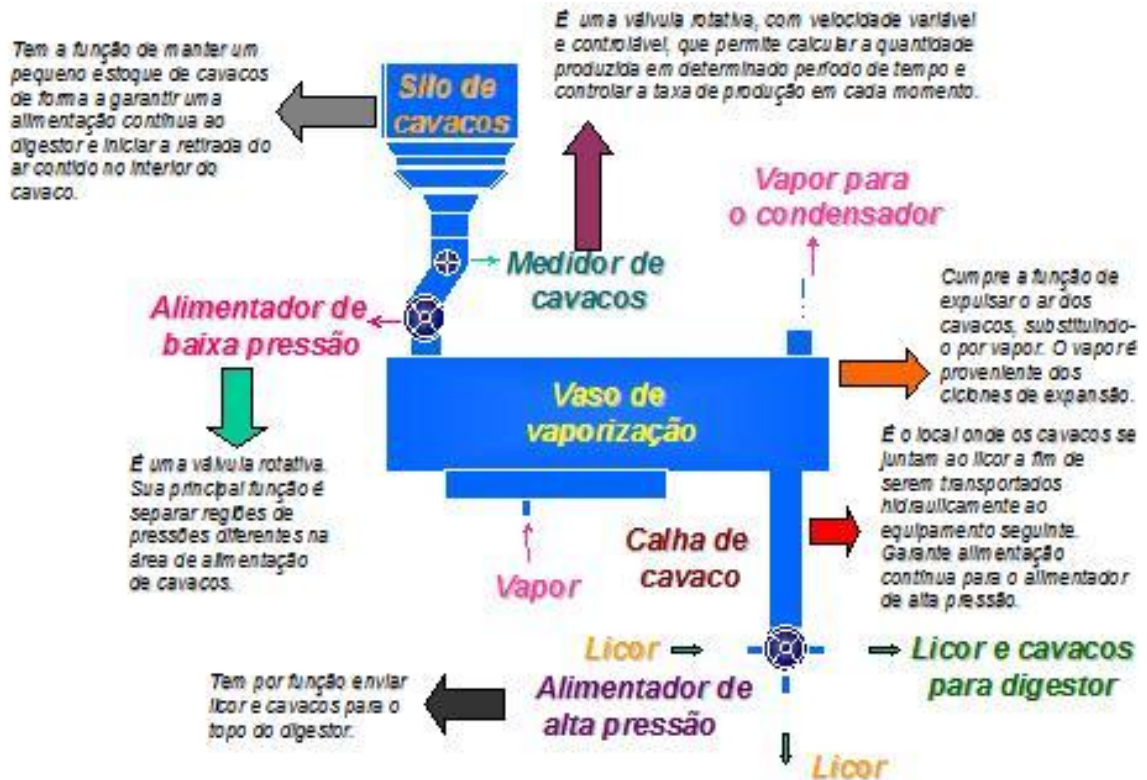


Figura 9.03 (SENAI CETCEP)

9.1.2. Alimentador de alta pressão (Figura 9.04)

Os cavacos e o licor oriundos da calha de cavaco, entram no alimentador onde os cavacos ficam retidos por meio de peneira curva, situada logo abaixo do rotor, conforme a figura 6.05A. Quando a bolsa assume a posição horizontal figura 6.05B, os cavacos entram no sistema de alta pressão e são levados pelo licor através da bomba de circulação para o topo do digestor.

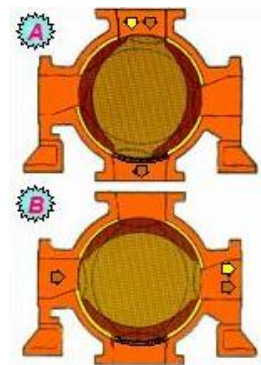


Figura 9.04 (SENAI CETCEP)

9.1.3. Zonas de operação do digestor

O separador de topo localiza-se na parte superior, no geral, internamente ao digestor. Tem a função de separar os cavacos de seu licor de transporte. Basicamente é constituído por

uma peneira e uma rosca interna. Na figura 9.05 aparecem dois tipos de separadores de topo: ascendente e descendente.

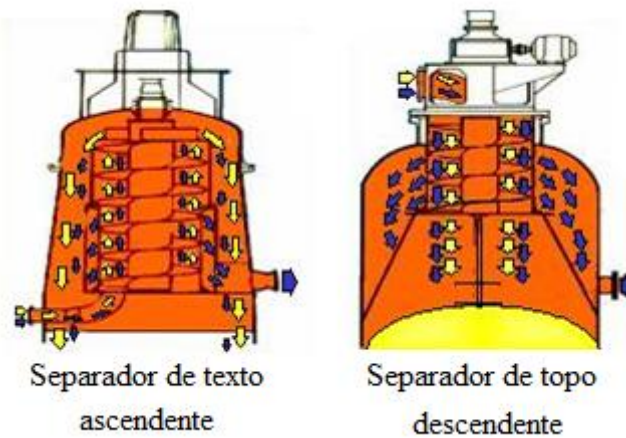


Figura 9.05 (SENAI CETCEP)

A zona de impregnação destina-se a impregnar completamente os cavacos com licor, à temperatura que varia de 120 a 130°C aproximadamente. É um estágio de grande importância, conferindo: uniformidade do cozimento, qualidade do produto e redução de rejeito. A impregnação pode ocorrer no digestor ou num vaso anterior ao digestor. Na zona de aquecimento, a temperatura é aumentada pelo sistema de circulação forçada do licor através do trocador de calor, até atingir a temperatura de cozimento. Na zona de cozimento, a temperatura de cozimento é de aproximadamente 165 a 175°C, onde permanece o tempo suficiente para que se complete as reações de deslignificação. Devido a reação exotérmica do cozimento, há uma pequena elevação de mais ou menos 4°C, além da temperatura obtido com o trocador de calor.

A lavagem “hi-heat” inicia-se com o deslocamento do licor negro concentrado pelo do licor diluído de lavagem (aproximadamente à 135°C), introduzida pela base como água de resfriamento. O licor negro é extraído através de peneiras e enviado para a recuperação e o vapor liberado é utilizado na impregnação dos cavacos (Figura 9.06).

A zona de esfriamento situa-se no fundo do digestor onde é injetado licor diluído (licor de resfriamento ou lavagem), originado das etapas posteriores do processo com temperatura entre 60 a 80°C. Os cavacos já cozidos, resfriados e diluídos são descarregados uniformemente do digestor. A extração do licor negro, ocorre continuamente pelo deslocamento radial através de peneiras, conforme ilustrado na figura ao lado.

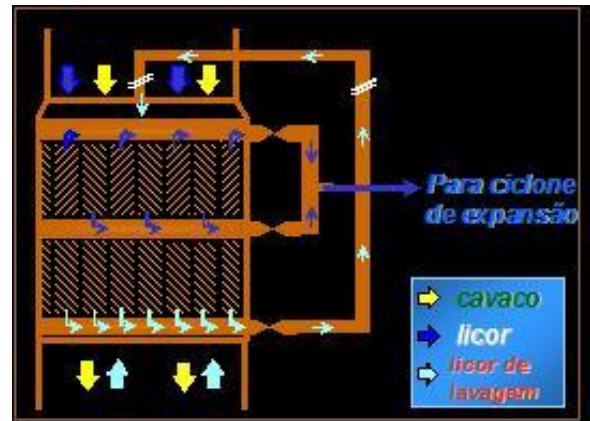


Figura 9.06 (SENAI CETCEP)

O licor extraído do digestor com temperatura próxima de 160 a 170°C passa pelos ciclones de expansão (figura 9.07), flasheando-se, gerando vapor para várias aplicações como: vaso de impregnação com vapor, silo com vaporização, geração de água aquecida, etc. Após os ciclones, o licor vai à evaporação já com aproximadamente 16% de sólidos e temperatura inferior a 100°C.

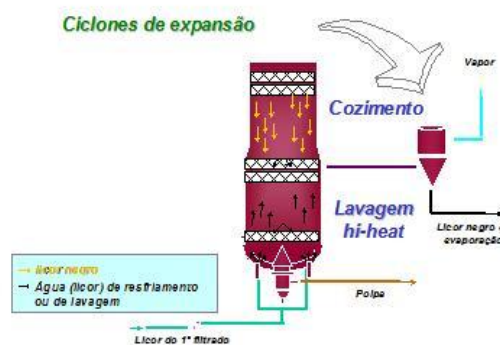


Figura 9.07 (SENAI CETCEP)

O dispositivo de descarga (Figura 9.08) é representado por um “raspador”, localizado no fundo do digestor. Tem a função de promover uma descarga uniforme, sem canalizações. Tem velocidade variável e com ele pode-se alterar a consistência da descarga.

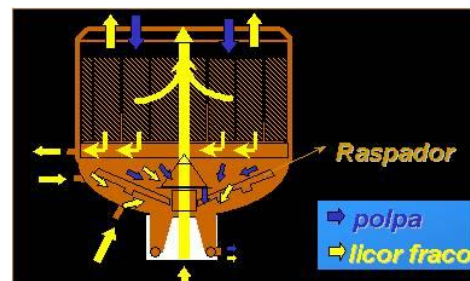


Figura 9.08 (SENAI CETCEP)

No processo descontínuo, após o período de cozimento, uma válvula situada no fundo do digestor é aberta e a pressão empurra os cavacos cozidos para um tanque, onde a força de alívio na descarga (descompressão brusca) faz com que os cavacos desdobrem-se em fibras individuais, constituindo a pasta. Nos gases de alívio encontram-se mercaptanos e H₂S, bem como terebintina (no caso de coníferas) e metanol. A terebintina e o metanol podem ser recuperados por condensação.

A massa procedente da polpação é lançada no tanque de descarga e consiste, basicamente, em uma suspensão de fibras misturada ao licor de cozimento. Nesta suspensão, a parte fibrosa representa, a grosso modo, a metade da substância seca da madeira utilizada; o restante se encontra dissolvida no licor.

9.1.4. Antraquinona

A antraquinona é um aditivo utilizado nos digestores e tem como principais funções: reduzir o consumo de madeira, aumentar a produtividade, melhorar a qualidade final da polpa e possibilitar menor agressão ao meio ambiente.

A AQ age diretamente na cadeia de carboidratos, minimizando a agressão provocada pelo álcali (mais especificamente pelo NaOH), desta forma a cadeia de celulose fica mais preservada, aumentando a produtividade, gerando menos sólidos para a caldeira de recuperação e melhorando a qualidade da polpa.

9.1.5. Cozimentos contínuos modificados

Vários novos processos de polpação estão sendo desenvolvidos. Ao mesmo tempo, o processo “Kraft”, que ainda está em desenvolvimento é mais competitivo quando comparado aos processos alternativos de polpação. Os principais motivos para se considerar a substituição do processo “Kraft” de polpação são de cunho ambiental. Diminuir a emissão de composto de enxofre ou obter polpas mais deslignificadas que requerem menor carga química para o branqueamento da pasta.

As melhores tecnologias disponíveis (BAT – Best Available Technologies) sugeridas para reduzir a carga de poluentes são cozimentos modificados, seqüências de branqueamento livre de cloro elementar (ECF – “elementar chlorine free”) e totalmente livre de cloro (TCF – totally chlorine free”).

Deslignificação estendida em cozimento “Kraft” sem perda de viscosidade da polpa (cozimento modificado) é atingida através de modificações nos perfis de concentração de reagentes e de lignina dissolvida. A mudança fundamental nos cozimentos modificados quando comparado com o cozimento convencional é que a fase final do cozimento é conduzido com a menor concentração possível de lignina dissolvida no licor de cozimento e com um perfil uniforme de álcali efetivo. A tabela 9.01 mostra alguns dos cozimentos modificados com suas principais características.

Denominação	Características principais
MCC (“Modified Continuous Cooking”)	Caracteriza-se principalmente pela distribuição de carga alcalina durante todo o cozimento. O principal objetivo é baixar o número “Kappa” preservando-se as propriedades físicas das fibras. Com isso é possível ter estágios posteriores no processo com menor consumo de produtos químicos e menor carga no tratamento de efluentes.
XMCC ou EMCC	Este processo preliminarmente diminui a concentração inicial de hidróxido de sódio e aumenta a quantidade na zona de cozimento contracorrente. O licor de cozimento, como no cozimento convencional, flui de baixo para cima, em contracorrente em relação aos cavacos e a extração do licor é feita na região médio-superior do digestor. Logo se observa que toda a extensão do digestor é usada para cozinhar, incluindo a zona de lavagem de três horas produzindo uma celulose com um número “kappa” mais baixo.
Cozimento Isotérmico (ITC)	É um aperfeiçoamento do processo de cozimento contínuo. O tempo de cozimento é significativamente superior permitindo uma maior homogeneidade e a utilização de temperaturas de cozimento mais baixas, sendo possível diminuí-las em aproximadamente 10 °C, se comparado com um cozimento convencional. O cozimento sob estas condições resulta numa seletividade superior que a dos cozimentos XMCC e MCC em relação às reações com a lignina.
Lo-solids	O objetivo básico do processo Lo-solids é minimizar a concentração de sólidos presentes dissolvidos durante a deslignificação principal e final, enquanto se mantêm as condições requeridas para o cozimento modificado. Como por exemplo, manter concentrações mínimas de álcali e mínimas temperaturas de cozimento, mínimas concentrações de lignina no final do cozimento e máxima sulfidez no início do cozimento.

Tabela 9.01 (FONTE: Fabricação de Celulose – SENAI CETCEP)

9.2. DEPURAÇÃO E LAVAGEM

9.2.1. Depuração

A polpa após ter sido produzida no digestor contínuo ou “batch”, caracterizada pela cor marrom, contém constituintes indesejáveis que podem danificar equipamentos ou comprometer a qualidade do produto final pelo surgimento de pintas, por exemplo. Devido a isto, estas impurezas devem ser separadas mecanicamente em sistemas de depuração e limpeza da polpa compatíveis com o tipo de produto final produzido.

Os constituintes indesejáveis que acompanham a polpa nesta fase inicial do processo são basicamente de natureza fibrosa e não fibrosa. Os constituintes de natureza fibrosa são os cavacos não cozidos, feixes de fibras (“fiber bundles”), palitos (“shives”) e nós; os de natureza não fibrosa são os metálicos (porcas, parafusos, grampos, pedaços de chapas, ferrugem de encanamentos, etc.) e os não metálicos (pedras, areia, abrasivos, vidros, plásticos, cascas, argamassa dos tanques, azulejos, etc.).

Depuração é o nome que se dá a operação de limpeza da celulose. O objetivo principal da depuração da polpa marrom é remover seletivamente, através de peneiramento, os constituintes indesejáveis do fluxo de polpa marrom. As partículas indesejáveis (rejeito) removidas do fluxo de polpa devem ser recolhidas com mínima perda de fibras boas. O rejeito pode ser parcialmente aproveitado (nós parcialmente cozidos) ou totalmente rejeitado.

É importante que a remoção das partículas indesejáveis contidas na polpa marrom por meio da depuração seletiva e limpeza seja realizada minimizando o arraste de fibras boas com a sujeira, com a maior delicadeza possível e evitando o esmagamento da sujeira em partículas menores e mais leves que possam representar difícil separação posterior. Devido a isto, 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 9.09).

O dois tipos principais de depuradores são caracterizados por aqueles que separam as partículas por tamanho e forma, e aqueles que separam as partículas pelo seu peso específico.

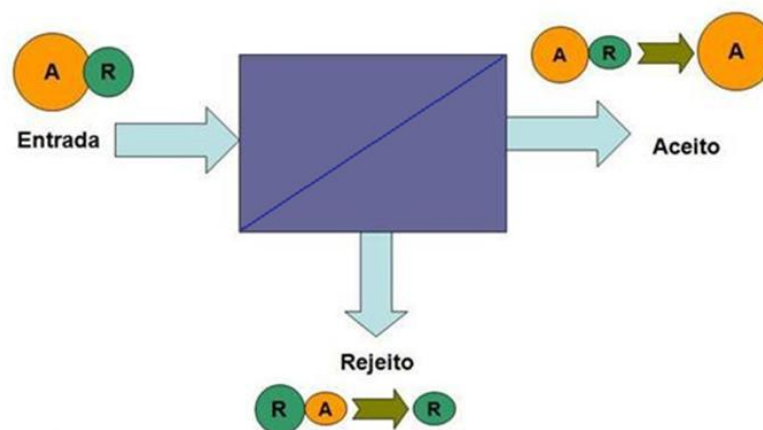


Figura 9.09 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

O primeiro tipo é representado pelas chamadas peneiras que podem ser atmosféricas ou pressurizadas, e dotadas de chapa perfurada com furos redondos ou ranhuras (figura 6.11). O

segundo tipo é representado pelos separadores centrífugos do tipo cone (figura 6.12), em que as impurezas (areia, partículas metálicas, etc.) normalmente têm peso específico maior do que o da matéria prima fibrosa.

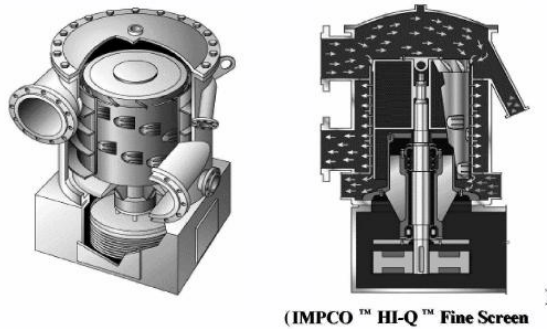


Figura 9.10

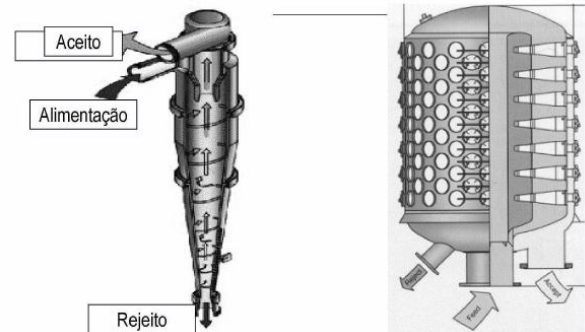


Figura 9.11

No caso dos depuradores do tipo peneira a eficiência da depuração depende de parâmetros relacionados à operação (tipo de polpa, valocidade através dos furos ou fendas, tipo e quantidade de impurezas, taxa de rejeito, consistência da polpa, pressão diferencial, temperatura, etc.) e relacionados ao equipamento (desenho do rotor, “gap” entre “foil” e cesto, potência instalada, perfil da superfície do cesto, tamanho da fenda, diâmetro do furo, etc.). No capítulo sobre a depuração de massa para a fabricação de papel serão vistos maiores detalhes sobre os equipamentos usados.

9.2.2. Lavagem

A operação de lavagem da massa, isto é, a separação do líquido das fibras e a lavagem desta última com água limpa, merece bastante atenção, desde o projeto de instalação até a rotina de operação, cujos principais objetivos são:

- Remover o licor residual que poderia contaminar a pasta durante etapas subseqüentes do processamento;
- Recuperar o máximo os reagentes químicos com uma diluição mínima;
- Recuperar os constituintes da madeira dissolvidos no licor para utilizá-los como combustível.

A figura 9.12 mostra um fluxograma de lavagem e depuração de concepção mais antiga, mas que ajuda a entender melhor este processo.

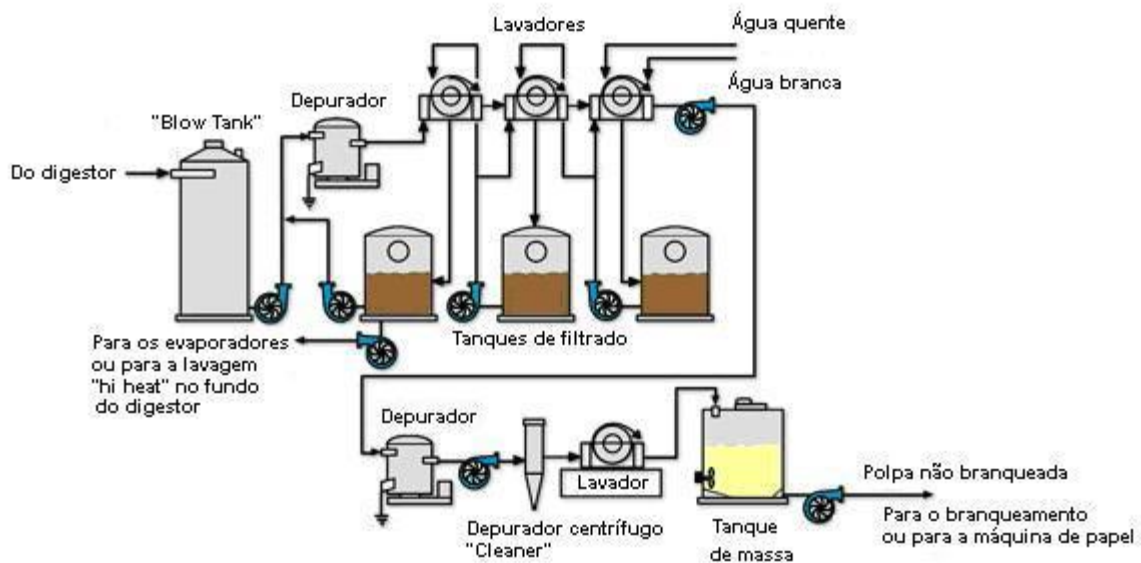


Figura 9.12 (FONTE: não identificada)

O volume de água adicionada ao sistema deve ser o menor possível, uma vez que o filtrado final deve ser evaporado e queimado para recuperar os sais de sódio. Um excesso de água exigiria um gasto adicional de energia para a sua evaporação. Entretanto, uma lavagem insuficiente acarretaria excessiva perda de licor negro impregnado na celulose, afetando o balanço térmico e químico do setor de recuperação, além de exigir um maior consumo de produtos químicos para o branqueamento (alveamento).

Atualmente as técnicas de lavagem são baseadas na necessidade do fechamento do circuito para minimizar encargos e problemas com o tratamento de efluentes. Em geral, a perda de álcali no sistema é expressa em quilogramas de sulfato de sódio por tonelada de pasta produzida.

Durante a lavagem da pasta, as impurezas solúveis são removidas, mas para se obter uma celulose de alta qualidade deve-se remover também as impurezas sólidas que podem ser de dois tipos:

- De natureza vegetal, tais como pequenos fragmentos, nós, cavacos (não cozidos ou mal cozidos), estilhas (“shives”), fragmento de cascas e finos;
- De natureza estranha, tais como areia, pedras, incrustações e fragmentos de metal.

As impurezas variam, entre outras características, em dimensão e em massa; 50 a 80% são maiores que as fibras e somente de 1 a 2% são menores; o restante são impurezas de

dimensão intermediária. Essas diferenças são essenciais para selecionar o equipamento mais adequado.

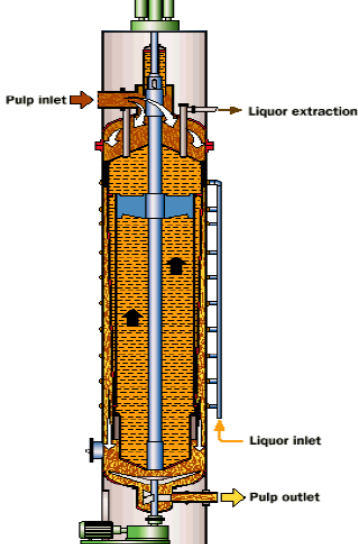
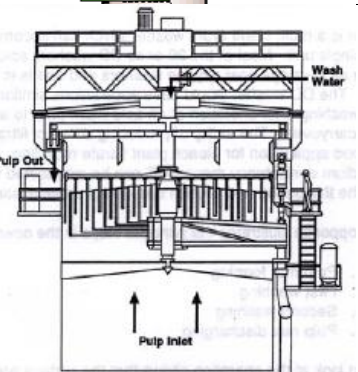
<p>Difusor pressurizado (Kvaerner / Ahlstrom)</p>		<p>De operação simples, necessita pequena área de instalação, lava a polpa em temperaturas superiores a 100°C e tem baixo consumo de energia. Devido o tempo de retenção de 90-120 segundos tem eficiência de lavagem alta com boa remoção de DQO e sódio. A polpa é lavada na passagem entre a carcaça do difusor (onde é adicionado o licor de lavagem) e cesto filtrante interno de extração do licor deslocado.</p>
<p>Difusor atmosférico (Kvaerner /Ahlstrom):</p>		<p>Tem as mesmas vantagens do pressurizado com exceção da temperatura que é limitada em menos de 100°C .</p>

Figura 9.13a (Processo Kraft – Fundamentos de Lavagem da Polpa – Alfredo Mokfienski)

O material de dimensão maior (rejeito) é separado pelos depuradores, enquanto o restante é retirado por limpadores (“centercleaners”) ou, no caso do material de dimensão mais reduzida, pelas peneiras com tela de malha bastante densa. A figura 9.13a apresenta o lavadores do tipo difusor, tanto o atmosférico como o pressurizado e a figura 9.13b apresenta alguns equipamentos utilizados na lavagem e depuração da polpa. A figura 9.14 mostra um fluxograma onde aparecem os equipamentos de remoção de nós, depuração e lavagem da polpa marrom.

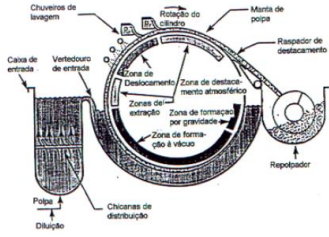
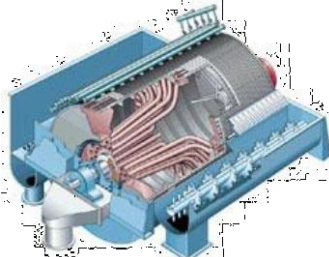
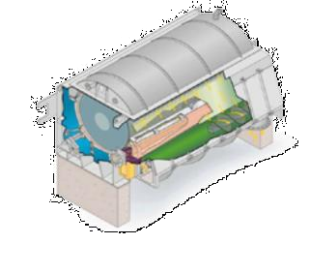

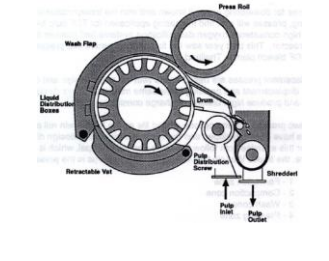
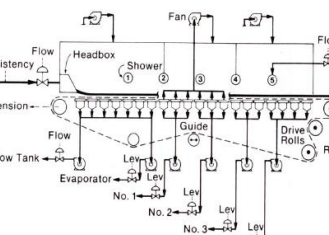
<p>Filtro à vácuo</p>		<p>Opera com taxa de deslocamento e consistências moderadas. Devido ao vácuo, não opera eficientemente acima de 85°C. O fluxo do chuveiro tem boa penetração na manta, o que cria bom gradiente de concentração e boa remoção de material dissolvido. Somente uma pequena parte do filtro é usada para deslocamento, o que cria tempo de retenção reduzido para boa difusão, em velocidades normais.</p>
<p>Filtro DRUM DISPLACER - DD-Washer (Ahlstrom)</p>		<p>É um filtro de multi-estágios que opera em temperaturas mais altas de lavagem (85-95°C), com baixo fator de diluição proporcionando uma alta taxa de deslocamento devido ao maior tempo de retenção. Pode ser alimentado com consistências relativamente mais altas (5-12%) e opera com cargas específicas de até 20 tpd/m².</p>
<p>Filtro COMPACTION BAFFLE (Beloit/IMPCO)</p>		<p>Tem as mesmas vantagens que o filtro cilíndrico a vácuo, além de sua habilidade para operar em temperaturas mais altas (90-95oC). Opera na faixa de consistência de alimentação de 2,5 -5,0% e na faixa de 12-20% de descarga. Sua instalação necessita de menor área que os filtros rotativos a vácuo e menor tanque de filtrado. Sua capacidade específica pode atingir até 30 tpd/m².</p>
<p>Prensa de rolo duplo(Sunds)</p>		<p>Combina desaguamento, deslocamento e extração produzindo polpa com consistência de descarga uniforme e alta. Opera na faixa de consistência de alimentação de 2,5 - 5,0% e na faixa de 28-32% de descarga. Sua instalação necessita de menor área que os filtros rotativos a vácuo e menor tanque de filtrado. Sua capacidade específica pode atingir até 40 tpd/m².</p>
<p>Prensa de lavagem (Kvaerner)</p>		<p>Combina desaguamento, deslocamento e extração produzindo polpa com consistência de descarga uniforme e alta. Opera na faixa de consistência de alimentação de 3,0 - 6,0% e até 35% na descarga. Sua instalação necessita de menor área que os filtrosrotativos a vácuo e menor tanque de filtrado. Tem alta capacidade específica de filtragem em __ tpd/m².</p>
<p>Mesa de lavagem (Black Clawson):</p>		<p>Com baixo fator de diluição (normalmente FD = 1) que consegue alta taxa de deslocamento permitindo boa remoção de sólidos dissolvidos. Tem limitações de temperaturas de operação.</p>

Figura 9.13b (Processo Kraft – Fundamentos de Lavagem da Polpa – Alfredo Mokfienski)

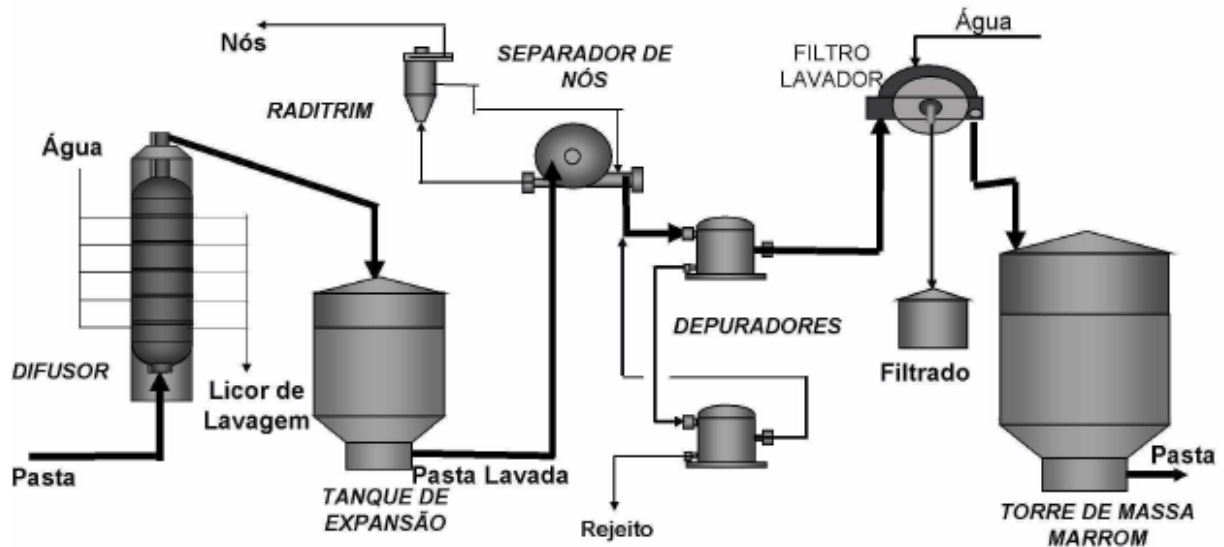


Figura 9.14 (Processo Kraft – Fundamentos de Lavagem da Polpa – Alfredo Mokfienski)

9.3. PRÉ-DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO

O objetivo do pré-branqueamento é remover mais uma parte da lignina residual do cozimento, o que ocasiona uma grande redução da carga de poluentes e compostos organoclorados na fase de branqueamento. Utiliza-se duas etapas com aplicação de oxigênio, sendo que após cada etapa a massa passa por um filtro lavador. O material orgânico dissolvido no tratamento com oxigênio é enviado para o ciclo de recuperação, onde é transformado em energia ao invés de se tornar poluente. Entretanto, isto significa um aumento da carga de sólidos para a recuperação.

Outras vantagens da deslignificação com oxigênio são: reduzir o custo de outros reagentes químicos usados no branqueamento, permitir a utilização de seqüências curtas, ser uma tecnologia bem estabelecida e peça fundamental em processos ECF e TCF. Não podemos esquecer, porém, que a capacidade de deslignificação é limitada devido a sua seletividade. Os fatores e principais variáveis operacionais são a temperatura e consistência da polpa, o tempo de retenção, a pressão do reator, a dosagem de álcali e a dosagem de oxigênio e os principais parâmetros de controle de qualidade são número kappa, viscosidade e alvura.

A figura 9.15 mostra um sistema de lavagem e depuração, incluindo também o branqueamento, onde está incluída a deslignificação com oxigênio, conceito este mais moderno.

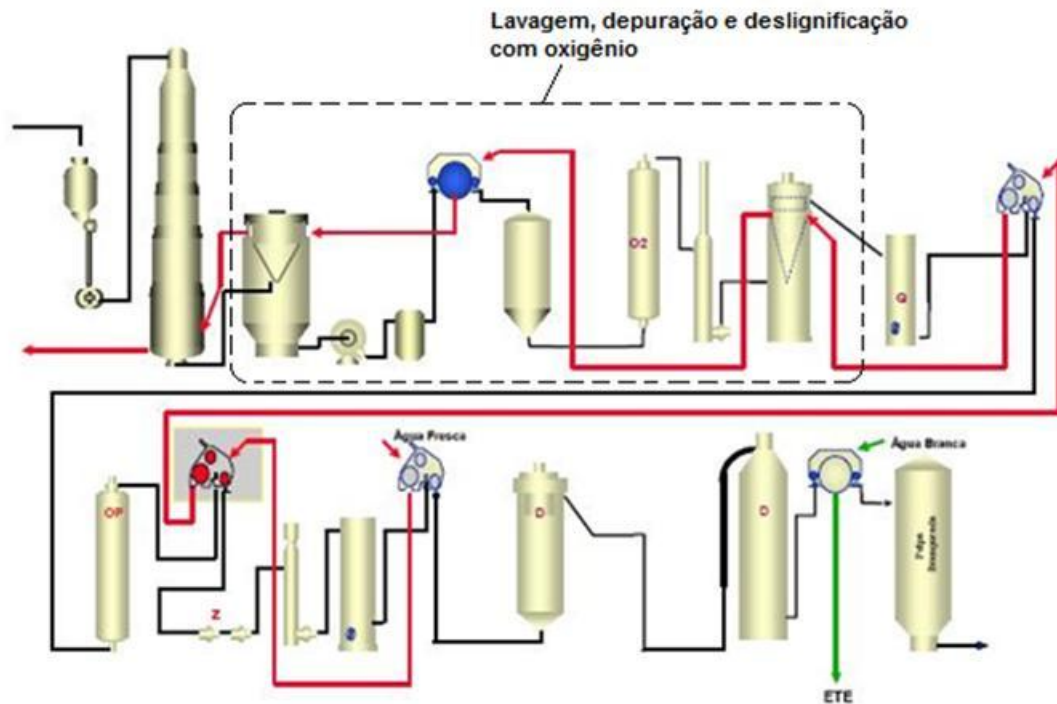


Figura 9.15 (FONTE: não identificada)

9.4. BRANQUEAMENTO

A polpação química promove uma deslignificação da madeira, mas, como já comentada anteriormente, devido às condições severas a que a madeira é exposta, pode ocorrer também degradação da celulose e hemicelulose. No intuito de protegê-las, o processo nunca deve ser conduzido até o ponto de remoção total da lignina. Neste caso, resta na polpa final um pequeno percentual de lignina residual, a qual, quando necessário, será removida por processos de branqueamento que não são tão agressivos.

Portanto, a cor das pastas de celulose é devida principalmente aos derivados de lignina que foram formados durante a polpação e nela permaneceram. A intensidade da cor também pode aumentar posteriormente mediante reações de degradação com o oxigênio do ar e também devido à radiação ultravioleta da luz solar. Também contribuem para a coloração, a presença de íons metálicos, resinas ou outras impurezas. A coloração, de acordo com o processo de produção, varia desde marrom escuro (processo “Kraft”) até amarelo claro (processos de alto rendimento). Seja qual for a finalidade do papel produzido, a alvura representa um fator importante em sua comercialização, já que, além do consumidor preferir

um produto mais branco ou mais claro, permite impressões mais definidas quando necessárias.

Os reagentes utilizados no branqueamento de pastas químicas são, em sua maioria, compostos oxidantes, os quais conferem à pasta alvura mais estável. Também há processos que utilizam compostos químicos redutores, apenas alterando quimicamente os compostos coloridos (cromóforos) da pasta, não afetando o rendimento e modificando seu aspecto visual. Estes são empregados principalmente em pastas de alto rendimento, uma vez que o teor de lignina sendo elevado, não seria incoerente sua remoção mediante agentes de branqueamento.

Para a produção de papel de qualidade superior e alvura elevada, torna-se necessário a remoção da lignina e de outras impurezas das polpas químicas. Neste caso o branqueamento torna-se um processo de purificação, afetando mais diretamente outras propriedades da pasta (viscosidade, teor de hemicelulose e propriedades físicas e mecânicas).

No caso de pastas químicas e semiquímicas (rendimento menor do que 60%), o teor de lignina residual na pasta pode ser estimado mediante a determinação do Número “kappa”, o qual permite uma avaliação do grau de deslignificação atingido pelo processo e posterior facilidade (ou dificuldade) de beneficiamento da pasta obtida. Este ensaio consiste na determinação da quantidade de permanganato de potássio gasto para remover a lignina residual de uma determinada amostra de celulose, segundo método padronizado, a qual, mediante correções estabelecidas pelo método, resultará no número “kappa”.

A estabilidade da alvura é outra característica importante, pois com o tempo a cor pode sofrer alterações, tornando o material amarelado ou escurecido. A reversão é acelerada pela luz, calor e umidade elevada, dependendo ainda do tipo de pasta e do processo de branqueamento utilizado. A alvura será menos estável quando for empregado um agente redutor no processo de branqueamento, pois em longo prazo o oxigênio do ar oxida novamente as formas reduzidas dos compostos coloridos derivados da lignina.

O primeiro processo de branqueamento de expressiva quantidade de fibras surgiu na Europa em meados do século XVIII. Consistia em fibras a uma exposição prolongada à luz solar, em presença de substâncias alcalinas. A preparação do cloro, em 1774, por Scheele possibilitou o desenvolvimento do primeiro agente de branqueamento a ser usado em escala industrial. Os reatores evoluíram a partir de grandes tina de madeira para equipamentos que permitiam uma melhor mistura da pasta e reagentes, ao mesmo tempo em que reduziam a duração do tratamento.

O branqueamento pode ser definido como um tratamento físico-químico que tem por objetivo melhorar as propriedades da pasta a ele submetida. Algumas propriedades relacionadas com este processo são: alvura, limpeza e pureza química.

No branqueamento das pastas químicas, em que a maior parte da lignina foi removida previamente pelo processo de polpação, devem ser removidos os derivados da lignina, ainda remanescentes da pasta. Após esta deslignificação suplementar, denominada também pré-branqueamento, são aplicados reagentes que modificam quimicamente as substâncias coloridas, descolorando-as.

Os parâmetros usuais que medem a eficiência do branqueamento são propriedades ópticas da pasta (alvura, brancura, opacidade e estabilidade da alvura), relacionadas com a absorção ou reflexão da luz.

O teor de lignina residual é usado para avaliar a intensidade da deslignificação nos estágios de pré-branqueamento, e indicar a quantidade de reagentes de branqueamento que será necessária nos estágios posteriores. O número “kappa”, número de permanganato, são relacionados com esta lignina.

A viscosidade se relaciona com o grau de polimerização da celulose e, indiretamente, com a resistência final do papel. Durante o branqueamento, geralmente ocorre uma degradação dos carboidratos, paralela à remoção e modificação da lignina. Portanto, é necessário que se estabeleça um ponto de equilíbrio entre todas as variáveis de controle do branqueamento.

9.4.1. Principais reagentes do branqueamento

Os reagentes utilizados enquadram-se em dois tipos:

Reagentes redutores	Bissulfito de sódio (NaHSO_3)
	Ditionitos de zinco e sódio (ZnS_2O_4 e $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) (antigamente conhecidos por hidrossulfitos).
	Borohidreto de sódio (NaBH_4) (também conhecido por tetrahydroborato de sódio).
Reagentes oxidantes	Peróxido de hidrogênio (H_2O_2)
	Cloro (Cl_2)
	Dióxido de cloro (ClO_2)
	Hipoclorito de sódio (NaClO)
	Oxigênio (O_2)
	Ozônio (O_3)

Tabela 6.01 (FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI “Theobaldo de Nigris” / IPT)

Os tipos mais utilizados para pastas químicas são os oxidantes, face aos custos e estabilidade da alvura. Considerando-se que o objetivo do branqueamento das pastas é a obtenção do grau de alvura desejado e estável, com um custo mínimo de reagentes e equipamentos, sem prejuízo das características físico-mecânicas do produto, este objetivo será mais facilmente atingido se for utilizada uma combinação de vários reagentes em vários estágios, alternando-se, por exemplo, estágios de oxidação com estágios de lavagens simples ou alcalinas.

Os reagentes utilizados nos processos de branqueamento são representados por símbolos, de modo que um processo combinado pode ser representado por uma sigla. A seguir serão apresentados os principais reagentes, suas características e sigla adotada por etapa:

Cloro (Cl_2)

Condição: oxidante

Função: oxida e clora a lignina.

Etapa: **C** (cloração)

Vantagens: efetivo, deslignificação econômica; boa remoção de partículas e “shives”.

Desvantagens: formação de organoclorados; altamente corrosivo.

Hipoclorito de sódio (NaClO)

Condição: oxidante.

Função: oxida, descolore e solubiliza a lignina.

Etapa: **H** (hipocloração).

Vantagens: fácil de fazer e de usar, custo baixo.

Desvantagens: pode causar a perda da resistência da celulose; formação de clorofórmio.

Dióxido de cloro (ClO_2)

Condição: oxidante.

Função: oxida, descolore e solubiliza a lignina; em pequenas quantidades com Cl_2 , protege a celulose da degradação.

Etapa: **D** (dioxidação).

Vantagens: consegue elevados graus de alvura sem perda de resistência da celulose. Bom branqueamento de partículas.

Desvantagens: precisa ser feito no local, custo elevado, alguma formação de organoclorados, altamente corrosivo.

Oxigênio (O₂)

Condição: oxidante.

Função: oxida e solubiliza a lignina.

Etapa: **O** (deslignificação com oxigênio).

Vantagens: baixo custo químico; fornece efluente livre de cloro para a recuperação.

Desvantagem: requer investimento de capital significativo em equipamento quando usado em grandes quantidades; perda potencia de rendimento em celulose.

Peróxido de hidrogênio (H₂O₂)

Condição: oxidante.

Função: oxida e descolore a lignina.

Etapa: **P** (peroxidação).

Vantagens: fácil de usar, baixo custo de capital.

Desvantagens: alto custo dos reagentes; branqueamento deficiente de partículas; pode causar a perda da resistência da celulose.

Ozônio (O₃)

Condição: oxidante.

Função: oxida, descolore e solubiliza a lignina.

Etapa: **Z** (ozonização).

Vantagens: eficiente, produz efluente livre de cloretos para o branqueamento.

Desvantagens: precisa ser feito no local; custo alto; baixa remoção de partículas, pouca resistência da celulose.

Hidróxido de sódio (NaOH)

Condição: álcali.

Função: hidrolisa a clorolignina e a lignina solúvel.

Etapa: **E** (extração alcalina). OBS.: a extração alcalina pode ser feita com a inclusão de outros reagentes como é o caso da extração alcalina com oxigênio (**EO**) e com oxigênio e peróxido de hidrogênio (**Eop**), por exemplo.

Vantagens: efetivo e econômico.

Desvantagens: escurece a celulose.

Xilanase

Condição: enzima.

Função: cataliza a hidrólise da xilose e na remoção da lignina.

Etapa: **X** (tratamento com enzima).

Vantagens: fácil de usar, baixo custo de capital.

Desvantagens: efetividade limitada; custo alto.

EDTA ou DTPA

Condição: quelante.

Função: remove íons metálicos.

Etapa: **Q** (quelação).

Vantagens: melhora a seletividade e eficiência dos peróxidos.

Desvantagens: custo alto.

Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Condição: ácido

Função: remove íons metálicos

Etapa: **A** (estágio ácido)

Vantagens: reduz número kappa; age como uma lavagem ácida; reduz o teor de metais na polpa; reduz a intensidade de formação de oxalato de cálcio; baixo custo de operação.

Desvantagens: possível perda de viscosidade.

Portanto, a sigla CEHD, representa um processo combinado de: cloração – extração alcalina – hipocloração – dioxidação, com lavagem da pasta entre os estágios. Quando houver uma barra entre dois estágios de uma sigla, significa que não há lavagem entre estes dois

estágios. Por exemplo, (o mesmo): CEH/D. Neste caso não há lavagem da pasta entre os estágios de hipocloração e dioxidação.

Há muito tempo que se sabe que os processos de branqueamento com cloro geram produtos muito tóxicos nos efluentes (principalmente clorofenóis) e, mediante estudos realizados há alguns anos atrás, constatou-se a presença de dioxinas nestes efluentes.

A presença destas dioxinas, extremamente tóxicas, nos efluentes torna difícil ou impossível um tratamento eficaz com técnicas convencionais. Isto tem gerado uma polêmica internacional, ocasionando a proibição de alguns países em importar ou comercializar celulose branqueada com cloro. Como consequência, os países produtores e exportadores de celulose (inclusive o Brasil) estão modificando seus processos de branqueamento, eliminando gradualmente o uso de cloro elementar e seus derivados, buscando alternativas mediante o uso de oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio.

Com isso, as polpas produzidas estão sendo classificadas como ECF (Elementary Chlorine Free) ou TCF (Total Chlorine Free). Todavia, existem muitas controvérsias técnicas, exigindo estudos mais profundos destes processos, pois ainda são considerados não tão eficazes quanto àqueles que empregam cloro ou seus derivados, inclusive prejudicando as qualidades finais da polpa. A figura 9.16 mostra um fluxograma de branqueamento do tipo ECF com seqüência OD(PO)D, incluindo a designificação do oxigênio, e a figura 9.17 mostra um fluxograma somente do branqueamento com uma seqüência D(PO)DD.

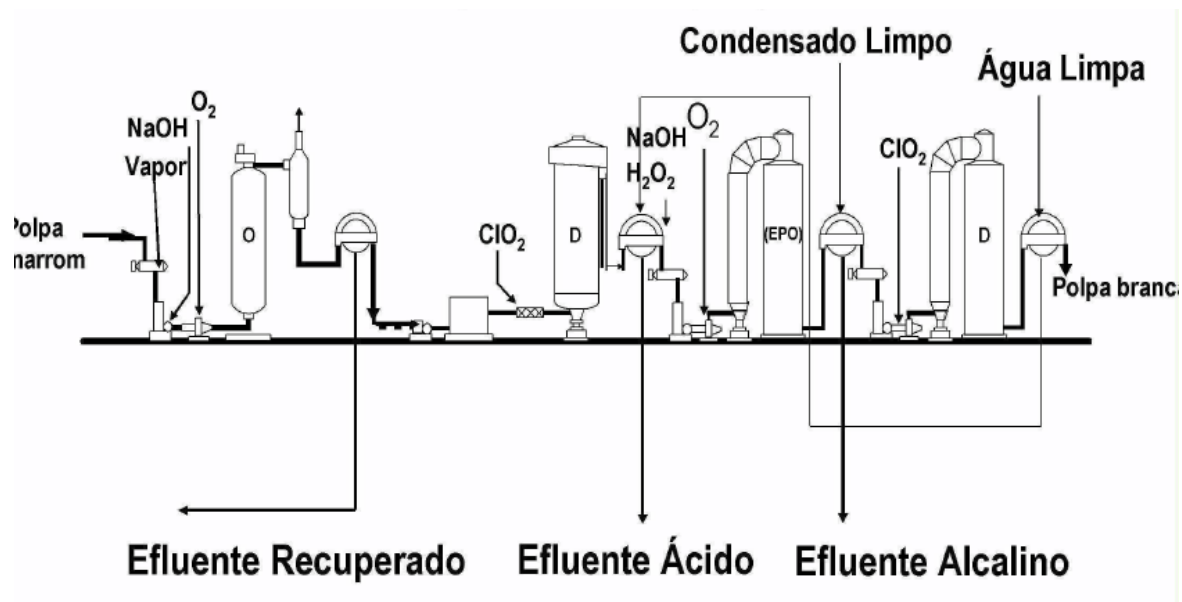


Figura 9.16 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

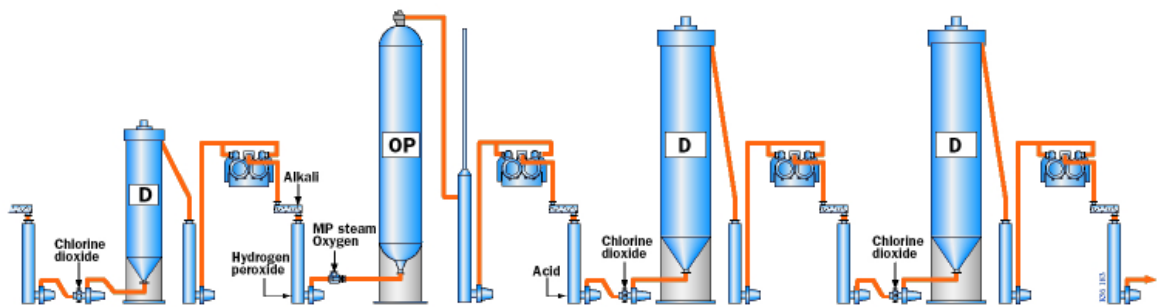


Figura 9.17 (FONTE: Artigo - A Compact Approach to Washing in Bleaching – ABTCP)

A Tabela 9.02 mostra a evolução das seqüências de branqueamento desde o início até recentemente.

Seqüência	Data aprox.	Observações
H, HH	1800	-
HEH	1900	-
CEH	1930	Usada para a produção de celulose “kraft” semibranqueada.
CEDED	1950	
CECEHEHEDED	-	Usada para produzir papéis de alvuras elevadas sem perda da resistência.
OCEDED	1970	Introduzida na década de 1970 para diminuir o consumo de cloro.
C/DEDED	1980	Seqüência clássica para a produção de celulose de mercado na década de 1980.
D(EO)DED	1990	Seqüência clássica para a produção de celulose ECF (“Elemental Chlorine Free” – livre de cloro elementar) de mercado.
O(DC)(E+O)D	-	Destinada a diminuir o nível de AOX nos efluentes, sem aumentar a produção de ClO ₂ .
OD(E+O+P)D	-	Destinada a diminuir o nível de AOX nos efluentes.
OZ(EO)D	-	Primeira seqüência que usou ozônio na produção comercial de celulose “kraft” nos EUA.
OQP	-	Primeira seqüência comercial de produção de celulose TCF para celulose sulfato branqueada.
OZED, OZP	1992	Seqüência curta e econômica. Minimização de compostos organoclorados nos efluentes.
OD(PO)DP ODEoQ(PO) O(DZ)EoQ(PO) OOZEoDP	2006	ECF Light (baixo teor de OX).

Tabela 9.02 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos)

9.5. SECAGEM E ENFARDAMENTO DA POLPA BRANQUEADA (PRODUTO FINAL)

Após o branqueamento, a celulose está bastante diluída em água, daí a necessidade de secá-la e acondicioná-la da melhor forma possível, para o respectivo transporte ao mercado consumidor. A celulose é, então, depurada novamente e enviada para a secagem. Nesta operação a água é retirada da celulose, até que esta atinja o ponto de equilíbrio com a umidade relativa do ambiente (90% de fibras e 10% de água).

A máquina de secagem é muito semelhante a uma máquina de fazer papel, sendo constituída de três elementos: mesa plana, prensas e secagem. A etapa de secagem pode ser realizada por cilindros secadores ou através do sistema “Fläkt” que consiste em um grande secador com ar quente e com várias camadas, onde a folha faz um percurso de 800 metros (figura 9.18). Como a secagem com multicilindros será vista na parte do papel, nesta etapa será mostrada somente a secagem “Fläkt”.

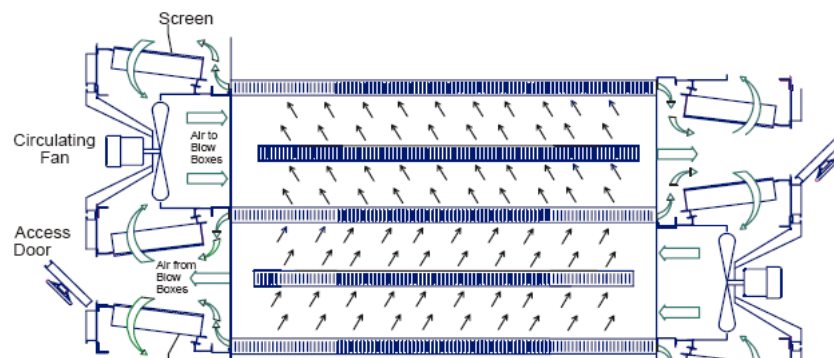


Figura 9.18

Devido à fricção, a corrente de ar tende sempre a acompanhar uma superfície sólida. A corrente de ar atrai, levanta e aproxima o corpo flexível ao rígido, formando um duto de paredes paralelas. A superfície flexível está colocada acima do soprador, que é rígido. Este é o esquema normal destes secadores. A folha fica suportada por uma camada delgada de ar, a uma pequena distância acima do plano dos sopradores. O ar é insuflado em direção quase paralela ao plano da folha. Neste arranjo, o papel flutua em uma altura pouco afetada pela pressão e velocidade do ar insuflado. Isso permite também adequar a taxa de transmissão de calor, sem alterar a altura do colchão de ar. Neste sistema, as caixas dos sopradores são colocadas lado a lado, formando os bancos de secadores, como ilustra a figura 9.19. A figura 9.20 mostra uma foto de uma máquina com secagem “Fläkt”.

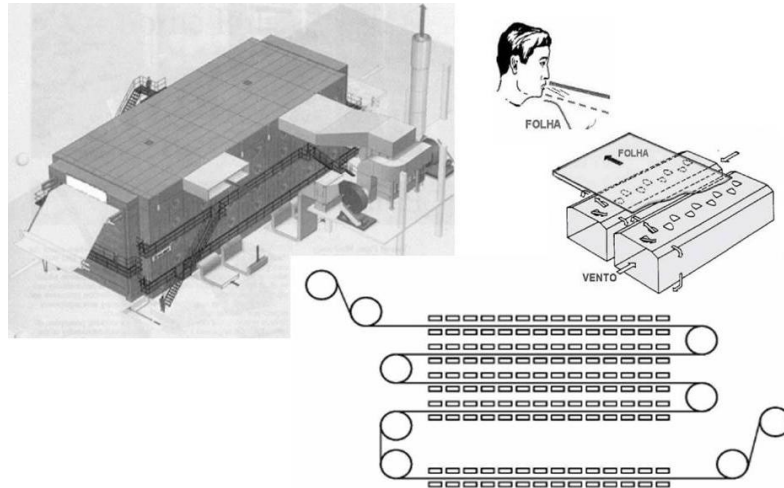


Figura 9.19 (Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)



Figura 9.20 (FONTE: www.globalequip.com)

9.5.1. Enfardamento e Estocagem

Na parte final da secagem fica a cortadeira (figura 9.21 e 9.22), que reduz a folha contínua em outras menores, de formato padrão, 67 x 92 cm. Essas folhas formam os fardos com 250 kg de celulose que são prensados (figura 9.23), encapados (figura 9.24), oito dos quais constituem uma unidade de carga (de 2 t) para fins de transporte e carregamento (figura 9.25).

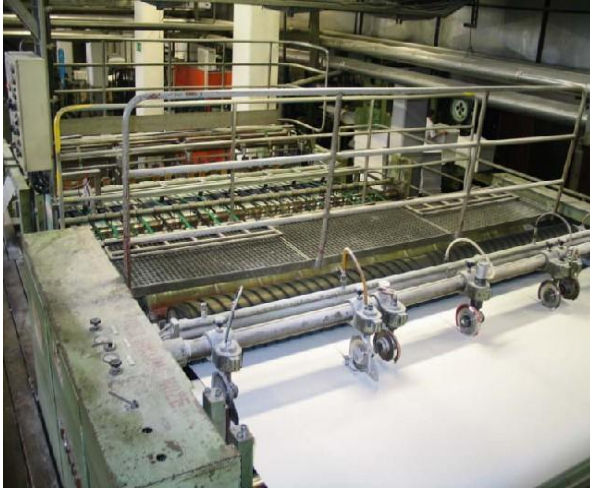


Figura 9.21 (FONTE: www.globalequip.com)



Figura 9.22(FONTE: www.globalequip.com)



Figura 9.23 (Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)



Figura 9.24 (Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)



Figura 9.25 (Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

9.5.2. Expedição e Distribuição

Na expedição, os fardos de celulose são estocados e encaminhados para o mercado consumidor que tanto pode ser o mercado interno como o externo (Europa, Estados Unidos e Ásia, principalmente).

9.5.3. Propriedades do produto final (celulose)

Cor: algumas substâncias aparecem coloridas porque elas contém grupos funcionais que são capazes de absorver a radiação de certos comprimentos de onda. Os outros componentes da luz branca são transmitidos, difundidos e refletidos para dar a sensação de cor ao observador. Uma substância parece azul a luz do dia, de comprimento de onda entre 4.000 e 8000 Å porque ela tem um grupo ou grupo funcionais que absorvem as radiações de comprimento de onda entre 5.700 e 5.900 Å (luz), e as converte em calor. A luz transmitida, que agora está deficiente na luz amarela, dá o efeito da cor azul para o olho. Os grupos funcionais que conferem cor às substâncias são chamados de grupos cromóforos (cromos = cor). Grupos cromóforos causam a absorção da luz. A maioria dos cromóforos possuem ligações insaturadas como C=O, C=C, ou N=N, em sistemas de ligações conjugadas. Os polissacarídeos não absorvem luz no espectro visível. Uma pasta composta apenas de celulose e hemiceluloses deveria ser branca. O escurecimento da celulose é causado pela lignina, por compostos de degradação da lignina e por grupos cromóforos formados durante o processo.

Alvura: é a reflectância da luz azul com um pico a 457 nm que ocorre em uma superfície opaca de folhas de celulose comparada com uma superfície padrão refletora e difusora. A celulose branqueada tem valores de alvura entre 86 e 94. Celulose não branqueada entre 20 e 30. Papel jornal cerca de 55.

Sujeira: sujeira é definida como qualquer material estranho, que tenha uma cor marcadamente contrastante com o resto da folha e que tenha uma área preta equivalente de $0,04 \text{ mm}^2$ ou mais. Sujeira pode ser proveniente da madeira ou do processo. Proveniente da madeira: casca, material resinoso, areia e terra, “shives” (fibras sem branquear), escleróides e elementos de vasos. Provenientes do processo: partículas de carbono, areia, ferrugem, borracha, aglomerados de fibras e “pitch”.

9.6. RECUPERAÇÃO QUÍMICA

Antes que sejam descritos as principais etapas que compõem a recuperação química, é importante que o ciclo de recuperação “kraft” seja apresentado (figura 9.26).

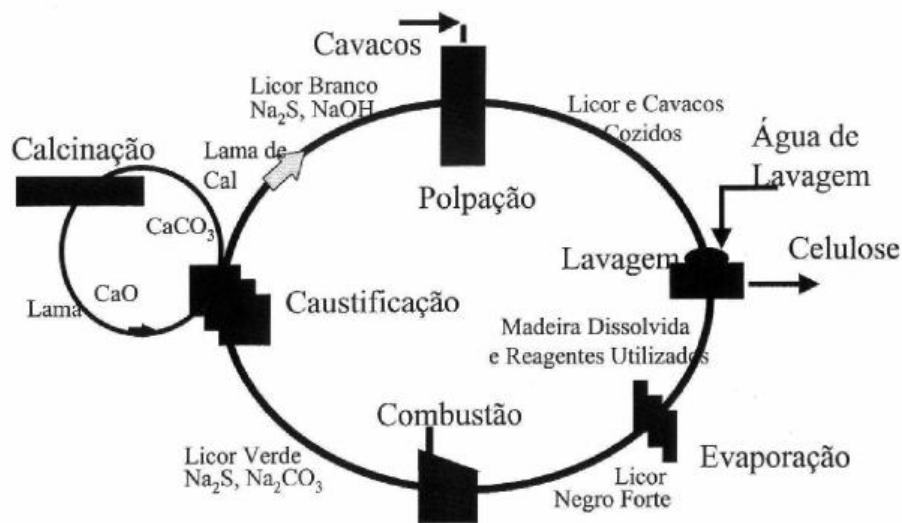


Figura 9.26 (Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

O licor negro fraco (com 16 a 18% de teor de sólidos) será convertido em licor negro forte mediante um sistema de concentração de múltiplos estágios (figura 9.27), o qual, após atingir uma concentração de 60 a 65% de teor de sólidos (modernamente concentra-se até 80%), segue para uma fornalha de recuperação (figura 9.28) onde é queimado.

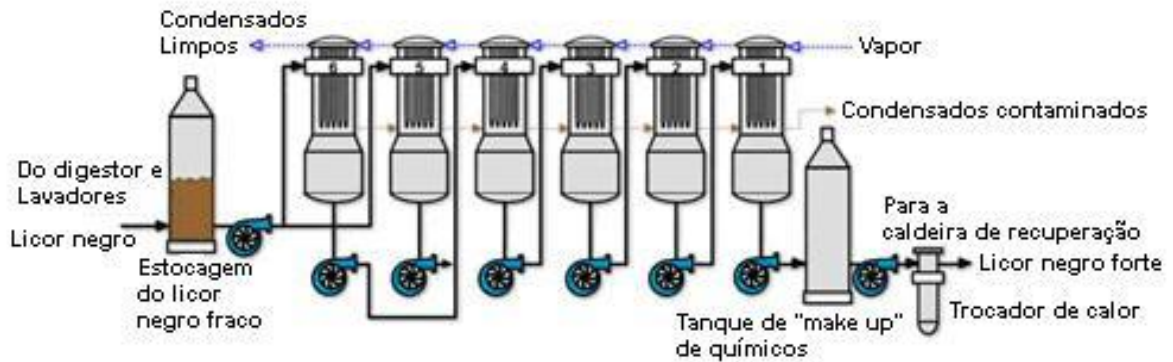


Figura 9.27 (FONTE: indeterminada)

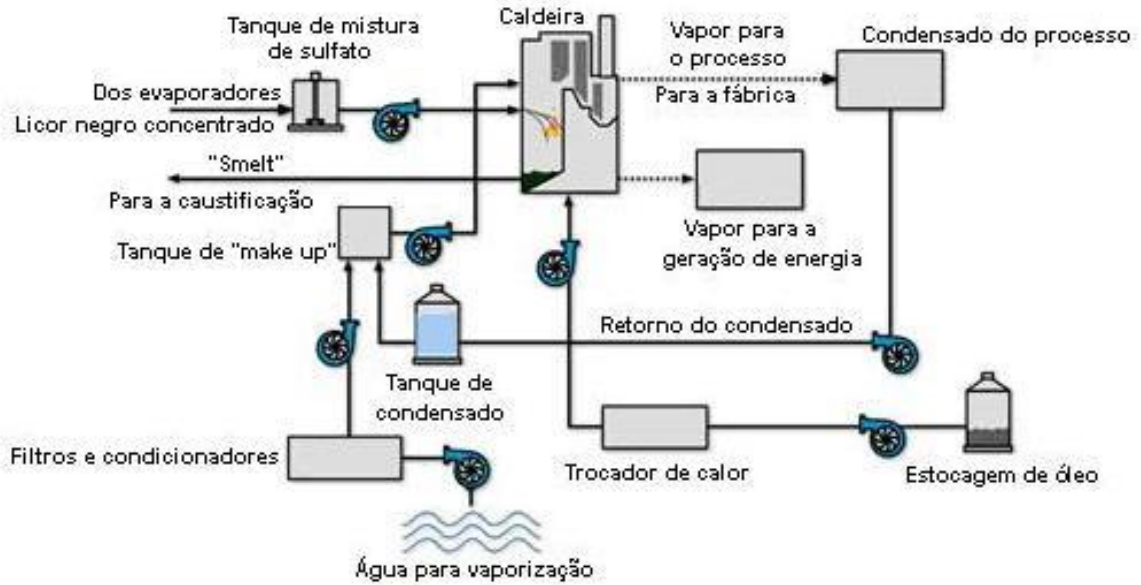
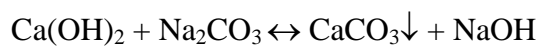


Figura 9.28 (FONTE: indeterminada)

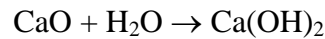
Da queima deste licor negro forte resultam sais fundidos (“smelt”) que se depositam no fundo da fornalha na forma líquida. Estes sais, constituídos principalmente de Na_2CO_3 e Na_2S , são conduzidos por escoamento ao interior de tanques contendo licor branco fraco, resultando em uma solução denominada de licor verde, pois possui tonalidade esverdeada devido à presença de sais de ferro. O licor verde é convertido em licor branco mediante a adição de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, em uma operação denominada de caustificação (figura 9.29), segundo a reação:



Portanto, o setor de caustificação é local onde ocorre a reação da cal apagada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ com o licor verde, regenerando o NaOH e precipitando CaCO_3 , o qual, sob a forma de lama é lavado e concentrado em um filtro rotativo a vácuo, resultando no licor branco fraco e numa lama com aproximadamente 75% de sólidos.

O setor de calcinação é aquele onde o CaCO_3 parcialmente seco é calcinado, normalmente em um forno rotativo onde ocorre sua decomposição em CaO e CO_2 (entre 950 e 1200 °C). O CaO gerado retorna ao setor de caustificação.

A taxa de conversão na caustificação é da ordem de 85 a 90%, pois a reação é reversível. Inicialmente, o hidróxido de cálcio é obtido pela reação de hidratação (apagamento) do óxido de cálcio, segundo a reação:



O licor branco usado no processo “kraft” contém NaOH e Na_2S numa proporção típica de 5:2 com um pH de 13,5 a 14. Usualmente as perdas de enxofre e soda no processo são supridas mediante adição de sulfato de sódio à fornalha de recuperação (junto com o licor negro forte), de modo que na zona de redução da fornalha ocorra a seguinte reação:

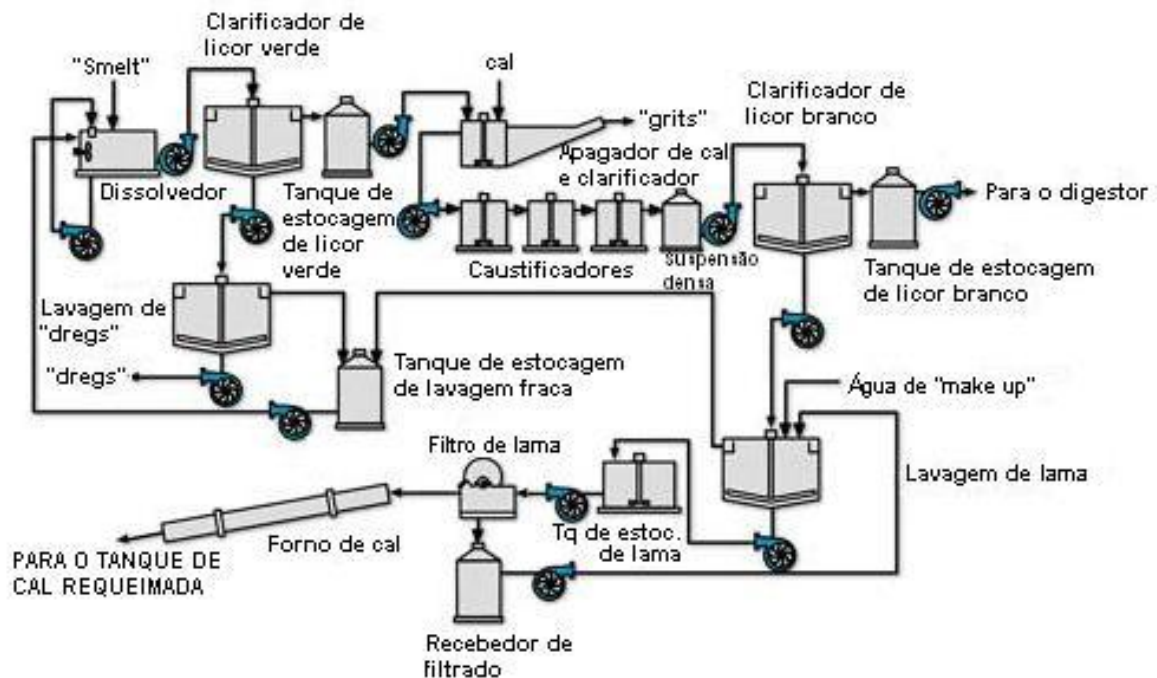
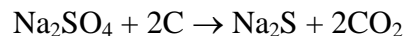


Figura 9.29 (FONTE: indeterminada)

10. INTRODUÇÃO À FABRICAÇÃO DE PAPEL

10.1. DEFINIÇÃO DE PAPEL

O papel é um afeltrado de fibras unidas tanto fisicamente (por estarem entrelaçadas a modo de malha) como quimicamente (por pontes de hidrogênio). Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre. A figura 10.01 mostra amostras ampliadas de papel.

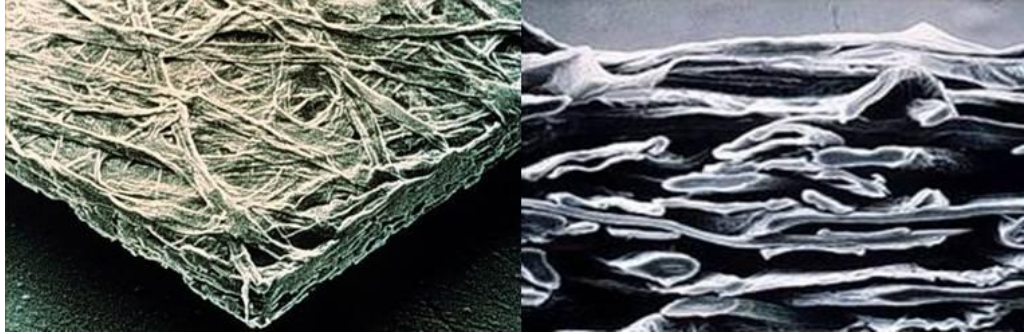


Figura 10.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

10.2. RESUMO HISTÓRICO DO PAPEL

Já há milhares de anos antes da aparição do papel, o homem já fazia os seus registros, através da gravação em pedras ou em metais como o bronze. Além da palavra, este sempre procurou se comunicar através de desenhos ou de símbolos. A comunicação gráfica tornou-se importante para os homens, uma vez que deixava o registro, fixava a mensagem e não se extinguia com o tempo.

É atribuída aos egípcios a 1ª fabricação de um material que, por extensão, poderia chamar-se de papel: o papiro (origem da palavra papel). Esta planta nativa dos pântanos egípcios (figura 10.02) começou a ser usado como material para desenho ou escrita de símbolos, por volta do ano 3.000 A.C., porém os verdadeiros manuscritos egípcios mais antigos parecem datar de alguns séculos mais adiante, talvez em torno do ano 2.200 A.C. Embora ambos sejam compostos de materiais de origem vegetal, não há mais nenhuma relação entre o papiro (figura 10.03) e o papel moderno. Nem mesmo a história do papel mostra de forma contínua o desenvolvimento do papel desde o papiro.

A história do papel é longa, reportando-se aos chineses no Século II, aos quais é atribuída a fabricação da primeira polpa utilizada na fabricação de papel. No ano 105 D.C., um funcionário da corte do imperador chinês Chien Chú, anunciou a invenção de um sistema de fabricação de papel. Este funcionário chamava-se Ts'ai Lun e muito provavelmente não

sabia que, com sua invenção, estaria influenciando profundamente a vida de bilhões de seres humanos por vários milênios à frente.



Figura 10.02 (FONTE: indeterminada)



Figura 10.03 (FONTE: indeterminada)

Fibras de árvores e fibras têxteis misturadas com trapos foram cozidas (figura 10.04a), batidas e depois esmagadas, para em seguida espalhar-se a massa sobre uma peneira com moldura de bambu e um pano esticado (figura 10.04b), deixando-se ao sol para um processo natural de secagem (figura 10.04c). A invenção do papel, porém, permaneceu confinada e mantida como um segredo pelos chineses durante mais de 600 anos.



a



b



c

Figura 10.04 (FONTE: indeterminada)

No ano de 761 D.C. um exército árabe atacou a cidade de Samarcanda, integrada ao império chinês daquela época. E lá os árabes conheceram uma fábrica de papel, fato fundamental para a história posterior da humanidade. Os técnicos chineses foram presos e transportados alguns anos mais tarde para Bagdá, cidade mulçumana recém fundada, dando início naquela região à primeira fabricação de papel, a oeste das fronteiras do grande e desenvolvido império chinês.

Tal fabricação permaneceu em segredo durante muitos séculos, até que no século XI foi introduzido pelos árabes na Espanha, dando início ao caminho da “arte de fazer papel” percorrido pelo ocidente (figura 10.05). Daí se espalhou à Itália, França, Alemanha e, finalmente através dos países baixos, alcançando a Inglaterra em 1.494.



Figura 10.05 (FONTE: indeterminada)

O papel, durante a maior parte de sua história, era fabricado à mão; esse processo de fabricação em descontinuidade persistiu até o aparecimento da 1ª máquina de papel, na França, inventada por Luis Robert em 1799 (figura 10.06). No ano de 1804, os irmãos Fourdrinier apresentaram o método de fabricação do papel de comprimento infinito e instalação por etapas separadas (figura 10.07).

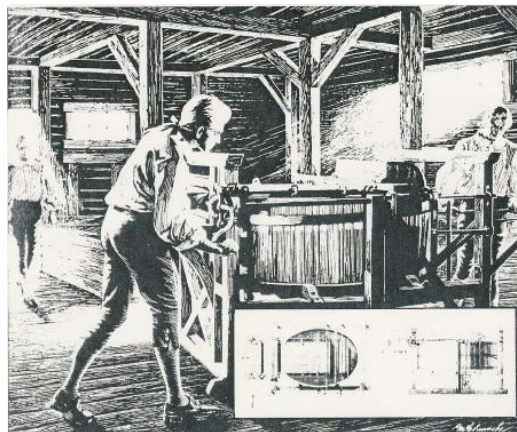


Figura 10.06 (FONTE: 200th Anniversary of the Paper Machine – Tappi Journal)

Pouco depois, em 1803, a máquina era introduzida e aperfeiçoada na Inglaterra, pelos irmãos Fourdrinier, nome pelo qual ficou conhecida essa máquina pioneira no processo contínuo de fabricação de papel. Em 1808, a máquina inventada por Robert, desenvolvida por Didot, desenhada por Donkin e financiada pelos irmãos Fourdrinier é conhecida mundialmente como máquina “Fourdrinier”.



Figura 10.07 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

Tais máquinas, produzidas a partir da 1ª metade do Século XIX, foram sendo aperfeiçoadas até que, na 2ª metade deste século, introduziram-se as pastas feitas de madeira e de outras plantas diferentes da madeira. Decresceu, então, a importância das pastas de trapos, matérias-primas inicialmente utilizadas na fabricação do papel.

Hoje a máquina “Fourdrinier”, contém basicamente as mesmas etapas do primeiro modelo, só que dado os avanços tecnológicos atingidos com o passar dos anos, houve mudanças radicais nos elementos envolvidos em cada uma delas. Estas mudanças estão relacionadas com as caixas de entrada, constituição e material das telas formadoras, elementos desaguadores, velocidades de máquina e a sua largura, entre outras. A figura 10.08 mostra o fluxograma de uma fábrica de papel para impressão e escrita do tipo “offset”.

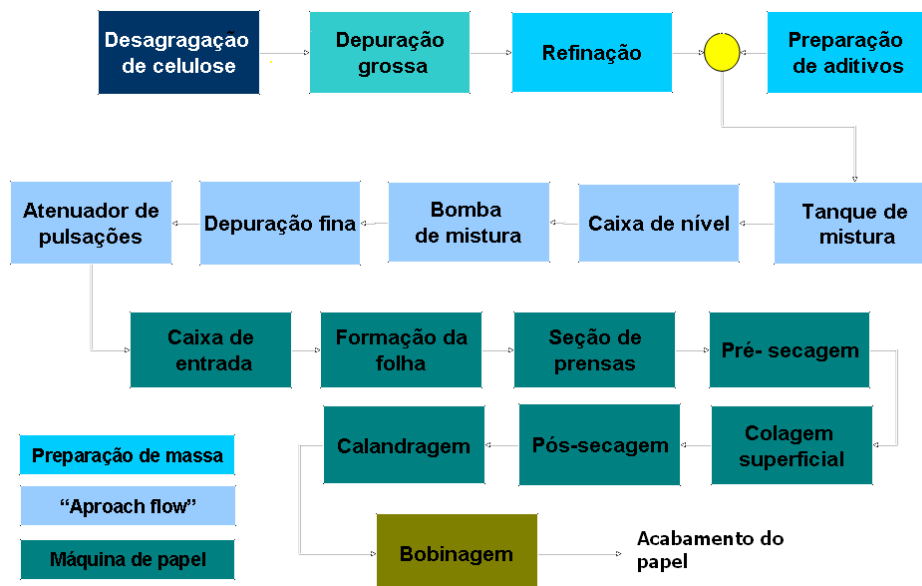


Figura 10.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As pastas de alto rendimento e as de baixo rendimento (ou químicas) tornaram-se largamente usadas. O aprimoramento no campo da química do papel transformou a sua fabricação, de simples arte, num complexo industrial. Chega ao nosso tempo constituindo uma indústria cientificamente operada. A figura 10.09 mostra um processo integrado de fabricação de papel e, respectivamente.

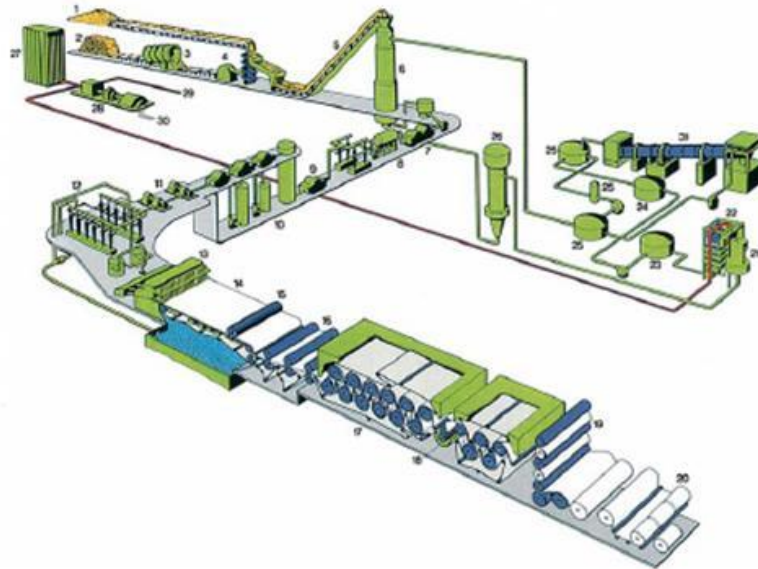


Figura 10.09 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

10.3. PRINCIPAIS SETORES DE UMA MÁQUINA DE PAPEL

A função básica da máquina de papel (figura 10.10), que é remover a água da folha, é feita em três setores que operam baseados em diferentes princípios, como segue:

- Formação: desaguamento utilizando as características hidrodinâmicas do líquido;
- Prensas úmidas: desaguamento por compressão mecânica;
- Seção de secagem: desaguamento por evaporação, por meio do fornecimento de calor nos cilindros secadores.

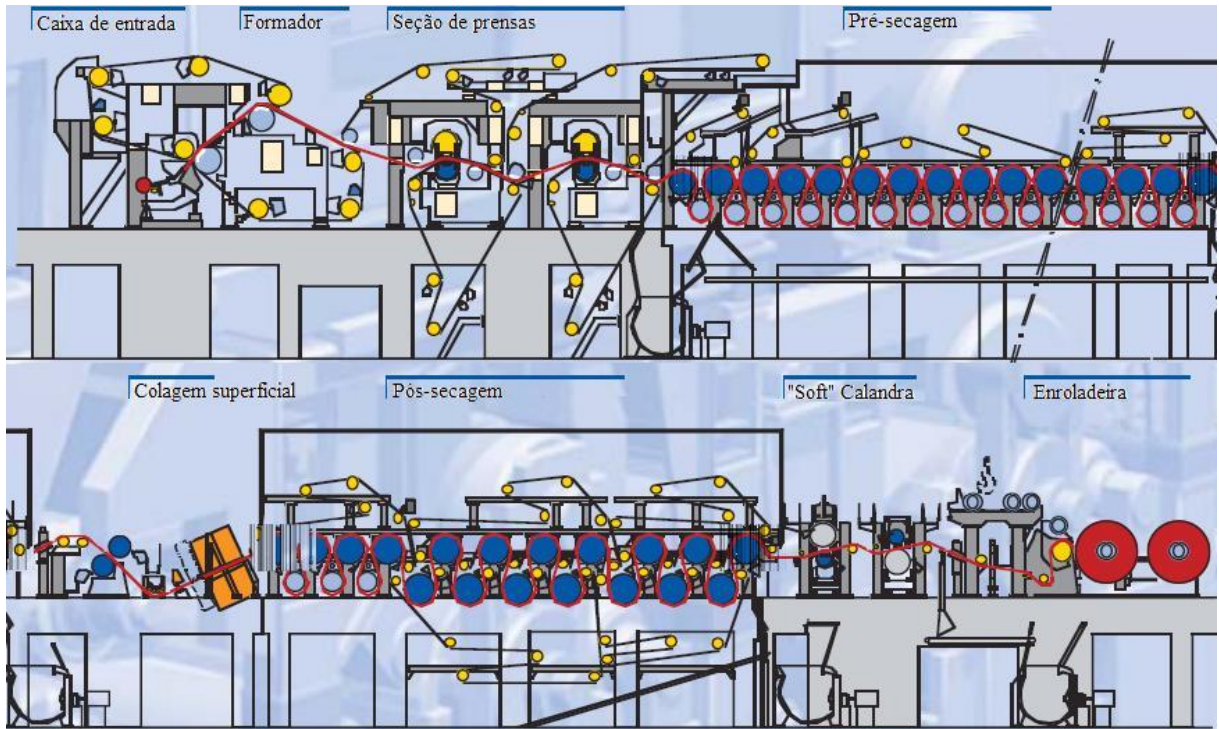


Figura 10.10 (FONTE: Revista **Twogether** nº 8)

A dificuldade de extração de água aumenta a cada seção e, por conseguinte, os custos para extração. A tabela 10.01 e a figura 10.11 contêm alguns parâmetros médios das máquinas, onde se pode comparar os custos e as participações de cada seção no desaguamento da folha.

ZONAS	Conteúdo de seco na entrada	Conteúdo de seco na saída	Porcentagem de água eliminada
Mesa Plana e Duoformer	1%	18%	95,4%
Seção de Prensagem	18%	42%	3,2%
Seção de Secagem	42%	94%	1,4%

Tabela 10.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Como indicado nas figuras, se pode observar que a seção de secagem é a seção onde se extrai a menor quantidade de água da folha e apresenta o maior custo operacional. Esta água é a mais difícil de remover, pois, a mesma se encontra entre as fibras da folha, e a força de coesão entre as moléculas de água dificulta extremamente sua retirada da folha de papel.

O elevado custo operacional de desaguamento nesta seção é função de que a mesma deve estar dimensionada para fornecer energia suficiente para evaporar a água contida na folha, sem comprometer a qualidade final do papel.

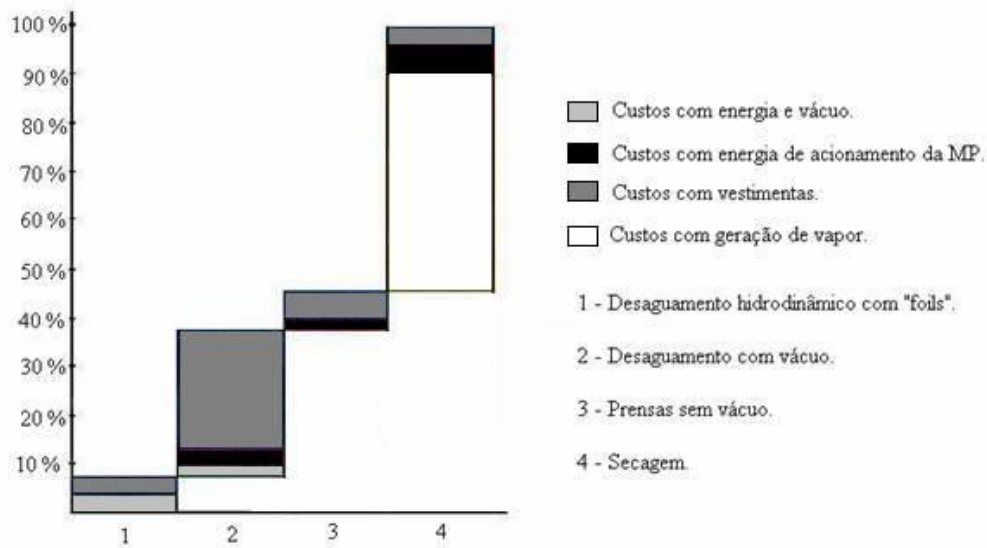


Figura 10.11 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

11. PRINCIPAIS TIPOS DE PAPÉIS

Os papéis são classificados em função de sua aplicação final, tais como: impressão, escrita, embalagens leves e pesadas, sanitários, etc. Há uma variedade enorme de aplicações que, pela sua extensão, são consideradas como especiais.

11.1. PARA IMPRESSÃO E ESCRITA

São aqueles cujo destino é serem escritos ou impressos por qualquer um dos processos existentes. Está também incluído neste grupo o papel imprensa e revista. O papel para impressão e escrita foi o primeiro tipo de papel que surgiu. Talvez por isto haja tanta referência bibliográfica falando sobre este tipo de papel. Podemos dividir os papéis de impressão e escrita e três tipos principais: papel imprensa, papéis para edição revestidos e não-revestidos (livros, revistas etc.), e papéis para escrita e reprodução. Por serem produtos típicos da Suzano, dar-se-á enfoque aos papéis “offset” e papéis “couché”.

PAPEL OFSETE (“OFFSET”) - Papel de impressão, com ou sem revestimento, fabricado com pasta química branqueada, conteúdo de carga mineral entre 10% e 15%, boa colagem interna e superficial, produzido nas gramaturas de 60 g/m² a 150 g/m² com requisitos específicos para o processo ofsete. Os principais atributos exigidos pelo processo ofsete são: elevada resistência superficial (para suportar a pegajosidade (“tack”) das tintas), força de

ligação interna (para resistir à delaminação), resistência ao arrancamento, resistência à água, estabilidade dimensional, planicidade, umidade relativa controlada, boa rigidez e tendência ao encanoamento reduzida. No caso de impressoras rotativas, além destas, o papel deve ter elevada resistência à dobra, à bolha, à tração e ao calor, seu conteúdo de umidade deve ser menor (no máximo 5%) e as bobinas devem ter poucas emendas e ausência de ovalizações e defeitos (furos, rasgos, corrugações etc).

PAPEL CUCHÊ (“COUCHÉ”) - Papel convertido a partir de papel-base, revestido de um ou de ambos os lados com cargas minerais aglutinadas com ligantes (uma tinta à base de látex e pigmentos), na máquina de revestir ou na própria máquina que faz o papel-base, podendo receber acabamento brilhante em supercalandra, texturizado (gofrado) ou mate. Por apresentar ótimas características de nivelamento superficial, é empregado na reprodução de trabalhos de elevada qualidade (rótulos, revistas, impressos comerciais, encartes etc.) por processos de impressão ofsete plana ou rotativa. Produzido nas gramaturas de 70 g/m² a 270 g/m².

11.2. EMBALAGENS

Papéis utilizados para proteger, acomodar um produto. Como material de embalagem, o papel distingue-se pela grande diversidade de tipos, formas de transformação e combinação com outros materiais.

É grande a diversidade de tipos de papel de embalagem. Os papéis tipo glassine apresentam gramaturas na ordem das 20 a 40 g/m² e são normalmente usados para envolver bolachas, biscoitos, chocolates ou produtos alimentares do gênero “fast food”. Para embalagem de gorduras existem papéis tipo “greaseproof”, com gramaturas superiores (40 a 75 g/m²) e diferentes versões de tratamento no processo de fabricação, de forma a garantir a compatibilidade para contacto direto com alimentos, resistência à umidade, etc.

Um dos papéis de embalagem de uso mais extensivo é o papel “kraft”, com gramatura predominantemente entre as 70 e as 180 g/m², e que se apresenta na sua cor natural (castanha), branqueada ou mesmo impressa. Além da utilização como matéria-prima para fabricação de cartão ondulado e para sacos de papel, o papel “kraft” pode ser utilizado para envolvimento direto de produtos ou combinado com outros materiais, designadamente filmes plásticos (para ganhar resistência mecânica e à umidade), tratamentos químicos (para proteção contra umidade e corrosão), etc.

Podem ter vários graus de opacidade, é particularmente eficaz na fabricação de embalagens rígidas, e mantêm as suas características num largo intervalo de variação de temperatura, o que explica o seu sucesso como material predominante na fabricação de embalagens de transporte, designadamente de papelão ondulado. Estes papéis compreendem, principalmente:

- Embalagens leves e embrulhos;
- Embalagens pesadas.

Por ser um produto típico da Suzano, dar-se-á enfoque ao papelcartão.

PAPELCARTÃO – O papelcartão é um produto resultante da união de várias camadas de papel e sobrepostas, iguais ou distintas, que se adere por compressão. Nessas camadas pode ser utilizada celulose virgem (recursos renováveis) e materiais celulósicos recicláveis. Independente do tipo, o papelcartão é fabricado na faixa de gramatura de 200 a 500 g/m², com ou sem revestimento superficial. É um papel do tipo encorpado, rígido, geralmente com espessura superior a 0,15 mm, muito utilizado na impressão de embalagens. Entre os tipos mais comuns de papelcartão destacam-se:

- **DUPLEX** - Possui a superfície branca e apresenta miolo e verso escuros. É utilizado geralmente em embalagens de sabão em pó, medicamentos, cereais, gelatinas, mistura para bolos, caldos, biscoitos e brinquedos;
- **TRIPLEX** - A superfície e verso são brancos e miolo escuro. É normalmente utilizado em embalagens de chocolates, cosméticos, medicamentos, “fast food”, caixas bombons e bebidas;
- **SÓLIDO (FOLDING)** - Apresentada todas as suas camadas brancas. Usado em embalagens de cigarros, cosméticos, medicamentos, higiene pessoal, “fast food”, capas de livros e cartões postais.

11.3. PAPÉIS PARA FINS SANITÁRIOS

Os papéis para fins sanitários, também chamados papéis “tissue”, representam cerca de 6 % do volume de papéis de todos os tipos produzidos no mundo. Constituem-se de folhas ou rolos de baixa gramatura e são empregados em domicílios, instituições e empresas, para a absorção e remoção de umidade, matérias graxas e sujeira. A nomenclatura usual classifica os papéis sanitários em: papéis higiênicos (rolos usados nos toaletes, em folhas simples ou

múltiplas), toalhas (em folha única ou dupla e rolos); guardanapos (em folhas simples ou múltiplas) e lenços (em caixas ou pacotes). A indústria de papel sanitário consome cerca de 30% de celulose de eucalipto comercializada no mercado interno e é, também, grande compradora de aparas de boa qualidade.

11.4. PAPÉIS ESPECIAIS

Além dos anteriores, consideramos ainda um terceiro grupo de papéis, onde se inserem os papéis especiais com grande variedade de produtos, tais como papel auto-adesivo, decorativo, térmico, autocopiativo, carbono, vegetal, moeda, cigarro, heliográfico, filtrante, base para laminados, base para carbonos, “kraft” absorvente para impregnação, ponteira de cigarros, fórmica, “kraft” especial para condensadores, cabos elétricos, fios telefônicos, papel vegetal etc.

11.5. SIGLAS QUE IDENTIFICAM PRODUTOS DIFERENCIADOS (PAPEL)

A tabela 10.02 relaciona as principais siglas utilizadas internacionalmente para o papel.

CWC	Coated woodcontaining printing paper
CWF	Coated woodfree printing and writing paper
FBB	Folding boxboard, manilla back board, mechanical pulp based
OCC	Old corrugated containers, waste paper
RCP	Recovered paper, waste paper
SBS	Solid bleached board, chemical pulp based board
UCW	Uncoated woodcontaining printing paper
UWF	Uncoated woodfree printing and writing paper
WC	Woodcontaining printing paper, mechanical printing paper
WF	Woodfree printing and writing papers
WFC	Woodfree coated paper
WFU	Woodfree uncoated paper
WLC	White lined chipboard, duplex board, recycled fibre based

Tabela 10.02

12. DESAGREGAÇÃO DA MASSA E SEUS PERIFÉRICOS

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%.

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 12.01 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, que impede a passagem 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.

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.

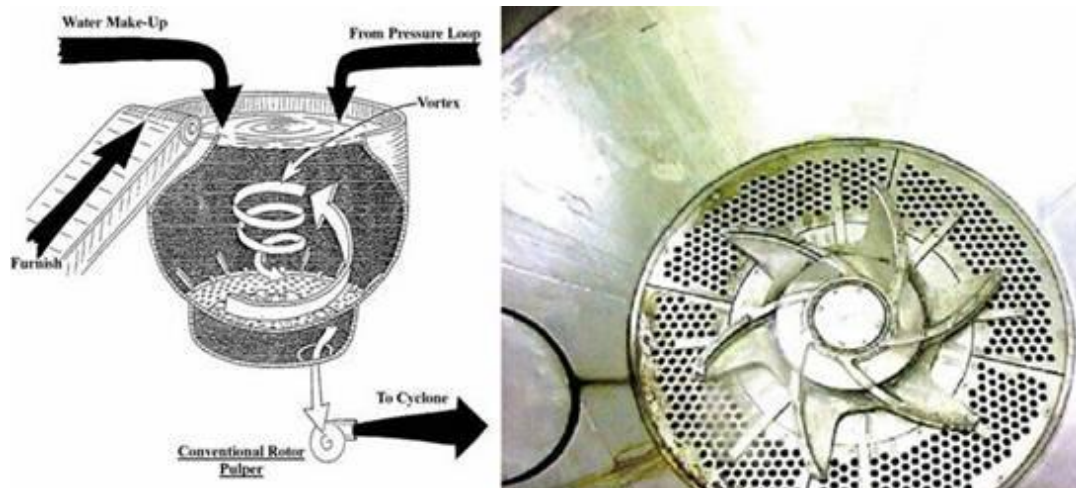


Figura 12.01 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

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.

12.1. DESPASTILHADORES

A existência de pastilhas ou aglomerados de fibras representa um problema para a pasta semi-preparada, levando em conta sua posterior utilização na máquina de papel. Para que estas pastilhas sejam desagregadas com reduzido corte de fibras e sob condições energéticas de ótima rentabilidade utiliza-se o despastilhador ou “deflaker”. Também chamado de pré-refinador.

No despastilhador, o efeito de separação das fibras se faz pelas forças mecânicas de choque e pelas altas forças de fricção ou atrito que são produzidas pela grande diferença de velocidade entre o rotor e o estator, as quais causam uma redução das uniões entre fibras e, conseqüentemente, sua separação. A figura 12.02 mostra um despastilhador aberto. As guarnições do despastilhador são mostradas na figura 12.03.

A aplicação do despastilhador na fabricação de papel e celulose é indicada para: despastilhar pastas fibrosas; separar partículas entranhas às fibras, especialmente no tratamento de aparas; desintegrar recortes; tratar refugos de depuradores na preparação de aparas e triturar plantas anuais depois do cozimento.

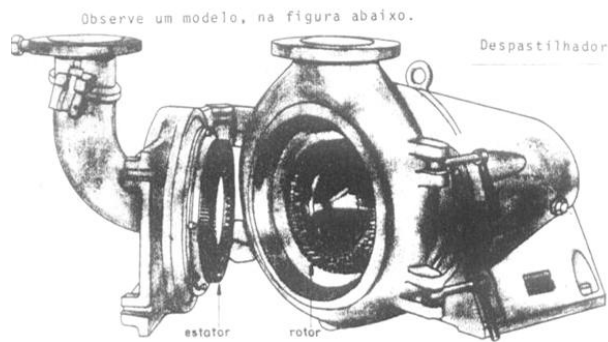


Figura 12.02 (FONTE: Apostila SENAI-CETCEP Preparação de massa)



Figura 12.03 (FONTE: Apostila SENAI-CETCEP Preparação de massa)

O funcionamento do despastilhador ocorre da seguinte forma: a corrente de suspensão que penetra centralmente (ver figura 12.04), ao passar pelas coroas ranhuradas do rotor e estator, é dividida em correntes parciais, que são aceleradas e drenadas repetidas vezes. As forças mecânicas de choque que se formam afrouxam e rompem a união entre fibras. Nos espaços estreitos entre rotor e estator se geram também, devido aos altos gradientes de velocidade, forças de corte hidrodinâmicas as quais aumentam também a eficácia do processo de despastilhamento. A largura mais adequada de intervalo entre rotor e estator é definida de tal forma que se podem produzir suficientes forças de fricção e corte, diminuindo o risco de que a fibra seja cortada. Normalmente, o despastilhador não produz um aumento do grau de refino e, conseqüentemente, não influi na capacidade de deságüe da massa.

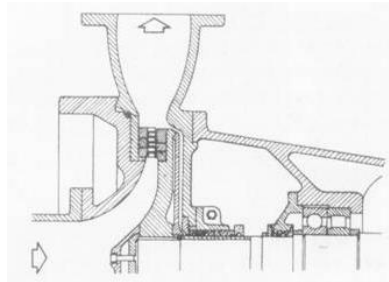


Figura 12.04 (FONTE: Apostila SENAI-CETCEP Preparação de massa)

13. DEPURAÇÃO DA MASSA

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.

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 não branqueadas, fibras sem beneficiamento, fibras entrelaçadas);
- Outras contaminações da massa (exemplos: pó das pedras do desfibramento no caso de pasta mecânica);
- 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, presença de pastilhas). 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. No caso de papéis “kraft”, por exemplo, a necessidade de depuração é mínima, enquanto que para a fabricação de papéis finos, tem uma importância vital.

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), 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.

13.1. DEPURADORES PROBABILÍSTICOS

Estes equipamentos separam as impurezas tanto pelo tamanho como pelas formas das partículas, a este tipo pertencem as partículas de rejeito sem forma definida e de tamanho grande, que podem ser removidas da polpa pelo efeito de peneiramento ao passar o líquido com suspensão de fibras através de uma chapa perfurada com furos arredondados ou ranhuras (figura 13.01).

O depurador probabilístico típico é uma máquina de funcionamento relativamente simples. Os problemas de funcionamento são normalmente devidos à carga de alimentação estar acima ou abaixo das especificações do equipamento.

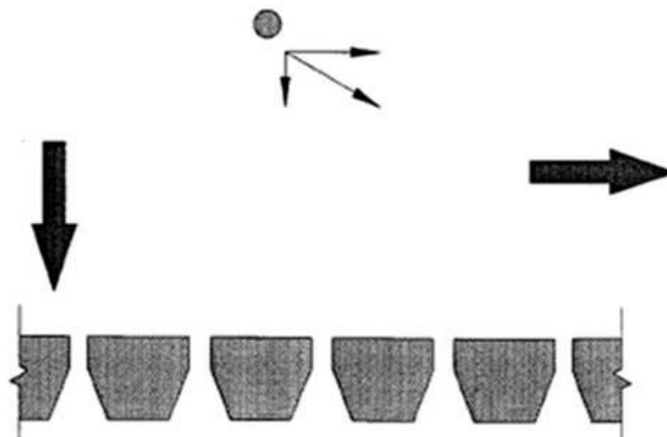


Figura 13.01

13.1.1. 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 vibração reduz esta tendência, o que justifica a utilização de peneiras vibratórias.

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;
- Impedir a passagem de uma grande quantidade de impurezas;
- Evitar 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.

13.1.1.1. 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. Quando operam em alta consistência, eliminam grandes impurezas tais como: partículas de madeiras, material sintético e metal; 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 13.02, 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.

Observações:

- Operacionais: quando não apresentar nenhum rejeito, deve-se observar se o sentido de giro do motor está correto;
- Peneira entupida: verificar se a perfuração da chapa não é pequena demais ou se a consistência da massa está muito alta.

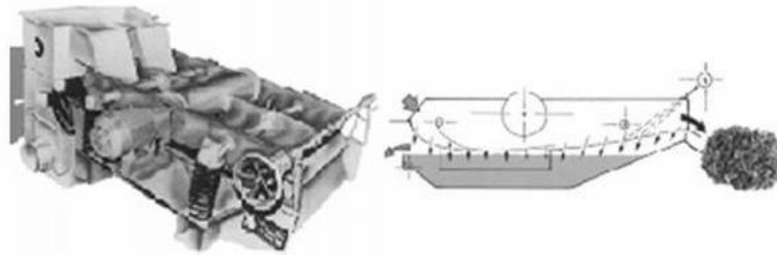


Figura 13.02 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

13.1.1.2. Peneiras rotativas

As peneiras rotativas são usadas na fase primária e na secundária e consistem de cilindro de paredes perfuradas (figura 13.03), 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”).

Em peneiras rotativas centrífugas geralmente placas de furos redondos são mais eficientes para reter estilhas longas e delgadas e partículas delgadas e planas. As placas ranhuradas separam materiais esféricos ou cúbicos. 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.

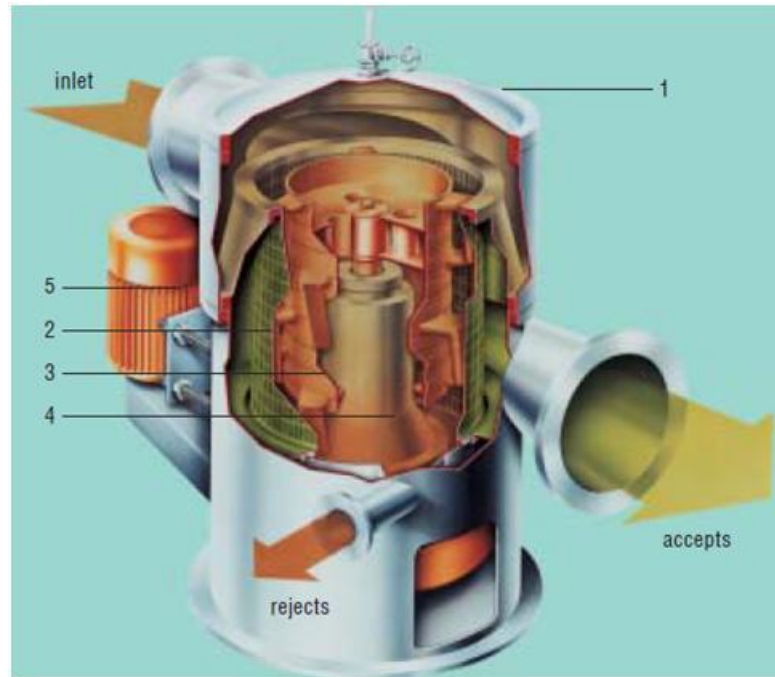


Figura 13.03 (FONTE: Revista Together nº 1)

13.1.1.3. Depuradores de baixa pressão (peneiras pressurizadas)

Estes depuradores probabilísticos (figura 13.04) 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 à diferença de pressão existente entre a alimentação e a saída do aceite, de onde vem sua denominação.

Existem diversas configurações, porém o princípio de funcionamento é o seguinte: a suspensão fibrosa a depurar chega a uma câmara, uma de cujas paredes é 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 “evacuado” de uma forma contínua ou intermitente. A figura 10.04 mostra as peneiras com furos e ranhuradas, respectivamente.



Figura 13.04 (FONTE: apostilas ABTCP)

No interior do equipamento existem, 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 (13.05), pelo que as dimensões aparentes das perfurações ficam reduzidas.

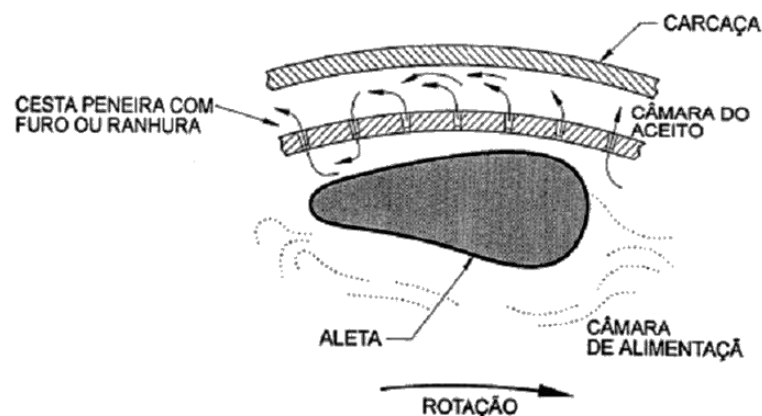


Figura 13.05 (FONTE: apostilas ABTCP)

Existem diferentes configurações deste tipo de depuradores, podendo citar-se cinco variantes (figura 13.06):

- Tipo centrífugo com aletas interiores;
- Tipo centrípeto com aletas interiores;
- Tipo centrífugo com aletas exteriores;
- Tipo centrípeto com duas peneiras em série;
- Depurador com duas peneiras em série, uma centrífuga e outra centrípeta.

As peneiras destes depuradores podem ser de aço inoxidável com perfurações circulares ou retangulares. O rejeito originado nestes depuradores representa da ordem de 2 a 10 % da vazão de óleo, ainda que em alguns casos de utilização em preparação de pastas pode ser consideravelmente maior (até 30%). Este rejeito pode conter uma alta percentagem de fibra boa, devido ao sistema de rejeito que utilizam estes depuradores, pelo que se pode tratar em um depurador secundário (peneira vibratória plana ou depurador de baixa pressão).

Na atualidade, a depuração probabilística na cabeça de máquina se realiza com este tipo de depuradores, devido a que apresentam uma série de vantagens frente aos depuradores abertos: ocupam menos espaço (aparatos compactos com grandes vazões), se adaptam melhor às pressões necessárias nas máquinas mais rápidas, não existe contato da suspensão fibrosa com o ar (não incorporam ar à suspensão e não criam espuma), eficaz efeito de desfloculação da pasta (esforços de cisalhamento ao passar pelas perfurações) e menor manutenção (não existem partes internas submetidas a vibrações).

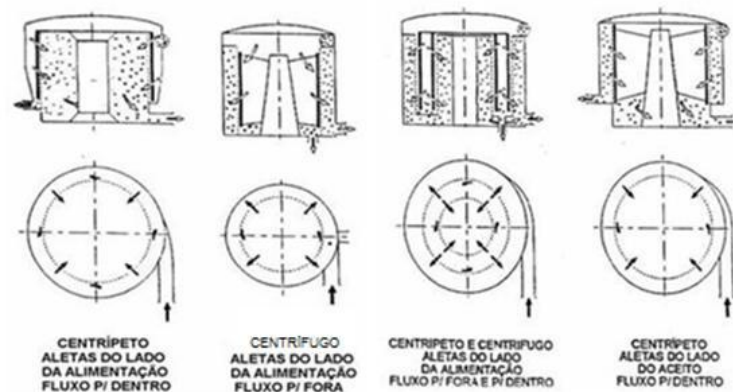


Figura 13.06 (FONTE: Apostila “Depuração em baixa consistência” – VCP)

As configurações mais clássicas dos depuradores de baixa pressão não permitiam superar valores de concentrações superiores a 2% de consistência, ainda que na atualidade existem 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.

13.2. 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.

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. 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.

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 (figura 13.07).

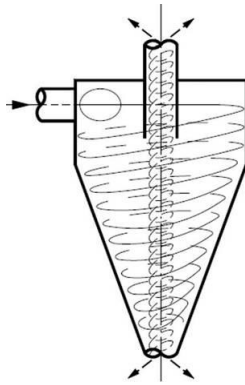


Figura 13.07 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

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.

13.2.1. Separadores de massa grossa

Os separadores de massa grossa (“coarse cleaner”) são usados para separar grande quantidade de impurezas e materiais abrasivos presentes na massa, tais como parafusos, grampos, pedras, pregos, etc. Essas impurezas devem ser removidas, sempre que possível,

para prevenir danos ou desgaste prematuro nos equipamentos posteriores ao processo tais como peneiras, despastilhadores, refinadores, etc. Esse equipamento não remove impurezas muito finas, havendo, portanto, a necessidade de outros equipamentos depuradores após estes separadores. Normalmente trabalham com consistência entre 3 e 6 %, mas pode haver casos em que a consistência varia de 1 a 2 %.

O princípio de funcionamento é semelhante ao de um “cleaner” convencional, pois para remover a maior parte de impurezas como pedras e metais, forças centrífugas devem predominar. 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 (figura 13.08).

O depósito de rejeitos consiste de uma câmara entre duas válvulas (figura 13.09). Normalmente a válvula superior é aberta e a inferior, fechada, para que os rejeitos possam entrar no reservatório. Periodicamente é feita a retirada de rejeitos da câmara fechando-se a válvula superior e abrindo a inferior. A câmara é cheia novamente com água branca e as válvulas retornam às posições originais.

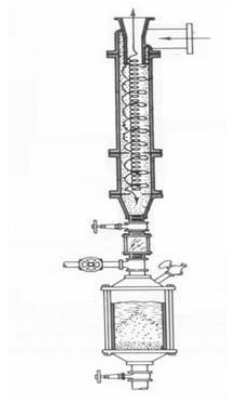


Figura 13.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

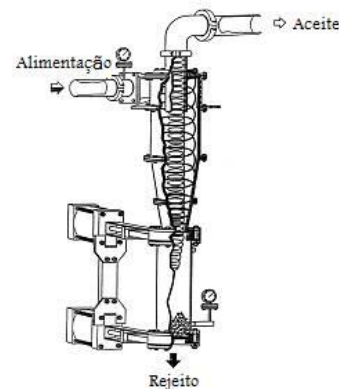


Figura 13.09 (FONTE: PREPARAÇÃO DE MASSA – Senai CETCEP)

13.2.2. “centercleaners” ou “hidrociclones”

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. Os fatores que afetam a depuração centrífuga são:

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 13.10).

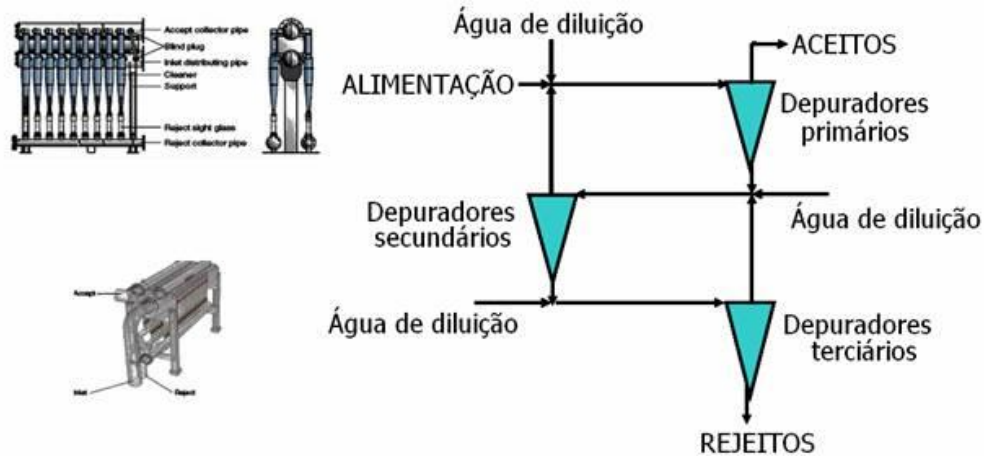


Figura 13.10 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

14. REFINAÇÃO (PRINCÍPIOS BÁSICOS)

14.1. 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 14.01 mostra folhas feitas em laboratório, onde à esquerda não há refino e à direita as fibras foram refinadas com moinho PFI até 45 °SR.

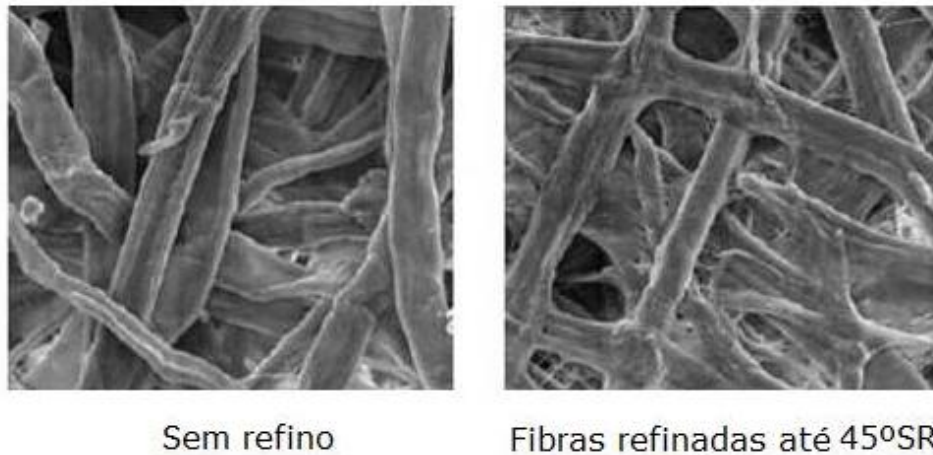


Figura 14.01 (FONTE: Yasumura – 2004)

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, 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 14.02).

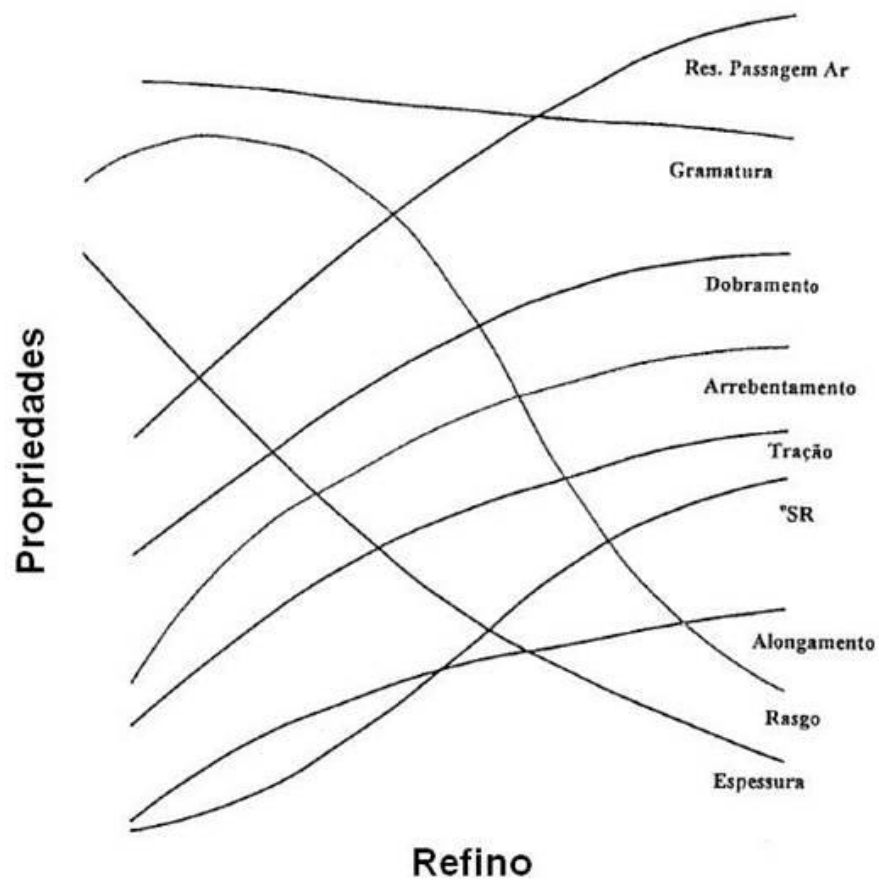


Figura 14.02 (FONTE: Apostila “O processo de produção de papéis” – ABTCP/UFV)

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 14.03) – devem determinar de acordo com a composição da fibra, o produto final e as condições da fábrica.

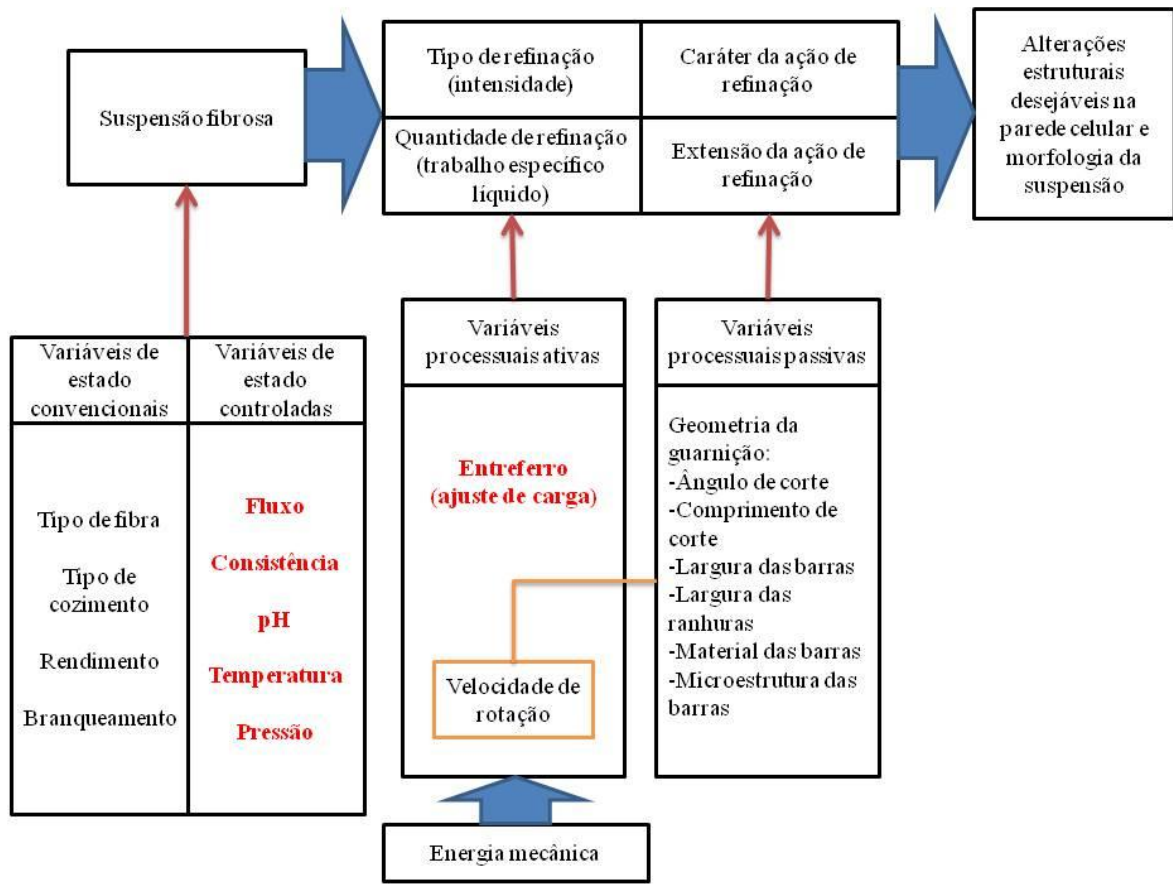


Figura 14.03 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

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.

14.2. PRINCIPAIS TEORIAS QUALITATIVAS DA REFINAÇÃO

14.2.1. 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 14.04).

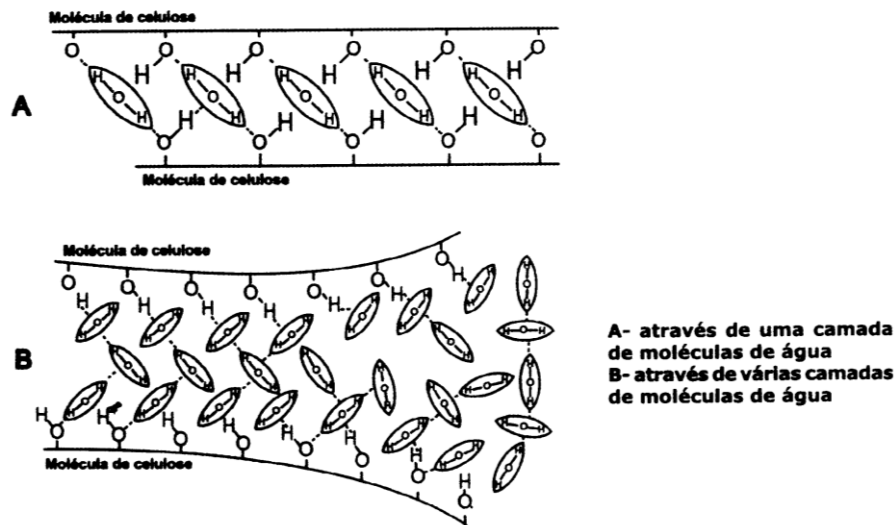


Figura 14.04 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” – ABTCP)

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 μm 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, que 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 14.05) que contribui para a RBA do papel formado.

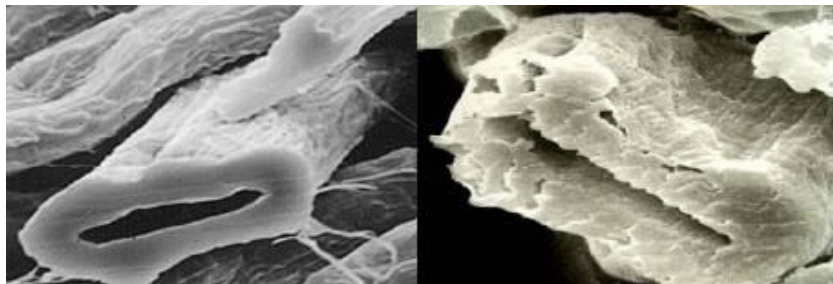


Figura 14.05 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

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

14.2.2. 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 μm (figura 14.06).

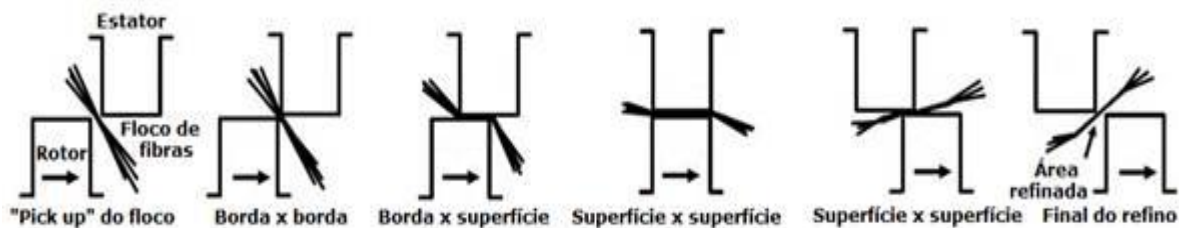


Figura 14.06

(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 1962 que a refinação envolvia a ruptura de flocos e o tratamento de resíduos desses flocos (**Ebeling**, 1980).

Chegarão 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.

14.3. TEORIA QUANTITATIVA DA REFINAÇÃO MAIS FREQUENTEMENTE USADA

14.3.1. ‘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 denominação “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 14.07 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.

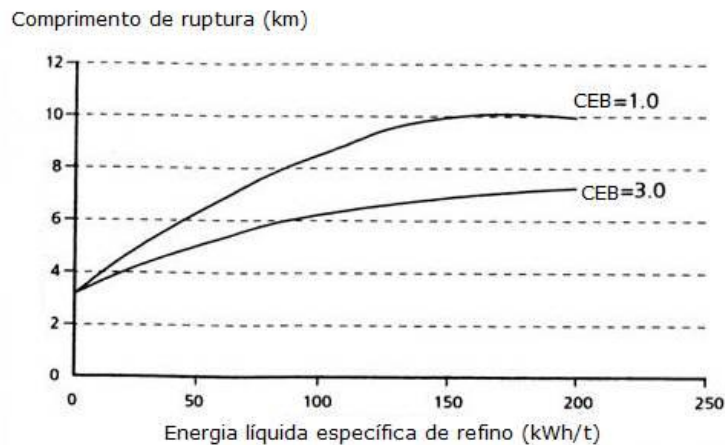


Figura 14.07 (FONTE: Refining Technology)

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.

14.4. 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.

14.4.1. Fibrilação interna

A fibrilação interna (figura 14.08) consiste na delaminação interna essencialmente tangencial da estrutura coaxial da parede celular que ocorre com o aumento da quantidade de água. **Emerton**, em 1957, teve uma contribuição notável ao utilizar as técnicas de microscopia na avaliação das modificações ultra-estruturais que ocorrem nas fibras durante a refinação, (**Atask**, 1977). Ele reiterou e estendeu o conceito postulado na década de 1930 por Campbell de fibrilação interna.



Figura 14.08 (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 (1967) observaram a delaminação em fibras de pasta ao sulfito e ao sulfato de baixo rendimento, ao longo da refinação de baixa consistência. **McIntosh** (1967) 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.

14.4.2. Fibrilação externa

A fibrilação externa (figura 14.09) envolve a desagregação, separação e perda parcial de material lamelar e macrofibrilar (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.

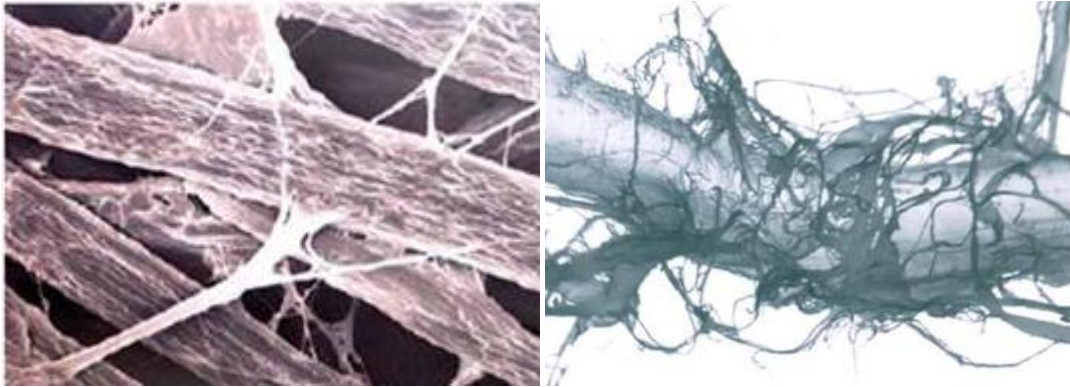


Figura 14.09 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

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.

14.4.3. 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**, 1977). As quantidades relatadas de material dissolvido variam entre 0,5% e 4% para pastas de resinosas. Este fenômeno afeta assim o rendimento em massa da produção de papel.

14.4.4. 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 14.10 mostra finos e fragmentos de fibras em uma suspensão de fibras de baixa consistência.

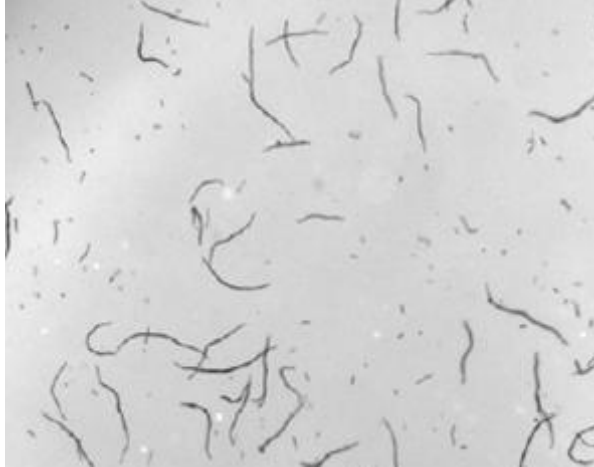


Figura 14.10 (FONTE: www.celso-foelkel.com.br)

14.5. EFEITOS SECUNDÁRIOS DA REFINAÇÃO

Alguns efeitos secundários catalogados são a compressão longitudinal (da qual existem boas evidências experimentais), o enrolamento ou linearidade da fibra e o colapso da parede celular. **Silvy** (1975; 1999) 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, inchação 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.

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.

14.6. REFINADORES A DISCOS

O refinador a discos evoluiu para substituir o refinador cônico (que não foi apresentado neste curso por ser utilizado somente em aplicações especiais, atualmente). 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 14.11, 14.12 e 14.13.



Figura 14.11 (FONTE: Revista Twogether nº 8)

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.

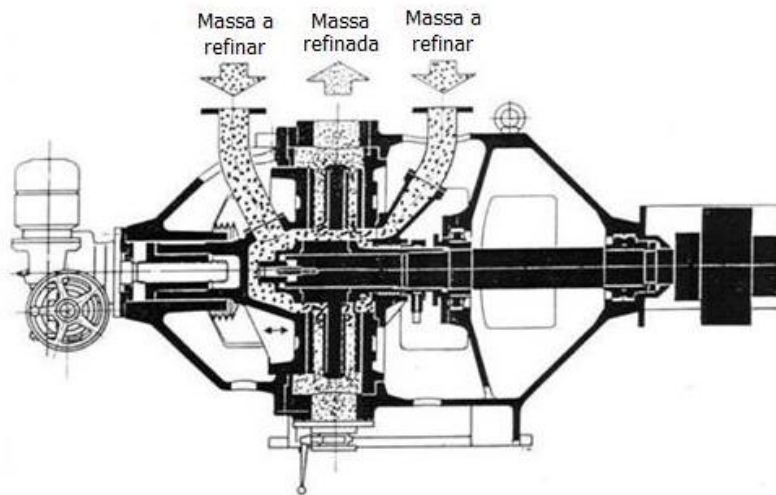


Figura 14.11 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

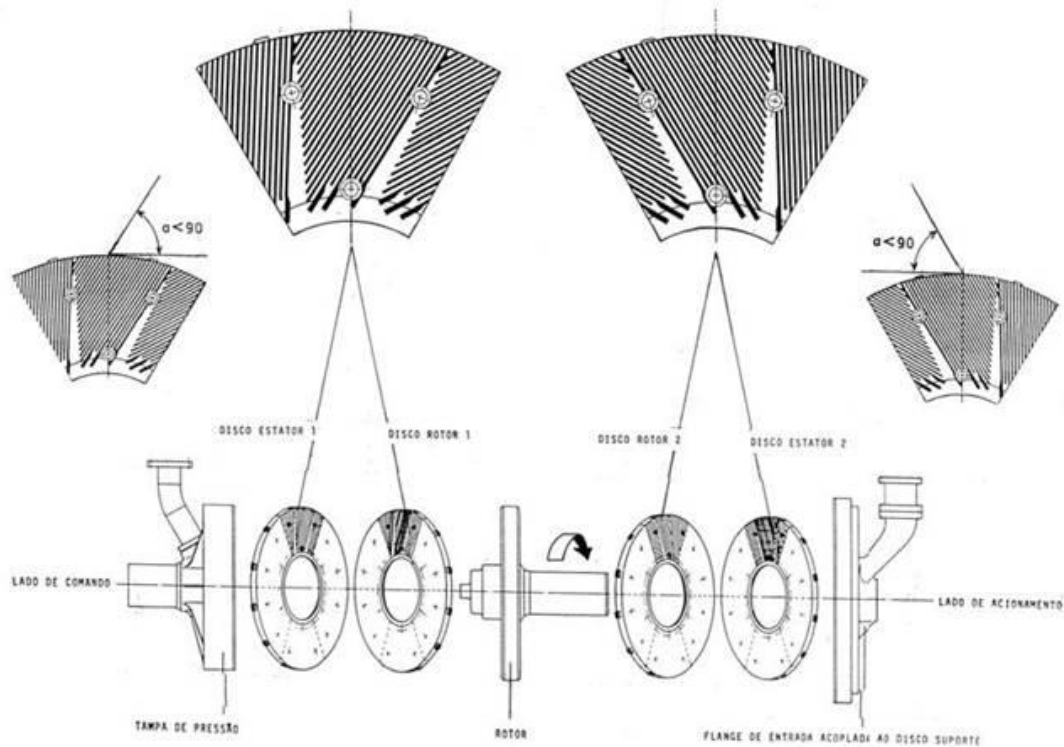


Figura 14.12 (FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA)

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 (1993), somente 40% das fibras sofre algum impacto ao passar por um refinador.

14.7. 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 14.13).

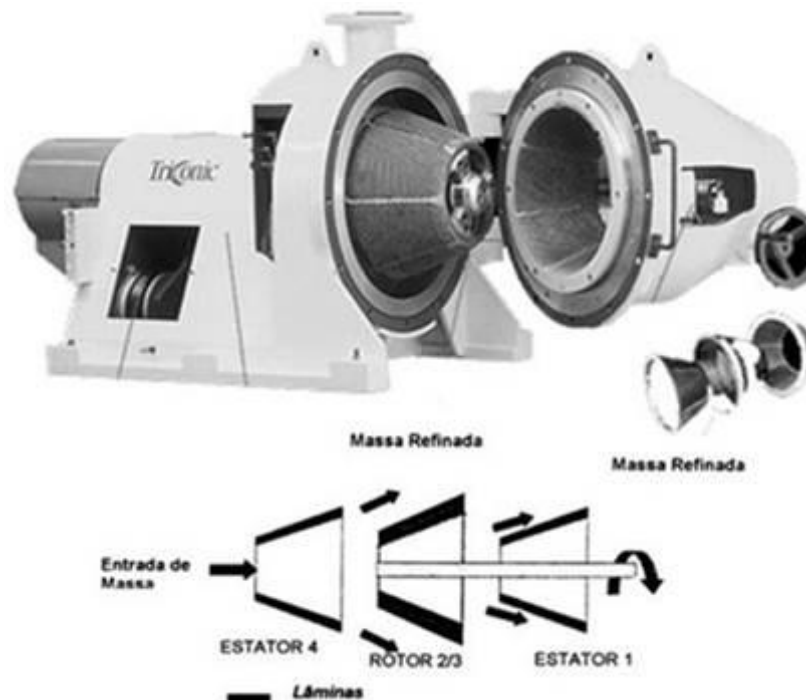


Figura 14.13 (FONTE: www.redetec.org.br/inventabrasil/pilao)

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.

14.8. 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”).

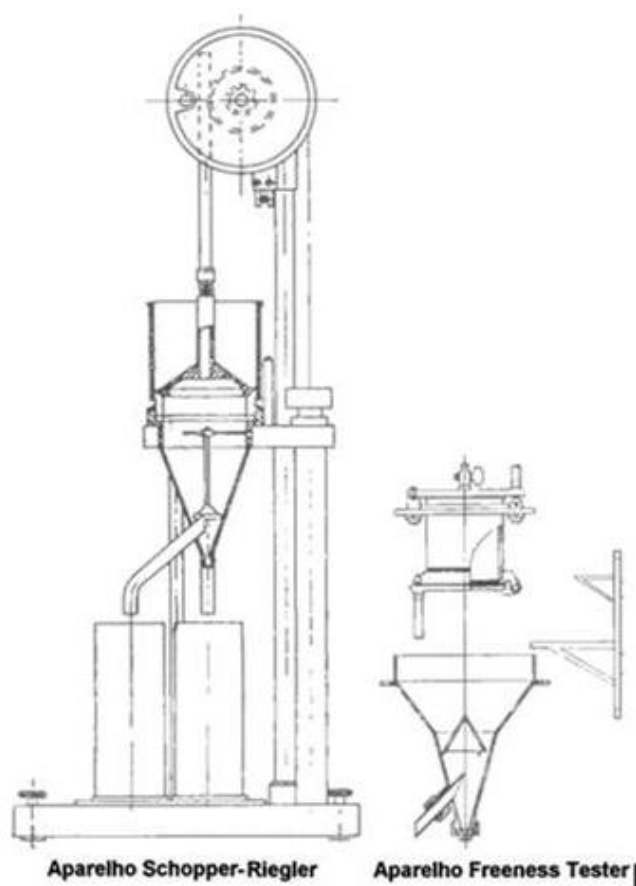


Figura 14.14 (FONTE: Tecnologia de Fabricação de Papel – SENAI/IPT)

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: $I.R.A. = \frac{\text{massa de pasta após centrifugação} - \text{massa de pasta seca}}{\text{massa de pasta seca}} \times 100$. Para uma determinada pasta celulósica tipo sulfato, por exemplo, 36 °SR corresponde a 189% I.R.A.

15. CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO (“APPROACH FLOW”)

15.1. 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, etc.), e de diluição, de “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 tais como perfil longitudinal de gramatura, formação da folha, ausência de contaminantes no papel podem ser influenciados e controlados através do circuito de aproximação. Fenômenos tais 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. A figura 15.01 mostra um esquema típico de circuito de aproximação.

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 havidas nas máquinas de papel, resultaram em sistemas de aproximação cada vez mais complexos. Caixas de entrada hidráulicas, alta velocidade nas máquinas e melhoria nas características da folha exigem que o sistema de aproximação inclua múltiplos estágios de separadores centrífugos, depuração e melhor controle do ar contido no fluxo de massa.

Os sistemas de aproximação utilizados atualmente variam desde 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 depuradores, 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 precisa ser encontrada, o que nem sempre é muito fácil. Alguns dos mais freqüentes problemas encontrados na máquina de papel serão tratados aqui.

A chamada depuração de cabeça de máquina, que faz parte do “approach flow”, tem por objetivo proporcionar ao formador uma composição livre de impurezas que possa 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 com impurezas, 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 finos, e menores exigências a papéis de embalagem.

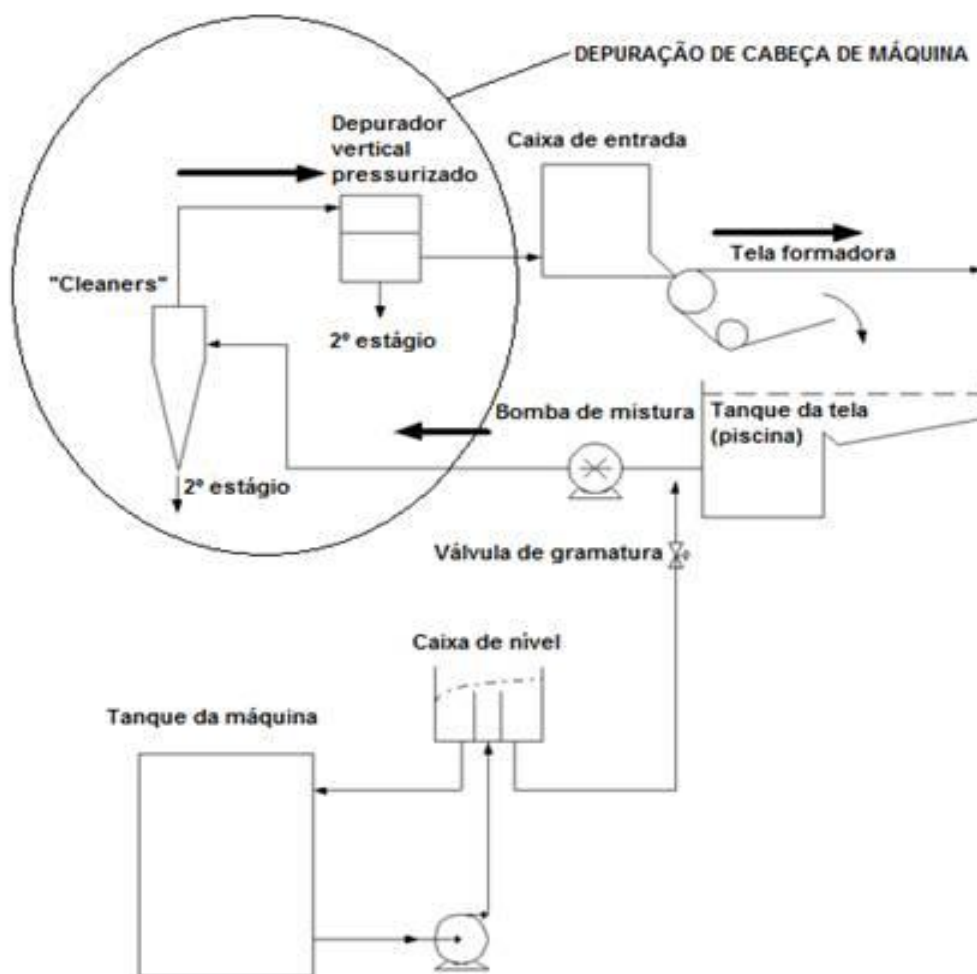


Figura 15.01 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos)

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 finos, e menores exigências a papéis de embalagem.

16. INTRODUÇÃO À MÁQUINA DE PAPEL (CAIXAS DE ENTRADA)

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. Para a obtenção destes objetivos foi desenvolvida a caixa de entrada com seus componentes e controles.

A caixa de entrada é alimentada por um conjunto de tubos múltiplos que recebem a massa, sob pressão dos depuradores.

16.1. TIPOS DE 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 a 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 de enchimento.

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 possui 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.

16.1.1. 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 16.01), 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.

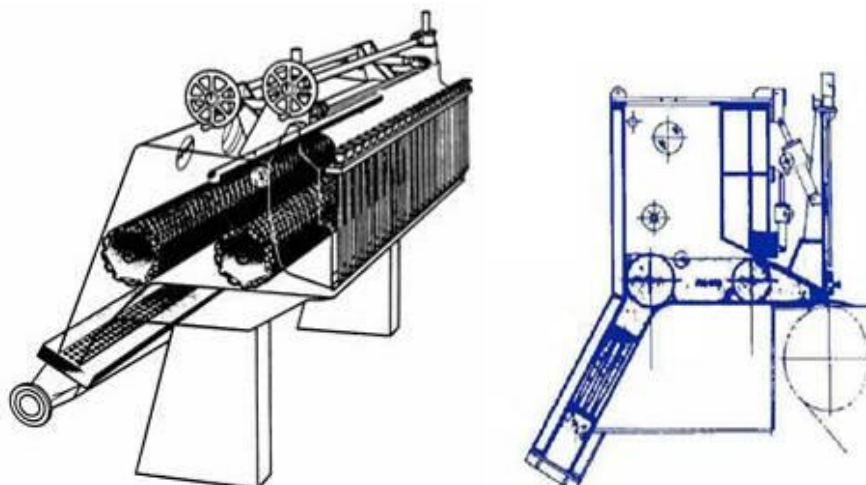


Figura 16.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

16.1.2. 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 16.02 mostra uma caixa hidráulica típica.

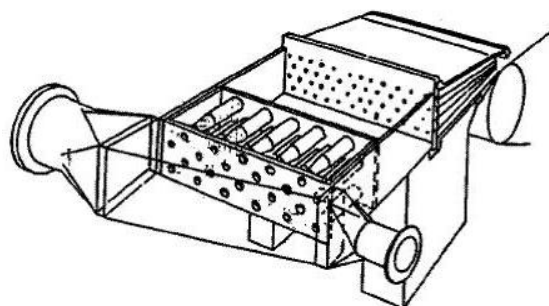


Figura 16.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

16.1.3. Caixas para várias camadas

Esta classe de caixas tem, nos desenvolvimentos recentes, equipamentos “multijato” (figura 16.03: 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.

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 suavidade do papel ou então buscando fabricar um produto de boa qualidade com a utilização de fibras menos nobres.

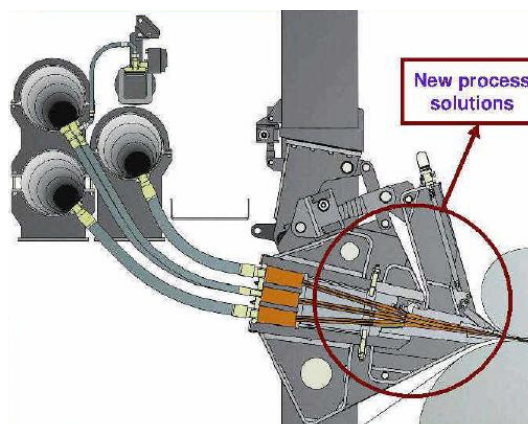


Figura 16.03 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Outro exemplo seria uma caixa de entrada de três camadas utilizando-se fibras menos nobres na camada interna, por exemplo, pasta mecânica ou reciclada, e fibras de maior qualidade nas camadas externas, por exemplo, celulose (figura 16.04). 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.

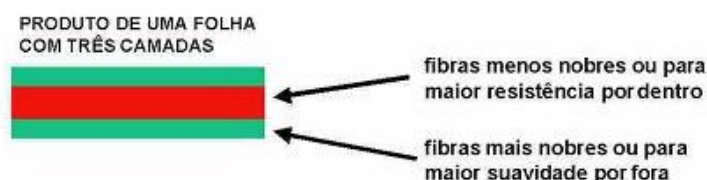


Figura 16.04 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

16.2. O QUE DEVE SER CONTROLADO NA CAIXA DE ENTRADA

A característica de desempenho da caixa de entrada está diretamente relacionada à uniformidade do produto, uma vez que este determina as melhores propriedades físicas para a folha de papel. Está ligada a fatores como eficiência da caixa de entrada e projeto adequado. A caixa de entrada deve proporcionar as melhores condições operacionais (operação contínua e estável, flexibilidade para correções e regulagens), e de manutenção.

O ponto básico que define a eficiência da caixa de entrada é a **qualidade do jato** de massa que a mesma proporciona. As principais características de qualidade do jato são as seguintes: jato transversal uniforme de massa, mistura homogênea, fluxo livre de pulsações, boa estabilidade, atenuação de pulsos, turbulência controlada, eficiente geometria do lábio, **livre de fluxos transversais, perfil uniforme de gramatura e adequada relação jato-tela**. Os três últimos itens por serem considerados de mais difícil entendimento, serão explicados a seguir com maiores detalhes:

16.2.1. Livre de fluxos transversais

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 16.05).

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.

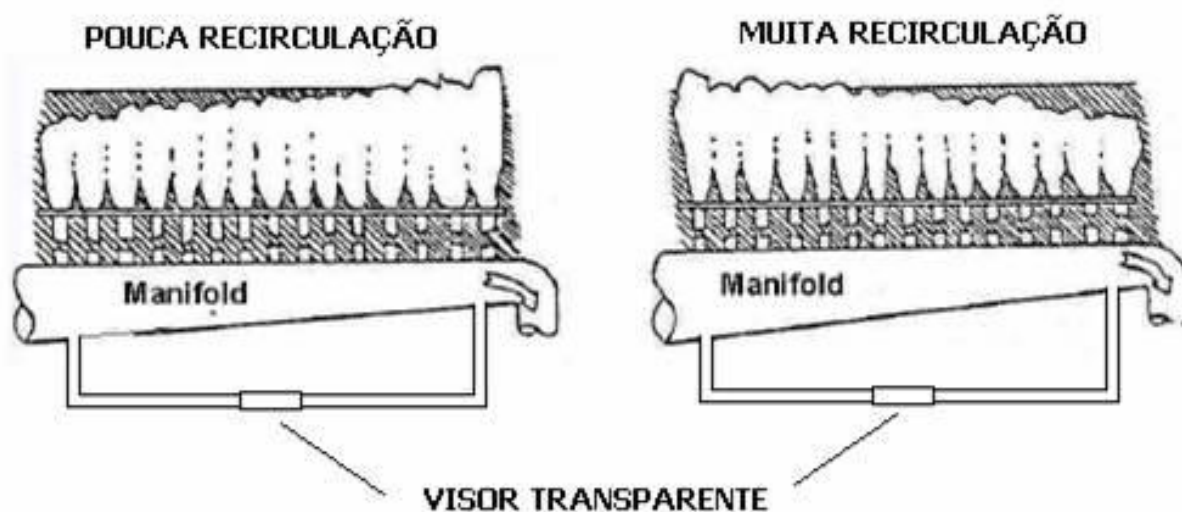


Figura 16.05 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

16.2.2. Perfil transversal

Refere-se basicamente ao perfil transversal de gramatura e ao perfil transversal de orientação de fibras. O projeto da caixa de entrada engloba os recursos necessários para se efetuar ambos os controles. Frequentemente, 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 16.06 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. 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.

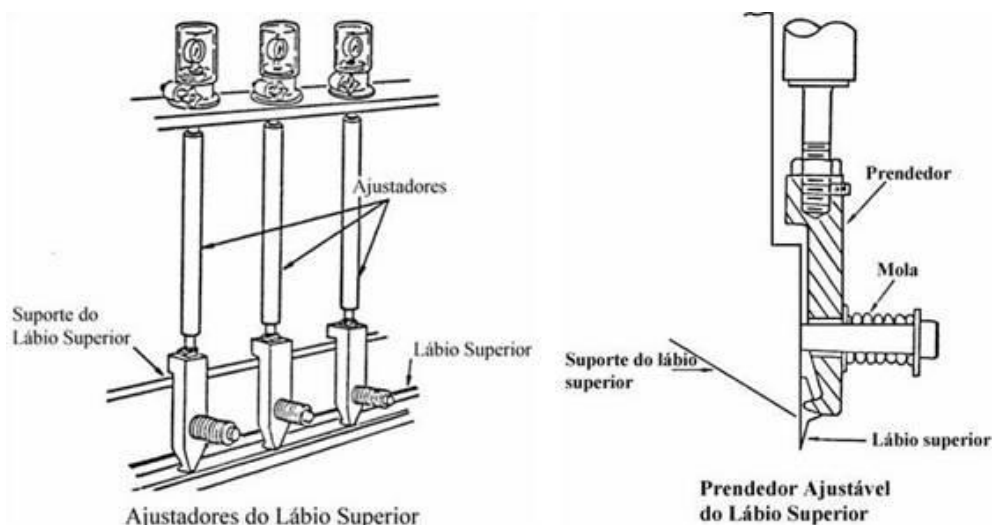


Figura 16.06 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

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 16.07), por exemplo, também resulta em uma mudança local na direção do jato:

- 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.

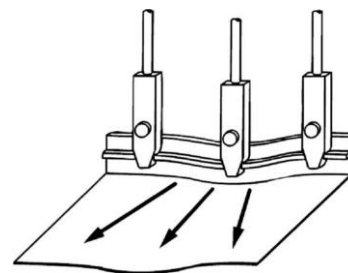


Figura 16.07

(FONTE: 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 16.08) 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.

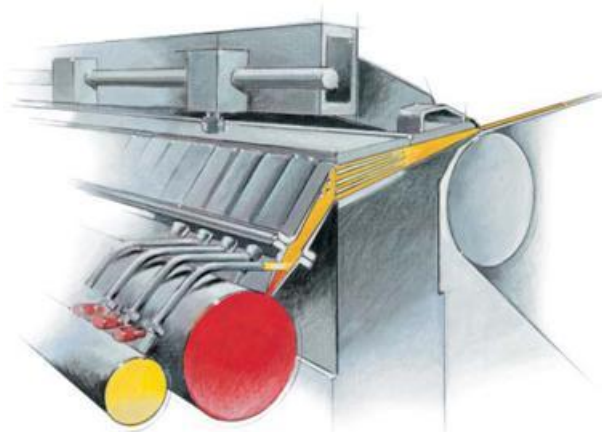


Figura 16.08 (FONTE: Revista Twogether nº 2)

16.2.3. Relação jato-tela

A relação de velocidades entre jato e tela (V_j/V_t) tem grande impacto na qualidade de forma ao assim como na resistência do papel, ou seja, na relação de resistência longitudinal e transversal. Normalmente, adota-se como valor de referência a relação de 0,95 a 0,99, ou seja, quando temos a velocidade do jato próxima à velocidade da tela, teremos a relação de resistência longitudinal e transversal próximo de 1,0 (um), e para se obter uma maior resistência longitudinal, retardamos a velocidade do jato. Com este retardamento do jato da caixa estaremos permitindo um melhor alinhamento de fibras e, portanto, um controle da relação de resistência.

A velocidade do jato nas caixas de entrada define praticamente a velocidade da tela e, portanto, a velocidade da máquina de papel. Isto porque a relação da velocidade do jato pela

velocidade da tela (relação jato-tela) deve ser próxima da unidade (1,0). Nas caixas em geral, a velocidade do jato é dada pela fórmula:

$$V_j = C_v \sqrt{2gH}$$

Onde:

V_j = velocidade do jato;

C_v = coeficiente do tipo de saída da caixa (0,8 a 1);

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

H = pressão da caixa de entrada em m.c.a.

A maioria das máquinas trabalha com atraso do jato. Assim, o movimento relativo entre a tela e a massa diminui o número de flocos pelo cisalhamento mecânico, contribuindo para uma boa formação e alinhamento das fibras na direção de máquina. Quando as velocidades do jato e da tela são iguais, dizemos que estamos trabalhando no teórico.

Na condição em que a velocidade do jato é maior que a velocidade da tela, uma fração da água contida no jato volta para trás com grande probabilidade de formar flocos de fibras afetando diretamente na formação da folha. A figura 16.09 mostra a velocidade do jato menor e maior que a velocidade da tela.

Normalmente, com a relação jato-tela igual a 0,95, por exemplo, teremos um valor maior de tração longitudinal e um valor menor de rasgo transversal; com a relação jato-tela em 1,05, teremos um valor maior de rasgo transversal e a presença de dupla face, por exemplo.

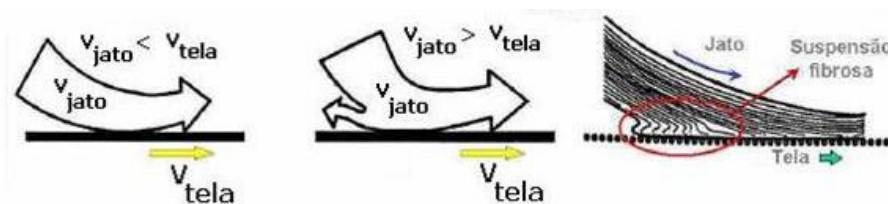


Figura 16.09 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

17. FORMAÇÃO DA FOLHA DE PAPEL

A estrutura interna do papel definida como grau de dispersão com o qual as fibras e demais constituintes são distribuídos no papel, também chamada de formação interna ou simplesmente, formação, tem mais importância no comportamento do papel do que normalmente lhe conferem, uma vez que influencia várias outras propriedades do papel como

permeância ao ar, opacidade, estabilidade dimensional, resistência à tração, ao rasgo, ao arrebatamento, dupla face, etc.

O conceito de formação se refere à uniformidade, em quantidade e qualidade, em que as fibras são distribuídas no papel. No nível físico, poderíamos comparar esta característica à uniformidade com que o papel transmite a luz. Assim, pois, o melhor papel será aquele que apresenta um aspecto uniforme contra a luz o mais próximo possível ao que observaríamos através de uma lâmina de plástico matizada (figura 17.01).

Em papéis de impressão, uma formação pobre produz impressão não uniforme, e em papéis para escrita diminui a aparência. A formação é influenciada pelas variações na preparação de massa tal como grau de refino, por exemplo, pelas operações da máquina de papel tais como relação jato-tela, frequência do rolo sacudidor (“shaking”), etc. e pelas variáveis referentes às matérias primas tais como comprimentos de fibras e a tendência das fibras a floculação (agregado) na caixa de entrada.

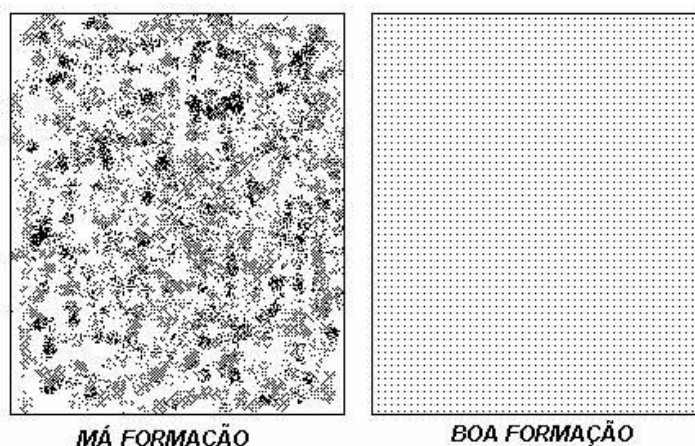


Figura 17.01 (FONTE: montagem Edison da Silva Campos)

Para dispor de uma boa qualidade na impressão, principalmente quando se imprime grandes áreas, a distribuição das fibras deve ser o mais uniforme possível. Se existe em determinadas zonas agrupamentos de fibras de distinta espessura ou, simplesmente, uma maior presença destas fibras, a resposta de muitas outras características do papel opacidade, estabilidade dimensional, resistência, etc., serão claramente distintas naquelas áreas. Devido a maior acumulação de fibras, haverá uma pressão muito maior exercida pela calandra naquela zona causando uma série de inconvenientes como níveis de aspereza diferenciados.

Não só a distribuição tem importância quanto a composição do papel, uma vez que sua natureza também é um fator importante. Não é o mesmo dispor de fibras de madeira que

dispor de fibras de algodão ou linho. Os vários tipos de madeira que se emprega para a fabricação do papel também determinam seu comportamento quanto à formação. A pasta mecânica de madeira, por exemplo, dá uma boa opacidade, uma boa elasticidade na impressão e uma alta absorvência a tinta, porém, apresenta uma brancura relativamente pobre e certa fragilidade.

Porém, nem tudo são fibras na formação do papel. Os materiais de carga e os aditivos também devem ser considerados e devem ser escolhidos adequadamente para aumentar a opacidade, a brancura ou textura; para reduzir a absorvência da tinta, para melhorar as qualidades mecânicas, etc. À medida que se aumenta a porcentagem destes materiais no papel se vai reduzindo o tamanho dos espaços vazios e dos capilares em seu interior.

Existem vários instrumentos para medir a uniformidade da formação com base na quantidade de luz transmitida através do papel. Este sistema trabalha pela varredura da superfície fazendo atravessar um raio estreito de luz progressivamente por todos os pontos da amostra a analisar. A luz transmitida se recolhe mediante célula fotoelétrica pelo lado contrário do papel e se registram as flutuações bem seja em um indicador de agulha, em forma de gráfico sobre o papel ou com ajuda de um dispositivo digital que nos pode dar valores médios, mínimos e máximos.

17.1. PRINCIPAIS TIPOS DE FORMADORES

Há basicamente três tipos de formadores: formador cilíndrico ou forma redonda, mesa plana ou “Fourdrinier” e formador do tipo “gap former”. Neste curso dar-se-á ênfase somente aos dois últimos tipos de formadores.

17.1.1. Mesa plana

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.

Instalada entre o rolo de cabeceira e os “hidrofoils”, a mesa plana tem a função de suportar a tela o receber o jato de massa vindo da caixa de entrada. Ela deve ser colocada mais perto possível do rolo de cabeceira. 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 usados para limpar as telas formadoras.

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 escorra 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 17.02 aparece a mesa plana com seus principais componentes:

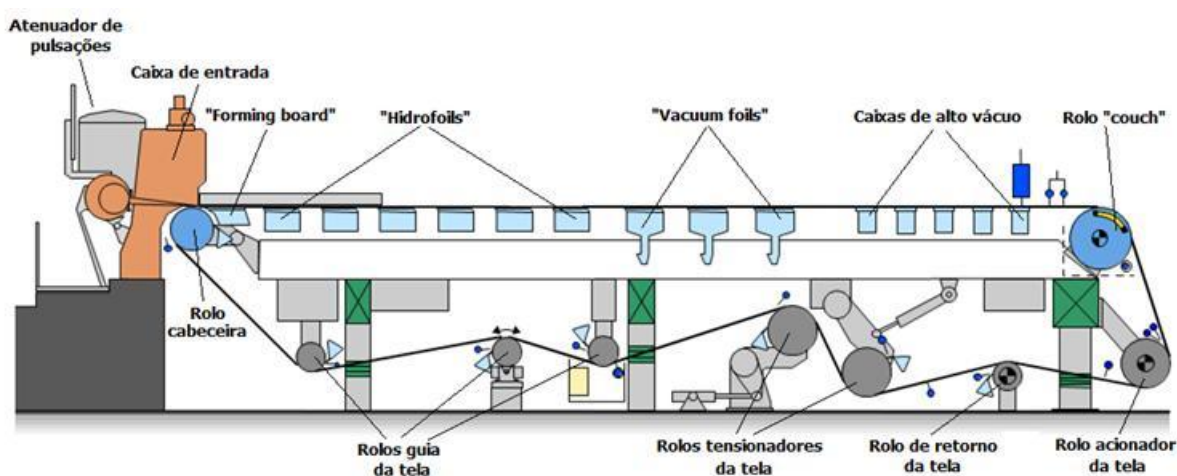


Figura 17.02 (FONTE: Apresentação Voith / ABTCP)

A figura 17.03 mostra as principais etapas de formação da folha na mesa plana com os níveis de pressão e vácuo envolvidos, de uma forma didática, sem a preocupação com as reais dimensões da mesa.

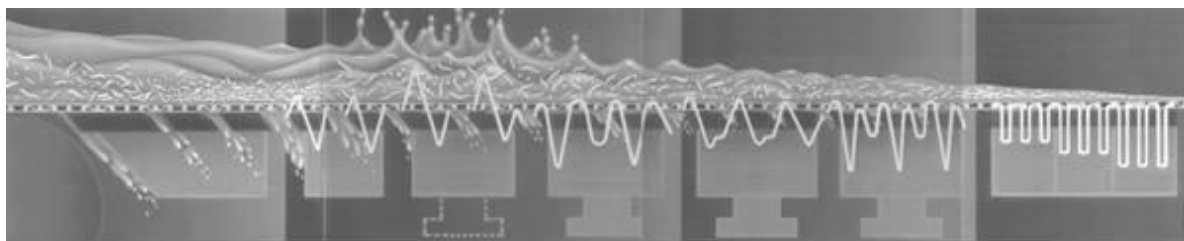


Figura 17.03 (FONTE: Catálogo “Sistemas de formação e drenagem” – Albany)

O processo de construção da folha sobre a mesa plana pode ser visto como seis fases conforme mostra a figura 17.04:

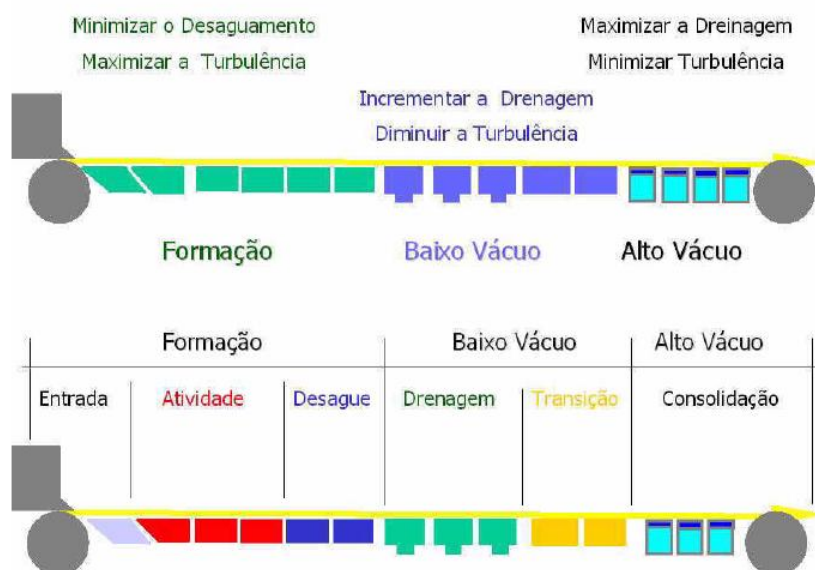


Figura 17.04 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

- Entrada: posição da mesa formadora (“forming board”) onde o desaguamento deve ser praticamente nulo e dar-se apenas por gravidade, pois o “forming board” tem lâminas planas e com pequeno espaçamento. A mesa formadora tem a finalidade básica de possibilitar a dissipação de irregularidades no jato proveniente da caixa de entrada, além de evitar que o rolo de cabeceira se transforme, ele próprio, em um forte agente desaguador em local proibido. As fibras continuam, então, convenientemente em suspensão ao passar para o próximo elemento efetivamente desaguador;
- Atividade e desaguamento: a turbulência é importante para evitar a floculação e deve-se maximizar o desaguamento;
- Drenagem: onde se procura retirar o máximo de água com o mínimo de pulsos de turbulência para resguardar a formação já construída;
 - Transição e consolidação: onde se procura retirar toda a água possível por meio de vácuo mais intenso.

A figura 17.05 mostra os elementos desaguadores da mesa plana e suas características.

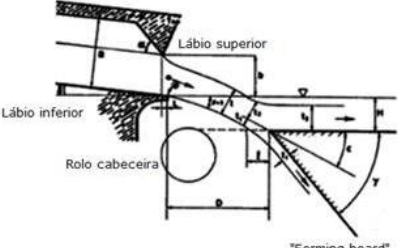
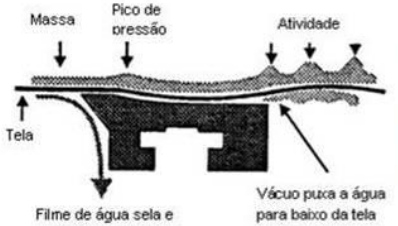
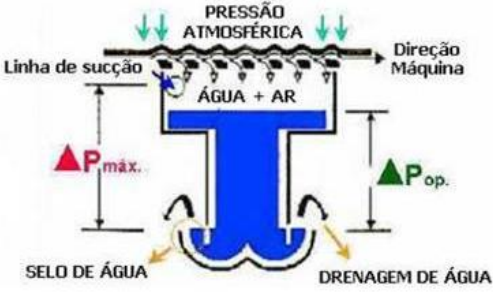
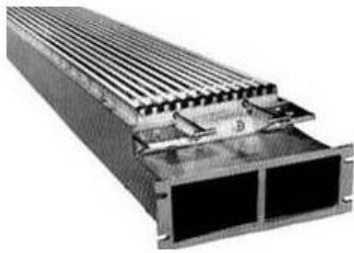
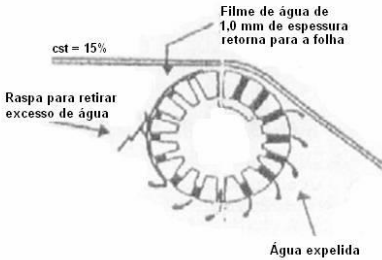
Elemento desaguador	Características
<p>Mesa de formação (“forming board”)</p>  <p style="text-align: right;">"Forming board"</p>	<p>A razão do nome mesa de formação (“forming board”) para este dispositivo pode ter advindo da observação dos papelleiros da tremenda influência que tinha a localização deste 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>“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>Caixas de baixo vácuo</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 seguinte 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 dois 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>
<p>Rolo de sucção (“couch”)</p> 	<p>O rolo de sucção (figura 14.20) desempenha duas tarefas essenciais, a de ser o principal ou único acionador da tela e a de completar o desaguamento da folha na seção formadora da máquina, antes das prensas úmidas. Este rolo não tem seu nível de vácuo limitado pelo atrito como acontece com as caixas planas, pois sua camisa é rotativa.</p> <p>Quanto maior o vácuo do “couch”, maior será a aderência da tela e a exclusão de deslizamentos os quais são extremamente prejudiciais. Aqui são aplicados níveis de vácuo iguais ou maiores que 8 m.c.a., permitindo alcançar teor seco da folha superior a 20%, talvez até 25%, dependendo do tipo de papel.</p>

Figura 17.05 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos – Várias fontes)

17.1.2. Formadores de tela dupla

Ainda que o “Fourdrinier” continue sendo fabricado para algumas finalidades, como papéis de gramatura mais alta ou multicamadas, por exemplo, são bastante familiares as limitações inerentes à sua configuração. Trata-se principalmente de limitação na capacidade de desaguamento e de deficiências quanto às características superficiais e de simetria da folha, assim como ao controle de seu perfil transversal.

Para superar estas limitações foram desenvolvidos os formadores de tela dupla, assim denominados porque a totalidade ou parte do processo de formação se realiza sobre duas telas que aprisionam a suspensão fibrosa. Estes formadores consentem grande capacidade de desaguamento sem a aplicação de turbulências enérgicas feitas por muitos elementos de drenagem, além de somar vantagens como economia de energia e de espaço.

Ainda que possam ser ditadas ações precedentes, uma patente em 1875 e uma prensa de pastas da KMW de dupla tela nos anos 1920, até a década de 1950 não iniciaram as investigações e desenvolvimentos que são a base das atuais instalações industriais deste tipo. No ano de 1933, **Webster** desenvolveu uma máquina experimental de dupla tela e no ano 1958, **Attwood** e colaboradores construíram na St. Anne Board Mill, Inglaterra, uma máquina com duplas telas (“Inverform”) para a fabricação de cartão multicapas. Nesta primeira máquina, foram colocadas sobre uma larga estrutura de mesa plana, diversas caixas de entrada convencionais seguidas de telas superiores através das quais se realizava a drenagem. Após isto, muitos outros desenvolvimentos foram feitos ligados à formação com dupla tela. A figura 17.06 mostra alguns destes desenvolvimentos.

A massa é lançada entre duas telas que se apresentam com percurso convergente e, dependendo do modelo do formador, o desaguamento poderá iniciar em um dos lados ou acontecer simultaneamente em ambas as direções. Desta forma, as duas telas exercem uma ação de espremedura sobre a massa, pois as telas são forçadas a convergir percorrendo um trajeto em curva. Esta geometria elimina os três problemas de uma mesa plana. O trajeto curvo introduz cisalhamento na massa, a ação de espremedura introduz uma força que não é limitada pela atmosfera e a drenagem forçada não permite a selagem da folha.

De qualquer modo, a área de formação será sempre muito curta que a praticada nos formadores híbridos ou “Fourdrinier”. Isto aumenta ainda mais a responsabilidade da caixa de entrada. Esta área de formação muito curta dificulta também a produção de papéis de gramatura alta.

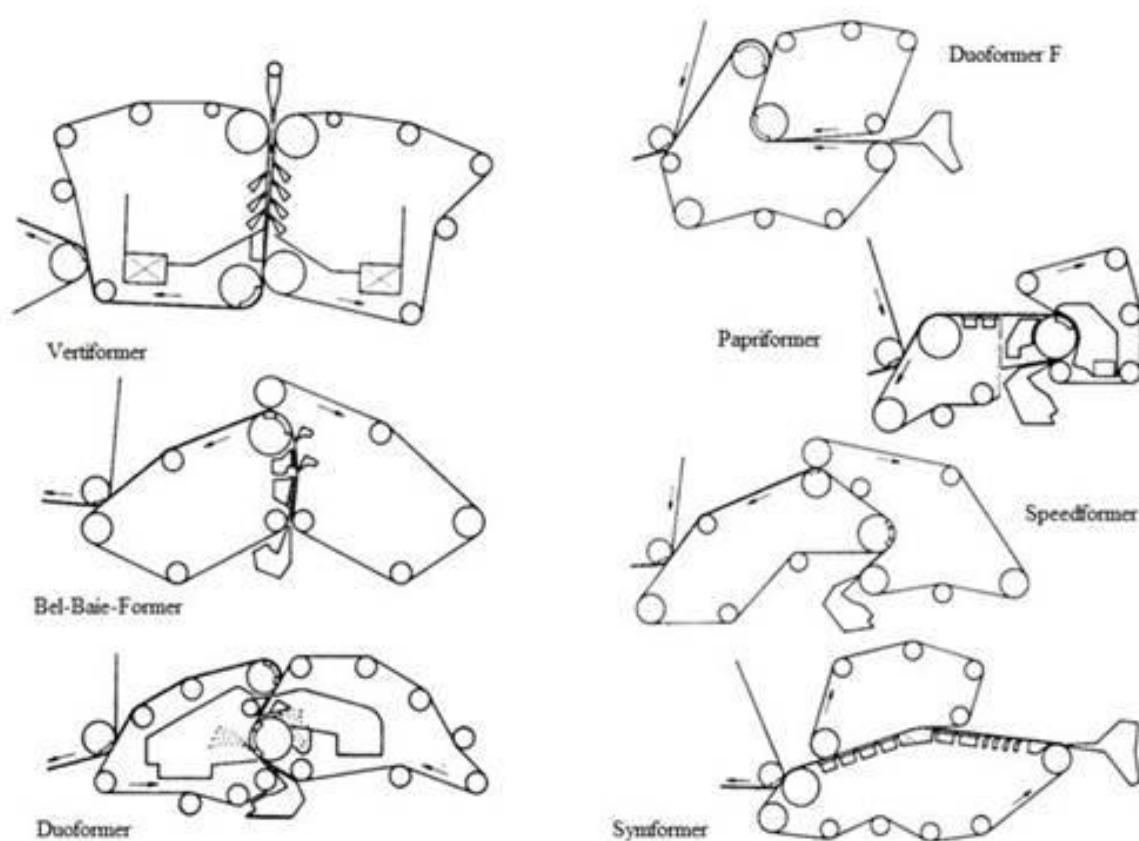


Figura 17.06 (FONTE: Papiermacher Taschenbuch)

A intensidade da drenagem em tela dupla é função da mudança do sentido da marcha das telas (momento) e do ajuste da sua tensão, além do desenho dos desaguadores instalados, das características das telas e, obviamente, das propriedades da massa. Quando as telas se movimentam ao longo de um percurso curvo, como é o caso dos formadores de dupla tela, a força centrífuga age sobre a camada fibrosa com seu efeito orientado para o lado externo da tela e a grandeza dessa força vem dada por:

$$P' = ph (V^2/r)$$

Onde:

P' : pressão centrífuga;

p : massa volumétrica da suspensão fibrosa;

V : a velocidade periférica da suspensão fibrosa;

r : o raio de curvatura da tela.

Um tensão suplementar aplicada à tela externa criará uma pressão adicional que irá se contrapor à força centrífuga e com isso será possível algum controle da drenagem em ambos

lados da folha. Ao efeito centrífugo pode também ser contraposto, além da tensão da tela externa, algum vácuo como forma de equilibrar as condições de desaguamento. É necessário lembrar que estes conceitos perdem a aparente simplicidade quando melhor analisados em seus aspectos tecnológicos.

Nos formadores genuinamente de tela dupla, como mostra a figura 17.07, o desempenho da caixa de entrada é crítico visto que a fixação das fibras, ou seja, a formação é quase imediata e a sua qualidade dependerá quase que exclusivamente do grau de dispersão das fibras conseguido pela caixa de entrada, do ângulo correto de seu jato e da sua uniformidade.

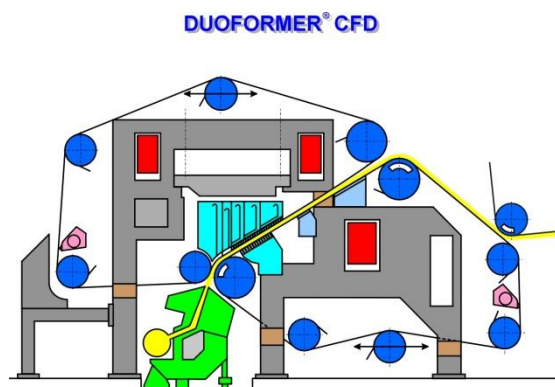


Figura 17.07 (FONTE: ABTCP/Voith)

A massa é lançada entre duas telas que se apresentam com percurso convergente e, dependendo do modelo do formador, o desaguamento poderá iniciar em um dos lados ou acontecer simultaneamente em ambas as direções. De qualquer modo, a área de formação será sempre muito curta que a praticada nos formadores híbridos ou “Fourdrinier”. Isto aumenta ainda mais a responsabilidade da caixa de entrada. Esta área de formação muito curta dificulta também a produção de papéis de gramatura alta.

A intensidade da drenagem em tela dupla é função da mudança do sentido da marcha das telas (momento) e do ajuste da sua tensão, além do desenho dos desaguadores instalados, das características das telas e, obviamente, das propriedades da massa. Quando as telas se movimentam ao longo de um percurso curvo, como é o caso dos formadores de dupla tela, a força centrífuga age sobre a camada fibrosa com seu efeito orientado para o lado externo da tela. Nas formadoras de tela dupla, a massa é contida entre as duas telas, mantendo-as separadas.

Desta forma, as duas telas exercem uma ação de espremedura sobre a massa, pois as telas são forçadas a convergir percorrendo um trajeto em curva (figura 17.08). Esta geometria elimina os três problemas de uma mesa plana.

O trajeto curvo introduz cisalhamento na massa, a ação de espremedura introduz uma força que não é limitada pela atmosfera e a drenagem forçada não permite a selagem da folha.

Há dois tipos básicos de formadores do tipo “gap”: de rolos e de lâminas.

Os formadores de rolos são aqueles que, após o bocal de saída da caixa de entrada, o fluxo entra em contato com o rolo de sucção (formador). Os de lâminas são os formadores que, após o bocal de saída da caixa de entrada, o fluxo entra em contato com um elemento desaguador com régua de cerâmica.

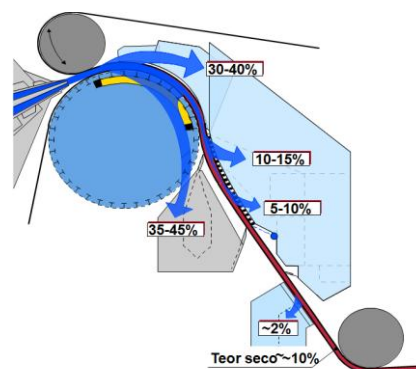


Figura 17.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

17.1.3. Formadores híbridos

As vantagens oferecidas pelos formadores de dupla tela, propriamente ditos, levaram ao desenvolvimento de configurações assemelhadas que permitissem dar às máquinas “Fourdrinier” existentes regimes de produção e padrões de qualidade compatíveis com aquelas de tela dupla. Assim surgiu o formador normalmente definido como híbrido (figuras 17.09 e 17.10), por ser combinação de “Fourdrinier” e tela dupla.

De fato, uma segunda tela instalada sobre aquela da mesa plana convencional aumentava grandemente o desaguamento e a simetria do produto.

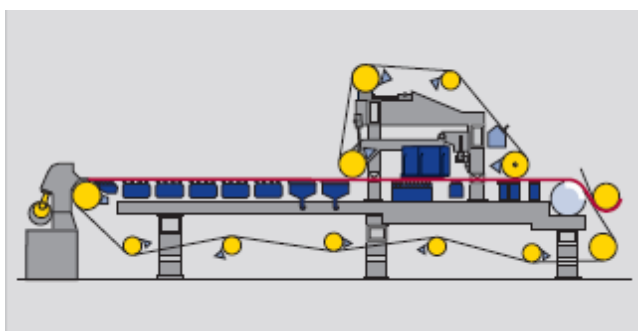


Figura 17.09 (FONTE: ABTCP / Voith)



Figura 17.10 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Nota-se neles uma zona de pré-desaguamento correspondente à zona inicial da mesa plana, com rolo de cabeceira, “foils” e, normalmente, caixas de sucção úmida. Nesta parte, é iniciada a formação da folha. É a fase da macro-formação, onde ainda é possível dissipar

alguma irregularidade do fluxo proveniente da caixa de entrada e se dar orientação das fibras antes da formação ser consolidada entre as duas telas. O desaguamento prossegue agora em ambos os lados da folha com sua intensidade governada pela geometria da tela superior e pelos níveis de vácuo, aqui aplicados.

Ainda assim, também este modelo de formação apresenta certas carências tais como: maior tendência de marcas na tela, a retenção mais baixa, a elevada perda de finos, a escassa melhoria na qualidade da formação quando operando com velocidades baixas e o risco de maior incidência de macro-poros (“pin holes”).

Como regra geral, os formadores híbridos de rolos tendem a favorecer a retenção dada a ausência de pulsos turbulentos e a aplicação gradativa de pressão. Favorecem ainda o perfil transversal de gramatura e a simetria, mas podem ter formação algo inferior e causar marcação da tela.

17.1.4. Formadores para cartão

Há uma variedade enorme de formadores exclusivo para cartão. A figura 17.11 mostra um exemplo deste tipo de formador. No caso, trata-se de mesas planas “standart” para “White Lined Chipboard”.

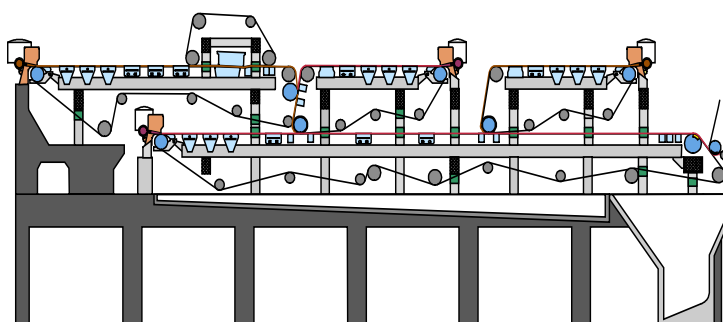


Figura 17.11 (FONTE: ABTCP / Voith)

17.2. FATORES QUE INFLUENCIAM A FORMAÇÃO NA MESA PLANA

Levando em conta, principalmente, a formação da folha na mesa plana, os fatores que influenciam a formação da folha são os seguintes:

- O comprimento e diâmetro das fibras (forma física) que pode variar de espécie para espécie, da idade da planta, do período de crescimento e do período do ano nos quais as fibras são formadas;
- A forma como o jato impacta a tela (geometria do jato), ângulo de incidência;
- A relação entre a velocidade do jato e a velocidade da tela (relação jato/tela);

- A quantidade de modificação ou desenvolvimento gerado, durante o processo de refinação, na dimensão da fibra, fibrilação e resiliência;
- A consistência ou grau de diluição da suspensão no circuito de aproximação ou fluxo de chegada (“approach flow”): talvez, seja este um dos fatores mais importantes;
- O grau de dispersão de grumos de fibras e a prevenção da construção da caixa de entrada e acessórios utilizados dentro dela, tais como: rolos dispersores, chicanas, etc.;
- O efeito da alta e baixa turbulência na suspensão sobre a tela causada pelos elementos removedores d’água;
- A tela formadora tipo simples, dupla, dupla e meia, tripla. O tipo da folha formada pode variar de um processo para outro;
- A presença do rolo bailarino sobre a tela formadora;
- A presença do sistema de rolo “shaking” (sacudidor).

17.3. TIPOS DE TELAS FORMADORAS

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 17.12 mostra alguns tipos de telas formadoras fabricadas pela empresa Kufferath.


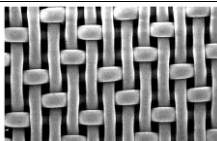
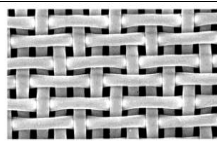
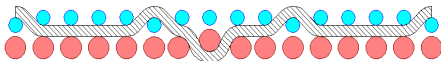
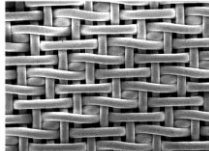
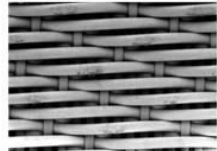
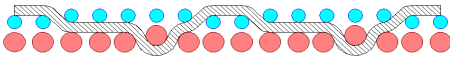
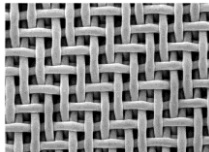
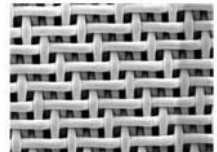
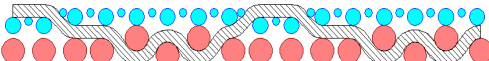
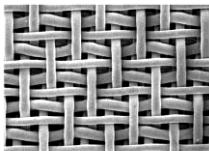
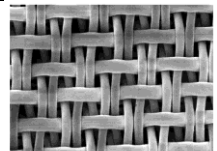
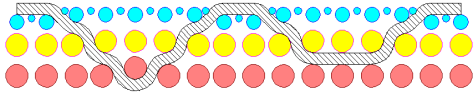
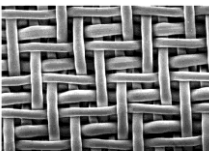
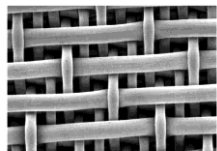
TIPO DE TELA	LADO PAPEL	LADO FELTRO
 MONOCAMADA		
 CAMADA E MEIA		
 DUPLA CAMADA		
 DUPLA CAMADA E MEIA		
 TRIPLA CAMADA		

Figura 17.12 (FONTE: Kufferath)

17.4. TRANSFERÊNCIA DA FOLHA DA ETAPA DE FORMAÇÃO PARA A PRENSAGEM

17.4.1. Transferência com “pick-up”

O sistema de transferência tipo “pick-up” é uma evolução de outro sistema denominado transferência aberta (“open draw”), com a introdução de um rolo-guia para a tela, logo após o rolo de sucção (figura 17.13). A folha é transportada pela tela após deixar o rolo de sucção, e a caixa de vácuo desse rolo está colocada de tal maneira para que não haja respingos de água na tela.

O sistema “pick-up” tradicional com altas velocidades, e o simples “pick-up” com velocidades baixas foi substituído em muitos casos pelo sistema “pick-up” com tubo de sucção garantindo uma condução da folha impecável com custos de investimentos relativamente baixos.

Há também o desenvolvimento de um sistema “pick-up” como um simples “foil”. O pouco vácuo formado no “foil” é suficiente para separar a folha da tela e deixá-la seguir com o feltro pegador.

Com o sistema “pick-up” surgem alguns problemas como o refilo jateado no momento em que este é conduzido sobre o secador grande e precisa ser retirado à mão, ou por um sistema de aspiração no raspador de crepagem. Foram alcançados bons resultados com curtos tubos de sucção reagindo contra o tubo “pick-up” no lado da tela inferior e segurando os refilos na tela. Estes são retirados com um esguicho por cima do tanque de uma cunha (“couch pit”).

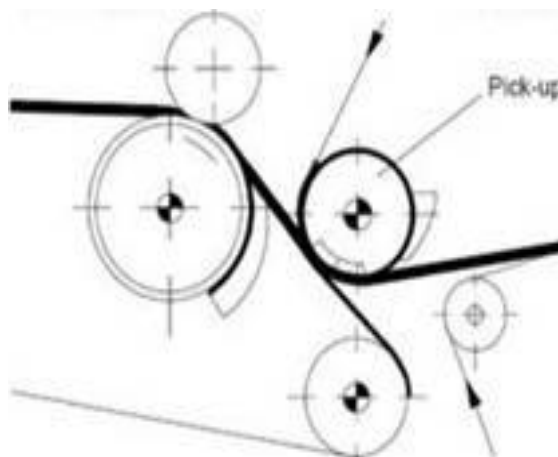


Figura 17.13 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

18. PRENSAGEM

18.1. TEORIA DA PRENSAGEM

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 ou rolos ventilados que possuem capacidade de remoção de água muito maior que as prensas de rolos lisos. 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 ou de furos cegos, por exemplo, são classificadas 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 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. Na figura 18.01 aparece a remoção de água (redução do volume) pela ação da secagem.

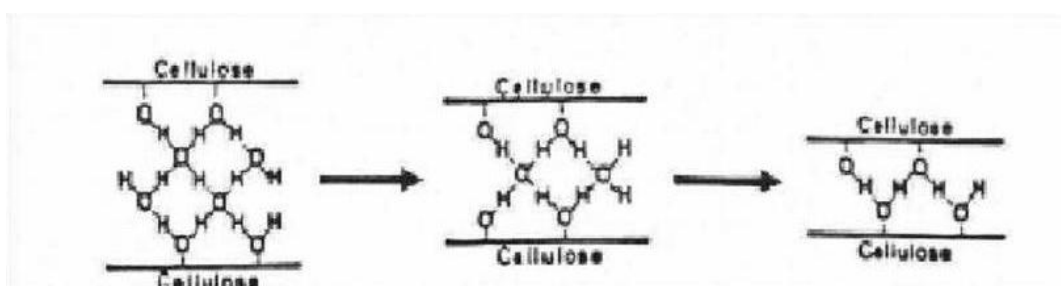


Figura 18.01 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

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 1960, e progressivamente refinado pelo próprio Wahlstrom e muitos outros, ocasionando no rápido desenvolvimento do conceito de prensagem.

O modelo matemático de **Wahlstrom** apresentado no ‘Simpósio Internacional de Prensagem e Secagem’ em 1968 é o mais difundido e foi de grande valia para o entendimento da prensagem entre os “nips” de pressão controlada e fluxo controlado.

Na figura 18.02 temos representado um “nip” de fluxo transversal definido por dois rolos sólidos, com a folha e feltro passando através do “nip”. Ambos estão insaturados na entrada do “nip”, e contém quantidade de água suficiente para atingir a saturação no centro do “nip” (“mid-nip”). A configuração geométrica, curvas de distribuição de pressão, mecanismos

de transferência de água, e curvas de espessura da folha e feltro são mostrados para o “nip” de fluxo vertical.

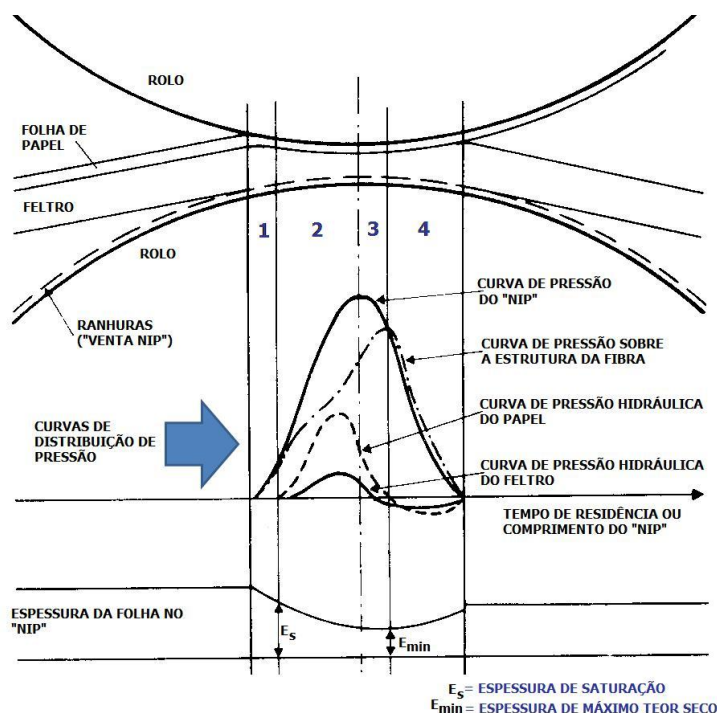


Figura 18.02 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

Baseado na interação das pressões do fluido e da estrutura fibrosa, o “nip” pode ser dividido em quatro fases distintas:

- 1ª Fase: **começa na entrada do “nip” onde inicia e termina a curva de pressão, até que a folha se torne saturada.** A pressão total na folha começa a crescer pela compressão exercida sob a carga da prensa. Nesta fase, o ar escapa de ambos, feltro e papel. A pressão hidráulica ainda não existe. Feltro e folha estão ambos insaturados. O fluxo de água começa a acontecer através da ação de capilaridade ou pelo fluxo de duas fases, água e ar (é a substituição do ar pela água na estrutura capilar);

- 2ª Fase: **vai do ponto de saturação até o meio do “nip”, ou mais precisamente até o ponto máximo da curva de pressão total do “nip”.** A folha está saturada e a pressão hidráulica cresce, espremendo a água da folha para o feltro. Se o feltro atinge a saturação, é gerada uma pressão hidráulica, resultando num fluxo de água do feltro para os receptáculos sobre o mesmo. Se o feltro não atinge a saturação, não haverá fluxo fora dele. A força de compressão na folha e no feltro aumenta durante esta fase. A pressão do fluido (hidráulico) no feltro e na folha atinge o máximo antes do meio do “nip”;

- 3ª Fase: **vai do ponto máximo da curva de pressão no “nip”, até o ponto máximo de consistência da folha.** Isto significa que a folha atinge o máximo de teor seco após o meio do “nip”, uma vez que ainda existe uma gradiente de pressão hidráulica entre a folha e o feltro. Esta fase é uma parte da expansão do “nip”, e a folha permanece ainda no estado comprimido. O feltro deverá suportar toda a expansão. Em função de algum fluxo de água lateral do “nip”, o feltro pode estar saturado nesta fase. Se saturado, o feltro logo se torna insaturado, também pelo fluxo lateral. Isto cria um vácuo no feltro forçando o movimento de água no sentido inverso (o sistema começa a admitir ar).

- 4ª Fase: **a folha está o máximo de teor seco e vai reabsorver água do feltro.** Também o vácuo devido à expansão será maior na folha do que no feltro, criando um fluxo de duas fases de ar e água dentro do feltro para a folha.

18.2. TIPOS DE PRENSAS

18.2.1. Prensa plana

A prensa plana é normalmente aplicada em máquinas com velocidades abaixo de 300 m/min, e posições onde a feltragem simples ou dupla seja suficiente para absorção de toda a água da folha (“nip” seco). No passado esta prensa estava associada ao fluxo horizontal e “nip” saturado. Hoje ela pode ser uma prensa de fluxo vertical, pois com a evolução dos feltros e condicionamento destes, a água removida da folha no “nip” é totalmente absorvida pelo feltro e desaguada na caixa de sucção.

A folha e o feltro entram no “nip”, a compressão aumenta e a água da folha enche os espaços vazios do feltro. Quando este atinge a saturação, a pressão hidráulica aumenta e a água é forçada a sair do feltro no sentido longitudinal, oposto ao do movimento do feltro. A resistência ao fluxo é alta devido ao longo trajeto e o efeito de bloqueio da estrutura dos fios no plano horizontal do feltro convencional (figura 18.03).

Conseqüentemente as possibilidades de remoção de água em uma prensa plana vestida com um feltro convencional são limitadas. Se a carga na prensa é aumentada acima de um valor relativamente pequeno, a pressão hidráulica sobe mais rapidamente do que a saída de água, terminando por esmagar a folha.

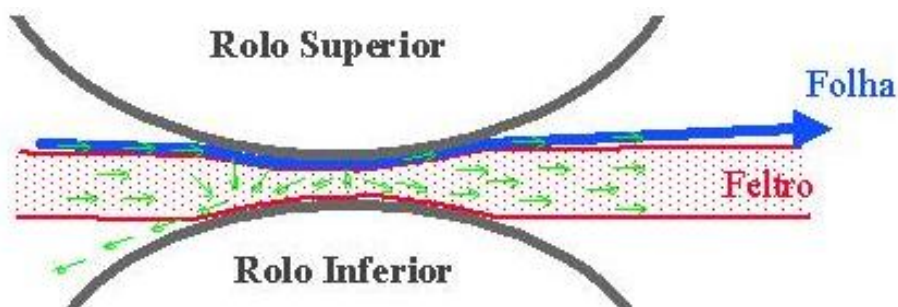


Figura 18.03 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

18.2.2. Prensa de sucção

Inicialmente desenvolvida para fugir do “nip” saturado comum nas prensas planas com feltros convencionais. 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 (figura 18.04). Acima de 300m/min a água contida na furação do rolo é expulsa através da força centrífuga.

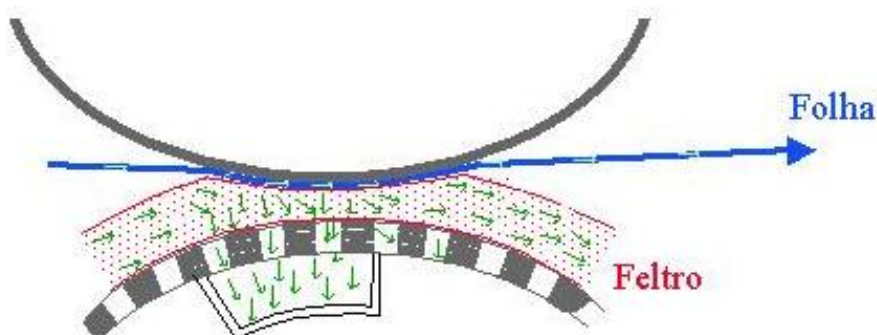


Figura 18.04 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

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 em papéis mais leves.

A sua aplicação é dirigida em configurações de prensas fechadas “binip” ou “trinip” de papéis finos, e prensas combinadas na secagem de celulose. 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.

18.2.3. Prensas ventiladas

Podem ser de ranhuras ou furação cega (figura 18.05). O fluxo é vertical e a água percorre menor caminho no “nip” do que as prensas de sucção. A água é removida pelo feltro e pelo rolo ventilado através da força centrífuga pelo efeito da velocidade. Para velocidades abaixo de 600 m/min é necessário o uso de raspas. Quando aplicadas em últimas prensas e velocidades acima de 1.000 m/min para papéis finos, além da água da folha é desaguada parte da água contida no feltro através da força centrífuga.

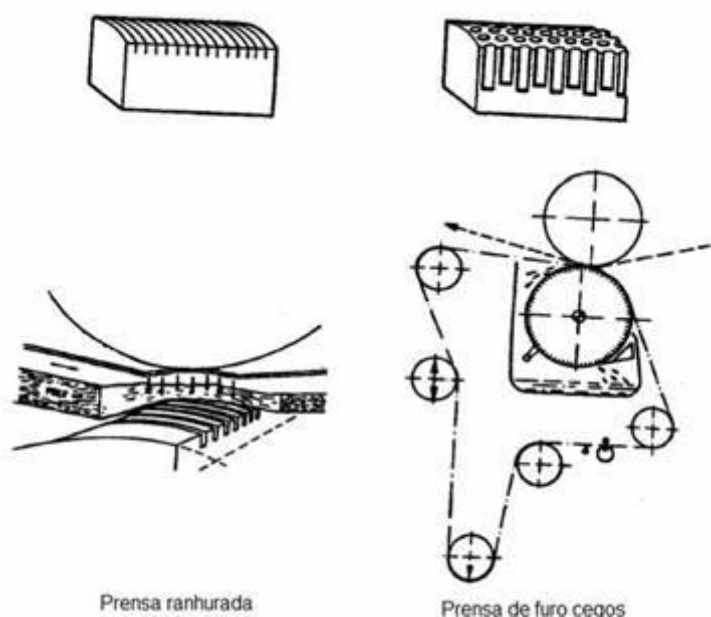


Figura 18.05 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A prensa ranhurada está mais relacionada às últimas prensas de máquinas de alta velocidade, pois a dureza do revestimento é limitada entre 8 e 10 P&J. Isto evitaria o colapsamento das ranhuras. Estas prensas também têm demonstrado maior eficiência de desaguamento para papéis de imprimir e escrever para máquinas de alta velocidade.

Já a prensa de furação cego pode operar com durezas de revestimento de até 45 P&J, e o percurso da água no “nip” é reduzido em relação a prensa ranhurada, devido a furação cega permitir maior área para alojamento de água. Esta prensa tem sua aplicação direcionada para todos os papéis de embalagem e folhas com elevada gramatura, além de ser utilizada na 1ª Prensa do conceito “Trinip” de máquinas de alta velocidade.

Ambas as aplicações principalmente em folhas leves, necessita da correta aplicação de feltros para evitar o aparecimento de marcas (sombreado) das ranhuras ou da furação cega.

18.2.4. Prensa de alto impulso

Também chamadas de prensas de alto impacto, prensa com rolos de grande diâmetro ou rolos “jumbo” (figura 18.06), elas se utilizam do conceito de desaguamento de dupla face combinado com rolos de grande diâmetro e cargas acima de 250 kN/m. As prensas anteriores estavam limitadas a pressão de 200kN/m com rolos de diâmetro aproximado de 1.000mm.

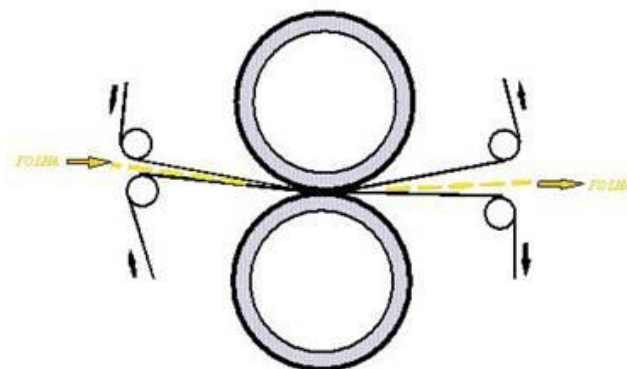


Figura 18.06 (FONTE: Apostila “Treinamento interno de fabricação de papel”- VCP)

O aumento do diâmetro dos rolos para no máximo 2.000 mm, permitiu o incremento da carga da prensa para 500 kN/m e larguras de “nip” de 100 mm foram alcançadas com dureza do revestimento de 15 a 20 P&J. Hoje elas são comercializadas com diâmetros de 1.200 a 1.500 mm e pressões de 250 a 350 kN/m, onde larguras de “nip” de 550 a 800 mm são reportadas para a mesma dureza de revestimento citado anteriormente. A preferência é por rolos de furação cega para garantir o máximo desempenho. As aplicações mais comuns estão associadas a papéis de embalagem e máquinas de secagem de celulose.

18.2.5. Prensas de sapata (“shoe press”)

As prensas de sapata foram desenvolvidas pela Beloit para superar os limites de aplicação de carga das prensas “jumbo”, 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 18.07).

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 prensa de sapata pode fornecer um aumento de teor seco de até 10%, quando comparado com uma prensa convencional.

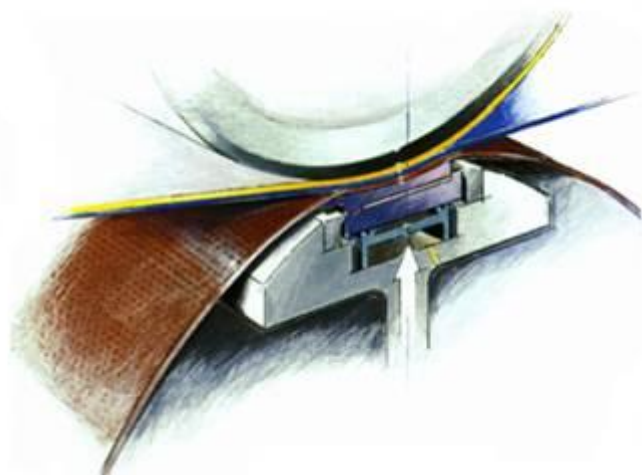
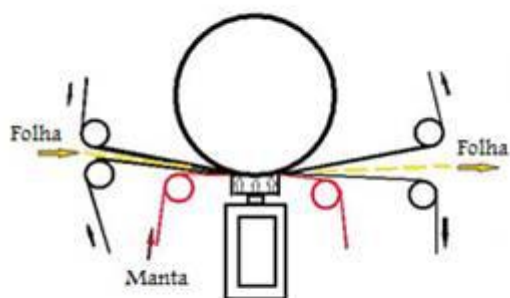


Figura 18.07 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Na Figura 18.08 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 18.08 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

As atuais prensas de sapata, independente do fornecedor, são de conceito fechado, implementação esta efetuada visando a melhor eficiência de prensagem e de operação, além das facilidades operacionais oferecidas pelo sistema mais compacto.

A Figura 18.09 ilustra uma prensa de sapata 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/folha contra um rolo superior.

As prensas de sapata foram inicialmente projetadas para papéis de embalagem e máquinas de secagem de celulose (“nips” de fluxo controlado). Mas, hoje, pode ser utilizada para papéis finos, incluído papéis do tipo “tissue”.

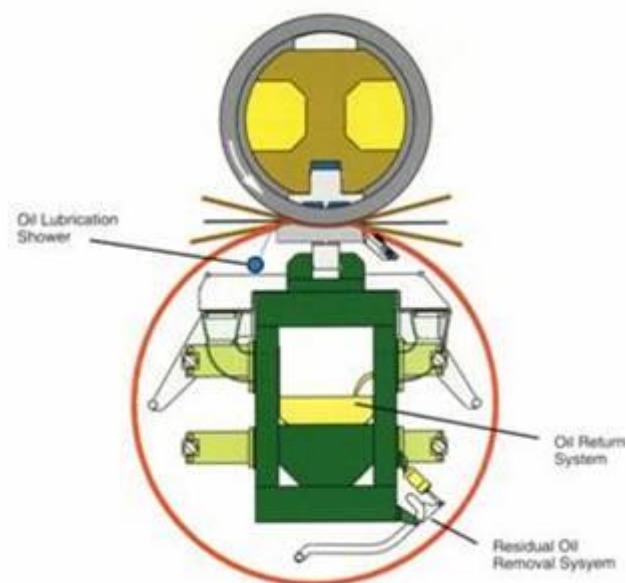


Figura 18.09 (FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A maioria das prensas de sapata é instalada na última prensa, porém, em máquinas novas e reformas do sistema de prensagem, o conceito recomendado é a combinação de duas prensas de sapatas duplamente feltradas, operando no sistema “Tandem”.

18.3. MATERIAS DE REVESTIMENTO DE ROLOS

Inicialmente os rolos de prensa eram revestidos de borracha natural que foi substituída por compostos à base de neoprene ou estireno com dureza variável. Estes rolos podem ser ou não ventilados. Rolos de poliuretano, especialmente para prensas ranhuradas, tornaram-se populares por sua resiliência e capacidade de absorver vibração, sendo bastante utilizados para máquinas de papel de impressão e escrita, com dureza variável conforma a aplicação. Para este tipo de máquinas são usados também rolos ranhurados de aço, os quais trabalham contra um rolo duro, formando um “nip” estreito e de alta intensidade para proporcionar elevados picos de pressão, visando maior desaguamento e um “nip” de pressão controlada.

Os rolos de granito para máquinas de alta velocidade também para máquinas de papel de impressão e escrita foram bastante empregados devido a suas propriedades de dureza, lisura e facilidade de soltar a folha. Devido a sua não uniformidade natural, alguns substitutos sintéticos estão sendo avaliados, os quais incluem cerâmica e aço na sua composição, resultando em rolos extremamente duros e aplicados em “nip” de pressão controlada. A

dureza dos rolos pode ser dada em P&J (quanto menor o número, mais duro é o rolo) ou Shore (quanto maior o número, mais duro é o rolo).

18.3.1. 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 “nip”.

Para compensar esta variação e conseguir uma distribuição uniforme de carga no “nip”, 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, se a distribuição de carga no “nip” está correta, é através do que chamamos de impressão de “nip”, 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 18.10) estão relacionados alguns tipos de impressão de “nip” que poderemos obter e suas possíveis causas:

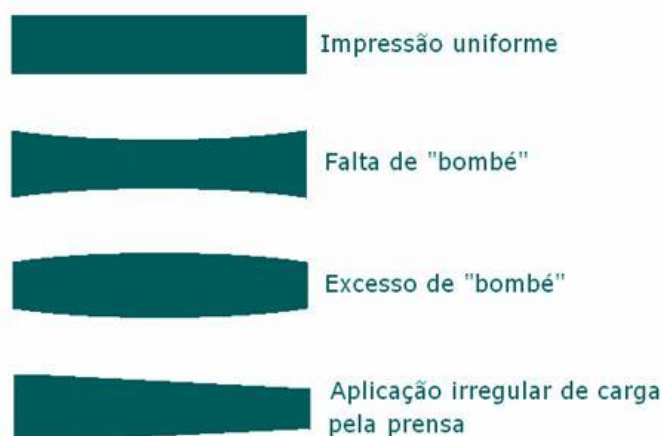


Figura 18.10 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

18.4. TIPOS DE FELTROS

O exame de um feltro úmido típico revela duas subestruturas: a base e a manta (figura 18.11). 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.

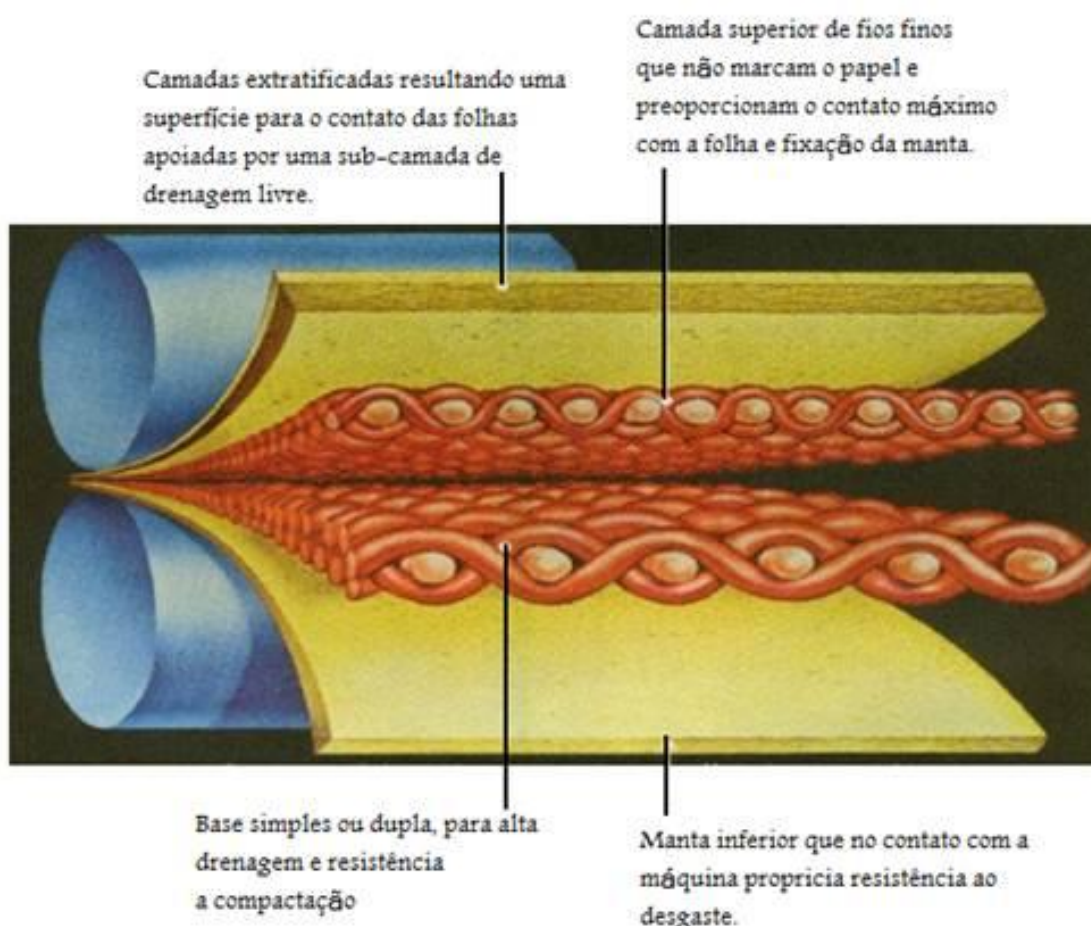


Figura 18.11 (Fonte: apostila “Básico de fabricação de papel” - ABTCP)

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 18.12). 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.

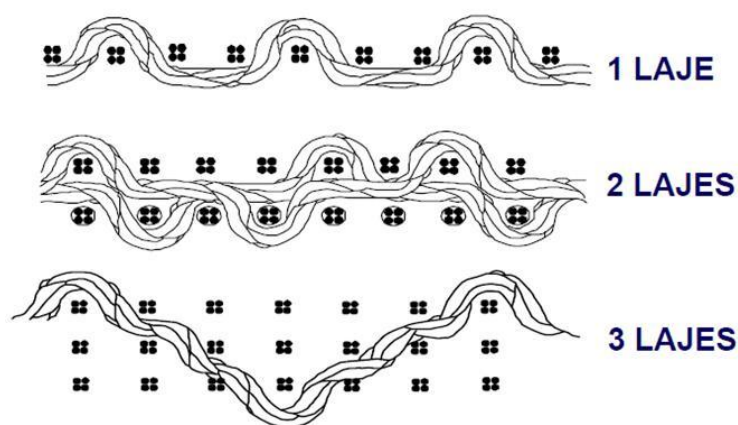


Figura 18.12 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

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 18.13)

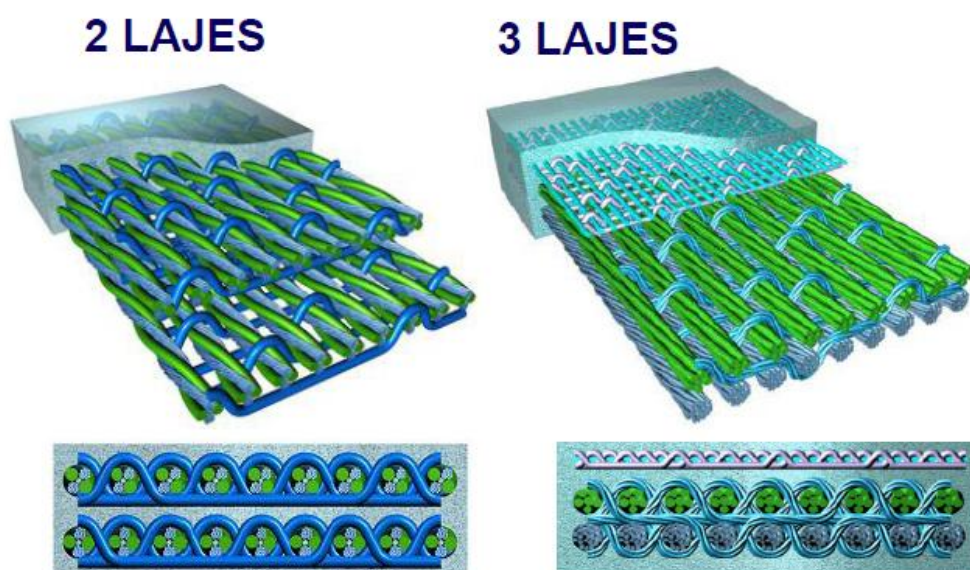


Figura 18.13 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

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 18.14) apresenta ainda a vantagem da uniformidade de distribuição de pressão, que traz como consequência, uma operação com perfil de umidade mais uniforme.

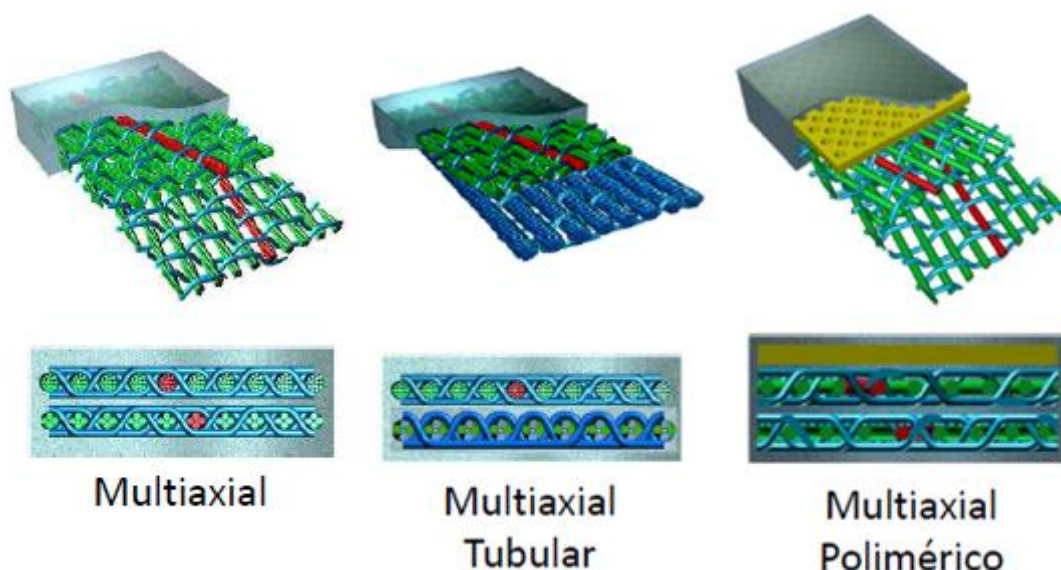


Figura 18.14 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

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 18.15). 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.

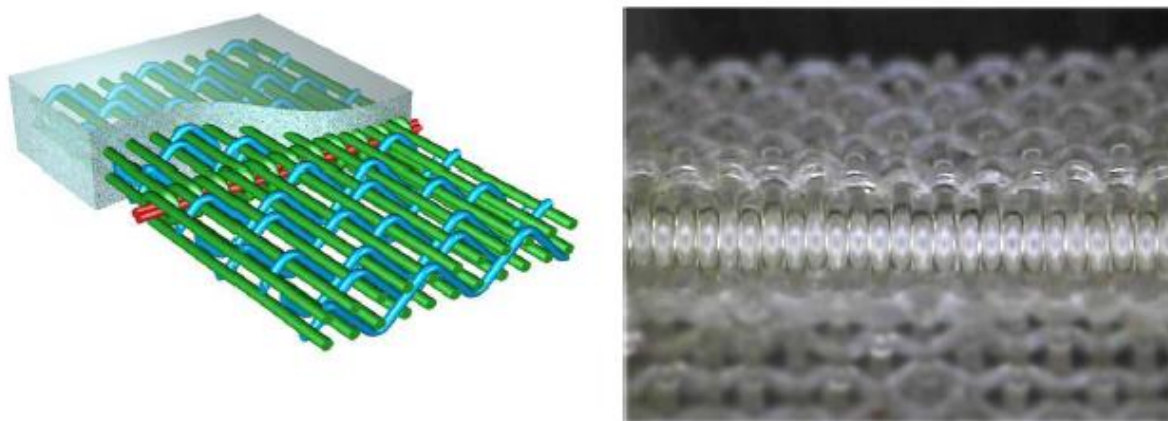


Figura 18.15 (FONTE: Evolução dos feltros “tissue” – Albany – ABTCP – 2011)

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.

18.5. VARIÁVEIS IMPORTANTES PARA A PRENSAGEM

A experiência prática e as teorias de pressão apresentadas tornam possível especificar um número de fatores que afetam a remoção da água na prensagem úmida. Esses fatores podem ser divididos em dois grupos:

- Aqueles ligados à geometria do “nip” de prensagem e o “lay-out” da prensa, inclusive revestimento dos rolos e propriedades dos feltros;
- Aqueles associados à composição e estados físicos da folha úmida.

Outra classificação com 10 fatores que influenciam na remoção de água é dividida em 3 partes:

- Os fatores relacionados ao feltro são três: propriedades do feltro, resistência do feltro à passagem do fluxo de água e umidade do feltro na entrada do “nip” (grau de saturação);
- Os correspondentes três fatores ligados ao papel são: as propriedades do papel, a resistência do papel à passagem do fluxo de água e teor seco na entrada do “nip”;

• Os três fatores ligados à prensa são: tipos de rolos, dureza do revestimento e a pressão linear da prensa.

O décimo fator representa as forças de drenagem que é o resultado da influência das anteriores. Existem outras listas mais elaboradas sobre fatores de influência da prensagem e suas interações. Na figura 18.16 é apresentado um trabalho realizado por **Bliesner** com a apresentação de 20 fatores e suas interações.



Figura 18.16 (FONTE: Apostila “Curso: prensagem úmida: teoria, tendências e operação” – ABTCP)

19. SECAGEM

19.1. TEORIA DA SECAGEM (PARA MULTICILINDROS)

19.1.1. Conteúdo de umidade da folha

O papel, no estado final e durante o processo de fabricação, contém água. A menos que a folha esteja em equilíbrio de umidade com o ambiente, ela terá que perder ou ganhar umidade; isto é, a folha de papel é higroscópica. Este equilíbrio, o qual é característica do tipo

de papel, ocorre sob condições normalmente encontradas a um conteúdo de umidade menor que 0,1 kg de água/kg de papel (10%).

A água pode estar presente na folha de papel em diversas formas. Pode estar entre as fibras, sobre a superfície das fibras ou nos vazios entre as malhas das fibras. O aumento do grau de refinação das fibras aumenta a dificuldade de secagem da folha, devido ao fato de que com a refinação rompem-se ligações entre as moléculas de celulose havendo novas ligações destas com as moléculas de água.

19.1.2. Ciclo completo de secagem

Na secagem multicilindros a folha é exposta à aplicação intermitente de calor e taxas variáveis de remoção de vapor. Vamos observar o efeito disto na figura 19.01, examinando um ciclo completo desde a chegada da folha a um cilindro superior até o cilindro inferior seguinte.

A secagem de folhas em cilindros aquecidos subdivide-se em quatro etapas. A primeira tem duração curta e compreende o período quando a folha entra em contato com o cilindro secador sem estar envolvido pela tela secadora. Devido à duração curta deste período, quase não há evaporação, ocorrendo apenas aquecimento. Na segunda etapa, a folha está entre a superfície quente do secador e a tela secadora; nesta etapa há um rápido aquecimento e o processo de vaporização se inicia. A folha se aquece, estabelecendo uma diferença de temperatura entre seus dois lados.

Na terceira etapa, a tela secadora deixa de envolver a folha e o vapor é liberado das superfícies recém expostas. A temperatura sofre uma queda e a velocidade de evaporação diminui. Na quarta e última etapa, a folha se destaca da superfície do secador e libera mais vapor da superfície recém exposta. Isto causa um rápido resfriamento e decréscimo brusco da evaporação. A quantidade de vapor produzido nesta região é uma função das condições do ar em movimento, especialmente nos bolsões formados entre os cilindros, a folha e a tela secadora.

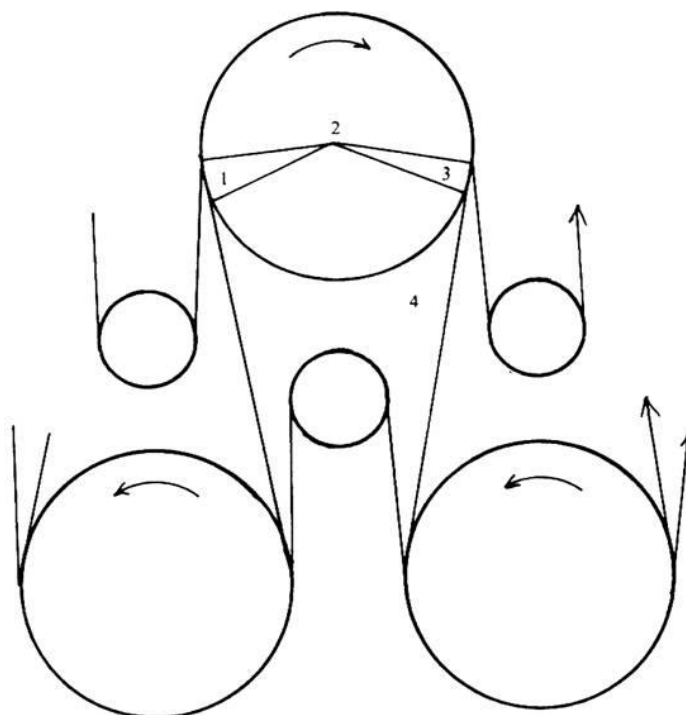


Figura 19.01 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

19.2. SECAGEM MULTICILINDROS

O processo de remoção de água da folha na seção de secagem é feito segundo uma função que depende da superfície efetiva de secagem e da massa de água evaporada. Neste processo, se define perfeitamente o espaço da seção de secagem (figura 19.02) no qual ocorre o aquecimento da folha úmida e onde começa a evaporação.

O gráfico da figura 19.03 nos permite visualizar o comportamento da folha no setor de secagem, onde temos as curvas de evaporação específica e teor seco ao longo da área de secagem, considerada como sendo a área de contato entre a folha e os cilindros secadores.

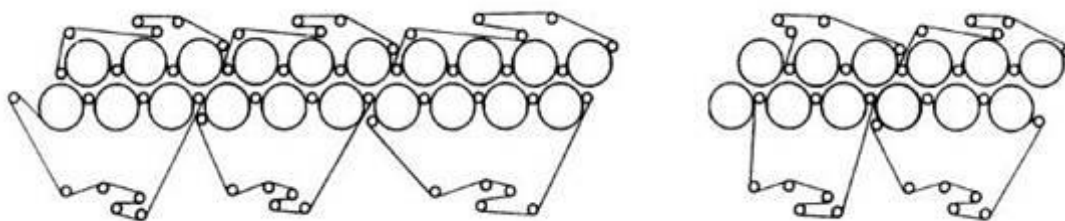


Figura 12.02 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

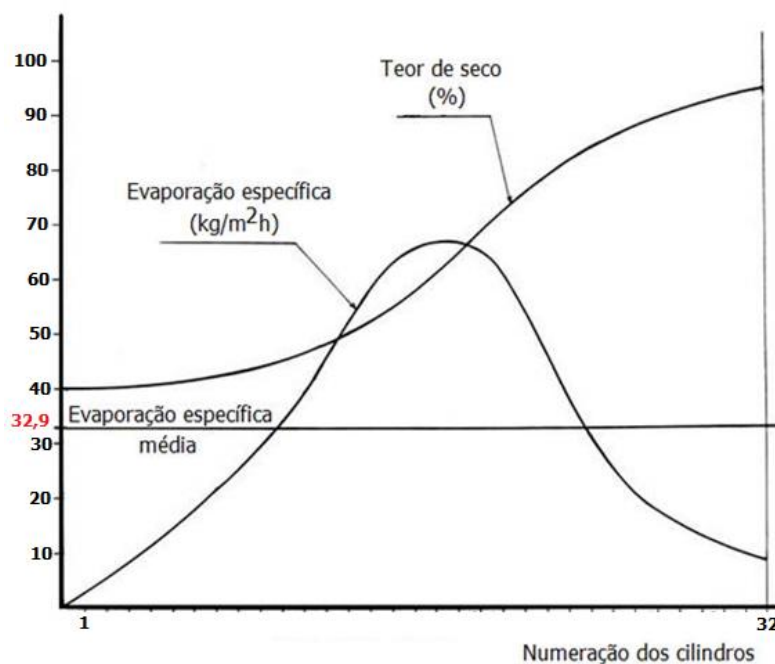


Figura 19.03 (Fonte: apostila Sistema de vapor e condensado – Voith)

Como podemos constatar no gráfico, os primeiros cilindros pouco evaporam, pois a massa que entra nesta região consome grande parte da energia para elevar sua temperatura, de maneira que apenas a massa de água superficial, que restou dos processos anteriores, atinge a temperatura de mudança de fase. A folha entra na secção secadora a uma temperatura mais baixa que aquela necessária para a evaporação e a fase inicial da secagem será então para elevar a massa envolvida até uma temperatura de evaporação. Esta tarefa fica normalmente a cargo dos primeiros cilindros (normalmente, de 1 a 4), cuja temperatura na superfície do secador é mantida razoavelmente baixa (em torno de 70 a 80 °C), inclusive para prevenir aderência e destacamento de fibras. Esta primeira etapa é normalmente definida como de aquecimento.

A maior evaporação específica está situada no centro da área de secagem, como podemos ver no gráfico entre 30 e 70% da área total de secagem, pois a massa de água atingiu a temperatura de mudança de fase e toda a energia fornecida pelo sistema é utilizada para este fim. Tão logo a folha de papel esteja aquecida, a temperatura dos cilindros é aumentada rapidamente, podendo chegar ao redor dos 180 °C para alguns papéis menos sensíveis. Ainda assim, a temperatura da folha não irá além da temperatura de evaporação, pois este efeito a esfria, não permitindo que iguale a temperatura do secador. Esta área é definida como zona de

temperatura constante ou zona de evaporação constante, pois a água da folha para evaporação se faz facilmente disponível.

A área seguinte é definida como zona de taxa de secagem decrescente. Nesta zona não há mais água livre. Alguns dos grandes poros já estarão vazios e a área efetiva para a transferência de massa é reduzida e continuará reduzindo-se. Os 30% restantes da área de secagem pouco evaporam, pois, nesta região estamos próximos ao limite do processo, onde para pequenos acréscimos no teor seco necessitamos elevado dispêndio de energia, pois a dificuldade de extrair a água fica ainda maior, uma vez que, o que resta de líquido está bem no centro do aglomerado que compõe a folha.

19.2.1. Transferência de calor

A energia necessária para a evaporação da água contida na folha é fornecida pelo vapor que se condensa no interior dos cilindros secadores, liberando-a para o sistema. A condensação ocorre à temperatura de saturação do vapor, exceto em raros casos, onde a condensação em gotas ocorre diretamente na superfície interna do cilindro, o vapor se condensa em forma de película ou camada de condensado. Entretanto, nem toda a energia liberada pelo vapor chega até a folha de papel, pois o fluxo de calor deve passar por camadas de materiais de diferentes condutividades térmicas. Vimos que a condutividade térmica é uma propriedade intrínseca de cada material e quanto maior a condutividade térmica, maior o fluxo de calor pelo material, entretanto, quanto maior a espessura do material, menor o fluxo de calor.

Na figura 19.04 é mostrado o fluxo de energia pelas diferentes camadas que compõem o sistema. A camisa de ferro fundido do cilindro oferece resistência à transmissão de calor e sua espessura está vinculada à resistência mecânica do equipamento, que é um vaso de pressão, e como tal, submetido a rígidas normas de segurança. Entretanto, os metais apresentam boa condutividade e, apesar de espesso, o rendimento da transmissão de calor não sofre grande redução neste estágio.

O ponto mais crítico, portanto, no fluxo de energia é a película de condensado que se forma no interior do cilindro pela condensação do vapor. Para melhor ilustrar este problema, basta que comparemos os valores dos coeficientes de condutividade do condensado e do ferro fundido, respectivamente, 0,67 W/mK e 59 W/mK, a grosso modo, podemos dizer que o condensado apresenta uma resistência a condução cerca de noventa vezes maior que o ferro

fundido, ou seja, para cada milímetro de película de condensado que permitimos que se forma no interior do cilindro, é como se a camisa do cilindro aumentasse em 90 mm sua espessura. Por isso, o controle da espessura da lâmina de condensado se constitui num fator importantíssimo de rendimento térmico do sistema.

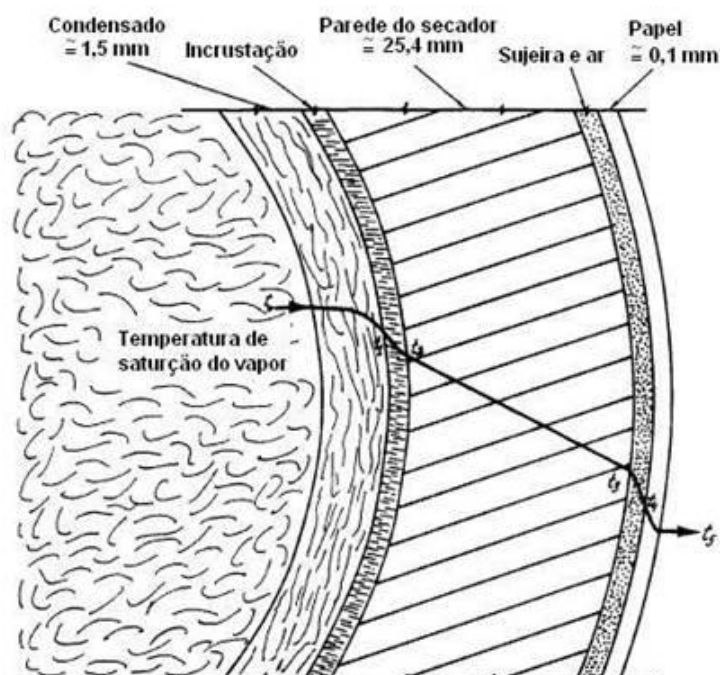


Figura 19.04 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

O controle da espessura da lâmina de condensado é feito pelo ajuste da distância da sapata do sifão à camisa do cilindro. Na tabela 19.01 aparecem as resistências individuais relacionadas a cada camada e as respectivas considerações feitas.

Resistências individuais	Considerações
O filme de condensado dentro do cilindro secador.	A resistência é baixa quando o cilindro está empossado, e é alta quando forma filme contínuo.
Depósitos de incrustações e ferrugem na superfície interna do cilindro secador.	Pode ser significativa.
Parede metálica do cilindro secador.	Geralmente é baixa, exceto no caso de parede espessa.
Depósito de incrustações e sujeiras na superfície externa do cilindro secador.	Representam uma fração elevada da Resistência global.
A camada de ar existente entre a superfície externa do cilindro e a folha.	
A folha de papel.	Depende do tipo, gramatura e umidade da folha.
O filme de ar existente entre a folha e a tela secadora.	É considerável, e depende da composição e estrutura da folha e da tensão da tela secadora.
A tela secadora.	É dependente da composição, estrutura, gramatura e umidade da tela secadora.

Tabela 19.01 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

Com o filme de condensado bastante reduzido e com o crescente aumento da velocidade das máquinas, deparamo-nos com a influência do coeficiente de película que explica porque a transmissão de calor é proporcional ao grau de agitação do líquido; isto ocorre de tal maneira que se a velocidade for muito alta há uma tendência das infinitas lâminas de condensado apresentar velocidades relativas entre si muito baixas, de modo que a eficiência térmica diminui sensivelmente.

É importante acrescentar que o calor é transferido de alguma fonte, tal como vapor para a folha, a fim de prover a energia necessária para evaporação. Como em outros fenômenos de fluxo (eletricidade, por exemplo), uma força motora ou potencia aplicada através de uma resistência, causa um fluxo. Neste caso, o potencial é a diferença de temperatura e o fluxo é o calor.

No processo de transferência de calor para a água na folha para causar a evaporação, o calor é também transferido ou perdido para a região circundante. A grandeza desta perda determina a eficiência da utilização do vapor. Obviamente, é desejável manter esta perda em um valor mínimo. Existem três meios básicos pelos quais pode ocorrer a transferência de calor: condução, convecção e radiação. A condução, que é o meio primário na secagem com cilindros, é a transferência de calor entre um corpo ou entre corpos em um contato direto quando não ocorrem movimentos significativos entre qualquer dos corpos. Ele é caracterizado por uma gradiente de temperatura em cada corpo através do qual o calor flui.

19.2.2. Transferência de massa

A figura 19.05 mostra um bolsão formado entre os elementos de secagem. Todos os elementos móveis carregam consigo uma camada de ar. As partículas de ar que estão em contato com as superfícies móveis passam à mesma velocidade da superfície, e outras, na medida em que dela se afastam, decrescem a sua velocidade.

Superfícies menos lisas, como a do feltro ou tela secadora, levam camadas mais espessas de ar, enquanto a superfície do cilindro secador arrasta menor quantidade de ar. A linha pontilhada indica as camadas de ar e as suas direções. Os pontos D e E assinalam fluxo divergente de ar com desenvolvimento de zonas de pressão negativa. Nos pontos F e C há fluxo convergente e a formação de uma zona de pressão positiva.

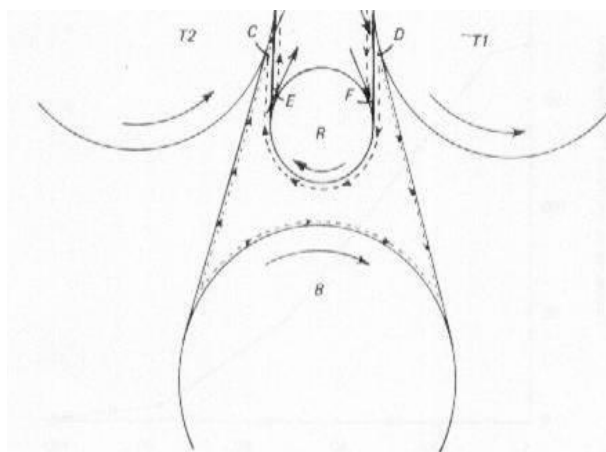


Figura 19.05 (Fonte: Tecnologia de fabricação de papel – SENAI / IPT)

Antes da introdução das telas secadoras, quando a seção de secagem é “vestida” com o feltro convencional, pesado e impermeável, as diferenças de pressão não são suficientemente grandes para induzir a passagem de ar através do feltro. Portanto, o ar confinado dentro do bolsão, em contato com superfícies úmidas, tende a atingir a saturação. Este ar saturado é continuamente levado para o ponto C, que, comprovado experimentalmente, é a região mais úmida do bolsão. A ventilação nos bolsões existentes entre os elementos de secagem era precária formando zonas de ar saturado de vapor de água, o que inibia a evaporação da umidade do papel.

Se na região de secagem usam-se tecidos de permeabilidade elevada, as diferenças de pressão, geradas pela movimentação dos componentes, são suficientemente grandes para fazer o ar atravessar a folha de papel e o tecido. Portanto, há maior ventilação e menor possibilidade de saturação do ar circundante.

A velocidade de remoção de água nas condições descritas é relativamente constante ao longo da secagem. Pode-se notar a baixa taxa de remoção de água no início e no fim do processo; o primeiro fenômeno explica-se com o período de aquecimento da folha, e o último, com a dificuldade crescente da água em se deslocar dentro da folha.

Para se conseguir a evaporação era necessário substituir o ar estagnado por outro mais quente e mais seco. Para isso, introduziram-se sistemas de ventilação de bolsões como o sistema de tubos que insuflam ar quente dentro dos bolsões, sistemas de rolos-guia de feltros que também insuflavam ar quente e o sistema Grevin que consiste em insufladores de ar colocados alternativamente nas partes frontais e traseiras da seção de secagem.

O sistema mais adequado no caso de telas secadoras é o sistema de barras de ventilação colocadas no lado externo dos bolsões (figura 19.06). O dispositivo insufla ar seco através da tela secadora, rompendo a cortina de ar úmido que acompanha os elementos móveis. O jato de ar quente é dirigido contra as paredes daqueles rolos situados na entrada das zonas de pressão, induzido pelo movimento dos elementos, retirando o ar saturado. A colocação das barras de ventilação visa dois objetivos: manter a tela uniformemente seca e quente, e promover ventilação nos bolsões, o que ajuda a controlar e corrigir o perfil transversal de umidade do papel.

As telas secadoras não são necessárias para as folhas suficientemente fortes para manterem-se suficientemente presas aos cilindros. O ciclo de secagem para tais secadores sem tela seria seriam uma só fase contínua, e a evaporação da superfície exposta não seria restringida pela presença da tela. Em adição, é possível melhorar a evaporação utilizando equipamentos auxiliares de aquecimento e/ou ventilação.

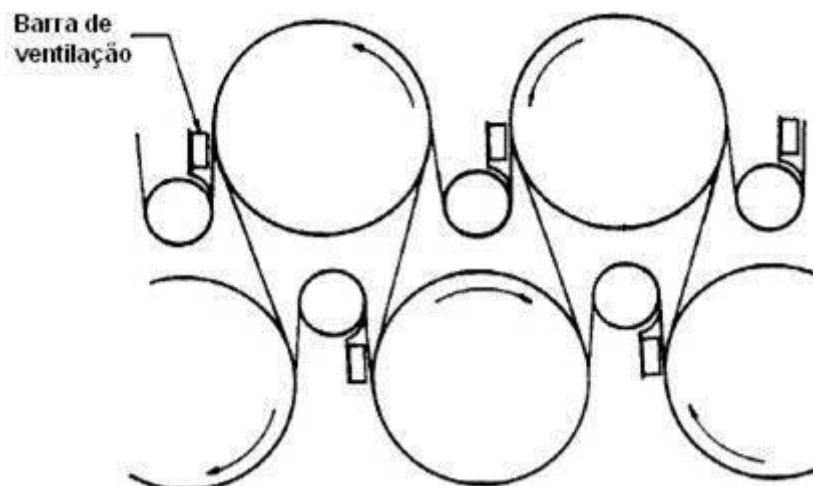


Figura 19.06 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

Quando os cilindros não têm telas por algum outro motivo, mas a folha não é suficientemente forte para envolver-se firmemente sobre o cilindro, tal como em alguns cilindros inferiores na bateria da parte úmida de máquinas de papel jornal, o mesmo ciclo pode ser constatado, mas em taxas grandemente reduzidas, devido à película muito grossa de ar-vapor entre a folha e a superfície do cilindro.

Quando o papel está úmido, grande parte dos capilares contém água em fase líquida, e há pouca resistência para a sua migração às regiões próximas à superfície aquecida do

secador, onde se deve ocupar o espaço deixado pelo líquido vaporizado. Se a região da superfície do secador continuar saturada, a velocidade de evaporação será mantida constante. Mas, quando a umidade atingir um determinado grau em que a água no estado líquido estiver confinada apenas nos capilares mais finos; é necessária energia adicional para vencer a maior tensão superficial.

Na secagem da folha, esta transferência é feita pela circulação de grandes volumes de ar, tanto no conjunto da máquina, quanto no prédio. A importância da ventilação está envolvida em primeiro lugar, a eficiência da operação de secagem, e em outros níveis de importância, evitar a condensação do evaporado nas superfícies metálicas, que possam vir a provocar corrosão, gotas d'água sobre a folha, além da evaporação de calor e a prevenção da hidrólise dos polímeros que compõem os tecidos das telas secadoras.

A parte de secagem das máquinas modernas está envolvida por uma coifa que controla o ar saturado de vapor de água. Conhecem-se dois sistemas de coifa: aberto e fechado. O sistema aberto consiste numa capota que cobre a máquina até a altura do eixo dos cilindros secadores superiores. Os painéis das capotas são feitos de alumínio apoiados numa estrutura de aço. Há nessas coifas sistemas de dutos para exaustão e ventilação. O fluxo de ar pode ser automaticamente regulado pela medição da umidade do ar exaurido.

No sistema fechado, a coifa cobre totalmente a máquina, inclusive o pavimento inferior, onde se abrigam os equipamentos auxiliares, que acondicionam a tela secadora. O ar que circula dentro da coifa pode ser controlado automaticamente, quanto à umidade, temperatura, taxa de recirculação e renovação. Para a renovação retira-se uma pequena quantidade de ar do ambiente, insuflando-a nos dispositivos de ventilação dos bolsões, para a secagem de telas e para formar cortinas de ar na parte inferior da coifa. Algumas vantagens do sistema fechado são: redução do consumo de vapor, redução dos volumes de ar envolvidos nas operações de alimentação e exaustão (pois, o confinamento de ar na capota o conserva mais quente e seco), maior uniformidade do perfil transversal de umidade da folha, melhoria da eficiência da máquina de papel e melhoria das condições de trabalho. Na figura 19.07 aparece uma coifa fechada para o controle de ventilação na secagem.

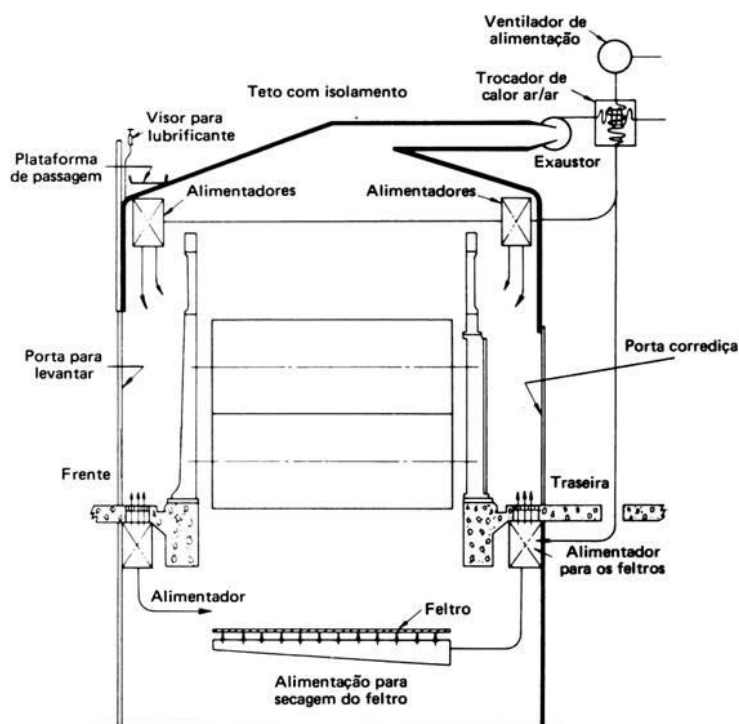


Figura 19.07 (FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba)

19.3. TELAS SECADORAS

19.3.1. Função da tela secadora

As funções da tela secadora numa seção de secagem poderiam resumir-se nos seguintes pontos:

- Aumentar a eficiência de secagem do papel através da maior tensão de trabalho, melhorando a área de contato entre cilindro e papel, e maior e mais livre passagem de vapor de água (evaporação);
- Suportar e guiar a folha de papel através dos cilindros secadores. Em alguns casos a tela deve acionar alguns cilindros secadores e, para isto, deve ser suficientemente resistente;
- Deve ser composta de filamentos resistentes à hidrólise (degradação da estrutura do filamento);
- Melhorar o acabamento do papel através de estilos mais sofisticados como a tela mais plana que, além de melhorar a área de contato, tem uma superfície mais suave;
- Melhorar o perfil de umidade da folha de papel, fato explicado acima e provado na prática com alguns estilos;
- Não deve marcar a folha de papel;

- Deve possuir uma permeabilidade e uma topografia adequada à posição de onde irá trabalhar na máquina de papel;
- Deve possuir estabilidade dimensional de maneira a controlar ou diminuir o encolhimento para cerca de 1%, no caso das telas secadoras que trabalham com altas temperaturas (9 kgf/cm² de pressão de vapor), podendo ser ainda menor com baixas temperaturas (4 kgf/cm² de pressão de vapor), pelo tipo de tecido ou por termofixação.

19.3.2. Tipos de telas secadoras

Houve muitas modificações nos projetos de telas secadoras nos últimos anos. O material sintético, tal como o poliéster, dominam o mercado quase que completamente. Diferentes construções foram desenvolvidas em função das variadas exigências dos papeleiros. Os quatro principais tipos de fios utilizados são:

- Monofilamento;
- Multifilamento revestido com teflon;
- Multifilamentos;
- Fios fiados tratados.

A estrutura básica para a maioria das telas usadas atualmente é a de duas lajes (figura 19.08B). Todavia, uma tela robusta de laje simples (figura 19.08A) está fazendo avanço em muitos tipos de aplicação.

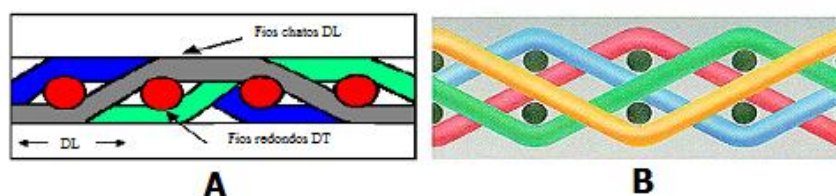


Figura 19.08 (FONTE: Apostila - Básico de Fabricação de Papel – ABTCP)

A maior parte das telas produzidas no Brasil é de duas lajes. A permeabilidade varia entre 75 e 750 CFM. Um fio fiado é inserido no centro das telas no sentido transversal, para alterar a permeabilidade. Quanto maior este fio, menor a permeabilidade. A área de contato desta construção é de 10 % aproximadamente.

19.4. SISTEMAS DE VAPOR E CONDENSADO

19.4.1. Introdução

A energia necessária para a evaporação da água contida na folha é fornecida pelo vapor, que quando libera energia no interior do secador se condensa. Os sifões constituem um ponto de extrema sensibilidade no sistema de vapor e condensado, e de grande importância na eficiência do desaguamento dos cilindros secadores. A formação do lago de condensado (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 19.09.

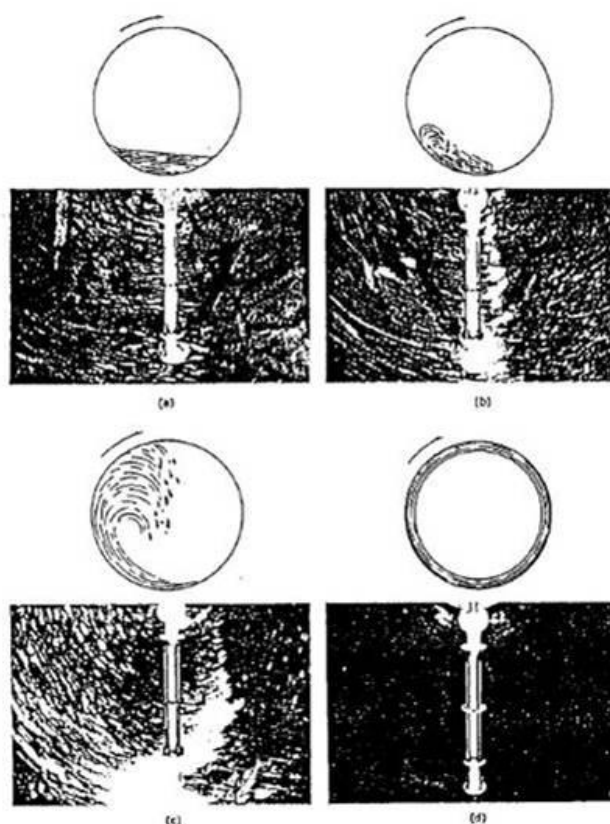


Figura 19.09 (FONTE: Apostila “O processo de produção de papéis” – ABTCP/UFV)

19.4.2. Sifões

Existem basicamente dois tipos de sifões empregados atualmente, o rotativo e o estacionário. Ambos os sifões operam pelo mesmo 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. 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 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 seria muito 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.

A diferença entre os dois tipos de sifões está na fixação dos mesmos nos cilindros secadores (Figura 19.10). O sifão rotativo é fixado à camisa do cilindro por um sistema de pernas espaçadas a 120 graus, que garante a estabilidade do conjunto e mantém constante a distância entre a sapata e a camisa do cilindro. Observar que esta distância estabelece a espessura da película de condensado que se formará no interior do cilindro.

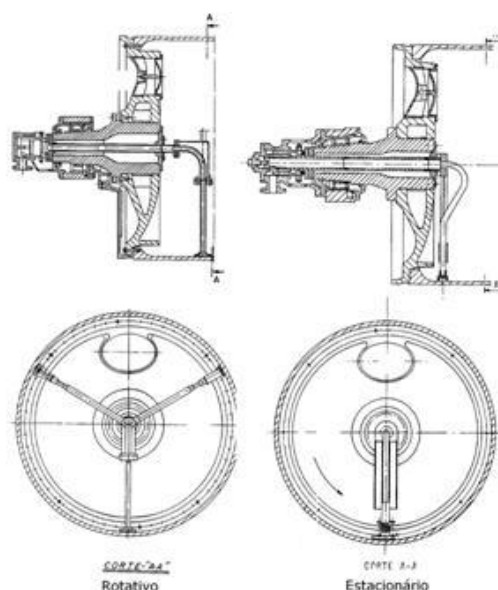


Figura 19.10 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

O sifão estacionário é fixado à carcaça da união rotativa e fica em balanço na parte interior do cilindro. Este tipo de construção requer um sifão mais reforçado, pois o mesmo está sujeito a dilatações e esforços da película de condensado que podem desajustá-lo durante a operação.

19.4.3. Barras de turbulência

São barras chatas colocadas contra a superfície interna dos cilindros secadores, com distâncias reguladas, suportadas por anéis metálicos providos de molas que as mantêm firmemente encostadas (figura 19.11). Estas barras são conhecidas também como “Spoiler Bars” (Beloit/GL&V) ou “termoanéis” (Voith). O objetivo destas barras é quebrar o filme de condensado, possibilitando economia de vapor ou aumento de produção na faixa de 10 a 15%.

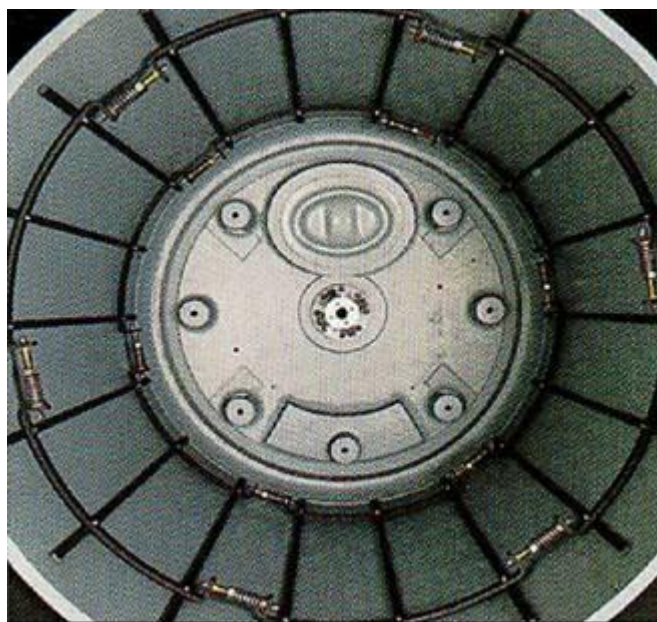


Figura 19.11 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

19.4.4. Tipos de sistemas de vapor e condensado

Basicamente existem dois tipos de sistemas de vapor e condensado, o sistema cascata e o termocompressor.

O sistema cascata é composto por grupos de cilindros que operam a pressões diferentes, sendo que o grupo de maior pressão deságua em um separador de condensado e o vapor de arraste obtido no separador é reaproveitado no grupo imediatamente anterior, de pressão inferior e assim sucessivamente, até o grupo que trabalha com a menor pressão do sistema.

Este tipo de sistema gera uma interdependência entre os grupos de vapor em função do diferencial para drenagem, ou seja, a pressão máxima do grupo anterior é a pressão do grupo posterior menos o diferencial para drenagem deste grupo. Para uma melhor ilustração, a Figura 19.12 apresenta um esquema básico do sistema tipo cascata.

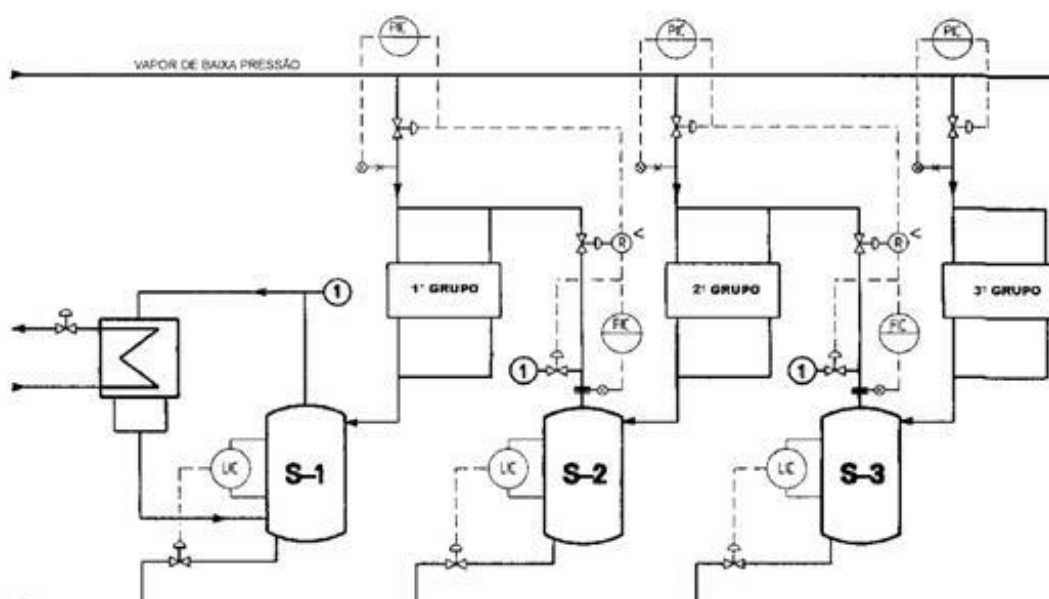


Figura 19.12 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

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” que é produzido, e pressurizá-lo novamente. O termocompressor 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 termocompressor é composto por subsistemas independentes, onde o vapor de arraste obtido no separador é reaproveitado no próprio grupo por meio do termocompressor. A função do termocompressor é aumentar a pressão do vapor de arraste, já utilizado no grupo de cilindros, por intermédio de vapor de alta pressão (vapor motriz). O princípio de funcionamento do termocompressor se baseia no “Venturi”, onde o vapor de arraste é succionado por uma zona de baixa pressão gerada pela injeção do vapor motriz no termocompressor. No difusor do termocompressor, 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 19.13 apresenta um corte esquemático de um termocompressor:

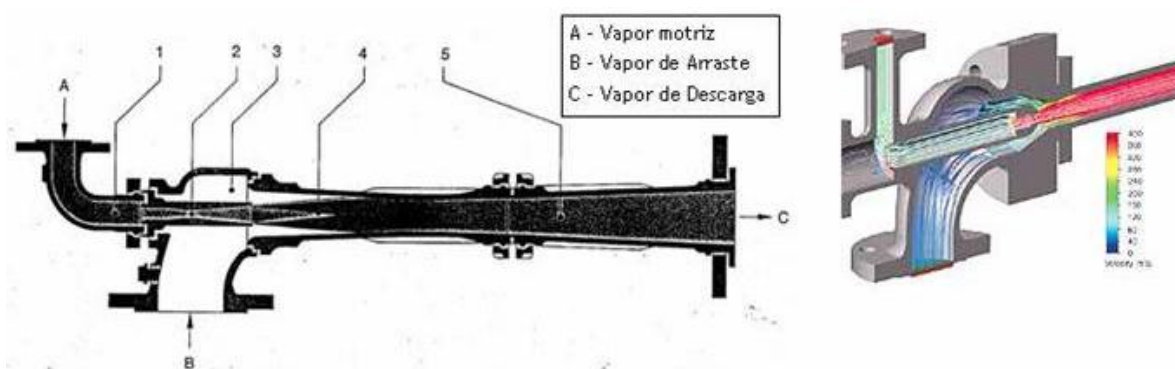


Figura 19.13 (FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP)

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. Para uma melhor ilustração, a figura 19.14 apresenta um esquema básico do sistema tipo termocompressor.

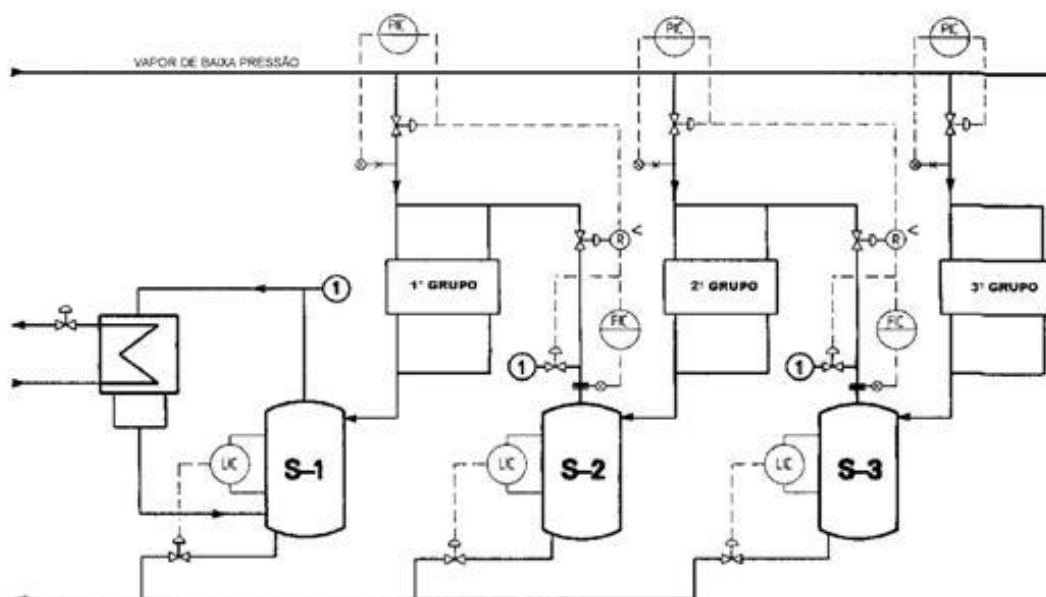


Figura 19.14 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

19.5. SISTEMA “SINGLE TIER”

Este sistema é uma tendência para máquinas de alta velocidade. Ao invés de duas fileiras de secadores (superior e inferior), é utilizado um rolo com vácuo na parte inferior. Na figura 19.15 aparece os dois conceitos de secagem, um mais antigo (“double tier”) e um mais moderno (“single tier”).

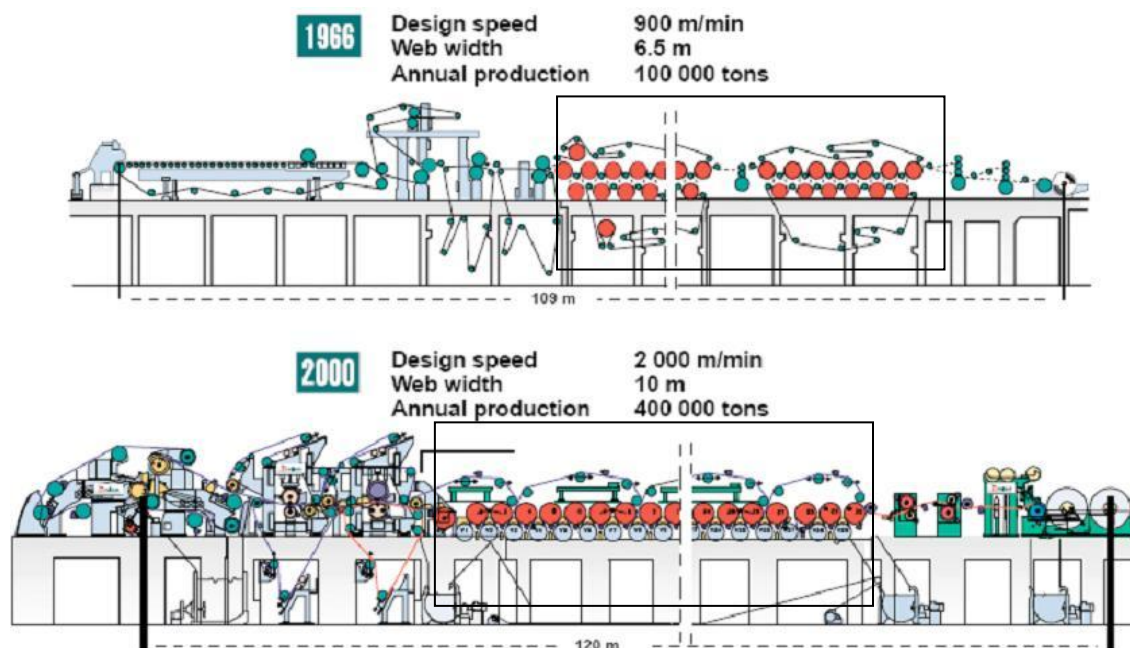
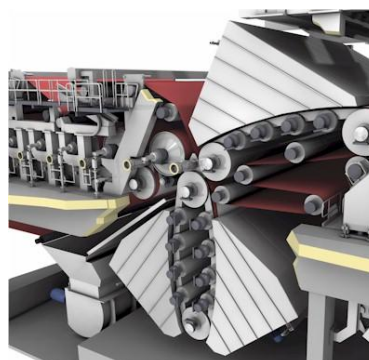


Figura 19.15

Além dos sistemas citados acima ainda existem outros tais como secagem por radio frequência e por micro ondas.

Além do sistema citado acima ainda existem outros tais como secagem por radio frequência e por micro ondas, por exemplo. Atualmente, há uma tendência de desenvolver sistemas como o OptiDry Twin KUYA da Metso (figura 17.24)

Figura 17.24 (FONTE: www.metso.com)

20. COLAGEM SUPERFICIAL

Chama-se colagem superficial a aplicação de produtos químicos tais como amido, colas de dextrina, parafina, álcool polivinílico etc., sobre a superfície do papel já formado e parcialmente seco. Após esta aplicação, com a prensagem (“size press”) da folha a temperaturas adequadas, obtém-se um revestimento que proporciona uma redução nos diâmetros dos poros (espaço entre as fibras) preenchendo estes espaços na folha, dificultando assim a penetração de líquidos, gases ou vapores por esses poros. A colagem superficial é

aplicada à folha de papel ou papelão quando ela possui umidade entre 4 e 12%, motivo pelo qual o equipamento é colocado entre grupos de secadores.

Os fabricantes de papéis a base de aparas, tais como os fabricantes de papéis como “testliner” têm sido por tradição e por razões de custo, aqueles que mais fazem uso da colagem superficial. Se o tipo de pasta é difícil de promover a colagem interna em meio ácido ou neutro, em circuitos cada vez mais fechados e com baixos níveis de retenção, não é difícil averiguar porque a colagem superficial é imprescindível para se conseguir os objetivos técnicos e econômicos nestes tipos de papéis.

20.1. “SIZE-PRESS”

A “size press” (figura 20.01) é o equipamento mais difundido para o tratamento de superfícies. Os dois tipos principais de equipamentos são: a prensa vertical e a prensa horizontal. As principais possibilidades de tratamentos superficiais em “size press” são: colagem superficial, impregnação, pré-revestimento, coloração e revestimento.

Existe diversas possibilidades quanto à composição dos banhos da “size press”. O aditivo mais utilizado universalmente é o amido. Cerca de 85% do amido consumido na indústria papelreira é utilizado em aplicações superficiais. Em combinação com o amido, pode-se utilizar um número enorme de auxiliares tais como: alvejantes ópticos, agentes sintéticos de colagem, corantes, pigmentos etc.

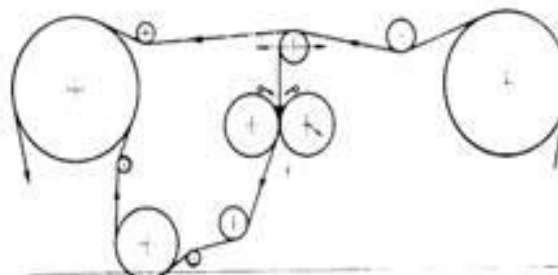


Figura 20.01 (FONTE: <http://www.ihobe.es>)

20.2. “SPEED-SIZER”

O “speed sizer” (Voith) (figura 20.02) é um equipamento de colagem que tem conquistado uma firme posição na fabricação de papel, sobretudo quando se deseja, além das características de resistência, características também de superfície e efetuar o tratamento superficial sob altas velocidades.

Observa-se que quanto ao “runnability” e às necessidades de secagem, o “speedsizer” supera o “size press” convencional e ainda amplia de forma realmente decisiva o campo de utilização de prensas de colagem convencionais.

Esse equipamento baseia-se em dois sistemas de aplicação especiais que depositam a cola, previamente dosada sobre rolos.

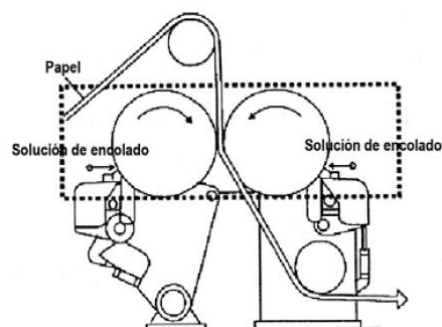


Figura 20.02

(FONTE: <http://www.ihobe.es>)

Ela é transferida ao papel sem a formação de poça no “nip” de prensagem entre os rolos.

21. CALANDRAGEM

21.1. INTRODUÇÃO

Trata-se de um equipamento da máquina de papel, que é constituído por um conjunto de rolos metálicos, montados uns sobre os outros num cavalete que os sustenta. Consta também, com um dispositivo que permite controlar a pressão de encosto entre os rolos, de forma independente para o lado do acionamento (LA) e o lado do comando (LC), além do centro, através do dispositivo de abaulamento.

Com relação a sua localização na máquina de papel, ela é dependente do tipo de calandra com que determinada máquina de papel é equipada, já que existem vários tipos de calandra. De modo geral, o rolo inferior é chamado “rolo-rei” (“king-roll”), sendo o de maior diâmetro e o elemento acionador do conjunto, além de contar com abaulamento fixo ou ajustável. O rolo imediatamente acima do “rolo-rei” é o “rolo-rainha” e, o superior é o “rolo-copa”, os demais são rolos intermediários.

A função da calandra é basicamente intensificar as características de lisura e brilho do papel que será fabricado. Estes efeitos são conseguidos reorientando-se as fibras superficiais, ou o recobrimento aplicado à superfície do papel, por meio de pressão e fricção entre os rolos de grande dureza e lisura superficial (polidez), com a intenção que a fibra adquira a aparência de lisura dos rolos da calandra. Grosso modo pode-se dizer que a calandragem do papel tem a mesma função que o ferro elétrico tem sobre as roupas (tecidos). A seguir, mostraremos vários tipos de calandras.

21.2. CALANDRA ALISADORA (PRENSA “OFFSET”)

Localizada logo após as prensas úmidas e antes do 1º secador, agem sobre a folha úmida (teor seco de 35 a 50%) não tendo a função de retirar água, e sim alisar a folha que acabou de ter contato com telas e feltros, apresentando por isto, superfície áspera.

Esta calandra, normalmente, é constituída por dois rolos sobrepostos, que podem ser de granito, aço ou borracha dura em seus revestimentos.

Este tipo de calandra visa a uniformização da espessura da folha, aumentando a densidade, além de melhorar as ligações entre fibras.

21.3. CALANDRA IGUALADORA

Esta calandra situa-se dentro da seção de secagem, num ponto onde a folha se encontra com um teor seco entre 60 a 70%, utilizando-se 2 ou 3 rolos metálicos bem polidos, tendo a função semelhante à calandra alisadora (“prensa offset”).

21.4. CALANDRA DA MÁQUINA

Localiza-se entre a última bateria de secagem e a enroladeira, quando a folha já atingiu seu nível final de umidade, que seria a um teor seco por volta de 92 a 95%, sendo que quanto maior for a umidade, melhor será a calandragem, pelo fato das fibras encontrarem-se num estado mais plástico.

Normalmente, as calandras são constituídas por dois, quatro, seis ou mais rolos, de ferro fundido coquilhado (endurecido), sendo a quantidade de rolos empregados, em função do grau de lisura requerido ou, dificuldade de lisura do papel fabricado por determinado tipo de máquina ou massa (celulose) utilizada.

A calandra normalmente é montada com rolos posicionados de forma sobreposta, sendo que em calandras com mais de dois rolos, a pressão nos “nips” é aumentada progressivamente.

Com relação ao papel calandrado, ele expande nas direções longitudinais e transversais, resultando em maior área, principalmente, na transversal. Com relação à calandra, ela é o último meio mecânico da máquina de papel de corrigirem-se uniformemente as propriedades superficiais do papel e cartolina. A figura 21.01 mostra uma calandra com apenas um “nip”, comumente usada.

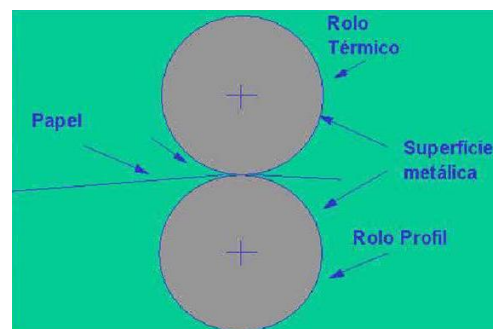


Figura 21.01 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

21.5. SUPERCALANDRA

Trata-se de um equipamento fora da máquina de papel, podendo-se encontrar supercalandras com três até vinte rolos, os quais são montados verticalmente e alternados entre rolos de metal polido (aço) e rolos revestidos com fibras sintéticas (algodão, lã, etc.).

A função da supercalandra é a de conferir ao papel um grau e acabamento superficial muito superior aos conseguidos com as calandras, sendo que a face do papel que necessita melhor acabamento deve fazer contato com os rolos metálicos.

O uso da supercalandra se faz necessário, sobretudo para papéis revestidos com tinta “couché”, sendo que com o intuito de melhorar o brilho do papel, algumas supercalandras são dotadas de sistemas de vaporização úmida ao papel, antes da entrada no 1º “nip”. Com relação à pressão linear entre os “nips”, ela não deverá ser excessiva, pois, pressões elevadas acarretam perda de alvura e opacidade. A figura 21.02 mostra um exemplo de supercalandra.

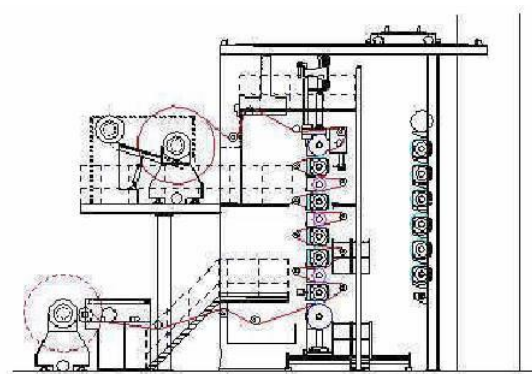


Figura 21.02 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

21.6. “SOFT” CALANDRA “ON MACHINE”

A “soft” calandra (figura 21.03) ao contrário da calandra de “nip” duro ou de uma calandra de máquina é projetada para o acabamento superficial, e não para corrigi-lo. Proporciona bons valores de lisura, brilho, densidade etc. que são necessários para uma boa impressão e imagem produzida por tinta gráfica.

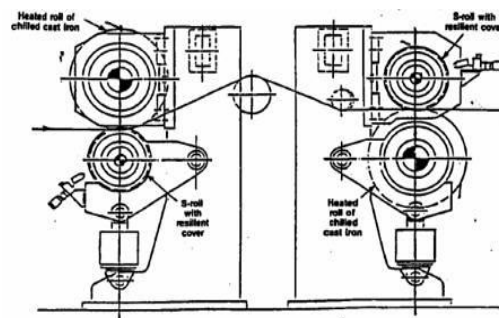


Figura 21.03 (Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Geralmente, numa calandra de máquina o “nip” é formado pelo rolo de ferro coquilhado e com um rolo de ferro coquilhado de abaulamento variável. Com rolos numa posição fechada e sob carga externa vinda de cilindros hidráulicos ou foles pneumáticos, o comprimento do “nip” é pequeno devido ao efeito mecânico do contato de rolo de ferro sobre o rolo de ferro. O resultado deste “nip” pequeno “estrito” é uma distribuição de pressão localizada nos pontos altos da folha e conseqüente compressão da folha tornando-a com espessura uniforme. O papel que passou pela calandra terá uma densidade maior e aumento de lisura.

Numa calandra “soft”, o “nip” é formado, ao unir o rolo de ferro coquilhado aquecido com temperatura de 60 à 200 °C, com o rolo de revestimento “soft”, tipo polímeros (poliéster). O rolo soft é projetado com sistema hidráulico de precisão, que ajuda o abaulamento (“swimming”), de acordo com a pressão de trabalho, mantendo o “nip” uniforme. O revestimento “soft” combina boa estabilidade com materiais menos duros. O material menos duro (80 a 96 Shore D) possibilita um efeito do “nip” menos agressivo, devido à maior área de contato ativa criada sob carga (aumenta o tempo de residência da folha no “nip”). O revestimento “soft” deforma-se ligeiramente quando pressionado. Com isto, o papel calandrado recebe uma pressão menos intensa e, conseqüentemente, produz papel com mais “bulk” e acabamento superficial mais uniforme.

No caso de papéis especiais (“couché-L1”), devido ao tempo de residência da folha no “nip” ser maior, também com pressão e temperatura, a calandra molda o revestimento superficial sobre o rolo de aço. Entra-se na calandra, com papel em alta temperatura (aproximadamente, 70 °C), isto facilita o trabalho de calandragem. A unidade hidráulica

proporciona fluxo e pressão de óleo totalmente controlado, para os cilindros de carregamento da calandra através da tubulação hidráulica.

Os cilindros de carregamento proporcionam a força mecânica requerida para elevar o rolo de baixo até a posição fechada (formando o “nip”) e também para aplicar a força necessária à carga de “nip”. As pressões dos cilindros são ajustáveis (individualmente) em caso de correções menores nas bordas da folha quando forem necessárias.

22. ENROLADEIRA

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.

O enrolamento tem por função a formação de rolos Jumbo, os quais, posteriormente, seguem para as seções de acabamento. A uniformidade e a dureza do papel são fatores decisivos para o bom andamento da seção de acabamento, principalmente nas rebobinadeiras.

22.1. ELEMENTOS DA ENROLADEIRA E SEUS PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

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 estanga fixa, 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 são complicados, 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). Podemos citar como exemplos os papéis autocopiativos, papéis especiais calandrados, etc.

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” (figura 19.01) ou de superfície. São compostas de um cilindro de ferro fundido, parecido com um cilindro secador, cujo eixo é oco, e de um par de braços móveis, nos quais se apóia a estanga principal onde será enrolado o papel.

Durante o enrolamento, o papel sofre um resfriamento, sob ação de água e ar, ou apenas com água, ou apenas com ar, injetado no interior do rolo da enroladeira (eixo oco). Esse processo é necessário, porque contribui para evitar absorção de umidade e ondulações nas fases finais do acabamento e na armazenagem.

Em cima do cilindro está colocado uma estanga auxiliar, apoiada em braços móveis, e a folha passa entre os dois antes de ser enrolada na estanga principal. O enrolamento se faz forçando o canudo contra o cilindro acionador.

Quando a bobina atinge seu diâmetro máximo, rasga-se a folha por meio de ar comprimido, obrigando-a a enrolar-se sobre o canudo auxiliar, sem que haja interferência com a bobina já pronta. Em seguida, é retirada com o auxílio de ponte rolante e o canudo auxiliar é colocado em seu lugar.

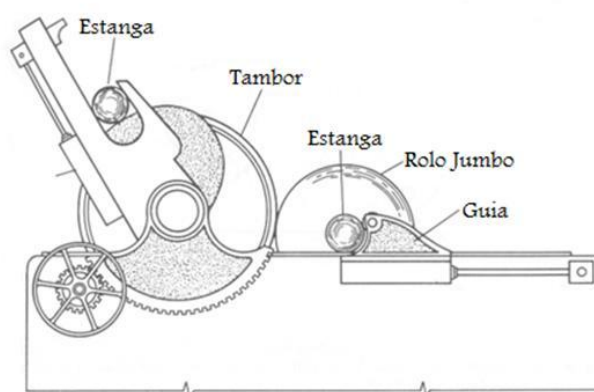


Figura 21.01 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

O tipo de enroladeira está muito ligada ao produto final fabricado. Quanto maior a qualidade final do papel, melhor tem que ser os controles da enroladeira.

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.

23. REBOBINADEIRA DUPLICADORA

Sistema que consiste em desenrolar múltiplas bobinas e rebobiná-las para a forma ao de bobinas de folha dupla (figura 23.01).

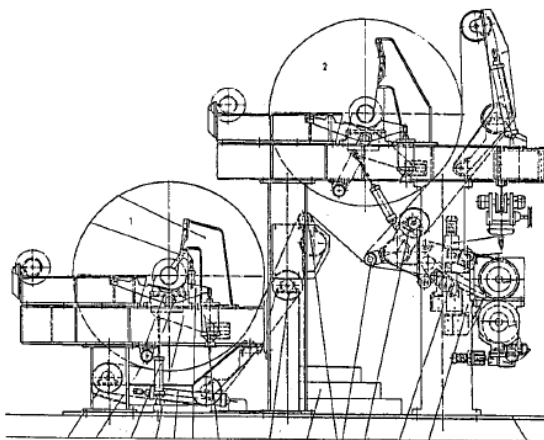


Figura 23.01 (FONTE: Básico de Fabricação de Papel – Apostila ABTCP)

24. PRODUTOS QUÍMICOS USADOS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

Os produtos químicos (“chemicals”) também são chamados muitas vezes de aditivos químicos. Estes aditivos estão divididos em aditivos funcionais e auxiliares. Os aditivos funcionais são aqueles que agregam ou modificam alguma propriedade do papel, enquanto os aditivos auxiliares são importantes para o bom desempenho do processo de fabricação de papel. São aditivos funcionais os seguintes:

24.1. CARGAS MINERAIS

A incorporação de materiais minerais de baixa granulometria à massa fibrosa, antes da formação da folha, é extremamente antiga, tendo sido praticado desde os primórdios da fabricação do papel. No princípio não se via a adição de cargas à massa como benéfica e alguns papéis, que tinham quantidade apreciável de carga, eram considerados adulterados. Mais tarde, com a expansão do uso do papel e o conseqüente aparecimento de vários novos requisitos, as cargas passaram a ser consideradas como parte integrante e, em alguns casos, imprescindíveis ao processo. Dentre as mais usadas podemos destacar: caulim, dióxido de titânio, carbonato de cálcio, talco etc.

O termo carga é utilizado devido ao peso das fibras que formam o papel, modificado pela adição de 5 a 40% de material inorgânico de maior peso específico e como redução desse mesmo percentual de fibras. O termo enchimento é usado quando o material preenche os espaços vazios do material fibroso.

A adição de cargas é necessária em papéis de impressão, onde têm como finalidade básica proporcionar maior uniformidade à superfície do papel e melhorar as características tais como alvura, opacidade e lisura e, ainda, melhorar a imprimibilidade do papel formado, pois, em um papel com carga inorgânica, a calandragem produz melhores resultados, aprimorando as condições de uma boa impressão.

Para que um material seja usado como carga, alguns requisitos devem ser obedecidos: deve ter alvura e opacidade compatível com o tipo de papel a ser fabricado, alto índice de refração, ser livre de impurezas, além de ser quimicamente inerte para que não promova reações desfavoráveis com outros materiais usados na fabricação do papel ou nas operações posteriores de conversão e impressão. Além destes requisitos, outros também são normalmente avaliados: composição e propriedades químicas, geometria da partícula, densidade, caráter abrasivo e reologia de dispersões.

De maneira geral as cargas tendem a aumentar a gramatura do papel em proporção maior que o aumento da densidade. Problemas como formação de poeira pelo excesso de pigmento e, ainda, perda da resistência mecânica pela substituição das fibras por pigmento, merecem maior atenção. Desta forma, a escolha do pigmento a ser utilizado depende de suas características e da viabilidade de produção do papel desejado.

24.1.1. Caulim

O caulim é composto principalmente pelo mineral “caulinita”, um tipo de silicato de alumínio, ocorrendo em diversos depósitos naturais do nosso planeta, que teoricamente contém 39,5% de Al_2O_3 , 46,5% de SiO_2 e 14% de H_2O . Os caulins podem, dependendo de sua origem, variar quanto a sua composição, teor de impurezas coloridas, quartzo, mica ou outros minerais que alteram a brancura e a viscosidade do produto final, além de aumentar a abrasividade do produto.

O caulim a carga bastante empregada na indústria papeleira, tendo como principais efeitos: aumento de lisura, do lustro, da printabilidade, da opacidade e redução das resistências. Os papéis que utilizam caulim como carga são os de impressão e escrita de forma geral. Alguns tipos de caulim são utilizados em receitas de revestimento (“coating”) de papéis.

O caulim bruto pode ser purificado por meio de flotação a ar seco, resultando em material com alvura de 79 a 81°GE e com 50 a 68% de partículas. O tamanho médio das

partículas de revestimento é geralmente de 0,5 a 1 micra, sendo que 70 a 95% é inferior a 2 micras. Os caulins calcinados alcançam alvura elevada, obtidos pela calcinação a 980°C, após o que se desprendem da água quimicamente combinada. As limitações de uso dos caulins estão associadas à sua excessiva abrasividade. O peso específico do caulim é 2,65 e o índice de refração é 1,56. A energia superficial é elevada, portanto, fortemente hidrofílico. A superfície específica encontra-se entre 8 a 15 m²/g nos caulins muito finos, quando as propriedades ópticas melhoram, no entanto, exigem maior quantidade de ligante.

Ainda assim o caulim é um dos pigmentos mais utilizados na indústria papelreira, pois, possui boas características, além de baixo custo de aquisição.

24.1.2. Carbonato de cálcio

O carbonato de cálcio é um produto de alta alvura e de custo elevado, sendo usado em papéis fabricados em meio alcalino, pois em meio ácido o carbonato se decompõe, formando gás carbônico.

Como o caulim, o carbonato de cálcio é a partícula mineral bastante utilizada como carga na fabricação de papel, pois aprimoram as características finais de alvura, opacidade e receptividade à tinta, sendo um pigmento bastante reativo, deve ser usado com algum cuidado. O carbonato de cálcio pode ser obtido diretamente do calcário (GCC), através de processos mecânicos, ou por precipitação (PCC), mediante reações químicas a partir de diversas matérias primas.

Este pigmento é pouco solúvel em água e caracteriza-se por tamponar o meio em pH alcalino. É prontamente solúvel em solução de sulfato de alumínio, não devendo, portanto, em sistemas de colagem com breu/sulfato de alumínio, ser adicionado, a menos que seja feito um pré-tratamento, a fim de proteger o carbonato do ataque pelo sulfato.

O carbonato de origem natural (GCC) é mais barato, é utilizado para baixar custos, mas apresenta partículas grandes e é extremamente abrasivo. O carbonato de cálcio produzido quimicamente (PCC), na forma precipitada, já não apresenta problemas de abrasividade, porém, o alto custo impede seu uso em larga escala.

As características influenciadas pelo carbonato são: redução de brilho, aumento de porosidade, maior absorção de óleos e tintas. O uso desse mineral na fabricação de papel, além de proporcionar uma excelente alvura, também confere boas características de impressão.

Como o pH do sedimento apresenta-se na faixa alcalina, a reciclagem desse tipo de papel é problemática nos sistemas ácidos comumente encontrados nas máquinas de papel. O desenvolvimento da colagem neutra e/ou alcalina está eliminando este problema.

24.1.3. Dióxido de titânio

O dióxido de titânio apresenta partículas pequenas e fornece o maior índice de refração, conferindo alta opacidade ao papel. O custo elevado faz com que o dióxido de titânio tenha uso limitado, sendo empregado em papéis de alta qualidade, onde se requer pequena quantidade de carga para se obter a opacidade necessária, com pouca redução de resistência da folha.

O dióxido de titânio é um produto obtido pela purificação química a partir dos seus minerais, na forma de rutílio (apenas no Brasil se admite rutílio) e anatásio. É insolúvel em água e inerte em produtos químicos comumente usados na fabricação de papel. Possui a desvantagem de apresentar alto custo. Pode ser encontrado em abundância na natureza e em qualquer parte do mundo. É um mineral negro de ilmenita (titanato de ferro) que reage com ácido sulfúrico e cloração em fase gasosa, seguido da separação do ferro. A solução clarificada se concentra até formar um núcleo.

Esse tratamento mais a temperatura de calcinação determinam que se forme o rutílio. Pela difícil dispersão desse pigmento, que causa perdas no processo com prejuízos econômicos, o mineral passa por várias etapas de dispersão em diversos tipos de moinho até apresentar forma ideal.

O alto índice de refração e o minúsculo tamanho da partícula contemplam a opacidade como a propriedade mais alterada no papel por esse pigmento. A alvura também é melhorada, dispensando-se o uso de alvejantes ópticos. O poder de cobertura é o mais elevado dentre todos os pigmentos usados para “coating”, e sua grande desvantagem, concentra-se no custo elevado. Há desenvolvimentos recentes na procura de uma alternativa mais viável para o dióxido de alumínio hidratado, hidróxido de alumínio e o silicato de alumínio sinteticamente preparado.

24.2. AGENTES DE COLAGEM INTERNA

A colagem, na indústria de papel é o procedimento que, com o auxílio de aditivos químicos, fornece-se às fibras e/ou ao papel formado, a resistência necessária para evitar ou reduzir a umectação ou a penetração de líquidos (água, tinta, etc.) e seus vapores.

A colagem poder ser efetuada por:

- Colagem interna ou na massa, quando o agente colante é adicionado antes da formação da folha;
- Colagem superficial, quando o produto é aplicado na superfície da folha já praticamente pronta (ver capítulo 20).

A colagem interna controla a penetração do líquido em toda a espessura, enquanto a colagem superficial tem objetivos mais específicos, e sua ação se limita às camadas mais ou menos superficiais. Quase sempre os papéis tratados em sua superfície já receberam colagem parcial na massa. A colagem na massa, por sua vez, pode ser ácida ou alcalina.

A colagem interna é também conhecida como colagem úmida por ser processada durante a preparação de massa. Ao se incorporarem agentes de colagem, tais como resinatos de breu, emulsões de ceras e caseína, dímeros de alquilceteno etc., a colagem será mais profunda, pois desenvolve a resistência à penetração de líquidos em toda a estrutura fibrosa do papel; enquanto que com a colagem superficial, esse efeito fica restrito à camada externa da folha.

A colagem interna, além de promover a impermeabilidade em toda a estrutura fibrosa, proporciona melhor retenção das cargas, fibras e outros materiais adicionados durante a preparação da massa, bem como, daí maior solidez e estabilidade à folha formada.

Existem basicamente dois tipos de colagem interna: a colagem ácida (atração eletrostática) e a colagem alcalina (reação química). Por ser a colagem alcalina uma tendência na utilização de papéis para impressão e escrita e papelcartão, dar-se-á ênfase a este tipo de colagem.

24.2.1. Colagem interna alcalina

A colagem alcalina teve seu desenvolvimento no início dos anos 1960 na Europa e sua aplicação inicial foi para cartões de embalagens de alimentos líquidos que têm padrões de qualidade bastante exigentes. O papel alcalino é mais branco, mais macio, tem maior

resistência mecânica, a colagem é mais estável, sofrendo poucas alterações pela ação do tempo.

A adoção do processo neutro-alcálico, ou colagem sintética, tem-se generalizado rapidamente, ganhando grande impulso nestes últimos anos no Brasil, especialmente nas classes de papéis de imprimir e escrever, pois que este tipo de colagem lhes consente reter, mesmo depois de ensaios de envelhecimento, praticamente toda a alvura e resistência originais, em contraste com o que acontece com a cola de breu. Além disto, há a vantagem de se poder usar o carbonato de cálcio (CaCO_3) como carga mineral, reciclagem mais fáceis de papéis revestidos (“couché”), favorecimento da resistência física e economias operacionais. Por outro lado existe também a possibilidade de utilizar caulim no sistema de colagem alcalina, mas este não é um procedimento usual.

Naturalmente que a colagem alcalina tem também suas dificuldades de implantação e condução, pois, a química da parte úmida neste sistema sofre alterações significativas quando comparada aos sistemas ácidos, devendo alguns novos conceitos serem assimilados.

Enquanto a colagem ácida ou com cola de breu é baseada na precipitação do resinato de alumínio sobre as fibras, a colagem alcalina baseia-se na reação entre as cadeias graxas do agente de colagem e a celulose através de ligações covalentes. Por esse motivo que os agentes de colagem alcalina também são conhecidos como ‘agentes de colagem celulose reativos’.

As colas sintéticas reagem com os grupos hidroxilas da celulose a qual aderem mediante efetiva ligação molecular covalente. Este tipo de colantes possui moléculas dotadas de um grupo reativo que se une a celulose e de um grupo hidrófobo que se volta para fora. Fica, então, criada uma camada monomolecular firmemente ancorada à fibra, com capacidade de grande repelência à água. Atualmente existem dois agentes de colagem: Dímero Alquil Queteno (AKD) e Anidrido Alquenil Succínico (ASA).

24.2.1.1. Cola AKD

O AKD é preparado a partir da dimerização de cloretos de ácidos alifáticos, que por sua vez são obtidos a partir de ácidos graxos. O tipo de ácido graxo usado no preparo do AKD interfere no seu estado físico final, sendo que o uso de ácidos graxos insaturados leva a uma cola líquida, enquanto os ácidos graxos de cadeia saturada proporcionam produtos sólidos.

Quanto maior for a cadeia do AKD, maior será sua eficiência de colagem, sendo que estudos comprovaram que 16 carbonos oferecem os melhores resultados. A reação básica entre a cola AKD, a celulose e a água são mostradas na figura 24.01 e 24.02.

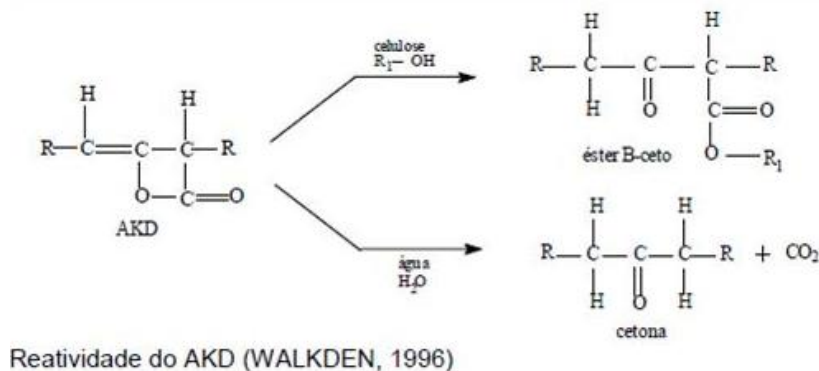


Figura 24.01 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

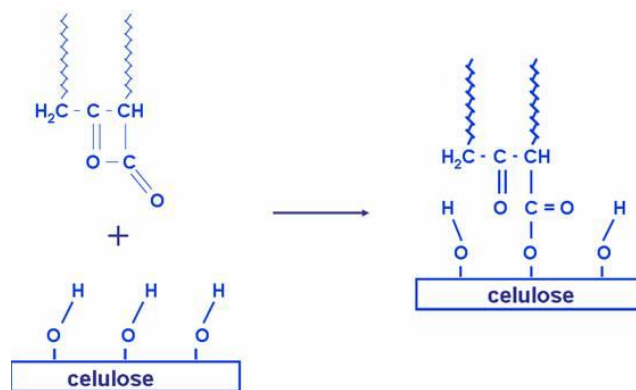


Figura 24.02 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

A eficiência da colagem com o AKD está também diretamente relacionada com a necessidade de se reter a cola na folha, uma vez que a reação acima ocorre lentamente, após o papel pronto. A cola retida na folha é liquefeita na secaria da máquina, se espalhando uniformemente sobre a superfície das fibras, originando a camada protetora definitiva. Somente então se inicia a reação de ligação AKD – fibra (celulose).

O AKD é adicionado à massa juntamente com um agente catiônico, amido ou resina, para auxiliar a sua fixação às fibras. A sua formulação, contudo, pode incluir esta classe de agentes auxiliares. É comum, porém, a cola AKD ser encontrada no mercado já na forma de emulsão aquosa. Sua estabilidade não é longa, sendo que após 30 dias sua hidrólise se intensifica e o AKD é transformado em cetona + CO₂ (conforme figura 14). É uma cola que

deve ser conservada em baixa temperatura ainda que, em ambiente de temperatura moderada possa conservar suas características por cerca de um mês.

A cola hidrolisada na máquina tende a formar depósitos juntamente com amido e carbonato e, além de reduzir a eficiência de colagem, causa problemas de sujeira no sistema. A alcalinidade da água também é um fator extremamente importante para uma boa reação do AKD com a celulose. A faixa ideal de alcalinidade é de 150 a 250 ppm (como CaCO_3), que pode ser obtida através da adição de barrilha ou bicarbonato. Também o pH é um fator importante para o desempenho da colagem, sendo que a faixa de trabalho ideal é de 7,5 a 8,5. Neste ponto também o uso de carbonato de cálcio como carga contribui para o bom desempenho, uma vez que mantém o sistema tamponado nesta faixa de pH.

24.2.1.2. Cola ASA

O ASA é um químico algo parecido com o AKD, que pode ser usado numa faixa mais larga de pH, reage muito rapidamente com os grupos hidroxilas da celulose e desenvolve efeito de colagem muito rápido durante a secagem. Apresenta, contudo, algumas dificuldades de conservação pois que, por reagir rapidamente com a água, deve ter seu preparo feito no local e usado rapidamente. Esta cola é composta de uma cadeia insaturada de hidrocarboneto, contendo um radical Anidrido Succinico. É obtida usualmente em duas etapas, a partir de uma ‘alfa Oleofina’, que é inicialmente isomerizada e posteriormente reagida com o anidrido maleico (conforme figura 24.03).

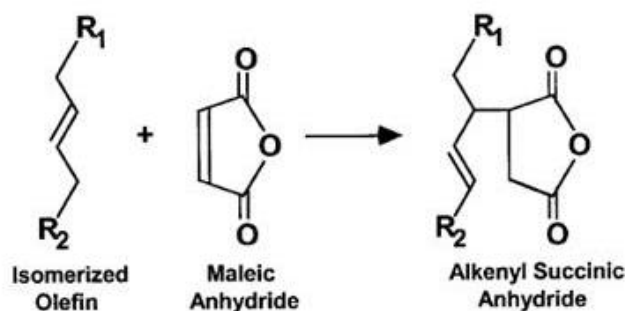


Figura 24.03 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

A eficiência da colagem pode ser afetada pelo tipo de Oleofina utilizada; em geral uma cadeia mais longa ou mais linear proporciona melhor rendimento da cola. As figuras 24.02 e 24.05 mostram a reação da cola ASA com a celulose e com a água.

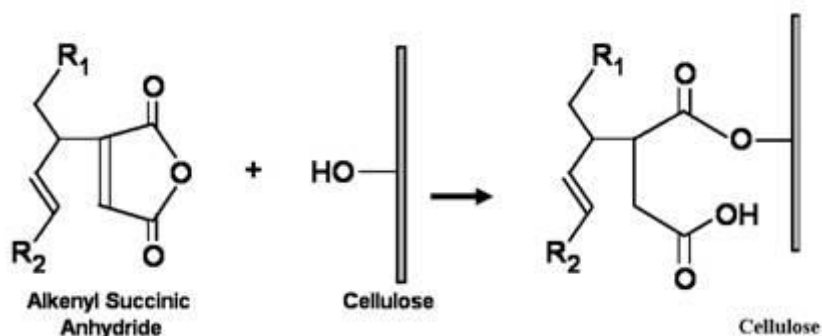


Figura 24.04 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

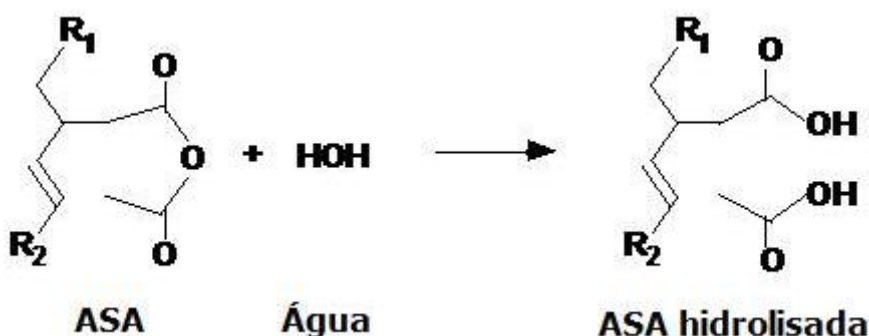


Figura 24.05 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

A cola ASA precisa ser retida na folha e sua reação com a celulose é rápida, ocorrendo na secaria da máquina. A ASA em sua forma natural é insolúvel em água, portanto, ela necessita ser emulsionada. Esta operação é feita na própria máquina de papel através de equipamentos apropriados, usando-se amido e um surfactante (em alguns casos) para sua emulsificação. Esta operação é necessária, pois a reação de hidrolisação é rápida, inviabilizando o fornecimento da emulsão pronta. Da mesma forma que a AKD, a cola ASA hidrolisada na máquina tende a formar depósitos juntamente com o amido e o carbonato e, além de reduzir a eficiência de colagem, causa problemas de sujeira no sistema.

A adição de sulfato de alumínio (de 4 a 5 kg/t) também se faz necessária para um bom desempenho da cola, uma vez que o hidróxido de alumínio reagem com a ASA, melhorando sua eficiência e reduzindo o consumo de cola em alguns casos. A alumina também diminui a ‘pegajosidade’ da cola hidrolisada, minimizando os problemas de depósitos.

24.3. AGENTES DE RESISTÊNCIA A SECO

Os amidos e gomas são os aditivos mais utilizados para proporcionar maior resistência ao papel formado, melhorando sua resistência à penetração de líquidos, arrepelamento, e outras propriedades mais. A tabela 24.01 mostra alguns aditivos adicionados à massa para conferir resistência interna ao papel.

ADITIVO	DESCRIÇÃO
Amidos	Natural ou modificado quimicamente.
Gomas	Dextrinas naturais ou modificadas quimicamente.
Derivados da celulose	Carboximetilcelulose; metil celulose; hemicelulose.
Polímeros sintéticos	Fenólicos; poliamidas; policrilamidas; uréia-formaldeído; melalina-formaldeído; poliamidas; látex.

Tabela 24.01 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

24.3.1. Amido

O amido é um produto bastante utilizado na fabricação de papel, além de sua aplicação na massa como adesivo para colagem de sacos, tubos, papéis laminados, papelão corrugado, entre outros, também é usado para melhorar propriedades mecânicas e superficiais do papel.

Na indústria de papel, o amido é utilizado com as seguintes finalidades:

- Melhorar propriedades mecânicas tais como resistência à tração e ao arrebentamento;
- Auxiliar na refinação;
- Melhorar resistência à abrasão superficial;
- Melhorar lisura e rigidez;
- Melhorar resistência à penetração de líquidos;
- Evitar formação de pó.

O amido é o mais comum agente de resistência a seco utilizado e corresponde a quase 95% dos produtos e aditivos destinados à 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 papelreira é ampla: emulsões (colas alcalinas), “coatings”, agentes de colagem superficial. É constituído por 2 tipos de estruturas: linear (amilose) e ramificada (amilopectina) (figura 24.06).

A estrutura linear da amilose tem uma grande tendência a formar cristais agregados (retrogradação do amido). O que normalmente interessa à fabricação de papel é a quantidade de amilopectina (alto peso molecular). O amido, em geral, é composto de pequenos grânulos (5 a 100 micra) e suas fontes principais estão descritas na tabela 24.02.

	Batata	Milho	Mandioca	Trigo
Amilose, %	20	24	16	25
Amilopectina, %	80	76	84	75
Peso molecular	Médio-alto	Médio	Médio-alto	Médio

Tabela 24.02

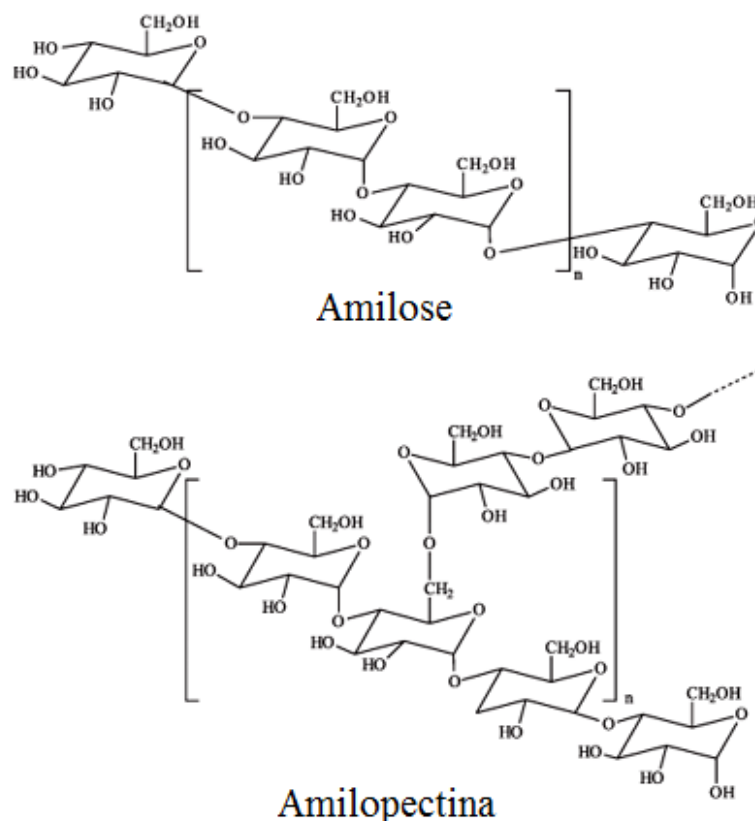


Figura 24.06 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

O amido pode ser ‘projetado’ devido a vários processos físico-químicos para adaptá-lo melhor à parte úmida ou para “coatings”, emulsões, etc. Isto o torna um aditivo importante, pois pode ser trabalho de acordo com as nossas necessidades. Os métodos de modificações de amidos são: modificações físicas, fracionamento em amilose e amilopectina, hidrólise ácida, modificações químicas, oxidação (amido superficial), conversão enzimática, etc. Os principais tipos de amidos são os catiônicos e os anfóteros.

24.3.1.1. Amidos catiônicos e anfóteros

Os amidos catiônicos e/ou anfóteros são importantes no processo de fabricação de papel, por influenciar diretamente a qualidade final de quase todos os tipos de papéis, proporcionando benefícios relacionados com a resistência física do papel tais como rigidez, lisura, resistências interna e superficial, dentre outras. Em função de sua carga elétrica

positiva, interação com a carga negativa das fibras e cargas minerais, ajudando a equilibrar o complexo balanço de cargas elétricas na parte úmida da fabricação de papel, o “wet end”. Este balanço entre “coagulação” e “dispersão” influencia a formação, retenção, drenagem e produtividade da máquina de papel.

Geralmente, os amidos modificados são utilizados para melhoria das resistências físicas, retenção ou ambos. Em alguns casos podem ser utilizados para aumento da velocidade, por intermédio da melhoria da drenagem e secagem.

Podemos enumerar vários benefícios que podem ser obtidos com a utilização dos amidos catiônicos e/ou anfóteros, destacando-se:

- Aumento da retenção total (carga mineral, finos e do amido);
- Melhora das resistências interna e superficial (tração, mullen, CMT, Denninson e IGT);
- Melhoria da resistência à dobras;
- Melhoria da colagem interna;
- Auxílio na drenagem da máquina;
- Melhoria da formação da folha;
- Aumento da resistência ao úmido;
- Redução do D.B.O.;
- Redução da porosidade;
- Auxílio no equilíbrio de carga do sistema

24.3.2. Policrilamidas

Podem ser utilizadas tanto catiônicas quanto aniônicas. No caso de policrilamidas aniônicas é necessário prestar atenção ao pH. Normalmente requer alguma fonte catiônica (Al^{3+} em fabricação ácida para sua adsorção). As policrilamidas catiônicas são as mais comumente aplicadas: DADMAC, AMBTAC, METAMS, VBTAC.

24.4. AGENTES DE RESISTÊNCIA A ÚMIDO

O reumidimento de papel resulta em uma nova hidratação das fibras (quase que completa) e em uma perda de 95% (aprox.) em resistência. Agentes típicos de resistência a úmido são: polímeros solúveis em água, iônicos (catiônico ou aniônico). Os grupos ativos mais comumente utilizados: uréia formaldeído (“coatings”), melamina formaldeído

(“coatings”), epiclоридринамида (fabricação de papel especial, “tissue”, rótulo, embalagem), “glyoxal” (fabricação de papel especial, “tissue”, rótulo, embalagem).

24.5. PIGMENTOS, CORANTES E ALVEJANTES ÓTICOS

24.5.1. Pigmentos

Os pigmentos coloridos foram os primeiros produtos utilizados para colorir papel e ainda hoje apresentam algumas vantagens sobre os corantes, como a boa estabilidade sob a ação da luz e certos agentes destrutivos. Contudo, seu poder tintorial mais fraco que dos corantes necessita de maior porcentagem.

Pigmentos coloridos são insolúveis em água. São inertes durante a fabricação de papel, reagindo como carga. Não têm afinidade por fibra, e por este motivo requerem alumínio ou fixador. Tendem a se concentrar na parte superior da folha (poderá ser diferente se utilizar alguma micropartícula) devido às suas propriedades de retenção. Carbono preto é um dos exemplos de pigmentos corantes.

Os pigmentos são encontrados no mercado na forma sólida ou em forma de dispersões. Os pigmentos não dispersos apresentam maior tamanho de partícula e, geralmente, requerem uma moagem capaz de reduzi-los a dimensões adequadas. Os tipos de pigmentos encontrados normalmente são: pigmentos naturais, pigmentos coloridos sintéticos inorgânicos e pigmentos coloridos sintéticos orgânicos.

O tamanho da partícula afeta de maneira significativa o grau de coloração fornecido ao papel e a resistência da folha, uma vez que as partículas mais grosseiras tendem a enfraquecer a formação da folha. A presença de arenitos com características abrasivas no pigmento pode causar problemas de desgaste de tela, feltros e cilindros.

Os pigmentos podem ser dispersos em água, o que permitirá adicioná-los diretamente aos refinadores na forma sólida. Essa adição pode ser feita antes ou depois da colagem interna, porém deve-se ter o cuidado para que o sulfato de alumínio não seja introduzido até que o pigmento seja todo misturado às fibras.

24.5.2. Corantes

Corantes e alvejantes óticos são substâncias que “dão” cor ao papel. Na indústria de papel, os corantes são mais utilizados para colorir papel que os pigmentos, pois são mais

solúveis, possuem maior poder tintorial, maior gama de tonalidades, além de não alterarem as propriedades mecânicas da folha de papel.

A grande maioria dos corantes é obtida em quantidades industriais, mediante processos de síntese orgânica, a partir de produtos, como: benzeno, naftaleno, antraceno, entre outros. Os grupos funcionais que determinam o maior ou menor grau de solubilidade do material em meio aquoso, conferem as características fundamentais pelas quais os corantes são conhecidos no mercado. Os corantes dividem-se basicamente em ácidos, básicos, diretos e a base de enxofre.

24.5.3. Alvejantes óticos

A necessidade atual para papel de impressão e escrita é de que ocorra uma compensação significativa do amarelo que é a cor natural dos substratos envolvidos levando-o para uma coloração azul avermelhada, que corresponde à sensação subjetiva de ‘branco’ para o olho humano.

Para tanto, são utilizados alvejantes óticos, substâncias químicas complexas que possuem a propriedade de absorver radiação eletromagnética invisível na região do ultravioleta (200 a 400 nm), reemitindo-a na faixa visível do azul-violeta (420 a 480 nm); esta propriedade é denominada ‘fluorescência’. A capacidade de fluorescer dos alvejantes é proveniente, por um lado, da planicidade de sua estrutura, onde a excitação eletrônica de ligações π decorrente da absorção de energia 3,4 na região do UV, provoca a delocalização eletrônica e consequente estabilização via ressonância, sendo que o retorno dos elétrons promovidos pela absorção de energia produz a emissão de luz com outro nível energético, caracterizando assim a fluorescência. Por outro lado, a possibilidade de ressonar de grupos substituintes que contenham pares eletrônicos livres também deve contribuir de forma significativa na resposta da fluorescência. Concomitantemente ao uso dos alvejantes, são também utilizados corantes ou pigmentos que, devido à tonalidade de sua emissão, também possuem a propriedade de compensar a tonalidade amarelada dos substratos, porém, com decréscimo da luminosidade final do papel.

Na figura 24.07, a reflexão espectral de um papel base (curva 1) apresenta uma deficiência da tonalidade azulada. Parte desta deficiência foi compensada pela adição de corantes/pigmentos (curva 2), onde ocorre uma alteração significativa na relação azul/amarelo, ocasionando porém uma redução na luminosidade do papel. Por outro lado, a

adição de alvejante óptico confere ao papel uma tonalidade azul/avermelhada sem perda de luminosidade (curva 3). Na prática. É utilizada a combinação alvejante óptico/corantes, buscando um equilíbrio entre a razão custo benefício, a saturação do alvejante óptico, a tonalidade final do papel e a perda de luminosidade.

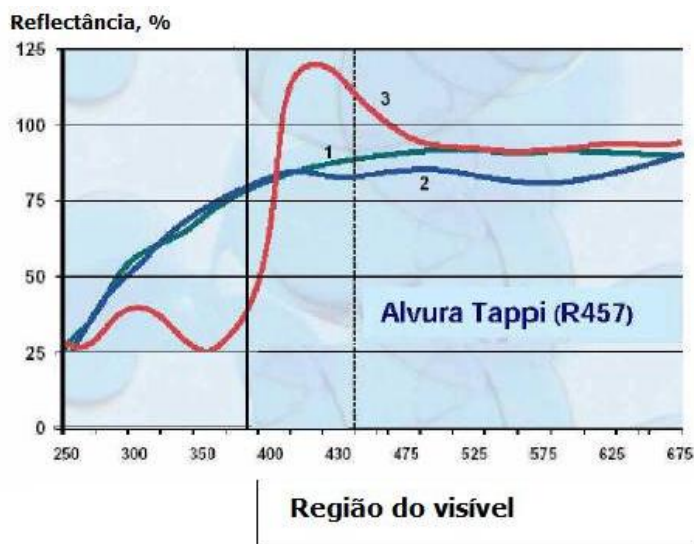


Figura 24.07 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

A razão pela qual os alvejantes ópticos conseguem absorver luz UV e emitir luz visível deve-se ao fato da estrutura molecular dos mesmos possuir elétrons no estado fundamental (S_0) que, após a absorção da energia de um fóton, passam a um estado excitado (S_1). O retorno desta elétron ao estado fundamental é acompanhado da emissão de um fóton de menor energia que o absorvido, sendo que a diferença é transformada, normalmente em energia térmica.

24.6. ADITIVOS AUXILIARES DA FABRICAÇÃO (ANTIESPUMANTES, AGENTES DE RETENÇÃO, ETC.)

24.6.1. Antiespumantes e desaerantes

Os antiespumantes previnem formação de espuma e sedimentações associadas. Normalmente, os antiespumantes são utilizados quando temos agentes de resistência a úmido, onde os problemas de espuma são mais graves.

Desaerante ou desaerificante é um produto químico cuja finalidade é remover o ar da massa na fabricação de papel.

24.6.2. Aditivos de retenção

24.6.2.1. Retenção

A retenção pode ser definida como a proporção de um componente da massa de papel que é encontrada em um estágio mais adiante do processo. É um dos processos mais importantes na química da parte úmida da máquina de papel devido a sua influência nos custos de produção e qualidade do papel. Como a retenção das fibras ocorre praticamente por filtração e numa grandeza de algo como 95% ou mais, o grande empenho da química da parte úmida é a máxima retenção das partículas coloidais (finos, cargas, etc.) durante a formação da folha de papel.

Consideram-se finos a fração do material que passa por uma peneira de 200 mesh. Os finos podem evidenciar natureza orgânica ou inorgânica. Entre os finos orgânicos encontram-se as células existentes no tecido vegetal (células radiais, medula, etc.), fragmentos de material provenientes do processo (picador, refino, etc.) e materiais reciclados incorporados à massa. Os finos inorgânicos constituem-se nos sólidos adicionados à massa para modificação de algumas propriedades. O teor de finos na folha afeta consideravelmente as propriedades óticas, superficiais e de resistência do papel. Além disso, as partículas finas passam para o sistema de água branca, provocando problemas de recuperação, manuseio e perdas no efluente da fábrica.

Sem um programa de retenção efetiva, grandes quantidades de finos e cargas podem passar pela tela durante a formação da folha, visto que estas partículas têm dimensões muito menores do que as das fibras (figura 24.08).

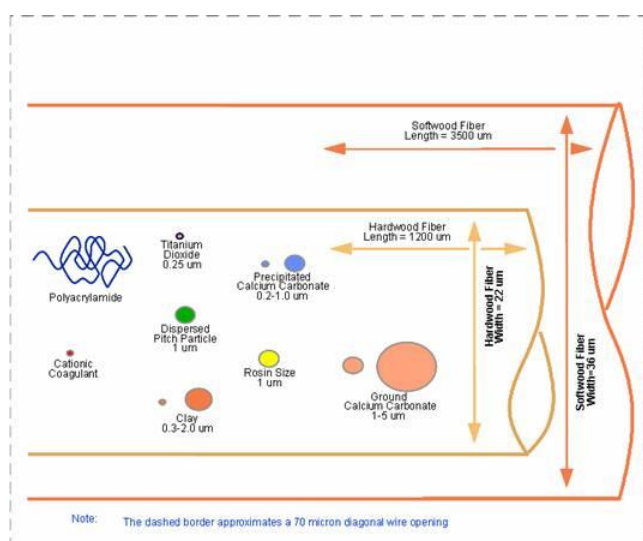


Figura 24.08 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

Na interface “sólido/água” de um sólido em suspensão desenvolve-se uma carga elétrica que, no caso da fabricação de papel, é devida à dissociação de componentes da superfície das fibras ou da adsorção de algum químico eletricamente carregado. Esta primeira camada de íons é envolvida por outra, mais difusa que a primeira, com sua própria carga elétrica e há, por fim, a suspensão fibrosa como um todo, ou a massa para papel, que também tem seu potencial.

24.6.2.2. Agentes de retenção

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 polieletrólitos 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. 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.

24.6.2.3. *Coagulantes*

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 como 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.

24.6.2.4. Floculantes

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. Poliacrilamidas são os floculantes 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 24.09 mostra as ações de coagulação e floculação combinadas:

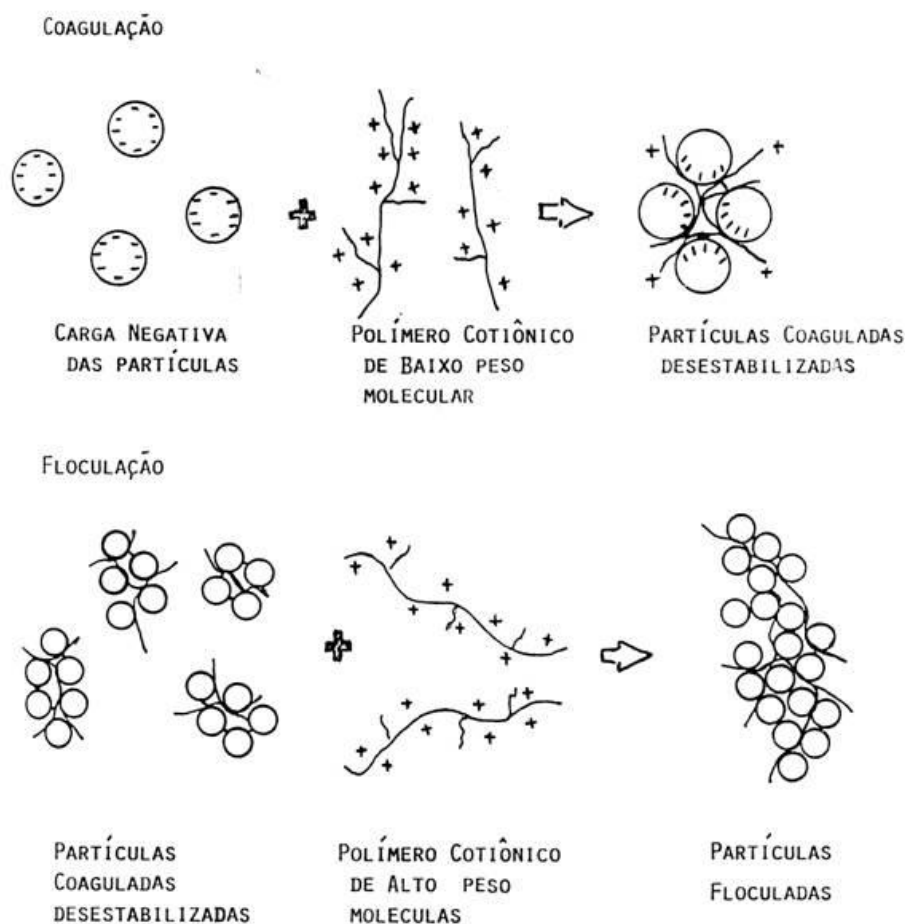


Figura 24.09 (FONTE: Apostila Curso Básico de Fabricação de Papel)

24.6.2.5. *Silica coloidal*

A dispersão de sílica coloidal é utilizada em conjunto com o agente de retenção para maximização da retenção, drenagem, resistência e formação da folha. A utilização da sílica proporciona algumas vantagens no processo, como:

- Maximizar a retenção;
- Aumenta a qualidade da folha formada, reduzindo a dupla face;
- Reduz o consumo de agentes de resistência, carga, cola, amido e corante;
- Reduz perdas e custos de tratamento de efluentes, devido incremento de retenção.

24.6.3. Cal hidratada

Usado para acerto de pH (aumenta), tem a propriedade ideal para subir a dureza da água do sistema. É usado também para a formação de “coating” no secador com a aplicação conjunta de uma resina.

24.6.4. 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.

24.6.5. 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.

24.6.6. Talco

Trata-se de uma rocha pulverizada cujas partículas possuem características de absorção. Tal produto é utilizado para a redução dos efeitos nocivos do “pitch” residual da celulose e outros contaminantes que se depositam sobre as vestimentas das máquinas de papel.

24.6.7. 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.

24.6.8. Agentes para controle de depósitos

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

24.6.9. 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”).

25. PRINCIPAIS PROPRIEDADES PARA PAPÉIS DE IMPRESSÃO / ESCRITA

As propriedades que são consideradas importantes para os papéis de impressão/escrita são classificadas de forma diferente pelos vários autores. CASALS em seu livro “Características del papel” classifica estas propriedades em três grandes grupos:

- Propriedades intrínsecas do papel - **cor, brancura, alvura, brilho, opacidade, porosidade (permeância ao ar), lisura (aspereza), gramatura, densidade aparente, dureza, compressibilidade, uniformidade de espessura (espessura), estabilidade dimensional, colagem e estrutura interna (formação).**

- Propriedades que influem diretamente na impressão - **umidade absoluta e relativa, absorvência, acidez ou alcalinidade, direção de fibra (direcionalidade), limpeza superficial, planicidade, esquadrado, resistência à formação de bolhas, resistência à tração, resistência a úmido, resistência ao rasgo interno e inicial, e resistência ao arrancamento superficial.**

- Propriedades que influem no produto impresso - **dobras duplas, alongamento, resistência ao arrebentamento, resistência a abrasão, resistência ao deslizamento, rigidez à flexão, resistência a água, permeabilidade ao vapor d'água, permeabilidade às graxas, resistência a luz e resistência ao calor.**

A seguir serão apresentadas algumas destas propriedades (evidenciadas acima em negrito), mais adequadas a serem discutidas no presente curso.

25.1. PROPRIEDADES INTRÍNSECAS

25.1.1. Cor, brancura e alvura

Pode-se dizer que a cor é tão somente uma qualificação objetiva como parte da percepção visual do ser humano. Uma das características importantes do olho humano é a sua capacidade de distinguir radiações eletromagnéticas de diferentes comprimentos de onda, ou seja, distinguir cromacidade. Além disso, o olho humano distingue, até certo ponto, a intensidade relativa dessas radiações. A luz incidente nos objetos é refletida até nós em forma mais ou menos parcial, não somente de maneira quantitativa como também qualitativa.

A cor dos papéis depende do observador e de diversos fatores, tais como distribuição da energia espectral de iluminação, ângulo de iluminação e observação, e características ópticas do papel. A medição da cor pode ser realizada espectrofotometricamente ou colorimetricamente.

No método espectrofotométrico as leituras das amostras são feitas em cada um dos comprimentos de onda ao longo de todo o espectro visível. Com os dados obtidos, constrói-se um gráfico que indica em porcentagem para os diversos comprimentos de onda, a intensidade da luz refletida pela amostra. Já o método colorimétrico baseia-se no princípio de que por meio de três cores primárias é possível formar as demais cores. O sistema CIE (“Commission Internationale de L’Eclairage”) fixa três cores fundamentais, fictícias, que permite compor todas as outras cores.

A cor desejada do papel se obtém mediante a ação de pigmentos ou corantes que absorvem os comprimentos de onda complementares. Todos eles tendo em conta a cor natural da pasta de papel. A própria brancura do papel constitui uma qualidade concreta de cor, isto é pode ser determinada pelo método colorimétrico, por exemplo.

Sabemos que a luz branca é composta por todos os comprimentos de onda do espectro visível; em outras palavras, entre 400 e 700 nanômetros ($\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$). Uma superfície de cor branca perfeita não absorveria luz de nenhum comprimento de onda e refletiria totalmente todas as cores, em outras palavras, a curva de refletância espectral deveria coincidir com a da emitância.

Desta forma, se as características de uma superfície são tais que absorve parte do espectro da luz incidente, a luz refletida não será totalmente branca, mas sim composta por cores correspondentes aos comprimentos de onda não absorvidas. A superfície atua, portanto, como um uma espécie de filtro e a cor que aparenta ter é precisamente a complementar do que absorve. A brancura do papel deriva da total refletância da luz branca e, mais importante, na uniformidade da refletância a todos comprimentos de onda (refletância espectral).

Em geral, há a tendência de se associar a brancura com uma ausência de amarelo ou uma presença de azul, uma vez que o olho humano a identifica desta forma. Por esta razão, ao fabricar papel, normalmente se adiciona corantes e tinta fluorescente, também conhecida como alvejante ótico. Tintas fluorescentes absorvem luz na faixa ultravioleta do espectro e reemite-a na região azul do espectro, dando um efeito fluorescente que neutraliza o amarelo inerente da fibra e apresenta um resultado mais branco para o observador humano.

Os pigmentos de carga mineral usada no papel também têm uma influência sobre a brancura do papel, assim como matizantes e pigmentos coloridos, brancura da polpa e impurezas da água. Papel com colagem ácida utiliza caulim como pigmento de carga, reduzindo a brancura, pois a celulose normalmente tem uma brancura insatisfatória. A

utilização de carbonato de cálcio como pigmento de carga na colagem alcalina favorece a melhoria da brancura.

Confunde-se muito a brancura com alvura que é o fator de refletância difusa intrínseca medida a um comprimento de onda de 457 nm (figura 25.01). Na verdade, não existe uma definição satisfatória de brancura. Alguns autores a descrevem como uma alta e uniforme refletância do papel a todos os comprimentos de onda do espectro visível, como havíamos visto antes. Outros, simplesmente, como um equilíbrio de cor com alta refletância.

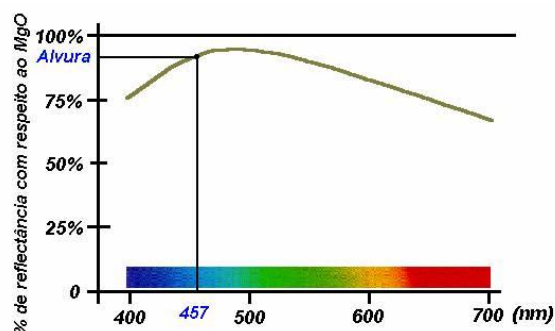


Figura 25.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Um papel de tonalidade cinza, por exemplo, apresenta um equilíbrio de cor, porém, não apresenta uma alta refletância. Existe, porém uma definição para nível de branco, que pode ser medido em CIE ou Stensby, por exemplo, resultando da função de três coordenadas: L, a e b, onde “L” é a luminosidade, “a” é tonalidade no eixo vermelho-verde e “b” é a tonalidade no eixo amarelo-azul. Utiliza-se para estas medições o aparelho denominado espectrofotômetro. Já a unidade de alvura é dada por % ISO e os aparelhos utilizados para seu ensaio podem ser o Photovolt, Elrepho (nomes comerciais) ou o próprio espectrofotômetro (o mais conhecido é o da Datacolor). Nas figuras abaixo (25.02 e 25.03), é mostrado este sistema de coordenadas e exemplos de curvas fotométricas de distintos papéis coloridos.

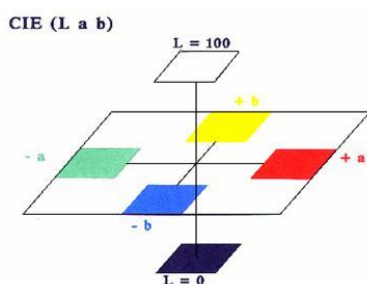


Figura 25.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

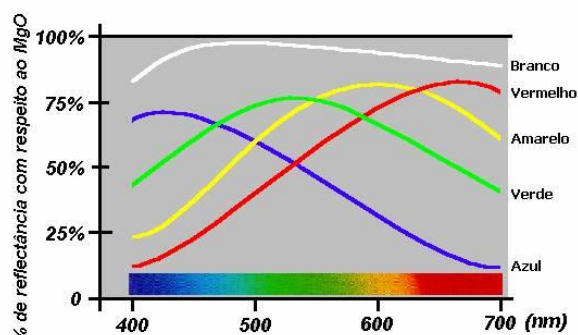


Figura 25.03 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

25.1.2. Brilho

Entendemos por brilho o conjunto de propriedades refletantes em uma direção determinada que tenha por objetivo fazer aparecer mais ou menos reflexos luminosos ou imagens de objetos superpostos na superfície. Dizemos que uma superfície possui brilho quando ao incidir sobre ela os raios paralelos de uma fonte de iluminação, emergem igualmente paralelos, formando um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência. Seu comportamento se aproxima, pois, de um espelho, pelo que se denomina “especular”.

No caso do papel, brilho é a característica de possuir superfície lustrosa com capacidade de refletir a luz como se fosse um espelho. Tal como outras características, o brilho está relacionado com a aspereza do papel. A maneira mais simples de medir o brilho é comparar a medida da refletância especular (ângulo de medida igual ao de incidência) e a refletância em um plano normal a iluminação.

Em contraposição, uma superfície é fosca (mate) quando a luz refletida tem a mesma intensidade em qualquer ângulo de observação. Este comportamento é devido às irregularidades, mais ou menos acentuadas, que existem na superfície do papel.

Por isto o revestimento superficial (“coating”), ao igualar a superfície, uniformiza a orientação dos raios refletidos e melhora o brilho. Em outras palavras, a lisura (inverso da aspereza) ou planicidade óptica dá lugar a uma reflexão que se aproxima, em maior ou menor grau, da reflexão especular.

A quantidade de brilho depende da relação entre a reflexão especular existente a reflexão difusa e não tem nada que ver com a brancura, cor ou alvura do papel. Por exemplo, dois papéis podem ter o mesmo brilho e, no entanto, um deles apresentar maior quantidade de luz difusa ao possuir maior alvura. O teste de medição do brilho é muito importante em papéis de superfície lustrosa, principalmente em papéis couché.

O aparelho medidor de brilho, o Photovolt, tem por princípio a medição de raios refletidos da luz que incide na superfície do papel, comparada com um padrão de brilho. A unidade de medição é dada em percentual (%). Na figura 25.04 aparece o esquema de um medidor de brilho.

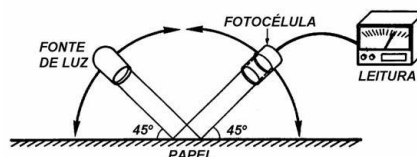


Figura 25.04 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

25.1.3. Opacidade

Opacidade é a propriedade relacionada com a quantidade de luz transmitida através do papel, em outras palavras, é a capacidade do papel de dificultar a passagem de luz através de si mesmo. Assim, um papel perfeitamente opaco é aquele que não permite a passagem de luz visível. A reflexão da luz determina as características do papel descritas até agora, como a cor, brancura e alvura. Porém nem toda a luz se reflete na superfície uma vez que parte dela penetra no papel.

Como sabemos, o papel é constituído por vários elementos, porém na maioria são fibras de celulose e ar. Sabemos que um raio de luz, ao passar de um meio a outro se desvia, quer dizer se refrata. A luz incidente, que em lugar de refletir-se penetra no papel, vai se refratando em cada passo da celulose ao ar e do ar a celulose ser absorvida totalmente no interior da folha (luz absorvida convertendo-se em energia térmica) ou sair por um lado oposto da mesma (luz transmitida). A proporção de luz que atravessa toda a espessura do papel constitui o grau de transparência que é a propriedade totalmente inversa da opacidade (figura 25.05).

A presença de outros elementos além das fibras, tais como cargas, pigmentos, etc., constitui uma série de dificuldades suplementares a passagem da luz e, portanto, incrementa a opacidade. As próprias fibras se apresentam maior coloração, absorvem uma maior quantidade de luz e aumentam a opacidade.

O dióxido de titânio, por exemplo, se emprega como aditivo para elevar o grau de opacidade nos papéis tipo Bíblia, por exemplo, por suas especiais características.

Opticamente, se obtém a máxima opacidade quando a luz que não é refletida na superfície se reflete e refrata no interior do papel sem chegar a sair pelo lado oposto. Parece que a melhor proporção entre fibras de celulose e ar para uma boa opacidade é a de volumes iguais em ambos os meios.

Se o percentual de participação de celulose é aumentado, perde-se heterogeneidade óptica e volta a decrescer a opacidade.

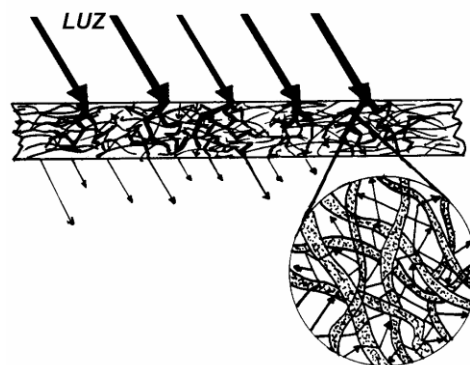


Figura 25.05 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Ao nível prático, podemos também definir a opacidade de um papel como a possibilidade de ocultar a impressão existente no lado posterior ou na folha seguinte com a que está em contato. Não obstante, no primeiro caso deve ter-se em conta a possível penetração da tinta no papel que também possibilita à visão de imagem a partir do lado oposto.

Em função disto, a opacidade é uma importante propriedade em papéis de escrever, impressão, cigarro, etc. Os papéis do tipo Bíblia são um exemplo típico de papéis que requerem boa opacidade, mesmo sendo de baixa gramatura, porque o leitor não deseja, ao estar lendo uma página, ter dificuldade de leitura pelo que está impresso no outro lado da folha. Livros de exercícios com figuras, palavras cruzadas, etc., para crianças também devem ter boa opacidade, porque estas encontram dificuldade de distinguir qual é o assunto que tem de ser trabalhado. No caso dos papéis finos pode-se também sacrificar um pouco a alvura com intuito de ganhar opacidade.

Uma opacidade menor reduz o contraste de impressão, que resultará pouco uniforme. Em geral os papéis coloridos são mais opacos que os brancos. Inclusive dentro da gama de papéis brancos, os de tendência azul, verde ou cinza têm mais opacidade que os de tonalidade amarela ou rosada. Os primeiros possuem uma maior absorção de luz que os últimos.

O aparelho que mede opacidade é o opacímetro, o qual indica a relação percentual da opacidade do papel comparada a um padrão. Em poucas palavras, o aparelho é constituído de uma fonte de luz que incide sobre o papel e de uma célula fotoelétrica que mede a luz refletida. A medição da opacidade é dada em percentual (%). Existem vários tipos de opacímetros como o Elrepho e o Datacolor, por exemplo.

25.1.4. Permeância ao ar

Muito do ar no papel reside nos poros na estrutura da folha enquanto o restante está presente no interior das fibras. A relação percentual entre o somatório dos volumes dos poros em relação ao volume total de uma folha é chamado de porosidade da folha. A porosidade é ocasionalmente utilizada em estudos de laboratórios ao passo que uma propriedade relativa, permeância ao ar, é que é freqüentemente utilizada em ambientes industriais.

A permeância ao ar é definida como a propriedade do papel que permite fluir através da folha um fluxo de ar sob uma diferença de pressão conhecida. A permeância ao ar é importante para o desempenho de uso final de muitos papéis. Por exemplo, papéis para sacos,

papéis absorventes, papéis filtro, e papéis toalhas requerem alta permeância ao ar, enquanto que papéis a prova de gorduras (“grease-proof”) devem ter baixa permeância ao ar.

Não se devem confundir os termos porosidade (fração de espaços vazios) com permeância ao ar (capacidade de ser atravessada pelo ar), ainda que, geralmente, um papel muito poroso será também bastante permeável. A porosidade se refere a todo o corpo do papel enquanto que absorvência depende fundamentalmente da estrutura superficial. Outro termo normalmente usado é resistência ao ar, que é o inverso da permeância ao ar. A porosidade é dada em percentual (%) e a permeância ao ar é dada em mililitros por segundo (ml/s) ou micrometros por Pascal x segundo $\{\mu\text{m}/(\text{Pa}\cdot\text{s})\}$ e a resistência ao ar é medida em segundos por 100 mililitros (s/100 ml).

Os papéis com alta permeância ao ar são normalmente chamados de macroporosos ou “abertos” e se caracterizam pelo alto consumo de tinta durante a impressão, enquanto que no caso inverso são chamados de microporosos ou “fechados” e podem causar repinte após terem sido impressos.

As operações de revestimento (“coating”) e impregnação (“saturating”) reduzem a permeância ao ar do papel. Os papéis “couché” por ter baixa permeância ao ar podem apresentar problemas quando se imprime em bobina com secagem por calor, pois o vapor d’água gerado pela umidade interior não podendo atravessar a camada de revestimento, produzirá bolhas superficiais. Por outro lado, porém, papéis com alta permeância ao ar podem resultar em problemas na alimentação da folha de papel em máquinas com respeito as chamadas ventosas de sucção (chupetas). Esta sucção em algumas máquinas pode ser regulada, mas quando a permeância ao ar varia de folha para folha, ou numa mesma folha, as conseqüências podem ser desastrosas.

O aumento do comprimento de fibra usada aumenta a permeância ao ar, enquanto que o aumento do conteúdo de umidade, da refinação, da prensagem, da colagem superficial, da calandragem, da gramatura e do conteúdo de carga mineral, diminuem a permeância ao ar.

Os aparelhos que medem a permeância ao ar são chamados porosímetros (prova de que os dois termos porosidade e permeância ao ar são usados às vezes com o mesmo significado). Existem vários tipos de porosímetros tais como, por exemplo, os equipamentos denominados por Schopper, Bendtsen, Sheffield, Gurley, Bekk, Vaso de Mariotte, etc., mas todos eles funcionam baseados no mesmo princípio, qual seja, induzir a passagem de ar através do papel e medir esta passagem.

A diferença básica é que, os três primeiros equipamentos, por exemplo, permitem determinar o volume de ar que atravessa a superfície do papel, enquanto que o Gurley mede o tempo (em segundos) necessário para que um volume de ar passe através de uma determinada superfície do papel. Devido a isto, todas as vezes que falamos de um valor de permeância ao ar, devemos mencionar o tipo de aparelho usado para a medição.

No Gurley (figura 25.06) a passagem de ar através do papel é provocada pelo deslizamento livre de um cilindro interno, graduado em cm^2 , em um cilindro externo contendo óleo mineral. O resultado é dado por um cronômetro com a finalidade de medir o tempo em segundos gastos para um determinado volume de ar.

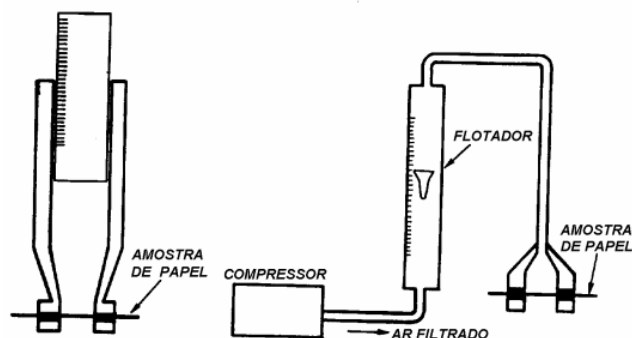


Figura 25.06 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Normalmente o volume fixado é de 100 cm^3 (100 ml), mas se o papel oferece grande resistência à passagem do ar, pode-se fixar um volume menor (50 cm^3 , por exemplo) e se a resistência for pequena fixa-se um volume maior (300 cm^3 , por exemplo).

25.1.5. Aspereza

Aspereza é o grau de não uniformidade da superfície do papel. Na indústria papelreira, porém, utiliza-se de modo geral esta característica com a denominação de lisura. A lisura é uma importante propriedade para papéis de impressão enquanto que aspereza da superfície é usada em materiais para embalagens que serão usadas manualmente. Como os próprios nomes o dizem, um é oposto do outro. A textura superficial como lisura e aspereza é uma medida da variação dos desvios observados a partir de um plano perfeito. Neste texto, seguindo uma tendência atual, se usará apenas o termo aspereza, identificando-se uma maior ou menor aspereza em função da maior ou menor variação destes desvios, respectivamente.

A aspereza influi na aparência e nas qualidades de impressão do papel. A superfície menos áspera é uma qualidade que assegura ótimos resultados de impressão. Um perfil regular de aspereza é também importante para uma boa qualidade de impressão. Na impressão offset, devido à flexibilidade da blanqueta de borracha que transfere a tinta da chapa

impressora para o papel, é possível imprimir em papéis com a superfície rugosa ou mais áspera.

No processo de rotogravura, se a superfície do papel é irregular e têm pontos altos e baixos, com substâncias microscópicas, algumas células (alvéolos) não imprimirão uniformemente e a impressão não será de boa qualidade. Para uma tonalidade contínua de reprodução, todas as células devem imprimir. Isso pode ser conseguido pelo uso de compressão. A aspereza do papel é geralmente diferente nas duas faces. Quanto menos áspero for o papel, melhor e mais homogênea será a impressão.

Dos métodos de medição de aspereza quais sejam métodos óticos, métodos de fricção, medição de perfil, área de contato ótica, área de contato com a tinta e medidas do fluxo de ar, o método do fluxo de ar é o mais largamente usado tal qual no caso da permeância ao ar. O método mede o volume de ar fluindo em um dado tempo entre uma superfície oticamente plana e a superfície de teste.

Vários aparelhos podem ser usados para a determinação de aspereza, com a finalidade de exprimir, numericamente, a existência de irregularidades na superfície do papel, que possa afetar o seu desempenho e uso final. Cada um deles fornece o resultado diferente entre si, fazendo-se necessário indicar o nome do equipamento utilizado no teste. Um dos mais usados é o Aparelho Bendtsen. Este aparelho mede o volume de ar em mililitros, que por minuto escapa entre a superfície do papel e o cabeçote de medição, cujo extremo inferior tem a forma de um anel.

O papel a ser medido é colocado sobre uma placa de vidro e sobre ele é disposto o cabeçote de medição, que é ligado por meio de uma mangueira a um rotâmetro no qual se faz a leitura imediata do fluxo de ar. Esta leitura é dada em centímetros cúbicos por minuto (cm^3/min).

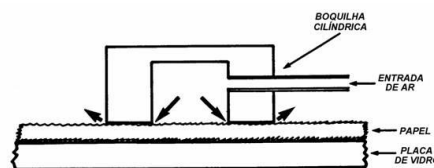


Figura 25.07 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

Quanto maior for a não uniformidade da superfície, maior será o volume de ar que passa entre a superfície do papel e o anel, em um determinado período de tempo. Na figura 25.07 aparece um aparelho medidor de lisura do tipo Beck.

25.1.6. Gramatura e peso básico

Gramatura é definida como a massa em gramas de um metro quadrado de papel (g/m^2). Possivelmente a gramatura seja um dos parâmetros mais conhecidos do papel posto que influi bastante sobre as características do produto acabado e devido ao fato do papel ser normalmente comprado a “peso” (na realidade o termo correto é “massa”).

Na América do Norte este parâmetro denominado gramatura se substitui pelo conceito de peso básico (“Basis Weight”) que expressa o peso em libras de uma resma de papel (500 folhas) cortada a sua medida “básica”. Esta medida básica varia segundo os tipos de papel. Para papéis de imprimir e escrever o tamanho é de 17 x 22 polegadas e para papéis tissue o tamanho é de 24 x 36 polegadas, por exemplo. Gramatura é o peso básico de papel expresso em gramas por metro quadrado, e é independente do número de folhas.

A especificação da gramatura de um papel está na razão direta do uso a que se destina e daí sua importância. Emprega-se um papel de baixa gramatura para revistas e ao contrário em se tratando de uma capa de livro, por exemplo. Economicamente, é o fator altamente considerável (dentro de certos limites), pois dois tipos de papel com propriedades hipoteticamente iguais, porém de gramaturas diferentes, o de menor gramatura seria o mais desejável já que permitiria fabricar mais exemplares por peso. Evidentemente, trata-se apenas de um exemplo, pois a variação de gramatura poderia acarretar modificações de outras características que veremos a seguir, como espessura, resistência, opacidade, etc.

Existe uma inter-relação muito forte entre permeância ao ar, espessura, umidade, aspereza e gramatura. Praticamente, não se pode modificar nenhuma destas características sem afetar as demais. Se por exemplo, se reduz a gramatura mantendo a espessura e a umidade constante, a permeância ao ar e aspereza aumentará de valor. Também, se não for possível alterar a espessura de um papel e se deseja dispor de uma menor aspereza, deverá se incrementar a gramatura para possibilitar uma maior calandragem do papel, o qual aumentará sua densidade aparente.

O teste para determinação da gramatura poderá ser feito cortando-se um metro quadrado de papel e depois se pesando esta área. Mas, normalmente, não se procede assim para a determinação da gramatura, principalmente devido a dois fatores:

- Dificuldade em se ter um metro quadrado exato de papel;
- Necessidade de rapidez e facilidade de manuseio no procedimento do teste.

Normalmente, a determinação da gramatura do papel é feita por uma das seguintes maneiras:

- Cortando-se uma área pequena do papel (10 cm x 10 cm), por exemplo, pesando-se esta área e extrapolando-se o peso obtido para 1 m², por uma simples regra de três;

- Cortando-se uma área previamente determinada (25 cm x 40 cm) e pesando-se em uma balança apropriada onde se obterá diretamente o peso de 1 m² de papel. A tolerância de gramatura normalmente aceita para papéis finos é de $\pm 5\%$.



Figura 25.08 (www.regmed.com.br)

Na figura 25.08 é mostrada a balança digital de gramatura modelo BG-2000 da REGMED.

25.1.7. Espessura

Espessura ou "caliper" é definida como a distância perpendicular entre as superfícies principais do papel e papelão (cartão) sob condições específicas. O controle de espessura é importante em todos os tipos de papel e papelão e, em particular, naqueles cujos beneficiamentos e/ou utilização exigem rigor neste aspecto. Por exemplo, a espessura de um livro está diretamente relacionada a espessura do papel usado.

A comprovação da espessura do papel como valor absoluto tem sentido quando se trata de comprovar se esta medida corresponde a o que se havia solicitado. Devido ao fato do conteúdo de umidade afetar a espessura e, muitos papéis e papelões mostrarem alguns graus de compressibilidade, várias medidas são feitas em áreas específicas das amostras de teste sob condições ambientais controladas, e sua medida média é então considerada como representativa da espessura deste papel em particular.

Não obstante, resulta em geral muito mais interessante comprovar como característica do papel a uniformidade desta espessura dentro da folha e de uma folha a outra de uma mesma fabricação. Pela forma com que se constitui a folha de papel durante a fabricação pode

compreender-se que sua superfície não é perfeitamente plana e que pode apresentar irregularidades em uma ou outra face que afetam diretamente a espessura nestes pontos.

A uniformidade da espessura também é um fator de extrema importância como é caso de alguns tipos de papel em que se requer pouca variação transversal e longitudinal. Um perfil transversal irregular de espessura produzirá defeitos conhecidos no mundo papelero como “canais”, “pneus”, “beirada mole”, etc. É importante, também, para bons resultados em impressoras tanto rotativas como de alimentação por folhas onde variações de espessura produzirão rugas (fichas ou enfichas) no momento da impressão.

As variações de espessura na folha de papel têm, também, como consequência diferenças de intensidade na cor da tinta impressa devido a pressão irregular no momento da transferência. Logicamente, se o ponto de impressão está regulado a uma pressão determinada, as zonas de papel que apresentam maior espessura sofrerão maior pressão e as zonas com menos espessura terão uma menor pressão. A espessura das películas de tinta transmitidas variarão de acordo com a espessura do papel. Além disto, a maior pressão existente nas zonas mais espessas do papel provocará uma maior penetração da tinta no corpo do papel, com o que poderá diminuir a opacidade nestas áreas.

Segundo a classe e acabamento do papel a uniformidade é maior ou menor. Assim, papéis “offset” ou apergaminhados têm uma uniformidade deficiente, enquanto que os papéis revestidos (“couché”, por exemplo) apresentam uma maior uniformidade de espessura. A tolerância que normalmente se aceita para a espessura é da ordem de $\pm 4\%$.

O teste para determinação da espessura é feito em aparelho chamado micrômetro (figura 25.09), cuja característica principal é ter dois discos planos e paralelos entre os quais se coloca a amostra do papel. O disco inferior é fixo e o superior é móvel na direção perpendicular ao outro. Normalmente o resultado é expresso em milímetros (mm) ou micrometro (μm) que também é denominado micra (μ).



Figura 25.09 (www.regmed.com.br)

A faixa de espessura vai de 0.0003 polegadas (0.008 mm) para papéis usados em capacitores até 1 polegada (25.4 mm) ou maior para papelões usados para fins específicos.

25.1.8. Densidade aparente

A densidade aparente é a massa em gramas de um centímetro cúbico (g/cm^3) de papel. O valor da densidade é obtido, dividindo-se a gramatura (em g/m^2) pela espessura (em micra). Duas folhas com a mesma gramatura, mas de espessuras diferentes e aparentemente iguais, apresentam “desempenho” diferente. Isso porque o conceito de densidade aparente tem um caráter bastante amplo, pois está relacionada com diversas outras características como permeância ao ar, rigidez a flexão, opacidade, dureza, resistência, etc.

A densidade aparente é uma medida do grau de compactação do papel. O papel com densidade baixa é mais fofo e com densidade alta é mais compacto. O parâmetro conhecido como volume específico, inverso da densidade aparente e expresso em cm^3/g , é denominado, muitas vezes, de corpo (“bulk”) e reflete bem o que os profissionais do ramo gráfico chamam de papel mais encorpado (menor densidade aparente e maior volume específico) ou menos encorpado (maior densidade aparente ou menor volume específico).

Os diversos tipos de papel diferem na densidade aparente devido às cargas, agentes químicos, tipos de fibras, calandragem, etc. Deve-se mencionar que, em geral, ela é diretamente proporcional à resistência e inversamente à permeância ao ar do papel. É evidente ainda que um aumento na espessura do papel não acarretará, necessariamente, um aumento na gramatura.

25.1.9. Estabilidade dimensional

A estabilidade dimensional também chamada higróestabilidade dimensional, consiste na faculdade que apresentam os papéis no que diz respeito a manter suas dimensões originais ao alterar suas condições ambientais (temperatura e teor de umidade, principalmente) e os esforços a que são submetidos durante a impressão e manuseio. A análise desta propriedade do papel resulta relativamente complicado, posto que não existe nenhum papel completamente estável.

O termo higróexpansividade (ou instabilidade dimensional) se refere à propriedade contrária a estabilidade dimensional. Define-se como a porcentagem de dilatação que se produz ao variar o conteúdo de umidade, indicando uma séria tendência a problemas de impressão como: perda de registro, cortar e vincar, relevo, ondulação, encanoamento, deformações, etc. A causa mais importante das mudanças dimensionais é a variação do

conteúdo de umidade frente à umidade relativa do ambiente pelo fato do papel ser higroscópico (ávido por água). Uma vez que esta varia por muitos motivos, as precauções a tomar deverão contemplar também muitos aspectos.

A base da instabilidade dimensional se encontra nas próprias fibras do papel. Ao nível individual, as fibras se incham ao absorver umidade e o fazem em maior grau no sentido transversal do que no sentido máquina. Disto se deduz que o papel apresentará maior mudança dimensional na direção contra a fibra do que na direção da fibra. Ao mesmo tempo, se pode deduzir facilmente que segundo a constituição das fibras (e, portanto, a classe de papel), as mudanças dimensionais serão maiores ou menores.

Além destes fatores citados, a falta de estabilidade dimensional pode também acarretar problemas de deformação na folha. Com efeito, se não existe um equilíbrio de umidade na mesma folha de papel, algumas zonas da mesma tenderão a possuir uma longitude distinta à de outras zonas com conteúdo de umidade diferente e isto dará lugar aos conhecidos problemas de beiradas frouxas (ou moles) e parte central apertada, ou parte central frouxa e beirada apertada. A maioria dos problemas de rugas do papel procede desta causa.

Essas variações são dependentes de uma série enorme de variáveis, tais como refinação, qualidade de fibras, tratamento a que o papel é submetido na máquina de papel, secagem, tração, etc. Estas mudanças são menores no sentido da fibra (direção de fabricação) do que contra a fibra. Com efeito, quanto menos refinado seja o papel e mais alta sua permeância ao ar menos mudanças dimensionais apresentará frente as variações em seu conteúdo de umidade.

Não obstante, se tenta conseguir a estabilidade dimensional incorporando materiais de carga mineral (praticamente insensíveis as alterações de umidade), melhorando a formação, aumentando a umidade do papel na enroladeira, aumentando o corpo do papel (menor calandragem) e melhorando a colagem interna, já que se precisa refinar as fibras para melhorar outras propriedades do papel tais como resistência a tração, ao arrancamento superficial ou a formação de bolhas. Desta forma se tenta melhorar, de forma paralela, o maior número possível de propriedades do papel.

Existem basicamente dois métodos para a determinação da estabilidade dimensional. Um deles, de resposta mais rápida e em aplicação em artes gráficas, se conhece com o nome de “sistema de imersão em água”. O outro, mais lento e científico e, portanto, mais apto a laboratórios especializados, se conhece sob a denominação de “sistema de diversos estados

higrométricos”, o qual é realizado prendendo-se uma fita de papel no interior de uma câmara, onde se provoca uma variação no teor de umidade relativa do ar ambiente, a uma temperatura constante, retirando-se depois a fita, para constatar a expansão ou contração verificada.

25.1.10. Colagem interna

É a resistência à penetração de água. A colagem é importante nos papéis para impressão “offset”, flexografia ou outros novos processos produtivos, onde a água se faz presente. Em outras palavras, a colagem é muito importante para papéis que terão de entrar em contato com algum líquido.

Para cada uso final, o papel deve ter uma faixa de colagem. Para exemplificar, vamos citar os papéis para impressão, que não podem ser pouco colados, pois os caracteres impressos sairiam borrados, e também não podem ser demasiadamente colados, pois dificultaria a secagem da tinta, provocando sujeira e borrrões

Há várias maneiras de se medir a colagem, como por exemplo: teste de Cobb, ensaio de Carson, Klemm, Hércules, ensaio da pena (colagem à tinta ou processo de riscos), ângulo de contato e imersão em água. Dentre as quais destacamos, a seguir, as mais usuais:

- Ensaio da pena: Faz-se uma série de riscos com uma caneta (pena) especial usando tinta padronizada, sobre os dois lados do papel. Observa-se se houve penetração e espalhamento de tinta e, algumas vezes, se mede o tempo para secar a tinta. Este teste é usado em papéis de imprimir e escrever. No caso de cartões para fichas, por exemplo, que devem ser muito colados, os riscos são apagados por borracha e depois risca-se outra vez, no mesmo lugar onde se passou a borracha, e se observa a penetração e o espalhamento da tinta (teste de resistência à borracha);

- Teste de “Cobb”: Corta-se e pesa-se uma folha de papel. Coloca-se a folha em contato com um líquido (água, por exemplo), usando-se o aparelho “Cobb”, por um tempo determinado (1 minuto). Eliminando-se o excesso do líquido sobre a folha, e pesa-se a folha outra vez. A diferença de peso é a quantidade do líquido que foi absorvido pelo papel. Os resultados são extrapolados para 1 (um) m² e dados em g/m², o que significa a quantidade em gramas do líquido que foi absorvido por um metro quadrado do papel.

A figura 25.10 apresenta o equipamento de medição de “Cobb” da REGMED.

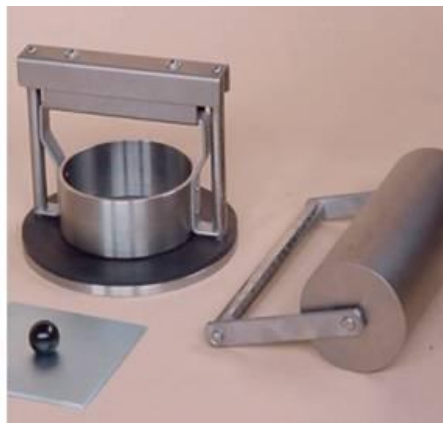


Figura 25.10

25.1.11. Formação

A estrutura interna do papel definida como grau de dispersão com o qual as fibras e demais constituintes são distribuídos no papel, também chamada de formação interna ou simplesmente, formação, tem mais importância no comportamento do papel do que normalmente lhe conferem, uma vez que influenciam várias outras propriedades do papel como permeância ao ar, opacidade, estabilidade dimensional, resistência à tração, ao rasgo, ao arrebatamento, dupla face, etc.

O conceito de formação se refere à uniformidade, em quantidade e qualidade, em que as fibras são distribuídas no papel. No nível físico, poderíamos comparar esta característica à uniformidade com que o papel transmite a luz. Assim, pois, o melhor papel será aquele que apresenta um aspecto uniforme contra a luz o mais próximo possível ao que observaríamos através de uma lâmina de plástico matizada (figura 25.11).

Em papéis de impressão, uma formação pobre produz impressão não uniforme, e em papéis para escrita diminui a aparência. A formação é influenciada pelas variações na preparação de massa tal como grau de refino, por exemplo, pelas operações da máquina de papel tais como relação jato-tela, frequência do rolo sacudidor (“shaking”), etc. e pelas variáveis referentes às matérias primas tais como comprimentos de fibras e a tendência das fibras a floculação (agregado) na caixa de entrada.

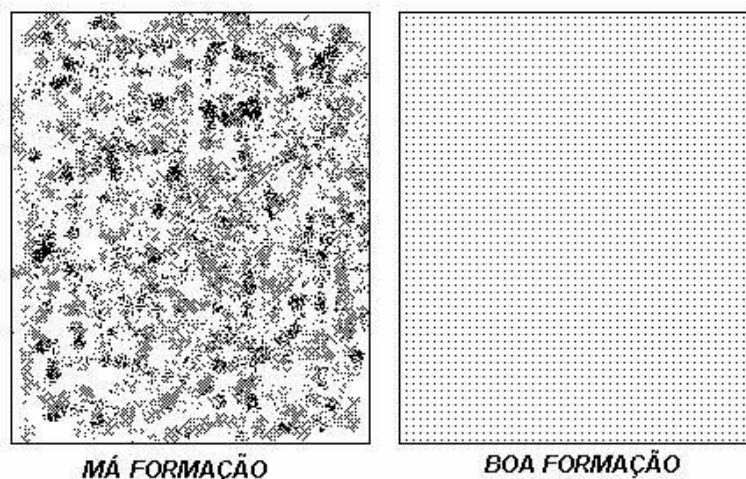


Figura 25.11 (FONTE: montagem de Edison da Silva Campos)

Para dispor de uma boa qualidade na impressão, principalmente quando se imprime grandes áreas, a distribuição das fibras deve ser o mais uniforme possível. Se existe em determinadas zonas agrupamentos de fibras de distinta espessura ou, simplesmente, uma maior presença destas fibras, a resposta de muitas outras características do papel opacidade, estabilidade dimensional, resistência, etc., serão claramente distintas naquelas áreas. Devido a maior acumulação de fibras, haverá uma pressão muito maior exercida pela calandra naquela zona causando uma série de inconvenientes como níveis de aspereza diferenciadas.

Existem vários instrumentos para medir a uniformidade da formação com base na quantidade de luz transmitida através do papel. Este sistema trabalha pela varredura da superfície fazendo atravessar um raio estreito de luz progressivamente por todos os pontos da amostra a analisar. A luz transmitida se recolhe mediante célula fotoelétrica pelo lado contrário do papel e se registram as flutuações bem seja em um indicador de agulha, em forma de gráfico sobre o papel ou com ajuda de um dispositivo digital que nos pode dar valores médios, mínimos e máximos.

25.2. PROPRIEDADES QUE INFLUEM DIRETAMENTE NA IMPRESSÃO

25.2.1. Umidade

Teor de umidade é o teor de água no papel em termos percentuais (%). A umidade afeta várias das características do papel tais como gramatura, resistência, propriedades elétricas, etc., e é muito importante na qualidade de vários processos de beneficiamento incluindo revestimento, impregnação, calandragem, impressão, etc.

A umidade do papel é função da umidade relativa da atmosfera. A folha de papel cujo teor de umidade não está em equilíbrio com as condições da sala de impressão está sujeito a perder a sua planicidade. A umidade do papel deve ser correta para o processo “offset”, caso contrário resultará em mau registro, encanoamento, rugas, eletricidade estática e distorção da imagem impressa, dependendo da estabilidade dimensional do papel, obviamente.

Umidade baixa causa excesso de eletricidade estática. Umidade muito alta causa dificuldade na secagem da tinta. O papel deve ser fornecido para impressão com um teor de umidade em torno de 7% e a sala deve estar a, aproximadamente, 65% de umidade relativa, no caso de países tropicais. Se por acaso, não se verificarem estas condições, o papel deve permanecer na sala de impressão até que seu teor de umidade esteja em equilíbrio com a umidade contida no ambiente.

Devido ao fato da umidade afetar fortemente as propriedades do papel, a avaliação das propriedades em laboratório deve ser realizada sob uma temperatura e umidade relativa padrão como foi visto anteriormente. Sob condições padrões o conteúdo de umidade de muitos papéis deverá estar entre 7% e 9%.

O conteúdo de umidade de uma folha de papel é dependente da umidade relativa de sua atmosfera ambiental. Um aumento na umidade relativa causa no papel um aumento do conteúdo de umidade e um decréscimo na umidade relativa faz o papel perder umidade. Materiais que exibem este tipo de resposta a umidade são chamados de higroscópicos.

O papel, tal como o cabelo humano e o algodão, é higroscópico devido a forte atração por moléculas de água exibido no caso da celulose, hemicelulose e outros componentes das fibras fabricadas a partir da madeira. A fibra tem um tubo central oco chamado lúmen, e as paredes da fibra têm espaços disponíveis para moléculas de água. A absorção de moléculas de água pela fibra faz com que a fibra sofra um processo de inchamento.

A parede da fibra é organizada de forma tal que o inchamento lateral é cerca de 15 à 20 vezes maior que o inchamento longitudinal, o qual causa variações dimensionais no papel (em torno de 1 a 4% no sentido contra a fibra. O inchamento aumenta a flexibilidade da fibra e enfraquece as ligações fibra a fibra. O relaxamento das tensões internas no papel com o aumento do conteúdo de umidade, junto com o inchamento das fibras produzem mudanças na dimensões do papel resultando em alargamento da folha no sentido contra a fibra, encanoamento, pés de galinha e ondulação.

Genericamente, a determinação do teor de umidade é feita da seguinte maneira: pesa-se o papel, seca-se o mesmo em estufa, pesa-se o papel seco e calcula-se o valor percentual da diferença de peso sobre o peso do papel antes de secar.

25.2.2. Acidez ou alcalinidade

Os conceitos de acidez ou alcalinidade são normalmente expressos mediante o que se denomina de pH, correspondendo a um símbolo matemático que expressa a acidez ou a alcalinidade de uma solução. A faixa usual de pH varia de 1 a 14. O valor 7 indica neutralidade, tornando-se a solução mais alcalina quando tende para 14 e mais ácida quando tende para 1. A acidez ou alcalinidade têm influência em várias características dos papéis, tais como colagem, cor, alvura, tempo de vida (permanência), estabilidade química, etc. e também pode ter grande influência na sua utilização (qualidade de impressão, por exemplo).

A acidez ou alcalinidade do papel se deve aos produtos químicos que se adicionam durante o processo e que formam parte da massa fibrosa. Logicamente, se trata de sais facilmente hidrolisáveis que, em presença de água, desenvolvem seu caráter ácido ou alcalino. Portanto, é a umidade contida no papel (ou a que se adiciona durante o processo offset) que torna possível a exteriorização dessa acidez ou alcalinidade contida no papel.

Desta forma, não se pode falar na verdade de acidez ou alcalinidade do papel se não tão somente de sua capacidade para acidificar ou alcalinizar a água com que entra em contato. Um papel “offset” de colagem ácida sem revestimento tem um pH em torno de 5, enquanto que no papel “offset” de colagem alcalina e no papel revestido o pH situa-se na faixa de 7,5 a 9. Um valor de pH elevado favorece a secagem da tinta, especialmente em condições de alta umidade.

Um pH inadequado no processo de impressão “offset” pode provocar sérios problemas. Um pH demasiado ácido pode facilitar a emulsão da água na tinta e influir extraordinariamente na secagem da tinta impressa, retardando-a. Um pH demasiadamente alcalino pode ser responsável pelo “engorduramento” da chapa e de outros defeitos indesejáveis. Deve existir, portanto, um equilíbrio conhecido e adequado entre o pH do papel, da solução de molha e as características da tinta.

Quanto a influência do pH no próprio papel, um dos aspectos mais importantes é sua permanência e sua estabilidade química. Um pH ácido reduz a vida útil do papel e a solidez de sua cor com o tempo. Se se deseja obter as melhores qualidades permanentes, o pH do

papel deve encontrar-se entre 7 e 7,5. Esta ligeira alcalinidade permite fazer frente ao ambiente mais ácido que o papel costuma enfrentar.

Basicamente existem dois tipos de determinação de pH em papéis:

- pH superficial: Consiste em se pingue uma solução indicadora na superfície do papel e se compara a cor obtida com a respectiva escala de padrão de cores. Solução indicadora é uma solução contendo substância que adquire cor característica para cada valor de pH. Este teste só é válido em papéis brancos.

- pH do estrato: consiste em se obter um extrato aquosos de papel e se medir o pH num aparelho para este fim. O estrato pode ser obtido a quente ou a frio, porém os resultados são diferentes e por isto deve-se indicar a técnica usada.

Além destes tipos básicos existem também tiras de papel medidores de pH que usadas de forma apropriada permitem indicar o pH do papel.

25.2.3. Direcionalidade

Os termos direção de máquina (em inglês: “Machine Direction” - MD) e direção da fibra são definidos como a direção do papel paralela a direção de movimento da tela na máquina de papel, enquanto que a direção perpendicular a direção da fibra é denominada direção transversal ou direção transversal da fibra (em inglês: “Cross Direction” - CD).

O sentido das fibras é importante para impressão a várias cores. Geralmente o sentido longitudinal das fibras é paralelo à dimensão maior da folha. O alinhamento preferencial das fibras na direção da máquina dá ascensão a direcionalidade. Isto significa que uma dada propriedade pode ter diferentes valores quando medidos em duas direções a ângulos retos em relação a cada outro na folha (anisotropia).

Ocorrem alguns efeitos do alinhamento das fibras sobre as propriedades do papel como, por exemplo, no sentido das fibras os rasgos e dobras são menores e o papel é mais resistente à tração. O papel também se expande e se contrai mais no sentido transversal que no sentido longitudinal quando sofre o efeito da variação da umidade.

A direcionalidade influencia muitas propriedades mecânicas do papel, e esta influência pode ser usada para produzir produtos específicos. Por exemplo, a alta rigidez na direção da máquina é usada no projeto de pastas suspensas para arquivos e algumas embalagens. Muitas propriedades do papel podem ser usadas para distinguir direção da máquina da direção transversal.

Os testes práticos (figura 65) para identificação dos sentidos longitudinal e transversal são baseados no fato de que as fibras do papel estão mais dirigidas no sentido longitudinal do que no sentido transversal e podem ser descritos das seguintes formas:

- Passar a unha do dedo polegar nas bordas da folha de papel, pressionando-a contra o dedo indicador. O lado paralelo ao sentido transversal apresentará ondulações mais nítidas e abundantes.

- Cortar uma folha quadrada de papel e fazê-la flutuar na água. Esta folha se curvará e o eixo da curvatura será paralelo ao sentido longitudinal do papel.

- Dobrar a folha de papel de maneira paralela a uma das beiradas e fazer um vinco pressionando levemente os dedos, indicador e polegar. Repetir a operação, fazendo um vinco perpendicular ao primeiro. O vinco feito no sentido transversal apresentará estrias e quebrados mais nítidos e abundantes (figura 25.12).

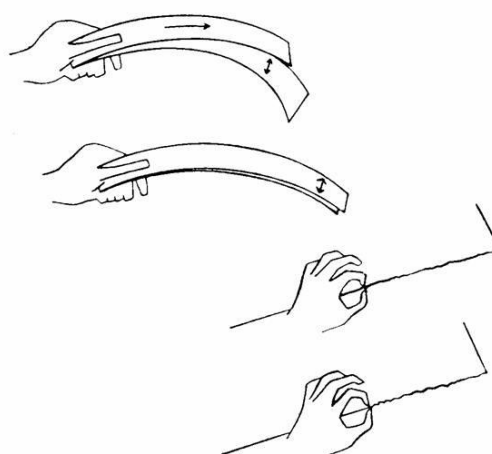


Figura 25.12 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

- Cortar duas tiras de papel na direção longitudinal e transversal da folha de papel que está servindo como amostra. Coloque uma folha sobre a outra e vire-as, ora num sentido ora noutro. A tira que tiver maior rigidez que a outra indicará o sentido máquina (figura 25.12).

25.2.4. Limpeza superficial

Define-se como limpeza superficial a ausência de componentes estranhos nitidamente visíveis na superfície do papel, como pintas pretas, por exemplo. À medida que se vai aperfeiçoando os sistemas de impressão, a limpeza superficial do papel é cada vez mais importante na impressão “offset”. Com efeito, a qualidade de impressão, as grandes superfícies impressas, o brilho de acabamento, etc. acentuam a necessidade de um bom nível nesta característica.

A tendência a imprimir grandes massas de tinta, o aumento de velocidade das máquinas e, em geral, a produtividade estão exigindo um acabamento superficial do papel cada vez mais uniforme e limpo. Se o papel apresenta uma falta de limpeza ostensível, as partículas de fibras e pó desprendidas e apanhadas pela tinta constituirão depois outros tantos defeitos na impressão sobre o papel. Poder-se-ia dizer algo parecido das partículas estranhas incrustadas na superfície que, em si mesmas, resultaram um defeito visível no produto acabado.

A falta de limpeza pode ser devida a dois elementos de origem distinta: partículas estranhas à própria fabricação do papel (impurezas procedentes da pasta ou adquiridas durante o processo de fabricação) e partículas pertencentes à composição do papel, mas que se encontram livres ou facilmente removíveis em sua superfície (fibras soltas, partículas de revestimento, etc.).

25.2.5. Planicidade

Na prática não se pode falar de planicidade do papel sem que esta esteja relacionada com outros aspectos já considerados. Poderíamos dividir esta característica em duas versões: a macroplanicidade e a microplanicidade.

Entendemos por macroplanicidade aquela que afeta a forma da folha no seu aspecto geral. Poderíamos associá-la a curvatura ou encanoamento do papel, ambos os aspectos devidos, na maioria dos casos, às variações no conteúdo de umidade do papel de uma parte a outra ou de uma em face de outra. Recordemos os comentários realizados ao tratar o conteúdo de umidade, absorvência, estabilidade dimensional, etc.

A microplanicidade descreveria então a situação superficial do papel quanto à maior ou menor existência de irregularidades de maior ou menor tamanho. Isto seria, então, consequência da formação do papel, de sua lisura, de sua limpeza, etc. áreas que já se tratou anteriormente.

25.2.6. Resistência à formação de bolhas

Tal como a palavra indica, as bolhas são inchações que podem apresentar os papéis devido a formação de vapor em seu interior os quais são impedidos de sair pela superfície do papel por algum motivo. O vapor é gerado pela ação de altas temperaturas sob a umidade existente no corpo do papel. Este problema, portanto, é típico da impressão em “offset” de bobina ao passar o papel pelo forno de secagem a altas temperaturas.

Normalmente estas ampolas possuem a forma ovalada e limites definidos, facilmente visíveis nas duas faces do papel. Ainda que sejam mais freqüentes quando se imprimem grandes massas de tinta em ambos os lados do papel, também podem aparecer em zonas não impressas.

Uma vez que estas bolhas se formam pela impossibilidade de sair o vapor ao exterior, é lógico que este problema não se apresente em papéis porosos, nem sequer nos papéis revestidos em um lado somente, mas é típico em papéis revestidos (ou “couché”) pelos dois lados. Em algumas ocasiões, a pressão produzida pelo vapor gerado chega a ser intensa e a superfície do papel tão hermética que as bolhas acabam por explodir.

25.2.7. Resistência à tração

Resistência à tração é a força de tensão direta, necessária para arreventar o papel, quando aplicada longitudinal ou transversalmente. Nos papéis para impressão, fornecidos em folhas, a resistência não é um fator muito importante. Contudo, no papel fornecido em bobina, exige-se que tenha um mínimo de resistência ao rompimento da folha, quando sofre tensão.

A resistência à tração na direção “z” mede a resistência das ligações internas dentro dos limites das folhas quando é submetido a tensão esticando perpendicularmente ao plano da folha. Papéis com goma, fitas, e produtos colados, por exemplo, experimentam solicitações na direção deste tipo e dependem das ligações internas para sua integridade. Cartões multicapas devem ter boas ligações internas entre placas para desempenhar sua função satisfatoriamente.

Muitos diferentes instrumentos estão disponíveis para a medição de tração, sendo os mais apropriados os chamados dinamômetros (figura 25.13), os quais aplicam sobre o papel uma força uniformemente crescente, até a ruptura, em condições determinadas de largura e comprimento. Os corpos-de-prova devem ser cortados na direção longitudinal e transversal devido à diferenciação das características do papel em diferentes direções (anisotropia).



Figura 25.13 (www.regmed.com.br)

25.2.8. Resistência ao rasgo interno e inicial

A resistência ao rasgo interno é a quantidade de trabalho necessário para rasgar uma amostra de papel através de uma distância determinada, depois de ter sido iniciado o rasgo na borda. Obviamente, esta propriedade é distinta se levarmos em consideração a direção da fibra ou contra a fibra.

A resistência ao rasgo inicial, também conhecida como resistência ao rasgo nas bordas, difere essencialmente da resistência ao rasgo interno. Neste caso, o esforço que pode produzir a ruptura não é somente a torção, como também o de tração e corte. O agente principal que provoca o rasgo inicial é a aplicação de uma força momentânea do tipo externo cujo efeito depende das tensões de cisalhamento que se encontram presentes, da espessura e da elasticidade do papel.

O principal método usado para avaliar a resistência ao rasgo mede a resistência interna ao rasgo do papel, e é comumente conhecido como o teste de rasgo ou teste Elmendorf, o nome do inventor deste instrumento padrão. Na figura 25.14 são mostrados, da esquerda para a direita um Elmendorf analógico e um digital modelo, ambos do modelo ProTear[®].



Figura 25.14 (www.regmed.com.br)

25.2.9. Resistência ao arrancamento superficial

É a capacidade do papel de se opor ao rompimento e à remoção de fragmentos na sua superfície, quando em contato com algum material. As tintas têm certo grau de pegajosidade (“tack”), logo, é de se esperar que elas exerçam uma força sobre a superfície do papel à medida que a película da tinta se separa da placa.

Muitos processos de impressão e conversão requerem que a superfície do papel apresente suficiente resistência superficial ao arrancamento, principalmente aqueles de velocidade alta, de maior contato com o papel, e de tinta com alto pegajosidade. No processo “offset”, a tinta é mais espessa e com mais pegajosidade do que no processo tipográfico. Por isso, aparece mais frequentemente, em “offset”, o problema do arrancamento.

Comumente são usados dois tipos de testes para se medir a resistência ao arrancamento superficial:

a) Aparelho IGT: Este é particularmente usado em papéis para impressão tipográfica ou “offset”, e principalmente em papéis couché. O princípio de funcionamento do aparelho IGT é imprimir o papel com tinta padrão e com velocidade uniformemente acelerada. Depois se verifica em que ponto iniciará o arrancamento.

b) Teste de Dennison (figura 25.15): Neste teste são usados vários bastões de cera cujas forças adesivas são diferentes. Os bastões têm numeração crescente à medida que aumenta o poder de adesão. Estes bastões são derretidos e colocados sobre a superfície do papel. Na série de ceras, a de número mais alto que não alterar a superfície do papel, corresponde ao resultado numérico do teste.

O teste de Dennison não é aconselhado para papéis revestidos porque a cera aquecida derrete os componentes do revestimento, fornecendo uma falsa leitura.

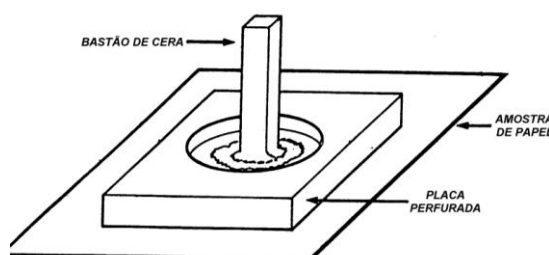


Figura 25.15

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

25.3. PROPRIEDADES QUE INFLUEM NO PRODUTO IMPRESSO

25.3.1. Resistência às dobras duplas

Resistência a duplas dobras é o número de duplas dobras (dobras de uma face para outra face) que o papel resiste até sofrer uma quebra. Os exemplos típicos de papéis que devem ter alta resistência a duplas dobras são aqueles usados para confecção de dinheiro, mapas e cartas náuticas.

Todos papéis têm comportamento diferente quanto à resistência mecânica, se a força é aplicada longitudinal ou transversalmente à sua formação. As resistências à tração e as duplas dobras são maiores no sentido longitudinal e menor no sentido transversal. No caso de resistência ao rasgo, como vimos, o comportamento é inverso.

Quando um papel devido ao seu uso final solicita repetidas dobras, como no caso de papéis moeda, um teste de dobras duplas é aplicável. Este teste mede uma combinação de resistência à tração, alongação, flexibilidade, resistência a compressão e outros esforços e tensões de corte.

Muitos instrumentos estão disponíveis para medição de dobras duplas. Em cada teste, se medirá como resultado do teste o número de duplas dobras que a amostra suportará antes da ruptura.

25.3.2. Alongamento

Esta característica do papel está muito relacionada com a resistência a tração que foi vista anteriormente e também com a resistência ao arrebentamento que será visto no próximo item. Na realidade, é uma característica que apresenta o papel antes que se inicie seu rasgo ou seu arrebentamento quando submetido a um esforço. Nem sempre uma maior resistência ao arrebentamento ou a tração supõe um maior alongamento.

O conceito prático de alongamento pode definir-se como a porcentagem de extensão que sofre um determinado papel ao estar submetido a uma tensão gradualmente crescente, no momento em que produz sua ruptura.

É evidente que o alongamento terá valores distintos na direção da fibra do que os que se obtém na direção contra a fibra, sendo que estes últimos serão maiores que os primeiros pela maior elasticidade da ligação entre fibras. Por outro lado, a umidade relativa favorece a flexibilidade do papel e, portanto, com seu aumento se obtém um crescimento do alongamento antes da ruptura.

Para avaliar a resistência ao alongamento se realiza exatamente o mesmo ensaio que descrevemos ao falar da resistência a tração. Trata-se, portanto, de medir o alongamento que se produz na amostra de papel ensaiada no momento da ruptura.

25.3.3. Resistência ao arrebentamento

A resistência ao arrebentamento é definida como a pressão necessária para produzir o arrebentamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um diafragma elástico, de área circular. Esta propriedade é geralmente um bom indicador da resistência ou da tenacidade do papel, sendo comumente chamado de “Mullen” ou estouro.

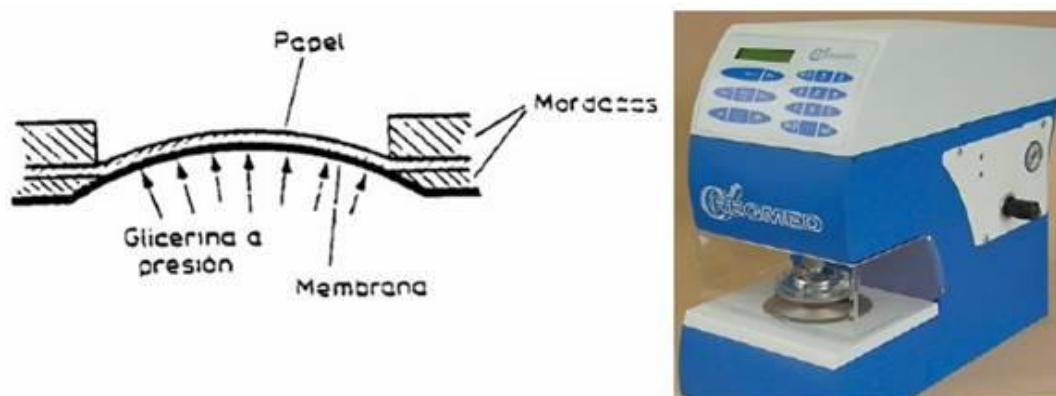


Figura 25.16 (FONTE: www.regmed.com.br)

O teste mais comumente empregado é feito no equipamento “Mullen Tester” (figura 25.16, apresentando um desenho explicativo e o equipamento da REGMED modelo MTA-2000P) que aplica ao papel uma pressão hidráulica uniformemente crescente, mediante um diafragma elástico de área padronizada. A resistência ao arrebentamento é medida pela fixação da amostra, submetendo-a a uma pressão de um dos lados. Isto causa a amostra uma deformação em um hemisfério até a falha ocorrer por ruptura. Usualmente, o resultado é expresso em “lb/pol²” ou “kg/cm²”.

25.3.4. Resistência à abrasão

Durante sua utilização, muitos dos papéis e impressos são submetidos a fricções e a esforços de abrasão. Tanto o papel para embalagem como o papel moeda são dois clássicos exemplos. Não devemos esquecer tão pouco a importância da resistência a abrasão no que se refere ao desgaste da imagem impressa no papel.

Evidentemente, a resistência a abrasão da película de tinta impressa exerce um papel importante neste aspecto, porém, se as fibras que suportam a ancoragem desta película não têm a consistência suficiente, o problema poderia continuar aparecendo. Além disto, se deve

considerar não somente a resistência do conjunto tinta-papel no estado seco senão sua variação quando se umedece o papel. Nesta diferença, a resistência do papel constituirá a causa principal pelo insignificante efeito que pode ter a água sobre a película de tinta seca.

Como não é possível obter de forma exata a resistência à abrasão, não haverá outra solução senão tentar reproduzir ao nível de laboratório o efeito prático a que se vê submetido o papel.

Logicamente, é difícil reproduzir fielmente o tipo de friccinador, a velocidade do movimento, a pressão das superfícies de contato, etc. Entretanto, se tem desenvolvido uma série de aparelhos para medir esta característica do papel diferenciando-se não só no método empregado senão também nos parâmetros que se utilizam para avaliar esta resistência. A figura 25.17 mostra um medidor de flexão da Regmed.



Figura 25.17 (FONTE: www.regmed.com.br)

25.3.5. Resistência ao deslizamento

A resistência ao deslizamento é um conceito que pode se identificar ao da fricção da superfície do papelcartão. Daqui, fisicamente, se pode distinguir dois parâmetros distintos: o coeficiente de fricção estática, que pode se identificar com a força necessária para iniciar um movimento de deslizamento, e o coeficiente de fricção cinética, que faz referência a força necessária para manter o movimento inicial. A resistência ao deslizamento em valor absoluto depende, logicamente, da componente do peso ou força que atua na direção perpendicular às das superfícies que se deslocam relativamente. É, portanto, necessário falar de coeficiente de fricção por ser este independente do peso.

De fato a resistência ao deslizamento expressada pelo coeficiente de fricção não tem excessiva importância no processo de impressão, a não se no desenrolamento de bobinas no caso de papéis com menor aspereza como é o caso do papel alcalino, por exemplo. É no processo de acabamento que surge toda sua relevância, quando as superfícies impressas devem deslizar-se entre si ou com respeito a outros materiais. No caso de existência de uma

grande resistência ao deslizamento ou fricção durante a impressão, devemos ter em conta que se podem criar cargas eletrostáticas que afetariam o processo.

A maioria dos dispositivos para avaliar a resistência ao deslizamento se baseia no princípio do plano inclinado. À medida que o ângulo de inclinação aumenta, diminui a componente perpendicular ao plano inclinado correspondente ao peso do objeto que se deve deslizar, enquanto que aumenta a componente paralela a dito plano, e no momento em que a resistência ao deslizamento é inferior a esta componente paralela ao plano, o movimento se inicia.

25.3.6. Rigidez à flexão

A rigidez à flexão, ou simplesmente rigidez, é a capacidade que tem o papel de se opor ao arqueamento ou curvatura. Em outras palavras, é a habilidade que tem o papelcartão de resistir a deformação sob tensões de flexão. Um papel não rígido é aquele que se curva facilmente. A rigidez é muito importante em papelcartão e cartolina, especialmente aquelas para fichários. No caso de impressão “offset”, o papel muito flexível dificulta a alimentação, diminuindo a produtividade.

Muitos instrumentos estão disponíveis para medir a rigidez. Entre eles estão os testes de “Gurley”, “Taber”, e “Clark”. O método mais conhecido é o da rigidez “Taber” que consiste em medir a resistência que o papel oferece ao seu encurvamento. As amostras para o teste são cortadas em tamanhos padronizados, no sentido longitudinal e transversal, sendo o resultado expresso, geralmente, com a média destas duas medições. A figura 25.18 mostra o medidor de rigidez RI-5000.



Figura 25.18 (www.regmed.com)

26. PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS PAPÉIS PARA EMBALAGENS

Como a Suzano produz papel cartão para embalagens leves, serão estas a serem enfocadas neste curso. As embalagens leves que utilizam papel cartão são as mais

diversificadas e atendem a todo tipo de produto. A aparência em casos de apresentação é fundamental como no caso de embalagens para presentes e alimentos.

Papelcartão é utilizado em caixas que normalmente não absorvem cargas pesadas e necessitam ter uma boa apresentação.

26.1.1. Resistência à delaminação

Testes que determinam a coesão interna da folha de papel (“Ply Bond”). Se observarmos ao microscópio uma seção transversal de um papel poderemos constatar que sua estrutura é de muitos planos. Isto é, praticamente não encontramos nenhuma fibra disposta na direção da espessura ou direção Z. Do ponto de vista prático, a resistência na direção “Z” permite avaliar em que medida o papel ou cartão pode suportar tensões perpendiculares ao plano e, portanto, em quanto poderá suportar as tensões que aparecem durante a impressão e na manipulação da folha.

Existem basicamente dois métodos de medir a coesão interna: esforços de tração e impacto.

O método de esforços de tração se baseia em um dispositivo constituído por dois blocos metálicos de superfície polida nos quais se fixa o papel através de filas adesivas de dupla face (resultados em kPa) como na figura 26.01.

No método de impacto um pêndulo (figura 26.02) mede a energia absorvida para delaminar a folha. O dispositivo consiste em um pêndulo que arranca uma cantoneira metálica previamente aderida ao papel por fita de dupla face. Este método é utilizado pelo aparelho “Scott Internal Bond Tester”. Os resultados são expressos em unidades de energia por unidade de área, que no SI são J/m^2 .

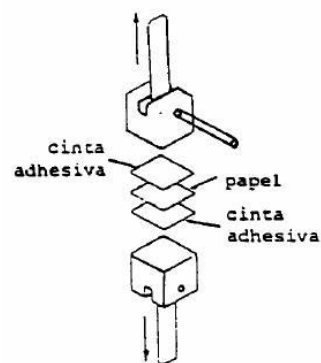


Figura 26.01 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)



Figura 26.02 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

26.1.2. Coeficiente de fricção

Esta propriedade é importante, principalmente, quando da alimentação das chapas de papelão ondulado às máquinas de conversão e no usuário final, quando da alimentação das embaladeiras.

É importante que a fricção entre as chapas seja baixa o bastante para que os mecanismos de alimentação das máquinas acima citadas possam pegar chapa por chapa. Se a superfície for muito rugosa (alto coeficiente de fricção) correremos o risco de alimentar duas chapas ao mesmo tempo. Se, entretanto, o coeficiente de fricção for muito baixo, existe o risco de deslizamento da pilha de chapas ou caixas prontas. Em geral mede-se esta propriedade através do ângulo em que uma amostra previamente unida a um peso padrão desliza sobre outra amostra do mesmo papel. Pode-se testar a direção máquina contra direção máquina ou direção transversal contra direção transversal.

26.1.3. Rigidez

Esta é a mais importante propriedade física dos cartões e cartolinas, pois normalmente a caixa é produzida em uma só placa, como sai da máquina, e esta propriedade não permite que a mesma se deforme.

26.1.4. Espessura

Este dado é importante e fundamental para a rigidez. Rigidez é o produto do módulo de elasticidade pela espessura ao cubo.

26.1.5. Estouro

Como nos casos anteriores mede a resistência geral do papel. Alvura, lisura, rasgo, absorção, impermeabilidade, resistência à tração são efetuados, dependendo da finalidade a que será destinado o cartão.

26.1.6. Vincagem

A vincagem e dobra do cartão são partes essenciais nas etapas de acabamento do mesmo. Atualmente essas operações são processadas em equipamentos de alta velocidade: entretanto, a regulagem das mesmas é baseada quase que exclusivamente na prática. Existem alguns aparelhos para testar e prever o comportamento do cartão na vincagem e na dobra,

como o BRDA SCORE TESTES TAPPI STANDARD, o PATRA SCORA TESTER e o CONCORRA SCORE TESTER. Esses testes podem ser considerados importantes para um Controle de Qualidade, porém não fornecem indicações precisas a respeito do mecanismo básico do vinco ou o motivo de certo cartões apresentarem um comportamento superior ao de similares em máquinas automáticas.

O sucesso do cartão como material para confecção de cartuchos é função direta da propriedade de ser capaz de existir em dois estados físicos completamente diferentes: um estado rígido no qual as camadas que compõem o cartão são bem unidas juntas e um estado flexível no qual as camadas sofrem uma delaminação. Esses dois estados podem existir simultaneamente em regiões adjacentes e prover o cartão de um conjunto de áreas rígidas separadas por linhas de vinco.

Uma passagem de uma estreita área do cartão, do estado rígido para o estado flexível, é acompanhado parcialmente por um pré-condicionamento provocado pela operação de vincagem e parcialmente por um início de dobra. O cartão permanece essencialmente rígido até que a dobra propriamente dita se inicie.

Durante a ação de dobra do cartão há uma grande sollicitação nas camadas externas do mesmo, enquanto que as internas são submetidas a uma compressão irregular. Para possibilitar a dobra o cartão deve ter sido previamente vincado. O vinco comum com um conjunto de facas reduz a espessura do cartão e diminui as tensões na dobra, mas reduz a resistência física do mesmo.

Uma técnica muito mais aconselhável é a utilização de um vinco tipo macho e fêmea: a faca (macho) força a penetração do cartão num canal cuidadosamente dimensionado (fêmea),

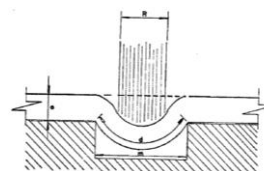


Figura 26.05 (Fonte: apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP)

A vincagem reduz grandemente a ligação entre as fibras dentro da área vincada, porém não há indícios de uma delaminação completa. Testes de resistência a sollicitações de tensão demonstram que a linha superior raramente é danificada.

Mesmo sob condições de vinco extremamente adversas, a linha superior do cartão retém mais de 90% de suas propriedades de resistência física. Porém a linha inferior pode ser grandemente danificada, podendo chegar até a ruptura se forem utilizadas facas excessivamente estreitas ou com excessiva penetração.

Vincos mal calculados são ainda mais problemáticos se a distância entre os mesmos for pequena, e se forem feitos individualmente. O problema é atenuado em vincagens simultâneas, como é comum atualmente. Deve-se sempre salientar que a operação vincagem tem um objetivo de pré-condicionamento, ou seja, deve proporcionar condições ao cartão de modo que, quando for processada a dobra, possa haver uma delaminação tão completa quanto possível dentro da área vincada.

26.1.7. Dobra

Quando a dobra tem início, a deformação na região vincada dá origem a diversas tensões entre as camadas na direção Z, ou seja, perpendicular ao plano do cartão. A delaminação ocorre se estas tensões excedem às de ligação entre as camadas do cartão.

As tensões desenvolvidas entre as camadas durante a operação de dobra dependem de fatores como o módulo de elasticidade e espessura das diversas camadas. A tensão de delaminação é proporcional a um coeficiente médio que depende de vários fatores, como a relação entre a espessura da ruga da linha inferior e a espessura do cartão, além da razão entre o comprimento da parte deformada na vincagem e a referida espessura.

A tensão para delaminação é duas a três vezes menores para vincos realizados na direção transversal em virtude de características de rigidez. Entretanto, a força de ligação entre as camadas, já que depende de uma condição perpendicular ao plano do cartão, é a mesma para ambas as direções. Isto explica porque a delaminação e, conseqüentemente, a formação das marcas de vinco é muito mais fácil de ser obtida na direção longitudinal. Porém, isto pode ser corrigido com um molde mais estreito e um maior deslocamento da faca que para a vincagem transversal.

A operação seguinte a da vincagem é efetuada, geralmente, em máquinas automáticas, que dobram e colam o cartão para a confecção do cartucho. Estas máquinas dobram dois vincos de um ângulo de 180° e colam uma aba, para formar uma peça retangular achatada. Estas peças são, então, fornecidas aos consumidores que, com máquinas geralmente automáticas, dobram as abas inferiores de 90°, formando um cartucho aberto em sua parte superior e que recebe o conteúdo, sendo então completamente fechado.

27. NOÇÕES BÁSICAS DE REVESTIMENTO DE PAPÉIS

Uma folha formada apenas por fibras de celulose apresenta uma superfície irregular, onde altos e baixos relevos diminutos alternam-se com vãos, em distribuição casual. Esta irregularidade é causada por áreas livres entre as fibras individuais e por áreas entre os aglomerados (flocos) de fibras. A primeira das áreas apresenta uma dimensão mínima de 5 μm e a segunda entre 225 e 300 μm , dependendo do tipo de fibra utilizada e da formação da folha. Em adição a esta irregularidade, a trama das fibras no papel origina, também, numerosos poros cujos diâmetros variam entre 1 e 5 μm .

Dependendo da finalidade a que se destina o papel, as depressões de sua superfície e os poros em seu interior influenciam negativamente seu bom desempenho. Surge, então, a necessidade de preencher estes espaços vazios. Assim, são usados minerais como carga ou como constituinte de tintas para revestir papéis. Normalmente, estes recebem a designação de carga (“filler”) quando empregados como enchimento e de pigmento (“pigment”) quando utilizados para constituir tintas para revestimento de papel. A tinta de revestimento é usada para revestir papel ou papelcartão em uma ou ambas as faces, visando-se obter uma superfície mais regular. São diversas as razões que levam a revestir papel. Entre elas podem-se citar as seguintes:

- Aumentar sua receptividade à tinta de impressão;
- Uniformizar sua superfície anisotrópica;
- Diminuir sua abrasão;
- Reduzir sua tendência em soltar pó e de arrancamento de fibras durante o processo de impressão;
- Melhorar sua textura;
- Torná-lo resistente à umidade;
- Produzir um produto atraente;

Neste sentido os revestimentos classificam-se em três grandes grupos:

- Revestimento para impressão: quando se deseja aprimorar a qualidade de impressão (ênfase deste curso);
- Revestimento decorativo: quando se deseja aprimorar a aparência do papel;
- Revestimento funcional: quando se deseja promover algumas propriedades específicas, tais como: resistência à umidade, ao vapor de água, ao óleo, à gordura e a aderência sob a ação do calor.

Sob a denominação “couché” se entende o recobrimento da superfície do papel ou cartão com uma capa (camada) de pigmento em que as partículas encontram-se unidas entre si e firmemente fixadas à superfície do papel ou papelcartão. Com o revestimento, o papel ou papelcartão se torna mais adequado para a impressão tornando o resultado final muito mais bonito. Isto quer dizer que o papel ou papelcartão adquire mais brilho, maior lisura, maior brancura, etc.

Os componentes mais importantes de uma tinta “couché” são: água, pigmento, dispersante, ligante sintético e produtos auxiliares especiais, tais como lubrificante, alvejante, coligante, reatante ou agentes insolubilizantes, etc.

Os pigmentos são à base de todas as tintas de revestimento. Dentre os diversos pigmentos são utilizados o caulim e o carbonato de cálcio precipitado ou natural. Os pigmentos influem nas propriedades do recobrimento como, por exemplo, o brilho, absorção de tintas de impressão, hidrofília, resistência à abrasão, opacidade, brancura, etc. Na preparação da tinta de revestimento, os pigmentos são dispersos primeiramente em água para que se possa trabalhar em altas concentrações. Para se preparar esta dispersão de pigmentos em água a altas concentrações, se utilizam os chamados dispersantes.

Outro componente importante da tinta para revestimento é o ligante (sintético ou natural) que representa um adesivo adicionado à tinta de revestimento e que tem a função de unir entre si as partículas do pigmento e fixá-las à superfície do papel ou papelcartão. Estes ligantes são quimicamente dispersões aquosas de polímeros à base de ésteres acrílicos carboxilados ou à base de estireno-butadieno carboxilados.

O revestimento pode ser feito em equipamento acoplado à própria máquina de papel (“on line”) ou instalado à parte (“off line”). A figura 27.01 abaixo mostra um equipamento “off line” de aplicação de revestimento.

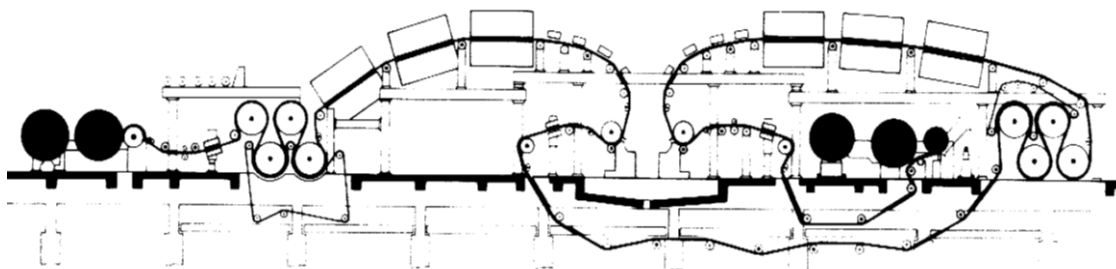


Figura 27.01 (FONTE: Papiermacher Taschenbuch)

28. TRATAMENTO DE EFLUENTES

28.1. PRÉ-TRATAMENTO

Fatores importantes como a segregação adequada e a coleta de águas residuais de acordo com as suas características, são indispensáveis para uma boa seqüência de tratamento de resíduos, além também da recuperação de produtos, subprodutos e controle interno da poluição. A figura 27.01 mostra um fluxograma de uma estação de tratamento de efluentes.

Geralmente, as fábricas possuem pré-tratamento de seu efluente principal, onde se faz a remoção de areia, detritor, cinzas inorgânicas, pedregulhos entre outros. Este tipo de operação é feito por:

28.1.1. Tanques de sedimentação

A decantação é feita em grandes tanques retangulares aonde os flocos maiores e mais pesados vão para o fundo, acontecendo a sedimentação que nada mais é do que a deposição da matéria orgânica (impurezas) no fundo do tanque pela ação da gravidade. Isto quer dizer que os flocos vão lentamente descendo para o fundo do tanque ali ficando na zona de repouso.

28.1.2. Sistema de peneiramento

Sendo empregada peneira de aberturas entre 20 a 40 mm ou às vezes com aberturas de 10 a 20 mm. Os tipos de peneiras mais comumente empregadas são: disco rotativo com auto-limpeza, peneiras de tambor e peneiras hidráulicas.

A finalidade do sistema de peneiramento é rever o material particulado mais grosseiro presente no efluente.

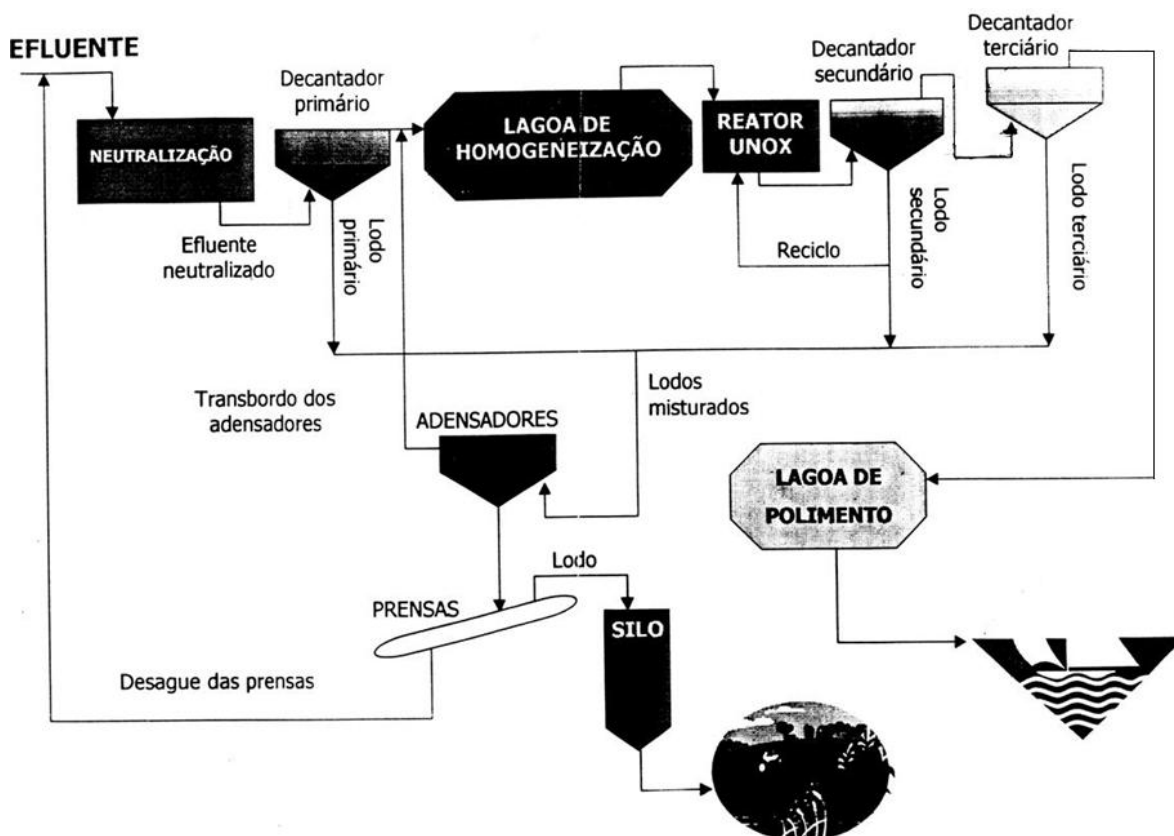


Figura 27.01 (FONTE: indeterminada)

28.1.3. Ajuste de pH e temperatura

Outra parte integrante do pré-tratamento é o ajuste de pH do despejo líquido, que deve estar entre 6 e 9, para que se torne apropriado para o tratamento secundário. Além do ajuste de pH no pré-tratamento, também tem que haver ajuste de temperatura, pois se estiver acima de 40°C pode haver alterações no tratamento secundário. Este ajuste pode ser feito por torres de resfriamento, tanque providos de aspersores, sistemas de cascatas ou por tanques de homogeneização.

28.2. TRATAMENTO PRIMÁRIO

O tratamento primário consiste na remoção de sólidos em suspensão. Como na indústria de papel existe muita quantidade de matéria coloidal e substâncias químicas dispersas que podem inibir a sedimentação por gravidade, a floculação é a mais utilizada para condicionar os despejos antes da decantação primária.

Depois da floculação, a água vai para a decantação gravitacional ou para a flotação com ar dissolvido onde a água será clarificada.

Geralmente, para melhorar o rendimento do processo de flotação, agregam-se aos flocos, micro-bolhas de ar que aumentam a força de empuxo sobre os mesmos, facilitando sua ascensão e posterior remoção por rodos raspadores instalados na superfície da unidade.

Em geral, a sedimentação primária é empregada para a remoção de sólidos dos despejos líquidos, devido ao seu baixo custo e à sua forma menos sensível as variações de fluxo. A sedimentação pode ser feita por meio de bacias de sedimentação no terreno ou em decantadores mecanizados, sendo os mais utilizados aqueles de formas circulares, pois seu tempo de decantação é de 3 a 4 horas, enquanto aqueles de bacias feitas em terrenos é de 12 horas.

Freqüentemente são implantados tanques de homogeneização entre o tratamento primário e o secundário com a finalidade de controlar a vazão dos despejos líquidos das indústrias. Estes servem também para a acumulação em casos de alteração na fabricação ou quando haja dificuldades operacionais na estação de tratamento, limitando o volume de despejo tratado.

28.3. TRATAMENTO SECUNDÁRIO

O tratamento secundário tem como principal objetivo reduzir a DBO (demanda química de oxigênio) solúvel, utilizando processos de oxidação biológica. Para que o tratamento biológico seja realizado, antes de começar, têm que ser adicionados nutrientes, na forma de nitrogênio e fósforo, pois o efluente da indústria de celulose e papel é muito deficiente nesses nutrientes que são essenciais para a existência e balanceamento dos organismos biológicos necessários na oxidação e estabilização do material orgânico do despejo.

Os tipos de tratamento utilizados são: lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodos ativados e filtros biológicos.

28.3.1. Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização servem tanto para regularizar as descargas no corpo receptor como também, para reduzir a carga de DBO.

O tempo de retenção dessas lagoas varia entre 10 e 30 dias. As principais vantagens das lagoas de estabilização são:

- Corresponder favoravelmente ao tratamento de efluente;
- Segurança na eficiência;

- Flexibilidade operacional;
- Pequeno investimento e baixo custo operacional.
- A principal desvantagem é a necessidade de grande extensão de terra.

28.3.2. Lagoas aeradas

As lagoas aeradas foram criadas para melhorar o funcionamento das lagoas de estabilização sobrecarregadas, pois as lagoas aeradas requerem um espaço bem menor do que as de estabilização.

O lodo biológico produzido nas lagoas aeradas é menor do que o proveniente de outros processos de alta taxa, que em geral variam entre 0,1 e 0,2 kg de lodo por kg de DBO removida.

28.3.3. Lodos ativados

O sistema de lodos ativados é utilizado principalmente em fábricas onde não há área suficiente para as lagoas de estabilização. Esse processo é biológico. Nele o influente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados no tanque de aeração para logo após se separar os lodos ativados do efluente tratado por sedimentação. Uma parte do lodo ativado separado retorna para o processo e outra parte que é o lodo produzido em excesso é retirado do sistema via desaguadoras e enviada ao destino final.

O sistema de lodos ativados apresenta como vantagens os seguintes fatores:

- Excelente qualidade do efluente obtido;
- Flexibilidade operacional;
- Requer pequenos volumes do reator;
- Segurança e estabilidade do processo.

As desvantagens do processo são as seguintes:

- Operação mais delicada;
- Custo maior de operação e investimento;
- Necessidade de controle adequado do processo por pessoal especializado;
- Maior geração de lodo;
- Necessita de completo controle em laboratórios.

Embora o resultado seja satisfatório apresenta alguns problemas como o “inchamento” do lodo secundário. As possíveis causas deste problema são: as quantidades excessivas de bactérias filamentosas, aeração excessiva ou deficiente, e deficiência de nitrogênio.

28.4. TECNOLOGIA “KALDNESS”

Uma tecnologia vem sendo empregada como uma alternativa para as lagoas aeradas. É a chamada tecnologia “kaldness”. Os microrganismos ficam aderidos ao “kaldness”, formando o biofilme. Com o passar do tempo esses “macarrãozinhos” ficam com aparência marrom. O borbulhamento de oxigênio no fundo do reator permite a constante troca de microrganismos aderidos ao “kaldness”.

Em comparação com as lagoas aeradas, a tecnologia “kaldness” tem as seguintes vantagens:

- O espaço necessário para a sua instalação é muito menor;
- Apresenta um menor tempo de retenção.

28.4.1. Filtros biológicos

Os filtros biológicos têm o seu uso muito restrito para as indústrias de papel e celulose, devido a problemas de entupimento do meio filtrante, o alto custo e a baixa eficiência para a redução de DBO, pois reduzem em apenas 40 ou 50% da DBO quando trabalham em altas taxas de vazão e carga de DBO. Os filtros biológicos têm sido empregados quando os efluentes são tratados por lodos ativados.

28.4.2. Tratamento terciário

O tratamento terciário pode ser empregado com a finalidade de se conseguir remoções adicionais de poluentes em água residuárias, antes de sua descarga no corpo receptor; essa operação é também chamada de “polimento”. Os processos de tratamento terciário em estudo compreendem:

- Filtração para remoção de DBO e DQO;
- Cloração ou ozonização para a remoção de bactérias;
- Absorção por carvão ativado;
- Processo de pasta de cal e outros processos de absorção química para a remoção da cor;

- Redução de espuma e de sólidos inorgânicos através da eletrodialise, da osmose reversa e da troca iônica.

28.5. PROCESSO FOTOELETROQUÍMICO

Uma metodologia que vem despntando com grande sucesso é o emprego de processos eletroquímicos. O método baseia-se na aplicação de um potencial capaz de oxidar diretamente os substratos de interesse, ou indiretamente, através da geração eletroquímica de espécies extremamentes reativas (tais como, radicais OH e/ou O₂), que são capazes de oxidar os poluentes orgânicos em solução. Pesquisas recentes têm apontado para o uso combinado do processo eletroquímico com fotocatalítico, denominado por processo fotoeletroquímico.

29. RECUPERAÇÃO DE FIBRAS

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 28.01).

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.



Figura 28.01 (FONTE: www.kroftaengineering.com)

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.

30. SUSTENTABILIDADE NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

FONTE: <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/205>

No mundo atual, é preciso adequar a produção e o consumo a padrões que garantam às gerações futuras recursos naturais, fontes de energia, clima equilibrado e alimento, entre outras necessidades essenciais à sobrevivência. Essa é a base do conceito de desenvolvimento sustentável, lançado ao mundo no relatório “Nosso Futuro Comum”, publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Hoje, a visão da sustentabilidade é prioritária na agenda e nos planos estratégicos das grandes empresas de celulose e papel. O conceito se apóia em um tripé econômico (obtenção de lucro), ambiental (preservação dos recursos naturais) e social (desenvolvimento do capital

humano). Alinhar resultados financeiros, conservação ambiental e bem-estar da população é condição para o sucesso, o desenvolvimento e a continuidade do próprio negócio.

Por utilizar matéria-prima de florestas plantadas, ser renovável, reciclável e biodegradável, entre outros atributos, o papel possui ciclo de vida extremamente ligado à natureza. E pode exercer diversos efeitos sobre ela, se sua produção e destinação final não foram sustentáveis.

A indústria de celulose e papel investe para alcançar a sustentabilidade em todo o ciclo de produção, melhorando processos e adotando boas práticas socioambientais. Diversificar o uso econômico da floresta plantada e envolver pequenos produtores, por meio de programas de parcerias florestais, com o objetivo de se criar oportunidades de geração de emprego e renda, modernizar as relações de trabalho e ampliar o conhecimento pela troca de experiências, inclusive, com a promoção de outras atividades, como o cultivo de alimentos, são algumas das ações adotadas.

Ao usar 100% de matéria-prima proveniente de florestas renováveis e, também, reciclar boa parte do papel descartado pela população após o consumo, o setor de celulose e papel tem evoluído nos últimos anos rumo a um lugar de destaque na produção sustentável – e tem grande potencial para novas conquistas. As práticas de manejo das florestas partem do princípio que seus bens e serviços devem ser sustentáveis, a diversidade biológica, conservada, e os impactos sociais e econômicos, positivos.

Buscando um ciclo de produção limpa, as empresas de celulose e papel também se aproximam da auto-suficiência em energia. Além disso, é crescente o consumo energético de fontes renováveis, como biomassa. O objetivo é atingir um balanço ambiental cada vez mais positivo, no qual se destaca a contribuição do setor para o equilíbrio do clima global.

31. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

FONTE: <http://www.revistaopapel.org.br/publicacoes.php?id=345>

O setor de papel e celulose é o terceiro maior consumidor de energia da indústria brasileira, com um consumo de 8.957 10³ tep (tonelada equivalente de petróleo) em 2008, conforme o Balanço Energético Nacional divulgado pelo governo em 2009. “Este quadro, porém, tende a mudar, pois, conforme um estudo que fizemos com a Confederação Nacional da Indústria (CNI), o setor tem um potencial para aumentar em pelo menos 19% sua eficiência energética”, aponta Afonso Moura, gerente técnico da Associação Brasileira

Técnica de Celulose e Papel (ABTCP) e coordenador da Comissão de Mudanças Climáticas da Federação das Indústrias de São Paulo (Fiesp).

A perspectiva positiva resulta principalmente do avanço do setor nos estudos sobre os gargalos no consumo de energia. “A indústria de papel e celulose foi pioneira em aceitar participar de nosso projeto com a Eletrobras, por meio do Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), para analisar oportunidades e desafios na questão da energia”, conta Rodrigo Garcia, coordenador do Programa Nacional de Eficiência Energética para o Setor Industrial da CNI.

Pesquisar e debater a eficiência energética da indústria tem papel essencial, segundo a visão da CNI: “A energia é um recurso como outros na produção, mas nos últimos anos seu custo vem crescendo muito, em especial o da elétrica”, destaca Garcia. De acordo com ele, enquanto em outros países já havia a consciência da necessidade do aumento de oferta de energia e seu consumo racional, no Brasil isso não acontecia, já que a energia por aqui sempre foi abundante e barata. “Agora o quadro mudou, pois não temos energia tão barata e as pressões ambientais são muito fortes. O suprimento fica cada vez mais distante; todas as hidrelétricas possíveis em São Paulo e Minas Gerais já foram feitas, e agora estamos indo para a Amazônia, o que torna tudo mais difícil”, aponta.

Para o setor de papel e celulose, uma das principais vantagens está em poder usar a biomassa de madeira para gerar energia. Por isso, muitos de seus investimentos têm foco nessa área. Conforme informações da consultoria Wood Resources International LLC, o setor de papel e celulose consumiu, mundialmente, 75 milhões de toneladas de biomassa para energia em 2009. Desde 2006, a energia gerada a partir de biomassa cresceu 50%, somando 18% do total do consumo em 2009. “Com o avanço da tecnologia, como, por exemplo, o uso de caldeiras de recuperação que geram praticamente toda a energia consumida pelas fábricas, associado à redução dos consumos específicos que a escala trouxe, o modelo só vem sendo otimizado”, diz Pedro Stefanini, gerente industrial da Lwarcel Celulose.

Ele afirma que é natural, porém, que as indústrias mais antigas não possuam esse status. Justamente por esse motivo, têm grandes oportunidades de melhoria, especialmente quanto à gestão de uso eficiente de energia. “O know how dá ao setor a experiência necessária para contribuir com o tema em nível nacional”, aponta.

Para Francisco Razzolini, diretor de Projetos, Tecnologia Industrial e Suprimentos da Klabin, é desejável ainda que as empresas realizem programas de produtividade e

conservação de energia como um primeiro passo, pois aquelas que não se atualizarem vão comprometer seriamente sua competitividade. “Planos e incentivos precisam ser disponibilizados para viabilizar a substituição de equipamentos que hoje são inviáveis financeiramente, quando baseados somente no cálculo da eficiência. É necessário desonerar os investimentos”, diz. Segundo ele, comprar o mais barato não serve mais: “Precisa ser o mais econômico e o mais viável econômica e ambientalmente.”

BIBLIOGRAFIA

- ___ . PULP AND PAPER MANUFACTURE (Papermaking and paperboard making). Second edition. 1970
- ABNT NBR 15483. Aparas de papel e papelão ondulado – classificação. 2007.
- ALBANY. Feltros úmidos / telas secadoras (Apostila de curso). s/d.
- ANDRIONI, J.L. Fabricação de Papel – Formação da Folha. Curitiba, 2006. 316p. SENAI CETCEP.
- ANDRIONI, J.L. Fabricação de Papel – Preparo de Massa. Curitiba, 2006. 252p. SENAI CETCEP.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Condicionamento de papel e papelão para ensaios. ABTCP - P4/94. São Paulo, 1994. 12p.
- ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. Prensagem úmida do papel (Albany). Jaguariaíva, PR, 1999. 164p.
- 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.
- CAMPOS, E. S. Sistema de vapor e condensado (Apostila). RIOCELL [s.d.]. 74p.
- CAMPOS, E.S. Análise das principais causas de um perfil irregular de espessura e do conseqüente surgimento de defeitos em bobinas. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 22º, São Paulo, 1989. Anais ABTCP.
- CARDOSO, G. da Silva. Fabricação de Celulose – Secagem da Celulose. Curitiba, 2006. 116p. SENAI CETCEP.
- CARDOSO, G. da Silva. Fabricação de Celulose. Curitiba, 2006. 350p. SENAI CETCEP.
- CASALS, R. Características del papel. Barcelona, Howson - Algraphy, [s.d.]. 174 p.
- COELHO, A.C.M., SOUZA, A. Papéis para sacaria. O PAPEL, p. 64-73. Setembro, 2000.

-
- COMA, F.A. Imprimibilidade de los papeles. In: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE BARCELONA. Relaciones Tinta-Papel, III, IV, V. Terrasa, 1988. 431 p. Cap. 1, p. 1-31.
- CUNHA, V. R., RASHID. Características que influem na qualidade – brilho, lisura, opacidade para calandragem on/off machine. VCP/ABTCP.
- 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.
- DOS SANTOS, C.H.G. Curso: papel “tissue” (técnicas de fabricação – parte 1). ABTCP, maio, 1994.
- E.T.S.I.I.T. Tecnologia del papel (Apostila) s/d
- 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.
- GURGEL, L.V.A. Mercerização e modificação química de celulose e bagaço de cana-de-açúcar com anidrido succínico e trietilenotetramina [manuscrito]: preparação de novos materiais quelantes para a adsorção de Pb(II), Cd(II), Cr(VI) e Cu(II). Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2007.
- HATIA, MOHSEEN. Depuração de aparas. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM. ABTCP, 2004.
- MACEDO, C.A.S., Teoria do crepe. Santher / ABCTP
- Mokfienski, A. Fabricação de celulose kraft de mercado: da floresta ao produto. ABTCP. Março, 2004. São Paulo, SP.
- NIMO, P., O processo de fabricação de papel (trabalho de conclusão de estágio). Faculdade de Engenharia. Departamento de Engenharia Química, PUCRS. Porto Alegre, RS. Junho, 2004. 88 p.
- NORDISKAFILT. Informações sobre feltros e telas (catálogo).
- 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.
- PEPE, L. Introdução à fabricação do papel. Curso ABTCP/2000.
- Pettersson, E.A.K., Ragnar, M., Dahllöf, H. A compact approach to washing in bleaching (Uma abordagem "compacta" para a lavagem em plantas de branqueamento). 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel – ABTCP, 14 a 17 de outubro 2002, São Paulo, SP, Brasil.
- PITTA, J.M. Fabricação de papel. Curso "in company" (COCELPA). 2005
- POIRIER, N.A., PIKULIK, I.I., Novos desenvolvimentos no campo da secagem. O Papel. Fevereiro. 2003. p71-p79.
- REIS, E.A., Influência da refinação de alta consistência em papéis sack kraft. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 35º, São Paulo, 2002. Anais ABTCP.
- RIGESA. Fabricação de papel (Apostila). s/d.
- 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.
- SANTOS, I.C. Curso: Prensagem úmida: teoria, tendências e operação. ABTCP / VOITH S/A Máquinas e Equipamentos. São Paulo, SP. Junho, 1994. 75 p.
- SCOTT, W.E., TROSSET, S. Properties of paper: an introduction. Atlanta, Tappi, 1989. 170 p.
- SENAI CETCEP. Aparas. Apostila do curso de Tecnologia da fabricação de papel.
- SENAI CETCEP. Fabricação de papel – preparação de massa. Livro.
- SENAI CETCEP. Preparação de massa e desagregação da massa (unidade 3). Apostila do curso de Tecnologia da fabricação de papel.

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://portaldoagronegocio.com.br>

<http://www.bracelpa.org.br>

<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/205>

<http://www.eucalyptus.com.br>

<http://www.globalequip.com/pulpmach/1u7677.htm>

<http://www.kroftaengineering.com>

<http://www.maxpressnet.com.br/noticia.asp?TIPO=PA&SQINF=360484>

<http://www.regmed.com.br>

<http://www.revistaopapel.org.br/publicacoes.php?id=345>

<http://www.vph.com.br>