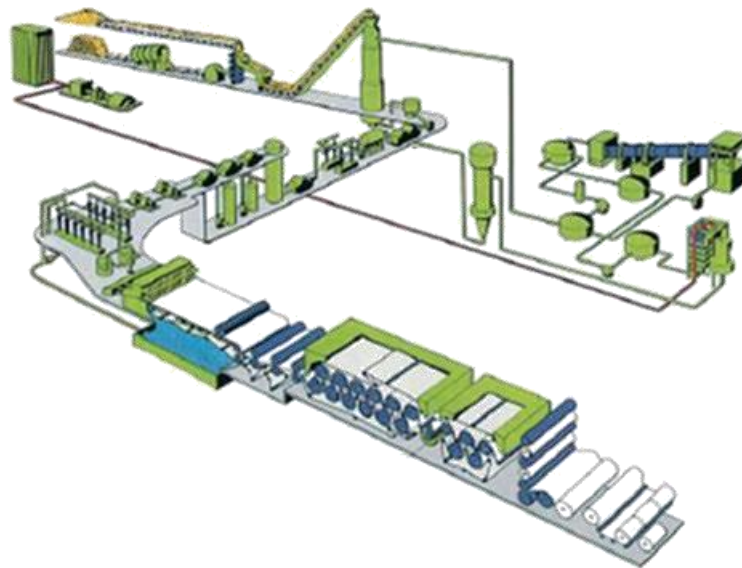


Curso básico de fabricação de celulose e papel

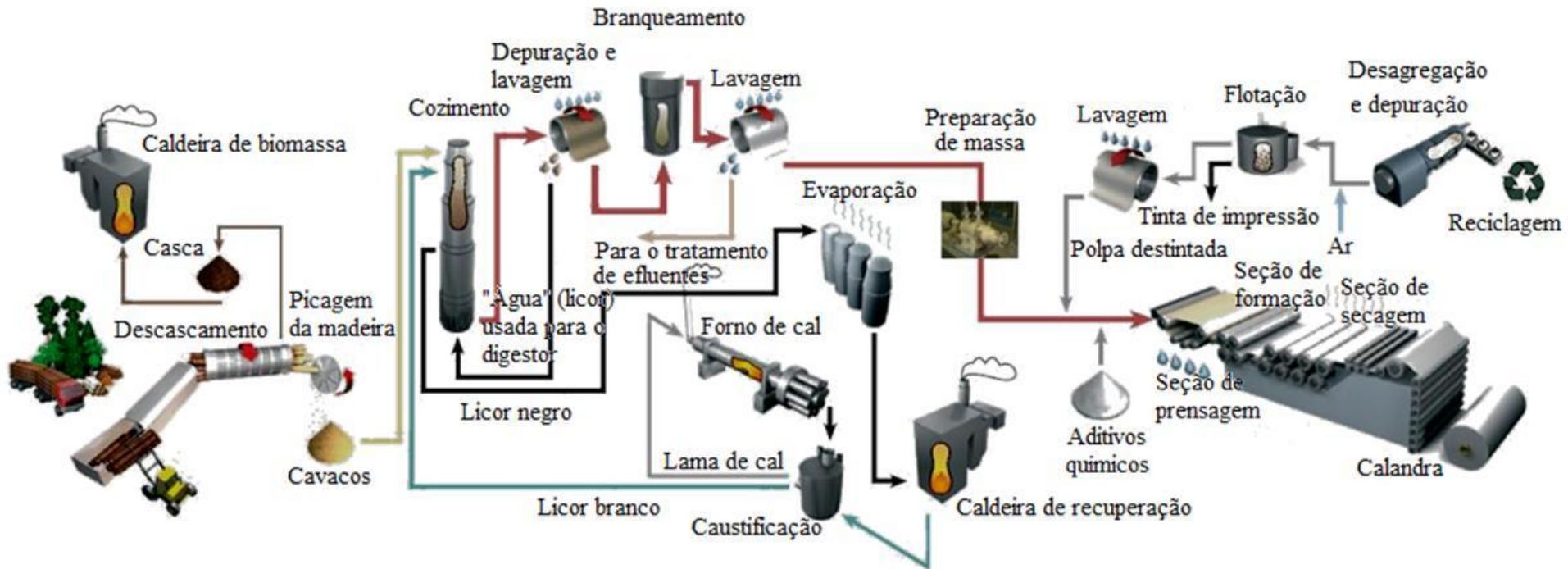
Suzano, SP

2011



Instrutor: Edison da Silva Campos

Exemplo de fluxograma de um processo envolvendo fabricação de celulose e papel, com uma planta adicional de reciclagem



INFORMAÇÕES RECENTES SOBRE O SETOR NACIONAL DE CELULOSE E PAPEL

Dados do Setor



- 222 empresas com atividade em 539 municípios, localizados em 18 Estados
- 2,2 milhões de hectares de florestas plantadas para fins industriais
- 2,9 milhões de hectares de florestas preservadas
- 2,0 milhões de hectares de área florestal total certificada
- Exportações 2010: US\$ 6,8 bilhões
- Saldo Comercial 2010: US\$ 4,9 bilhões
- Impostos pagos: R\$ 2,2 bilhões
- Investimentos: US\$ 12 bilhões nos últimos 10 anos
- Emprego: 115 mil empregos diretos (indústria 68 mil, florestas 47 mil) e 575 mil empregos indiretos



INFORMAÇÕES RECENTES SOBRE O SETOR NACIONAL DE CELULOSE E PAPEL

Maiores Produtores Mundiais de Celulose e Papel - 2009



CELULOSE		PAPEL	
País	mil toneladas	País	mil toneladas
1. EUA	48.329	1. China	86.391
2. China	20.813	2. EUA	71.613
3. Canadá	17.079	3. Japão	26.279
4. Brasil *	13.315	4. Alemanha	20.902
5. Suécia	11.463	5. Canadá	12.857
6. Finlândia	9.003	6. Suécia	10.933
7. Japão	8.506	7. Finlândia	10.602
8. Rússia	7.235	8. Coreia do Sul	10.481
9. Indonésia	5.971	9. Brasil *	9.428
10. Chile	5.000	10. Indonésia	9.363
11. Índia	3.803	11. Índia	8.693
12. Alemanha	2.542	12. Itália	8.449
Demais	24.898	Demais	84.696
TOTAL MUNDO	177.957	TOTAL MUNDO	370.687

Fonte: RISI

*Fonte: Bracelpa

*SIGLAS QUE IDENTIFICAM
PRODUTOS DIFERENCIADOS (CELULOSE E PAPEL)*

<i>BHKP</i>	<i>Bleached hardwood kraft pulp</i>
<i>Bl.</i>	<i>Bleached</i>
<i>BSKP</i>	<i>Bleached softwood kraft pulp</i>
<i>DIP</i>	<i>Deinked pulp</i>
<i>SI</i>	<i>Sulphite pulp</i>
<i>UHKP</i>	<i>Unbleached hardwood kraft pulp</i>
<i>UKP</i>	<i>Unbleached kraft pulp</i>

PULP

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 fiber based

*PAPER
AND
BOARD*

Matérias primas fibrosas

As matérias-primas vegetais utilizadas para a produção de pasta celulósica são bastante variadas, tais como (no Brasil):

- Plantas anuais e resíduos agrícolas: babaçu, bagaço de cana de açúcar, bambu, linter de algodão, estopa de linho e sisal.
- Madeiras: eucalipto, pinus, araucária, acácia e gmelina.

As espécies de madeira usadas no Brasil são:

- “**HARDWOOD**” ou **FOLHOSAS (FIBRAS CURTAS)** : *Eucalyptus spp.* (*) (originário da Austrália e Tasmânia), *Gmelina Arbórea* (originária da Ásia), *Acácia Mearnsii* (originária da África do Sul), *Bragantina* (*Mimosa Scrabella*, espécie nativa).
(*): *saligna*, *grandis*, *urophylla*, *globulus*, *teriticornis*, etc.
- “**SOFTWOOD**” ou **CONÍFERAS (FIBRAS LONGAS)**: *Pinus spp.* (**) (Originárias dos EUA e América Central (algumas originalmente provieram da Europa)
(**): *elliottii*, *taeda*, *caribaea*, *patula*, etc.



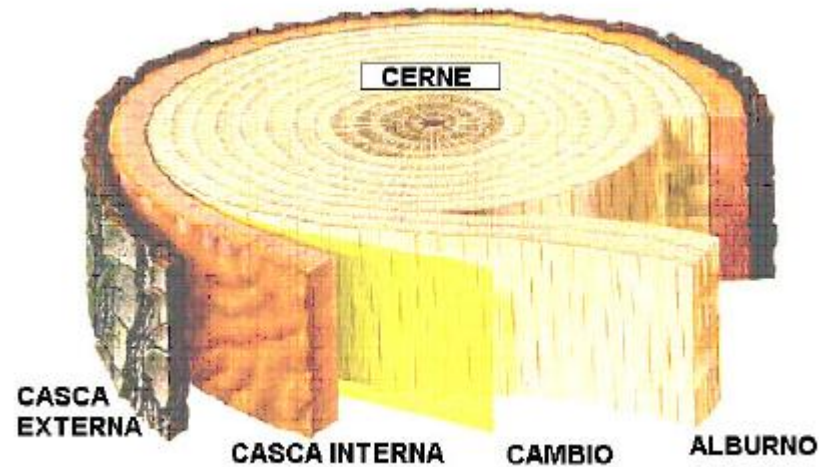
Matérias primas fibrosas

Outras fibras usadas fora do Brasil:

- “SOFTWOODS” : abeto vermelho (“spruce”)
- “HARDWOODS”: bétula (“birch”), bordo (“maple”), álamo ou faia (“aspen”), carvalho (“oak”), etc.

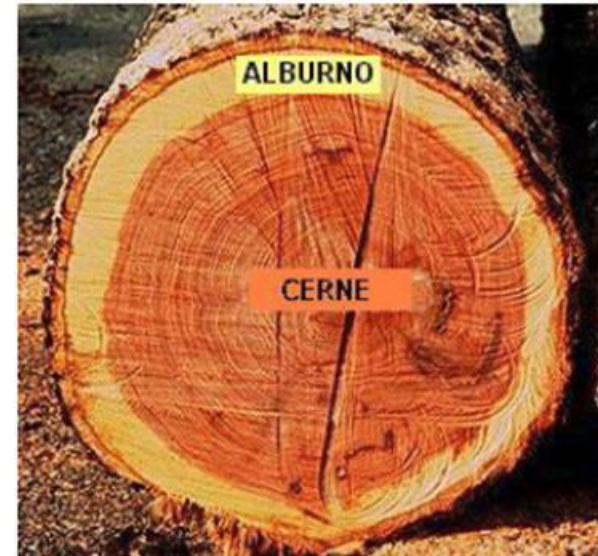
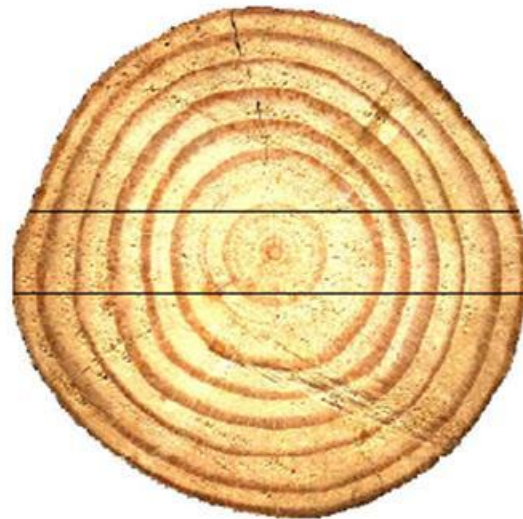


Matérias primas fibrosas



Casca interna: floema

Casca externa: cortex

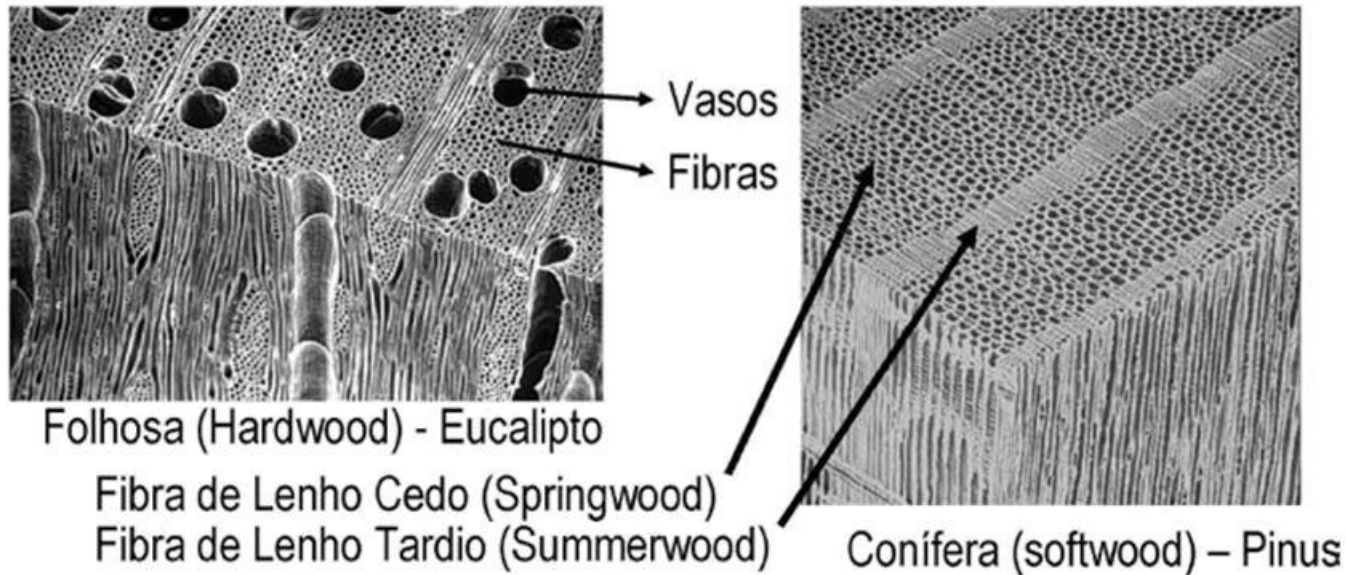


Coníferas

Folhosas

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

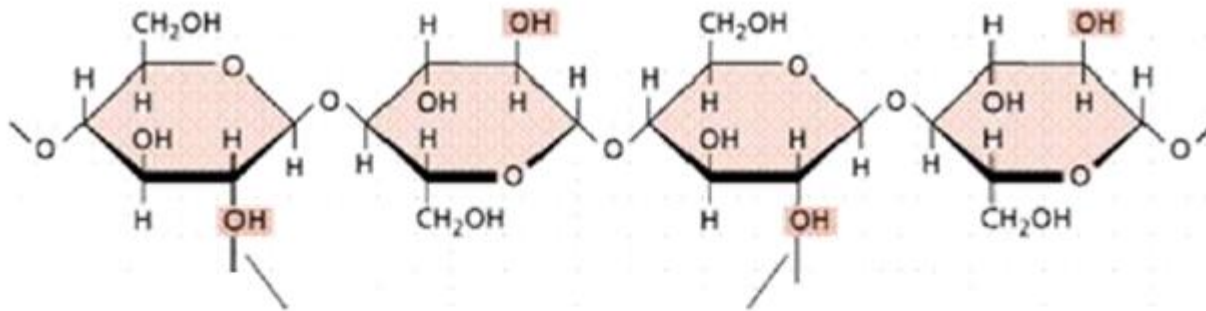
Matérias primas fibrosas



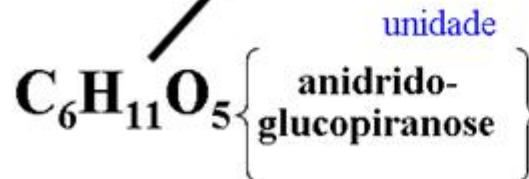
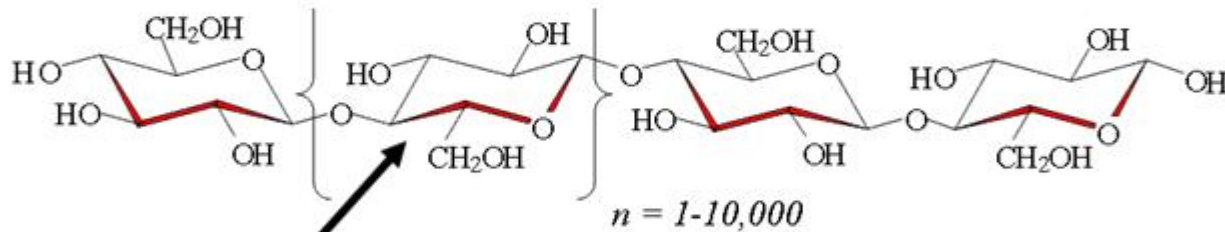
<u>Função</u>	<u>Coníferas (Softwood) – Pinus</u>	<u>Folhosas (Hardwood) - Eucalipto</u>
Condução	Fibras	Vasos
Suporte	Fibras	Fibras

Figura 2.02 (FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski)

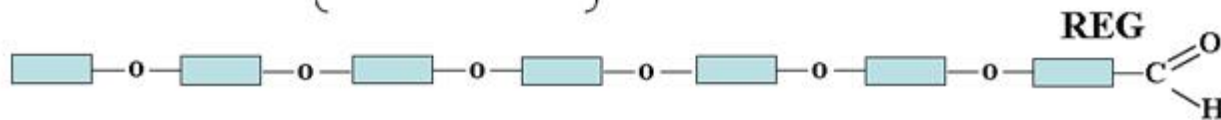
Morfologia e química da madeira



Posições onde ocorrem a formação de pontes de hidrogênio intermoleculares

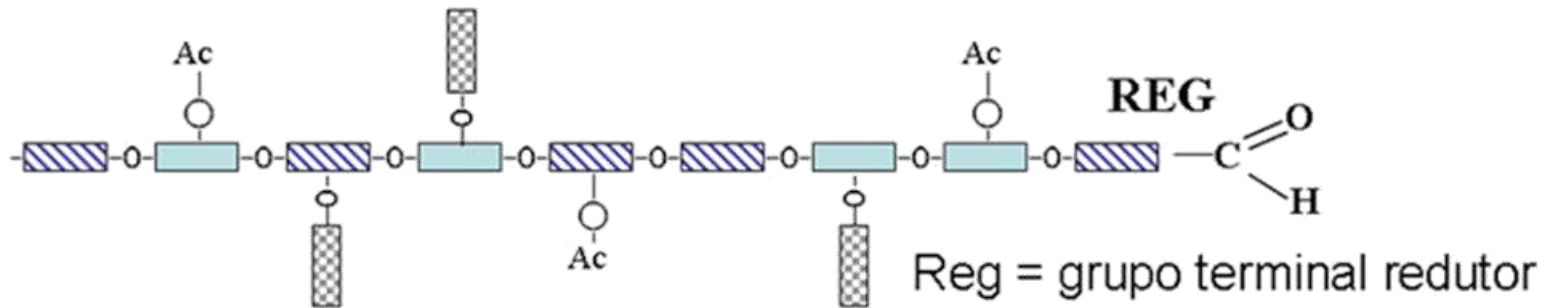


Reg = grupo terminal redutor



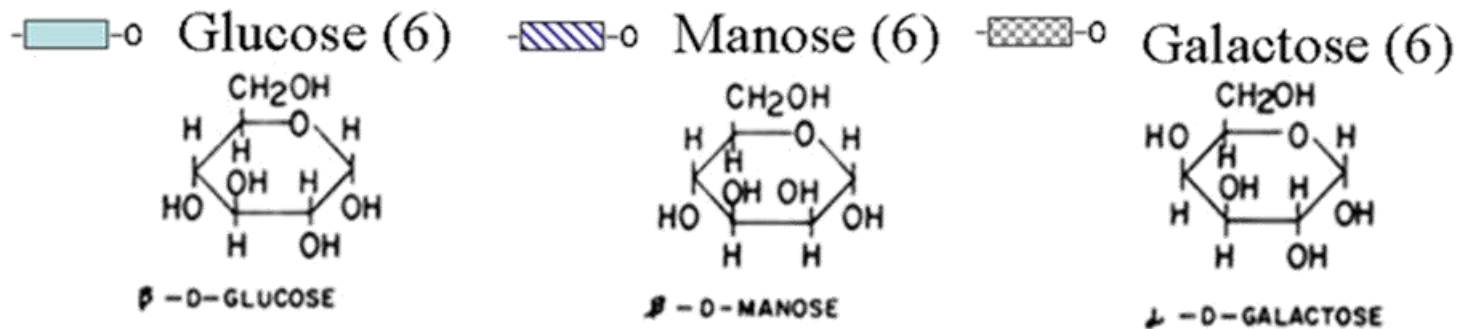
Morfologia e química da madeira

Estrutura molecular da hemicelulose



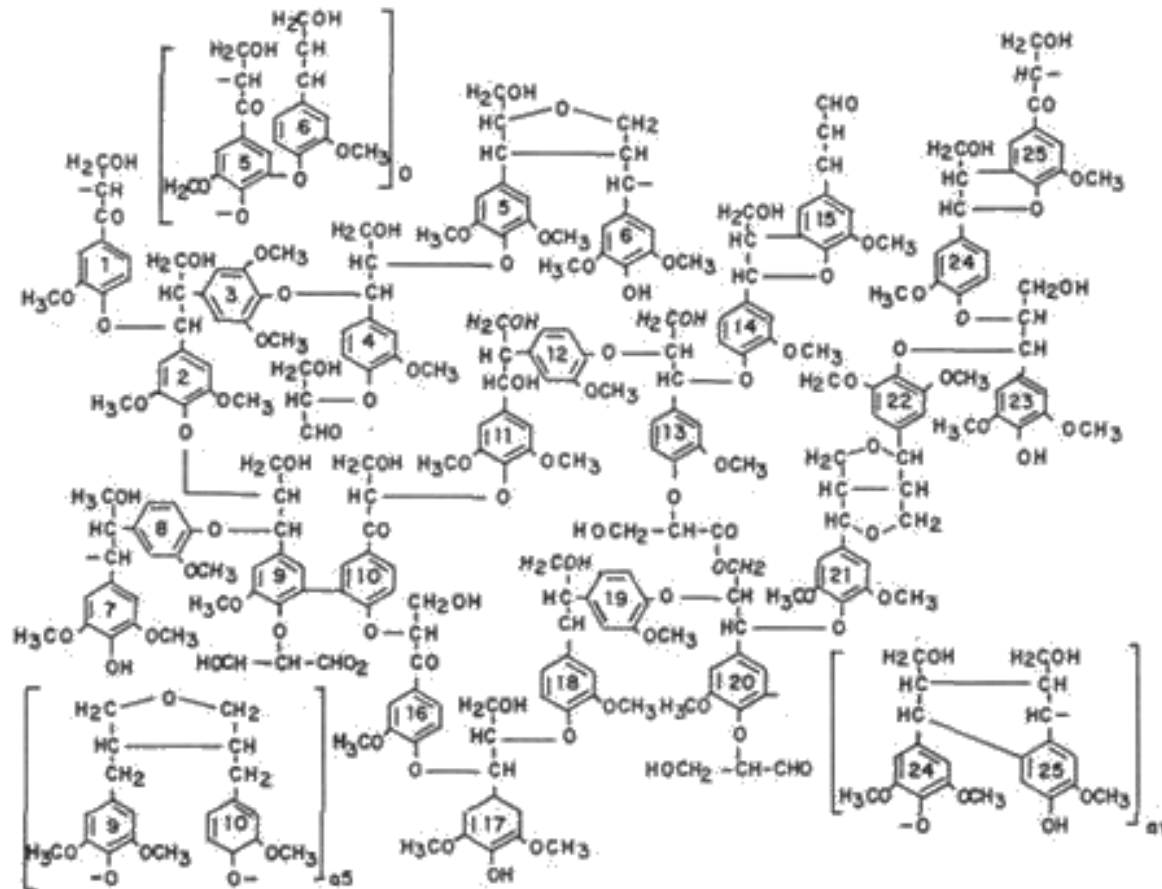
Maior hemicelulose de coníferas: Galactoglucomanana DP 200

Ac—O— Grupo acetil

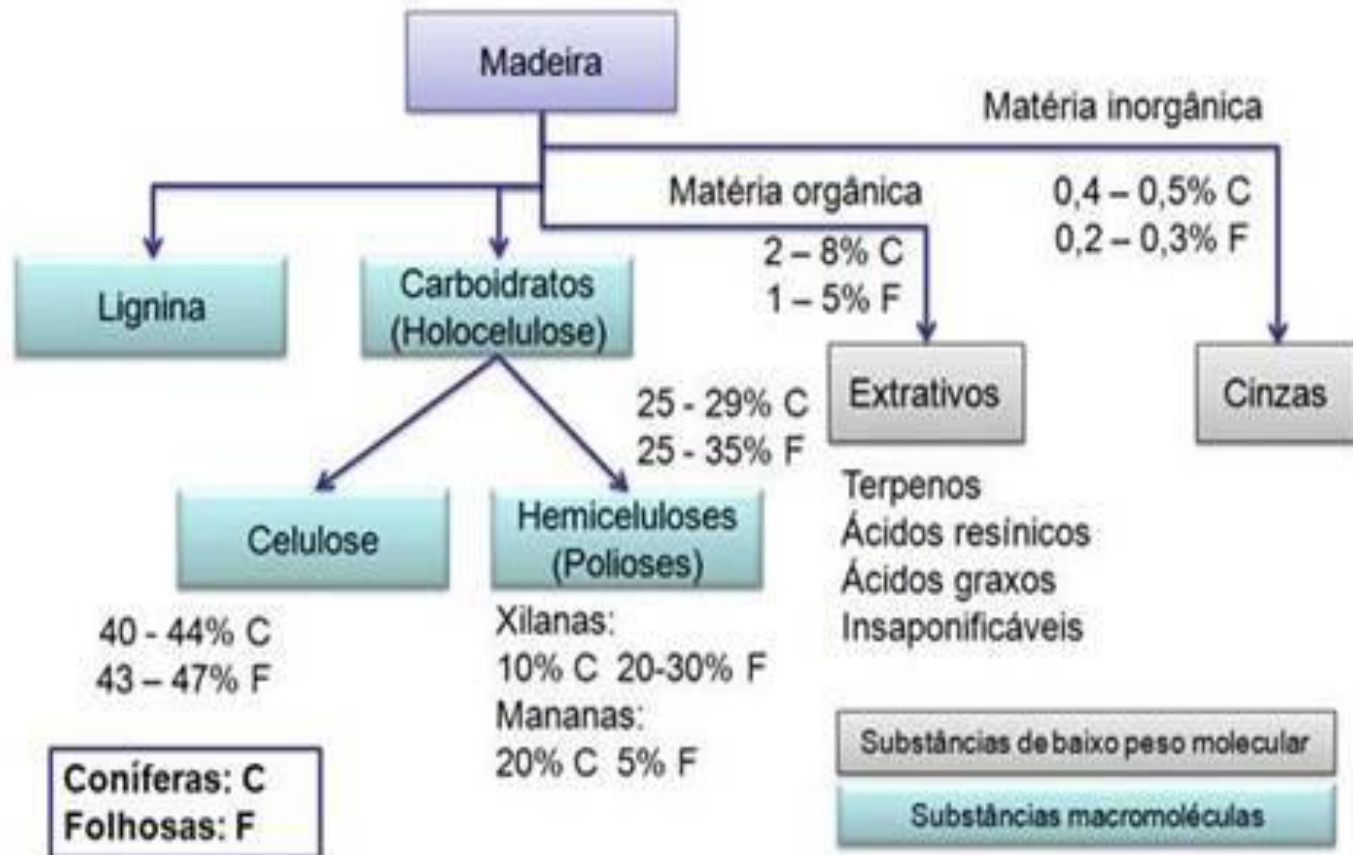


Morfologia e química da madeira

Exemplo de modelo da molécula de lignina

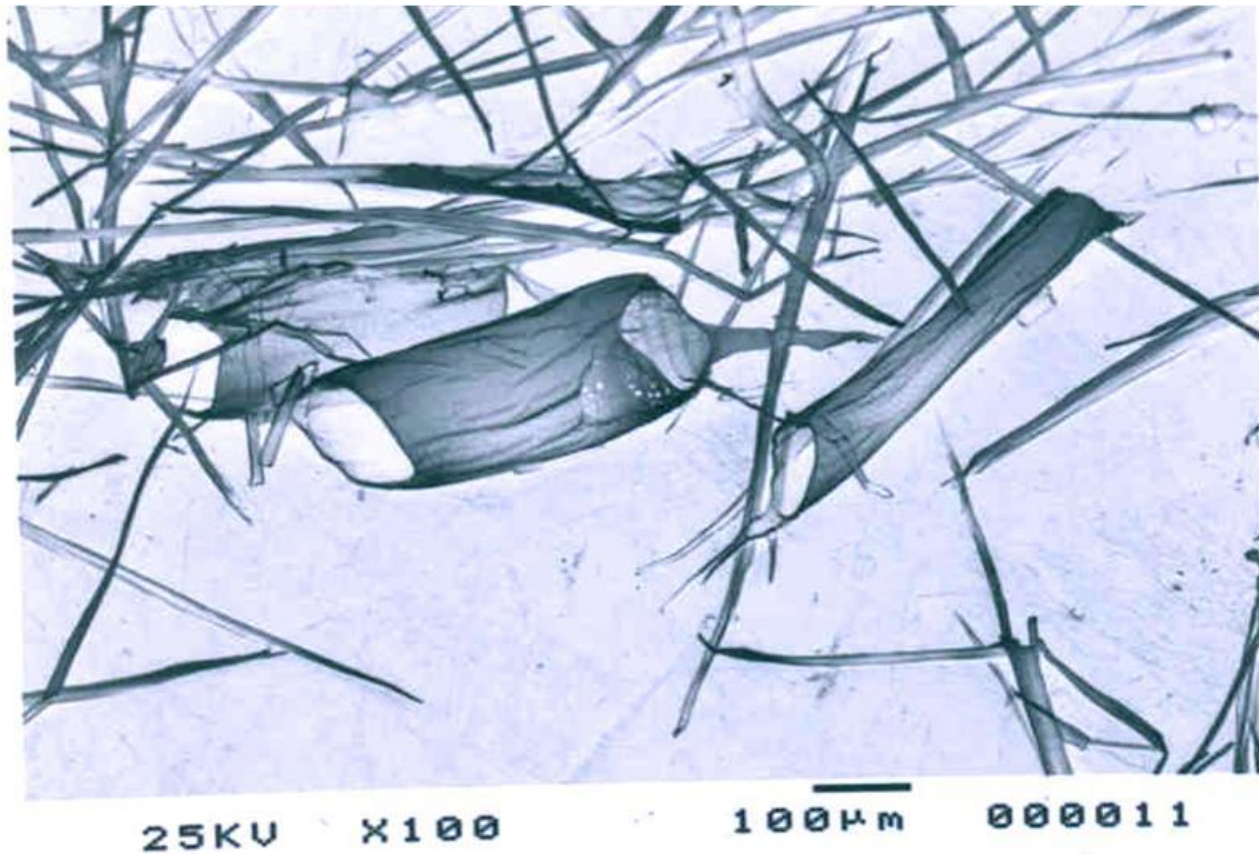


Morfologia e química da madeira

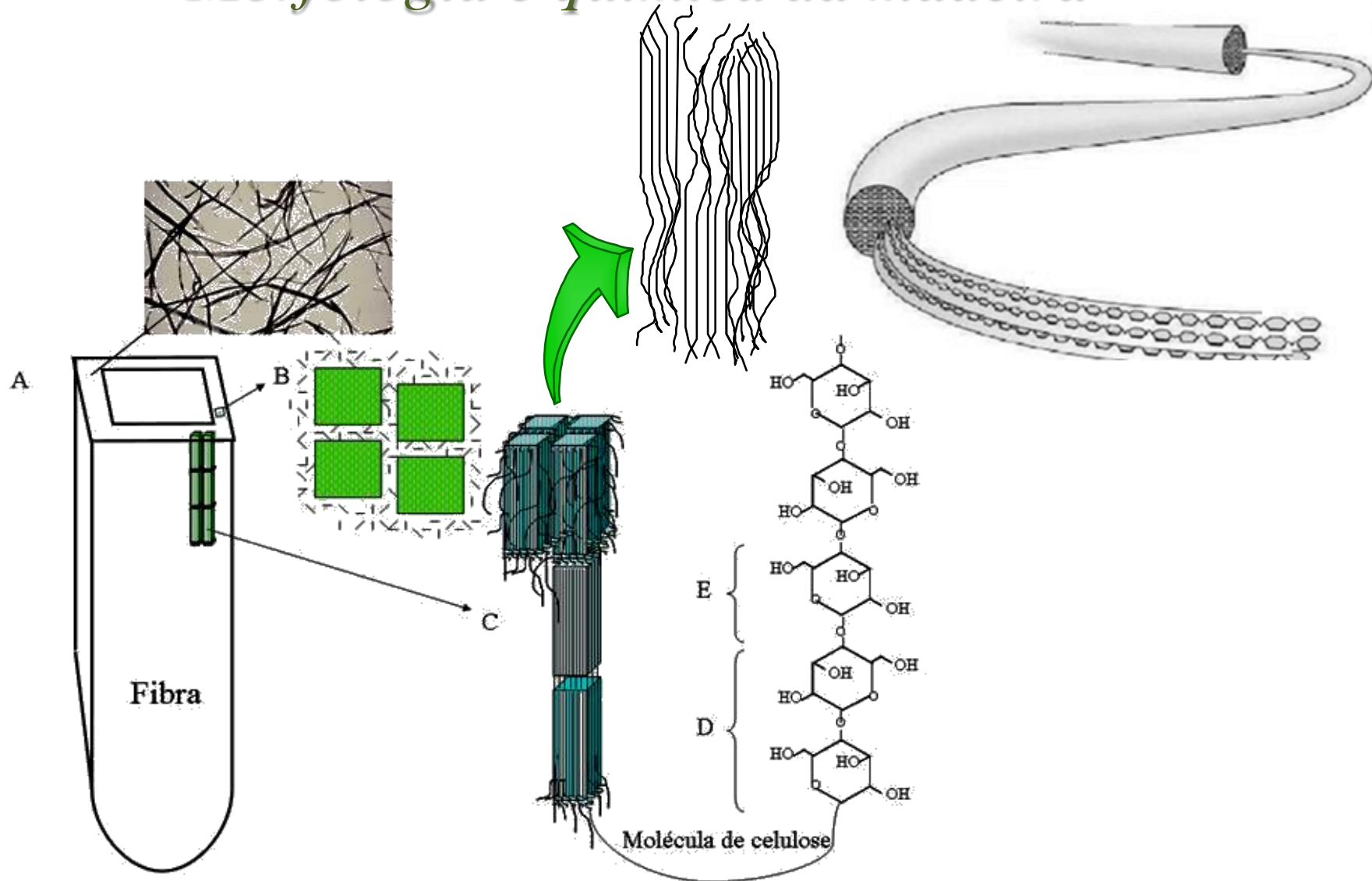


Morfologia e química da madeira

Amostras de fibras de eucalipto e elemento de vasos

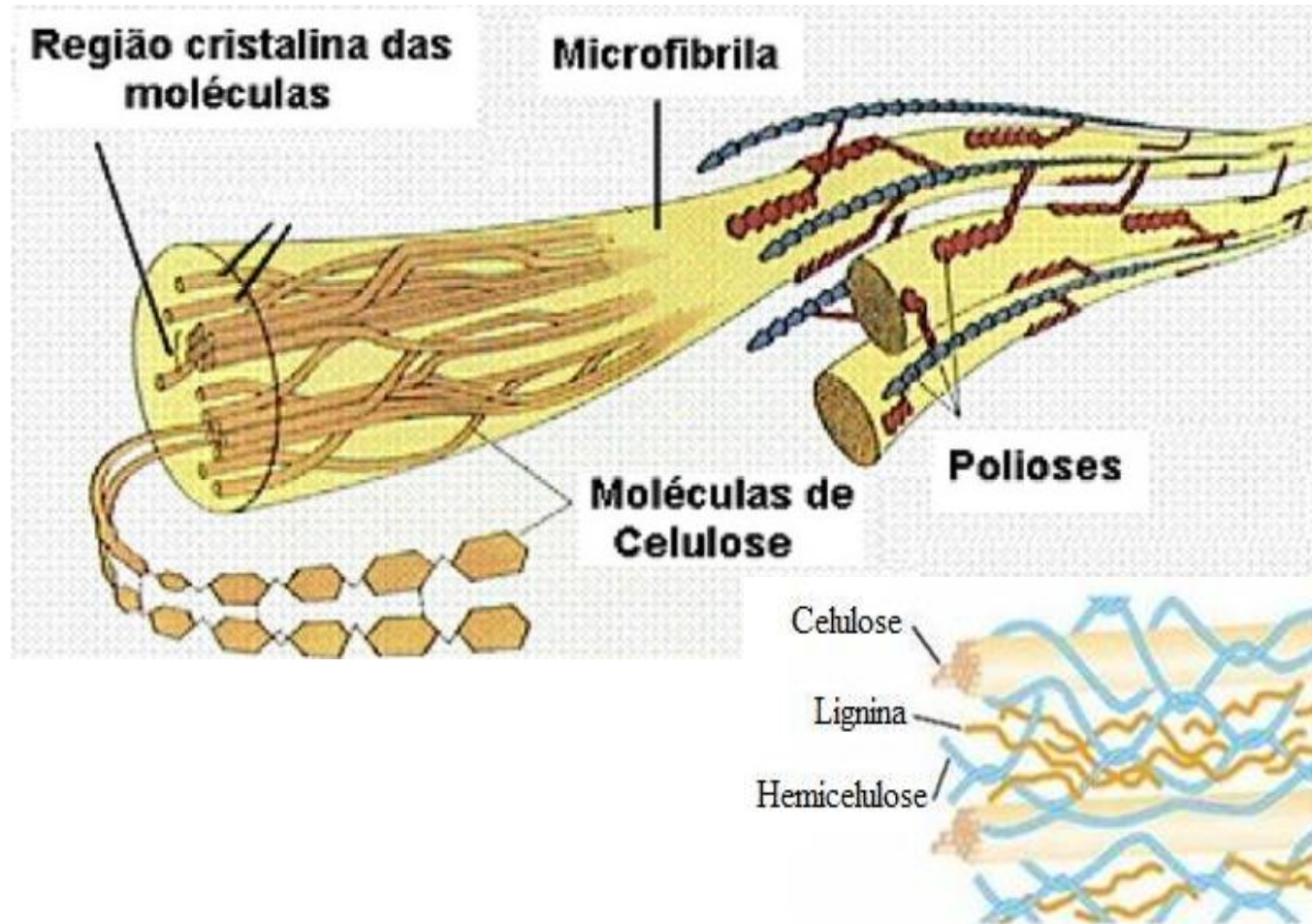


Morfologia e química da madeira



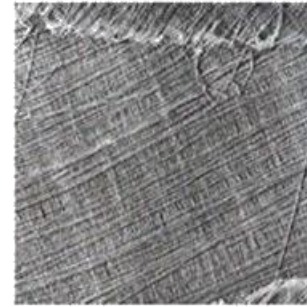
Morfologia e química da madeira

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

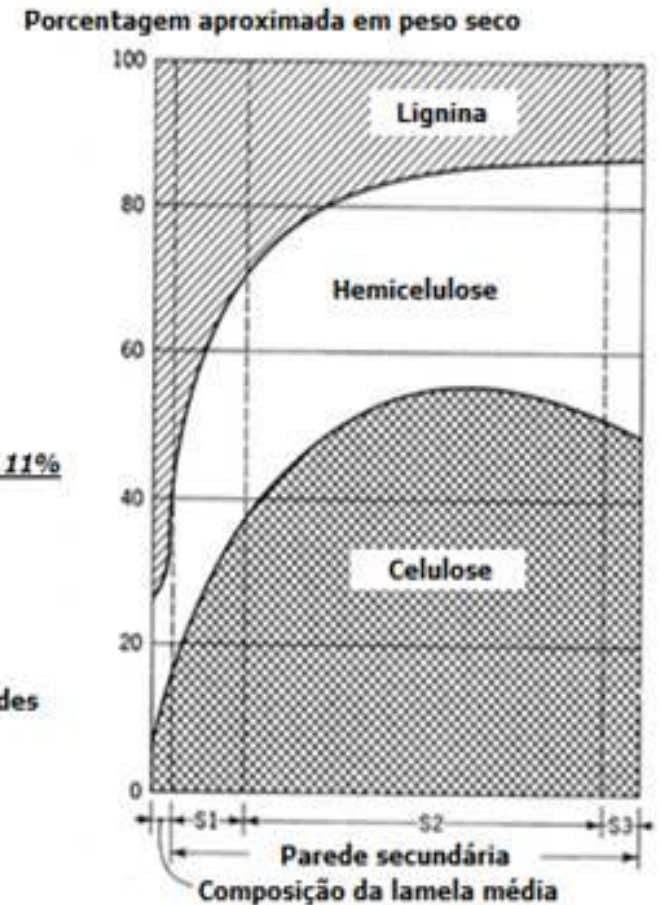
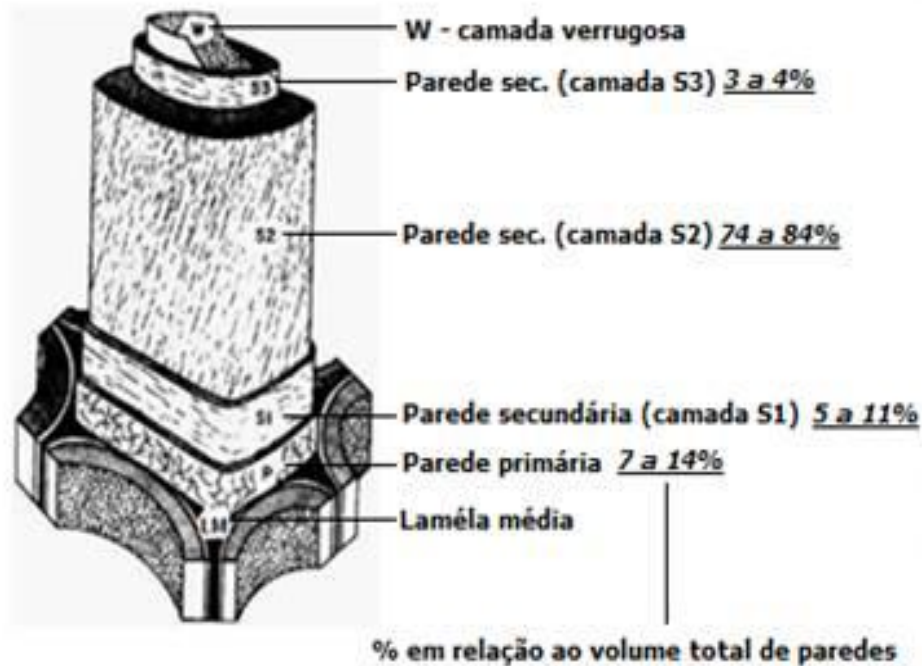


Morfologia e química da madeira

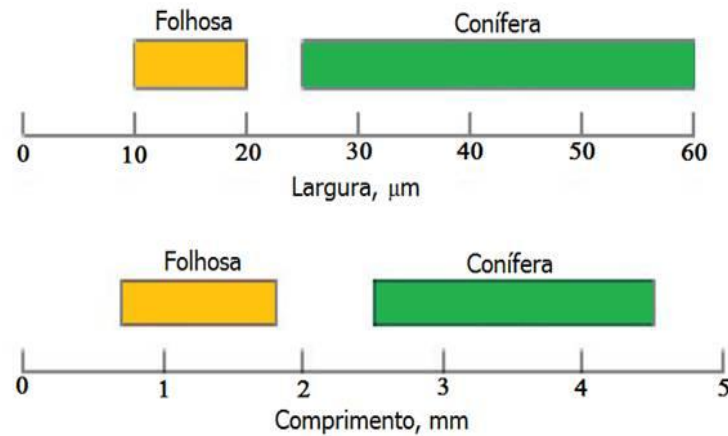
A distribuição de celulose, hemicelulose e lignina na fibra



S1 - microfibrilas



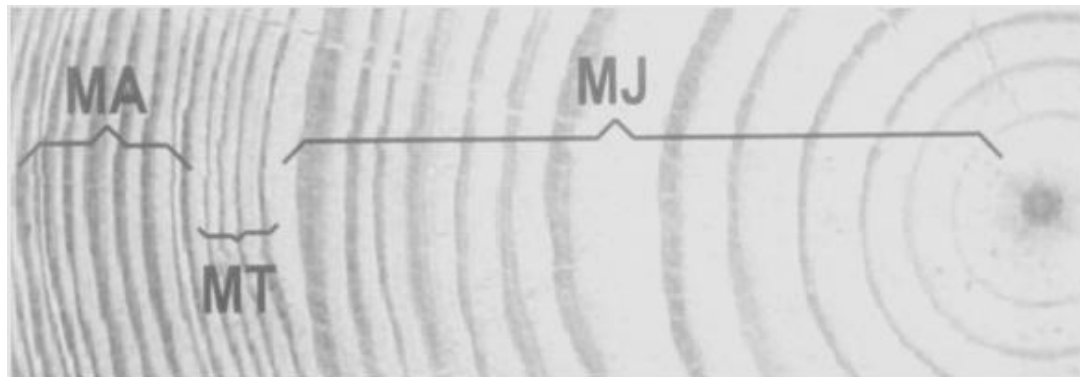
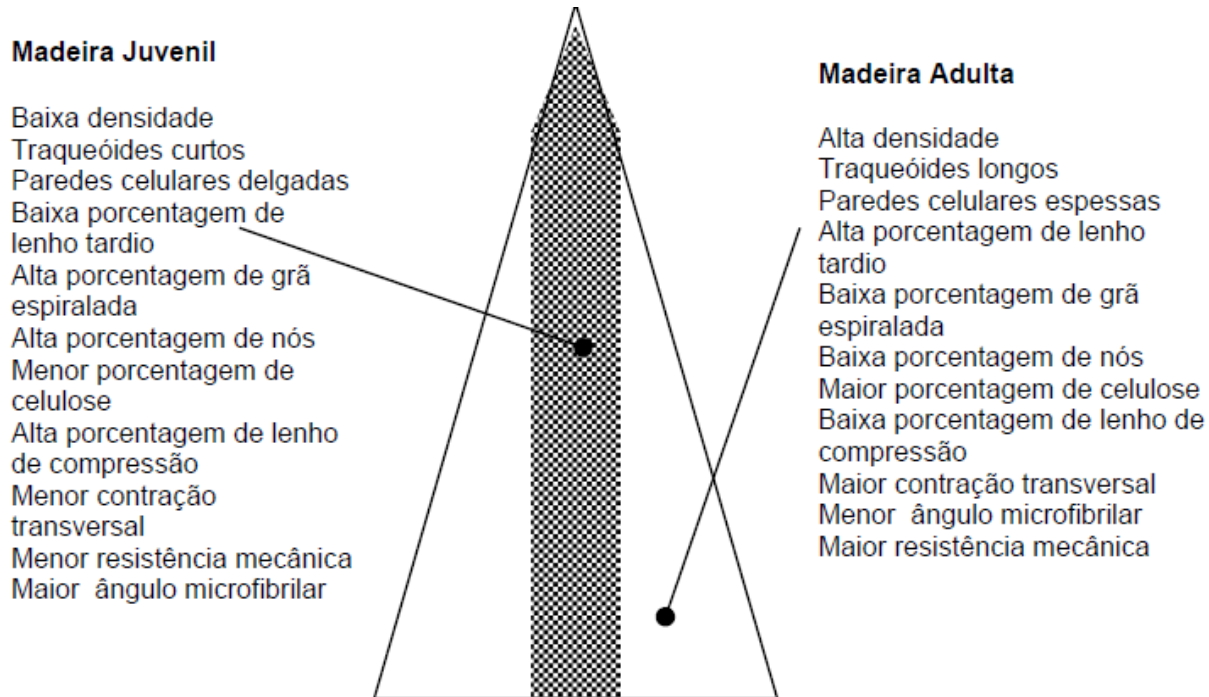
Morfologia e química da madeira



Propriedade	Fibra longa	Fibra curta
<i>Energia de refino</i>	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>
<i>Resistência mecânica</i>	<i>Alta</i>	<i>Baixa</i>
<i>Maciez</i>	<i>Baixa</i>	<i>Alta</i>
<i>Volume específico</i>	<i>Baixo</i>	<i>Alto</i>
<i>Formação</i>	<i>Má</i>	<i>Boa</i>
<i>Absorção</i>	<i>Razoável</i>	<i>Boa</i>
<i>Alvura</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>
<i>Opacidade</i>	<i>Baixa</i>	<i>Alta</i>

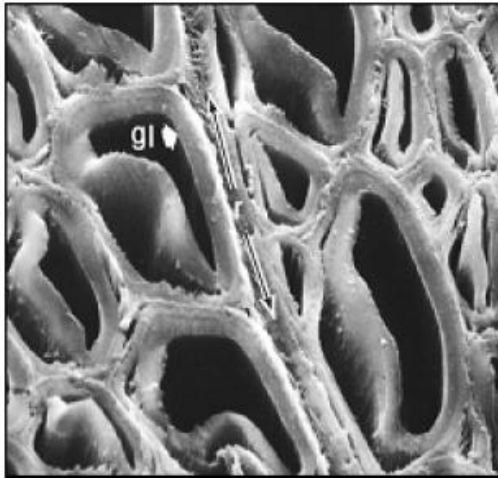
Variabilidade na árvore

Madeira juvenil e adulta

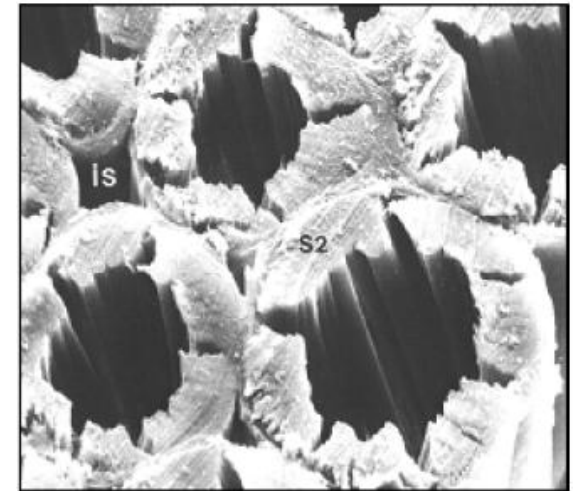


FONTE: *Química da madeira (Umberto Klock et alli)*

Variabilidade na árvore



Madeira de reação



*Folhosas:
lenho de tração*



*Coníferas:
lenho de compressão*



Principais propriedades físicas da madeira

Umidade ou teor de água (%)

Densidade básica (g/cm³)

Poder calorífico da madeira (MJ/kg)



Reflorestamento das espécies



Produção de mudas

Preparo do solo

Sulcamento e marcação do solo

Plantio

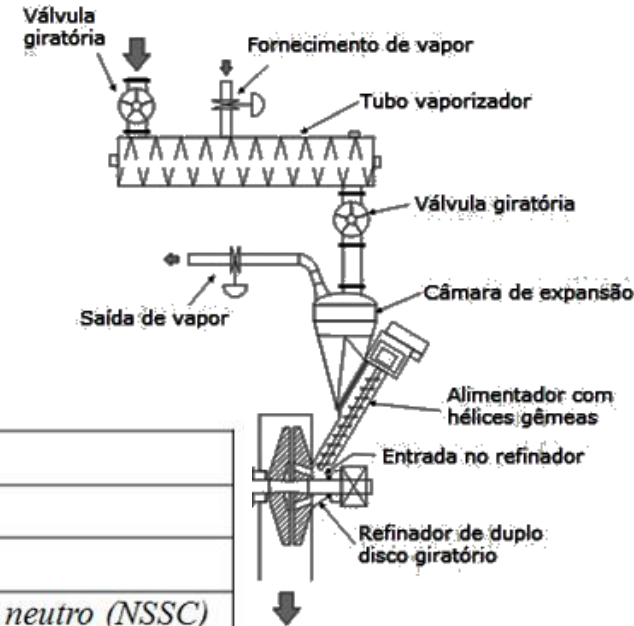
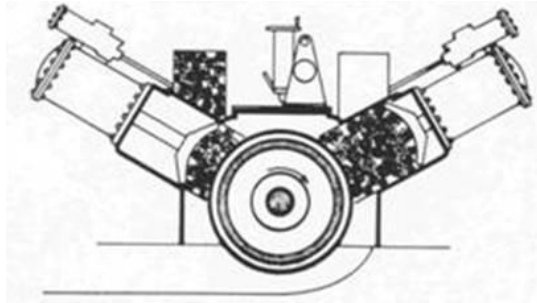
Manejo

Exploração e transporte

Exploração e transporte

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.

Processos de fabricação de celulose



<i>Processos de alto rendimento</i>	<i>Mecânico (GW)</i>	
	<i>Termomecânico (TMP)</i>	
	<i>Quimitemecânico (CTMP)</i>	
	<i>Semiquímico</i>	<i>Sulfito neutro (NSSC)</i>
<i>Processos químicos</i>	<i>Alcalinos</i>	<i>Soda a frio</i>
		<i>Soda a quente</i>
		<i>Soda</i>
	<i>Ácidos</i>	<i>"Kraft"</i>
		<i>Sulfito alcalino</i>
		<i>Sulfito neutro</i>
	<i>Sulfito ácido</i>	

Processo “Kraft” de fabricação

Em 1884, foi patenteado o processo “Kraft” que, nada mais é do que uma modificação no processo soda, utilizado comercialmente, pela primeira vez em 1885 na Suécia, tomando impulso a partir de 1930 e predominando no mercado até os dias atuais.

A palavra “Kraft” é de origem sueca e alemã que significa “FORÇA”, identificando desta forma uma celulose mais resistente.

Processo “Kraft” de fabricação

Digestão da madeira através do licor branco (NaOH e Na₂S):

Consiste na dissolução da lignina e liberação das fibras contidas na madeira.

Produz o licor preto e celulose marrom.



O processo pode ser exemplificado de maneira simplificada através da equação:

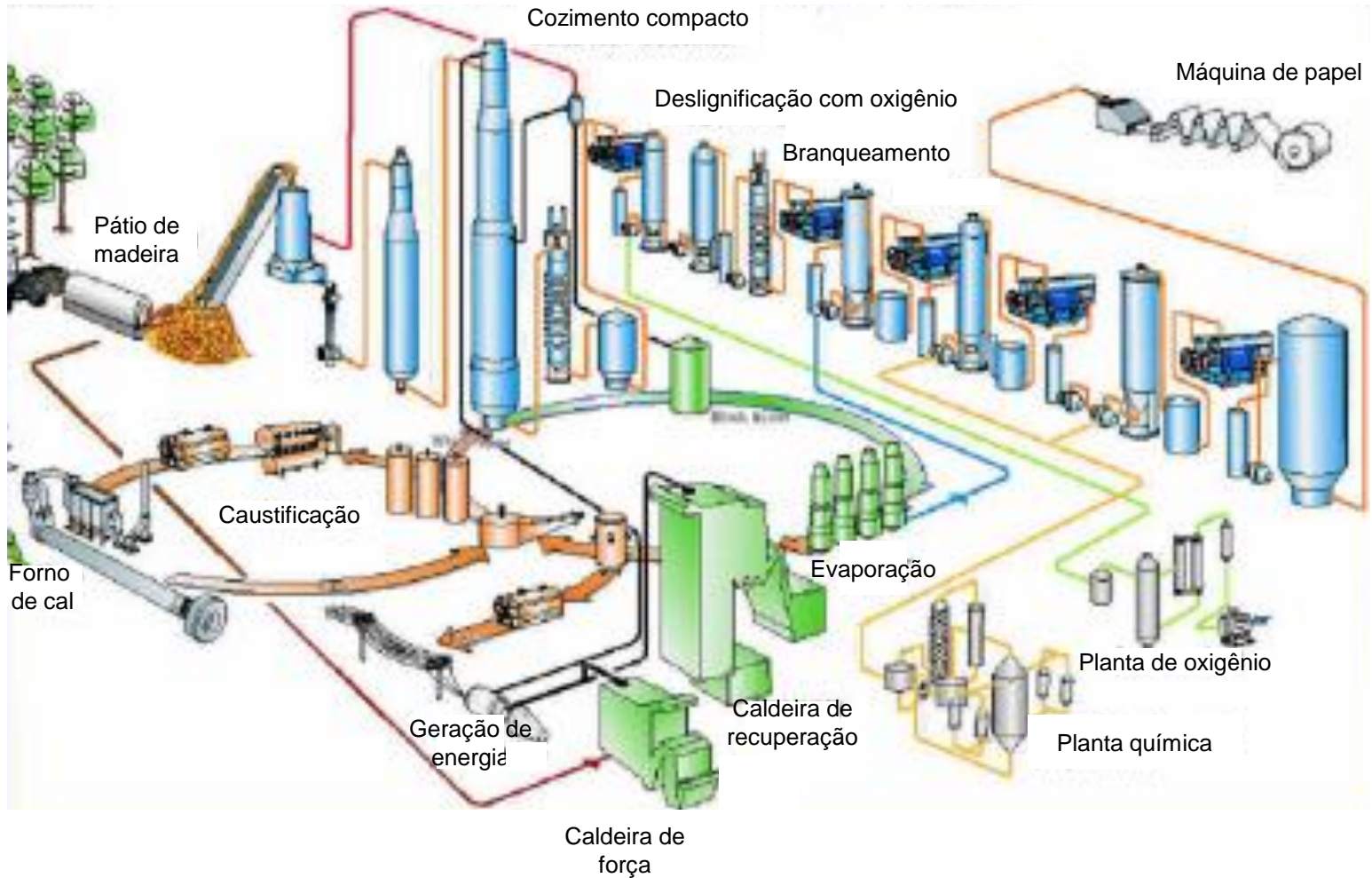
Madeira (fibras + lignina) + reagentes químicos = “celulose” + lignina solúvel

Utilizando-se a terminologia de uso corrente na indústria, a equação acima fica:

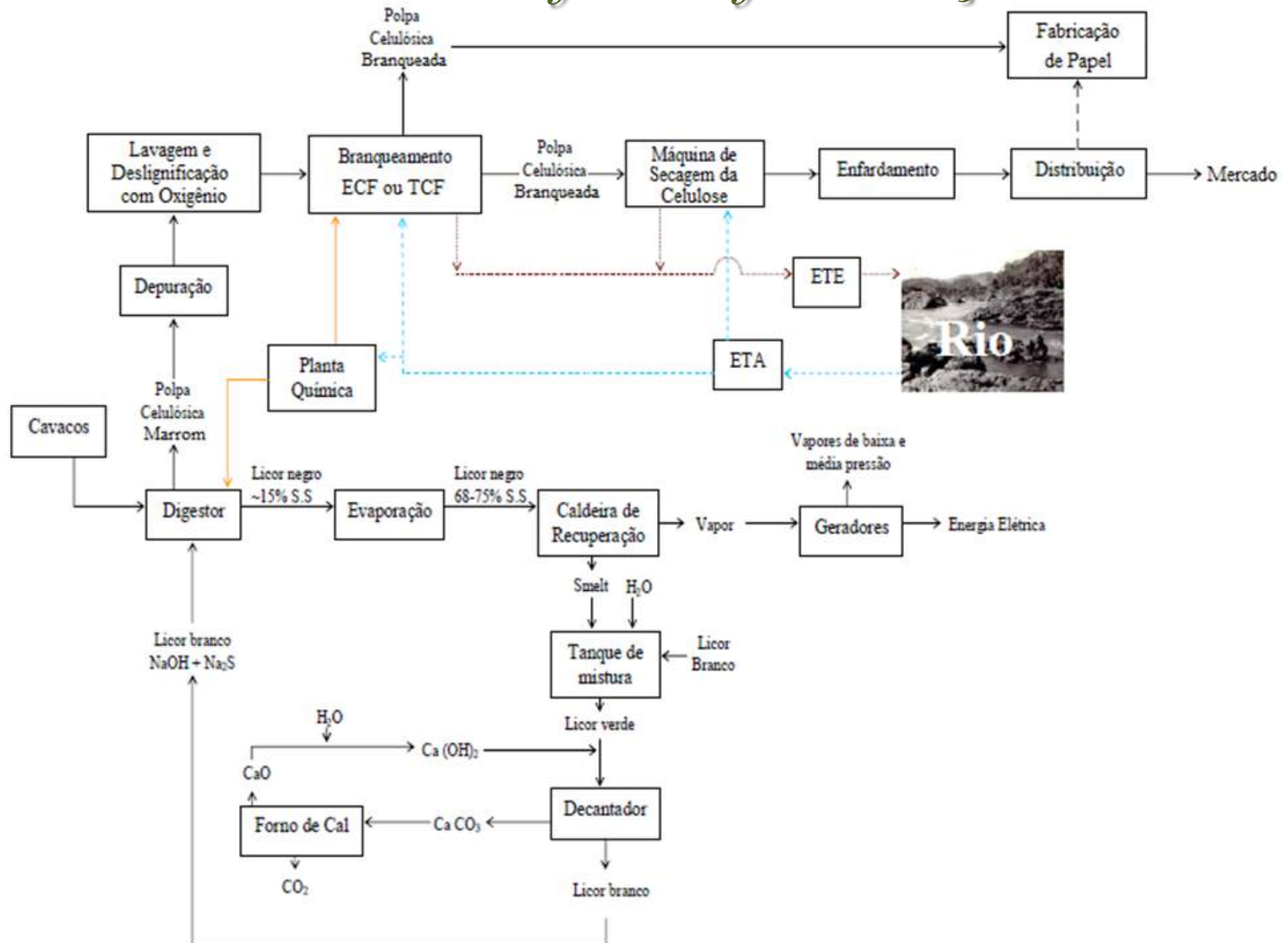
Madeira + licor branco (NaOH + Na₂S) = “celulose” + licor negro

FONTE: Senai CETCEP

Processo “Kraft” de fabricação



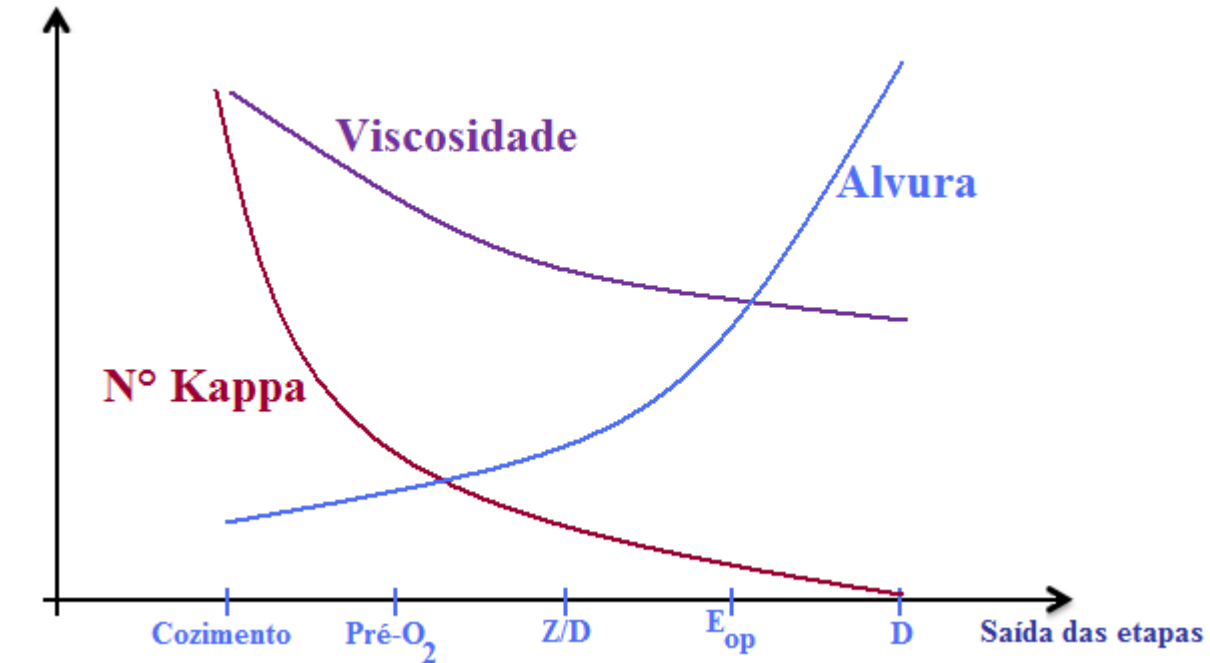
Processo “Kraft” de fabricação



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

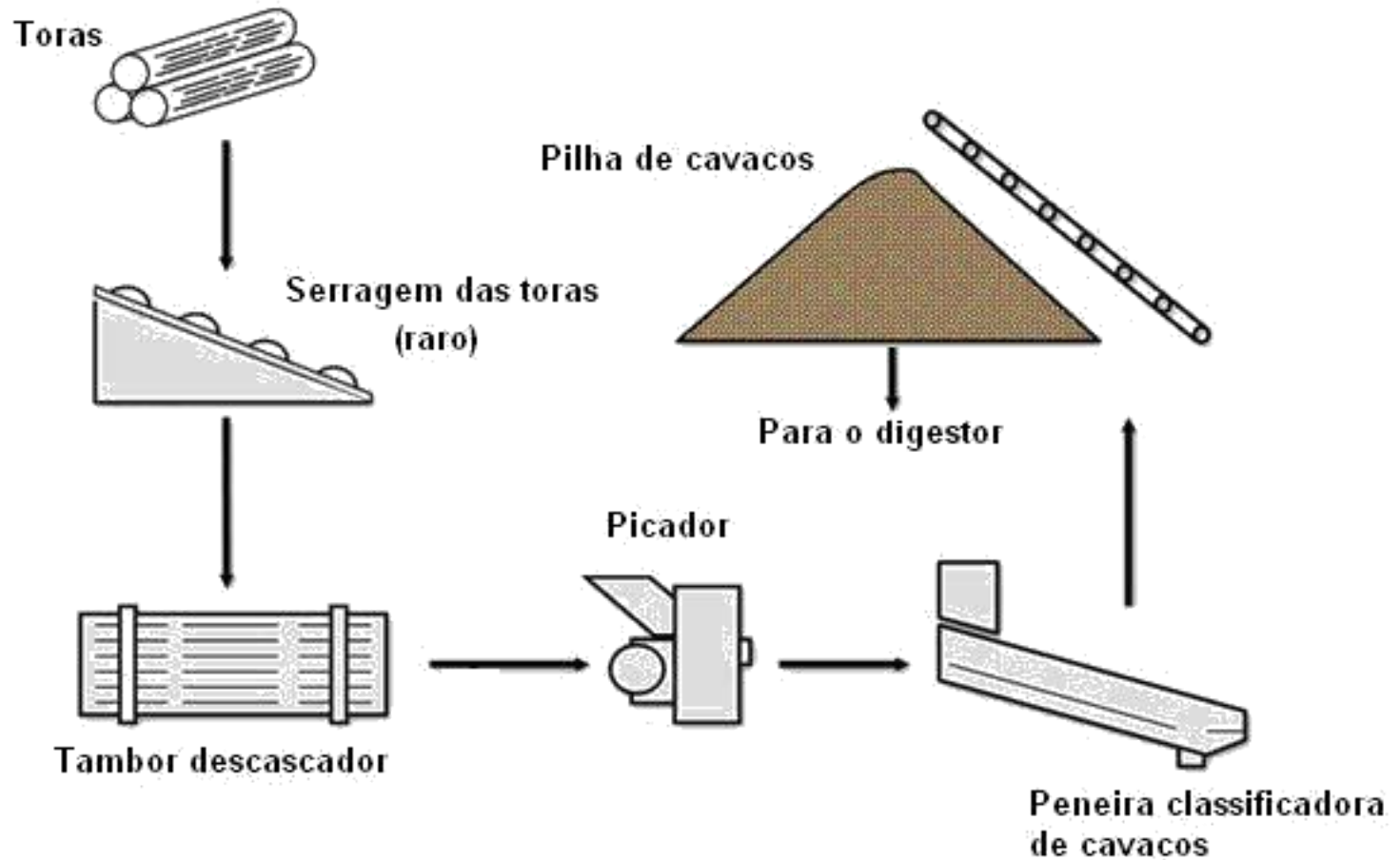
Processo “Kraft” de fabricação

Principais variáveis operacionais



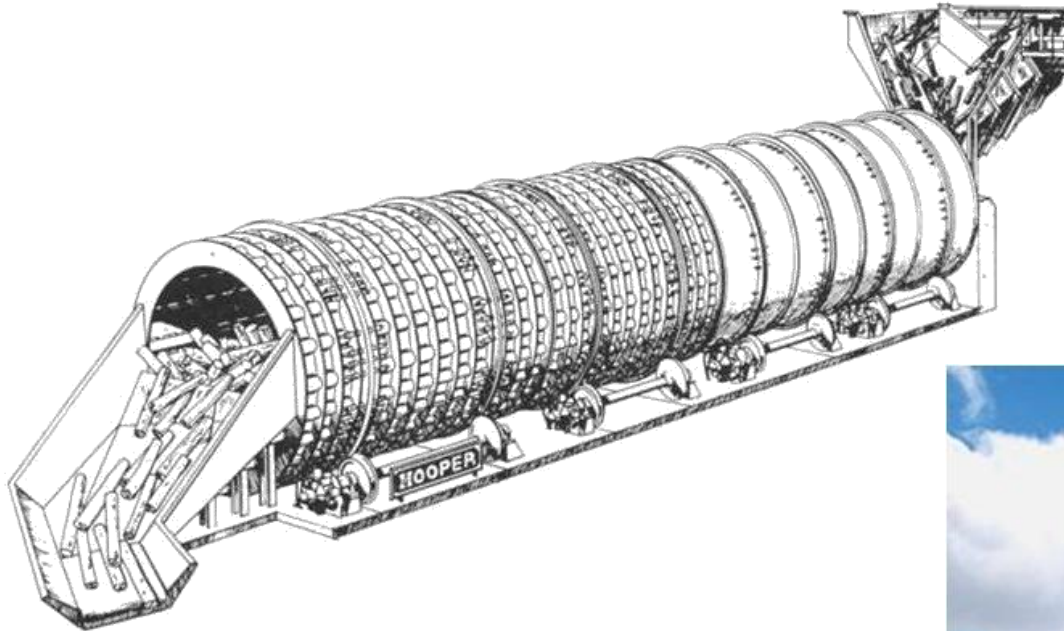
FONTE: Montagem – Edison da Silva Campos

Preparação da madeira



Preparação da madeira

Descascador de tambor (fábrica)



FONTE: CELULOSE E PAPEL - SENAI "Theobaldo de Nigris" / IPT

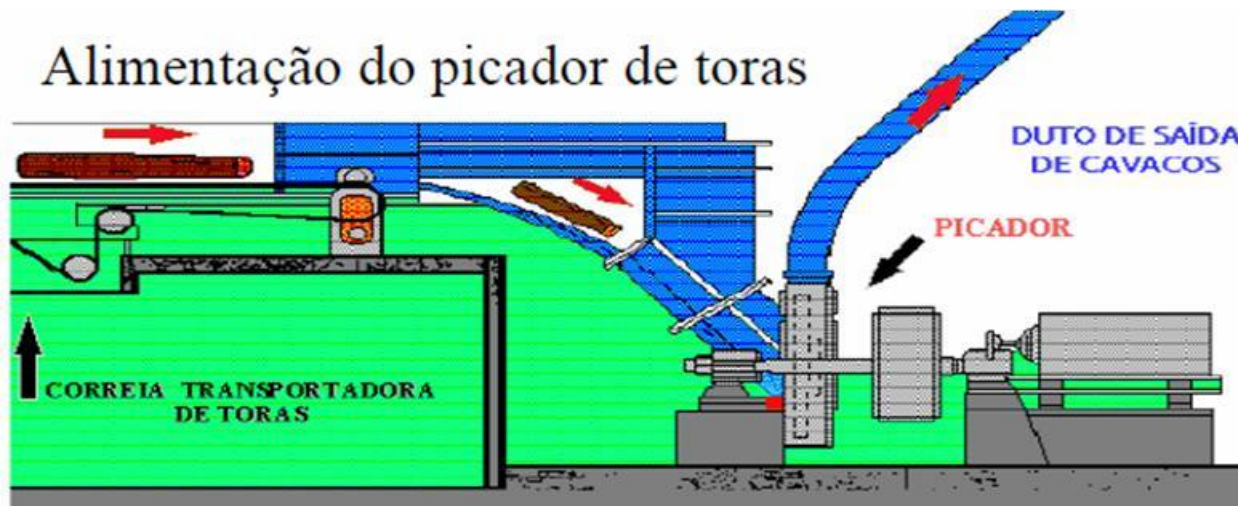
Preparação da madeira

Picagem



Preparação da madeira

Picagem



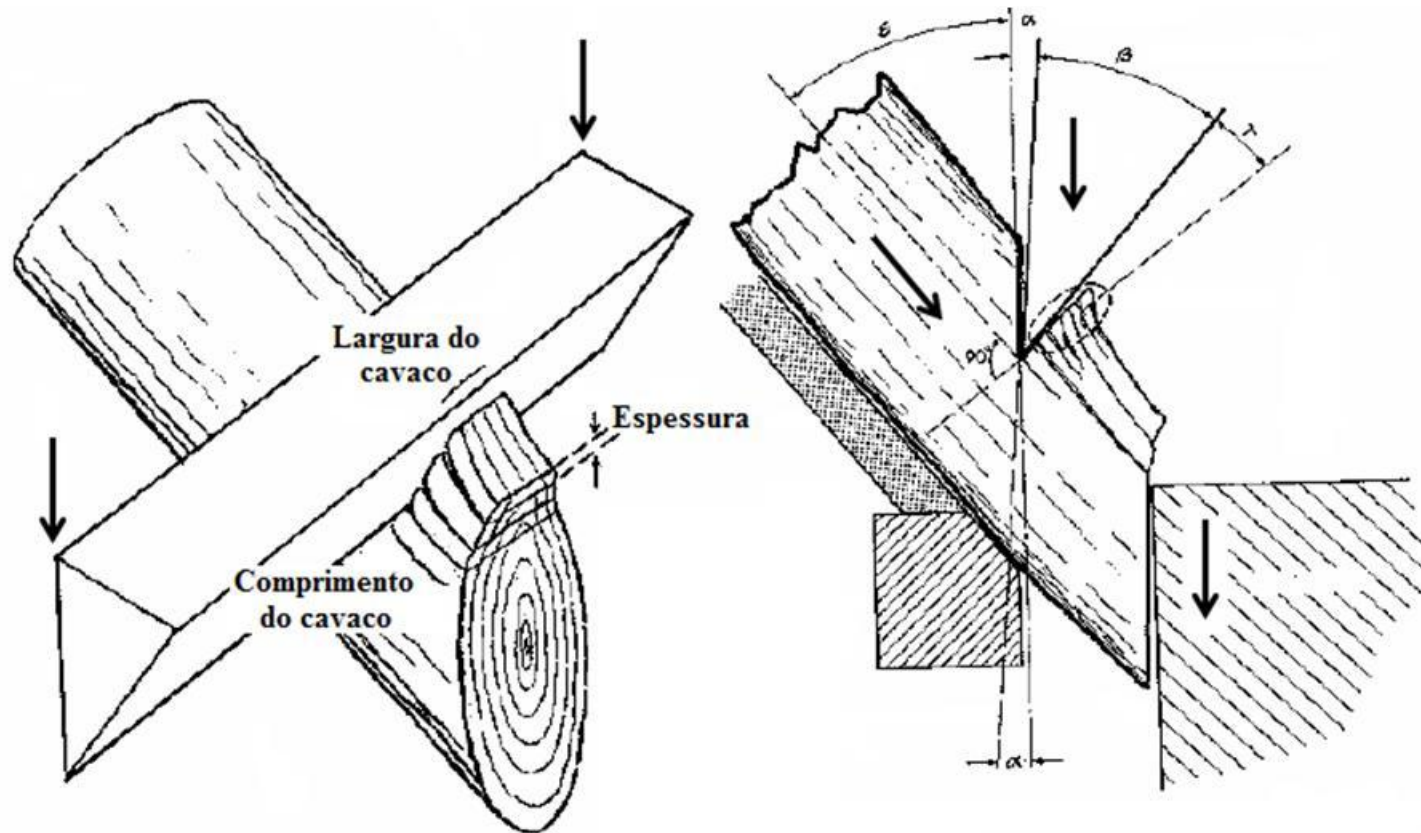
Picador



Picador aberto

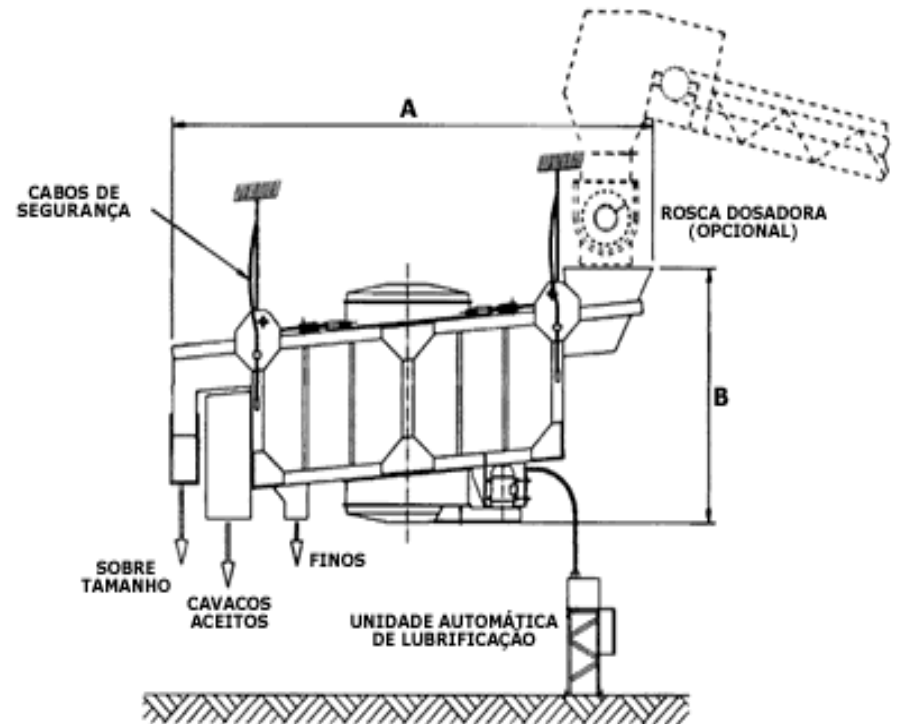
Preparação da madeira

Esboços da ação de picagem



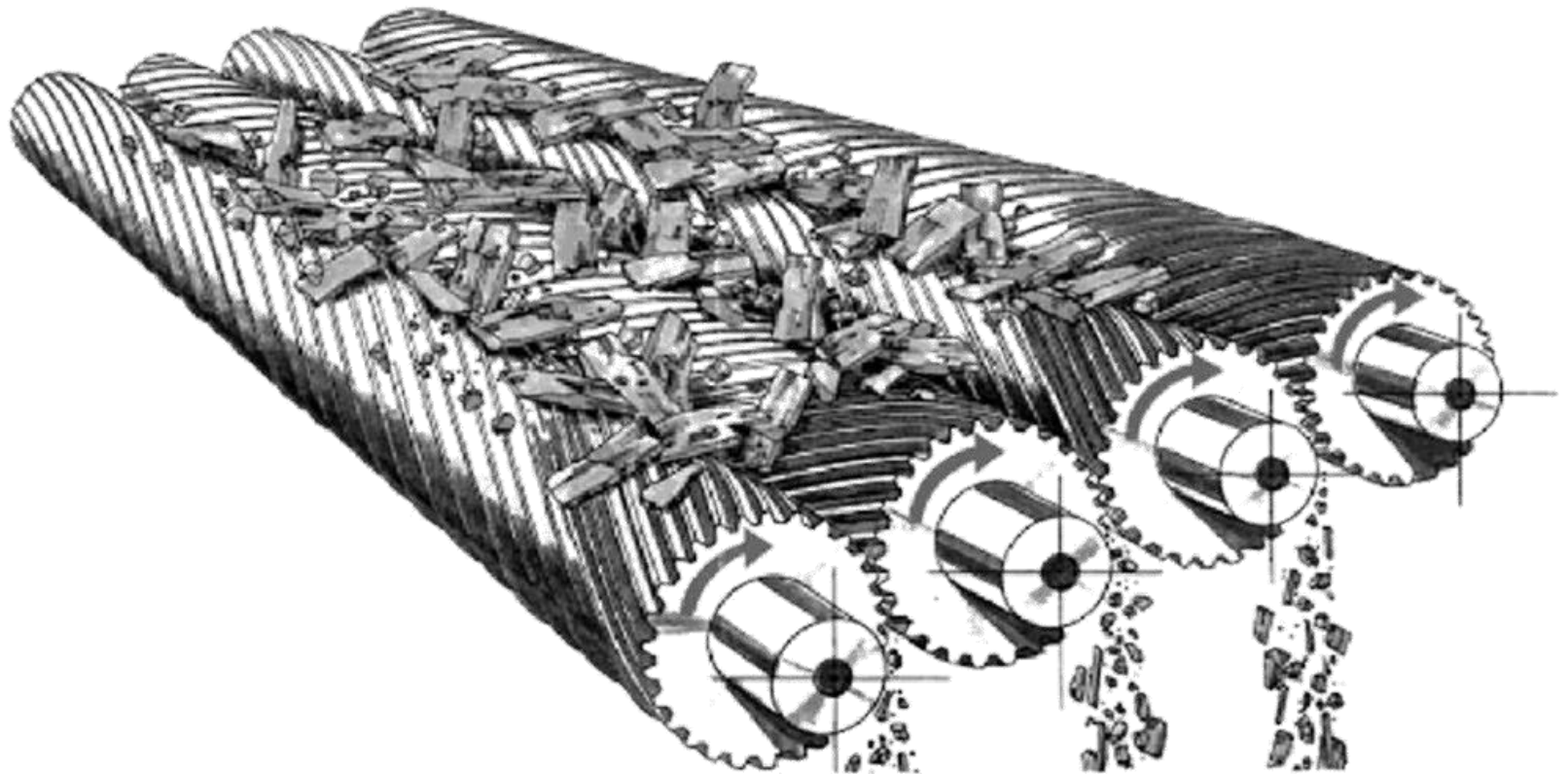
Preparação da madeira

Classificação de cavacos



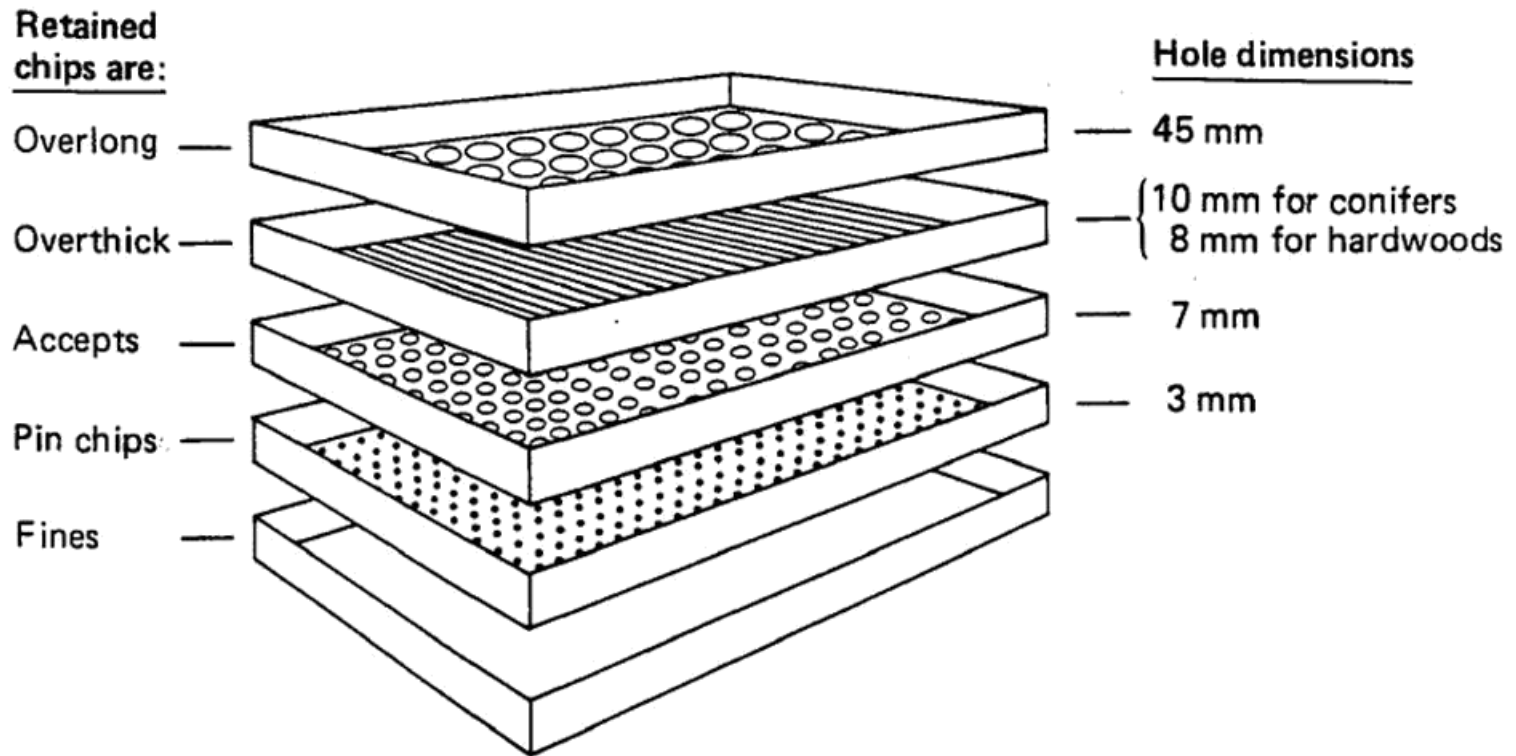
Preparação da madeira

Classificação por espessura (rolos com sulcos)



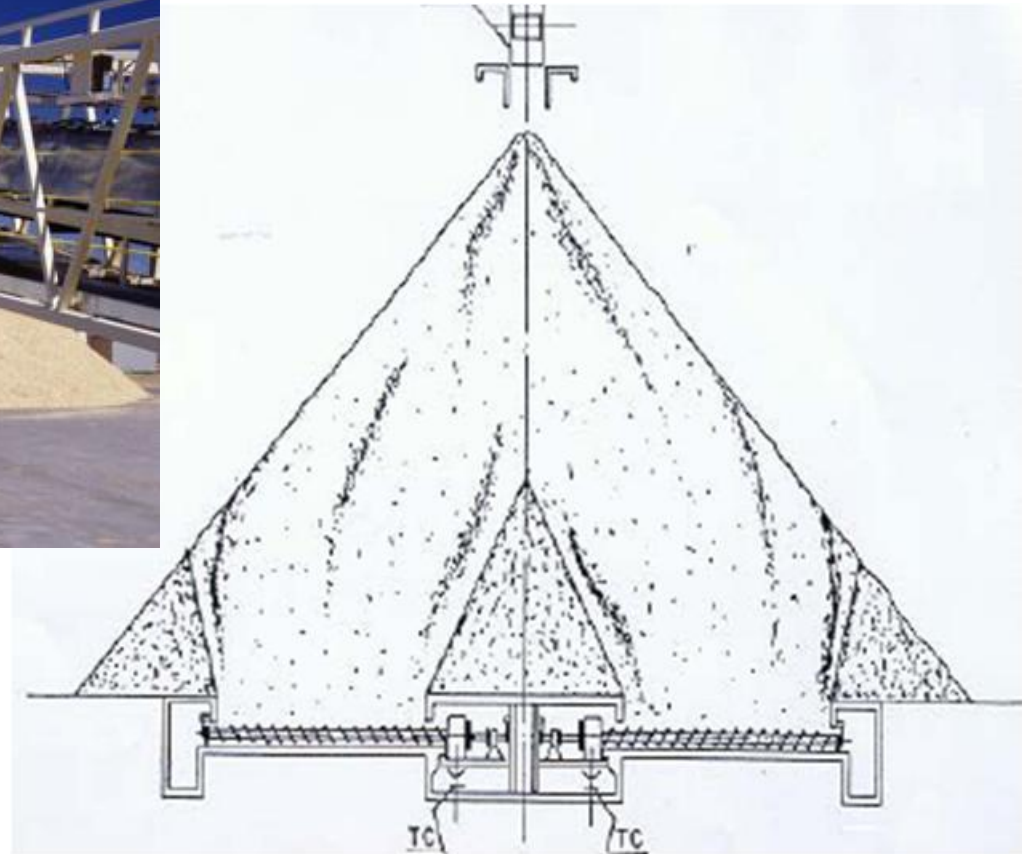
Preparação da madeira

Classificação de cavacos SCAN-CN- 40:94



Preparação da madeira

Estocagem e direcionamento de cavacos

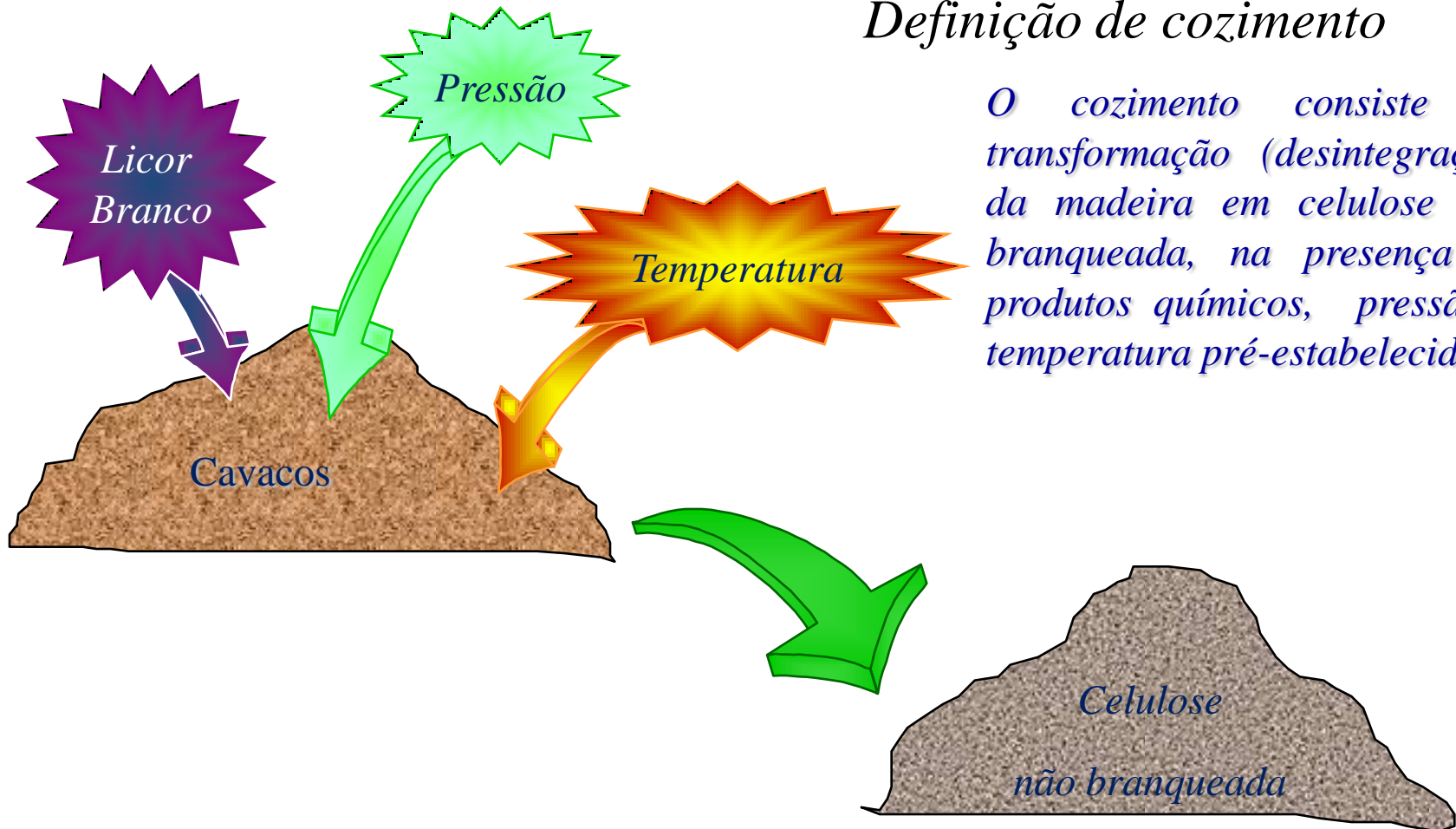


FONTES: Papier Masson Itée – www.papiermassom.com
& Tecnologia e química da produção de celulose – José Lívio Gomide

Polpação “Kraft”

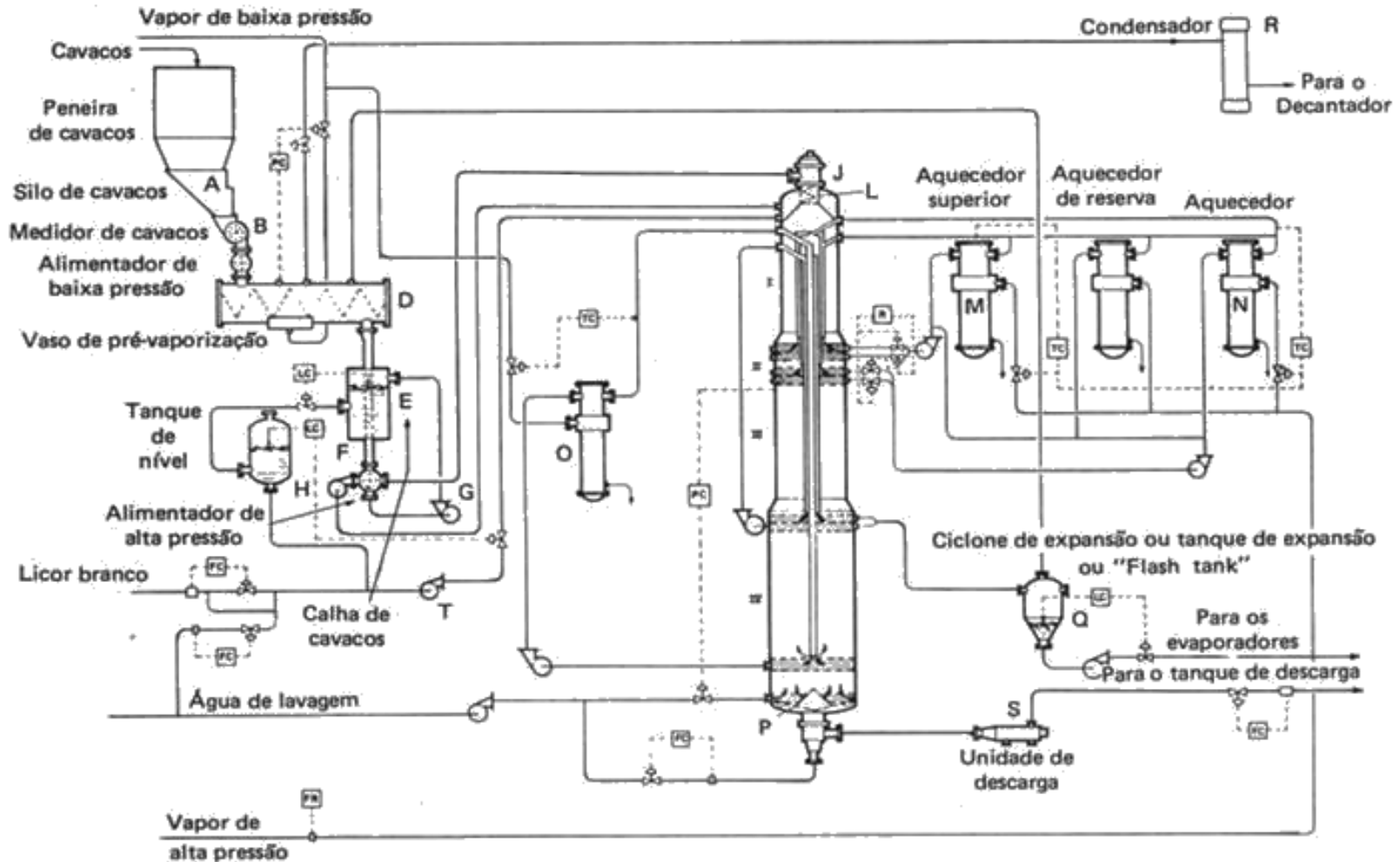
Definição de cozimento

O cozimento consiste na transformação (desintegração) da madeira em celulose não branqueada, na presença de produtos químicos, pressão e temperatura pré-estabelecidas.



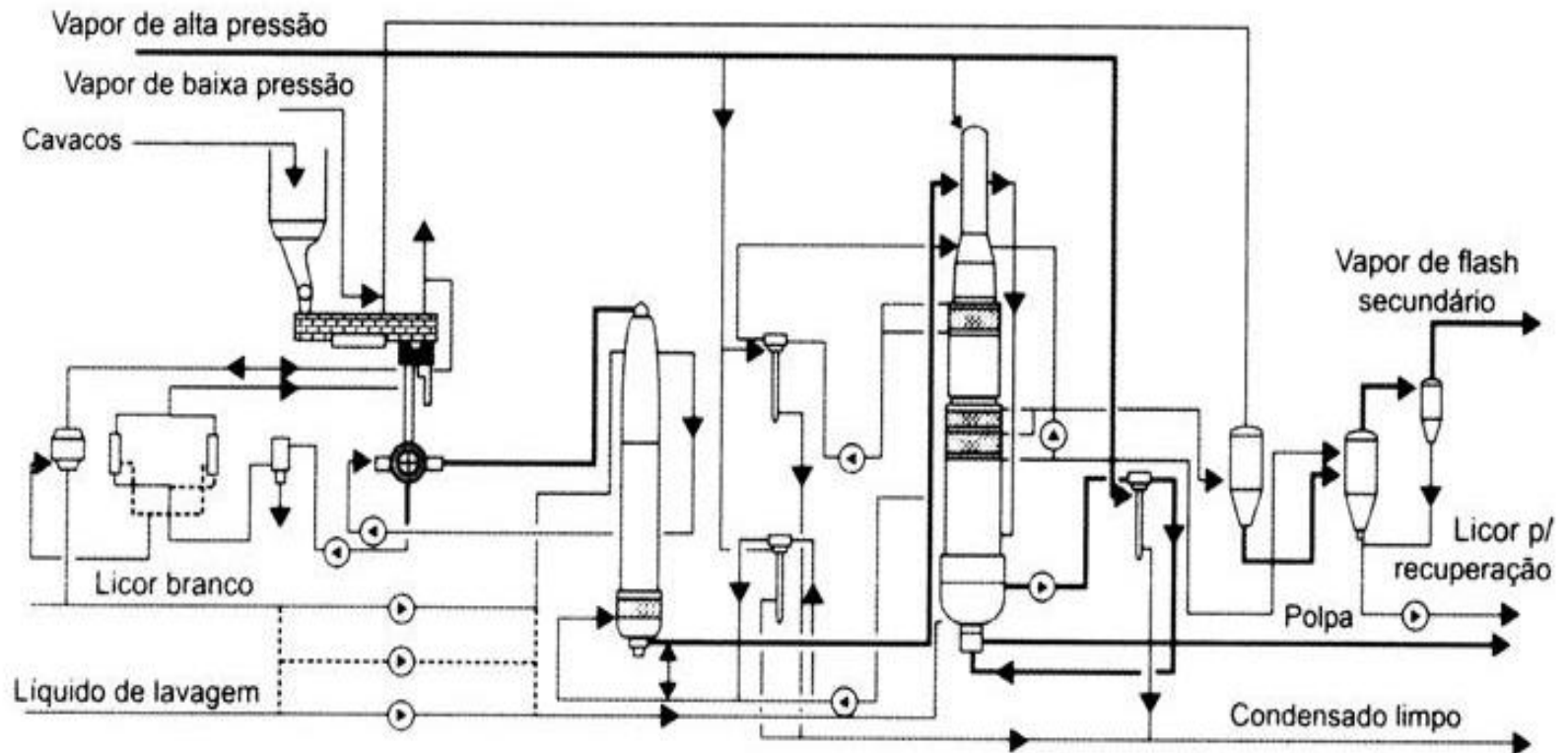
Polpação "Kraft"

Digestor contínuo



Polpação “Kraft”

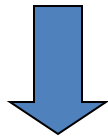
Digestor contínuo com sistema de dois vasos



Tem a função de manter um pequeno estoque de cavacos de forma a garantir uma alimentação contínua ao digestor e iniciar a retirada do ar contido no interior do cavaco.

Alimentador de baixa pressão

É uma válvula rotativa. Sua principal função é separar regiões de pressões diferentes na área de alimentação de cavacos.



Tem por função enviar licor e cavacos para o topo do digestor.

Silo de cavacos

É uma válvula rotativa, com velocidade variável e controlável, que permite calcular a quantidade produzida em determinado período de tempo e controlar a taxa de produção em cada momento.



Medidor de cavacos

FONTE: SENAI CETCEP

Vapor para o condensador

Cumprir a função de expulsar o ar dos cavacos, substituindo-o por vapor. O vapor é proveniente dos ciclones de expansão.

É o local onde os cavacos se juntam ao licor a fim de serem transportados hidraulicamente ao equipamento seguinte. Garante alimentação contínua para o alimentador de alta pressão.

Vaso de vaporização

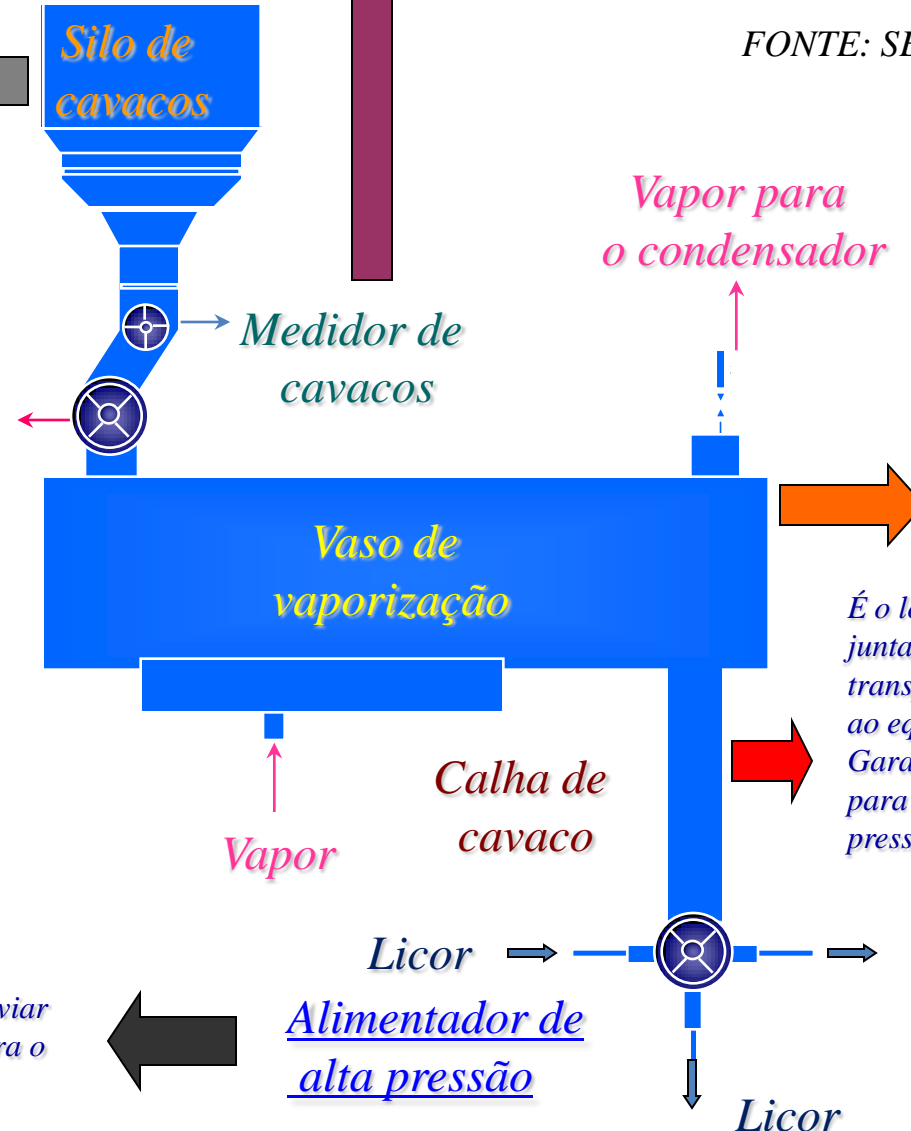
Calha de cavaco

Vapor

Licor
Alimentador de alta pressão

Licor e cavacos para digestor

Licor

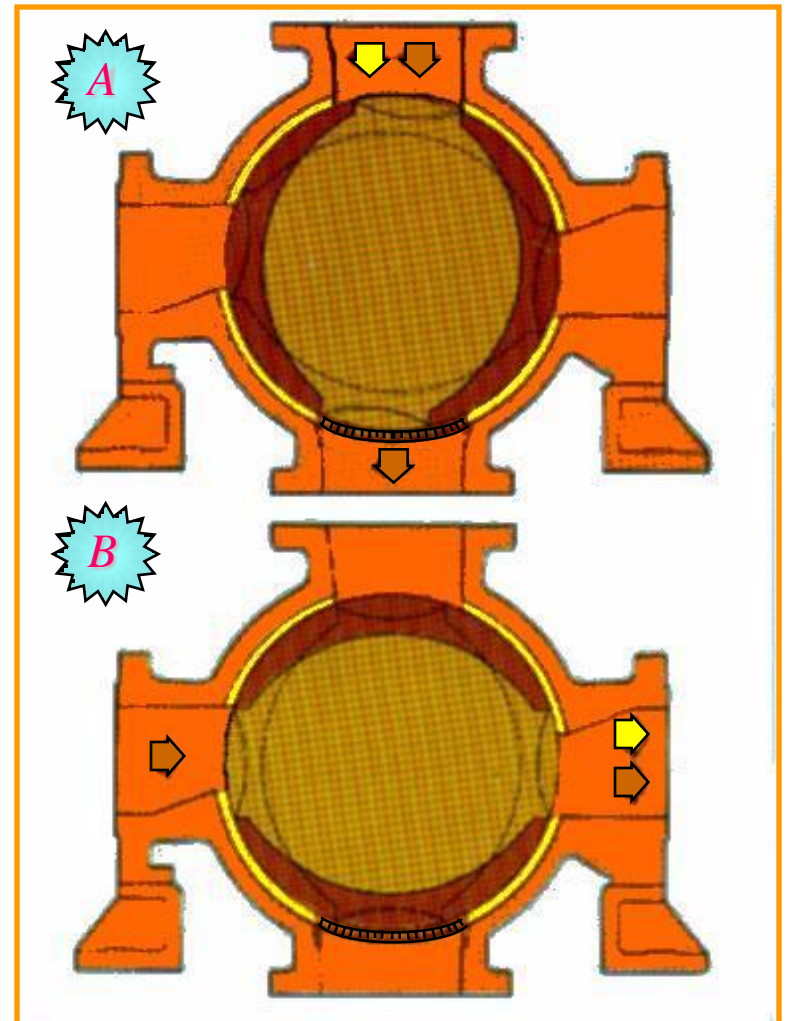
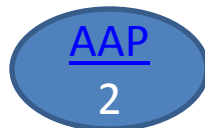
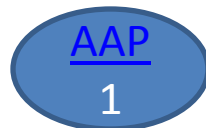


Polpação “Kraft”

Alimentador de alta pressão

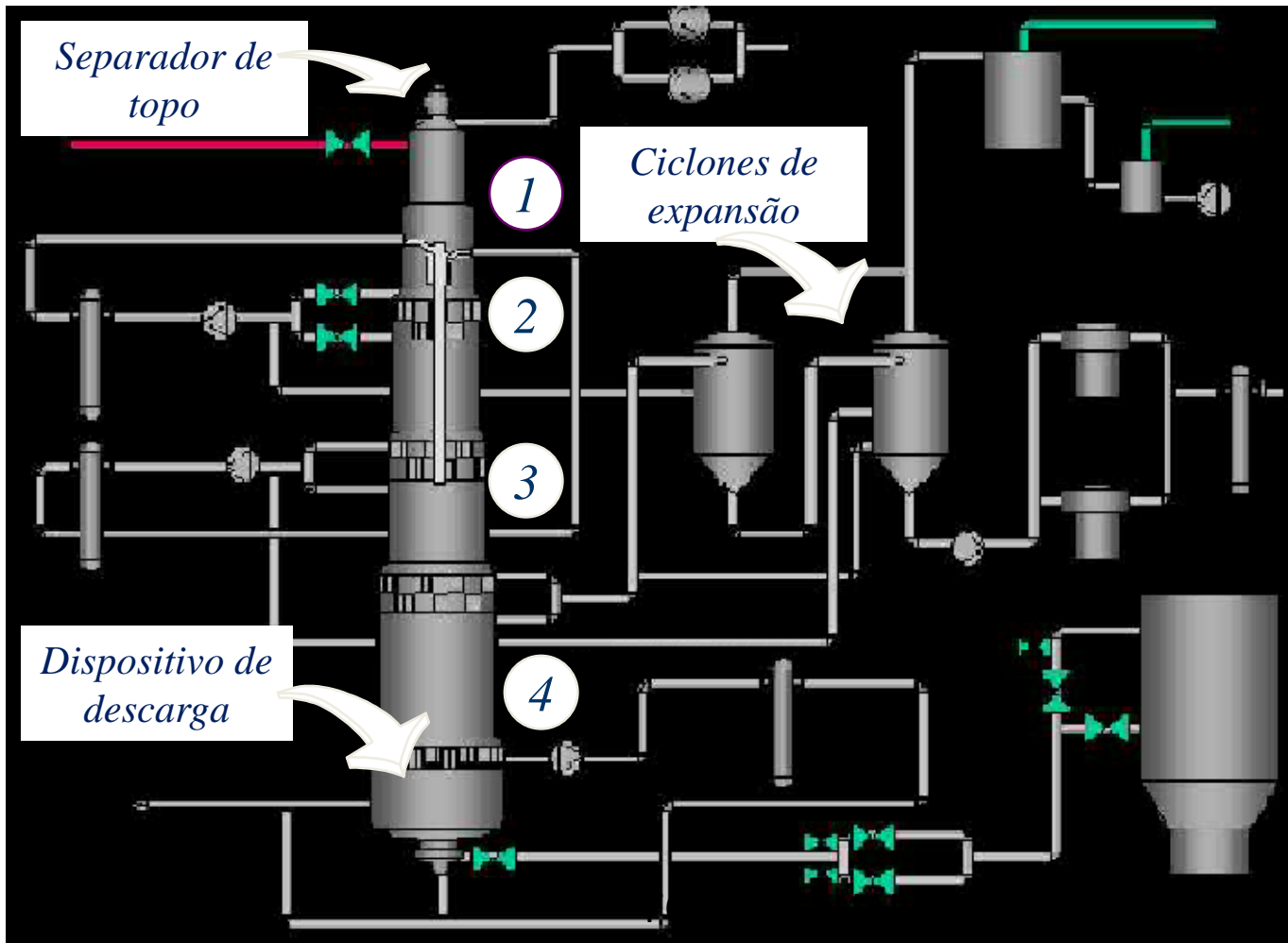
Os cavacos e o licor oriundos da calha de cavaco, entram no alimentador onde os cavacos ficam retidos por meio de peneira curva, situada logo abaixo do rotor, conforme a figura A.

Quando a bolsa assume a posição horizontal figura B, os cavacos entram no sistema de alta pressão e são levados pelo licor através da bomba de circulação para o topo do digestor.



Polpação “Kraft”

Zonas de operação do digestor



- 1 IMPREGNAÇÃO
- 2 AQUECIMENTO
- 3 COZIMENTO
- 4 LAVAGEM HI-HEAT

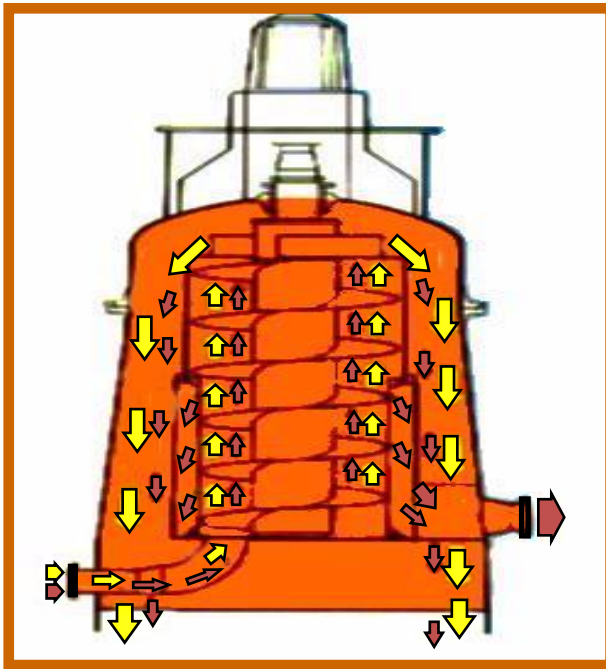
FONTE: SENAI CETCEP

Polpação “Kraft”

Separador de topo

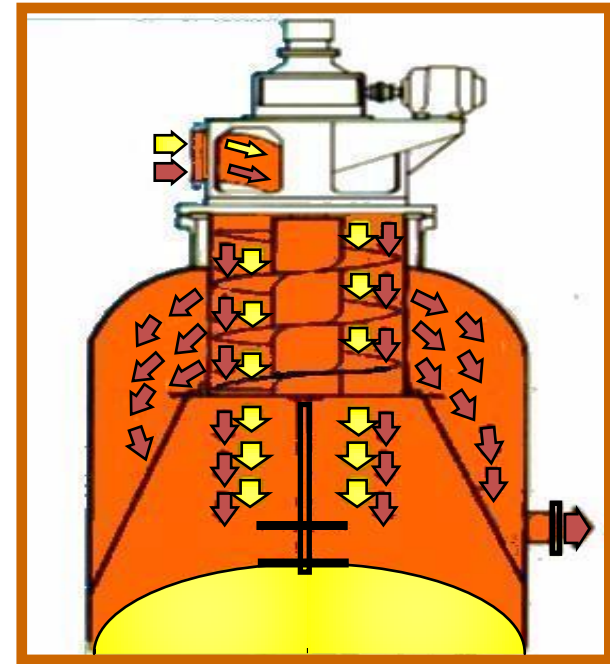
Localiza-se na parte superior, no geral internamente ao digestor.

Tem a função de separar os cavacos de seu licor de transporte. Basicamente é constituído por uma peneira e uma rosca interna.



*Separador de topo ascendente
(VCP-LA)*

FONTE: SENAI CETCEP



*Separador de topo descendente
(outros)*

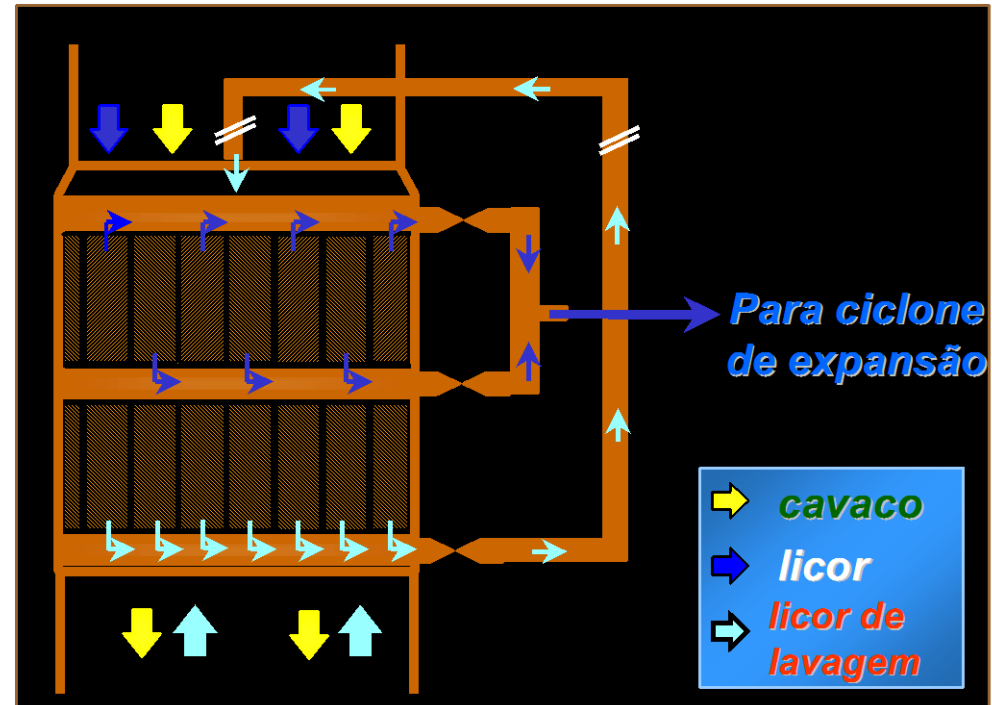
ST

Polpação “Kraft”

Lavagem hi-heat

Inicia com o deslocamento do licor negro concentrado pelo do licor diluído de lavagem (aproximadamente à 135°C).

O licor negro é extraído através de peneiras e enviado para a recuperação e o vapor liberado é utilizado na impregnação dos cavacos.



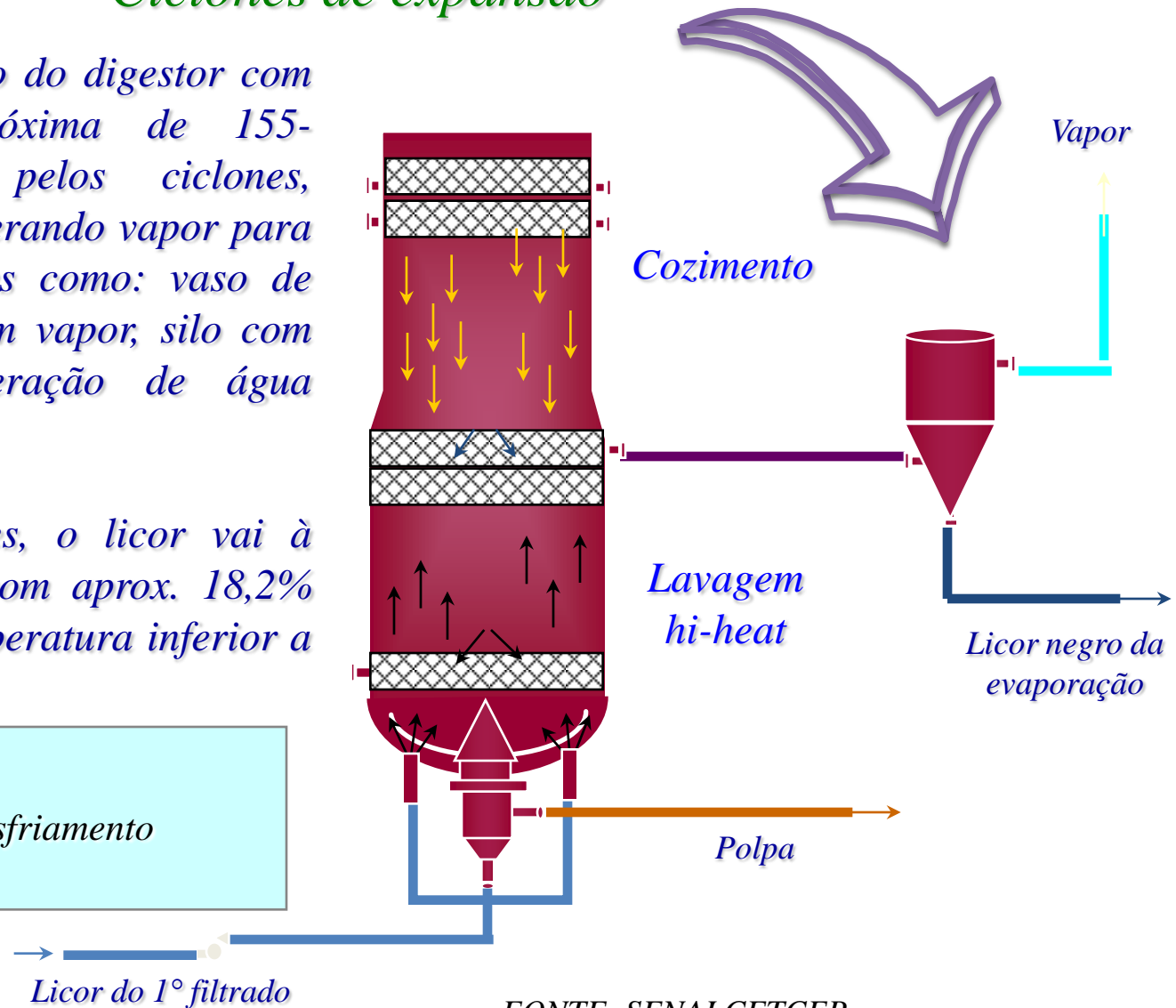
Polpação “Kraft”

Ciclones de expansão

O licor extraído do digestor com temperatura próxima de 155-160°C passa pelos ciclones, 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 aprox. 18,2% de sólidos e temperatura inferior a 100°C.

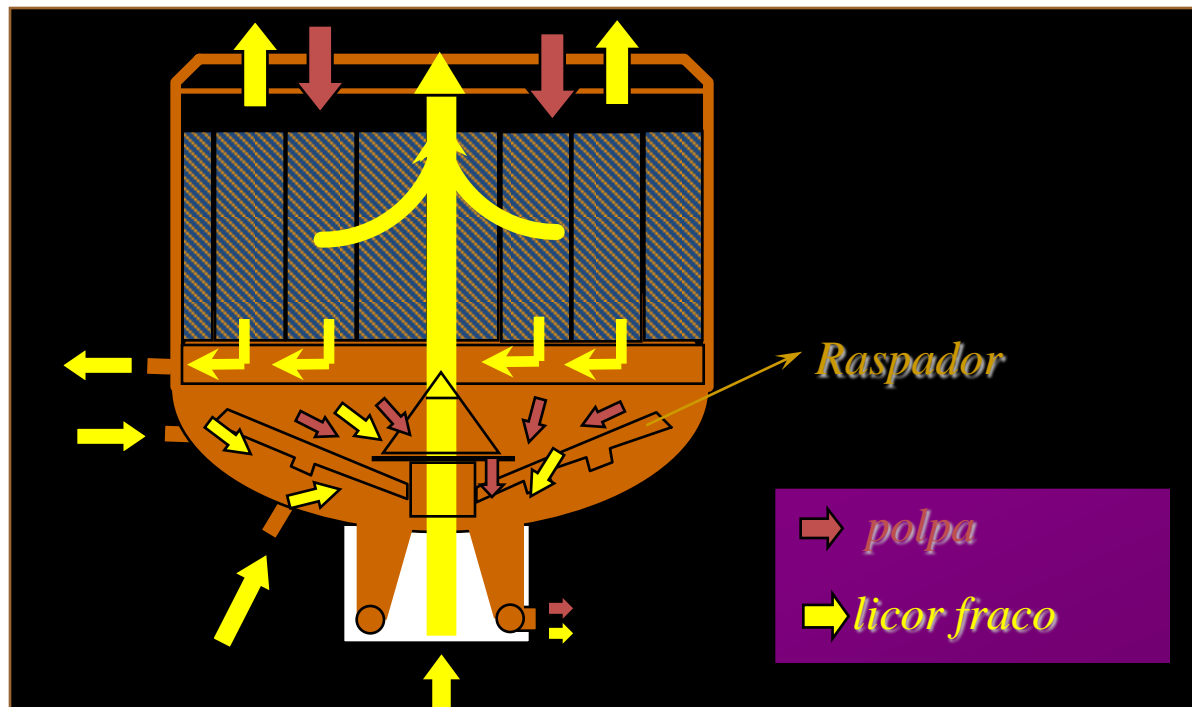
→ licor negro
 ⇐ Água (licor) de resfriamento ou de lavagem



Polpação “Kraft”

Dispositivo de descarga

Trata-se de 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.

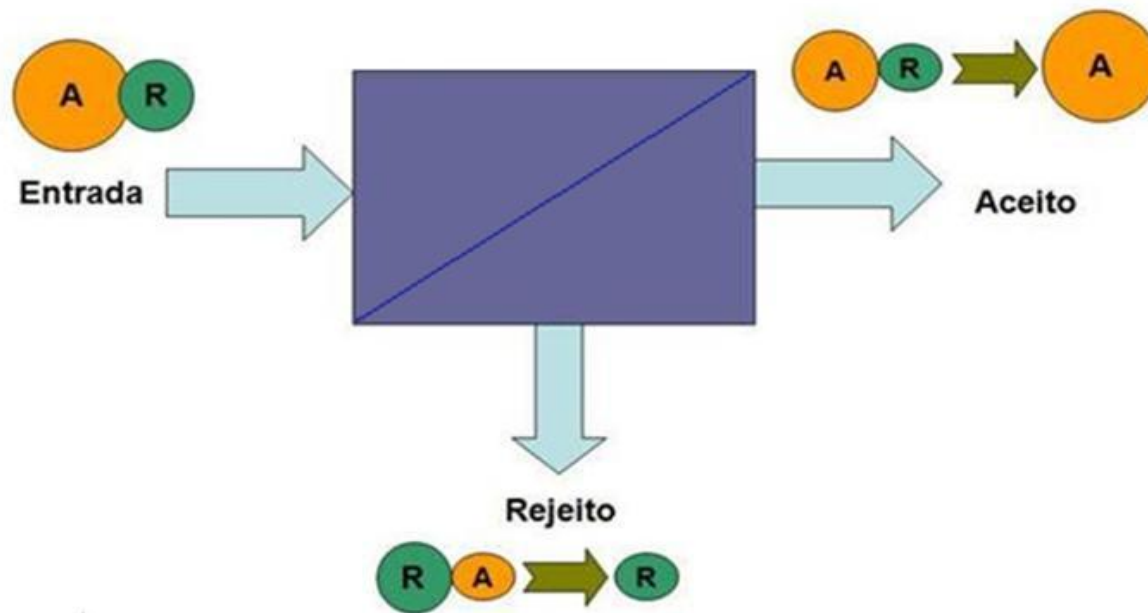


Cozimentos “Kraft” modificados

Etapas	Digestor conv.	MCC	XMCC	ITC	Lo-Solids
Cozimento concorrente					
Lavagem à quente					
Extração do licor de cozimento					
Distribuição alcalina					
Cozimento contracorrente					
Cozimento estendido					
Perfil uniforme de temperatura					

Depuração da massa (celulose e papel)

Principais desafios do sistema de depuração: fazer com que o “aceito” tenha menos “rejeito” e com que o “rejeito” tenha menos “aceito”!



Depuração da massa

Categorias de contaminações e sistemas de depuração

- a) sujeiras pesadas e volumosas;*
- b) sujeiras pesadas e finas;*
- d) sujeiras leves.*

Os sistemas de depuração mais conhecidos são:

DEPURAÇÃO PROBABILÍSTICA: peneiramento ou “screen”
(plana, rotativa e pressurizada – depurador vertical pressurizado),

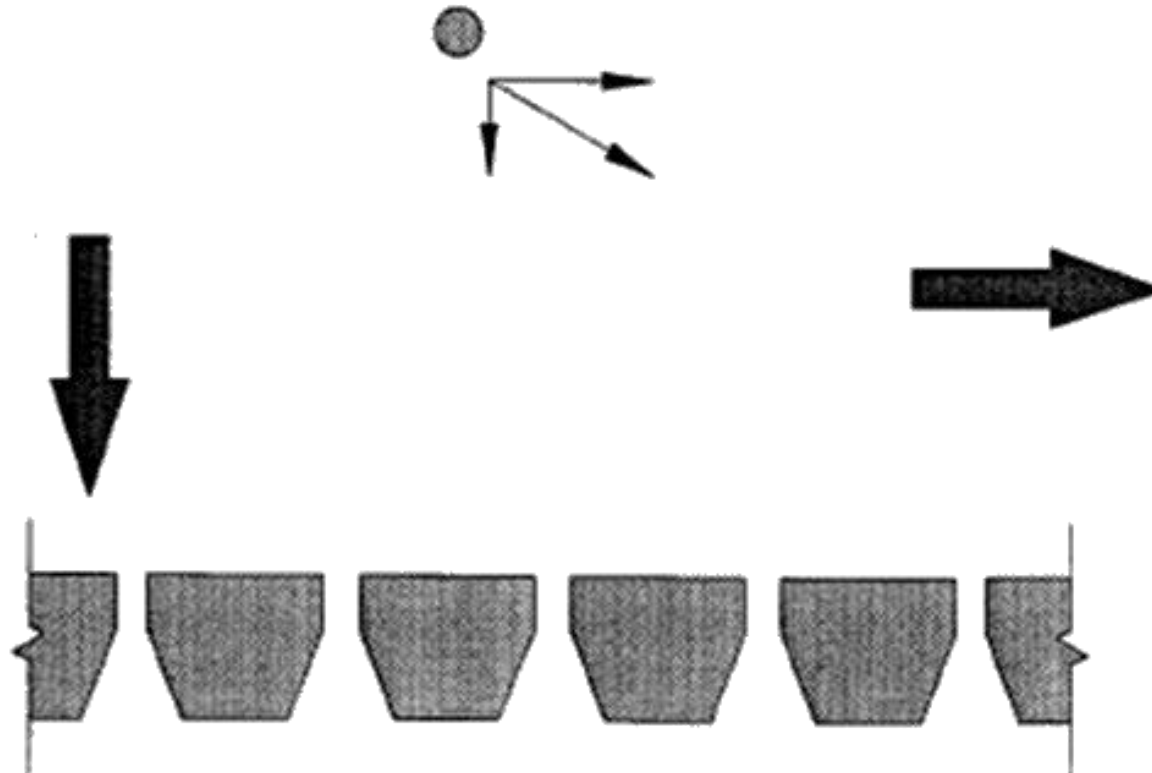
DEPURAÇÃO POR PESO: centrifugação (“cleaners”, separador de massa grossa)

Fatores que determinam a escolha do equipamento:

custo de acionamento, capital disponível, facilidade de operação e manutenção.

Depuração da massa

Depuradores probabilísticos



Depuração da massa

Depuração por peneiramento

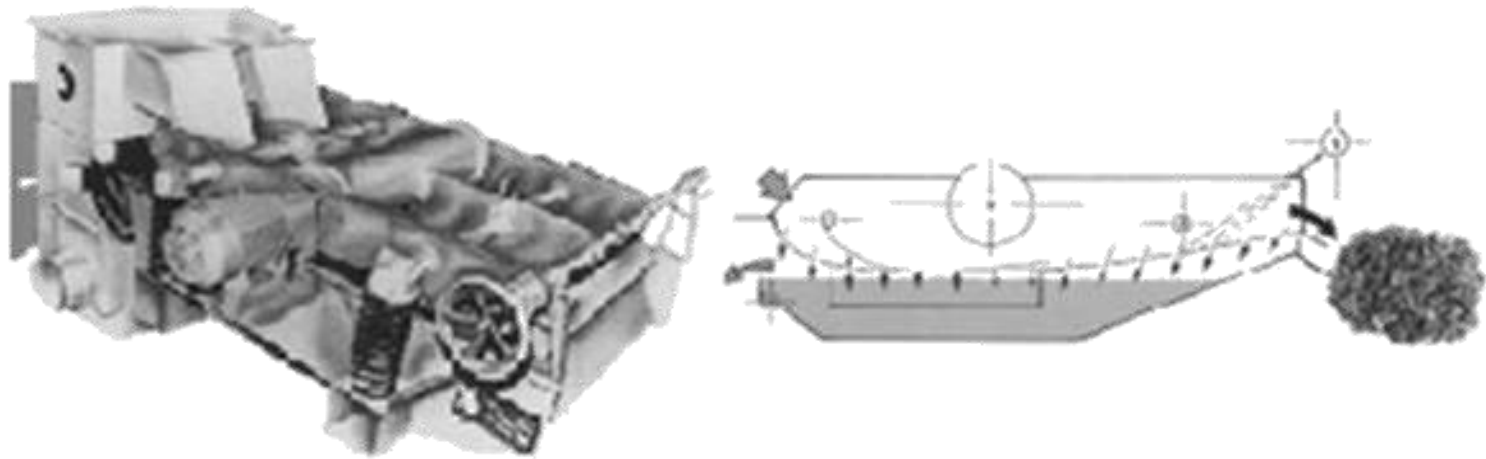
*Fator fundamental do peneiramento:
tamanho dos orifícios.*

*Redução de tamanho:
queda de vazão por entupimento dos orifícios pela
retenção de impurezas e fibras entrelaçadas*

*Aumento do tamanho:
perda de eficiência*

Depuração da massa

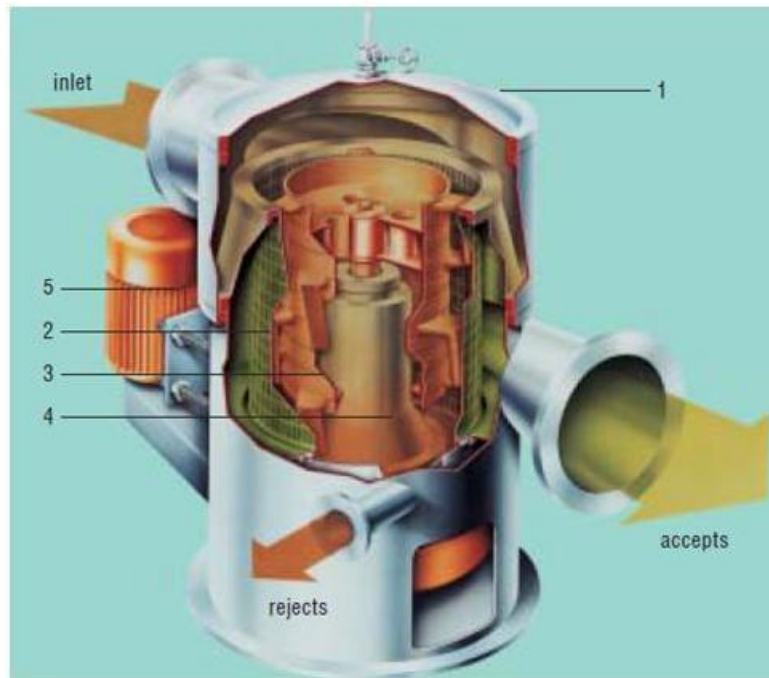
Peneiras planas (papel)



Depuração da massa

Peneiras *rotativas* (celulose e papel)

Consistem de cilindro de paredes perfuradas, 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”).

Depuração da massa

*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 da massa

Furos e fendas



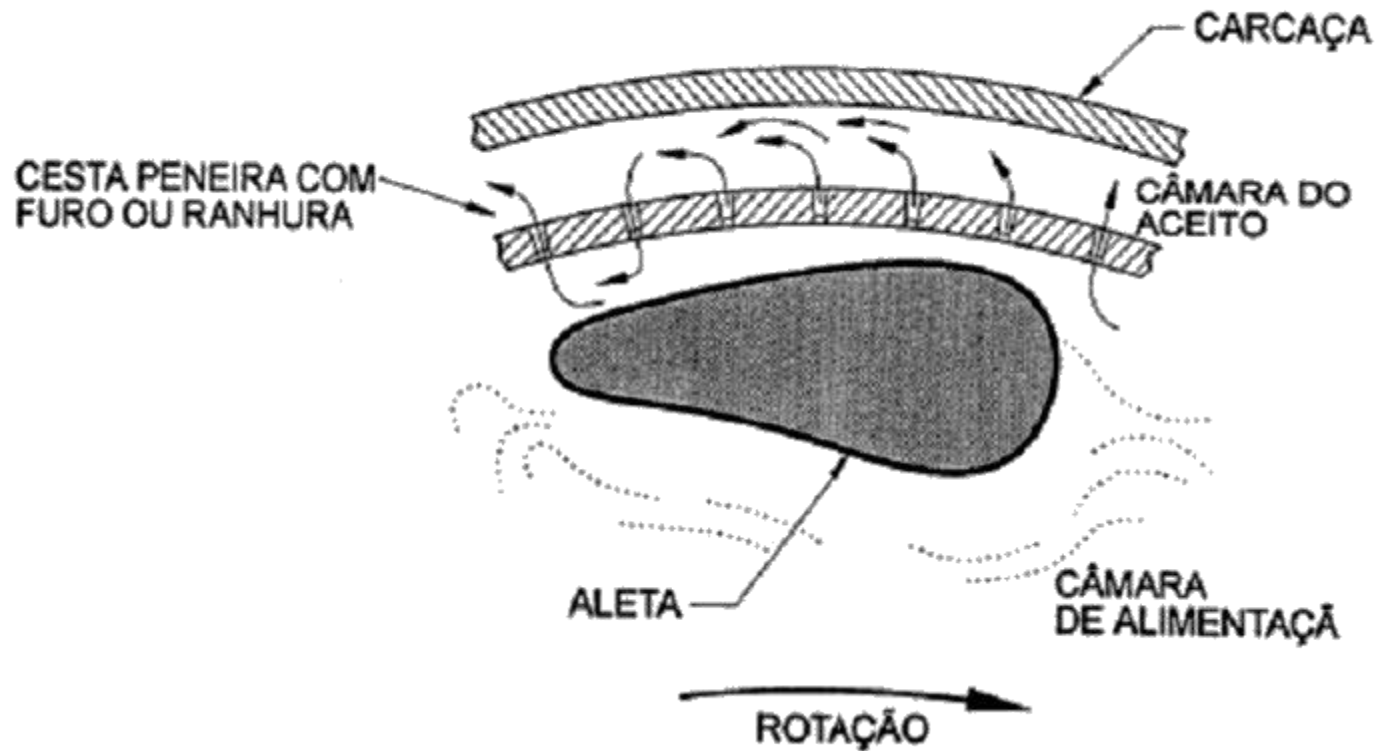
Peneiras com furos



Peneiras com fendas

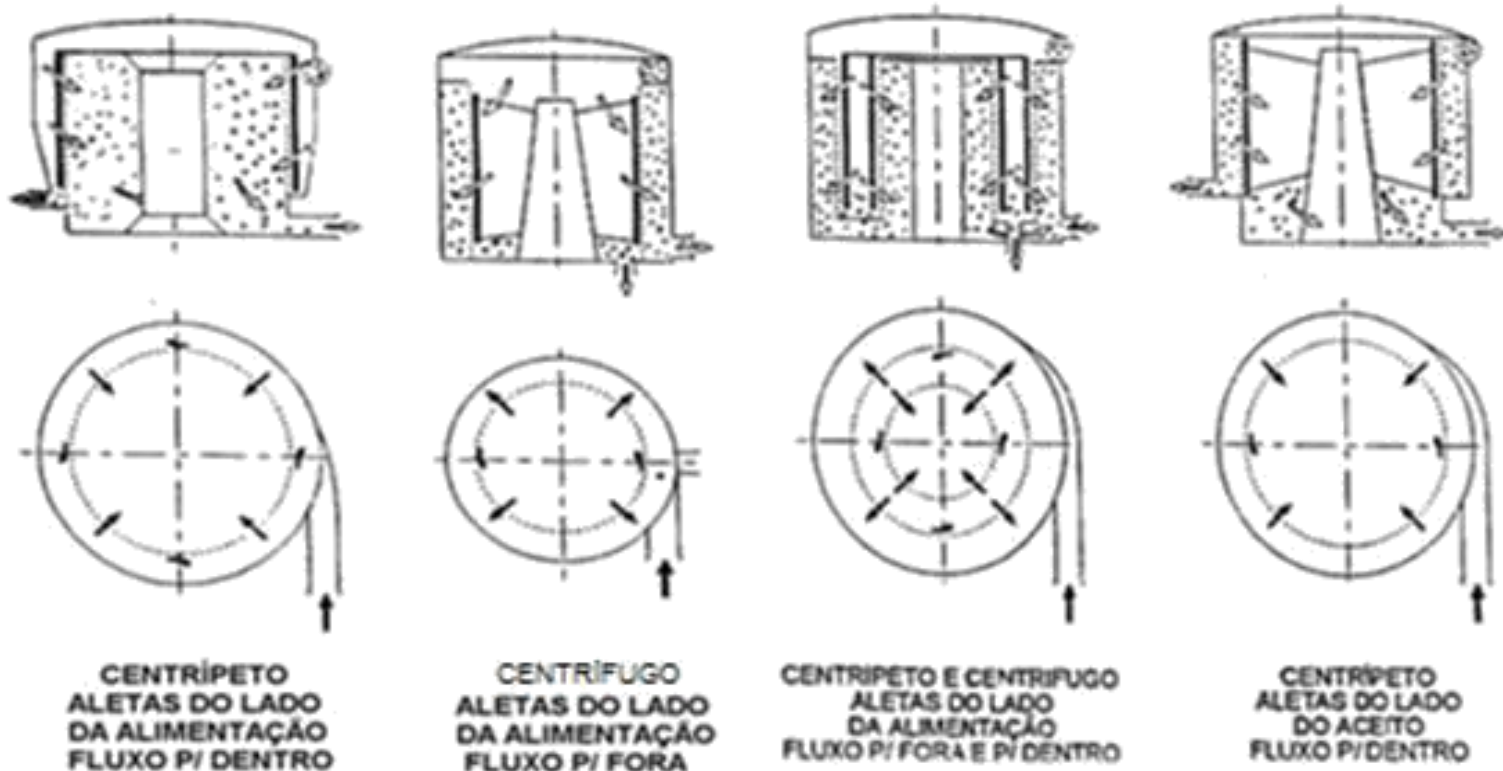
Depuração da massa

Detalhe típico de uma peneira rotativa



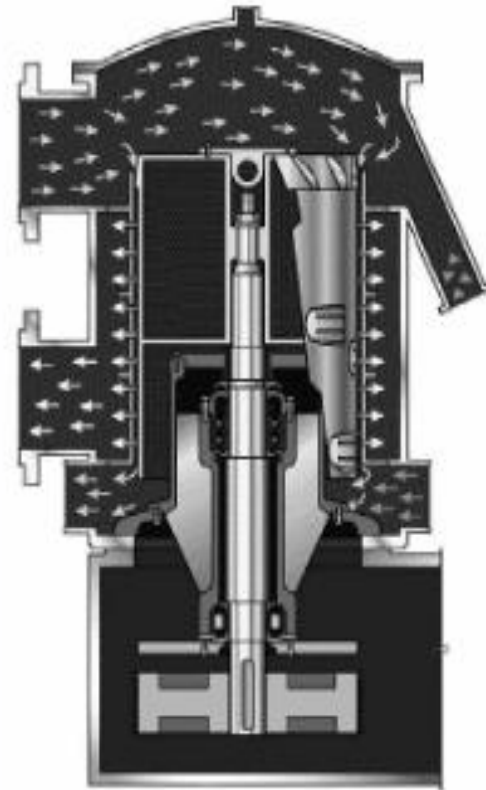
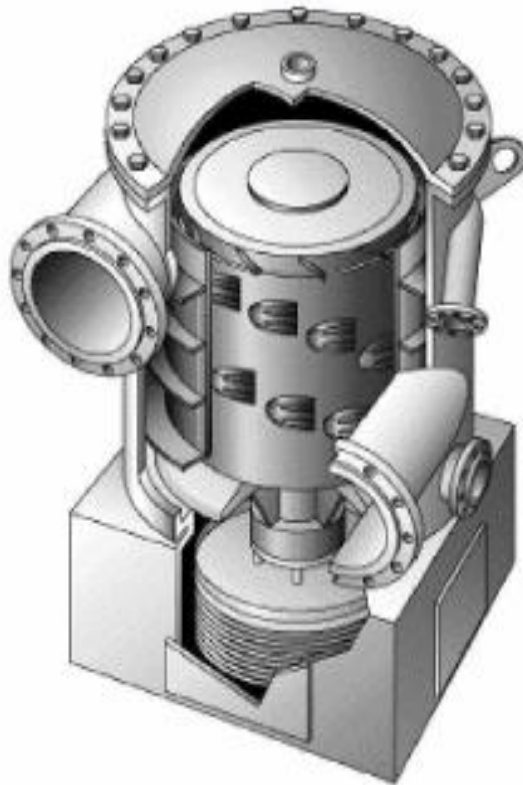
Depuração da massa

Configurações de depuradores



Depuração

Separadores de nós



(IMPCO™ HI-Q™ Fine Screen

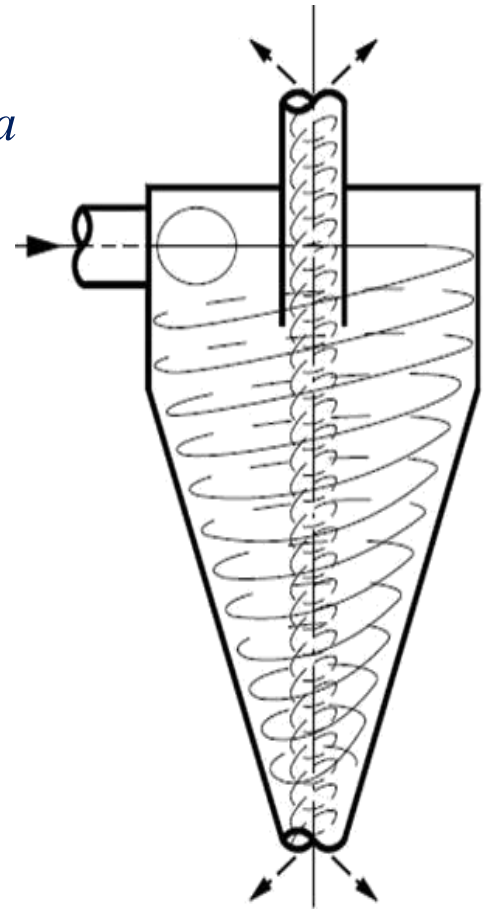
Depuração da massa

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.



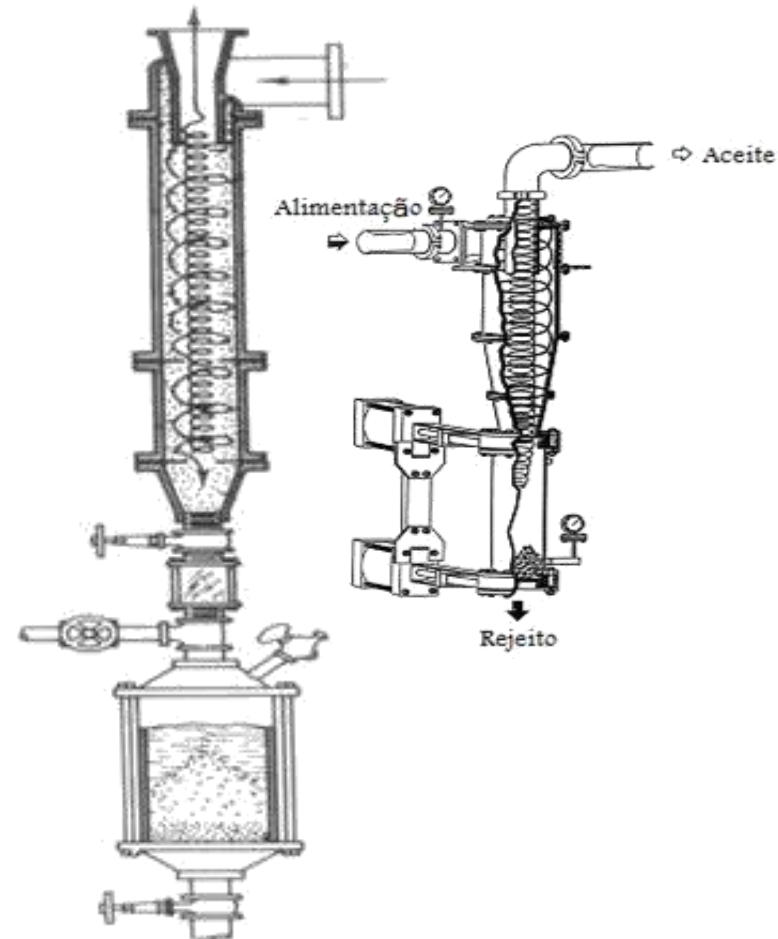
Depuração da massa

Separadores de massa grossa (papel)

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.



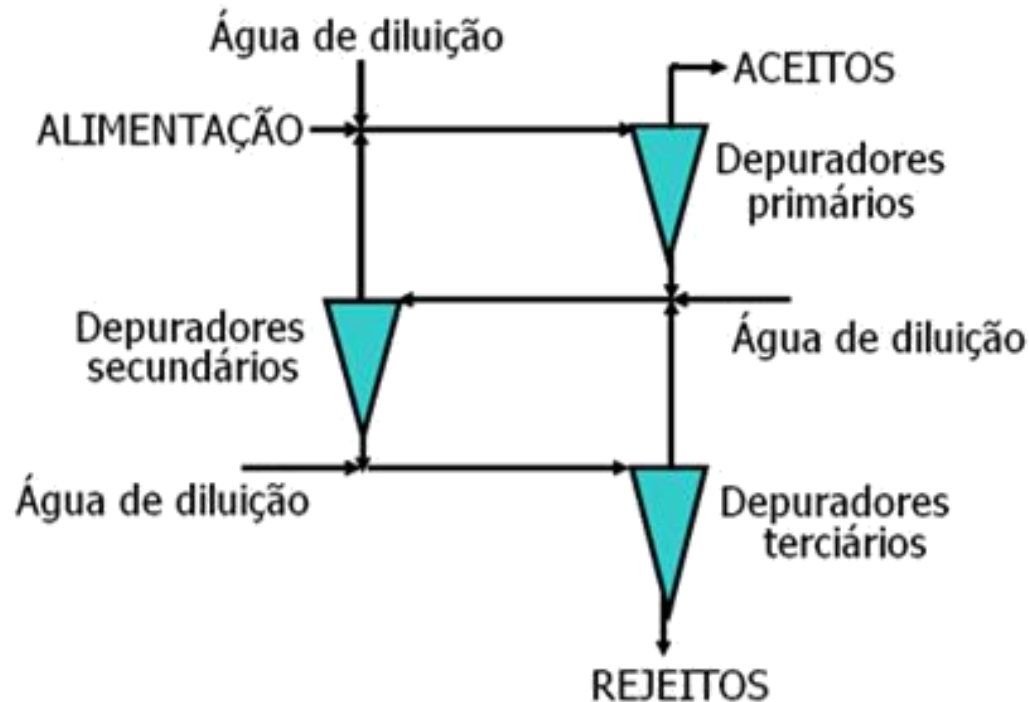
FONTE: Curso Básico de Fabricação de Papel –

Edison da Silva Campos

Depuração da massa

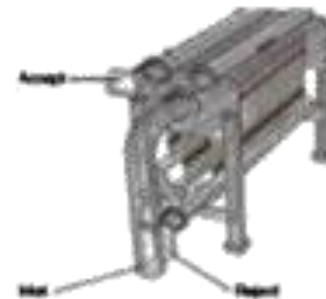
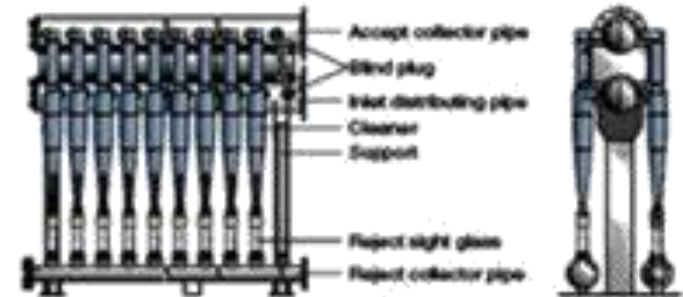
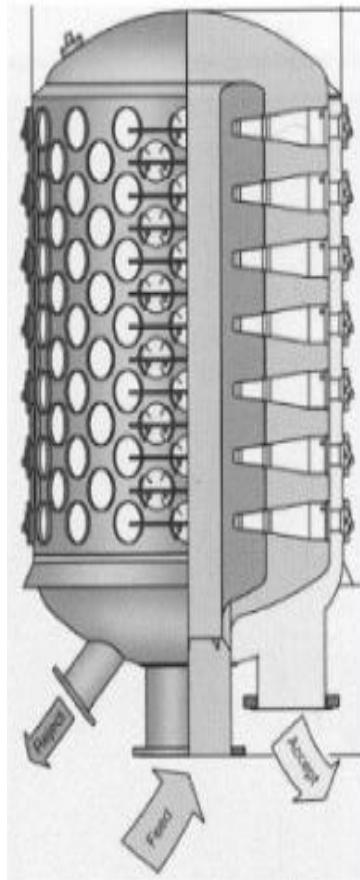
Arranjo dos hidrociclones

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



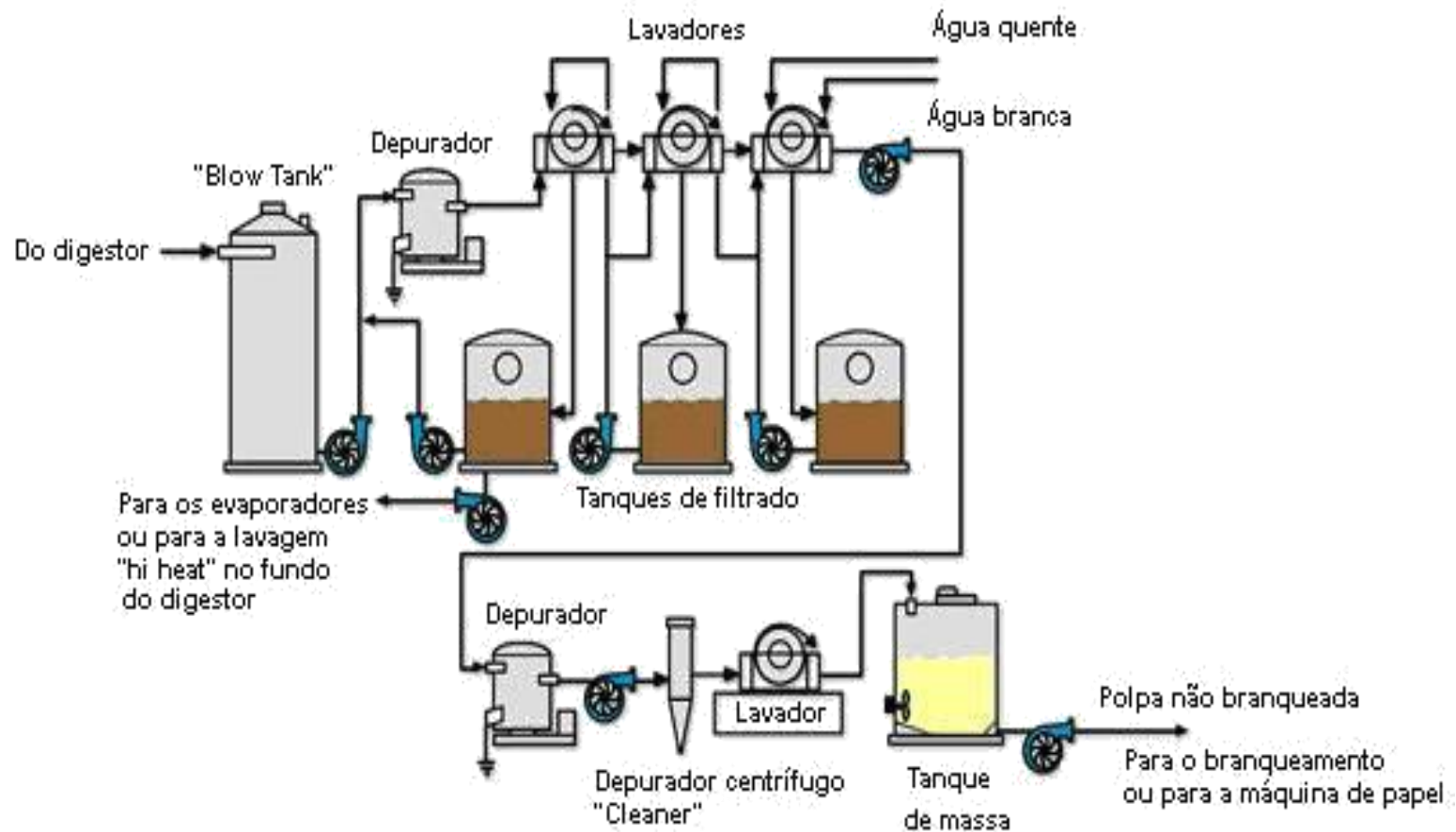
Depuração da massa

Arranjo dos hidrociclones



Lavagem

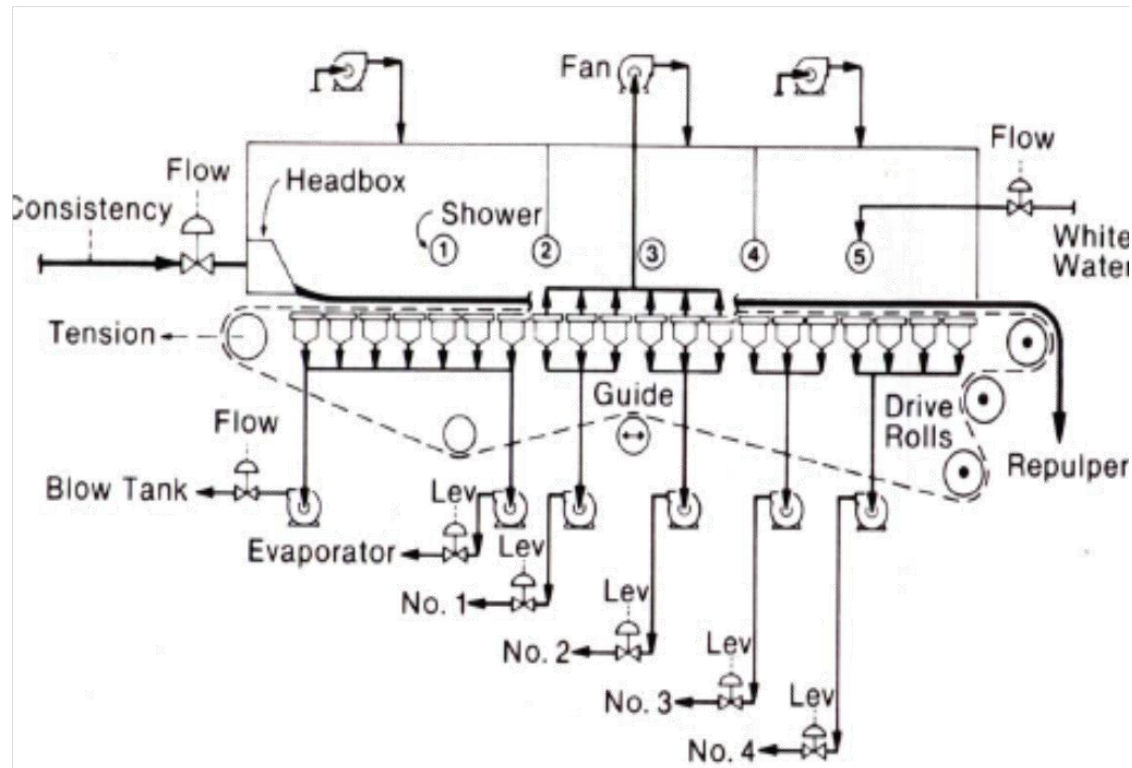
Lavagem em contra-corrente (modelo antigo)



Depuração e lavagem

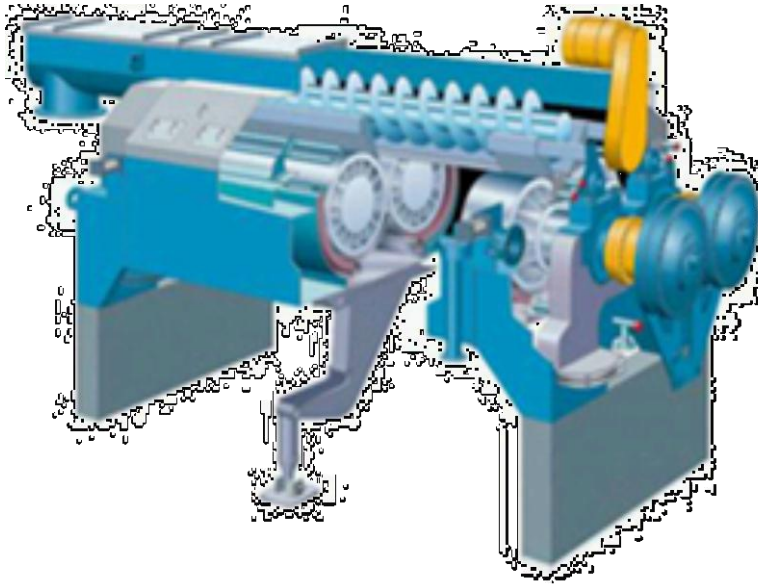
Mesa de lavagem (Black Clawson)

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.



Depuração e lavagem

Prensa de rolo duplo(Sunds)



Combina desagramento, 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.

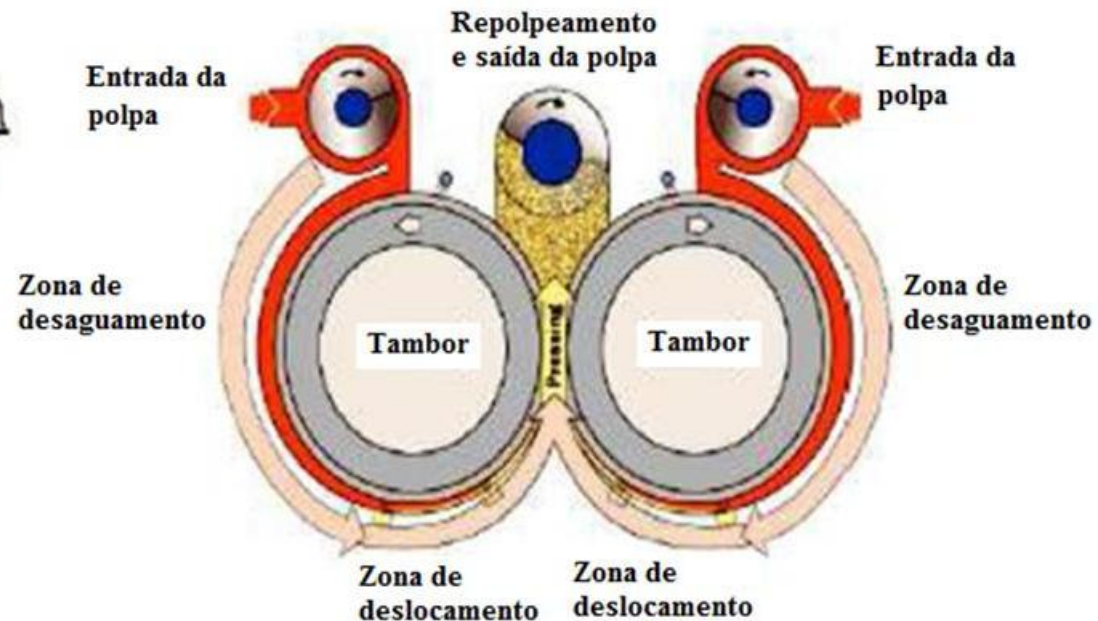
Depuração e lavagem

Prensa de rolo duplo

Vista Geral da Prensa



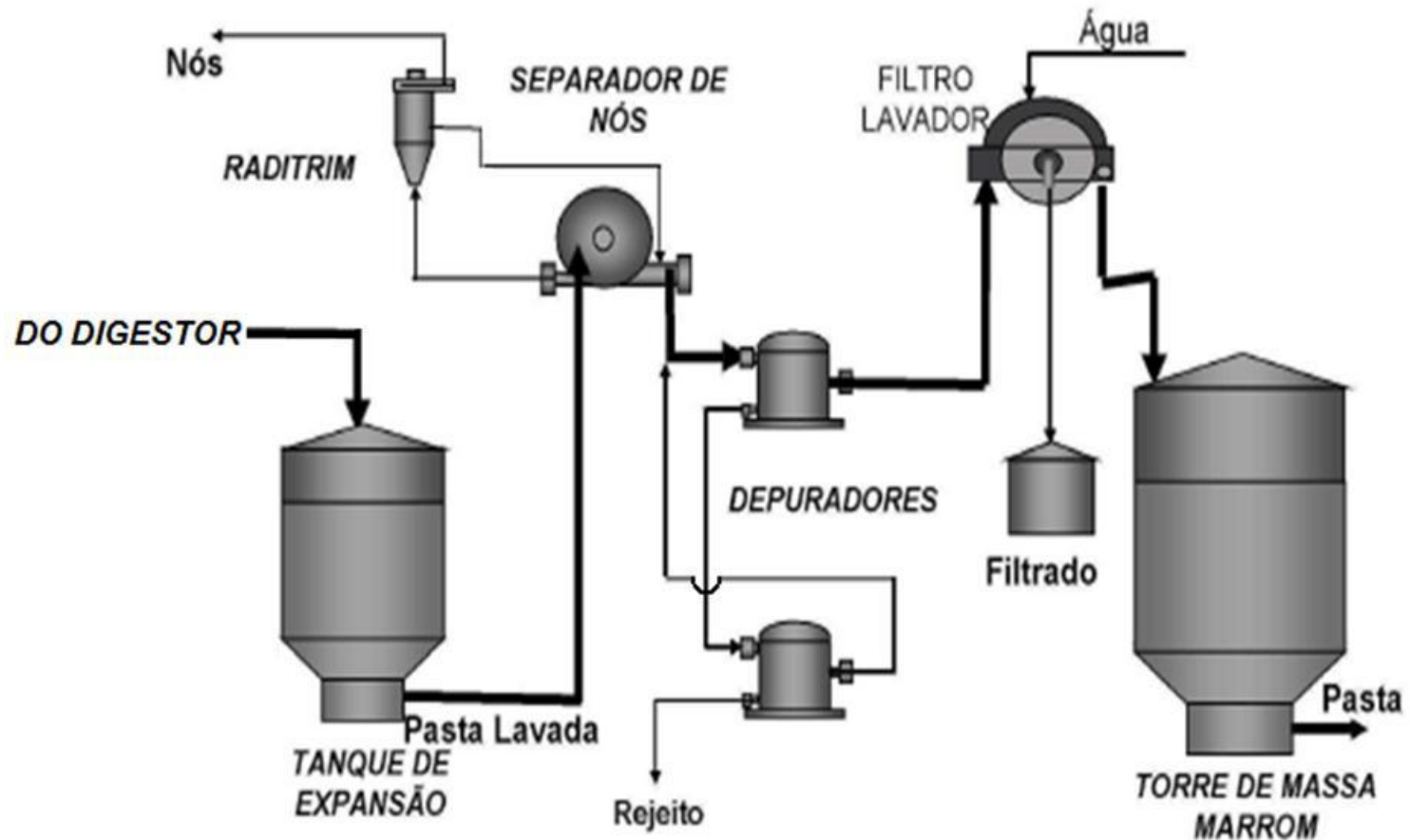
Funcionamento



*FONTE: Redução do consumo de água na etapa de branqueamento da celulose via reutilização de efluentes industriais
– Alexandre Augusto de Andrade*

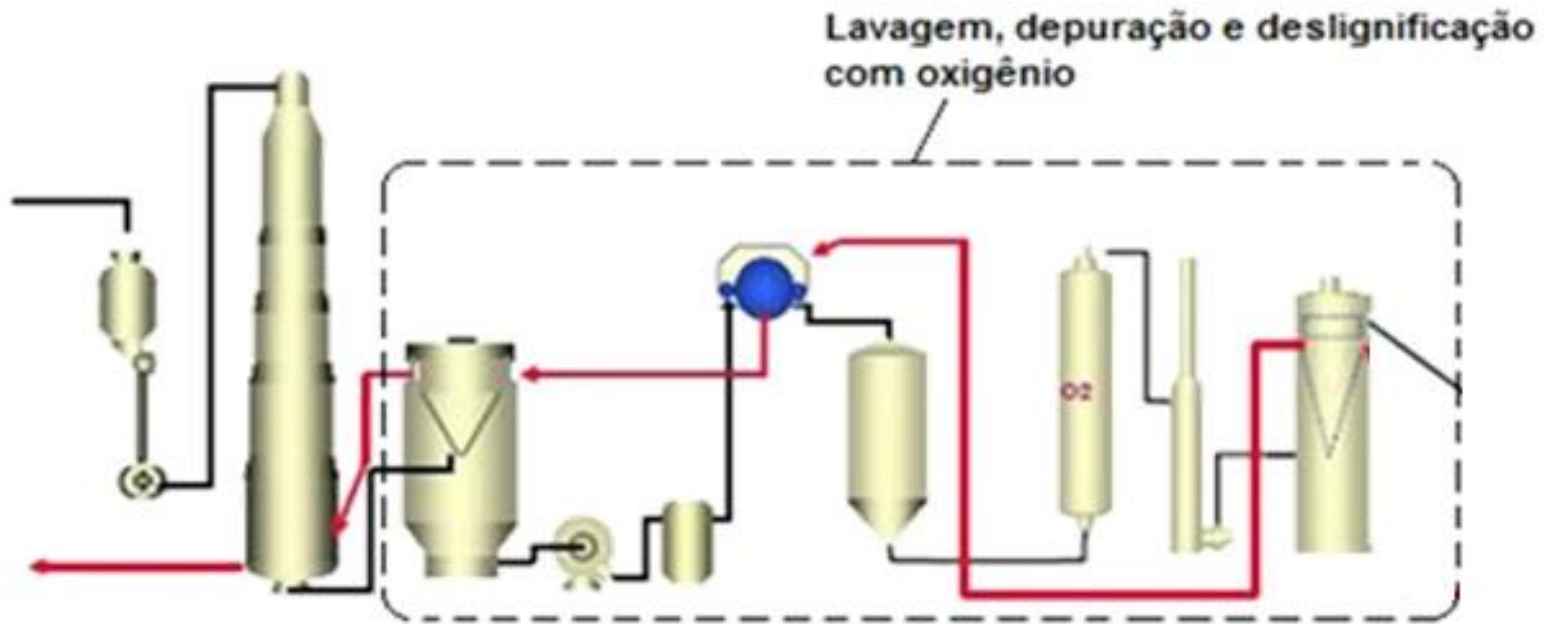
Depuração e lavagem

Exemplo de fluxograma



Depuração e lavagem

*Fluxograma geral com ênfase
na deslignificação com oxigênio*



Branqueamento

Funções, vantagens e desvantagens de alguns produtos químicos para branqueamento de pasta química

Oxidante	Função	Vantagens	Desvantagens
Cloro	Oxida e clora a lignina.	Efetivo, deslignificação econômica, boa remoção de partículas.	Formação de organoclorados; altamente corrosivo.
Hipoclorito	Oxida, descolore e solubiliza a lignina.	Fácil para fazer e usar; custo baixo.	Pode causar perda da resistência da polpa; formação de clorofórmio.
Dióxido de cloro	Oxida, descolore e solubiliza a lignina.	Alcança altas alvuras sem perda de resistência da polpa (alta seletividade); bom alveijamento de partícula.	Deve ser usado onde foi produzido; custo; alguma formação de organoclorados; altamente corrosivo.
Oxigênio	Oxida e solubiliza a lignina	Químico de baixo custo; fornece efluentes livres de cloro para a recuperação.	Requer significativo capital para equipamentos quando usado em grandes quantidades; potencial perda de resistência mecânica da polpa.

CONTINUA

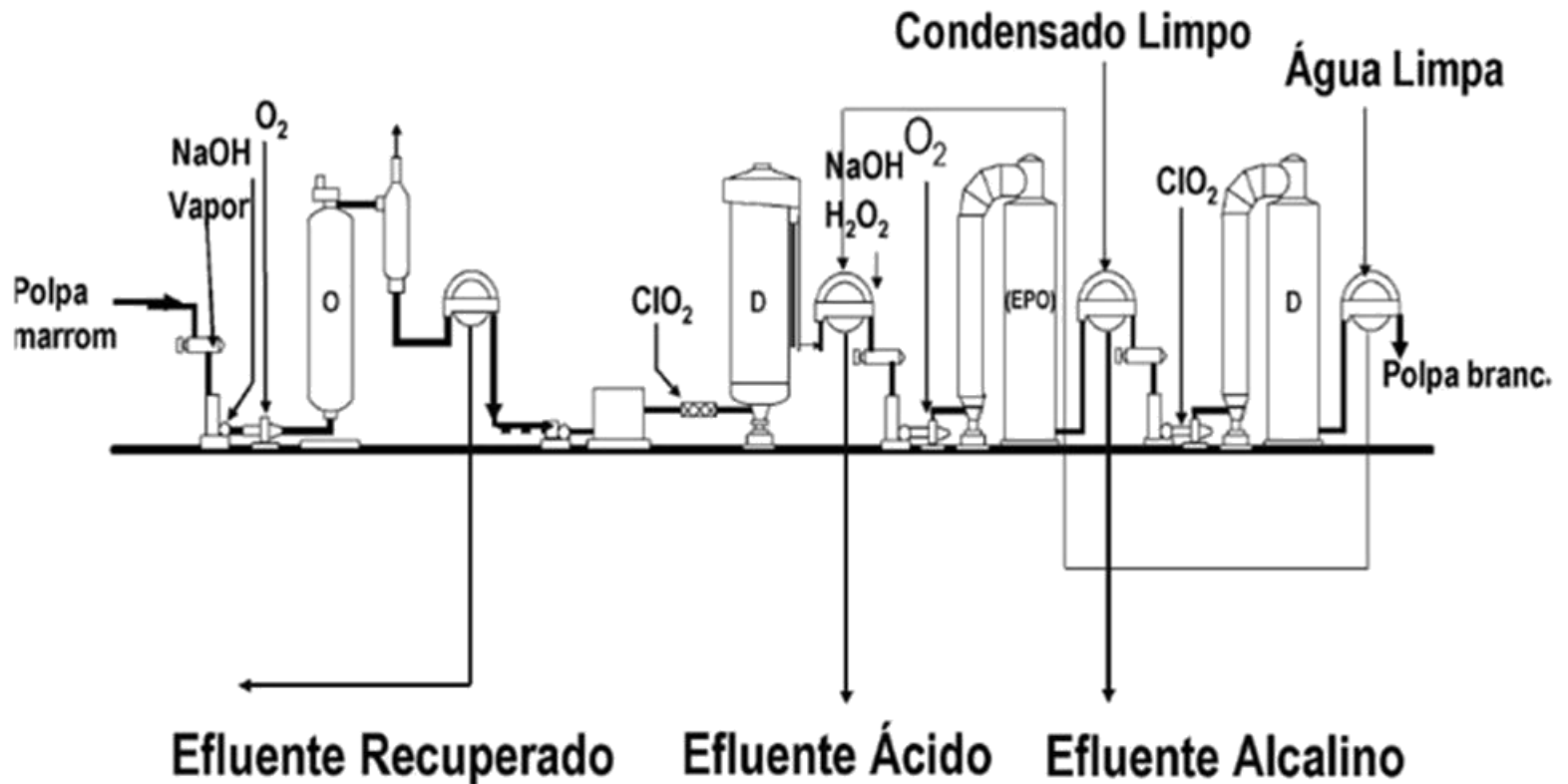
Branqueamento

Funções, vantagens e desvantagens de alguns produtos químicos para branqueamento de pasta química (CONTINUAÇÃO)

Oxidante	Função	Vantagens	Desvantagens
Peróxido de hidrogênio	Oxida e descolore a lignina	Fácil de usar; baixo custo de capital (sem investimento em plantas).	Químico de alto custo; pobre branqueamento de partícula; pode causar perda de resistência da polpa.
Ozônio	Oxida, descolore e solubiliza a lignina.	Efetivo; fornece efluentes livres de cloro para a recuperação.	Deve ser usado onde foi produzido; custo; pobre branqueamento de partícula e baixa resistência da polpa.
Enzimas	Xilanase	Catalisa a hidrólise das xilanas e ajuda na remoção da lignina.	Efetividade limitada; custo.
Alcali	Hidrolisa as cloroligninas e solubiliza a lignina	Efetivo e econômico.	Escurece a polpa.
Quelantes (EDTA E DTPA)	Removem íons metálicos.	Efetivo e econômico.	Custo

Branqueamento

*Efluentes da deslignificação
com oxigênio e branqueamento*

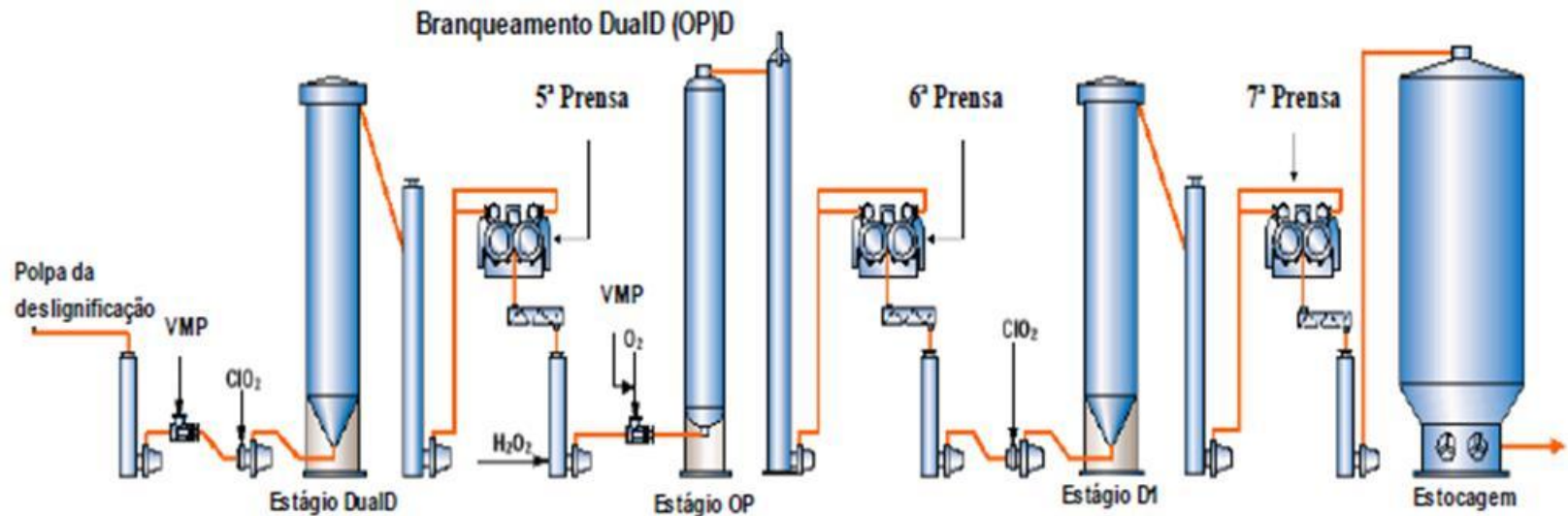


FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski

Branqueamento



*Exemplo de uma seqüência de branqueamento ECF
(Ripasa 1)*



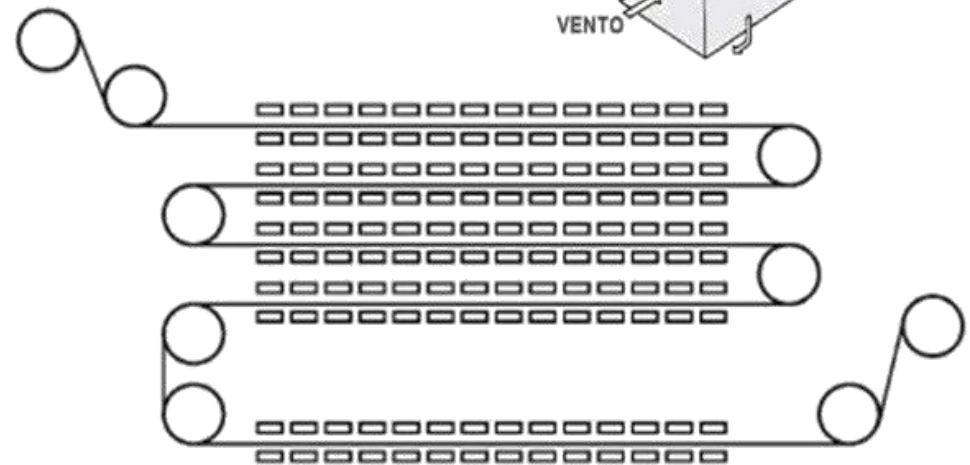
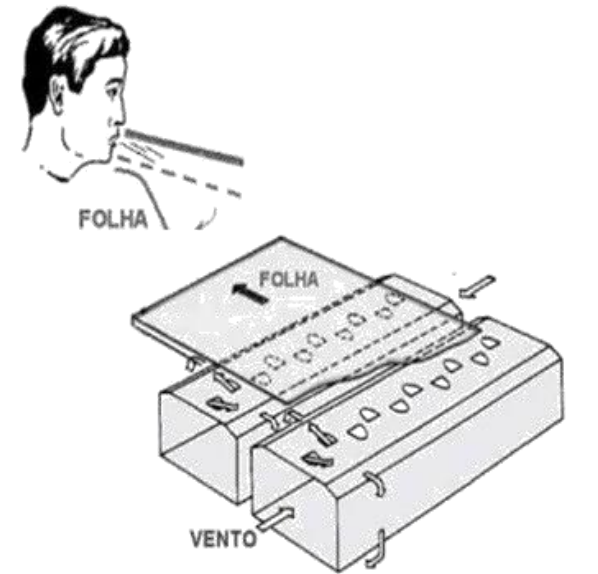
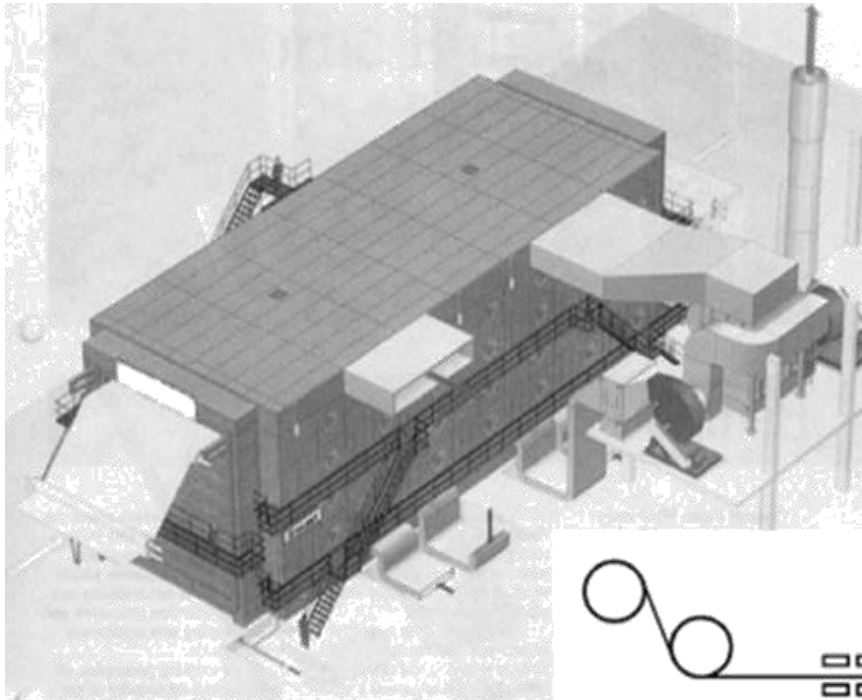
*FONTE: Redução do consumo de água na etapa de branqueamento
da celulose via reutilização de efluentes industriais
– Alexandre Augusto de Andrade*

Branqueamento

Evolução das seqüências de branqueamento

<i>Seqüência</i>	<i>Data aprox.</i>	<i>Observações</i>
<i>H, HH</i>	<i>1800</i>	<i>-</i>
<i>HEH</i>	<i>1900</i>	<i>-</i>
<i>CEH</i>	<i>1930</i>	<i>Usada para a produção de celulose “kraft” semibranqueada.</i>
<i>CEDED</i>	<i>1950</i>	
<i>CECEHEHEDED</i>	<i>-</i>	<i>Usada para produzir papéis de alvuras elevadas sem perda da resistência.</i>
<i>OCEDED</i>	<i>1970</i>	<i>Introduzida na década de 1970 para diminuir o consumo de cloro.</i>
<i>OC/DEDED</i>	<i>1980</i>	<i>Seqüência clássica para a produção de celulose de mercado na década de 1980.</i>
<i>OD(EO)DED</i>	<i>1990</i>	<i>Seqüência clássica para a produção de celulose ECF (“Elemental Chlorine Free” – livre de cloro elementar) de mercado.</i>
<i>O(DC)(E+O)D</i>	<i>-</i>	<i>Destinada a diminuir o nível de AOX nos efluentes, sem aumentar a produção de ClO₂.</i>
<i>OD(E+O+P)D</i>	<i>-</i>	<i>Destinada a diminuir o nível de AOX nos efluentes.</i>
<i>OZ(EO)D</i>	<i>-</i>	<i>Primeira seqüência que usou ozônio na produção comercial de celulose “kraft” nos EUA.</i>
<i>OQP</i>	<i>-</i>	<i>Primeira seqüência comercial de produção de celulose TCF para celulose sulfato branqueada.</i>
<i>OZED, OZP</i>	<i>1992</i>	<i>Seqüência curta e econômica. Minimização de compostos organoclorados nos efluentes.</i>
<i>OD(PO)DP ODEoQ(PO) O(DZ)EoQ(PO) OOZEoDP</i>	<i>2006</i>	<i>ECF Light (baixo teor de OX).</i>

Processo Fläkt de secagem



FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski

Máquina de secagem



Cortadeira e empilhamento das folhas

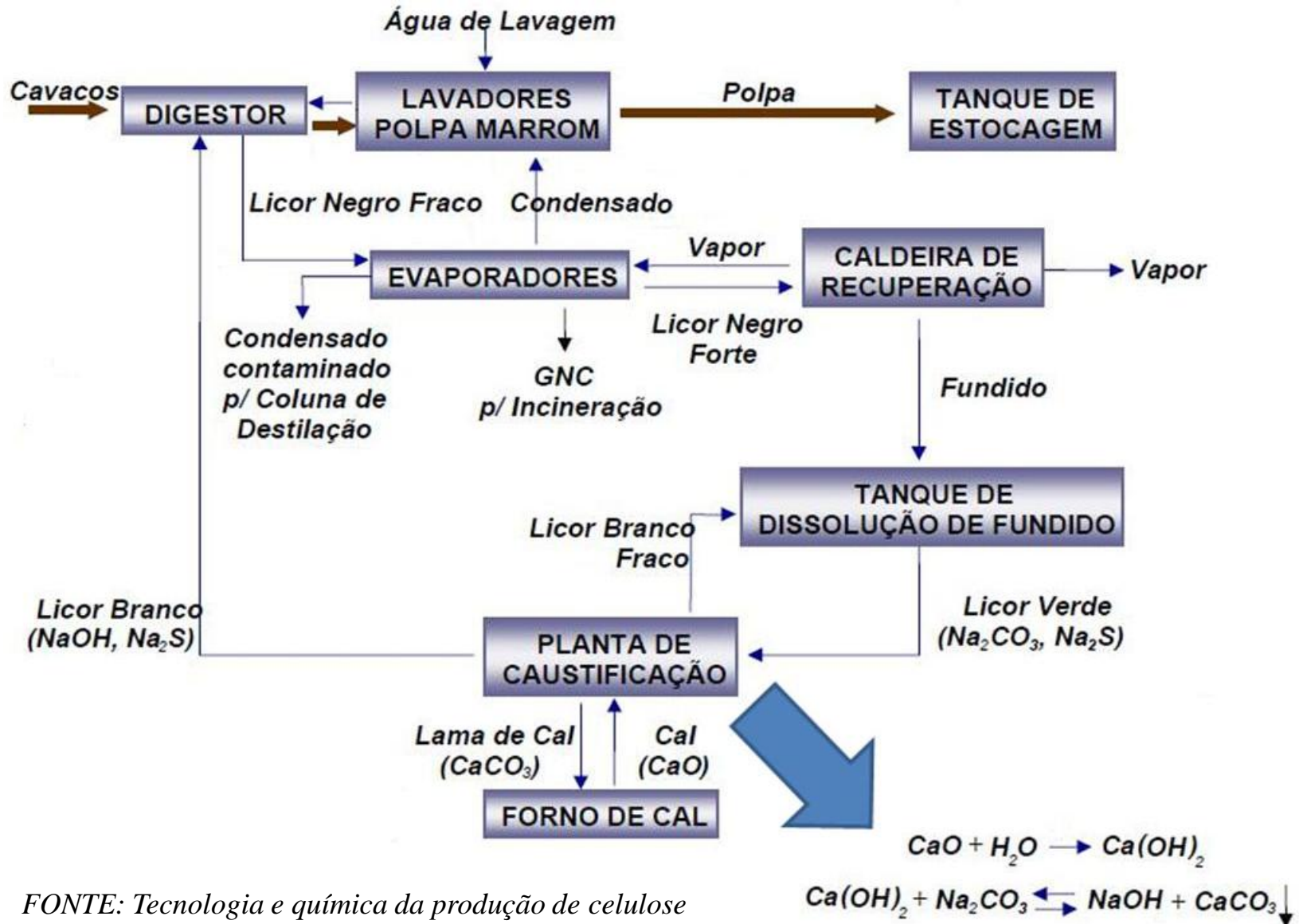


Enfardamento



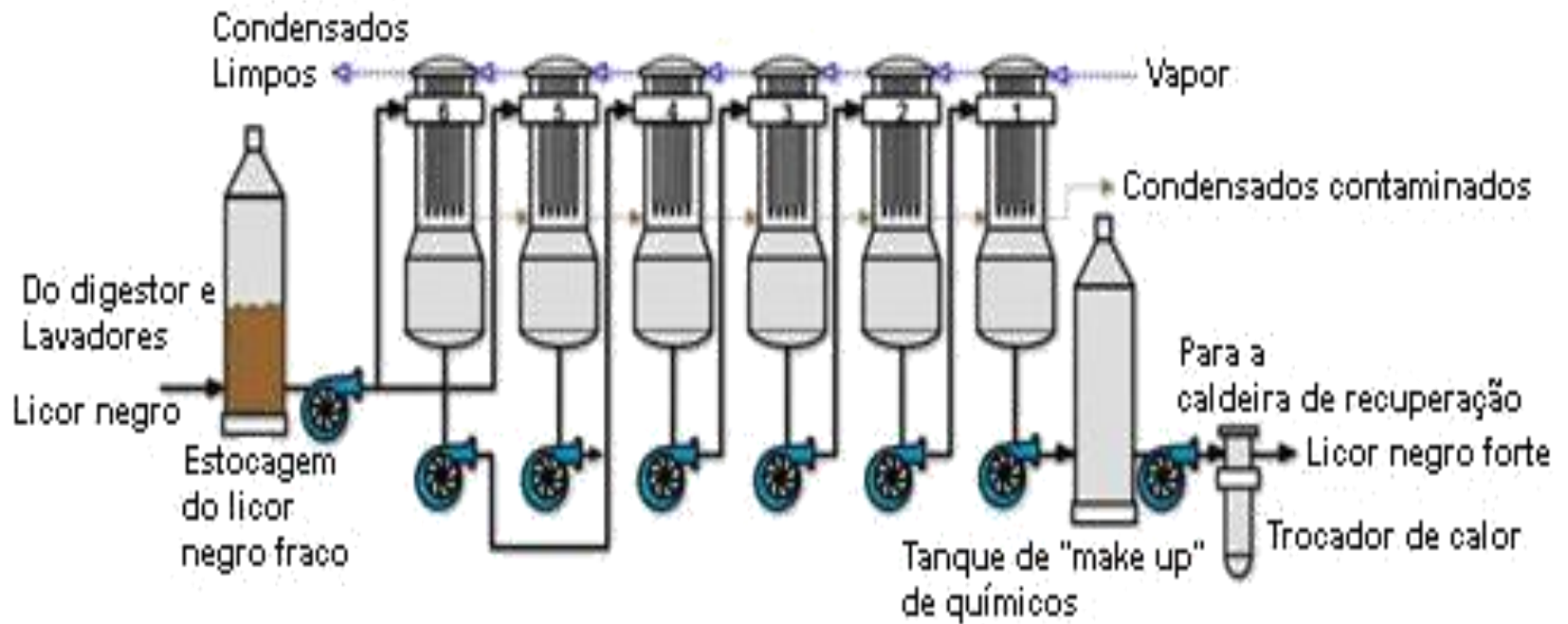
FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski

Fluxograma do ciclo de recuperação "Kraft"

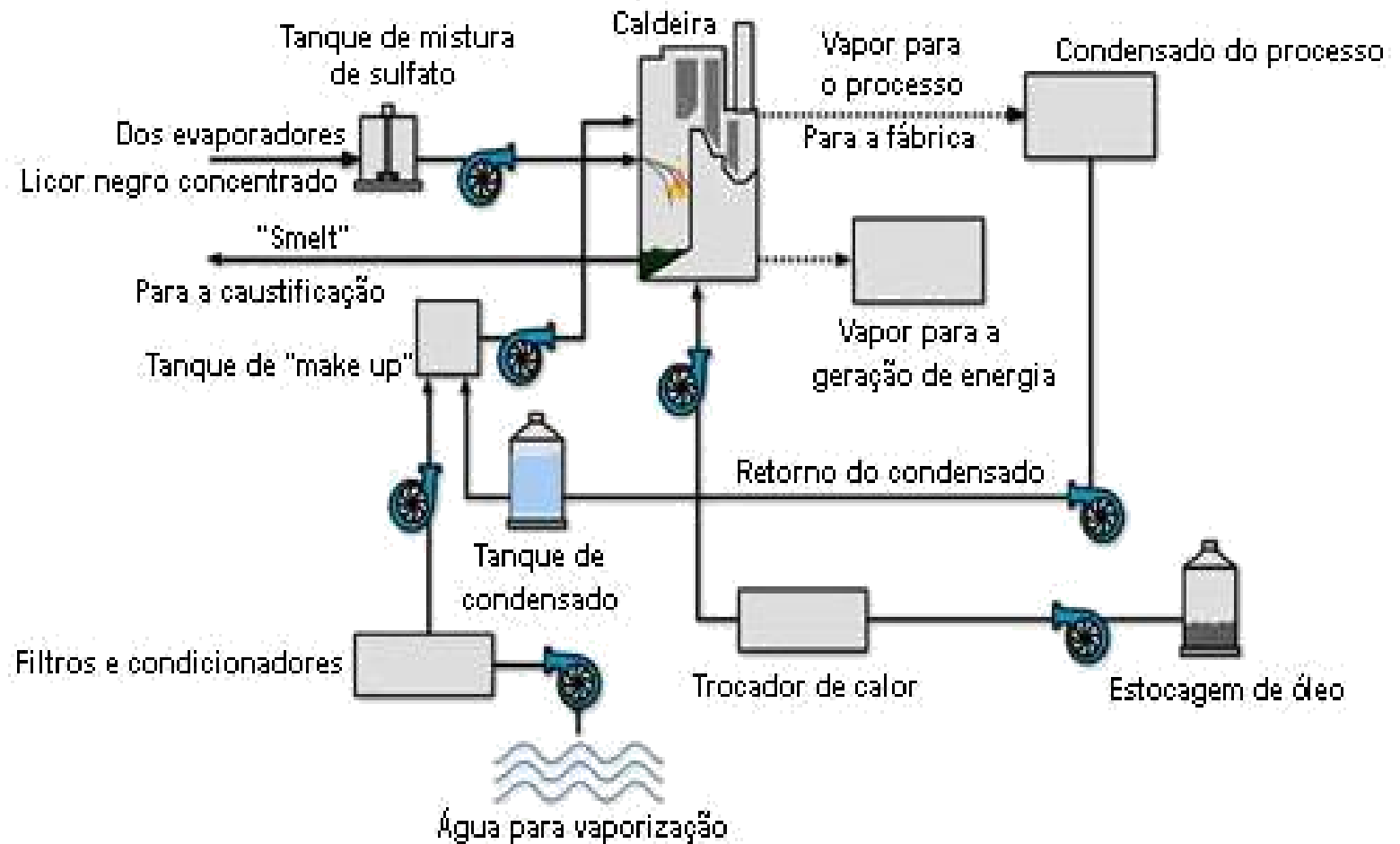


FONTE: Tecnologia e química da produção de celulose
– José Lívio Gomide

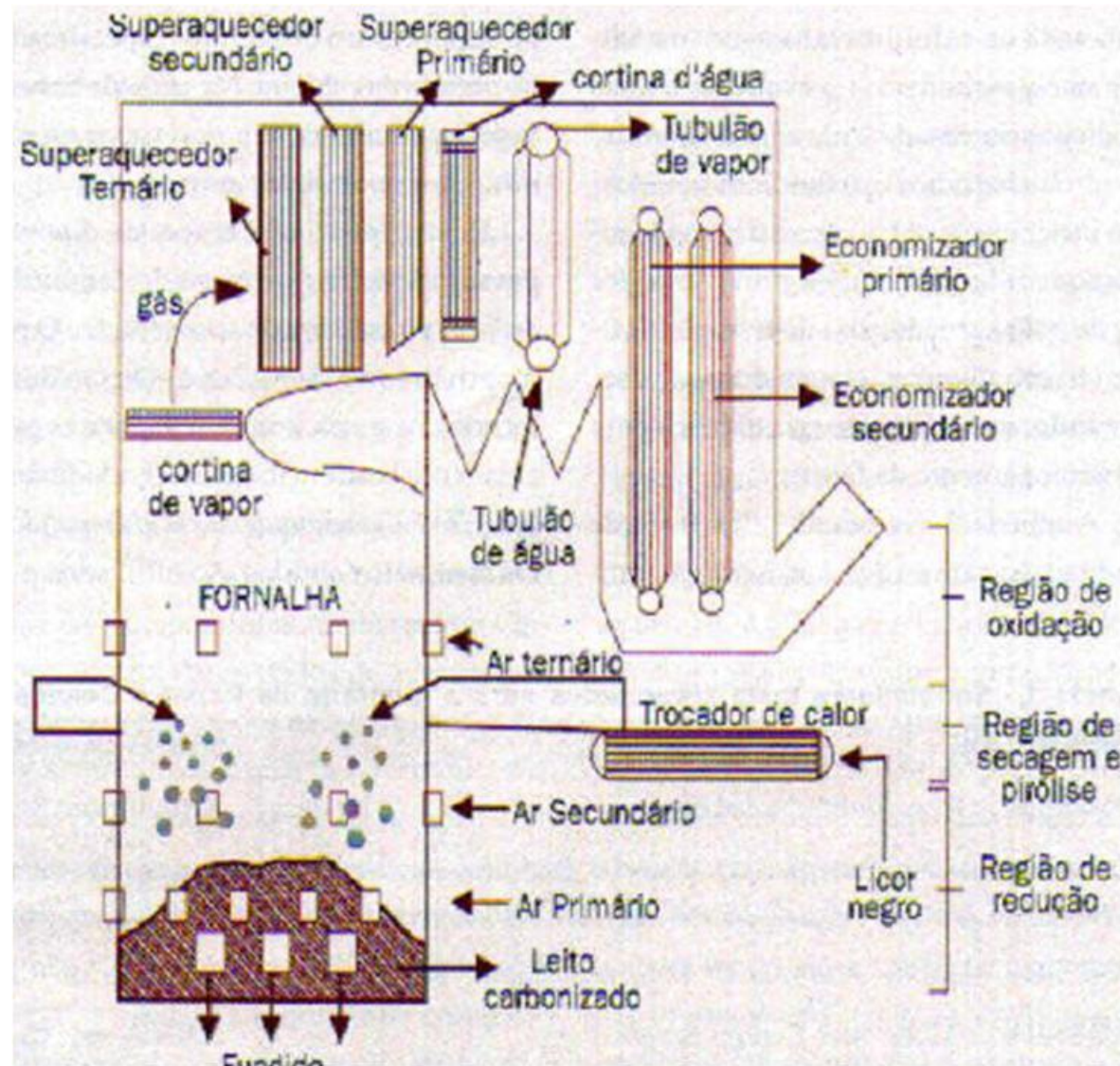
Evaporação



Caldeira de recuperação

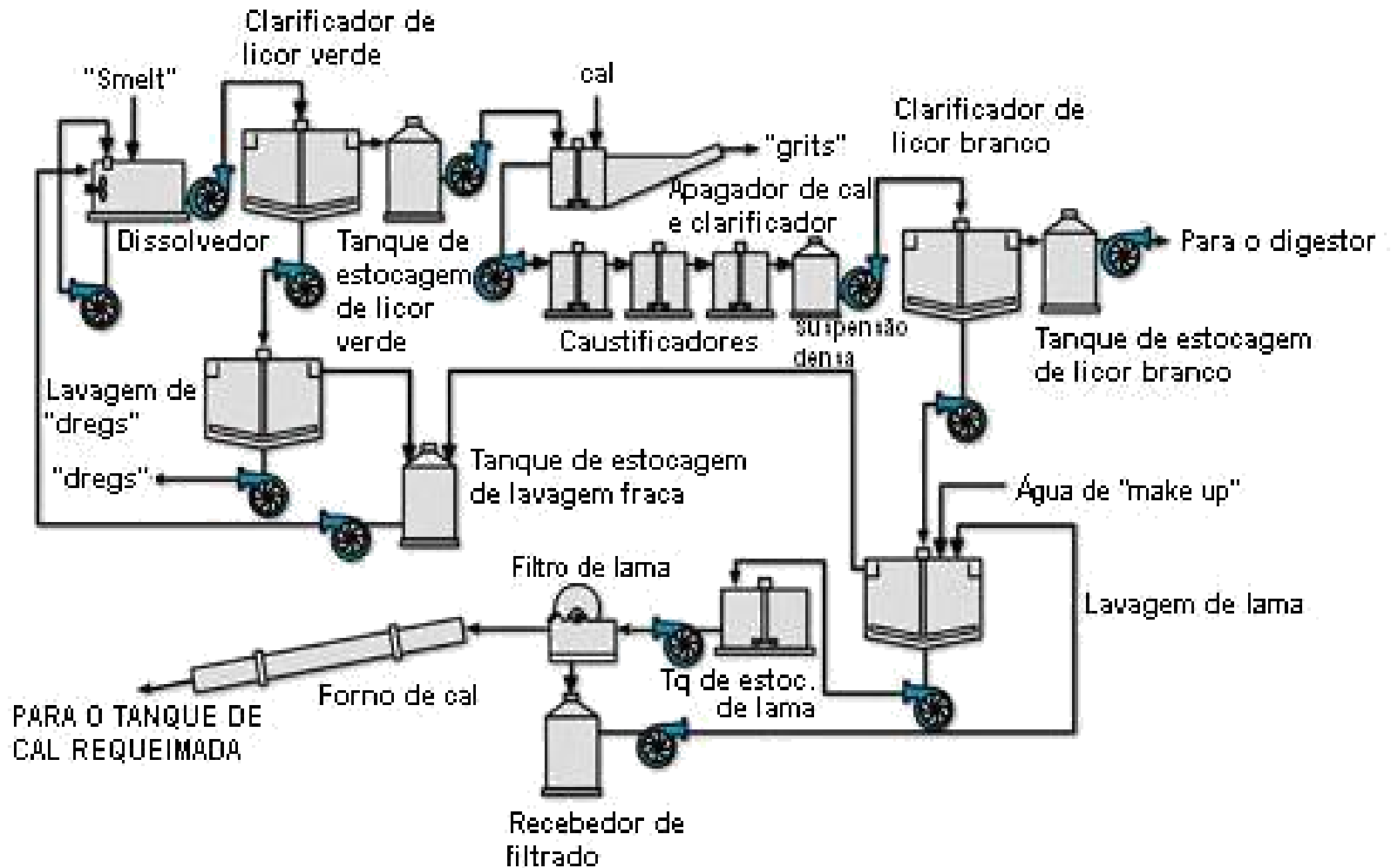


Caldeira de recuperação



FONTE: Caldeira de Recuperação – Alfredo Mokfienski

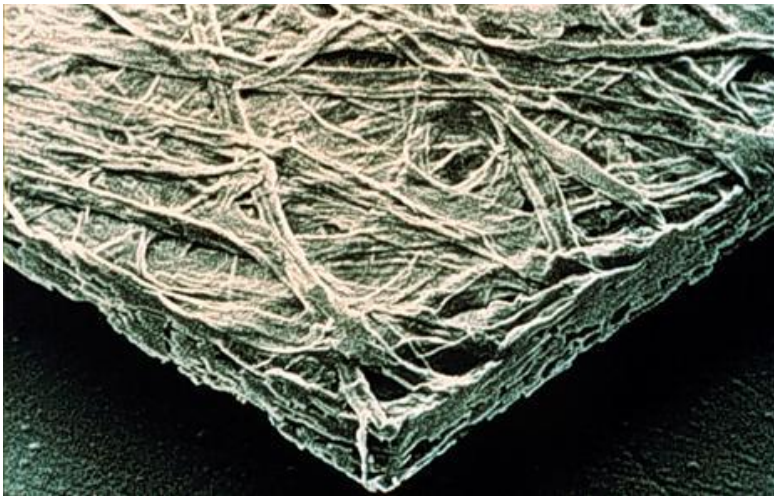
Caustificação



Introdução a fabricação de papel

Mas, afinal, o que é PAPEL?

O papel pode ser 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.



Introdução a fabricação de papel

Papiro, 3000 A.C



Introdução a fabricação de papel

Invenção do papel
T'sai Lun, 105 D.C.

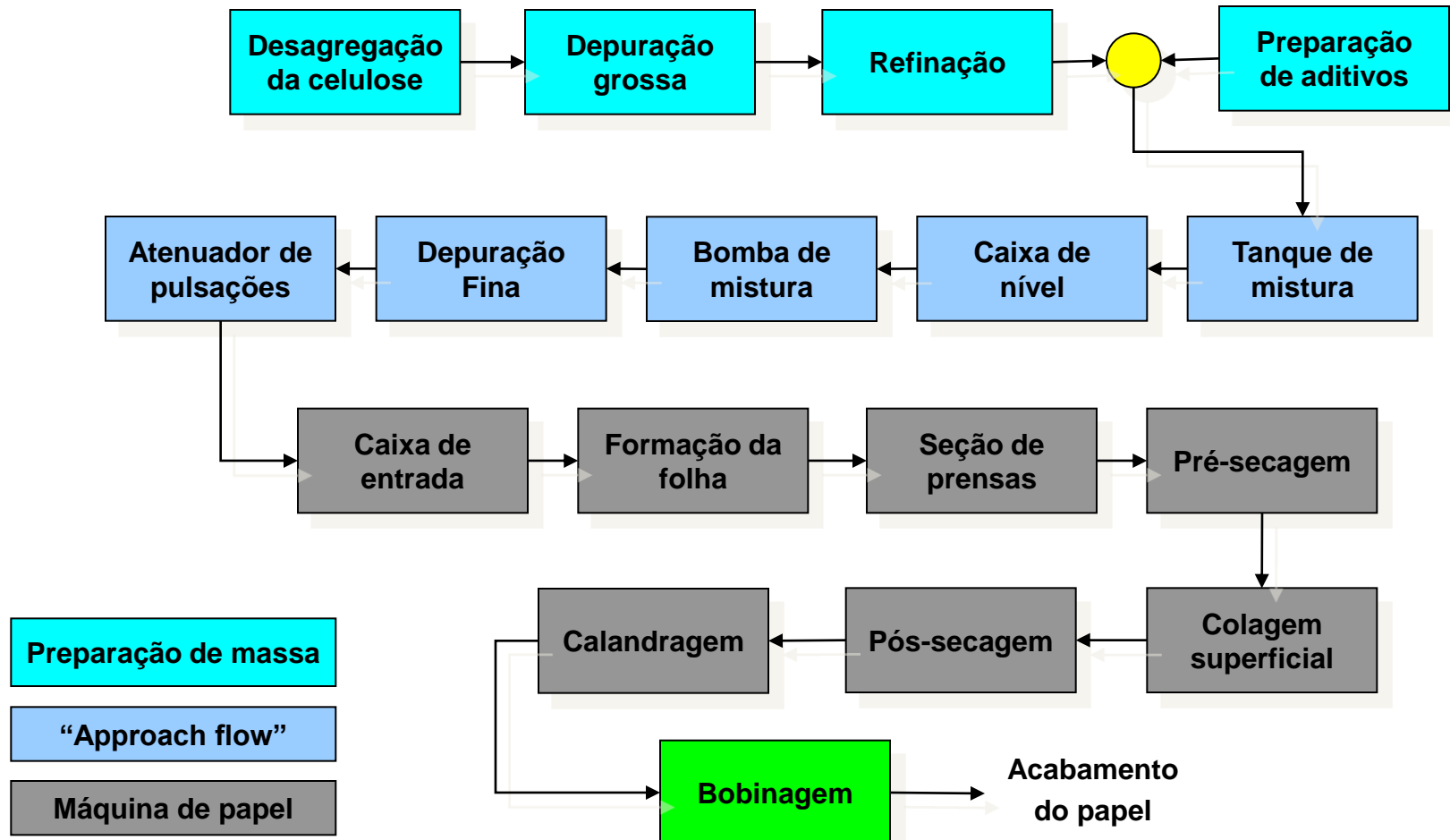
Fibras de árvores e fibras têxteis misturadas com trapos foram cozidas, batidas e depois esmagadas, para em seguida espalhar-se a massa sobre uma peneira com moldura de bambu e um pano esticado, deixando-se ao sol para um processo natural de secagem.

A invenção do papel, porém, permaneceu confinada e mantida como um segredo pelos chineses durante mais de 600 anos.



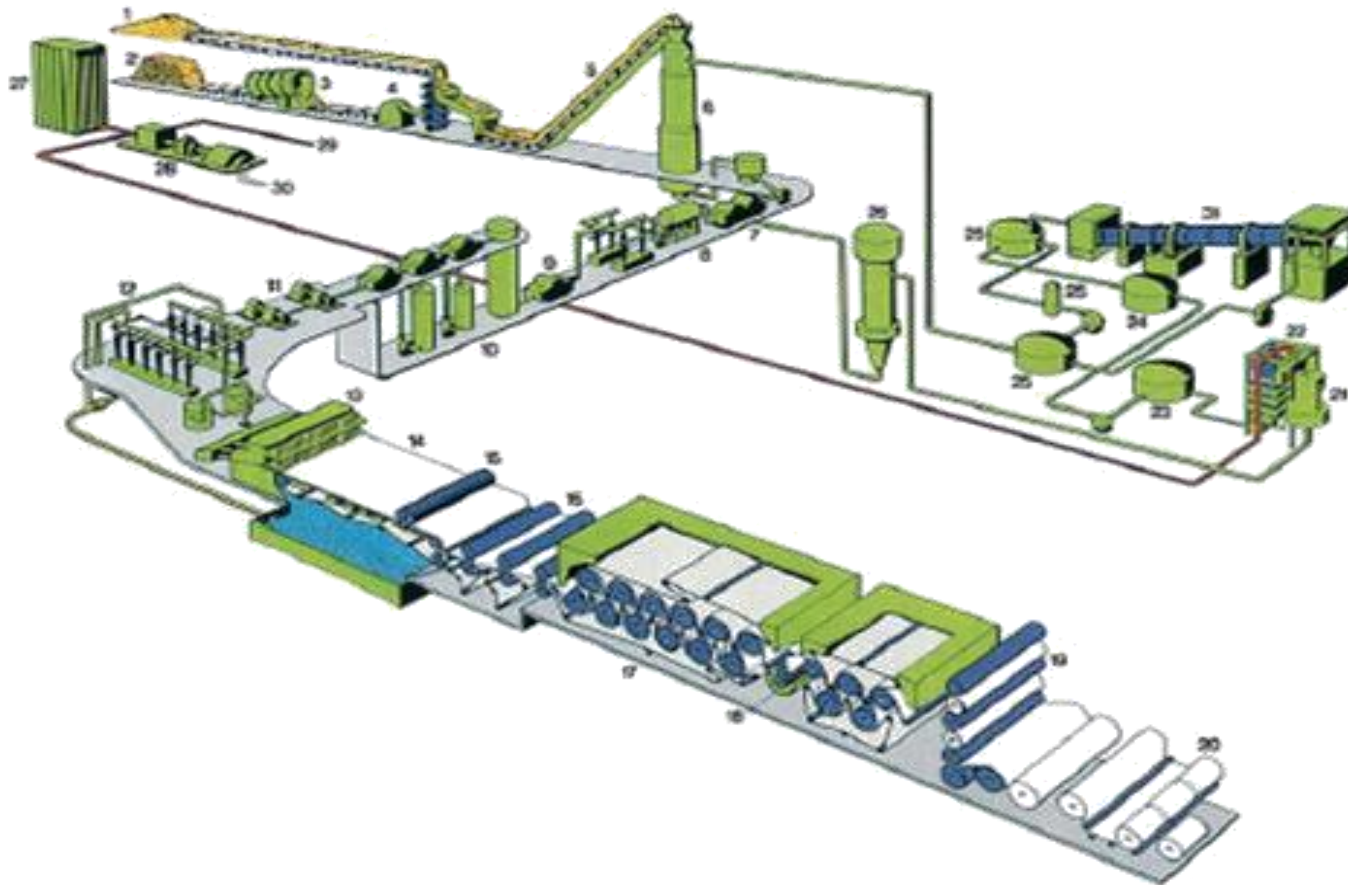
Introdução a fabricação de papel

Fluxograma básico de fabricação de papel (I&E)



Introdução a fabricação de papel

Exemplo de processo integrado de fabricação de papel



Principais tipos de papéis

Impressão e escrita

Papéis para embalagens leves e embrulhos

Papéis para embalagens pesadas

Papéis para fins sanitários

Papéis especiais



Desagregação de fibras virgens

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 de fibras virgens

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 de fibras virgens

Desagregador vertical: “hydrapulper”



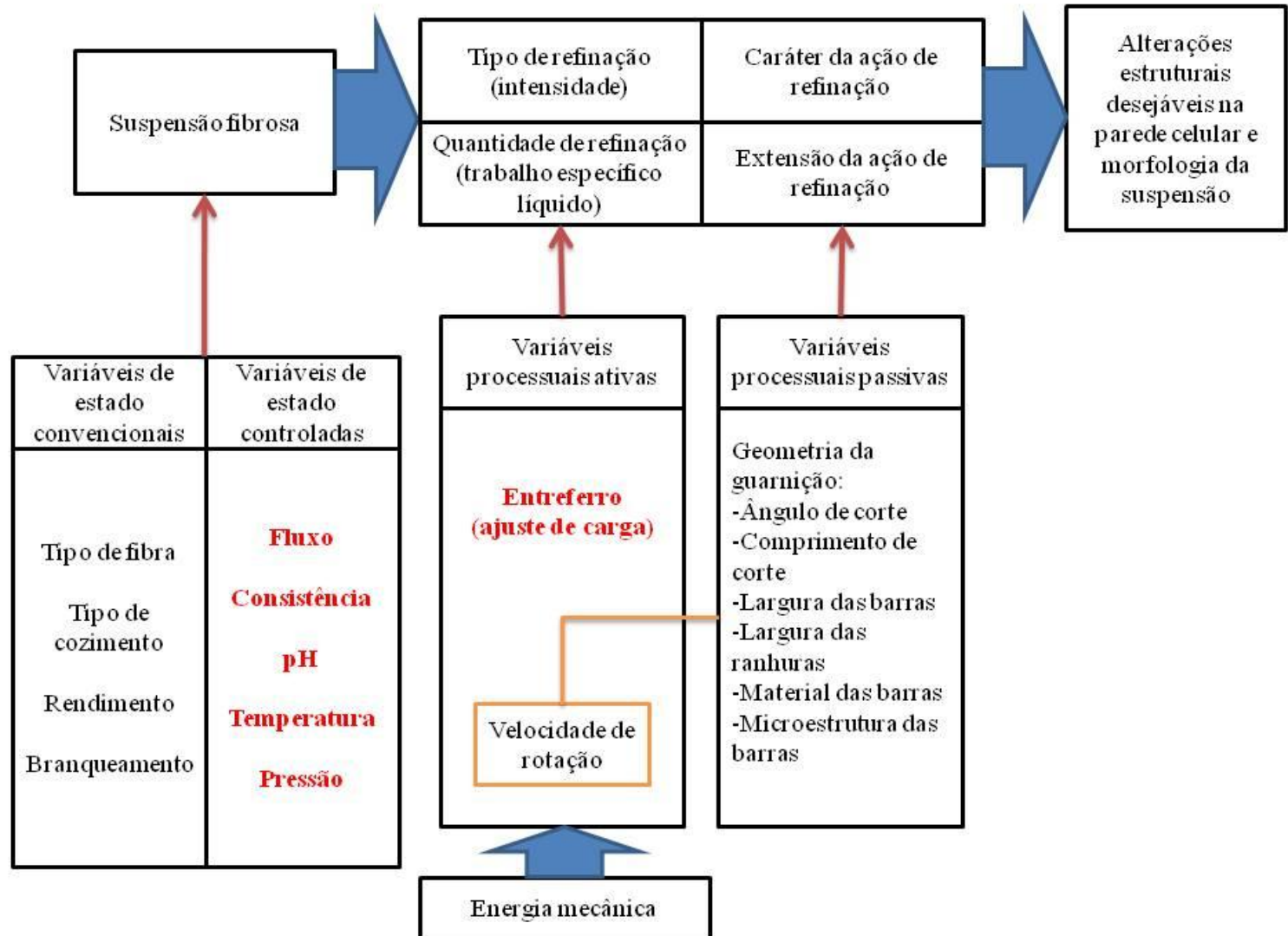
Refinação

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.

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

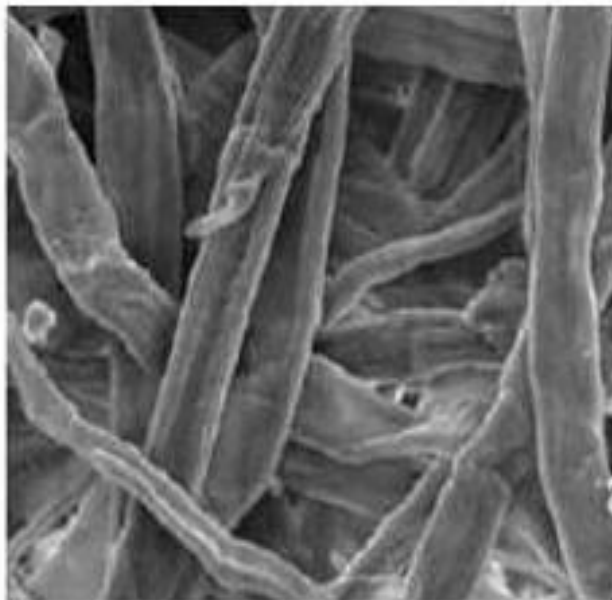
Refinação



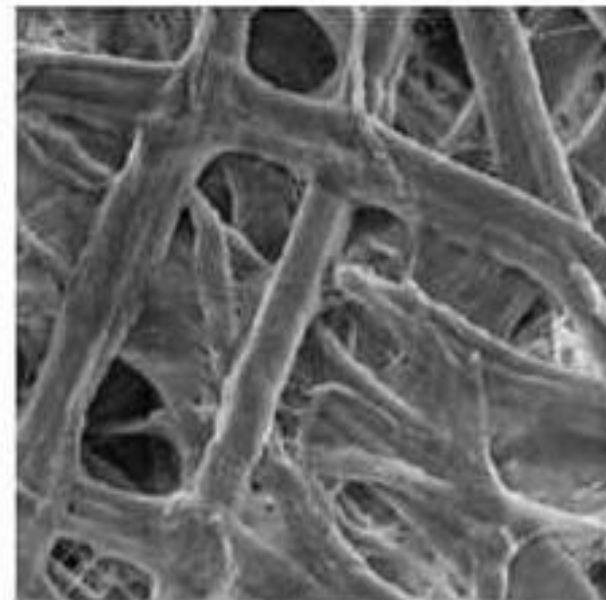
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

Refinação

Diferenças entre fibras não refinadas e refinadas



Sem refino

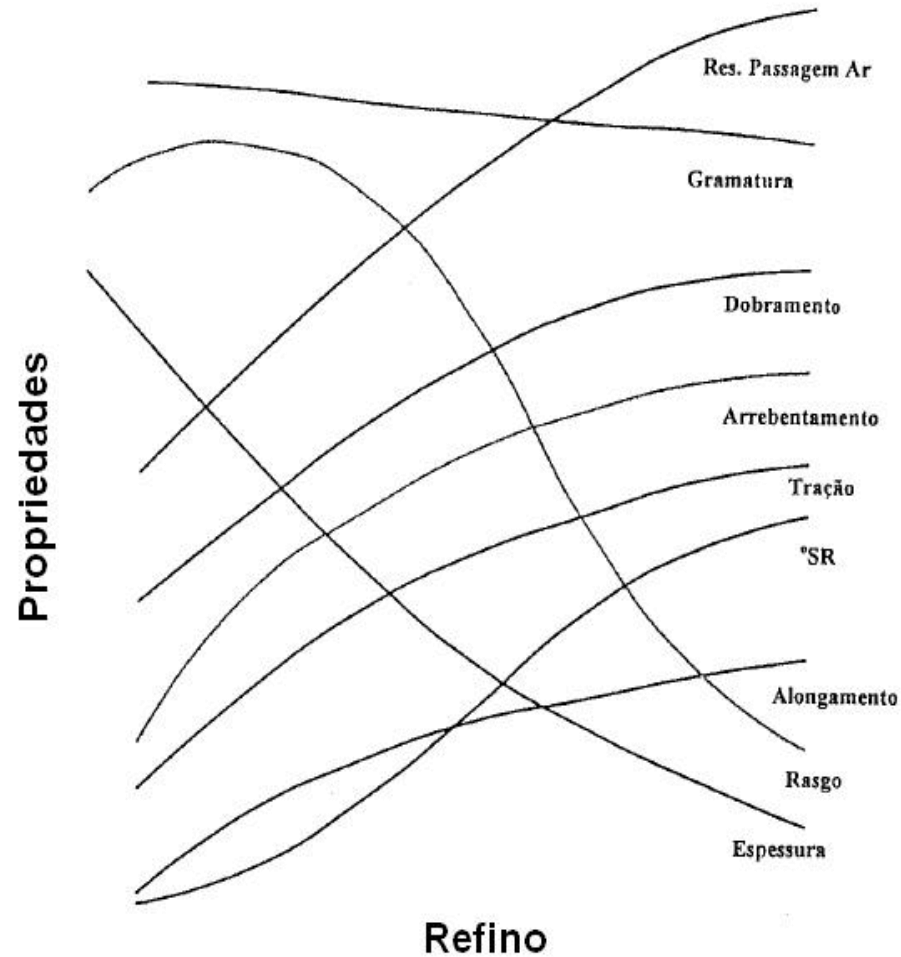


Fibras refinadas até 45°SR

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

Refinação

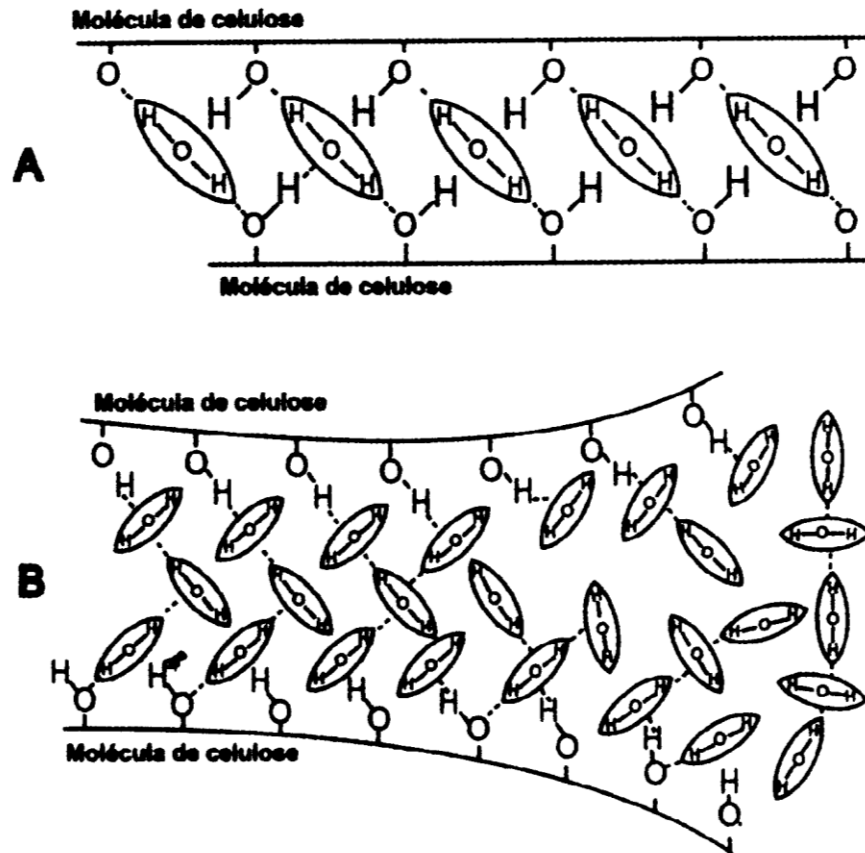
Desenvolvimento de propriedades do papel em função do nível de refino



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

Refinação

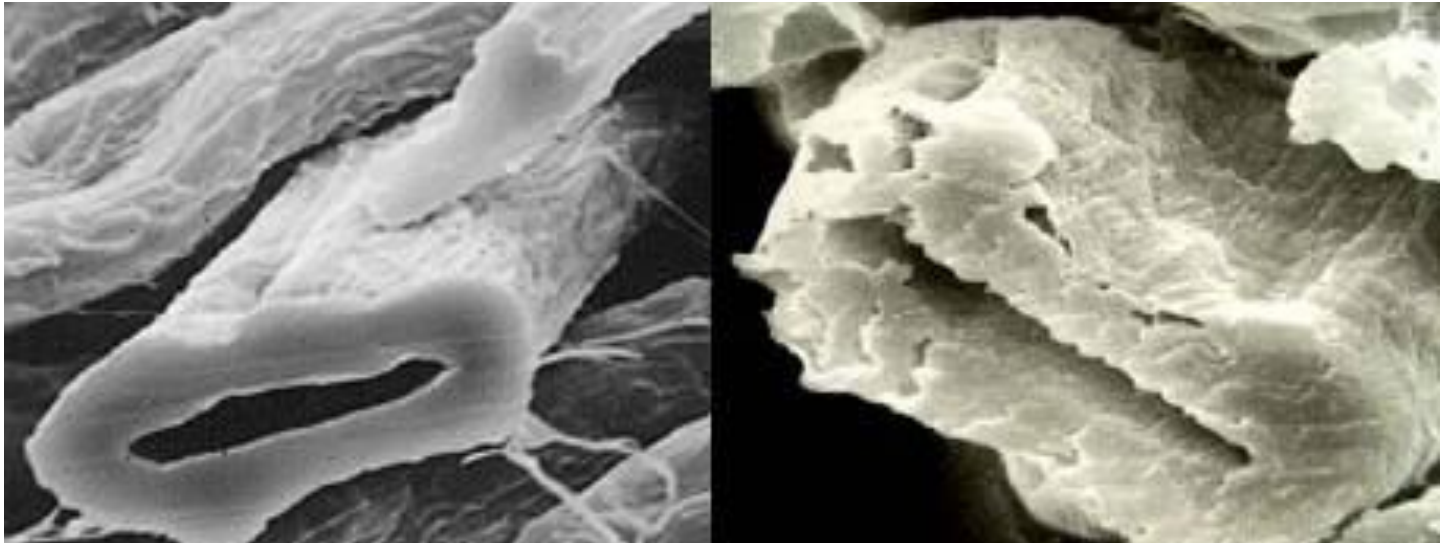
Inserção de água por meio da refinação (hidratação)



A- através de uma camada de moléculas de água
B- através de várias camadas de moléculas de água

Refinação

Colapsamento das fibras

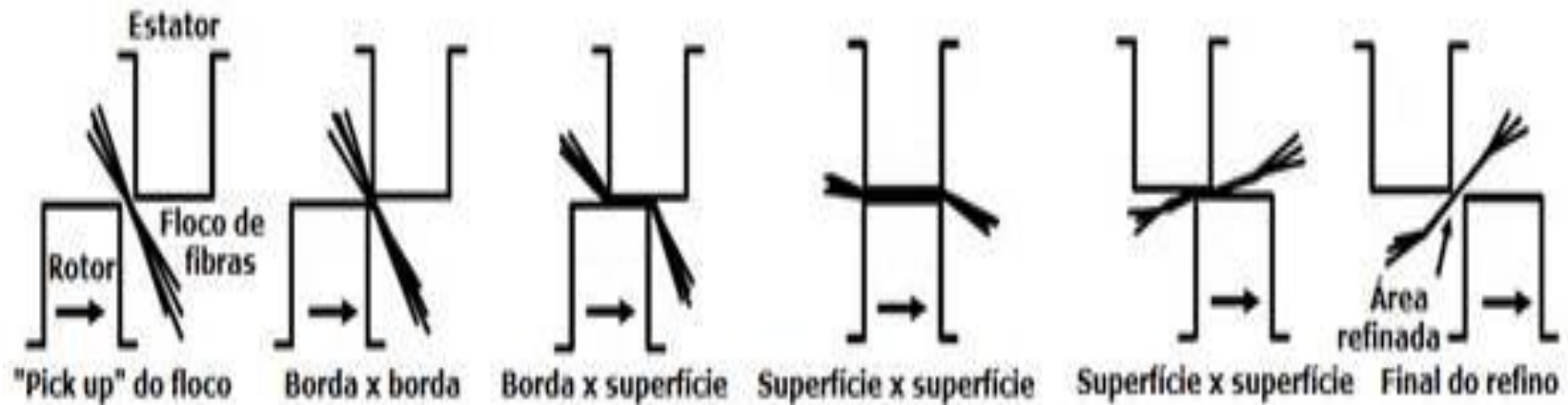


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

Refinação

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%.



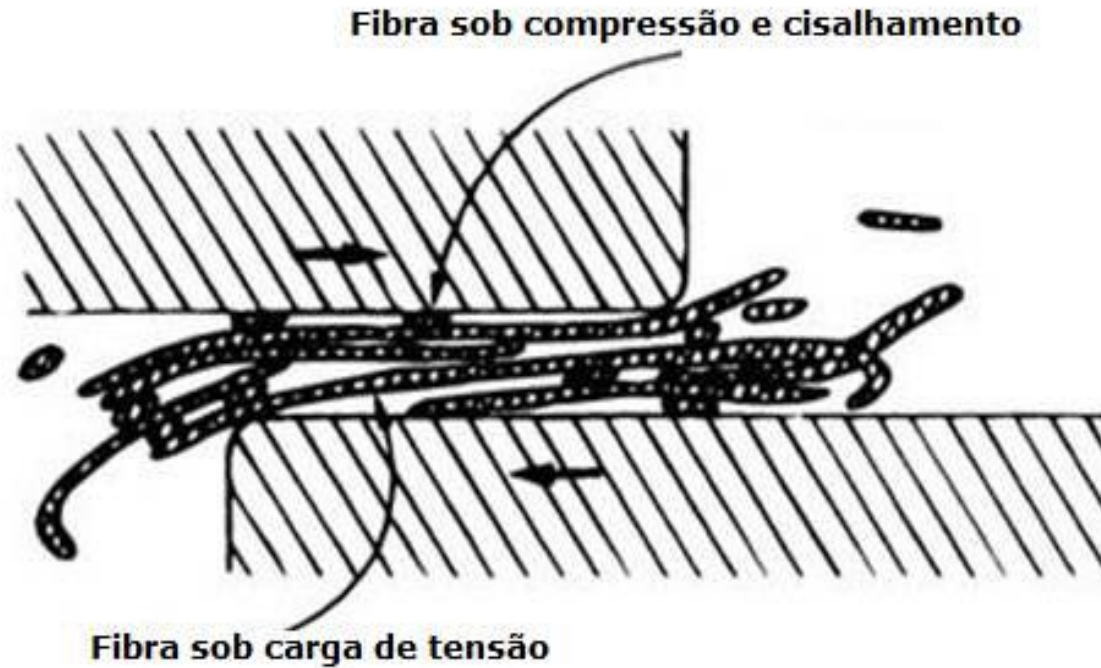
Com a manipulação da massa, como agitação, bombeamento, depuração, os flocos se deformam e formam continuamente.

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 .

Refinação

Teoria dos flocos



Refinação

Carga Específica de Borda

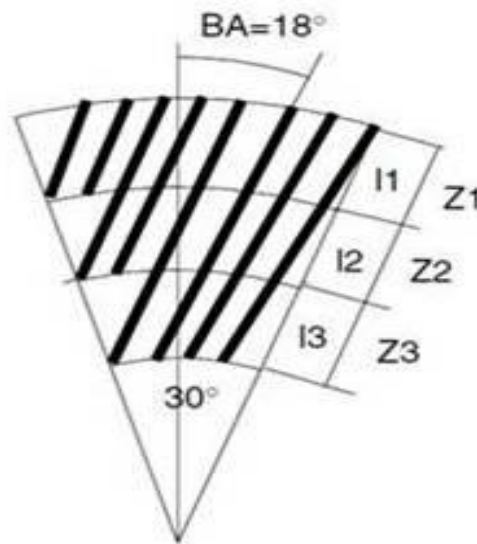
$$CEB = \frac{P_u}{L}$$

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



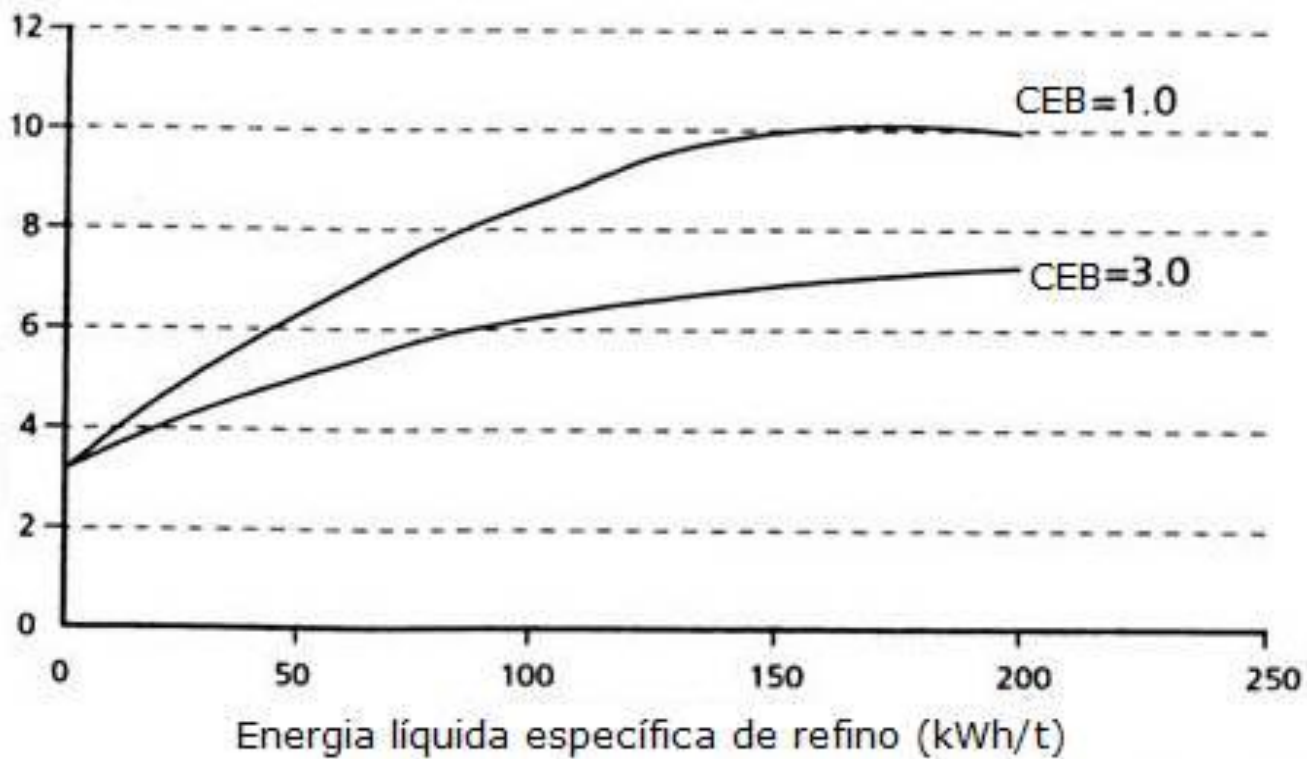
$$L = \frac{CEC * \omega}{60} = \frac{87 \frac{\text{km}}{\text{rot}} * 514 \frac{\text{rot}}{\text{min}}}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 745,3 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

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

Refinação

Carga Específica de Borda

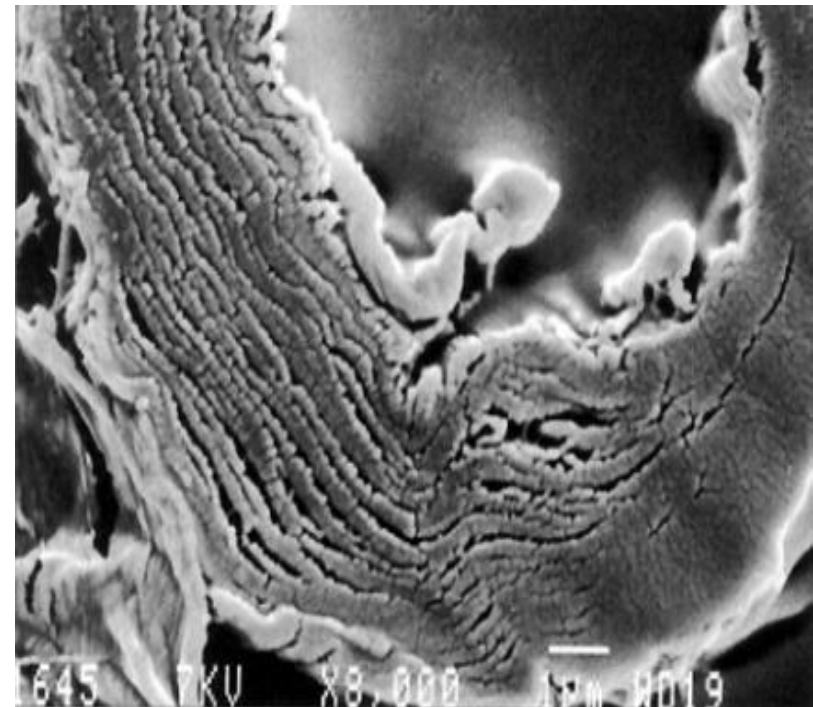
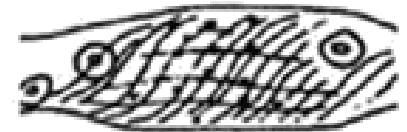
Comprimento de ruptura (km)



Refinação



Fibrilação interna

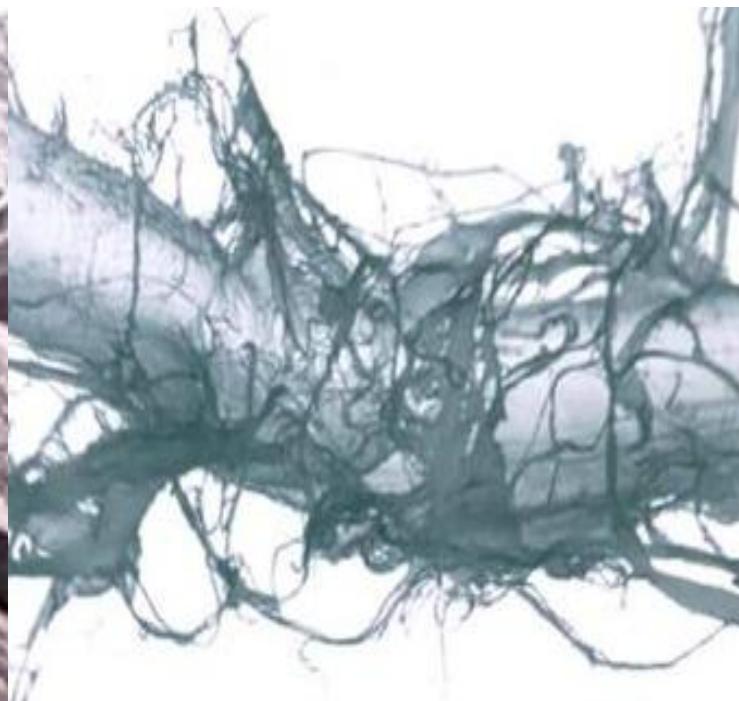
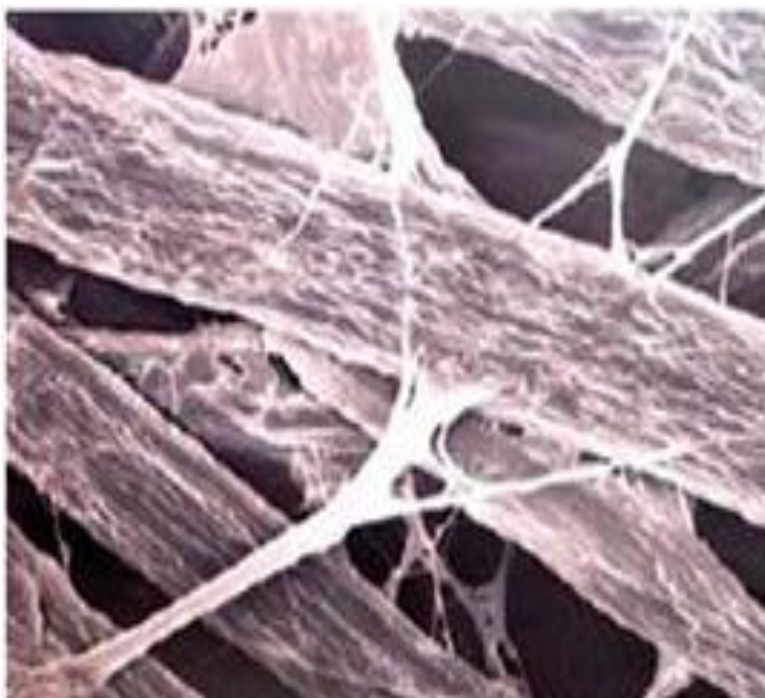


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos) e Refinação em baixa consistência para papéis tissue e toalha – GL&V Brasil Ltda – Rui Alexandre Fontoura

Refinação

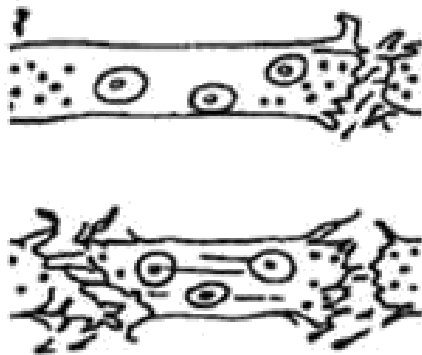


Fibrilação externa



Refinação

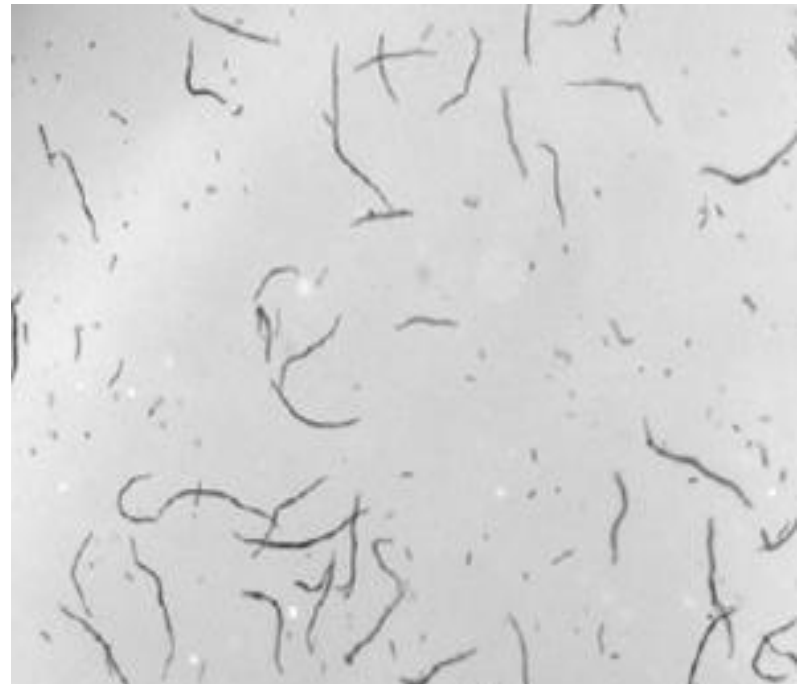
Corte das fibras e geração de finos



Corte das fibras



Formação de finos



Refinação

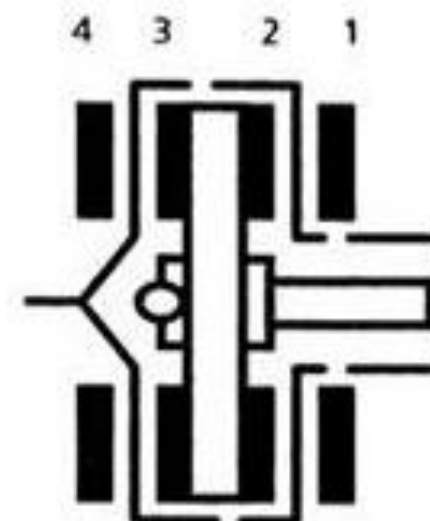
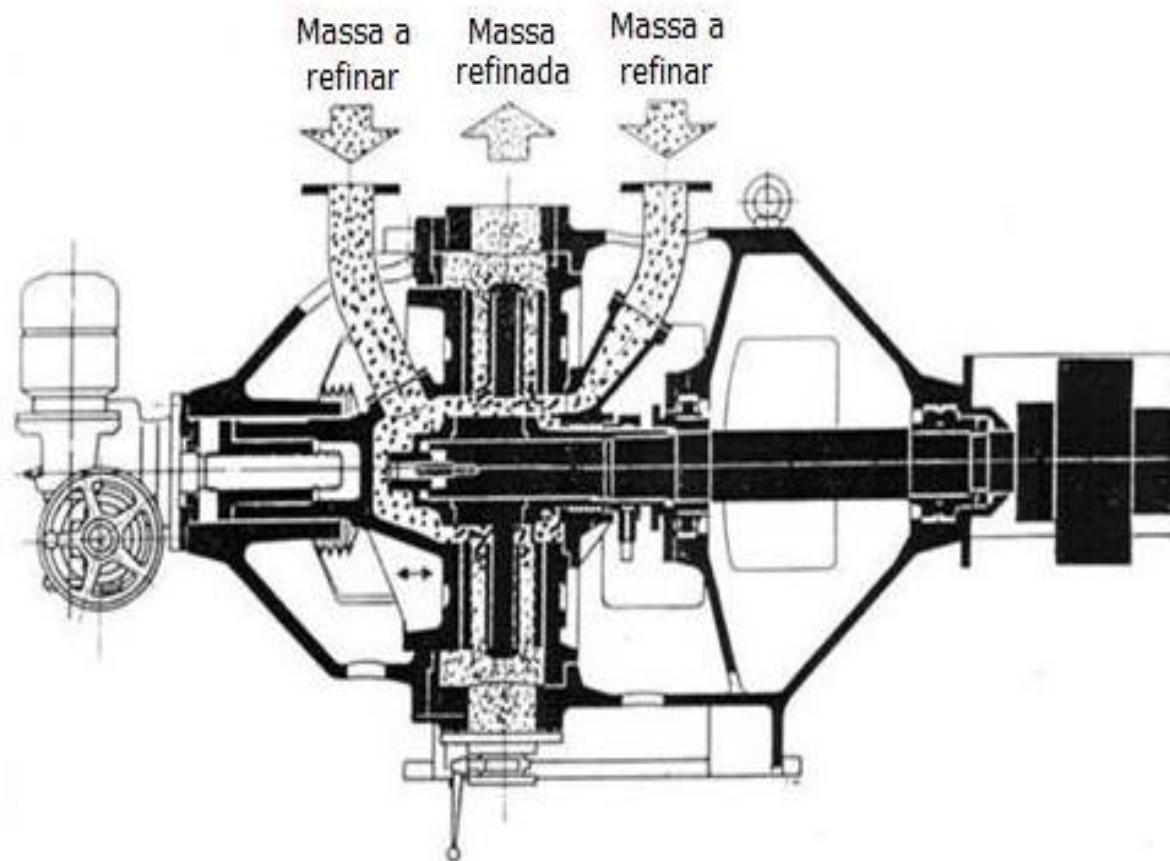
Refinador de discos duplos (aberto)



FONTE: Revista Twogether n° 8

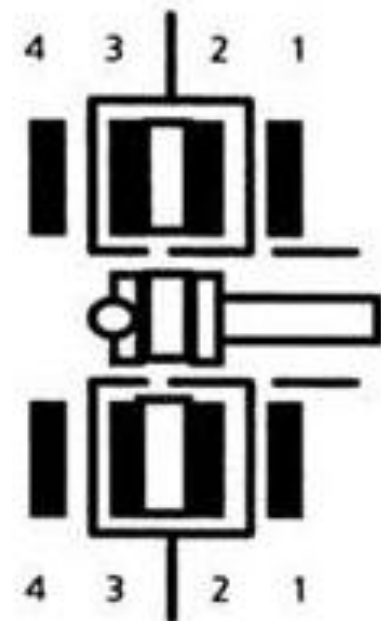
Refinação

Refinador de discos duplos



4 3 2 1

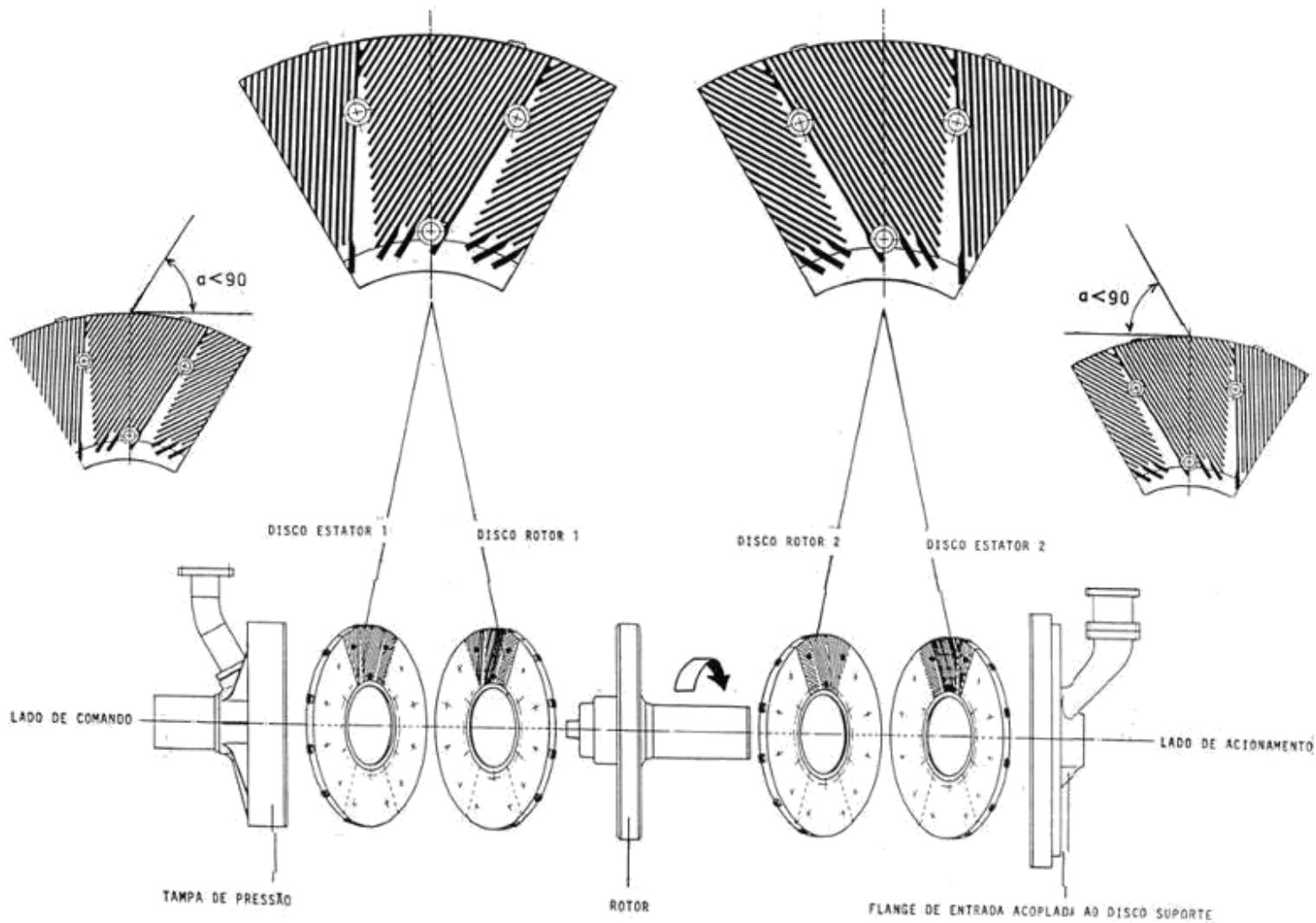
Duoflo



4 3 2 1

Refinação

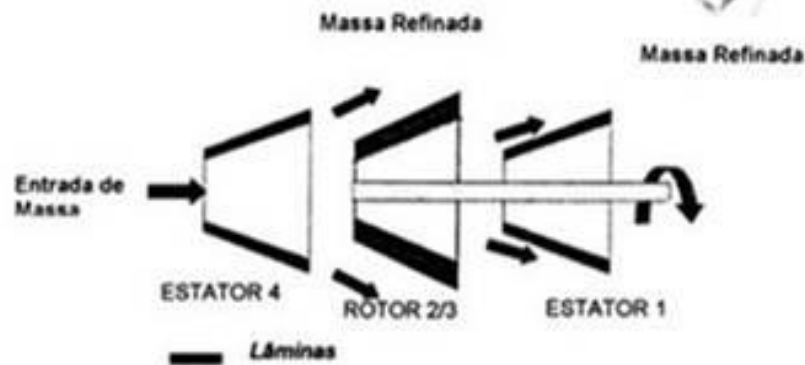
Refinador de discos duplos



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

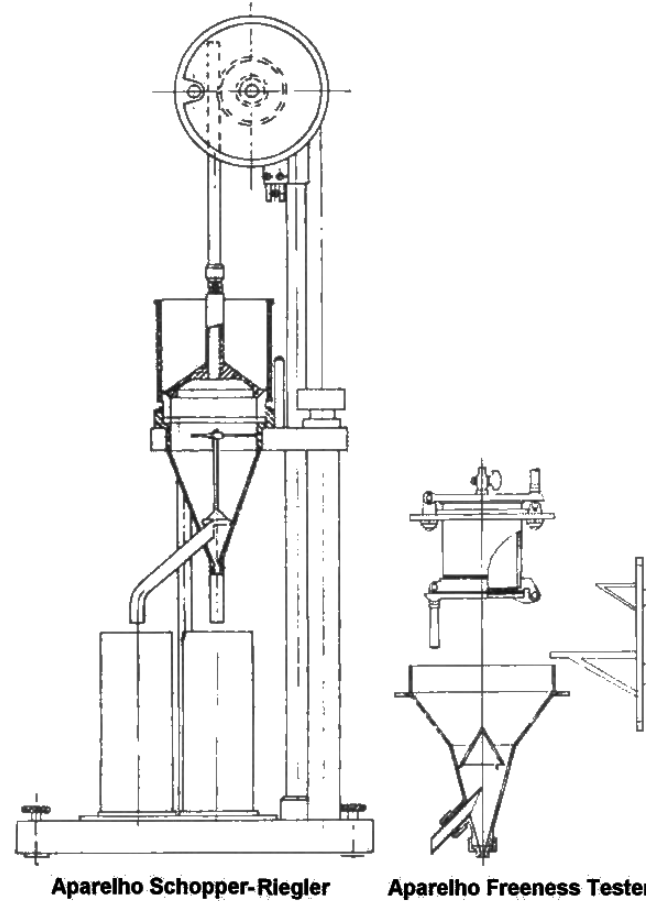
Refinação

Refinador “tricônico”



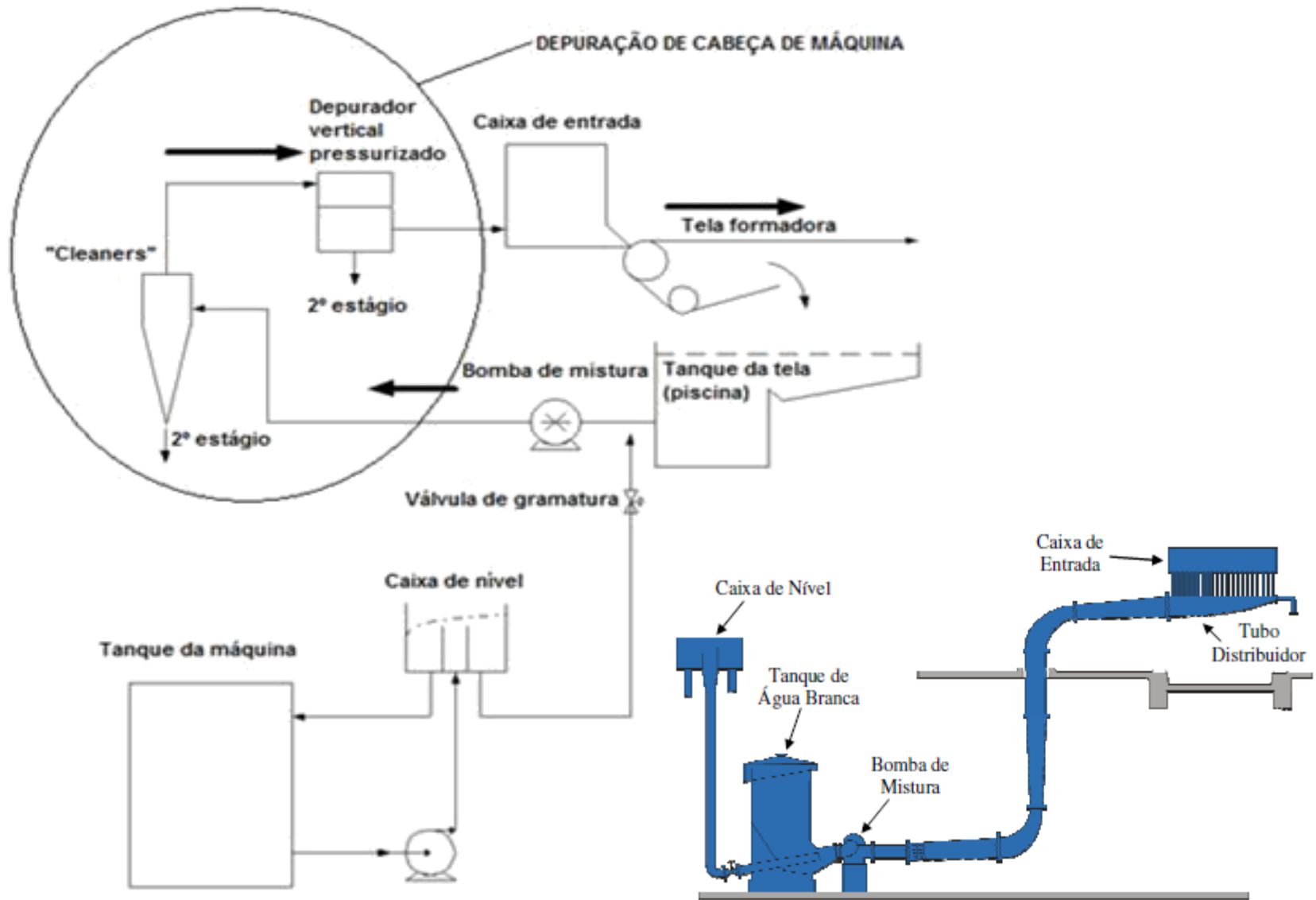
Refinação

Medição de grau de refino

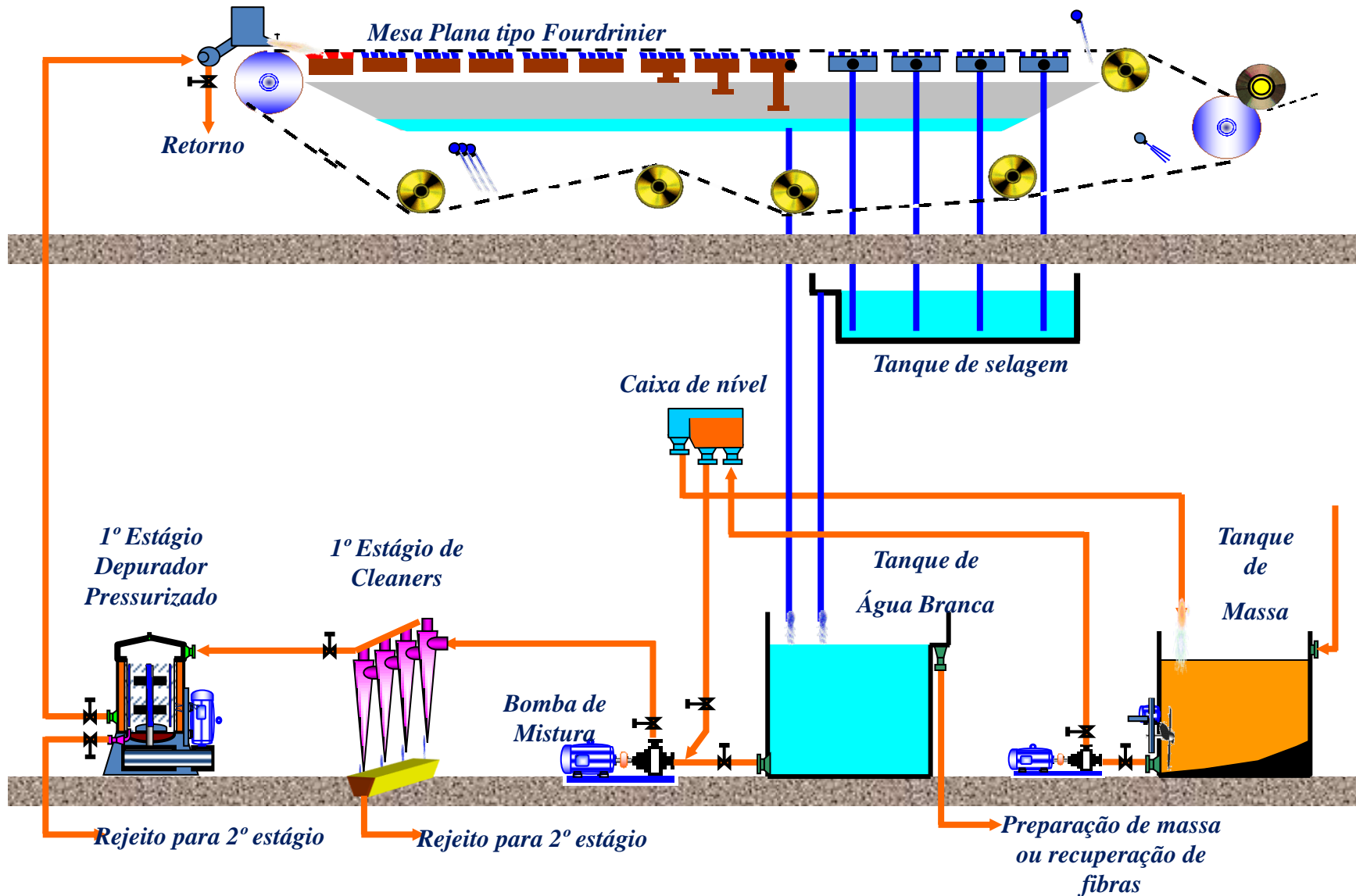


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

“Approach flow”



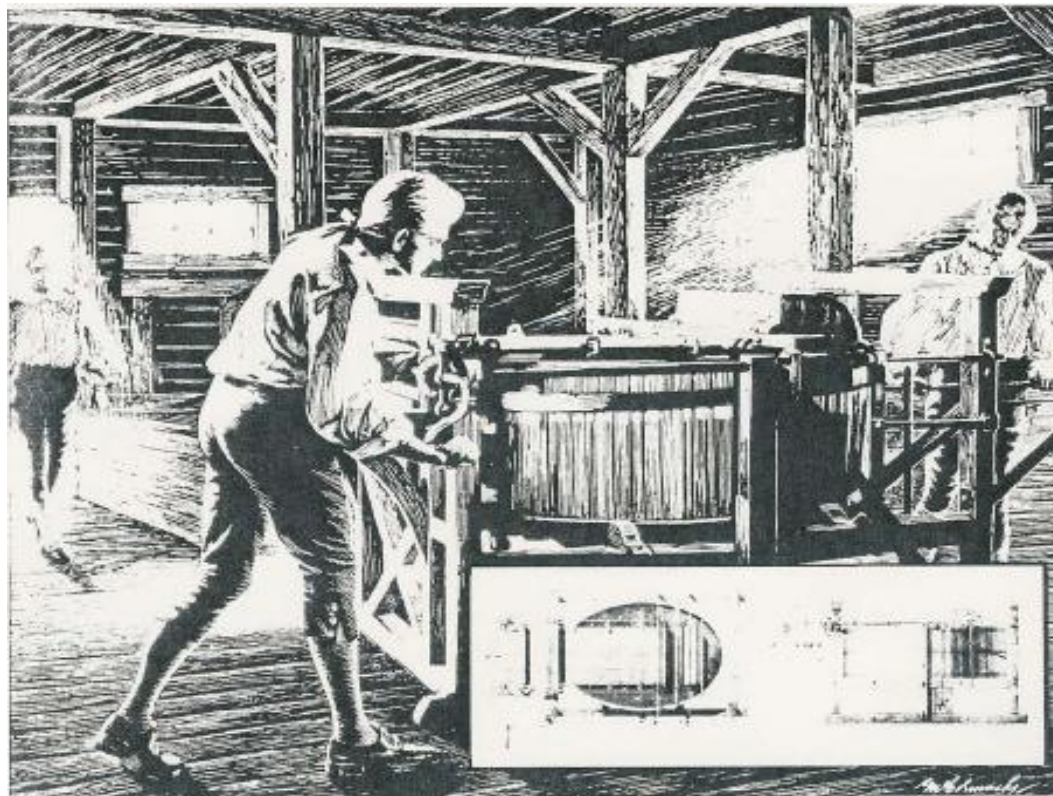
“Approach flow”



FONTE: Prof. Bruno Machado - UNC

Introdução a fabricação de papel

Primeira máquina de papel



Louis Robert, 1799

Introdução a fabricação de papel

Máquina de papel “fourdrinier”



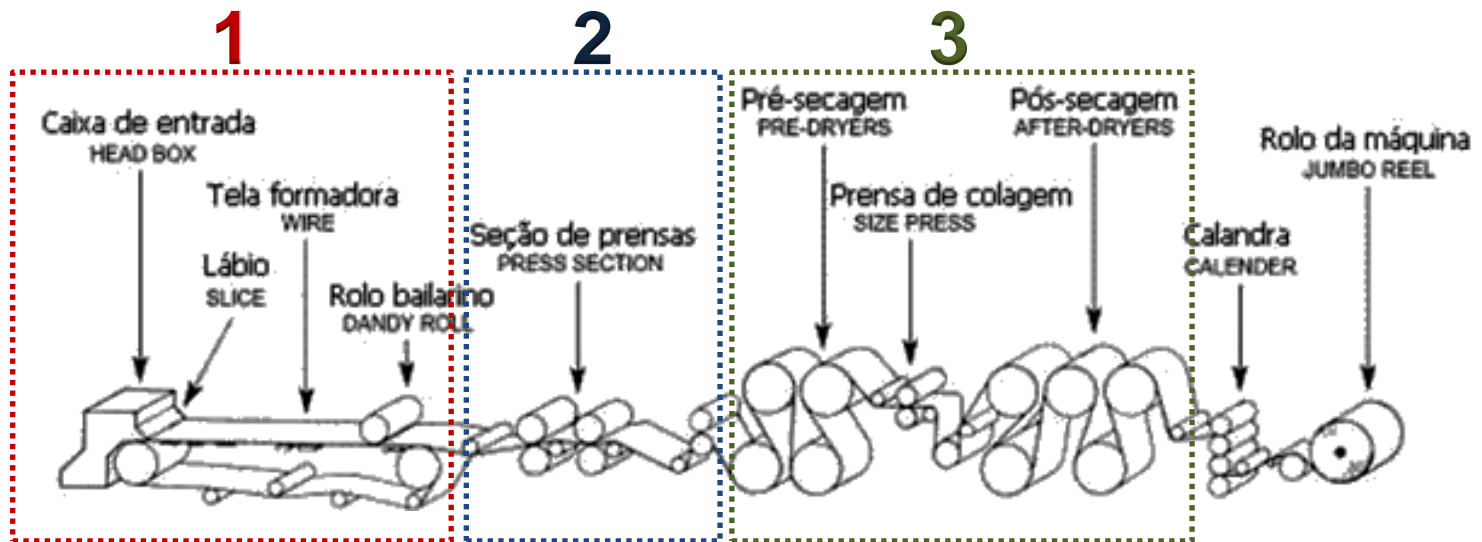
Irmãos Fourdrinier, 1804

Máquina de papel

Setores de uma máquina de papel – eliminação de água

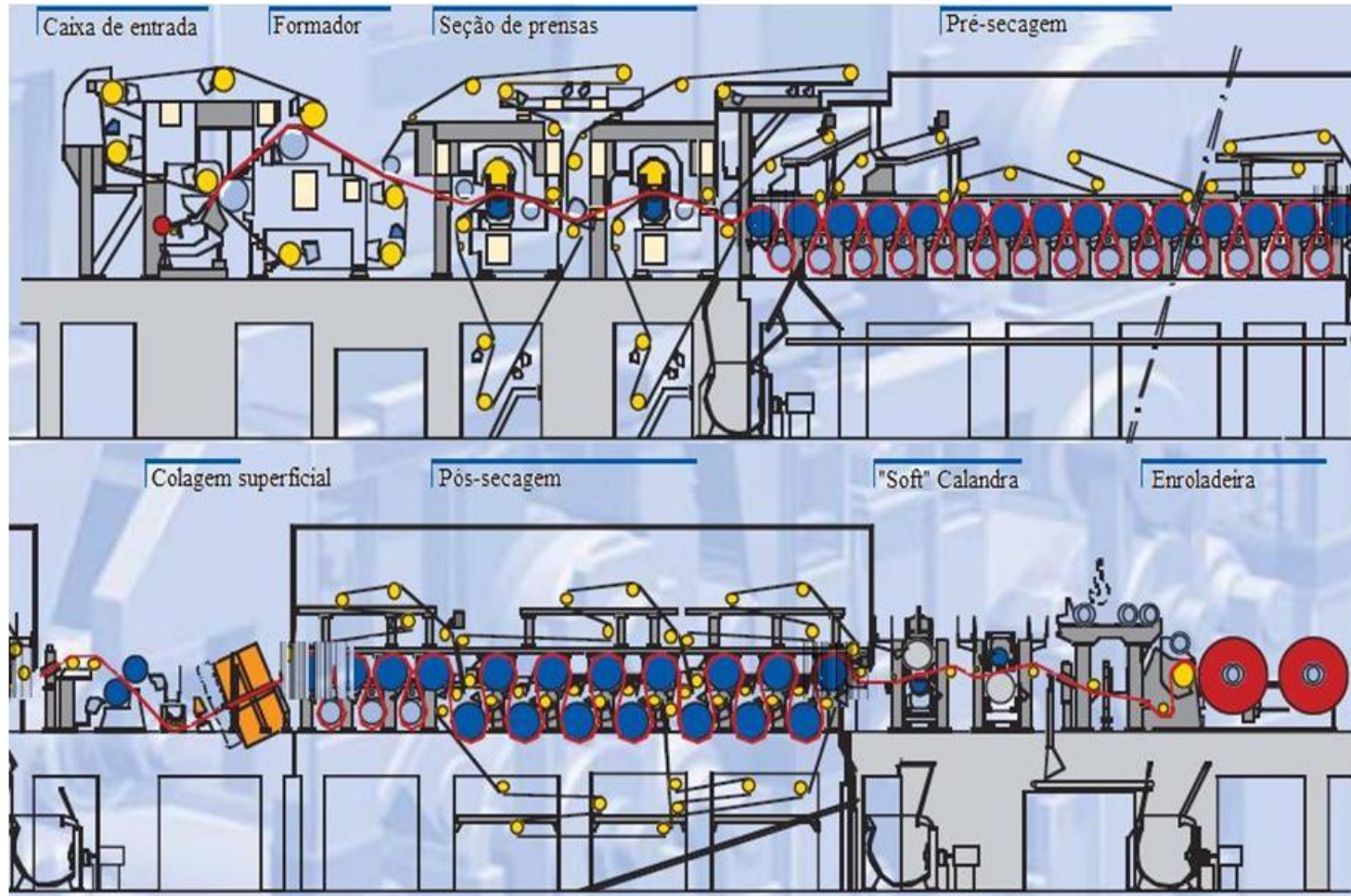
A função básica da máquina de papel, que é remover a água da folha, é feita em três setores que operam baseados em diferentes princípios, como segue:

1. **Formação:** desaguamento utilizando as características hidrodinâmicas do líquido;
2. **Prensagem:** desaguamento por compressão mecânica;
3. **Secagem:** desaguamento por evaporação, por meio do fornecimento de calor nos cilindros secadores.



Máquina de papel

Setores de uma máquina de papel



Máquina de papel

Eliminação de água nas três principais seções da máquina de papel (I&E) – 150 g/m²

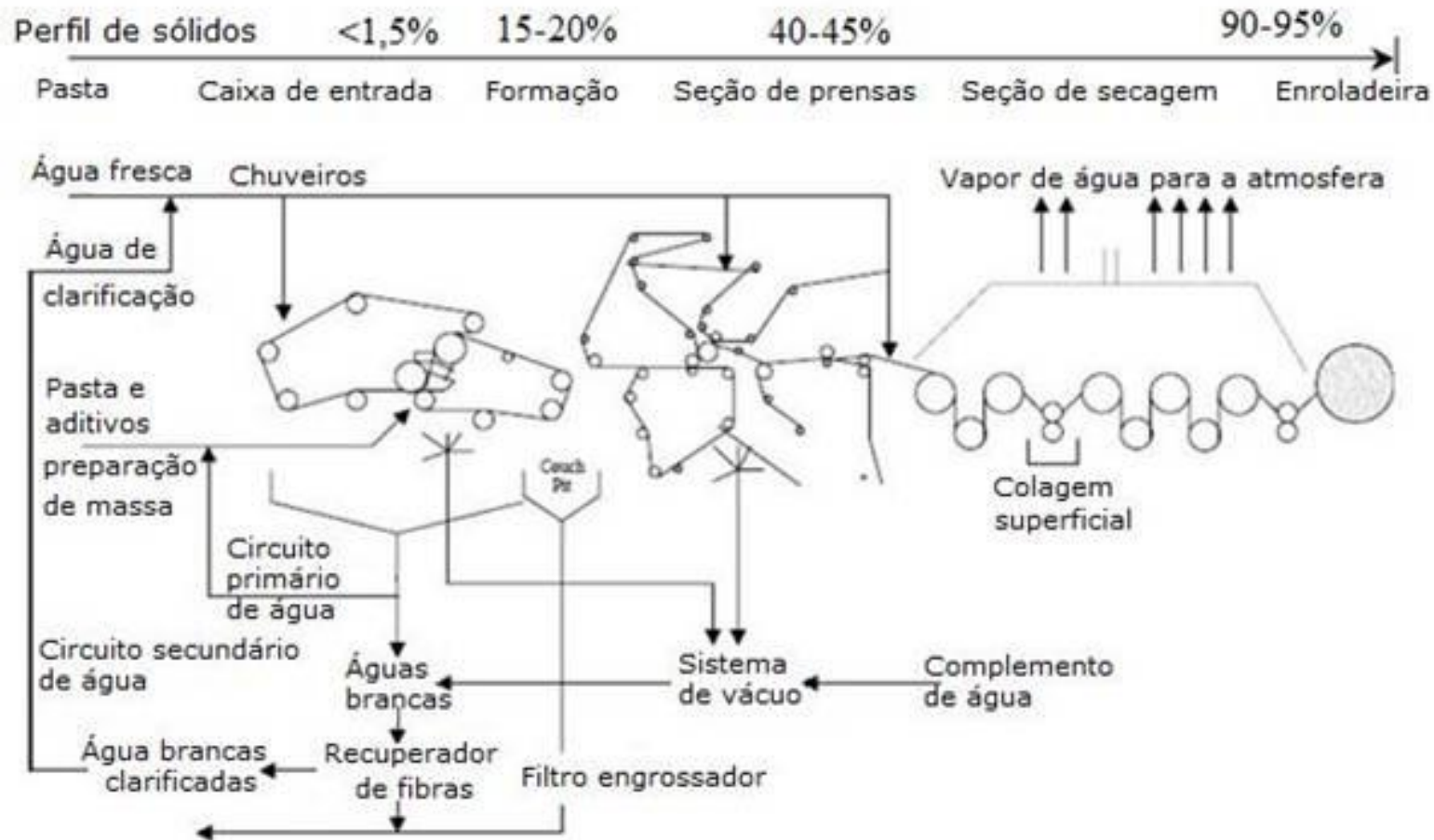
ZONAS	Conteúdo de seco na entrada	Conteúdo de seco na saída	Percentagem de água eliminada
Formação	1,0 %	18,0%	95,4 %
Prensagem	18,0 %	42,0 %	3,2 %
Secagem	42,0 %	94,0%	1,4 %

Custos de desagendamento em máquina de papel:

Seções da máquina	Custo de desagendamento	Proporção do desagendamento
Formação	~10%	95-97%
Prensagem	~12%	2-4%
Secagem	~78%	1%

Máquina de papel

Eliminação de água nas três principais seções da máquina de papel (I&E)

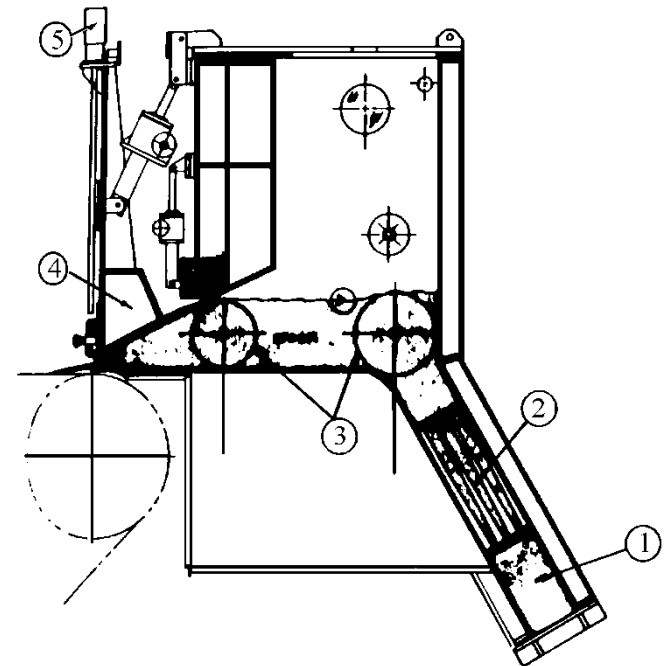
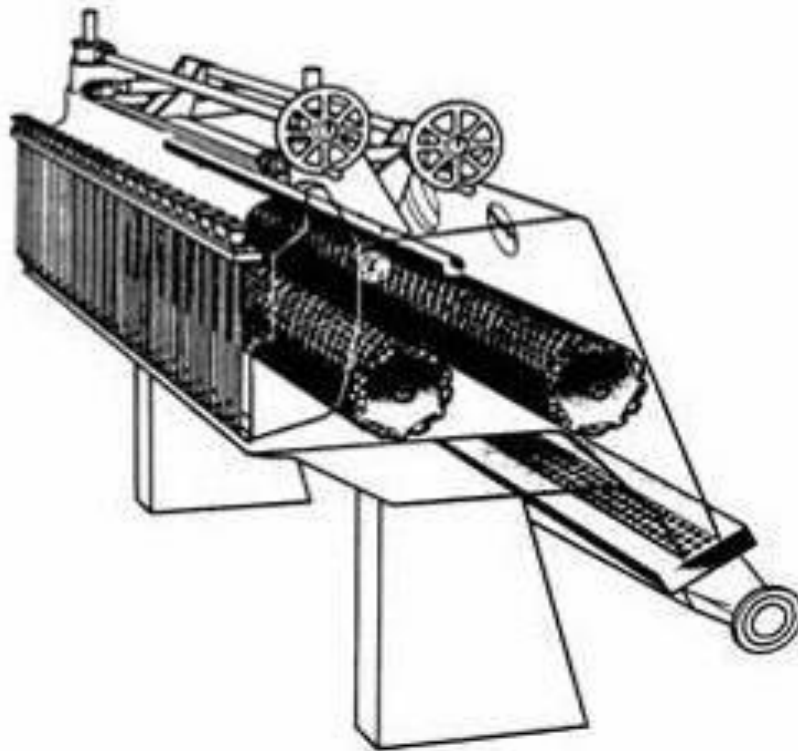


Caixa de entrada

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.

Caixa de entrada

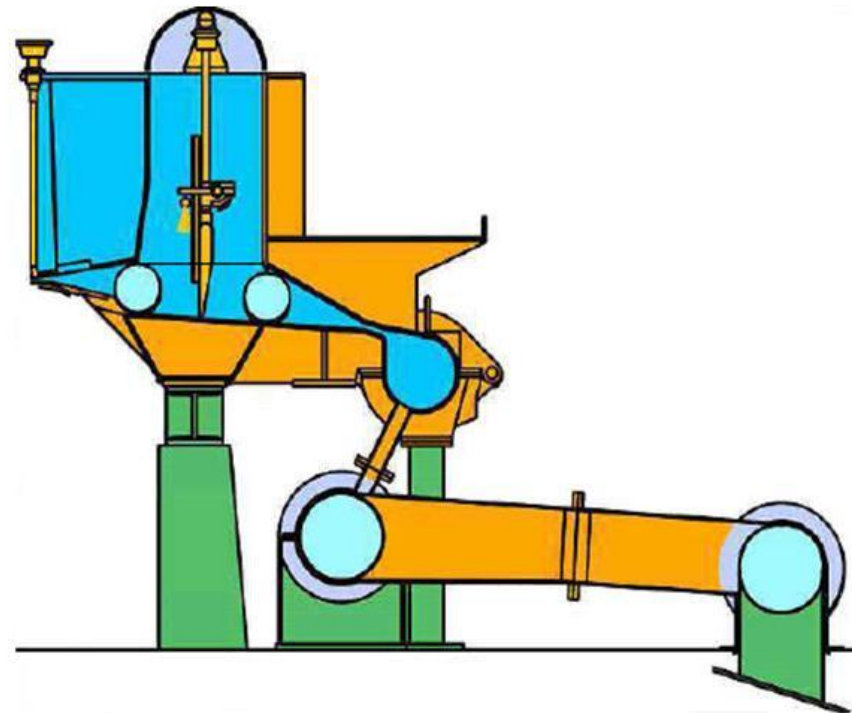
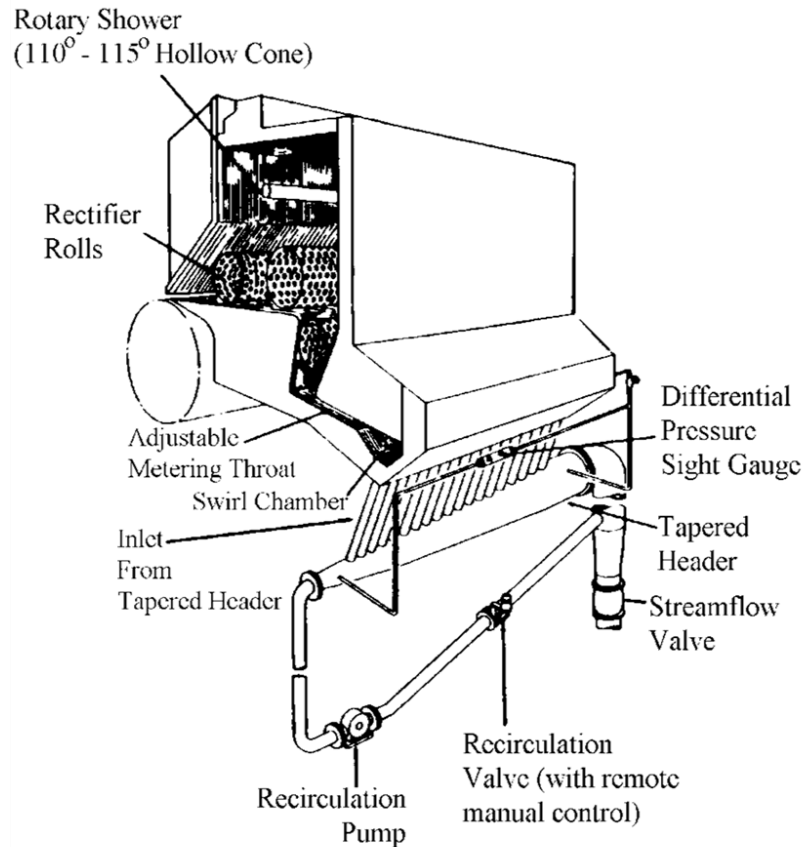
Caixa de entrada pressurizada



Air-cushioned headbox illustrating
 (1) rectangular tapered flow spreader with (2)
 tapered laterals, (3) rectifier rolls, (4) slice
 assembly, and (5) slice profile adjustment (LG
 Industries Ltd.)

Caixa de entrada

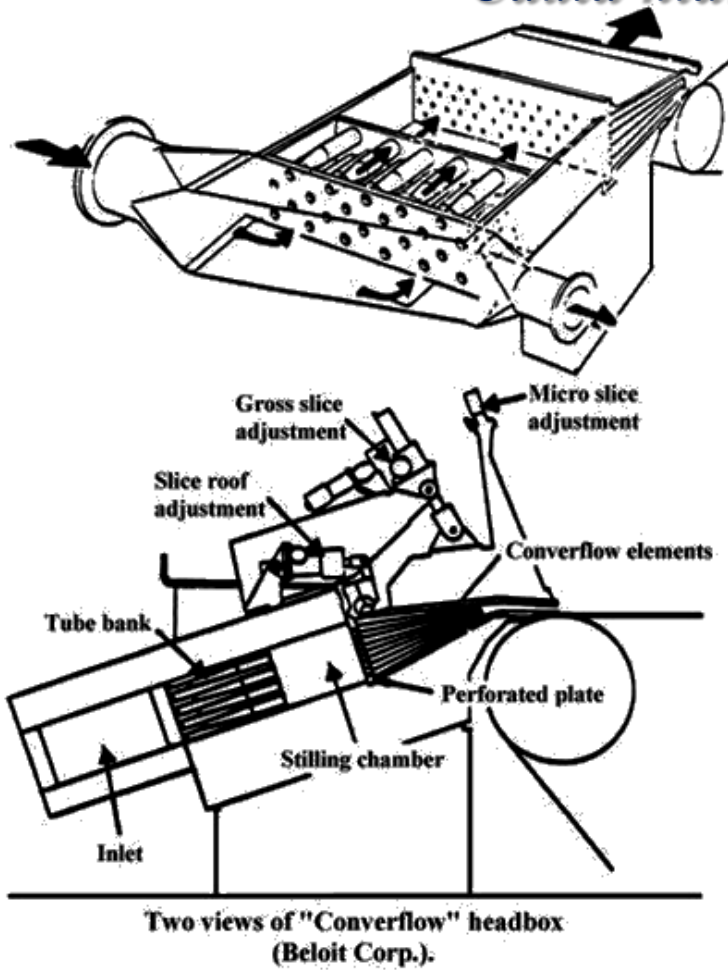
Caixa de entrada pressurizada



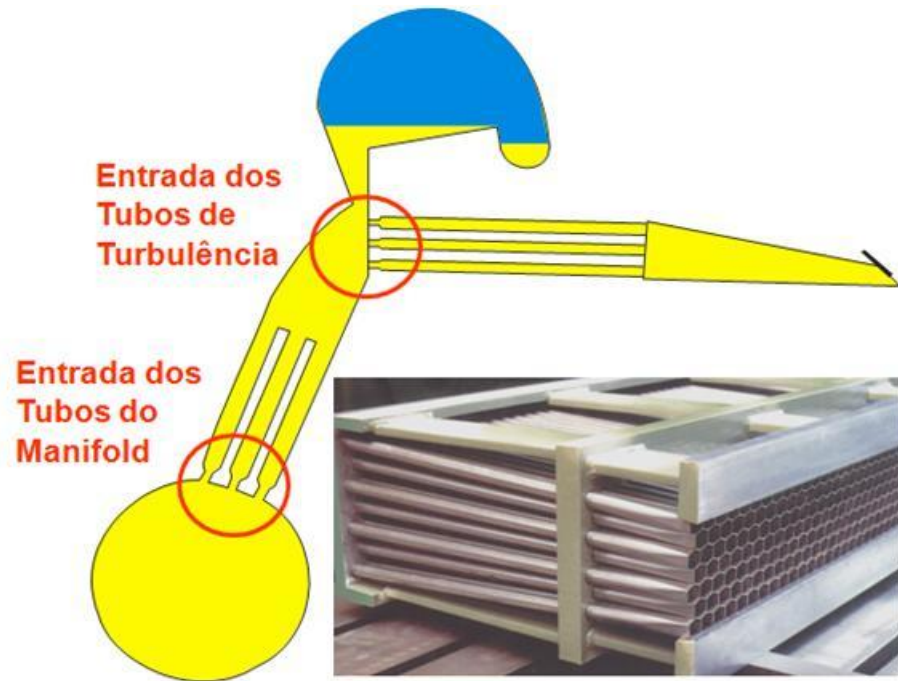
Air-cushioned headbox, circa 1965
(Beloit Corp.)

Caixa de entrada

Caixa hidráulica



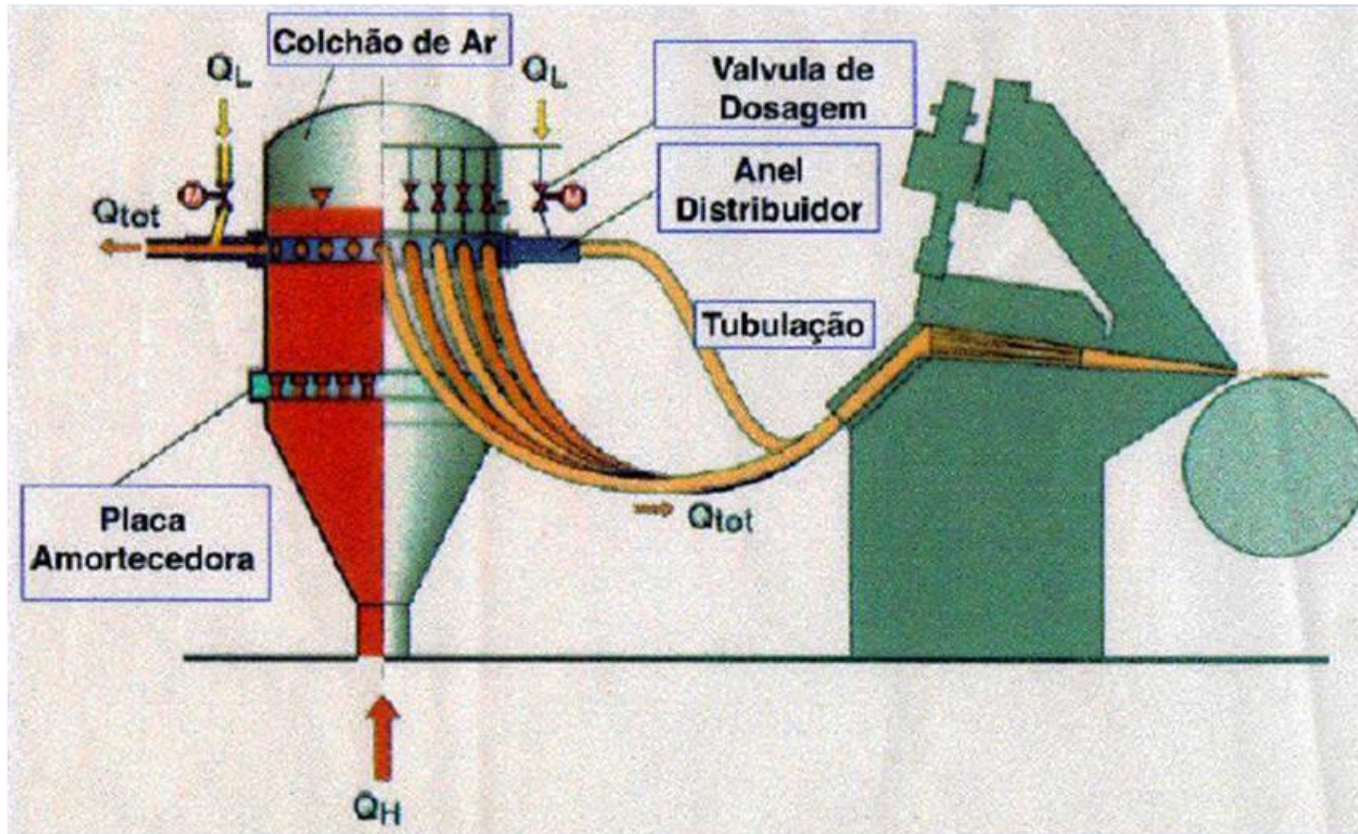
Mais antiga



Mais moderna

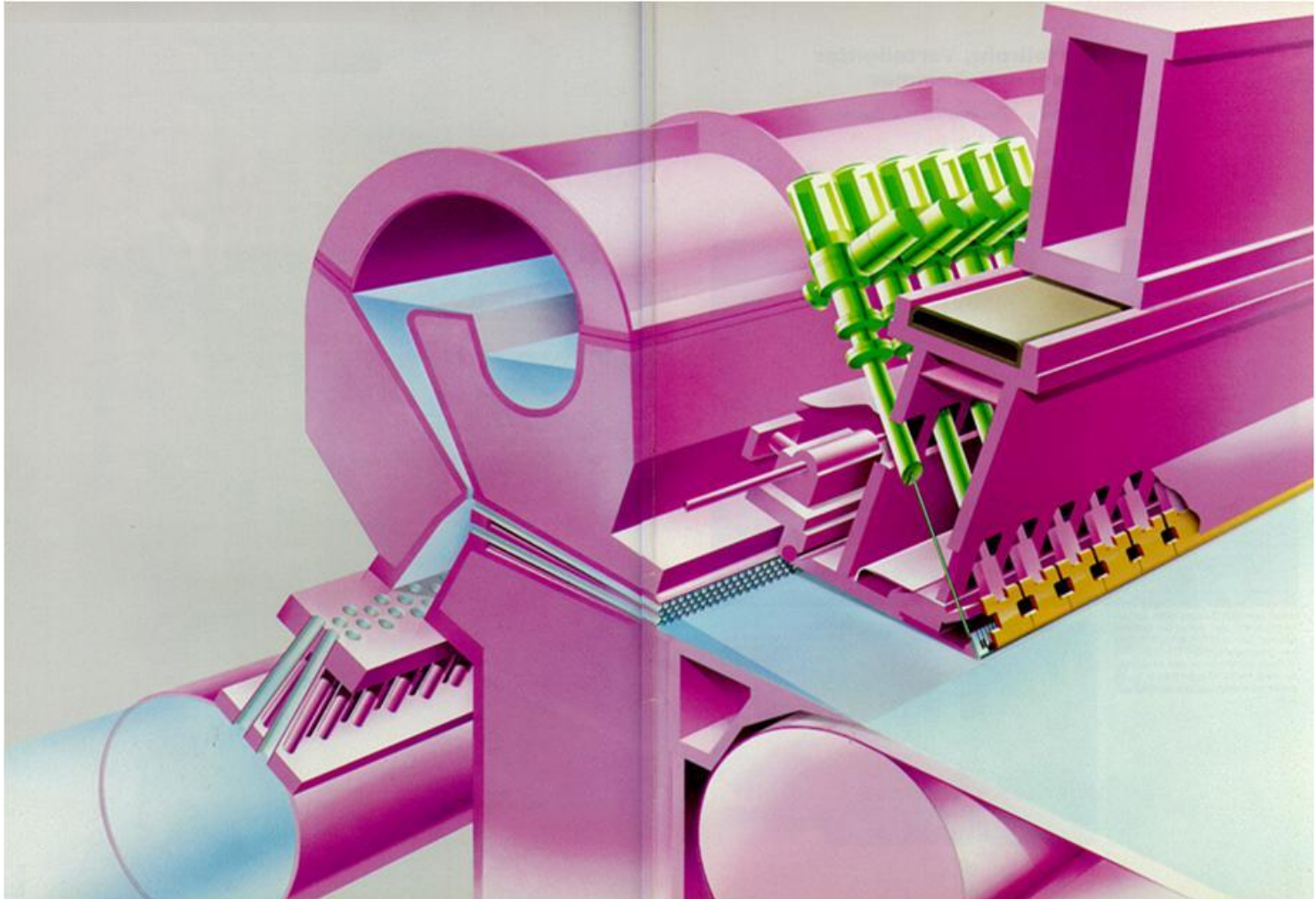
Caixa de entrada

Caixa de entrada com distribuição central



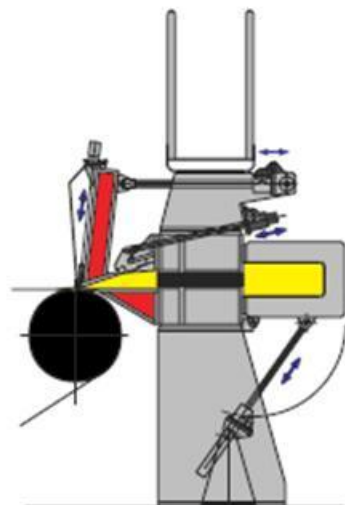
Caixa de entrada

Caixa hidráulica com atenuação interna

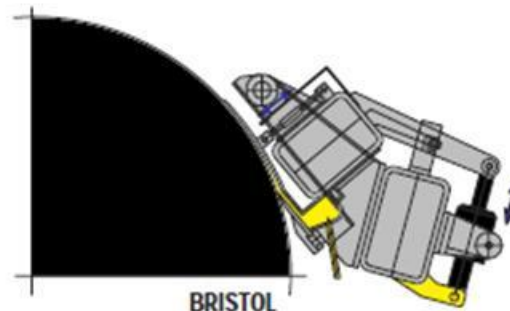


Caixa de entrada

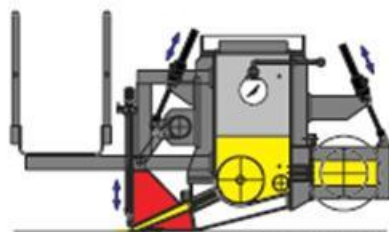
Caixas hidráulicas para várias aplicações



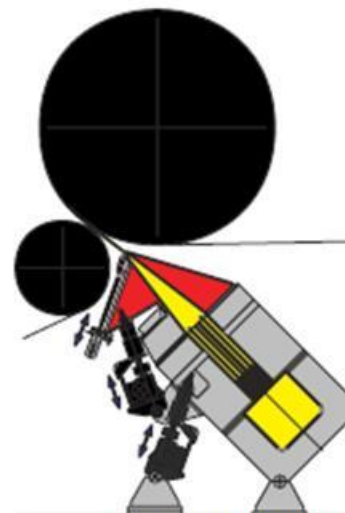
FOURDRINIER
HYDRAULIC



BRISTOL



SECONDARY
BUNCH TUBE



TWIN WIRE HYDRAULIC

FONTE: GL&V HEADBOX

Caixa de entrada

IMPORTANTE:

Qualidade do jato!!!!

a) Principais características de qualidade do jato:

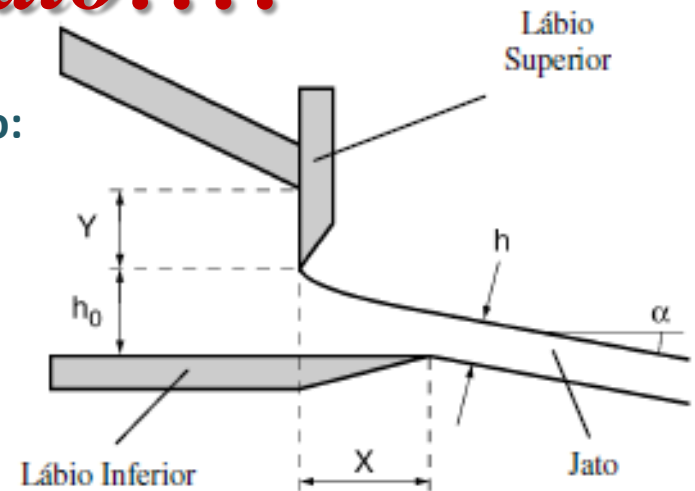
Jato transversal uniforme de massa.

Mistura Homogênea.

Livre de Pulsações.

Estabilidade.

Livre de Fluxos Transversais.



b) Fatores que influenciam na qualidade do jato:

Distribuição transversal.

Atenuação de pulsos.

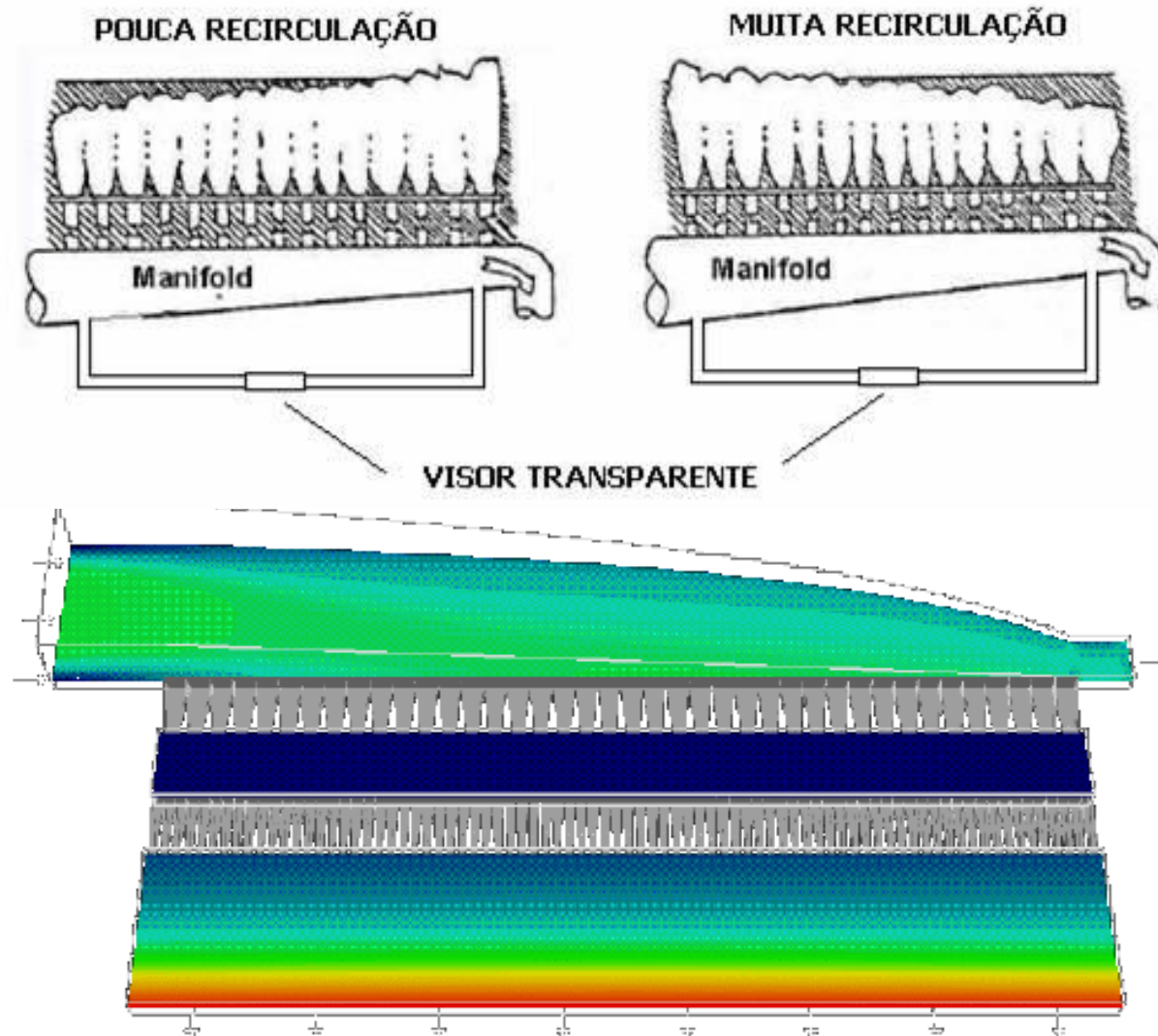
Turbulência.

Geometria do Lábio.

Perfil Transversal.

Caixa de entrada

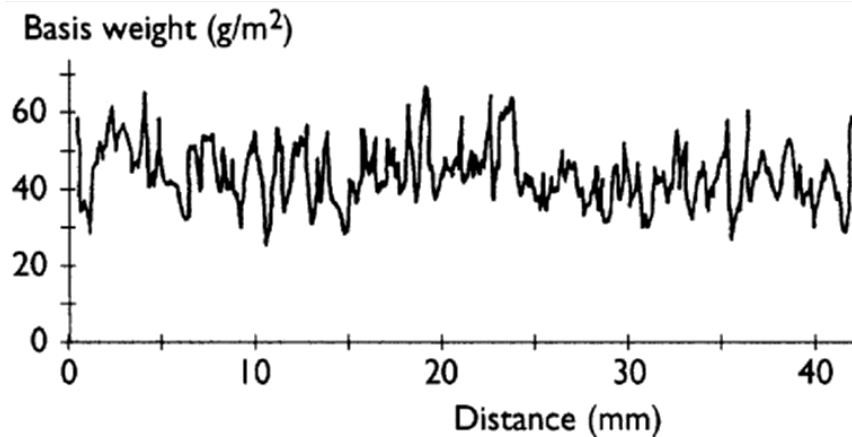
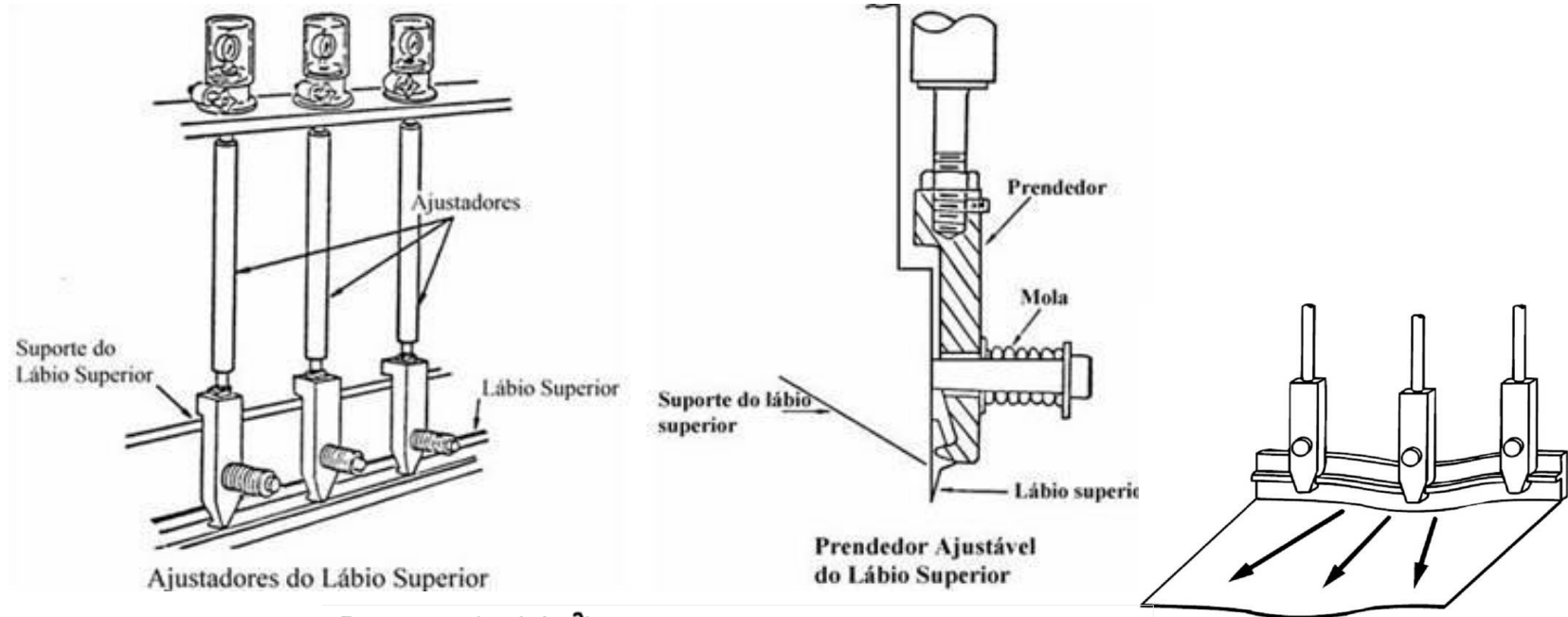
Controle da recirculação na caixa de entrada



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

Caixa de entrada

Controle de perfil transversal



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

Caixa de entrada

Relação jato-tela

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

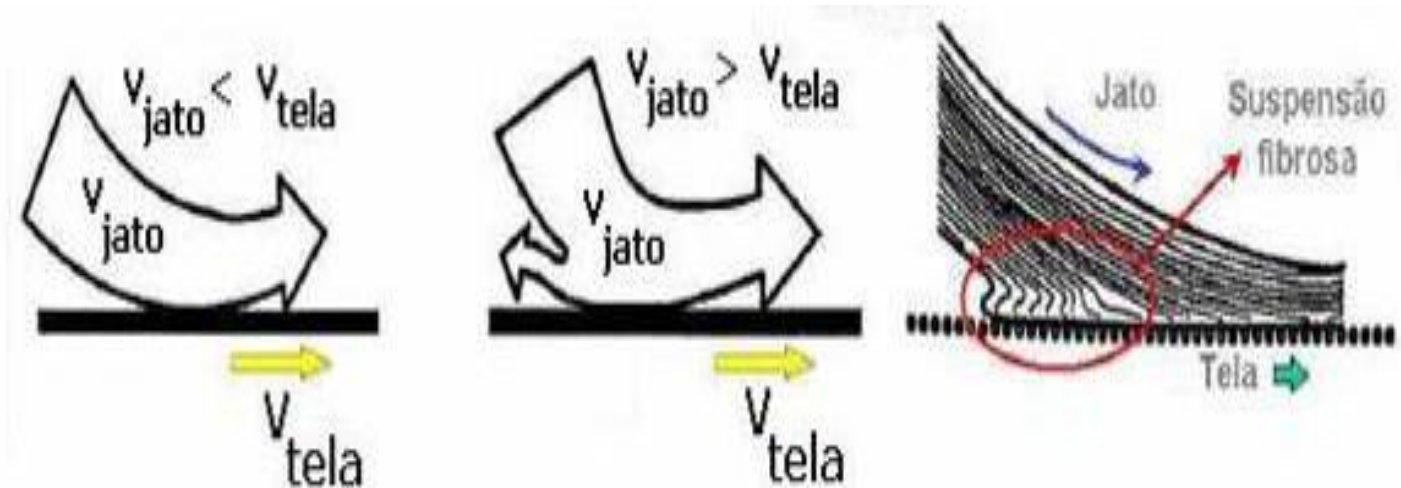
Onde:

V_j = velocidade do jato

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

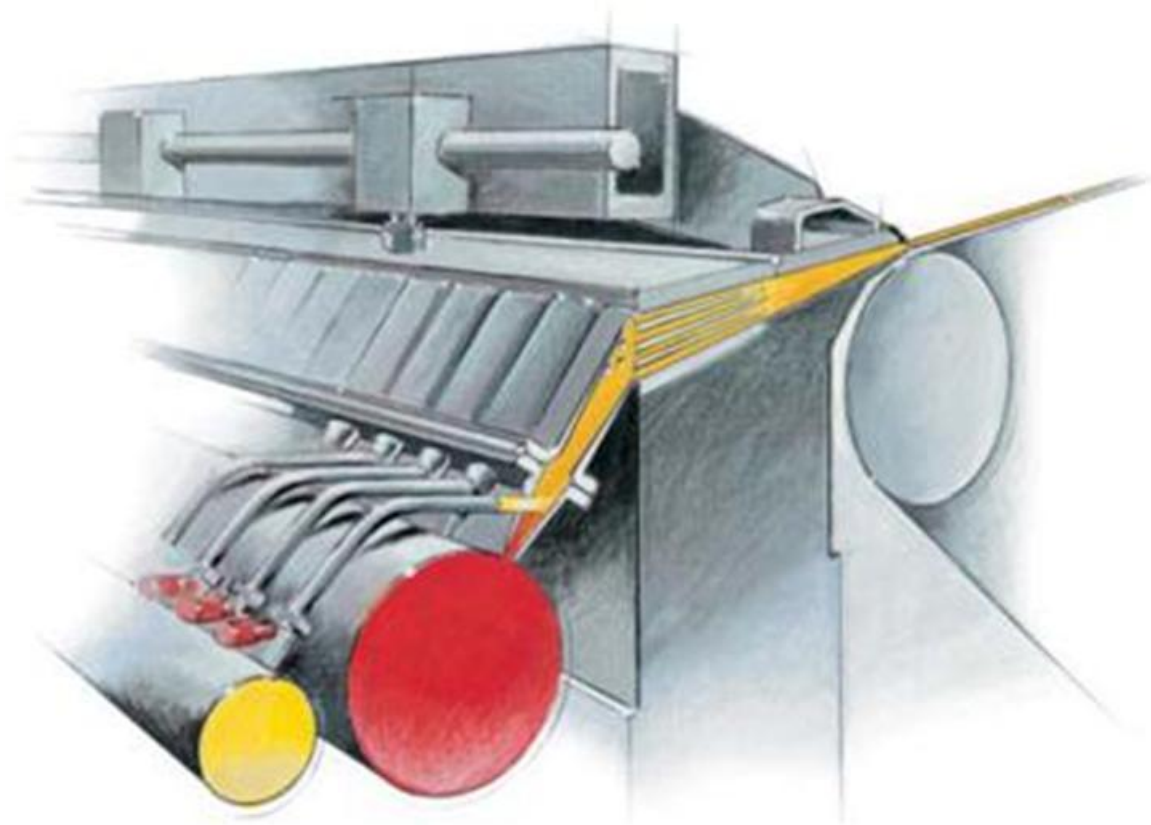
g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

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



Caixa de entrada

Caixa de entrada hidráulica com “ModuleJet” - Voith



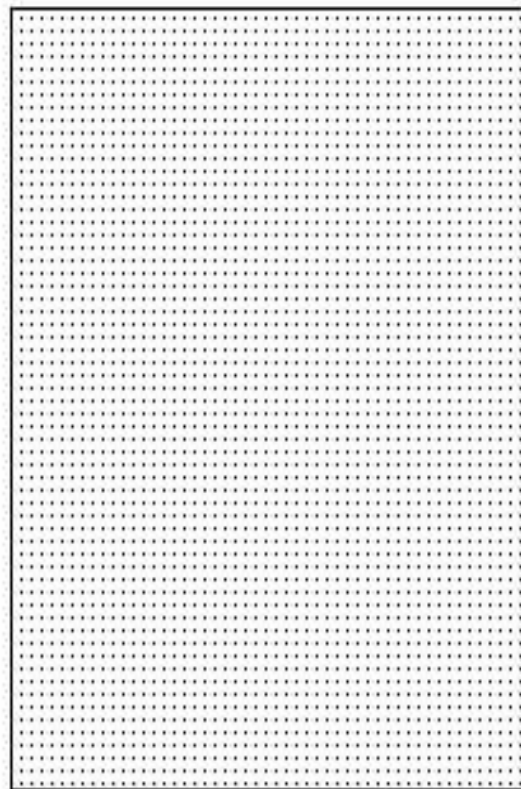
Module
Jet

Propriedades dos papéis P&W

Formação da folha



MÁ FORMAÇÃO

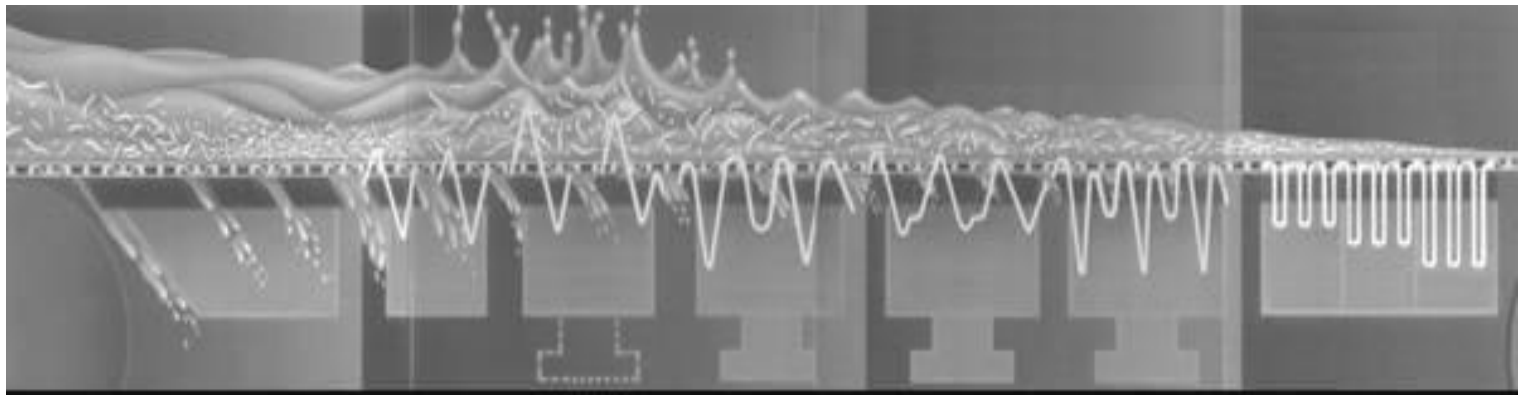
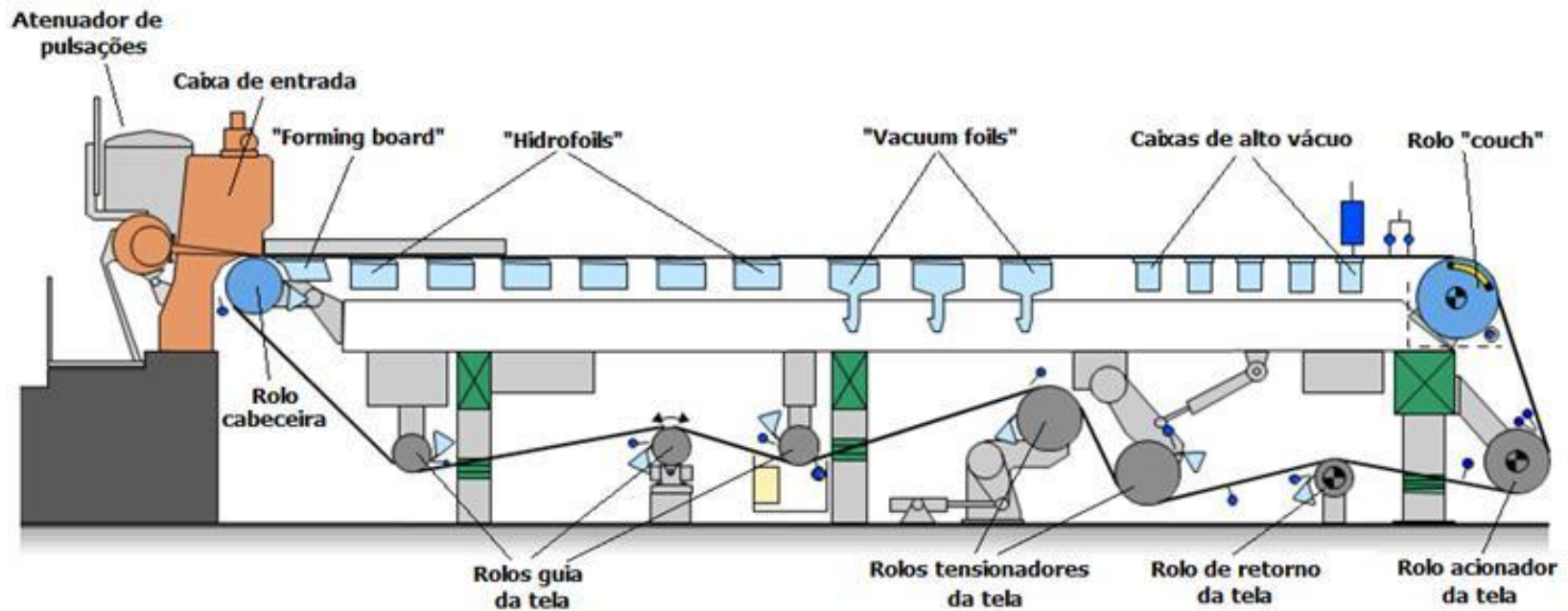


BOA FORMAÇÃO

FONTE: FONTE: montagem Edison da Silva Campos

Formação da folha

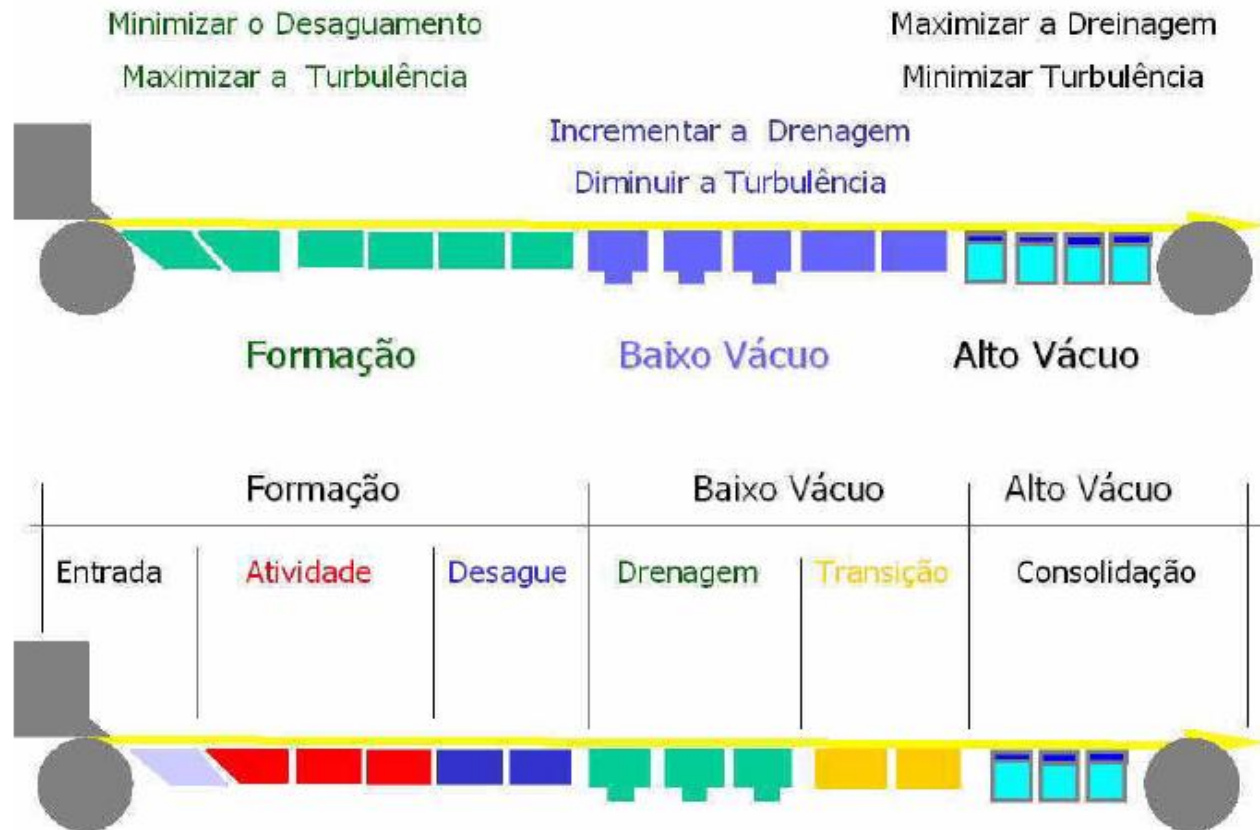
Formadores: mesa plana



FONTE: Apresentação Voith / ABTCP & Catálogo "Sistemas de formação e drenagem" – Albany

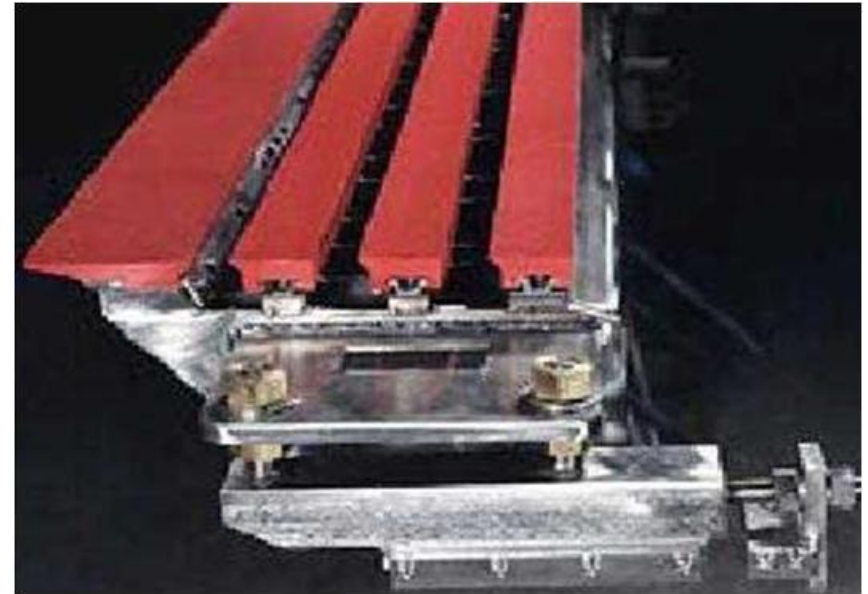
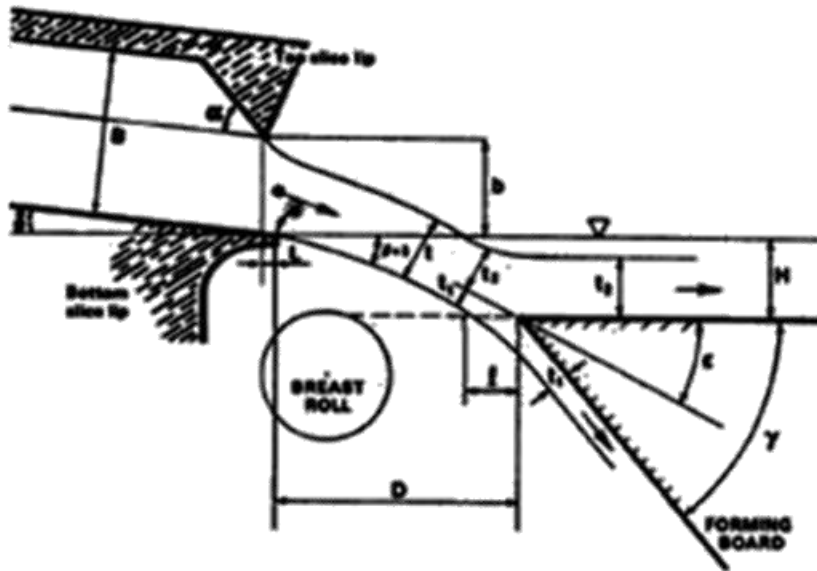
Formação da folha

Formadores: mesa plana



Formação da folha

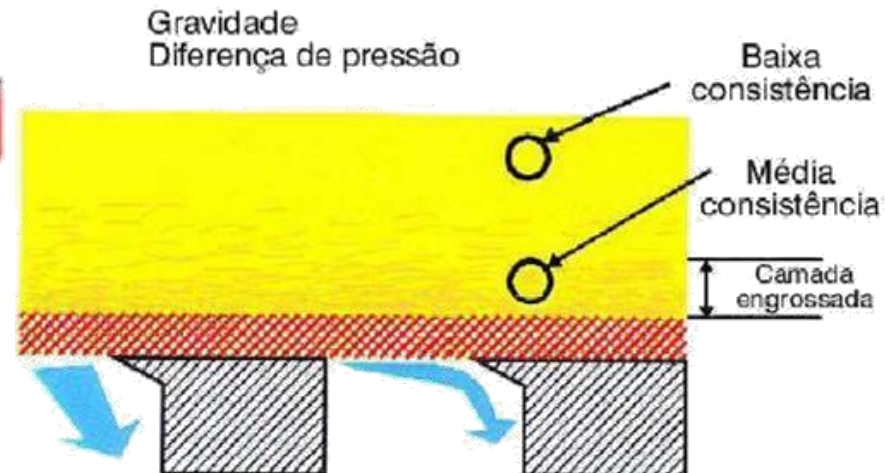
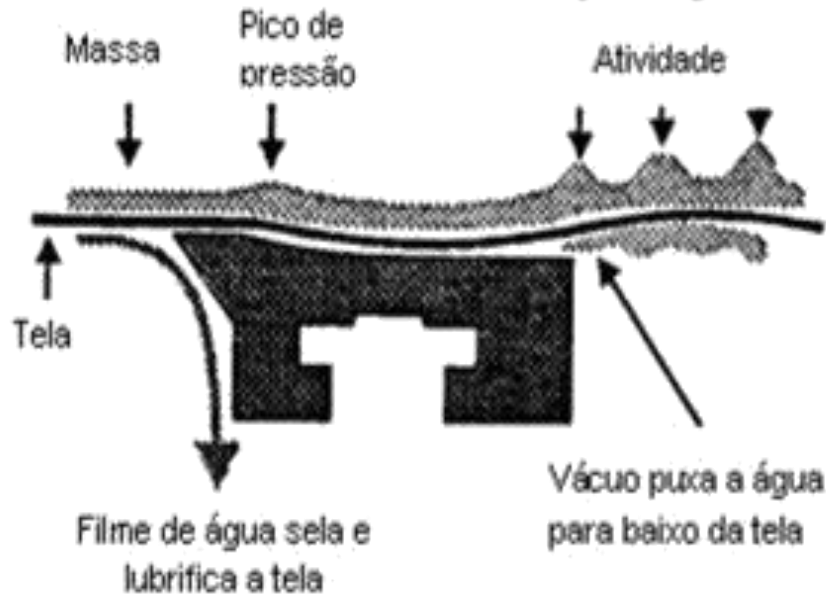
“Forming board”



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

Formação da folha Hydrofoils (ou foils)

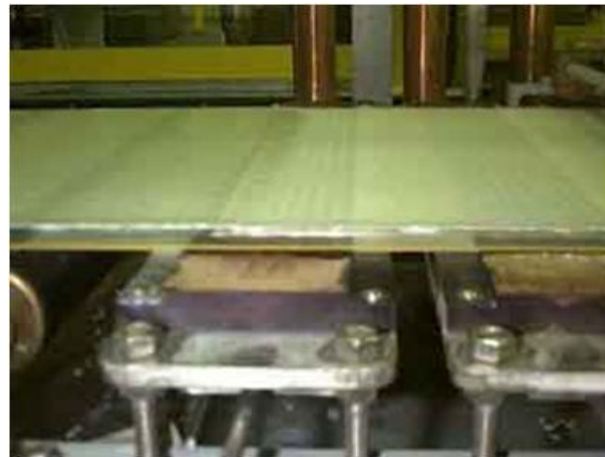
[Atividade](#)



FONTE: Básico de fabricação de papel

Formação da folha

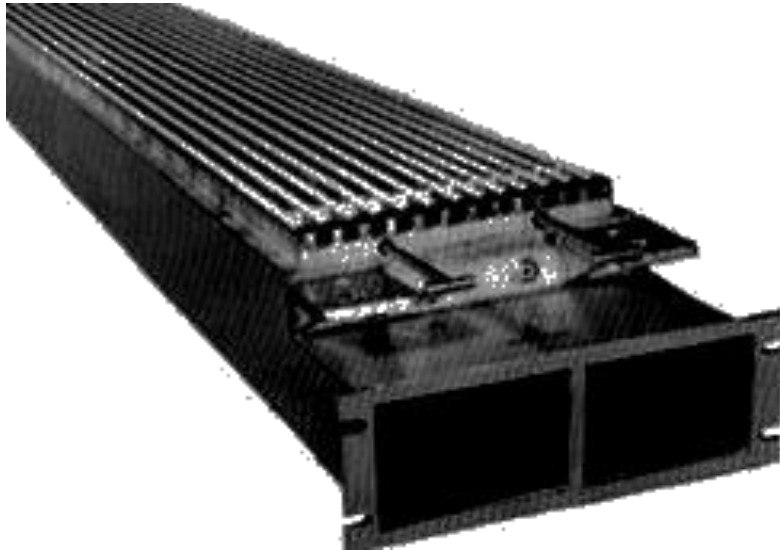
“Vacuum foils”



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

Formação da folha

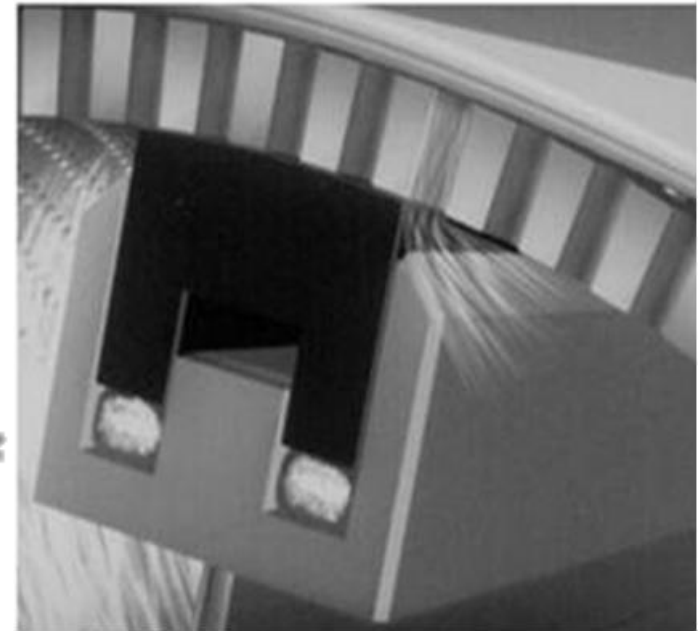
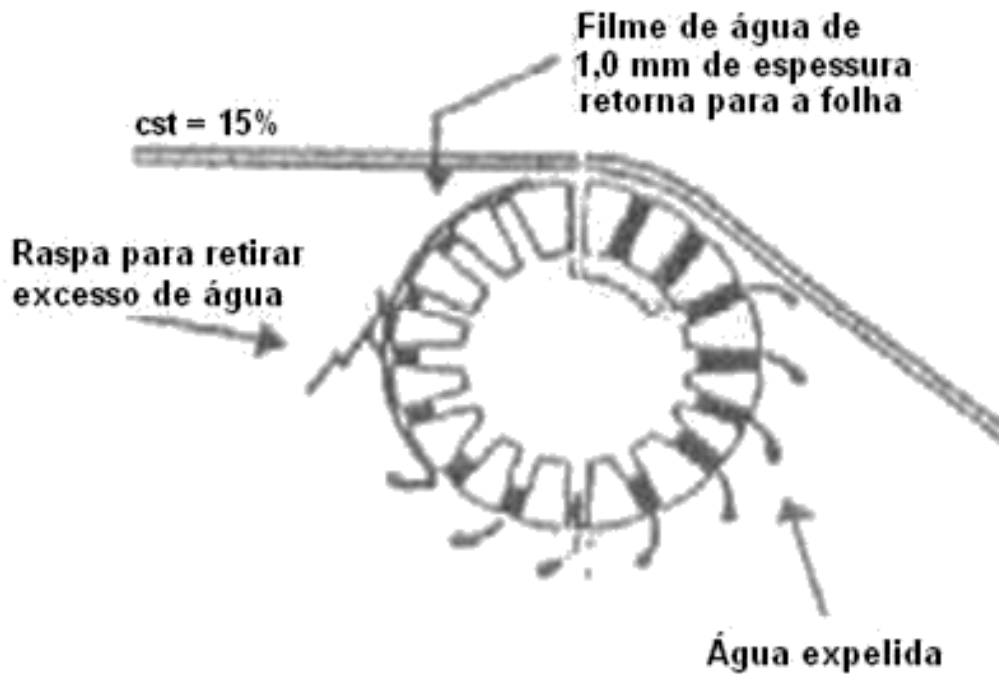
Caixas de alto vácuo



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

Formação da folha

Rolo “couch”



Formação da folha

Dupla tela (“Twin wire”)

Formadores de dupla tela (D. Webster, 1953)

Há dois tipos básicos destes formadores: de rolos e de lâminas.

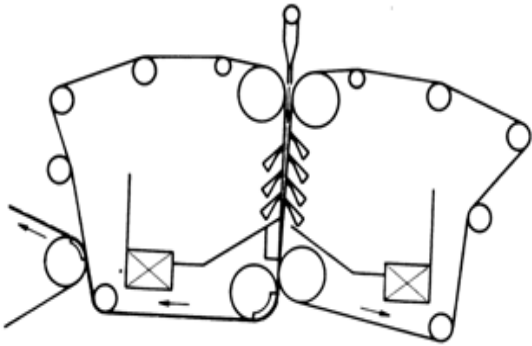
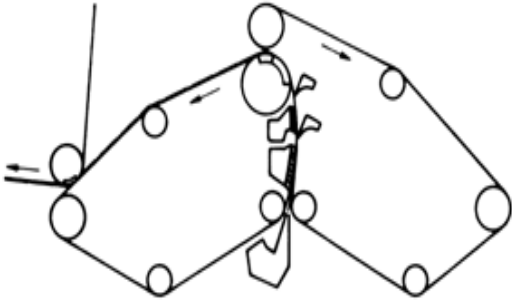
Os formadores de rolos são aqueles que, após o bocal de saída da caixa de entrada, o fluxo entra em contato com o rolo de sucção (formador).

Os de lâminas são os formadores que, após o bocal de saída da caixa de entrada, o fluxo entra em contato com o elemento desaguador com régua de cerâmica.



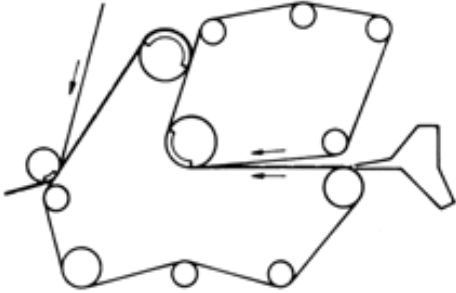
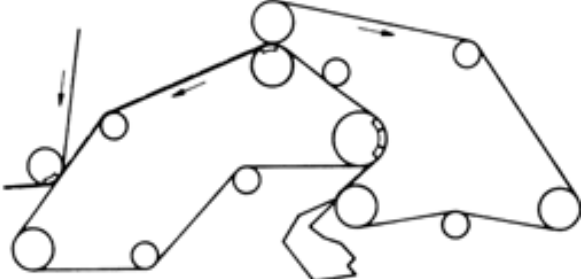
Formação da folha

Formadores de dupla tela do tipo lâmina

Tipo	Descrição simplificada
<p>Vertiformer (Black Clawson)</p> 	<p>O jato descendente da caixa de entrada é lançado verticalmente e a drenagem é feita por meio de defletores ajustáveis que estão localizados nos dois lados da folha. Foi o primeiro formador de dupla tela a operar na fabricação de papel jornal.</p>
<p>Bel Baie II (Beloit)</p> 	<p>O jato da caixa de entrada é injetado para cima entre duas telas que percorrem sobre elementos estacionários em um raio com mais de 5.000 mm. A caixa formadora com lâminas e a caixa de sucção de baixo vácuo ficam na parte interna do arco, dentro da tela formadora.</p>

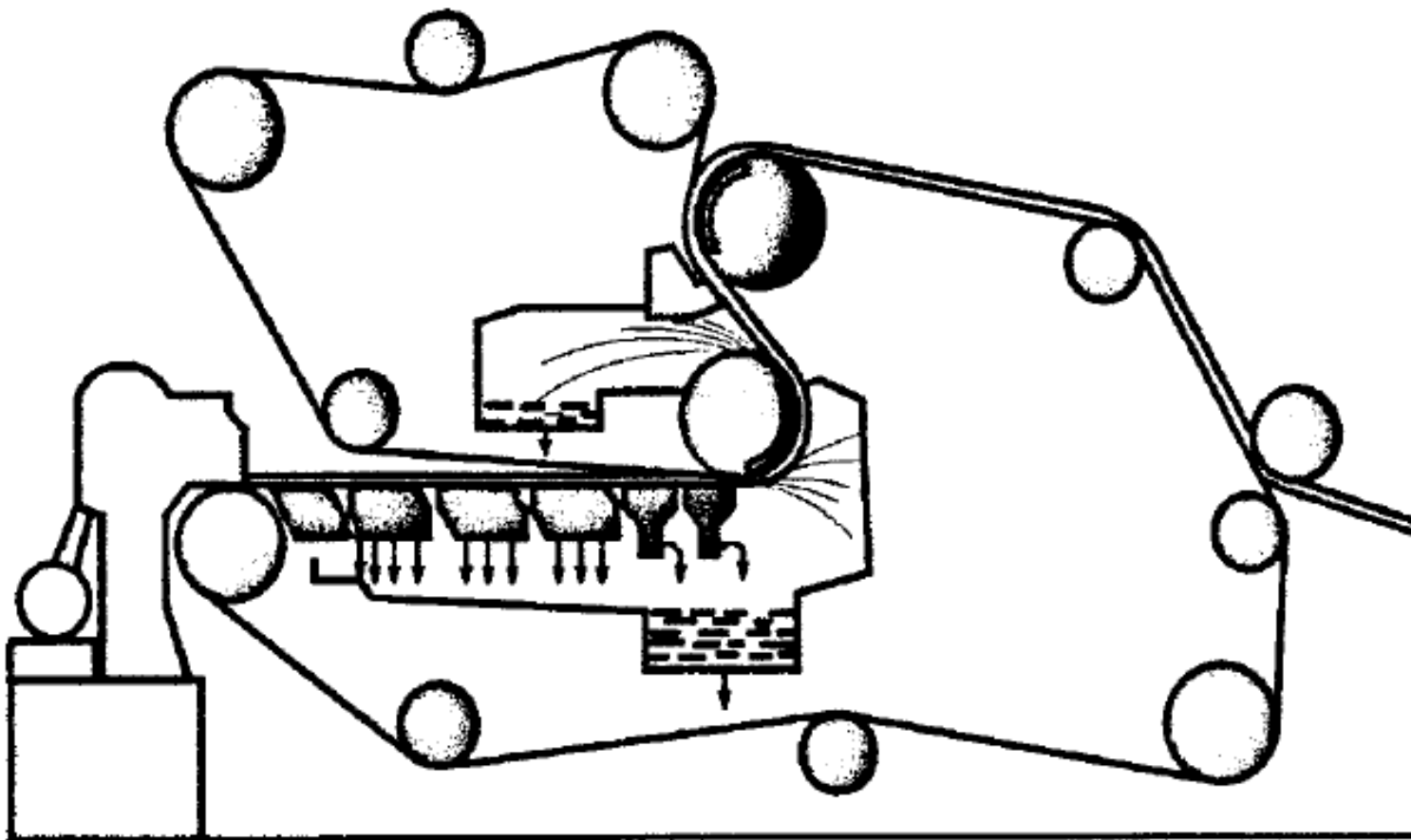
Formação da folha

Formadores de dupla tela do tipo rolo

Tipo	Descrição simplificada
<p data-bbox="388 361 697 396">Duoformer F (Voith)</p> 	<p data-bbox="1025 375 1659 611">A formação neste tipo de formador é muito boa e a retenção de fibras é muito alta. Possui rolo formador, “foils” e defletores.</p>
<p data-bbox="388 746 720 782">Speedformer (Valmet)</p> 	<p data-bbox="1025 761 1659 1068">É um formador cujo jato é lançado entre duas telas que abraçam o rolo formador de sucção. É utilizado, principalmente, para a fabricação de papéis “tissue”.</p>

Formação da folha

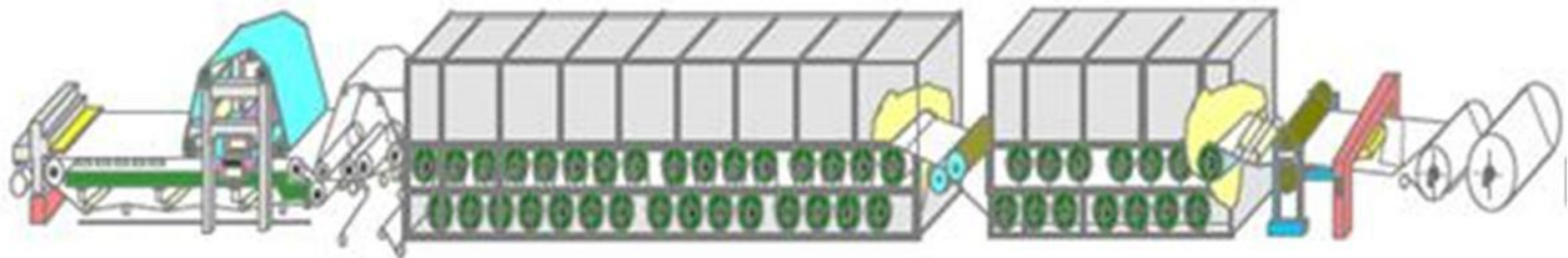
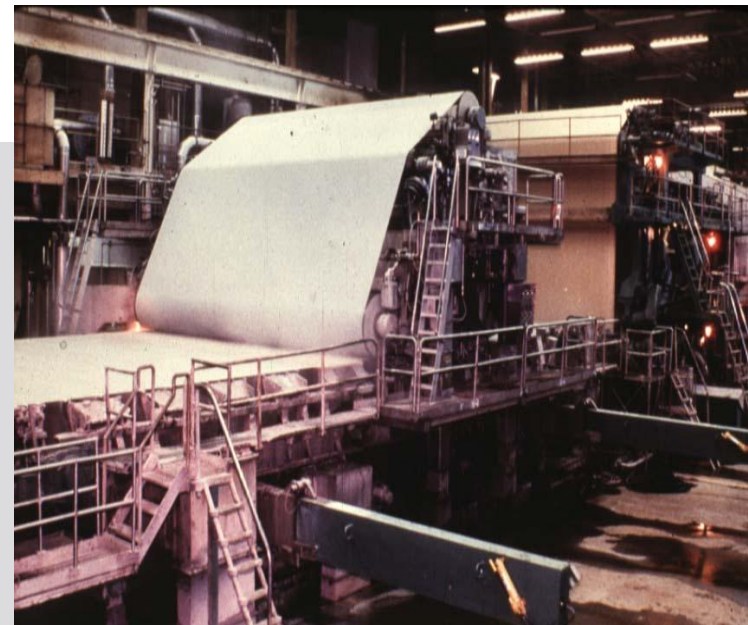
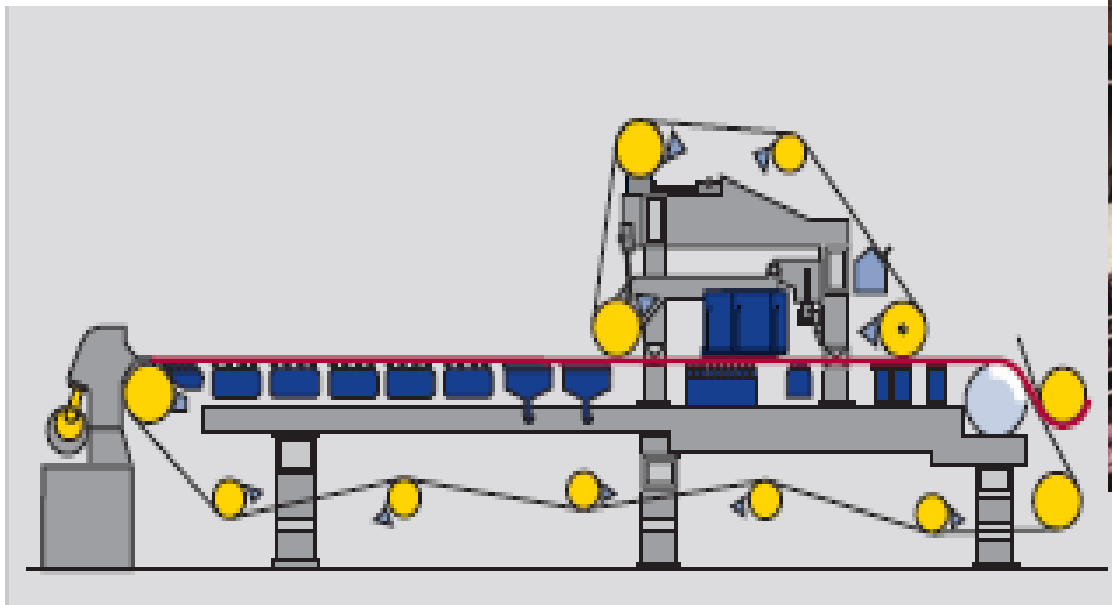
Duoformer F



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

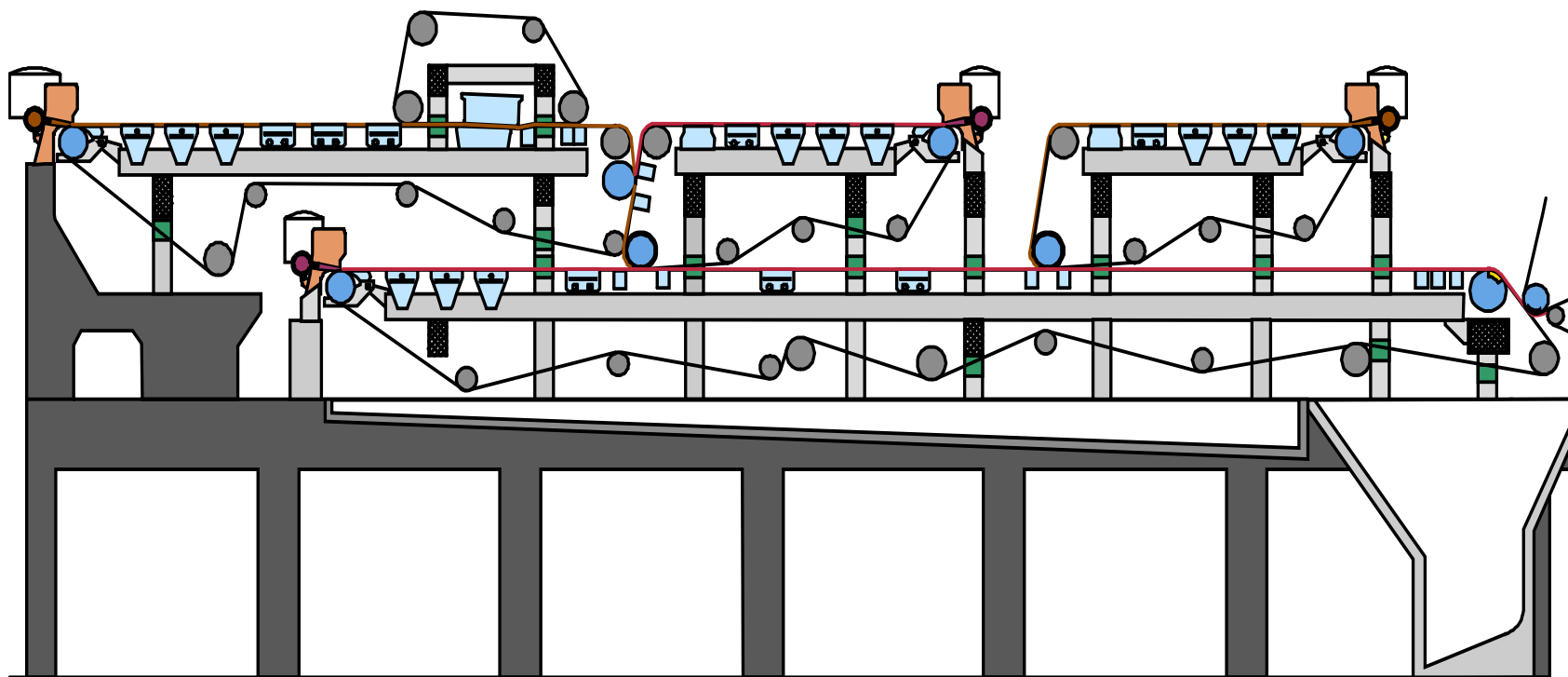
Formação da folha

Sistema híbrido

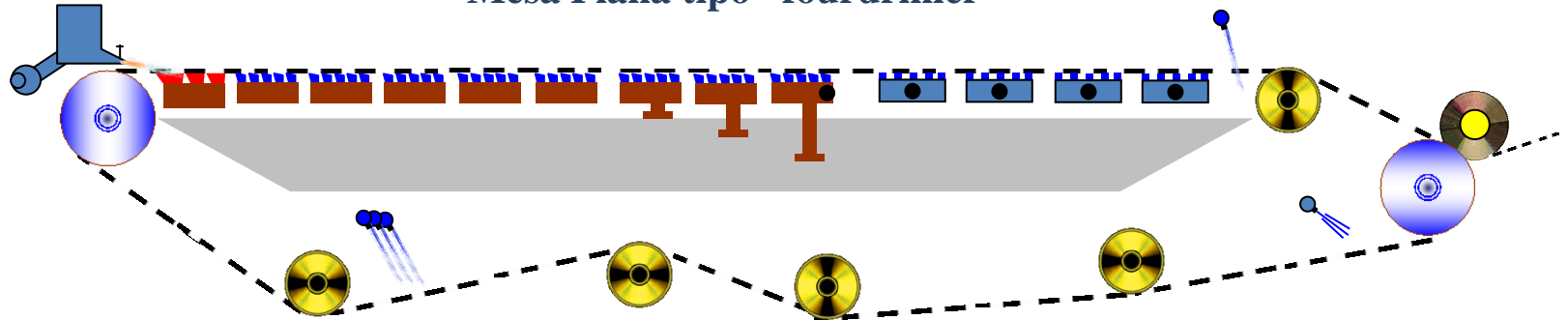


Formação da folha

Formadores para papelcartão



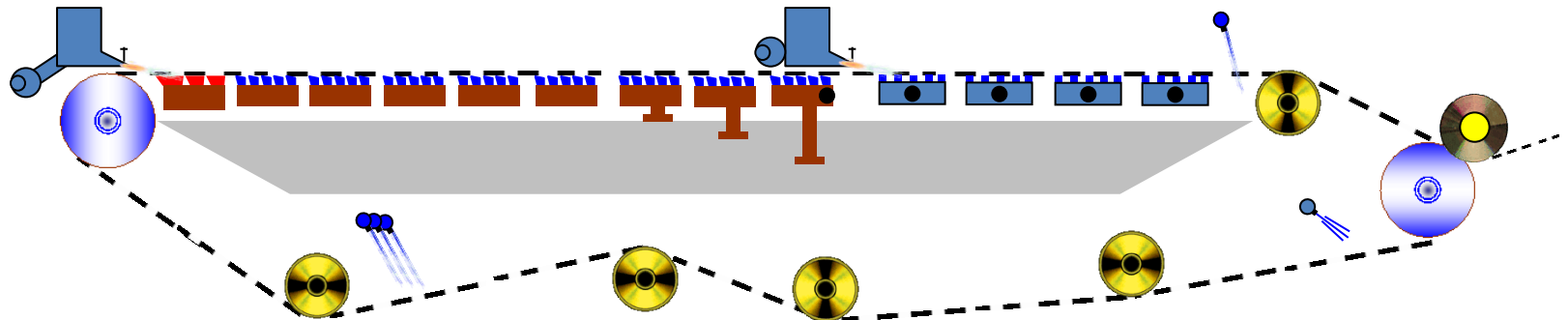
Mesa Plana tipo “fourdrinier”



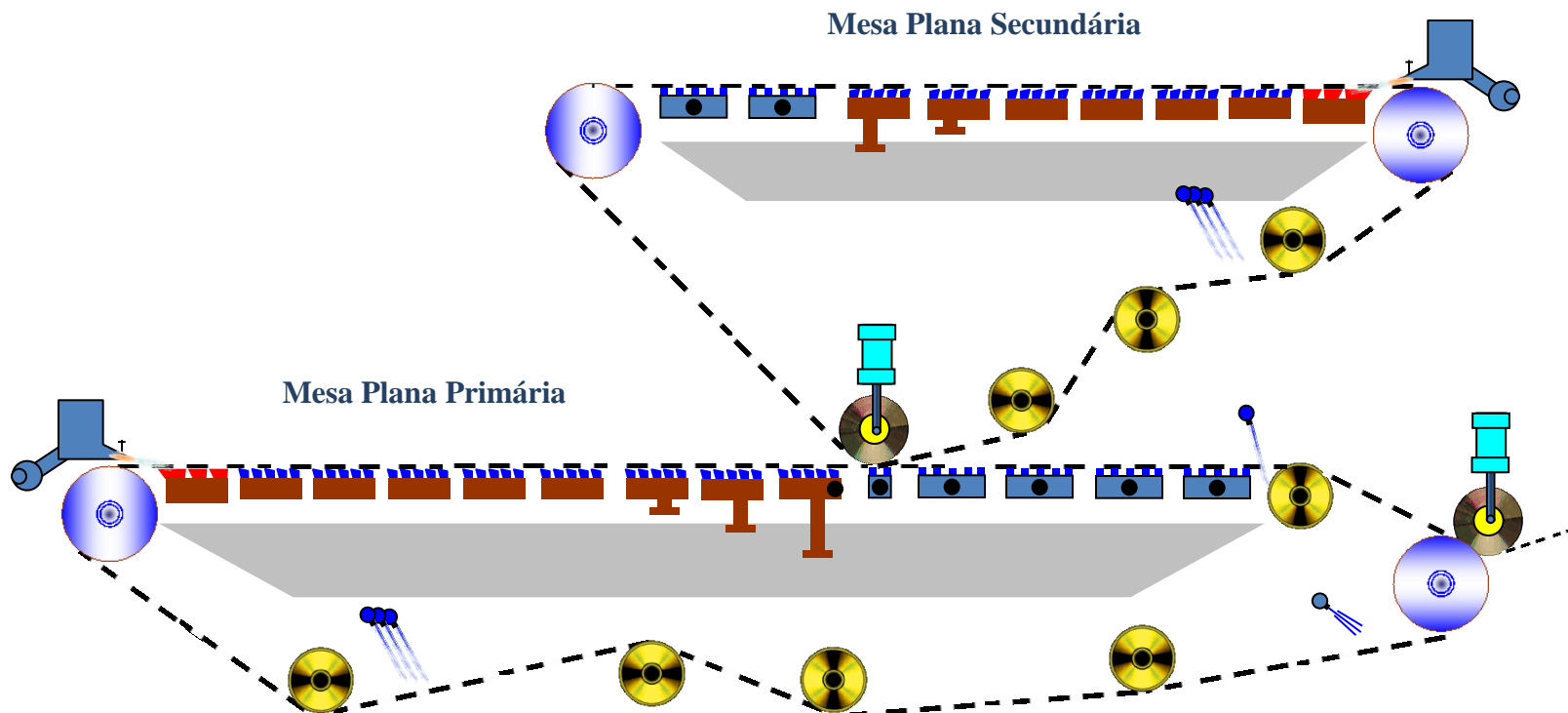
Mesa Plana tipo “fourdrinier” com duas caixas de entrada

Caixa de entrada primária

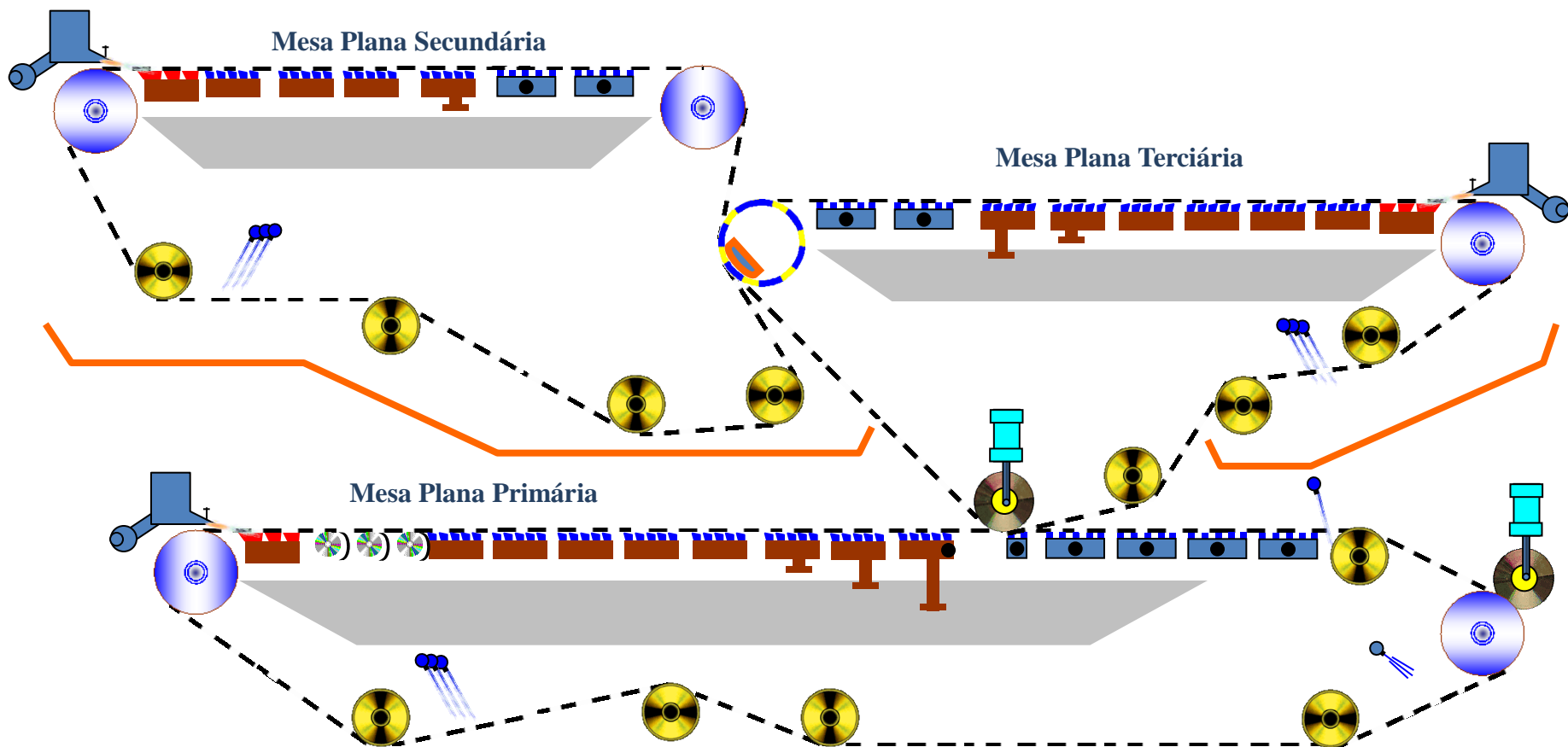
Caixa de entrada secundária



Duas mesas planas tipo “fourdrinier”



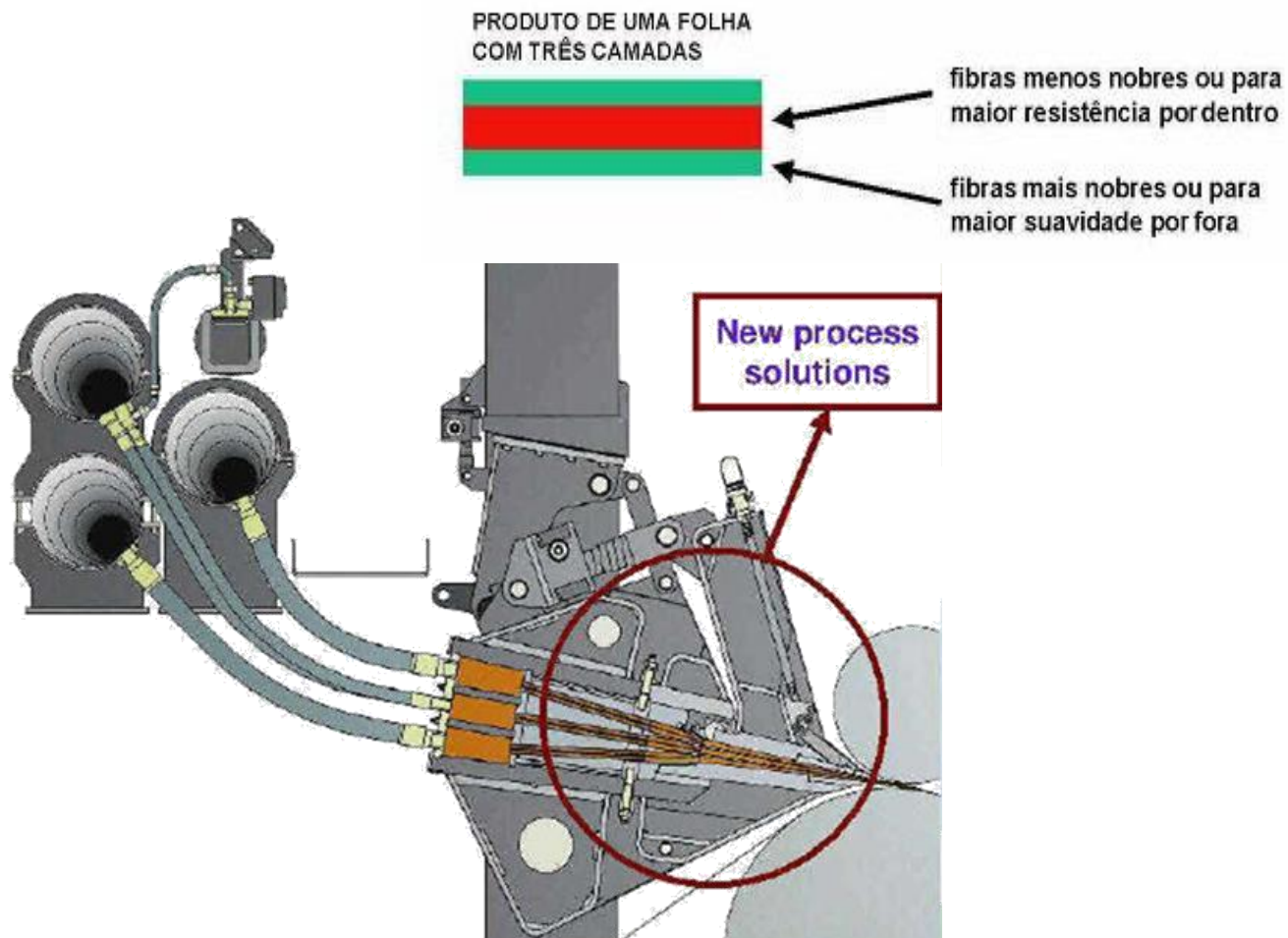
Três Mesas Planas tipo “fourdrinier”



Caixa de entrada

Caixa de entrada multijato


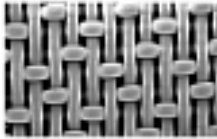
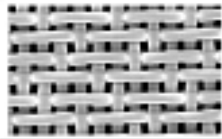

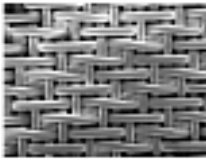
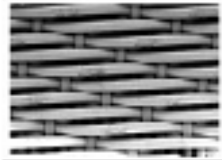

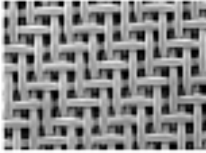


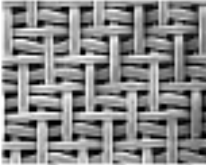
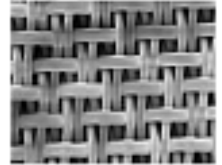

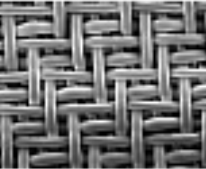
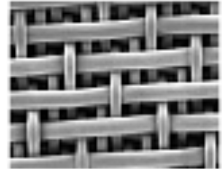
(para eliminação de mesas planas n-árias)



FONTE: OptiFlo II headbox – Metso Paper

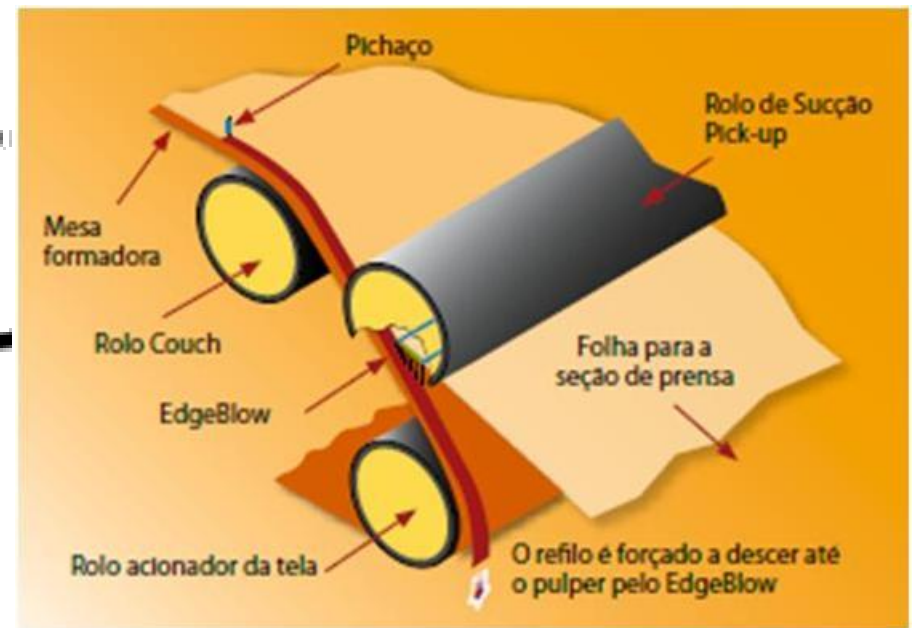
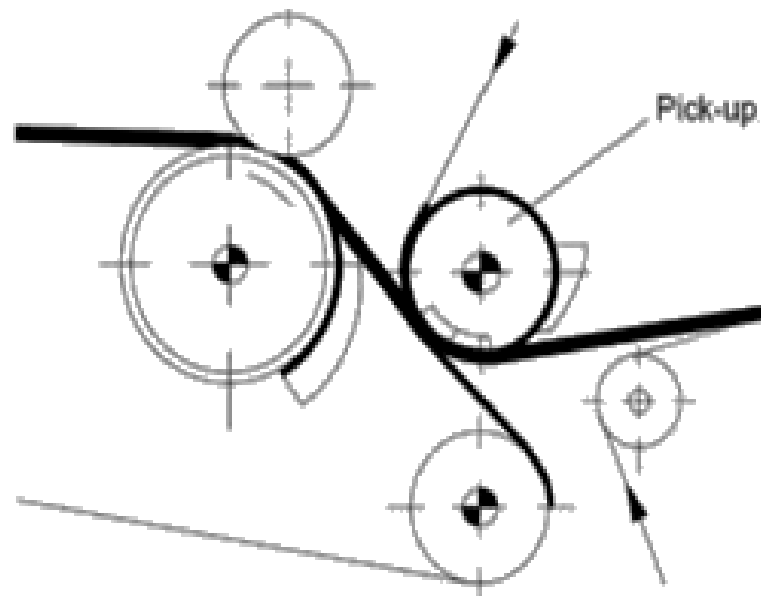
Formação da folha

Tela formadora

TIPO DE TELA	LADO PAPEL	LADO FELTRO
 <p>MONOCAMADA</p>		
 <p>CAMADA E MEIA</p>		
 <p>DUPLA CAMADA</p>		
 <p>DUPLA CAMADA E MEIA</p>		
 <p>TRIPLA CAMADA</p>		

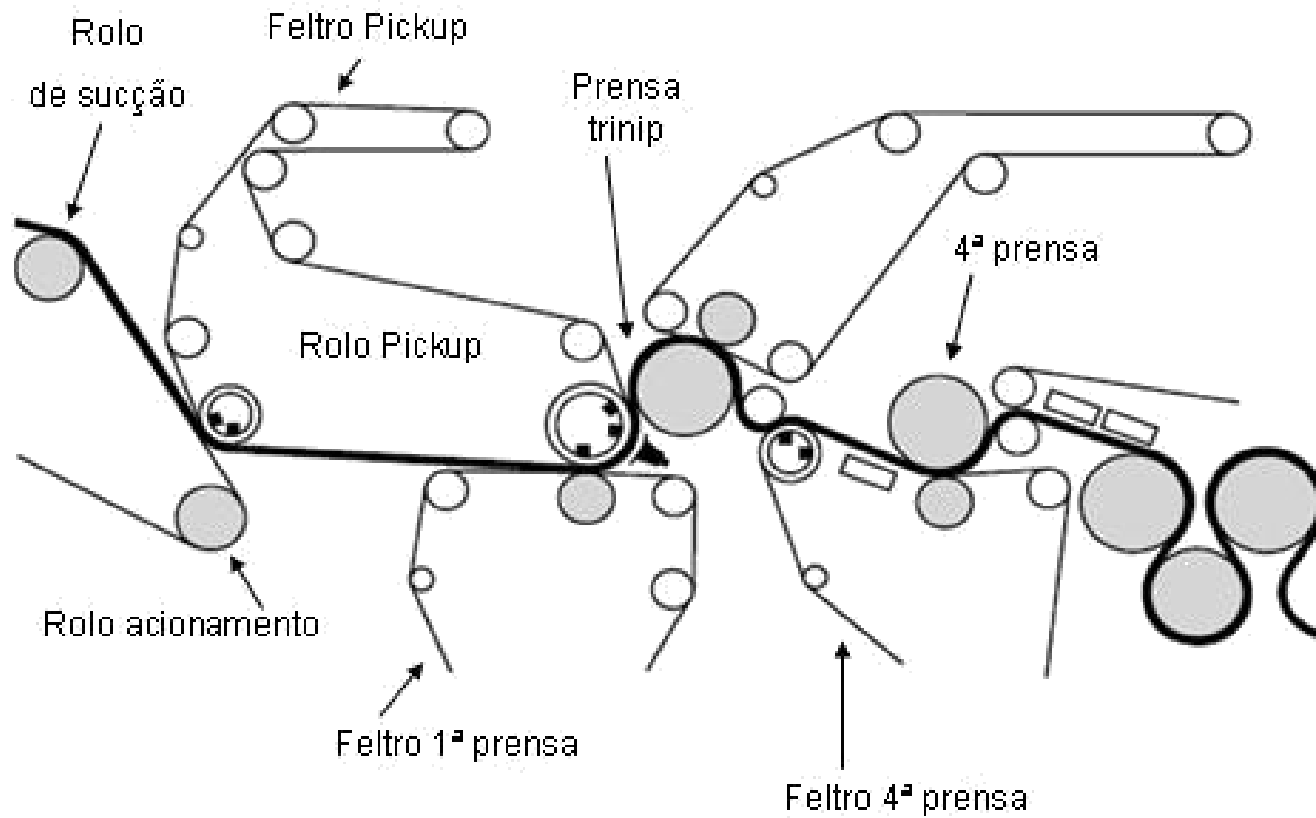
FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Transferência com rolo “pick-up”



Prensagem

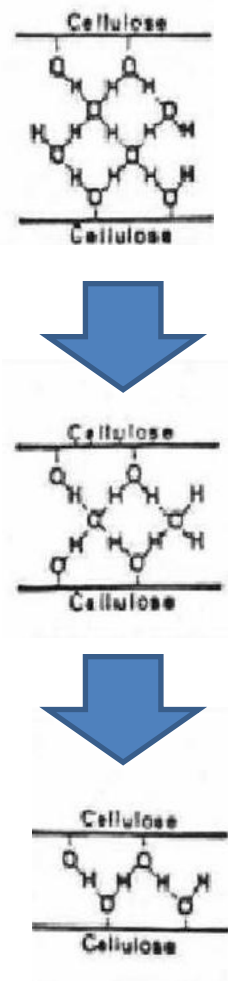
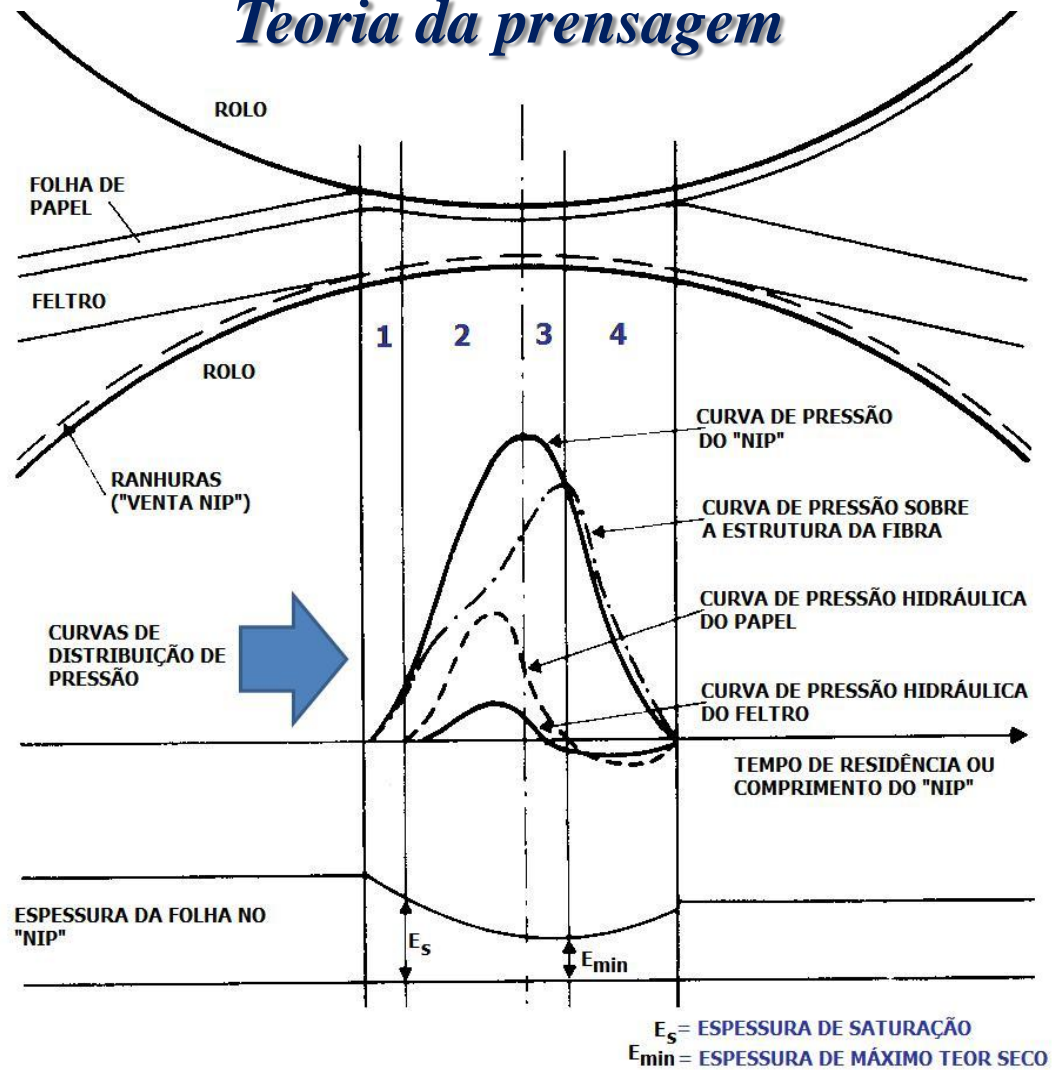
Prensa bi-nip



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

Prensagem

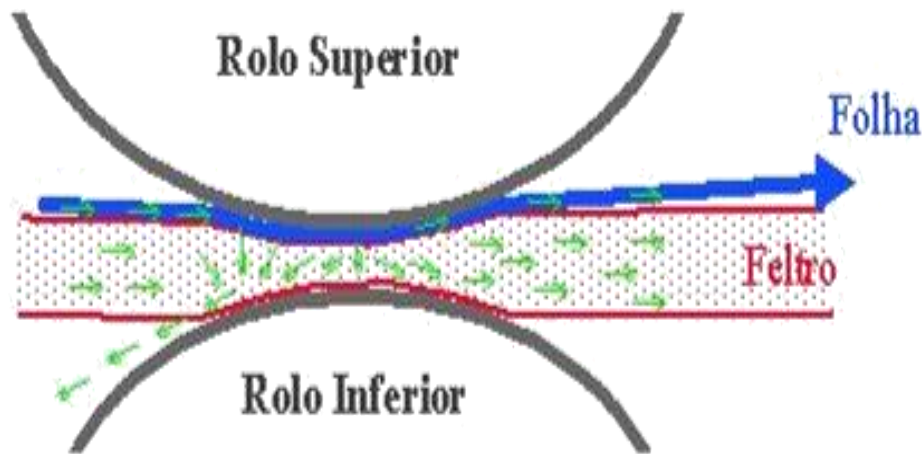
Teoria da prensagem



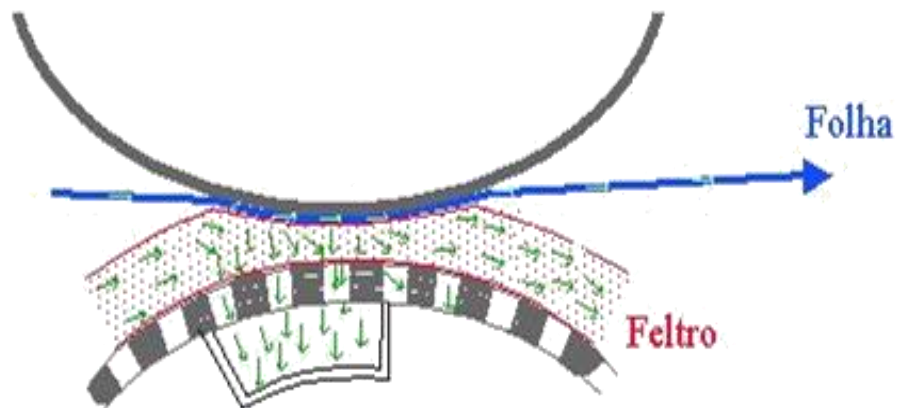
FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Prensagem

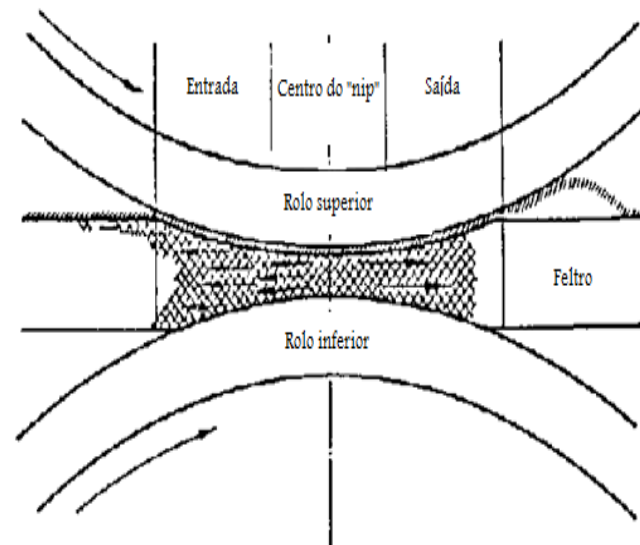
Fluxo horizontal



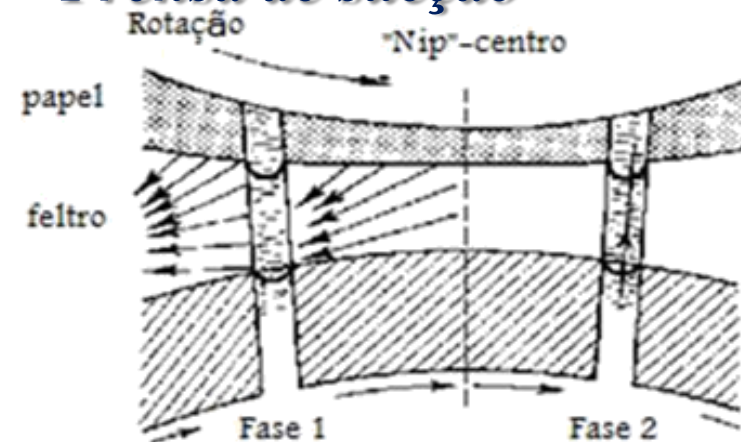
Fluxo vertical



Prensa plana

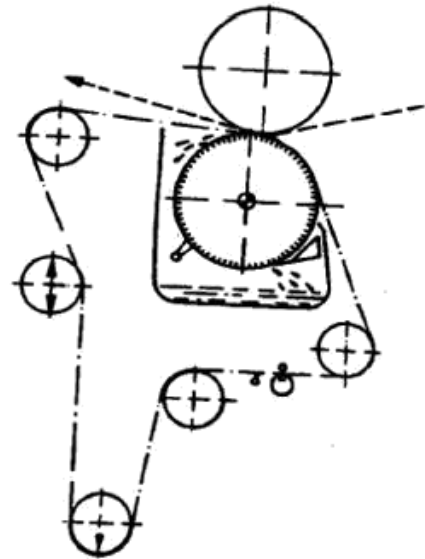
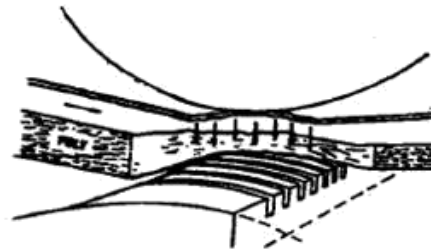
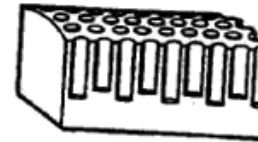
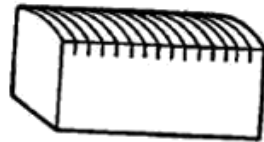


Prensa de sucção



Prensagem

Prensas “venta nip” e de furos cegos

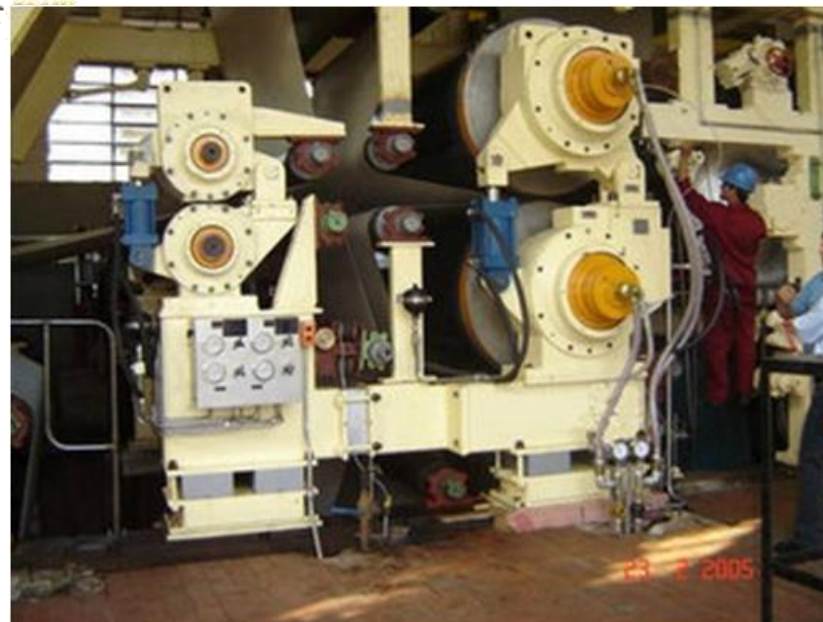
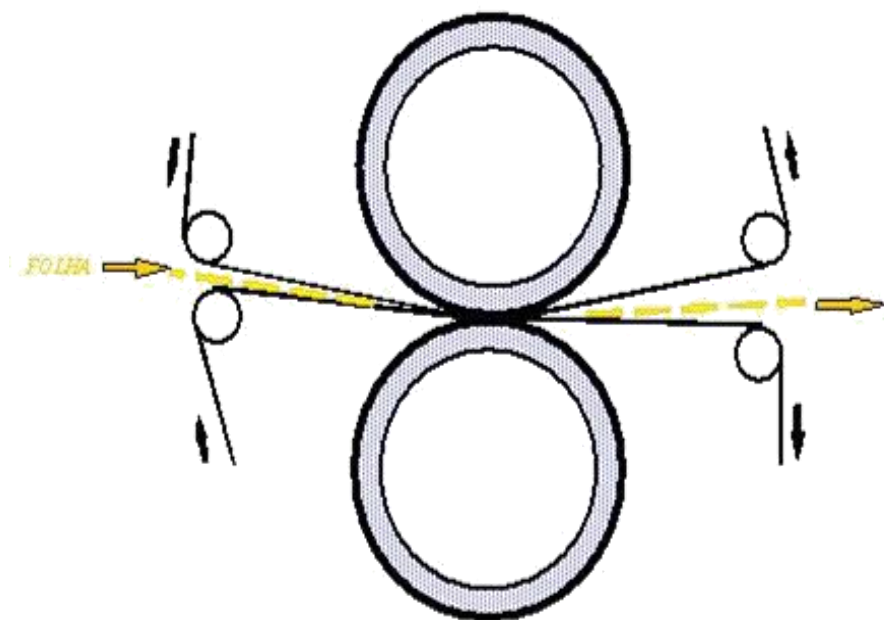


Prensa ranhurada

Prensa de furo cegos

Prensagem

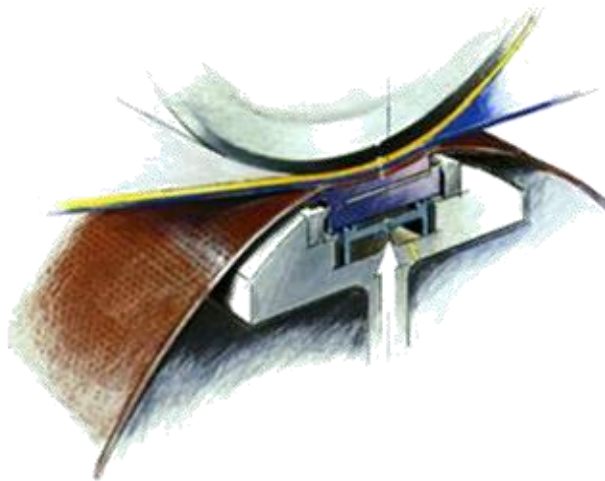
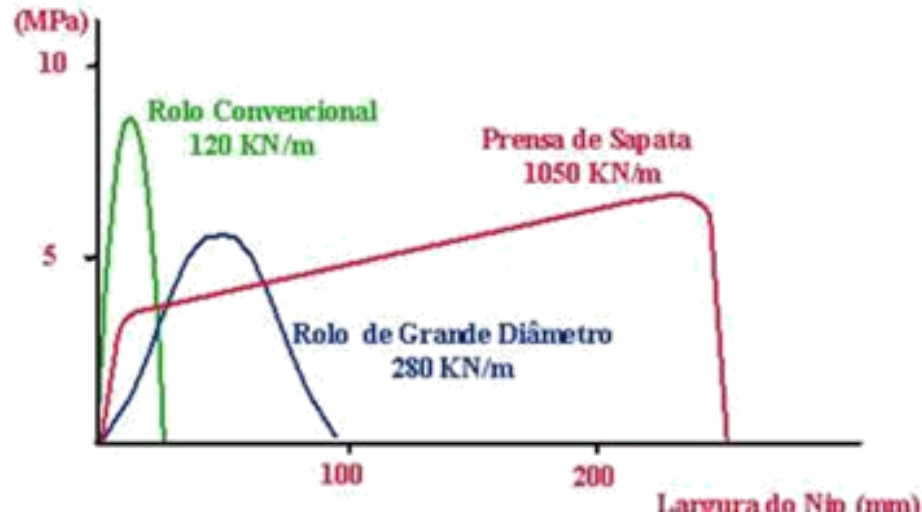
Prensa de alta impulso (prensa jumbo)



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

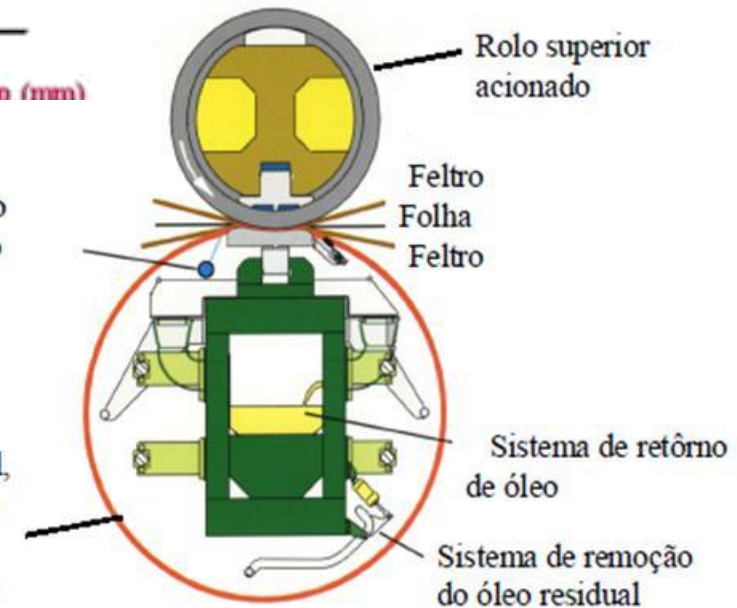
Prensagem

Prensa de “nip” extendido (prensa sapata)



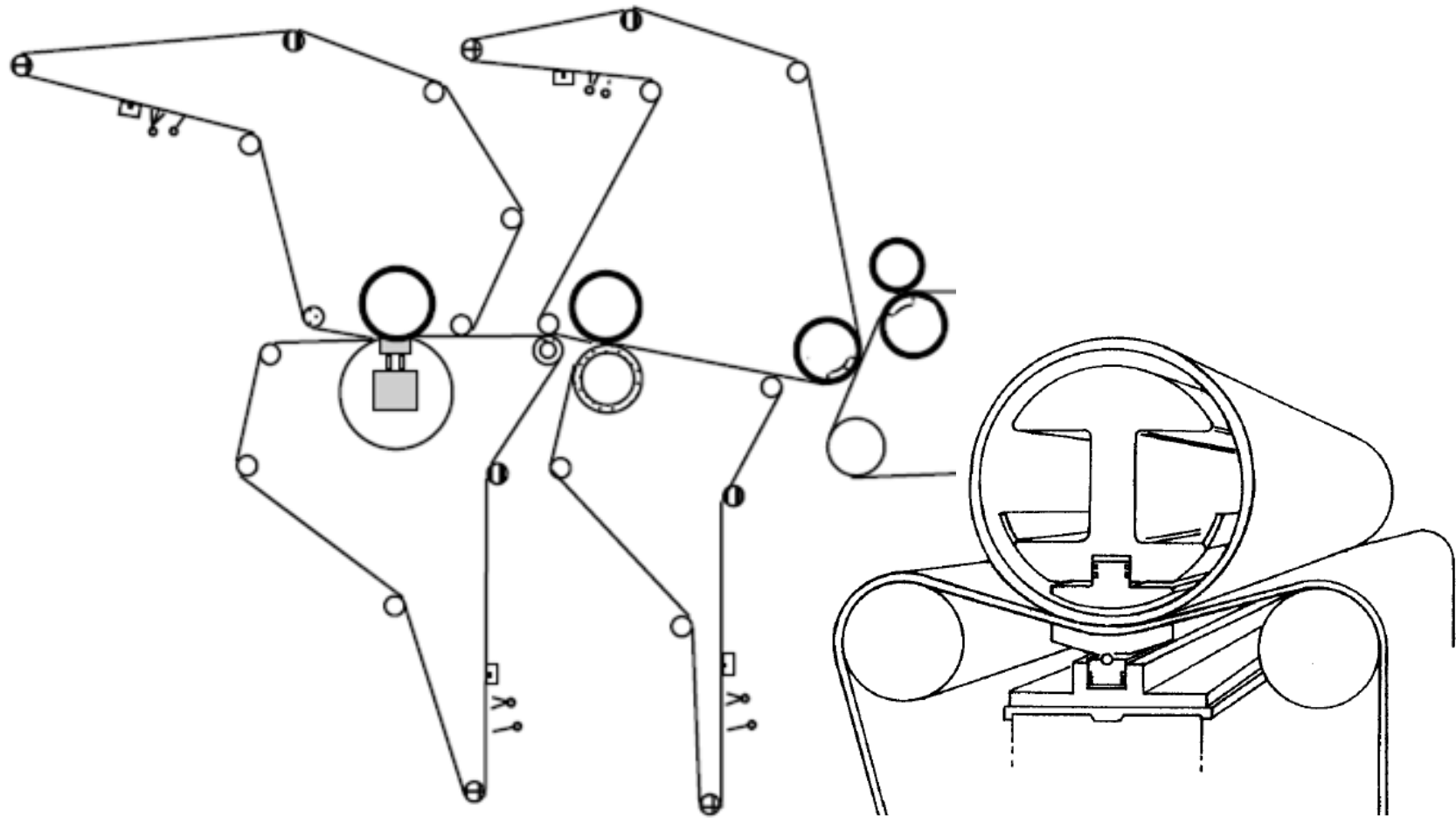
Chuveiro de óleo para lubrificação

Manta flexível, acionada pelo rolo superior. Extremidades fechadas



Prensagem

Prensa de “nip” extendido (prensa sapata)



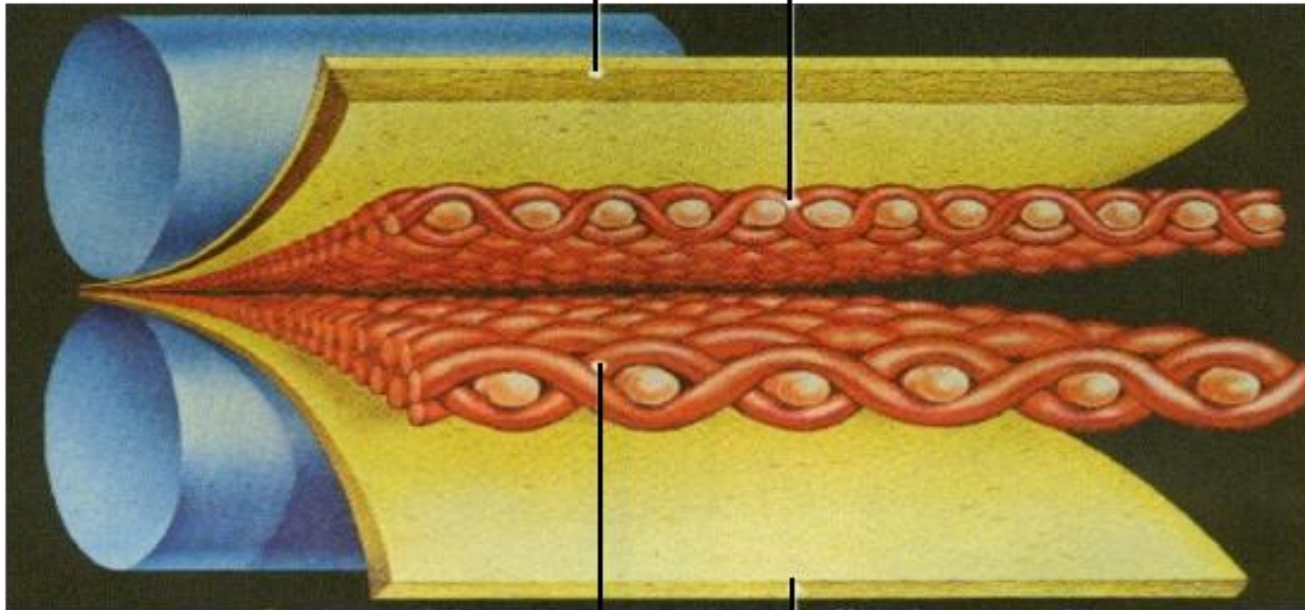
Configuração típica de prensas com duas prensas duplamente feltradas, sendo a segunda uma “shoe press”

Prensagem

Feltros úmidos

Camadas extratificadas resultando uma superfície para o contato das folhas apoiadas por uma sub-camada de drenagem livre.

Camada superior de fios finos que não marcam o papel e preporcionam o contato máximo com a folha e fixação da manta.

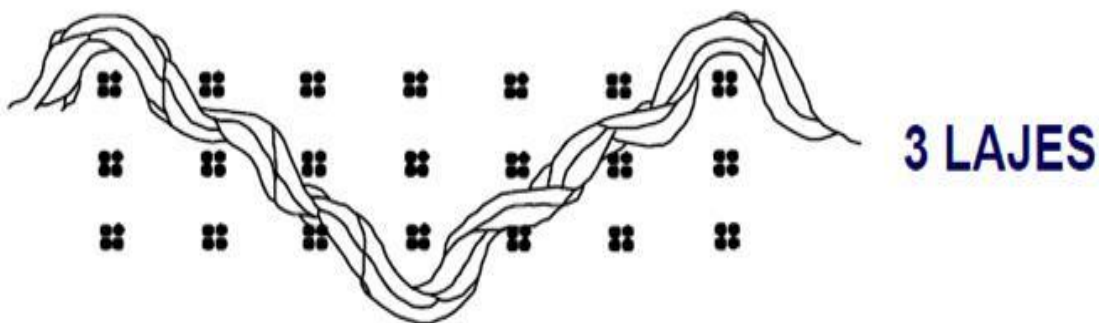
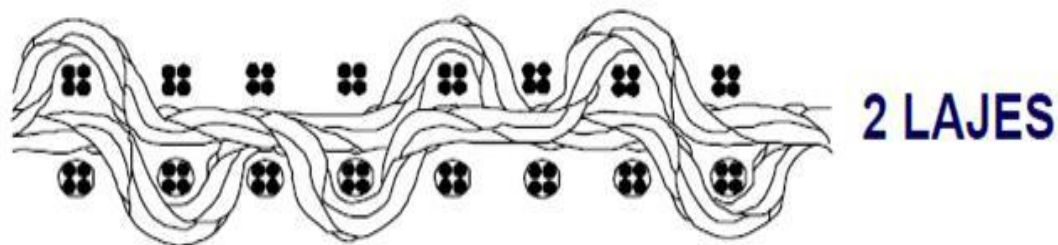


Base simples ou dupla, para alta drenagem e resistência a compactação

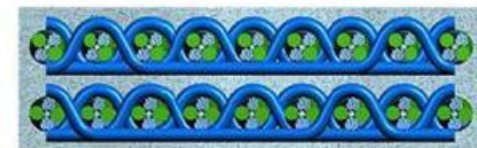
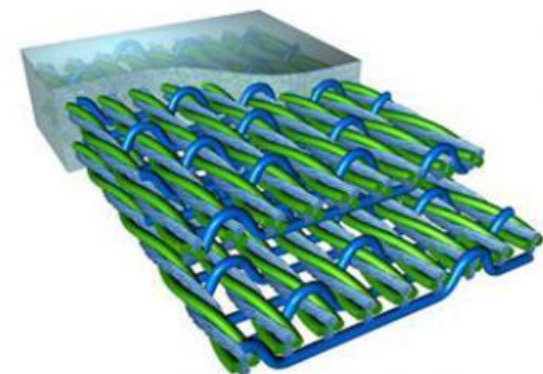
Manta inferior que no contato com a máquina propicia resistência ao desgaste.

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

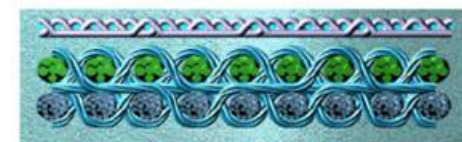
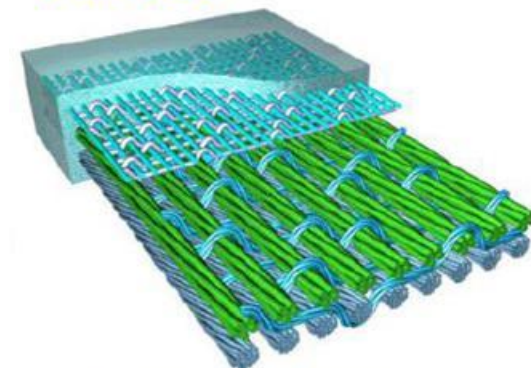
Prensagem Feltros úmidos



2 LAJES

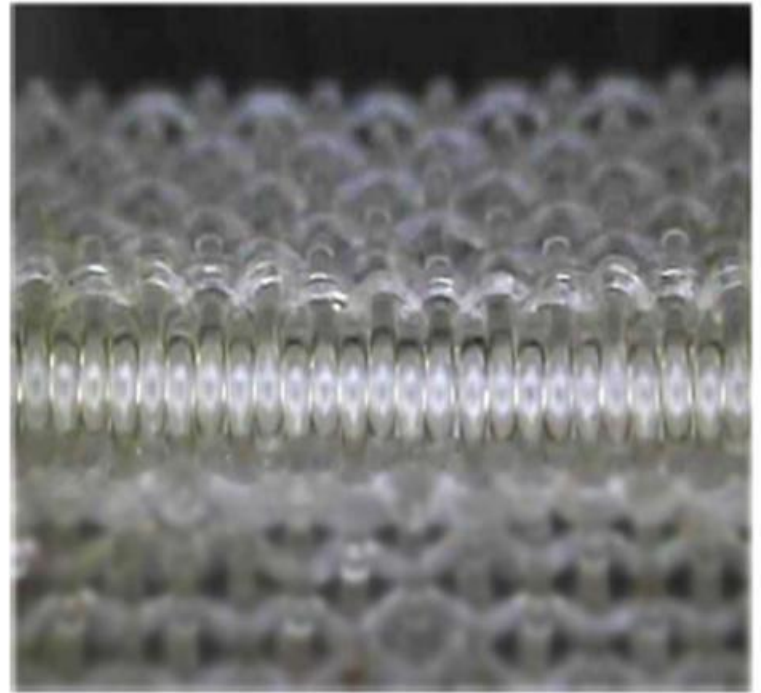
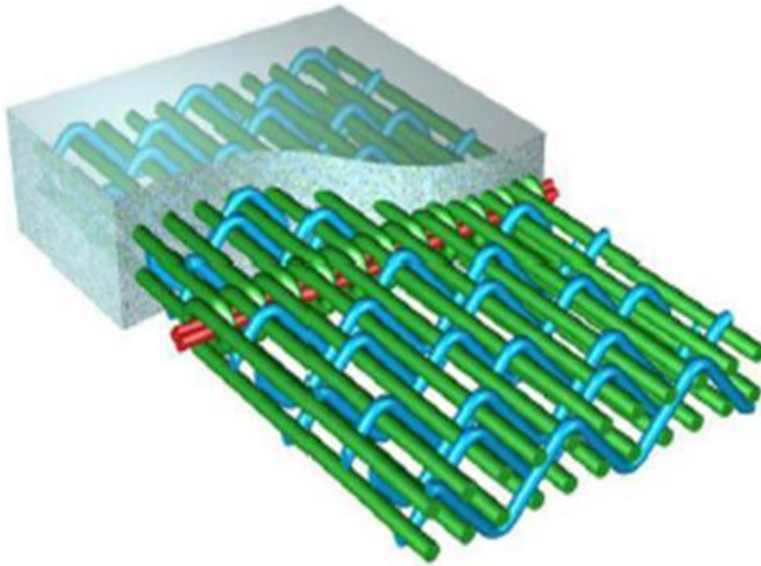


3 LAJES



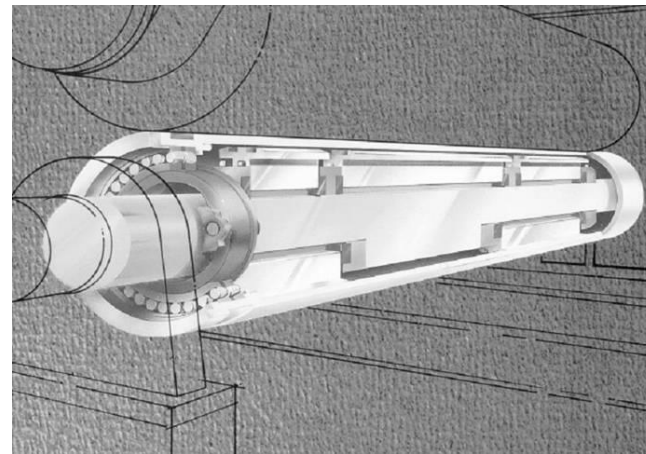
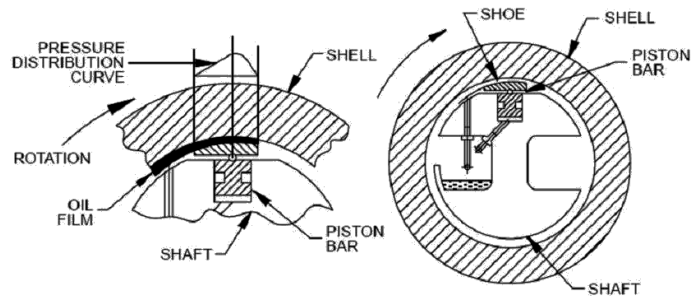
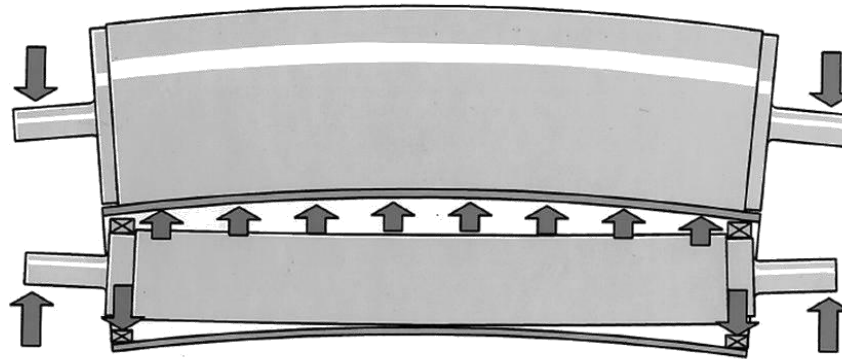
Prensagem

Feltros com emenda



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”



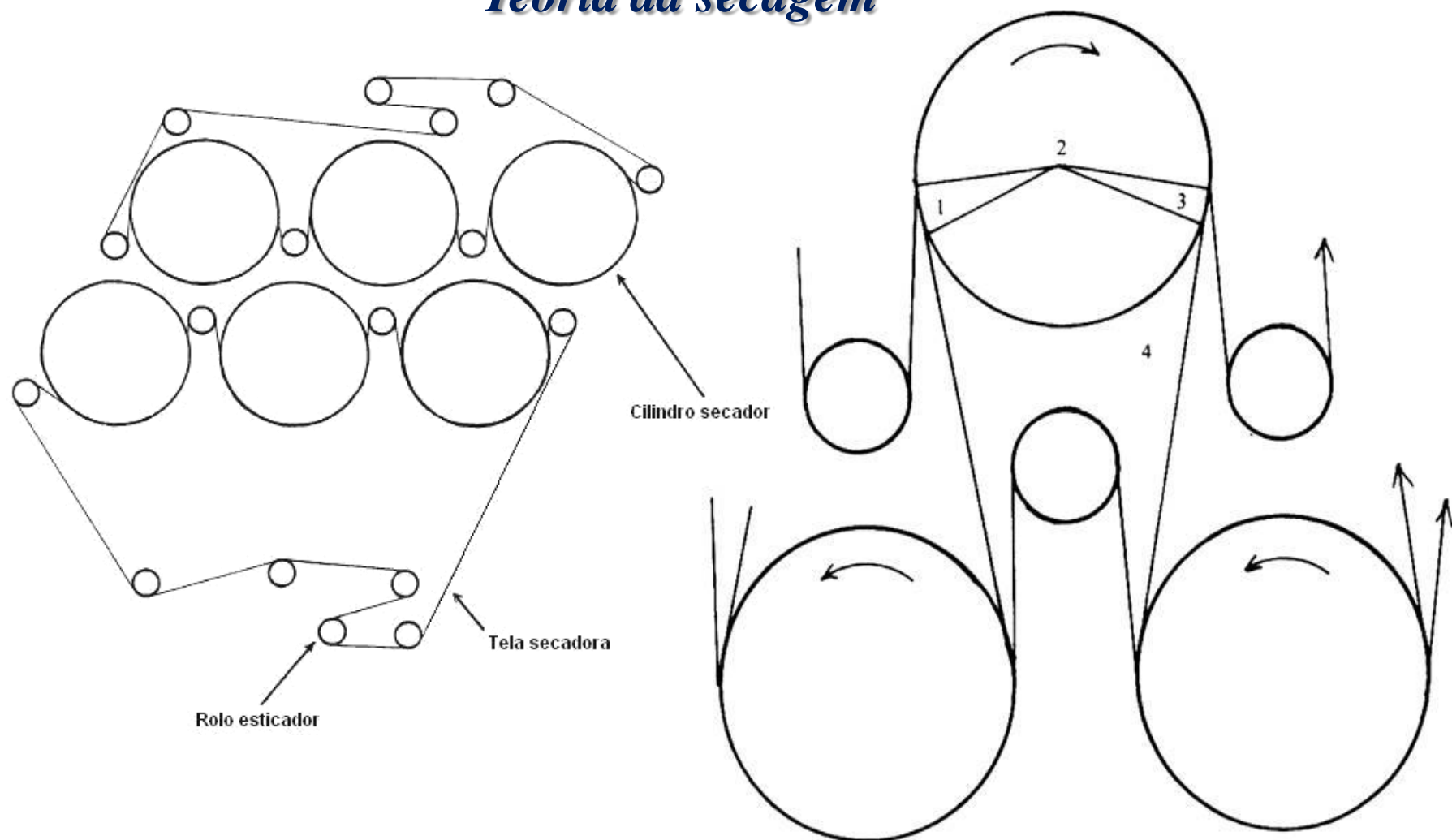
Excesso de “bombé”



**Aplicação irregular de carga
pela prensa**

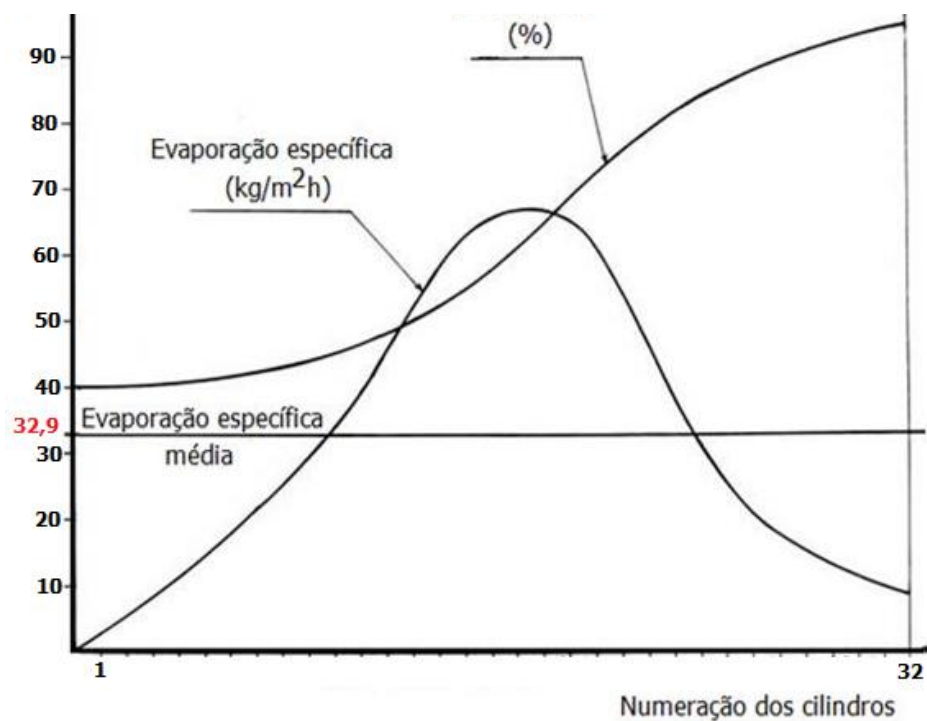
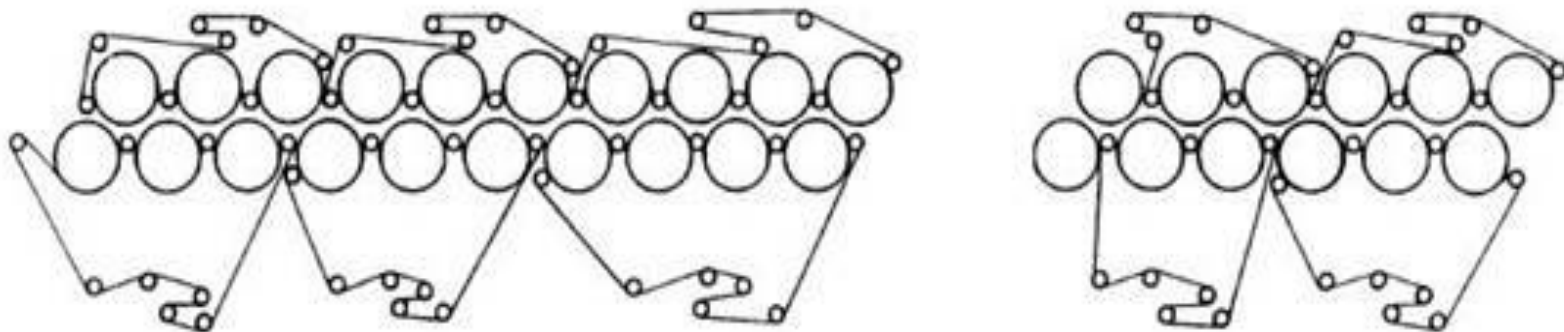
Secagem

Teoria da secagem



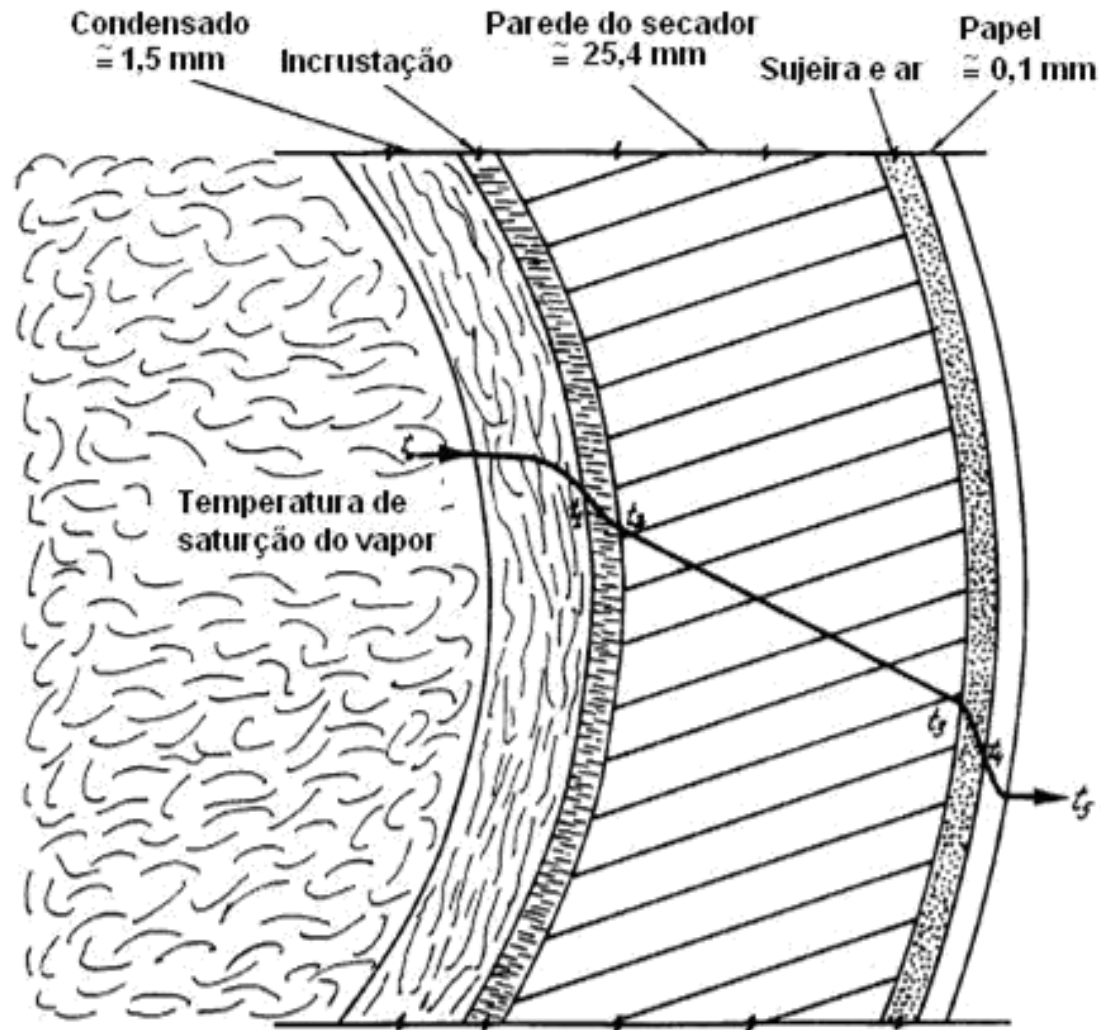
Secagem

Secagem com multicilindros



Secagem

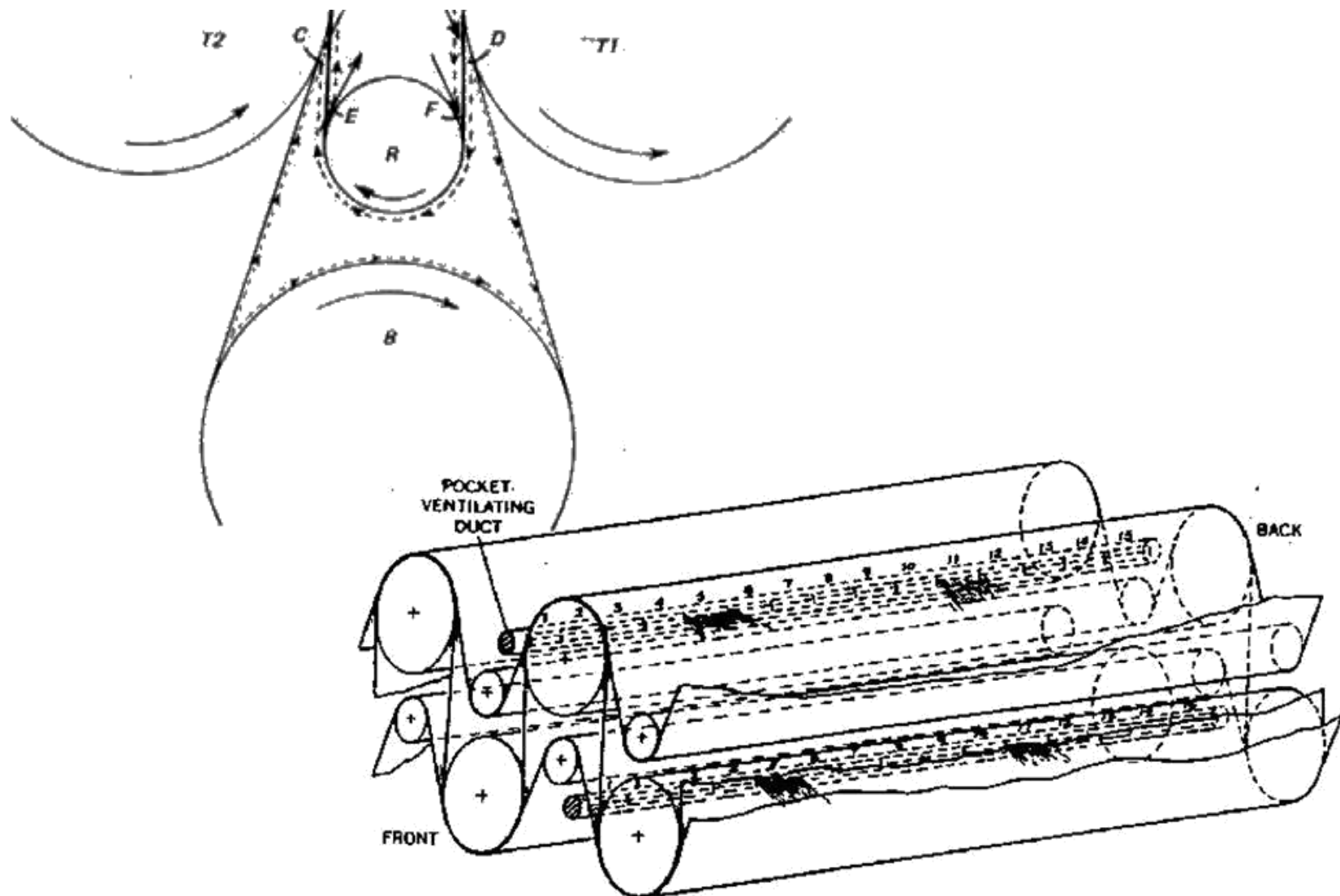
Transferência de calor



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

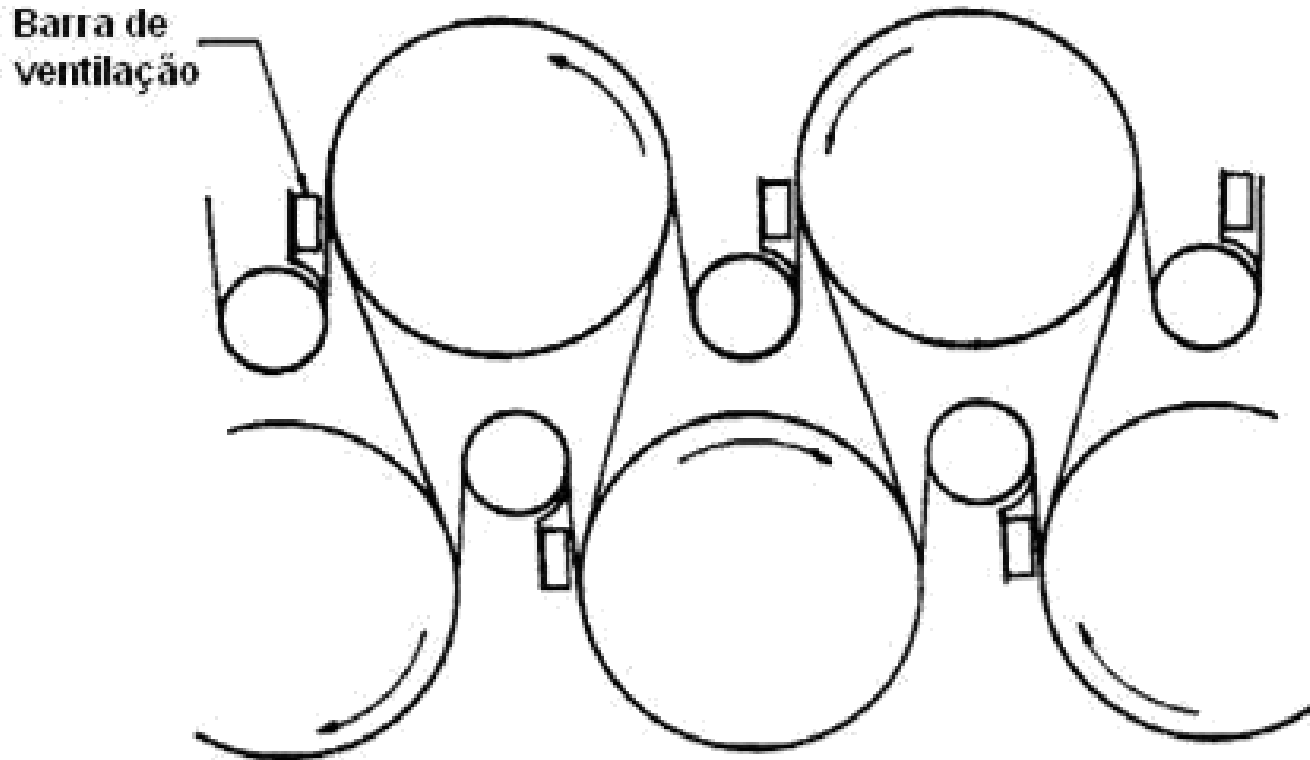
Secagem

Bolsões de ar



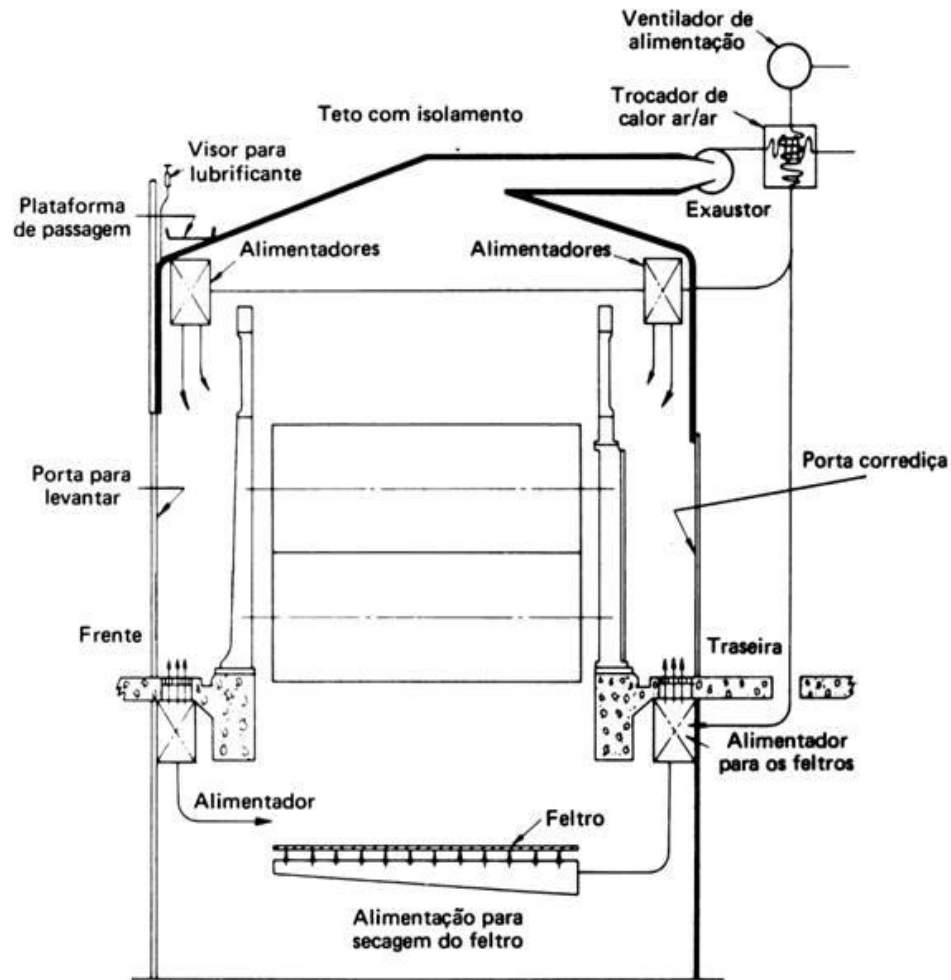
Secagem

Ventilação dos bolsões de ar



Secagem

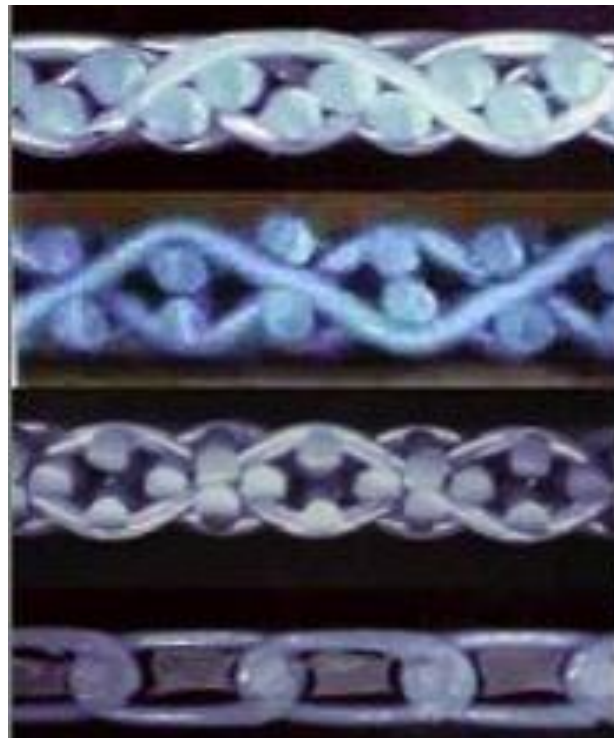
Capota



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

Secagem

Telas secadoras



1 1/2 Laje

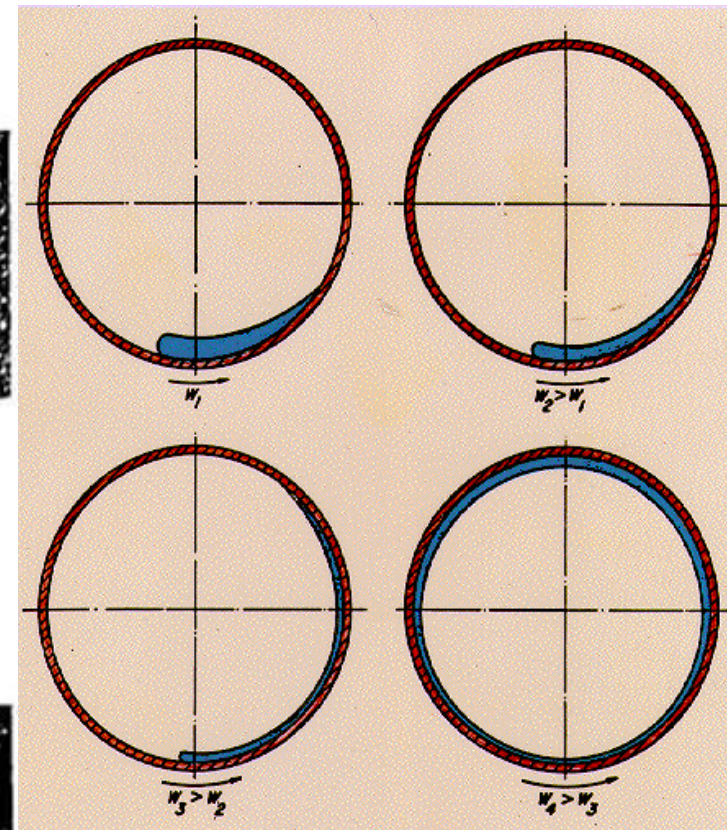
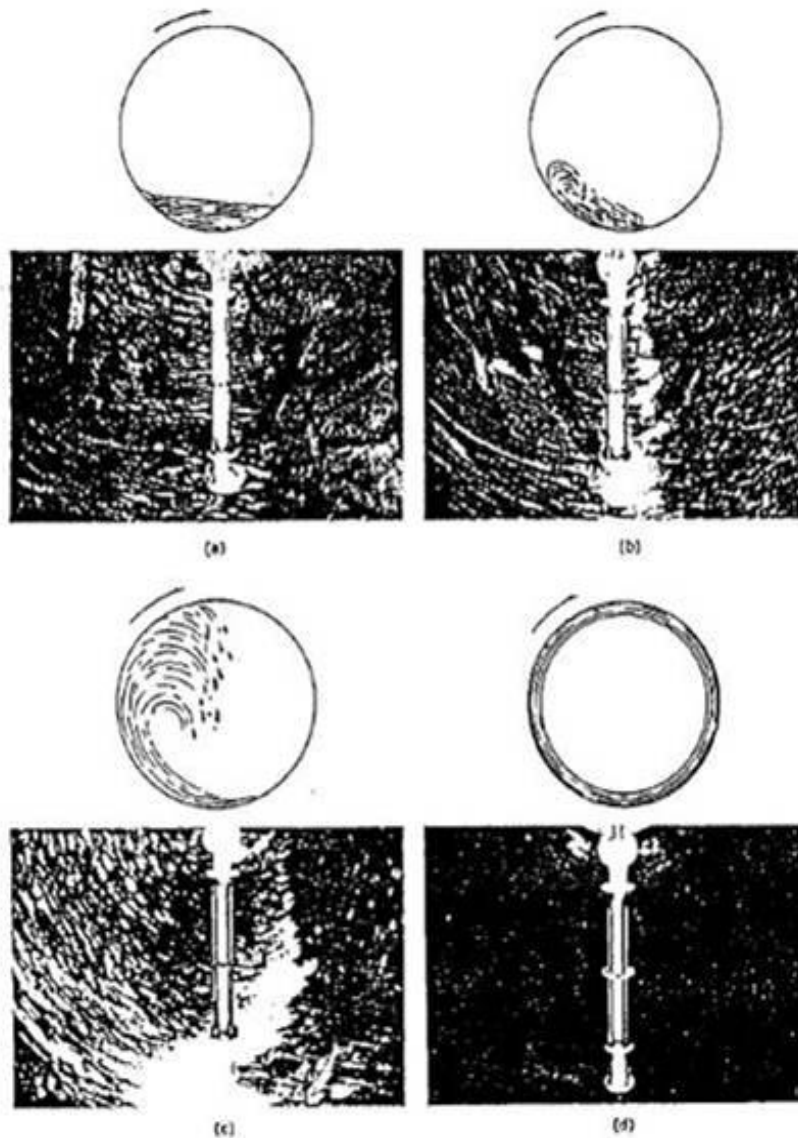
2 Lajes

2 1/2 Lajes

Espiral

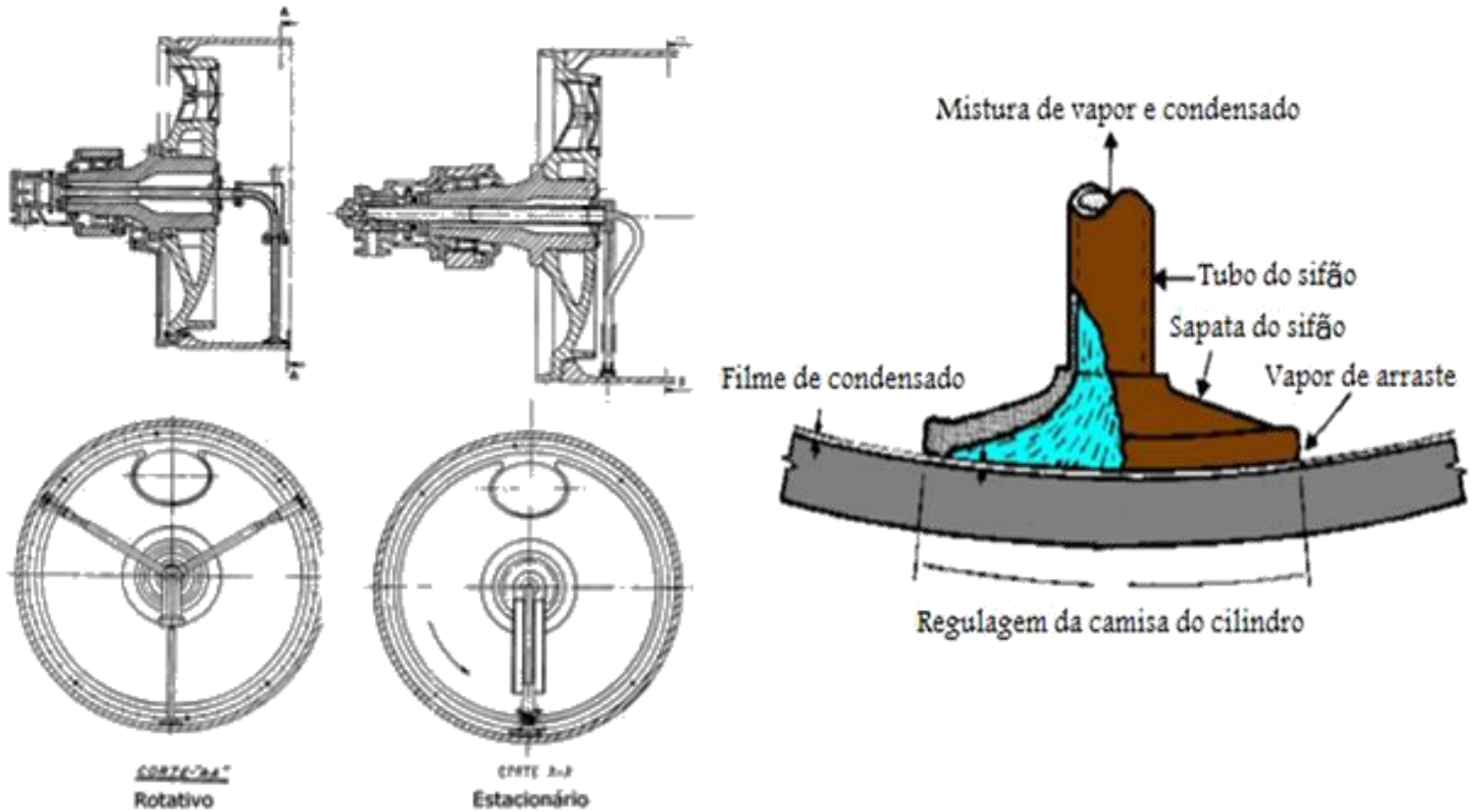
Secagem

Formação do filme de condensado

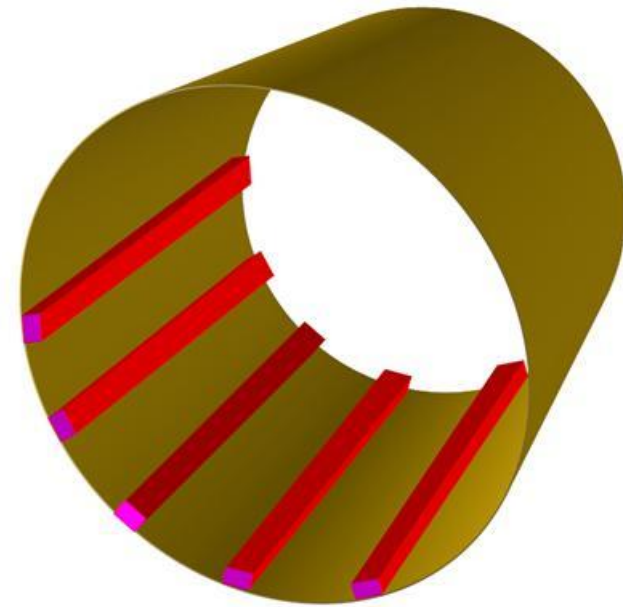
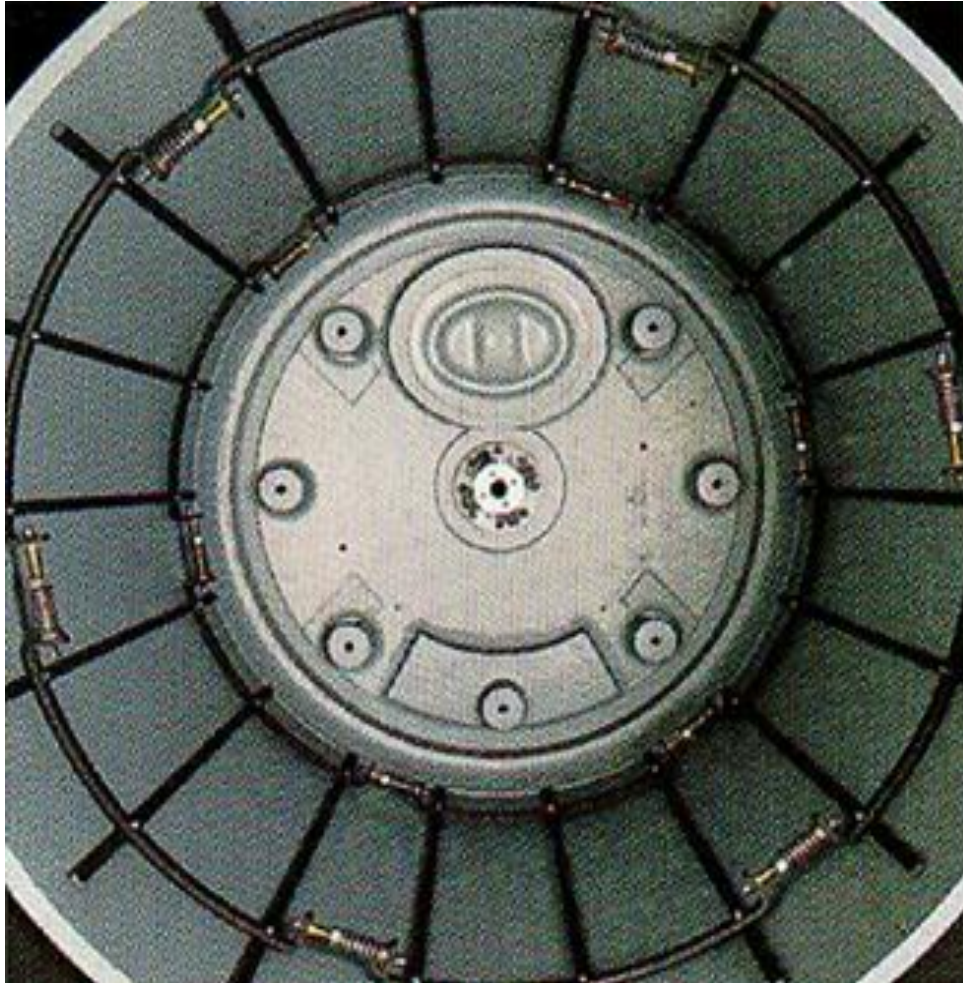


Secagem

Sifão rotativo e estacionário



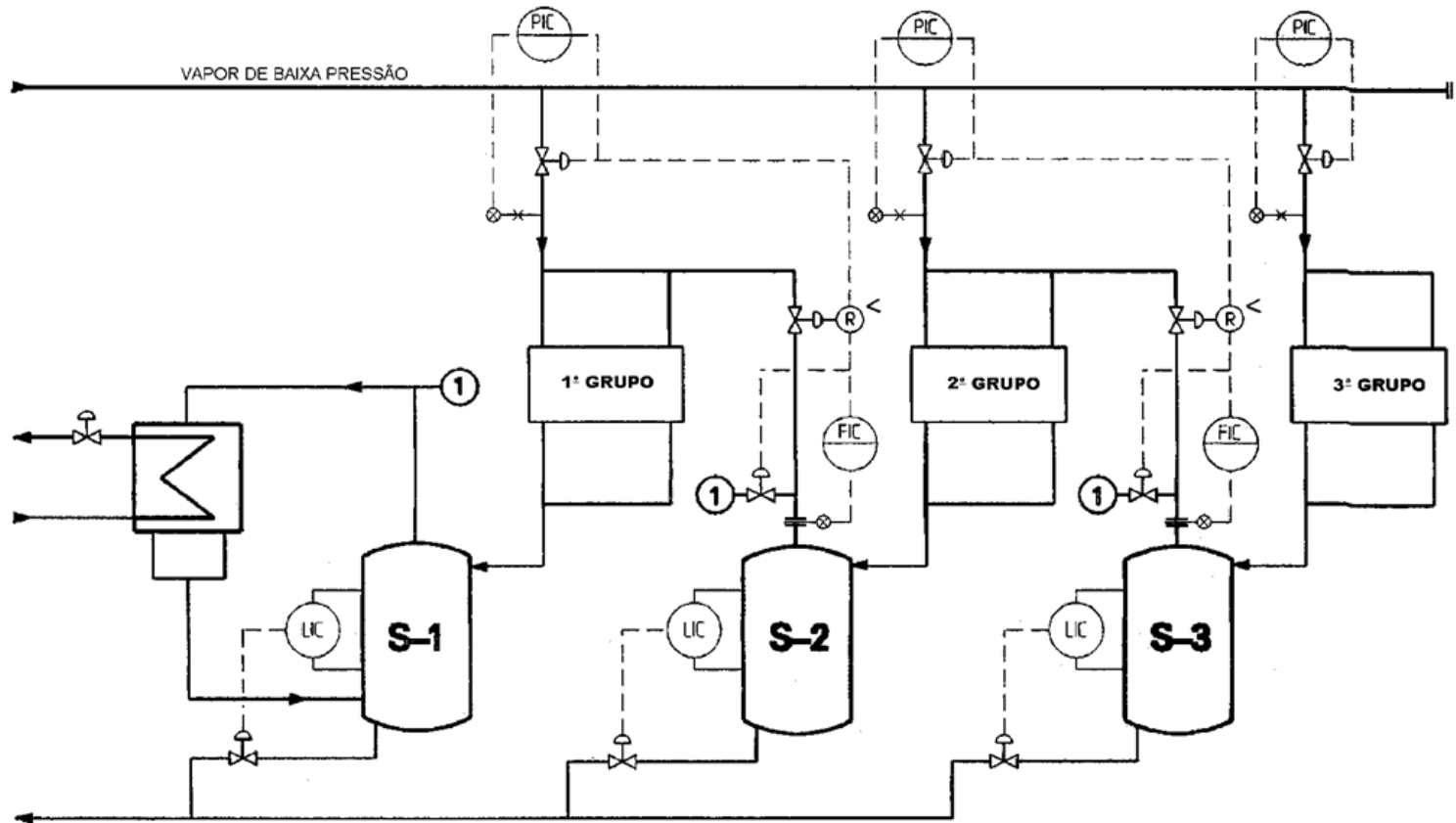
Secagem *“Spoiler bars”*



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

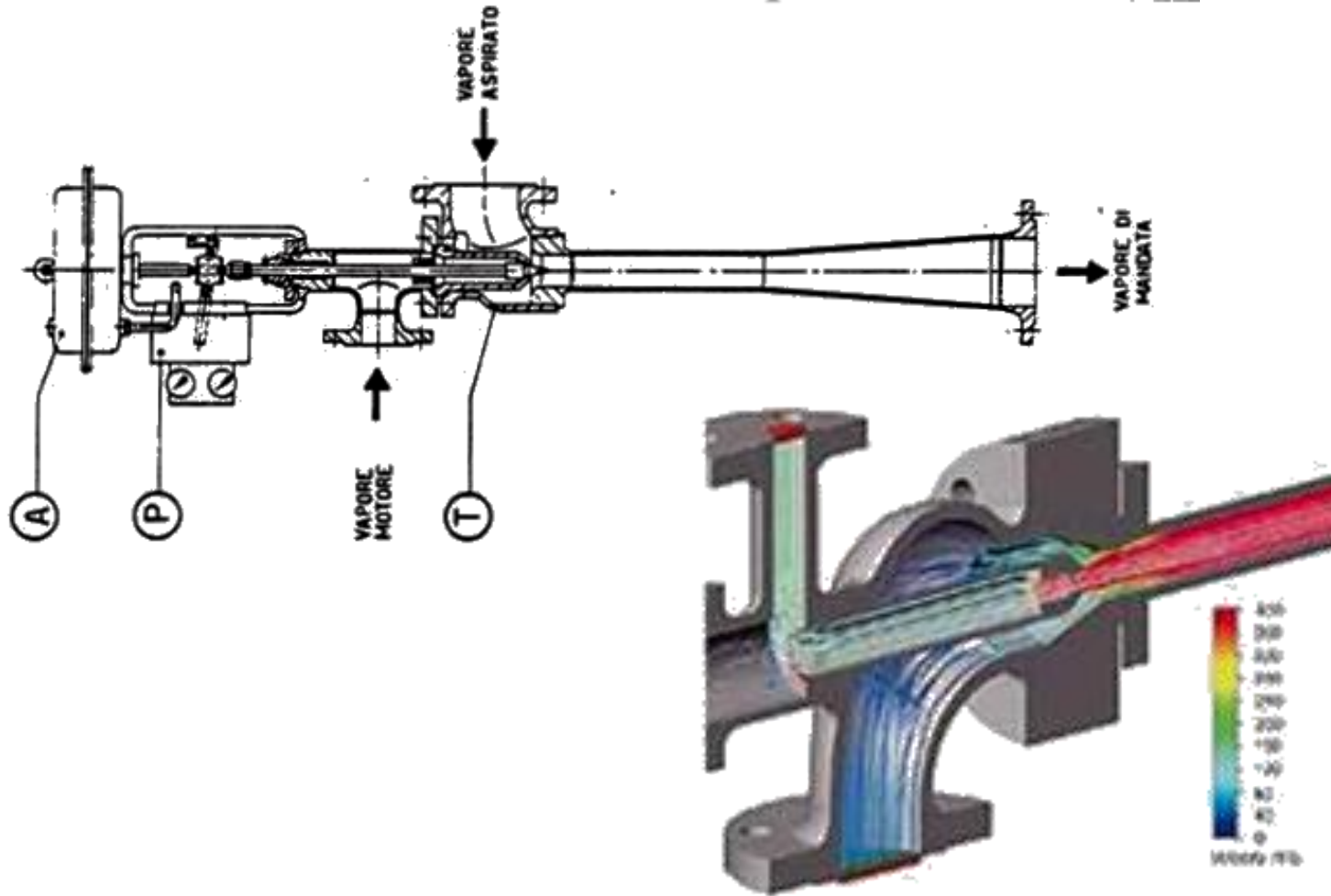
Secagem

Sistema em cascata



Secagem

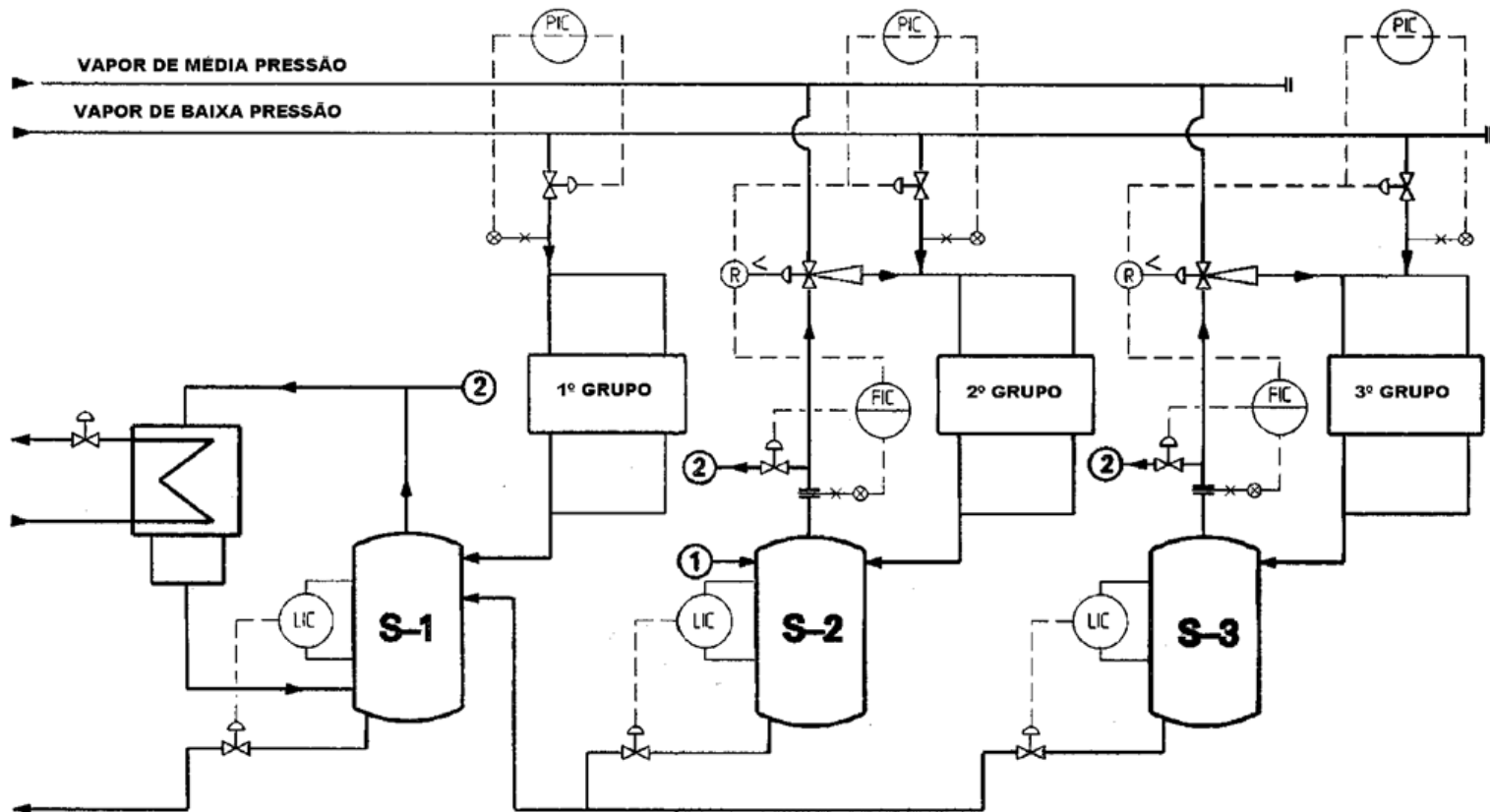
Termocompressor



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

Secagem

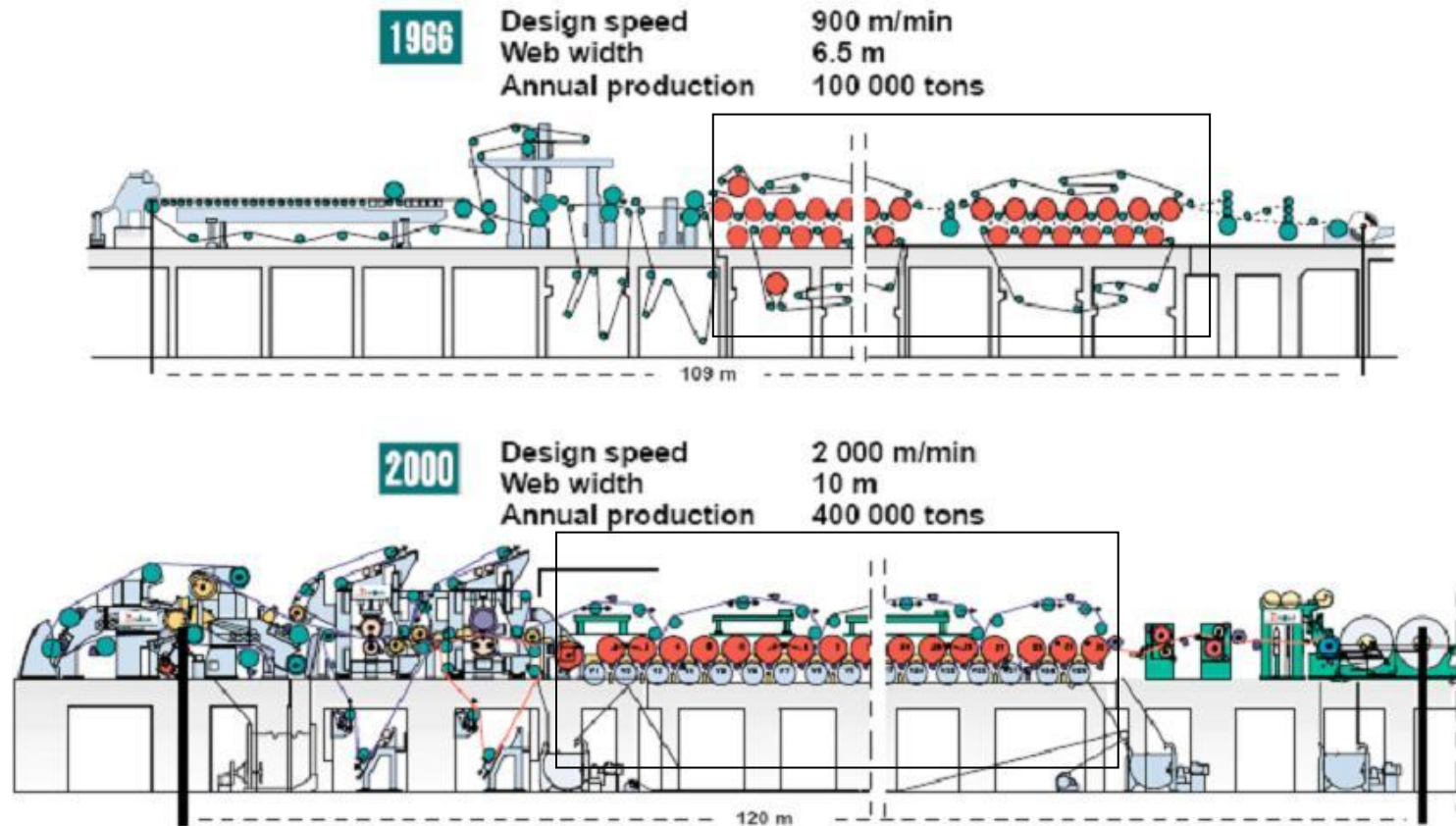
Sistema com termocompressor



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

Secagem

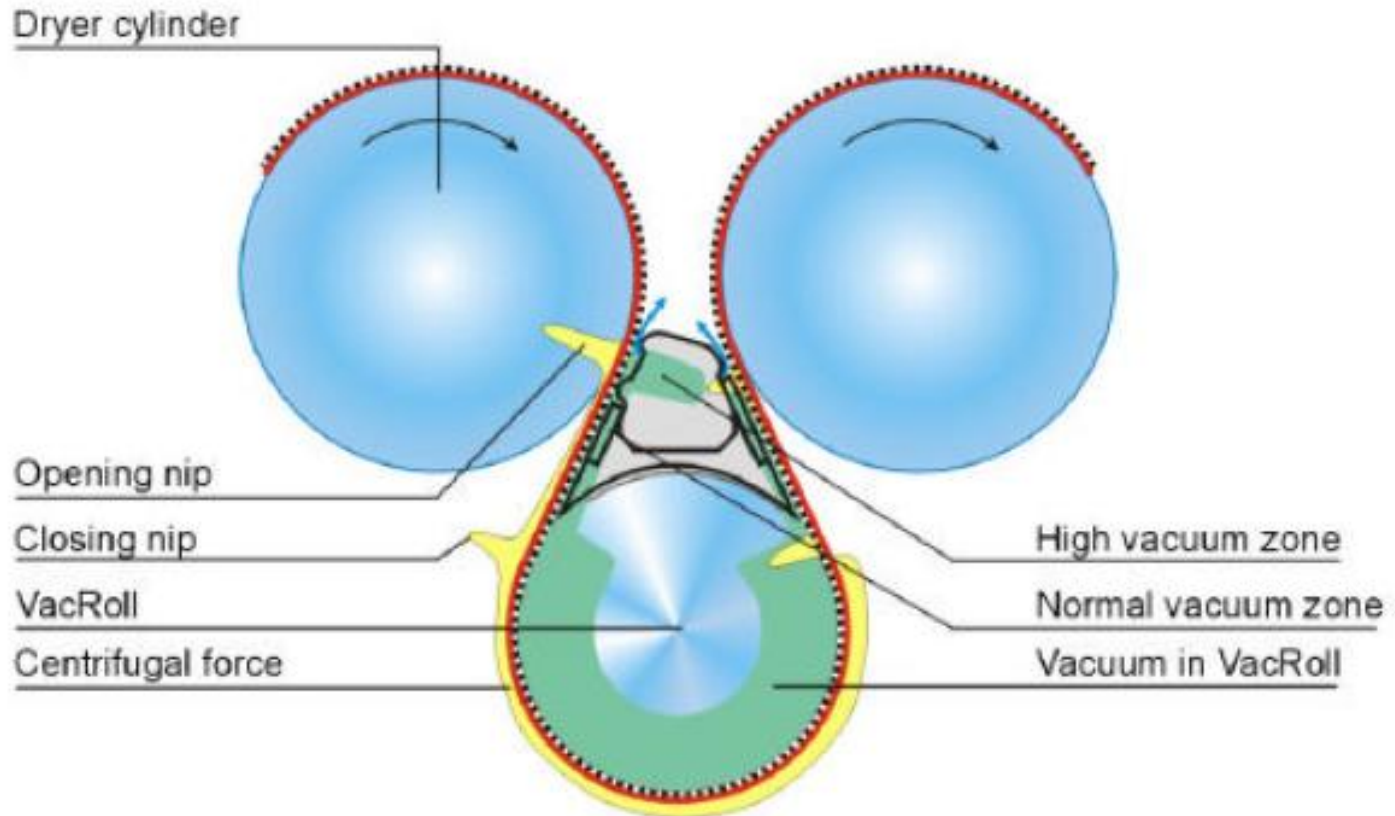
“Single tier”



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

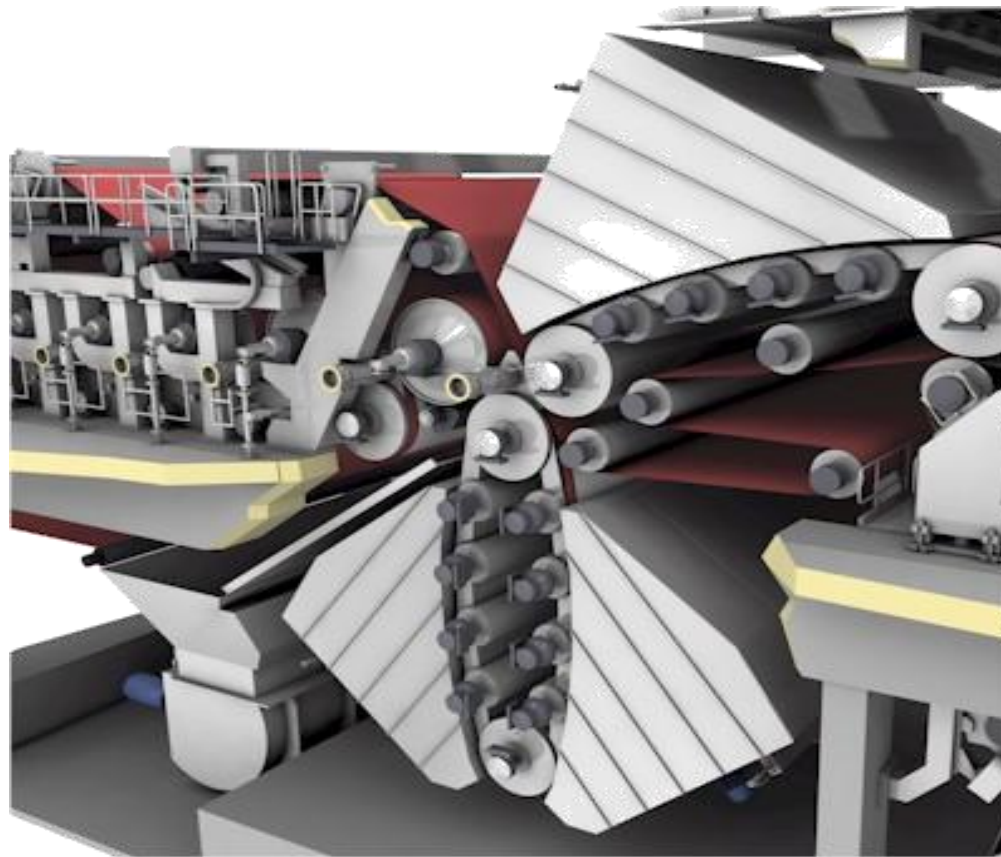
Secagem

“Single tier”



Secagem

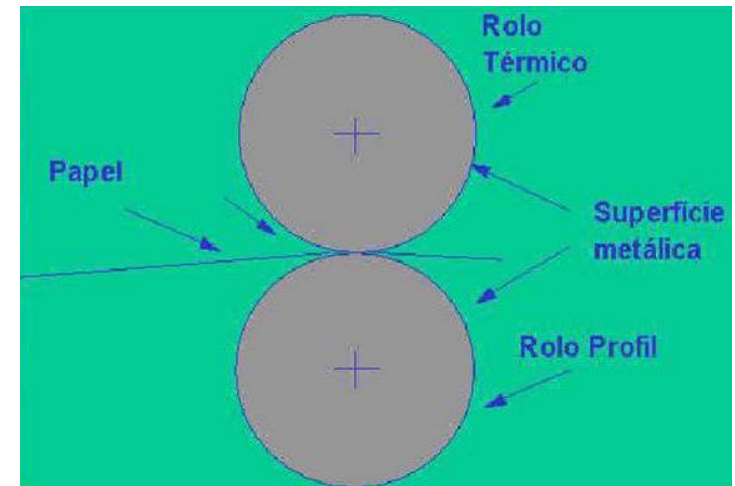
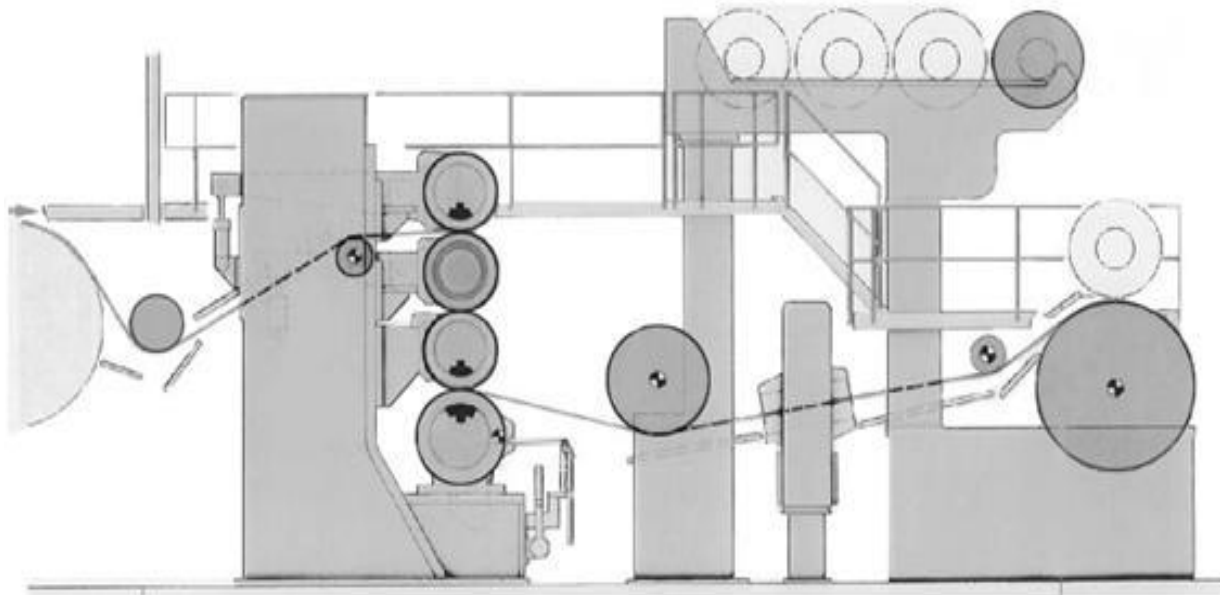
*Exemplo de novos sistemas de secagem:
OptiDry Twin KUVA*



FONTE: www.metso.com

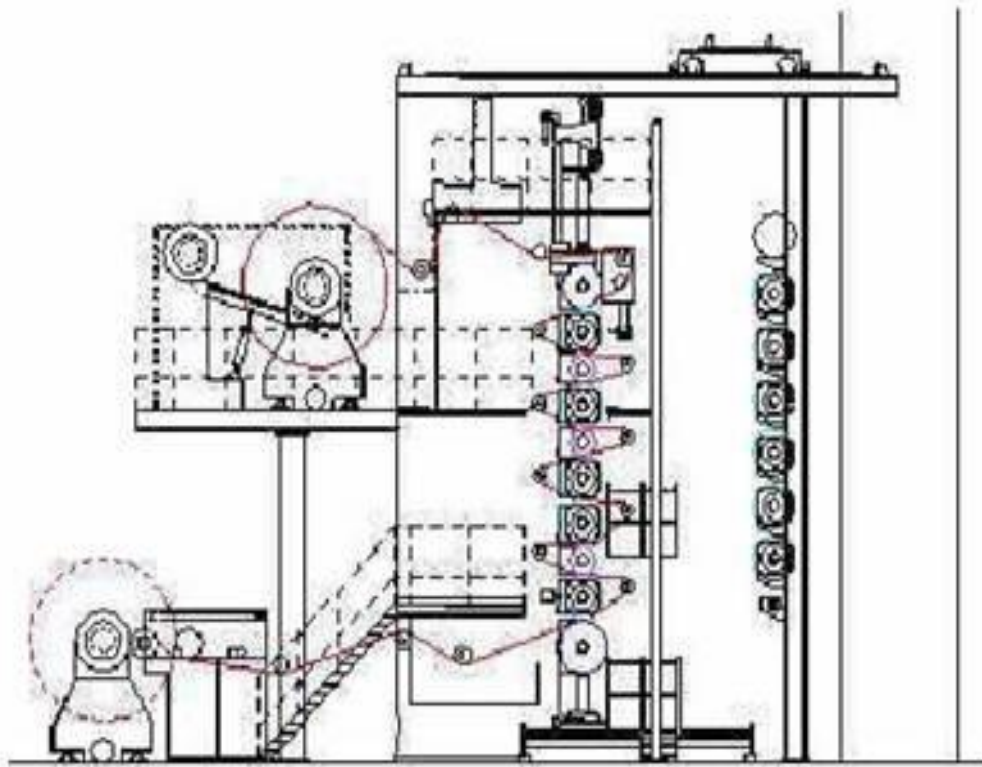
Calandragem

Calandra de máquina



Calandragem

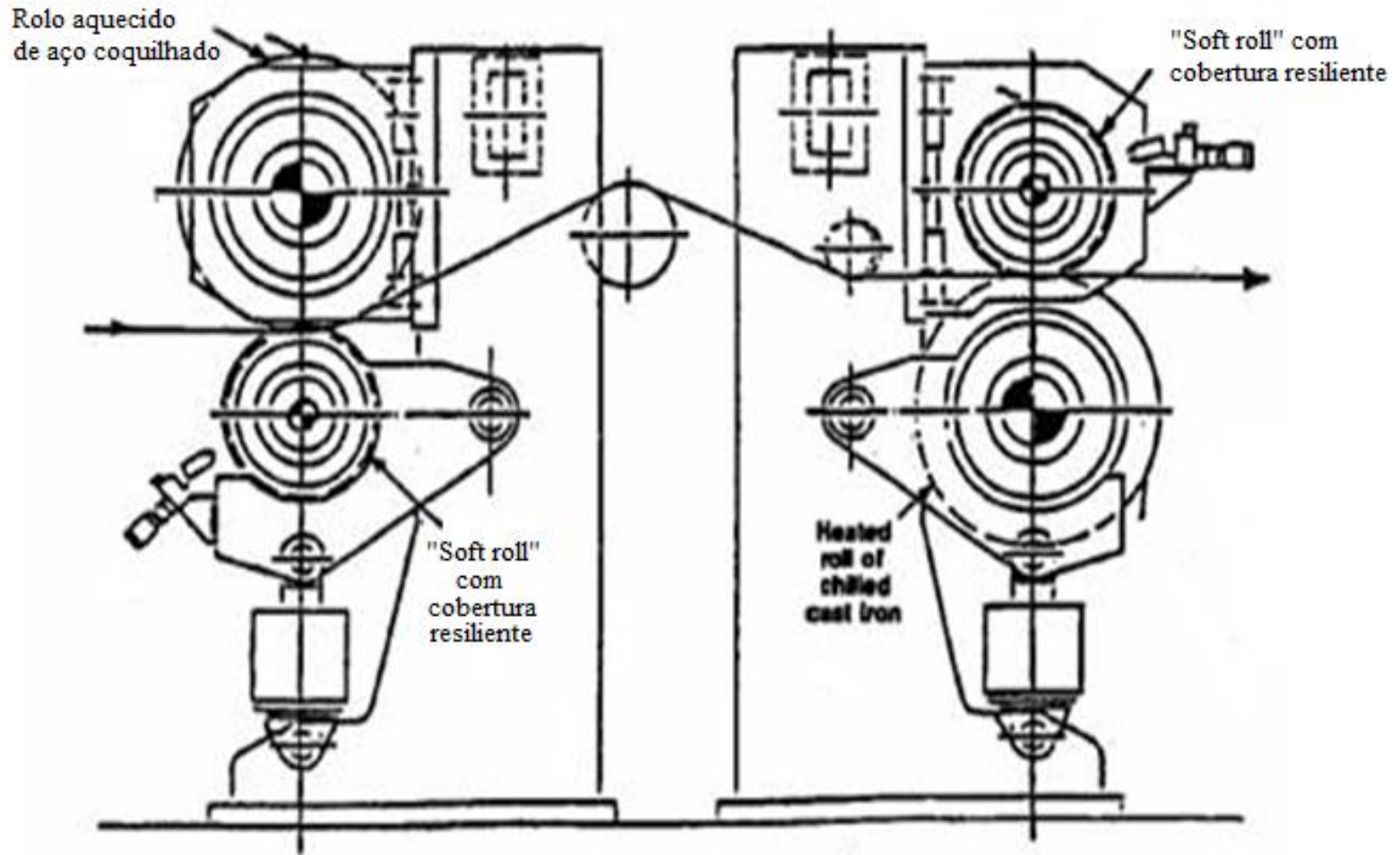
Supercalandra



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

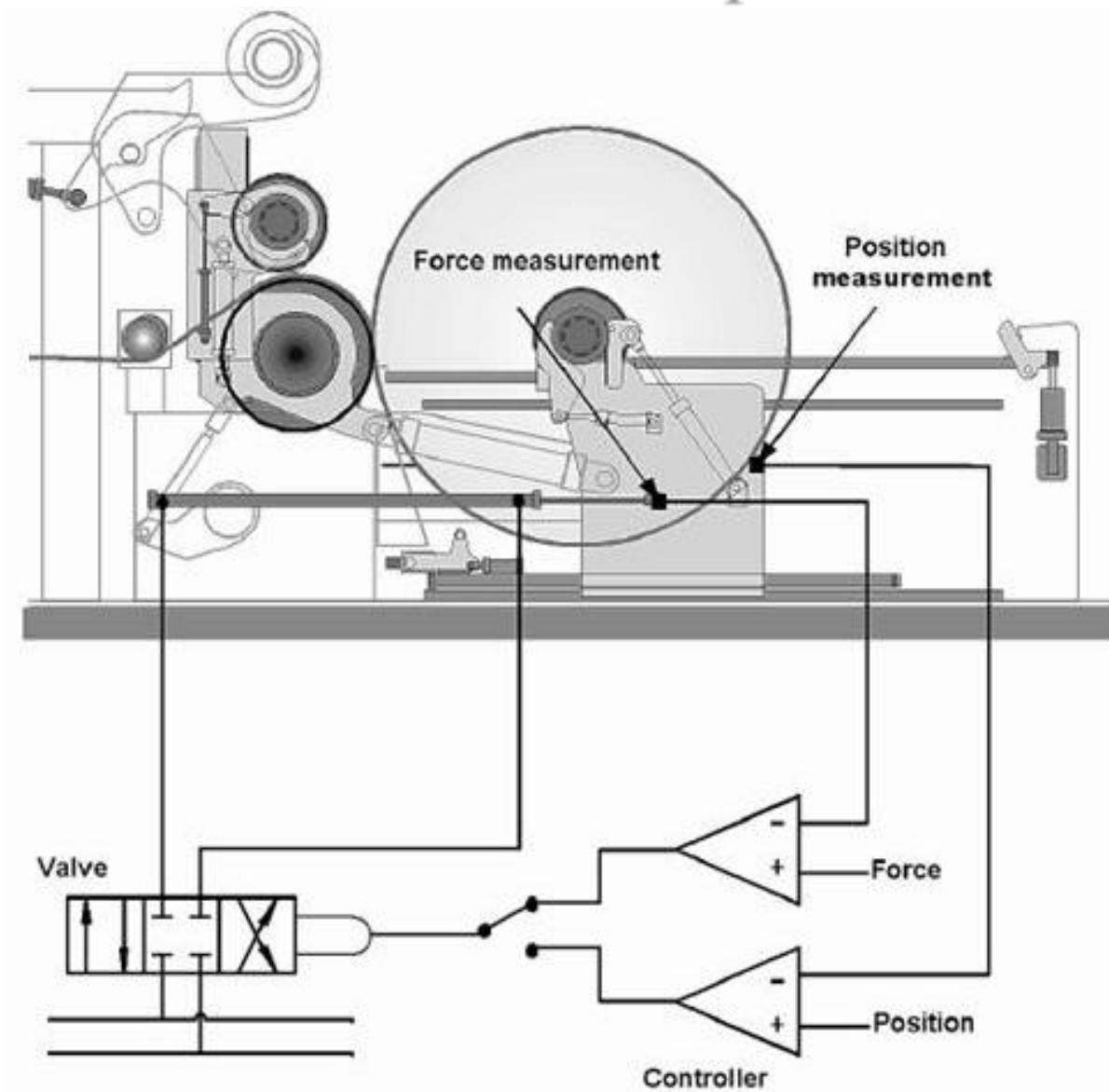
Calandragem

“Soft calandra”



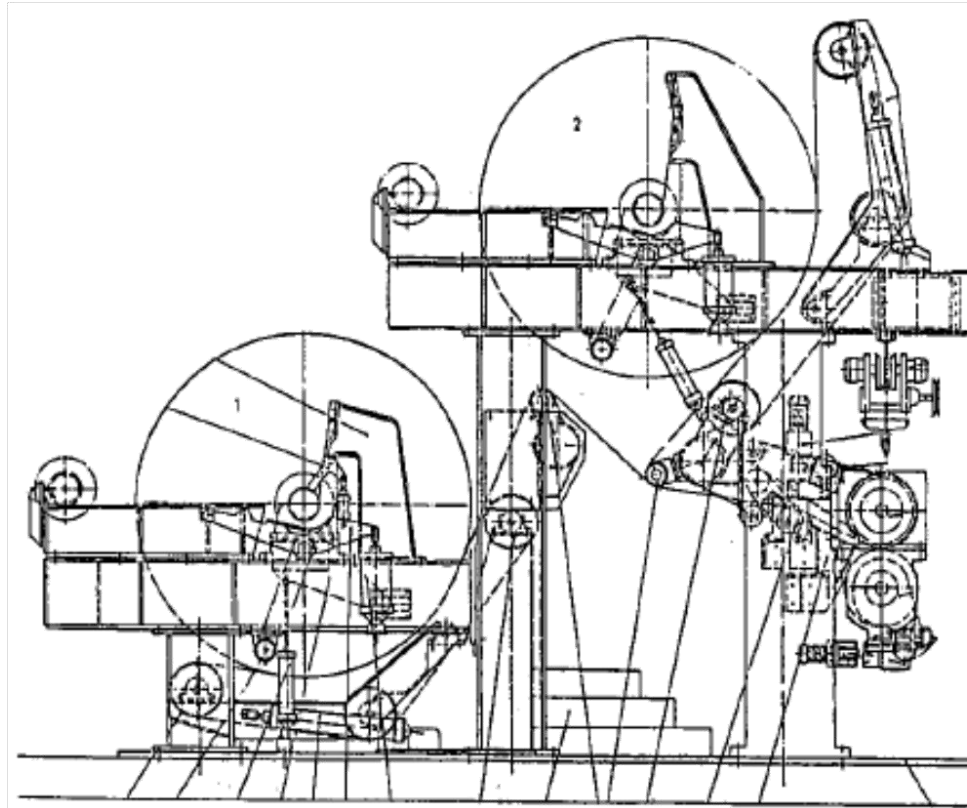
FONTE: Apostila “Curso básico de fabricação de papel” - ABTCP

Enroladeira “Pope”



FONTE: FONTE: PAULAPURO, H., et alli, Papermaking Part 2

Rebobinadeira duplicadora



Aditivos funcionais

Cargas minerais

Caulim

O caulim é um silicato de alumínio hidratado, ocorrendo em diversos depósitos naturais do nosso planeta. É a carga mais empregada na indústria papelreira, tendo como principais efeitos:

*Aumento de lisura, do lustro e da printabilidade;
Aumento de opacidade;
A redução da resistência.*

Tipos de papéis que utilizam caulim: escrever e impressão, de uma forma geral.

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.

Carbonato de Cálcio

Produto de alta alvura e de custo elevado, sendo usado em papéis especiais, fabricados em meio alcalino, pois em meio ácido o carbonato se decompõe, formando gás carbônico. Há dois tipos principais de carbonato de cálcio: natural e precipitado

Aditivos funcionais

Agentes de colagem interna

Colagem interna ou na massa, quando o agente colante é adicionado antes da formação da folha.

Compostos químicos hidrofóbicos monoméricos.

*Colagem interna ácida: cola de breu e sulfato de alumínio.
Ligação iônica com a fibra.*

*Colagem interna neutra-alcalina: colas reativas (AKD ou ASA).
Ligação covalente com fibra.*

Aditivos funcionais

Definição de colagem

Colagem é o processo responsável por oferecer resistência a penetração de líquidos no papel.

Tipos de papéis que necessitam de colagem:

Impressão e escrita

Envelope

Cartão para leite

Cartão para suco

Embalagem para líquidos

Produtos moldados

Papel de parede

Papel / papelcartão couché: LWC, MWC

Papel para saco

Papelão ondulado

Aditivos funcionais

Qualidade da folha formada

Papel ácido

“Temporário”

Estabilidade baixa

Chapas de impressão

Corrosão

Espuma

*Baixa velocidade de
secagem de tinta*

Papel Alcalino

“Permanente”

Melhor printabilidade

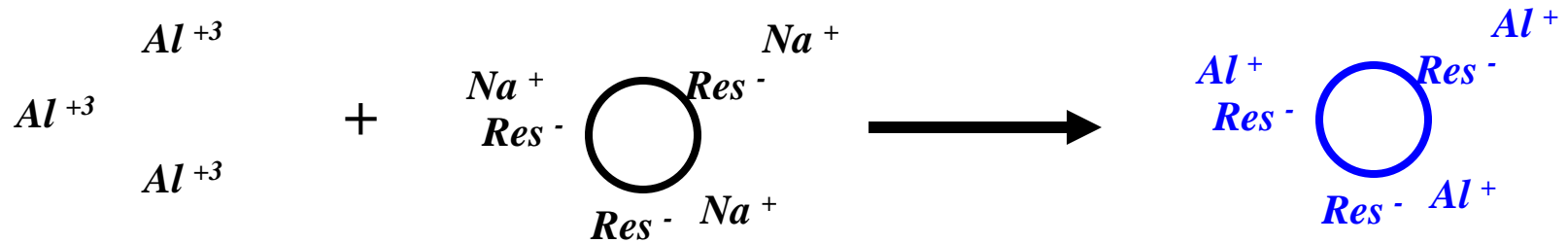
Adesão

Qualidade

Formação uniforme

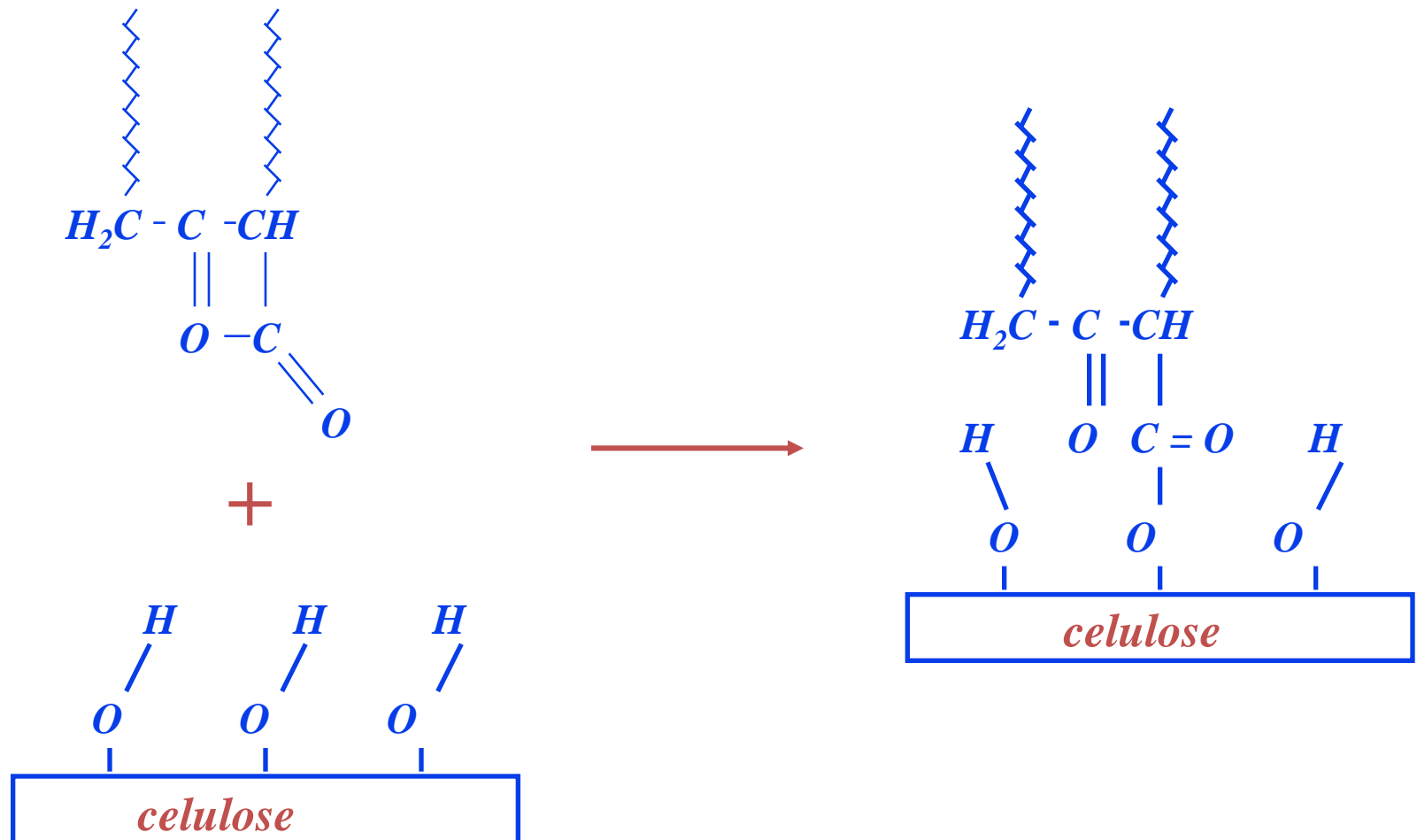
Aditivos funcionais

Mecanismo de reação da cola de breu com a celulose



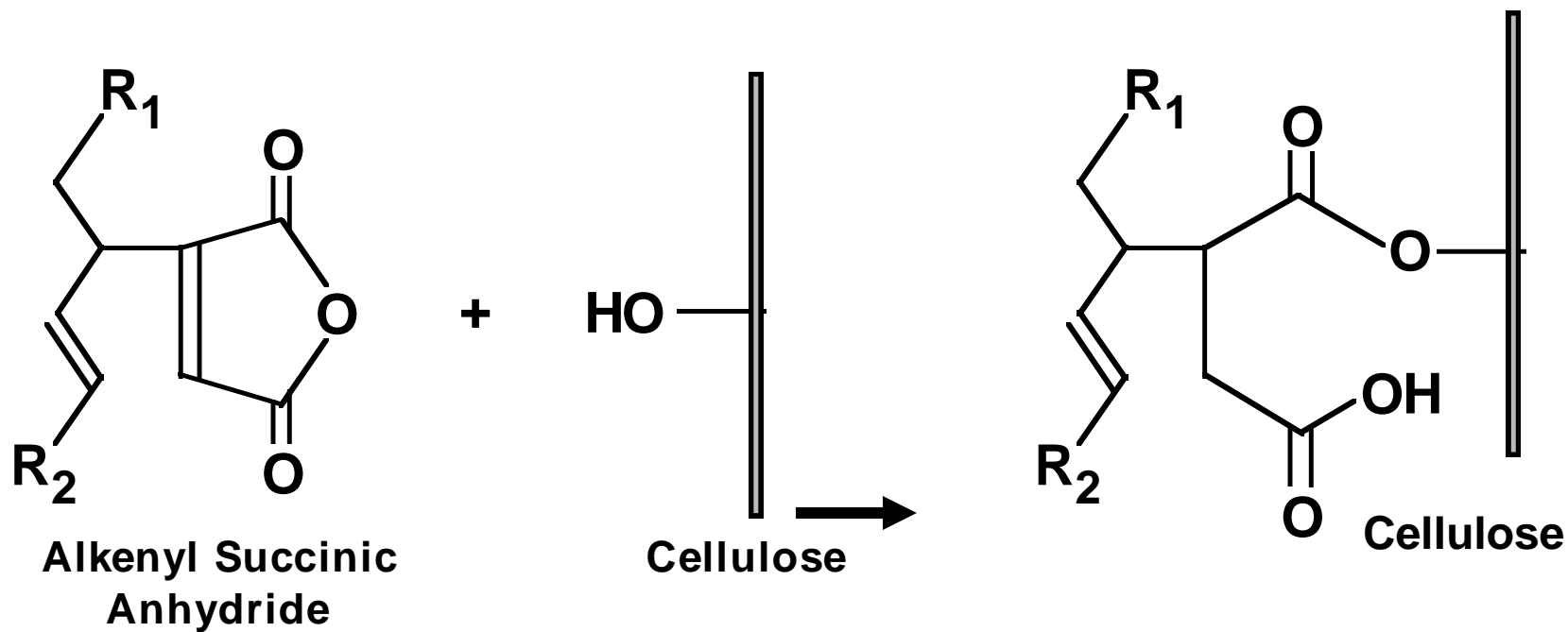
Aditivos funcionais

Reação de AKD com Celulose



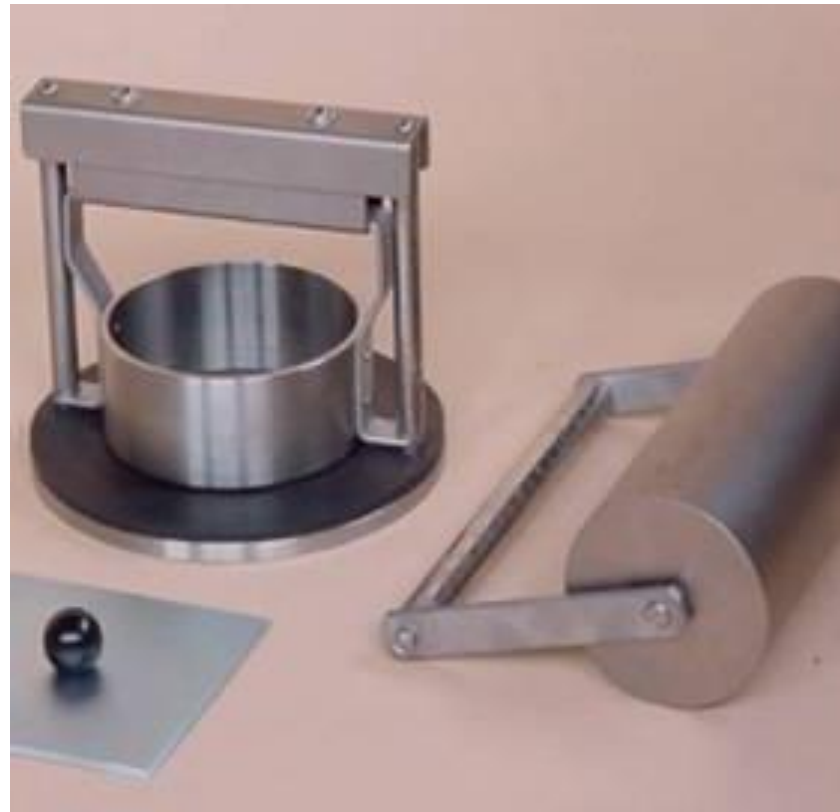
Aditivos funcionais

Reação de ASA com celulose



Propriedades dos papéis P&W

Absorção de água



FONTE: www.regmed.com.br

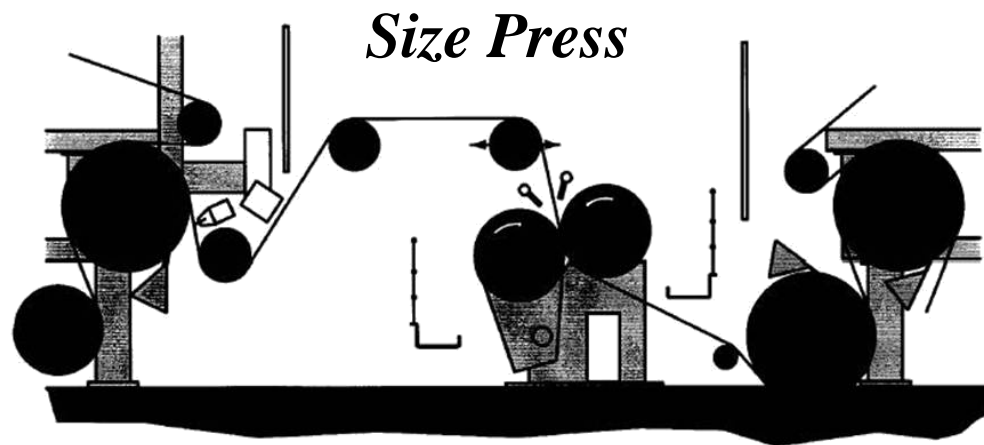
Aditivos funcionais

Agentes de colagem superficial

Colagem superficial, quando o produto é aplicado na superfície da folha já praticamente pronta.

Polímeros solúveis em água.

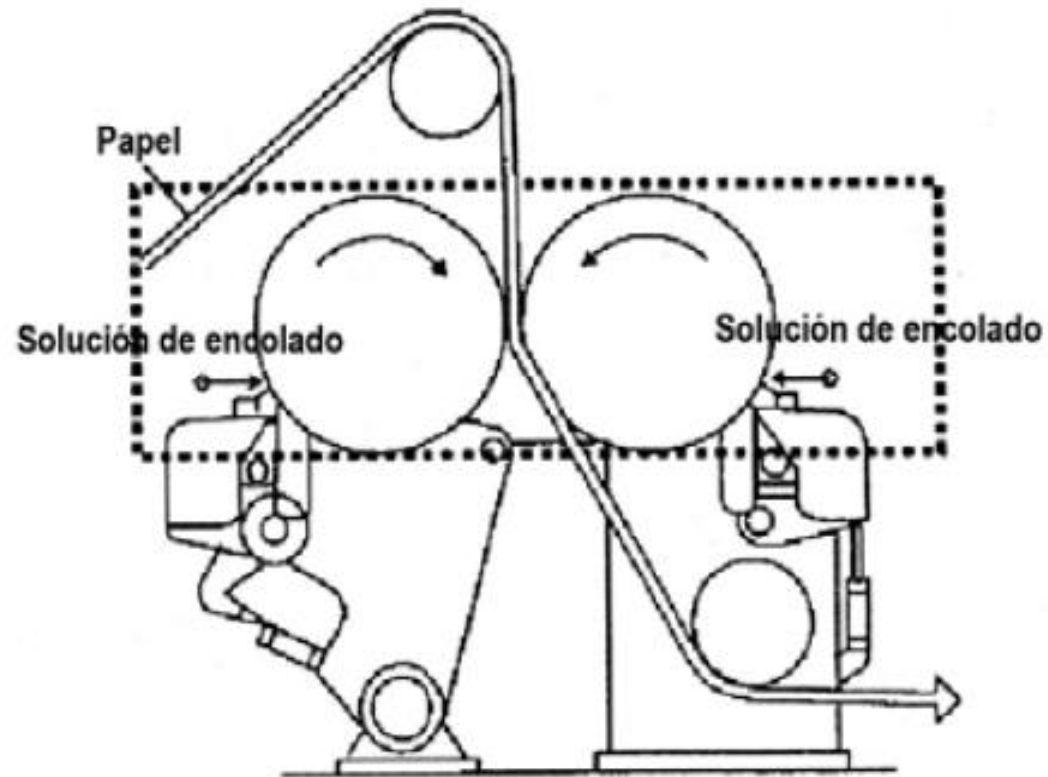
Formadores de filmes com alguma hidrofobicidade.



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

Aditivos funcionais

SpeedSizer (Voith)



Aditivos funcionais

Agentes de resistência a seco

Amido

É constituído por 2 tipos de estruturas: linear (amilose) e ramificada (amilopectina)

Corresponde a quase 95% dos produtos e aditivos utilizados para esta finalidade. Normalmente, tem de ser “modificado” devido a retenção natural de um amido “in natura” ser ao redor de somente 40% (geralmente, para indústria de papel é necessário criar “sites” catiônicos).

Utilização: emulsões (colas alcalinas), “coatings”, agentes de colagem superficial.

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.

Aditivos funcionais

Agentes de resistência a seco

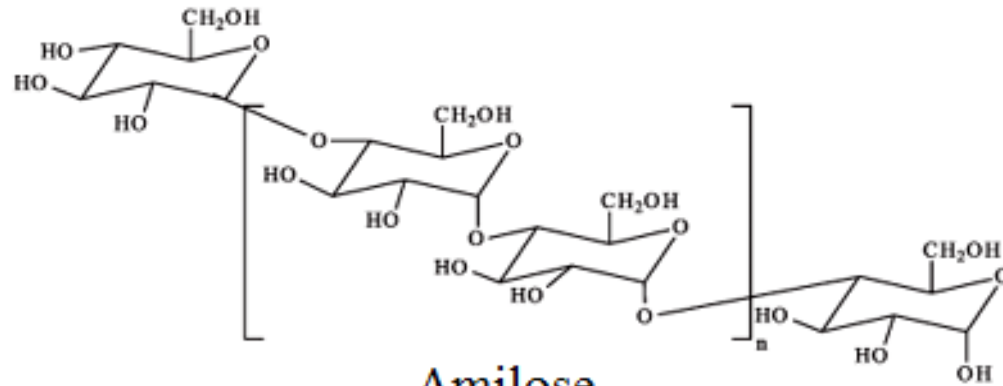
ADITIVO	DESCRIÇÃO
Amidos	Natural ou modificado quimicamente.
Gomas	Dextrinas naturais ou modificadas quimicamente.
Derivados da celulose	Carboximetilcelulose; metil celulose; hemicelulose.
Polímeros sintéticos	Fenólicos; poliamidas; policrilamidas; uréia-formaldeído; melalina-formaldeído; poliamidas;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

Amido (procedência)

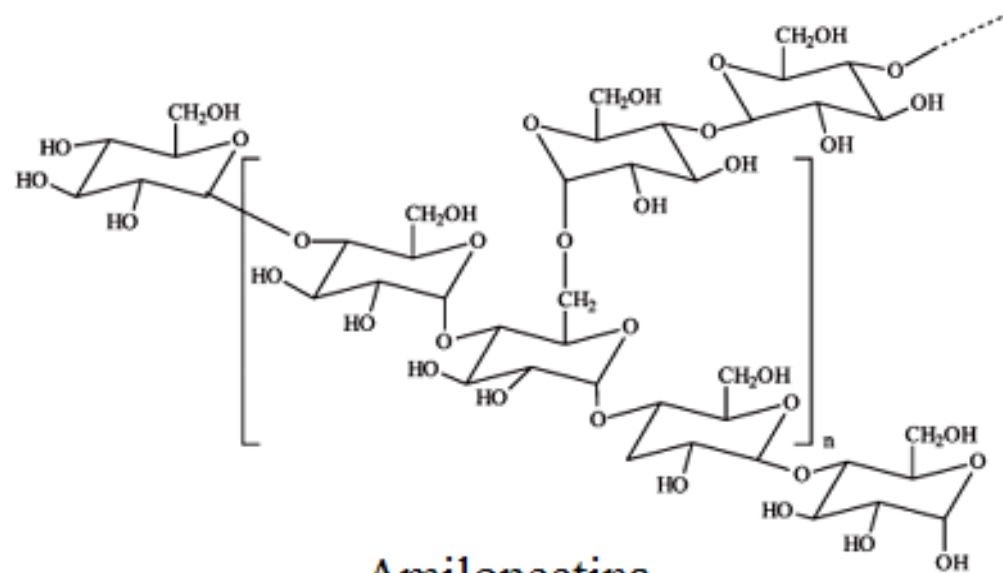
	Batata	Milho	Mandioca	Trigo
Amilose, %	20	24	16	25
Amilopectina, %	80	76	84	75
Peso molecular	Médio-alto	Médio	Médio-alto	Médio

Aditivos funcionais

Amido



Amylose



Amylopectina

Aditivos funcionais

Agente de resistência a úmido

O reumidecimento de papel resulta em uma nova hidratação de fibras (quase que completa) e em uma perda de 95% (aprox.) em resistência.

Agentes típicos de resistência a úmido são: polímeros solúveis em água, iônicos (catiônico ou aniônico).

Os grupos ativos mais comumente utilizados:

uréia formaldeído (“coatings”);

melamina formaldeído (“coatings”);

epicloridrinamida (fabricação de papel especial, “tissue”, rótulo, embalagem);

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

Aditivos funcionais

Pigmentos, corantes e alvejantes ópticos

Pigmentos, corantes e alvejantes ópticos são substâncias que “dão” cor ao papel.

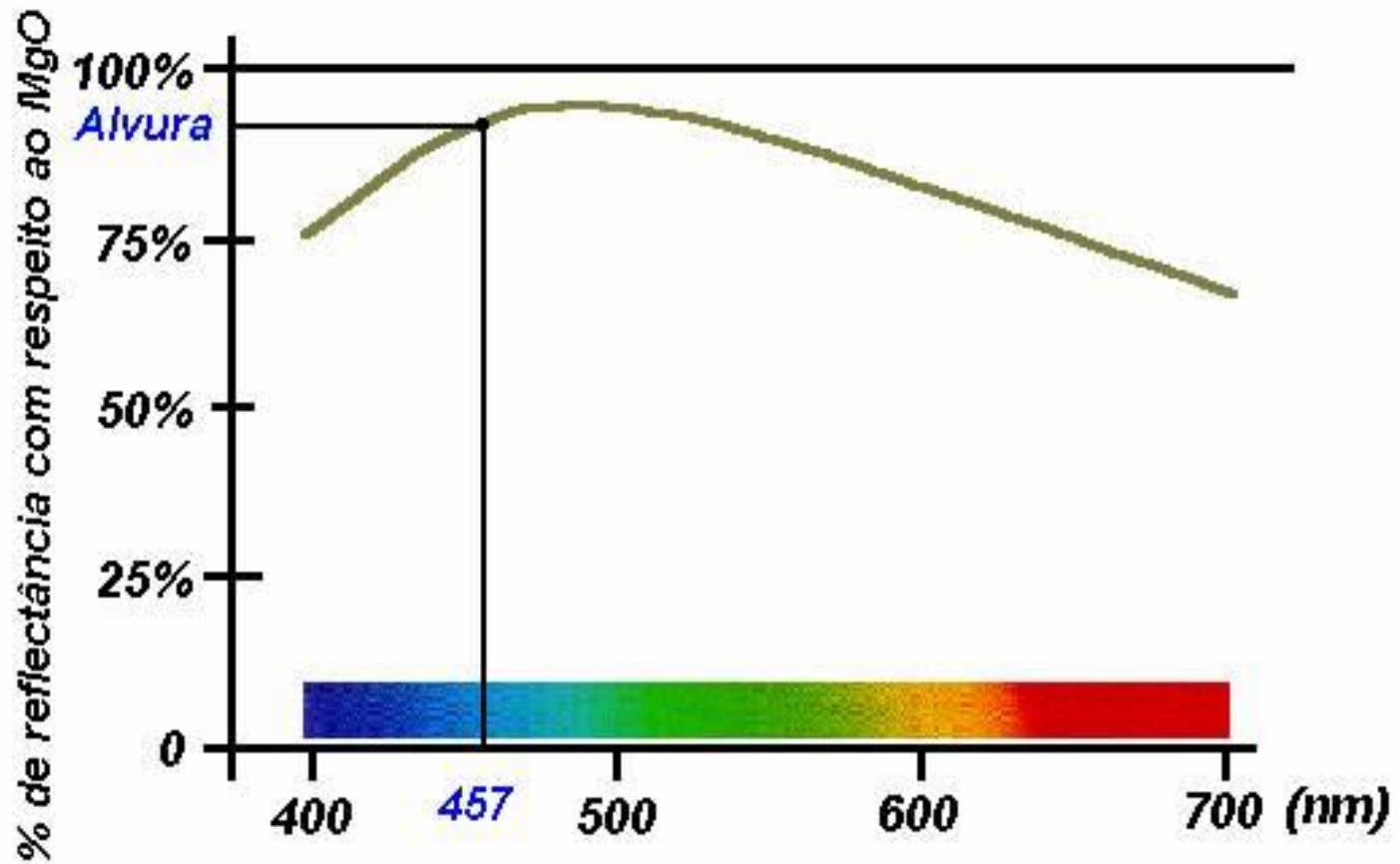
Os pigmentos coloridos foram os primeiros produtos utilizados para colorir papel e ainda hoje apresentam algumas vantagens sobre os corantes, como a boa estabilidade sob a ação da luz e certos agentes destrutivos. Contudo, seu poder tintorial mais fraco que dos corantes necessita de maior porcentagem.

Corantes atuam principalmente sobre a tonalidade do papel. Os corantes dividem-se basicamente em ácidos, básicos, diretos e a base de enxofre.

Os alvejantes ópticos são constituídos por substâncias fluorescentes que podem “transformar” a radiação UV em “luz azul visível”.

Propriedades dos papéis P&W

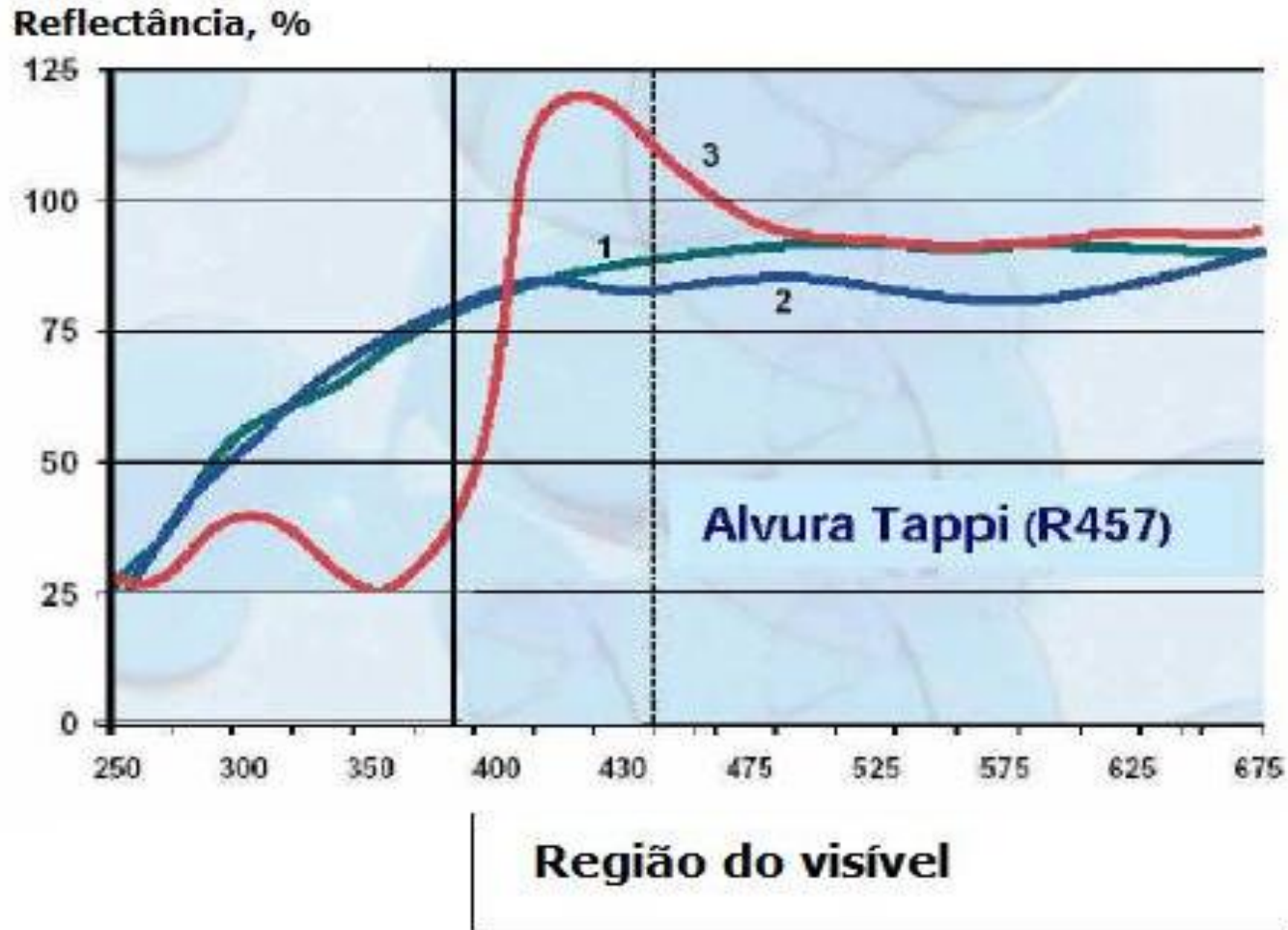
Brancura e alvura



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

Aditivos funcionais

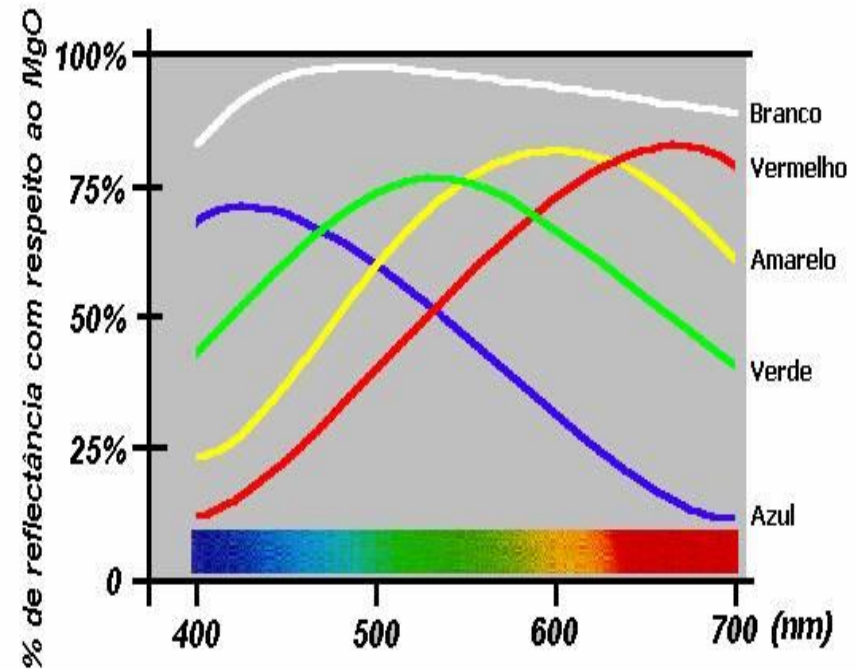
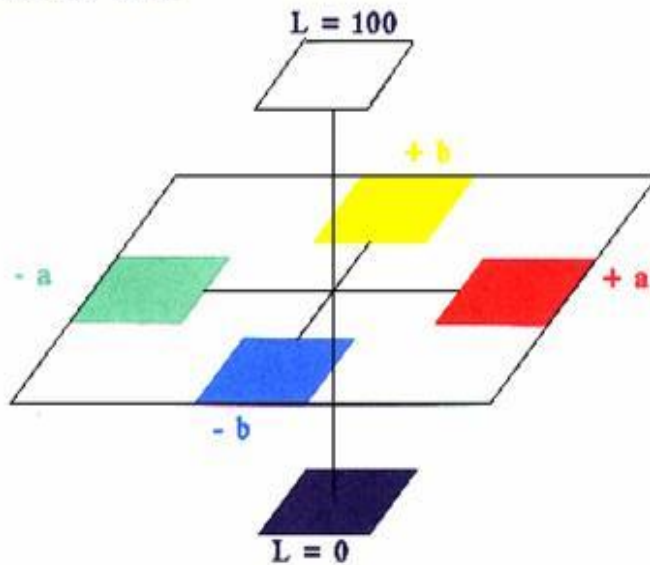
Alvejantes ópticos



Propriedades dos papéis P&W

Cor

CIE (L a b)



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

Aditivos Auxiliares

Dispersantes

Tensoativos

Antiespumantes

Desaerantes

Sabões para limpeza de feltros

Agentes condicionadores de feltros e telas

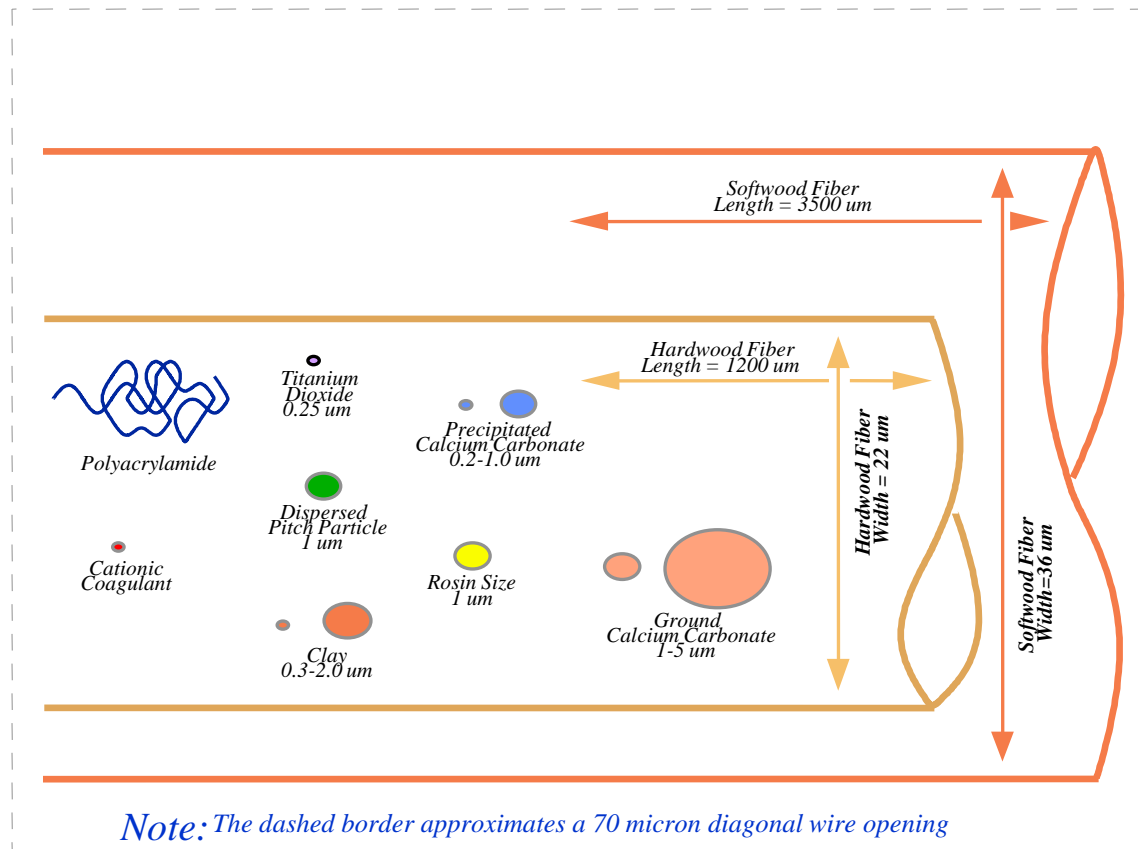
Agentes para controle de depósitos

Microbicida

Aditivos de retenção

Aditivos Auxiliares

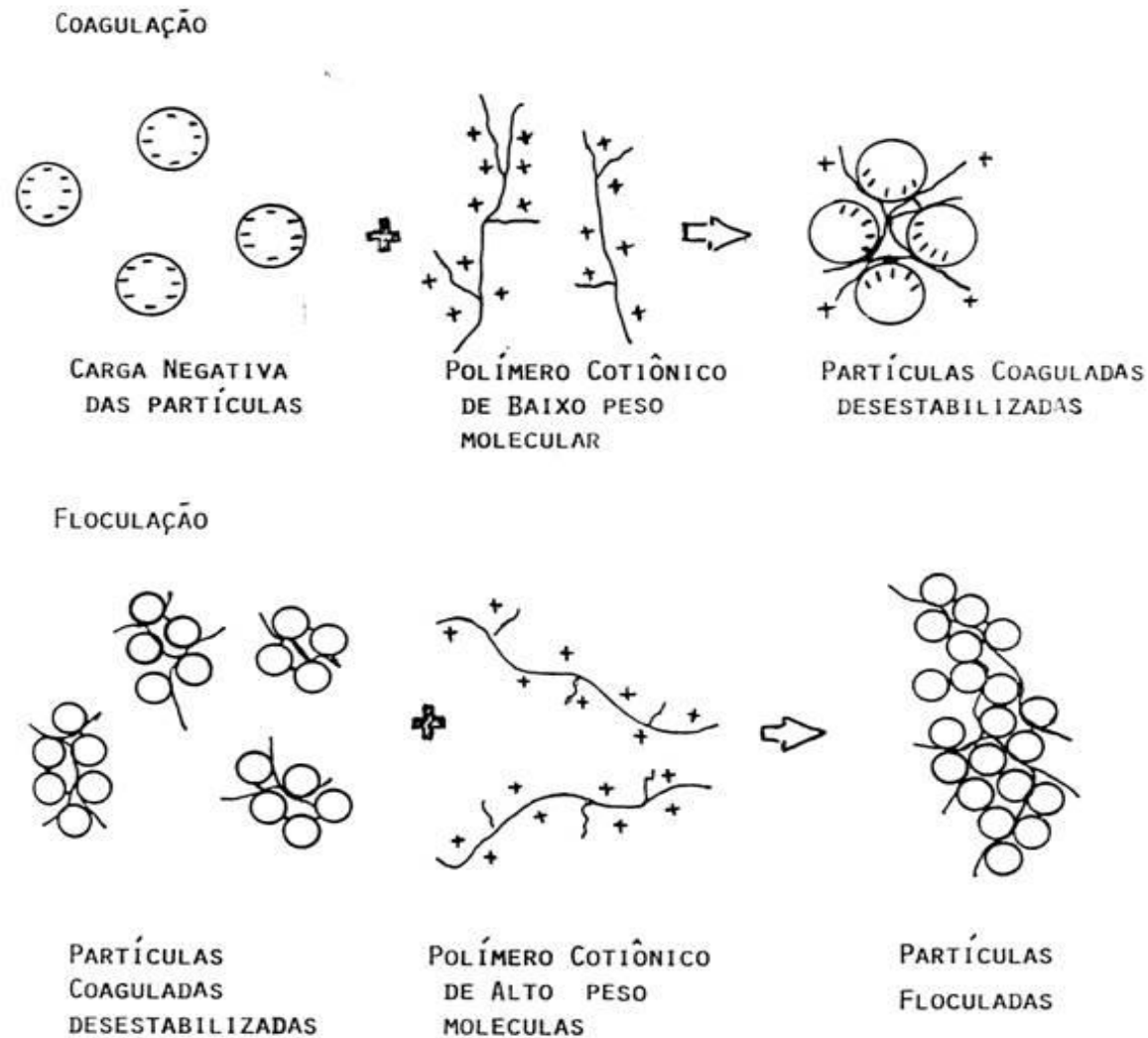
Comparação das dimensões da fibra com outras partículas da fabricação de papel



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

Aditivos Auxiliares

Coagulantes e floculantes



Aditivos Auxiliares

Sílica 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.*

Propriedades dos papéis P&W

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:

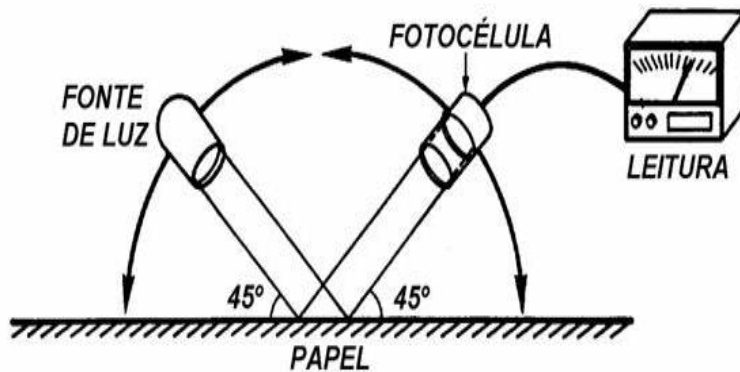
Propriedades intrínsecas do papel - cor, brancura, alvura, brilho, opacidade, porosidade (permeância ao ar), lisura (aspereza), gramatura, densidade aparente, dureza, compressibilidade, uniformidade de espessura (espessura), estabilidade dimensional, colagem e estrutura interna (formação).

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.

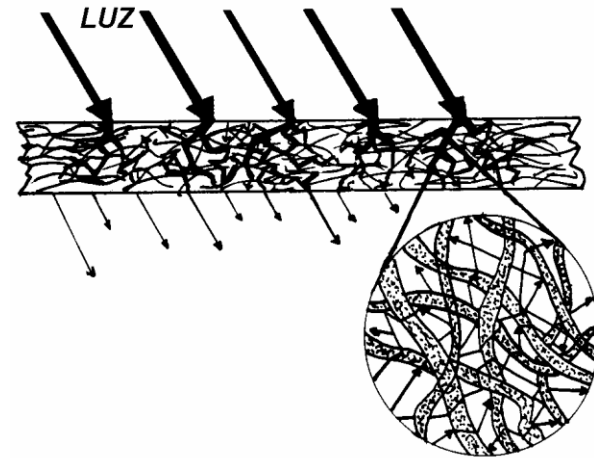
Propriedades que influem no produto impresso - dobras duplas, alongamento, resistência ao arrebentamento, resistência a abrasão, resistência ao deslizamento, rigidez à flexão, resistência a água, permeabilidade ao vapor d'água, permeabilidade às graxas, resistência a luz e resistência ao calor.

Propriedades dos papéis P&W

Brilho

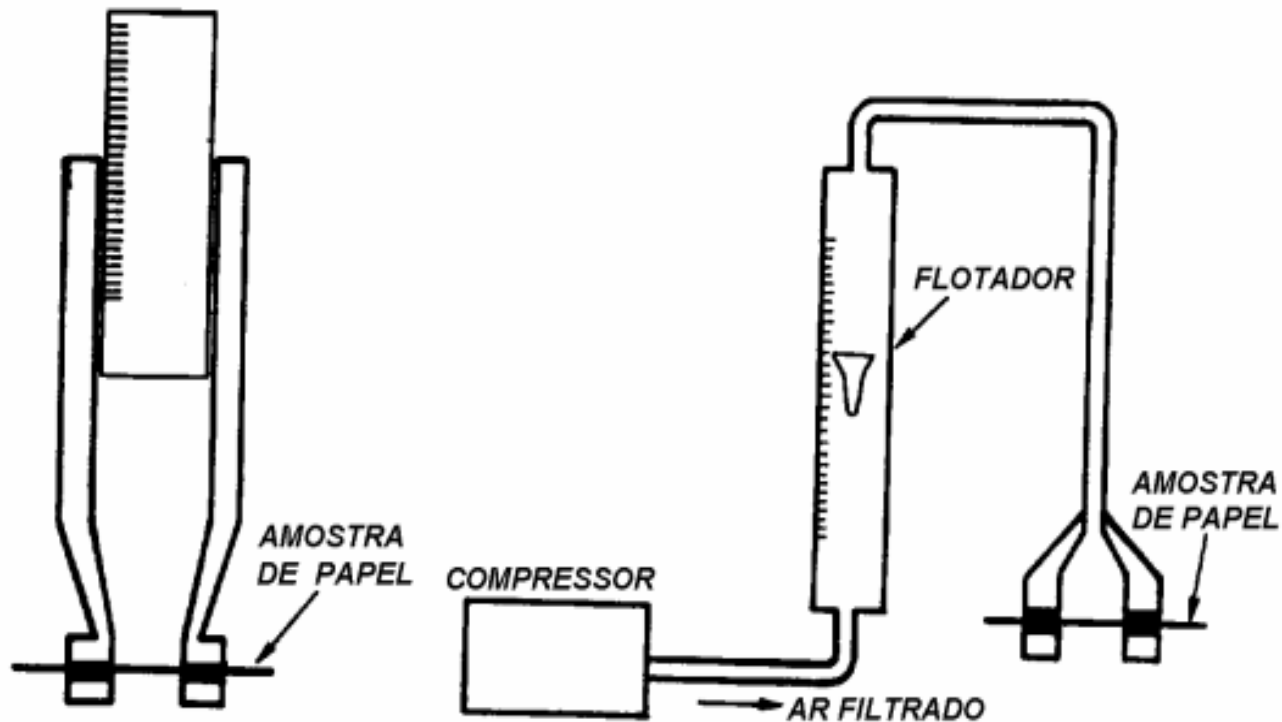


Opacidade



Propriedades dos papéis P&W

Permeância ao ar



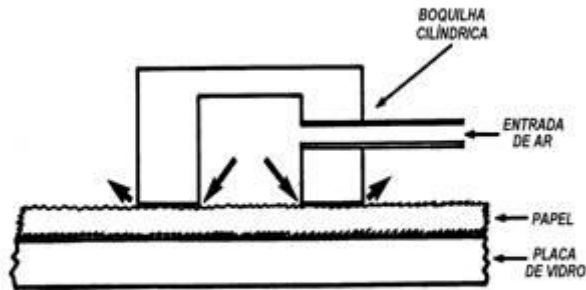
Gurley

Bendtsen

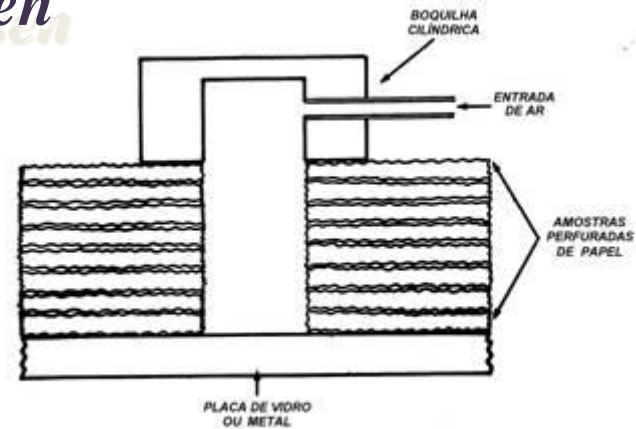
FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Propriedades dos papéis P&W

Aspereza Bendtsen

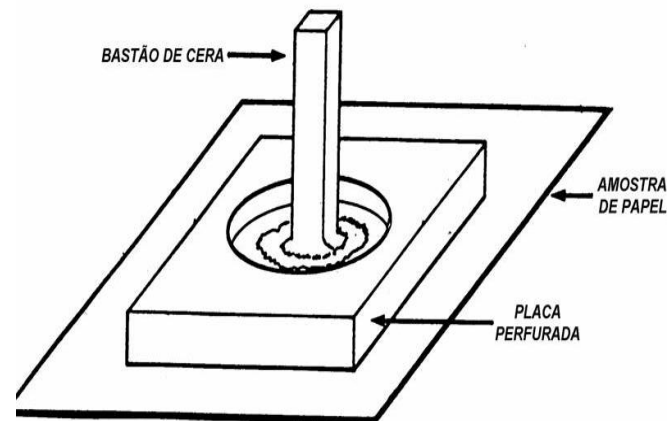


Esquema do medidor de lisura Bekk



Esquema do medidor de lisura Gurley

Resistência ao Arrancamento Superficial Cera Dennison



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

Propriedades dos papéis P&W

Gramatura

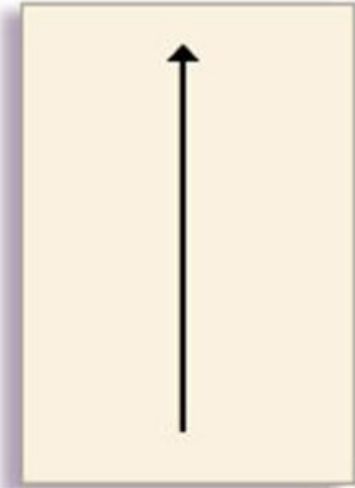
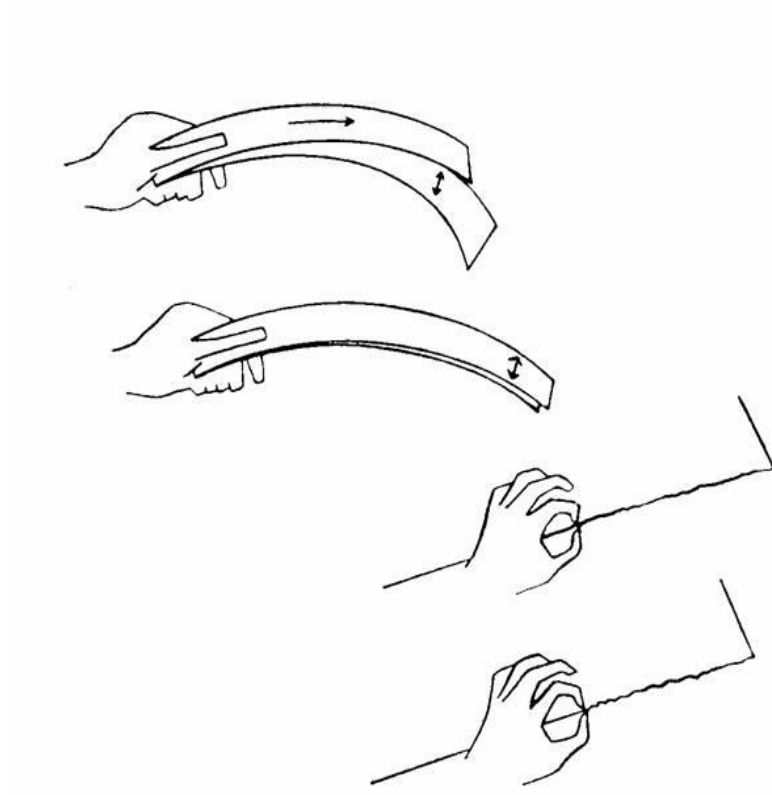


Espessura



Propriedades dos papéis P&W

Direcionalidade



Propriedades dos papéis P&W

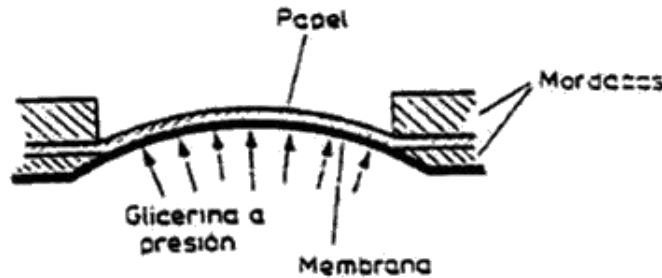
Resistência à tração



Resistência ao rasgo interno e inicial



Resistência ao arrebentamento



Mullen



Propriedades dos papéis P&W

Resistência à flexão



Resistência à abrasão



Propriedades do papelcartão para embalagens

Coeficiente de fricção

Rigidez

Espessura

Estouro

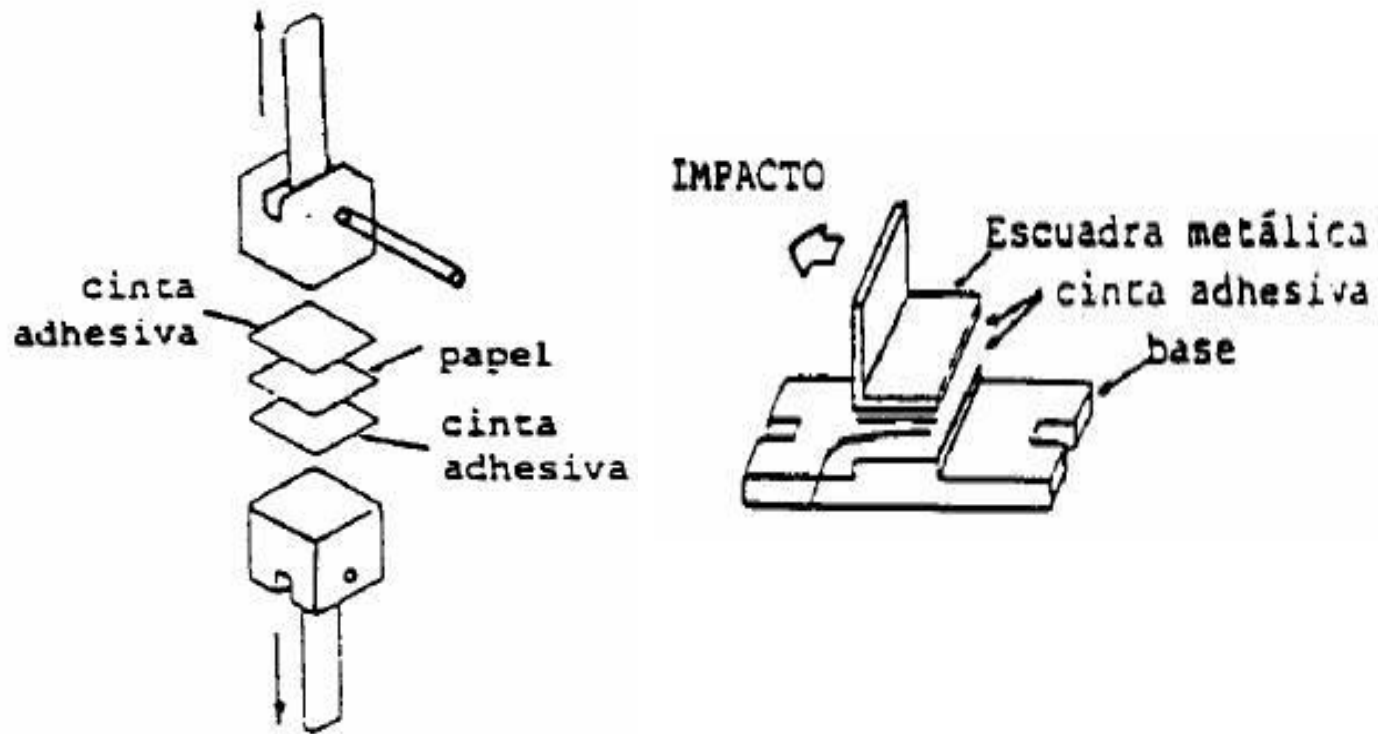
Dobra

Resistência à delaminação

Vincagem

Propriedades do papelcartão para embalagens

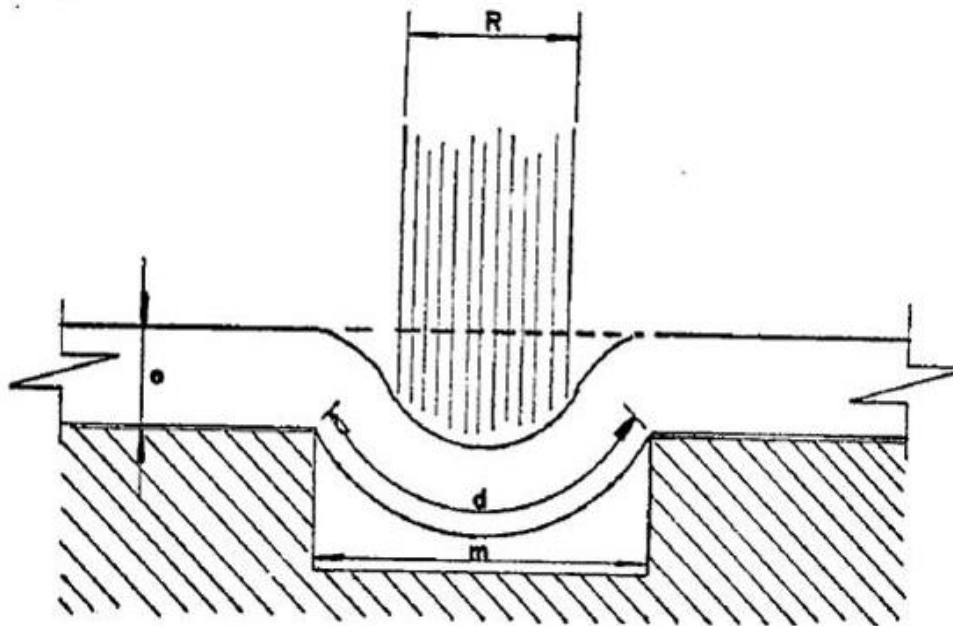
Resistência à delaminação



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

Propriedades do papelcartão para embalagens

Vincagem



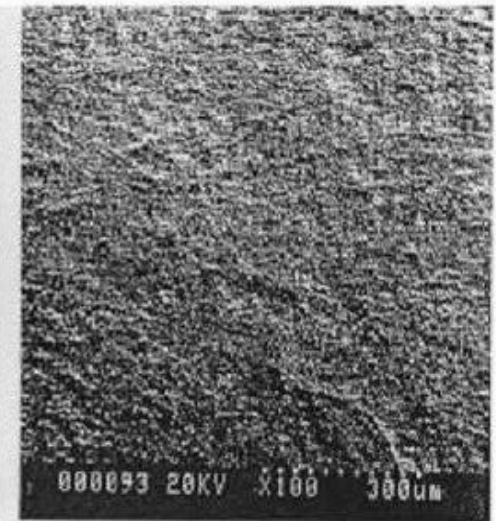
FONTE: Apostila "Curso básico de fabricação de papel" - ABTCP

Noção básica de revestimento de papéis

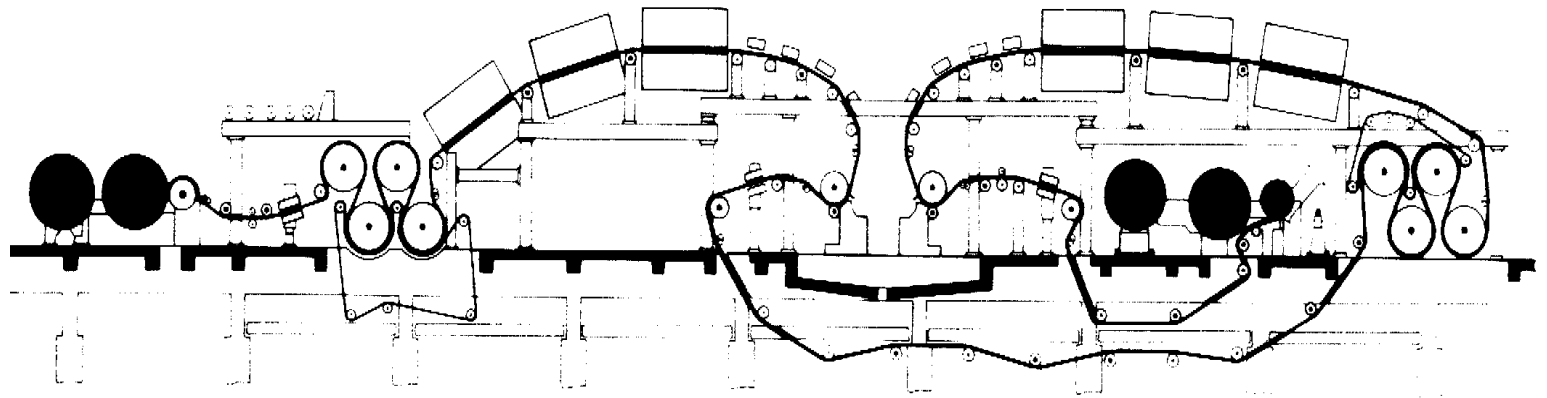
Os componentes mais importantes de uma tinta “couché” são: água, pigmento, dispersante, ligante sintético e produtos auxiliares especiais, tais como lubrificante, alvejante, coligante, reatante ou agentes insolubilizantes, etc.



Papel - sem revestimento



Papel - com revestimento

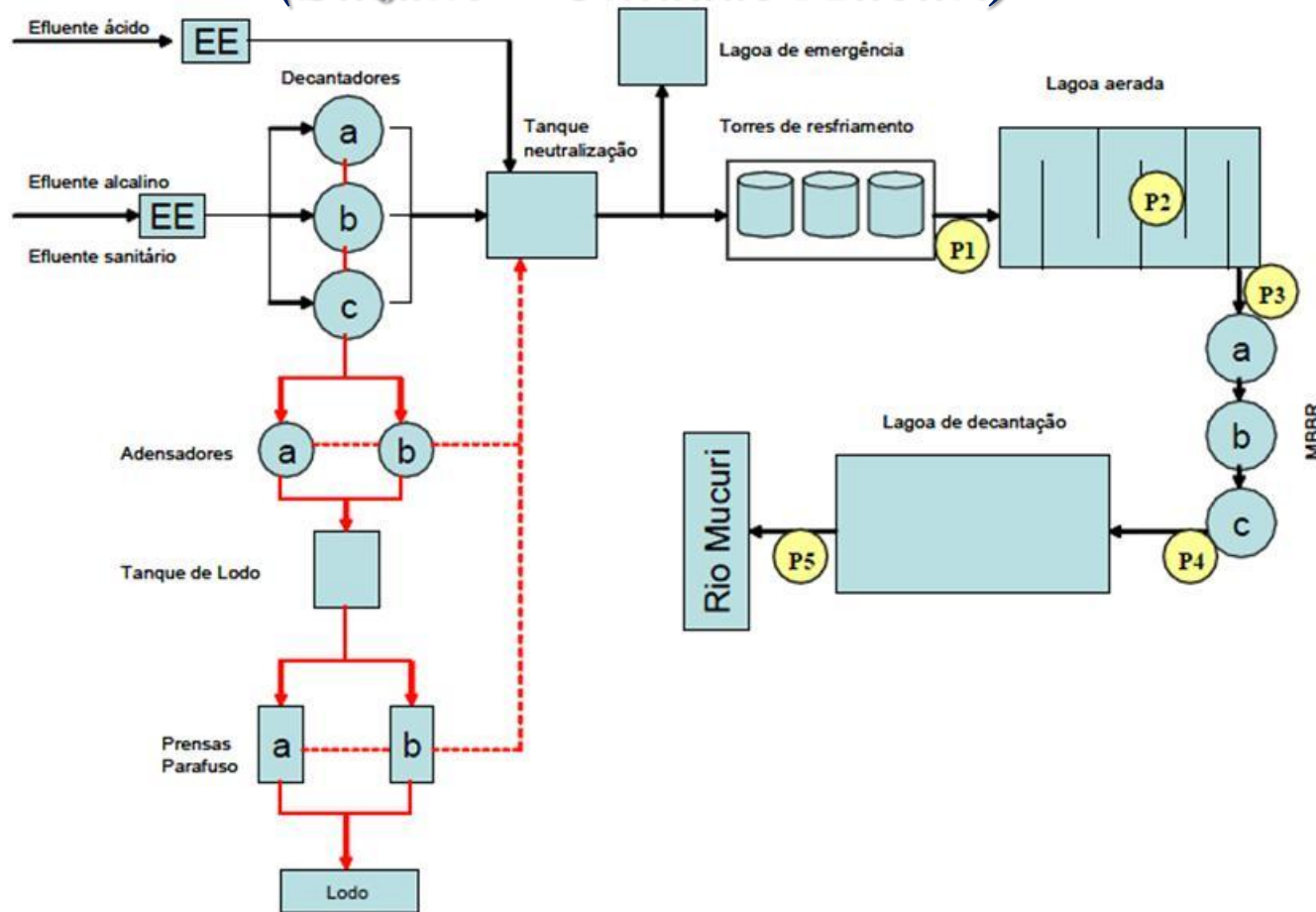


Revestimento “off-machine”

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

Tratamento de efluentes

Fluxograma de uma estação de efluentes (Suzano – Unidade Mucuri)



*FONTE: Avaliação ecotoxicológica de efluentes de celulose branqueada de eucalipto ao longo do tratamento biológico
– Daniel Von Rondon Martins*

Tratamento de efluentes

Parâmetros físico-químicos de análises das amostras e suas respectivas metodologias analíticas e equipamentos utilizados

Parâmetro	Unidades	Método de análise	Equipamento empregado
DBO	mg/L O ₂	Winkler modificado pela azida (titulometria)	—
DQO	mg/L O ₂	Colorimétrico	Hatch DR/2000
pH	-	Medição direta	Digimed Dm2
Dureza	mg/L CaCO ₃	Titulometria	—
Cor	uH	Colorimétrico	Hatch DR/2000
Condutividade	μS/cm	Medição direta	Digimed Dm2



FONTE: Avaliação ecotoxicológica de efluentes de celulose branqueada de eucalipto ao longo do tratamento biológico

– Daniel Von Rondon Martins

Recuperação de fibras

Recuperação de fibras do tipo “krofta”

