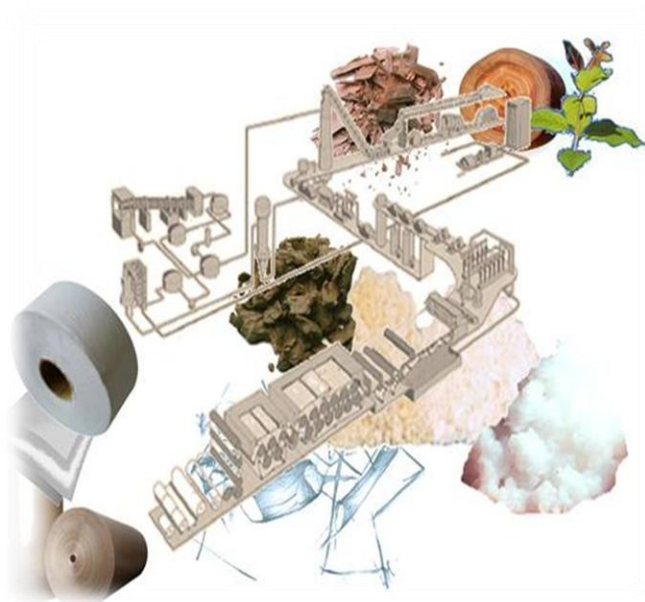


Curso básico de fabricação de papel

com ênfase em papelão ondulado



Canela 2009

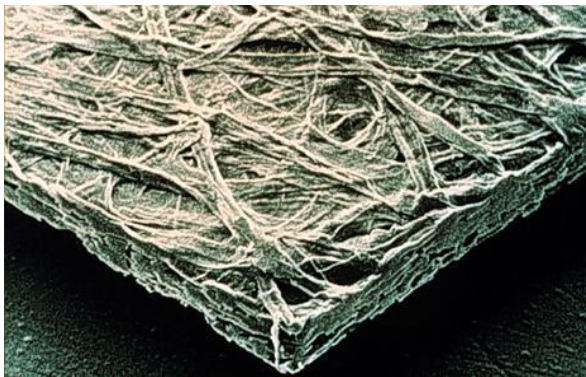
Instrutor:
Edison da Silva Campos

1. Introdução à fabricação de papel

Introdução a fabricação de papel

Definição de papel

O papel é definido como uma pasta branqueada ou não, de origem vegetal (e/ou de trapos, nos processos mais antigos), podendo conter outros componentes não fibrosos específicos para cada tipo de papel (colas, cargas, corantes, agentes de resistência a seco e a úmido etc.), a qual se reduz, manual ou mecanicamente, a folhas secas e flexíveis (com fibras unidas tanto fisicamente por estarem entrelaçadas a modo de malha como quimicamente por pontes de hidrogênio, por ligações covalentes e por forças de Van Der Waals), bobinadas ou resmadas, usadas para escrever, imprimir, desenhar, embrulhar, limpar, construir etc.



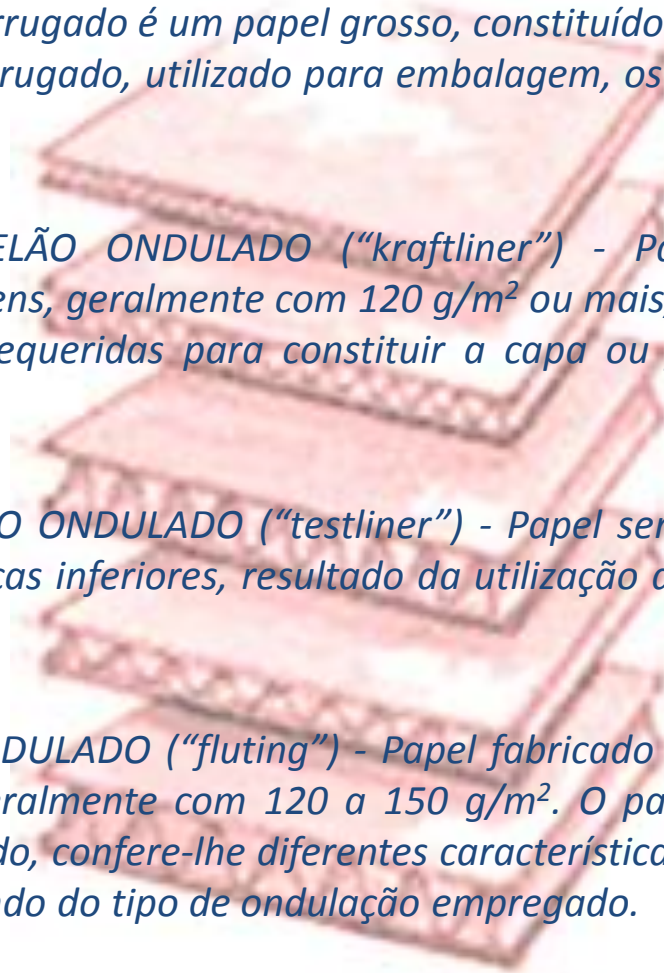
Papelão ondulado

O papelão ondulado ou corrugado é um papel grosso, constituído de diversas folhas alternadas de papel plano e papel corrugado, utilizado para embalagem, os quais são chamados de capa e miolo, respectivamente.

CAPA DE 1ª PARA PAPELÃO ONDULADO (“kraftliner”) - Papel fabricado com grande participação de fibras virgens, geralmente com 120 g/m² ou mais, atendendo as especificações de resistência mecânica requeridas para constituir a capa ou forro das caixas de papelão ondulado.

CAPA DE 2ª PARA PAPELÃO ONDULADO (“testliner”) - Papel semelhante ao anterior, porém, com propriedades mecânicas inferiores, resultado da utilização de matérias-primas recicladas em alta proporção.

MIOLO PARA PAPELÃO ONDULADO (“fluting”) - Papel fabricado com pasta semiquímica e/ou mecânica e/ou aparas, geralmente com 120 a 150 g/m². O papel miolo, que irá formar as ondas do papelão ondulado, confere-lhe diferentes características contra choque, compressão e esmagamento, dependendo do tipo de ondulação empregado.



Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Fluxo

Unidade:

l/min, m³/h etc.

Descrição:

Volume de um líquido ou de uma suspensão na unidade do tempo. Esta variável, quando relacionada à massa, tem relação direta com a produção de uma máquina de papel.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Pressão

Unidade:

kgf/m², m.c.a., inHg etc.

Descrição:

Volume de um líquido ou de uma suspensão na unidade do tempo. Esta variável, quando relacionada à massa, tem relação direta com a produção de uma máquina de papel.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Unidade:

Descrição:

Comentário:

Exemplo 1:

Exemplo 2:

Consistência/concentração ou teor de secos

%, g/l

Quantidade de massa absolutamente seca por volume de solução.

Uma amostra com 4,5 % de consistência significa que num peso total de 100 g, 4,5 g são considerados sólidos e os 95,5 g restantes serão considerados como líquido.

Se a amostra estivesse com concentração de 12 g/l, significa que num volume total de 1 litro, 12 g são considerados sólidos.

Consistência de Refinação:

- *Consistência ideal: 4 a 5%;*
- *As consistências menores que 4,0% ocasionam um aumento de corte nas fibras gerando uma maior quantidade de finos;*
- *As consistências maiores que 5,0% causam dificuldade de bombeamento.*

Consistência da caixa de entrada de uma máquina de papel:

- *Consistência de trabalho de 0,8 a 1,2%;*
- *Quanto menor a consistência, melhor a formação da folha de papel devido a uma melhor distribuição de fibras;*
- *Quanto maior a consistência, pior a formação da folha e maior o teor seco na saída da mesa plana e, conseqüentemente, menor o valor de passe da 3ª para 4ª prensa.*

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Gramatura

Unidade:

g/m²

Descrição:

É a massa por unidade de área do papel ou cartão, determinada por método padronizado de ensaio.

Exemplo:

Papel de 75 g/m²: significa que ao pegarmos uma folha de 1 metro x 1 metro (=1 m²) e a pesarmos, teremos, aproximadamente, 75 gramas de papel.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Massa específica

Unidade:

g/cm³ etc.

Descrição:

Exprime a massa em quantidade de matéria de uma substância contida na unidade de seu volume.

Comentário:

É importante saber diferenciar concentração em gramas por litro de concentração em porcentagem, pois a primeira leva em conta a densidade da solução.

Exemplo:

A solução de cloreto de sódio aplicada numa “speed sizer” tem cerca de 15 % de concentração, o que representa ± 175 g/litro, pois a densidade da solução é de aproximadamente 1,17 g/ml ou 1,17 kg/litro.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Densidade

Unidade:

Adimensional

Descrição:

É a relação entre a massa específica do material em questão e a massa específica da água.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Teor de Sólidos

Unidade:

%

Descrição:

*É a quantidade de substâncias não voláteis
contidas na matéria-prima.*

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Umidade

Unidade:

%

Descrição:

É o percentual de água contida no material ou produto.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Retenção de primeira passagem

Unidade:

%

Descrição:

Quantidade de material seco (fibra e carga) retido na folha obtida através da diferença da consistência, em porcentagem, da caixa de entrada e da calha (água branca) ou do tanque de água branca dividida pela consistência da caixa de entrada.

Comentário:

Há dois tipos de retenção: a mecânica e a química.

Exemplo:

Um valor de retenção igual a 85% seria obtido se a consistência da caixa de entrada fosse 1% (10 g/litro) e a consistência da água branca, 0,15% (1,5 g/litro). Portanto, a retenção de primeira passagem:

$$(1 - 0,15) * 100\% / 1 \text{ ou } (10 \text{ g/l} - 1,5 \text{ g/l}) * 100 / 10 \text{ g/l} = 85\%$$

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Temperatura

Unidade:

°C, °F, K etc.

Descrição:

Nível de calor existente num corpo.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Viscosidade (“Copo Ford”)

Unidade:

s etc.

Descrição:

É a resistência a deformação de um fluido submetido à tensão de cisalhamento.

Comentário:

Em outras palavras, é a resistência à movimentação que um líquido ou solução apresentam, quando são agitados com algum tipo de agitador (pode ser uma hélice, bastão, haste, etc.).

Exemplo:

Podem ser comparadas as viscosidades da água, amido de uma “speed sizer” ($\pm 12\%$ sólidos) e amido para a massa ($\pm 18\%$ sólidos). A viscosidade do amido a 18% é maior que a do amido da “speed sizer” a 12% que, por sua vez, é maior que a da água.

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

pH

Unidade:

pH

Descrição:

É o potencial hidrogeniônico, ou seja, a concentração dos íons de hidrogênio do meio.

Comentário:

Sua faixa de medida é de 0 a 14, sendo o número 7 considerado como neutro; abaixo deste número é considerado ácido e, acima, alcalino.

Exemplo:

pH da refinação:

- Em pH menor que 6 a fibra tem tendência a ficar rígida causando maior consumo de energia para um mesmo °SR.*
- Em pH maior que 8 a fibra tem tendência a amolecer em excesso consumindo menos energia.*

Algumas variáveis importantes do processo

Variável:

Grau de refino

Unidade:

°SR (grau Schopper Riegler), °CSF etc.

Descrição:

É a determinação da resistência à drenabilidade de uma suspensão aquosa de pasta química de madeira.

Comentário:

Quanto maior for o °SR, mais refinada está a massa, resultando em dificuldade de drenagem na mesa plana, mas, ao mesmo tempo em maior resistência física da folha formada; quanto menor for o °SR, menos refinada está amostra, facilitando o processo de drenagem.

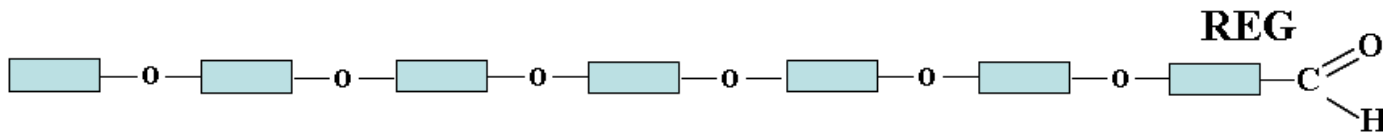
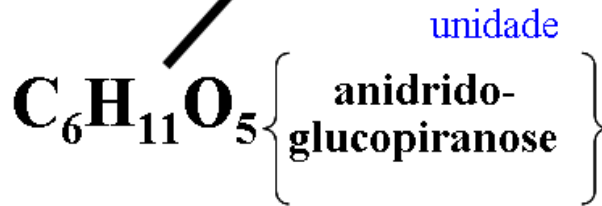
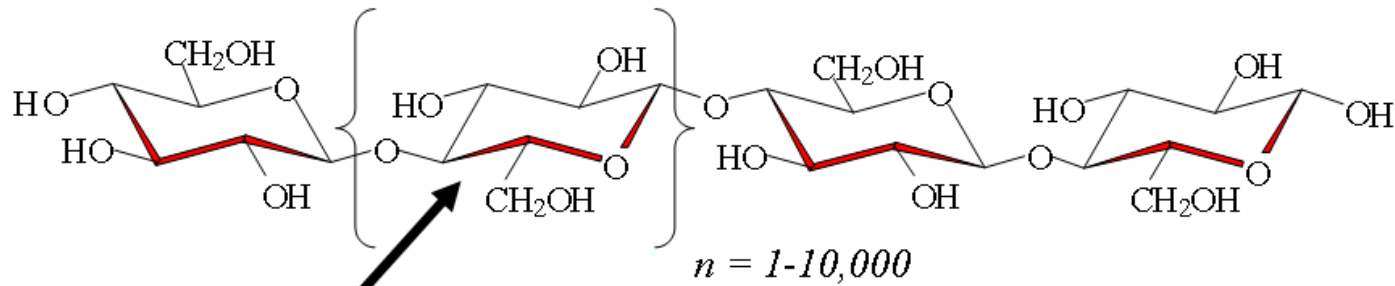
Exemplo:

O grau de refino de papéis miolo, após os refinadores, está em torno de 35 a 40 °SR.

2. Matérias primas fibrosas

Matérias primas fibrosas

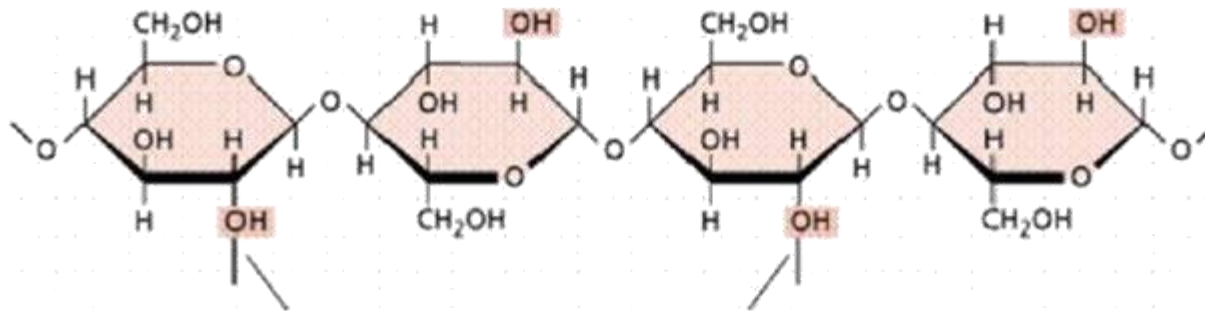
Estrutura molecular da celulose



Reg = grupo terminal redutor

Matérias primas fibrosas

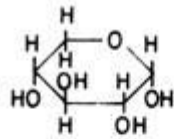
Estrutura molecular da celulose



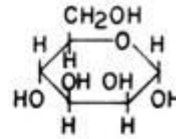
Posições onde ocorrem a formação de pontes de hidrogênio intermoleculares

Matérias primas fibrosas

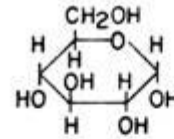
Fórmula dos açúcares componentes das polioses



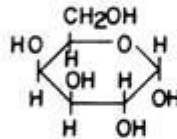
β - D - XILOSE



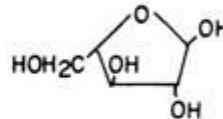
β - D - MANOSE



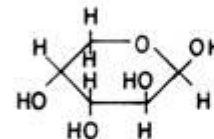
β - D - GLUCOSE



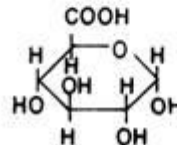
α - D - GALACTOSE



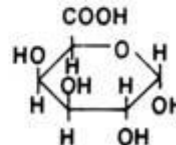
α - L - ARABINOSE
(FURANOSE)



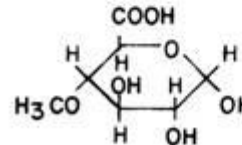
α - L - ARABINOSE
(PIRANOSE)



ÁCIDO β - D - GALACTOURÔNICO



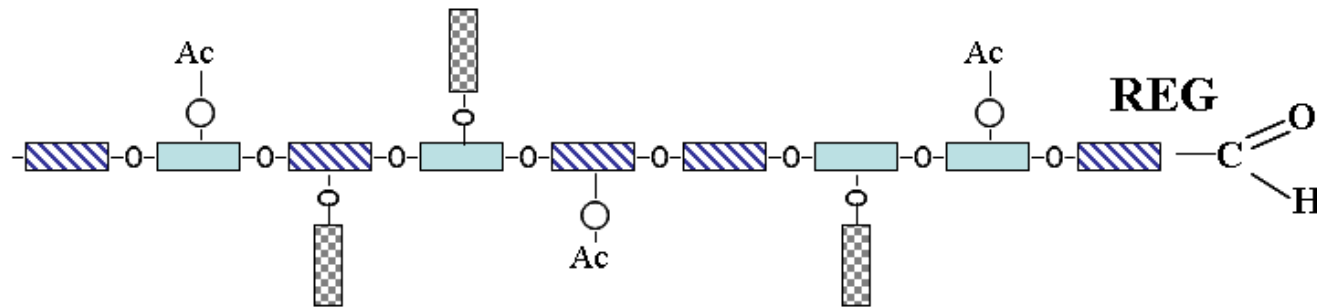
ÁCIDO β - D - GLUCOURÔNICO



ÁCIDO α - D - 4 - O - METILGLUCOURÔNICO

Matérias primas fibrosas

Estrutura molecular da hemicelulose



Maior hemicelulose de coníferas: Galactoglucomanana DP 200

-[Glucose (6)]-

-[Manose (6)]-

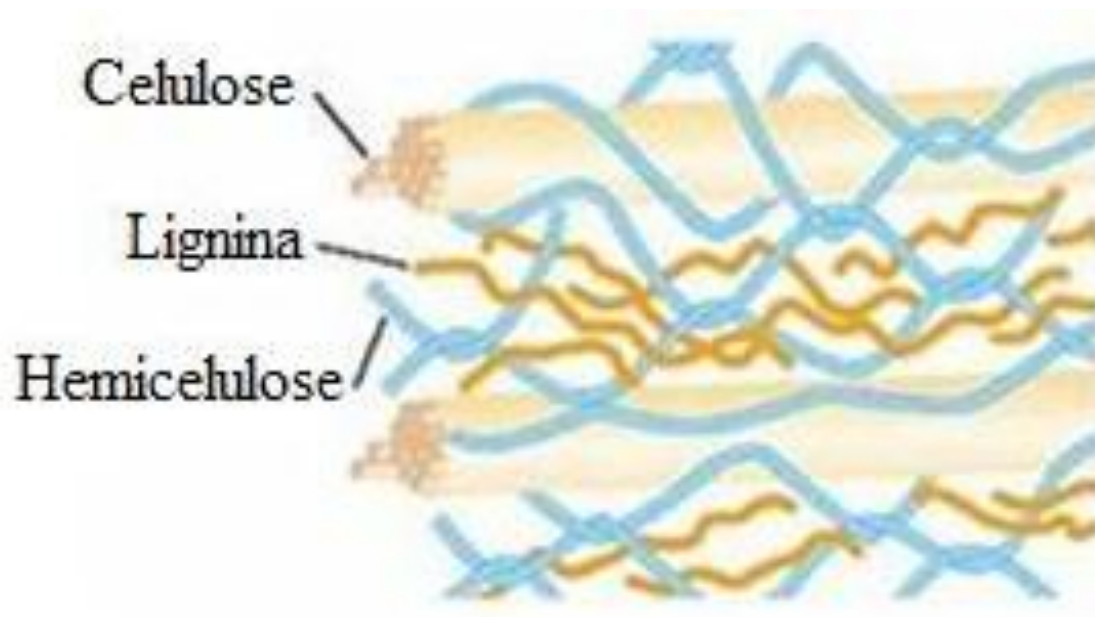
-[Galactose (6)]-

Ac-O- Grupo acetil

Reg = grupo terminal redutor

Matérias primas fibrosas

Lignina



Matérias primas fibrosas

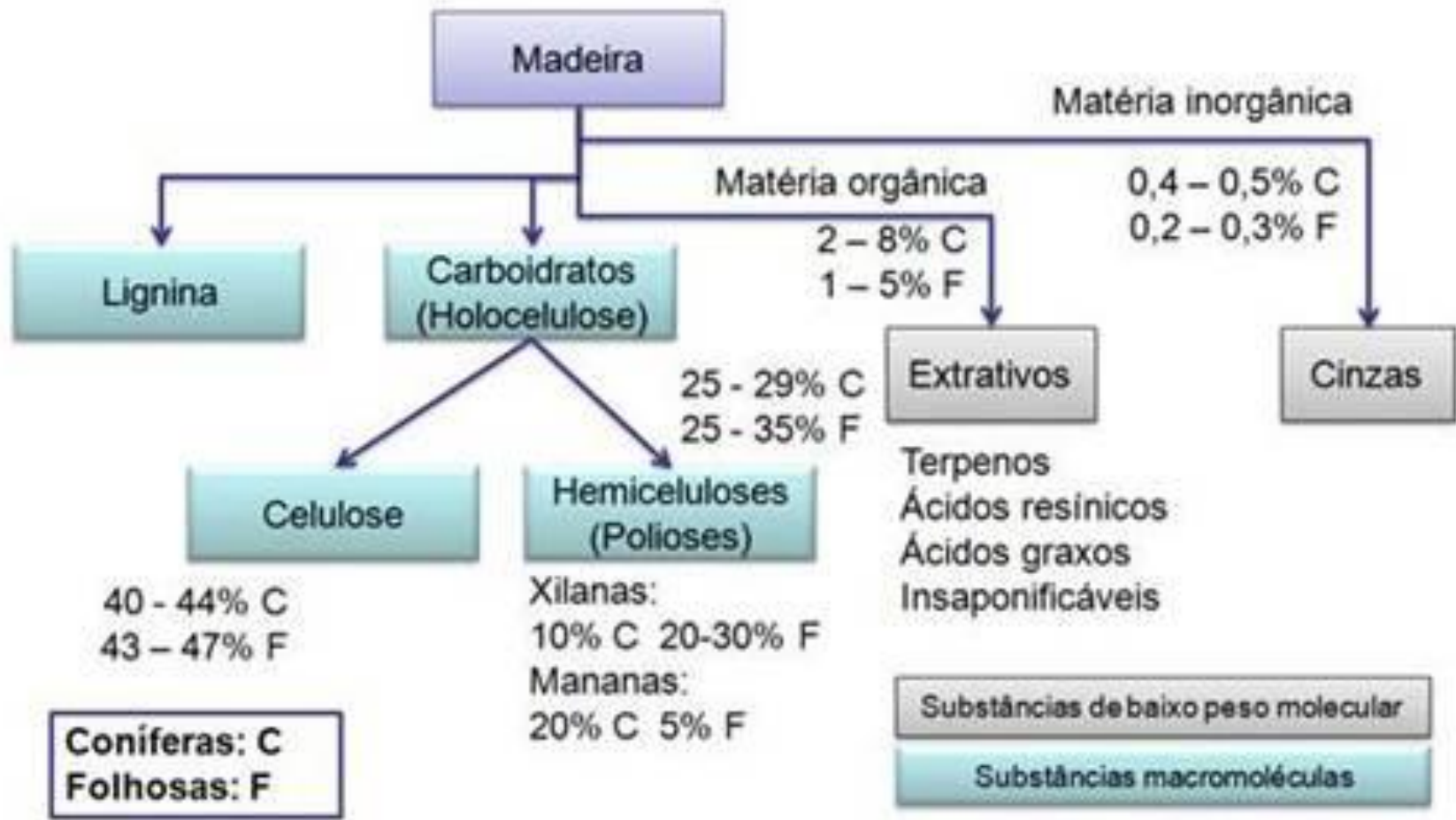
Tipos de fibras

Um grande número de diferentes espécies de madeira é utilizado para a produção de celulose. Estas espécies podem ser classificadas em dois tipos:

- “softwoods” (ou coníferas) tais como araucária, pinho (“pine”: Pinus elliotti, Pinus taeda), abeto vermelho (“spruce”), cicuta (“hemlock”), etc.*
- “hardwoods” (ou folhosas) tais como eucalipto (“eucalyptus”: E. grandis, E. saligna, E. urophylla, E. globulus), bétula (“birch”), bordo (“maple”), álamo ou faia (“aspen”), carvalho (“oak”), “gmelina”, acácia, etc.*

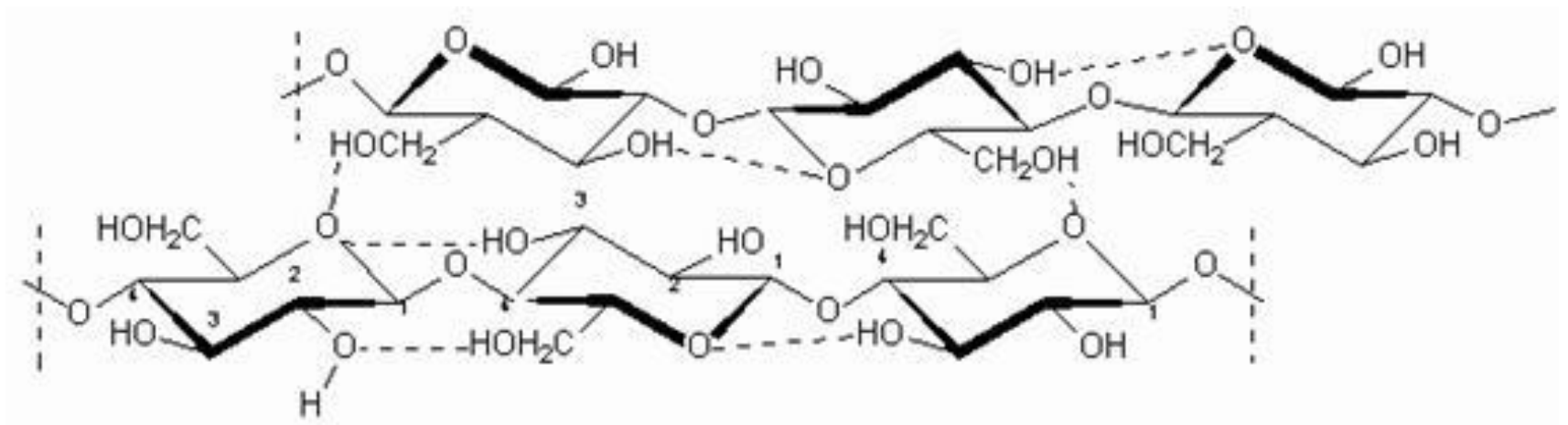
Matérias primas fibrosas

Composição da madeira



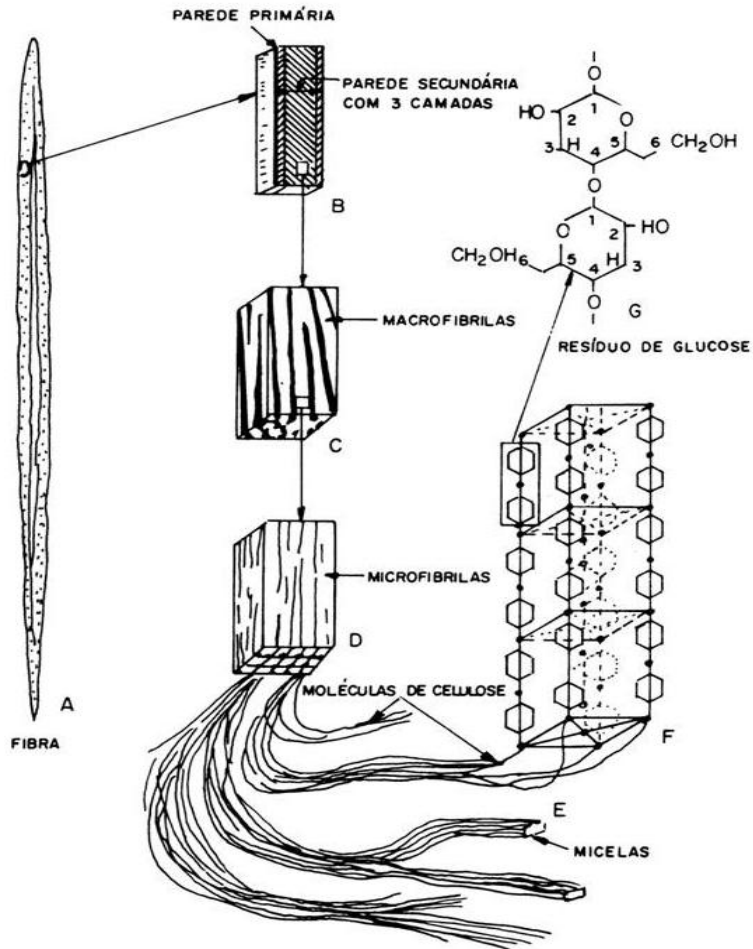
Matérias primas fibrosas

Ligações moleculares



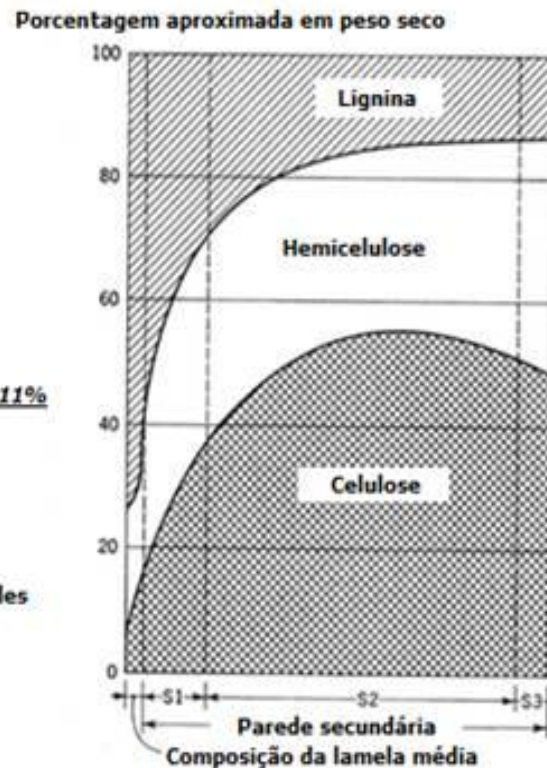
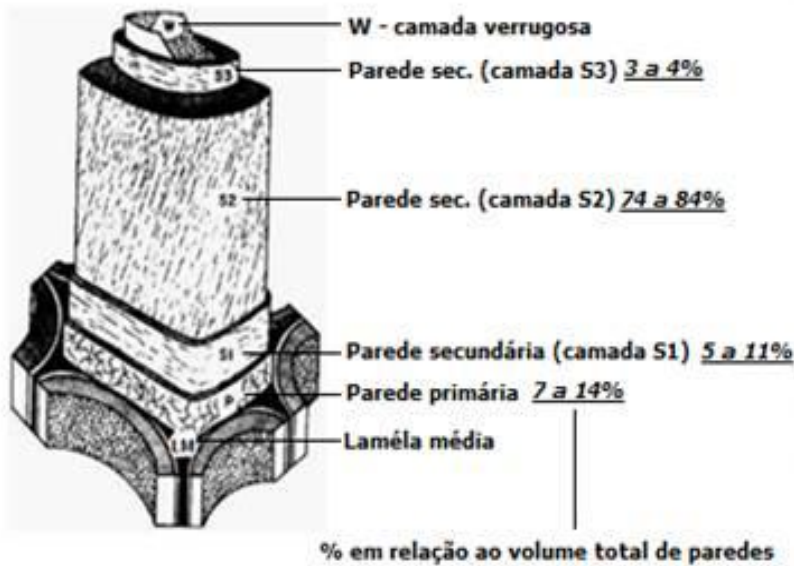
Matérias primas fibrosas

Formação da fibra



Matérias primas fibrosas

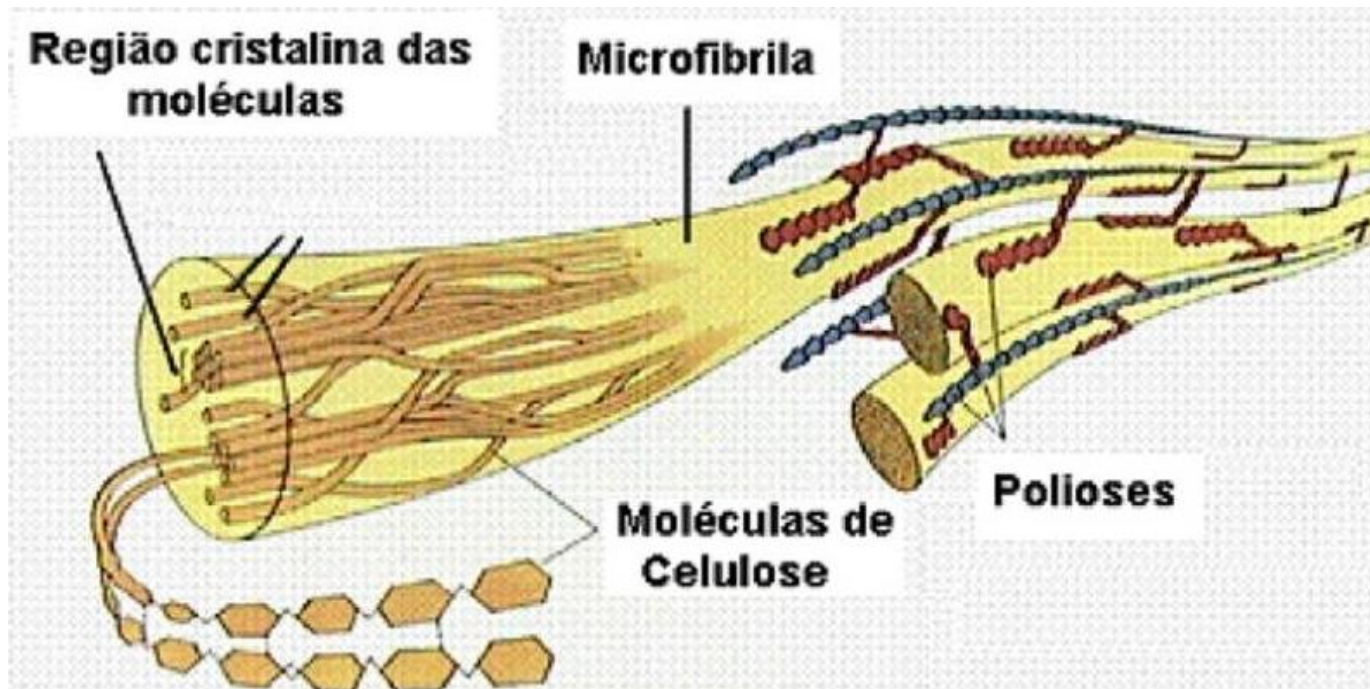
Modelo da estrutura de traqueóides de coníferas e fibras libriformes de folhosas.



LM – lamela média;
P – parede primária;
S1 – camada 1 da parede secundária;
S2 – camada 2 da parede secundária;
S3 – camada 3 da parede secundária ou parede terciária, segundo alguns autores;
W – camada verrugosa (warts)

Matérias primas fibrosas

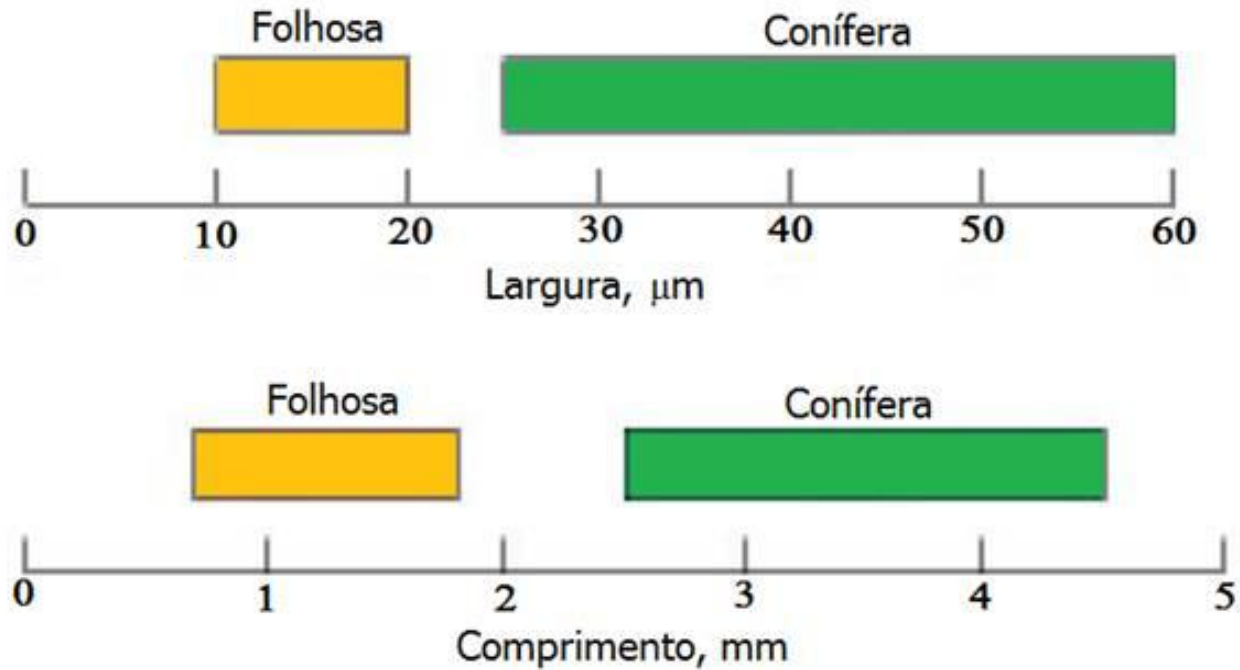
Ilustração esquemática da interação das moléculas de celulose e polioses (hemiceluloses)



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

Matérias primas fibrosas

Diâmetro e comprimento de fibras



Matérias primas fibrosas

Fibras recicladas

Fibras recicladas ou fibras secundárias podem ser definidas como qualquer fibra para papel que foram reutilizadas na sua produção.

A maior diferença observada entre as fibras virgens e as recicladas é representada pelas baixas propriedades mecânicas obtidas, causadas pela ação mecânica de equipamento, principalmente máquinas refinadoras, e pela ação de químicos.

O comprimento das fibras é um fator de muita importância na resistência mecânica.

Os tratamentos a que são submetidas durante o processo de fabricação causam o seu encurtamento.

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

Classificação de aparas

Material	Descrição	Especificação
Aparas de refile de papelão ondulado	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, resultantes dos processos de produção do papelão ondulado e caixas não utilizadas no mercado, sem cola insolúvel em água e sem grampo, podendo apresentar refile de capa branca.	Teor máximo de umidade: 13% Teor máximo de impurezas: 0% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão ondulado I	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada marrom e sem outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, <i>hot melt</i> , grampo e etiquetas provenientes da própria embalagem.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 0%
Aparas de papelão ondulado II	Aparas de produtos de papelão ondulado de fibra virgem ou reciclada, com até 5% (em massa) de outros papéis que não sejam papelão ondulado. É permitida a presença de fita adesiva, <i>hot melt</i> , grampo e etiquetas provenientes da própria embalagem, capa branca.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papel kraft I	Aparas de papel kraft natural de sacos multifoliados, envelopes, discos e capas de bobinas, sem plastificação, com ou sem costura, com ou sem impressão, limpos.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 3% Teor máximo de materiais proibitivos: 1%
Aparas de papel kraft II	Aparas de sacos de papel kraft multifoliados, envelopes, discos e capa de bobinas, com ou sem plastificação e costura, com impressão, não limpos ou selecionados.	Teor máximo de umidade: 15% Teor máximo de impurezas: 5% Teor máximo de materiais proibitivos: 3%
Aparas de papel kraft III	Aparas de sacos de papel kraft multifoliados, usados na embalagem de cimento, cal, gesso, argamassa, com ou sem plastificação e costura, não limpos ou selecionados.	Teor máximo de umidade: 20% Teor máximo de impurezas: 7% Teor máximo de materiais proibitivos: 5%

3. Desagregação da massa e seus periféricos

Desagregação da massa e seus periféricos

Fábricas integradas:

*consistência de transporte por tubulação: 3 a 6%.
Também possui desagregação (estratégico).*

Não integradas:

*celulose seca em máquinas de secagem (10% de umidade);
Celulose desaguada (60% de umidade);
Aparas (10% de umidade).*

Desagregação da massa e seus periféricos

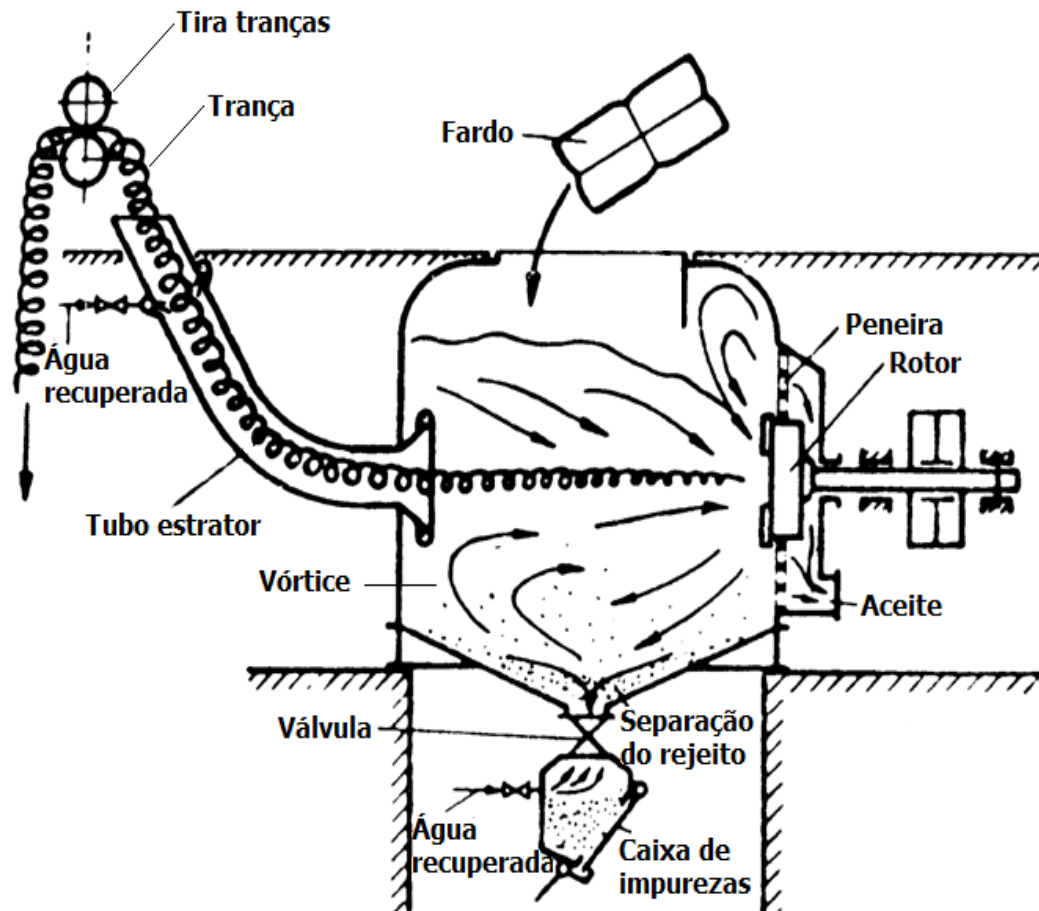
Desagregador vertical: “hydrapulper”

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.

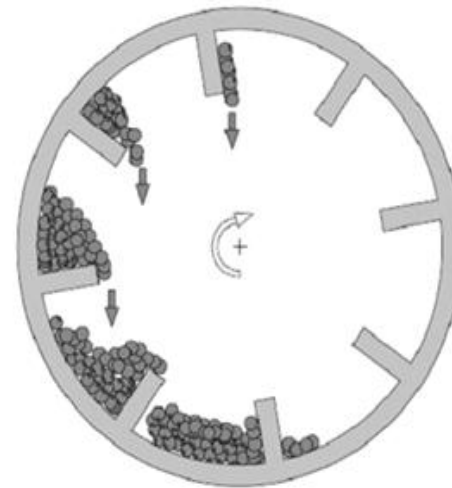
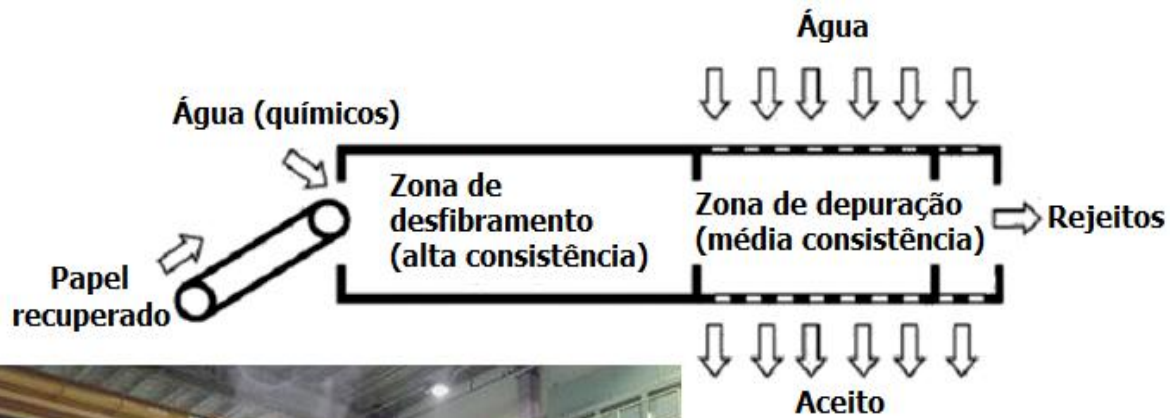
Desagregação da massa e seus periféricos

Desagregador vertical: “hydrapulper”



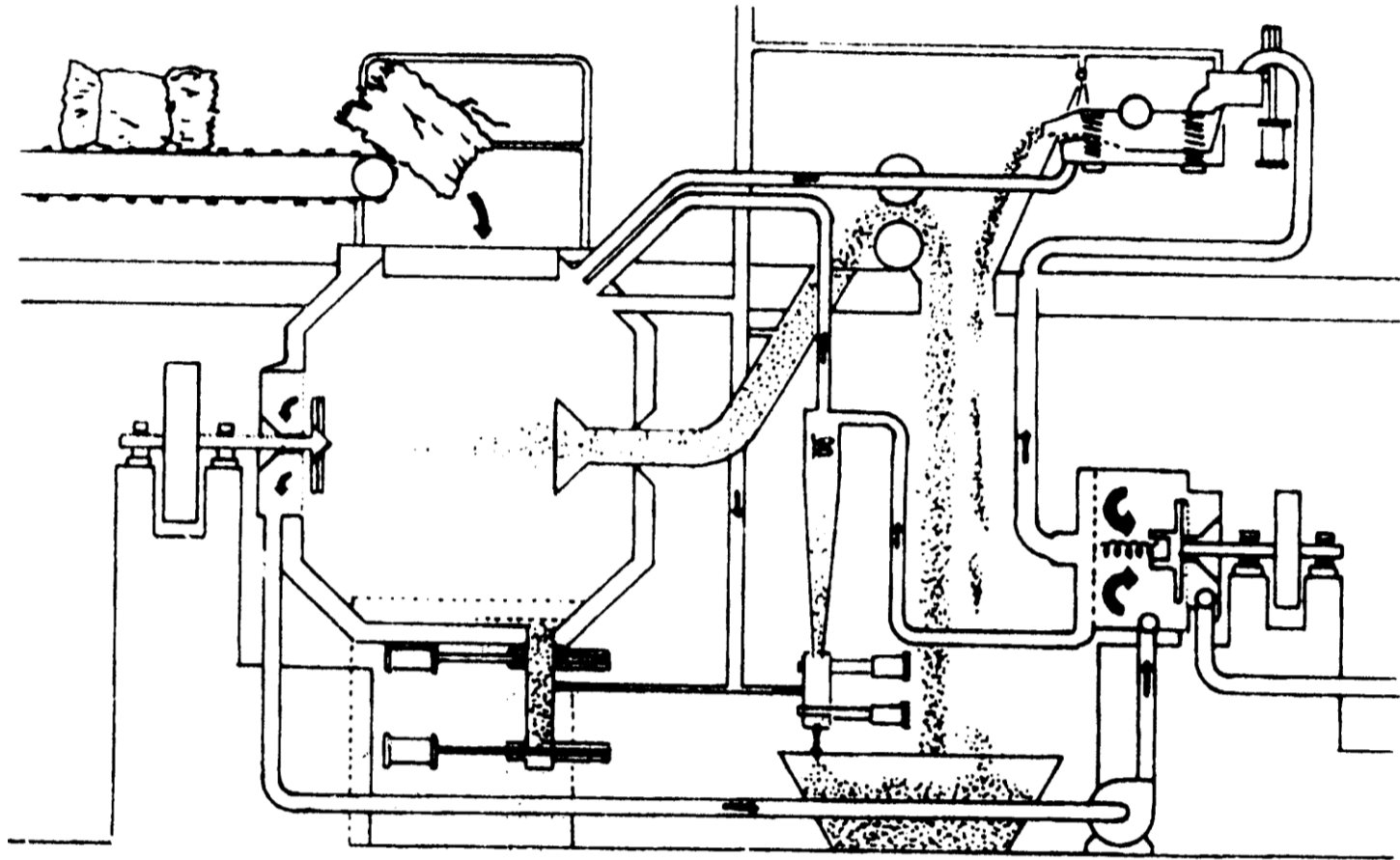
Desagregação da massa e seus periféricos

Desagregador de tambor



*Desagregação da massa e seus
periféricos*

Sistema ATS-N

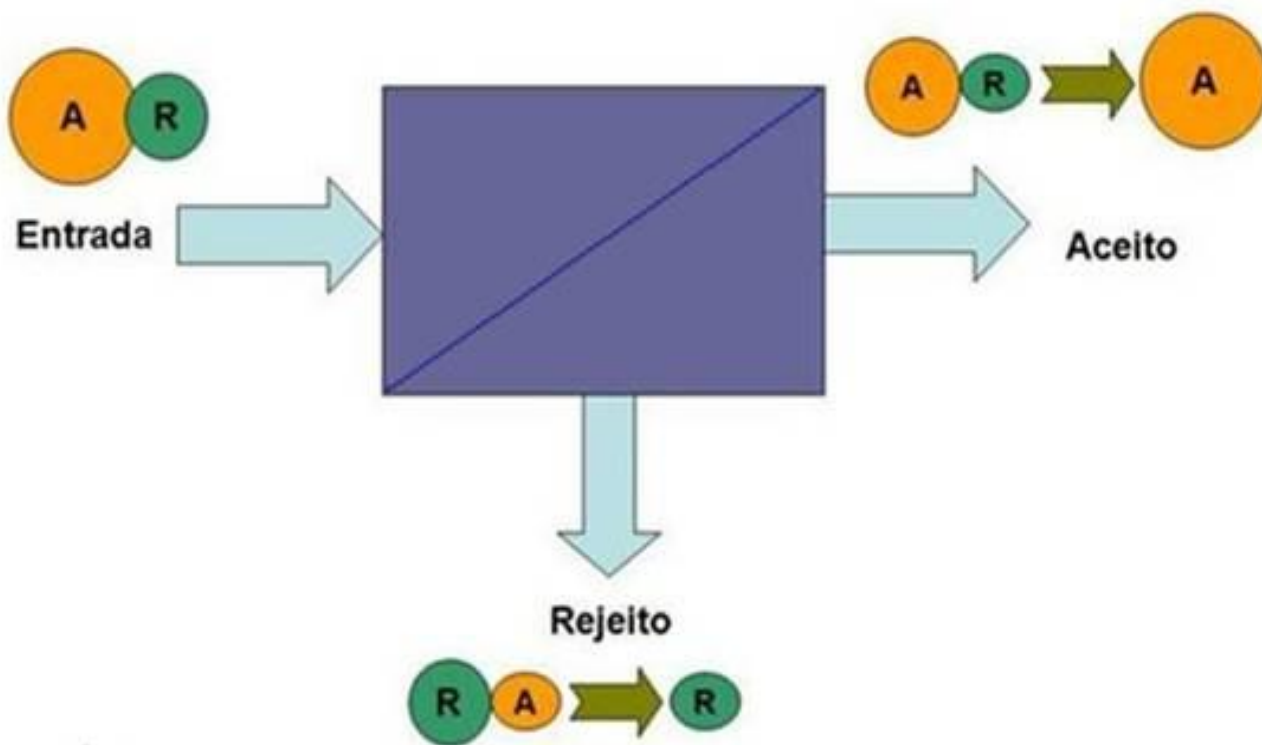


FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel – Edison da Silva Campos

4. Depuração de fibras virgens e recicladas

Depuração de fibras virgens e recicladas

Objetivos da depuração



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”.

Depuração de fibras virgens e recicladas

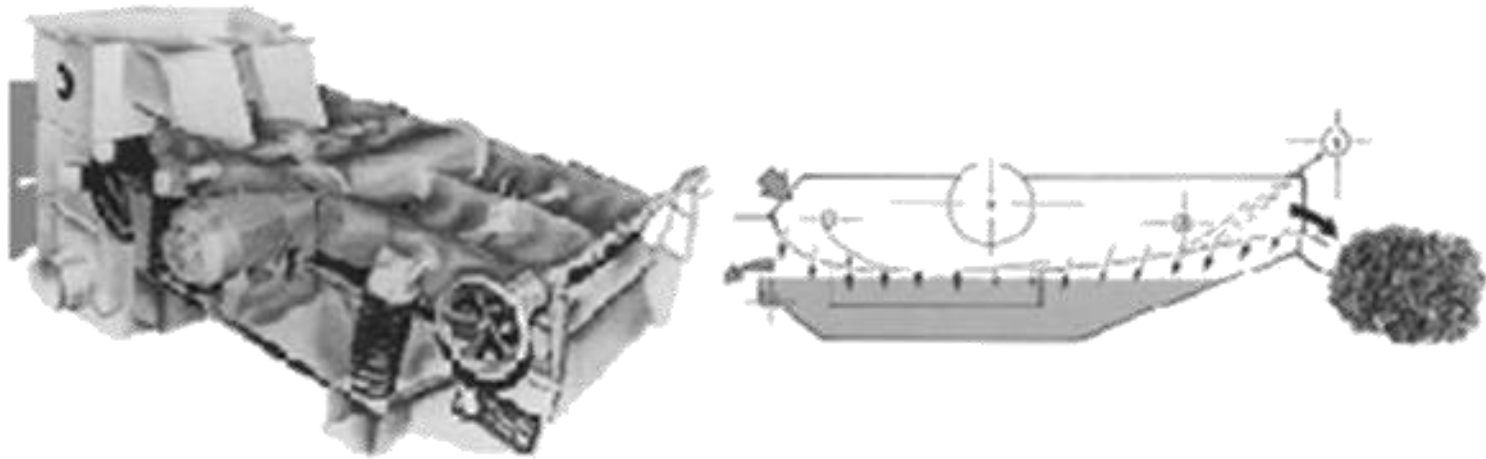
Peneira “side hill”



FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel – Edison da Silva Campos

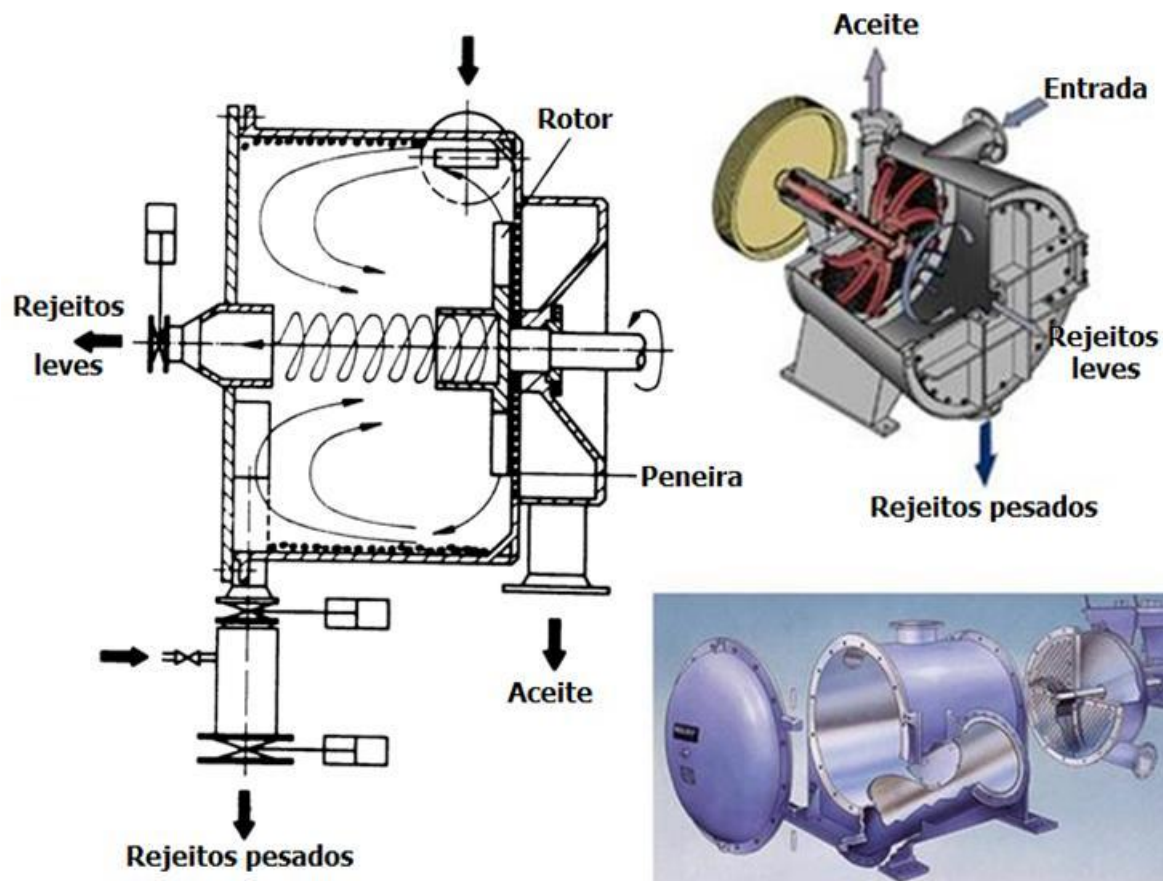
Depuração de fibras virgens e recicladas

Peneiras planas



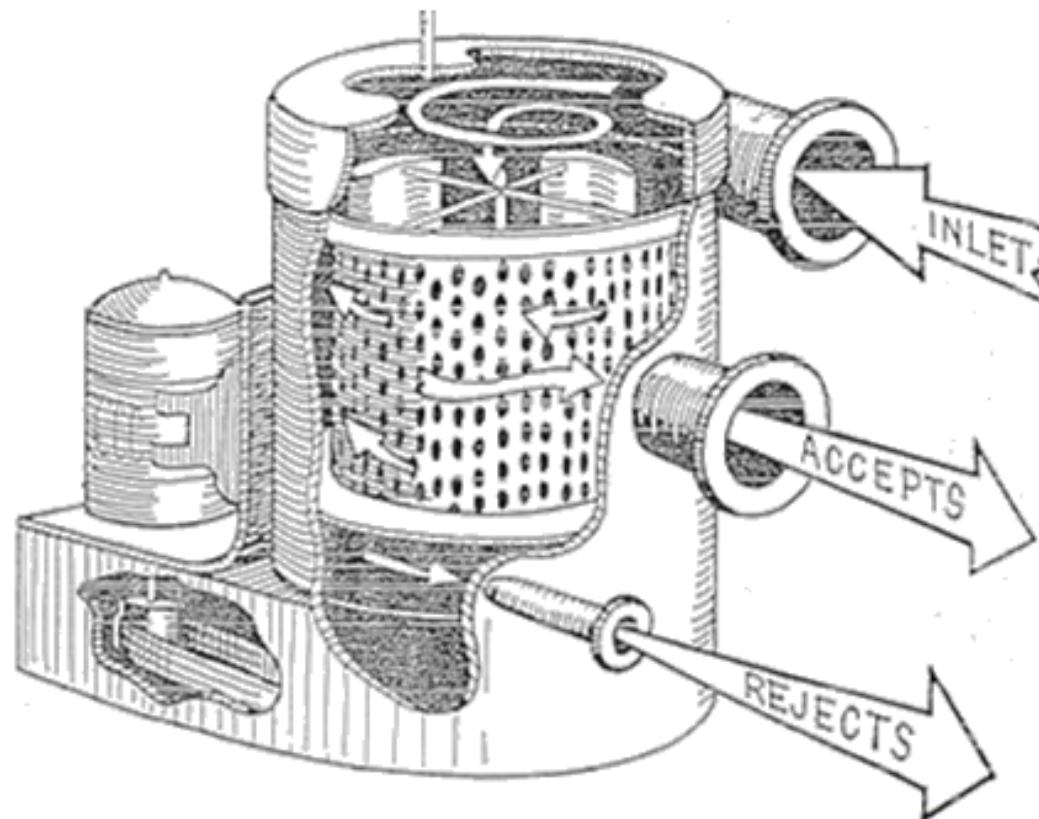
Depuração de fibras virgens e recicladas

“Fiberizer” ou turbo-separadores



Depuração de fibras virgens e recicladas

Depurador pressurizado com rotor e cesta peneira



Peneiras rotativas centrífugas

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.

Depuração de fibras virgens e recicladas

Furos e fendas



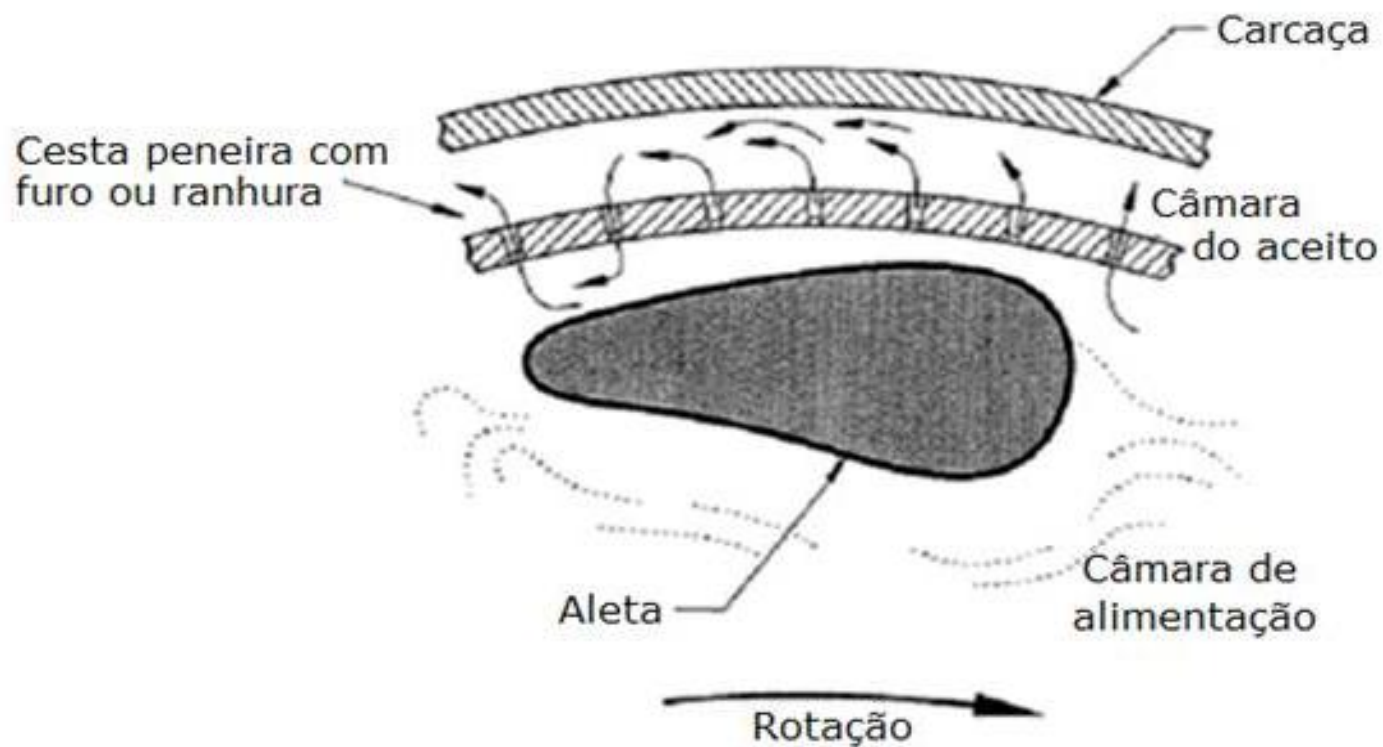
Peneiras com furos



Peneiras com fendas

Depuração de fibras virgens e recicladas

Detalhe típico de um depurador centrífugo



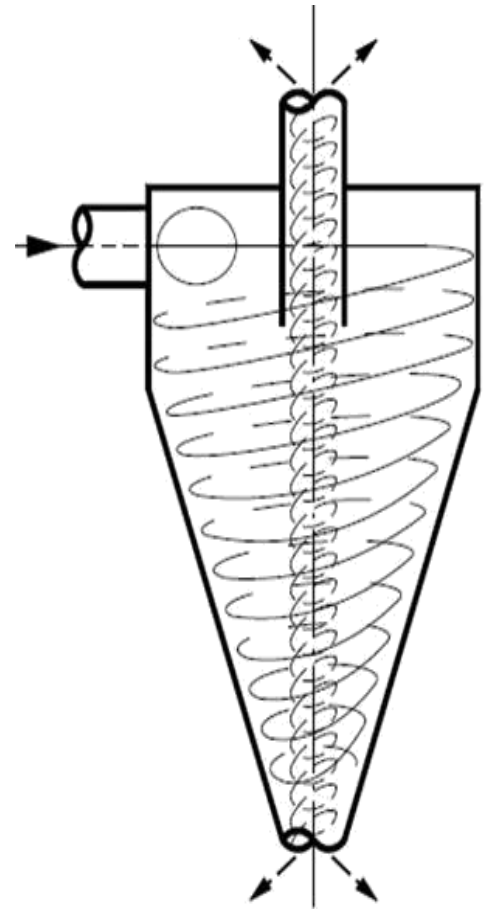
Depuração de fibras virgens e recicladas

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.

IMPORTANTE:

consistência ideal e o diferencial de pressão correto.



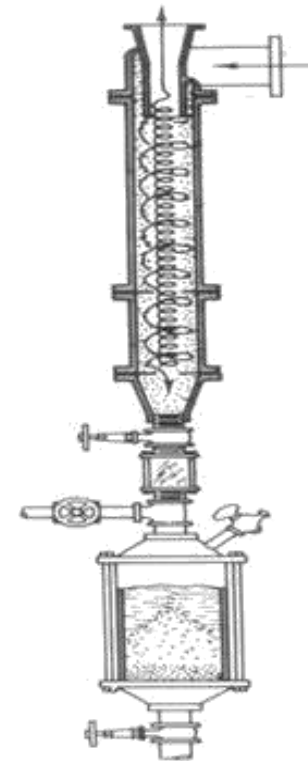
Depuração de fibras virgens e recicladas

Separadores de massa grossa

Destinam-se a limpeza grosseira e contínua de todas as suspensões de massa, de consistência mínima de 3% e máxima de 6% seco absoluto.

Separam parafusos, grampos, pedras, pregos, etc. São instalados antes do pré-refinador e refinadores, pois evita estragos nos mesmos e seu desgaste prematuro.

O depósito de rejeitos recebe água de lavagem pela válvula que regula o fluxo, evitando assim sedimentação de fibras no depósito.

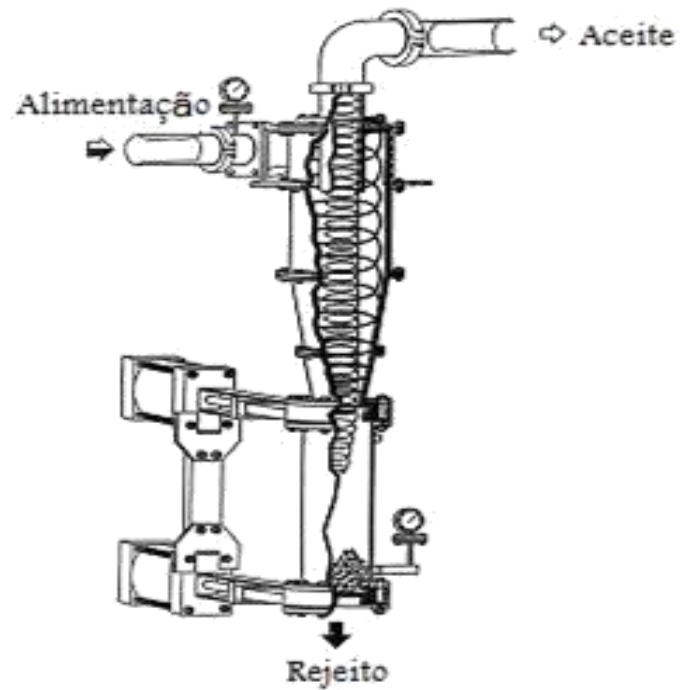


*FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel –
Edison da Silva Campos*

*Diferencial de pressão entre a
entrada e a saída: 10 a 16 m.c.a.*

Depuração de fibras virgens e recicladas

Separadores de massa grossa

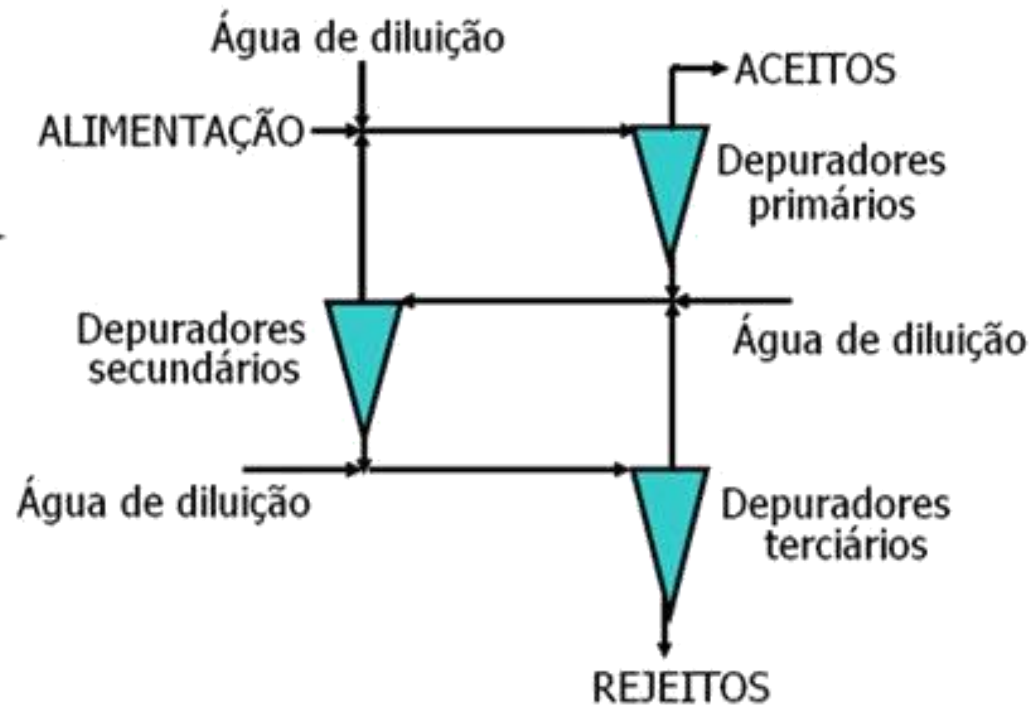
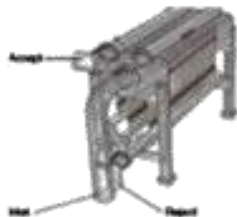
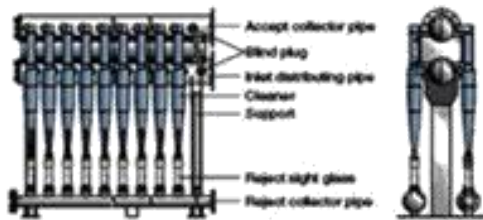


FONTE: Preparação de Massa – SENAI CETCEP

Depuração de fibras virgens e recicladas

Arranjo dos hidrociclones

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



Circuito de aproximação ("approach flow")

*Exemplo de fluxograma de uma depuração de fibras recicladas para papéis marrons
(miolo e capa, por exemplo)*

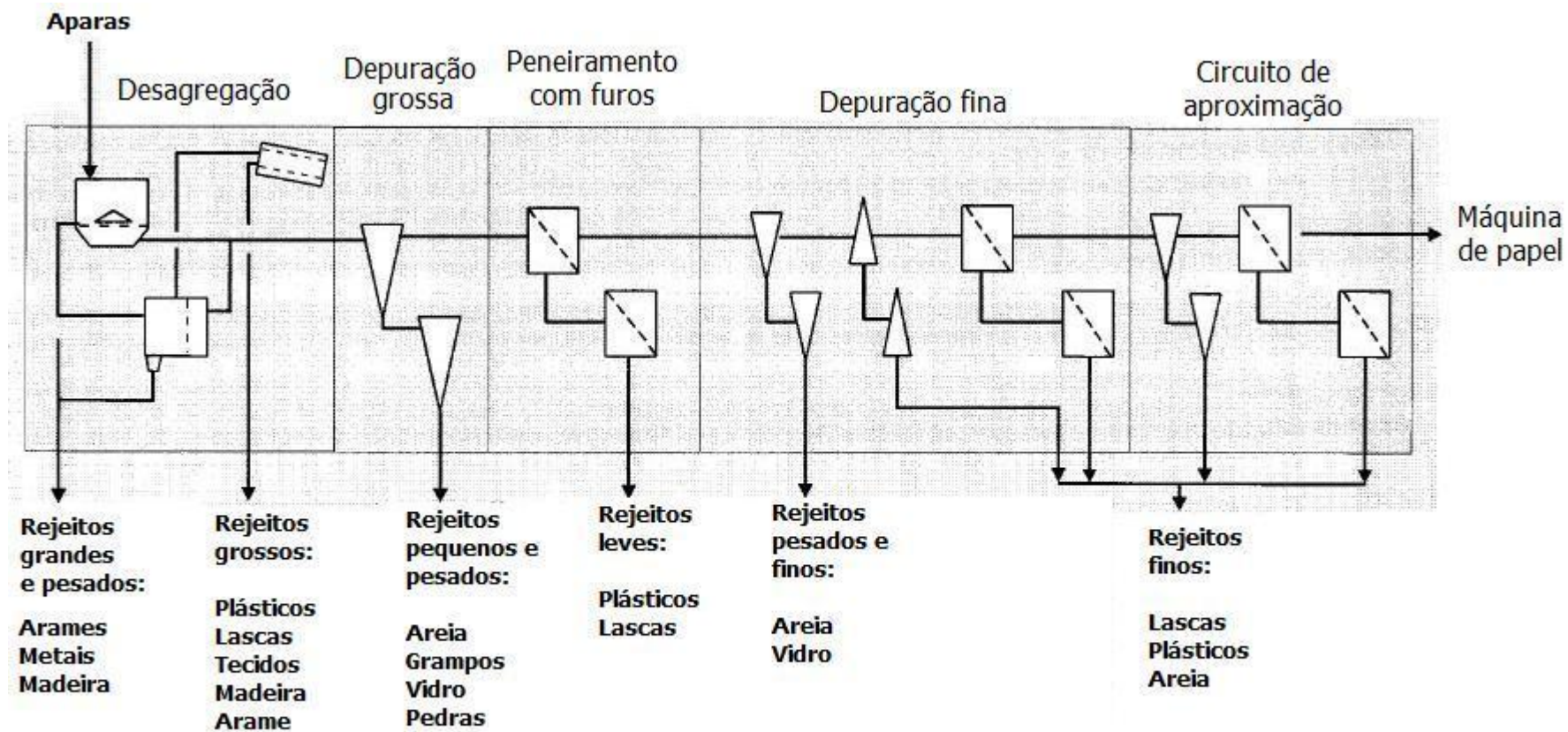


Figura 4.12 (FONTE: Apresentação MERI / ABTCP)

5. Refinação

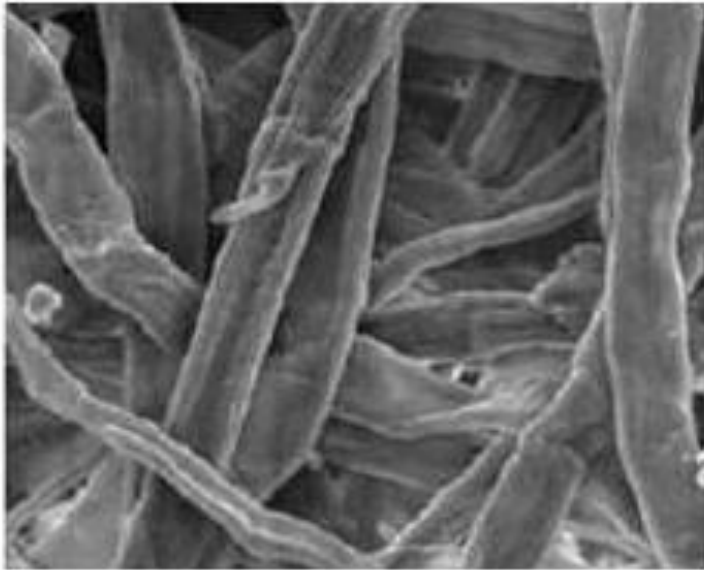
Objetivos da refinação

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.

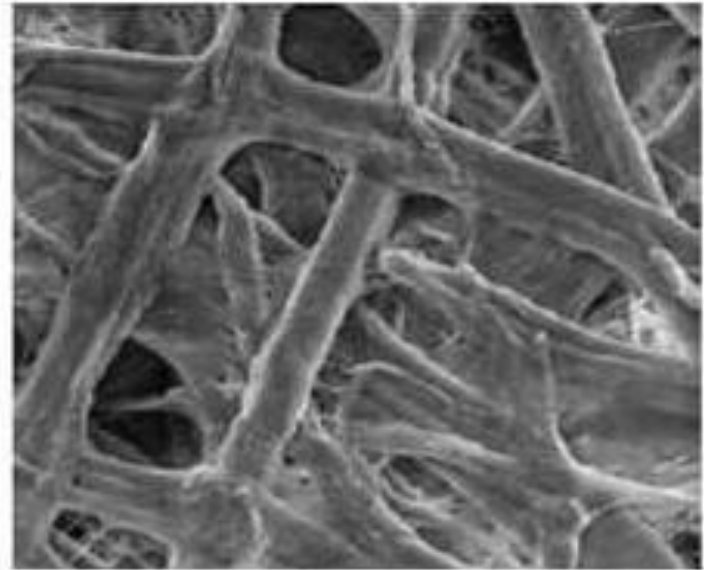
A figura 8.01 mostra folhas feitas em laboratório, onde à esquerda não há refino e à direita as fibras foram refinadas com moinho PFI até 45°SR. (FONTE: Yasumura – 2004).

Refinação

Fibras refinadas e não refinadas



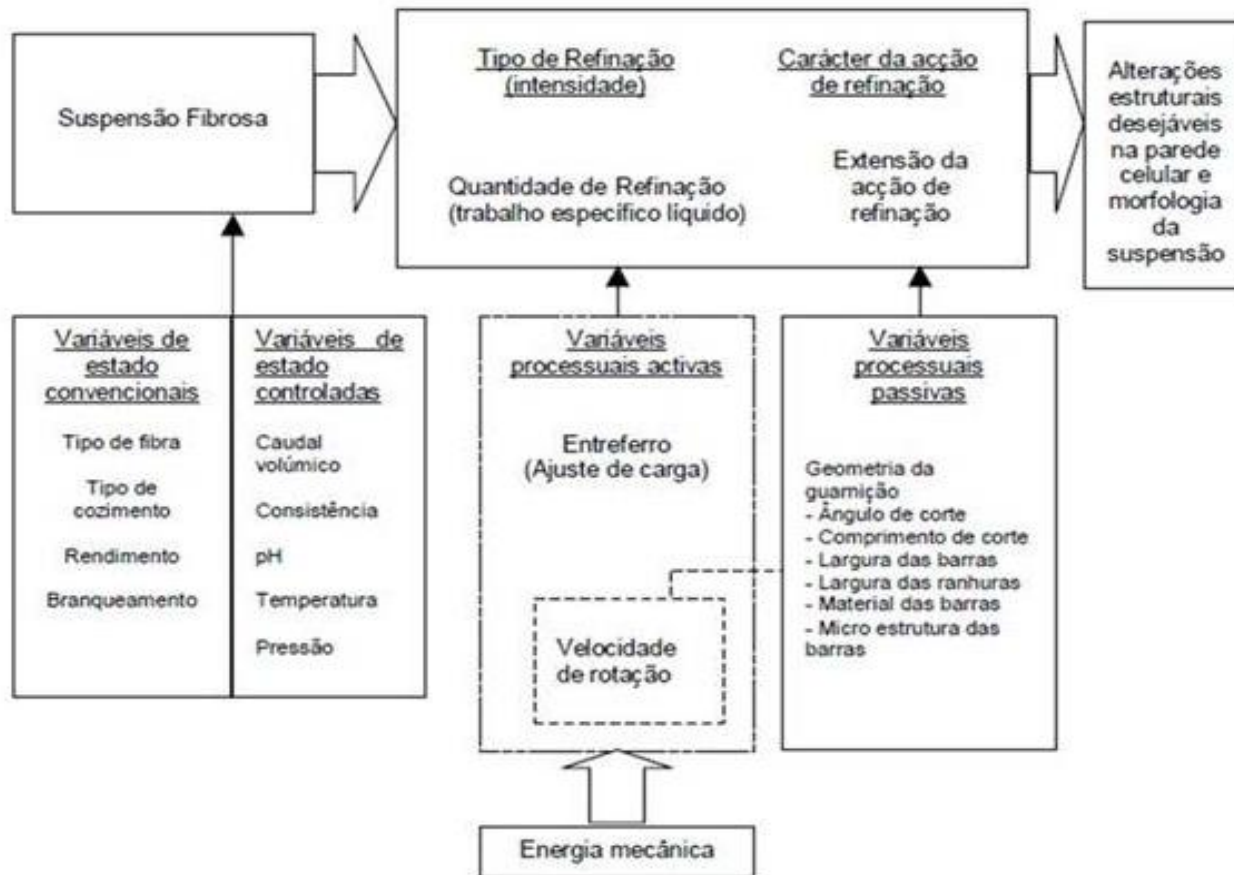
Sem refino



Fibras refinadas até 45°SR

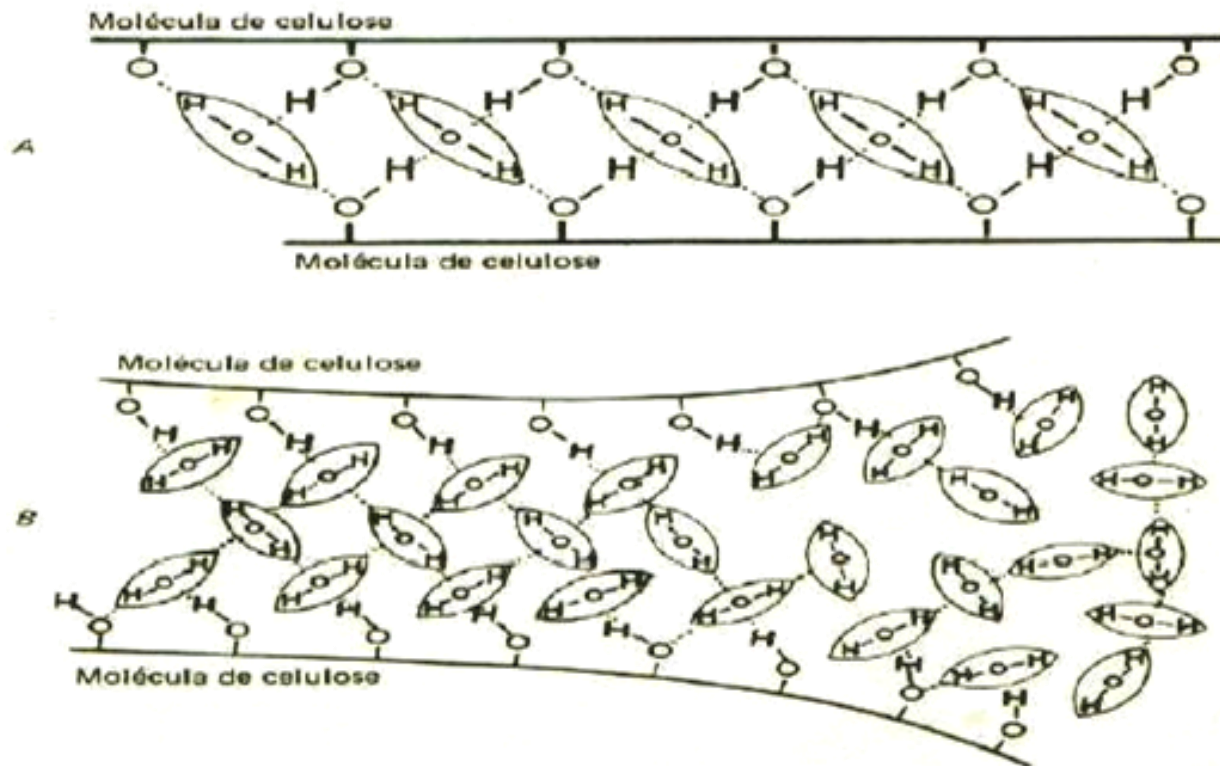
Refinação

Processo de refinação

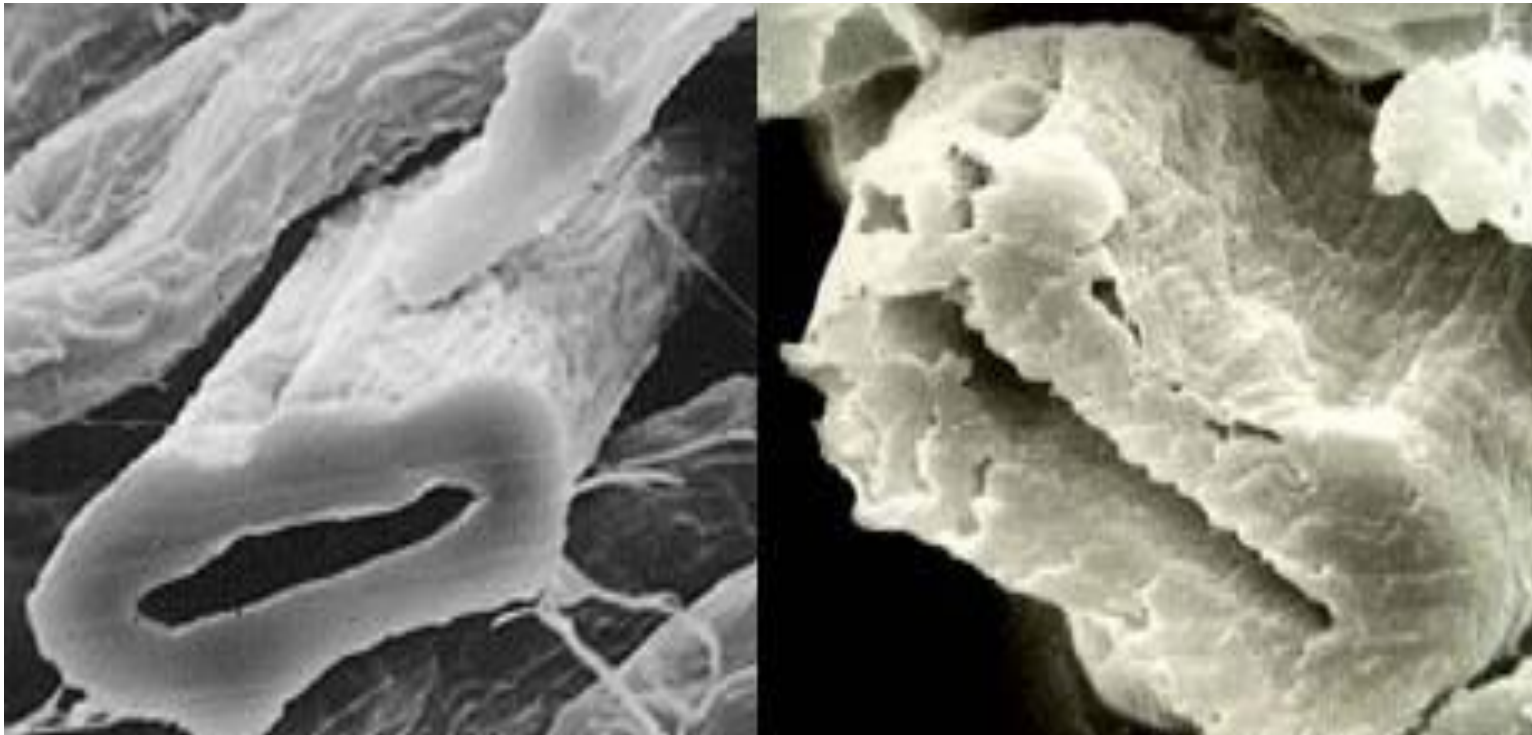


Refinação

Inserção de água por meio da refinação (hidratação)



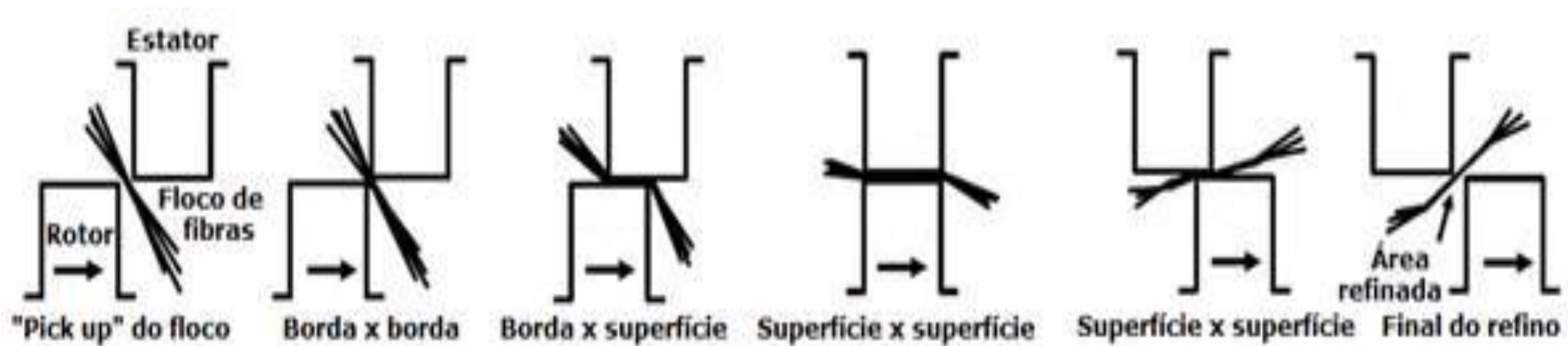
Colapsamento das fibras



FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel – Edison da Silva Campos

Refinação

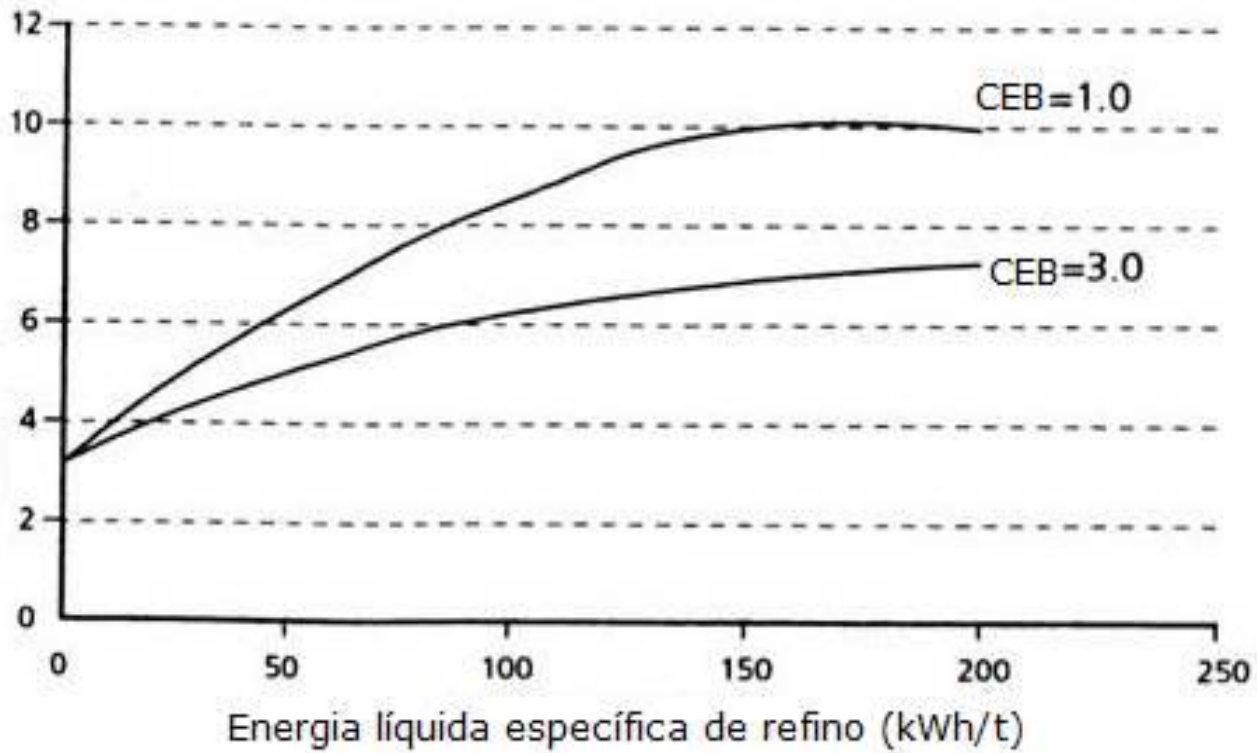
Mecanismo de refinação e seqüência de passos



Refinação

Intensidade de refino

Comprimento de ruptura (km)

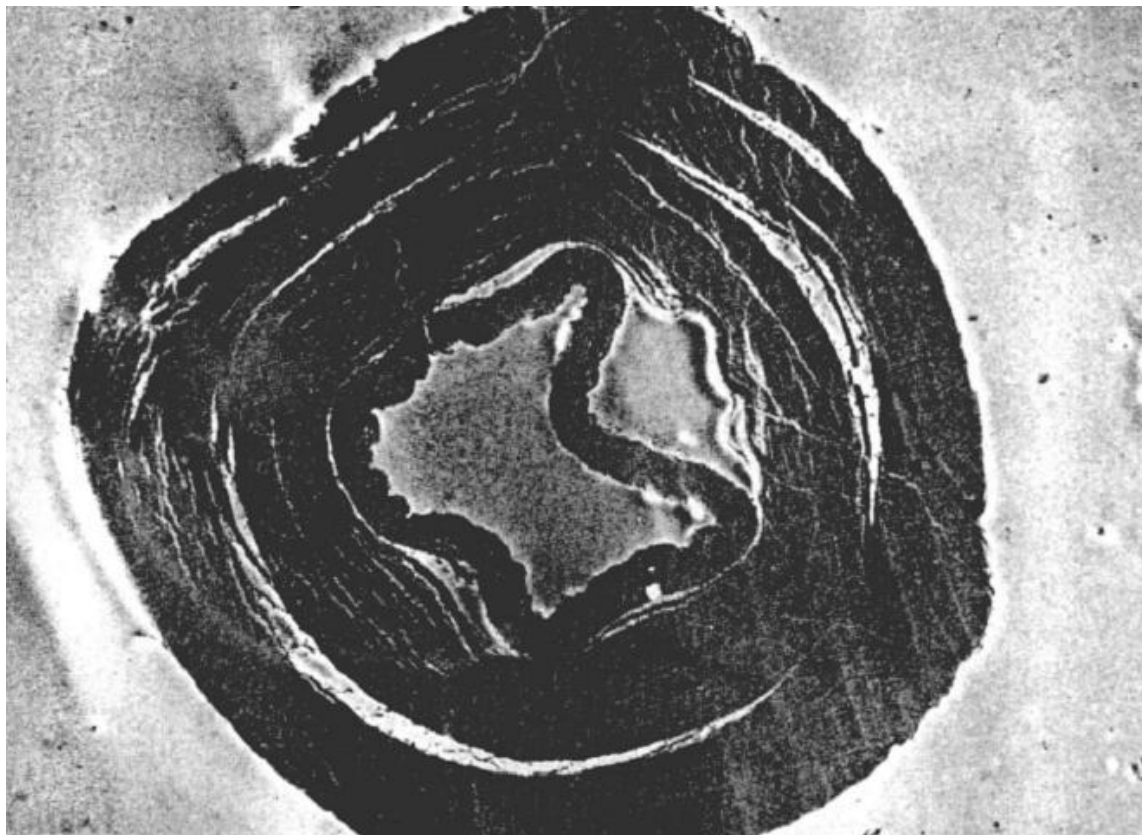


Refinação

***OS EFEITOS DA REFINAÇÃO NA MORFOLOGIA
DA FIBRA***

Refinação

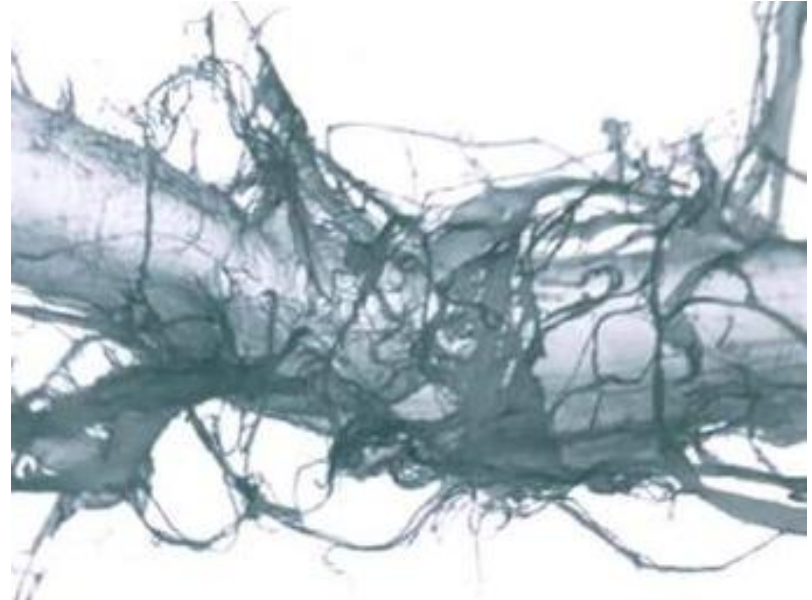
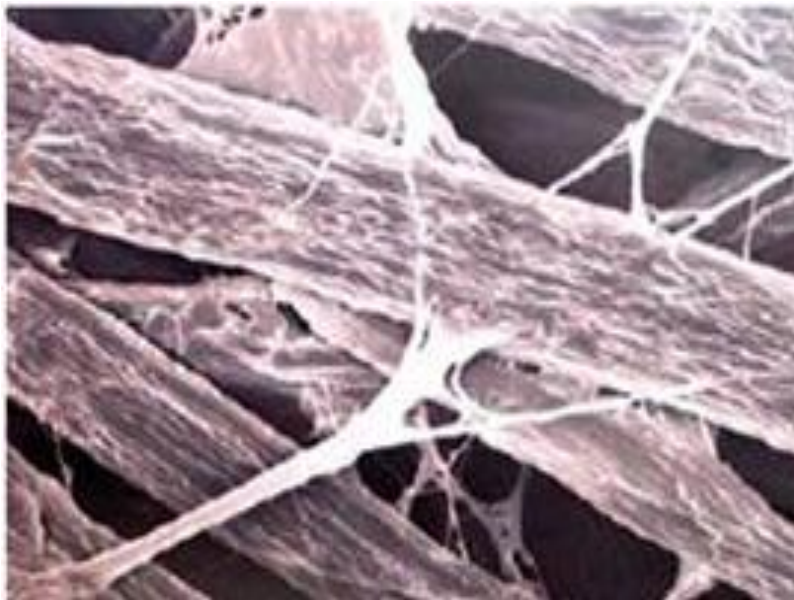
Fibrilação interna



FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel – Edison da Silva Campos

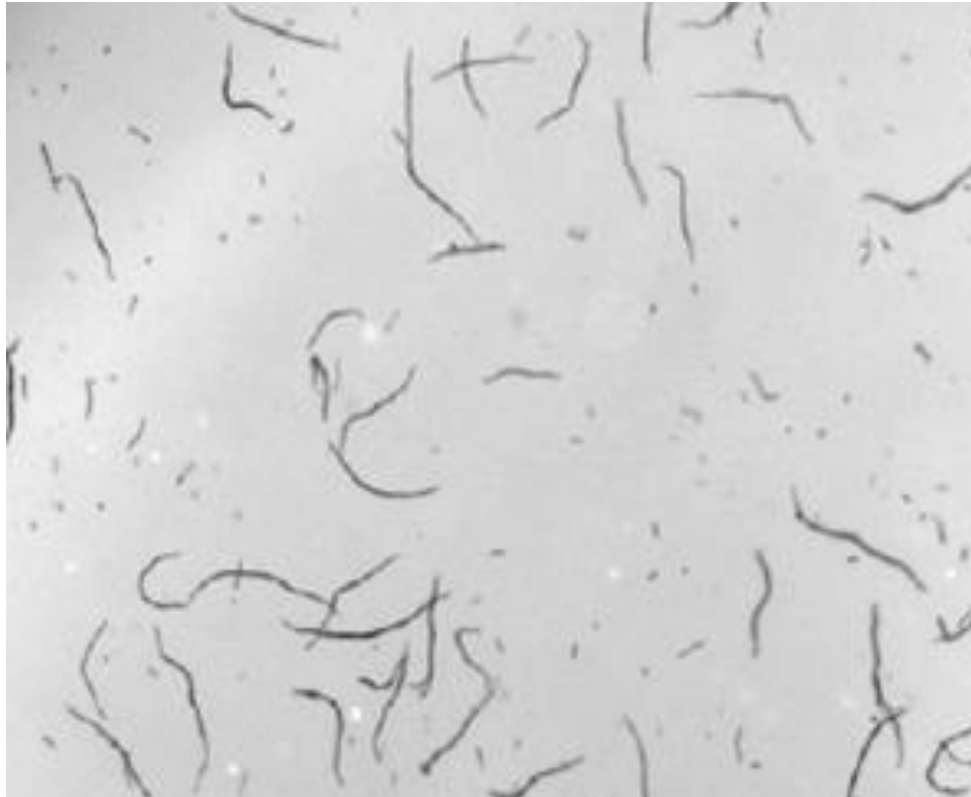
Refinação

Fibrilação externa



Refinação

Geração de finos



FONTE: www.celso-foelkel.com.br

Refinação

Efeitos secundários da refinação

Delaminação da fibra

Inchação da fibra

Aumento da flexibilidade da fibra

Remoção das paredes externas

“Microcreping” das fibras e introdução de outros defeitos

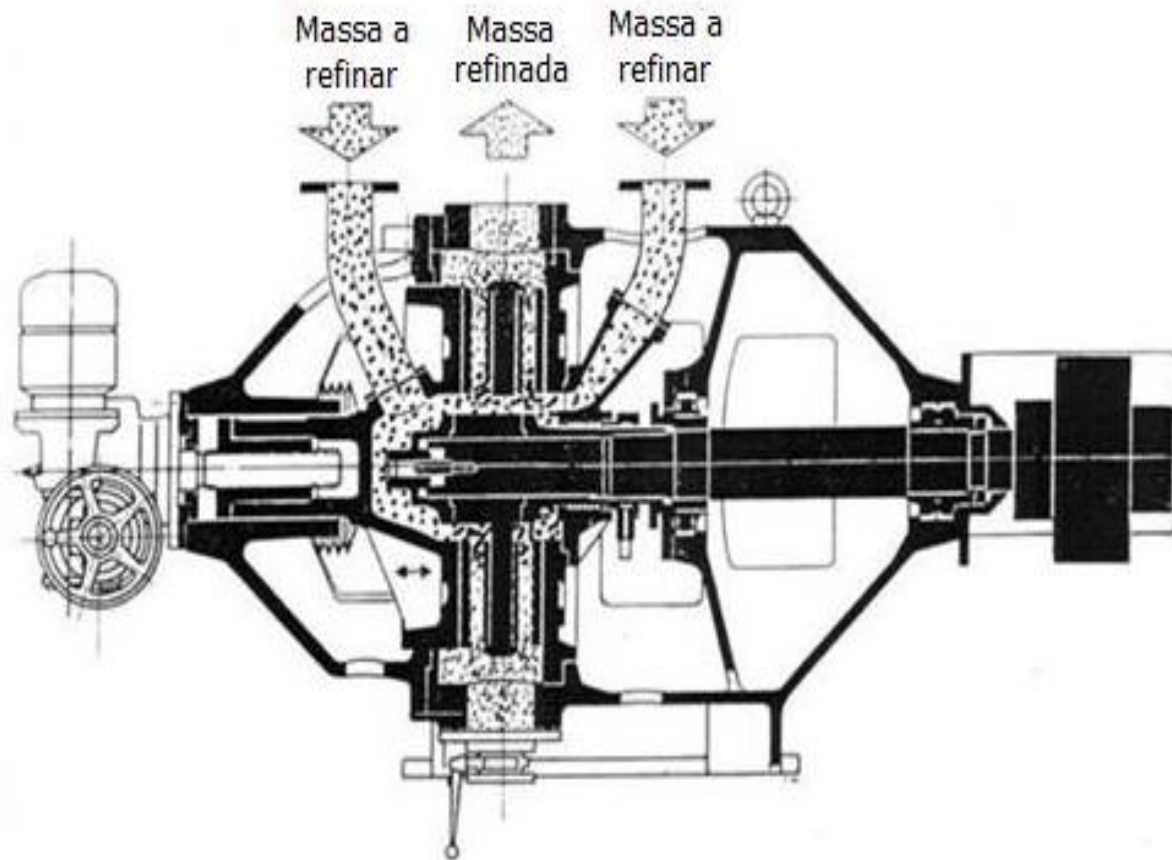
Encanoamento e torcedura de fibras

Aumento da superfície específica



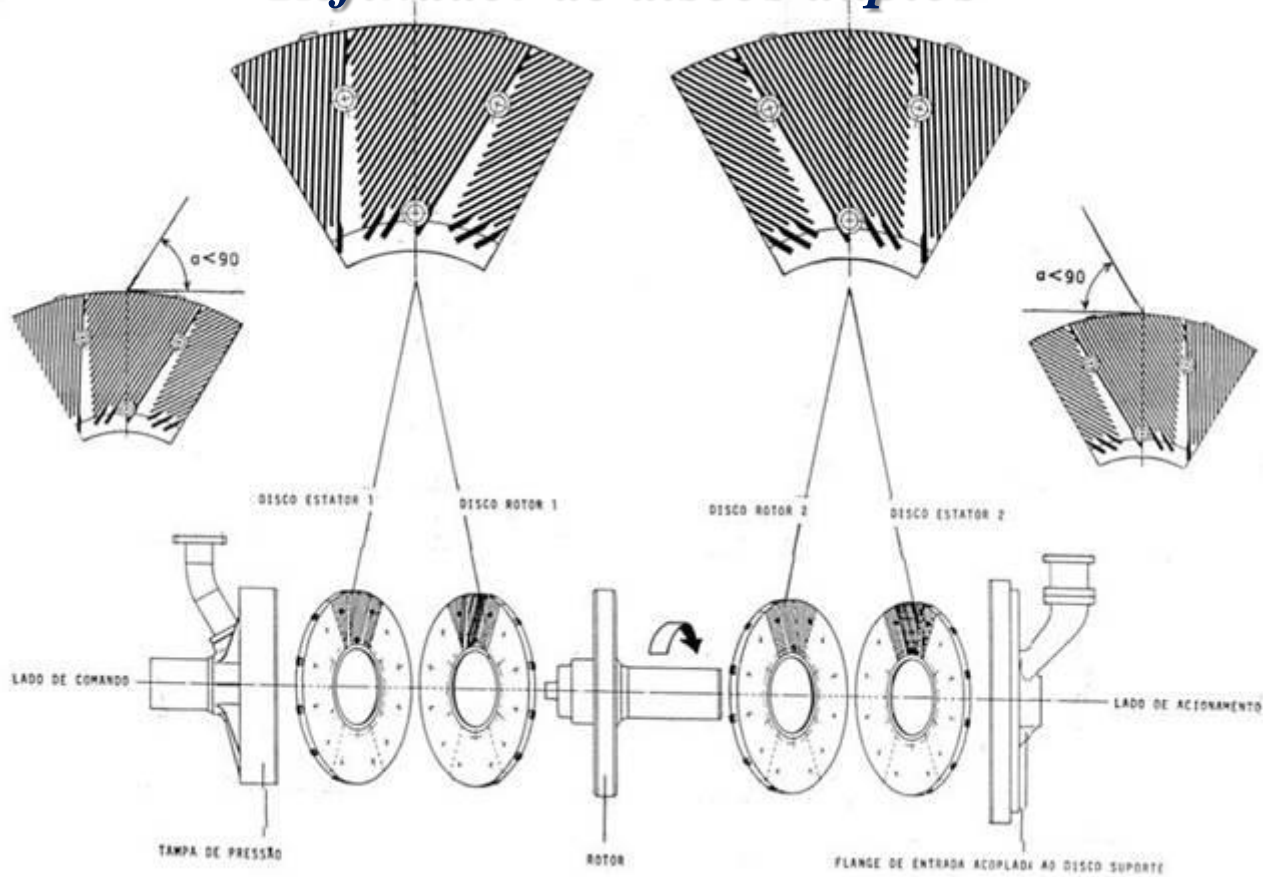
Refinação

Refinador de discos duplos



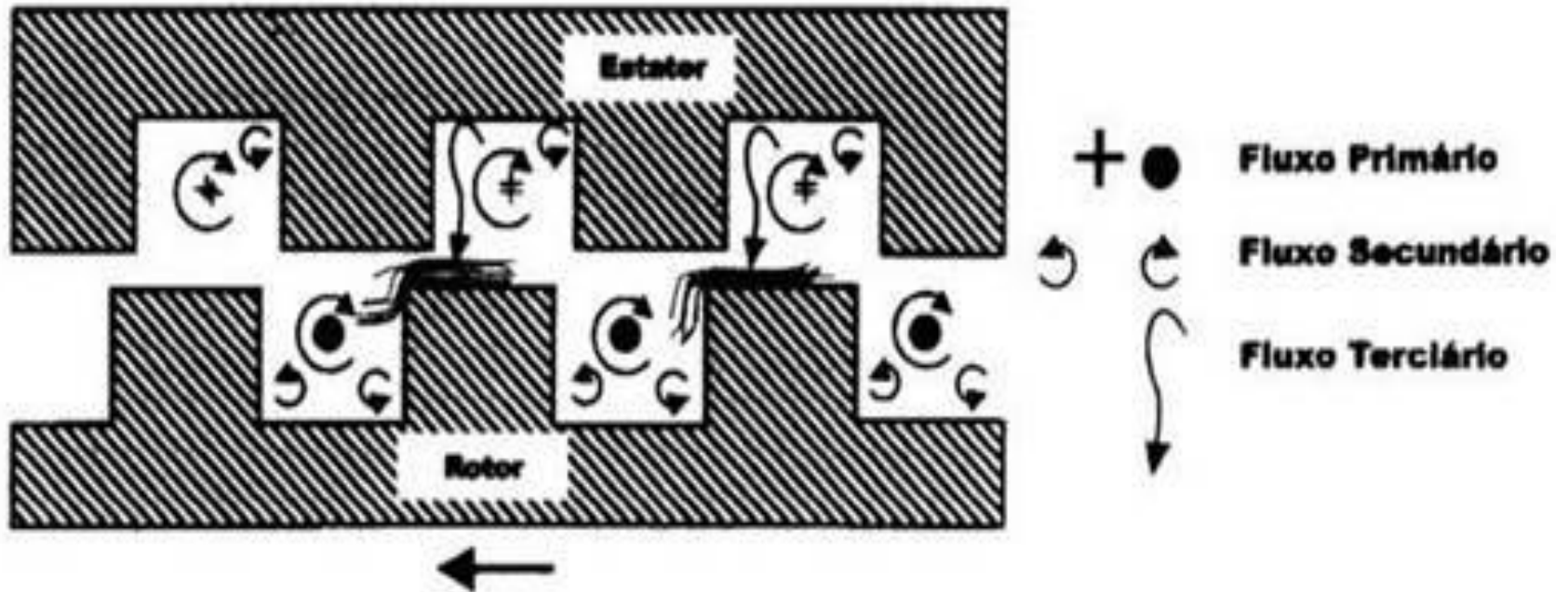
FONTE: Treinamento operacional – VCP/LA

Refinador de discos duplos



Refinação

Fluxos em um refinador de discos



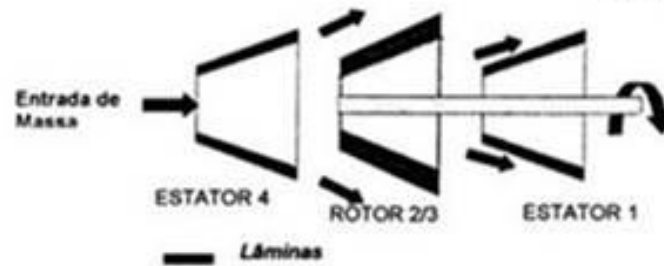
Refinação

Exemplos de discos padrões



Refinação

Refinador “tricônico”



Refinação

Fatores de influência e afetados pela refinação

<i>Fatores que influenciam no processo</i>			<i>Fatores afetados pelo processo</i>
<i>Variáveis da matéria-prima</i>	<i>Variáveis do equipamento</i>	<i>Variáveis do processo</i>	<i>Alterações desejáveis na estrutura da fibra</i>
<i>Tipo de fibra (espécie de madeira) Método de cozimento Grau de deslignificação Comprimento da fibra Composição química da fibra Método de branqueamento Secagem da massa</i>	<i>Tipos de refinadores Potência motora Velocidade periférica Dimensões das facas e sulcos Ângulo de inclinação e de intersecção Direção do fluxo Comprimento do corte Natureza das guarnições Material e fechamento entre lâminas Presença ou ausência de obstruções (“dams”)</i>	<i>Temperatura pH Consistência Pressão específica Entreferro Vazão da massa Energia aplicada Consumo específico Carga específica de lâmina (ou aresta) Arranjo dos refinadores</i>	<i>Flexibilidade Colapsamento Fibrilação Relação adequada entre corte e fibrilação.</i>

FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

Refinação

$$P_t = \sqrt{3} * V * I * f_p * 10^{-3}$$

Onde:

P_t : potência total, kW

V: tensão, V

I: corrente, A

f_p : fator de potência (para nossos cálculos, vamos utilizar 0,85)

$$P_t \approx 545 \text{ kW}$$

Refinação

$$P_v = (102 * (\omega/100)^3 * (D/100)^{4,25}) * \left(2 * \frac{G_w}{B_w + G_w}\right) * \left(\frac{G_D}{4}\right)$$

Onde:

P_v : potência em vazio, HP

ω : velocidade rotacional do motor, rpm

D: diâmetro do disco, in

B_w : largura da lâmina (ou barra), 1/16 in

G_w : largura da ranhura, 1/16 in

G_D : profundidade da ranhura, 1/16 in

$$P_v = 213 \text{ HP} = 213 * 0,476 \approx 101 \text{ kW}$$

$$P_u = P_t - P_v$$

Refinação

$$P_u = P_t - P_v$$

Onde:

P_u : potência líquida aplicada, kW

P_t : potência total, kW

P_v : potência em vazio, kW

$$P_u = 545 - 101 = 444 \text{ kW}$$

Refinação

$$\text{EER} = \frac{(P_t - P_v) * T}{M}$$

Onde:

P_t : potência total aplicada (kW)

P_v : potência em vazio (kW)

T: tempo de referência (h)

M: produção de massa absolutamente seca (t = tonelada métrica)

$$\frac{M}{T} = 1893 \frac{\text{l}}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ l}} * \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} * \frac{4,5}{100} = 1893 * 0,06 * 0,045 = 5,11 \text{ t/h}$$

$$\text{EER} = \frac{444 \text{ kW}}{5,11 \text{ t/h}} \cong 87 \text{ kWh/t}$$

Refinação

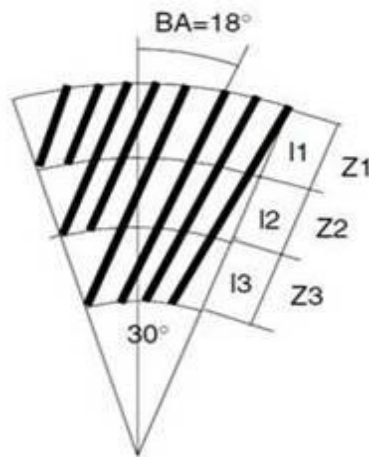
$$CEB = \frac{P_u}{L}$$

Onde:

CEB: Carga Específica de Borda, ws/m

P_u : potência líquida aplicada, kW

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

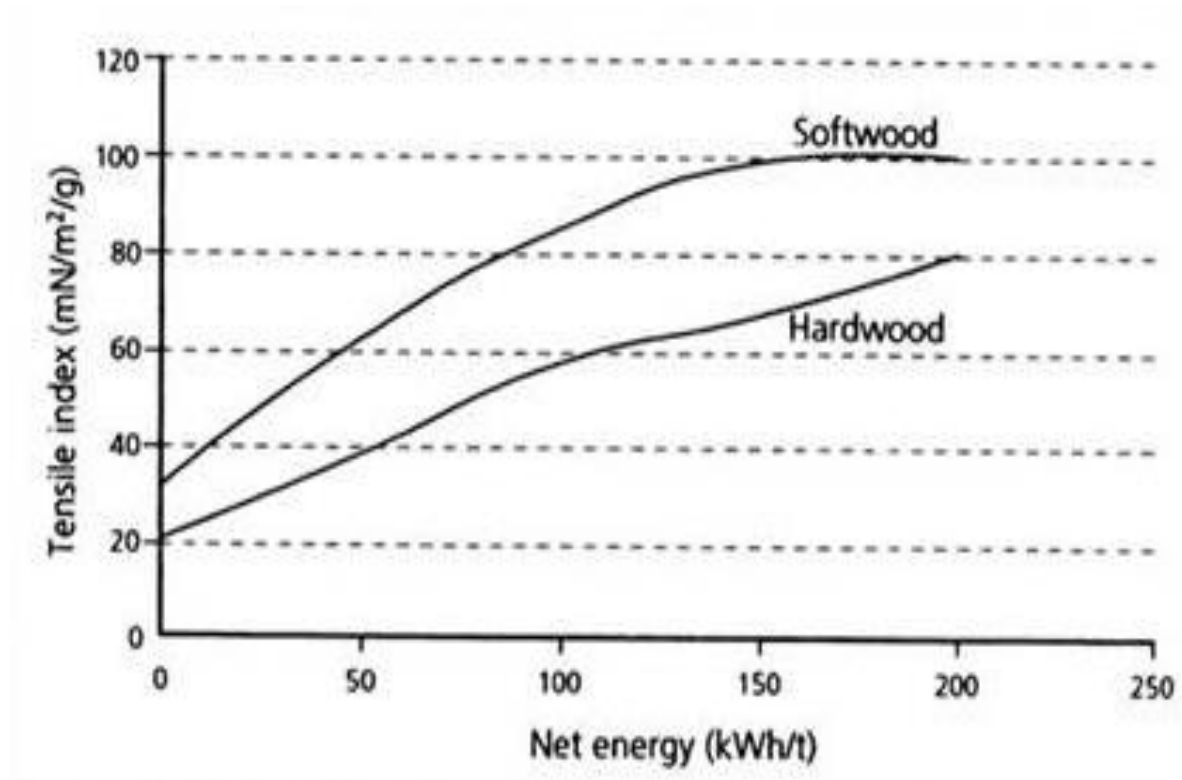


$$L = \frac{CEC * \omega}{60} = \frac{87 \frac{\text{km}}{\text{rot}} * 514 \frac{\text{rot}}{\text{min}}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 745,3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$CEB = \frac{P_u}{L} = \frac{273 \text{ kWh}}{745,3 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 0,37 \frac{\text{kWs}}{\text{km}} \text{ ou } \frac{\text{Ws}}{\text{m}}$$

Refinação

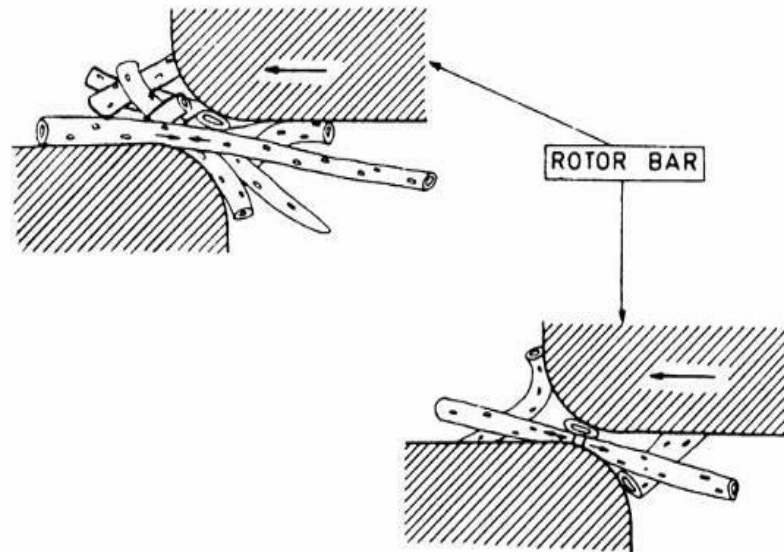
Tipos de fibras



FONTE: Refining Technology

Refinação

Consistência



Refinação

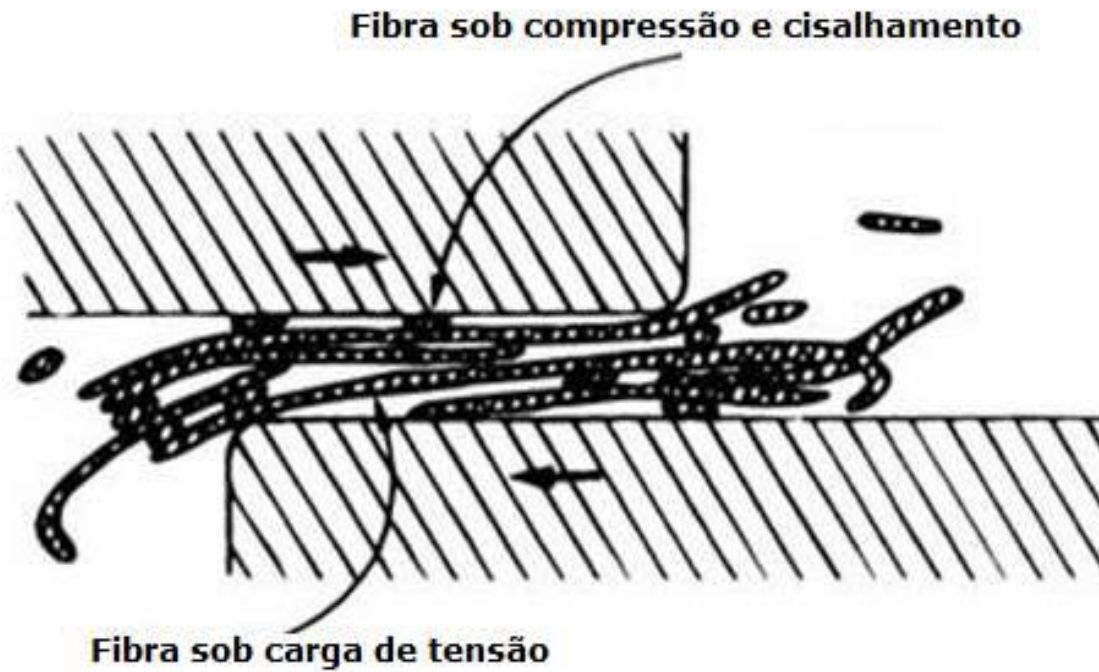
Velocidade periférica

DIÂMETRO DOS DISCOS (mm)	500	600	700	900	1000	1200
POTÊNCIA (HP)	300	400	500	600	1000	1500
ROTAÇÃO (RPM)	1200	750	600	500	400	300

REFINO BC

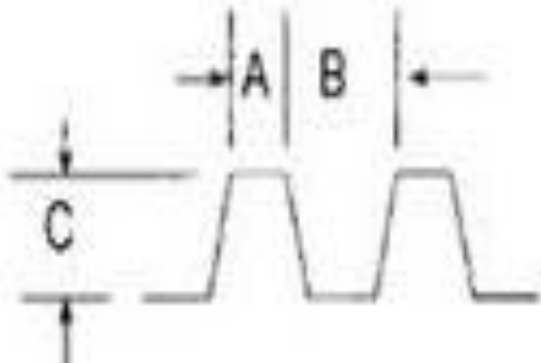
Consistência	(%)	2 - 6
Velocidade periférica	(m/s)	15 – 25

Refinação



Refinação

Codificação



*Exemplo: **2,5 x 3,5 x 6,0 / 7,5°**, onde*

Largura da barra: 2,5 mm

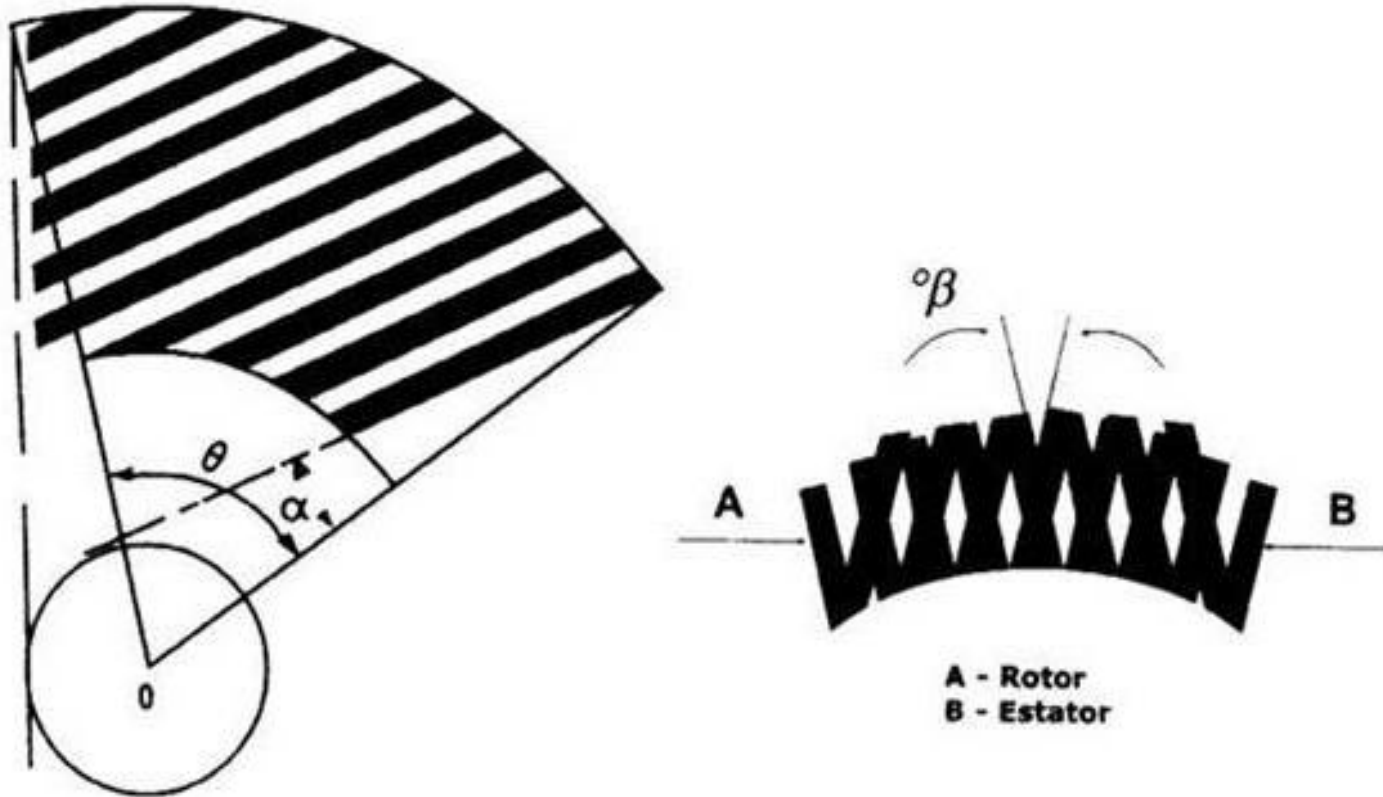
Largura do canal: 3,5 mm

Profundidade do canal: 6,0 mm (OBSERVAÇÃO: em alguns casos, a profundidade do canal é omitida).

Ângulo da faca: 7,5°

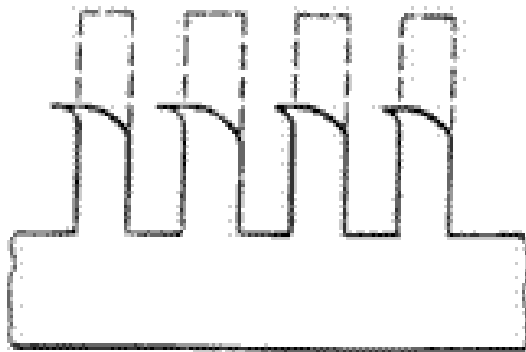
Refinação

Ângulo de corte e de cruzamento

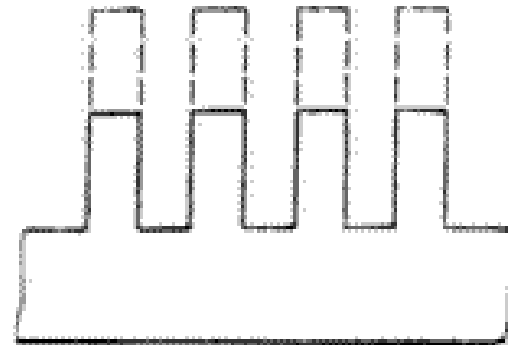


Refinação

Material e fechamento entre as lâminas



ERRADO



CERTO

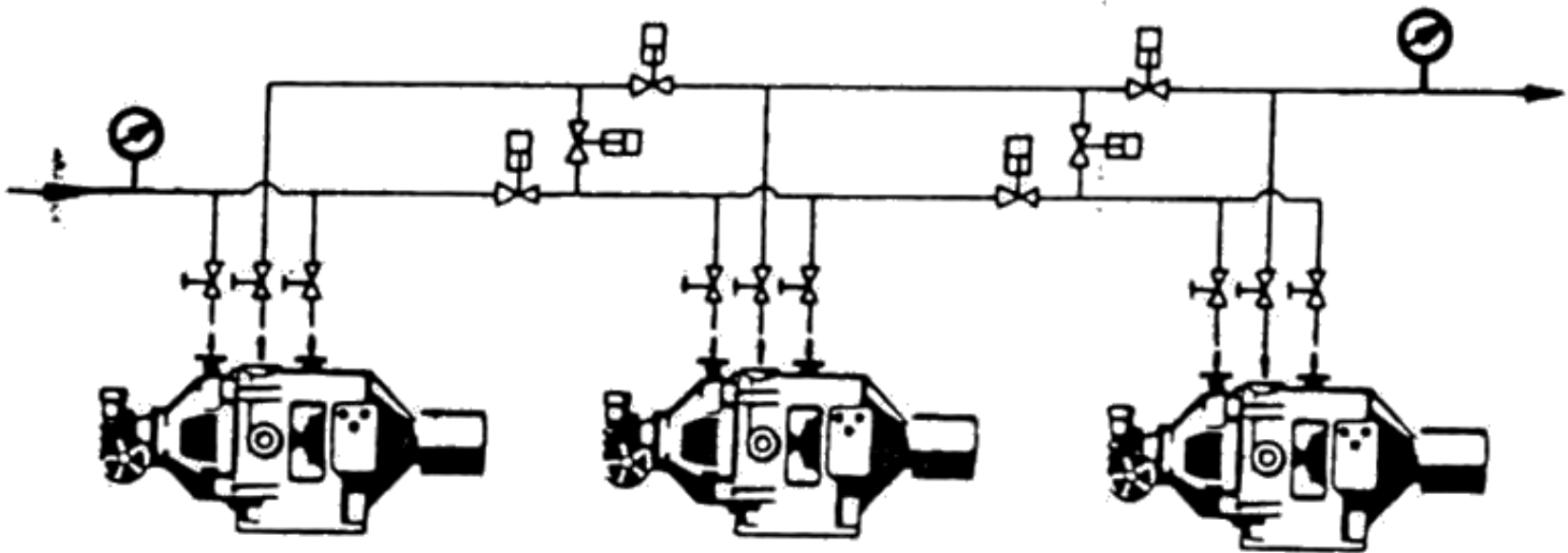
Refinação

Arranjo dos refinadores

	Arranjo em série	Arranjo em paralelo
Vantagens	<p>Pressão específica pode ser mais baixa, uma vez que as fibras passarão por mais de um refinador.</p> <p>O grau de refino poderá ser melhor controlado, uma vez que se pode ajustar e manter os refinadores trabalhando em condições semelhantes.</p> <p>Recomendado para quando se deseja obter altos graus de refinação.</p>	<p>Aumento de temperatura gradual ao passar por cada refinador podendo alcançar temperatura indesejável nos últimos refinadores.</p> <p>Cuidados na operação para garantir que os refinadores estejam trabalhando em condições de aperto, pressões de entrada e saída iguais.</p> <p>Não recomendado para baixos graus de refino e grandes produções.</p>
Desvantagens	<p>Maior facilidade para controlar pressões de entrada e saída.</p> <p>Pela vazão ser menor, por estar dividida, há uma retenção maior da massa nos discos.</p> <p>Recomendados para grandes produções e baixo grau de hidratação.</p>	<p>A alimentação deve ser bem dimensionada, dividindo o fluxo pelas linhas.</p> <p>Requer maior pressão específica.</p>

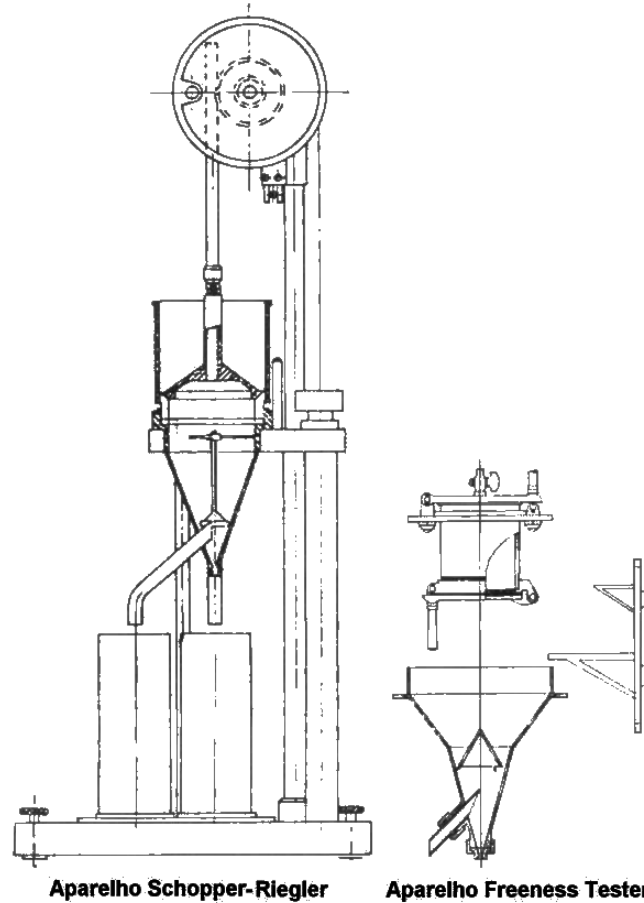
Refinação

Arranjo dos refinadores



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" – ABTCP

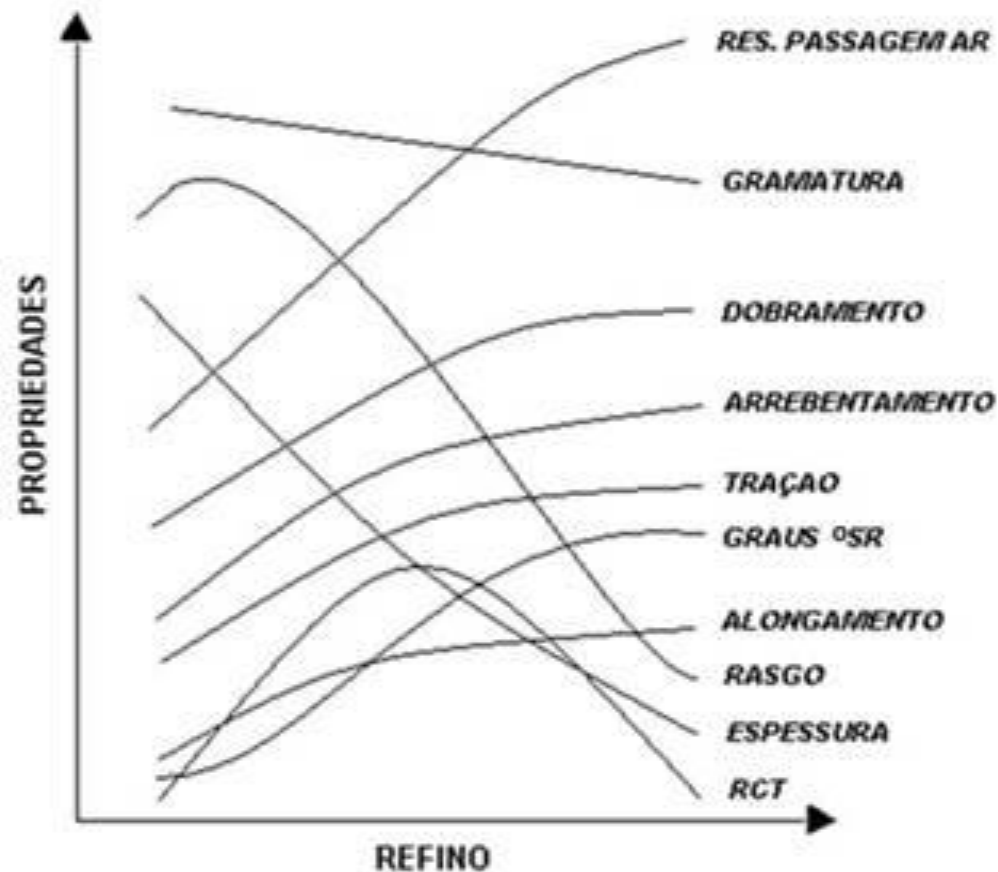
Medição de grau de refino



Análise grau

Refinação

Desenvolvimento de propriedades do papel em função do nível de refino

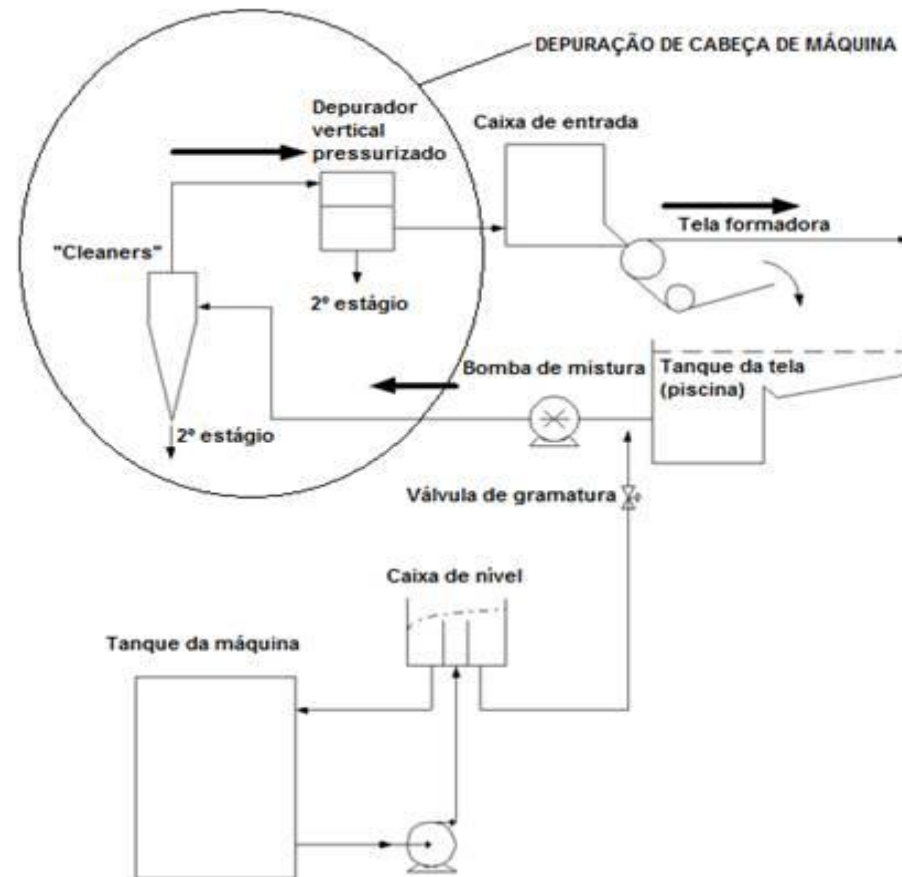


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

6. Circuito de aproximação (“approach flow”)

Circuito de aproximação ("approach flow")

Depuração de cabeça de máquina



7. Máquina de papel

Máquina de papel

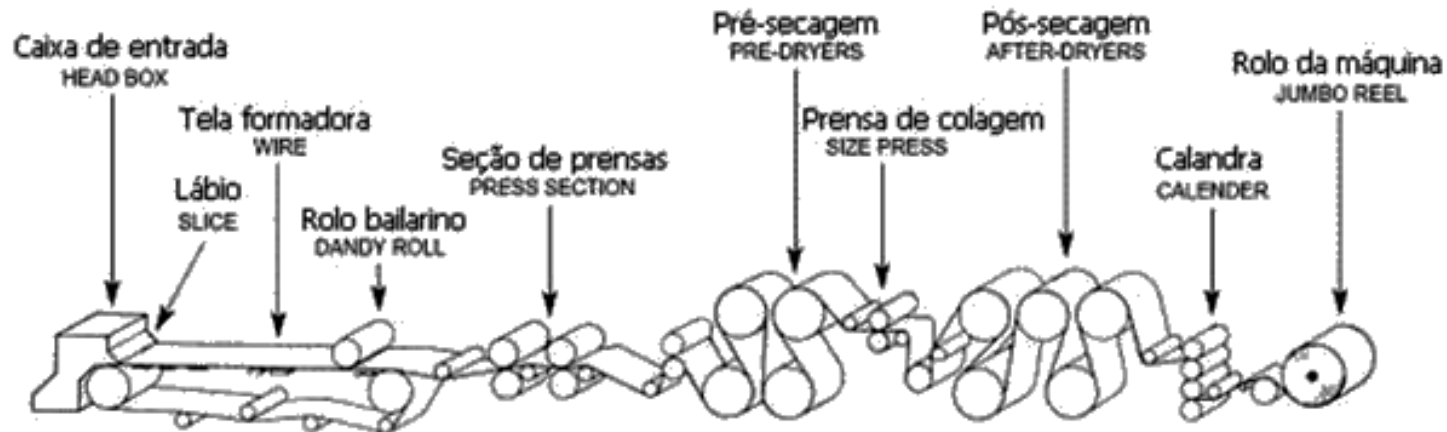
Máquina de papel - seções

A função básica da máquina de papel, 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;

Prensagem: desaguamento por compressão mecânica;

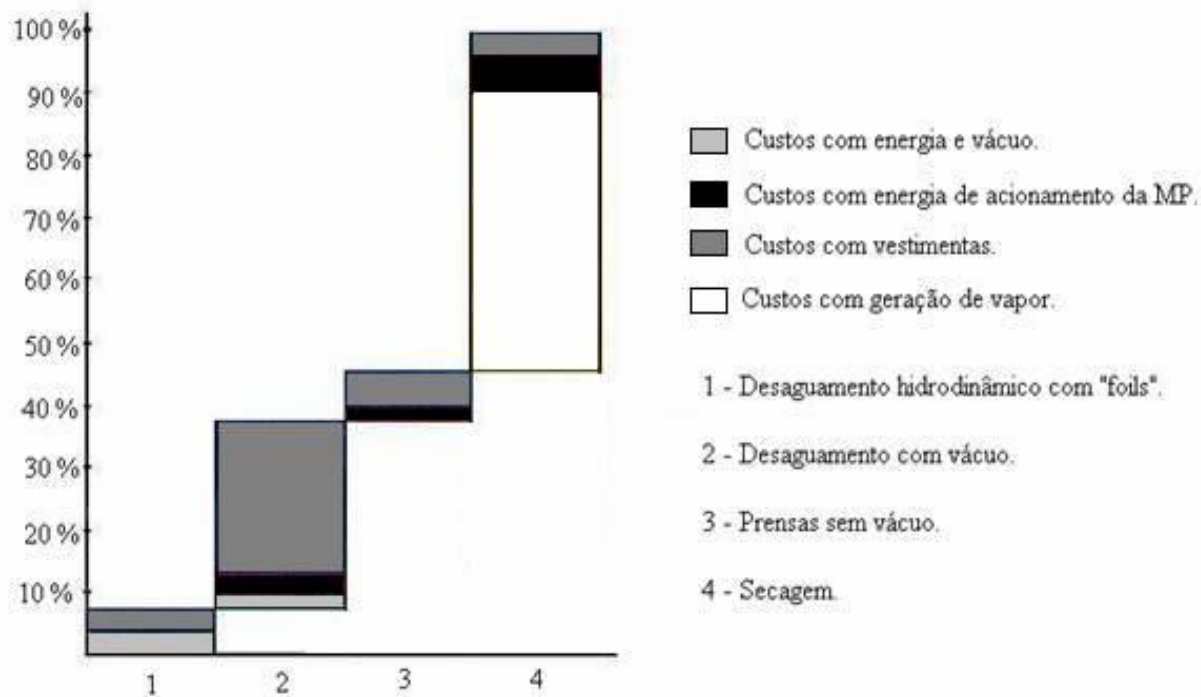
Secagem: desaguamento por evaporação, por meio do fornecimento de calor nos cilindros secadores.



FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel – Edison da Silva Campos

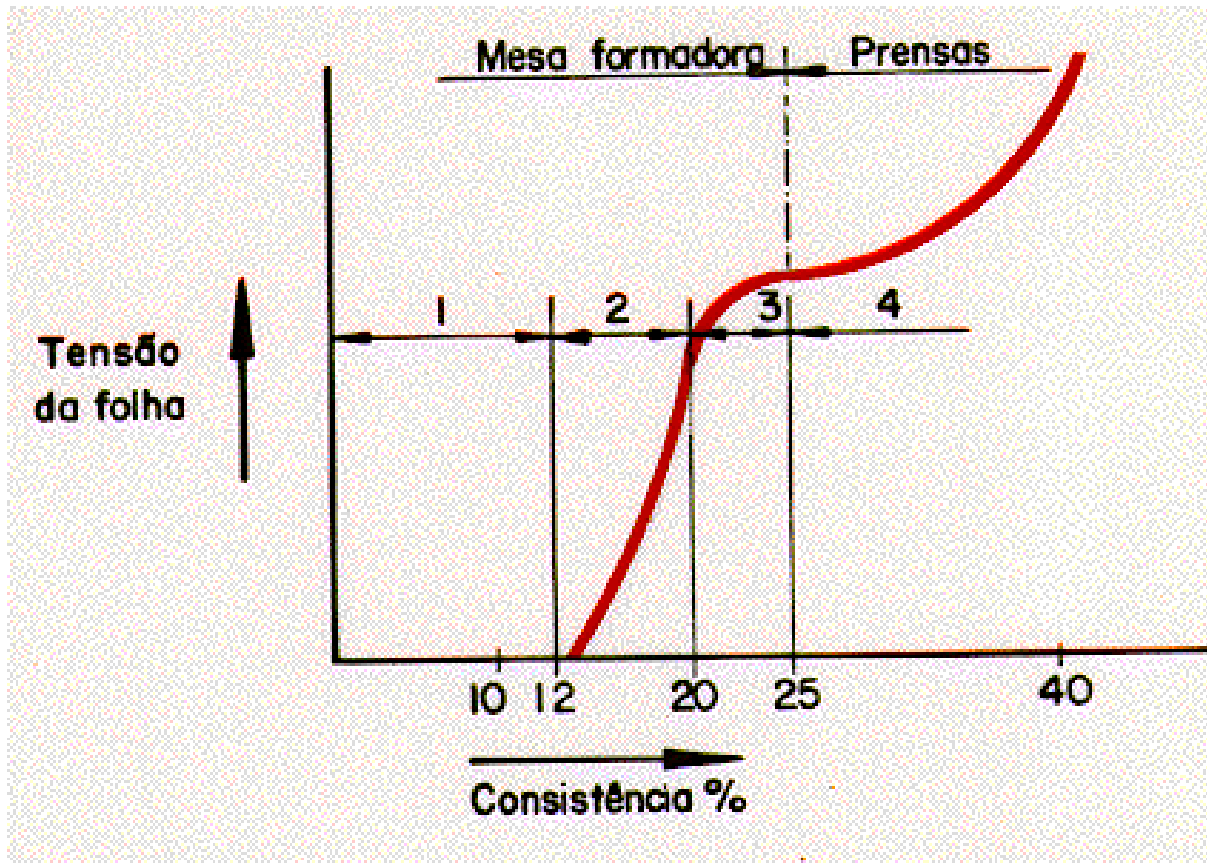
Máquina de papel

ZONAS	Conteúdo de seco na entrada	Conteúdo de seco na saída	Percentagem 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%



FONTE: Apresentação ALBANY / ABTCP

Resistência da folha com a variação da consistência



1 - Fibras em suspensão.

2 - Zona de transição

*- fibras ligadas por
pequena tensão*

3 - Zona de Transição

*- fibras ligadas por
tensão em contato*

*4 - Fibras ligadas por
contato*

8. Caixa de entrada

Caixa de entrada

A função da caixa de entrada é distribuir a massa proveniente do “approach flow” de maneira uniforme na tela formadora.

Esta distribuição uniforme se alcança através de uma pressão interna uniforme e constante.

Resumindo:

“A caixa de entrada deve 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 materiais fibrosos e não-fibrosos”.

Caixa de entrada

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

- matérias primas e tipos de fibra;*
- consistência da massa na caixa de entrada e grau de refinação: normalmente trabalhamos com consistência na caixa de entrada na ordem de 2 a 5 g/l, e as fibras devem estar uniformemente distribuídas e homogeneamente dispersas na suspensão;*
- a geometria do jato da caixa de entrada;*
- velocidade do jato em relação à tela;*
- tipo de tela / feltro;*
- retenção de fibras.*

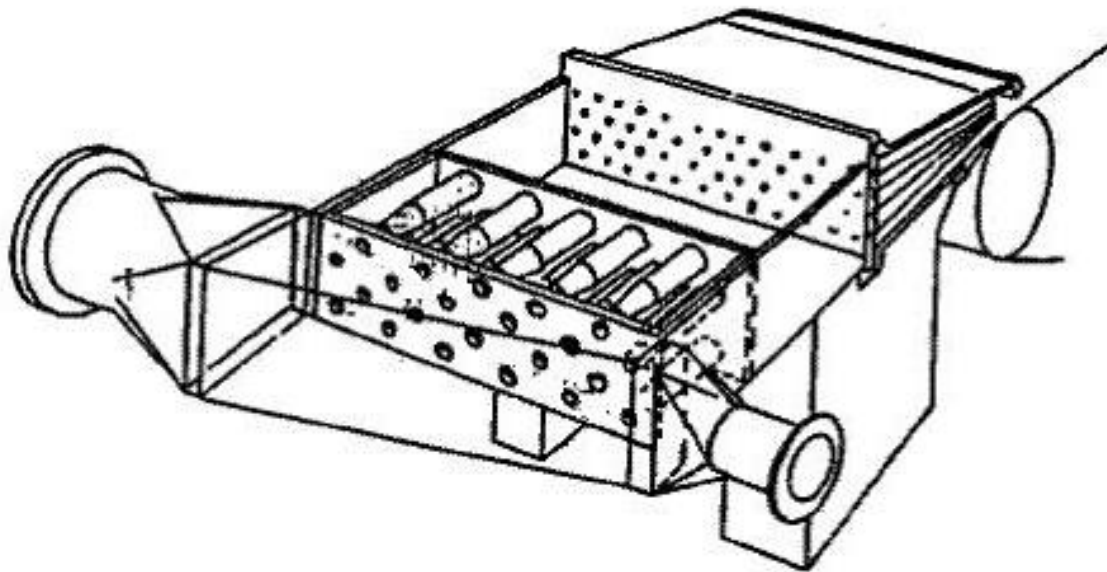
Caixa de entrada

A distribuição transversal e uniforme de massa pode ser garantida atuando-se principalmente nos seguintes pontos:

- *“approach flow” (linhas de aproximação);*
- *“design” (projeto) da caixa de entrada;*
- *mistura da massa.*
- *outras considerações:*
- *acabamento interno;*
- *estabilidade térmica;*
- *facilidade de limpeza.*

Caixa de entrada

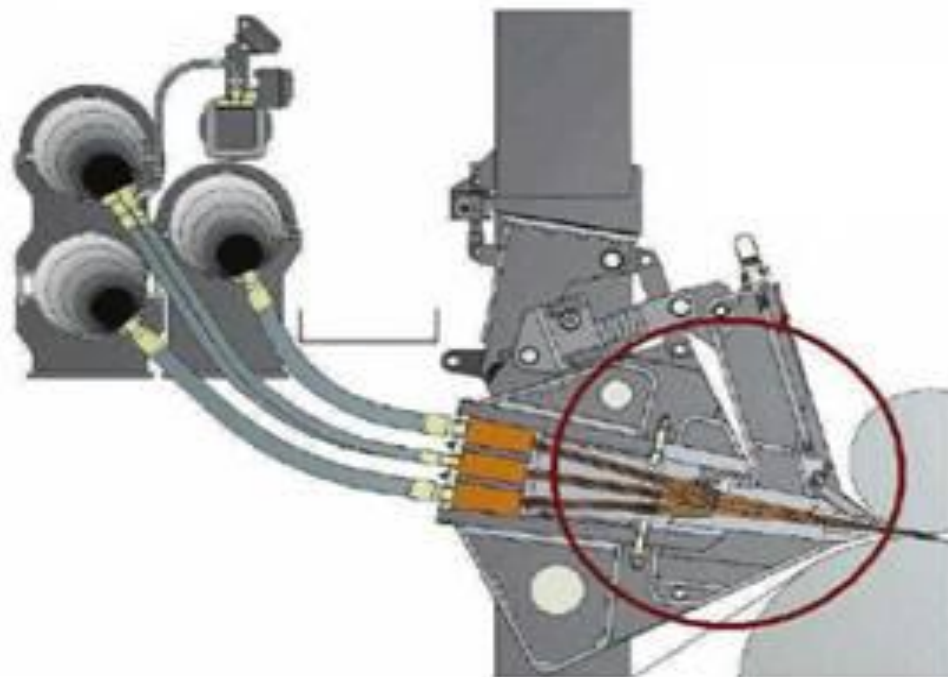
Caixa hidráulica



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Caixa de entrada

Caixa de entrada multijato



Caixa de entrada

A distribuição transversal e uniforme de massa pode ser garantida atuando-se principalmente nos seguintes pontos:

- *“approach flow” (linhas de aproximação);*
- *“design” (projeto) da caixa de entrada;*
- *mistura da massa.*
- *outras considerações:*
 - *acabamento interno;*
 - *estabilidade térmica;*
 - *facilidade de limpeza.*

Caixa de entrada

Caixa de entrada e formação

IMPORTANTE:

Qualidade do jato!!!!

Caixa de entrada

O QUE DEVE SER CONTROLADO NA CAIXA DE ENTRADA?

Principais características de qualidade do jato:

Jato transversal uniforme de massa

Mistura homogênea

Fluxo livre de pulsações

Estabilidade

Livre de fluxos transversais

Fatores que influenciam na qualidade do jato:

Distribuição transversal

Atenuação de pulsos

Turbulência

Geometria do lábio

Perfil transversal

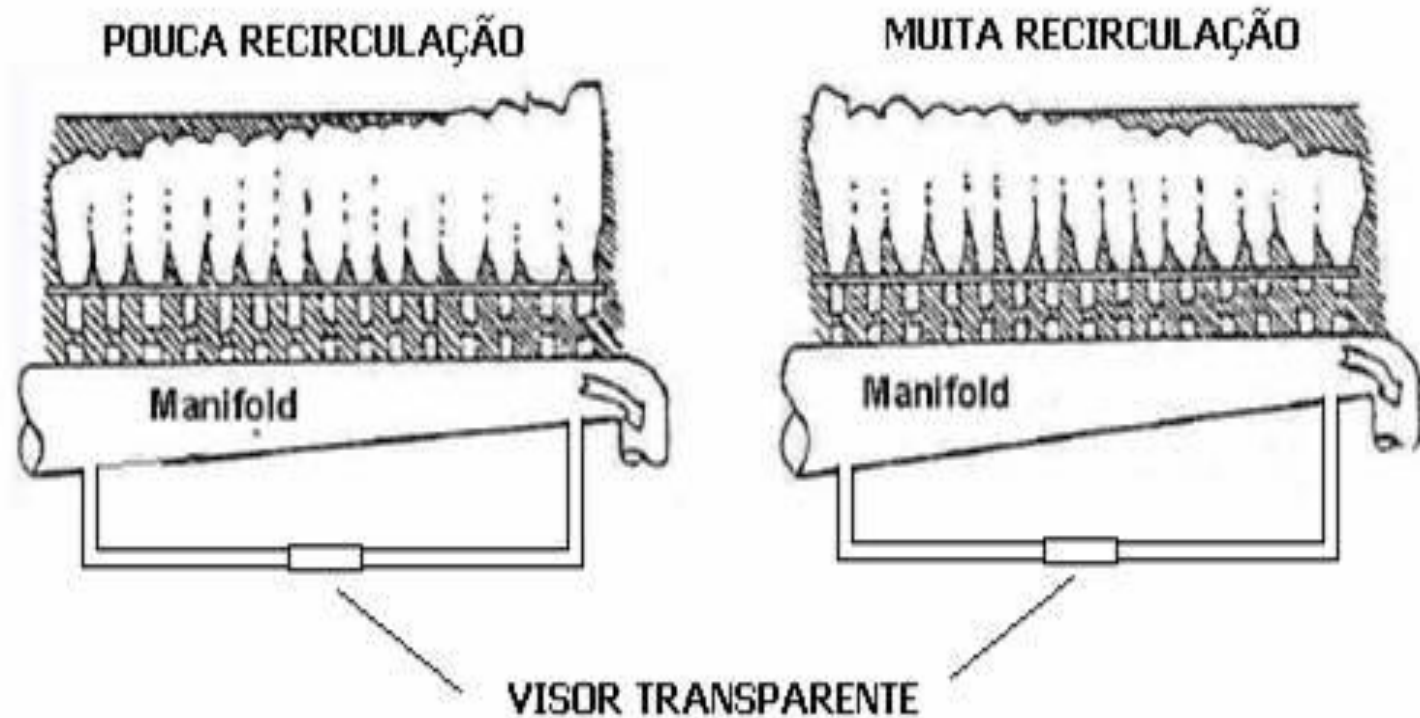
Relação jato-tela

Outras considerações: Acabamento Interno, Estabilidade Térmica e Facilidade de limpeza

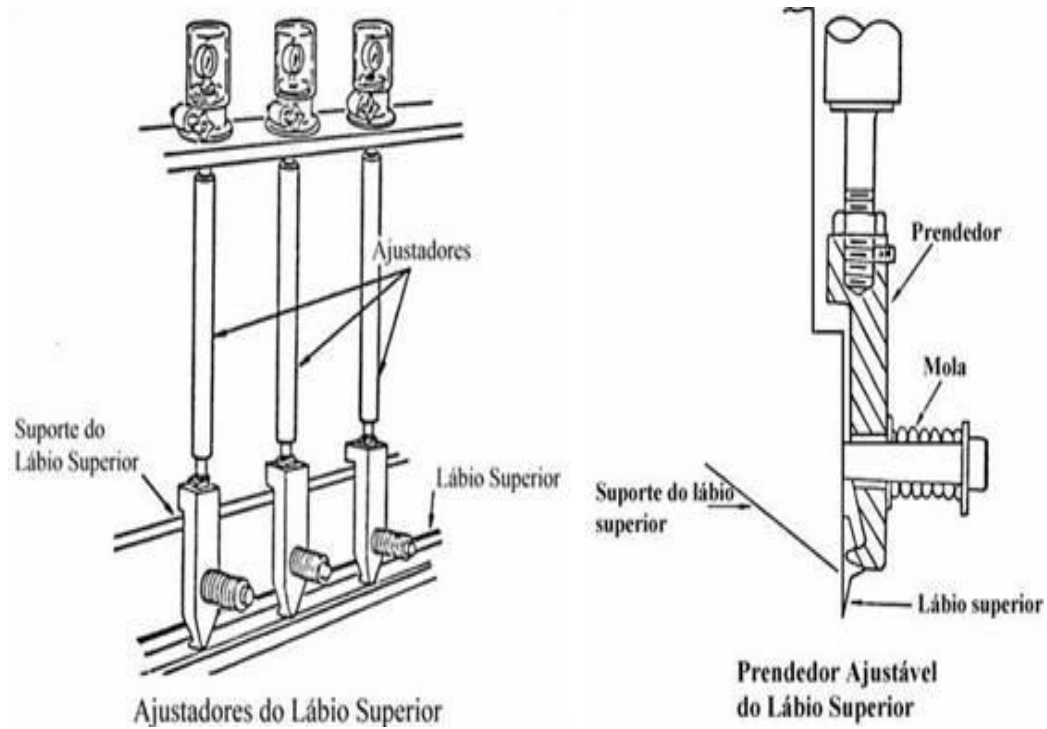
Distribuição transversal uniforme de massa

Caixa de entrada

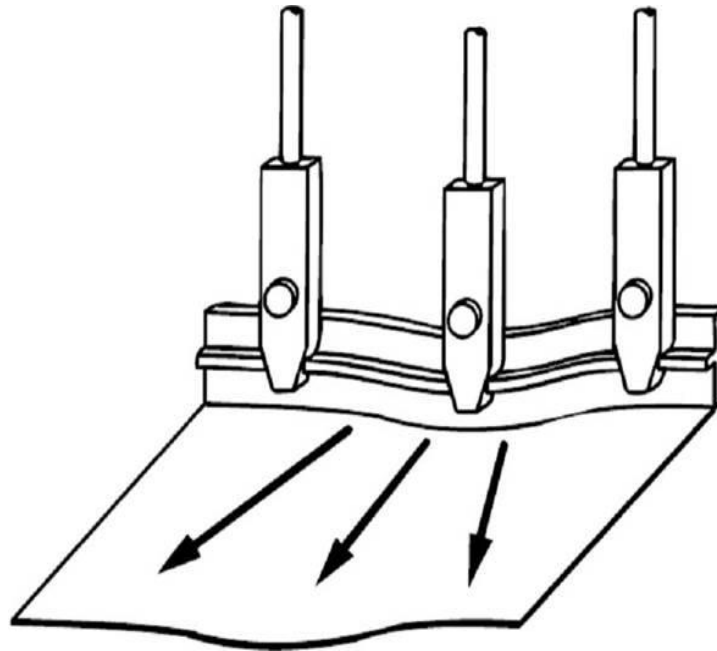
Jato livre de fluxos transversais



Controle de perfil transversal

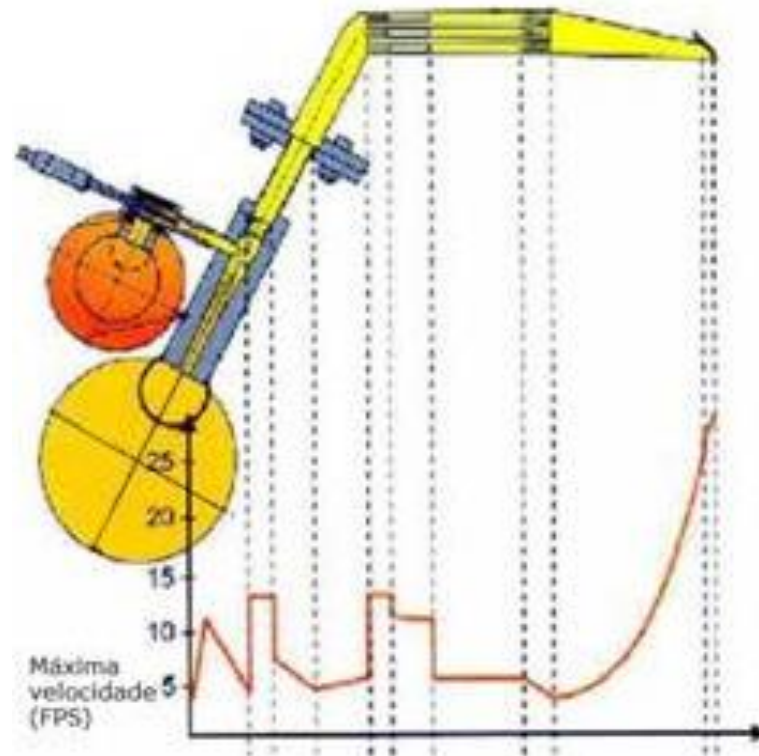


Controle de perfil transversal



Caixa de entrada

Caixa de entrada hidráulica com “ModuleJet” - Voith

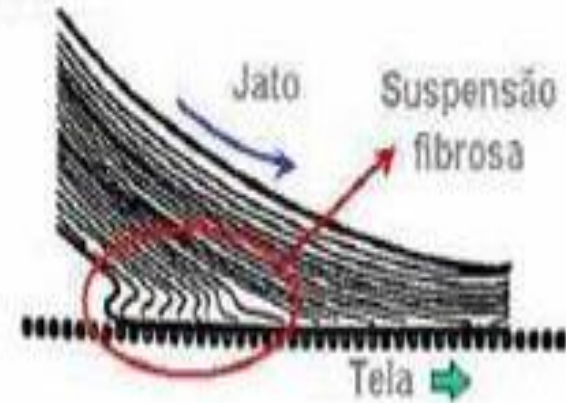
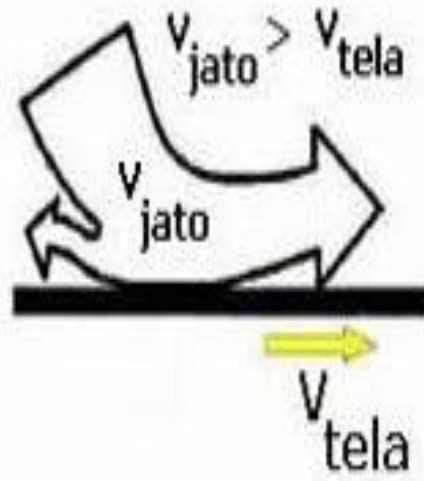
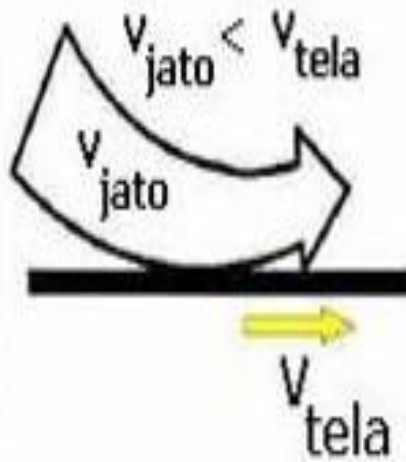


ModuleJet

Caixa de entrada

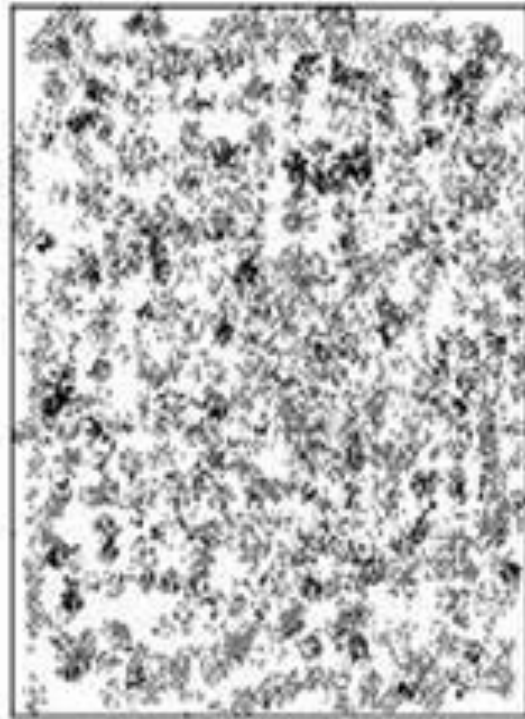
Relação jato-tela

$$RJT = \frac{V_j}{V_t}$$



9. Formação da folha de papel

Formação da folha de papel



MÁ FORMAÇÃO



BOA FORMAÇÃO

FONTE: FONTE: montagem Edison da Silva Campos

Formação da folha de papel

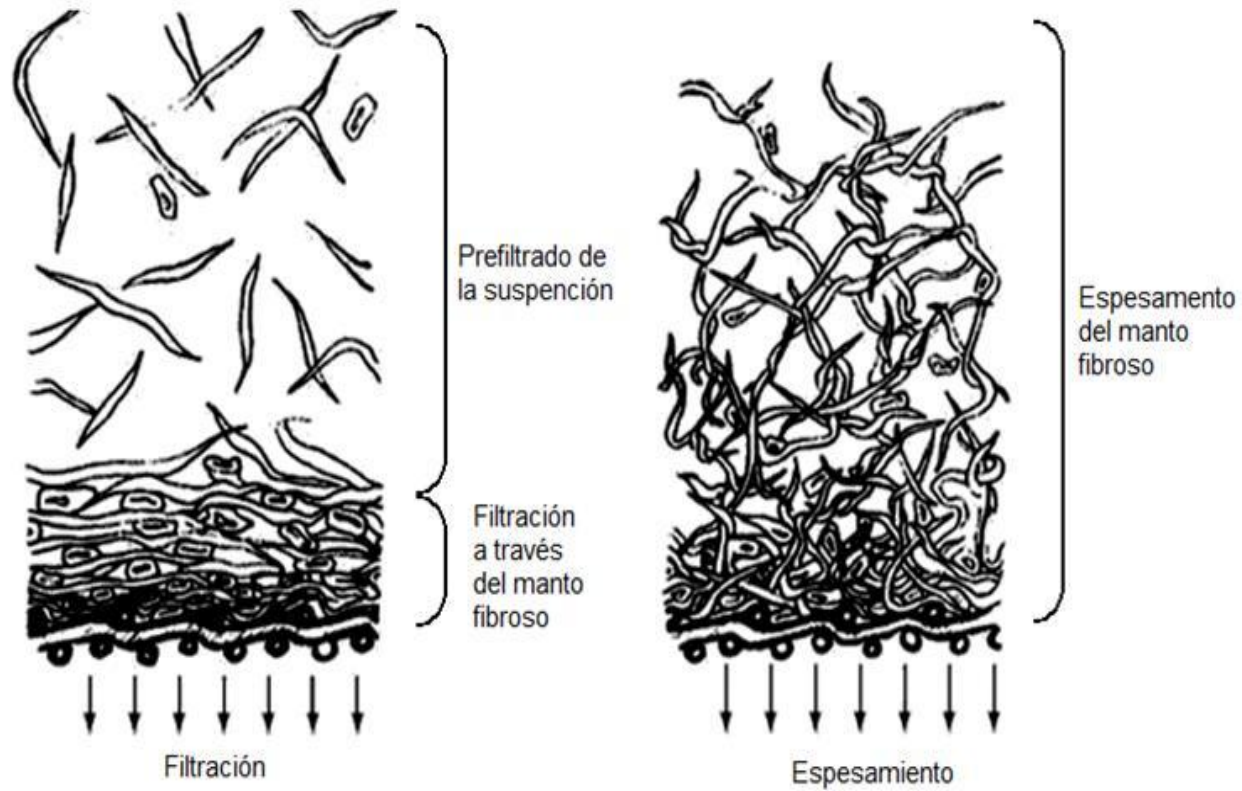
Processo de formação da folha de papel



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Formação da folha de papel

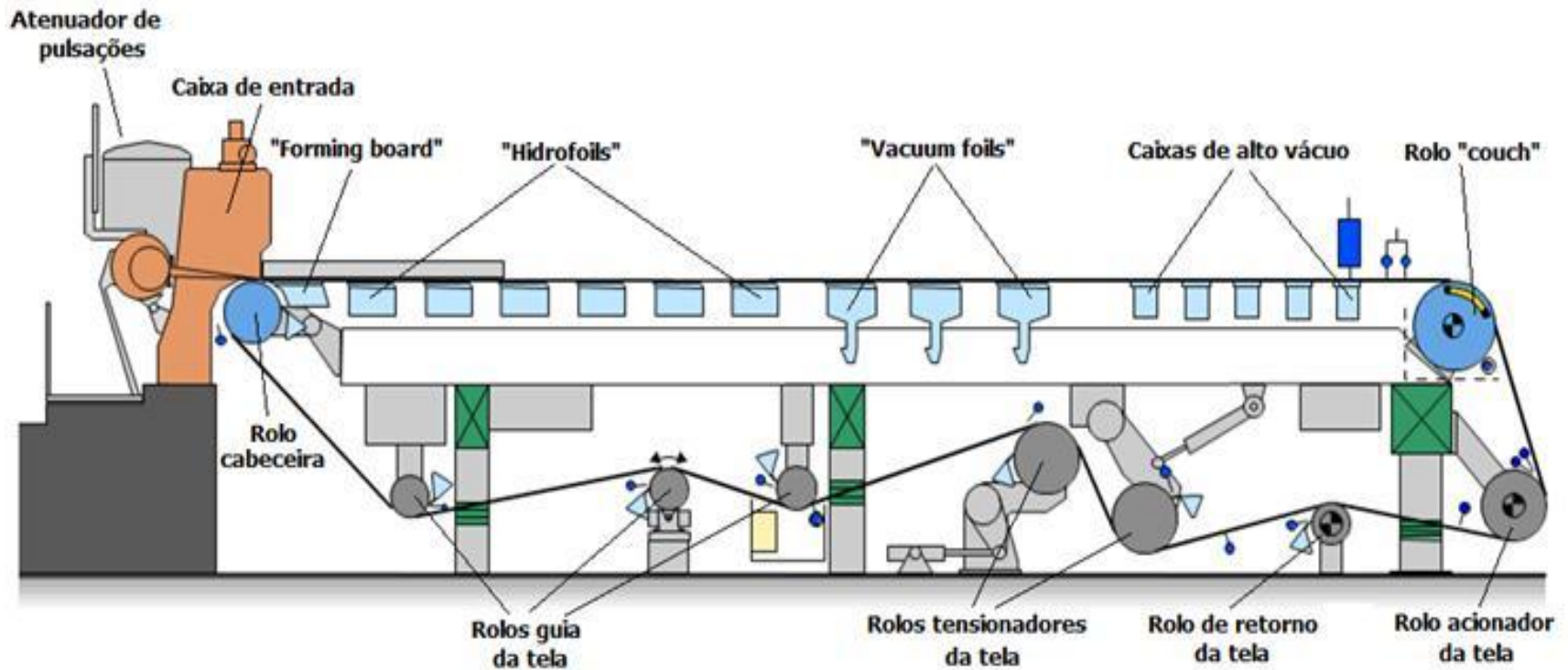
Drenagem



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Formação da folha de papel

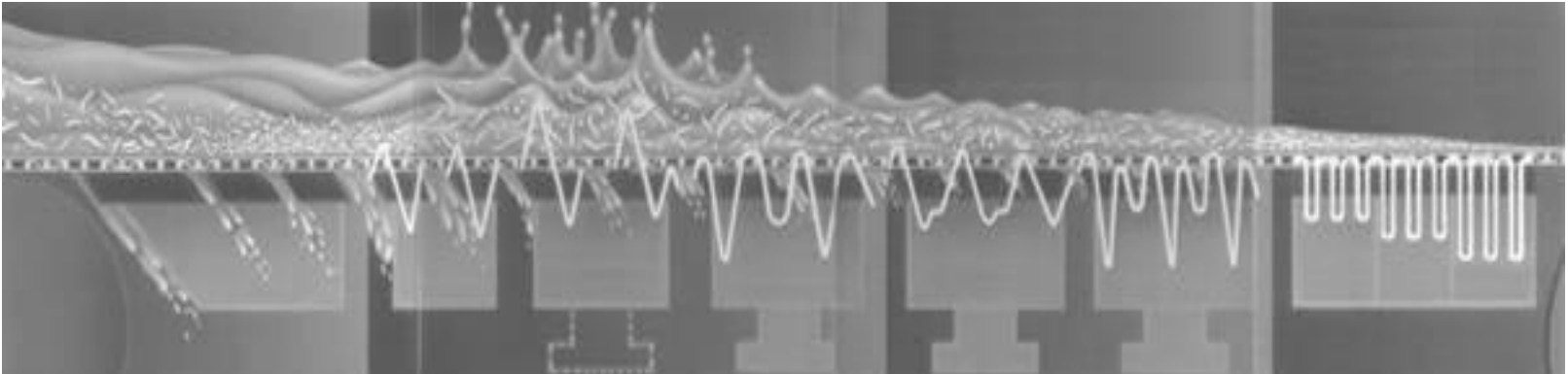
Mesa plana



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Formação da folha de papel

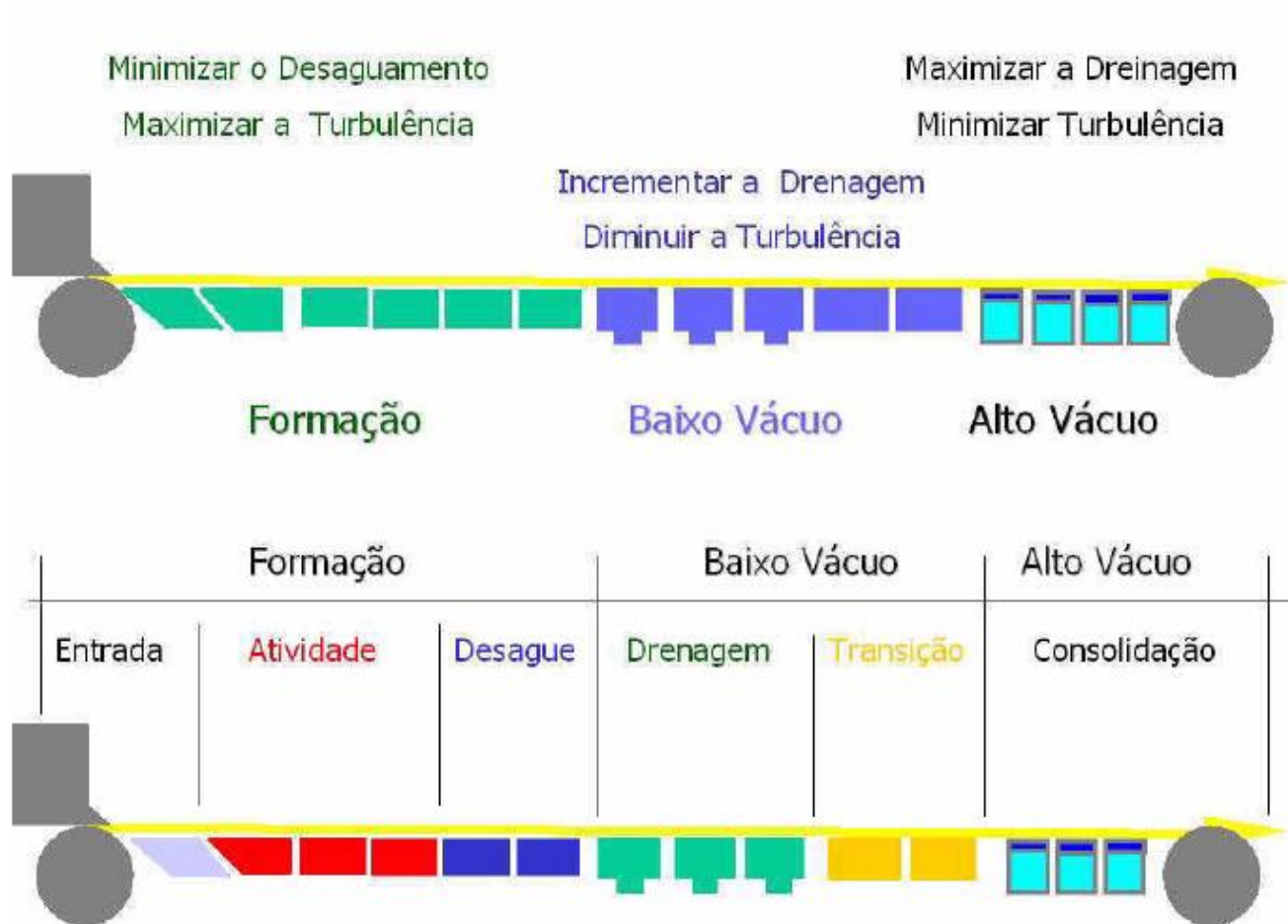
Perfil da mesa plana (didático)



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Formação da folha de papel

Processo de formação da folha



Formação da folha de papel

Mesa plana

Função:

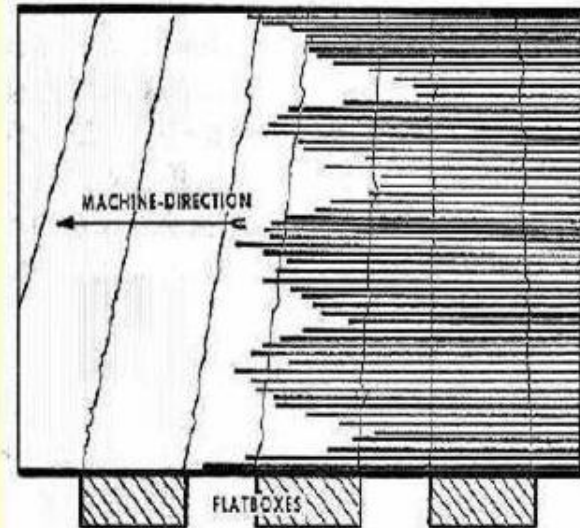
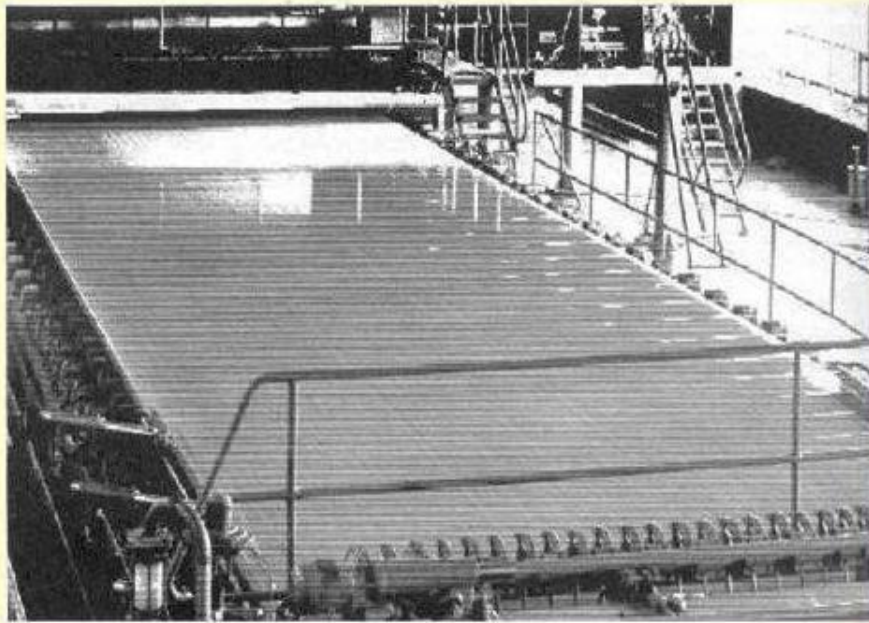
Promover a formação da folha de papel, sobre uma tela plástica, através do desaguamento controlado da suspensão fibrosa.



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Formação da folha de papel

Linha úmida



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Formação da folha de papel

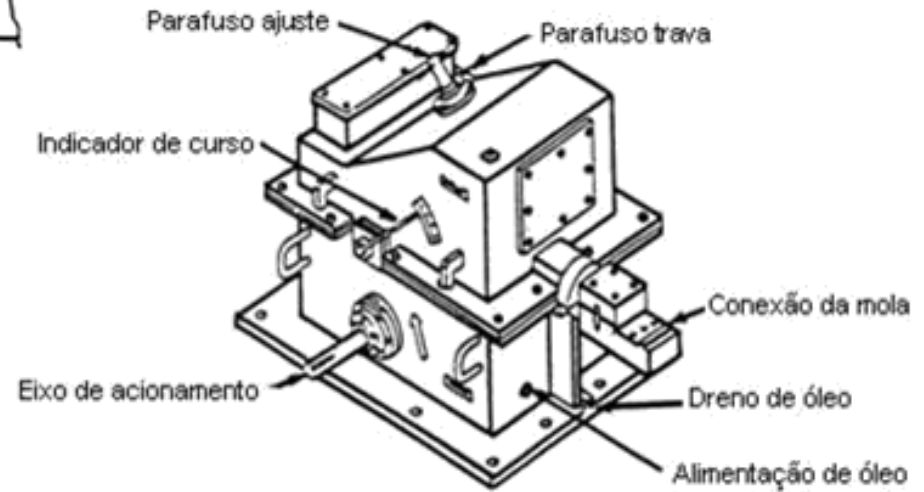
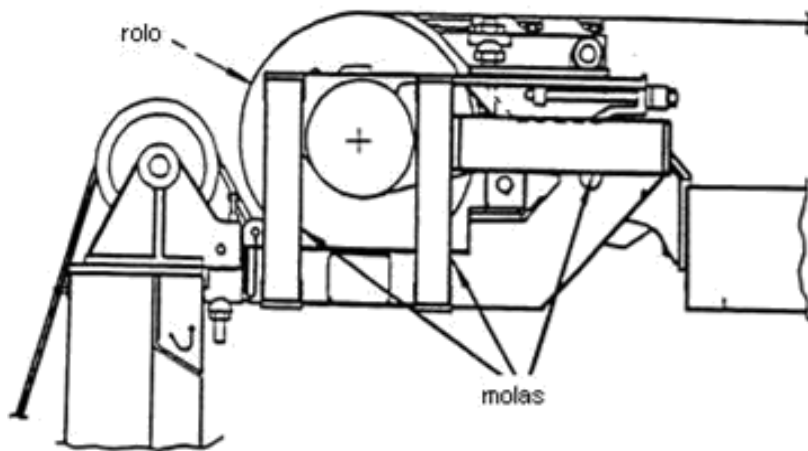
Visualização do espelho



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Formação da folha de papel

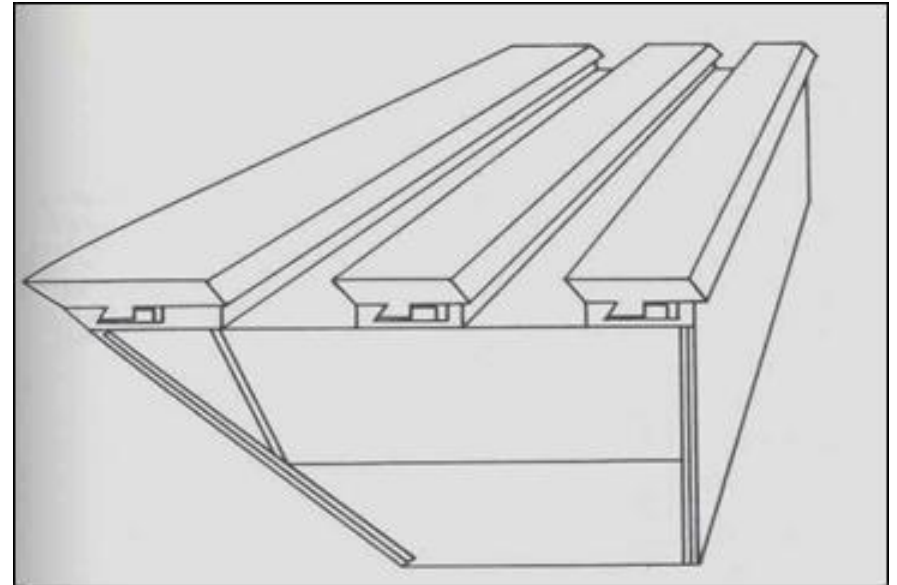
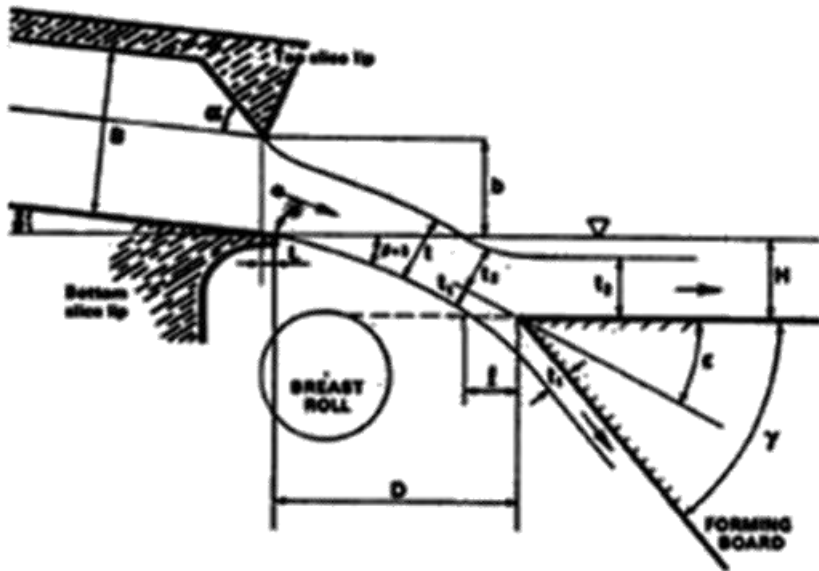
Rolo sacudidor



FONTE: Básico de fabricação de papel

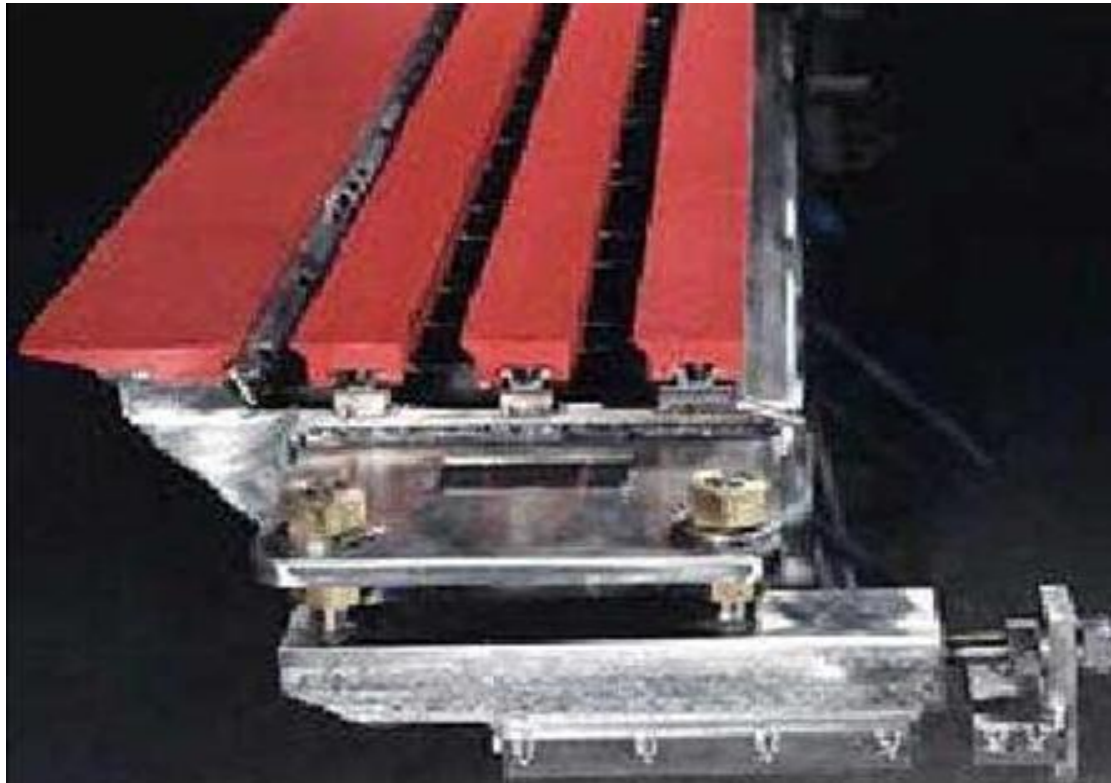
Formação da folha de papel

“Forming board”



Formação da folha de papel

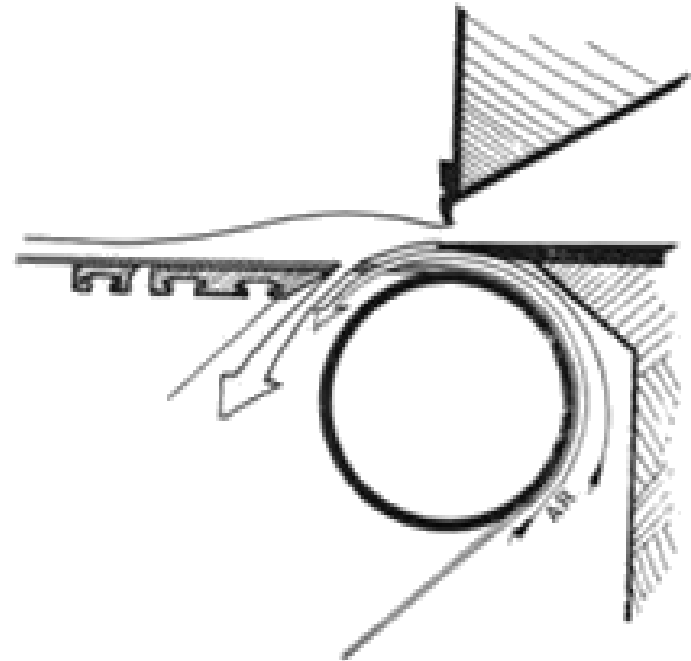
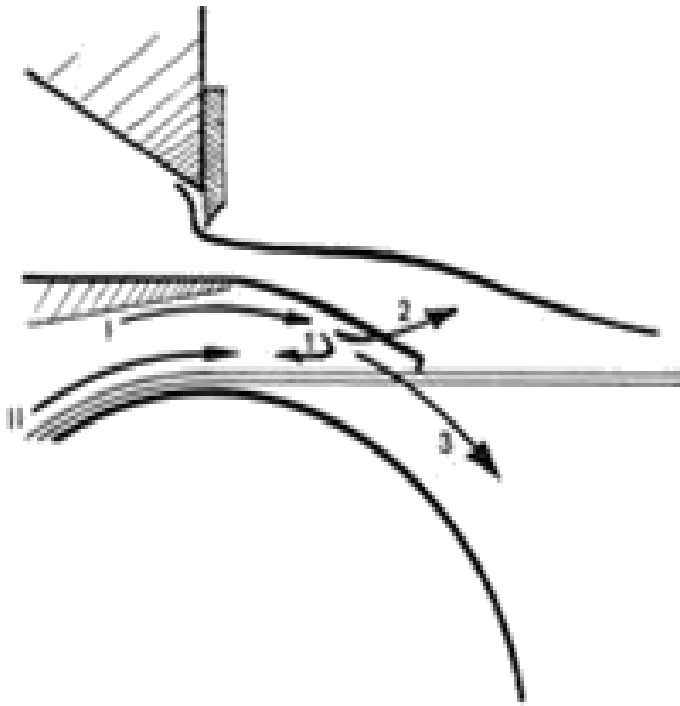
“Forming board”



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Formação da folha de papel

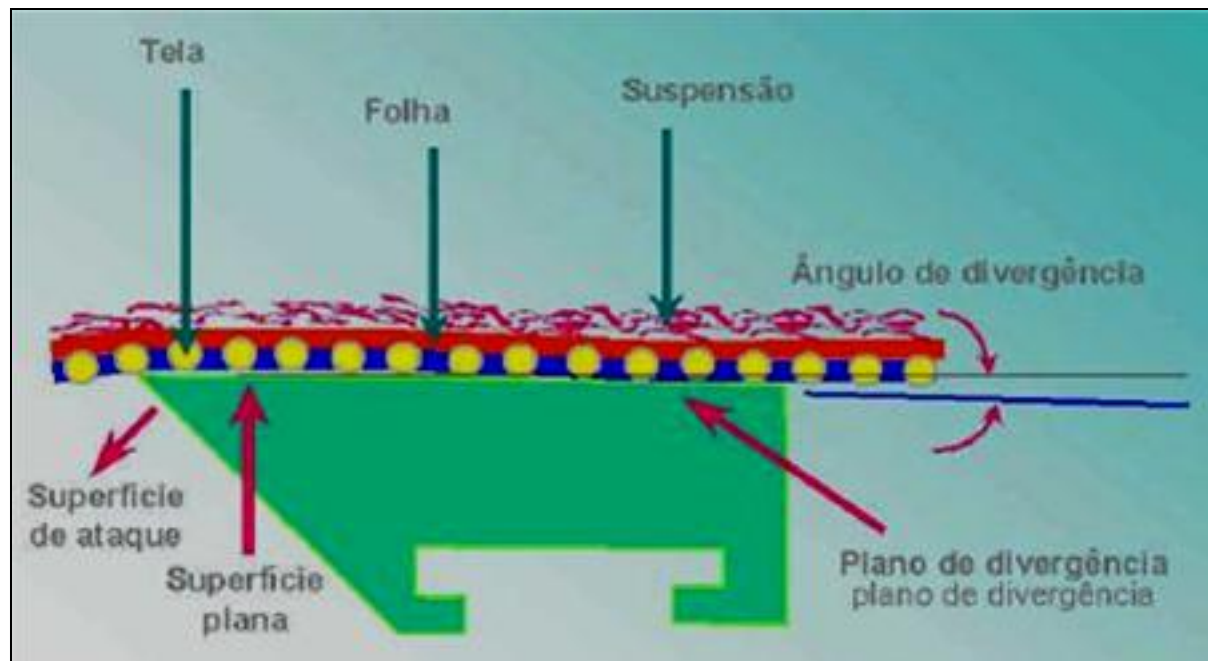
“Forming board”



FONTE: Básico de fabricação de papel

Formação da folha de papel

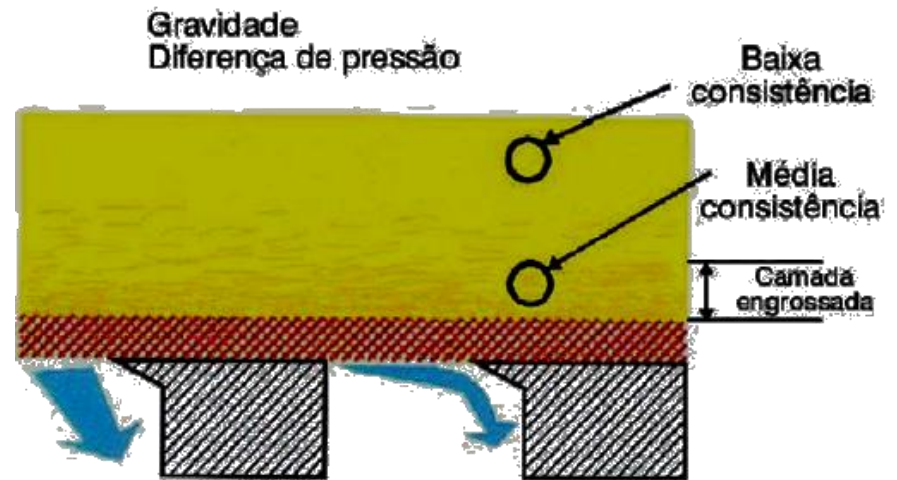
“Hidrofoils”



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

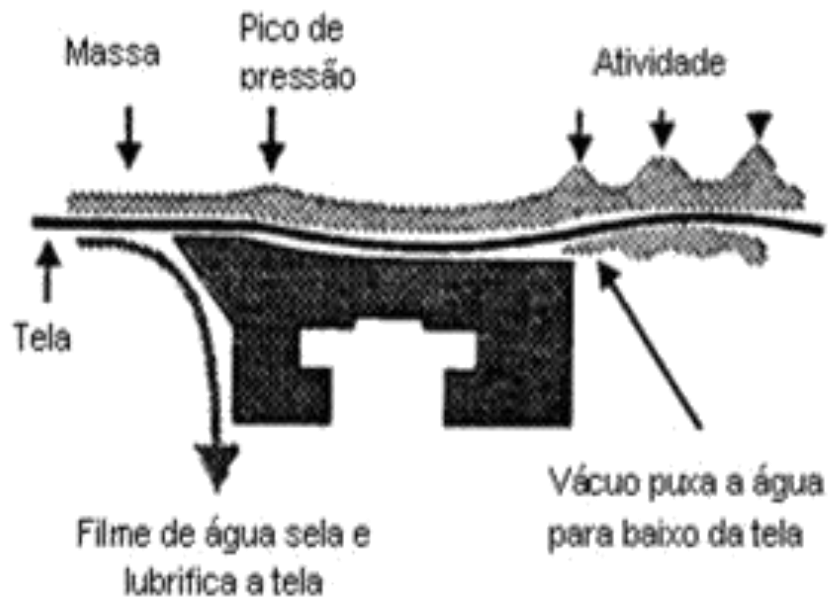
Formação da folha de papel

“Hidrofoils”



Formação da folha de papel

Geração de atividade na mesa plana



Formação da folha de papel

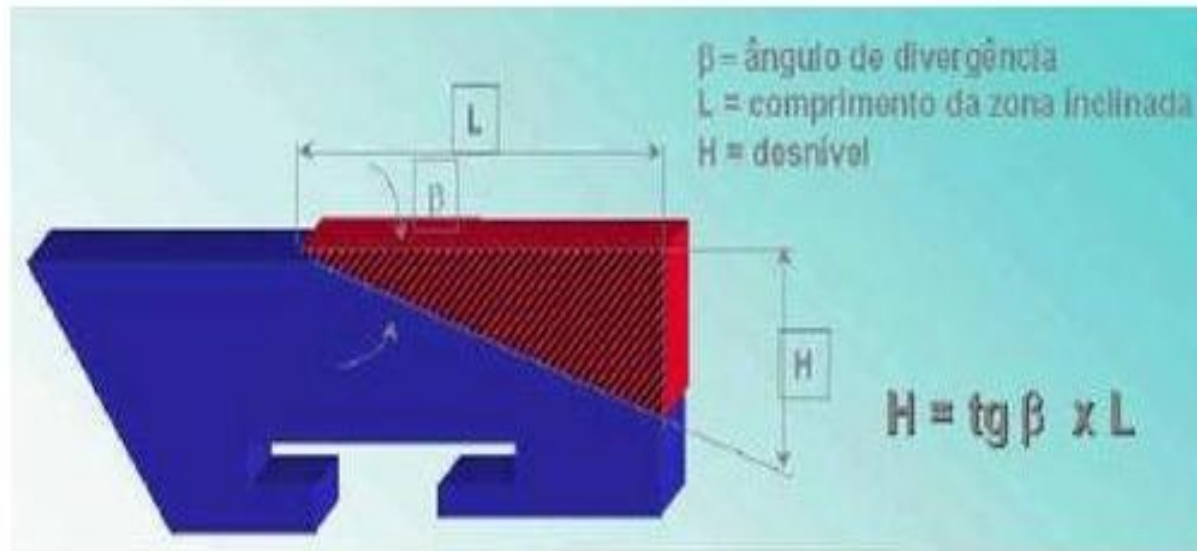
Gerações de “foils”



FONTE: Básico de fabricação de papel

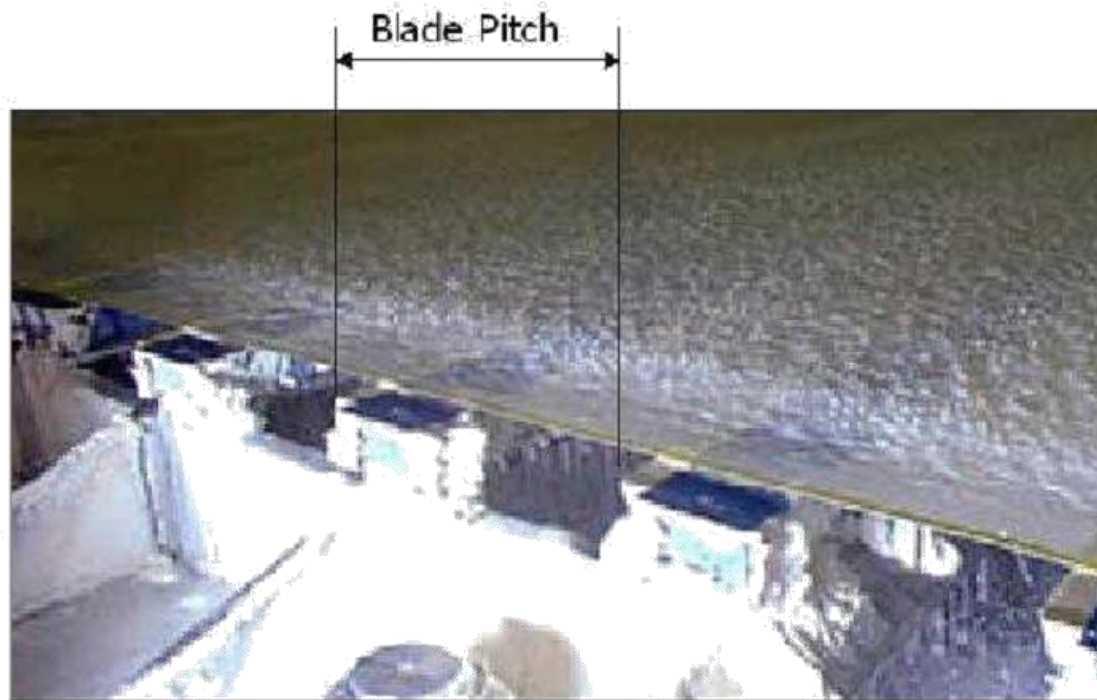
Formação da folha de papel

Ângulo de divergência, tamanho da cunha e largura do “foil”



Formação da folha de papel

Distância entre “foils”



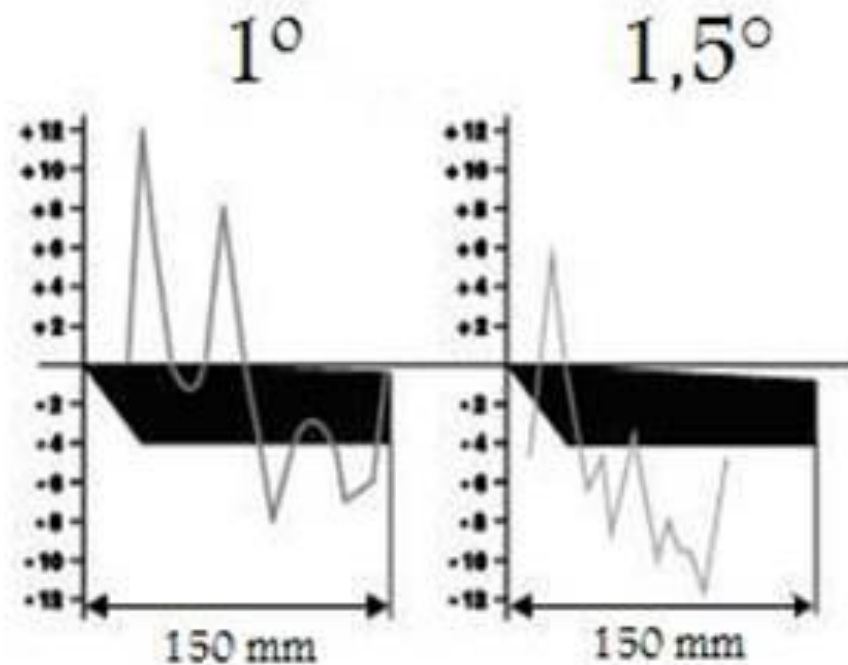
$$\text{Frequência (Hz)} = \frac{\text{velocidade da tela (mpm)}}{0.06 \times \text{espaçamento entre foils (mm)}}$$

Nunca menor do que 35 Hz
Padrão moderno de 80-120 Hz
Máximo para Fourdrinier 140Hz

FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Formação da folha de papel

Ângulo de divergência, tamanho da cunha e largura do “foil”



FONTE: Básico de fabricação de papel

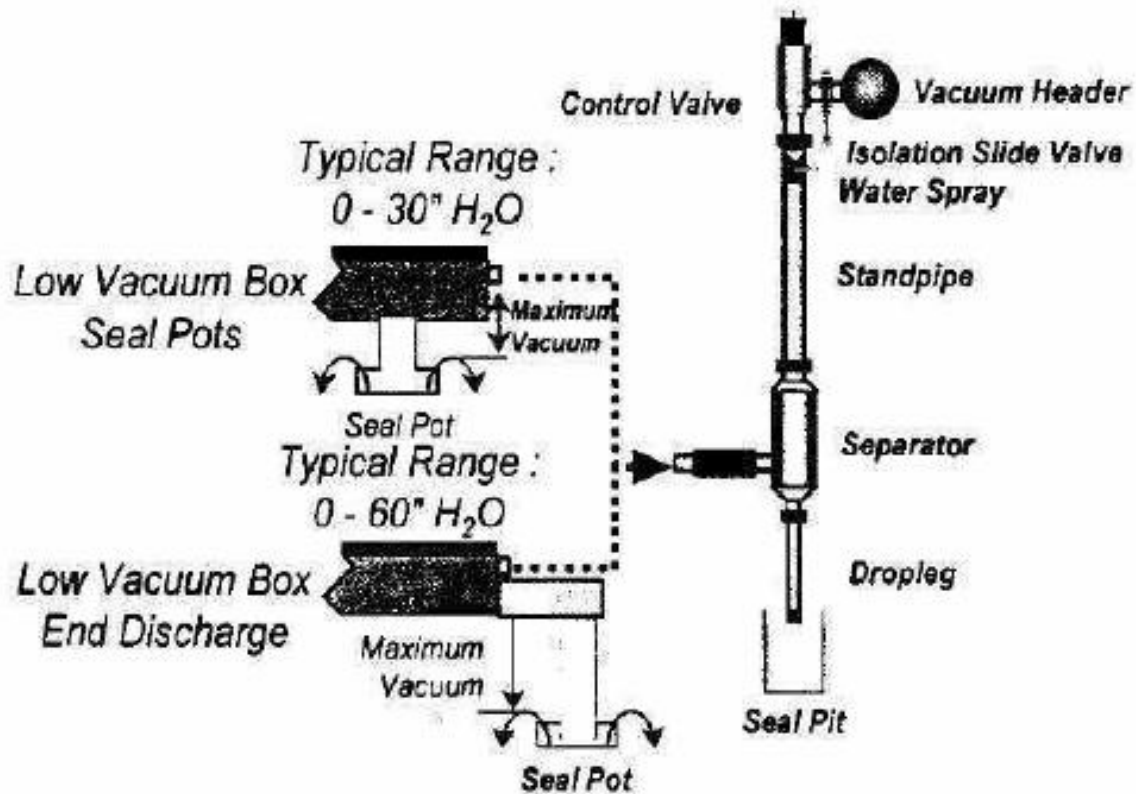
Formação da folha de papel

“Vacuum foils”



Formação da folha de papel

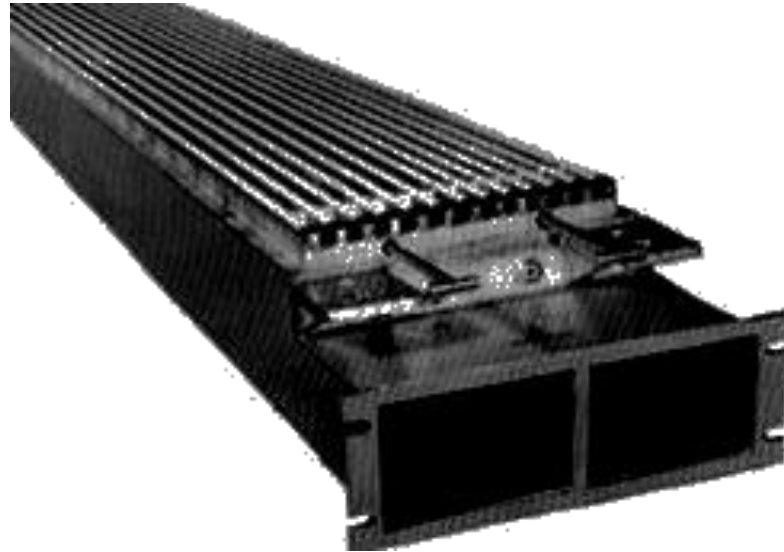
Instalação típica para baixo vácuo



FONTE: Apresentação CBTI / KADANT- ABTCP

Formação da folha de papel

Caixas de alto vácuo



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Formação da folha de papel

Caixas de alto vácuo



Triple Flat Box

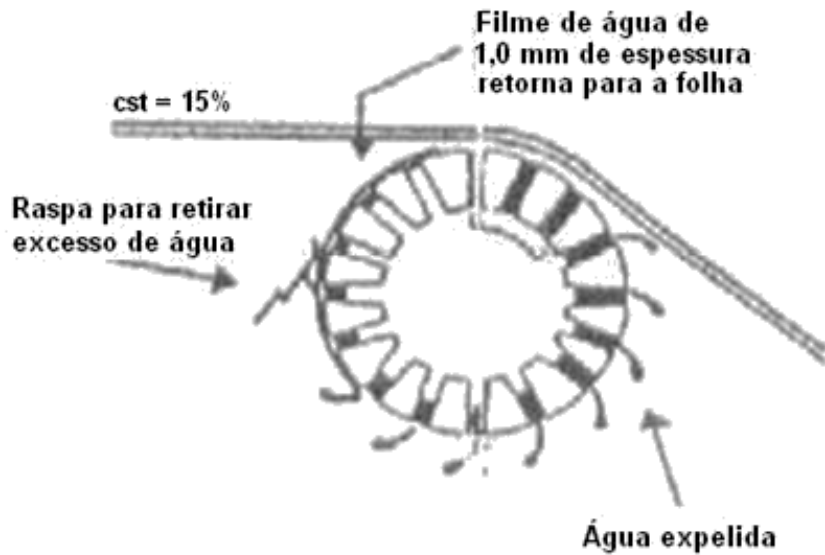


Curved Flat Box

FONTE: Apresentação CBTI / KADANT- ABTCP

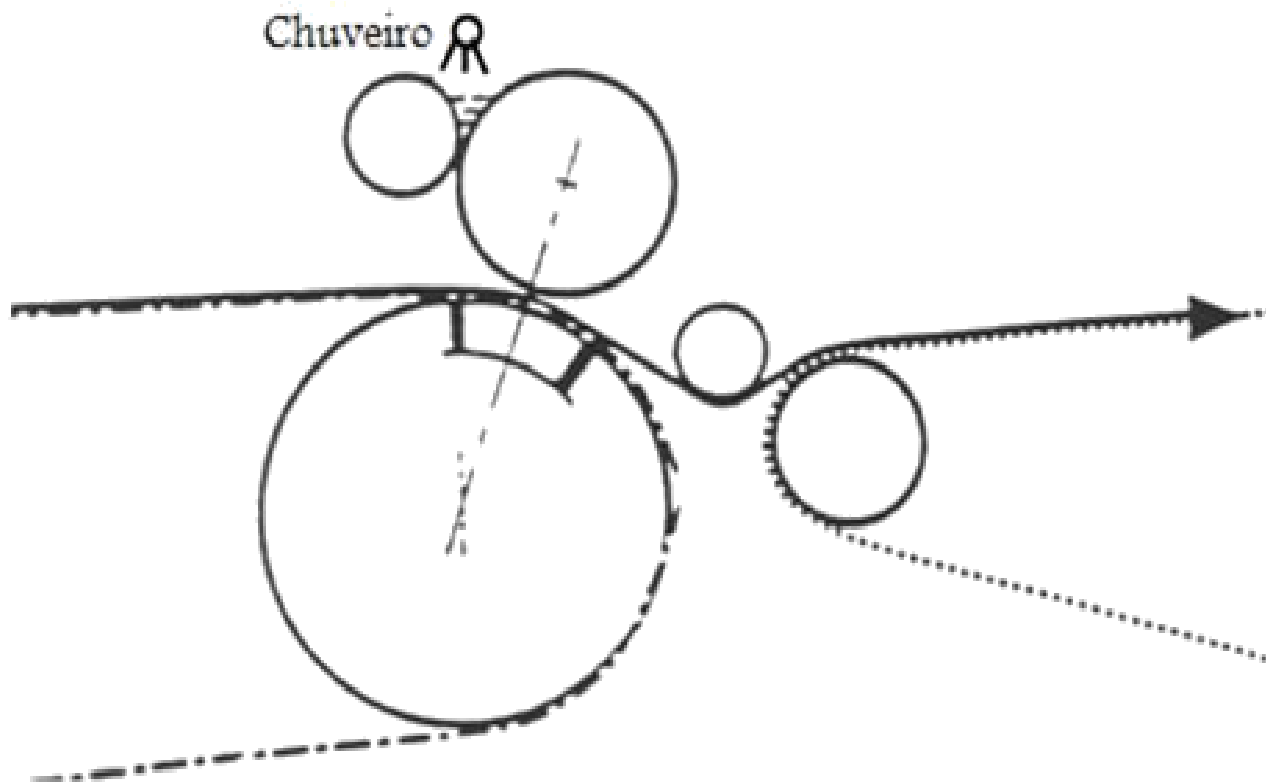
Formação da folha de papel

Rolo “couch”



Formação da folha de papel


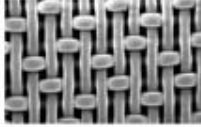
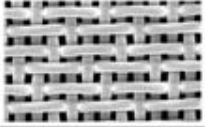

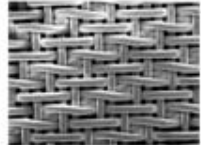
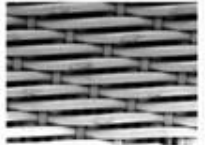

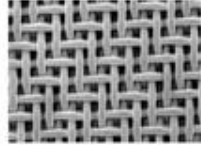


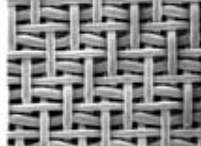
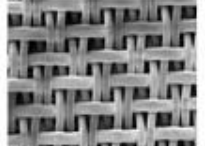

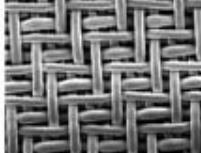
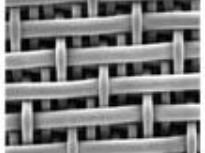
Rolo "lumbreaker"



FONTE: Básico de fabricação de papel

Formação da folha de papel

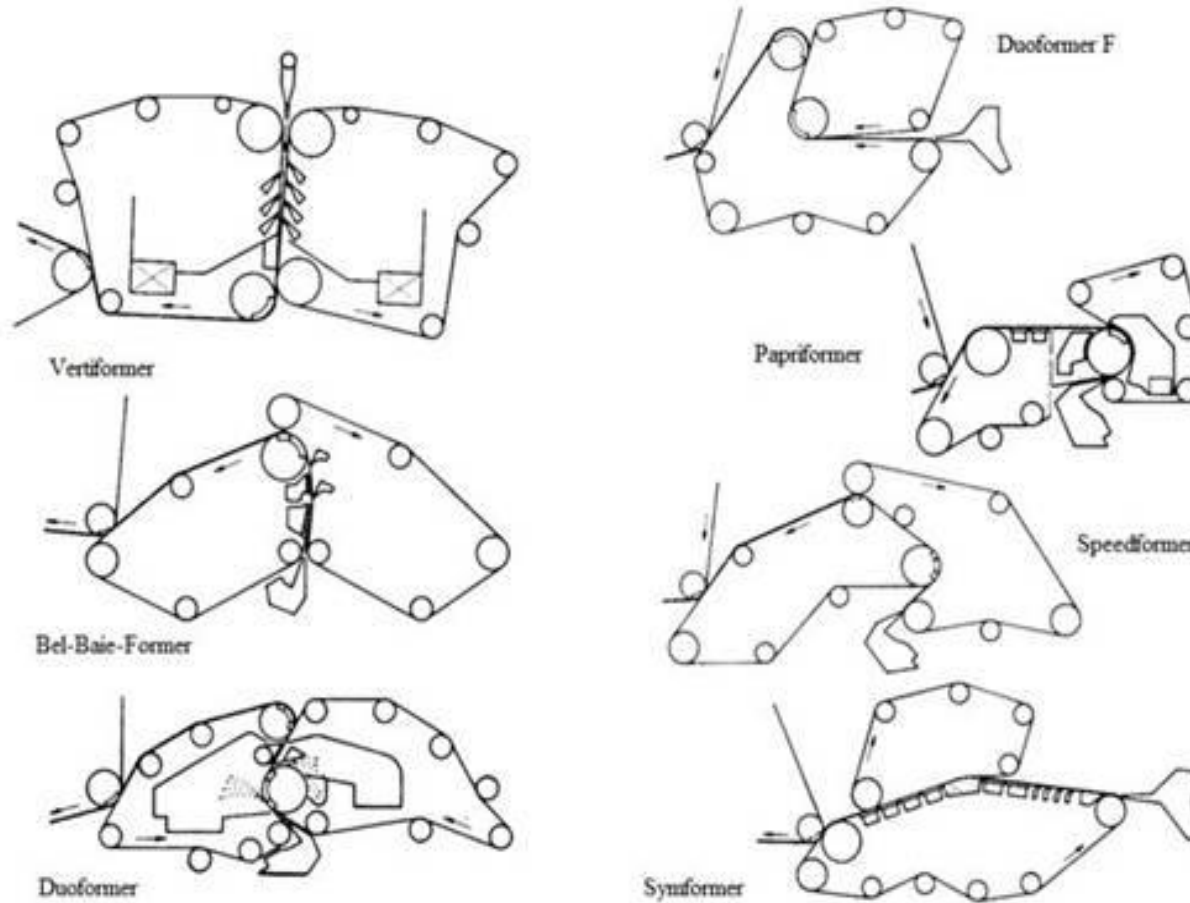
Tela formadora

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

FONTE: Kufferath

Formação da folha de papel

Formadores de tela dupla



FONTE: *Papiermacher Taschenbuch*

Formação da folha de papel

Dupla tela

Formadores de Tela Dupla (D. Webster, 1953)

Princípios para desagramento:

Pressão nas telas sobre a manta fibrosa;

Elementos de drenagem sob as telas.

Princípios para formação:

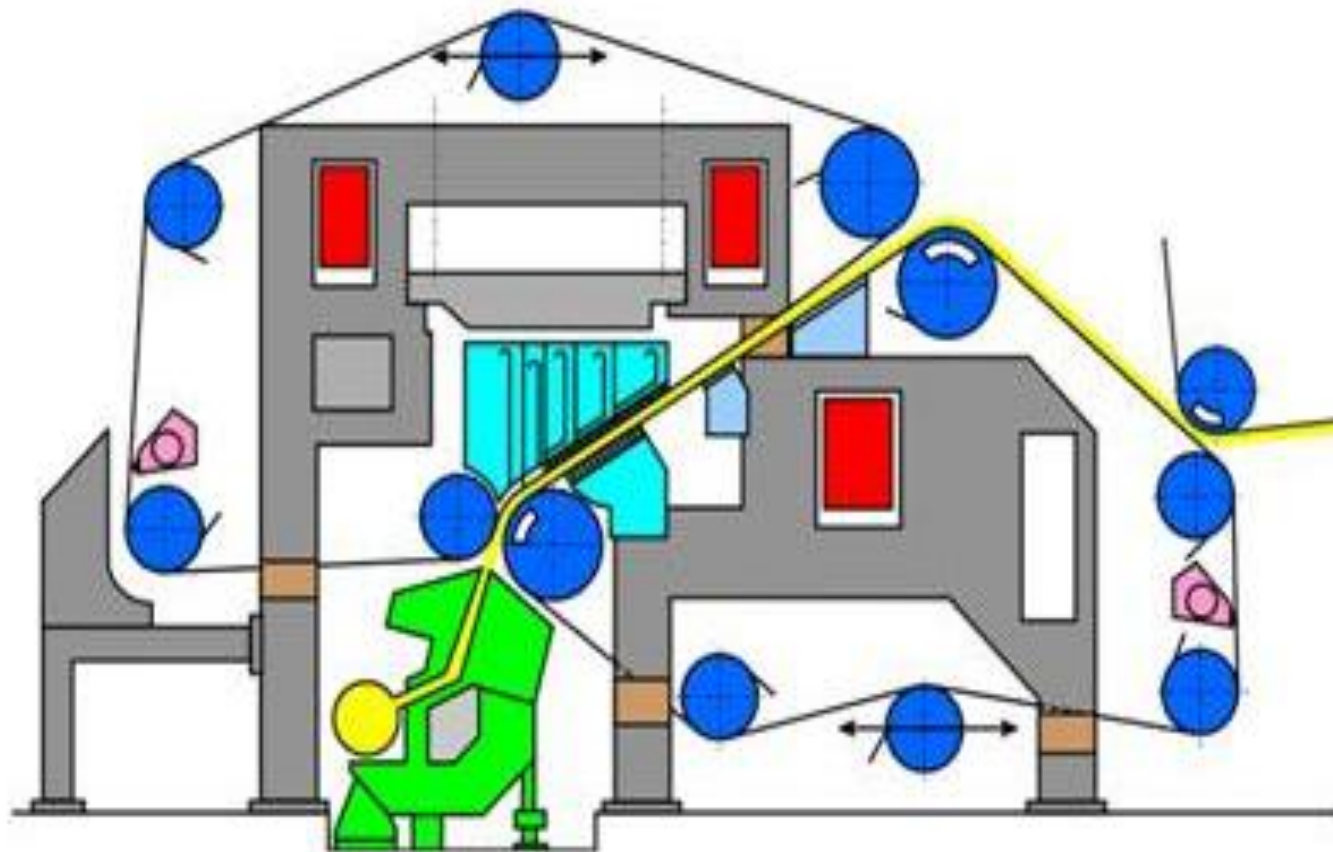
Turbulência

Cisalhamento



Formação da folha de papel

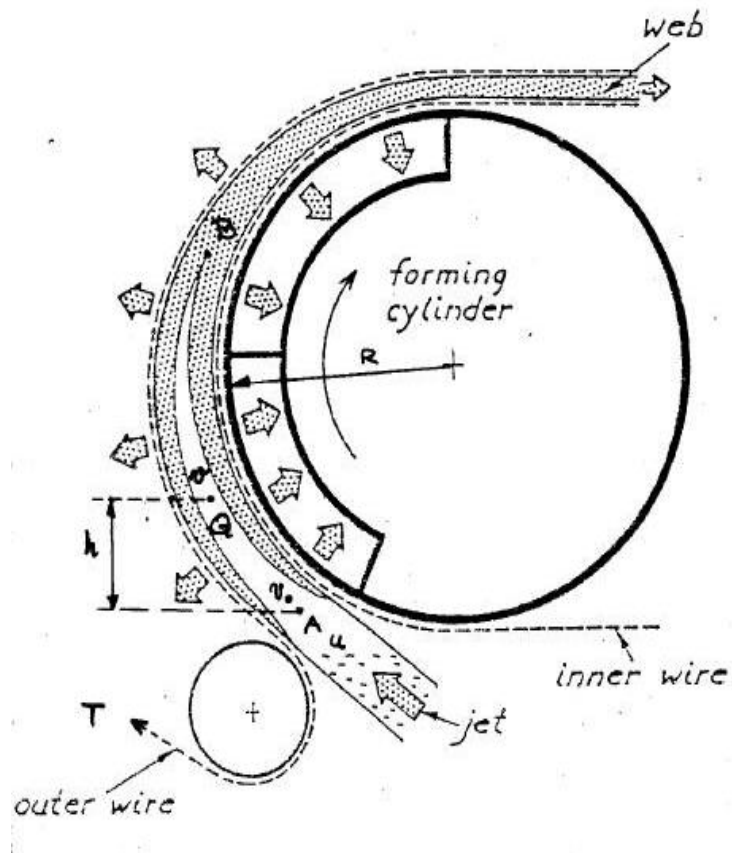
DuoFormer® CFD



FONTE: ABTCP/Voith

Formação da folha de papel

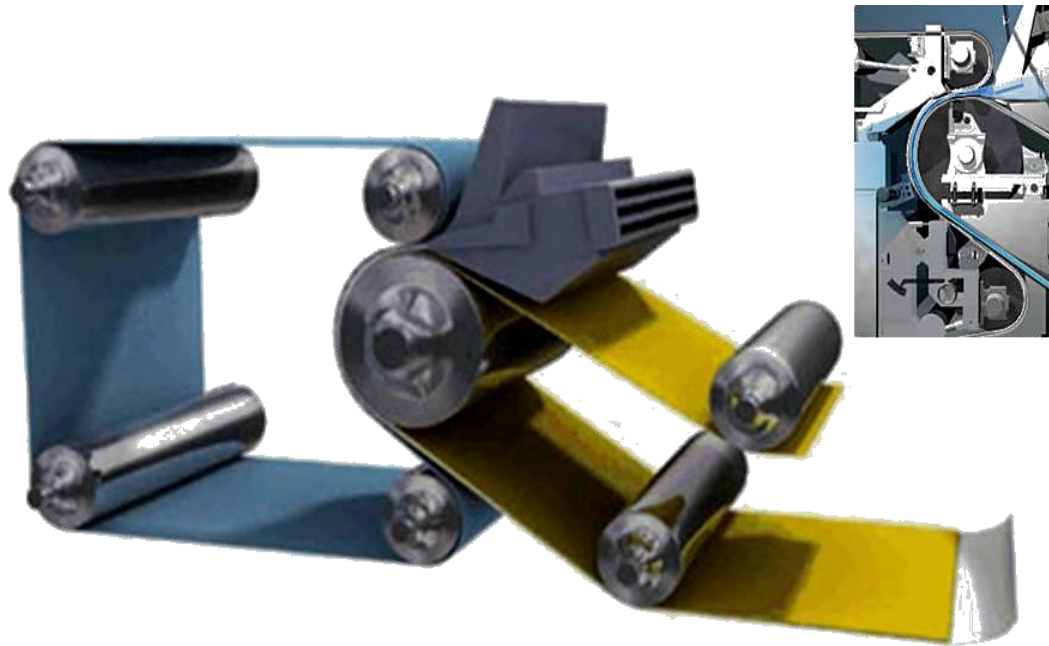
Formação em tela dupla



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Formação da folha de papel

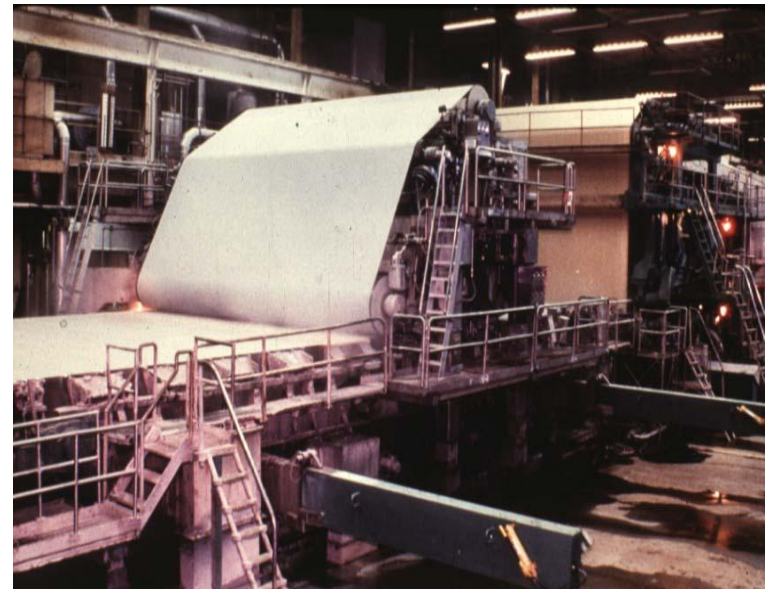
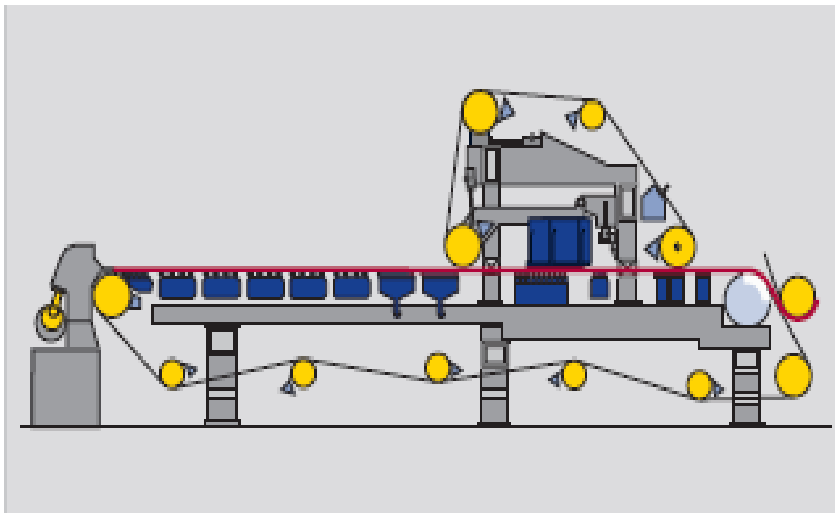
“Crescent Former”



FONTE: Fabricação de papel com ênfase em papéis “tissue”

Formação da folha de papel

Sistema híbrido

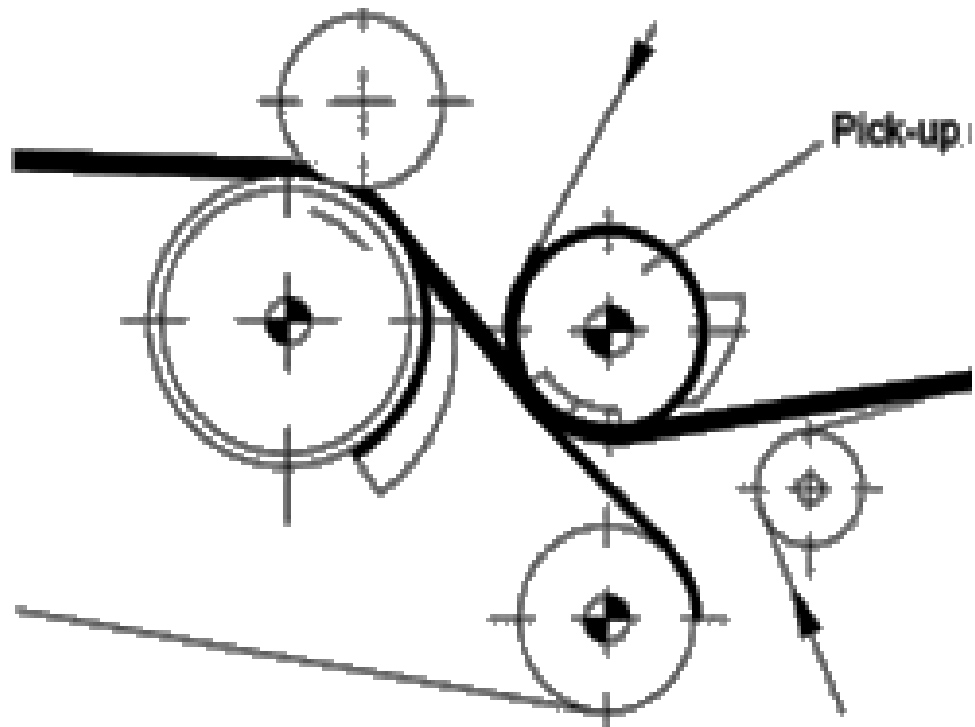


FONTE: ABTCP – VOITH / Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

12. Transferência da folha da etapa de formação para a prensagem

Transferência da folha da etapa de formação para a prensagem

Transferência com rolo “pick-up”



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

11. Prensagem

Prensagem

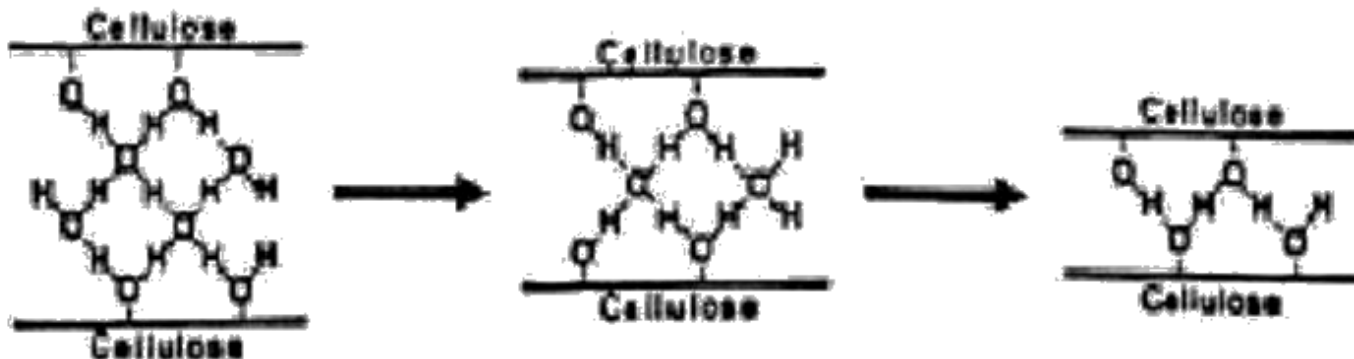
“O incremento de 1 % no teor seco final da folha nas prensas, resulta na economia de vapor de 4 a 5 % ou o equivalente em aumento de velocidade”.

O cálculo abaixo elucidado o exposto anteriormente para uma folha com incremento de teor seco de 40 para 41 % e 5 % de umidade na enroladeira.

$$M1 \text{ (kg água evaporada / kg de papel produzido)} = 95/40 - 1 = 1,38$$

$$M2 \text{ (kg água evaporada / kg de papel produzido)} = 95/41 - 1 = 1,32$$

$$\text{Diferença na quantidade de água a ser evaporada} = 1,38/1,32 = 4,5 \%$$



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

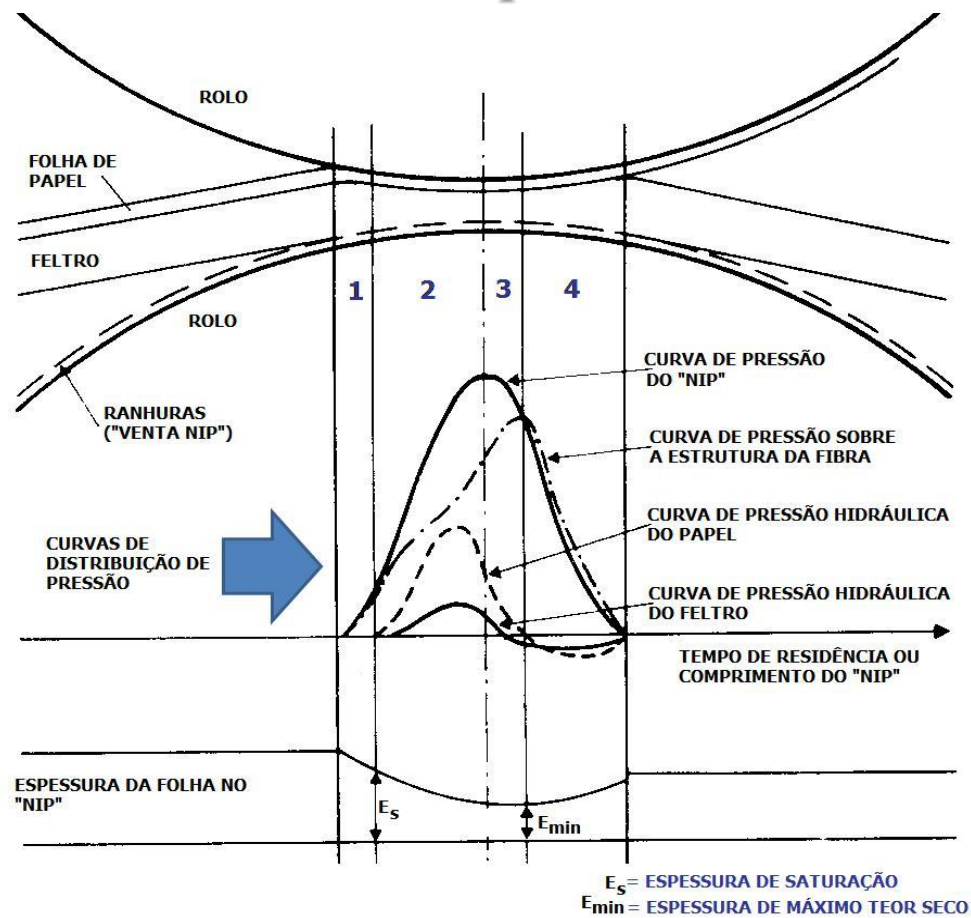
Prensagem

Custos aproximados de desaguamento em uma MP

<i>Seções da máquina</i>	<i>Custo de desaguamento</i>	<i>Proporção do desaguamento</i>
<i>Formação</i>	<i>~10%</i>	<i>95-97%</i>
<i>Prensagem</i>	<i>~12%</i>	<i>2-4%</i>
<i>Secagem</i>	<i>~78%</i>	<i>1%</i>

Prensagem

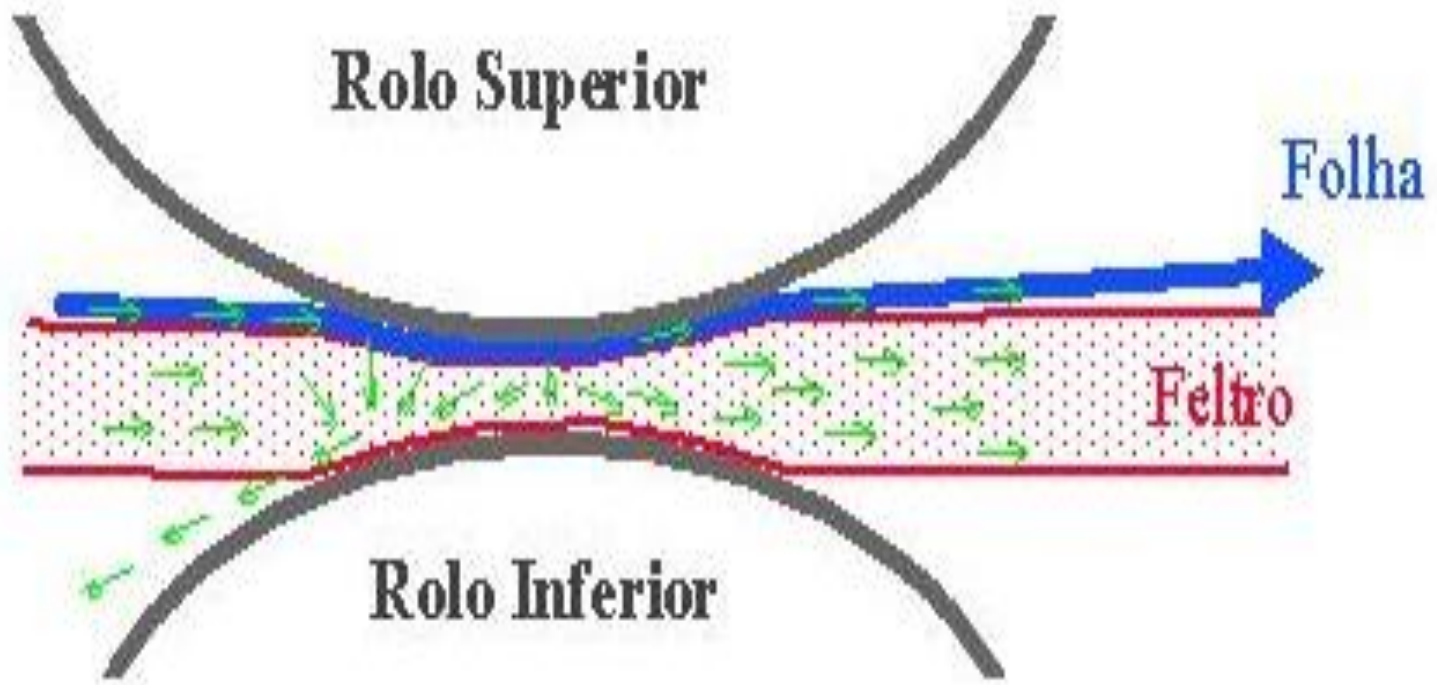
Prensa plana



FONTE: Apostila "Básico de fabricação de papel" - ABTCP

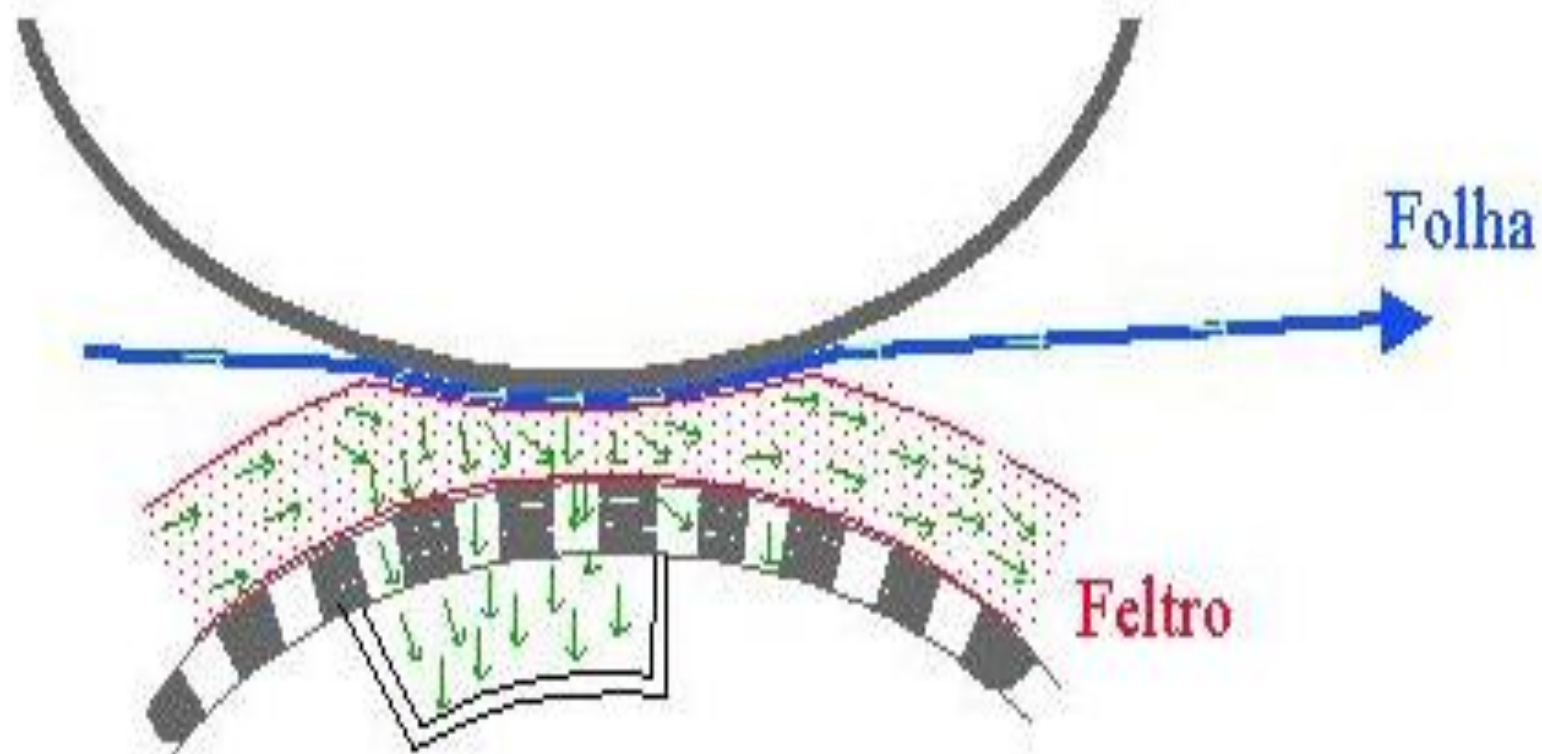
Prensagem

Prensa plana



Prensagem

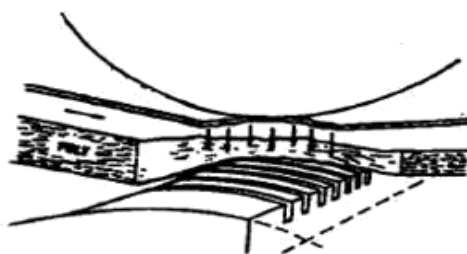
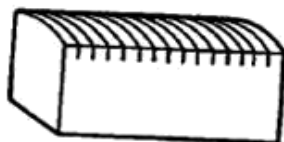
Prensa de sucção



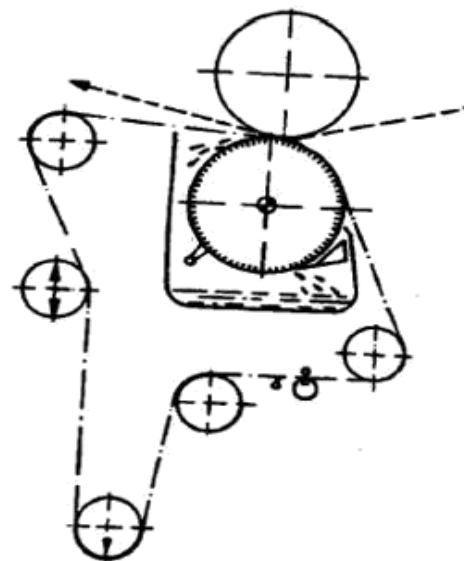
FONTE: Apostila "Básico de fabricação de papel" - ABTCP

Prensagem

Prensas “venta nip” e de furos cegos



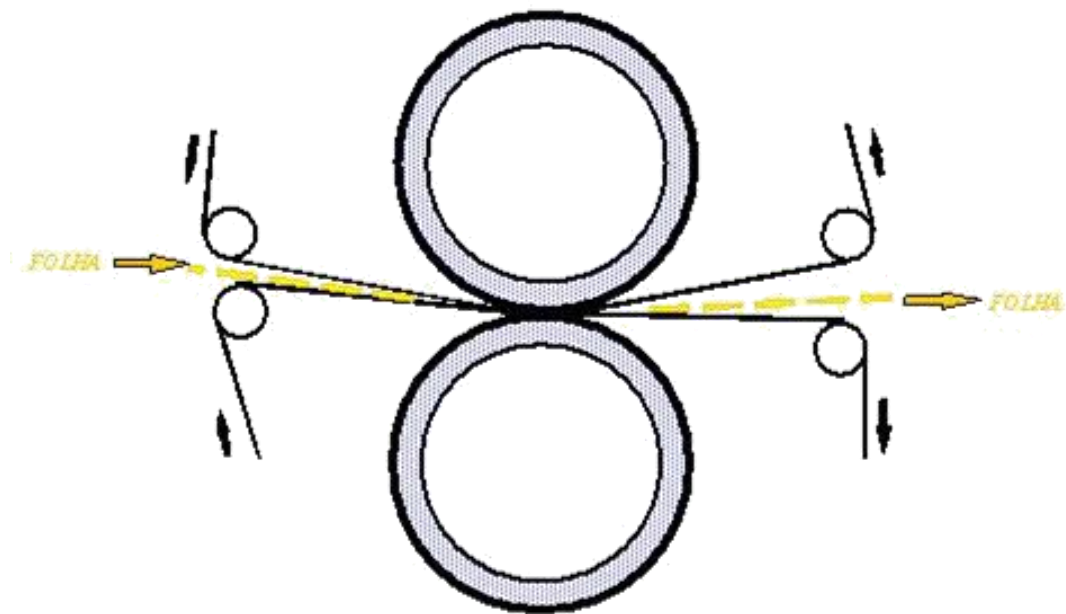
Prensa ranhurada



Prensa de furo cegos

Prensagem

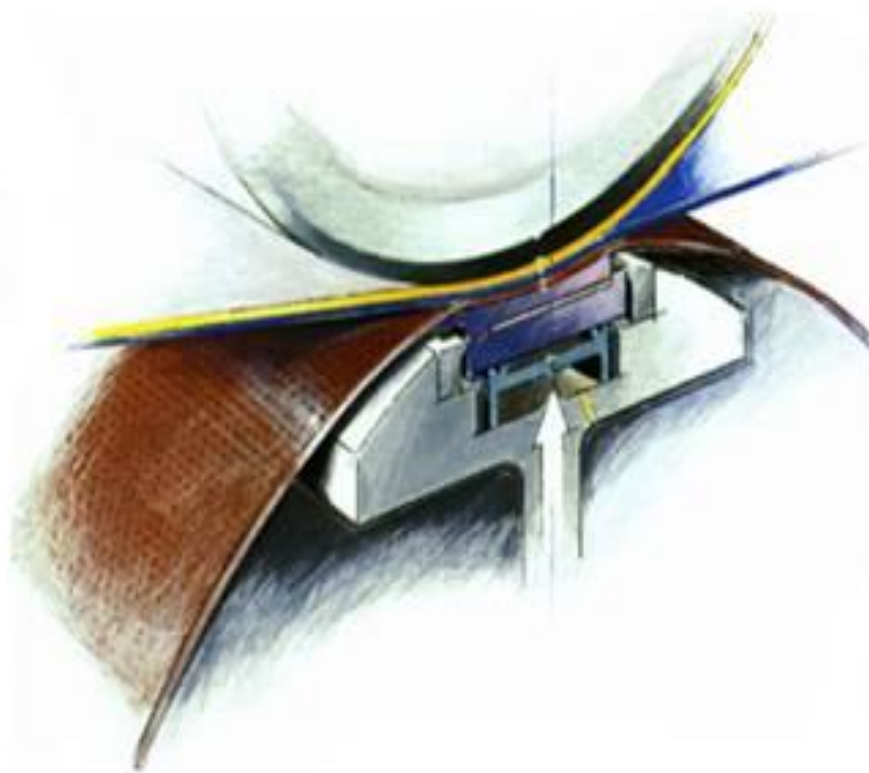
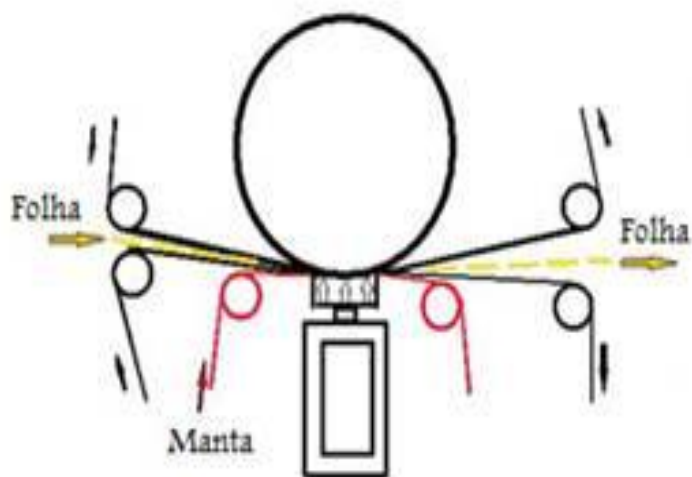
Prensa de alta impulso



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Prensagem

Prensa de “nip” extendido (prensa sapata)



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Prensagem

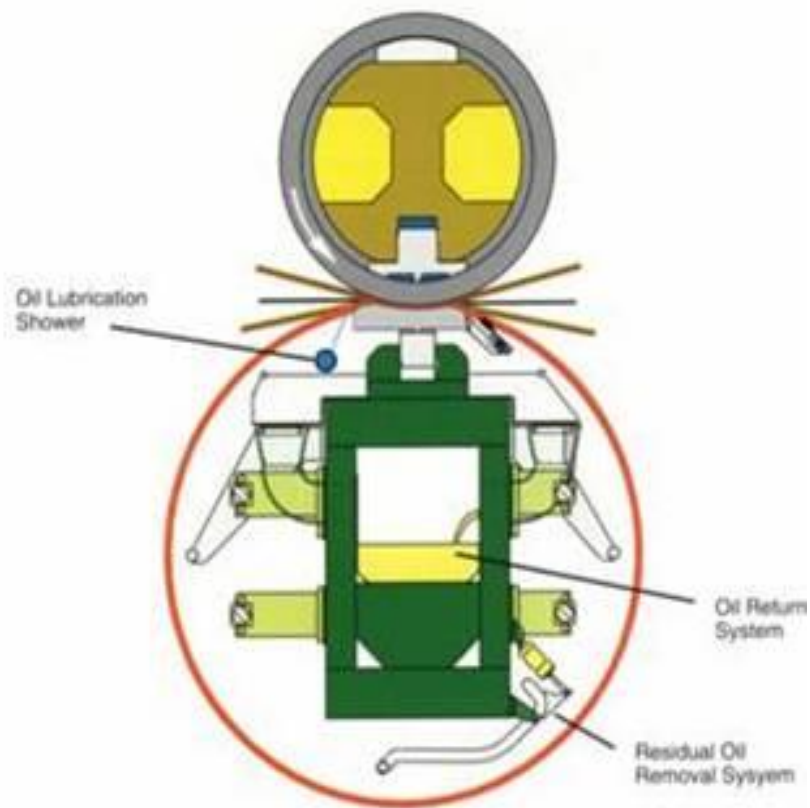
Prensa de “nip” extendido (prensa sapata)



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Prensagem

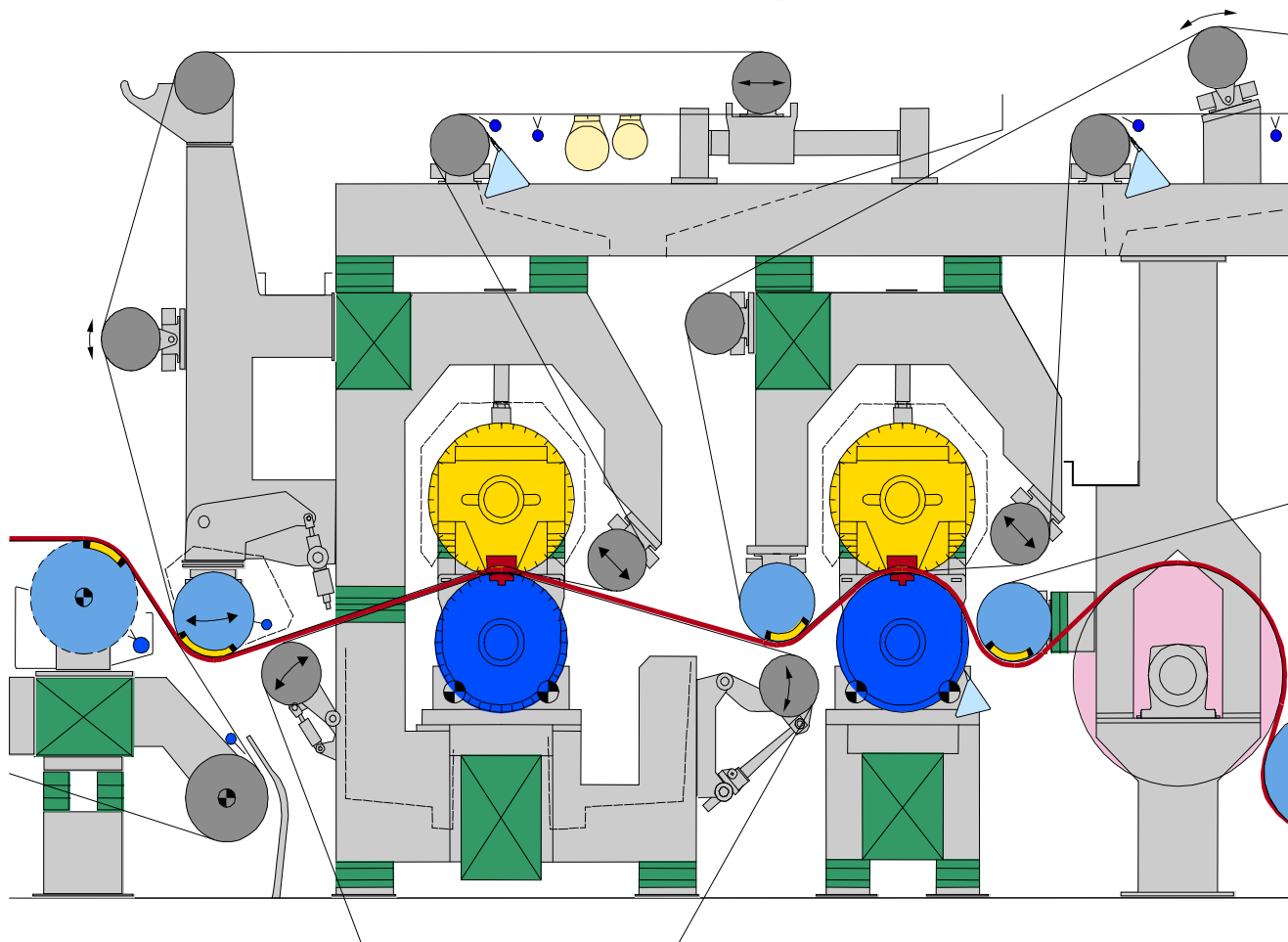
Prensa de “nip” extendido (prensa sapata)



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Prensagem

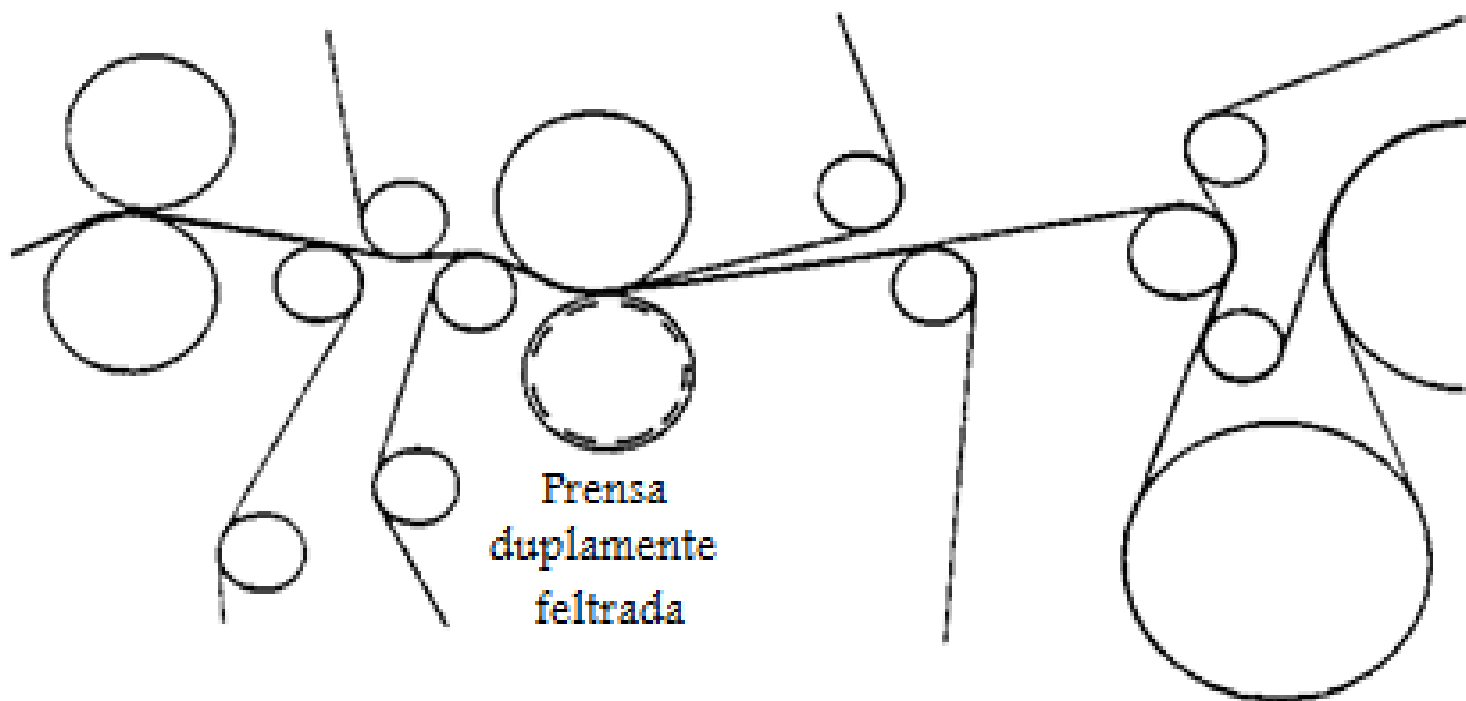
Prensa Tandem NipcoFlex



FONTE: Treinamento operacional VCP

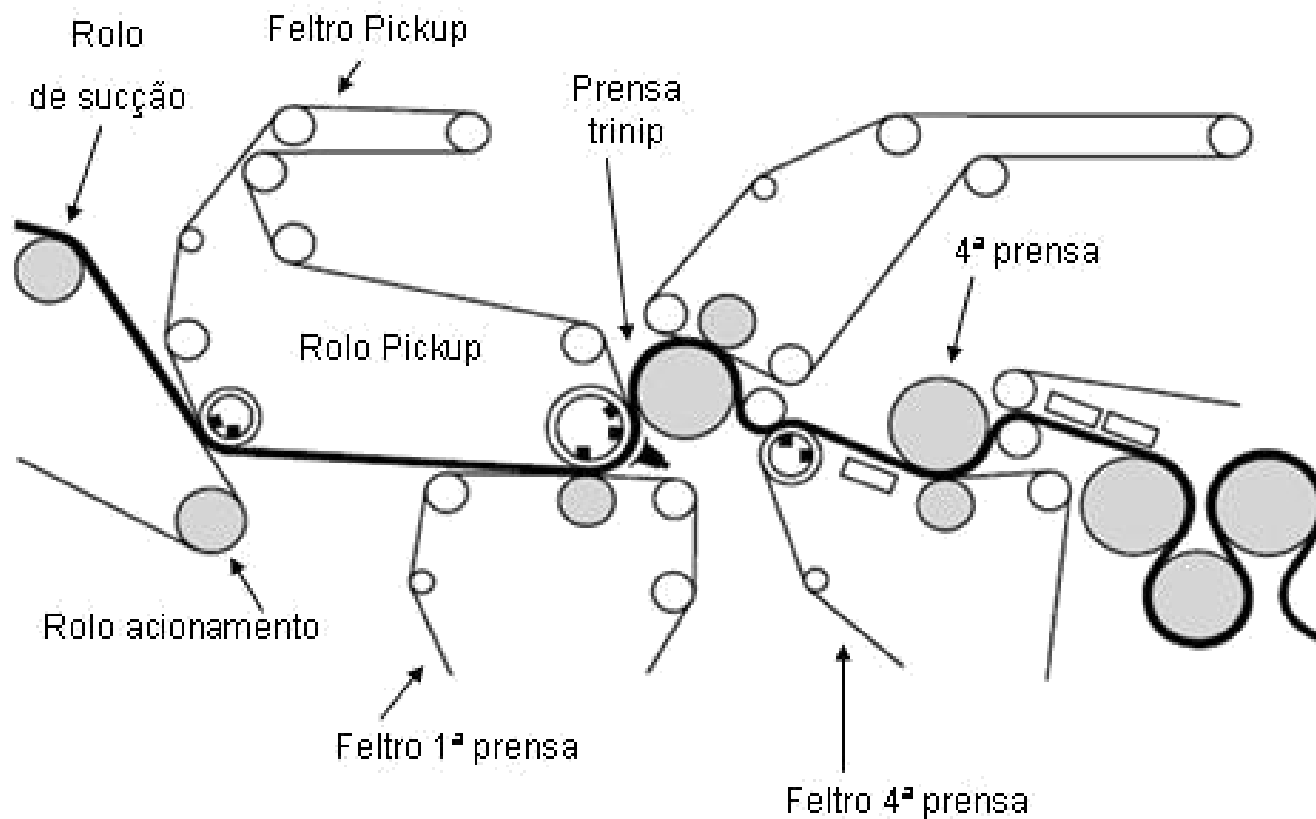
Prensagem

Prensa duplamente feltrada



Prensagem

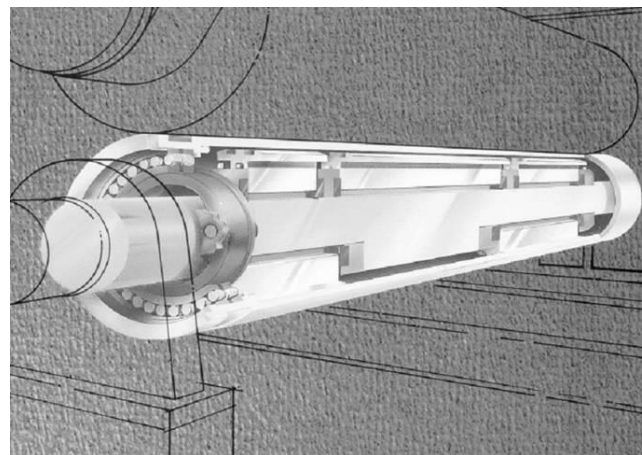
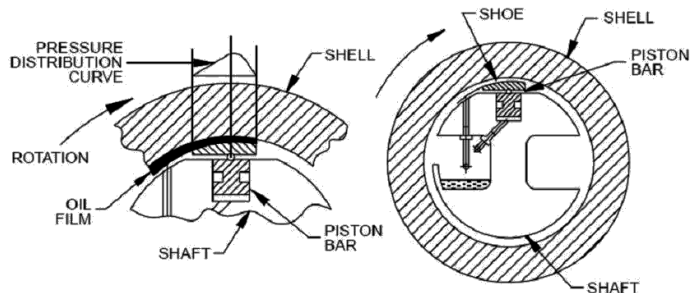
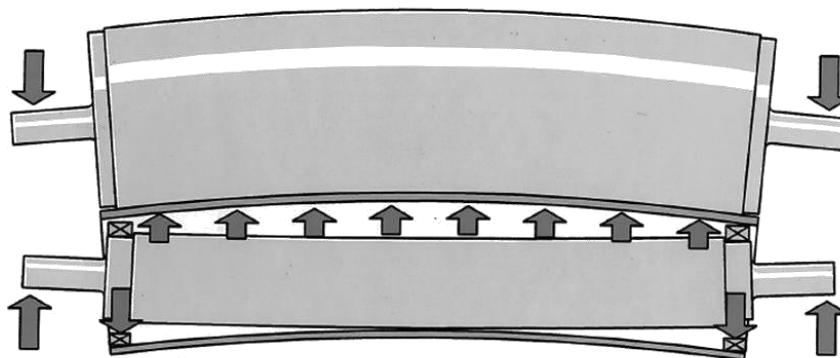
Prensa bi-nip



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Prensagem

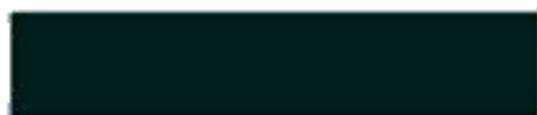
Abaulamento (“bombé”) dos rolos das prensas



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Prensagem

Abaulamento (“bombé”) dos rolos das prensas



Impressão uniforme



Falta de “bombé”

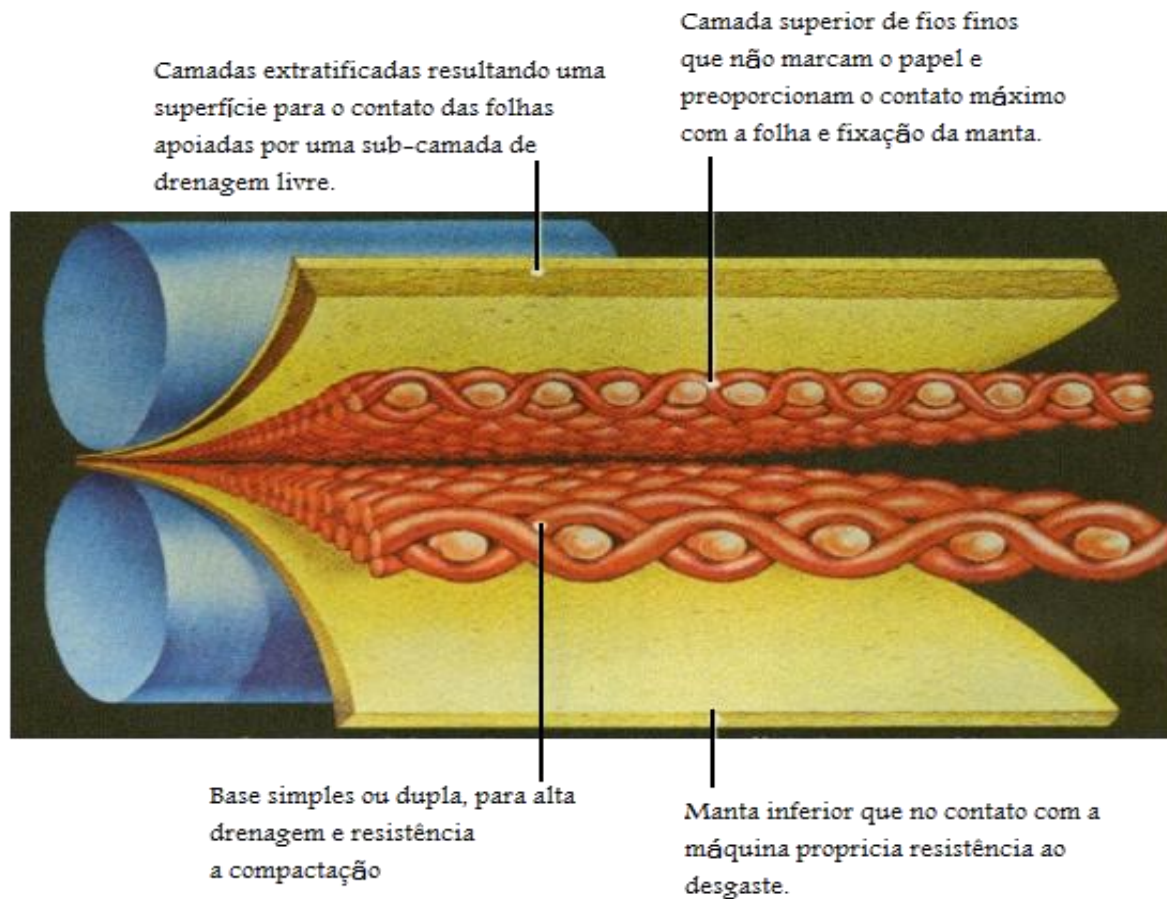


Excesso de “bombé”



**Aplicação irregular de carga
pela prensa**

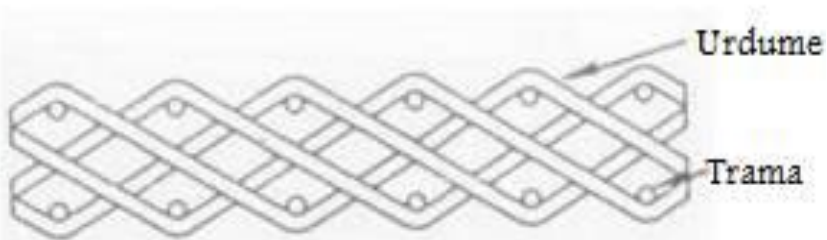
Feltros úmidos



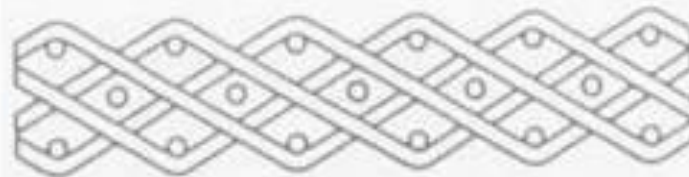
Prensagem

Feltros úmidos

Duas lajes simples



Duas lajes e meia

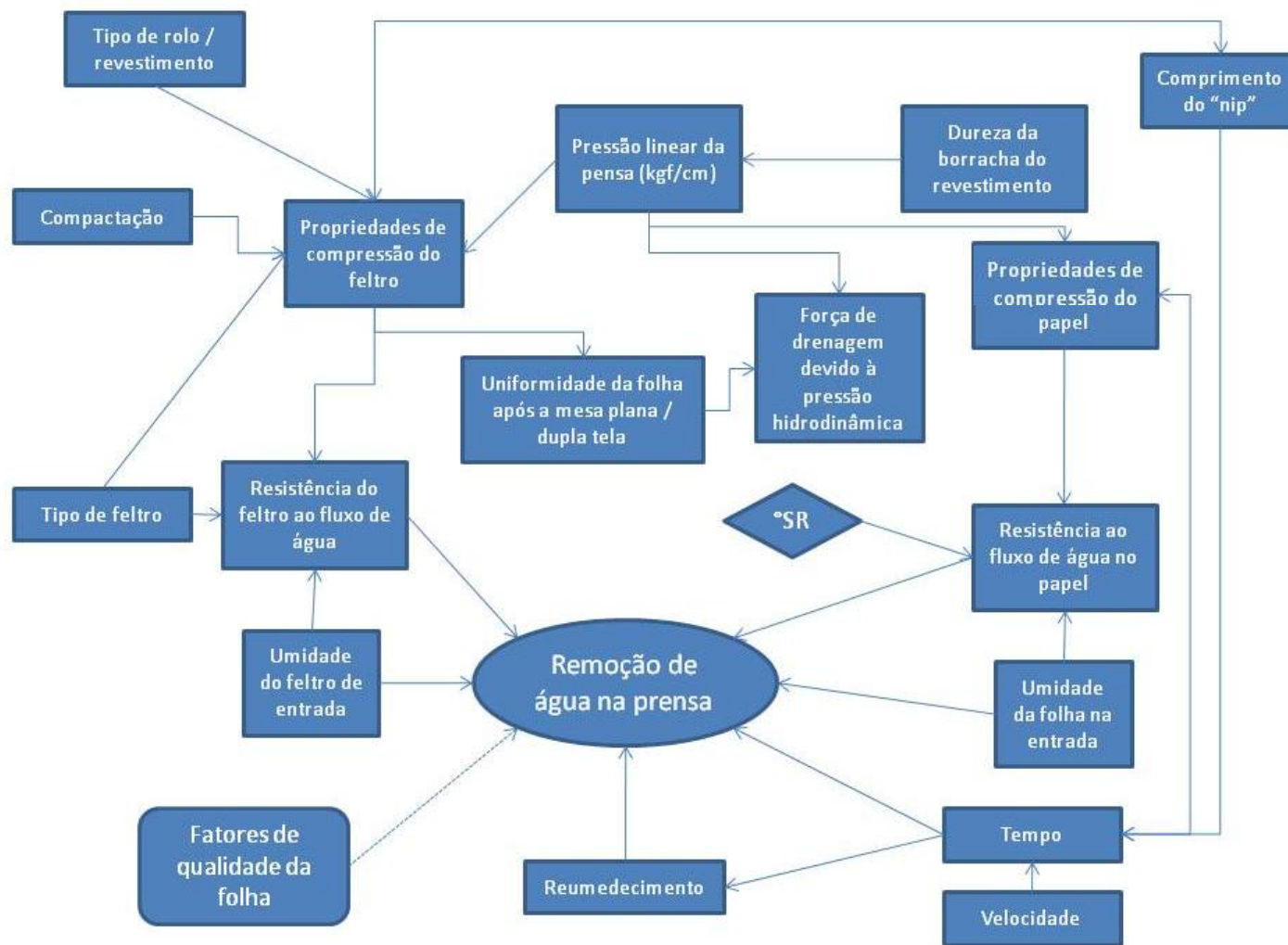


Três lajes



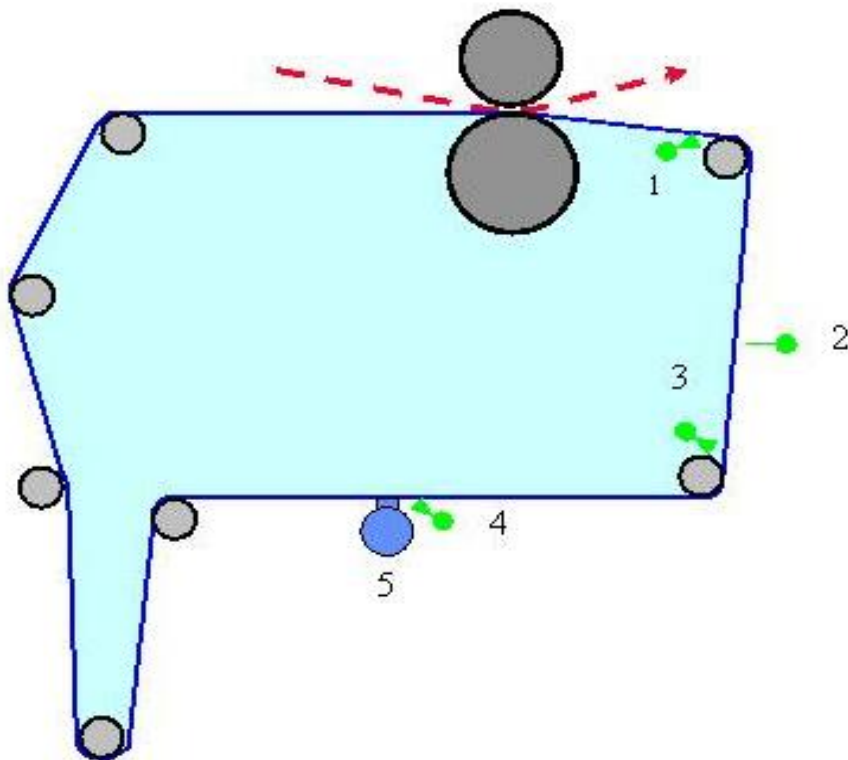
Prensagem

Variáveis importantes para a prensagem



Prensagem

Condicionamento dos feltros



1. Chuveiro químico;
2. Chuveiro de alta pressão;
3. Chuveiro de alta vazão;
4. Chuveiro de lubrificação;
5. Caixa de sucção.

12. Secagem

Secagem

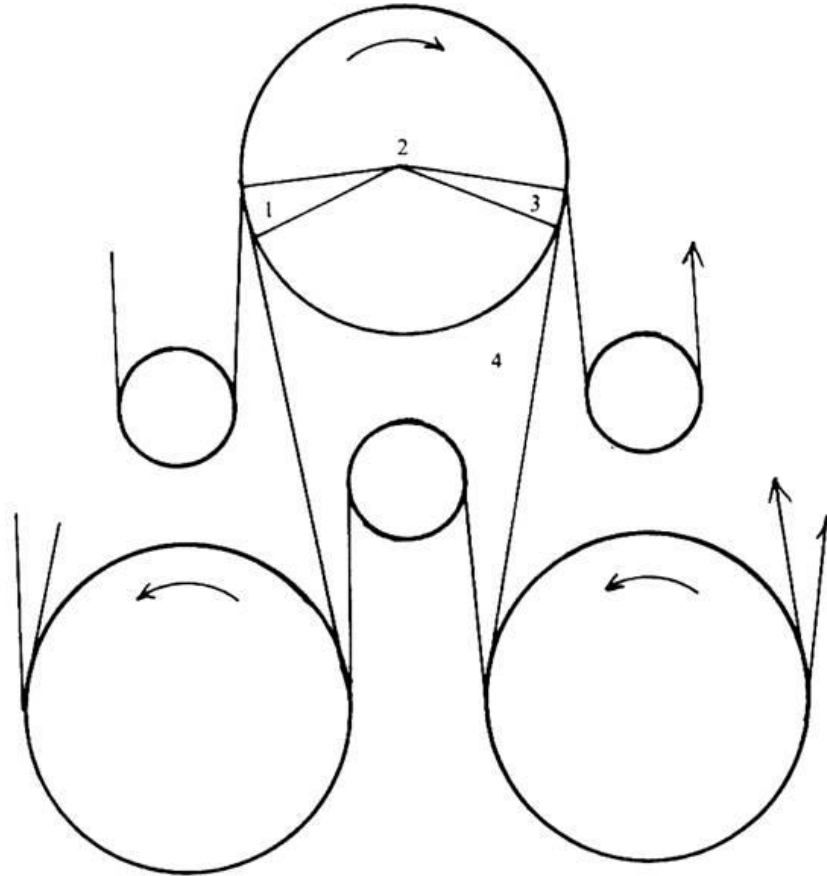
Tabela de vapor saturado

1	2	3	4	5	6	7
Pressão Relativa	Pressão Aboluta	Temperatura	Volume Especifico	Calor Sensível	Calor Total	Calor Latente
bar	bar	°C	m ³ /kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg
4,0	5,0	151,1	0,3816	152,1	655,8	503,7
4,5	5,5	154,7	0,3497	155,9	656,8	501,2
5,0	6,0	158,1	0,3213	159,3	657,8	498,5
5,5	6,5	161,2	0,2987	162,7	658,6	496,1
6,0	7,0	164,2	0,2778	165,6	659,4	493,8
6,5	7,5	167,0	0,2609	168,7	660,1	491,6
7,0	8,0	169,6	0,2448	171,3	660,8	489,5
7,5	8,5	172,1	0,2317	174,0	661,4	487,5
8,0	9,0	174,5	0,2189	176,4	662,0	485,6
8,5	9,5	176,8	0,2085	179,0	662,5	483,7
9	10	179,0	0,1981	181,2	663,-0	481,8
10	11	183,2	0,1808	185,6	663,9	478,3
11	12	187,1	0,1664	189,7	664,7	475,0
12	13	190,7	0,1541	193,5	665,4	471,9
13	14	194,1	0,1435	197,1	666,0	468,9

FONTE: VPH Sistemas de Fluxo

Secagem

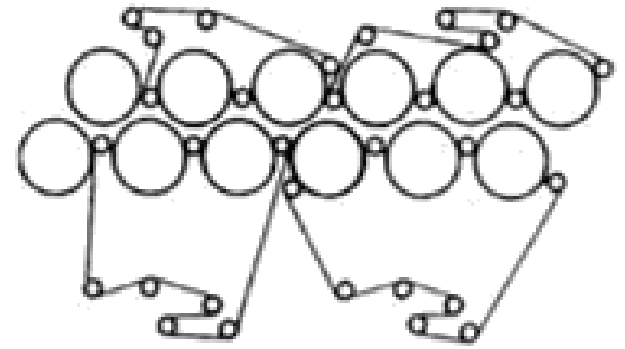
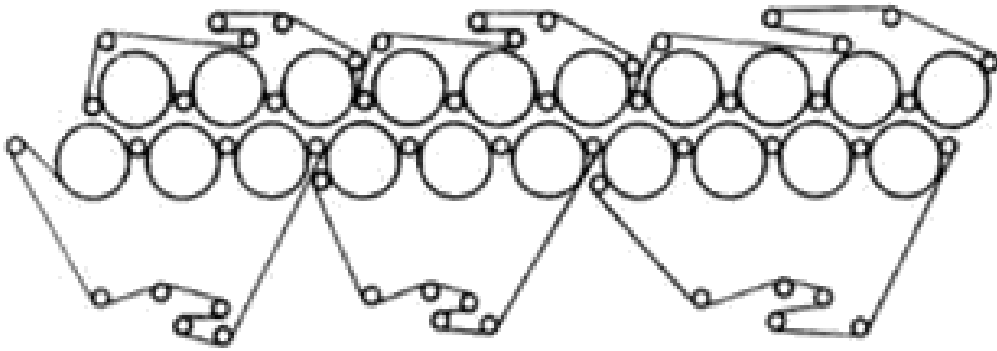
Ciclo da secagem



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

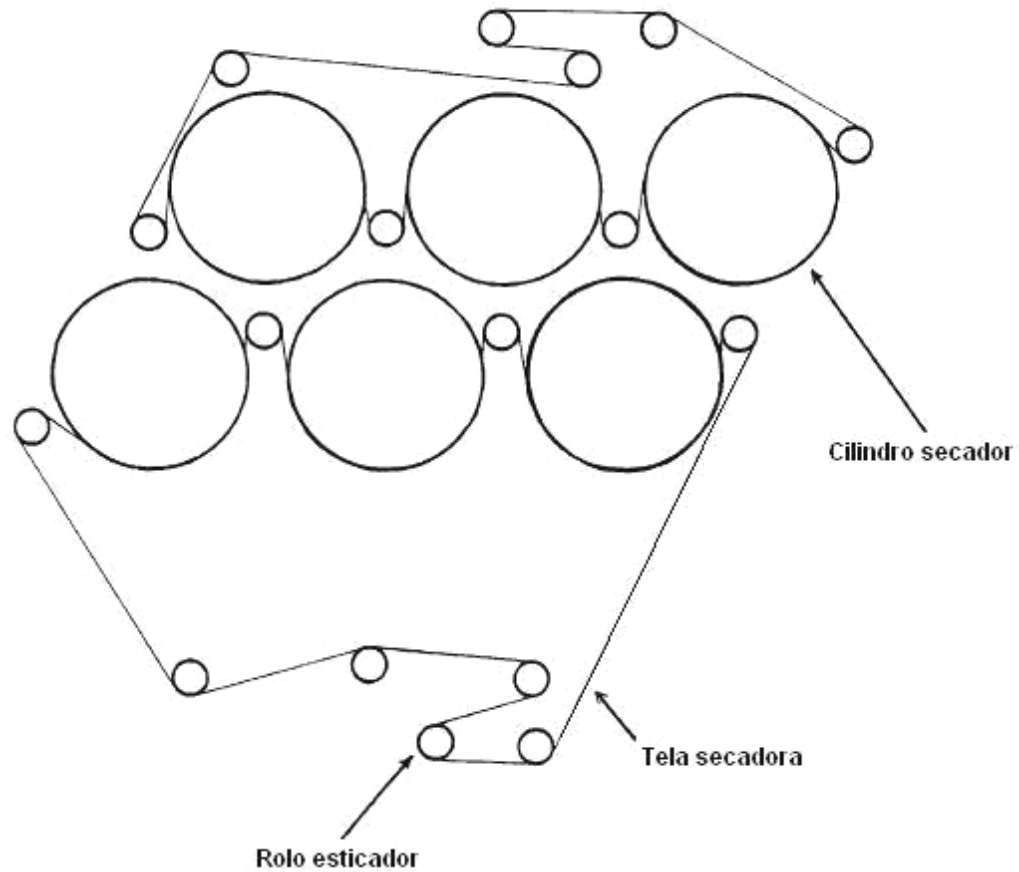
Secagem

Secagem com multicilindros



Secagem

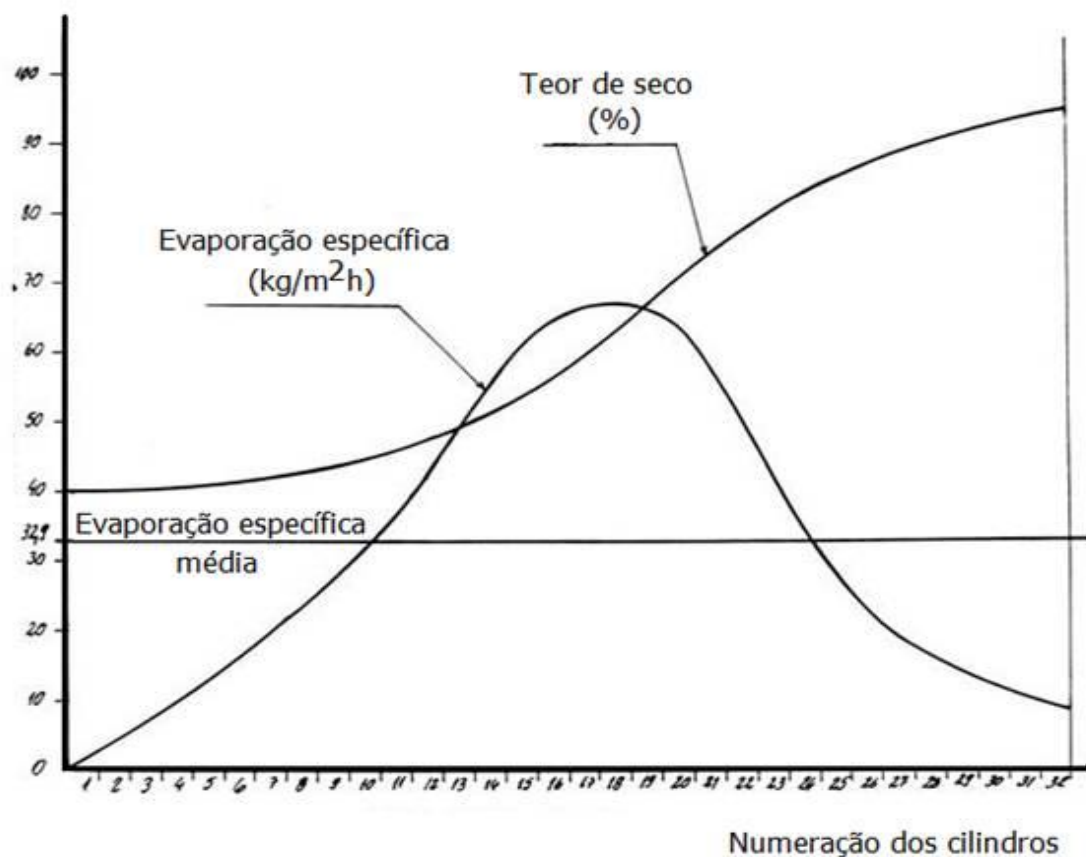
Cilindros secadores



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Secagem

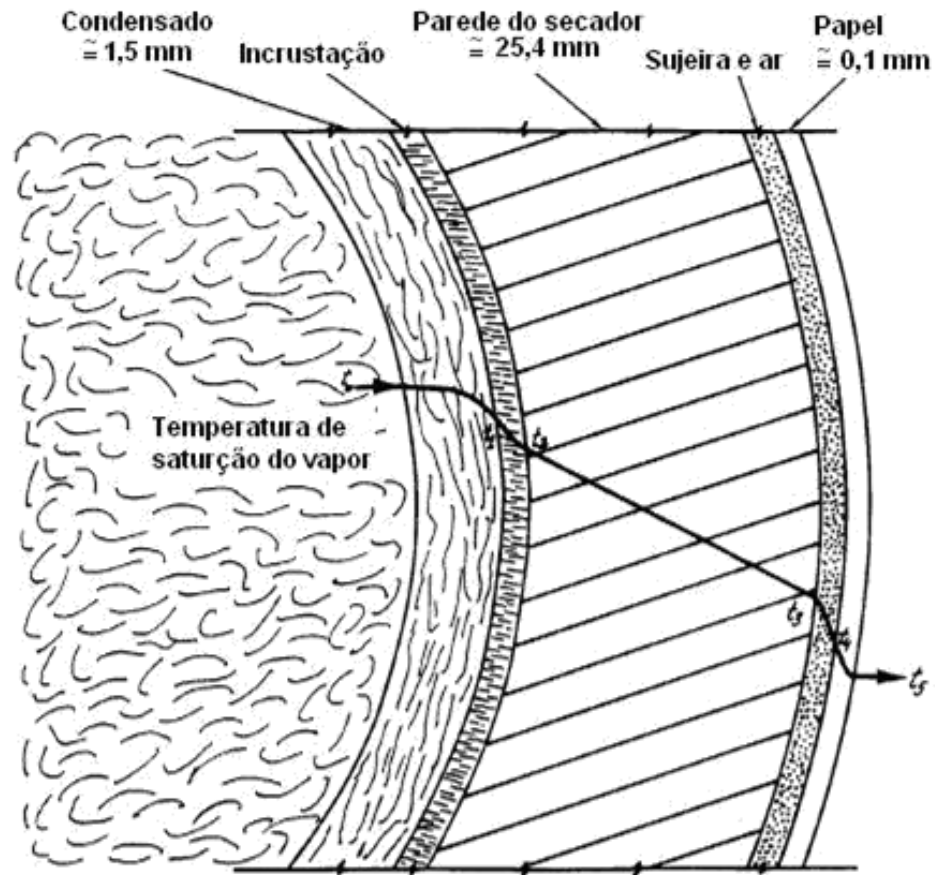
Secagem com multicilindros



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Secagem

Transferência de calor



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

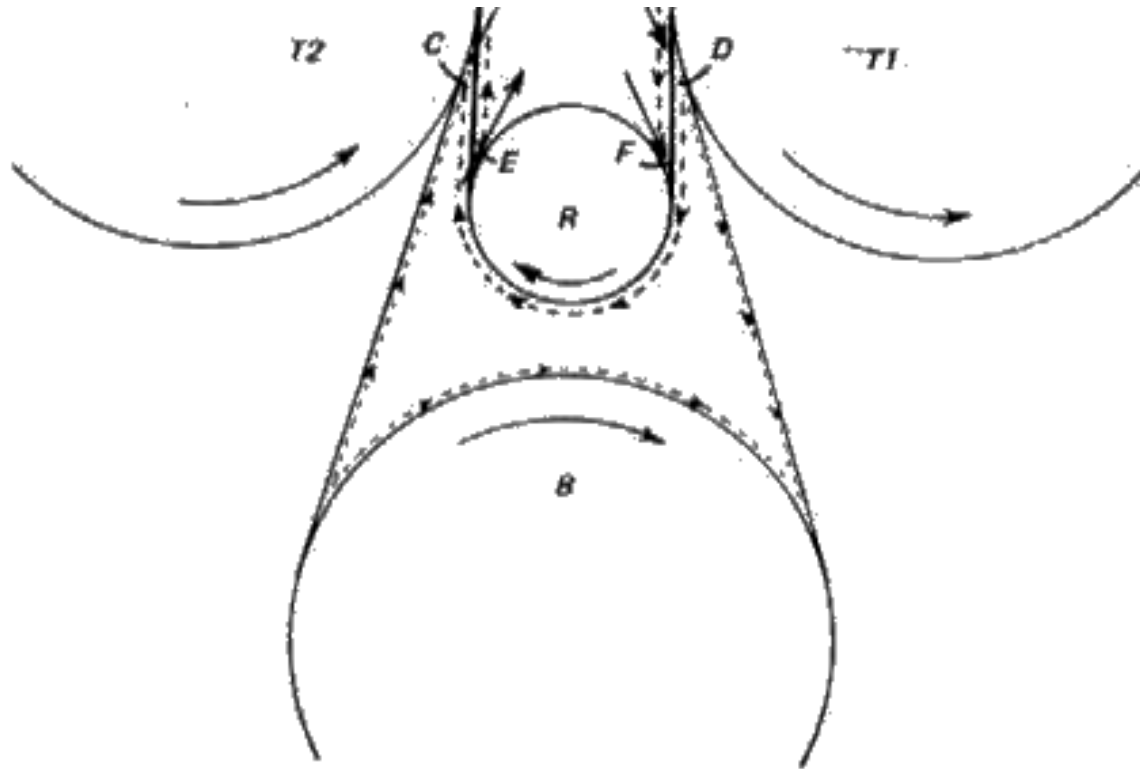
Secagem

Resistências individuais

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.

Secagem

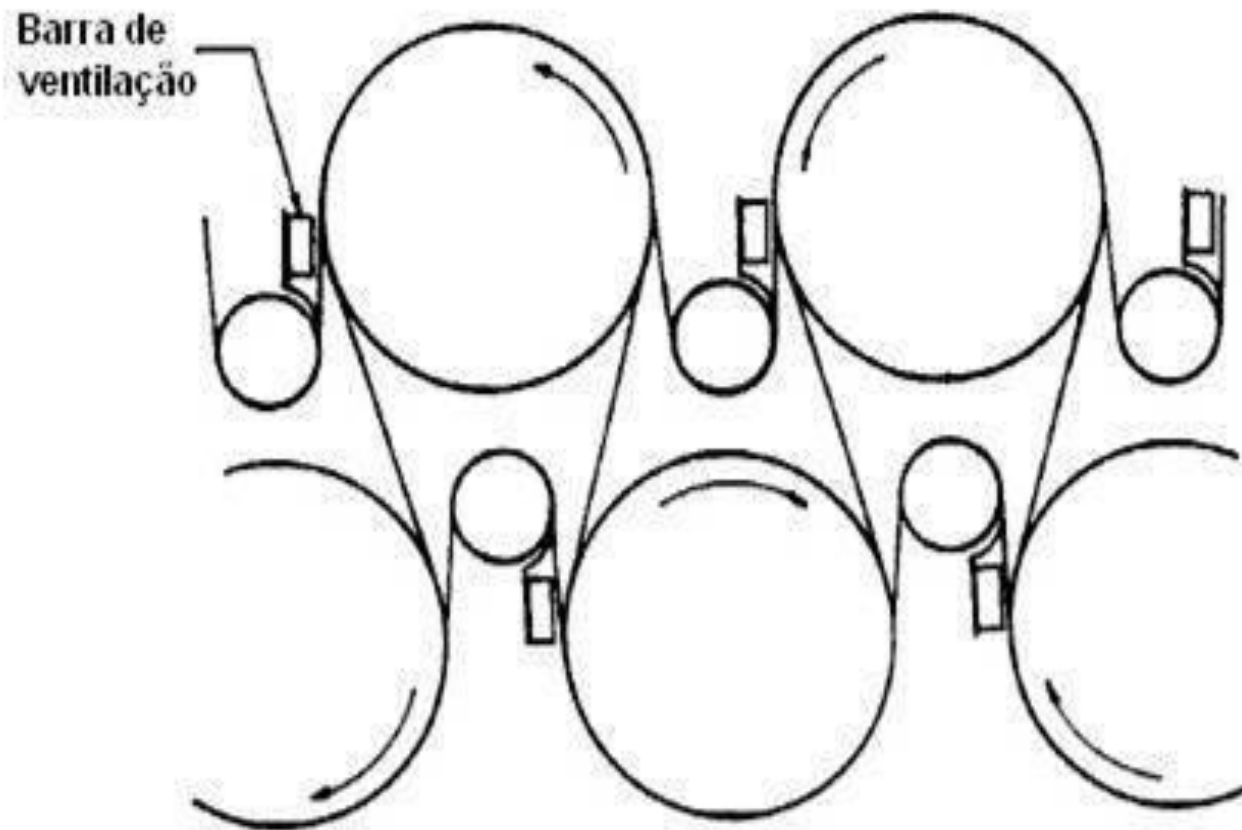
Bolsões de ar



FONTE: Tecnologia de fabricação de papel – SENAI / IPT

Secagem

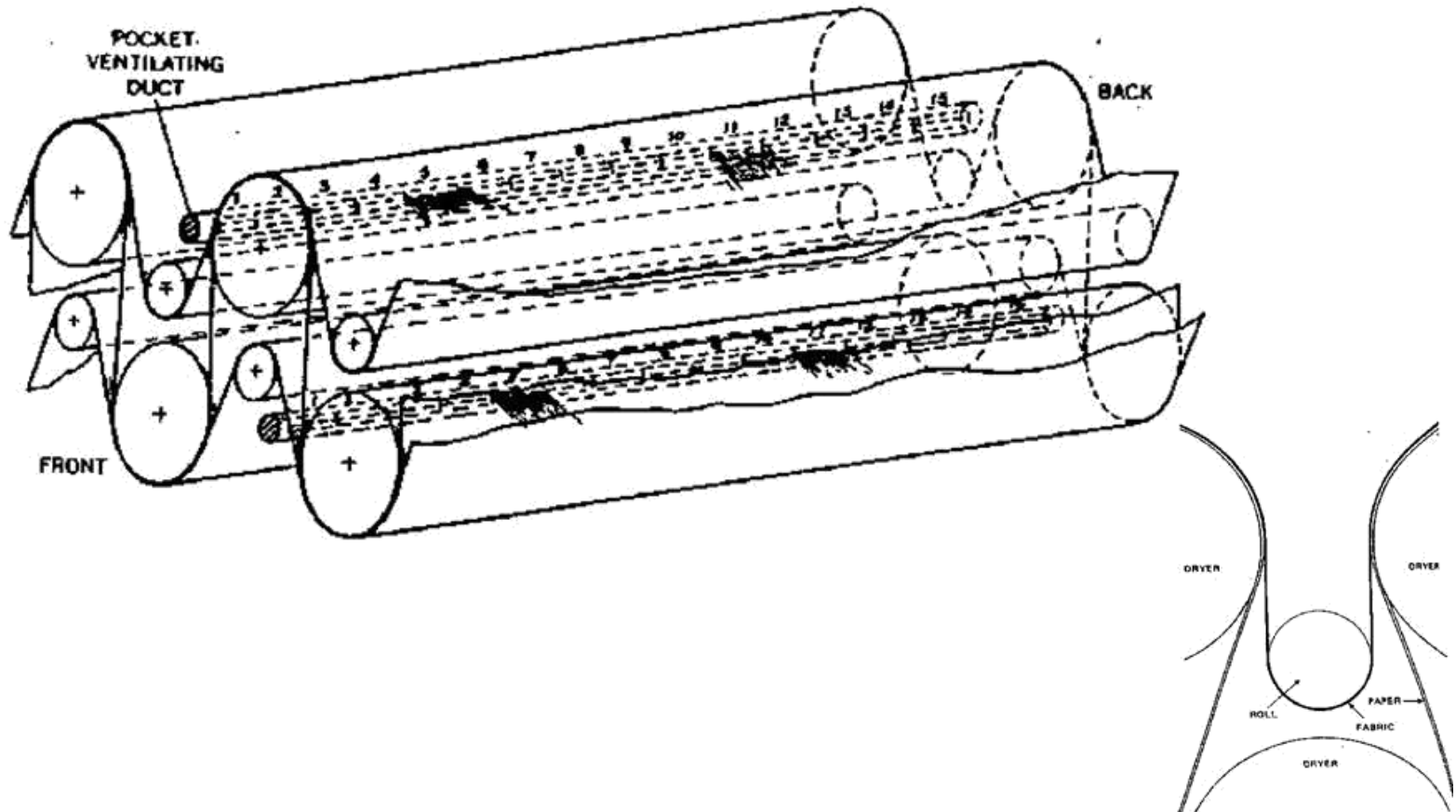
Bolsões de ar



FONTE: Apostila “Sistema de secagem do papel” – Riocell/Aracruz Guaíba

Secagem

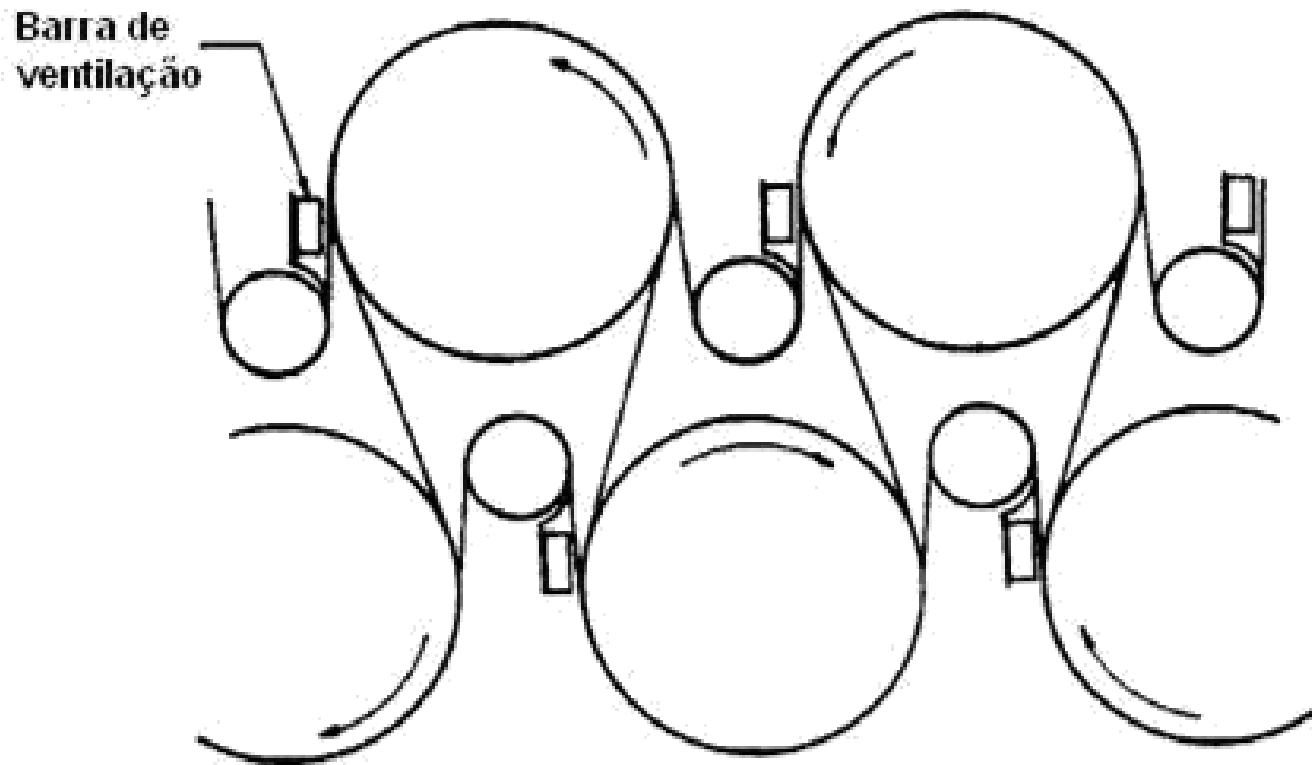
Secagem com multicilindros



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

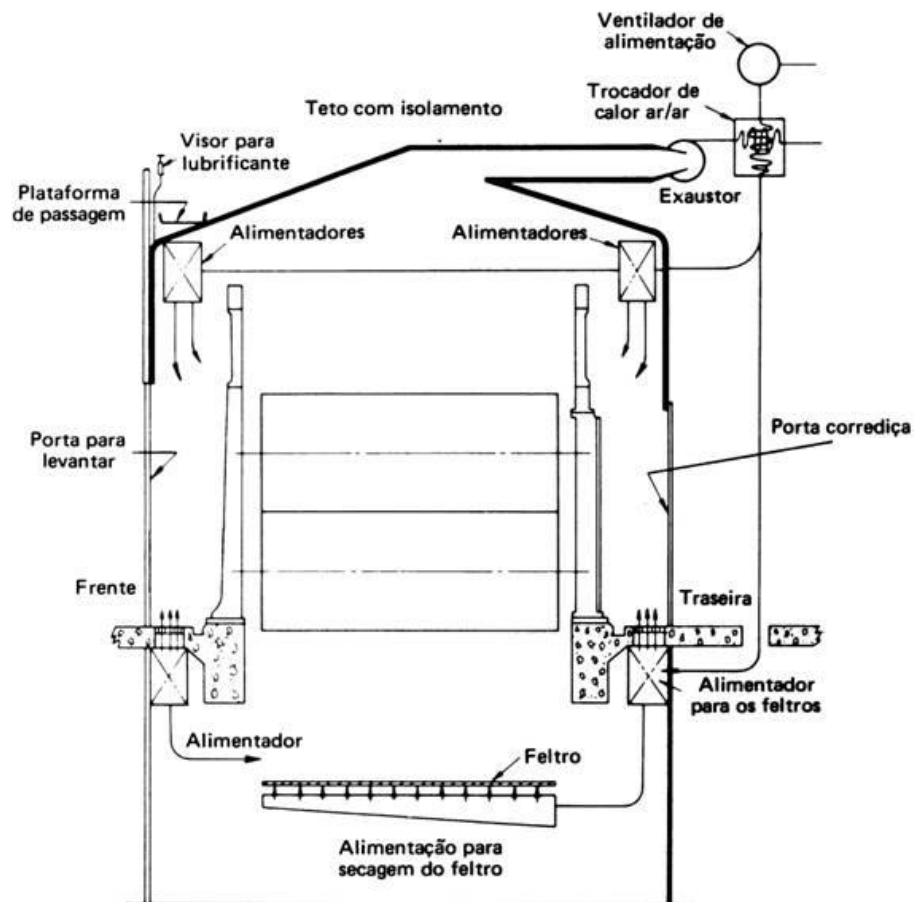
Secagem

Ventilação dos bolsões



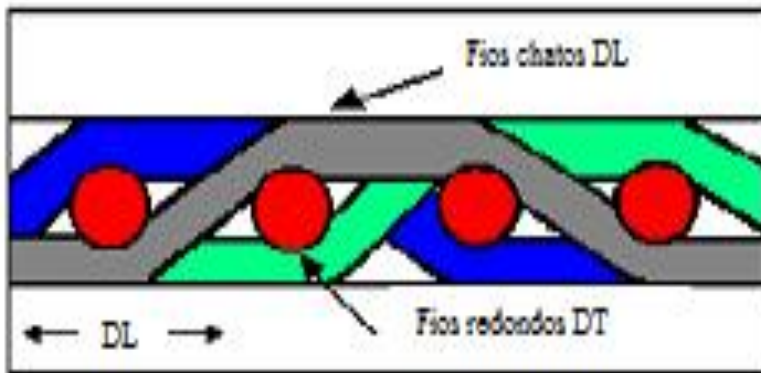
Secagem

Capota



Secagem

Telas secadoras



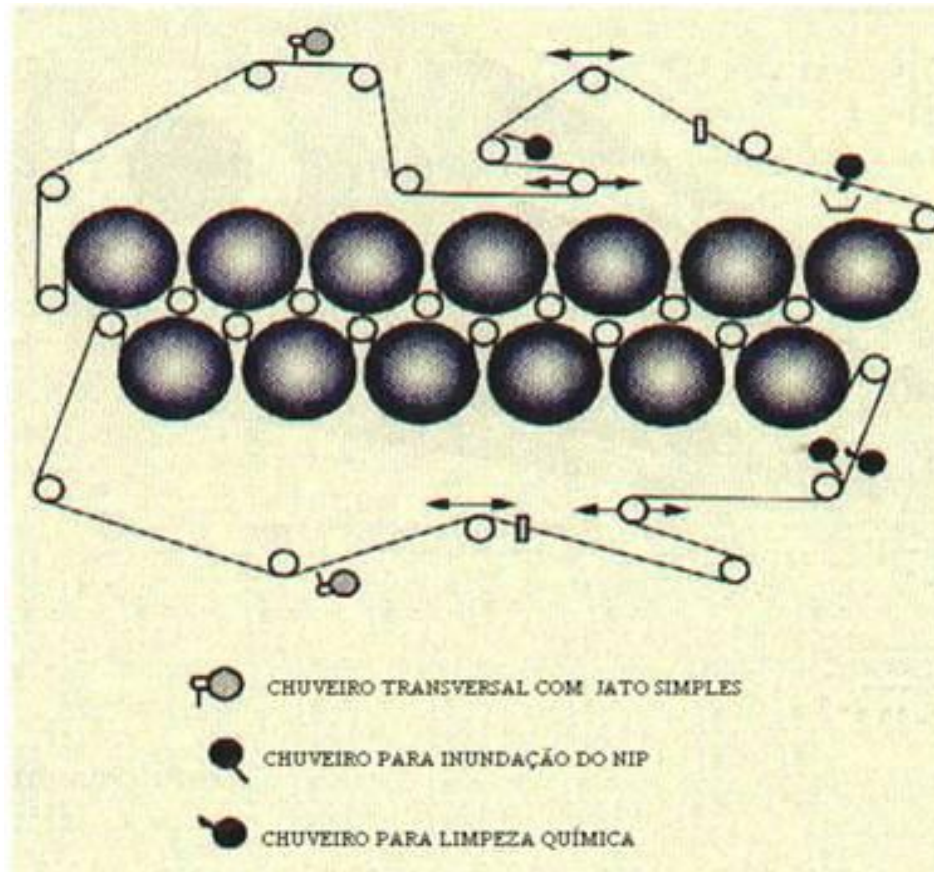
A



B

Secagem

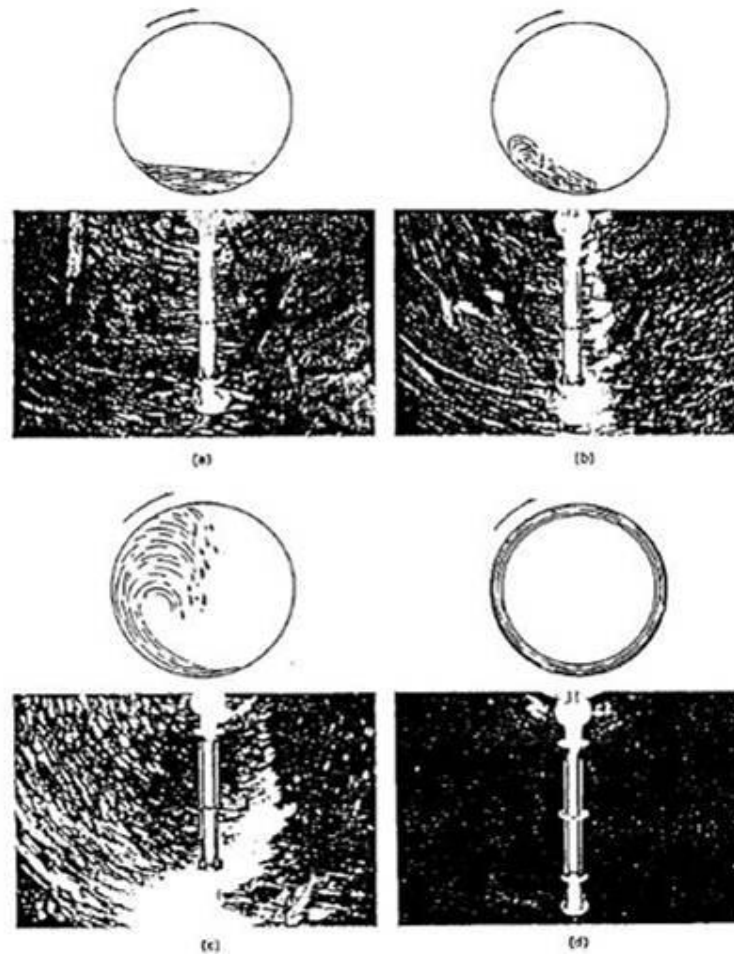
Limpeza das telas secadoras



FONTE: Apostila "Básico de fabricação de papel"

Secagem

Formação do filme de condensado

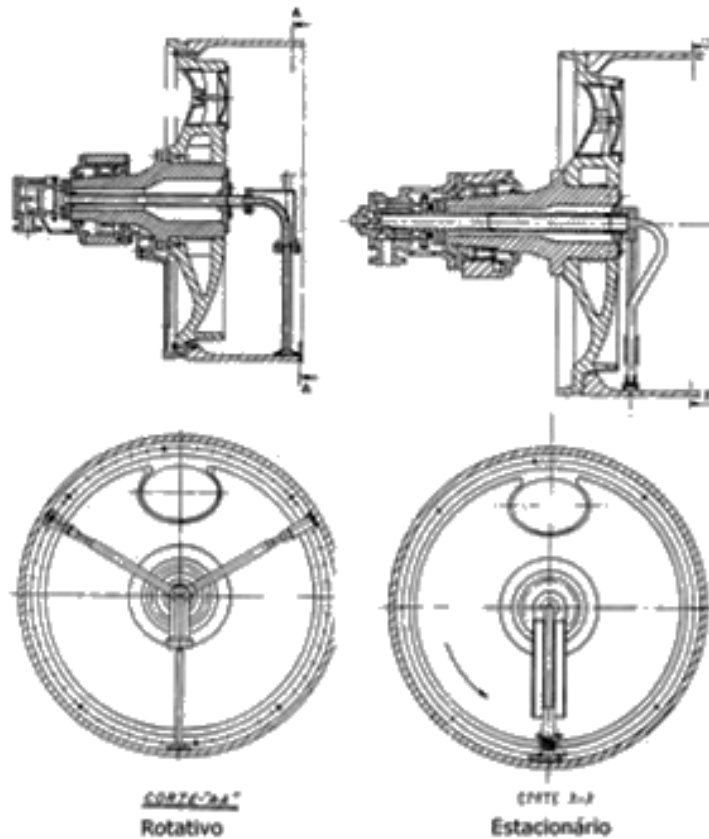


Formação do filme de condensado

Quadro Comparativo	Estacionário	Rotativo
Diferencial de Pressão	Menor	Maior (depende da velocidade)
Ajuste da Sapata	Pouco preciso	Preciso
Pressão de Vapor da Linha Principal	Menor	Maior
Cuidados Operacionais	Menor	Maior
Dificuldade em Obter Cascata	Menor	Maior
Quantidade de Vapor de Arraste	Menor	Maior
Marcação da Posição do Sifão	Sim	Não
Controle da Película	Instável	Estável
Esvaziamento quando cheio	Simples	Difícil

Secagem

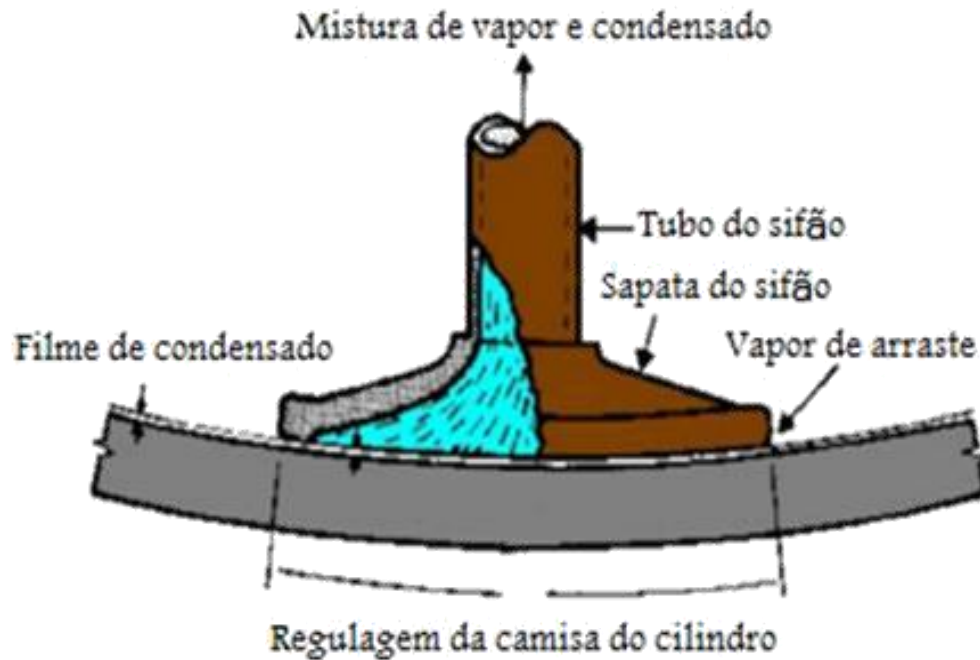
Sifão rotativo e estacionário



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

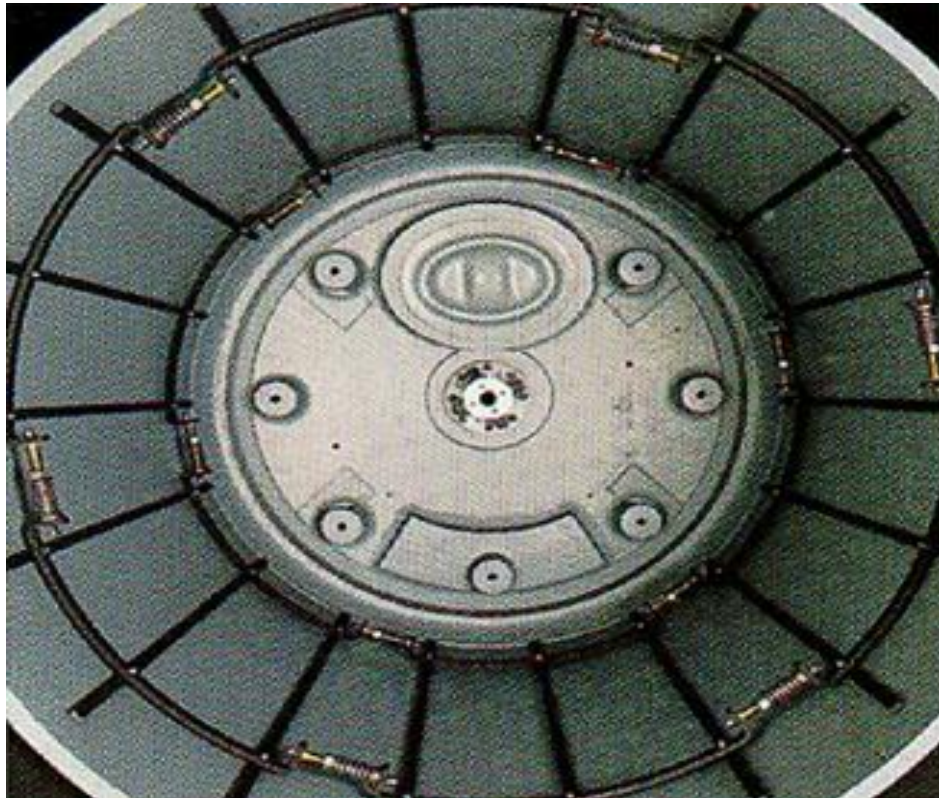
Secagem

Sapata do sifão



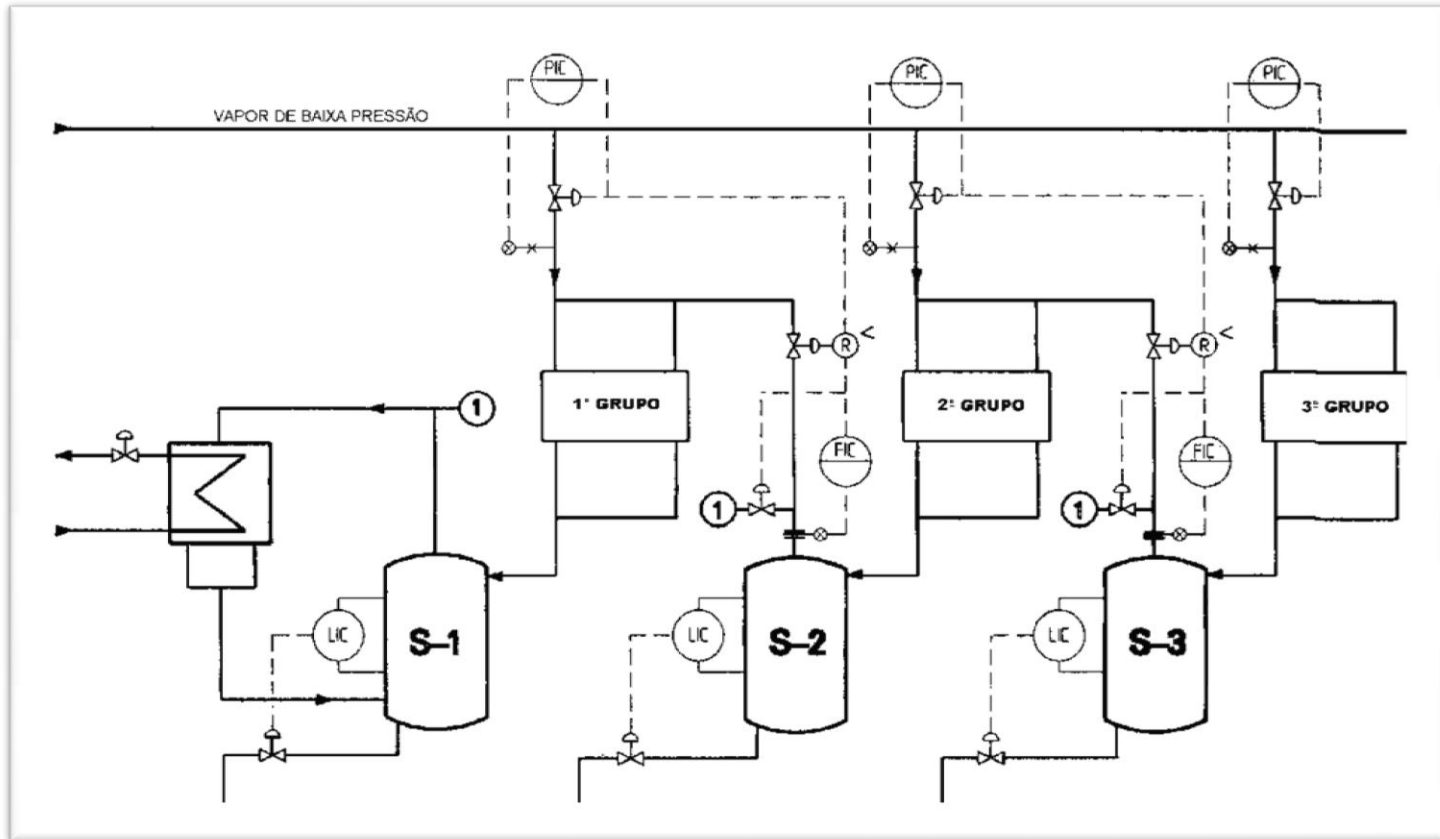
Secagem

“Spoiler bars”



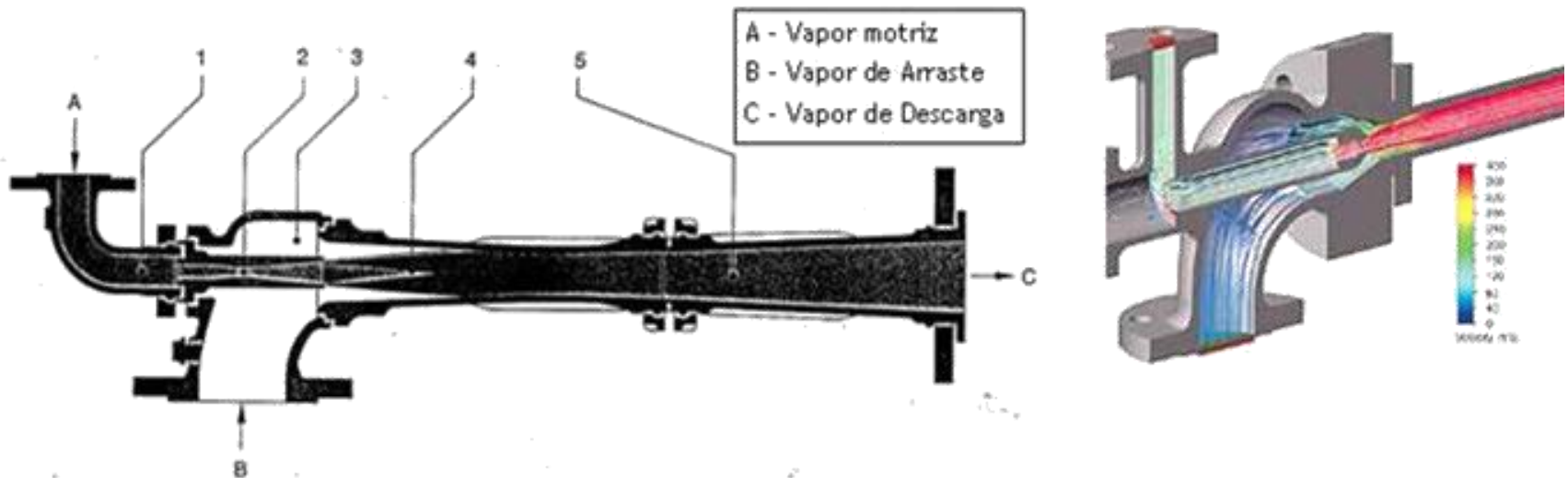
FONTE: Apostila “Básico de fabricação de papel” - ABTCP

Sistema em cascata



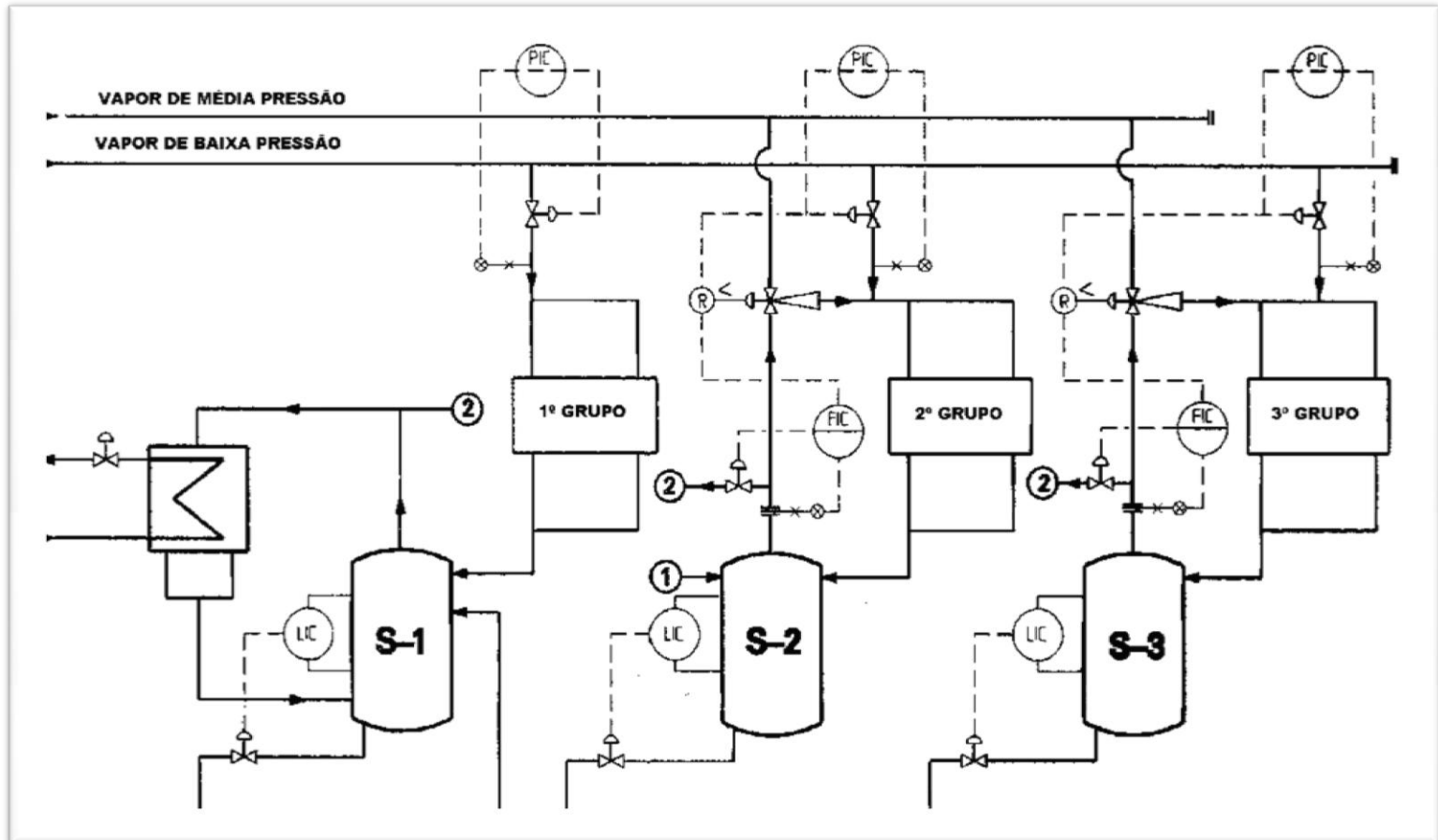
Secagem

Termocompressor



FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Sistema com termocompressor

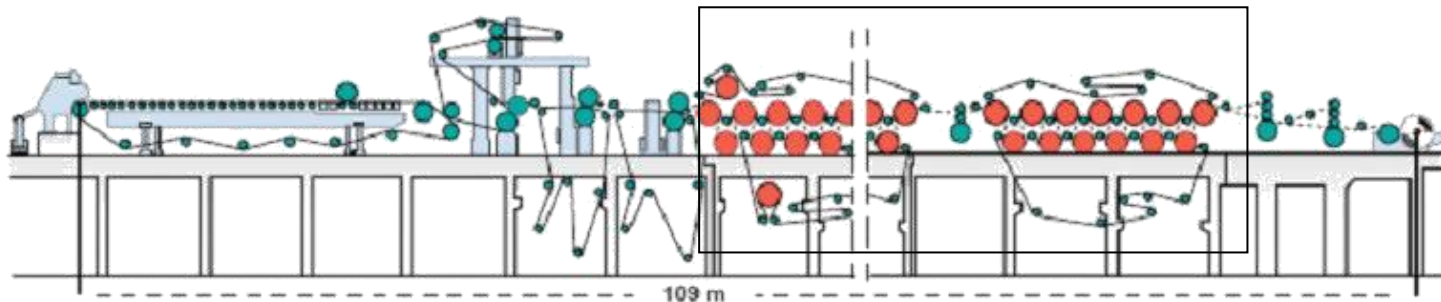


Secagem

“Single tier”

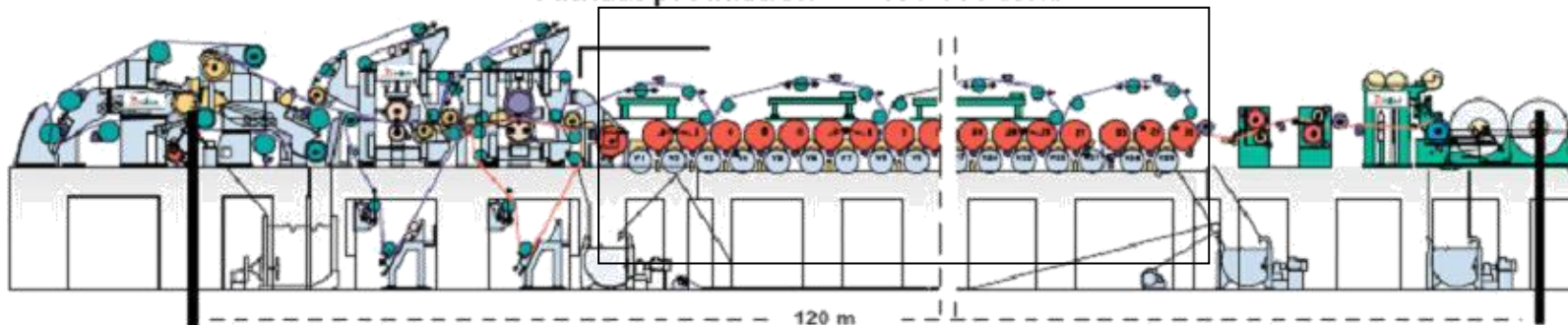
1966

Design speed 900 m/min
Web width 6.5 m
Annual production 100 000 tons



2000

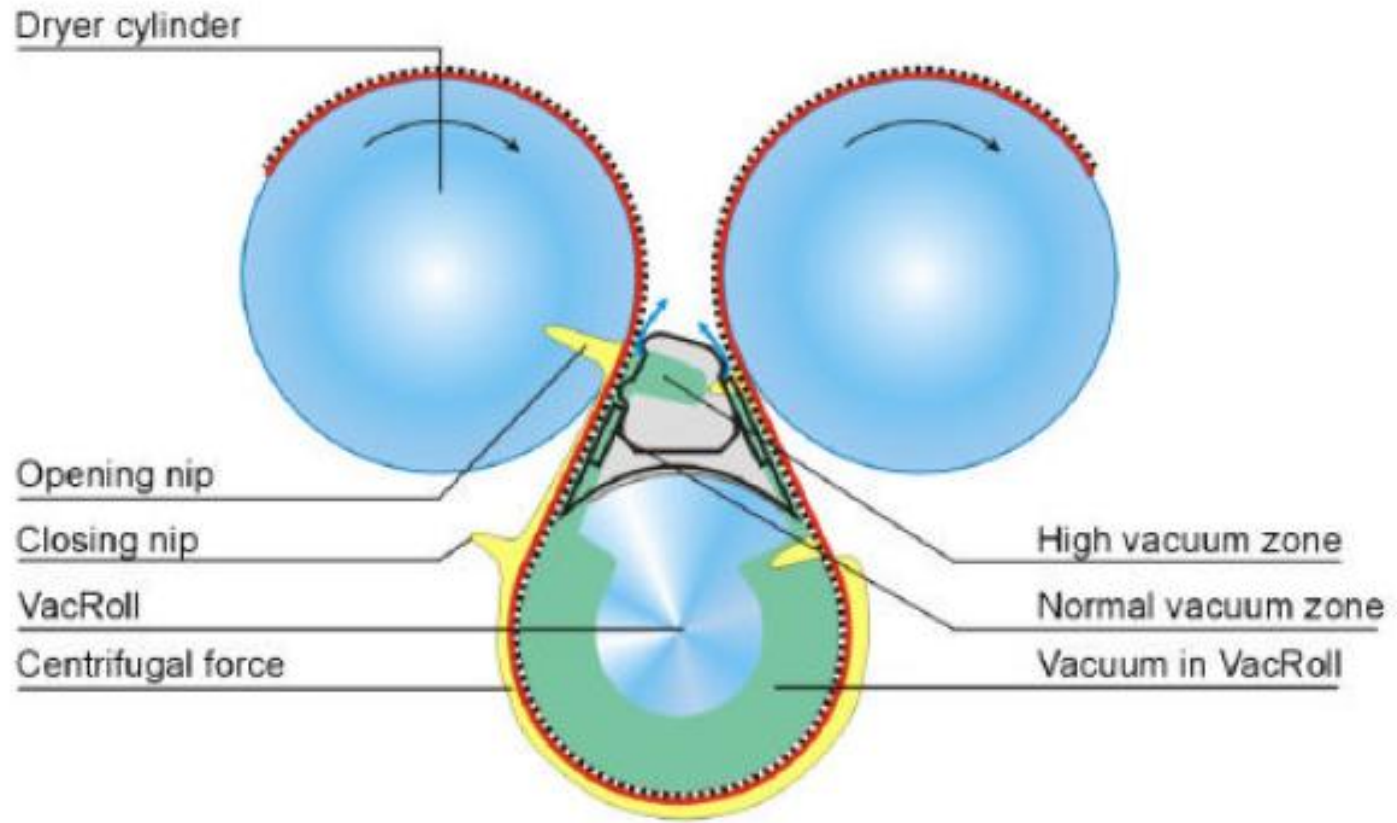
Design speed 2 000 m/min
Web width 10 m
Annual production 400 000 tons



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Secagem

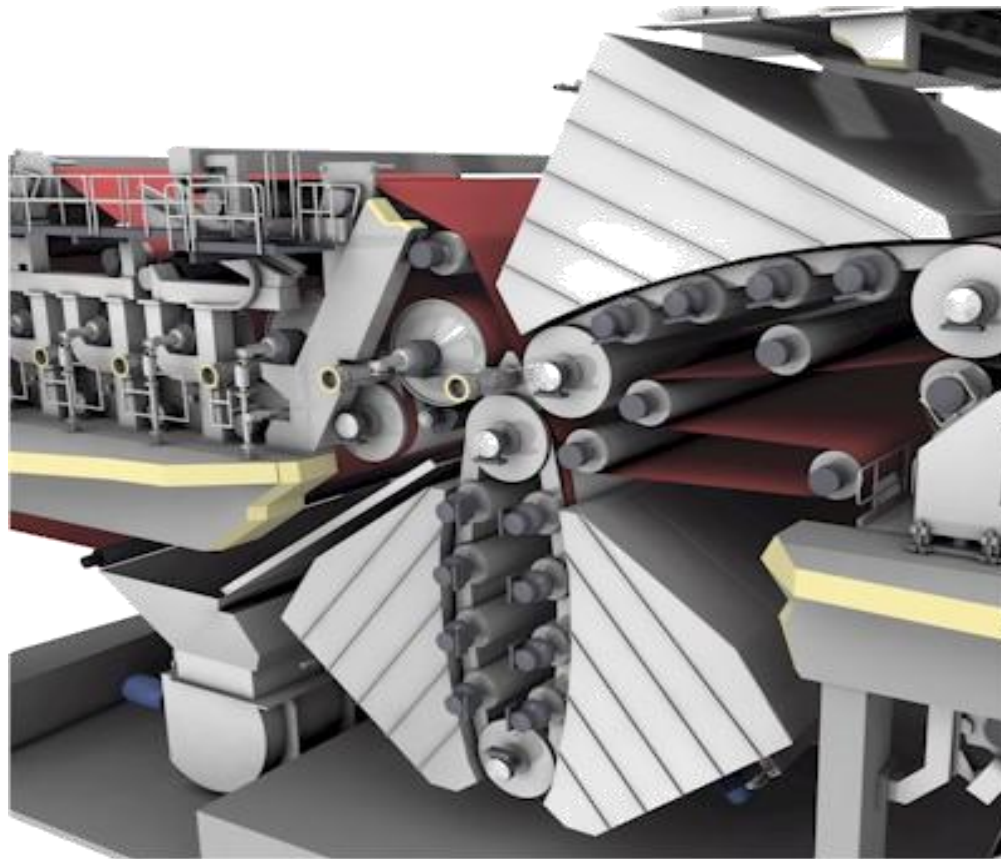
“Single tier”



FONTE: Metso Paper Corporation - ABTCP

Secagem

OptiDry Twin KUVA

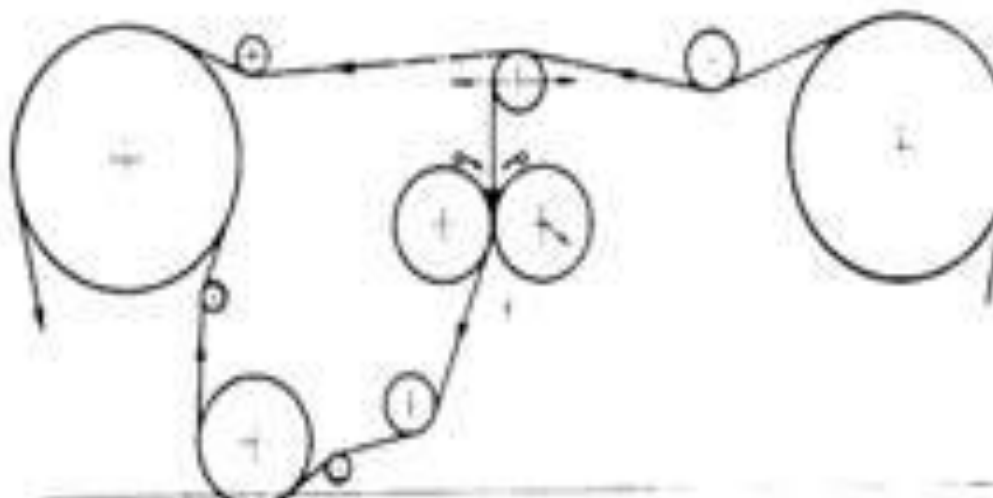


FONTE: www.metso.com

13. Colagem superficial e noções de revestimento

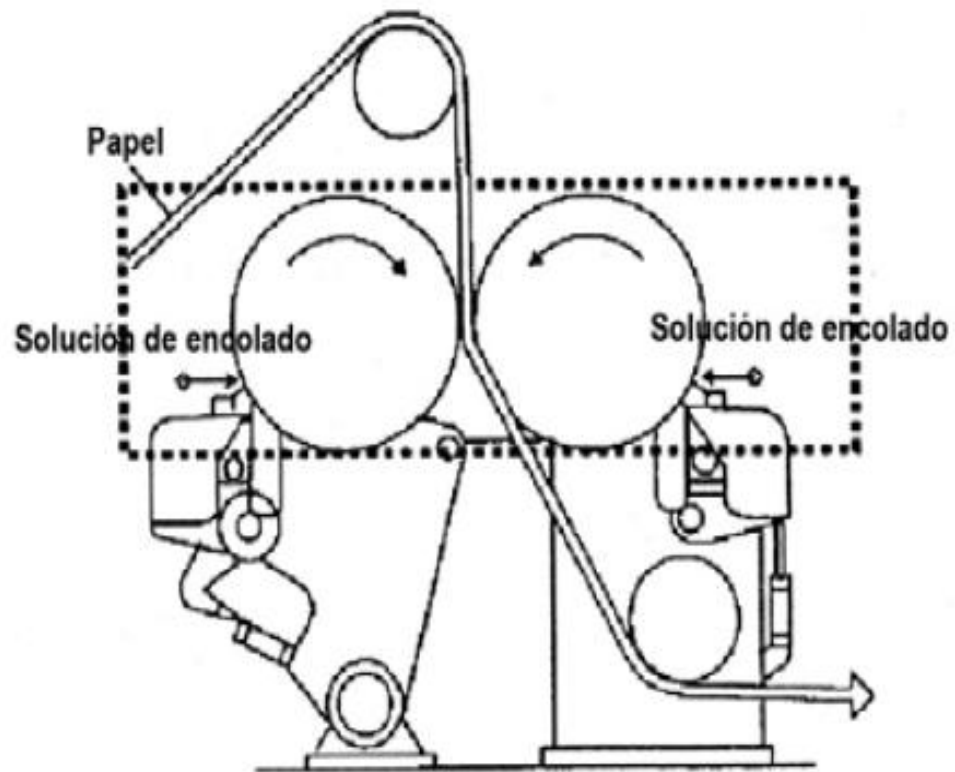
Colagem superficial

“Size press”



Colagem superficial

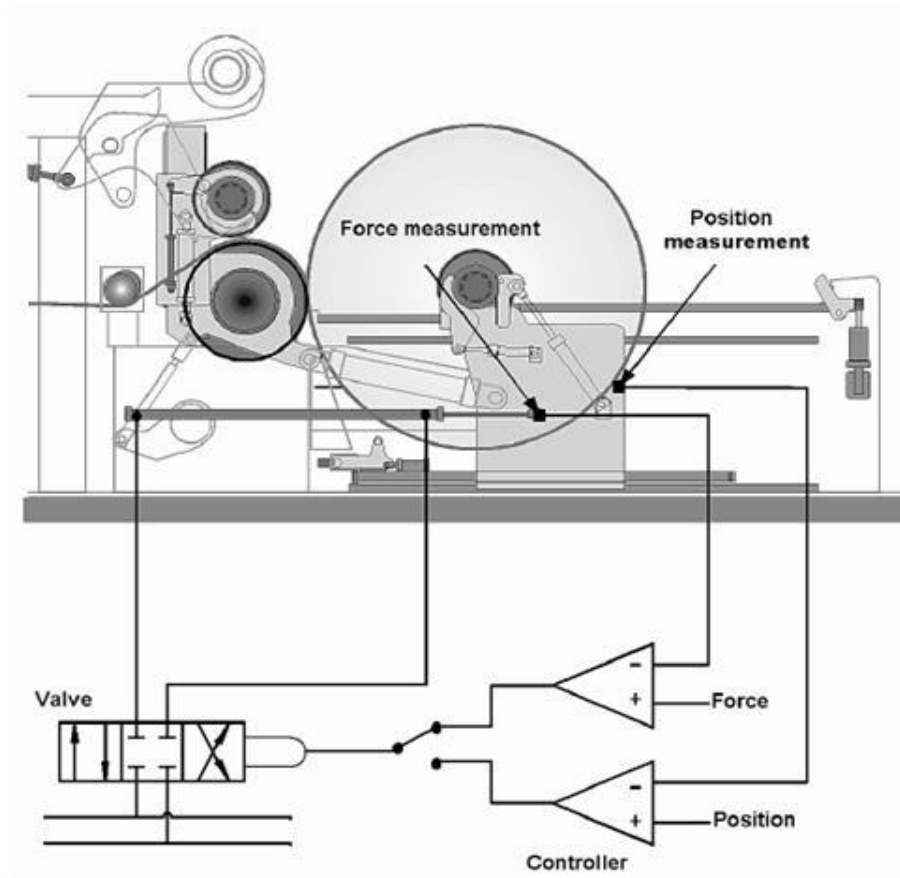
“Speed sizer”



14. Parte final da máquina de papel

Parte final da máquina de papel

“Pope”



FONTE: Apostila “Básico de fabricação de papel” - ABTCP

15. Propriedades específicas para os papéis miolo e capa

*Propriedades específicas para
papéis miolo e capa*

Gramatura



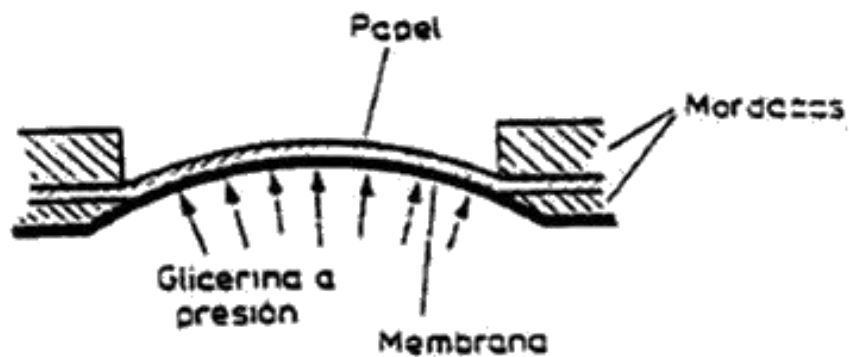
*Propriedades específicas para
papéis miolo e capa*

Espessura



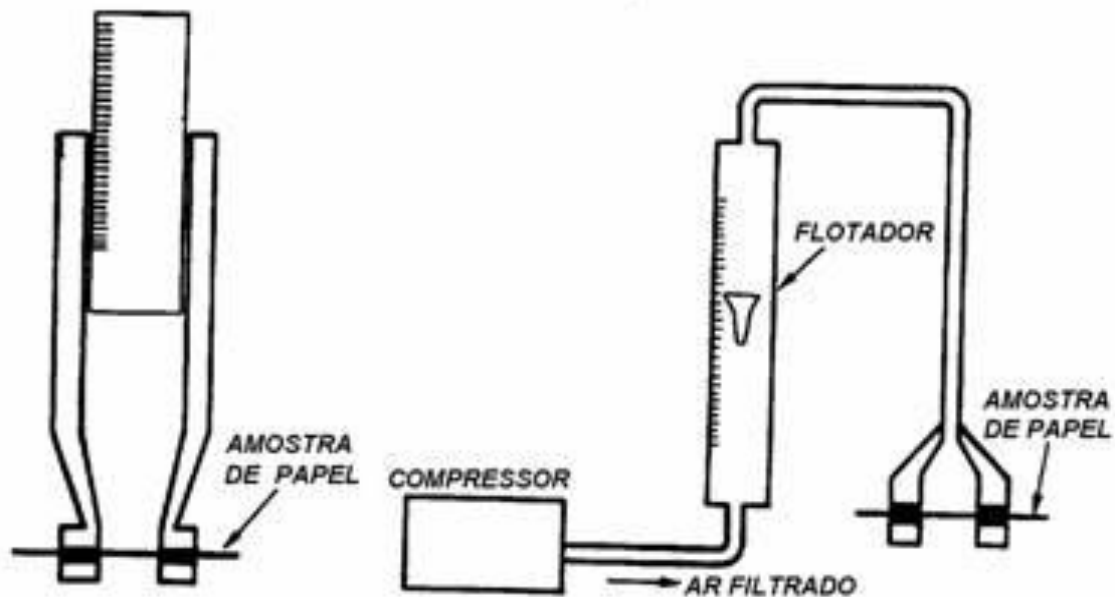
Propriedades específicas para papéis miolo e capa

Resistência ao arrebentamento



Propriedades específicas para papéis miolo e capa

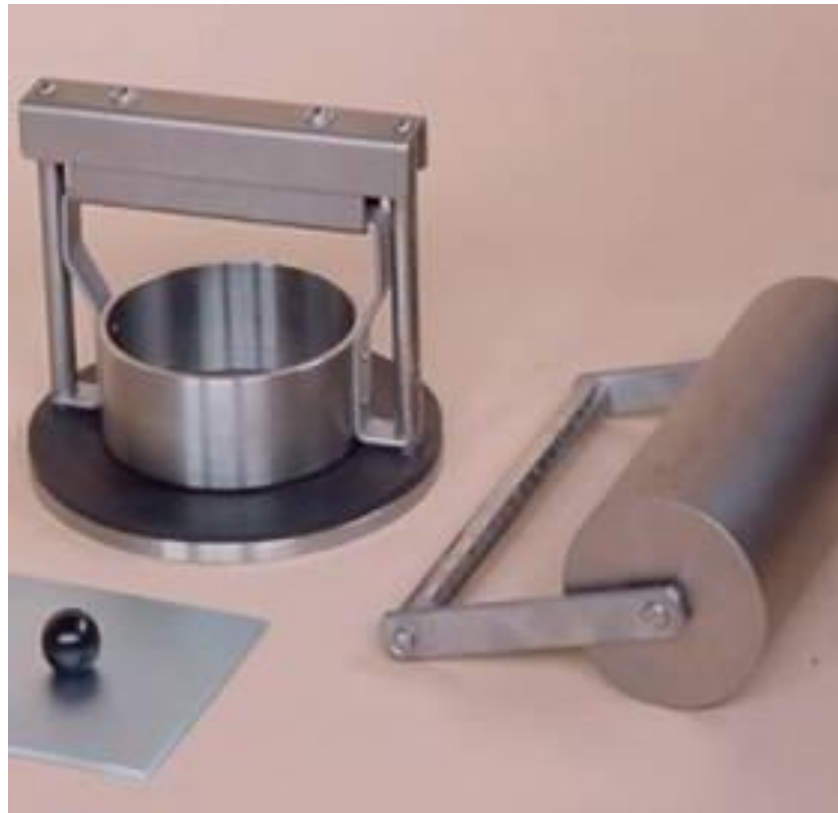
Porosidade



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

*Propriedades específicas para
papéis miolo e capa*

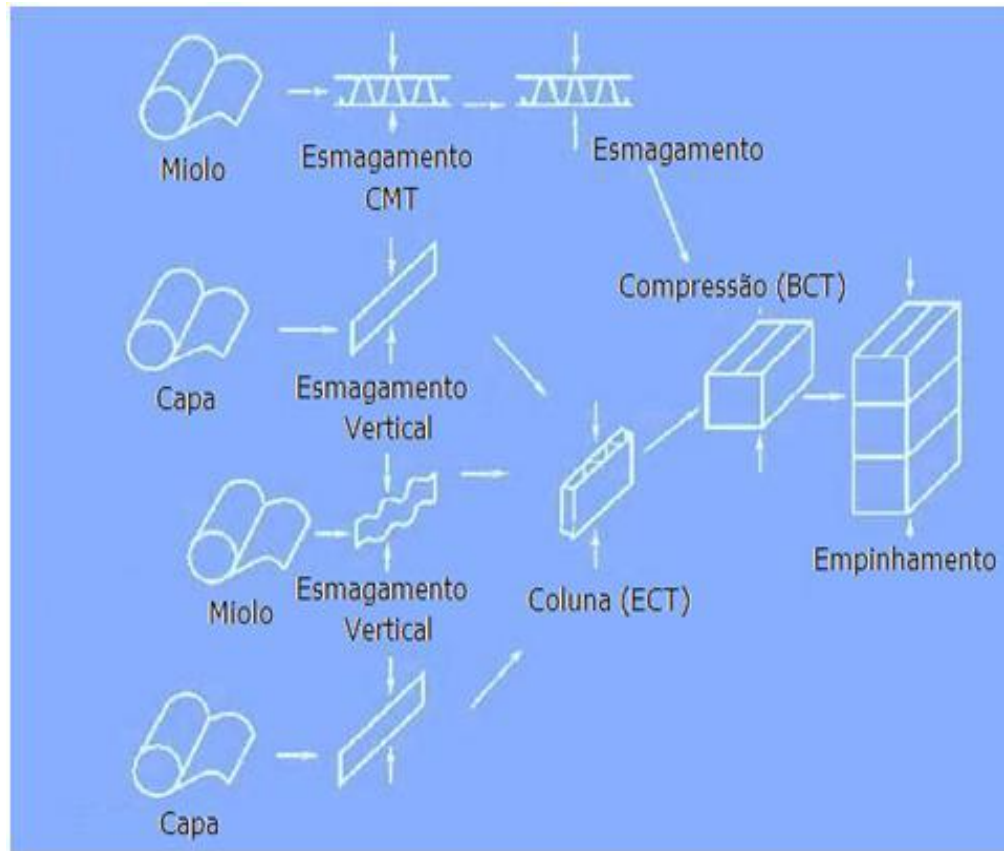
Absorção de água



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

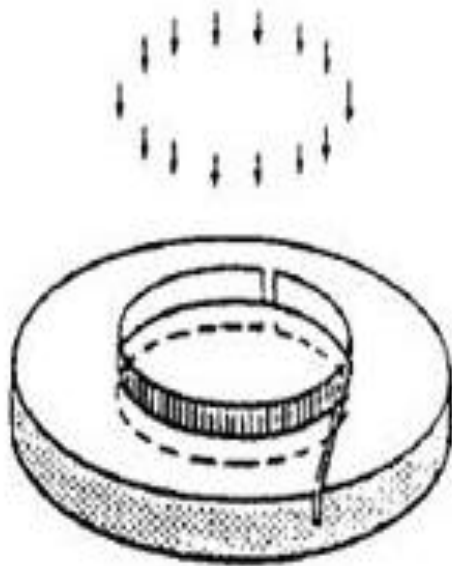
Propriedades específicas para papéis miolo e capa

Direcionalidade



*Propriedades específicas para
papéis miolo e capa*

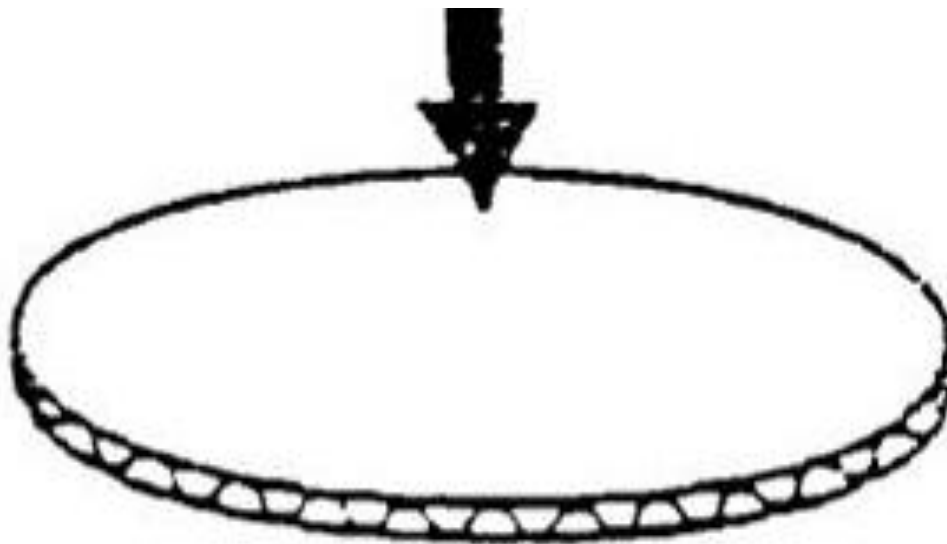
RCT



FONTE: Caracterização dos produtos / <http://espana.jarp.eu/CT>

*Propriedades específicas para
papéis miolo e capa*

CMT



FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Propriedades específicas para papéis miolo e capa

Resistência à laminação

