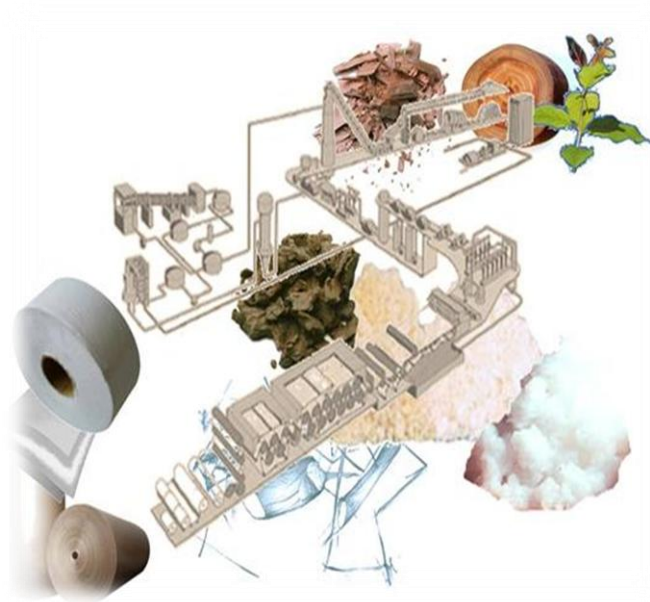


*A influência da matéria-prima fibrosa e do processo de fabricação (celulose e papel) na qualidade do papel*



***Belo Oriente, MG 2010***

*Organizador e instrutor:*

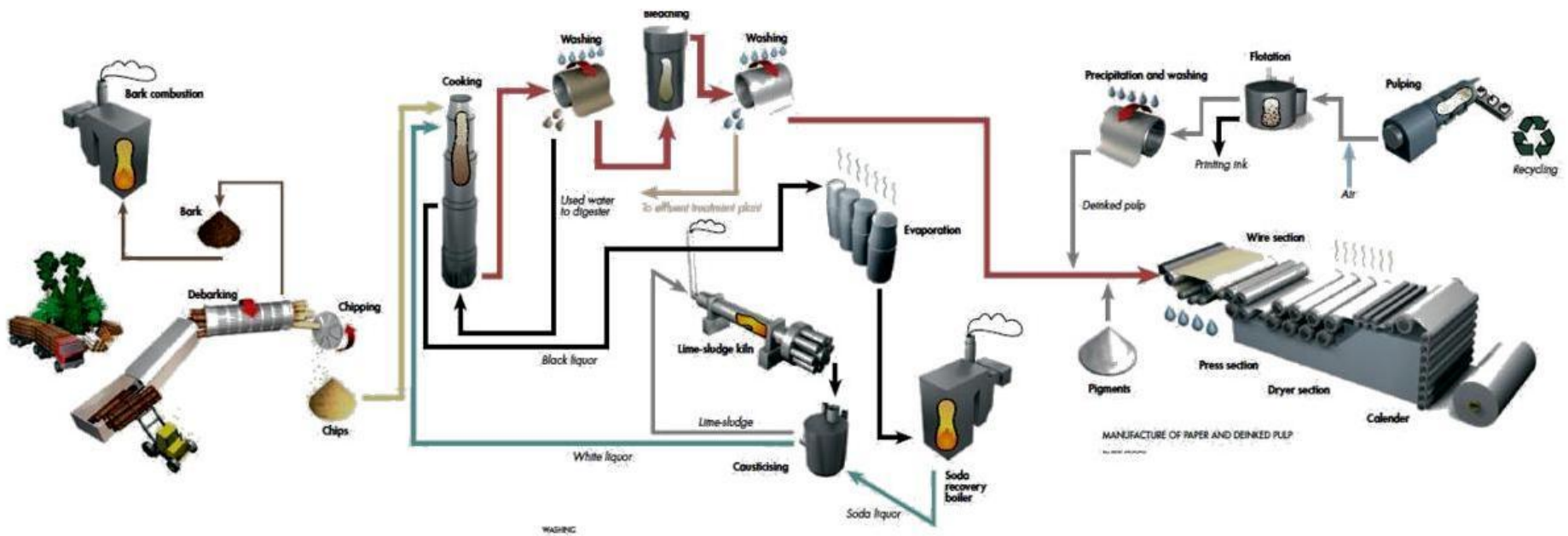
*Edison da Silva Campos*

## **PROGRAMA DO CURSO**

1. Introdução ao setor de celulose e papel
2. Matérias primas fibrosas
3. Qualidade da madeira (aspectos físicos, químicos e morfológicos)
4. Química da madeira
5. Conceitos básicos de polpação
6. Influência da madeira e do processo na qualidade da polpa
7. Conceitos básicos de fabricação de papel
8. Qualidade do papel
9. Influência do refino (moagem) da polpa na qualidade do papel
10. Influência de formulações diversas na qualidade do Papel
11. Laboratório e Controle de Qualidade da polpa e do papel
12. Tendências e ameaças no setor de celulose e papel

# 1

## INTRODUÇÃO AO SETOR DE CELULOSE E PAPEL



## **Siglas que identificam produtos diferenciados (celulose )**

**BHKP** **Bleached hardwood kraft pulp**

Bl. Bleached

**BSKP** **Bleached softwood kraft pulp**

**DIP** **Deinked pulp**

Sl Sulphite pulp

**UHKP** **Unbleached hardwood kraft  
pulp**

**UKP** **Unbleached kraft pulp**



## Siglas que identificam produtos diferenciados ( papel )

CWC	Coated woodcontaining printing paper
CWF	Coated woodfree printing and writing paper
FBB	Folding boxboard, manilla back board, mechanical pulp based
<b>OCC</b>	<b>Old corrugated containers, waste paper</b>
<b>RCP</b>	<b>Recovered paper, waste paper</b>
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
<b>WFC</b>	<b>Woodfree coated paper</b>
<b>WFU</b>	<b>Woodfree uncoated paper</b>
WLC	White lined chipboard, duplex board, recycled fibre based

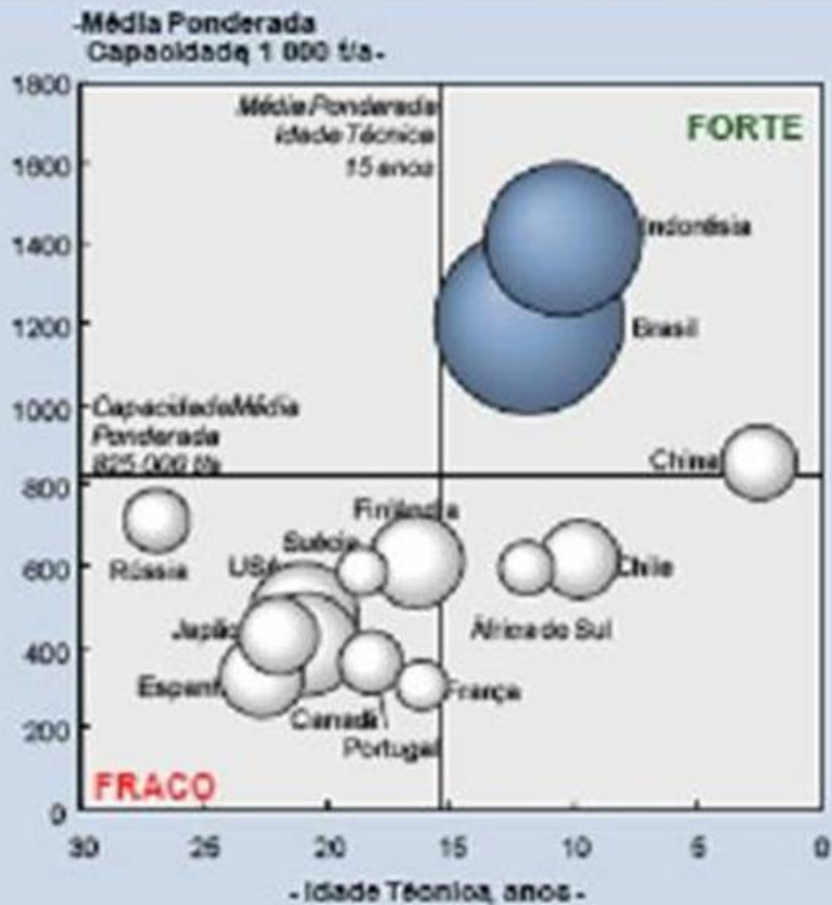
## Maiores produtores mundiais de celulose e papel (2007)

CELULOSE		PAPEL	
País	mil toneladas	País	mil toneladas
1. EUA	53.462	1. EUA	83.559
2. Canadá	22.314	2. China	73.500
3. China	19.070	3. Japão	31.266
4. Finlândia	12.856	4. Alemanha	23.180
5. Suécia	12.402	5. Canadá	17.371
6. Brasil	12.113	6. Finlândia	14.335
7. Japão	10.894	7. Suécia	11.860
8. Rússia	7.399	8. Coreia do Sul	10.932
9. Indonésia	5.770	9. Itália	10.111
10. Chile	4.719	10. França	9.870
11. Índia	3.389	11. Indonésia	9.462
12. Alemanha	3.001	12. Brasil	9.008
Demais	26.821	Demais	89.806
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>194.210</b>		<b>394.260</b>

Fonte: RISI

FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)

## Comparação global da qualidade dos meios de produção (BHKP) - 2005



As companhias latino-americanas e asiáticas são as produtoras de BHKP para mercado e dispõem, também, da base de ativos mais moderna.

FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

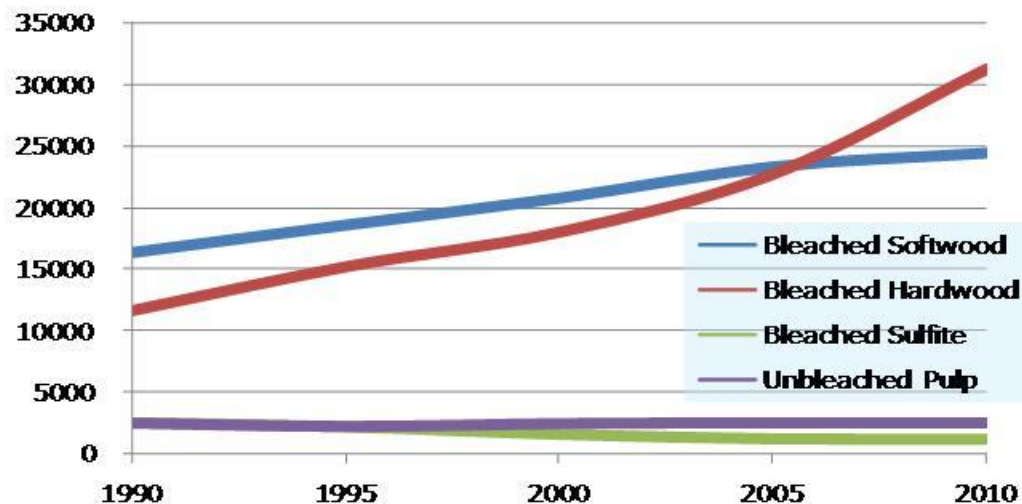


O tamanho do círculo representa a capacidade de produção de BHKP para mercado (incluindo a exportação cávia dentro da Empresa)

Fonte: Pöyry

## Evolução / Capacidade do mercado mundial de celulose

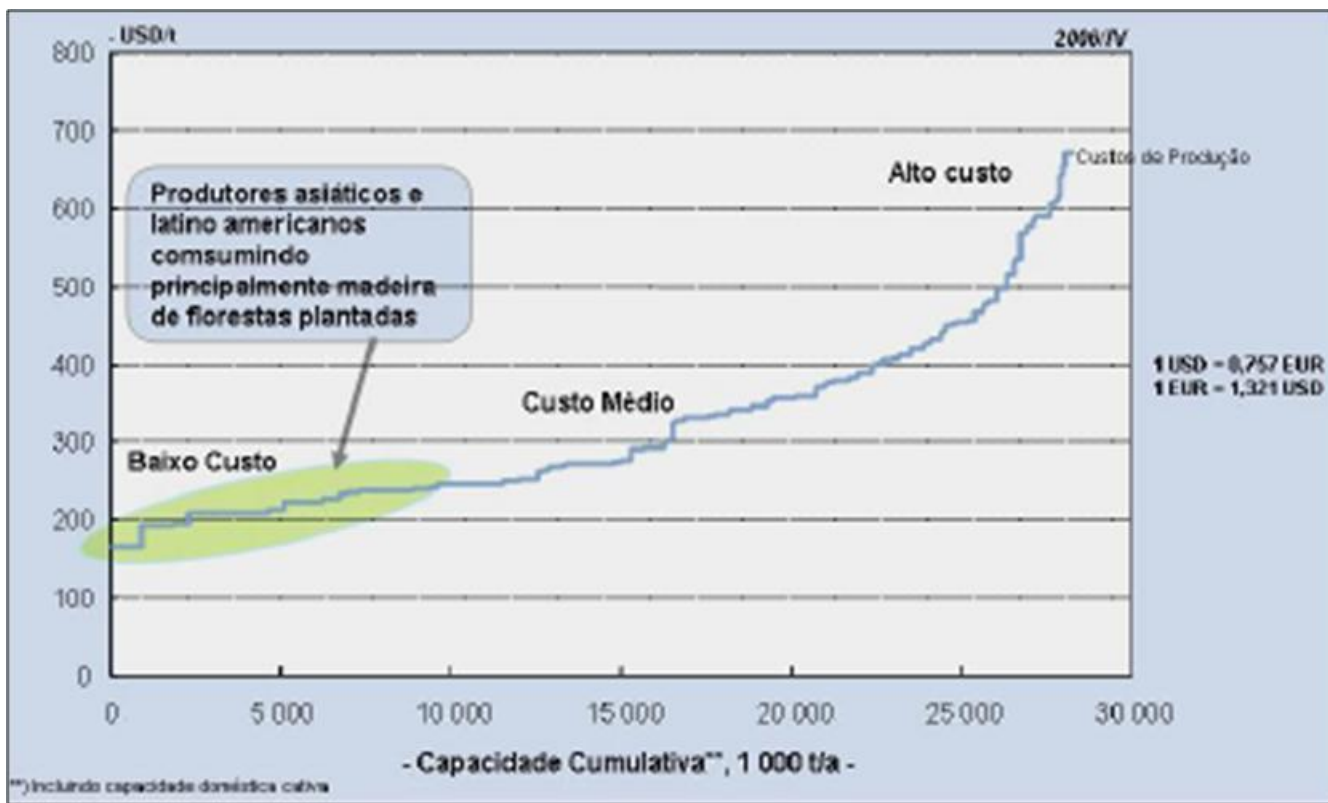
1,000s Tons	1990	1995	2000	2005	2010
<b>Bleached Softwood</b>	<b>16,350</b>	<b>18,610</b>	<b>20,825</b>	<b>23,395</b>	<b>24,530</b>
<b>Bleached Hardwood</b>	<b>11,680</b>	<b>15,230</b>	<b>18,030</b>	<b>22,730</b>	<b>31,245</b>
<b>Bleached Sulfite</b>	<b>2,495</b>	<b>2,205</b>	<b>1,635</b>	<b>1,305</b>	<b>1,285</b>
<b>Unbleached Pulp</b>	<b>2,495</b>	<b>2,220</b>	<b>2,460</b>	<b>2,520</b>	<b>2,510</b>
<b>Total Chemical Grade</b>	<b>33,020</b>	<b>38,265</b>	<b>42,950</b>	<b>49,950</b>	<b>59,570</b>



FONTE: Apresentação BRACELPA

## Custo / Competitividade da produção de BHKP

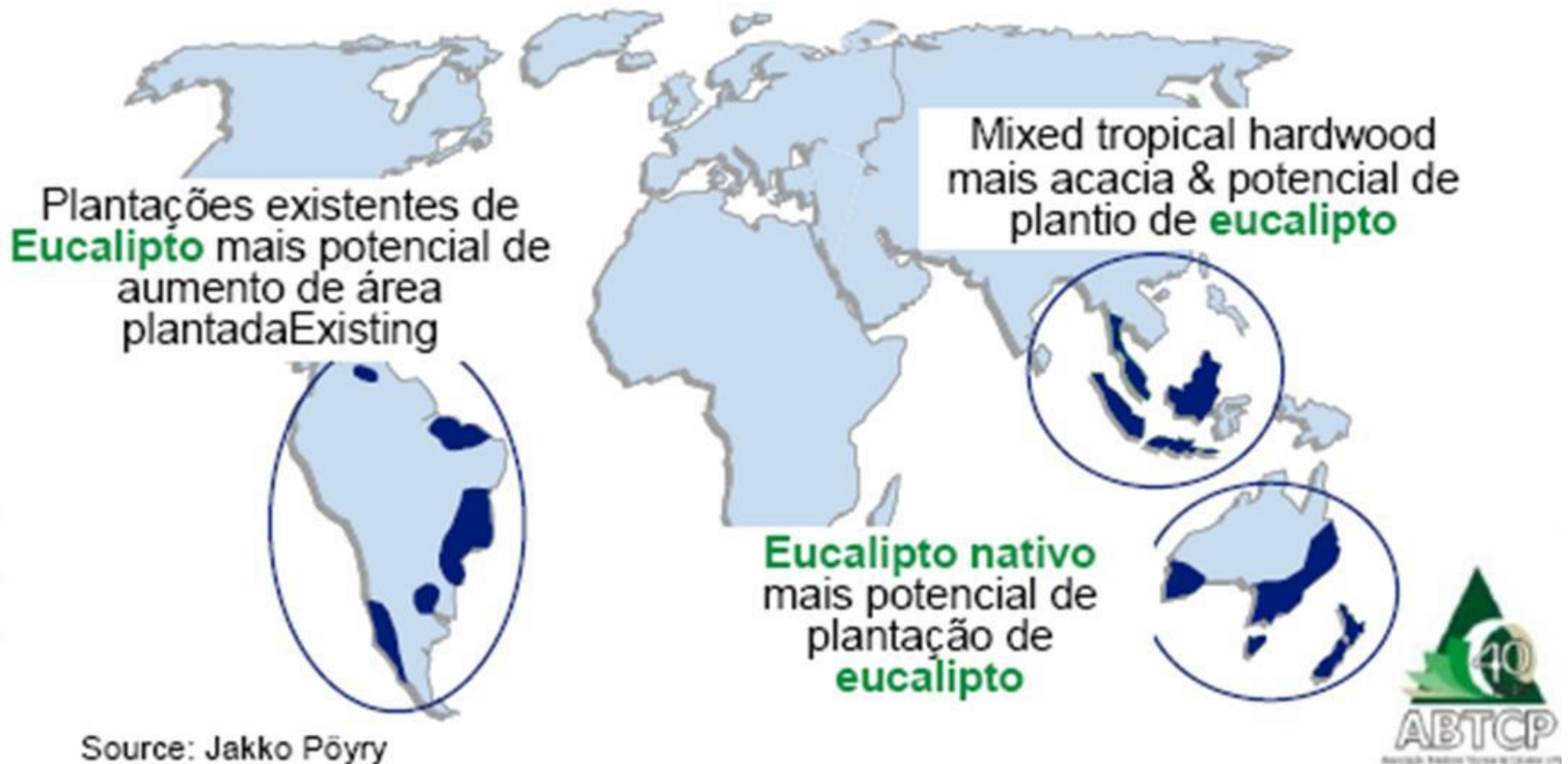
Os produtores de celulose a partir de plantações de rápido crescimento e baixo custo são os que produzem celulose BHKP de custo mais competitivo.



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

# Benefícios do eucalipto

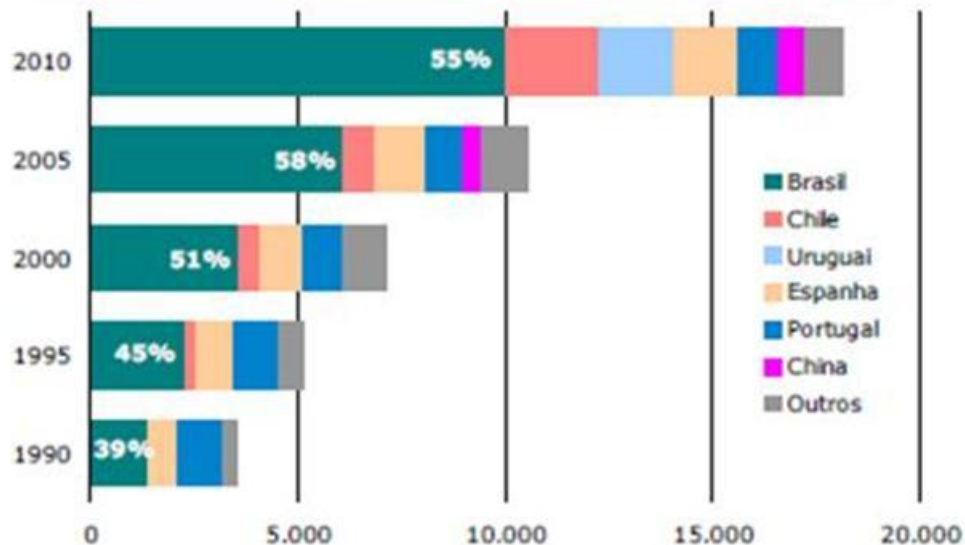
## Potencial de Crescimento



FONTE: A influência da celulose de eucalipto no mercado de papel europeu (Kurt Brandauer)

## Brasil: líder na produção de celulose de eucalipto

1.000 t	1990	1995	2000	2005	2010
Brasil	1.380	2.280	3.615	6.090	10.010
Chile	-	270	450	760	2.265
Uruguai	-	-	-	-	1.825
Espanha	735	895	1.040	1.235	1.490
Portugal	1.075	1.075	975	925	975
China	-	-	-	415	635
Outros	305	600	1.050	1.100	950
<b>Total</b>	<b>3.495</b>	<b>5.120</b>	<b>7.130</b>	<b>10.525</b>	<b>18.150</b>

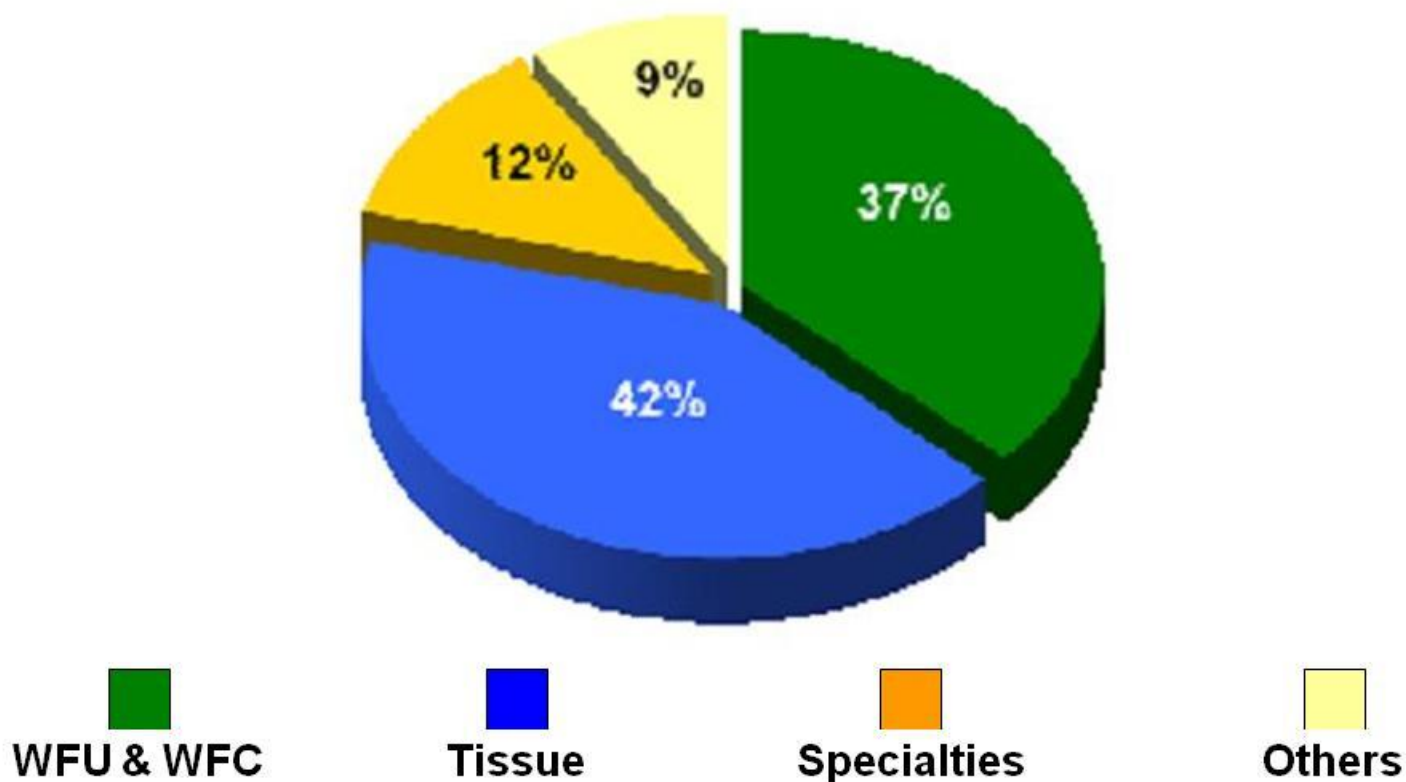


FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)



# Uso do eucalipto para diferentes papéis no mundo (2006)

Flexibilidade: grande área de atuação para diferentes papéis



FONTE: A influência da celulose de eucalipto no mercado de papel europeu (Kurt Brandauer)



# Comparação entre largura da fibra e espessura da parede

Diâmetros similares entre as fibras, mas espessura significativamente reduzida de parede no caso da acácia.



FONTE: A influência da celulose de eucalipto no mercado de papel europeu (Kurt Brandauer)

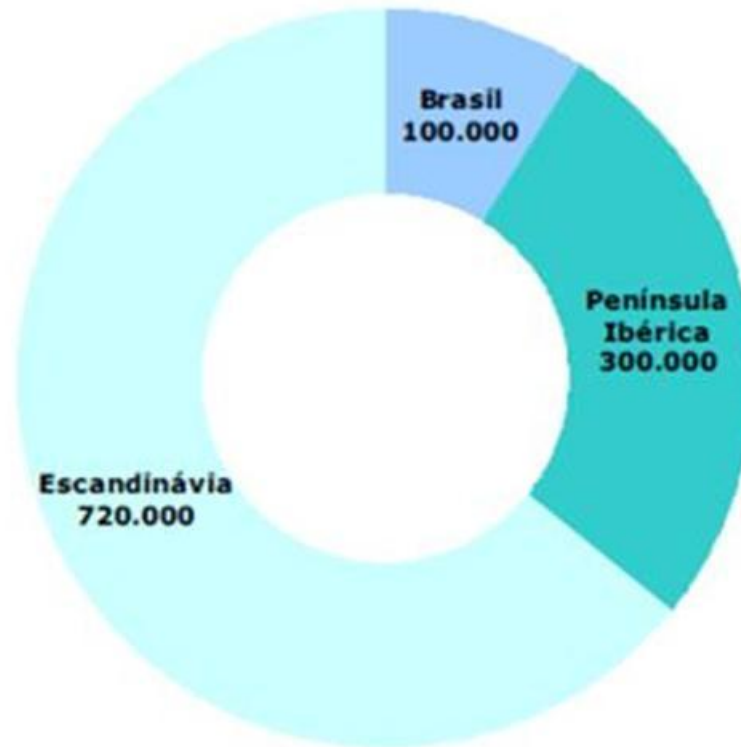
## Comparação da rotação e rendimento Espécies de celulose de fibra curta

Espécies	Países	Rotação (anos)	Rendimento m <sup>3</sup> /ha ano
Eucalipto	Brasil	7	41
Eucalipto	África do Sul	8-10	20
Eucalipto	Chile	10-12	25
Eucalipto	Portugal	12-15	12
Eucalipto	Espanha	12-15	10
Bétula	Suécia	35-40	6
Bétula	Finlândia	35-40	4

Fonte: Pöyry

FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)

## Área florestal necessária para a produção de 1,0 milhão t/ano de celulose



FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)

## Dados do setor 2008

220 companhias em 450 municípios, localizados em 17 estados e 5 regiões

1,7 milhões de hectares plantados para fins industriais

2,7 milhões de hectares de florestas preservadas

2,2 milhões de hectares de área florestal total certificada

Exportações: US\$ 5,8 bilhões (previsão)

Superávit do Balanço Comercial: US\$ 4,1 bilhões -16% do saldo da Balança Comercial do Brasil (previsão)

Impostos pagos: R\$ 2,2 bilhões

Investimentos: US\$ 12 bilhões nos últimos 10 anos

Empregos: 114 mil empregos diretos (67 mil nas fábricas, 47 mil nas florestas) e 570 mil empregos indiretos

Reciclagem do papel: 70% das empresas do país são recicladoras e a taxa de reciclagem é bastante alta (46.9%). OBS.: dado de 2007

## Desempenho do setor (1000 t)

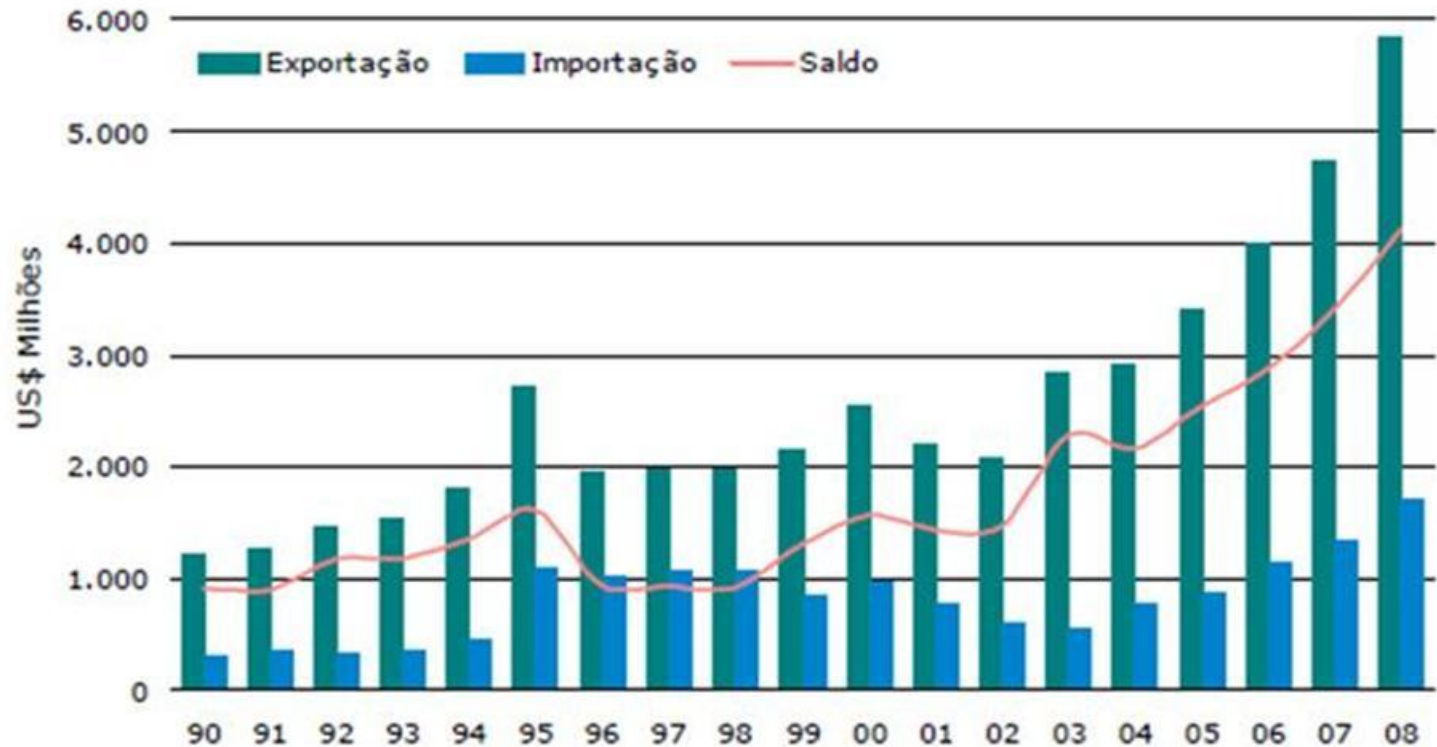
CELULOSE	2007	2008	%	Jan-Fev **		
				2008	2009	%
.Produção	11.997	12.803	6,7	2.094	2.103	0,4
.Importação *	291	325	11,7	51	42	-17,6
.Exportação *	6.484	7.040	8,6	1.142	1.277	11,8
.Consumo Aparente	5.804	6.088	4,9	1.003	868	-13,5

PAPEL	2007	2008	%	Jan-Fev **		
				2008	2009	%
.Produção	9.010	9.154	1,6	1.501	1.429	-4,8
.Importação *	1.126	1.328	17,9	207	150	-27,5
.Exportação *	2.006	1.982	-1,2	355	275	-22,5
.Consumo Aparente	8.130	8.500	4,6	1.353	1.304	-3,6

\* Fonte: SECEX

\*\* Dados Preliminares

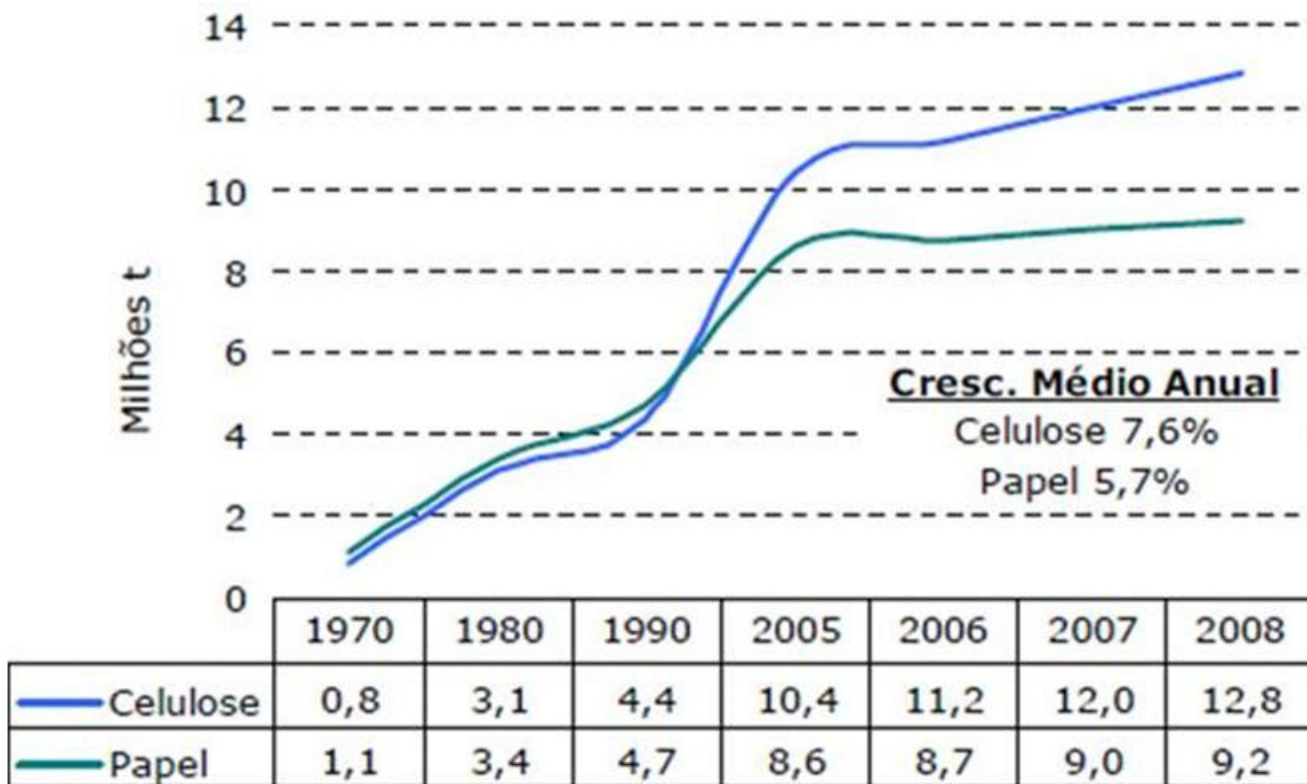
## Balança comercial do setor (1990 – 2008)



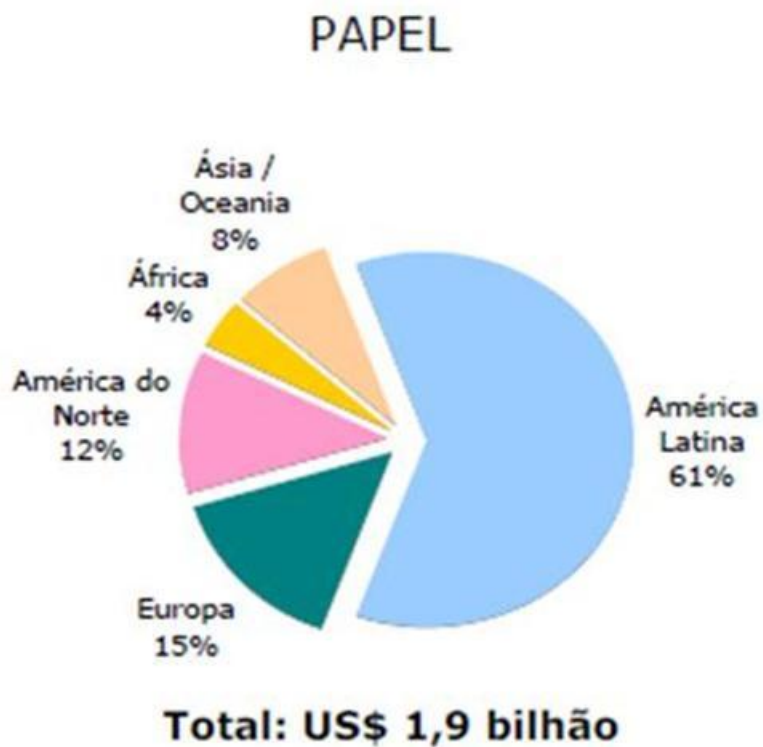
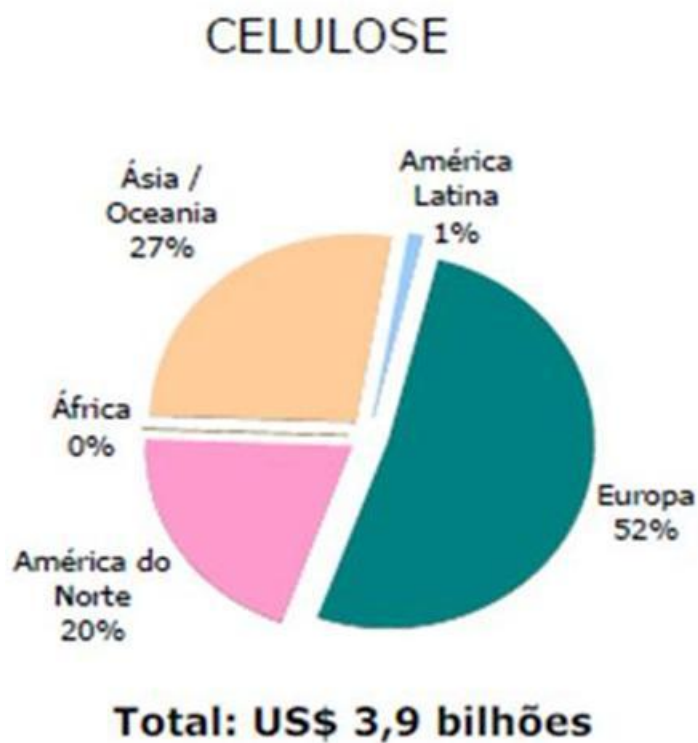
Fonte: SECEX

FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)

## Produção brasileira de celulose e papel



## Destino das exportações brasileiras em 2008



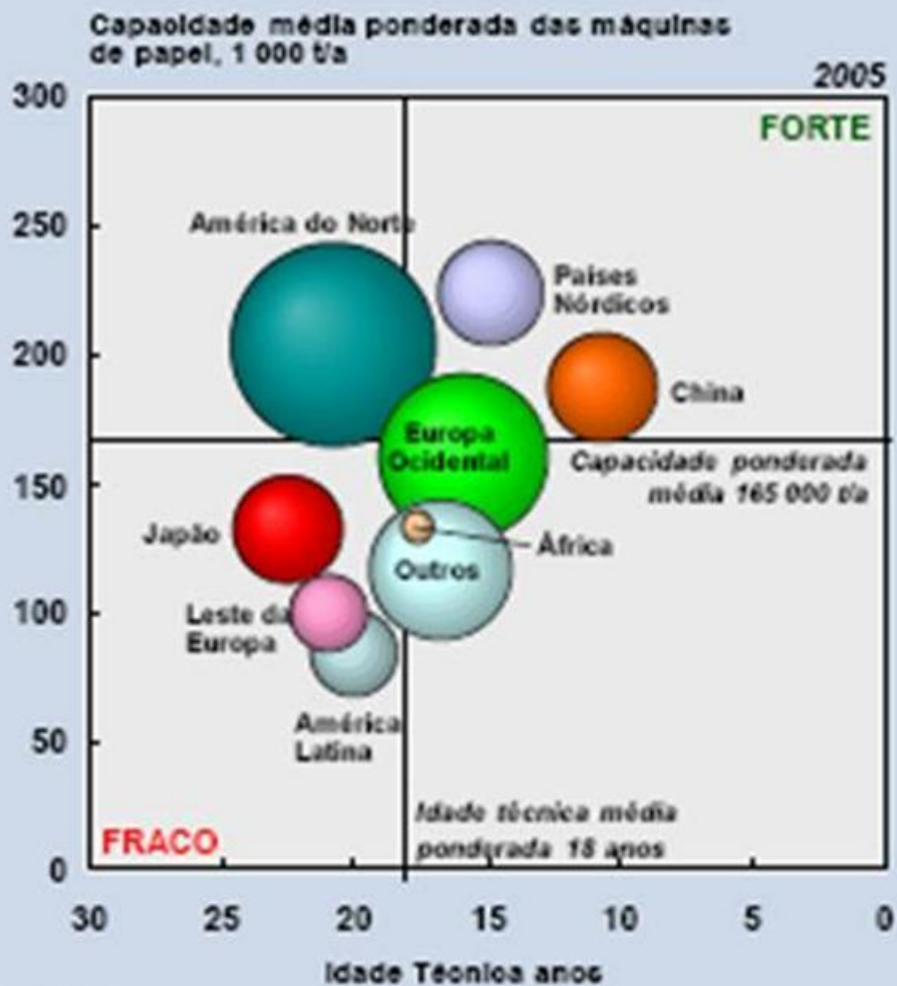


## Distribuição das fábricas brasileiras de celulose, pastas de alto rendimento e papel

Estado	Papel	Celulose	Pastas de Alto Rendimento – Par
Amazonas	3	0	0
Bahia	4	2	0
Ceará	2	0	0
Espirito Santo	0	1	0
Goiás	2	0	0
Maranhão	1	0	0
Minas Gerais	13	1	1
Pará	1	1	0
Paraíba	2	0	0
Paraná	31	4	16
Pernambuco	4	1	0
Rio de Janeiro	8	0	0
Rio Grande do Norte	1	0	0
Rio Grande do Sul	13	2	0
Santa Catarina	31	5	10
São Paulo	54	10	1
Sergipe	1	0	0
<b>Total</b>	<b>171</b>	<b>27</b>	<b>28</b>

Obs.: Empresas com unidades industriais em dois ou mais estados, são contadas em cada estado.

## Comparação global da qualidade dos meios de produção (MPs) - 2005



Capacidade média e idade técnica das máquinas de papel e cartão no mundo.

FONTE: Celulose e papel no mundo  
(Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## Segmentação de mercado de papel

### Consumo total: 7,5 milhões de toneladas por ano

O mercado brasileiro de papel é segmentado nas seguintes categorias:

**Embalagem:** representa 35% do consumo nacional. São papéis produzidos com celulose de fibra longa, o que proporciona uma maior resistência, característica fundamental desta categoria.

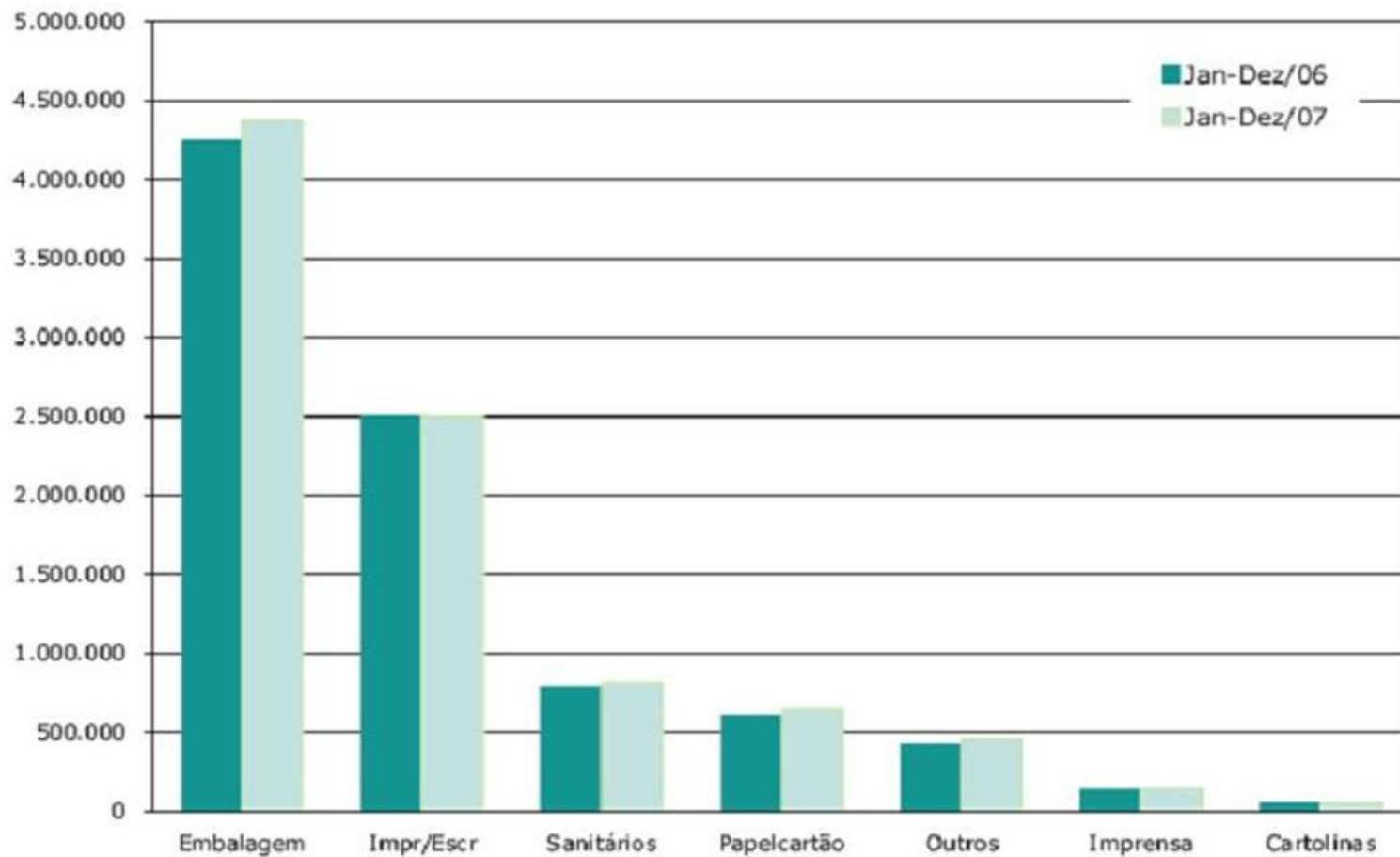
**Imprimir e Escrever:** 30% do consumo dos papéis, usados em escritórios, impressoras, envelopes etc.

**Sanitários (tissue):** com 7% do consumo nacional, são papéis utilizados para higiene e limpeza.

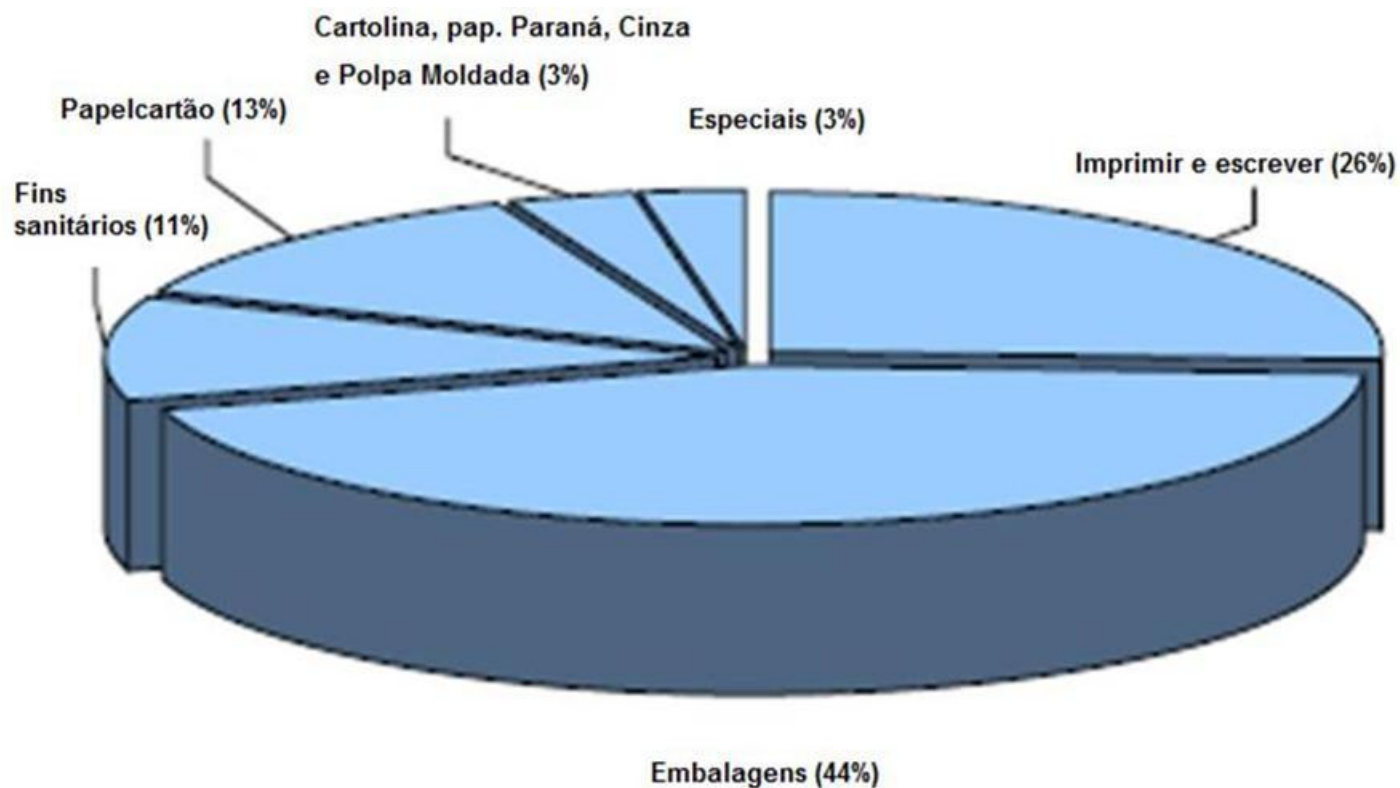
**Cartão:** 13% do consumo nacional.

**Imprensa:** 12% do que é consumido no Brasil, é utilizado na produção dos jornais.

**Produção de papel em toneladas no Brasil**  
**2006: 8.724.631 t    2007: 8.965.970 t**



## Composição percentual nominal instalada por tipo de papel



# 2

## **MATÉRIAS-PRIMAS FIBROSAS**

## Fibras de madeira

### “Softwoods” (ou coníferas):

tais como araucária, pinho (“pine”: *Pinus elliotti*, *Pinus taeda*), abeto vermelho (“spruce”), cicuta (“hemlock”), etc.

Brasil: Pinho, Araucária, etc.

### “Hardwoods” (ou folhosas):

eucalipto (“eucalyptus”: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. globulus*), bétula (“birch”), bordo (“maple”), álamo ou faia (“aspen”), carvalho (“oak”), “gmelina”, acácia, etc.

Brasil: eucalipto, acácia, gmelina, etc.

## Outros tipos de fibras

Fibras não-madeira (“non wood vegetable fibers” : “linters” de algodão (“cotton linters”), sisal, bagaço-de-cana, bambú, linho, juta, rami, crotalária, coco-da-bahia, abacaxí, abacá, carnaúba (folhas) cânhamo, bananeira (pseudo-caule), palhas de cereais.

Fibras animais: lã e seda.

Fibras recicladas: papel velho (“wastepaper”), aparas.

Fibras sintéticas (“synthetic fibers”) / artificiais tais como polietileno, polipropileno, rayon (celulose regenerada), nylon (poliamidas), orlon (poliacrílicos), dracon (poliesters), etc.

Fibras minerais (“mineral fibers”) tais como asbesto, fibra de vidro, etc.

Trapos (“rags”).



# Matérias primas fibrosas

## Madeira de coníferas

Madeira macia (“softwood”): araucária, *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*.

Estrutura anatômica mais simples

Fibras longas: 3 a 6 mm

Traqueídeos e parênquimas

Constituição volumétrica: 90 a 95% (traqueídeo) e 5 a 10% (parênquimas).

## Madeira de folhosas

Madeira dura (“softwood”): *Eucalyptus spp.*, acácia, etc.

Maioria das madeiras nativas brasileiras.

Vegetais mais evoluídos.

Estrutura anatômica complexa.

Fibras curtas: 0,5 a 1,5 mm.

Constituição volumétrica: 60% (fibras), 20% (parênquimas) e 20% (vasos).

## Características dimensionais médias das principais fibras de madeiras utilizadas no Brasil para a produção de celulose:

Dimensões	P. Elliotti	P. Caribea	E. Grandis	Acácia negra
Comprimento, mm	3,3	4,3	1,0	1,0
Largura, $\mu\text{m}$	46,7	49,6	18,2	18,2
Diâmetro lúmen, $\mu\text{m}$	31,0	28,0	9,1	9,2
Espessura parede, $\mu\text{m}$	7,8	10,4	4,5	4,5

## Características importantes das fibras vegetais como matéria prima da indústria de celulose e papel:

Anatomia vegetal: é determinante na impregnação, no cozimento e na definição das propriedades físico-mecânicas e ópticas da celulose e do papel.

**A utilização de uma madeira na produção de pasta celulósica depende de um conjunto de fatores ligados entre si:**

- 1) Características das fibras;
- 2) Segurança no fornecimento (homogeneidade é um fator de segurança);
- 3) Custo de exploração, transporte e preparação de madeira;
- 4) Tipos de produtos a obter a partir destas fibras.

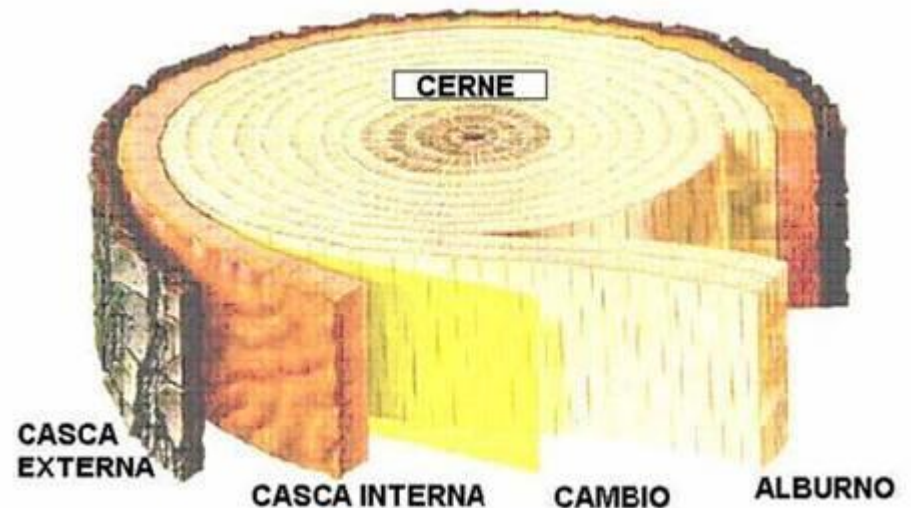
# 3

## **QUALIDADE DA MADEIRA: ASPECTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MORFOLÓGICOS**

## Madeira (estrutura e ultraestrutura da parede celular)

A madeira é um material heterogêneo, sendo sua variabilidade estrutural e química refletida numa ampla gama de propriedades físicas, tais como: densidade, permeabilidade, comportamento quanto à capilaridade, condutividade térmica, difusão da água de impregnação, entre outras. O arranjo de seus componentes físicos (macroscópicos, microscópicos, ultramicroscópicos) e químicos definem a estrutura lenhosa como uma engenhosa organização arquitetônica da madeira.

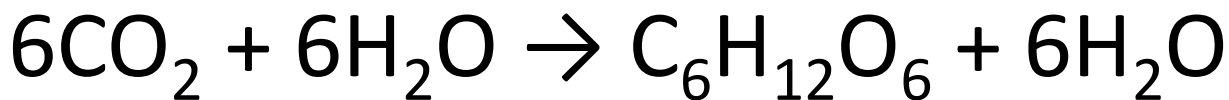
A figura ao lado mostra aspectos macroscópicos da madeira em uma seção transversal do tronco de uma árvore.



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

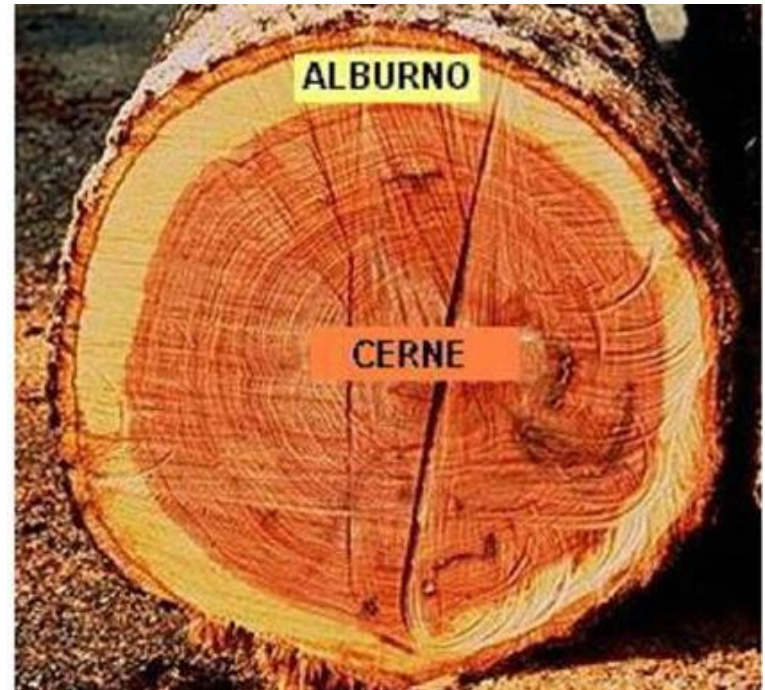
## Madeira (estrutura e ultraestrutura da parede celular)(cont.)

Podemos assim concluir que a madeira é um material extremamente complexo, poroso e com características diferentes nos seus três sentidos de crescimento. Ela é formada através das reações da fotossíntese onde a água e os sais minerais que estão no solo ascendem pelo tronco no xilema ativo (responsável pela translocação da seiva bruta) que ao chegar as folhas (estruturas clorofiladas), possibilita a ocorrência da fotossíntese na presença de luz solar, utilizando o CO<sub>2</sub> que está presente na atmosfera, produzindo glucose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) e liberando oxigênio. A equação simplificada que rege este fenômeno é:



## Madeira (estrutura e ultraestrutura da parede celular) (cont.)

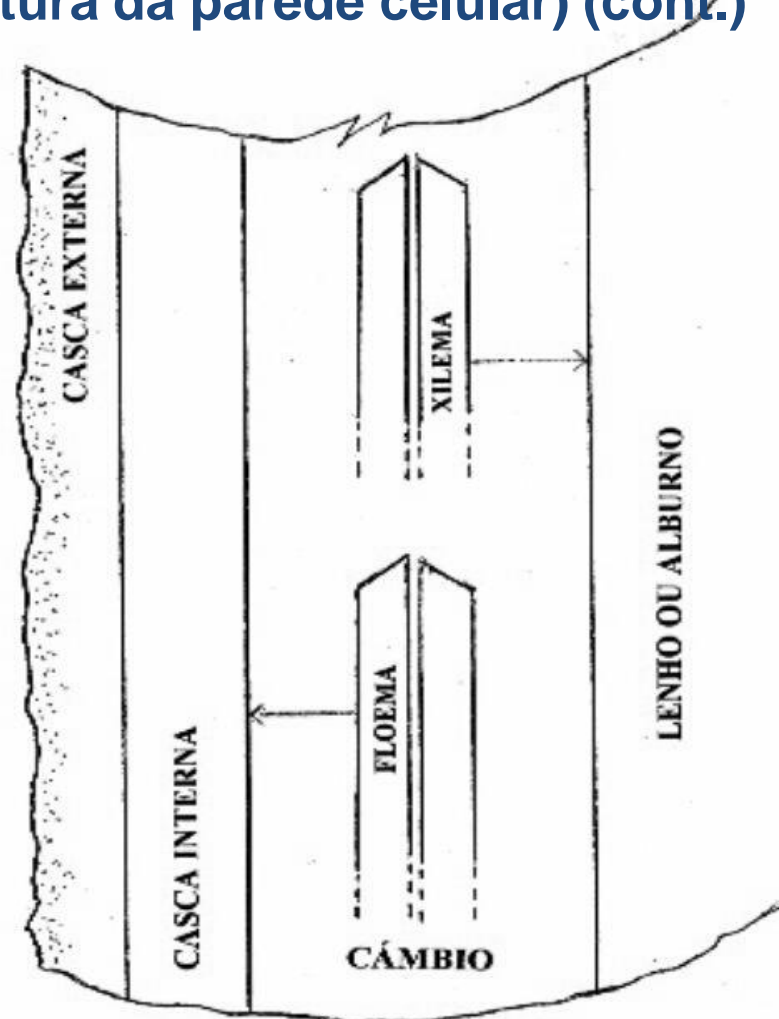
A madeira é um material composto de células produzidas por uma árvore viva para suportar a copa, conduzir água e nutrientes dissolvidos do solo à copa, armazenar materiais de reserva (principalmente carboidratos). A madeira é um tecido complexo devido a sua formação por diferentes tipos de células, as quais desempenham diferentes funções.





## Madeira (estrutura e ultraestrutura da parede celular) (cont.)

A madeira, que é o xilema secundário, e a casca interna, floema secundário, são produzidos por uma camada composta por apenas uma célula de espessura que é denominada câmbio vascular, cuja localização se encontra entre a madeira e a casca. As células do câmbio são vivas e capazes de se dividirem repetidas vezes.



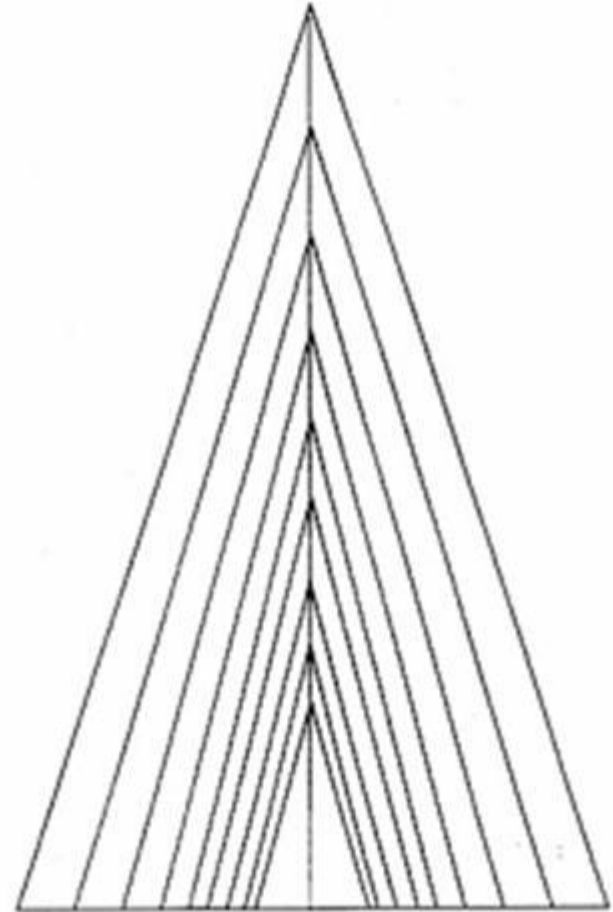
## Aspectos do crescimento das árvores

As árvores crescem de dentro para fora.

A camada mais exterior do lenho é a última a se formar.

A queda da casca a cada ano acontece para dar lugar ao novo lenho que é formado a cada ano.

As árvores tendem a crescer mais em períodos de chuva.



# Espécies arbóreas

## CONÍFERAS:

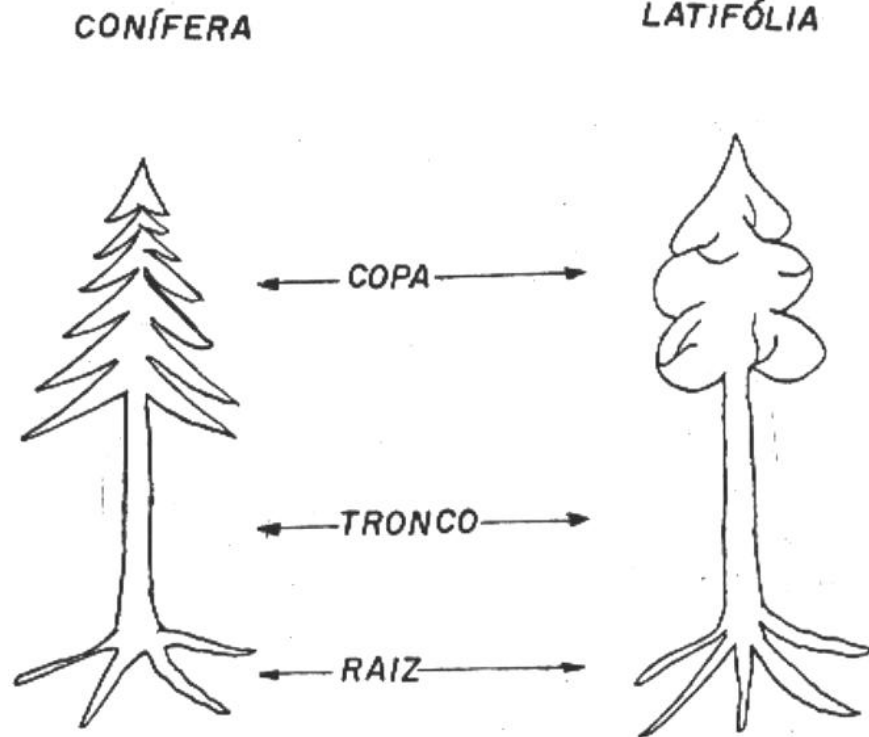
Sementes sem polpa.

Ascículos, agulhas.

Fibras longas.

Pontuações.

“Softwoods”.



## LATIFÓLIAS (FOLHOSAS):

Sementes com polpa.

Folhas largas.

Fibras curtas.

Vasos.

“Hardwoods”.

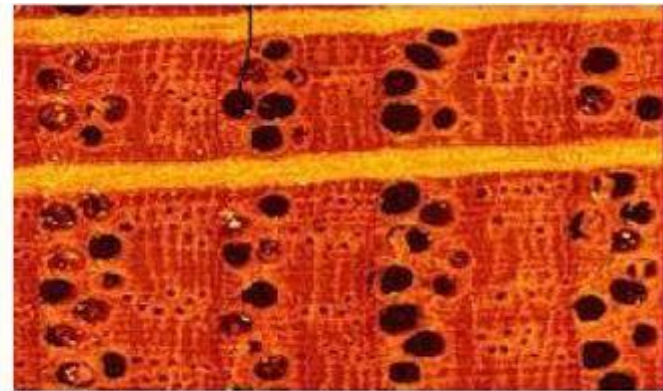
# Aspectos anatômicos

## Observação a olho nú:

- Diferenças entre as madeiras de coníferas e folhosas e entre várias espécies;
- Diferenças entre uma mesma amostra, tais como anéis anuais de crescimento, lenho inicial (primaveril) e tardio (outonal);
- Arranjo dos poros em folhosas, cerne e alburno;
- Sentido e arranjo das células: transversal, tangencial e radial.



A Conífera



B Folhosa

A figura acima mostra um exemplo de aspectos macroscópicos da madeira de conífera, anéis anuais de crescimento e da madeira de folhosa, textura desuniforme como porosidade em anéis.

## Principais funções dos vários tipos de células da madeira

Madeira/função	Mecânica	Condução	Armazenagem	Secreção
<b>CONÍFERAS</b>	Traqueóides do lenho tardio	Traqueóides de lenho inicial Traqueóides radiais	Parênquima radial e longitudinal.	Células epiteliais (canais resiníferos)
<b>FOLHOSAS</b>	Fibras libriformes Fibro-traqueóides	Vasos Traqueóides vasculares	Parênquima radial e longitudinal.	Células epiteliais (canais gomíferos)

FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

## Características morfológicas dos traqueóides de *Pinus Caribaea* var. *hondurensis* de 20 anos, a altura do DAP (média de 10 árvores)

Característica	Tipo de Lenho	Anéis de crescimento						
		2**	5	8	11	14	17	19
Comprimento (mm)	Inicial	2,3	3,6	4,0	4,2	4,5	4,6	4,6
	Tardio		3,6	4,1	4,5	4,6	4,7	4,7
Diâmetro do Lume ( $\mu\text{m}$ )	Inicial	43	52	55	55	56	56	56
	Tardio		22	21	22	22	22	23
Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	Inicial	3,8	4,6	4,7	4,9	5,1	4,8	5,1
	Tardio		9,4	9,8	10,0	10,0	10,1	10,2

\* Região de coleta - Agudos -SP

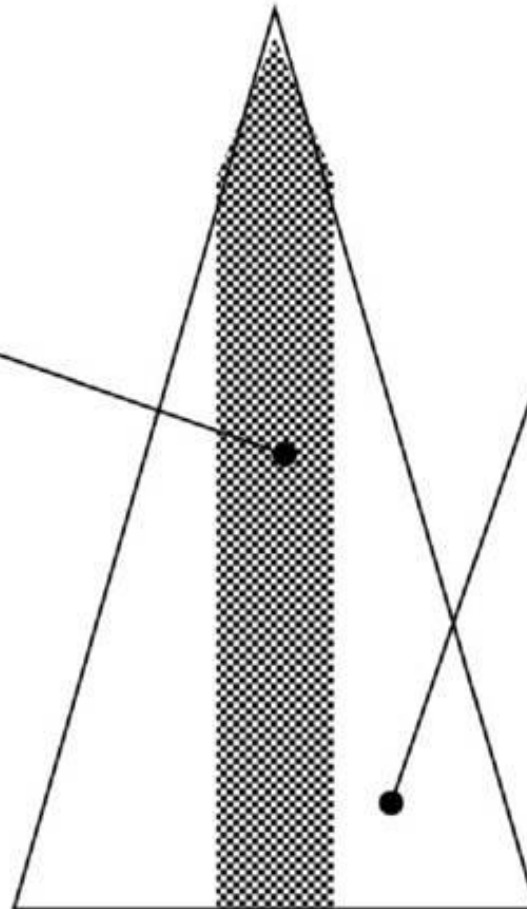
\*\* Os valores do anel 2 referem-se a média entre lenho inicial e tardio.



## Localização da madeira juvenil / adulta na árvore.

### Madeira Juvenil

Baixa densidade  
Traqueóides curtos  
Paredes celulares delgadas  
Baixa porcentagem de lenho tardio  
Alta porcentagem de grã espiralada  
Alta porcentagem de nós  
Menor porcentagem de celulose  
Alta porcentagem de lenho de compressão  
Menor contração transversal  
Menor resistência mecânica  
Maior ângulo microfibrilar



### Madeira Adulta

Alta densidade  
Traqueóides longos  
Paredes celulares espessas  
Alta porcentagem de lenho tardio  
Baixa porcentagem de grã espiralada  
Baixa porcentagem de nós  
Maior porcentagem de celulose  
Baixa porcentagem de lenho de compressão  
Maior contração transversal  
Menor ângulo microfibrilar  
Maior resistência mecânica

## Dimensão dos traqueóides longitudinais (madeira adulta) em algumas espécies de coníferas.

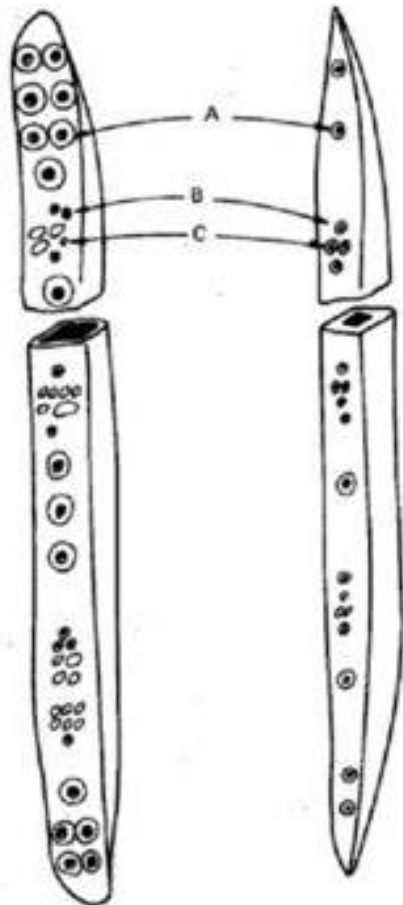
<b>Espécie</b>	<b>Diâmetro tangencial médio</b>	<b>Comprimento médio</b>
<i>Sequoia sempervirens</i>	50--65 $\mu\text{m}^*$	7,39 (1)** mm
<i>Pinus taeda</i>	35--45 $\mu\text{m}$	4,33 (0,9) mm
<i>Picea sp</i>	25--30 $\mu\text{m}$	3,81 (0,5) mm
<i>Thuja sp</i>	15--20 $\mu\text{m}$	1,18 (0,3) mm

\* $\mu\text{m}$  = micrometros

\*\* desvio padrão



## Traqueóides de lenho inicial e tardio



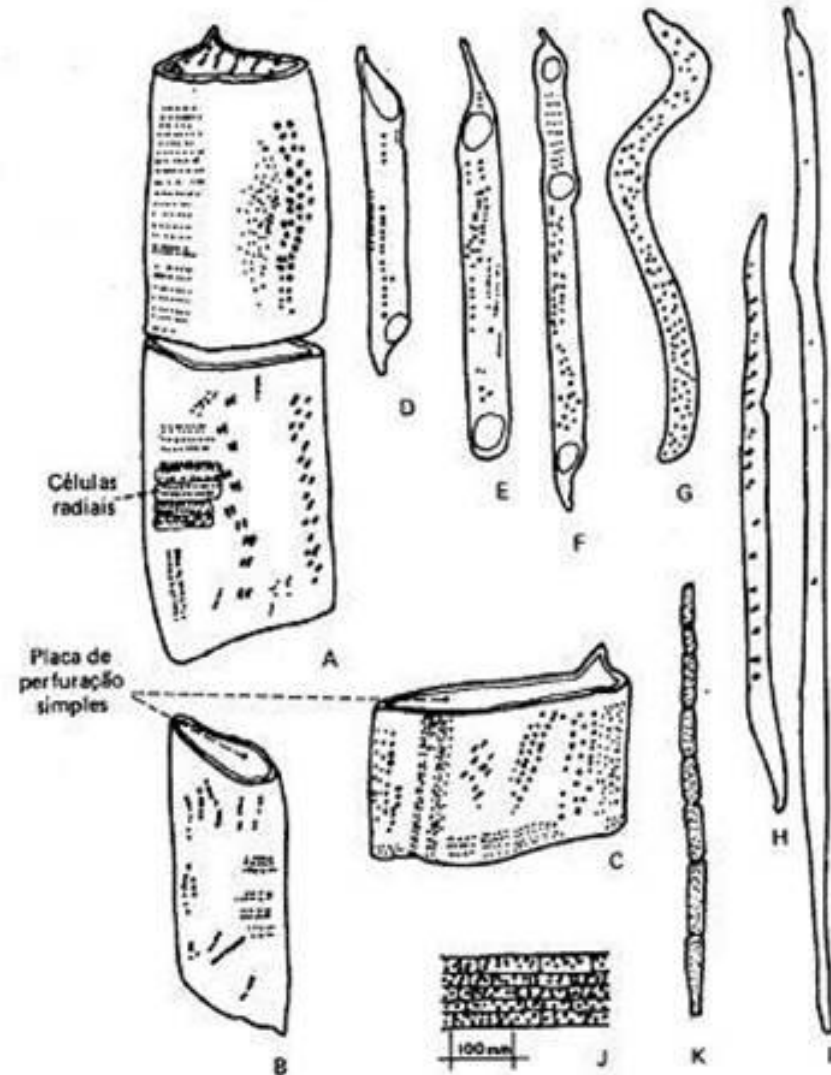
- A – pontuações areoladas entre traqueóides;
- B – pontuações areoladas entre traqueóide axial e radial;
- C – pontuações pinóides entre traqueóide e raio parenquimático.

## Anéis anuais de crescimento e lenho inicial e tardio em *Pinus Taeda*



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

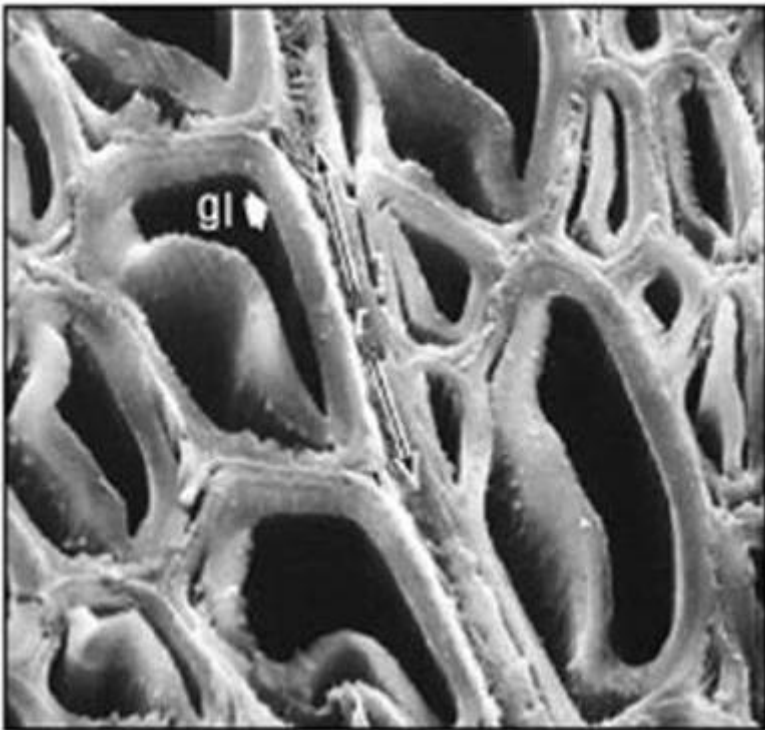
## Elementos constituintes da madeira de uma folhosa:



A, B, C – elementos de vaso largos;  
D, E, F – elementos de vaso estreitos;  
G – traqueóide;  
H – fibrotraqueóide;  
I – fibra libriforme;  
J – células de parênquima radial;  
K – células de parênquima axial.

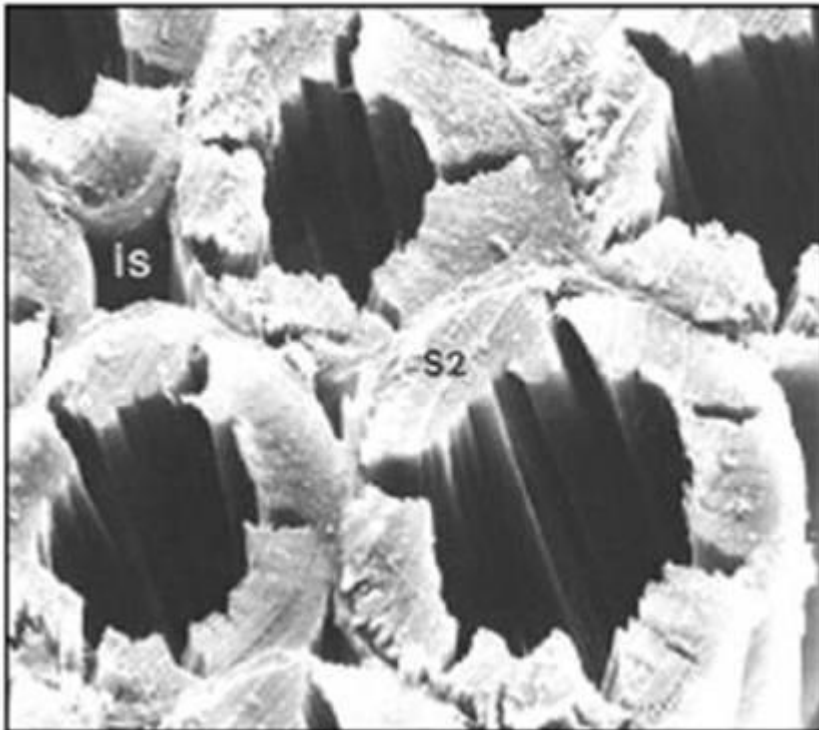
FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

## Lenho de tensão em folhosas



Microfotografia eletrônica de lenho de tensão de folhosas (*Populus* sp): observa-se a camada gelatinosa (gl) interna solta, característica do lenho de tensão em folhosas.

## Lenho de compressão em coníferas



Microfotografia eletrônica de lenho de compressão de conífera (*Pseudotsuga menziesii*), observa-se a ausência da camada S3 e a presença de grandes fendas ou cavidades na camada S2. O aspecto arredondado e os espaços intercelulares que são típicos deste lenho anormal.

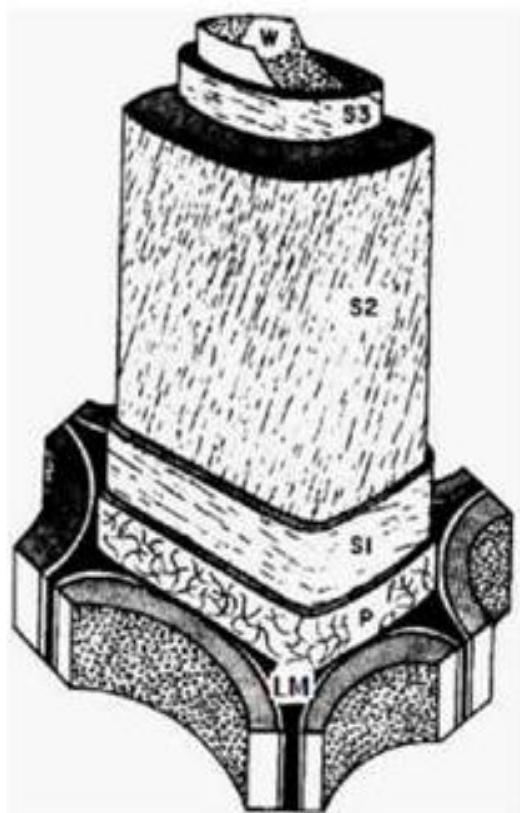


## Microfotografia da madeira de uma conífera, mostrando os traqueóides com pontuações



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

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



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

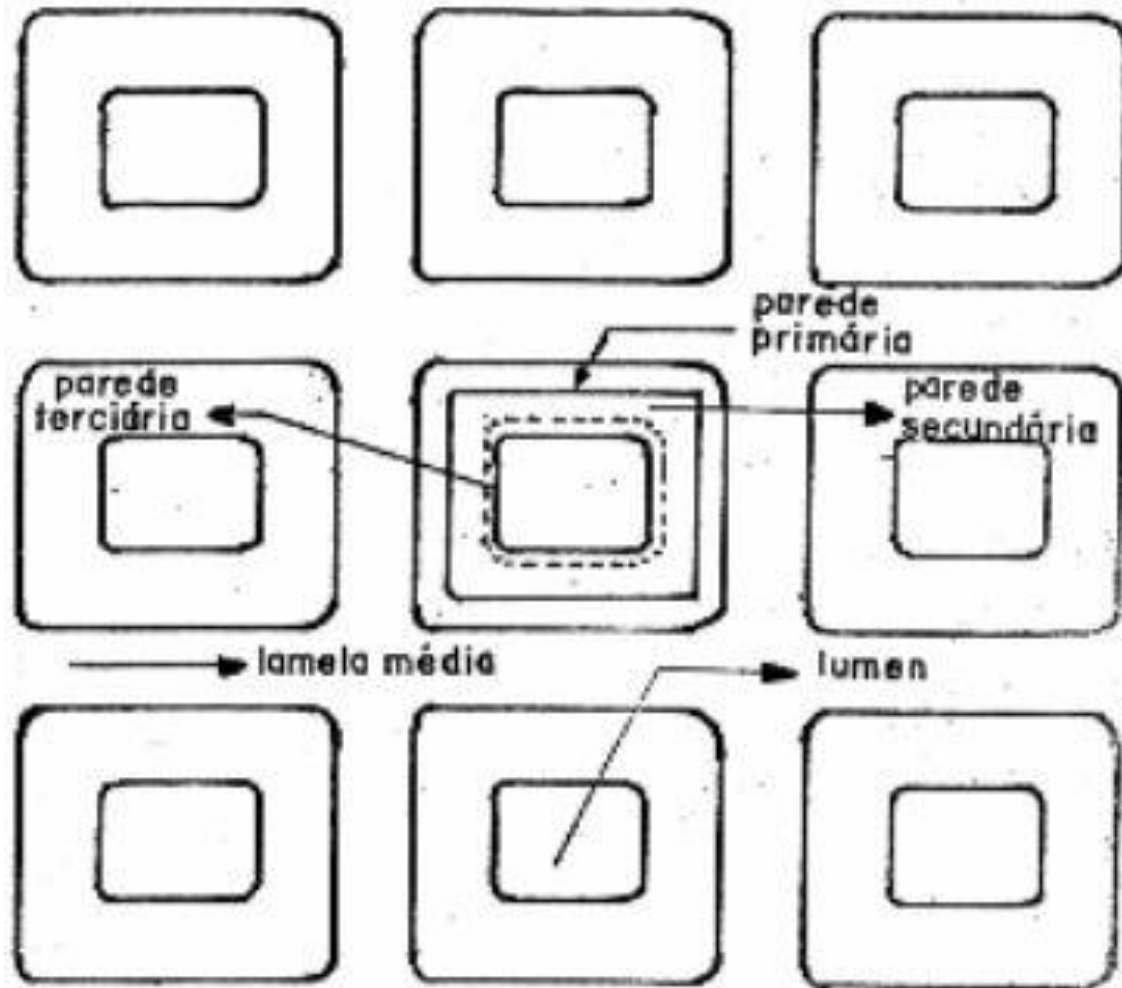
(P)	7 - 14%
(S1)	5 - 11%
(S2)	74 - 84%
(S3)	3 - 4%



S1 - microfibrilas

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”)

## Estrutura das fibras

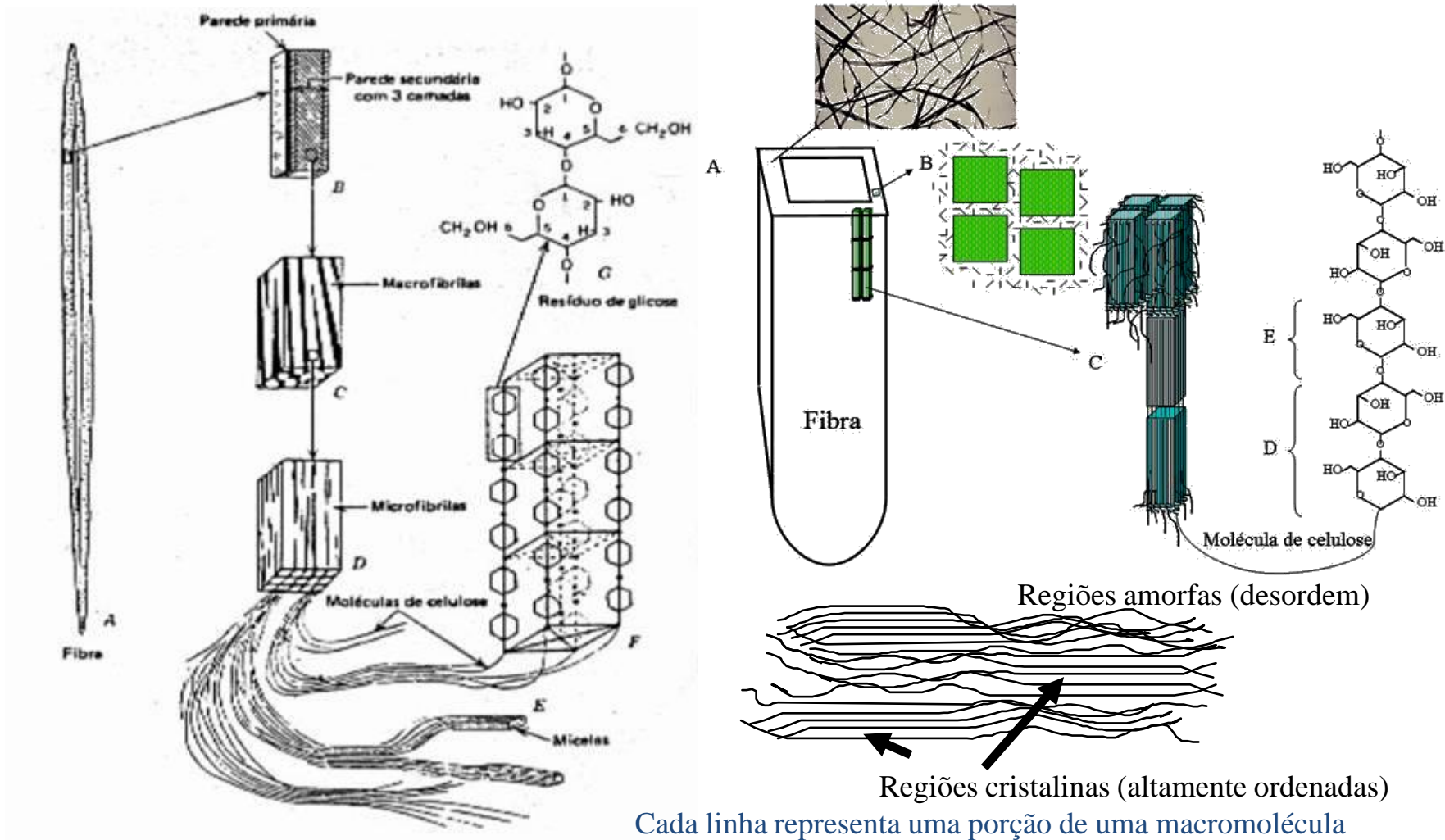




## Componentes da parede celular

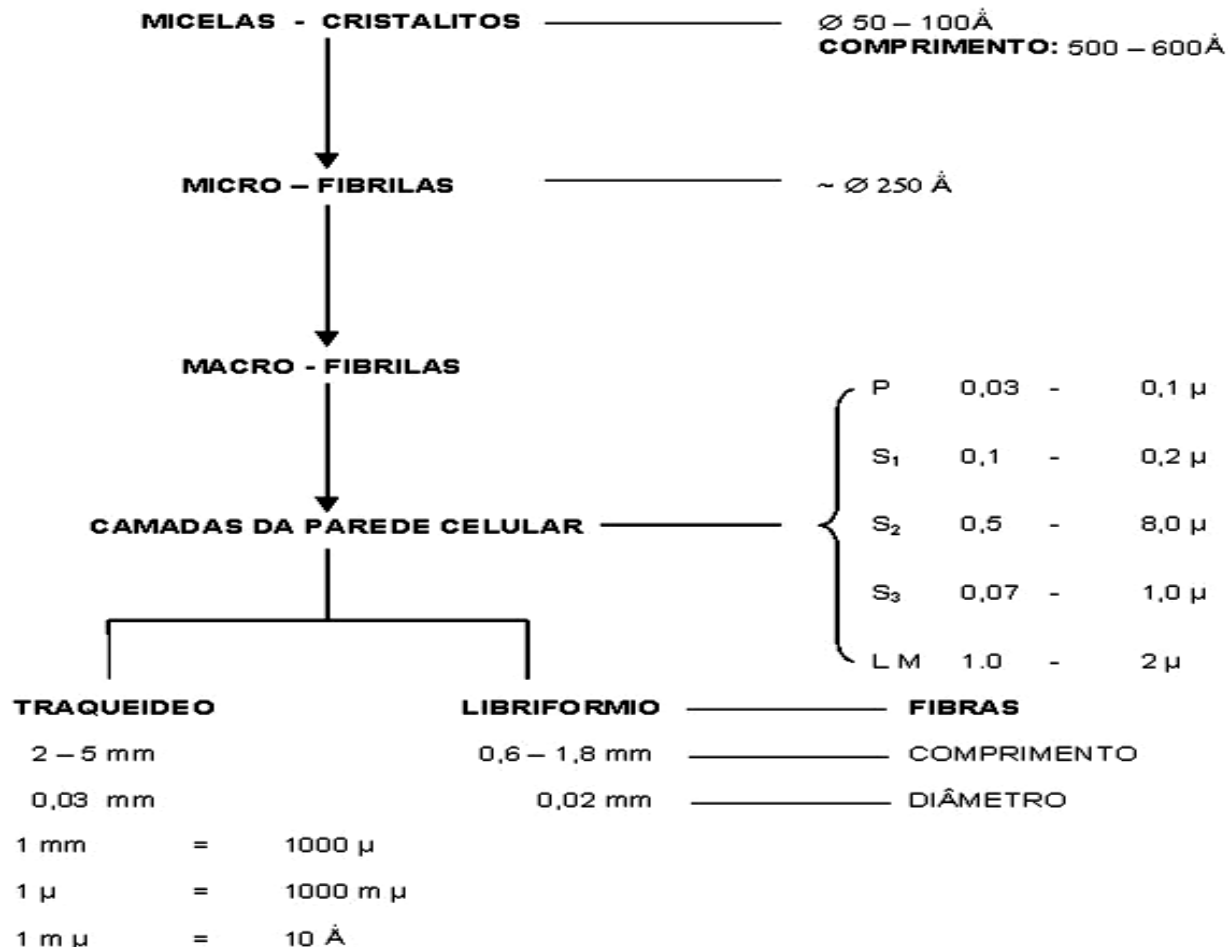
Parede	Espessura (microns)	Ângulo fibrila	% da parede	Comp. Quim. Aproximada (%)		
				Celulose	Hemicel.	Lignina
P	0,03 – 0,10	----	7 – 14	10	20	70
S <sub>1</sub>	0,10 – 0,20	35 – 75	5 – 11	35	25	40
S <sub>2</sub>	0,50 – 8,00	10 – 35	74 – 84	55	30	15
S <sub>3</sub>	0,07 – 0,10	70 – 90	3 – 4	55	40	5
LM	1 – 2	---	---	0	10	90
<b>Observação: 1 micron = 0,001 mm</b>						

## Estrutura da fibra (cadeias de celulose, microfibrilas e macrofibrilas)

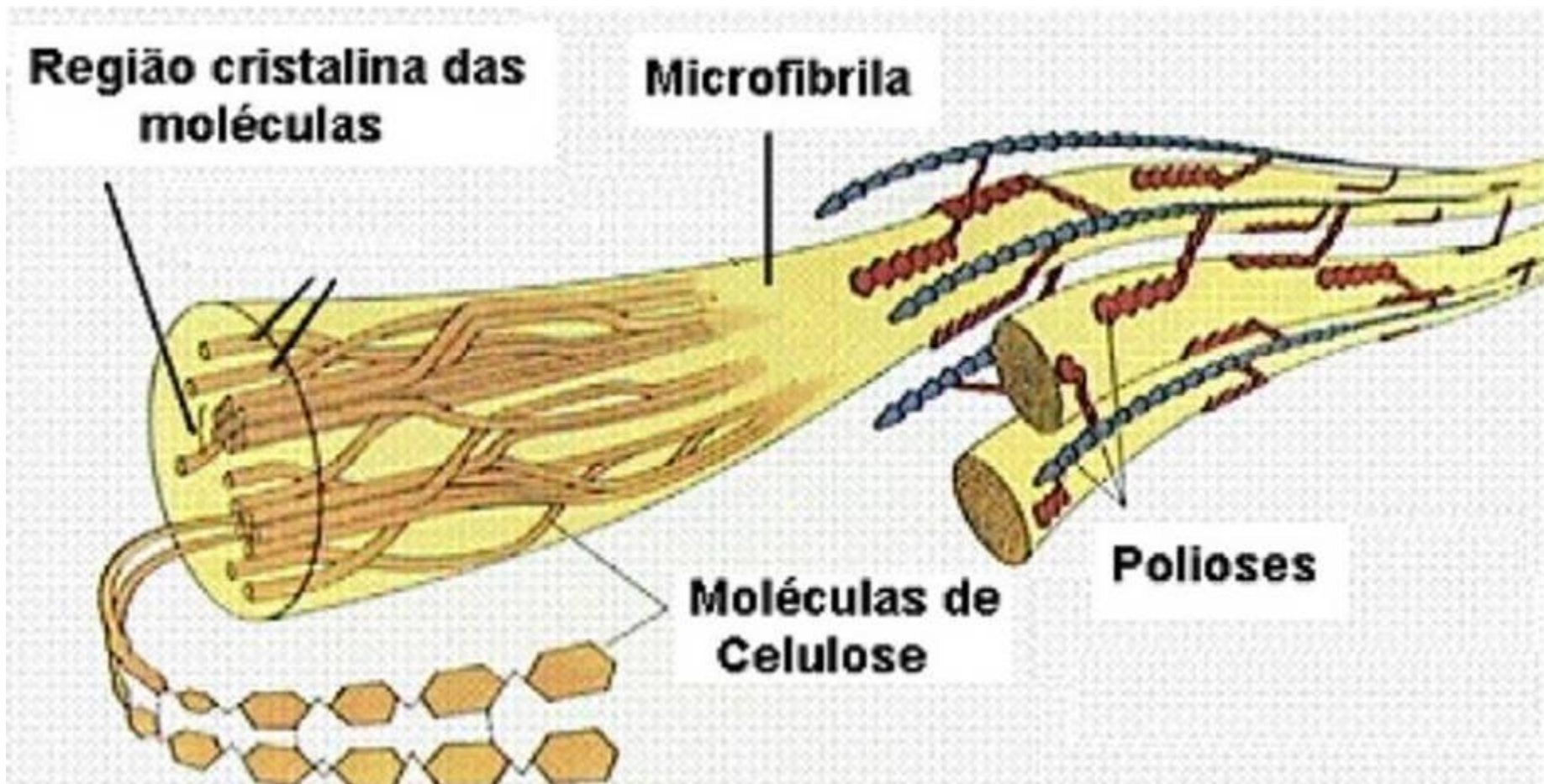


FONTE: Treinamento operacional – Máquina de papel – VCP LA

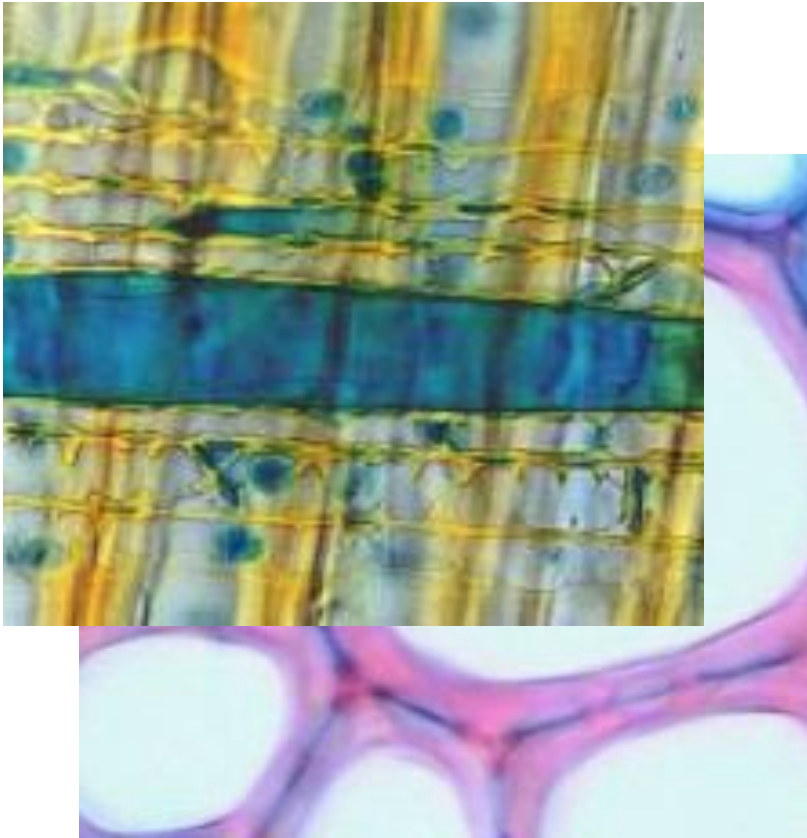
# Componentes da parede celular



## Ilustração esquemática das moléculas de celulose



## Propriedades físicas da madeira



Densidade  
Porosidade  
Umidade  
Higroscopicidade  
Elasticidade

## Fatores que afetam a densidade do eucalipto

1) LENHO INICIAL - células de paredes finas, crescidas na estação das chuvas: madeira de densidade baixa.

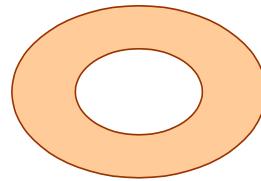


2) LENHO TARDIO - células grossas, crescidas na estação das secas: madeira de densidade alta.

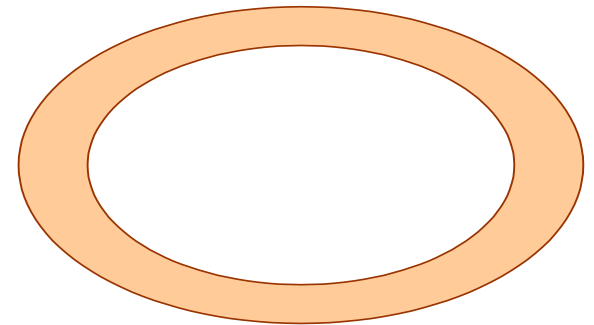


## Fatores que afetam a densidade da madeira (cont.)

Células de paredes de mesma espessura, mas área transversal diferente:

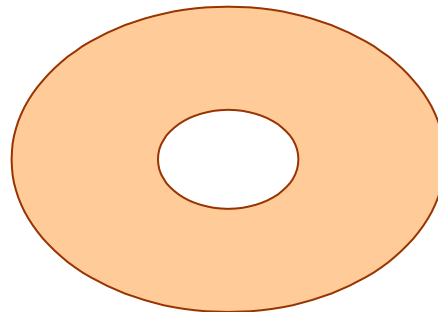


Alta densidade básica

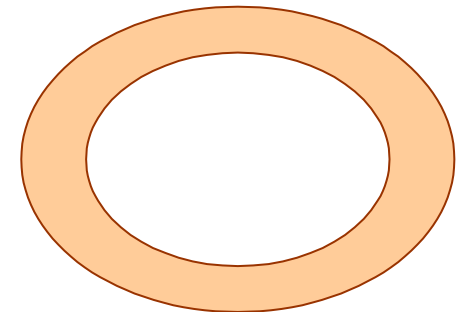


Baixa densidade básica

Células de mesma área transversal, mas diferente espessura de parede:



Maior espessura de parede e maior densidade básica



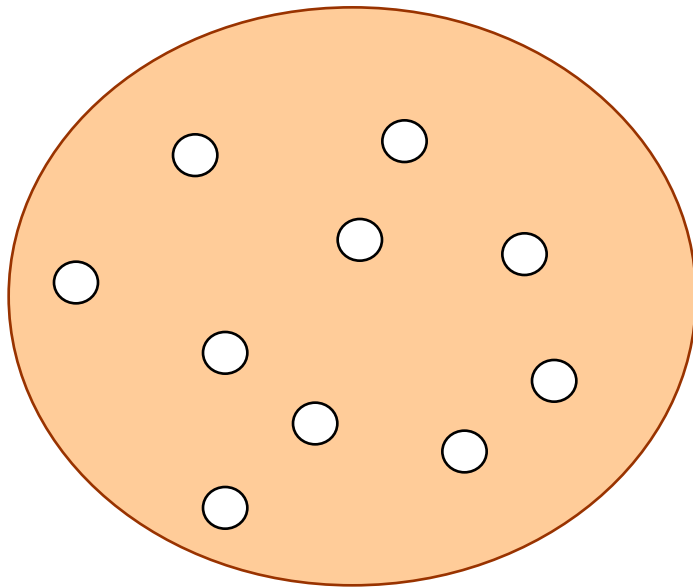
Menor espessura de parede e menor densidade básica



## Fatores que afetam a densidade da madeira (cont.)

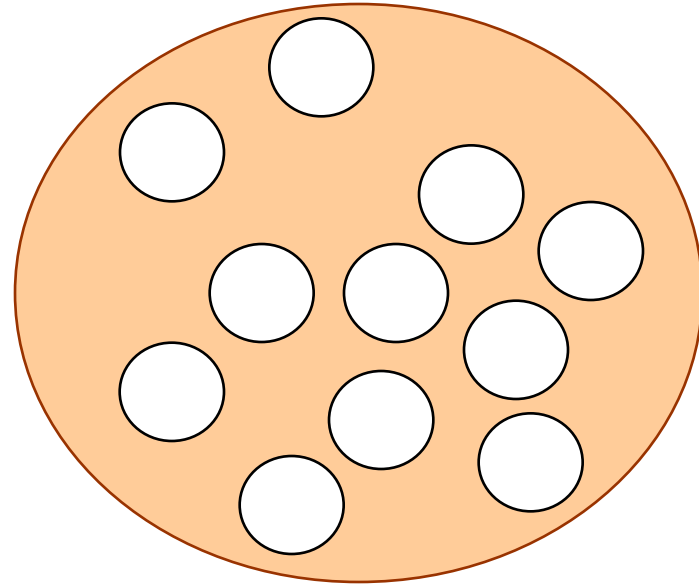
Quantidade e natureza dos vasos e densidade básica  
(Corte transversal do tronco da árvore):

Vasos pequenos e poucos



Densidade básica alta

Vasos grandes e numerosos

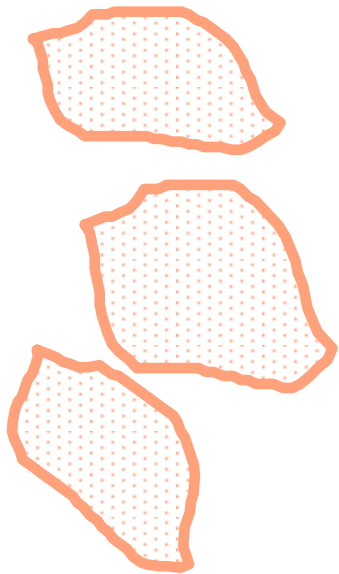


Densidade básica baixa

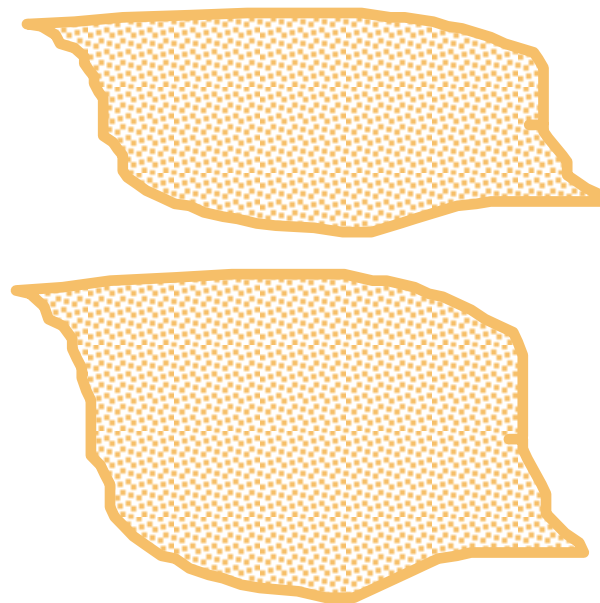


## Fatores que afetam a densidade da madeira (cont.)

Dimensões dos vasos e densidade básica:



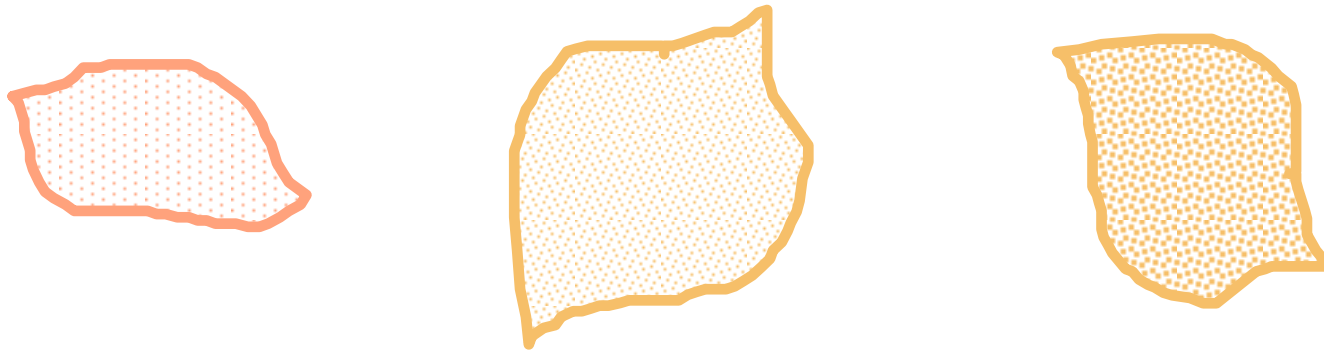
Vasos pequenos:  
Densidade básica alta



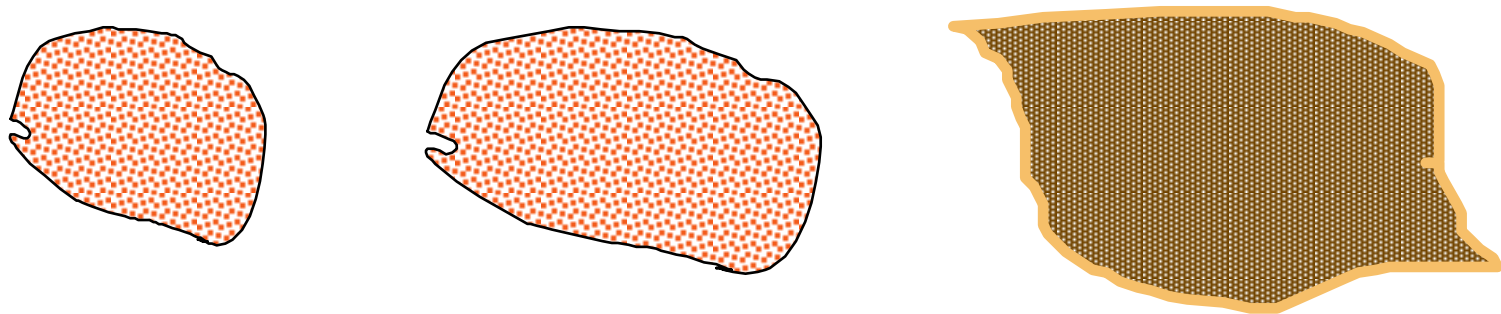
Vasos grandes:  
Densidade básica baixa

## Fatores que afetam a densidade da madeira (cont.)

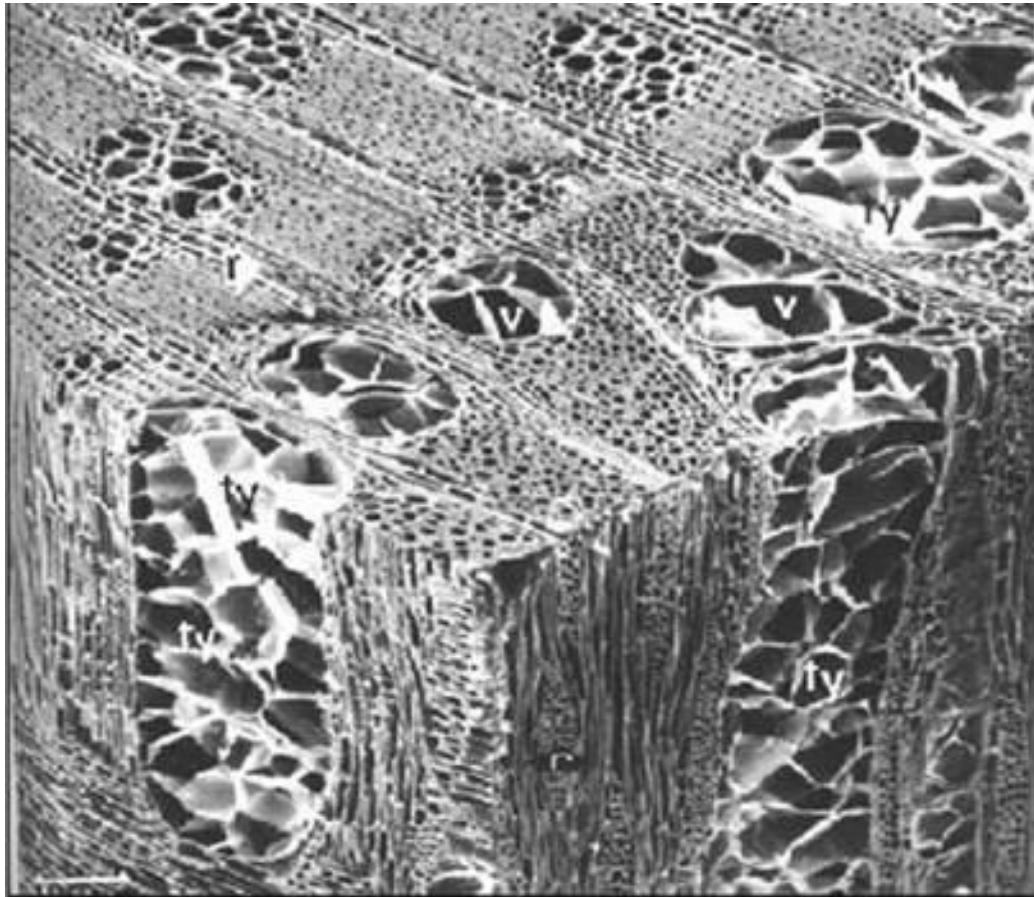
Vasos sem extrativos: densidade básica baixa.



Vasos com extrativos: densidade básica alta (aumento da densidade por depósito de extrativos).

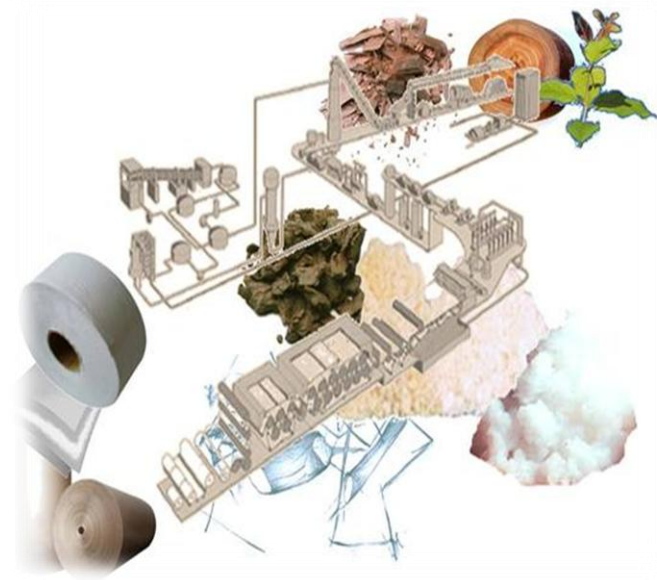


## Tiloses em vasos da madeira de folhosas (*Robinia pseudoacacia*)



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

4



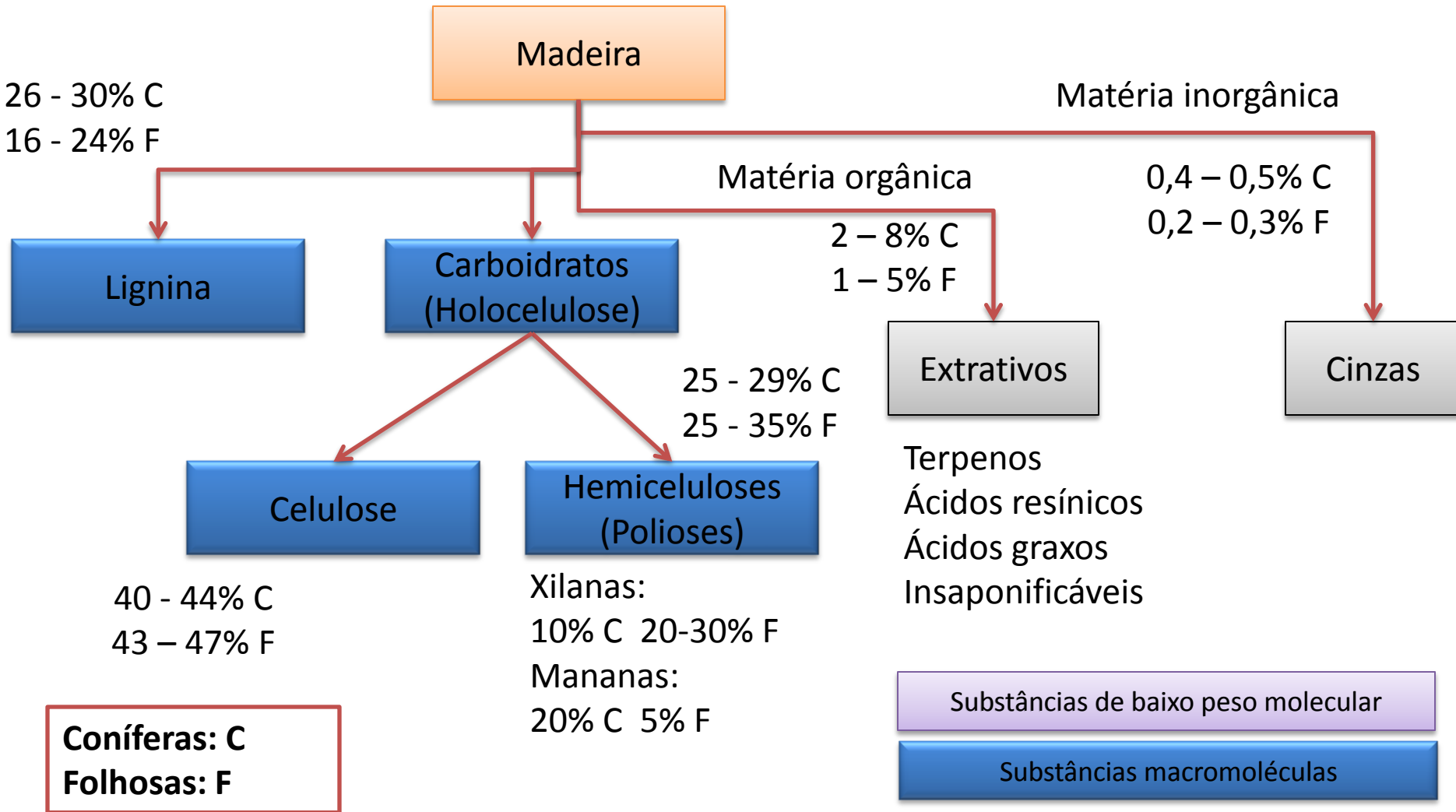
**QUÍMICA  
DA MADEIRA**

## Madeira: características gerais

Muitos componentes químicos

- Mais de 5000 já identificados (4000 terpenos e terpenóides);
- Comportamento químico não dedutível pela natureza individual de seus componentes;
- Constituída de polímeros de alto peso molecular;
- Polímeros difíceis de serem isolados sem alterações significativas.

# Composição química da madeira



FONTE: Composição de várias fontes por E. S. Campos

## Composição química de *Eucalyptus* e *Pinus*

Componente	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Pinus radiata</i>
Celulose	50,8	51,3	37,4
Mananas	1,2	1,4	20,4
Xilanas	15,5	20,2	8,5
Lignina	26,8	21,9	27,2
Extrativos	3,1	2,8	4,1
<b>Total</b>	<b>97,4</b>	<b>97,6</b>	<b>97,6</b>

FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)

## Elementos químicos presentes na madeira

A análise da composição química elementar da madeira de diversas espécies, coníferas e folhosas, demonstram a seguinte composição percentual em relação ao peso seco da madeira:

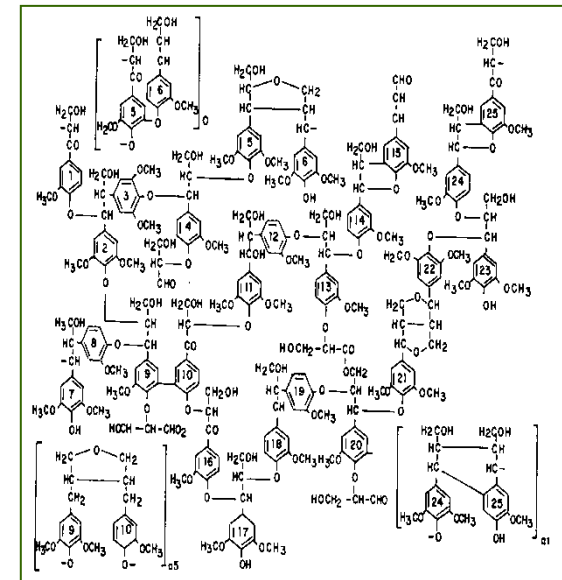
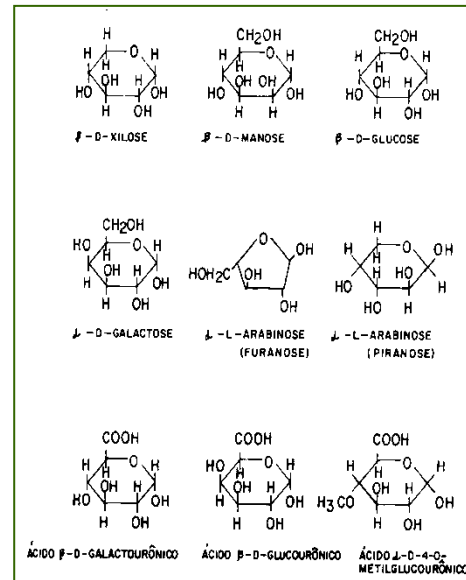
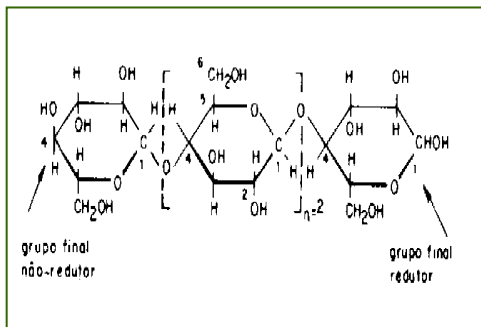
Elemento	Porcentagem
C	49 – 50
H	6
O	44 – 45
N	0,1 – 1

FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

Constituintes, %	Larix	Pinus	Abeto	Carvalho	Faia
Carbono	49,6	50,2	50,0	49,2	48,9
Hidrogênio	5,8	6,1	6,0	5,8	5,9
Nitrogênio	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2
Oxigênio	44,2	43,3	43,5	44,2	44,5
Inorgânicos	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5

FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)





## Propriedades de componentes da estrutura da madeira

	CELULOSE	HEMI-CELULOSE	LIGNINA
<b>Composição química</b>	Cadeias lineares de glucose	glucose, manose, galactose, arabinose etc. acetilados e ramificados parcialmente com grupos metilglucorônicos	Unidades de fenil propanos, em maioria cadeias tri-ramificadas
<b>DP nativo</b>	10 000 – 15 000	200	250 000
<b>DP da massa</b>	1 000 – 3 000	50 – 150	-
<b>Estrutura</b>	Cristalina, micro fibrilas	amorfa	amorfa
<b>% na madeira</b>			
◆ Coníferas	42	30	28
◆ Folhosas	41	39	20
<b>Reações</b>			
◆ Geral	Hidrofóbica	hidrofilica	hidrofóbica
◆ Vapor d'água	Absorção na superfície de micro fibrilas	absorção homogênea	
◆ Água	Sem penetração e sem inchamento	hidratação	sem hidratação
◆ NaOH 18%, NH <sub>3</sub>	Inchamento	dissolução	hidratação
◆ Hidrólise ácida	Na superfície	homogênea	condensação
◆ Oxidação	Na superfície	homogênea	reage facilmente
<b>Propriedades mecânicas</b>			
◆ Fibras molhadas (massa)	Alta resistência física	realça flexib. de fibras	contribui p/ rigidez
◆ Fibras secas	Alta resistência física	realça rigidez	contribui p/ rigidez

# Carboidratos

**Principalmente polissacarídeos**

**¾ da substância madeira**

**Consistem de:**

Celulose

Não-celulósicos insolúveis em água (ex.: amido, hemiceluloses e substâncias pécticas)

Não-celulósicos solúveis em água (arabinogalactanas, açúcares)

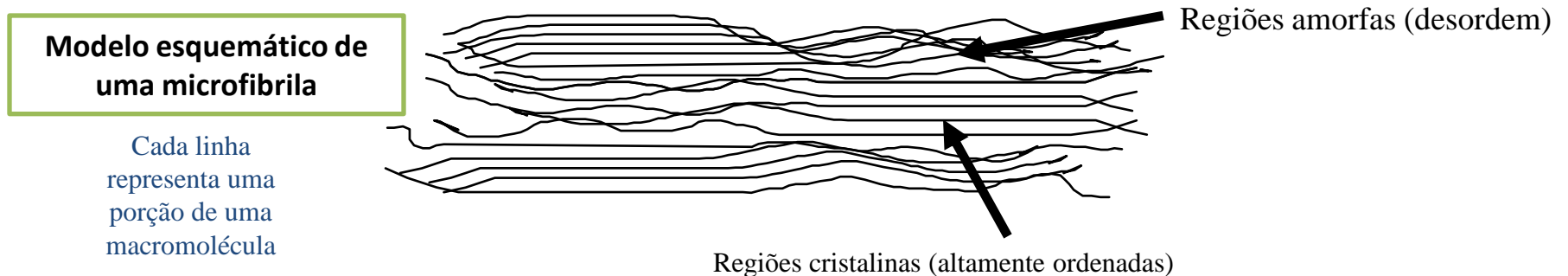
# Celulose

Polímero de cadeia linear.

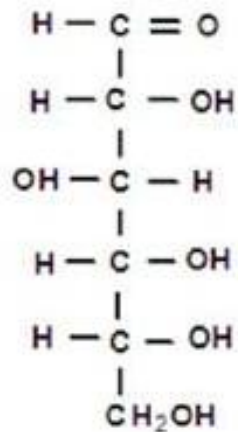
Insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos (temperatura ambiente).

Consistindo única e exclusivamente de unidades de  $\beta$ -D-anidridoglucopiranose unidas por ligações do tipo (1-4).

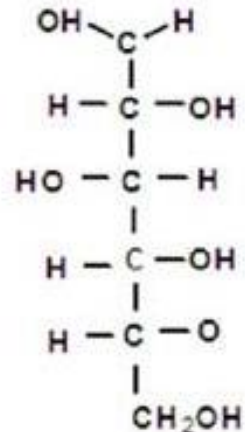
Estrutura organizada e parcialmente cristalina.



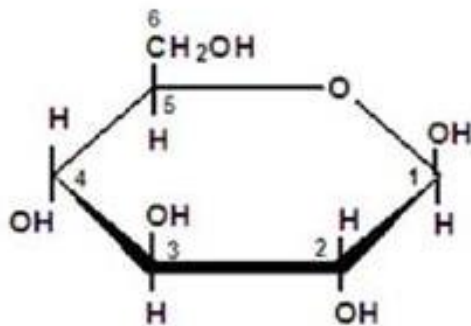
FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)



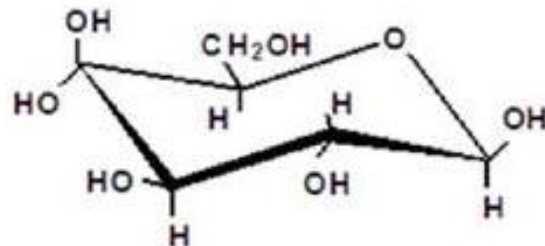
D-Glucose, forma aldeídica (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)



βD-Glucose, forma hemiacetal

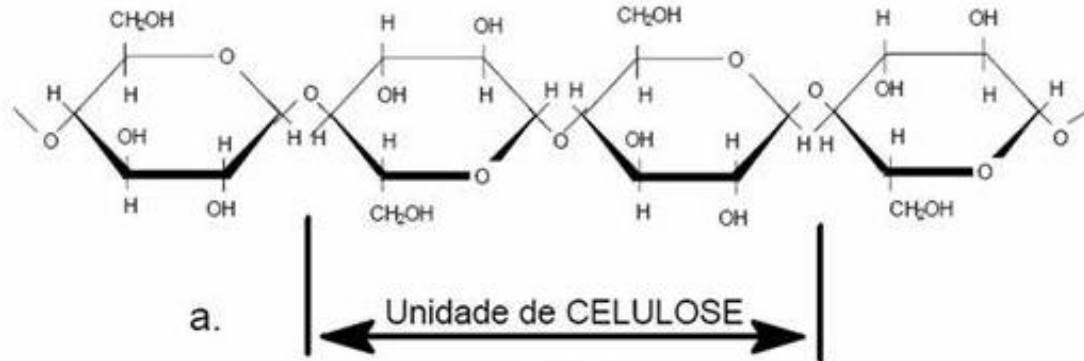


βD-Glucose forma piranósica ou Haworth



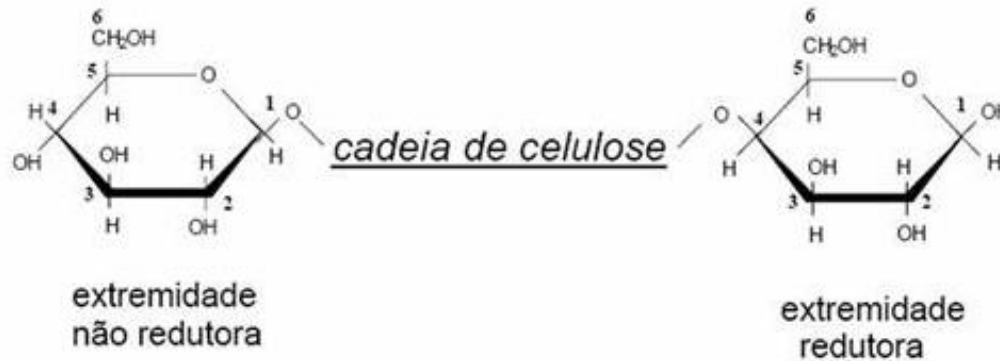
βD-Glucose forma piranósica em cadeira

# Fórmula da celulose

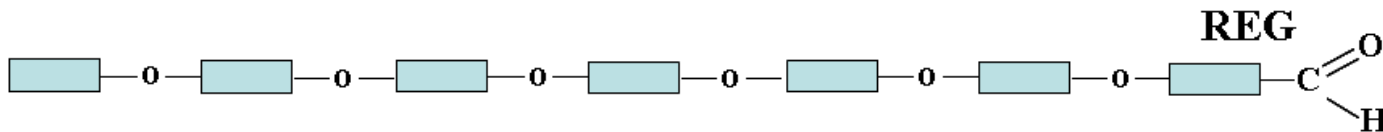
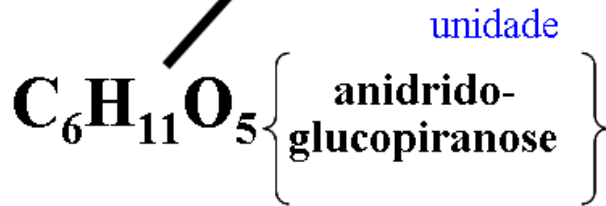
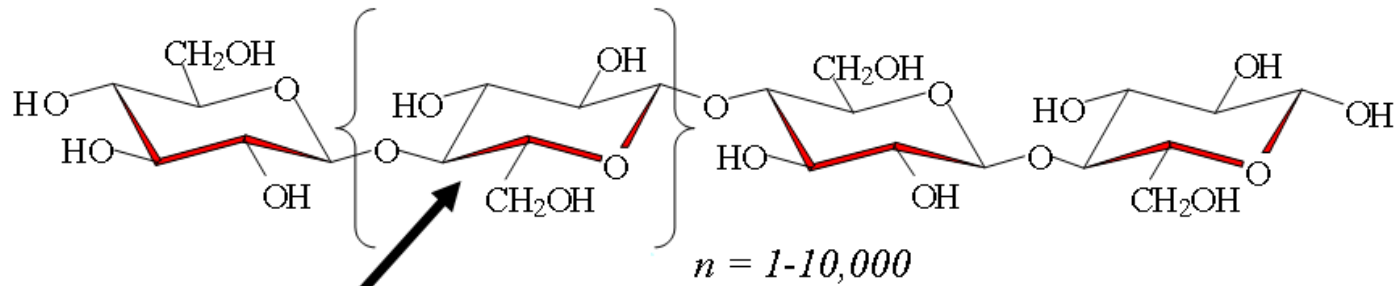


1,03 nm  
CELUBIOSE

b.



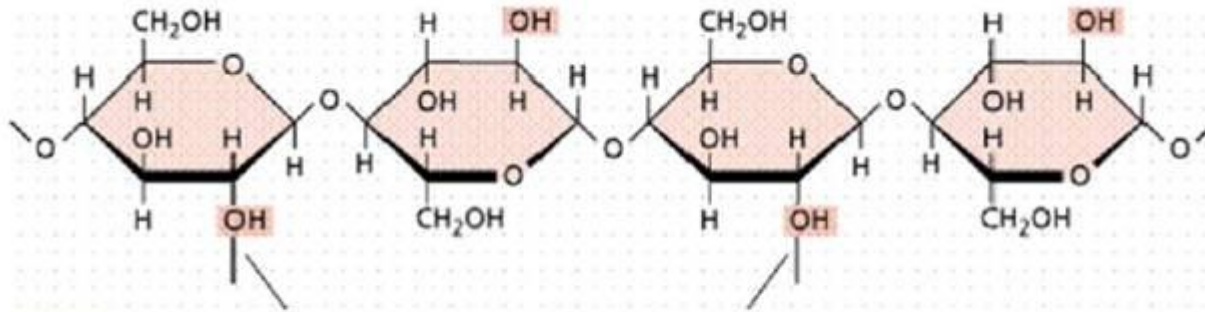
## Estrutura molecular da celulose



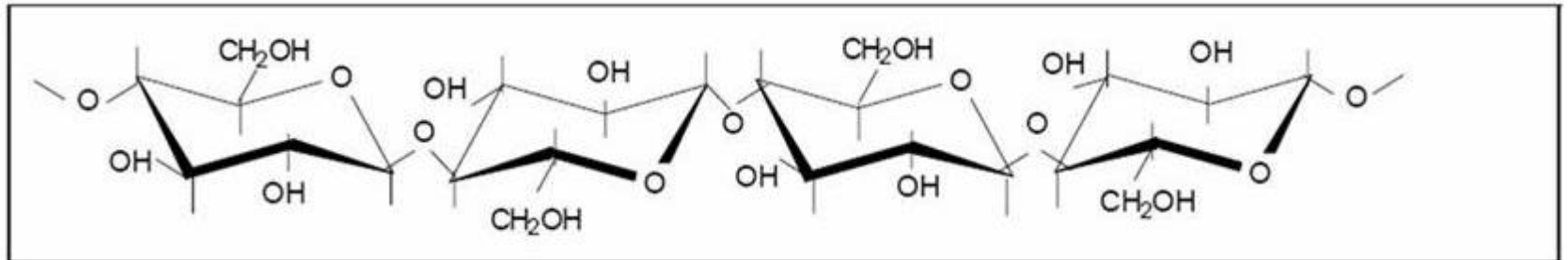
Reg = grupo terminal redutor

FONTE: Curso básico de fabricação de papel – E.S.Campos

## Estrutura molecular da celulose



Posições onde ocorrem a formação de pontes de hidrogênio intermoleculares





## **Cristalinidade da celulose**

Influenciada pelo número de pontes de H (5O/6C).

Alta cristalinidade diminui reatividade da celulose.

Depende do método de medição.

Depende da origem da celulose:  
(ramie>algodão>madeira)

Hemiceluloses causam distúrbio na cristalinidade

Maior cristalinidade > densidade da madeira

## Propriedades do polímero celulose

### Peso molecular:

PM = 162.DP (grau de polimerização)

DP da celulose: 2000 – 15.000, dependendo de:

Espécie vegetal (valônia = 15.000; madeira:10.000);

Localização na parede celular (PP = 2.000; PS = 10.000).

**Aumento da reatividade por meio de tratamento com ácidos e bases fortes.**

# Inchamento da celulose

**Ocorre devido à sua alta polaridade (grupos OH).**

Ex.: de solventes: metanol, etanol, nitrobenzeno e benzaldeído.

**Inchamento intercrystalino: pela água**

Ocorre nas regiões amorfas das microfibrilas;  
Entre as microfibrilas.

**Inchamento intracrystalino: por ácidos e bases fortes**

Ocorre nas regiões cristalinas das microfibrilas;  
A penetração de íons hidratados requer mais espaço que as moléculas de água.

## Principais derivados da celulose

### Ésteres

Nitrato de celulose;  
Acetato de celulose.

### Éteres

Metilcelulose;  
Carboximetilcelulose.

### Xantatos

Xantato de celulose.

# Hemiceluloses

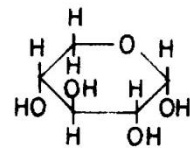
**Fração dos CH<sub>2</sub>O extraíveis em álcali;**

**20 – 30% do peso da madeira;**

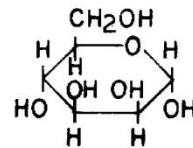
**Polissacarídeos de baixo DP (~200), constituídos por diferentes açúcares e ácidos:**

D-glucose, D-manose, D-galactose, D-xilose, L-arabinose, L-fucose;  
Ácido 4-O-metilglucurônico, ácido D-galacturônico e ácido D-glucurônico.

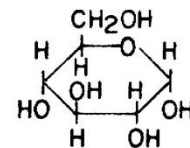
# Fórmula dos açúcares componentes das poliose



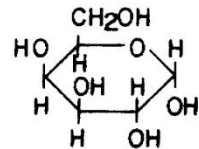
$\beta$  - D - XILOSE



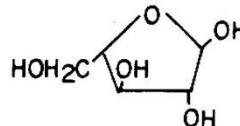
$\beta$  - D - MANOSE



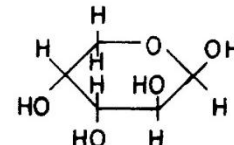
$\beta$  - D - GLUCOSE



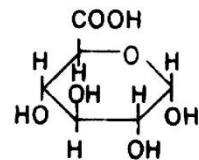
$\beta$  - D - GALACTOSE



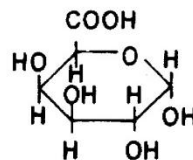
$\alpha$  - L - ARABINOSE  
(FURANOSE)



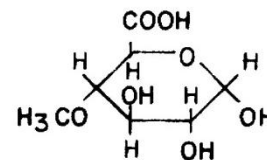
$\alpha$  - L - ARABINOSE  
(PIRANOSE)



ÁCIDO  $\beta$  - D - GALACTOURÔNICO

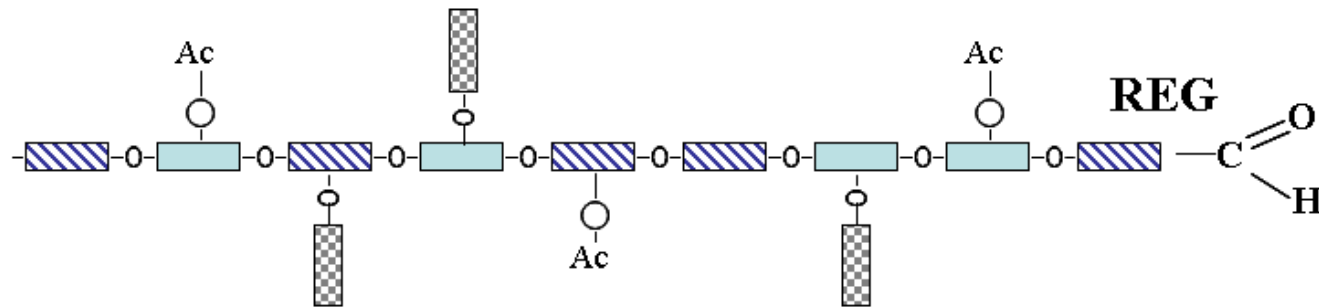


ÁCIDO  $\beta$  - D - GLUCOURÔNICO



ÁCIDO  $\alpha$  - D - 4 - O - METILGLUCOURÔNICO

## 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

# Hemiceluloses

**Estruturas ramificadas e amorfas.**

**Associadas à lignina e a celulose;**

**Localizada em toda a parede celular;**

Maior teor em S1 e S2;

Alto teor em células do parênquima (até 80% xilanas em folhosas).



# Reatividade

Diferenças em relação à celulose

## **Causas químicas:**

Maior número de grupos funcionais;  
Monômeros menos estáveis.

## **Causas físicas:**

Ramificadas

Amorfas: maior facilidade de acesso aos reagentes;  
Facilitam o inchamento da fibra.

## Estado físico das hemiceluloses

Desconhecido;

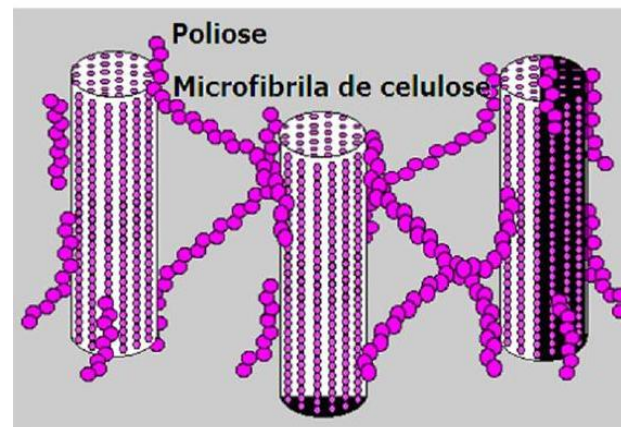
Cristalina após modificação e redução do GP;

Orientação paralela às microfibrilas de celulose

Podem formar microfibrilas amorfas.

FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)

**Ligações polioses  
(hemiceluloses) com  
celulose  
(microfibrilas)**



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

## Função

Facilitar a incrustação das microfibrilas;

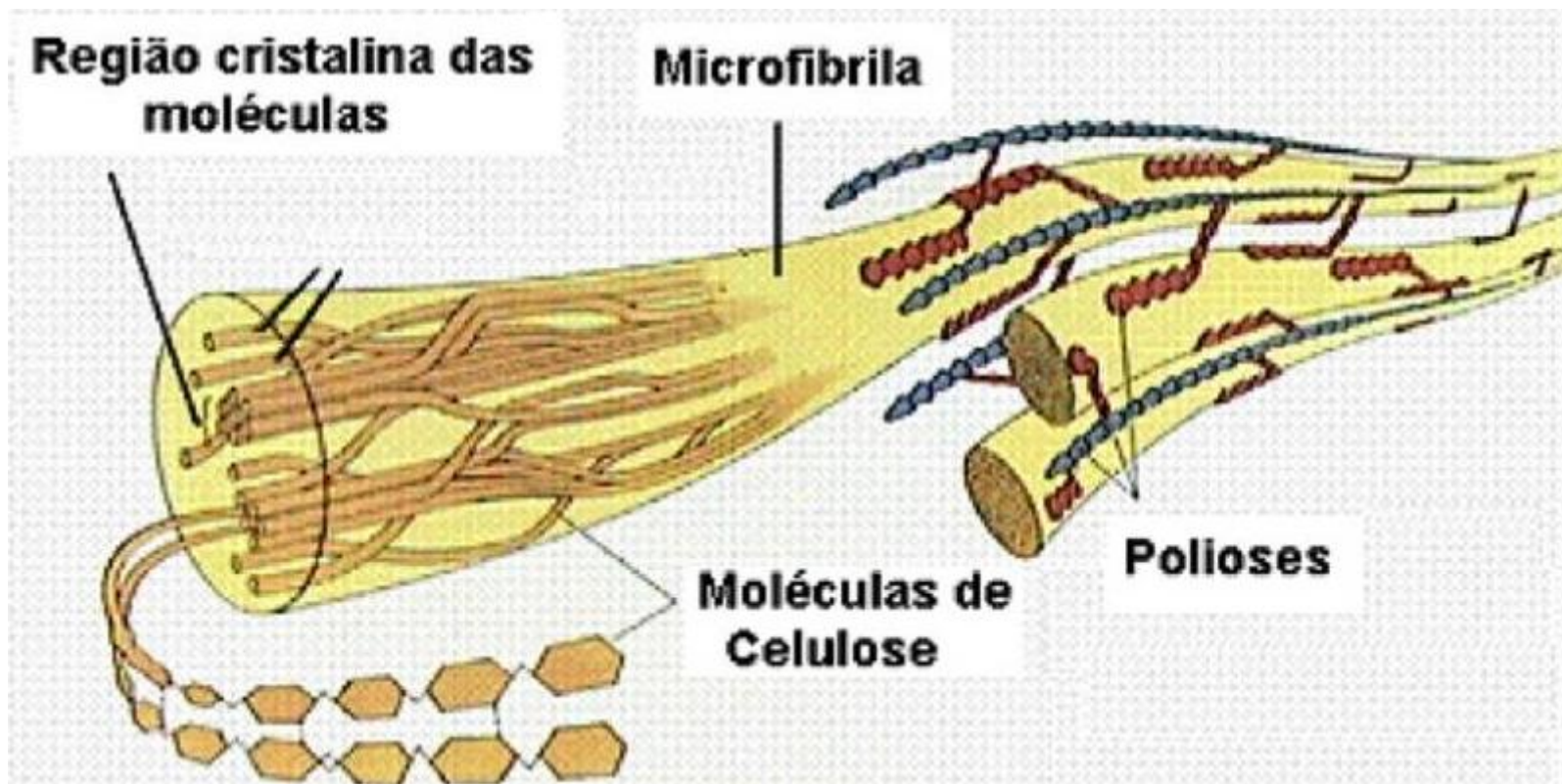
Planta que contém lignina contém hemiceluloses;

Influenciam no teor de umidade da planta;

Todas as hemiceluloses importantes da madeira são intrinsecamente solúveis em água e, portanto, muito hidrofílicas;

Adesão à celulose através de pontes de hidrogênio.

## Ilustração esquemática da interação das moléculas de celulose



FONTE: Química da madeira (Umberto Klock et alli)

## Importância prática das hemiceluloses

Hidrofílicas: facilita o refino da polpa;

Atuam como lubrificantes e adesivos;

Desejável na fabricação de papel;

Aumentam o rendimento em produção de celulose;

Colaboram no aumento das resistências que dependem das ligações entre fibras;

Indesejáveis na produção de derivados;

Arabinogalactanas: agente tensoativo.

## Diferenças entre celulose e polioses

CELULOSE	HEMICELULOSES
Constituída por uma unidade monomérica glucosídica.	Constituída por várias unidades ligadas entre si: pentoses e hexoses.
Grau de polimerização elevado.	Grau de polimerização baixo.
Forma fibras.	Não forma fibras.
Possui regiões cristalinas e amorfas em sua estrutura.	Só possui regiões amorfas.
É lentamente atacada por ácidos.	Sofre ataque mais rápido por ácidos.
É insolúvel em álcali.	É solúvel.

## **Substâncias fenólicas**

Contém grupos hidroxílicos fenólicos;

Representam de 15 a 30% do peso da madeira;

Ligninas são os principais representantes;

Usualmente insolúveis em água e solventes comuns;

Algumas das substâncias fenólicas são solúveis em água e solventes orgânicos (ex.: taninos, lignanas e pigmentos).

## **Lignina (generalidades)**

Descoberta por Anselme Panyon em 1838;

Klason em 1907: unidades de álcool coniferílico;

Do latim “lignum” = madeira;

Polímero aromático, heterogêneo, ramificado, amorfo;

Nenhuma unidade repetidora definitiva;

Estrutura básica de felilpropano (C9) unidas por ligações éter e C-C;

Composição distinta dependendo da madeira.



## Lignina (função)

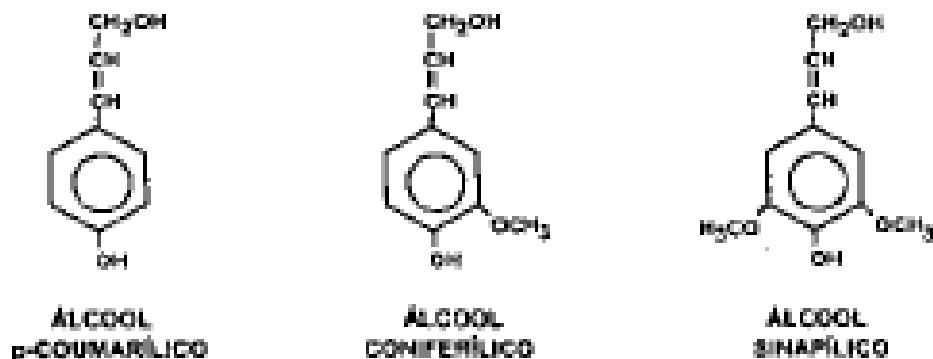
Aumenta a rigidez da parede celular;

Cimenta as células umas às outras;

Reduz a permeabilidade da parede celular a água;

Protege a madeira contra microorganismos;

Aumenta a resistência da planta à compressão, permitindo o seu crescimento vertical.

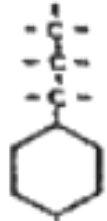


FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)

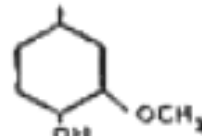
## Grupos fenólicos da lignina



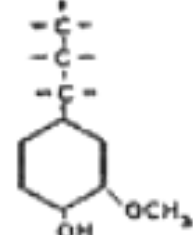
fenil  
propano



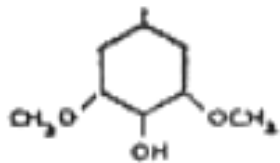
p-hidroxi  
fenil propano



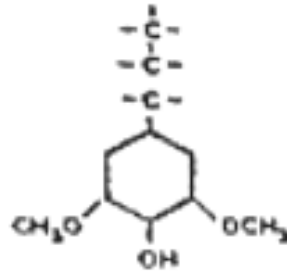
guaiacil



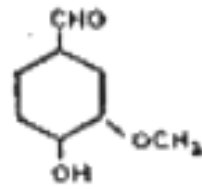
guaiacil (CONIFERAS)  
propano



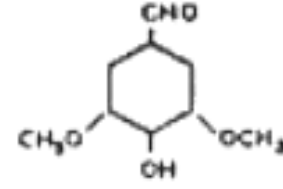
seringil



seringil  
propano

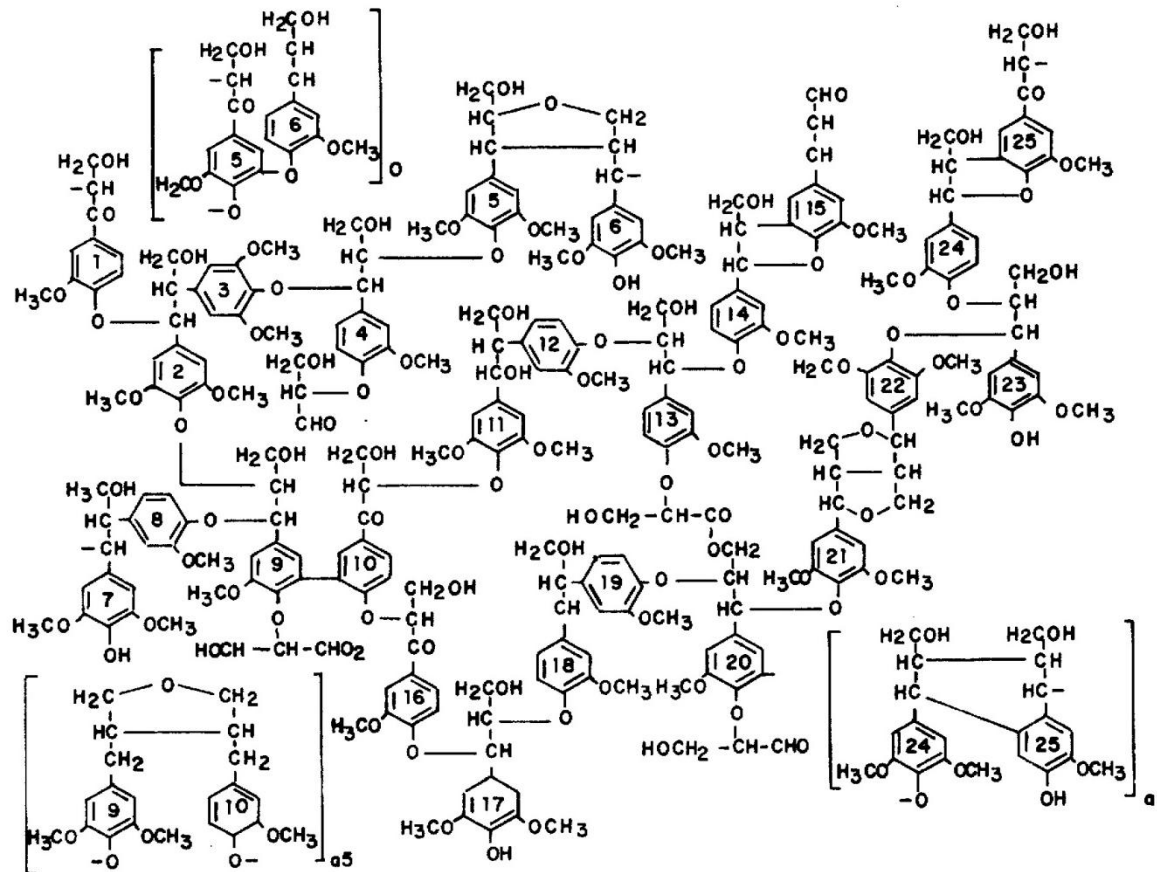


vanilina



seringil (FOLHOSAS)

# Modelo de lignina de folhosas, obtido por Nimz



FONTE: Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica – SENAI / IPT

## Complexos lignina – carboidratos (CLC)

Ligações covalentes entre a lignina e os polissacarídeos da parede celular;

CLCs típicos:

MFC: lignina-xilana;

MFL: lignina-xilana e lignina-manana.

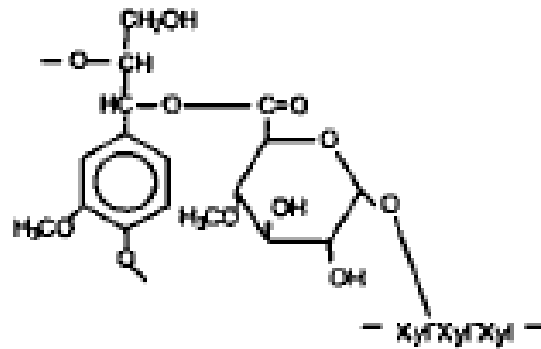
Ligações ocorrem provavelmente com cadeias laterais de arabinose, galactose e ácido 4-O-metilglucorônico das hemiceluloses.

Posições estericamente favoráveis;

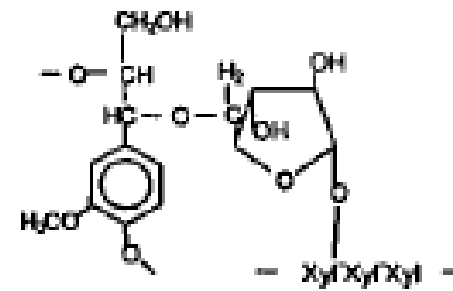
Altas concentrações destes açúcares em preparações de

CLCs.

## Ligações entre a lignina e polissacarídeos

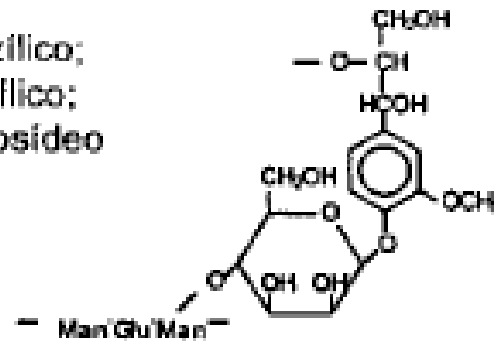


I

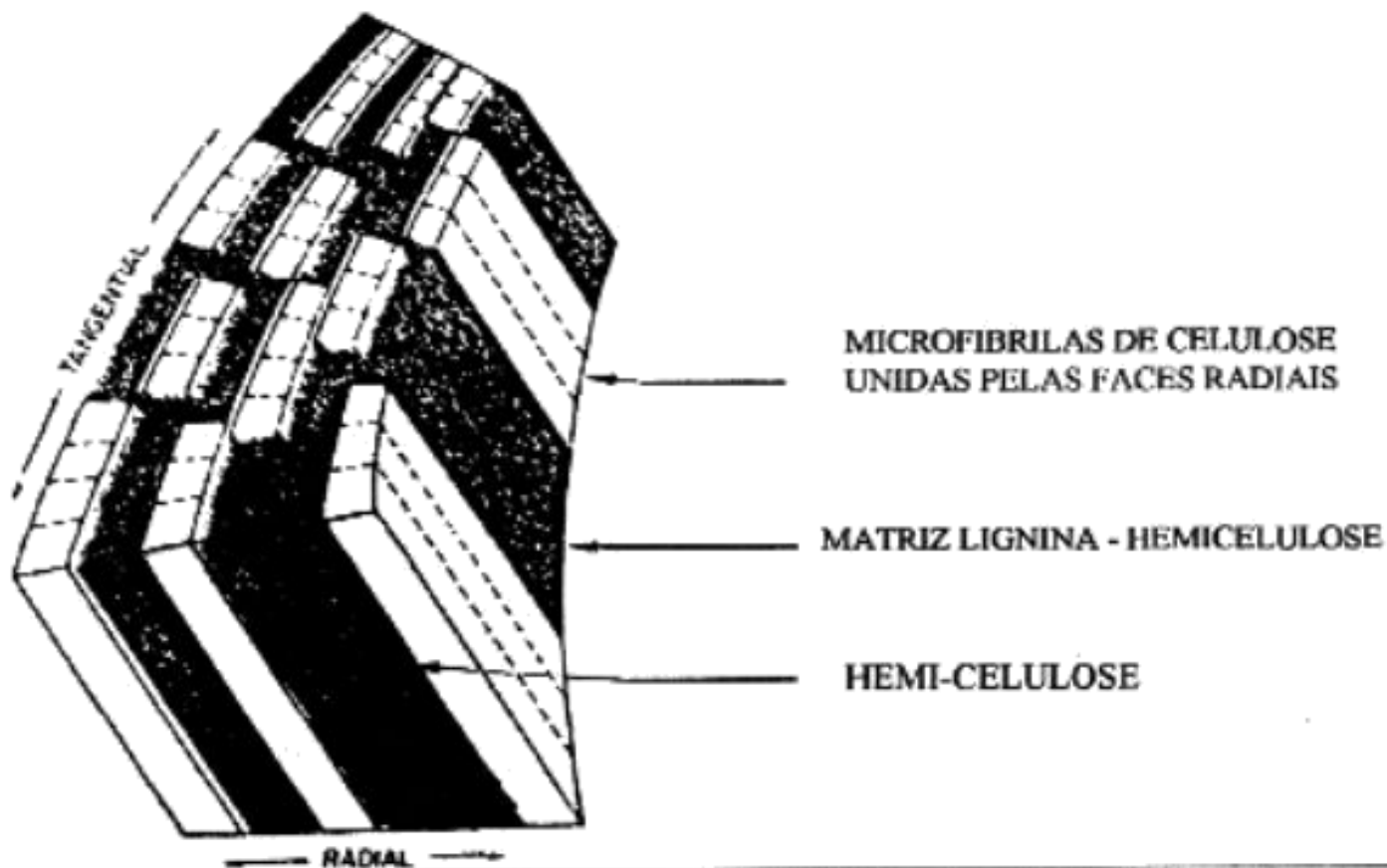


II

- I - Ligação de éster benzílico;
- II - Ligação de éter benzílico;
- III - Ligação de fenil-glicosídeo



## Representação esquemática de arranjo: fibrilas x hemicelulose x lignina



FONTE: Treinamento operacional – Máquina de Papel - VCP

## Classificação geral das ligninas

Lignina guaiacil (G): MFLs

Lignina guaiacil-siringil (G-S): MFCs

Lignina 4-hidroxifenil-guaiacil-siringil (H-G-S): gramíneas

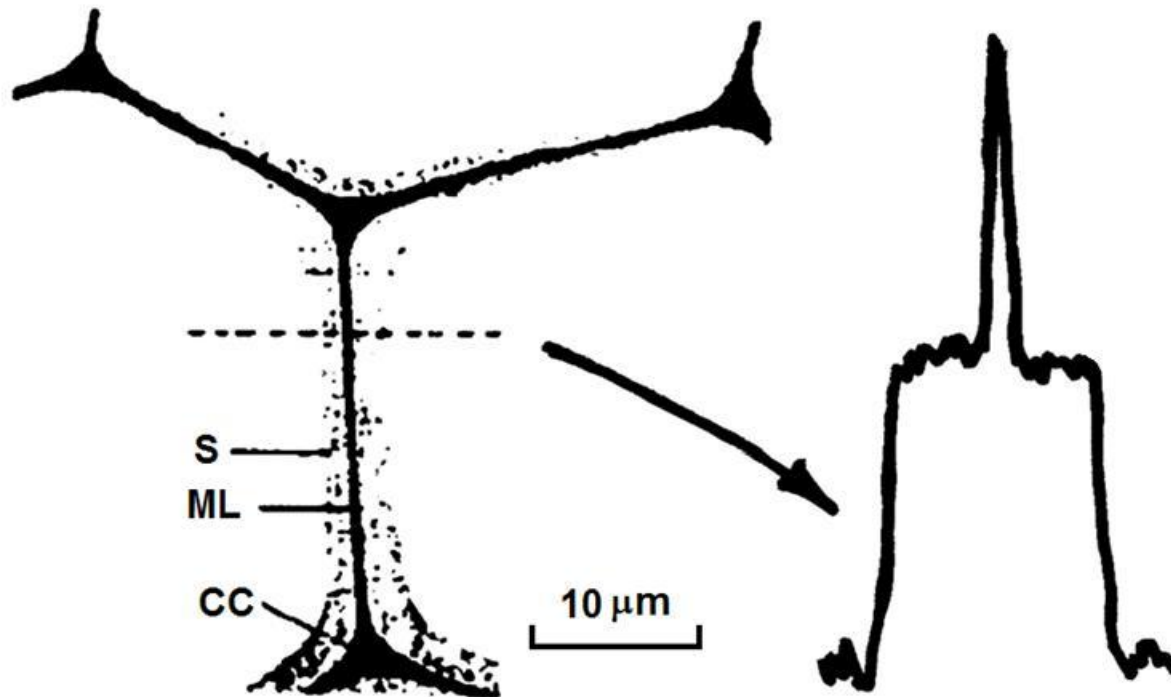
Lignina 4-hidroxifenil-guaiacil (H-G): madeira de compressão

## Homogeneidade da lignina na mesma planta

Tipo de célula	Tipo de lignina
<b>Parede celular</b>	
Fibras, células do raio	S
Vasos	G
<b>M+P</b>	
Entre fibras e raios	G-S
Entre vasos	G

FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)

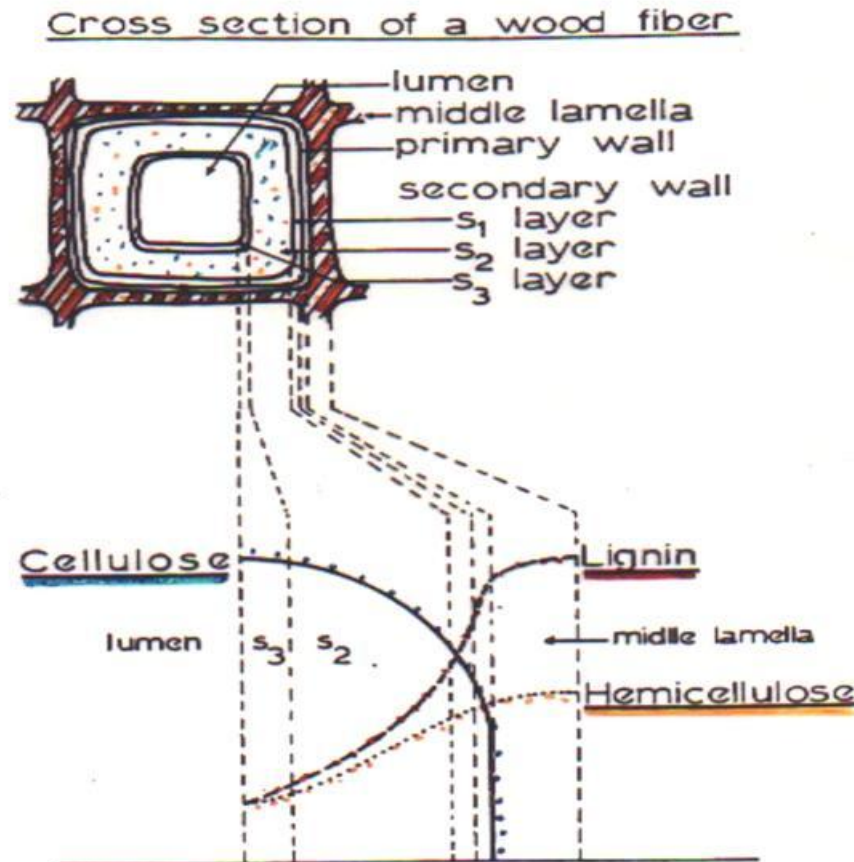
## Distribuição da lignina



FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)



## Distribuição dos componentes químicos através da parede de célula



FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)

## **Extrativos: características gerais**

Componentes da madeira não pertencentes a parede celular;

Extraíveis em água e ou solventes orgânicos neutros;

Baixo e médio peso molecular, exceto: taninos e arabinogalactanas de alto PM

Influenciam nas propriedades físicas da madeira: cheiro, cor, resistência à microrganismos, etc.

## **Extrativos: função**

Material de reserva: ácidos graxos, gorduras, ceras, etc.

Material de proteção: terpenos, polifenóis, etc.

Hormônios vegetais: terpenóides (fitosterol, sistosterol)

FONTE: Química da madeira (Jorge Luiz Colodette)

## Extrativos: localização

Canais de resina (coníferas)

Terpenos e terpenóides (oleoresina)

Canais de goma (folhosas)

Poliprenóis (borracha natural)

Células de parênquima

Ácidos graxos e seus ésteres (ceras, gorduras, esteroides = hormônios vegetais e alcalóides)

Cerne

Polifenóis (taninos, flavanóides, estilbenos, lignanas, tropolôneos).

## **Extrativos: classificação**

Compostos alifáticos;

Terpenos e terpenóides;

Compostos fenólicos;

Álcoois polidroxilados;

Acúcares;

Minerais.

## Constituintes inorgânicos

São as chamadas “cinzas” da madeira:

Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, etc.

SiO<sub>2</sub> e silicatos

Representam cerca de 0,5% em madeiras normais;

1,5% em certas madeiras tropicais.

# Reações químicas da madeira

## Solventes orgânicos neutros e água:

Dissolvem somente extrativos em temperatura ambiente;

A ação de solventes orgânicos neutros é pouco influenciada pela temperatura até 100°C; acima de 150°C, álcoois podem dissolver quantidades substanciais de lignina (ex.: processo Alcell);

A água hidrolisa grupos acetila gerando ácido acético (pH 3,5-4,5).

A taxa de remoção de extrativos pela água aumenta com o aumento de temperatura;

Em altas temperaturas, ocorre hidrólise de lignina e de carboidratos (ex. processo pré-hidrólise kraft para polpa solúvel).

# Reações químicas da madeira

## Ácidos:

Resistente à ácidos diluídos em temperaturas ambiente;

Ocorre hidrólise de  $\text{CH}_2\text{O}$  e lignina em temperaturas elevadas;

Ex: processos ácidos de polpação: sulfito ácido, bissulfito, sulfito neutro.

## Álcalis:

Bases fortes dissolvem lignina, carboidratos e extrativos.

Em temperatura ambiente ocorre ligeira degradação;

Em temperaturas elevadas (100 a 180°C) ocorre significativa dissolução de  $\text{CH}_2\text{O}$ , lignina e extrativos.

Ex.: processos alcalinos de polpação: soda, “kraft”.

# 5

## CONCEITOS BÁSICOS DE POLPAÇÃO



## Polpação – tipos de processos

Objetivo: romper as ligações dentro da estrutura da madeira para liberar as fibras:

<i>Processos de alto rendimento</i>	<i>Mecânico</i>	
	<i>Termomecânico</i>	
	<i>Quimitermomecânico</i>	
	<i>Semiquímico</i>	<i>Sulfito neutro</i> <i>Soda a frio</i> <i>Soda a quente</i>
<i>Processos químicos</i>	<i>Alcalinos</i>	<i>Soda</i> <i>“Kraft”</i> <i>Sulfito alcalino</i> <i>Sulfito neutro</i>
		<i>Ácidos</i>

## **Pastas de Alto Rendimento (PAR)**

A maioria dos constituintes da madeira são retidos;

O processo é de alto rendimento (85 – 95%);

A resistência da folha de papel é fraca. Fibras longas adicionadas para melhorar a resistência;

Papel tem alta reversão de alvura;

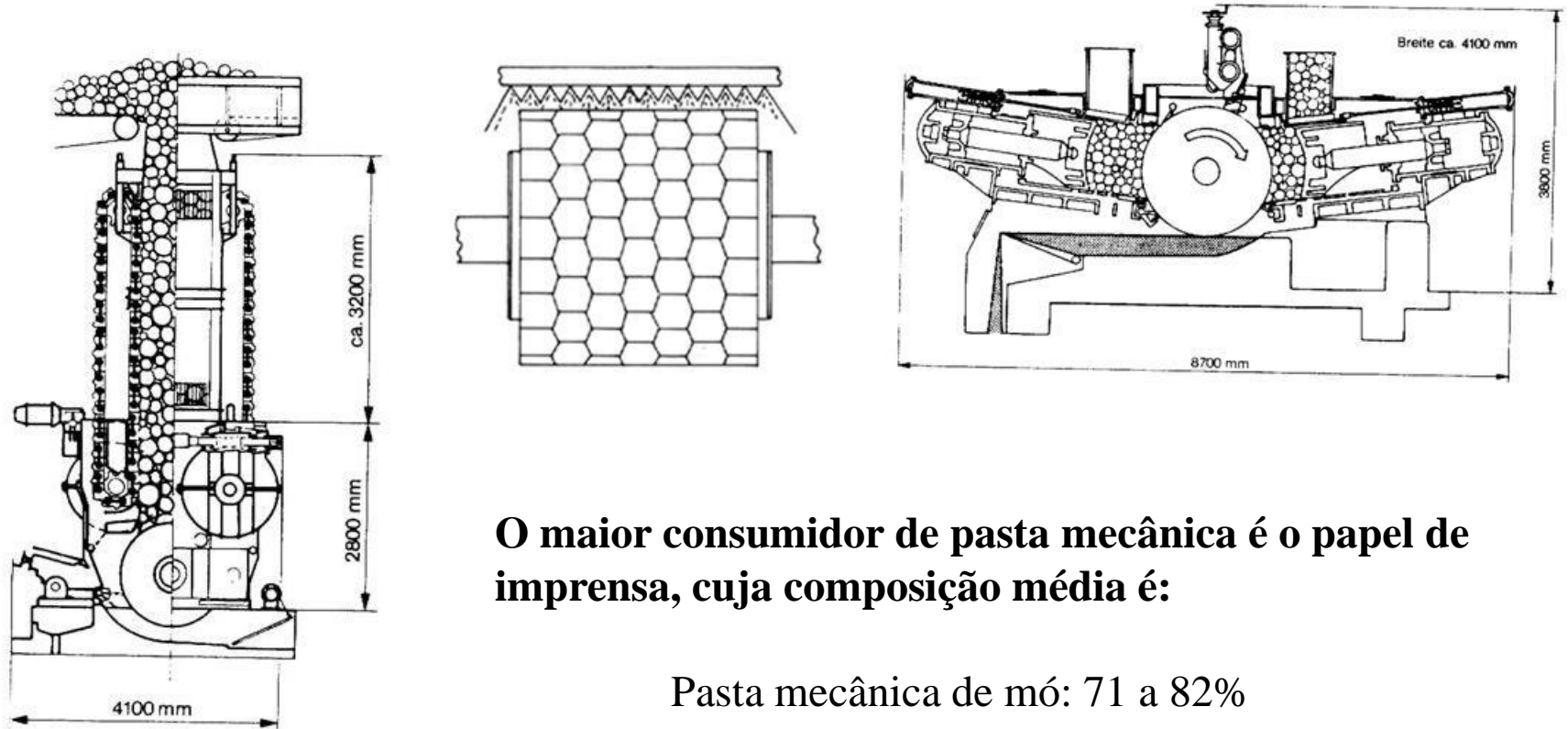
Alto consumo específico de energia;

Usos da PAR: papel de imprensa, papéis de impressão e escrita, papéis revestidos para revistas, papéis absorventes, etc.

## PAR (Pastas de Alto Rendimento)

Tipo de pasta	Designação consagrada	Características do processo	Rendimento
Pasta mecânica de pedra (PM)	(Stone) groundwood pulp (SGWP ou GW)	Desfibramento de madeira roliça em mó à pressão atmosférica	97 %
Pasta mecânica de pedra pressurizada (PMP)	Pressurized (stone) groundwood pulp (PGW)	Desfibramento de madeira roliça em mó sob pressão.	95%
Pasta mecânica de desfibrador despressurizado (PMR)	Refiner mechanical pulp (RMP)	Desfibramento de madeira ou de seus resíduos sob a forma de cavacos ou serragem, em desfibrador de disco, à pressão atmosférica.	95%
Pasta termomecânica (PTM)	Thermomechanical pulp (TMP)	Desfibramento em desfibrador a disco, sob pressão, de cavacos ou serragem de madeira e/ou resíduos lignocelulósicos previamente aquecidos com vapor saturado.	95%
Pasta quimtermomecânica (PQTM)	Chemithermomechanical pulp (CTMP)	Desfibramento em desfibrador a disco, sob pressão, de cavacos ou serragem de madeira e/ou resíduos lignocelulósicos prévia e levemente tratados com reagentes químicos (NaOH, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ).	93%
Pasta semiquímica soda a frio	Cold soda	Desfibramento sob pressão atmosférica de cavacos tratados com licor de hidróxido de sódio.	85%
Pasta semiquímica sulfito neutro	Neutral sulfite semimechanical pulp (NSSC)	Cavacos são aquecidos com vapor à pressão atmosférica, sulfito e carbonato de sódio a um pH entre 8 e 9, e cozidos em fase vapor a temperatura entre 160 e 180°C por 60 min.	85%
Pasta semiquímica soda a quente	Soda pulp	Resíduos agrícolas são aquecidos com vapor à pressão atmosférica, impregnados com solução de hidróxido de sódio de 10% e cozidos em fase vapor a temperatura entre 160 e 180°C por 15 min ou mais.	60%

## Pasta mecânica (GW)

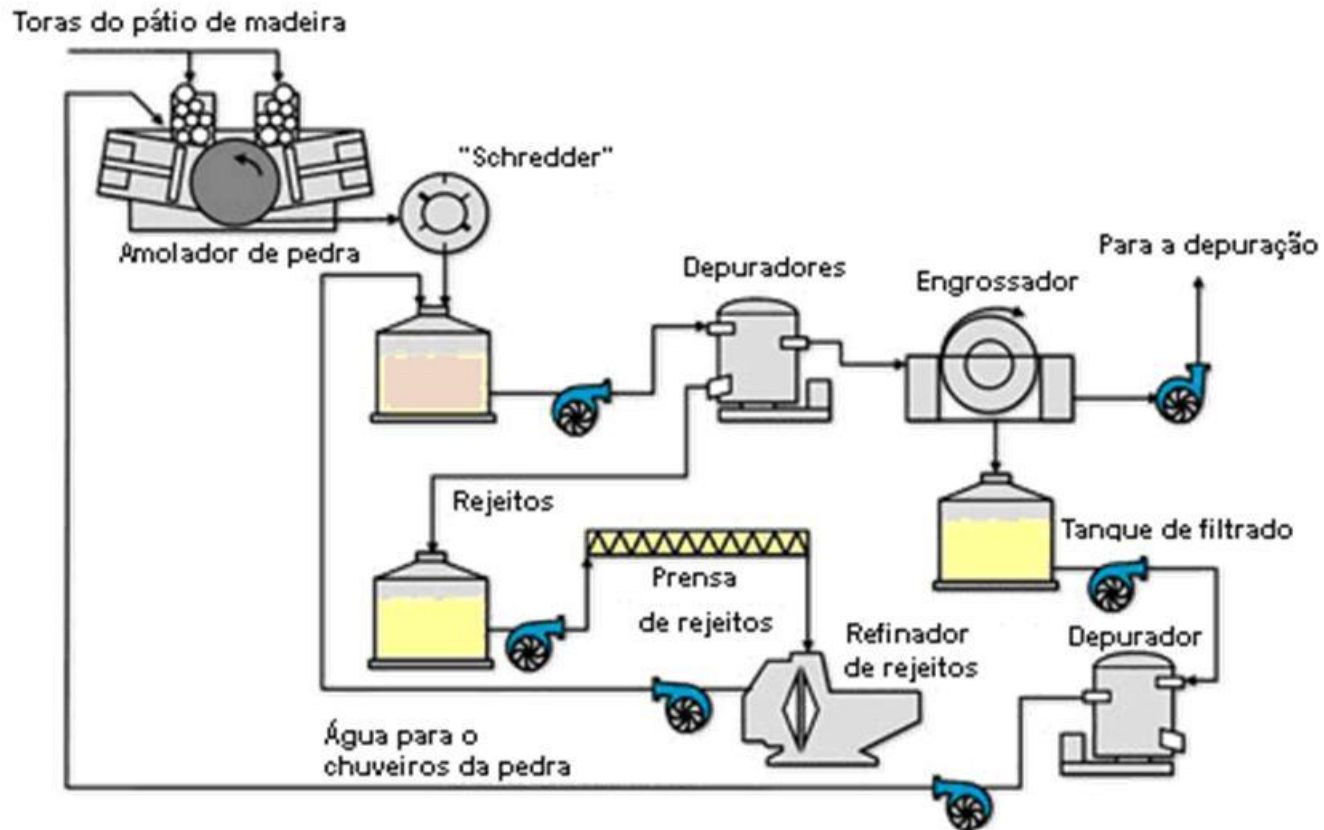


**O maior consumidor de pasta mecânica é o papel de imprensa, cuja composição média é:**

Pasta mecânica de mó: 71 a 82%  
Pasta química: 18 a 25%  
Cargas e aditivos: 0 a 4%

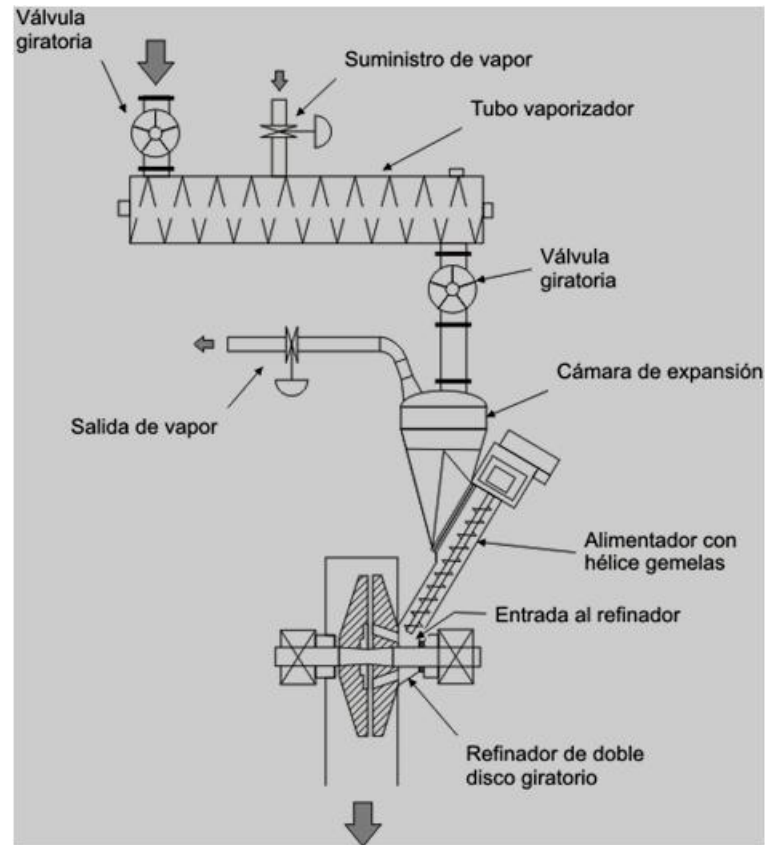
FONTE: Papiermacher Taschenbuch

# Exemplo de fluxograma do processo de pasta mecânica

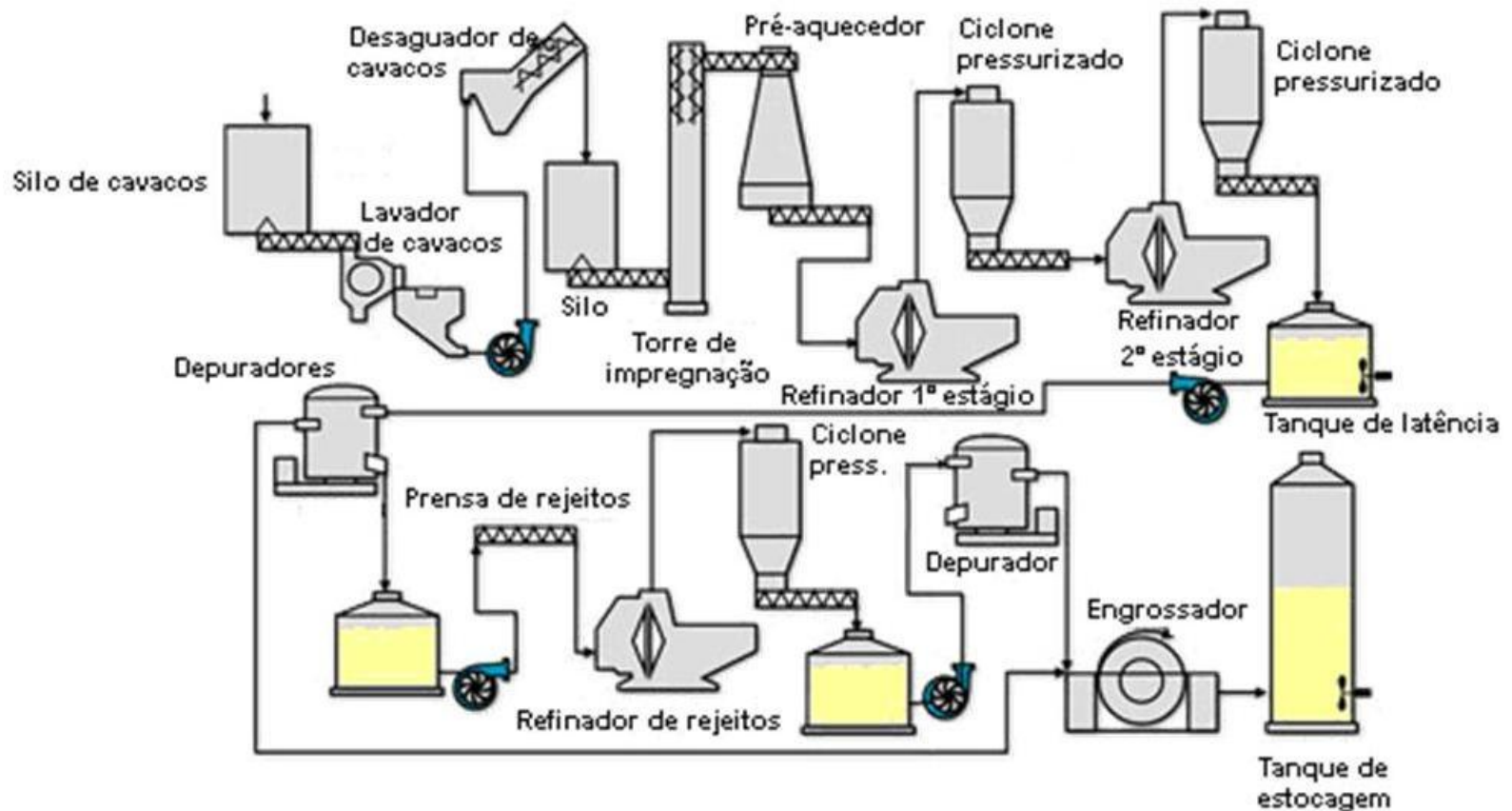


FONTE: (não identificada)

## Detalle de um processo TMP



## Exemplo de fluxograma do processo de pasta CTMP



## Polpação química

Usa agentes químicos e calor para dissolver a lignina da madeira e liberar o material fibroso;

Dissolve a lignina e deixa a celulose e algumas hemiceluloses;

Principais processos:

Kraft – NaOH + Na<sub>2</sub>S, pH 11-14 (>90% da polpa produzida)

Soda – NaOH, pH 11-14

Sulfito – SO<sub>3</sub><sup>=</sup>, pH 1-3 (muito usado antigamente)



## Processo “kraft”

O processo soda surgiu por volta de 1824.

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. O rendimento é relativamente baixo (em torno de 50%).

Faixa de produtos que usam polpa “kraft”: papéis de impressão e escrita, incluindo os xerográficos, papéis pra embalagens (pasta não branqueada e branqueada), papéis “tissue”, etc.)

## Processo “kraft”

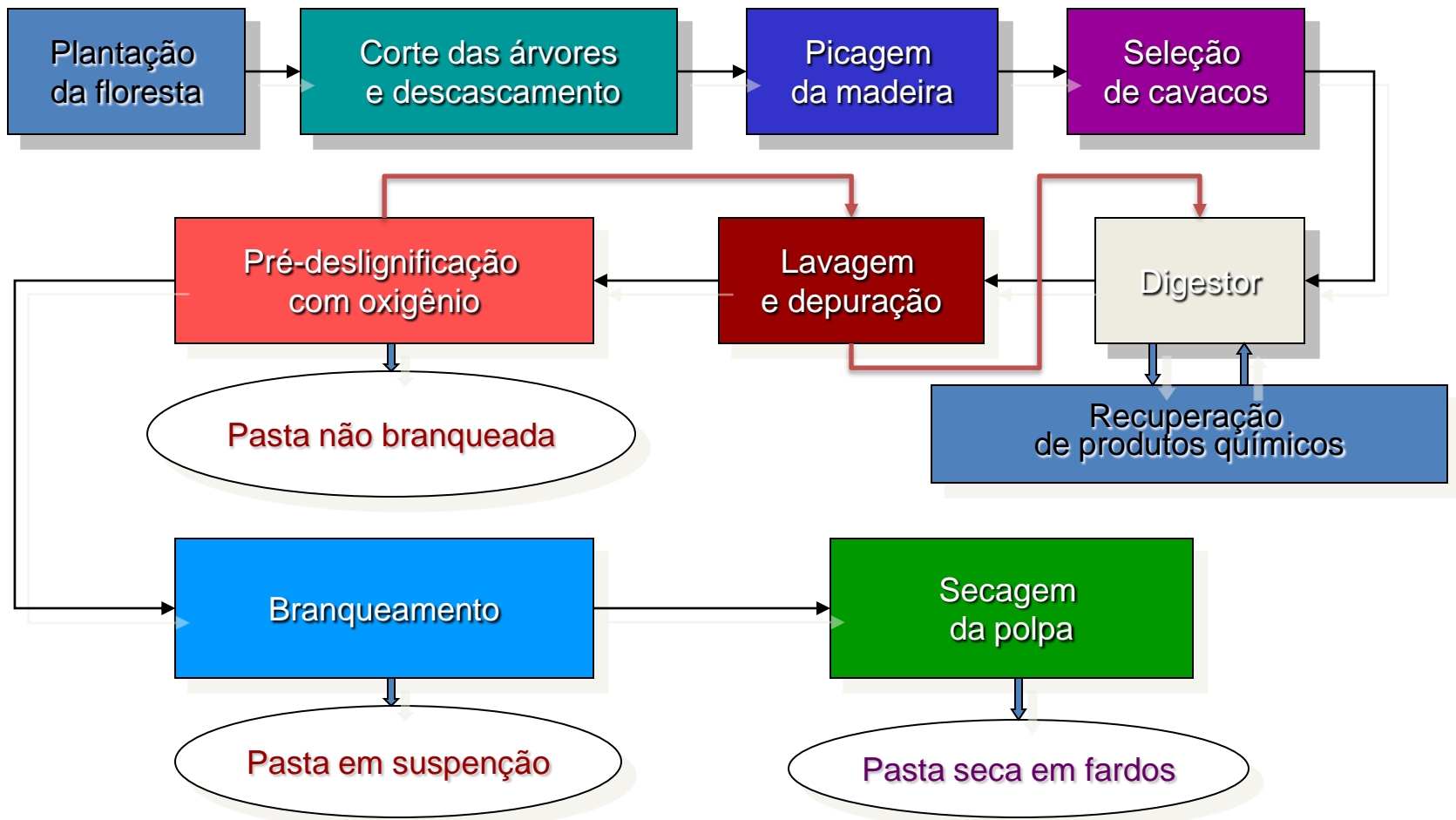
**Vantagens:** grande flexibilidade quanto a madeira, ciclos de cozimento mais curtos, polpa branqueada a alta alvuras, podem ser usadas madeiras resinosas, polpa de alta resistência, sub-produtos valiosos (“tail oil” e outros”), eficiente sistema de recuperação de produtos químicos.

**Desvantagens:** alto custo de investimento, inevitável poluição odorífica, baixo rendimento, baixa alvura após cozimento e alto custo de branqueamento.

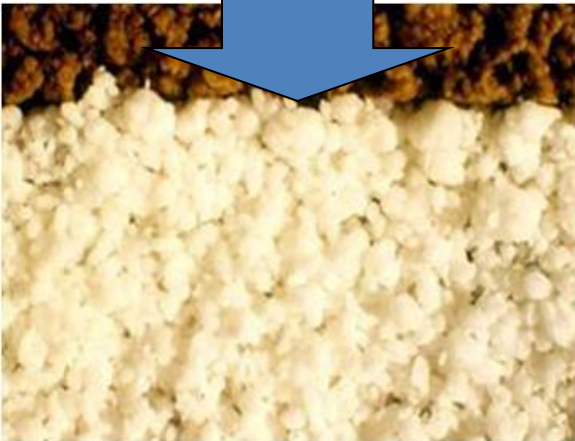
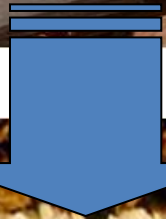
## Processo “kraft”



## Exemplo de fluxograma do processo “kraft”



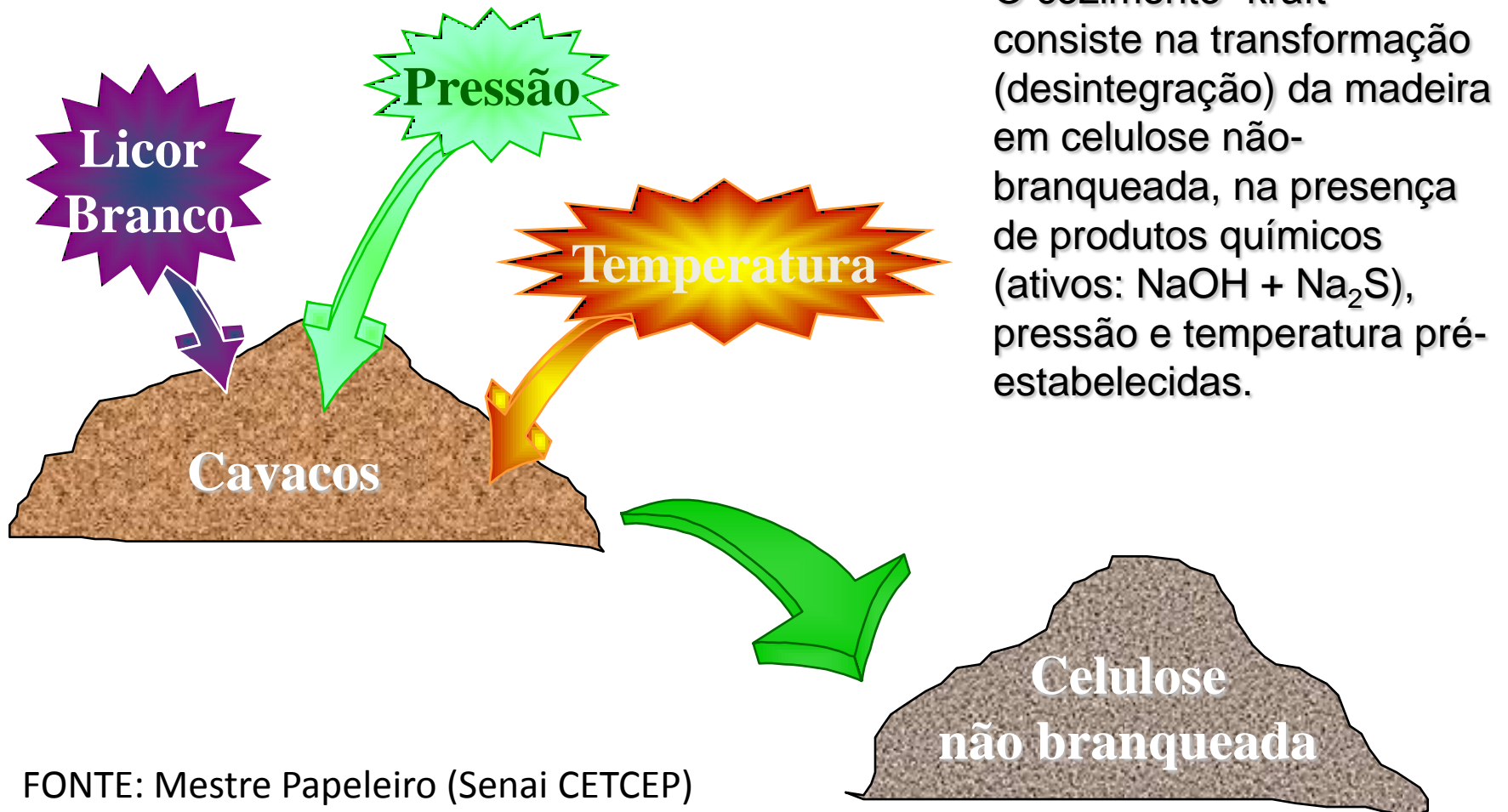
## Definição de polpação



Polpação é o processo usado para reduzir a madeira a uma massa fibrosa.

É o meio pelo qual são rompidas as ligações existentes dentro da estrutura da madeira para separar as fibras.

## Definição de cozimento “kraft”



# Polpação “kraft”

Controle básico do processo de polpação “kraft”:

Objetivo: maior rendimento com um número “kappa” e viscosidade da polpa marrom aceitável;

**Rendimento:**  $(t_{\text{polpa}} / t_{\text{madeira seca}}) \times 100$

**“Kappa”:**

Medida do teor de lignina residual na polpa.

% lignina = 0,15 x número “kappa” (Hexas:?)

**Viscosidade:**

Proporcional ao grau de polimerização da celulose e hemicelulose;

Dissolução da polpa em solvente específico e determinado o tempo de seu escoamento por capilar.

# Polpação “kraft”

## Variáveis associadas com a madeira:

Espécie da madeira;

Fatores de crescimento (teor de cerne, alburno, madeira de primavera e de verão, madeira de reação e madeira juvenil);

Densidade básica;

Composição química;

Tempo de estocagem da madeira e do cavaco;

Dimensões do cavaco.

FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )



# Polpação “kraft”

## Variáveis associadas com o processo:

Carga de álcali ativo:  $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH}$

Sulfidez ou sulfididade:  $\text{Na}_2\text{S} \times 100 / (\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOH})$

Distribuição da carga de álcali

Tempo e temperatura

Fator H

# Polpação “kraft” - Reações

## Reações durante a polpação:

Cozimento (contínuo ou descontínuo) dividido em três fases:

Fase inicial – aquecimento até 120°C-140°C com degradação e remoção de grupos acetilas de parte de hemiceluloses: pouca deslignificação;

Fase principal – na temperatura de cozimento > 140°C com reação mais seletiva para degradação das ligações dos grupos fenil-propanol da lignina, dissolução e remoção para o licor;

Fase terminal: que deve ser mais curta para evitar a degradação descontrolada dos carboidratos - perda de rendimento e qualidade (viscosidade).

# Polpação “kraft” - Reações

## Reações da lignina durante a polpação (desejáveis):

Unidades fenil-propanol com 56-75% ligações éter (fáceis de romper com NaHS), 25-35% ligações C-C

Quebra de ligação C-C;

Quebra de ligação éter B-arila não fenólicas;

Formação de mercaptanas;

Reação de condensação.

## Resultado das reações:

Polpa marrom no “kappa” e viscosidade desejada;

Lignina e carboidratos dissolvidos incorporados no licor de cozimento formando o licor preto.

# Polpação “kraft” - Reações

**Reações dos carboidratos durante a polpação “kraft” (indesejáveis):**

Inchamento alcalino;

Dissolução alcalina;

Hidrólise dos grupos acetila;

Dispolimerização terminal (reação de descascamento);

Reação e bloqueio;

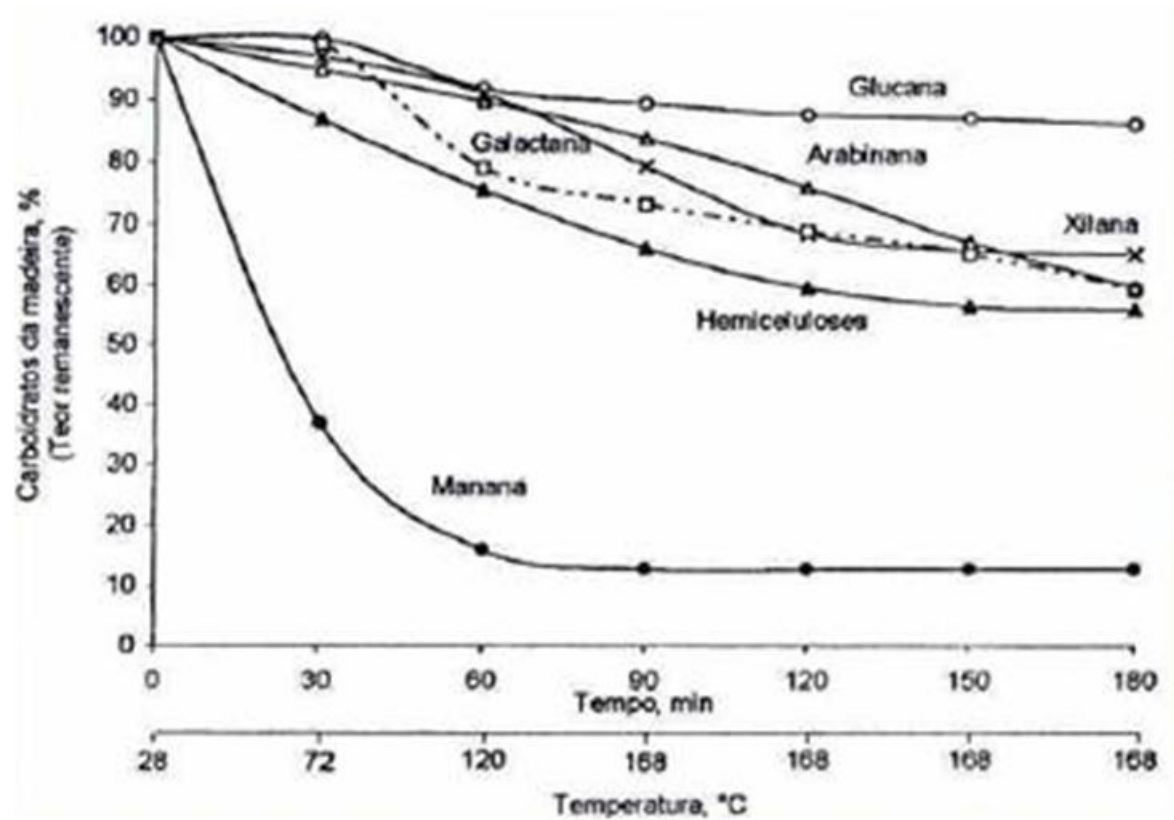
Hidrólise alcalina das ligações  $\beta$ -glicosídeas;

Reações de fragmentação alcalina;

Reprecipitação e absorção da lignina

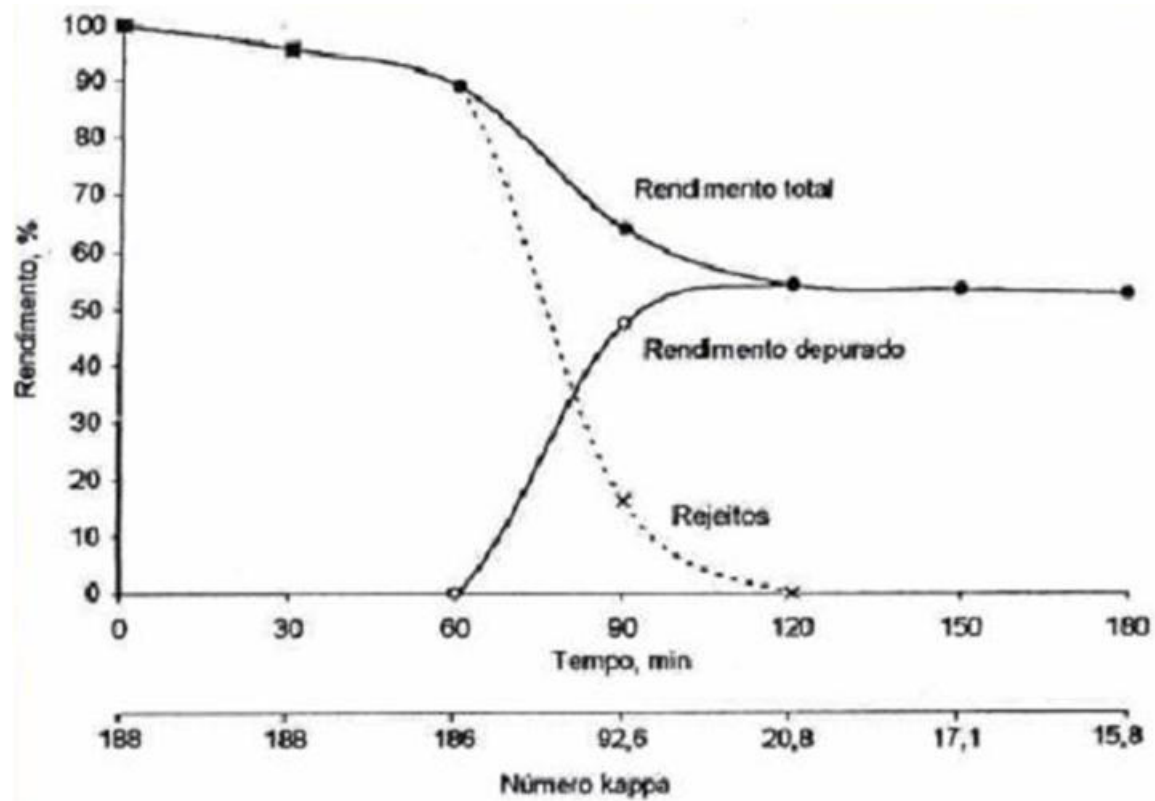
FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

## Remoção dos carboidratos da madeira *E. grandis* durante cozimento “kraft” convencional



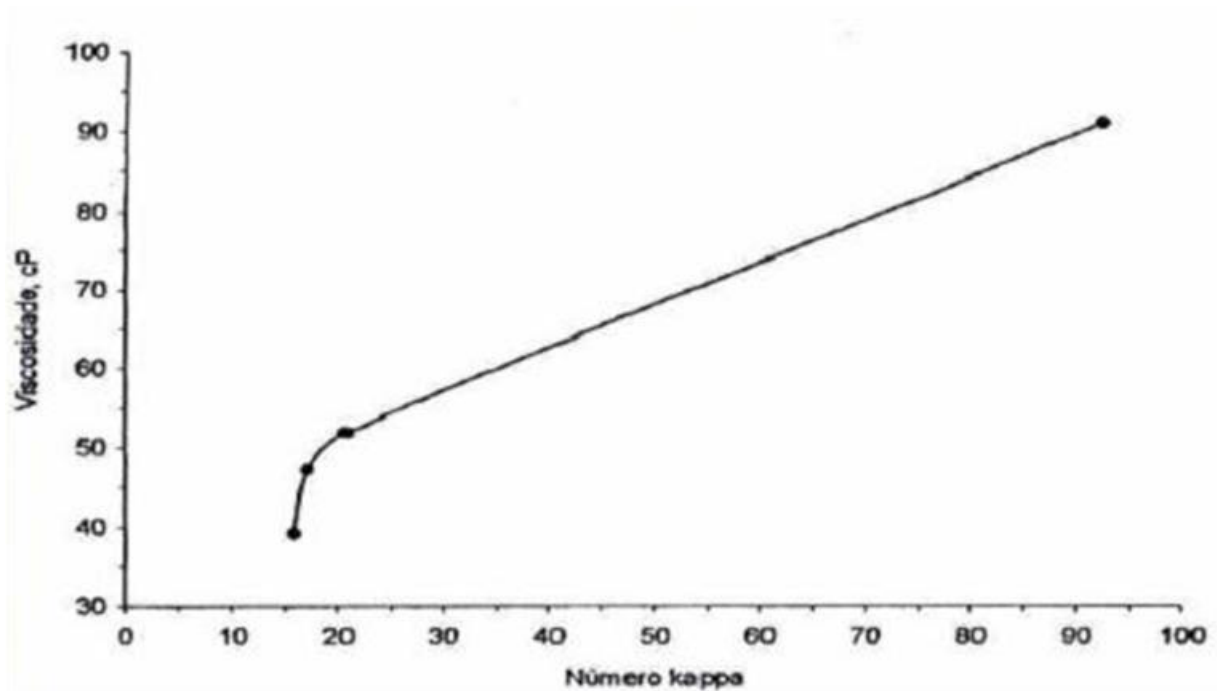
FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

## Variação no rendimento do processo “kraft” convencional



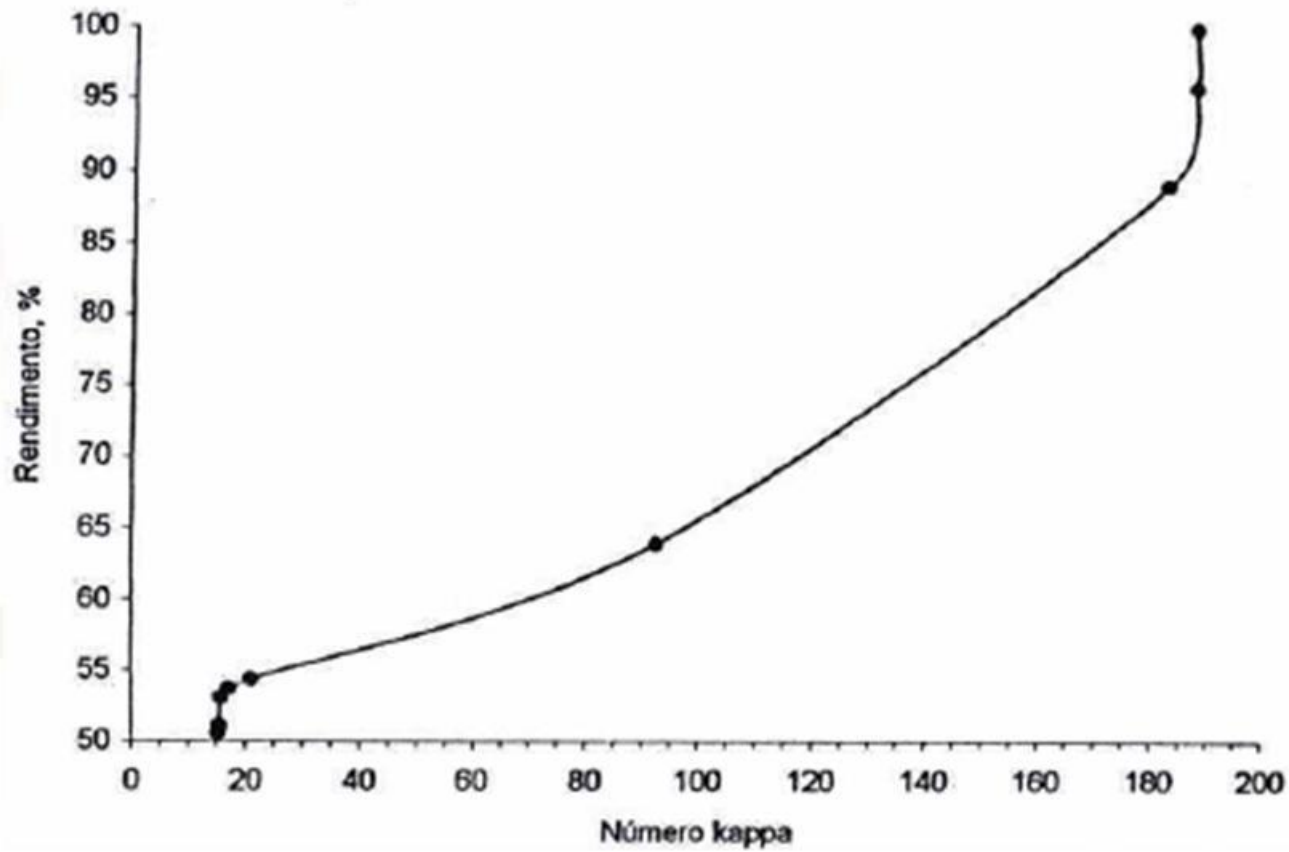
FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

## Variação da viscosidade da polpa com o número “kappa” no cozimento “kraft” convencional



FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

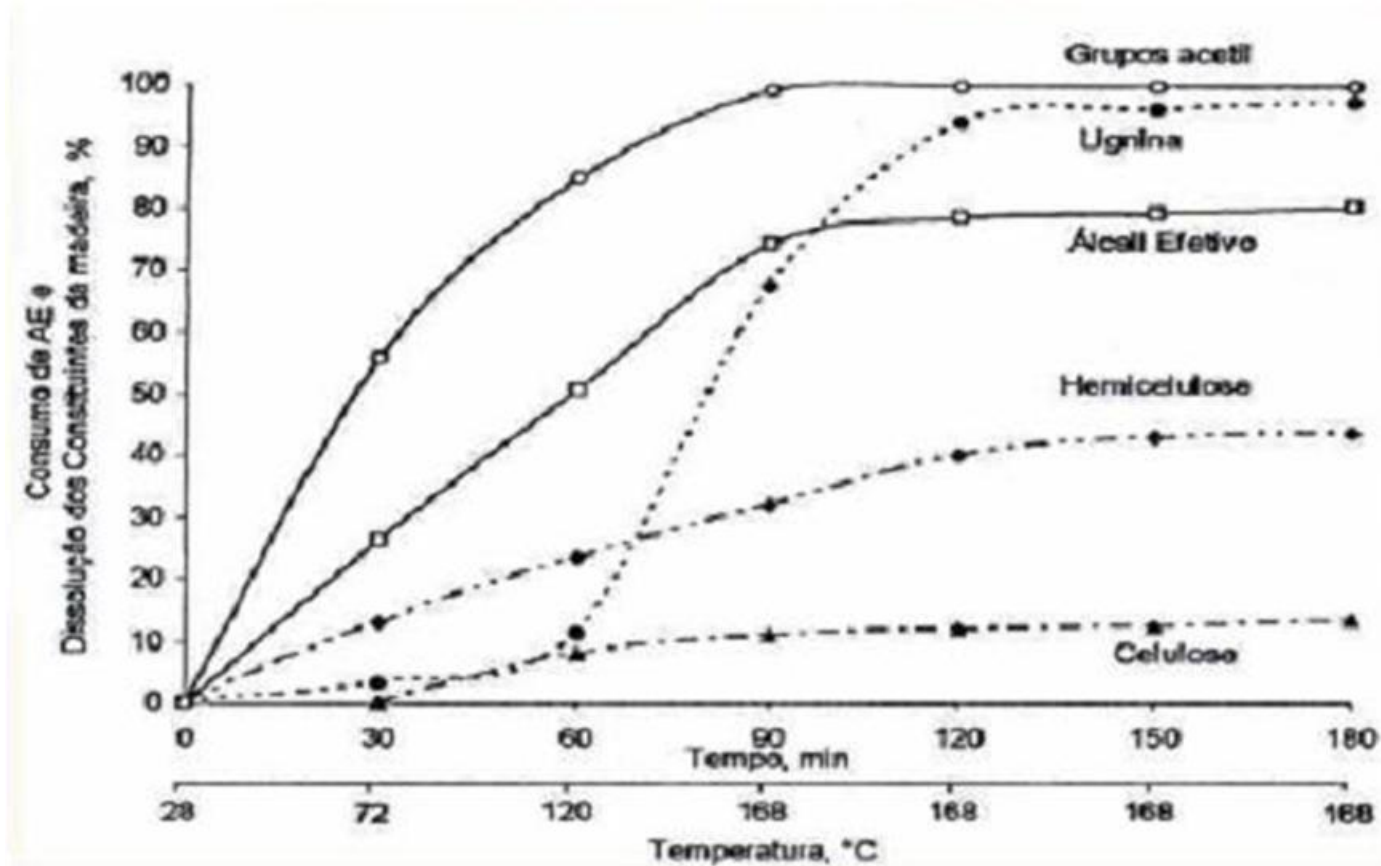
## Variação do rendimento em relação ao grau de deslignificação



FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

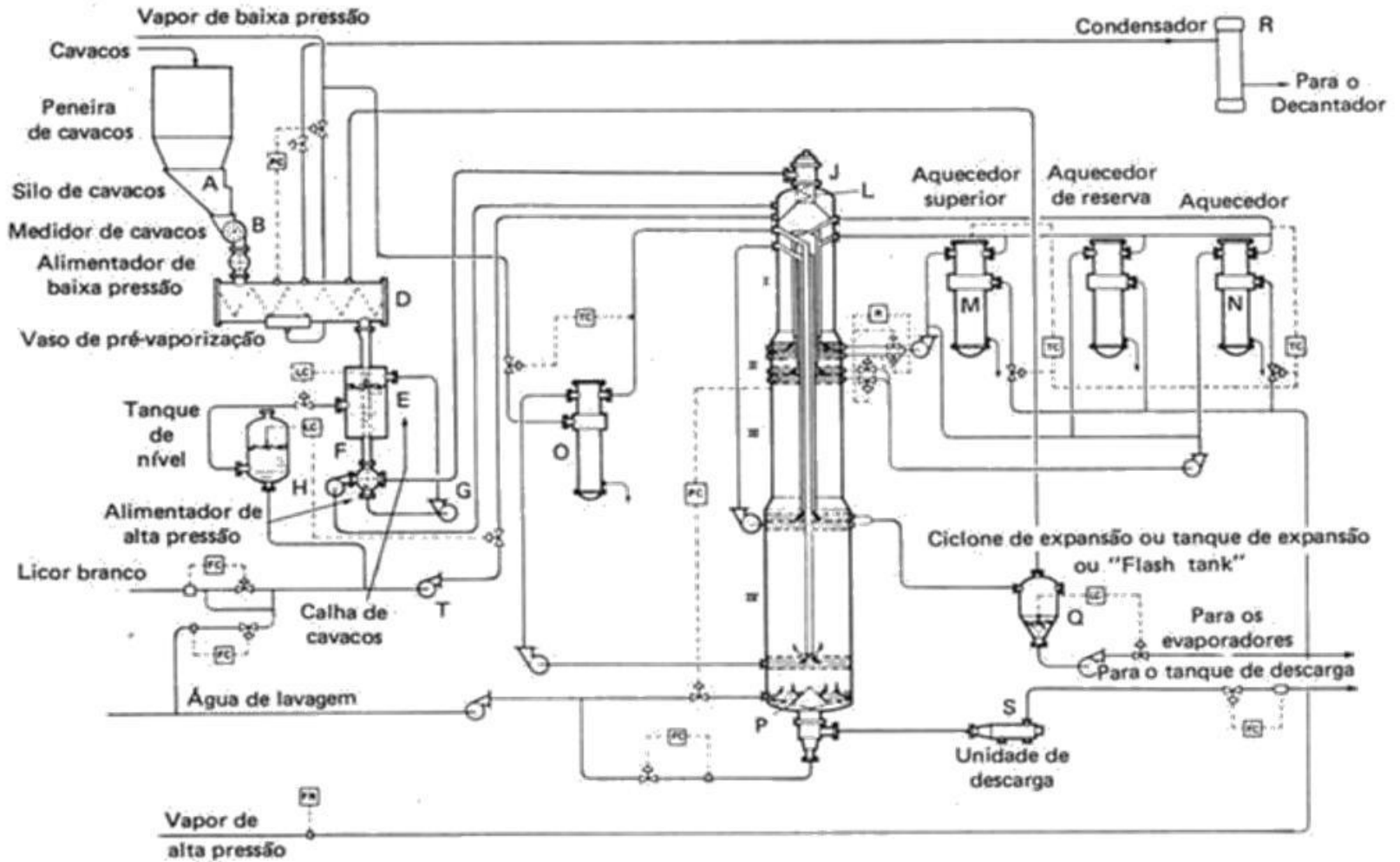


## Consumo de álcali e remoção dos constituintes da madeira no cozimento “kraft” convencional



FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

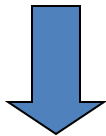
# Digestor contínuo



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.



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

Vaso de vaporização

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.

Calha de cavaco

Vapor

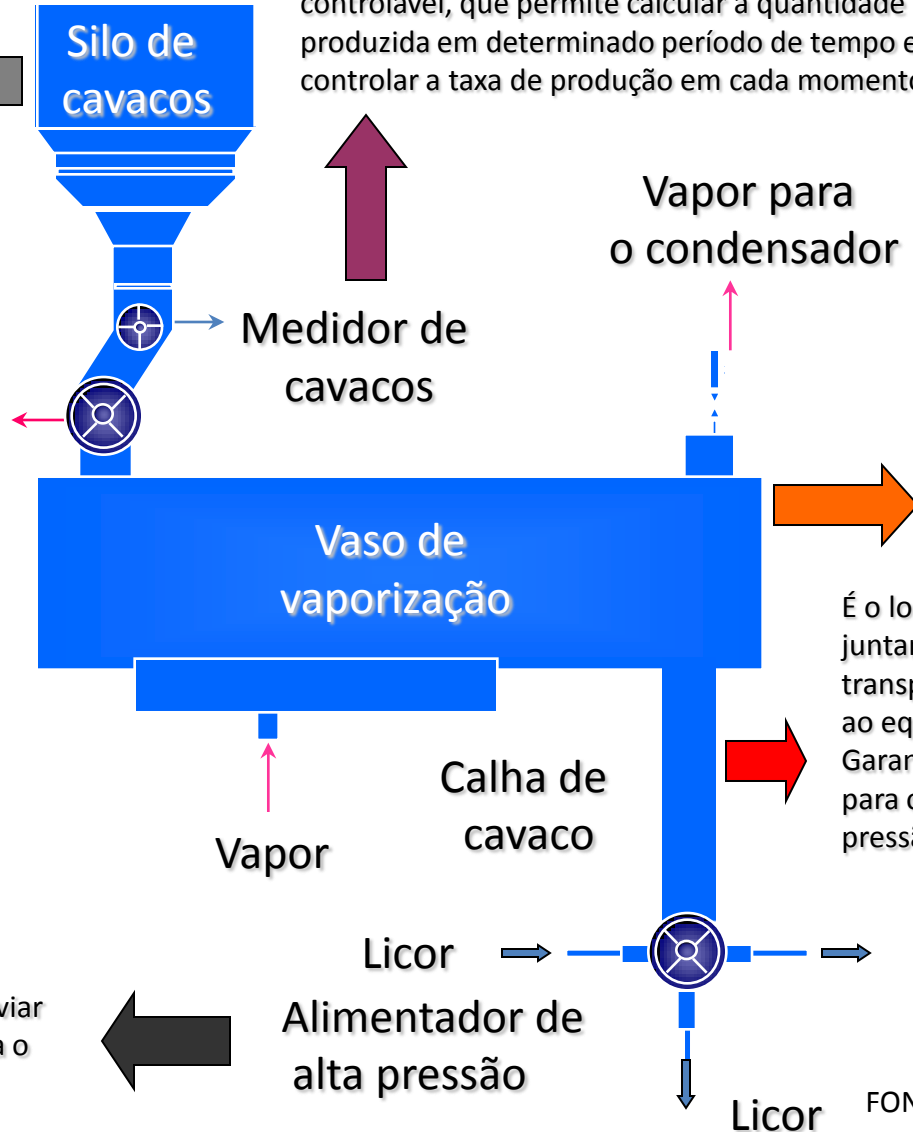
Licor Alimentador de alta pressão

Licor e cavacos para digestor

Licor

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

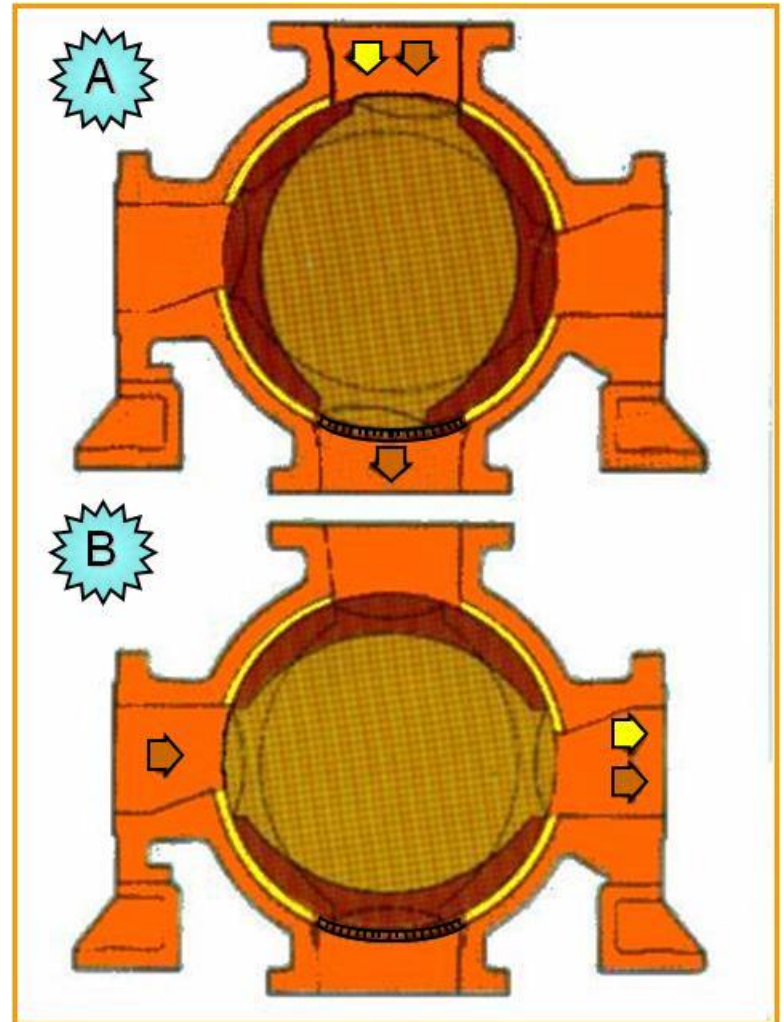
FONTE: SENAI CETCEP



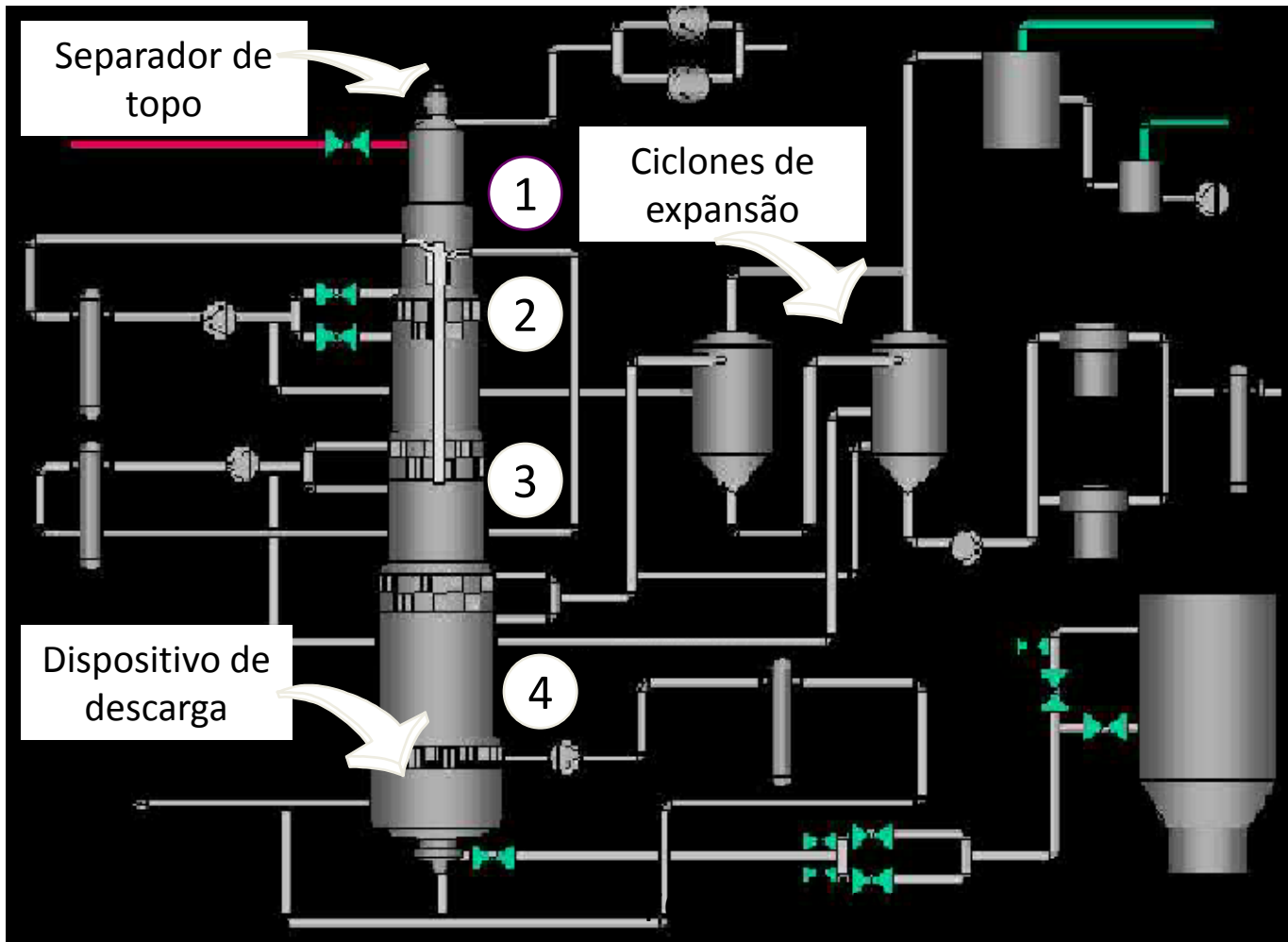
## Alimentador de alta pressão

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.



## Zonas de operação do digestor

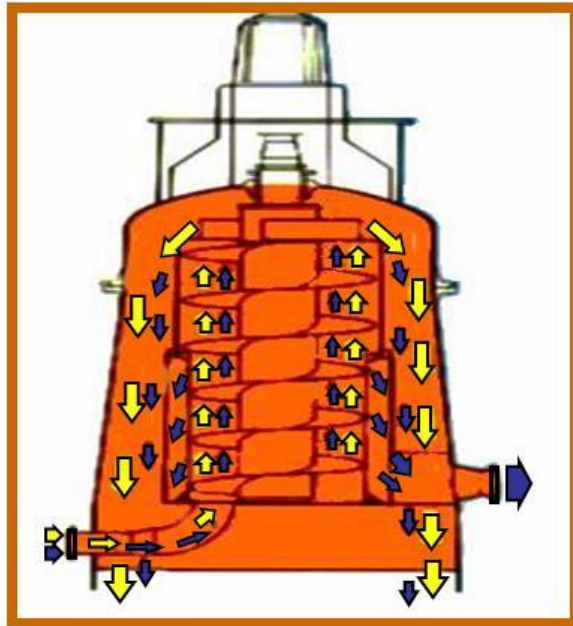


- 1 IMPREGNAÇÃO
- 2 AQUECIMENTO
- 3 COZIMENTO
- 4 LAVAGEM HI-HEAT

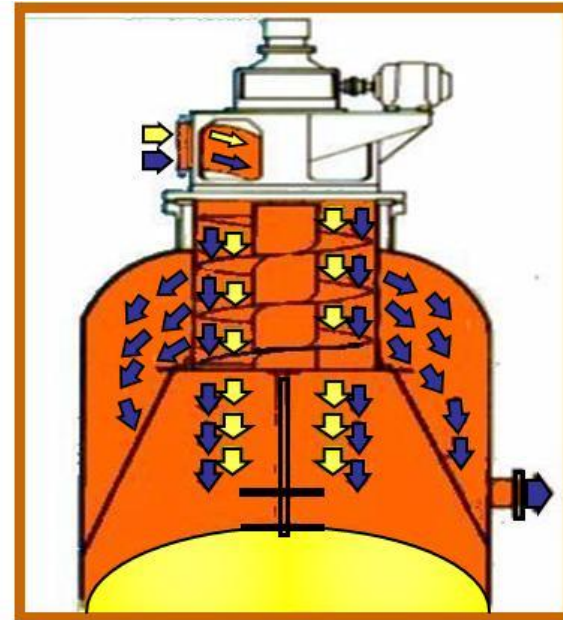
## Separador de topo

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)



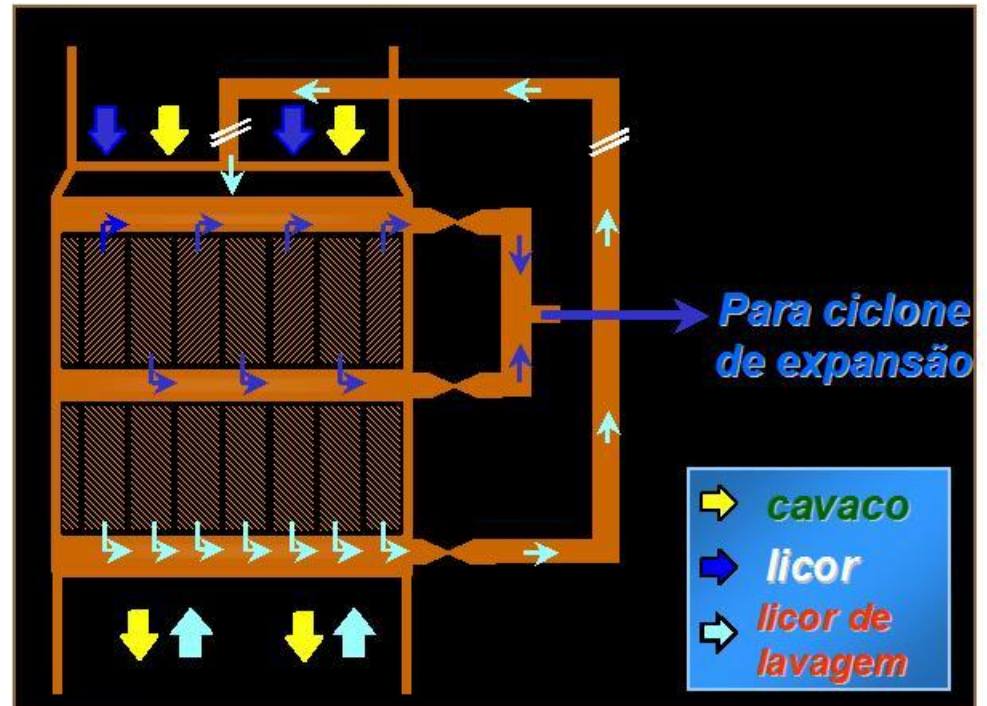
Separador de topo descendente  
(outros)



## Lavagem hi-heat

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

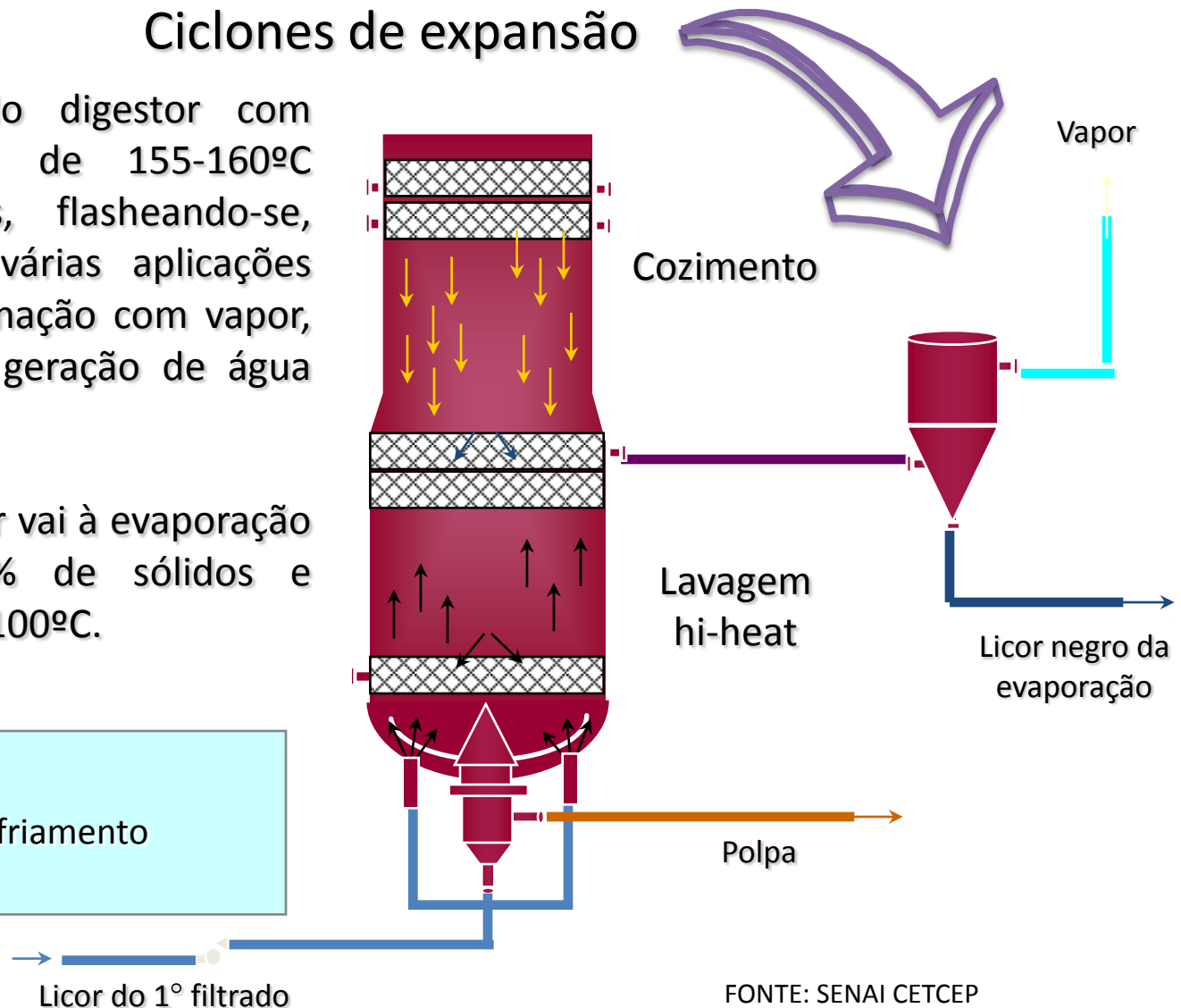
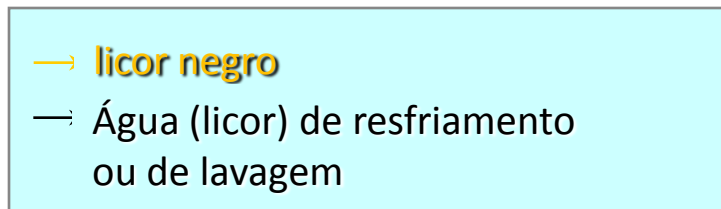
O licor negro é extraído através de peneiras e enviado para a recuperação e o vapor liberado é utilizado na impregnação dos cavacos.



## Ciclones de expansão

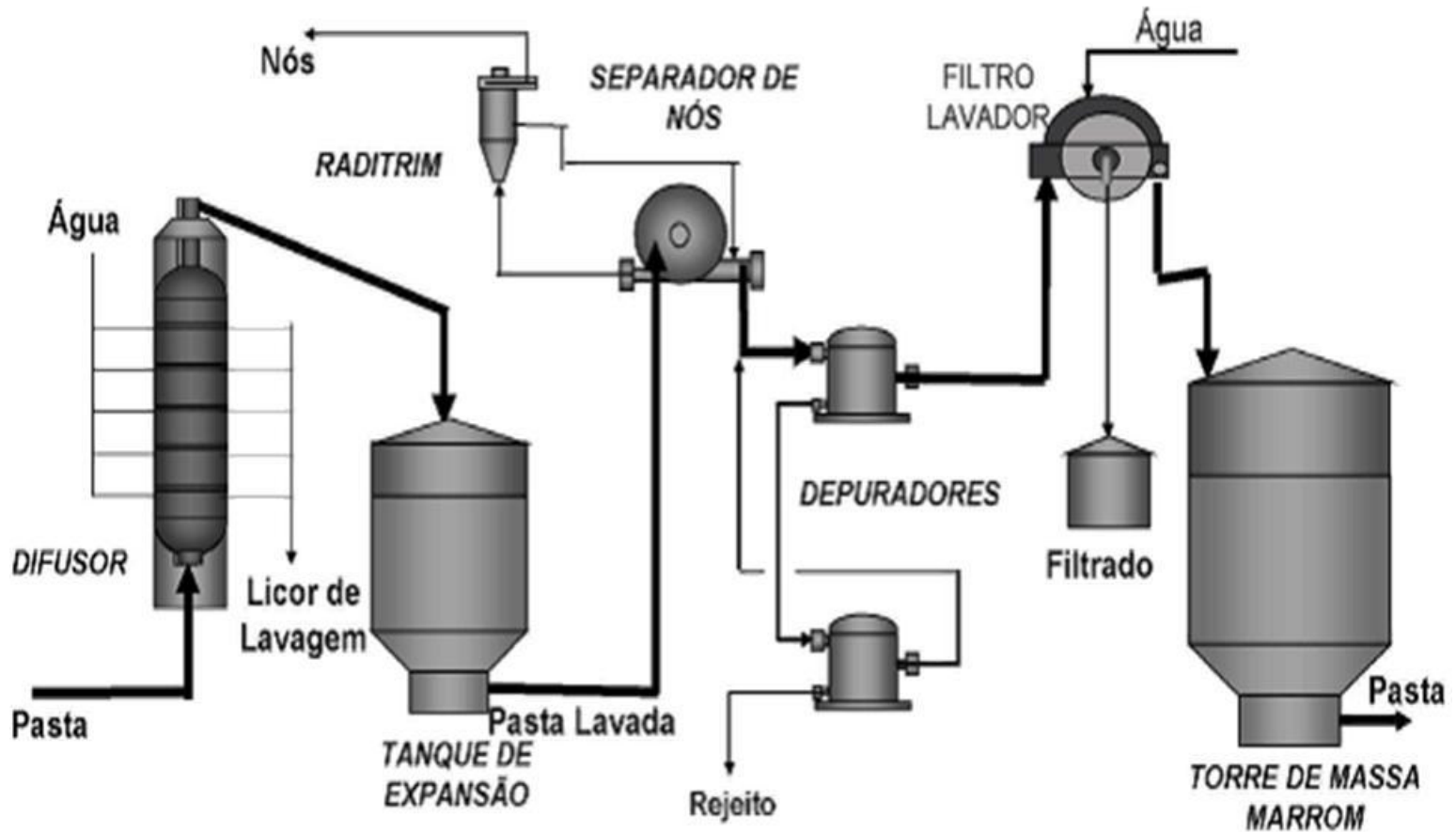
O licor extraído do digestor com temperatura próxima de 155-160°C passa pelos ciclones, flasheando-se, gerando vapor para várias aplicações como: vaso de impregnação com vapor, silo com vaporização, geração de água aquecida, etc.

Após os ciclones, o licor vai à evaporação já com aprox. 18,2% de sólidos e temperatura inferior a 100°C.

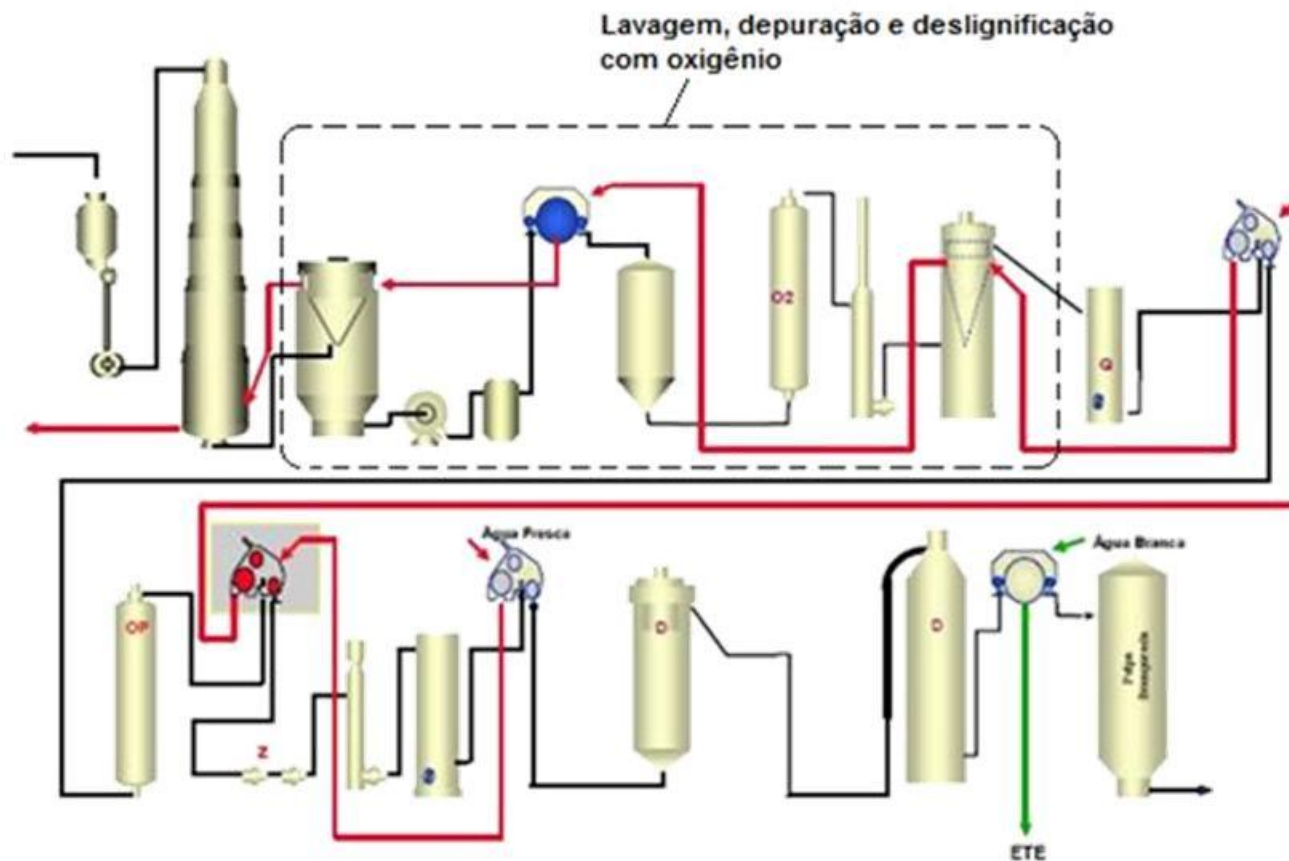




## Fluxograma de lavagem



## Fluxograma geral com ênfase na deslignificação com oxigênio



FONTE: Curso de fabricação de celulose e papel – Bracelpa / ABTCP

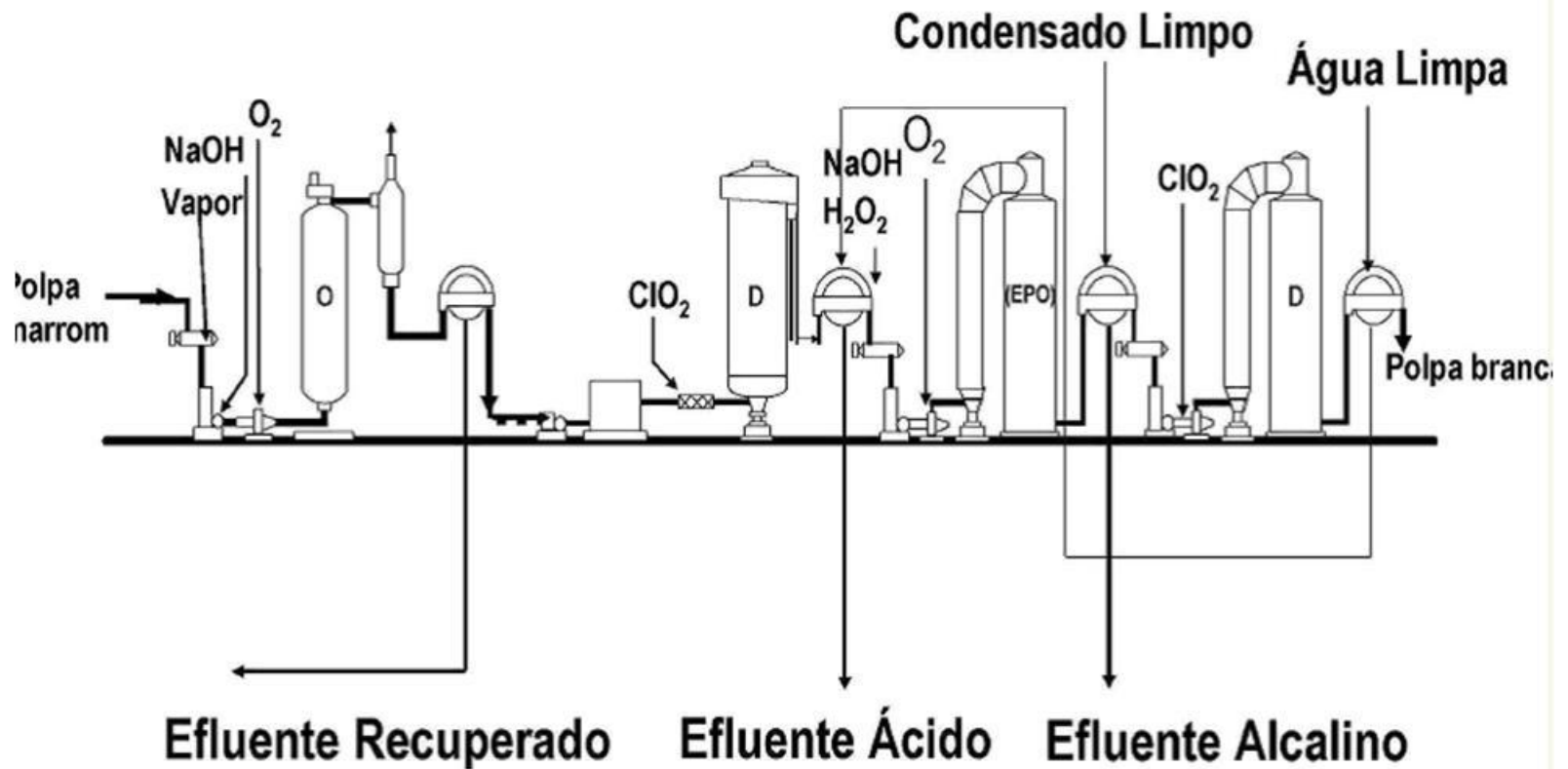
# Branqueamento

Os reagentes utilizados enquadram-se em dois tipos:

Reagentes redutores	Bissulfito de sódio ( $\text{NaHSO}_3$ )
	Ditionitos de zinco e sódio ( $\text{ZnS}_2\text{O}_4$ e $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) (antigamente conhecidos por hidrossulfitos).
	Borohidreto de sódio ( $\text{NaBH}_4$ ) (também conhecido por tetrahidroborato de sódio).
Reagentes oxidantes	Peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
	Cloro ( $\text{Cl}_2$ )
	Dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ )
	Hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ )
	Oxigênio ( $\text{O}_2$ )
	Ozônio ( $\text{O}_3$ )

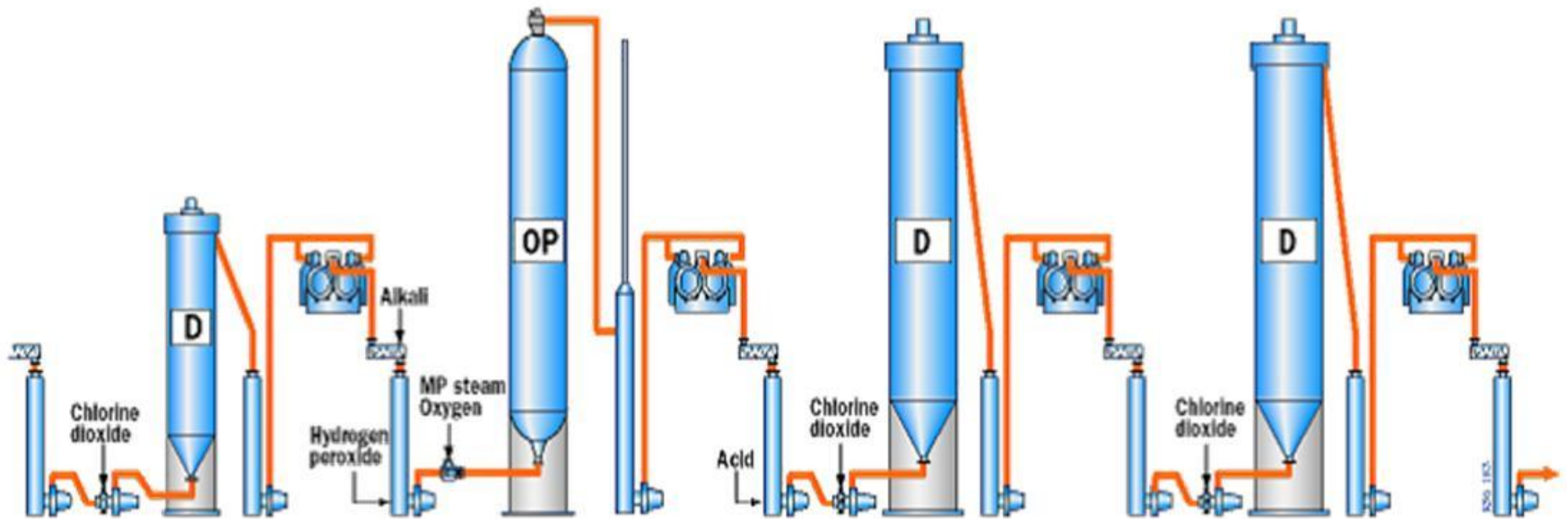
OBS.: reagentes em vermelho, são raramente utilizados nos dias de hoje.

# Branqueamento



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

# Branqueamento



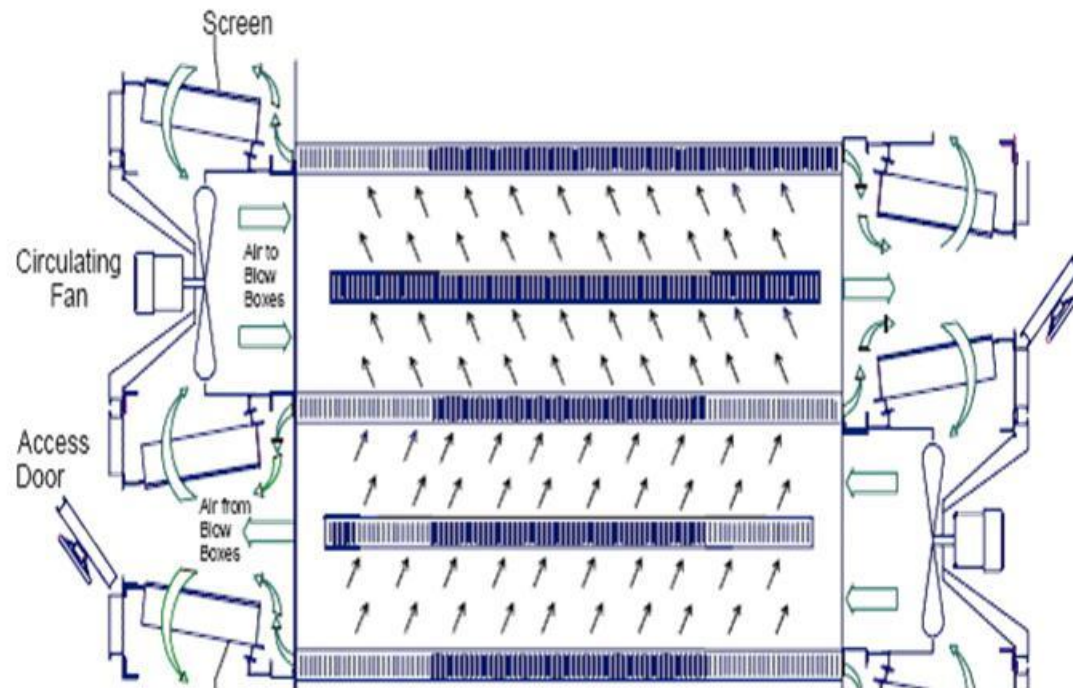
FONTE: Artigo - A Compact Approach to Washing in Bleaching – ABTCP

## Evolução das seqüências de branqueamento

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

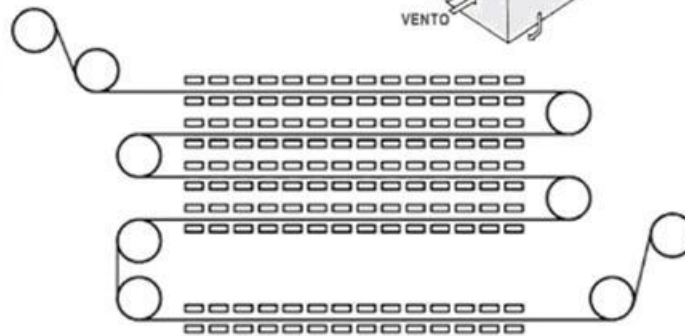
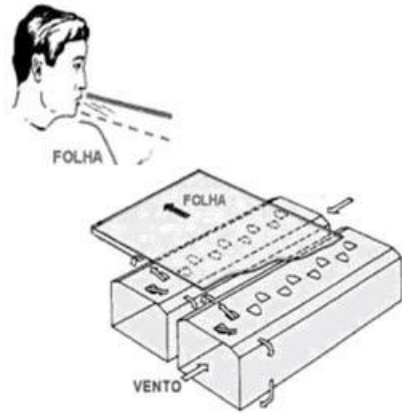
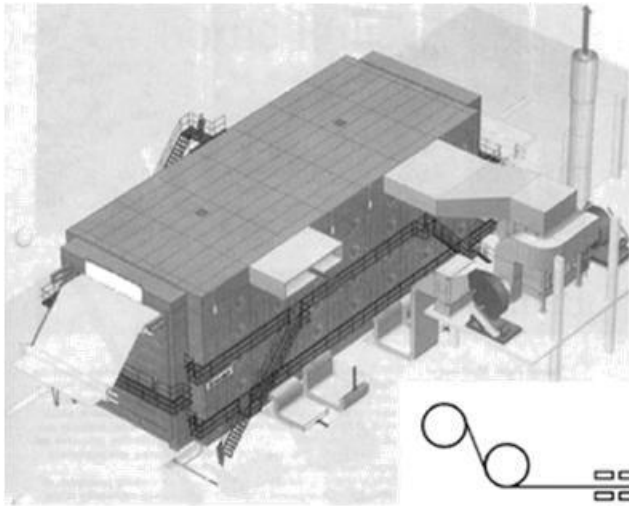
(FONTE: montagem de Edison da Silva Campos)

# Secagem



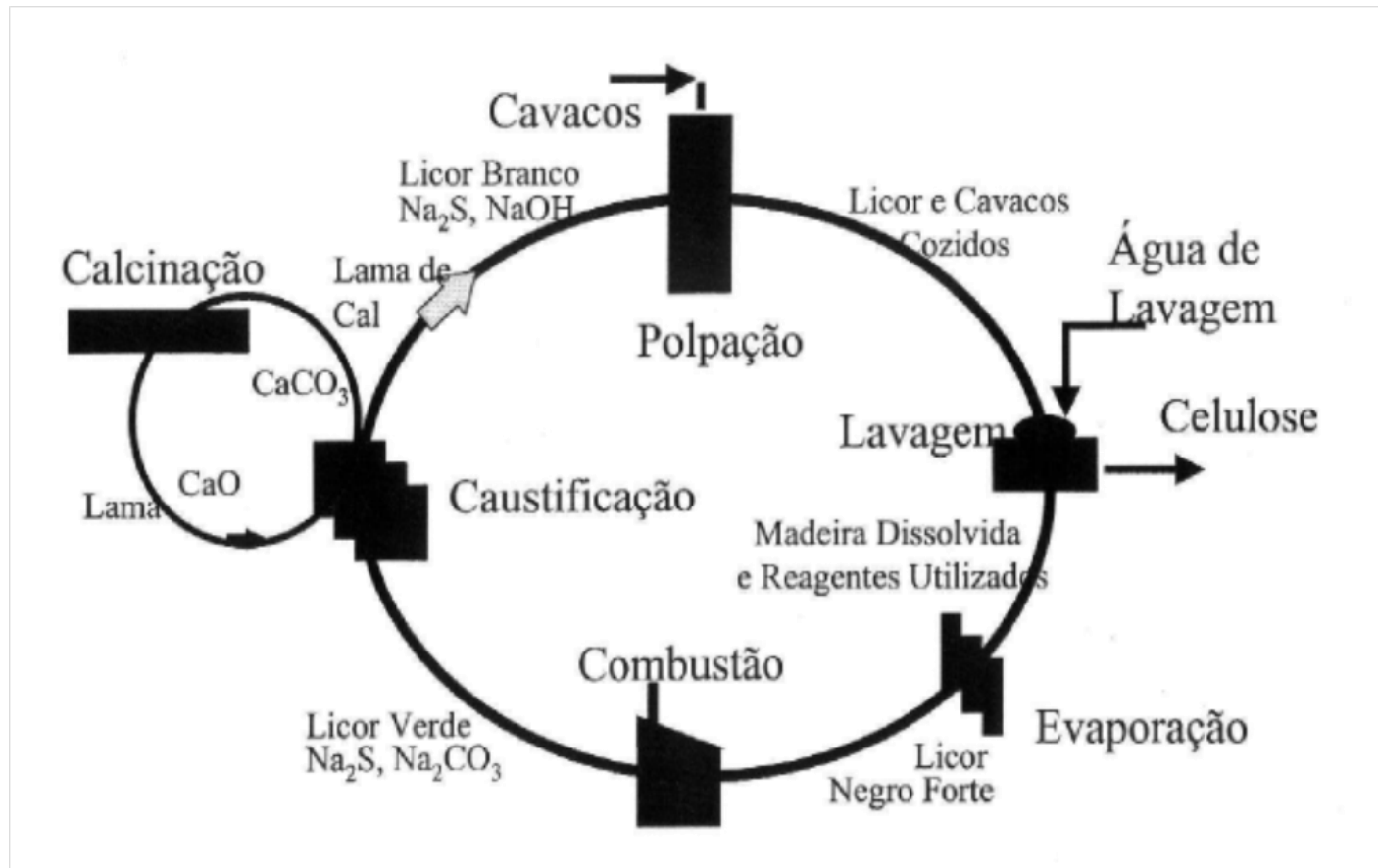
FONTE: Curso básico de fabricação de papel – ABTCP

# Secagem



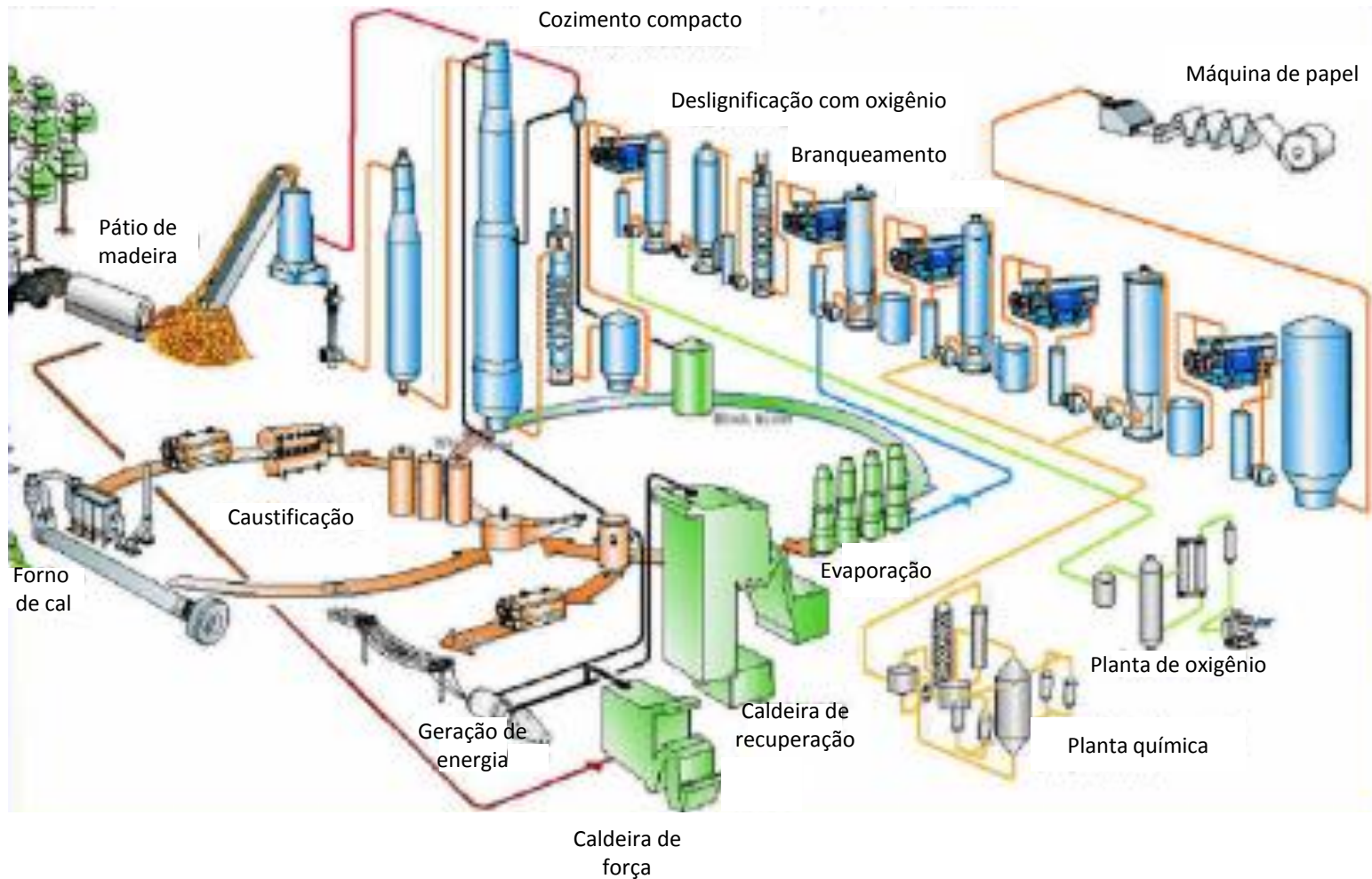


## Recuperação química



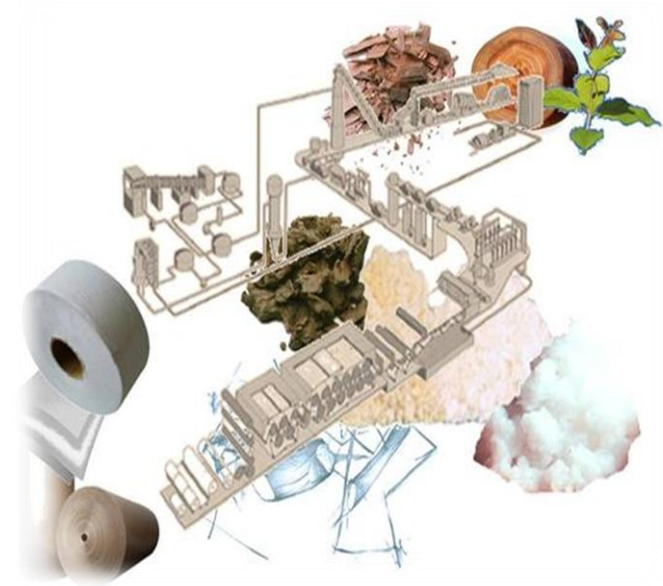
FONTE: Fabr. de celulose kraft ... – Alfredo Mokfienski

## Processo integrado de fabricação de celulose e papel



FONTE: Polpação (Apresentação – Alfredo Mokfienski )

# 6



## **INFLUÊNCIA DA MADEIRA E DO PROCESSO NA QUALIDADE DA POLPA**

## O que influencia as propriedades dos papéis?

Conforme SCOTT & TROSSET (1989), os aspectos fundamentais das propriedades dos papéis podem ser divididos em quatro áreas:

- 1) a influência da estrutura das fibras da polpa de madeira nas propriedades do papel;
- 2) o efeito dos processos de polpação e branqueamento nas propriedades da fibra e do papel;
- 3) a influência dos aditivos não fibrosos nas propriedades do papel;
- 4) a influência das várias etapas do processo de fabricação de papel em suas propriedades;

## **Madeiras para fabricação de papel**

É desejável que as árvores plantadas com o objetivo de disponibilizar fibras para papel tenham as seguintes características:

Crescimento rápido;

Plantio econômico;

Manuseio simples e fácil;

Transporte não oneroso ;

Possuir características de fibras adequadas;

**Densidade básica dentro da faixa.**

## **Árvores com densidade mais baixa tendem a:**

Produzir menos celulose no mesmo intervalo de tempo;

Produzir menos material orgânico para as caldeiras de recuperação;

Economizar álcali e produzir menos rejeitos;

Economizar reagentes no branqueamento;

Ter refinação mais fácil;

Permitir menores velocidades na máquina;

Produzir papel mais liso e menos poroso;

Papel com maior resistência a tração;

## **Árvores com densidade mais alta tendem a:**

Produzir mais celulose no mesmo intervalo de tempo;

Produzir mais material orgânico para as caldeiras de recuperação;

Usar mais álcali e produzir mais rejeitos;

Gastar mais reagentes no branqueamento;

Permitir maiores velocidades na máquina;

Produzir papel menos liso e mais poroso;

Papel com maior resistência ao rasgo.

## **Propriedades do papel em função da densidade básica da madeira**

**Com o aumento da densidade básica da madeira:**

Aumenta o volume específico aparente

Aumenta a resistência a refinação

aumenta a opacidade, piores características superficiais

Reduz a resistência à tração, pior impressão

Reduz o alongamento

Reduz o arrebentamento

Reduz a resistência às dobras

Reduz o peso específico aparente

FONTE: Treinamento operacional – Máquina de papel – VCP LA



## **As propriedades mais importantes das fibras de eucaliptos**

População de fibras ou número de fibras por grama de celulose (associada à “coarseness” das fibras);

Resistência da fibra individual;

Colapsabilidade das fibras;

Flexibilidade da fibra úmida;

Inchamento e hidratação das fibras;

Deformações das fibras, integridade e danos na parede celular;

Teor de finos da polpa.

## Características mais importantes das fibras para a fabricação de papel

### Morfológicas:

Comprimento médio da fibra (C), largura da fibra (D), espessura da parede (E) e largura do lúmen (L).

Denominação	Relação
Índice de enfiamento	$C/L$
Coefficiente de flexibilidade	$(DL/L) \times 100$
Fração parede	$(2E/L) \times 100$
Índice de Runkel	$2E/DL$
Índice de Mulsteph	$(L^2 - DL^2)/L^2$
Índice de Boiler	$(L^2 - DL^2)/(L^2 + DL^2)$

## Correlações qualitativas entre as propriedades da fibra e propriedades do papel

Propriedade do papel	Propriedade da fibra
Resistência a tração	comprimento da fibra (+) diâmetro do lúmen (+) espessura da parede da fibra (-) coeficiente de flexibilidade (+) fração parede (+) índice de Runkel (-)
Resistência ao rasgo	comprimento da fibra (+) diâmetro do lúmen (+) espessura da parede da fibra (-) largura da fibra (-) coeficiente de flexibilidade (+) índice de enfiamento (+) fração parede (+) índice de Runkel (+)
Resistência ao arrebentamento	comprimento da fibra (+) diâmetro do lúmen (+) espessura da parede da fibra (-) largura da fibra (-) coeficiente de flexibilidade (+) índice de Runkel (+)
Peso específico	espessura da parede da fibra (+) coeficiente de flexibilidade (+)
Opacidade	espessura da parede da fibra (+)

FONTE: Análise comparativa de pastas branqueadas de eucalipto ... (E.S.Campos)

## Características morfológicas mais investigadas

Para HORTAL (1988), as características morfológicas das fibras mais investigadas para determinar como elas influenciam as propriedades do papel são as seguintes:

**características individuais:** comprimento de fibra, diâmetro da fibra, espessura da parede celular da fibra, largura do lúmen, peso específico e “coarseness”.

**características combinadas:** coeficiente de flexibilidade, coeficiente de rigidez, índice de enfiamento.

## Propriedades das fibras como variáveis de controle

RETULAINEN (1996) diz que o potencial para usar as propriedades das fibras como variáveis de controle, pode ser concretizado selecionando-se justamente alguns poucos parâmetros das fibras como variáveis chaves. Parâmetros com alto potencial para esta tarefa são os seguintes:

- 1) comprimento da fibra;
- 2) resistência intrínseca da fibra;
- 3) diâmetro ou largura da fibra;
- 4) “coarseness”;
- 5) resistência de ligação específica (em inglês: specific bond strength - SBS).  
definida como a resistência da ligação interfibra pela área onde ocorre a ligação;
- 6) área relativa de ligação em uma folha (em inglês: relative bonded area - RBA);
- 7) coeficiente de absorção da luz.

## Características mais importantes das fibras para a fabricação de papel (cont.)

**Físicas:** absorção de água, inchamento, plasticidade a úmido, grau de polimerização e o índice de refração.

**Mecânicas:** resistência intrínseca da fibra (comprimento de auto-ruptura zero “span”), índice de ligação das fibras na folha (relação entre o comprimento de ruptura normal e o zero “span”) e rigidez.

**Químicas:** celulose, hemicelulose, lignina e extrativos.

**Topoquímicas:** distribuição de grupos moleculares, especialmente perto de ou na superfície.

## Comparação de características de fibras

<b>Propriedades</b>	<b><i>E. saligna</i></b>	<b><i>E. tereticornis</i></b>	<b><i>A. mearnsii</i></b>
Idade, anos	9	8	7
Densidade básica, g/cm <sup>3</sup>	0,510	0,566	0,610
Grau de compactação, g/cm <sup>3</sup>	0,173	0,185	0,200
Comprimento da fibra, mm	1,057	0,940	0,982
Largura da fibra, µm	21,18	16,61	20,59
Espessura da parede, µm	3,60	4,62	4,11
Diâmetro do lume , µm	13,99	7,37	12,37
Comprimento do vaso , mm	0,333	0,347	0,236
Largura do vaso, mm	0,180	0,190	0,159
Coefficiente de flexibilidade, %	66	44	60
Lignina Klason, %	26,6	30,8	18,8
Holocelulose, %	76,6	71,8	81,5
Pentosanas, %	14,1	12,8	20,4
Extrativos em DCM, %	0,31	0,20	0,32
Cinzas, %	0,10	0,36	0,16

FONTE: Treinamento para operadores – Papel (VCP LA)

## Os principais fatores de influência na qualidade do papel

ESPÉCIES DE MADEIRA E PREPARAÇÃO DAS FIBRAS	REFINAÇÃO (PROPRIEDADES INDUZIDAS DA FIBRA)	COMPORTAMENTO OPERACIONAL (OPERAÇÕES DA MÁQUINA DE PAPEL)	QUALIDADE DO PAPEL
Resistência da fibra Resistência de ligação Rigidez da fibra Comprimento da fibra Largura da fibra Espessura da parede da fibra Alongamento da fibra	Resistência da fibra Flexibilidade da fibra Comprimento da fibra Largura da fibra Espessura da parede da fibra Encanoamento da fibra Alongamento da fibra Microcompreensões Área superficial Finos Latência	Drenagem Retenção Floculação Orientação Gramatura Conteúdo de sólidos Tensão a úmido	Formação Direcionalidade Conteúdo de umidade Colapso de fibras Espessura Densidade Compressibilidade Lisura Opacidade Propriedades de tração Alongamento Rasgo Rigidez Porosidade Absorção de líquidos Estabilidade dimensional Encanoamento



## **Características especificadas das pastas celulósicas que são importantes para a fabricação de papel:**

### **PASTAS BRANQUEADAS:**

Alvura

Viscosidade

S-5

WRV

Sujidade

### **PASTAS NÃO BRANQUEADAS:**

Viscosidade

Kappa

Perda alcalina após lavadores

## Propriedades das pastas celulósicas

CLARK (1985) afirma que as cinco principais propriedades das pastas celulósicas são as seguintes:

- 1) comprimento médio de fibra;
- 2) "coarseness": definido como a massa correspondente a uma unidade de comprimento da fibra, expressa em miligramas por 100 m (decigrex).
- 3) compactabilidade a úmido: pode ser facilmente medida pela densidade aparente das folhas de testes feitas com a polpa.
- 4) resistência intrínseca das fibras: definida como o comprimento de auto-ruptura "zero-span".
- 5) coesividade: definida como a propriedade da polpa que capacita suas fibras de se fixarem umas a outras (ligação entre fibras).

# 7

## **CONCEITOS BÁSICOS DE FABRICAÇÃO DE PAPEL**

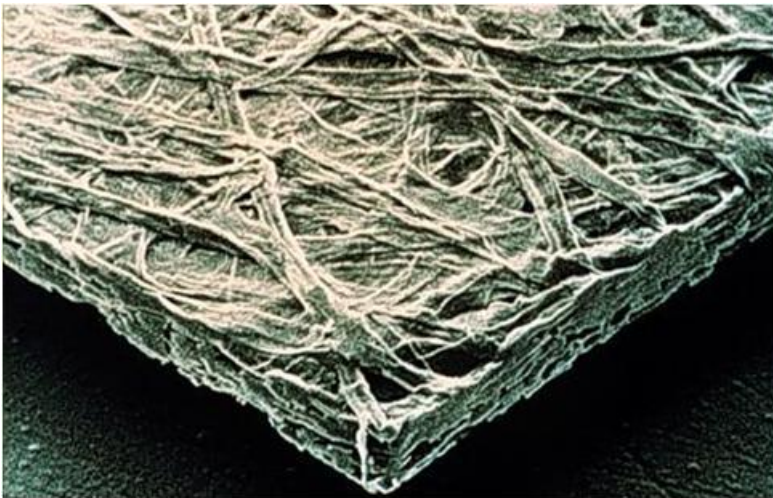
## Siglas que identificam produtos diferenciados

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

## Mas, afinal, o que é PAPEL?

O papel é um afeltrado de fibras unidas tanto fisicamente (por estarem entrelaçadas a modo de malha) como quimicamente (por pontes de hidrogênio).

**Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.**



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

## Resumo histórico do papel

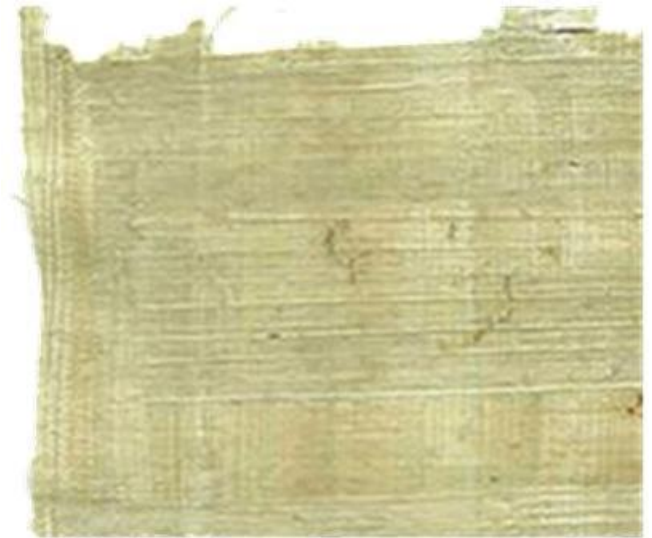
Papiro (origem da palavra papel) 3.000 A.C  
O pergaminho também era muito usado

1º papel: T'sai Lun (105 D.C)  
Segredo chinês: 600 anos

Árabes: 761 (Sarmacanda)  
Século XI (Espanha)

Europa: Itália, França, Alemanha, Inglaterra.

## Papiro, 3000 A.C.



## Resumo histórico do papel

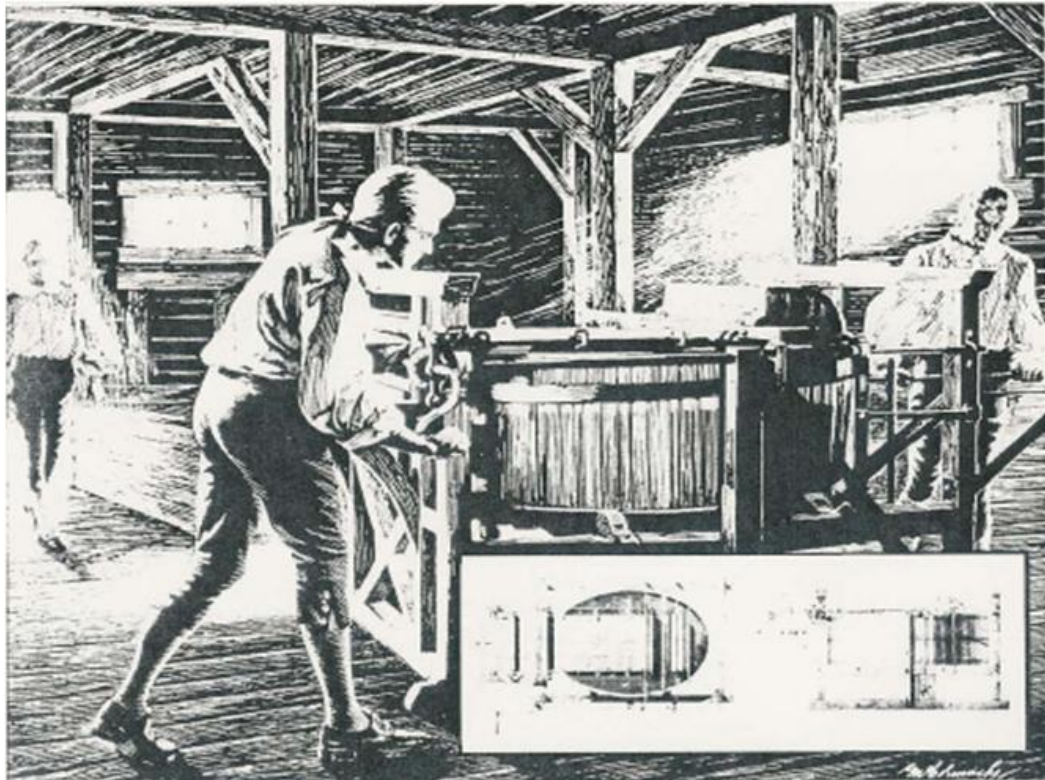
Fibras de árvores e fibras têxteis misturadas com trapos foram cozidas, batidas e depois esmagadas, para em seguida espalhar-se a massa sobre uma peneira com moldura de bambu e um pano esticado, deixando-se ao sol para um processo natural de secagem.



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

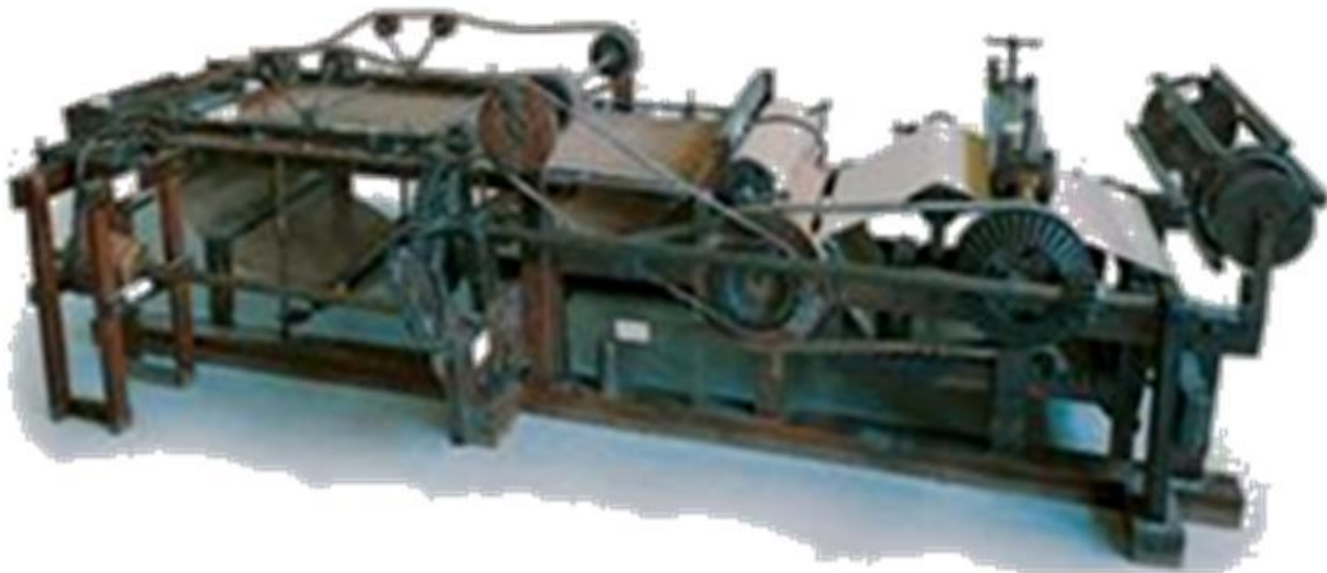


## Primeira máquina de papel

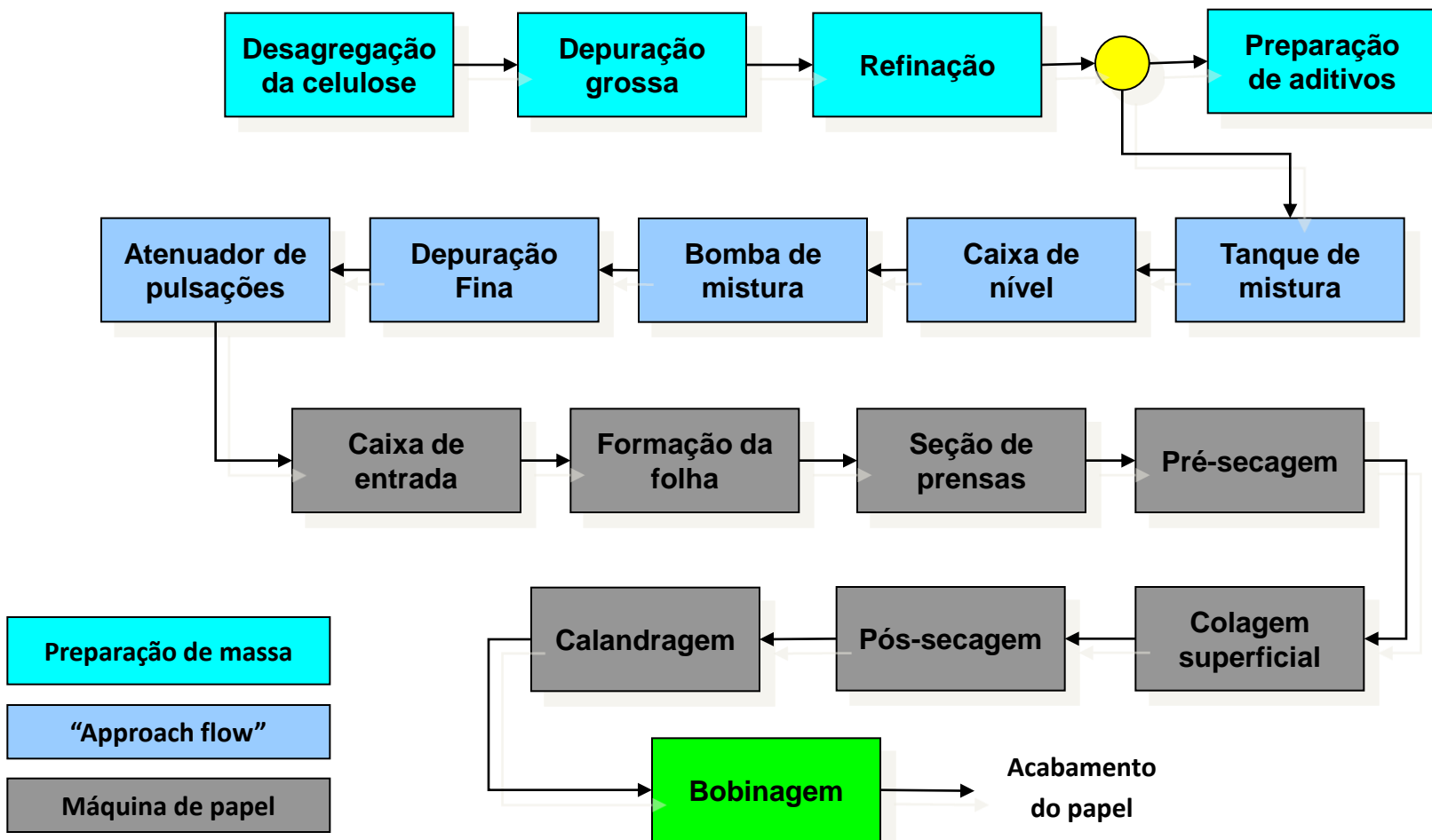


Louis Robert, 1799

Em 1.808, a máquina inventada por Robert, desenvolvida por Didot, desenhada por Donkin e financiada pelos irmãos Fourdrinier é conhecida mundialmente como máquina “fourdrinier”.

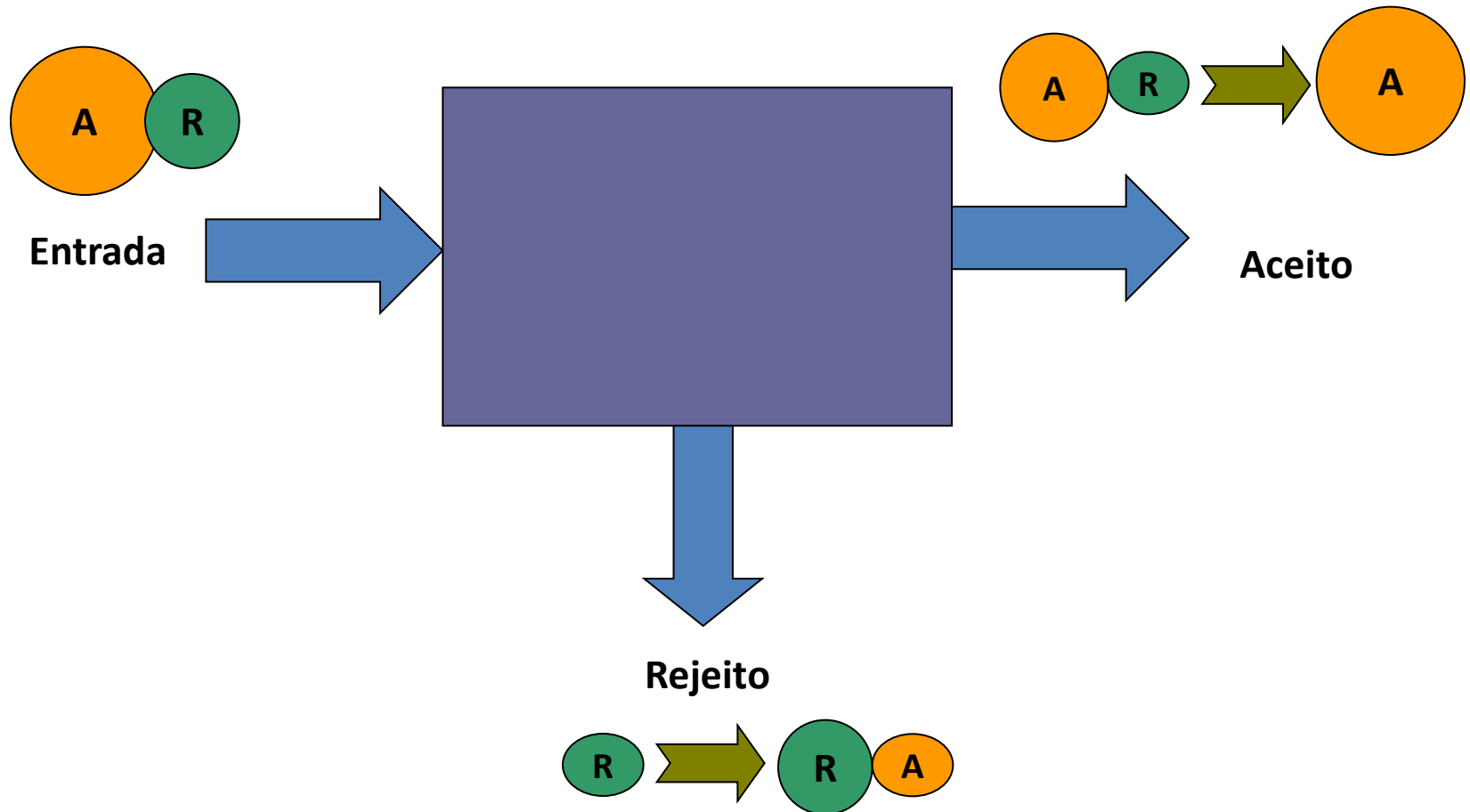


## Exemplo de fluxograma da fabricação de papel



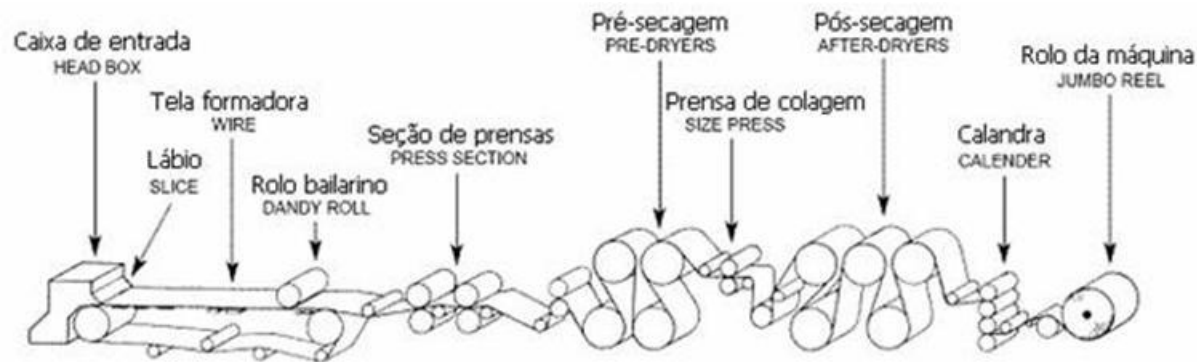
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

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



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

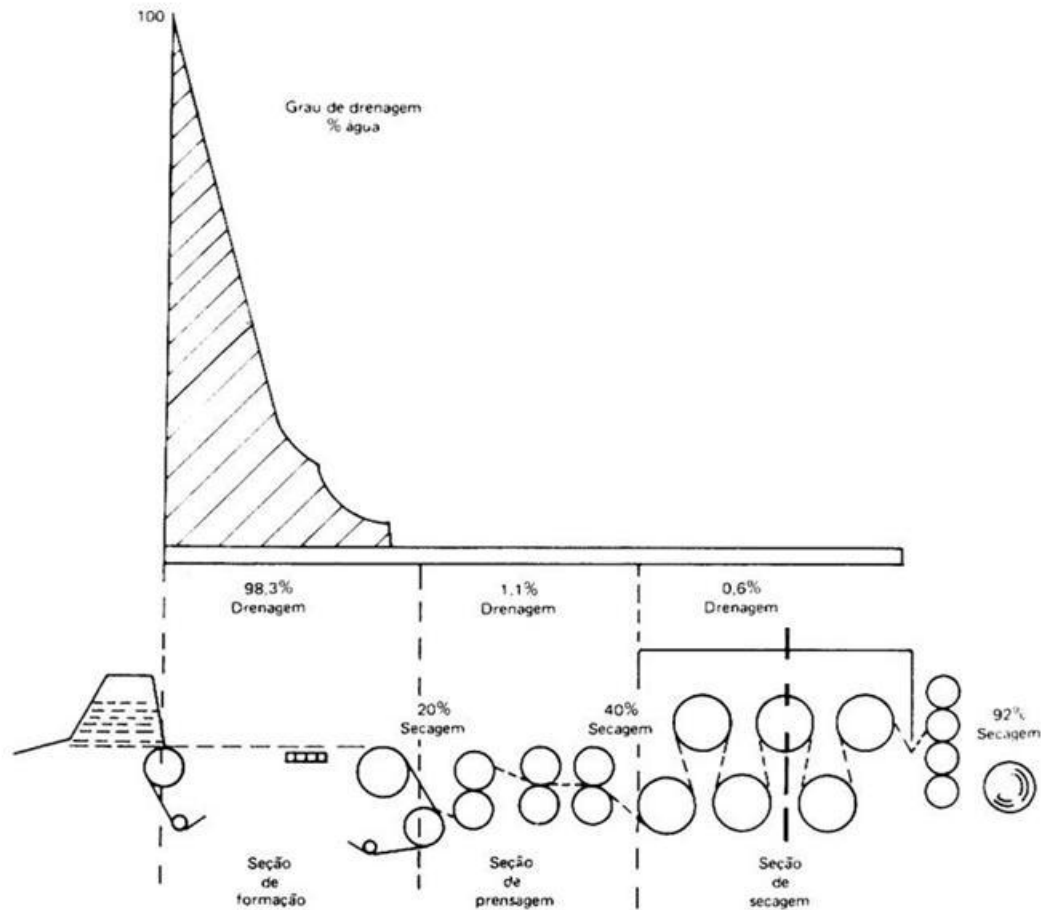
## Eliminação de água nas três principais seções da máquina de papel (I&E) – 150 g/m<sup>2</sup>



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 %

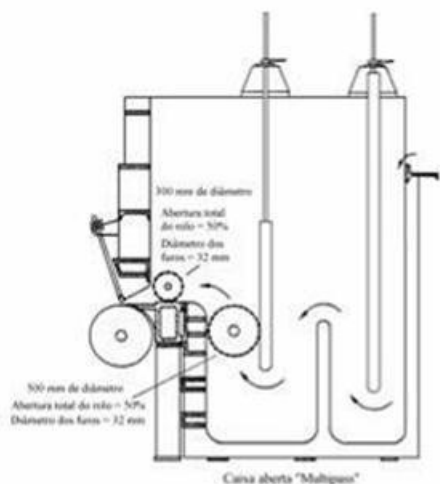
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

# Consistência ao longo da MP

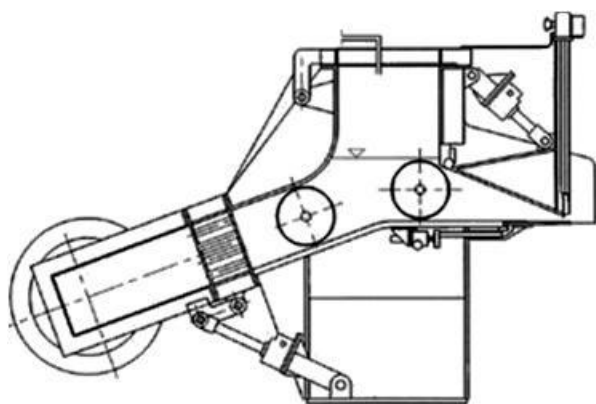


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

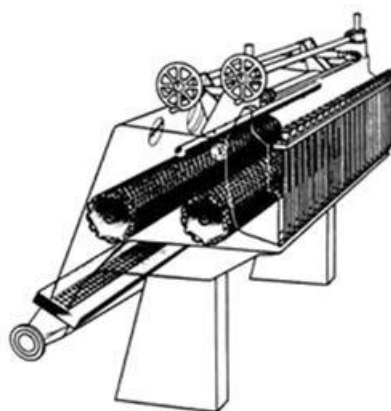
## Tipos de caixas de entrada



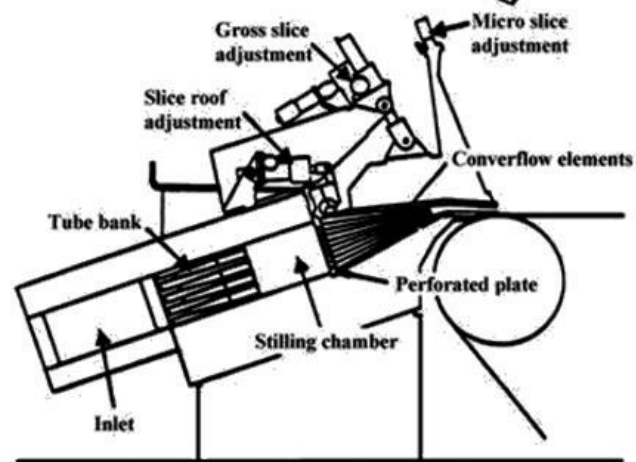
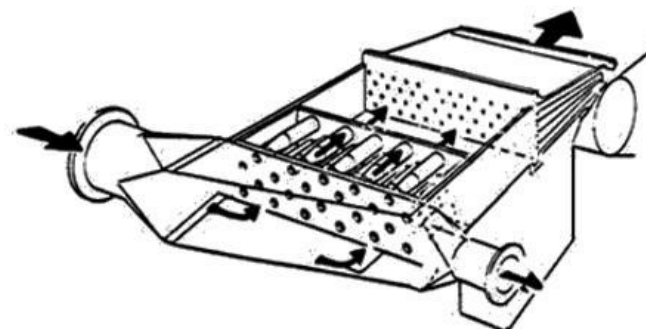
Caixa aberta "multipass"



Caixa pressurizada

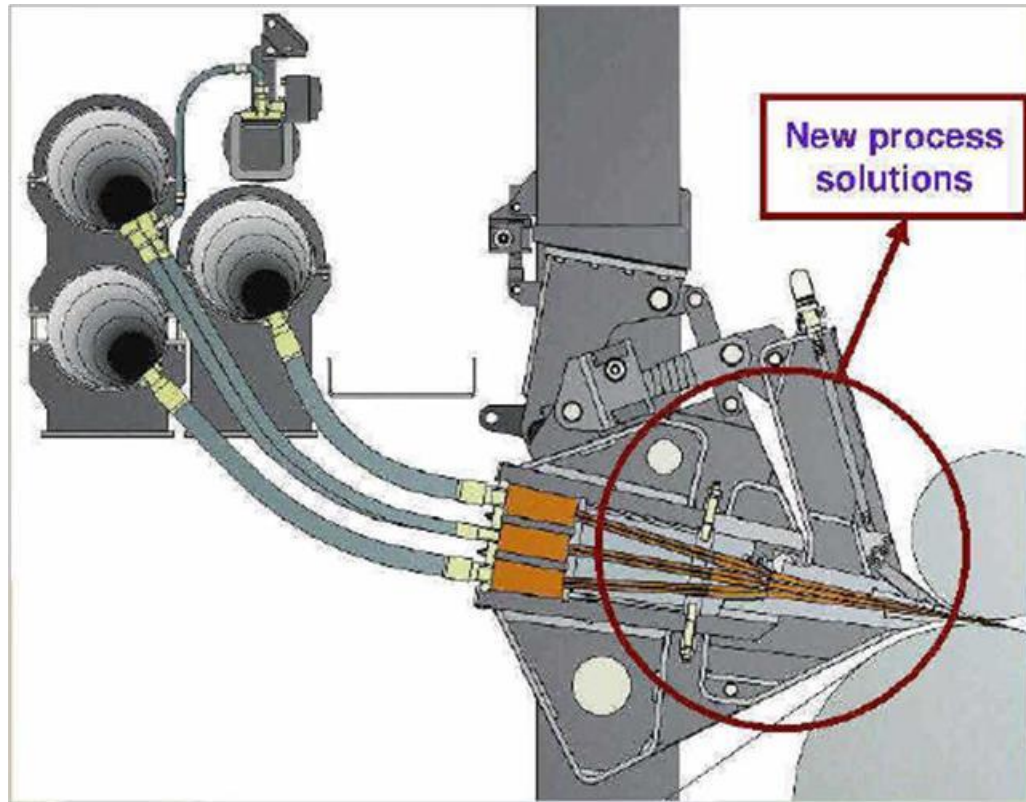


Caixa hidráulica



Two views of "Converflow" headbox (Beloit Corp.).

## Caixa de entrada multijato

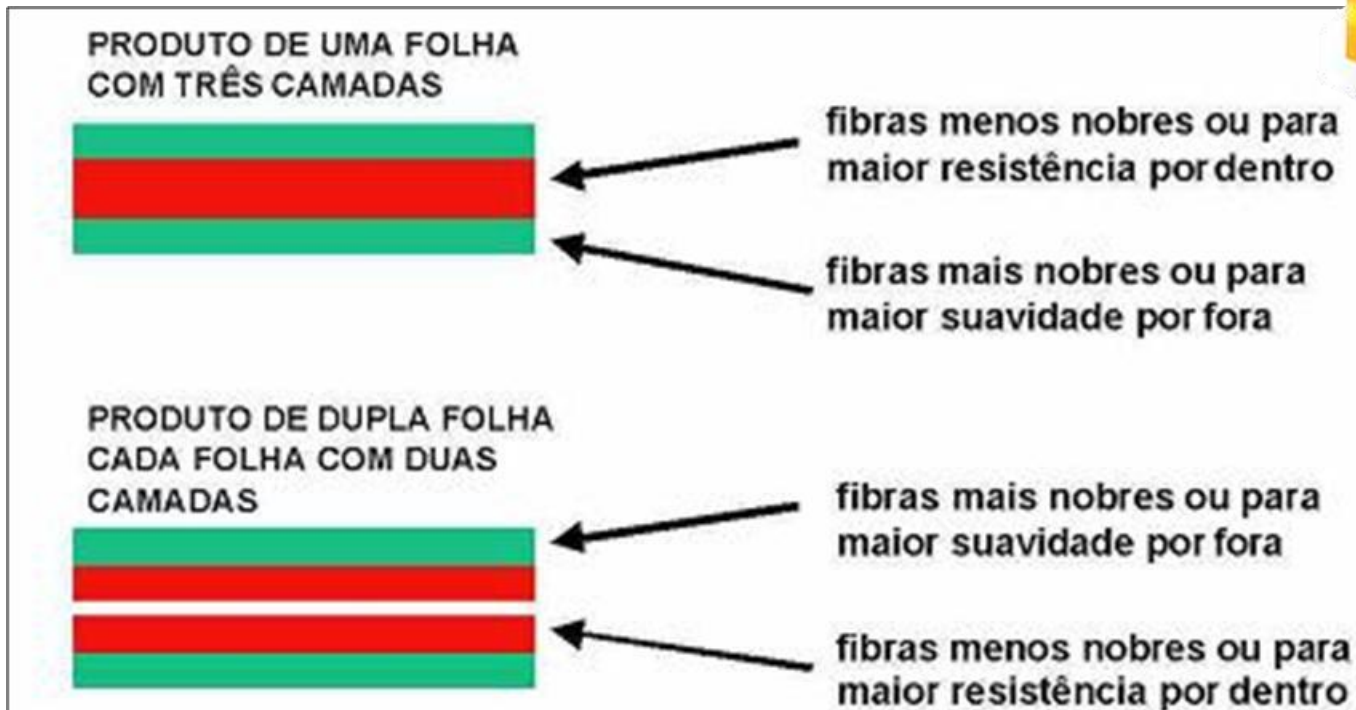
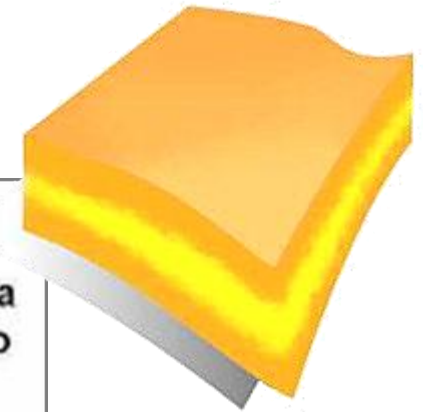


## OptiFlo II TIS headbox – Metso Paper

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

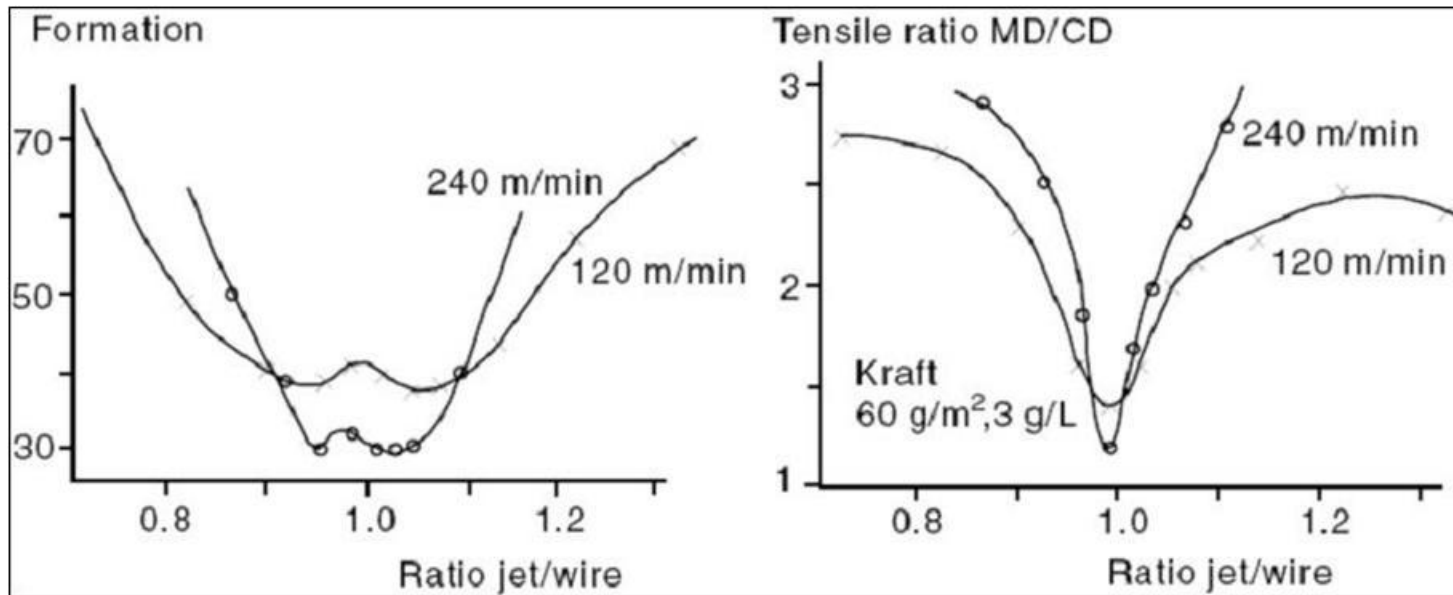


## Multicamadas em papéis “tissue”

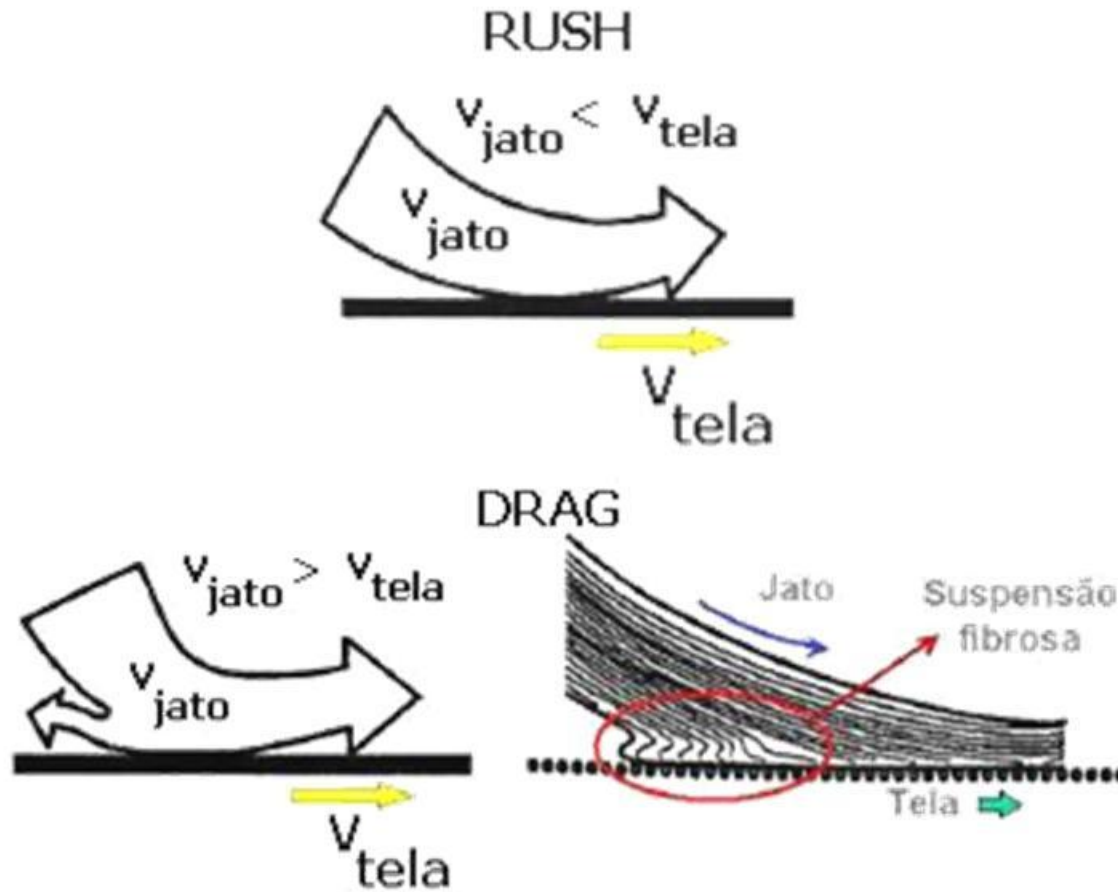


## Relação jato / tela

$$R_{jt} = \frac{V_j}{V_t} = \frac{\sqrt{2gH}}{V_t}$$



## “Rush” e “drag”



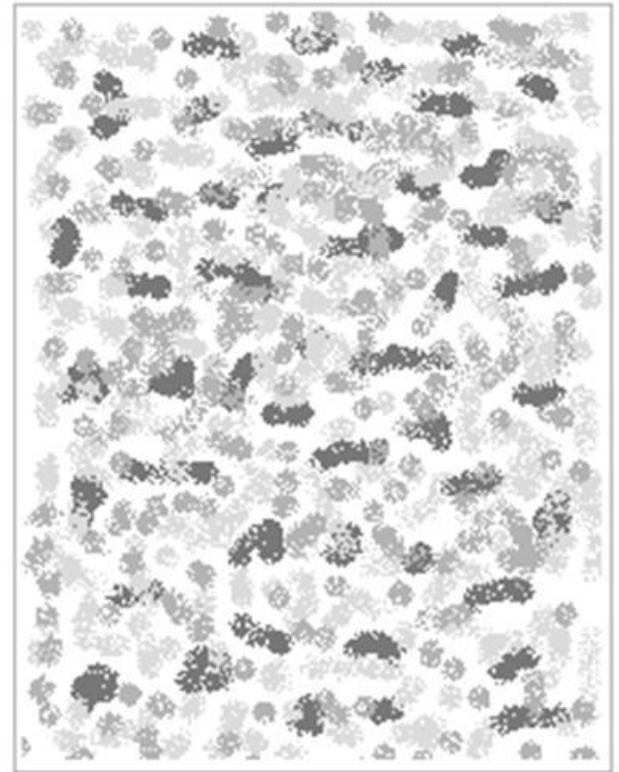
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## O que significa formação da folha de papel?

Segundo D.W. Manson, a formação é definida como a aparência visual da folha, vista contra a luz.

A formação está relacionada com a estrutura da folha e está envolvida principalmente, mas não exclusivamente com o tamanho, individualidade e a distribuição dos flocos de fibras na folha.

Basicamente uma folha bem formada terá uma distribuição de fibras uniforme, com vestígios de pequenos flocos distribuídos por igual, através da folha.

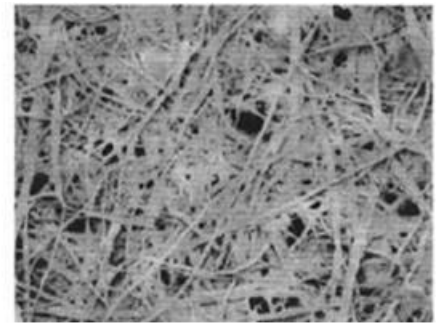
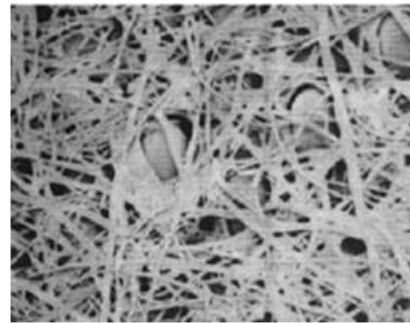
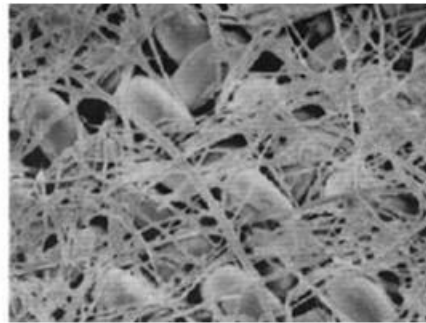
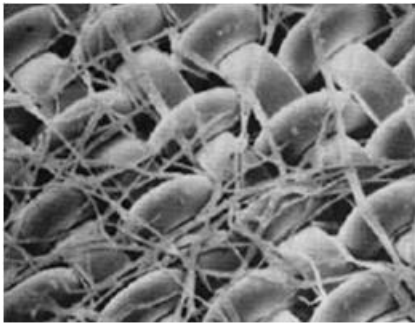


# Processo de formação da folha – mesa plana (“fourdrinier”)

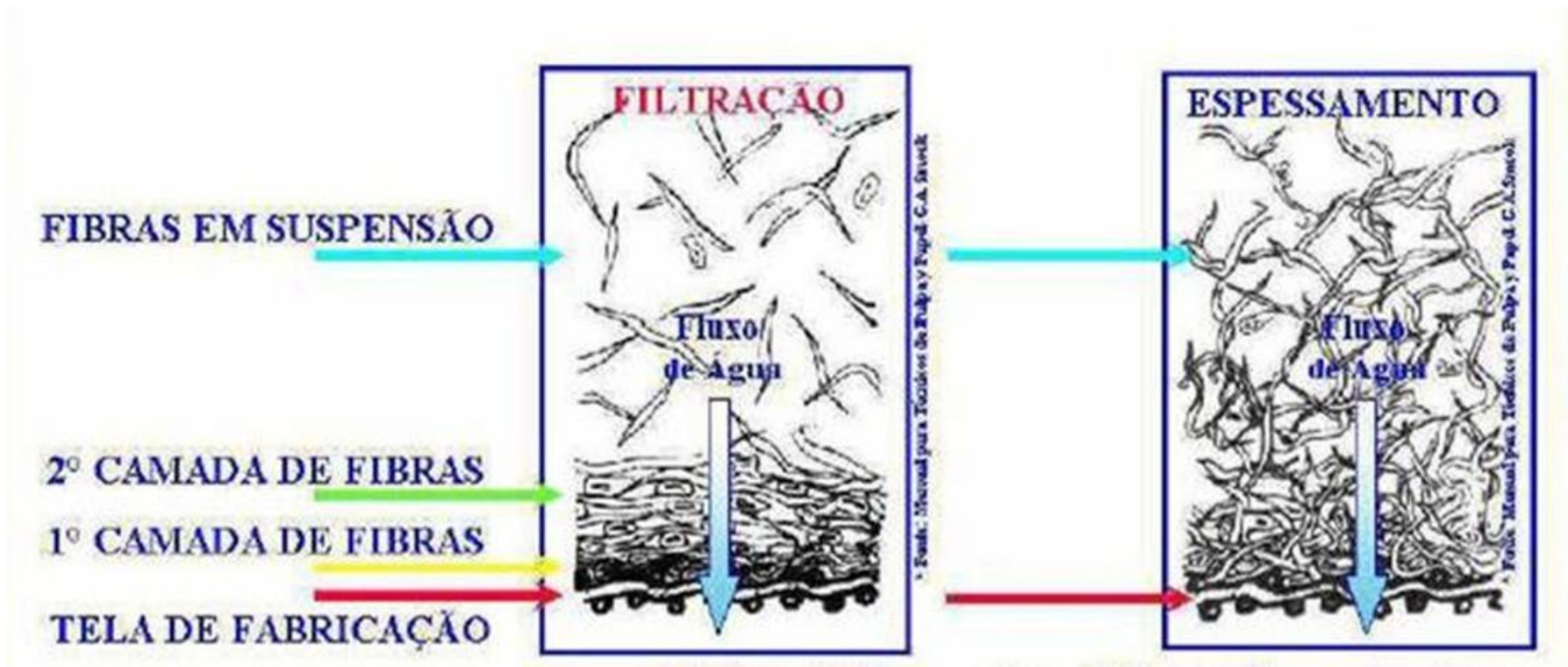


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Processos hidrodinâmicos de formação da folha



## Processos hidrodinâmicos de formação da folha (cont.)



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



## Processos hidrodinâmicos de formação da folha (cont.)



FILTRAÇÃO é o processo de deposição das fibras enquanto podem mover-se independentemente umas das outras.

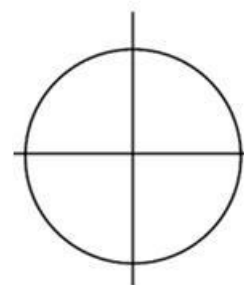
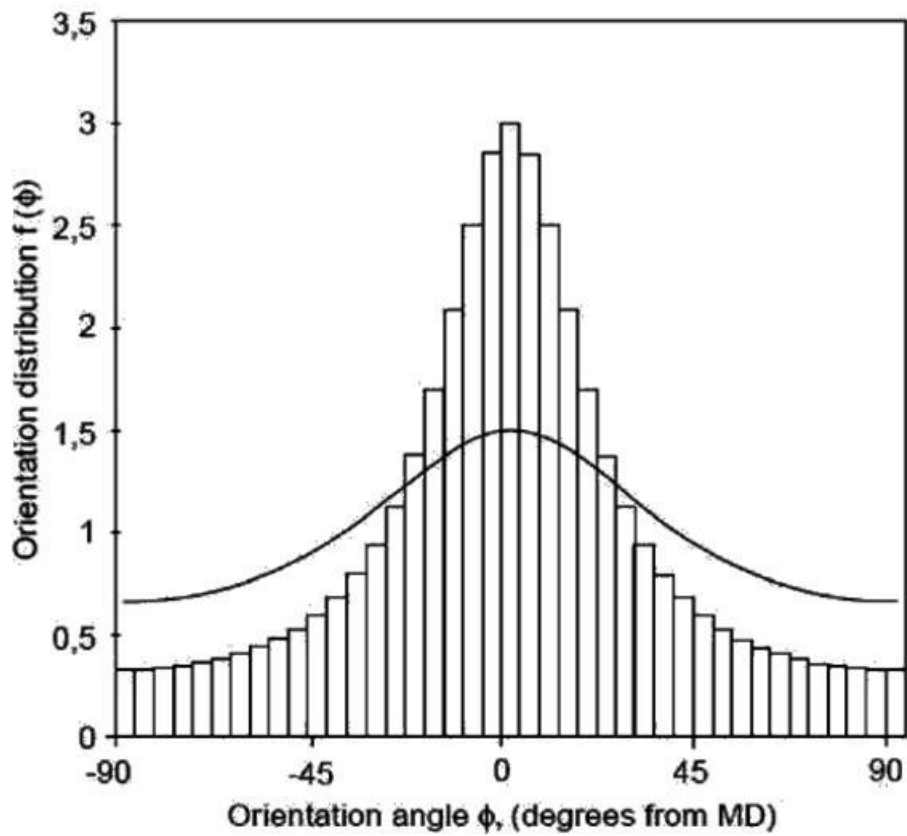


## Processos hidrodinâmicos de formação da folha (cont.)

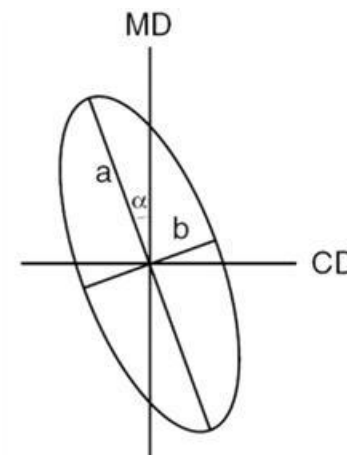


ESPESSAMENTO é a deposição em forma de capas discretas, quando o movimento das fibras é dependente da interação entre elas.

## Direcionamento de fibras durante a formação



Folha produzida em laboratório

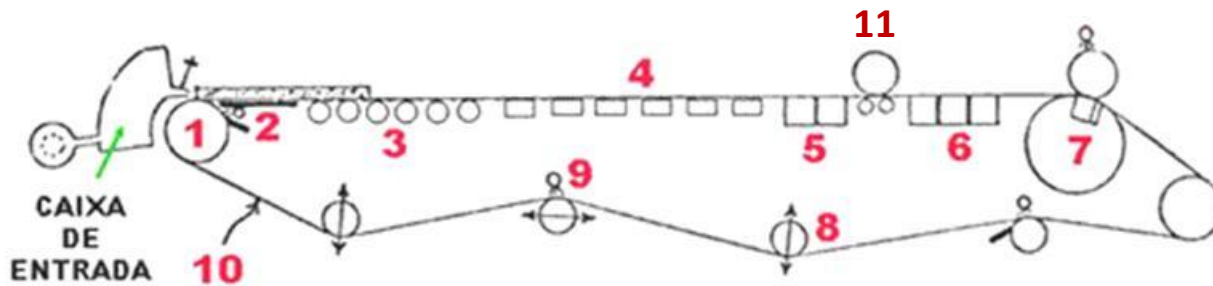


Fibras desalinhas (MP)

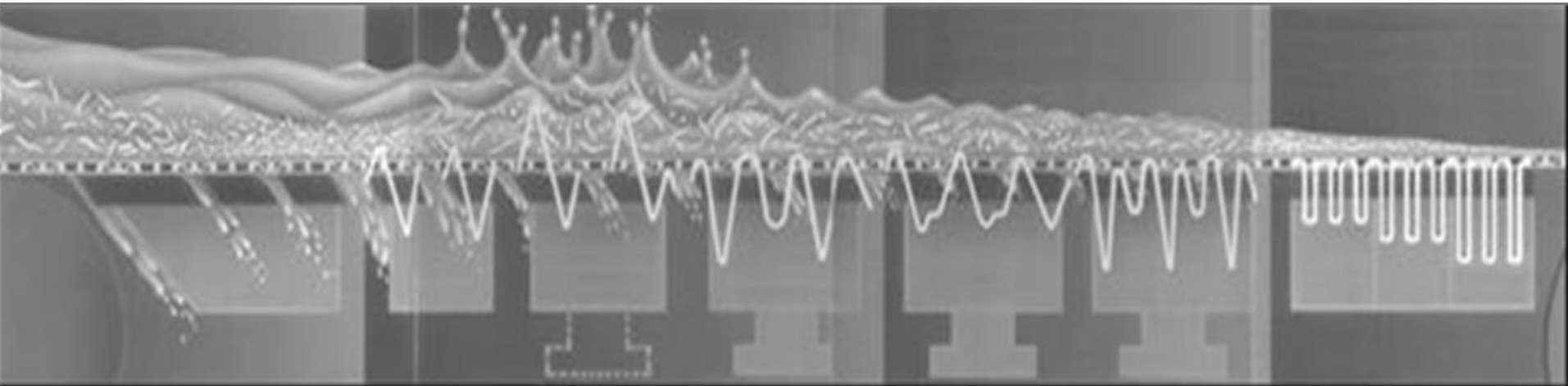


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

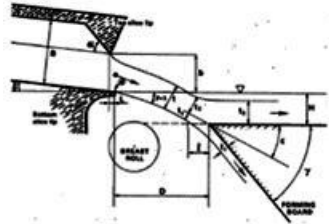
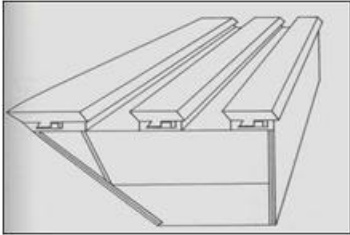
## Mesa plana



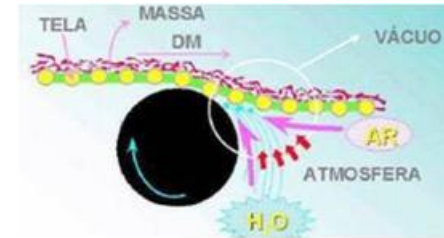
- 1- rolo cabeceira
- 2- "forming board"
- 3- rolos desaguadores
- 4- "hidrofoils"
- 5- "Vacuum foils"
- 6- caixas de vácuo
- 7- rolo "couch"
- 8- rolos guias
- 9- chuveiros
- 10- tela formadora
- 11- rolo bailarino



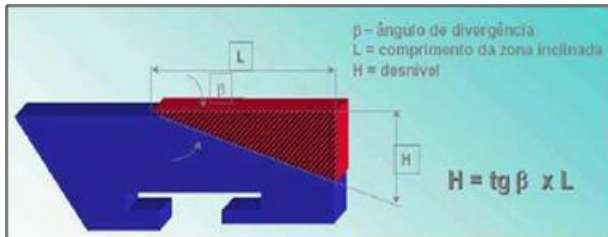
# Elementos desaguadores da mesa plana



“Forming board”



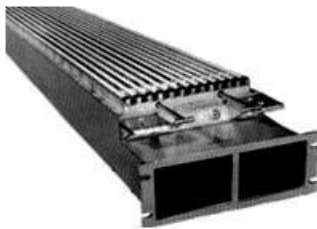
Rolos desaguadores



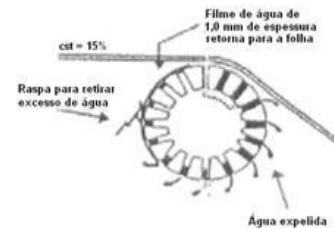
“Hidrofoils”



“Vacuum Foils”



Caixas de alto vácuo



Rolo “couch”

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

## Formadores de dupla tela

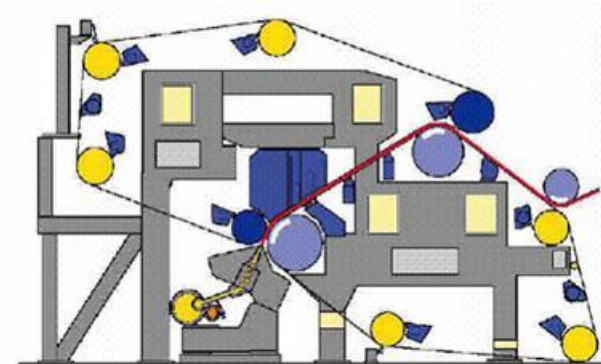
Formadores de Tela Dupla (D. Webster, 1953)

Princípios para desaguamento:

Pressão nas telas sobre a manta fibrosa;  
Elementos de drenagem sob as telas.

Princípios para formação:

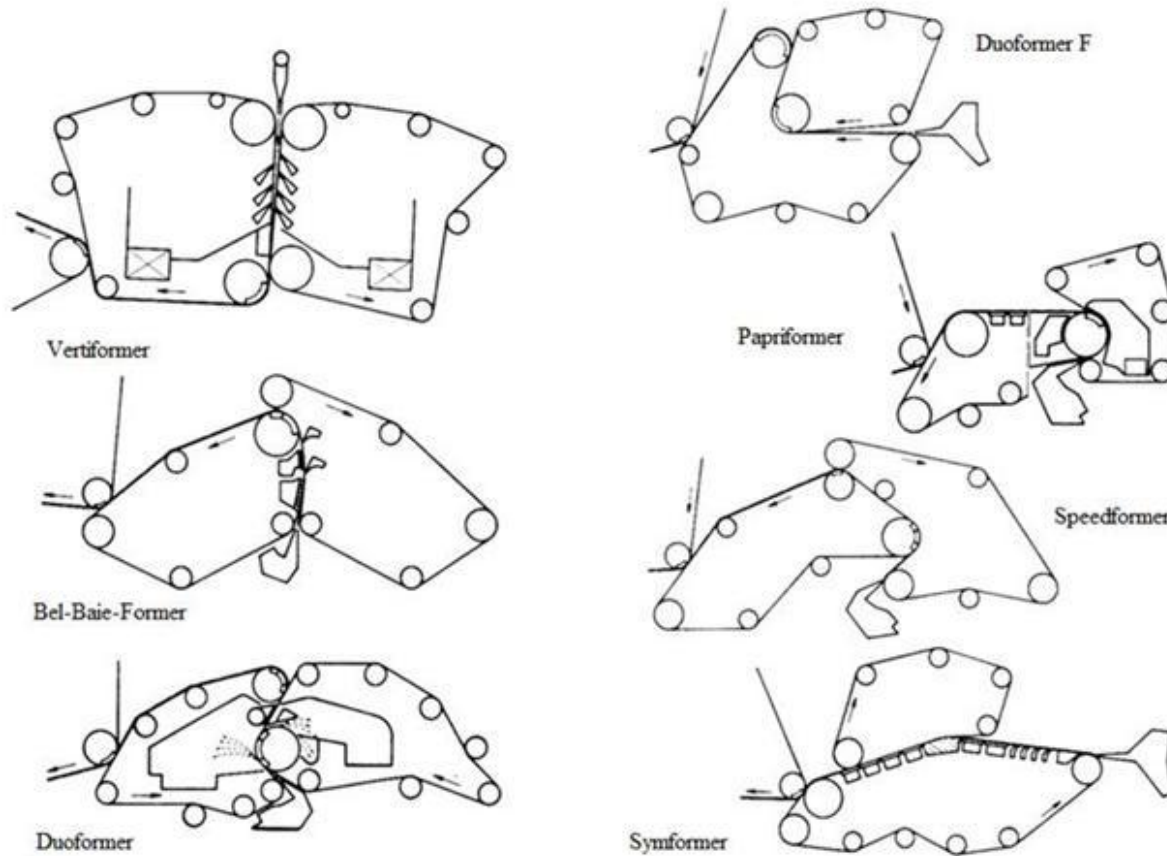
Turbulência  
Cisalhamento



**DuoFormer TQ**

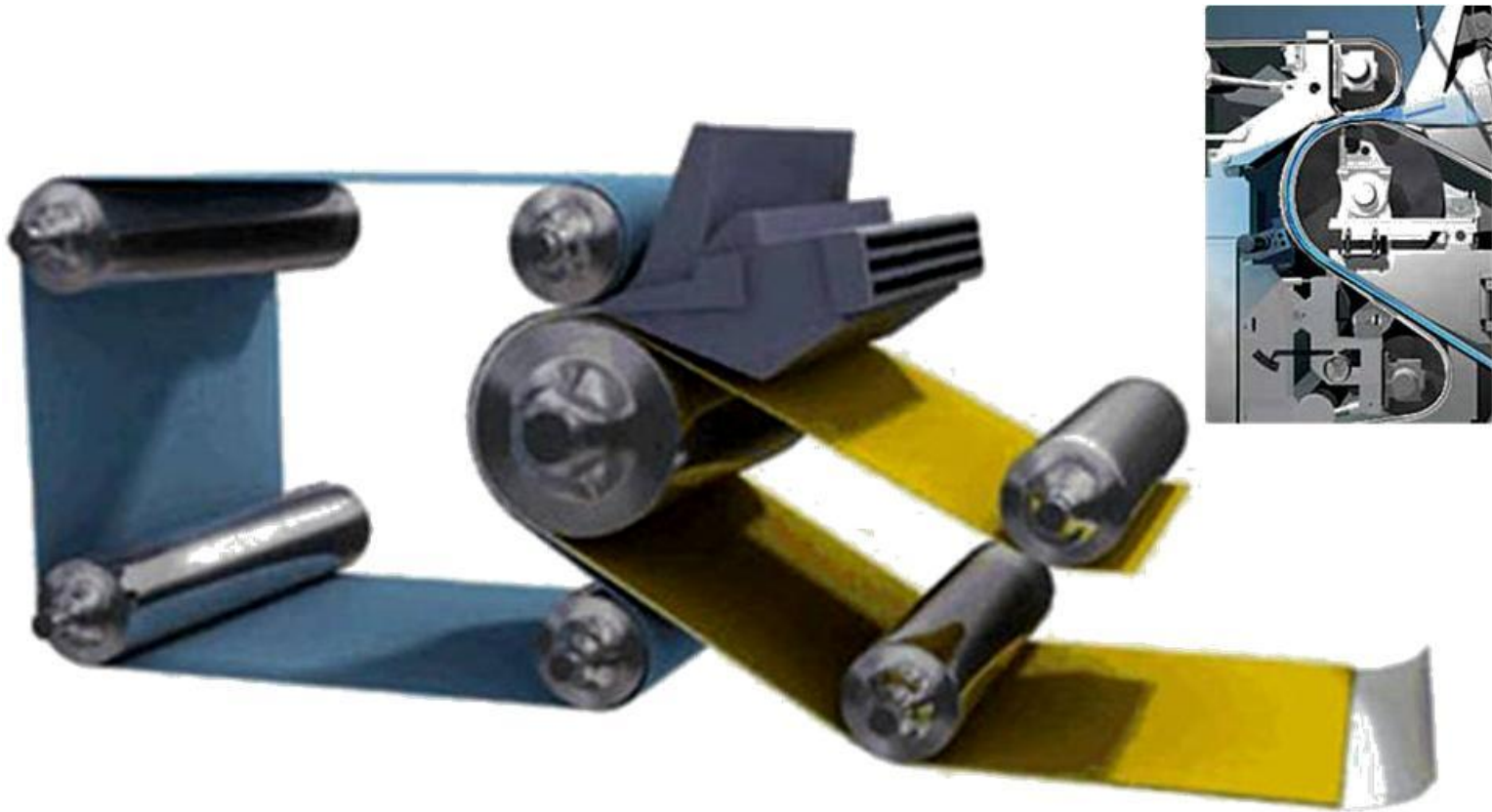


## Tipos de formadores de dupla tela



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

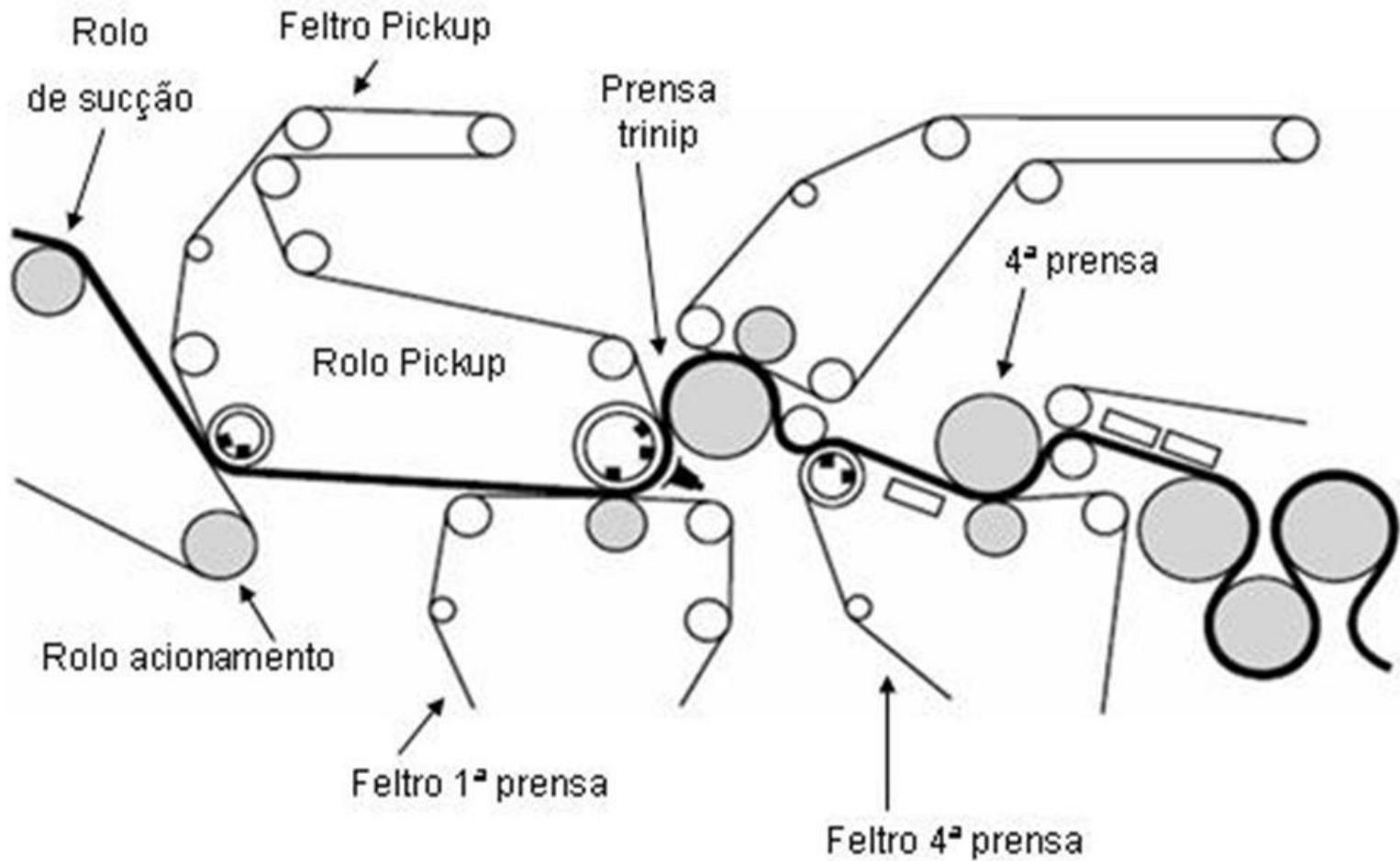
## “Crescent Former” – Formador para papel “tissue”



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



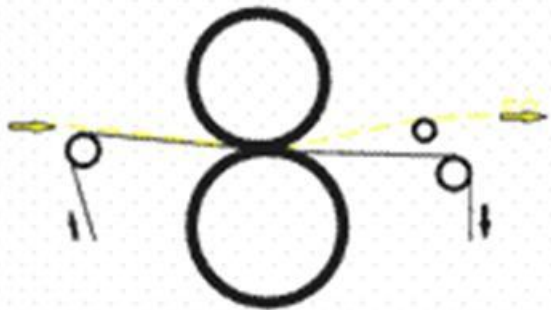
## Seção de prensas



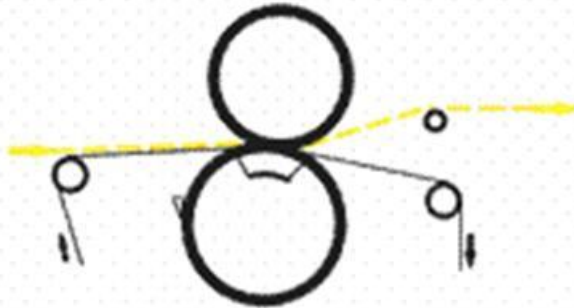
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)



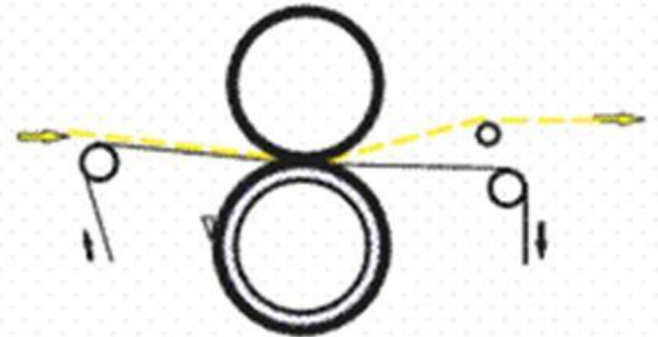
## Tipos de prensas



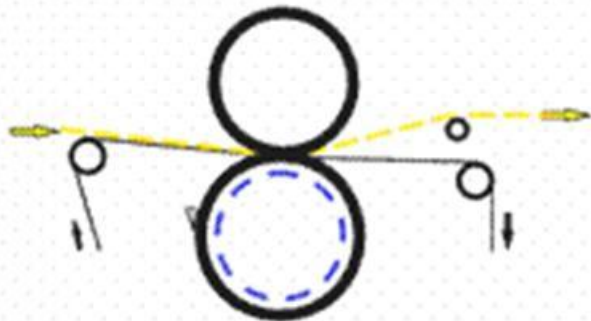
*Prensa Plana*



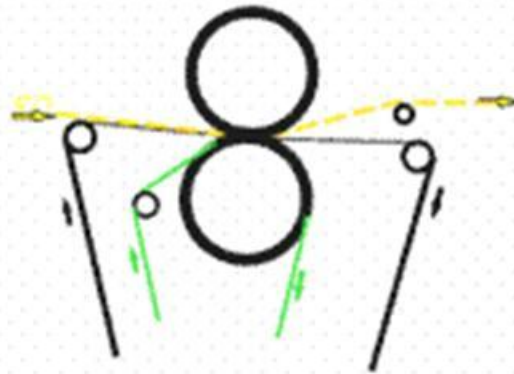
*Prensa de Sucção*



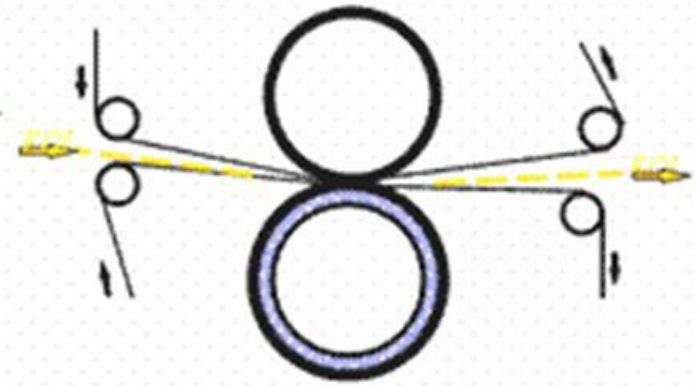
*Prensa de Furo Cego*



*Prensa Ranhurada*

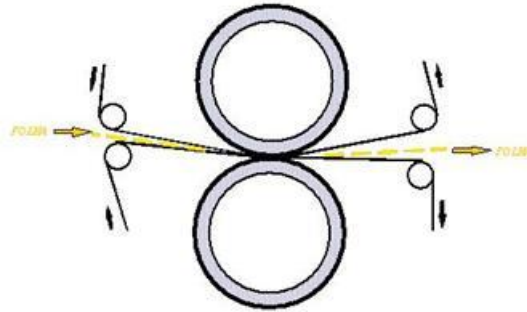


*Prensa Fabric*

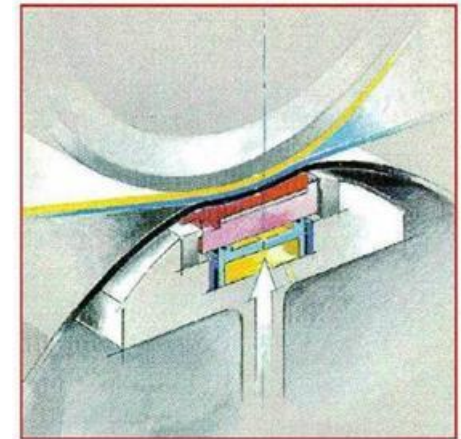
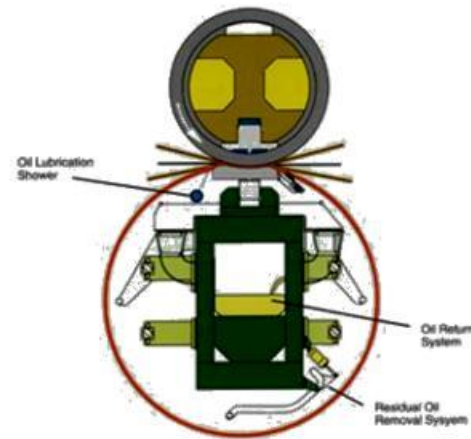
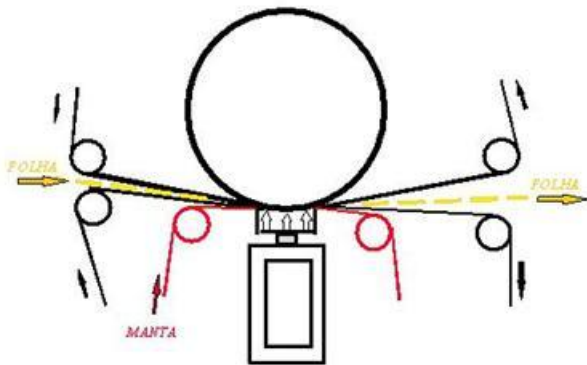


*Prensa com Duplo Feltro*

## Tipos de prensas (cont.)



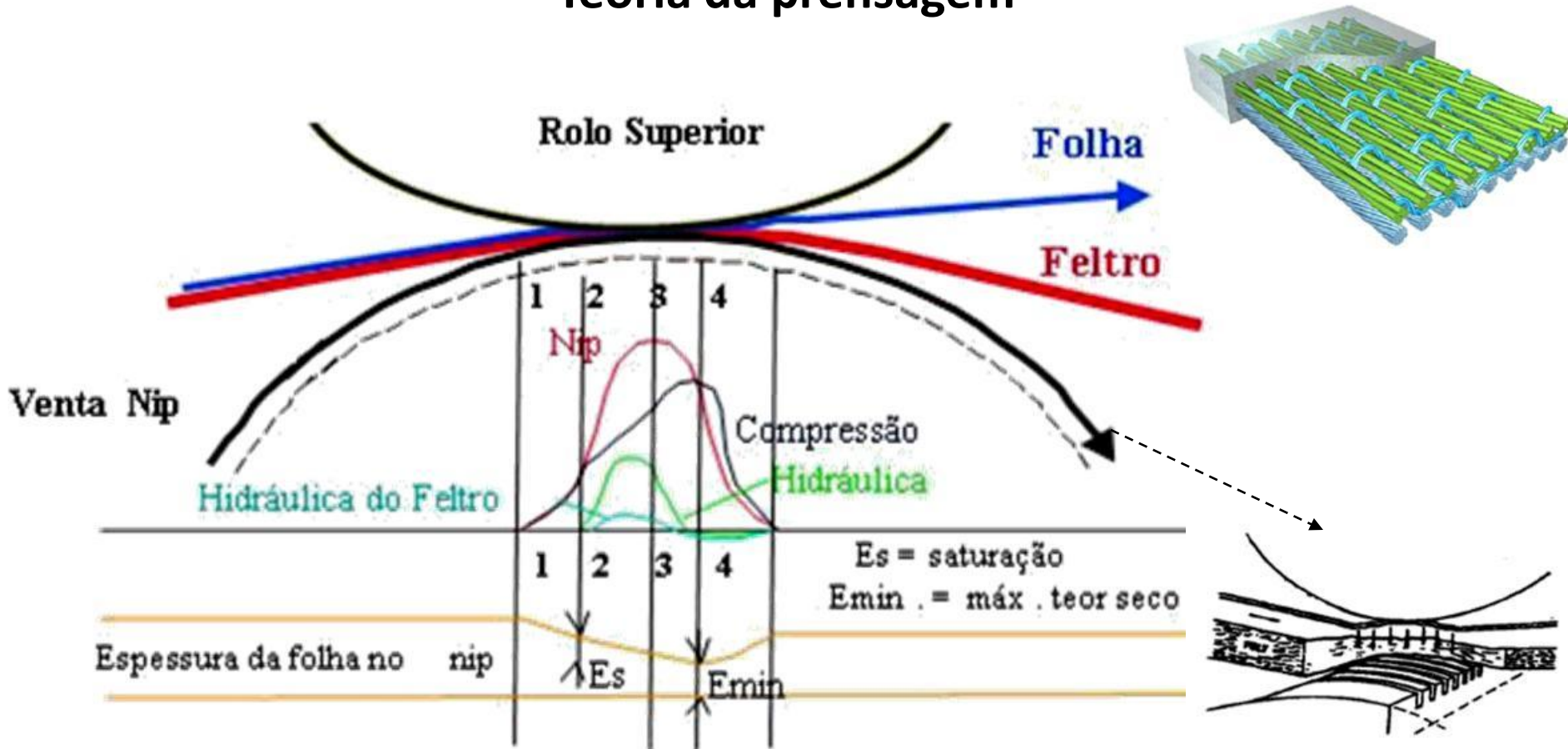
Prensa de alto impulso (jumbo)



Prensa de "nip" extendido

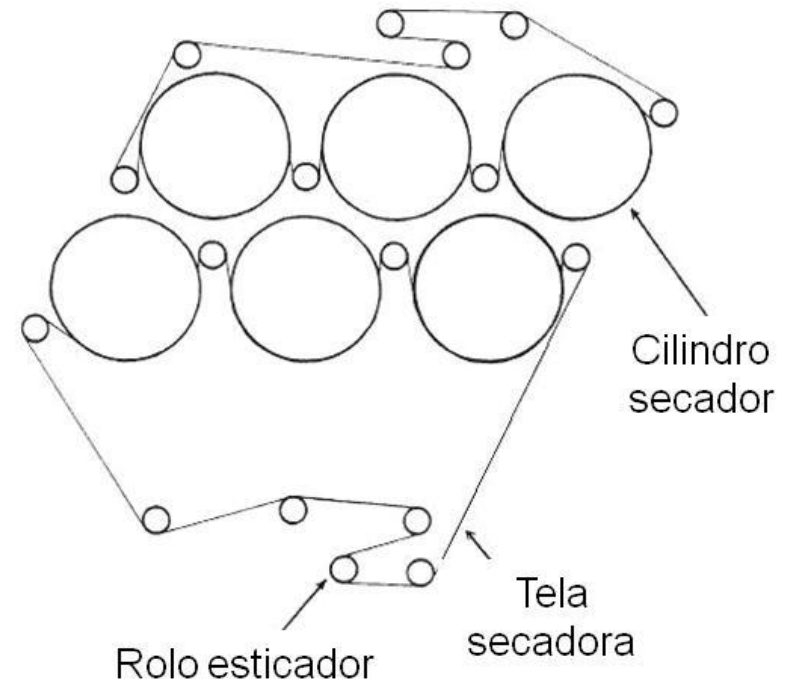
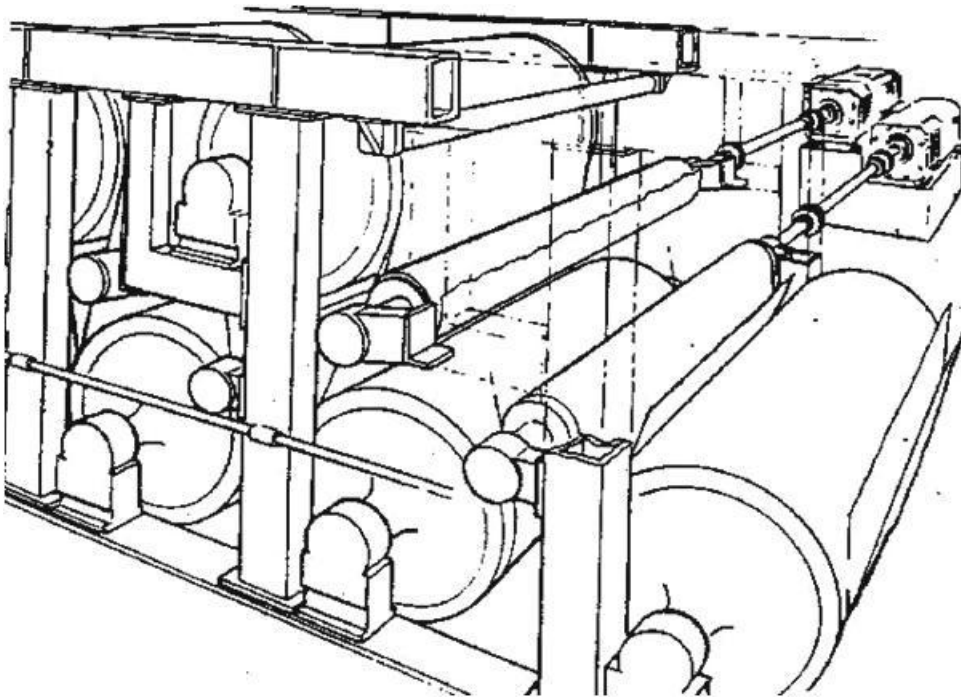
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

# Teoria da prensagem



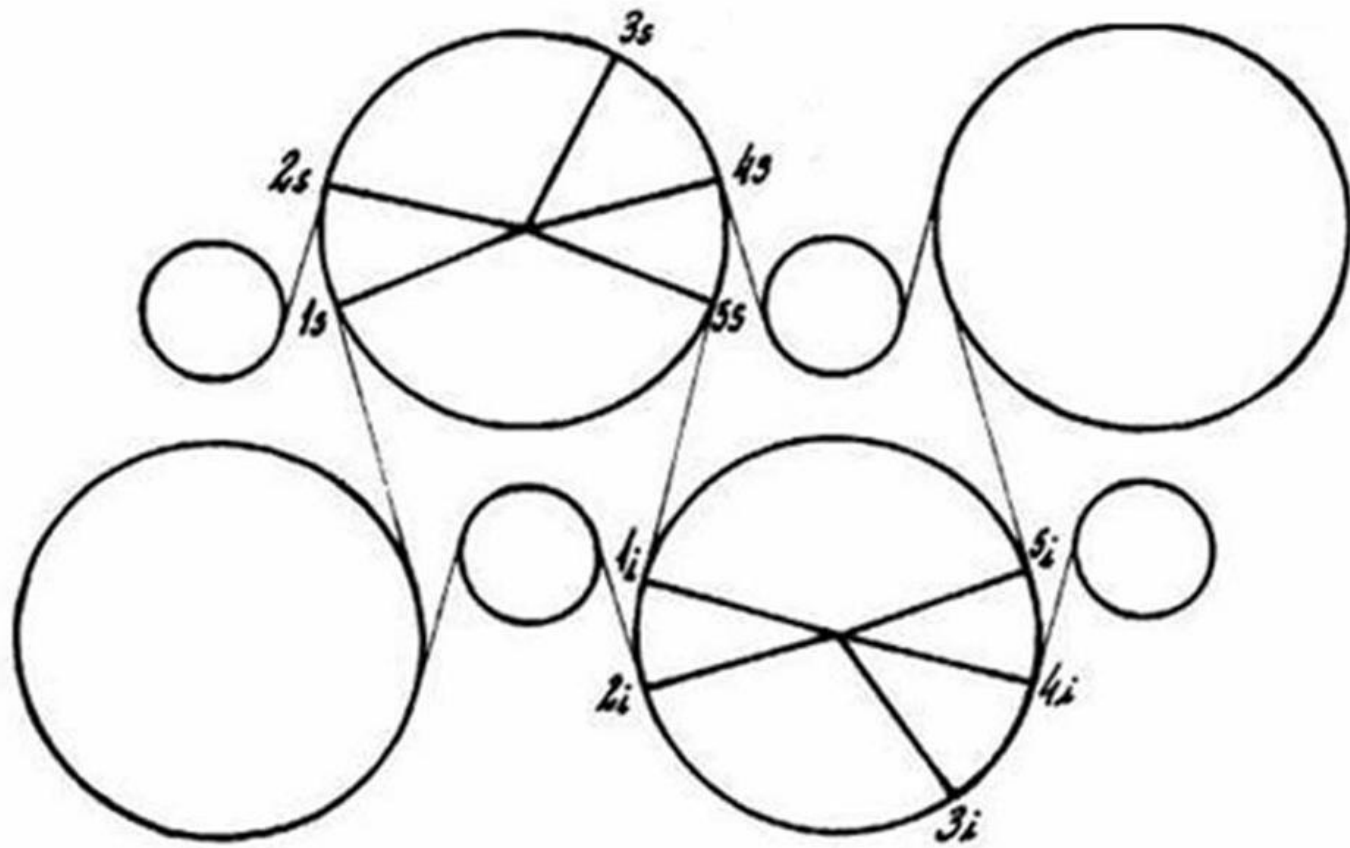
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Secagem com multicilindros



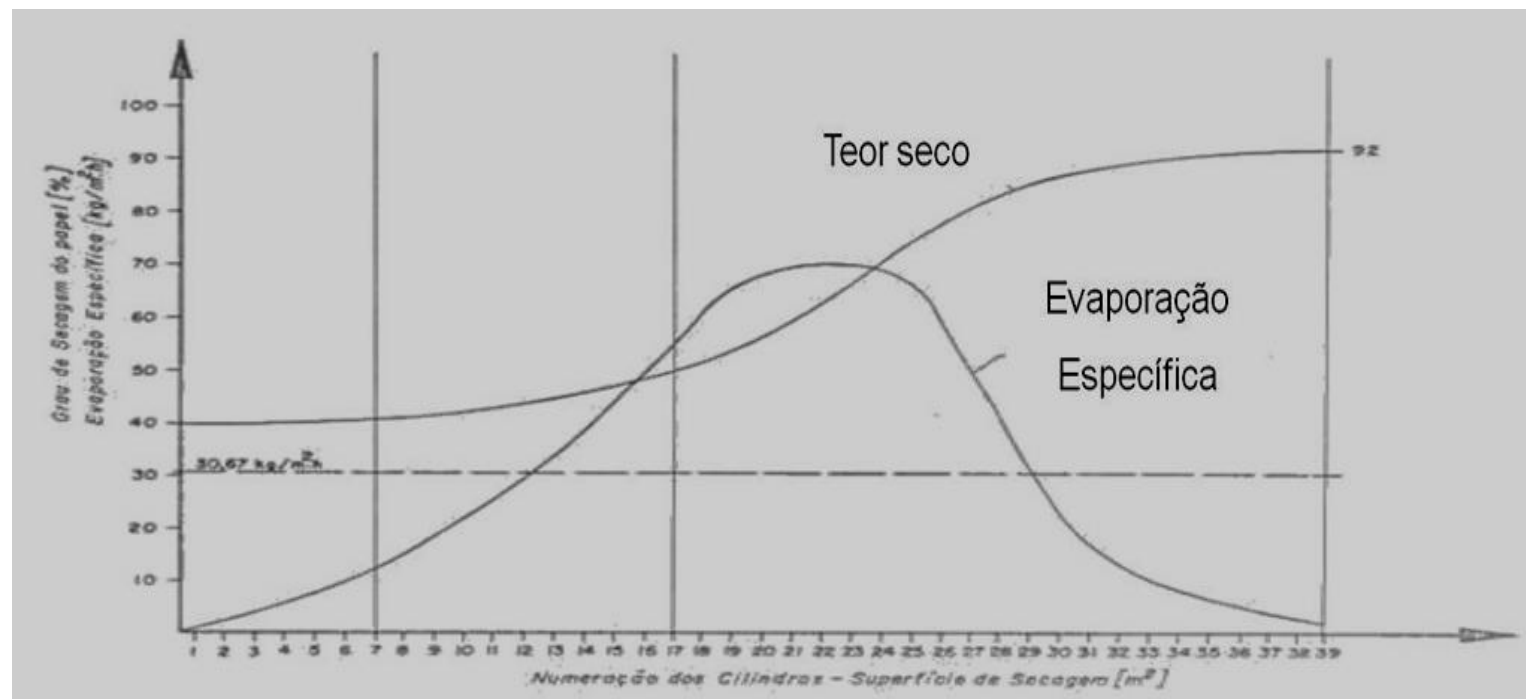
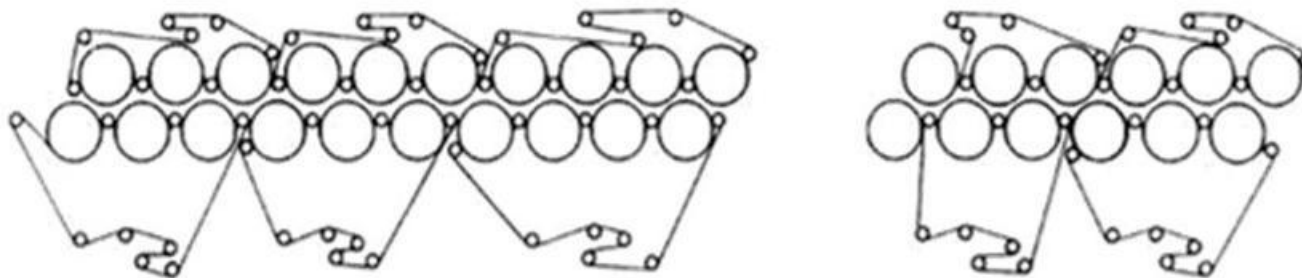
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Ciclo completo de secagem



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

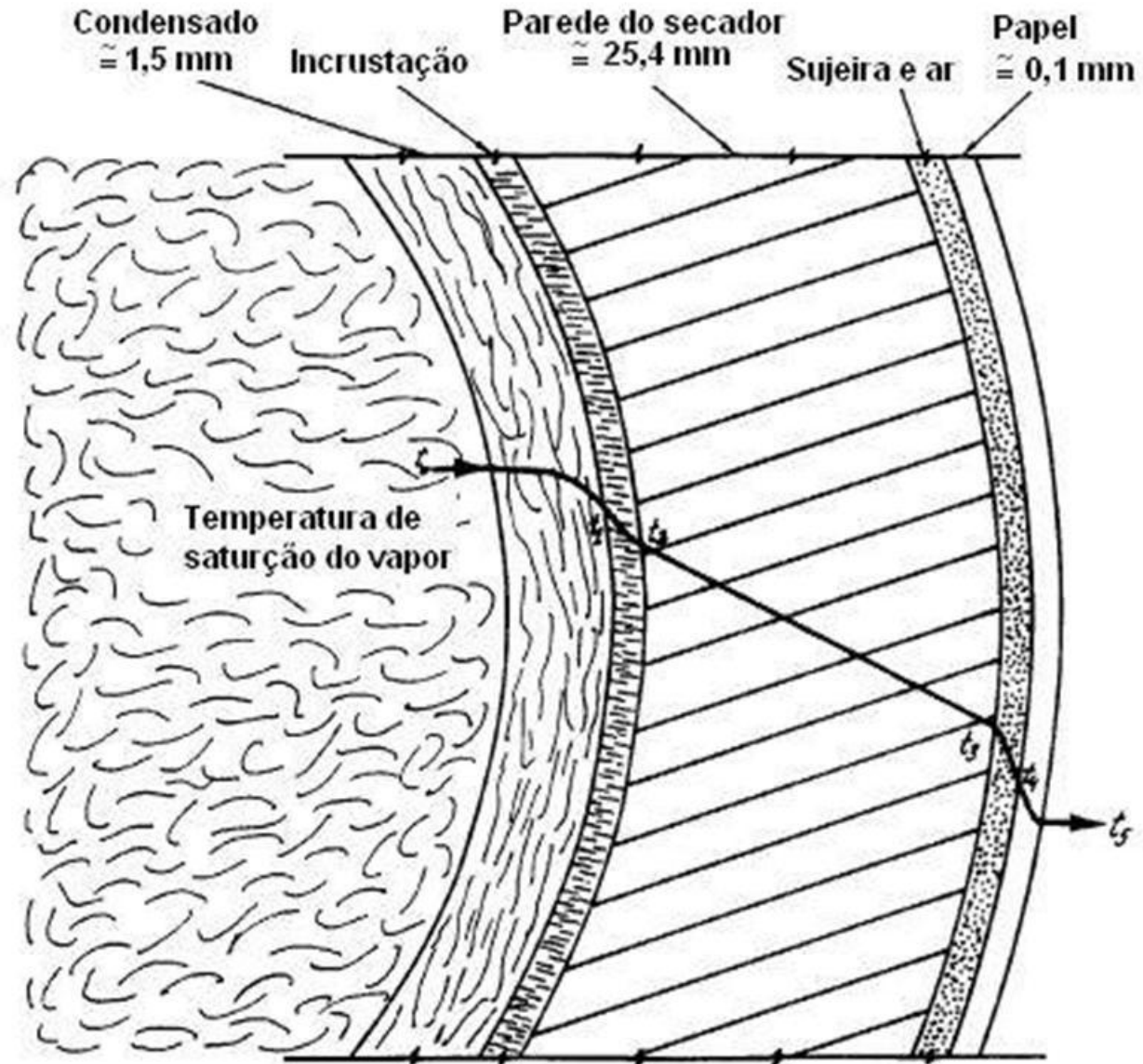
## Curva de evaporação e teor seco



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

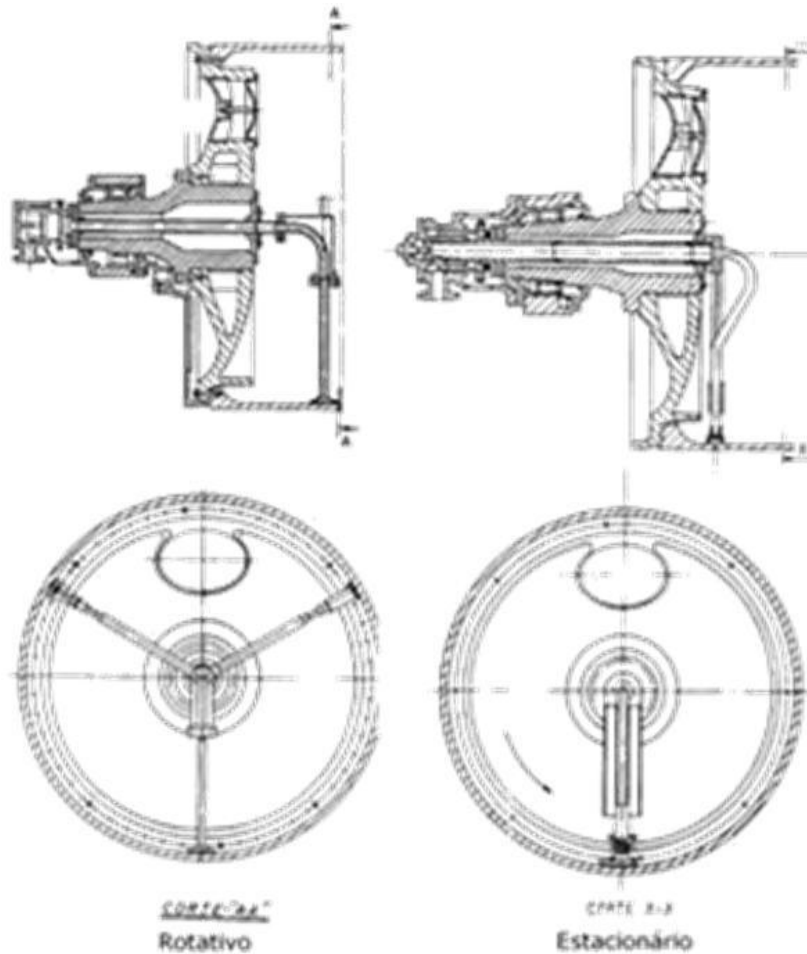


## Transferência de calor



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

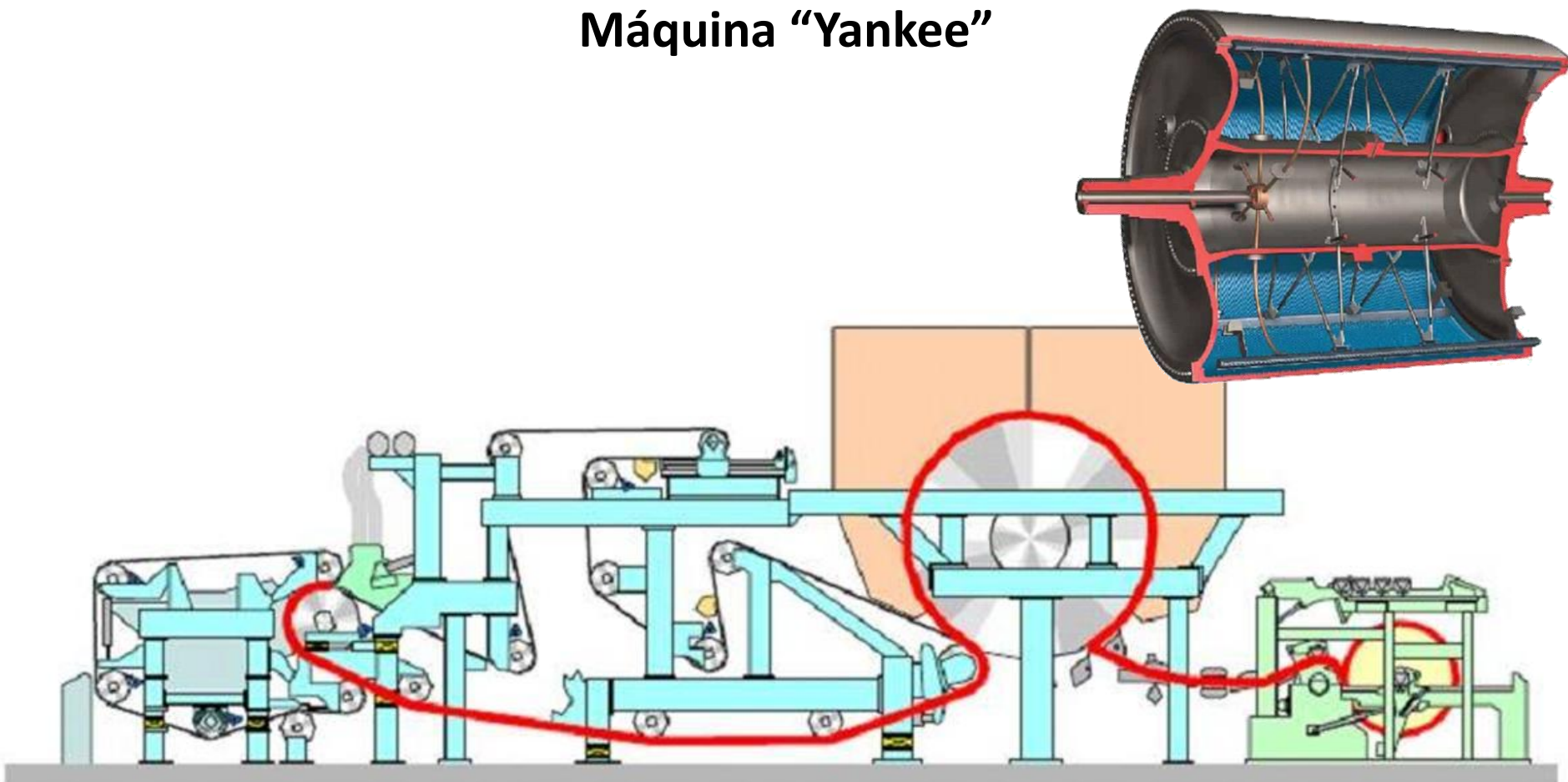
## Sifão rotativo e estacionário



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



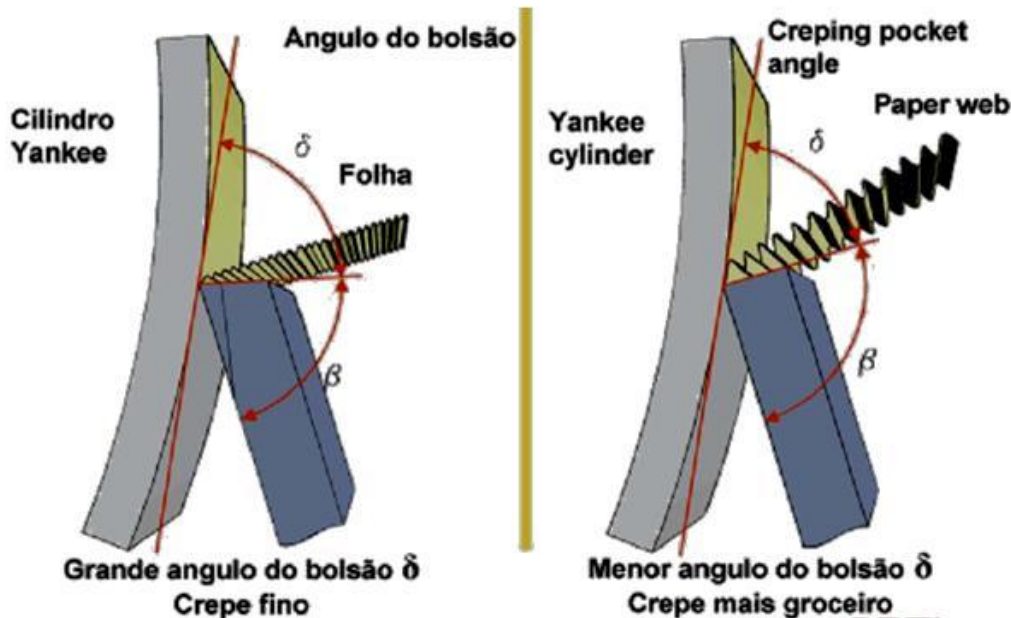
## Máquina “Yankee”



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

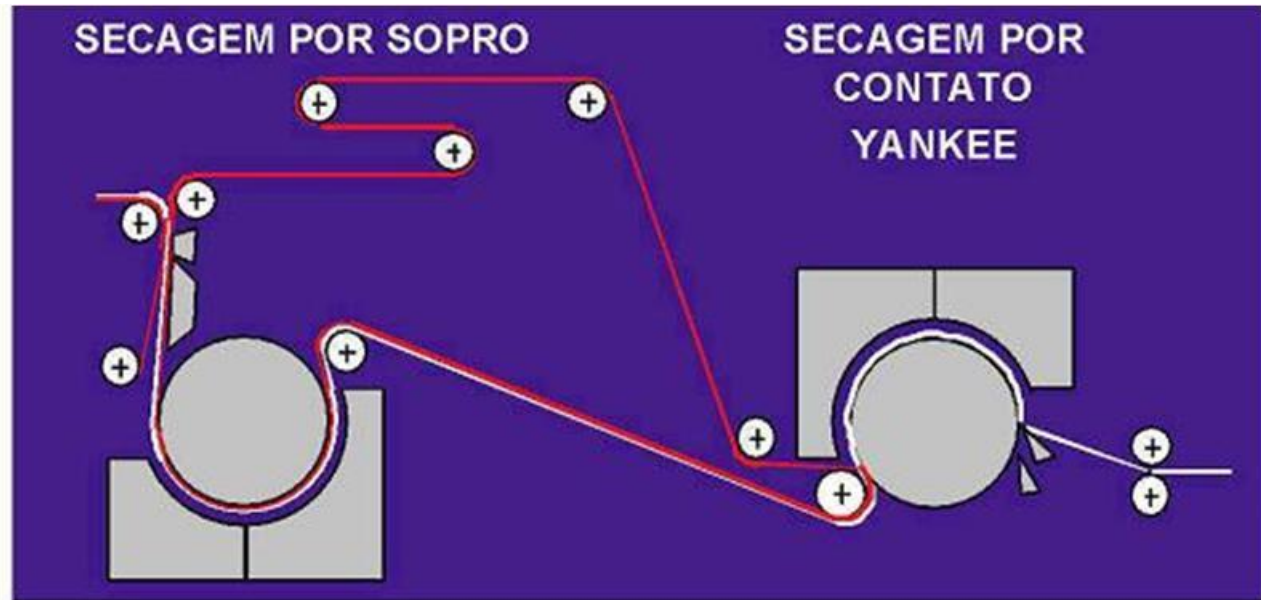
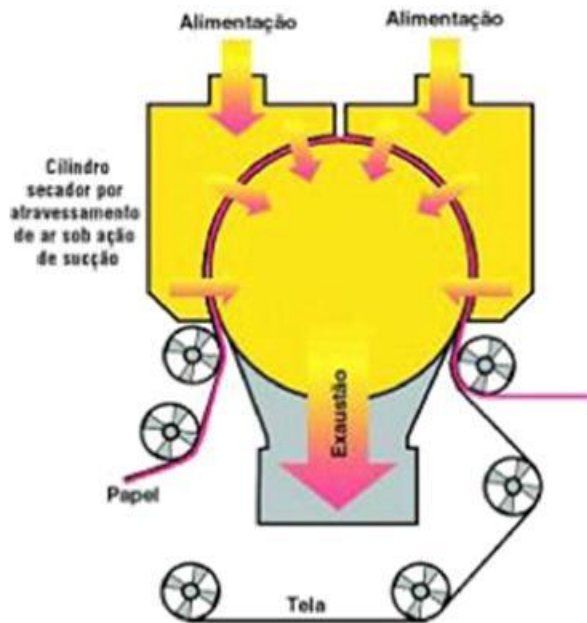
## Crepagem a seco no cilindro “Yankee”

Higiênico (espessura, maciez, absorção, resistência a úmido e a seco);  
Guardanapo (textura, absorção, resistência a úmido e a seco, aparência);  
Toalha (resistência a úmido e a seco, absorção);  
Facial (maciez, absorção, resistência a úmido e a seco).

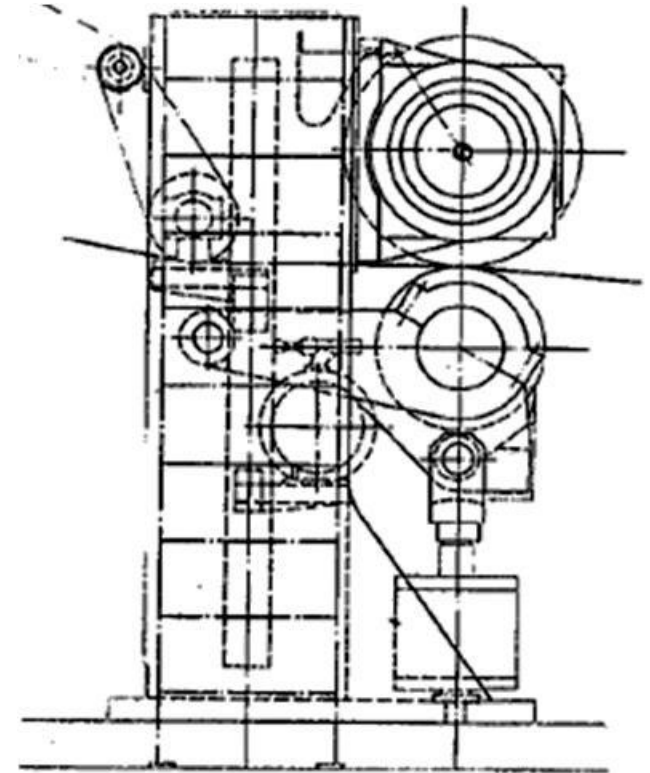
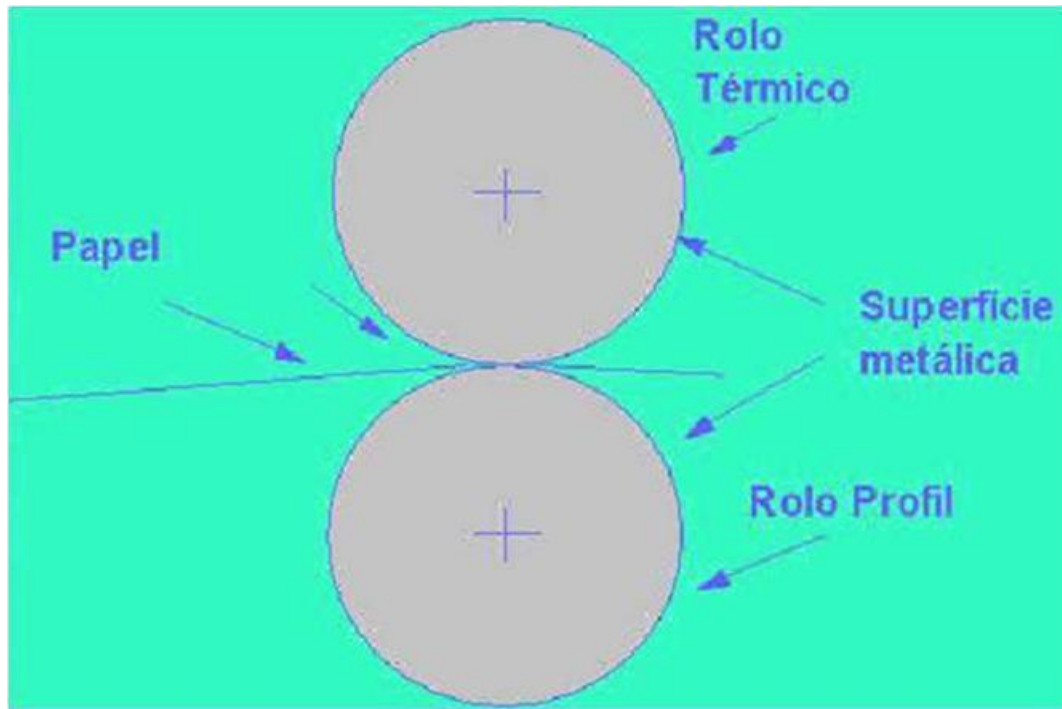


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Secagem TAD

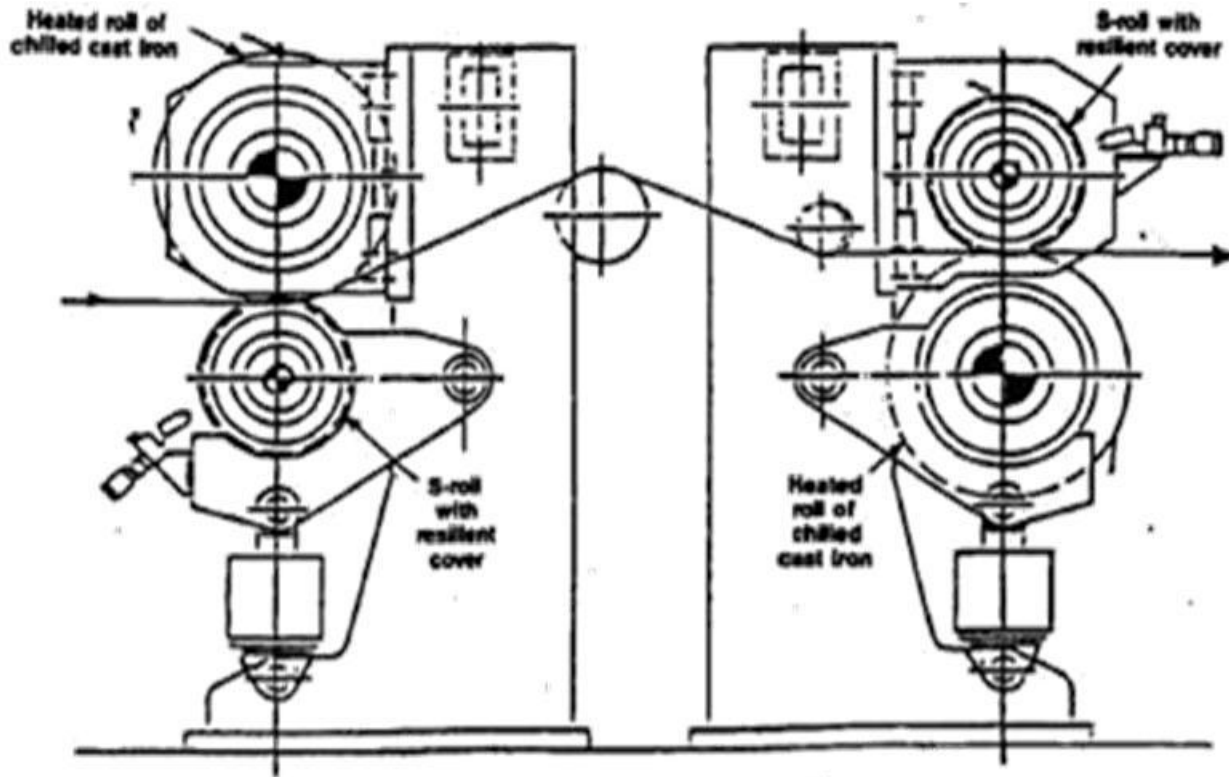


## Calandra de máquina



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

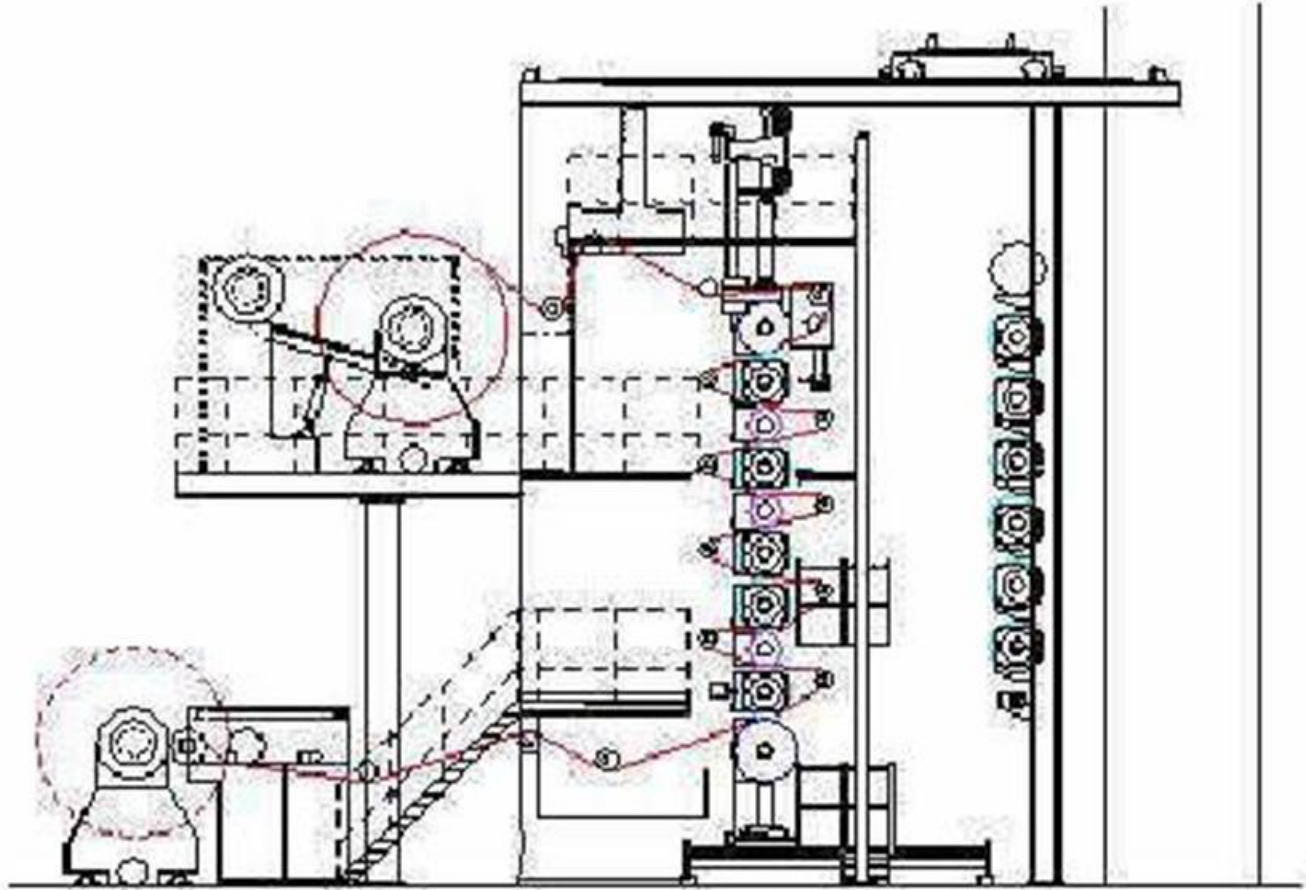
## “Soft calandra”



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

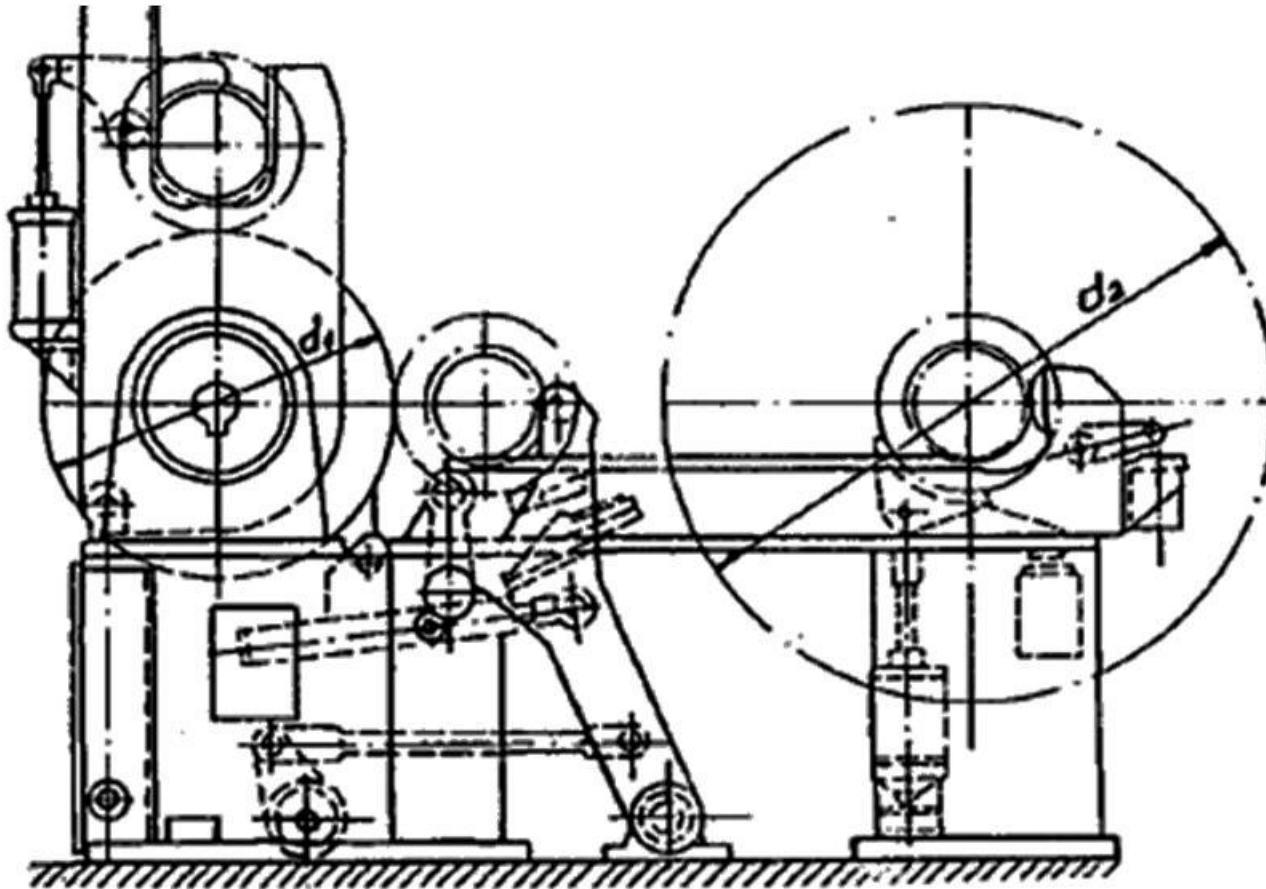


# Supercalandra



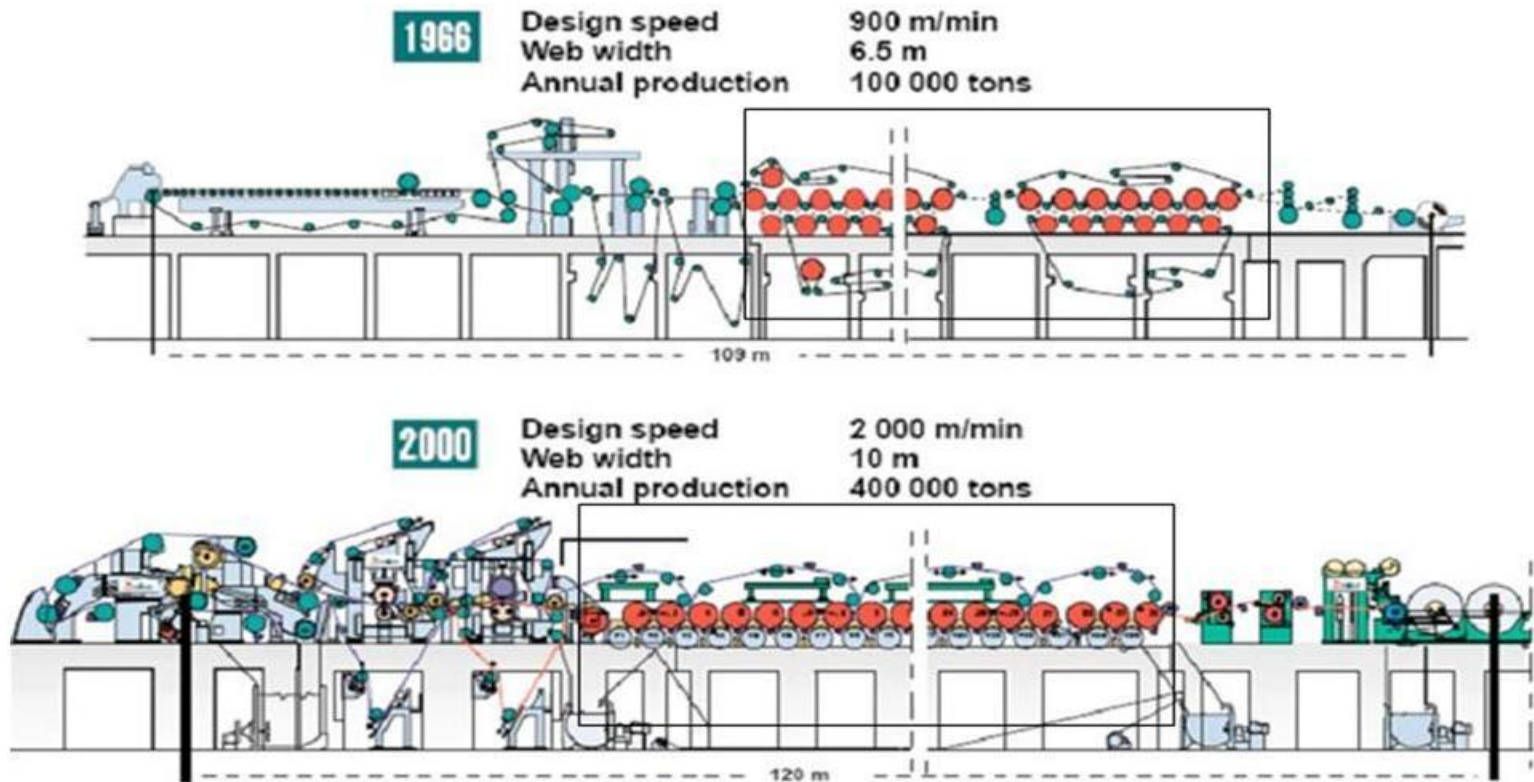
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Enroladeira “pope”



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

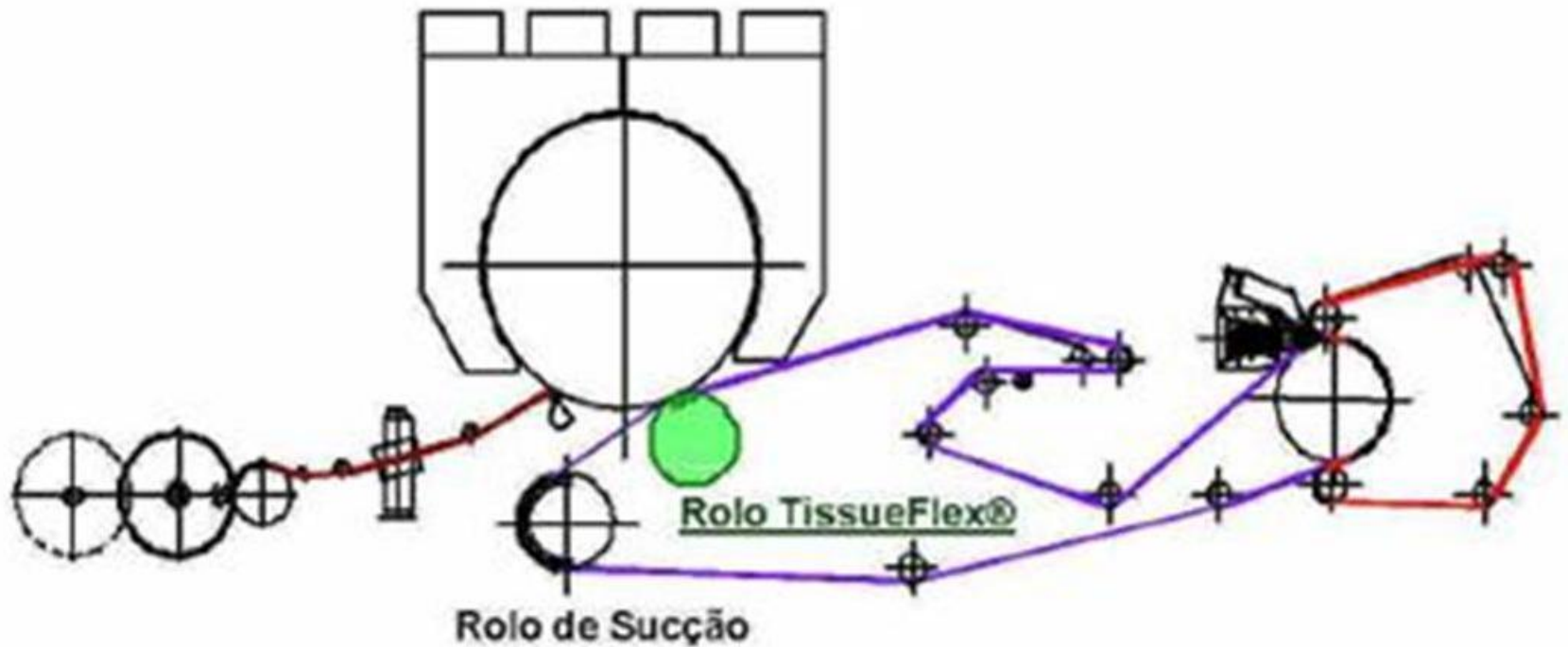
# Evolução da máquina de papel



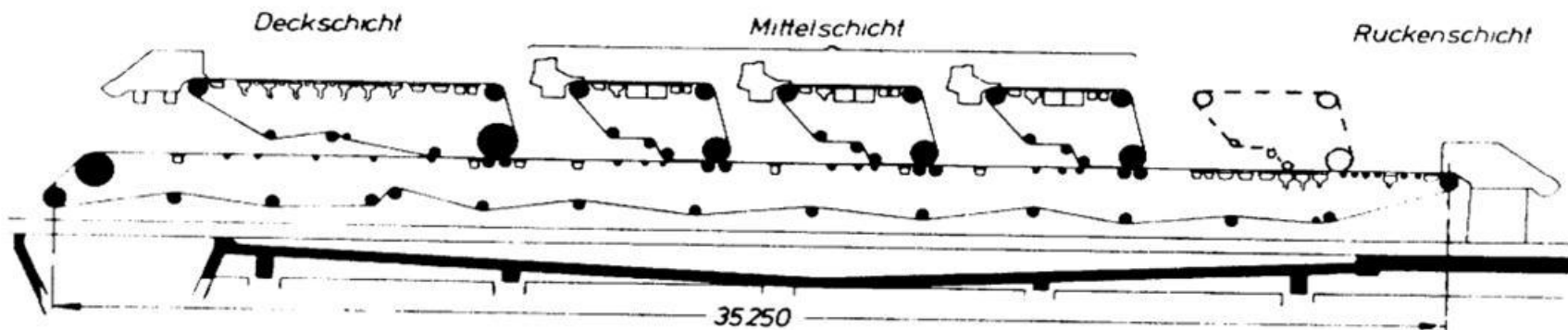
FONTE: Curso de Fabricación de Papel - ABTCP



## Máquina “tissue” tipo “Crescent Former” com prensa sapata

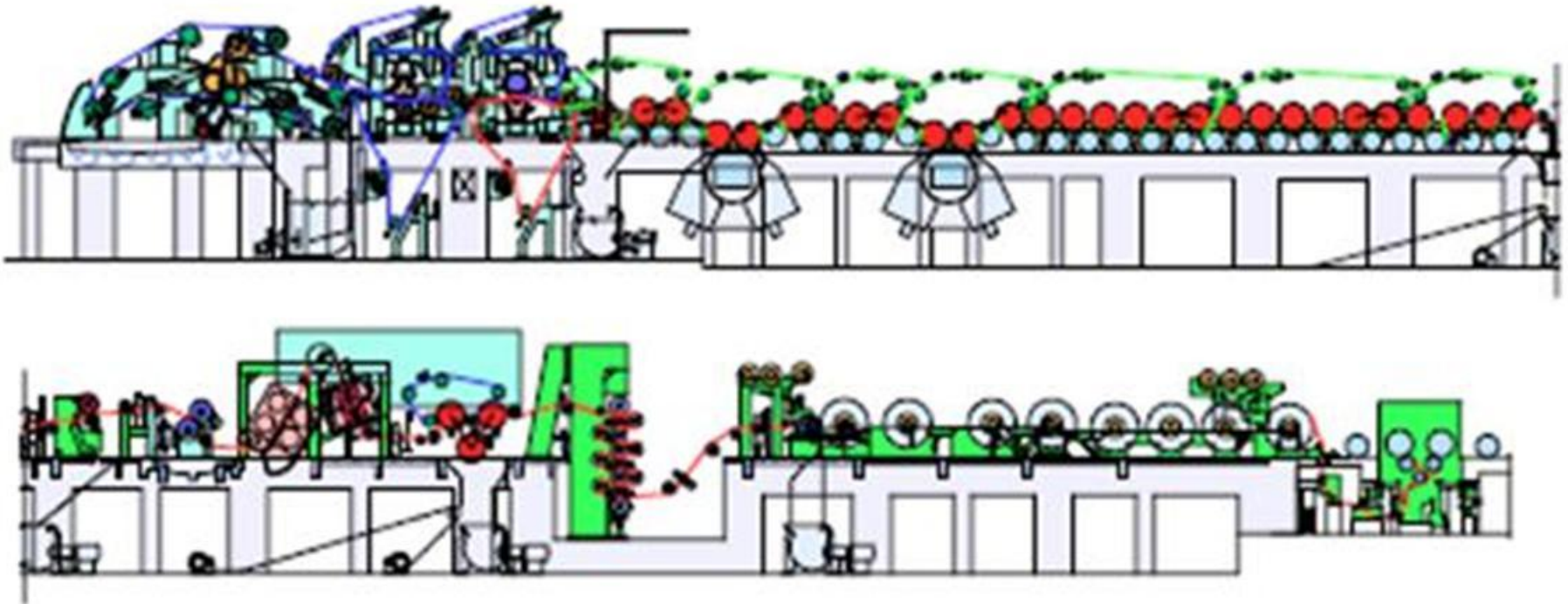


# Máquina para cartão multicapas com 5 caixas de entrada



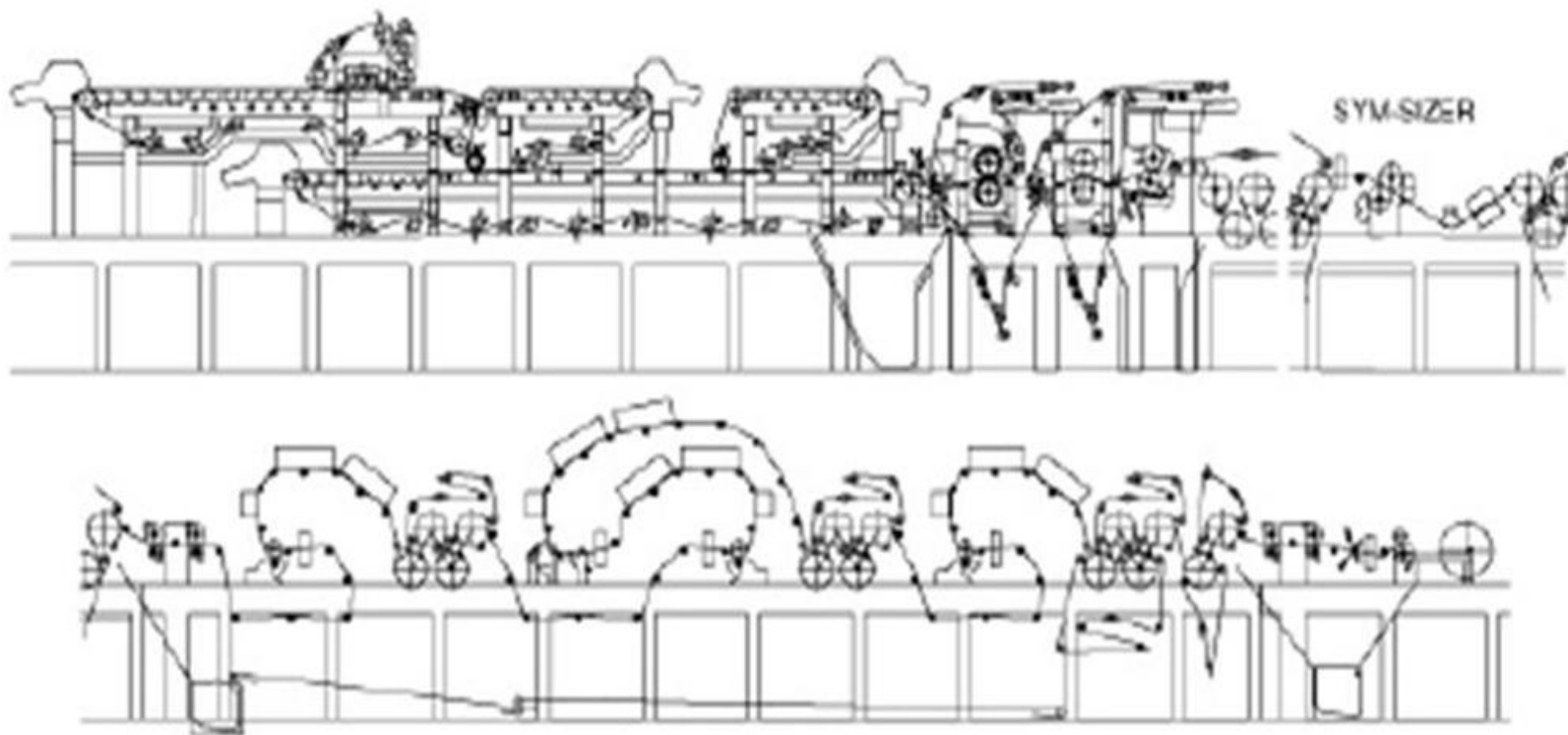
FONTE: Curso de Fabricación de Papel - ABTCP

## Máquina para papel revestido “on machine” com supercalandra



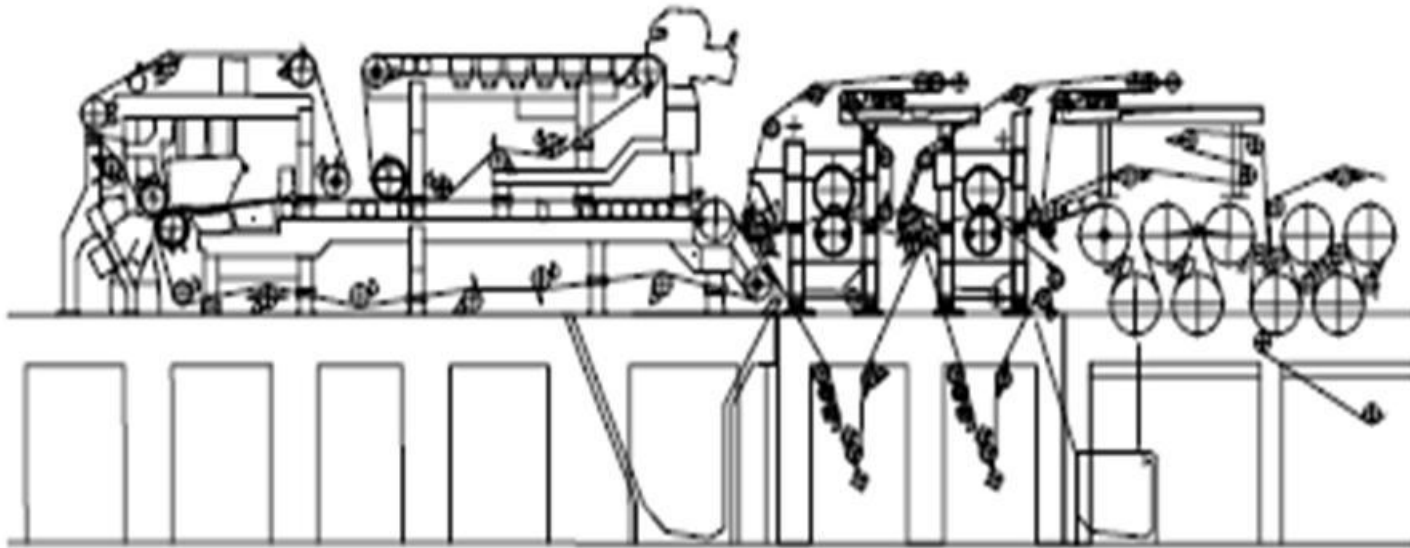
FONTE: Curso de Fabricación de Papel - ABTCP

## Máquina para cartão multicapas revestido “on machine”



FONTE: Curso de Fabricación de Papel - ABTCP

## Máquina dupla tela e uma caixa secundária



FONTE: Curso de Fabricación de Papel - ABTCP

# 8

## QUALIDADE DO PAPEL

# Principais tipos de papéis

**GRÁFICOS:** imprimir e escrever, imprensa.

## **EMBALAGENS:**

LEVES E EMBRULHOS - estiva e maculatura, manilhinha, manilha, tecido, fósforo, “strong”, seda, impermeáveis.

PESADAS - “kraft”, papelão ondulado, miolo, capa (“liner” ou “kraft liner”).

**CARTÃO E CARTOLINA:** “duplex”, “triplex”, branco, cores e papelão.

**“TISSUE”:** papel higiênico, toalha, guardanapo e faciais.

**ESPECIAIS:** papéis para cigarros, filtros de papel, papel fotográfico, papéis para capacitores, etc.

## Propriedades importantes para os papéis gráficos

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, esquadro, resistência à formação de bolhas, resistência a tração, resistência a úmido, resistência ao rasgo interno e inicial, e resistência ao arrancamento superficial.

### **Propriedades que influem no produto impresso:**

dobras duplas, resistência ao 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 importantes para os papéis gráficos (cont.)

**SCOTT & TROSSET** no livro “Propriedades do Papel - Uma Introdução”, editado pela Tappi, classificam estas propriedades em:

**Propriedades estruturais:** gramatura, espessura, formação, direcionalidade, dupla face, permeância ao ar e aspereza.

**Propriedades mecânicas:** tração, alongação, estouro (arrebentamento), rasgo, dobras duplas e rigidez.

**Propriedades de aparência:** reflectância, transmitância, brancura, alvura, brilho, transparência e opacidade.

**Propriedades relacionadas à influência do ambiente:** umidade, estabilidade dimensional e permanência.

**Propriedades relacionadas à penetração de fluidos no papel:** resistência do papel a penetração de gases, água, vapor de água, óleo, graxas e outros produtos químicos.

# Propriedades importantes para a impressão digital

A Equipe do Núcleo de Economia e Administração da Tecnologia (NEAT), IPT (2006) divide as propriedades importantes para a impressão digital em 5 grupos:

**Propriedades estruturais:** gramatura, espessura, densidade, cinzas, porosidade, formação;

**Propriedades químicas:** energia de superfície, colagem (cobb 30);

**Propriedades elétricas:** resistividade volume, resistividade superfície, permissividade calculada por valores médios, meia vida da voltagem (carga na superfície), máxima voltagem (carga na superfície);

**Propriedades óticas:** alvura, opacidade;

**Propriedades topográficas:** aspereza, compressibilidade (PPS1 – profilometer), fricção-Ry (“average and maximum peak-to-peak height”, perfil de elevação “slope”).

## Propriedades importantes para os papéis gráficos (cont.)

	IMPRIMABILIDAD						RUNNABILITY				ASPECTOS ECONOMICOS				
En Blanco: No influye ○ Baja Influencia ● Influencia Mediana ● Alta influencia	Uniformidad Impresión	Demanda Tinta	Fijación tinta	Print Through	Transparencia	Reproducción Colores	Pelusa, Polvillo	Cortes de Banda	Registro Colores	Control Tensión Banda	Rendimiento Papel	Costos desperdicio	Costos extra Tinta...	Despacho	Costos Distribución
GRAMAJE				●	●										●
Desviaciones Gramaje											○				○
Contenido de Humedad	○		○				●	●	●	●	●	○			
Cargas no fibrosas	○	○	●	●	●		○						○		
Formación Hoja	●		○	○	○								○		
Defectos Hoja	○		○					●			●	○			
Espesor/Densidad Hoja	○	○	●		○				●						○
Tersura hoja	●	●	●			○			●				○	●	
Dureza de la Hoja	●	○													
Absorción aceite	○	●	●	●		○							○	○	
Absorción Agua						○		○	○	●	○		○		
Blancura, Valor de Y		●			●	●									
Tono		○			○	●									
Opacidad		○			●										
Coef. De Dispersión		○			●	○									
Resistencia al Rasgado								●			○				
Resistencia a la Tracción								●			○				
Elongación (Elasticidad)								●	●	●	○				
Absorción de Energía								●	●		●				
Estabilidad Dimensional								○	●		○			●	
Resistencia Superficial	●						●				●				
Rigidez del papel									●		○			●	

FONTE: Apresentação Max Fischer

## **Na impressão digital, assim como nas convencionais, o papel deve apresentar:**

**Bom desempenho em máquina (“runnability”):** é a eficiência como a qual o papel pode ser processado durante a impressão e conversão, ou seja, o grau com que o papel pode ser utilizado em uma impressora sem produzir dificuldades operacionais, ou ainda, a eficiência com a qual o papel pode ser impresso e manuseado na impressora.

Propriedades de influência: estruturais e topográficas.

**Boa imprimibilidade (“printability”):** é a capacidade do papel de gerar material impresso de boa qualidade;

Propriedades de influência: propriedades ópticas, propriedades químicas e elétricas (Transferência e adesão / toner).

**Adequabilidade ao uso (“fitness for use”):** refere-se ao desempenho do papel em termos finais para o cliente, que pode ser traduzido como sua cor, textura, gramatura, acabamento e capacidade de gerar imagem que atenda os requisitos especificados para uso

Propriedades de influência: topográficas e ópticas.

# Propriedades importantes para as embalagens leves

As embalagens leves são as mais diversificadas e atendem a todo tipo de produto, **aparência** em casos de apresentação é fundamental como para embrulhos de presentes e alimentos.

Outras características para o caso de **alimentos** é a **impermeabilidade**.

No caso de **embalagens industriais** a **impermeabilidade** e a **resistência** são itens fundamentais.

Embrulhos em pequenos comércios não tem grandes exigências e, por último, saquinhos para embalagens de alimentos (principalmente em padarias) devem ter **aparência** e **média resistência**.

# Propriedades importantes para as embalagens pesadas

## **Papéis “kraft”**

BÁSICO: resistência à tração, ao rasgo, ao arrebentamento.

OPCIONAL: lisura, absorção de água, permeabilidade.

## **Papéis para sacaria:**

BÁSICO: permeância ao ar, T.E.A., resistência ao rasgo, ao arrebentamento, absorção de água

OPCIONAL: coeficiente de fricção

## **“Liner” e ondulados**

BÁSICO: capacidade de empilhamento, resistência, esmagamento, umidade, coeficiente de fricção, compressão no canto.

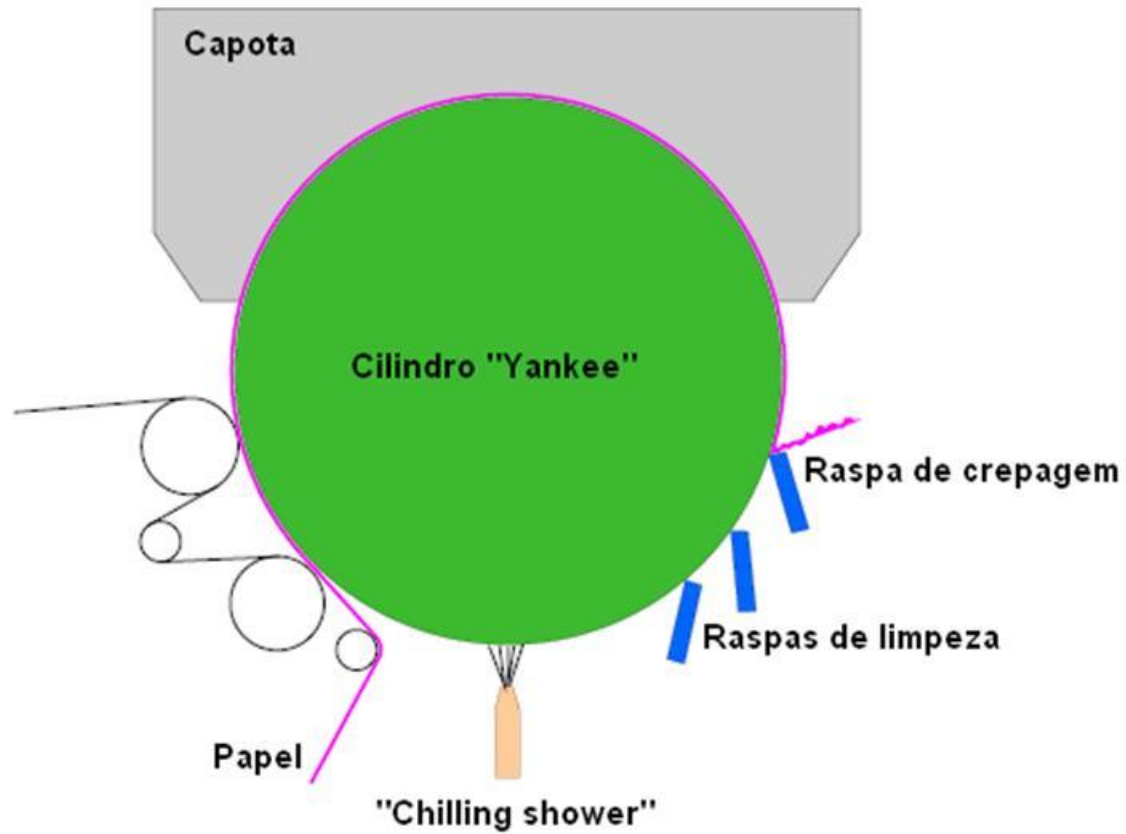
OPCIONAL: lisura, absorção, permeabilidade, permeância ao ar.

## **Cartão e cartolina**

BÁSICO: rigidez, espessura, delaminação, estouro, coeficiente de fricção.

OPCIONAL: lisura, absorção de água, permeabilidade.

## Crepagem a seco



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

# Sistema de crepagem (variáveis)



FONTE: Apresentação CBTI



## **Propriedades de alguns papéis especiais**

**PAPÉIS PARA CIGARROS:** controle da velocidade da queima do papel;

**FILTROS DE PAPEL:** resistência a úmido (filtro para café);

**PAPÉIS PARA CAPACITORES:** ausência de materiais metálicos de qualquer tipo;

**PAPEL FOTOGRÁFICO:** lisura e brancura elevada;

**BASE PARA LAMINAÇÃO E SILICONIZAÇÃO:** superfície lisa e fechada;

**PAPEL BÍBLIA:** baixa gramatura e alta opacidade.

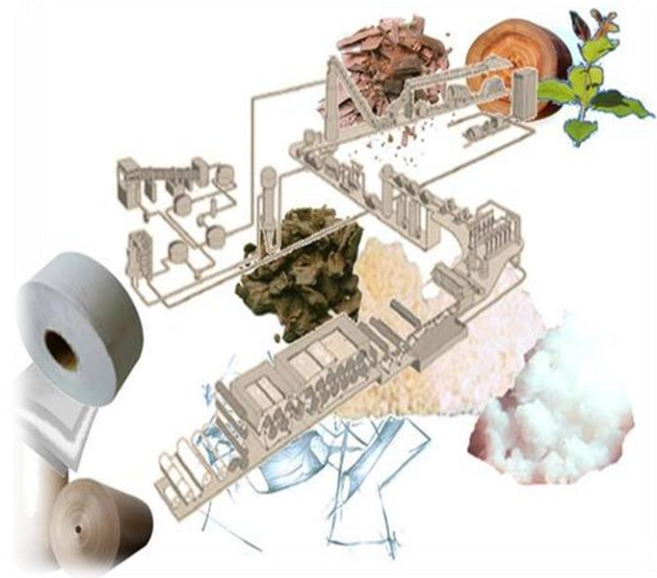
## Propriedades dos papéis por nível de importância

Grande importância (Propriedades que caracteriza o papel: especificações)	
Média importância (É importante como propriedade adicional)	
Pequena importância (Pode ser dispensada como análise)	

Propriedades / Tipos de papéis	Papel para impressão e escrita	Papel imprensa	"Tissue" (sanitários)	Papéis "kraft" para embalagens	Papelão corrugado	Papéis para sacaria	Cartões
Gramatura							
Espessura							
Volume específico ("bulk")							
Umidade							
Formação							
Orientação de fibras							
Dupla face							
Porosidade							
Lisura							
Arrancamento superficial							
Resistência à tração							
Alongamento							
Resistência ao rasgo							
T.E.A.							
Resistência às dobras							
Resistência ao estouro							
Rigidez							
Teor de cinzas							
pH e acidez							
Permanência							
Cor							
Alvura							
Brilho							
Estabilidade dimensional							
Maciez							
Resistência a úmido							
RCT							
Cancora (CMT)							
Resistência à água							
Resistência à delaminação							
Coefficiente de fricção							
Resistência a compr. de canto							
Resistência à vincagem							

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

# 9



## **A INFLUÊNCIA DO REFINO (MOAGEM) NA QUALIDADE DO PAPEL**

## Por que refinar?

O principal objetivo da refinação consiste em melhorar a capacidade de fibras para se unirem umas com as outras, a fim de formar uma folha de papel com resistência mecânica e com excelentes características para **seu uso final**.

Para poder chegar a esses objetivos, as fibras podem chegar a serem encurtadas, hidratadas, fibriladas, operações essas que ajudarão a desenvolver as propriedades como resistência física, absorvência, porosidade e várias propriedades óticas.

## Por que refinar? (cont.)

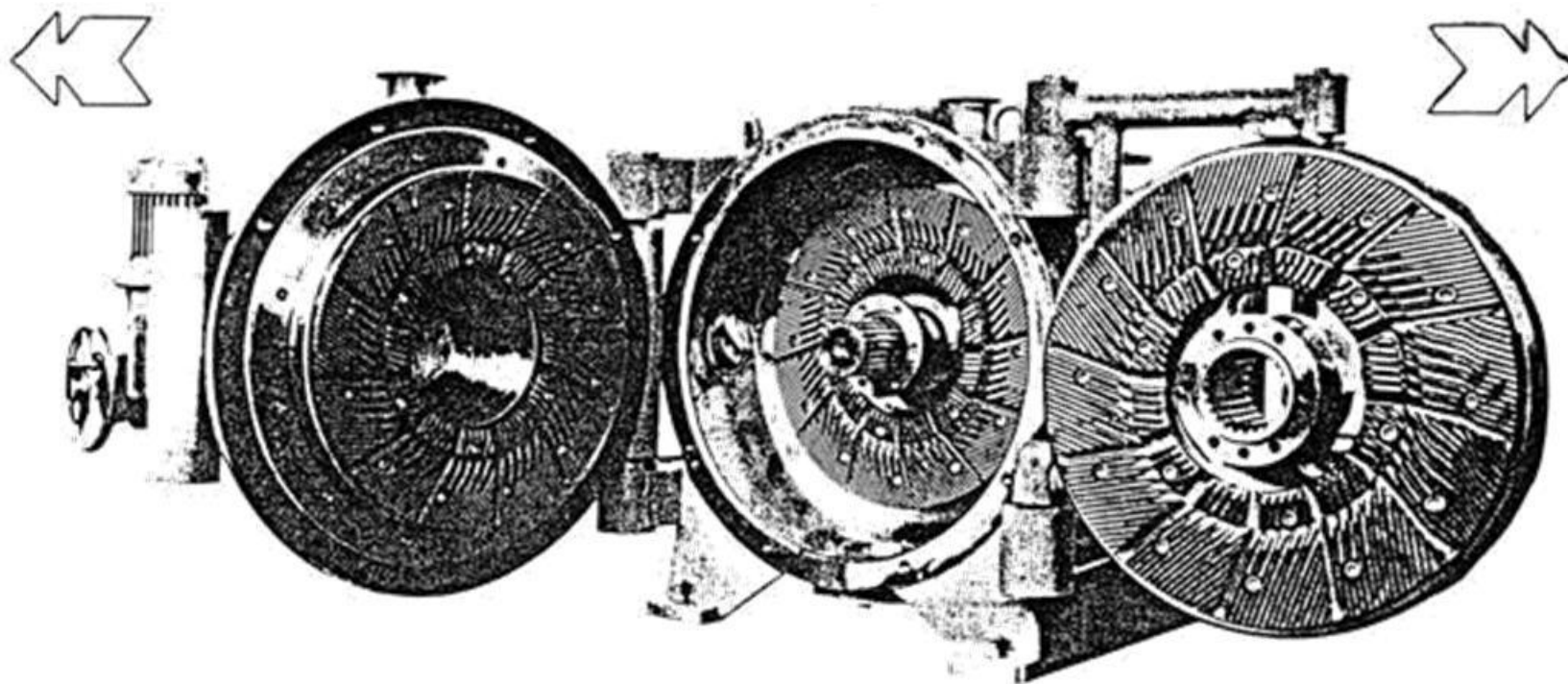
A refinação de pasta química (celulose industrial) é uma das mais importantes operações, especialmente quando se pretende produzir papéis de alta qualidade, e pode ser definida como sendo o tratamento mecânico de fibras, e em presença de um meio aquoso, que visa uma modificação da morfologia das fibras e sua estrutura físico-química, de forma que elas possam se unir e formar uma folha de papel homogênea e resistente.

DOIS TERMOS BÁSICOS:

- 1) a necessidade de dispensar energia às fibras, e
- 2) que estas tenham que estar em um meio aquoso.

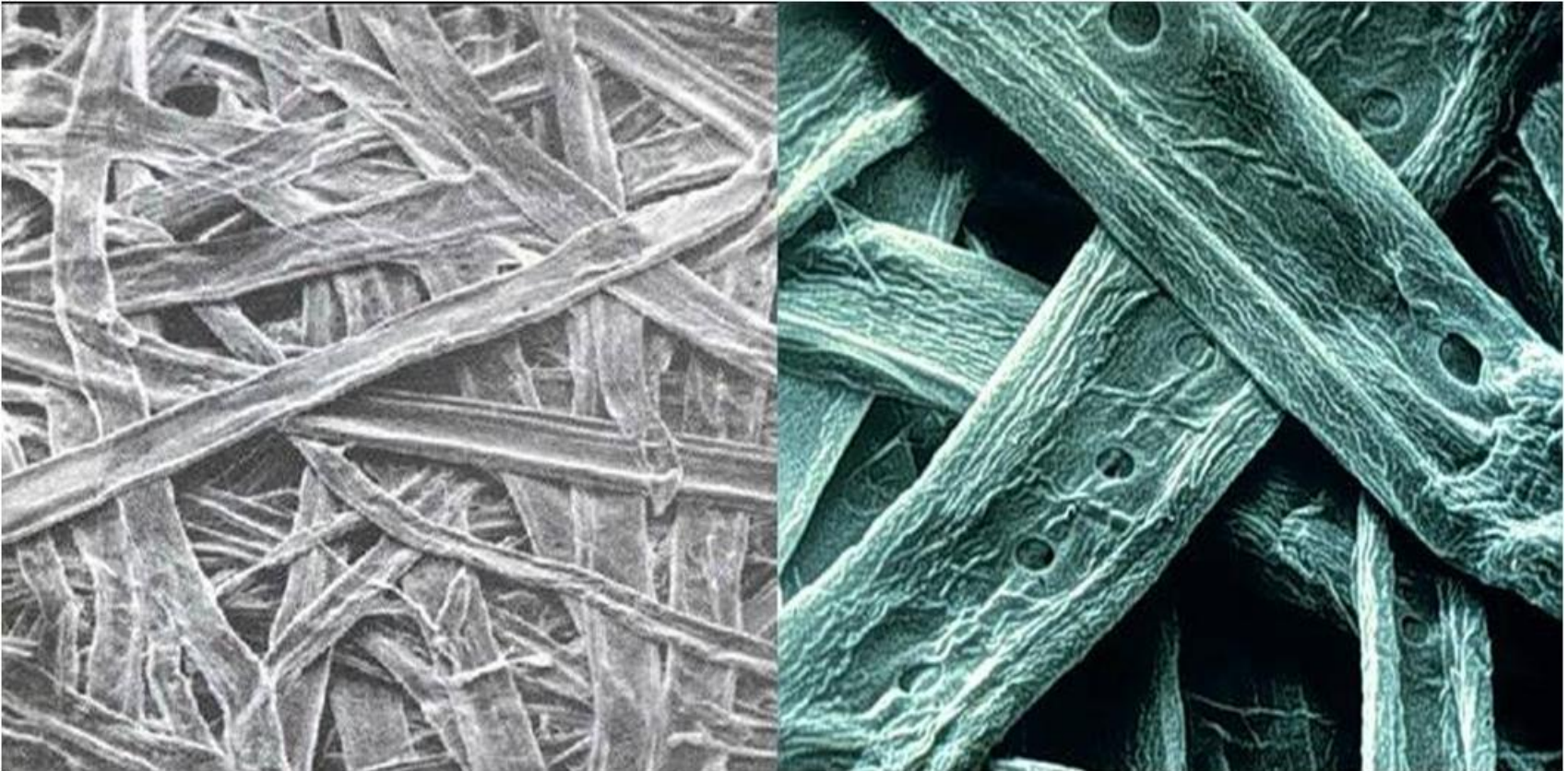
Como medir a modificação efetuada sobre as fibras?

## Refinador de discos duplos (aberto)



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

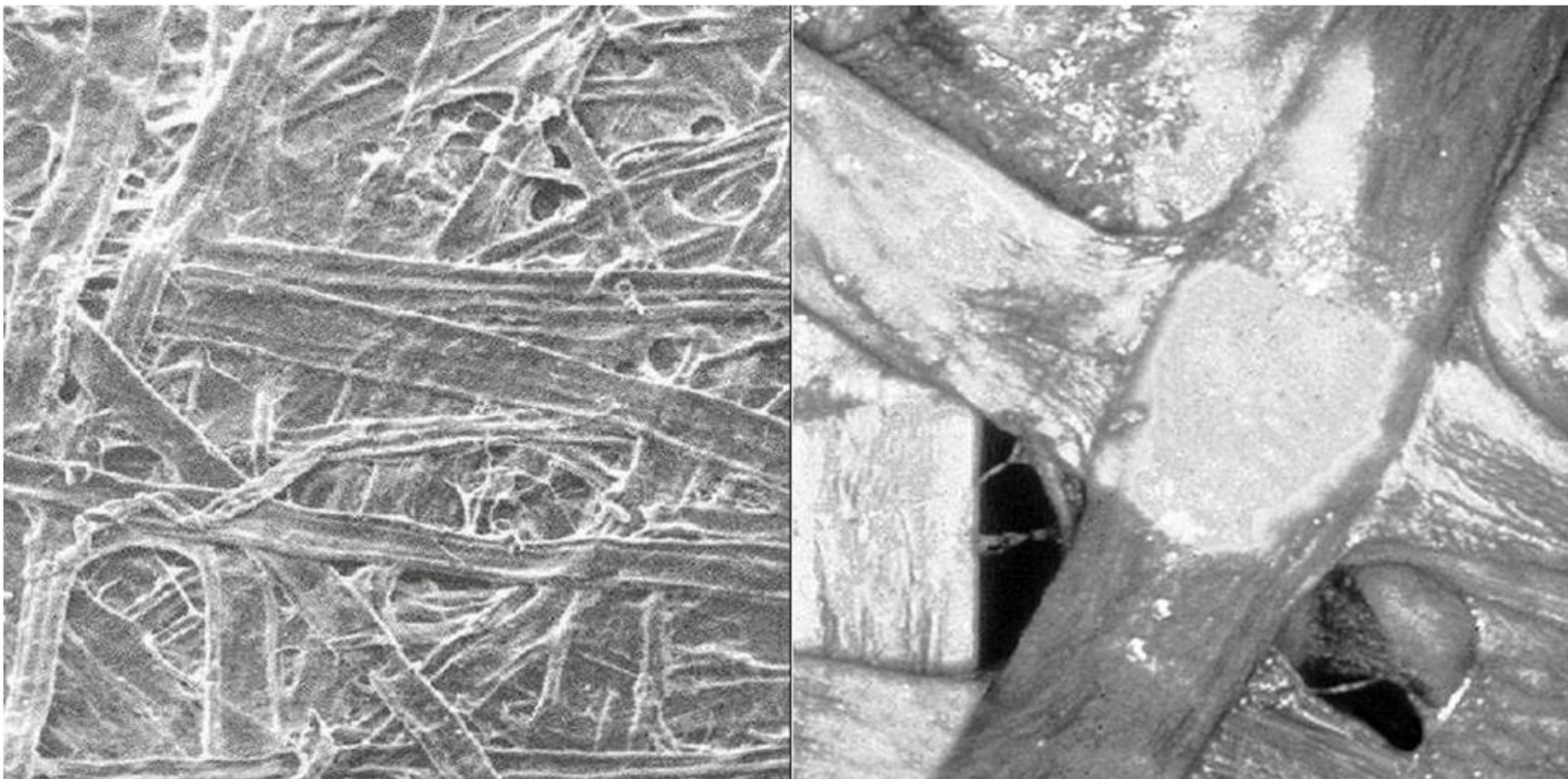
## Superfície de uma folha com pasta não refinada



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



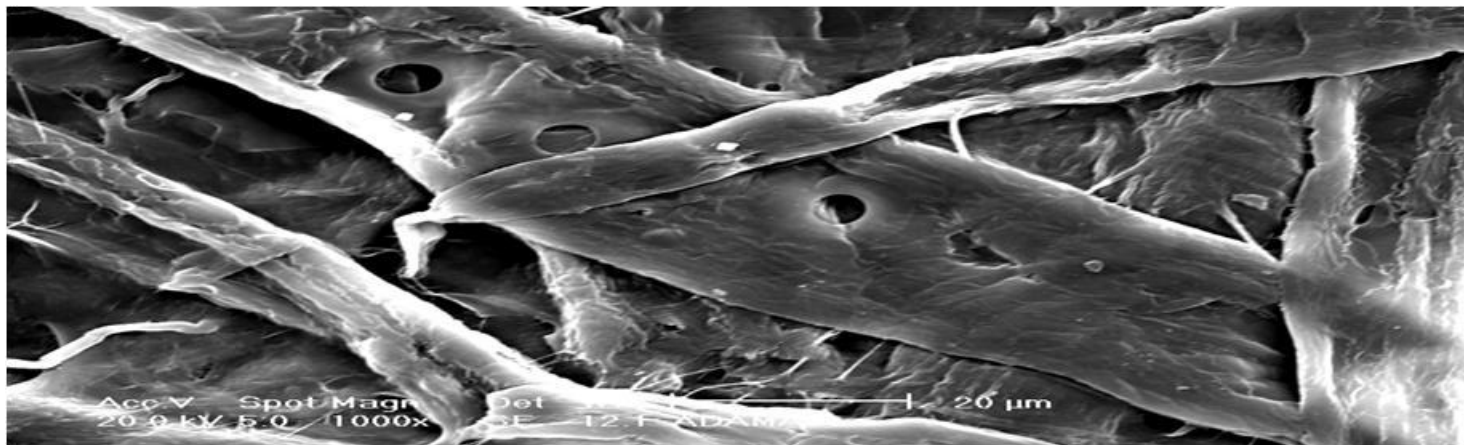
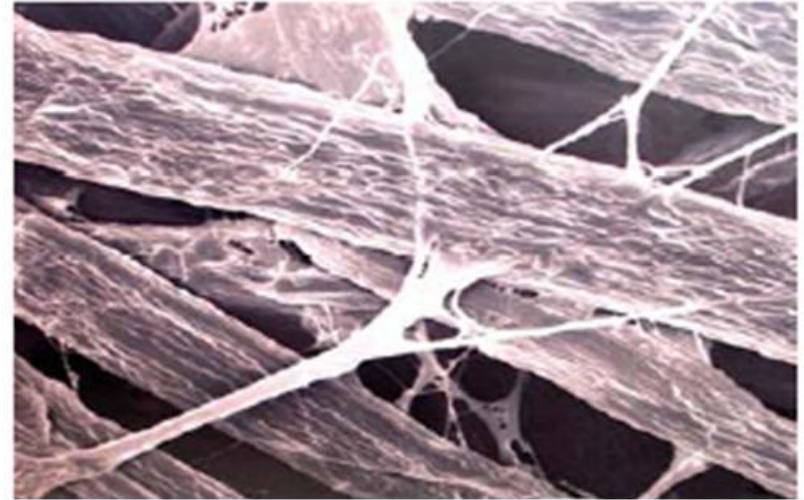
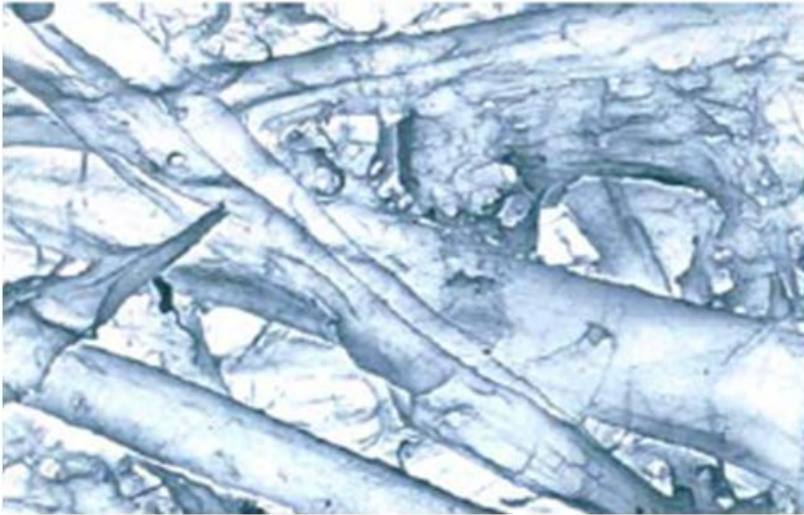
## Superfície de uma folha com refinada



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

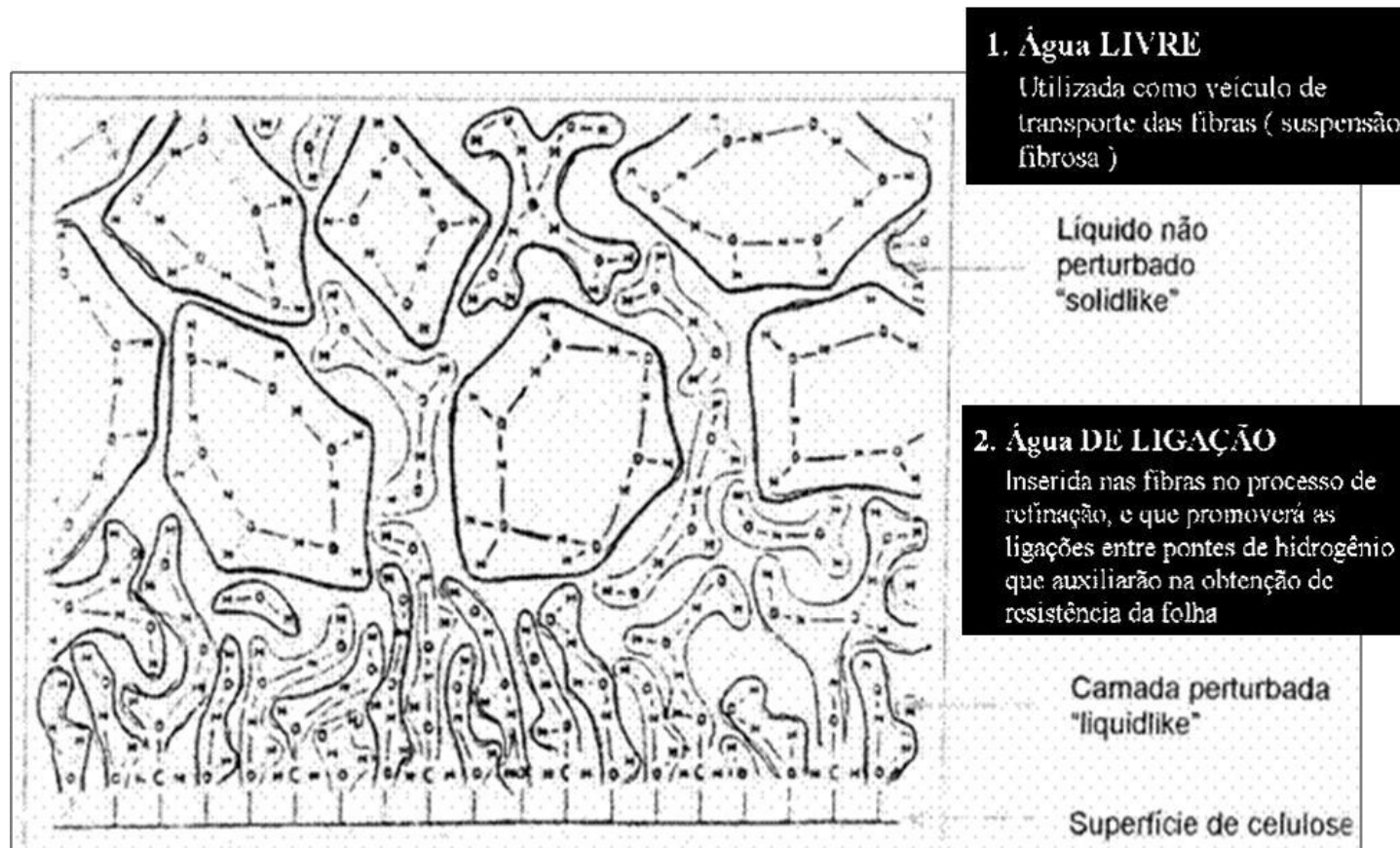


## Detalhes das ligação entre as fibras



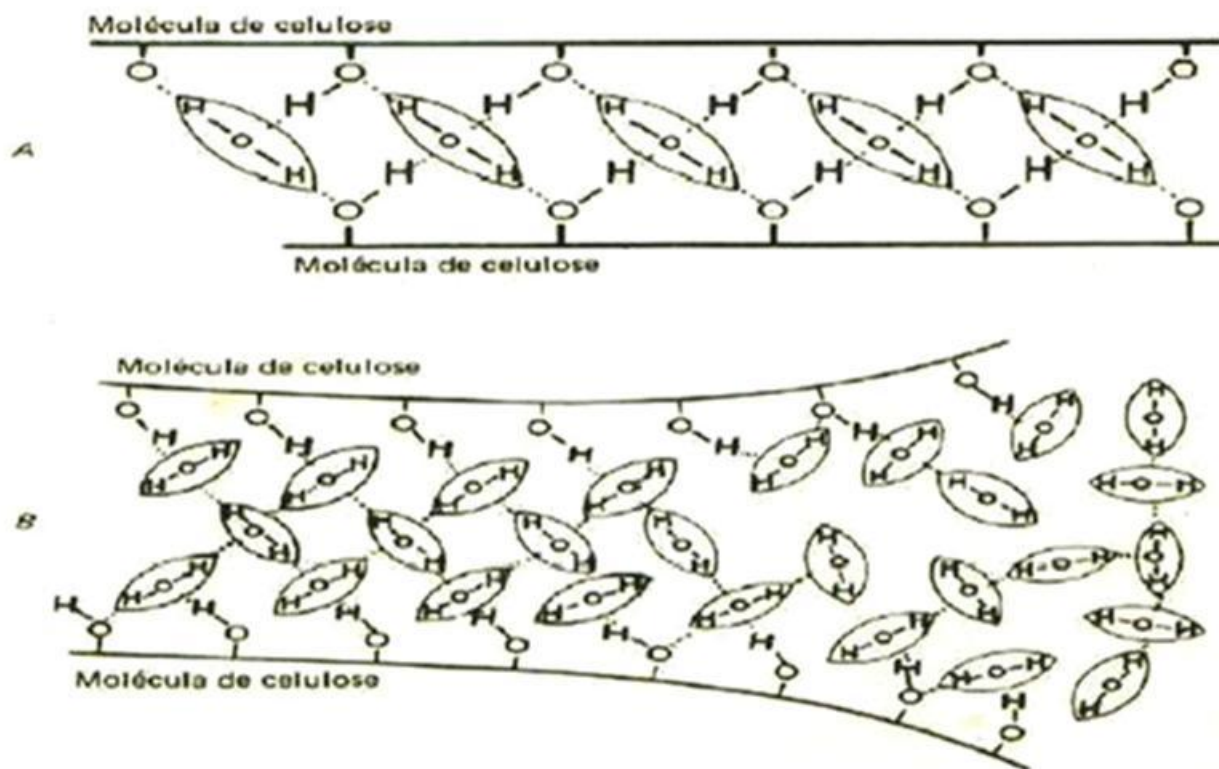
FONTE: Eucalyptus Online Book & Newsletter (Celso Foelkel)

# União das moléculas d'água por pontes de hidrogênio



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

## Inserção de água por meio da refinação (hidratação)



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



## Três casos diferentes quanto aos pontos de contato entre as fibras



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

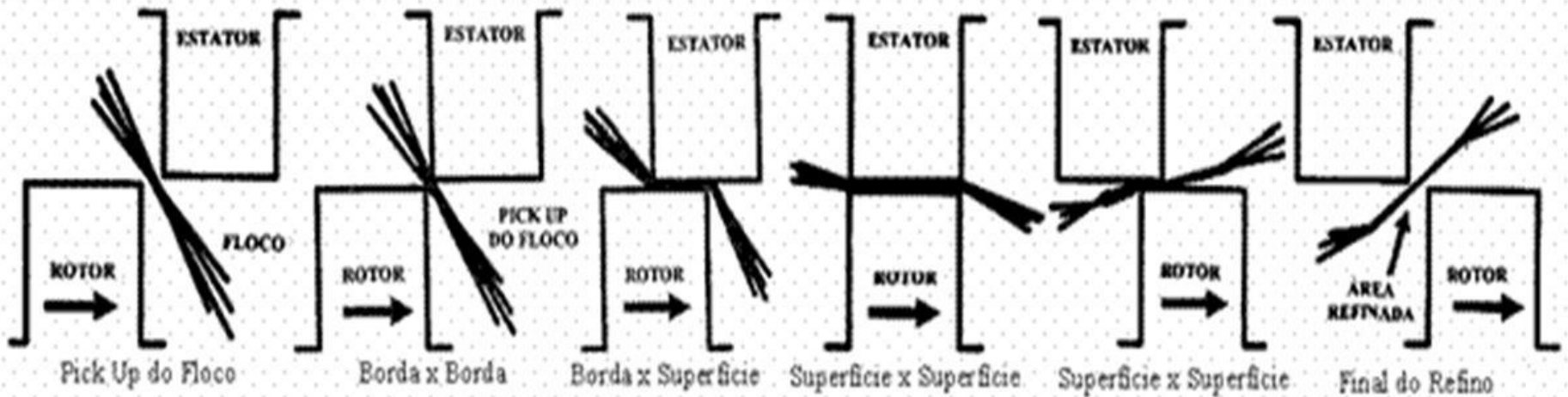
Na prática, as fibras branqueadas de celulose não possuem na sua superfície as hemiceluloses, as quais foram dissolvidas durante o processo de cozimento e branqueamento.

No entanto, quanto às fibras ficam submetidas à refinação, suas paredes são destacadas e abertas, dando acesso às hemiceluloses ainda presentes. Logo em seguida, inicia a hidratação.

O volume de uma fibra hidratada, ou inchada, ou intumescida pode aumentar até 2 a 3 vezes em relação a fibra original.

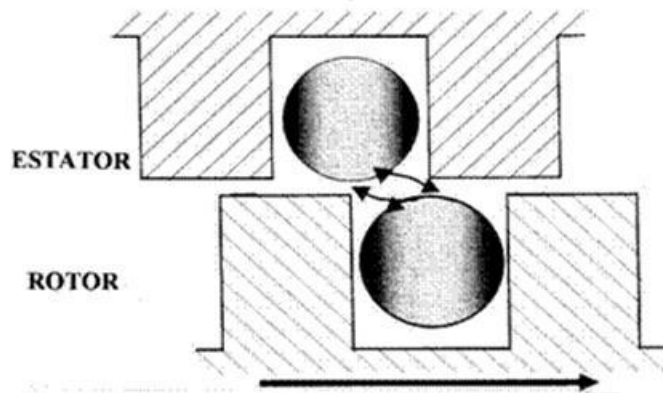
Como exemplo, podemos ver o seguinte: uma massa refinada até 19 °SR sofre um acréscimo em teor de água de 56 %, enquanto se a mesma massa for refinada até 73 °SR, o acréscimo atingirá o valor de 244 %.

## Mecanismo de refinação e seqüência de passos



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

## Teoria dos flocos



As fibras, presentes na massa, fazem parte dos flocos, ou seja, não existem individualmente e não podem mover-se independentemente. Isso ocorre na massa de consistência compreendida entre 2 a 6%.

Com a manipulação da massa, como agitação, bombeamento, depuração, os flocos se deformam e formam continuamente. Esse fenômeno ocorre também durante o refino, quando a massa passa por refinador, atravessando os sulcos e lâminas (barras). O diâmetro de um floco, dependendo do tipo de fibras e da consistência, pode variar de 1 a 6 mm, valor este bastante alto, quando comparado com a folga entre os discos, comumente na faixa de 50 a 150  $\mu\text{m}$ .

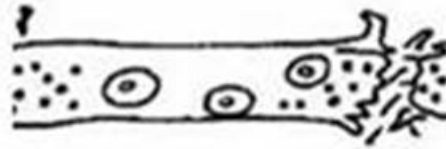
## Desenvolvimento histórico das “figuras chaves” para caracterizar o processo de refinação

ANO	CONTRIBUIÇÃO PARA ENTENDER O PROCESSO DE REFINAÇÃO		FIBRA	PROCESSO	MÁQUINA
1990	LUMIAINEN	CARGA ESPECÍFICA DE SUPERFÍCIE	●	●	●
	KEREKES	FATOR "C" / FREQ. E INTENS. DO TRATAMENTO DA FIBRA	◆	●	●
1986	JORIS	VARIAÇÃO E VELOCIDADE DOS PONTOS DE CRUZAMENTO			●
1981	STEVENS			●	●
1978	KLINE			●	●
1977	LEIDER & NISSAN	FREQÜÊNCIA E INTENSIDADE DO TRATAMENTO DA FIBRA	◆	●	●
1969	DANFORTH	FREQÜÊNCIA E INTENSIDADE DO TRATAMENTO DA FIBRA		●	●
1966	BRECHT & SIEWERT	CARGA ESPECÍFICA DE BORDAS / ENERGIA ESPECÍFICA		●	●
1964	VAN STIPHOUT	PROBABILIDADE NO TRATAMENTO DA FIBRA		●	●
1958	WULTSCH & FLUCHER	INTENS. DE REF.: CARGA EFETIVA POR COMPR. DE LÂMINA		●	●
1927	MILNE				●
1922	SMITH	TEORIA DA FIBRILAÇÃO	◆		●
1907	PFARR				●
1906	KIRCHNER				●
1887	JAGENBERG	COMPR. DE BORDA POR SEGUNDO, SUPERF. / PRESSÃO			●

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



## Efeitos primários da refinação



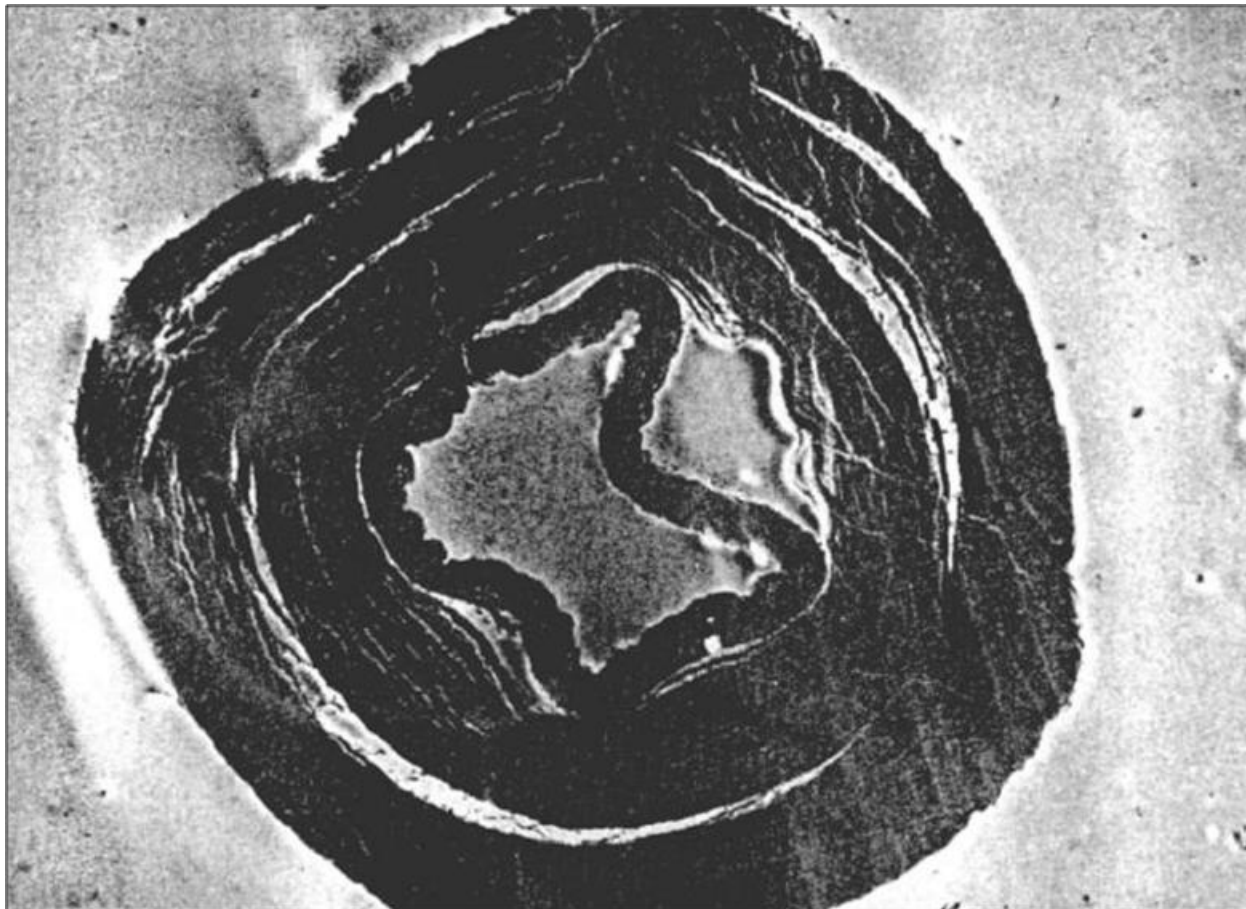
Fibrilação interna

Fibrilação externa

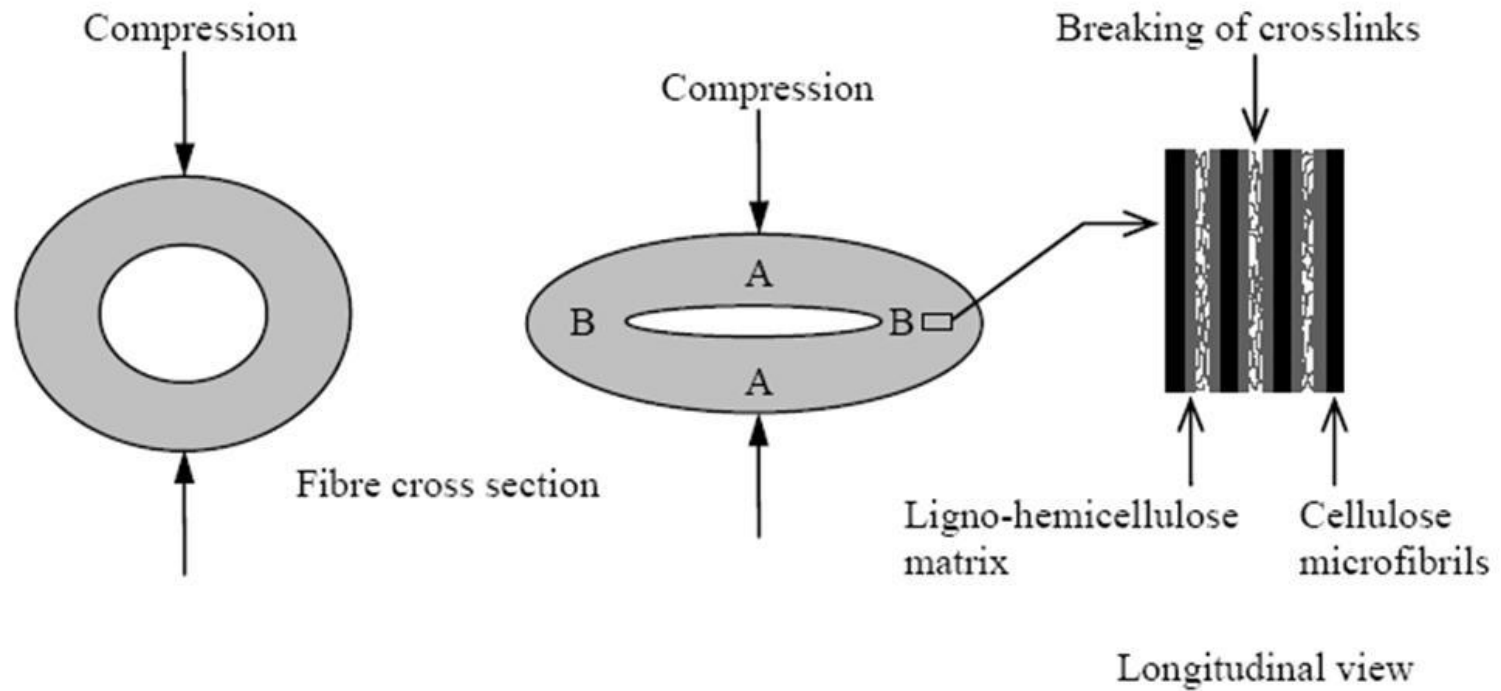
Corte das fibras

Formação de finos

## Quebra de ligações na estrutura da fibra (interna)

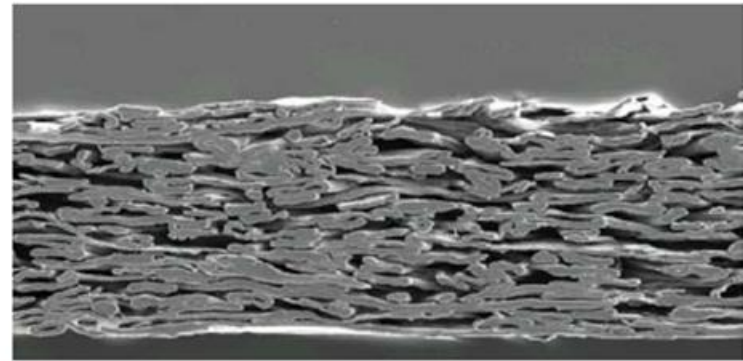
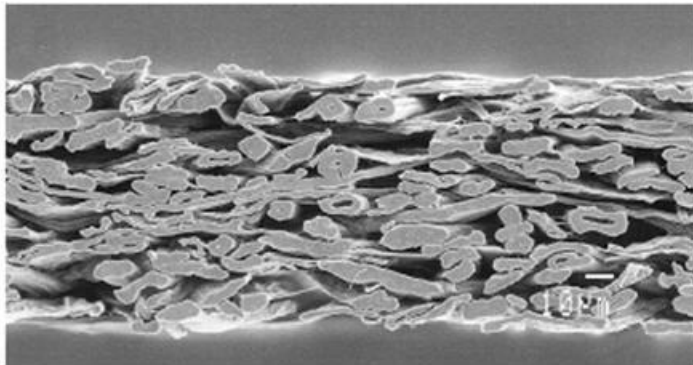
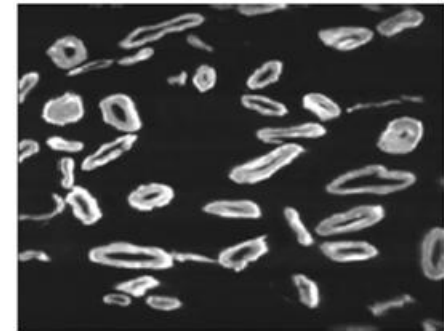
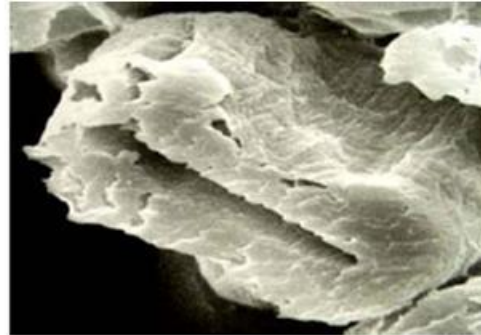
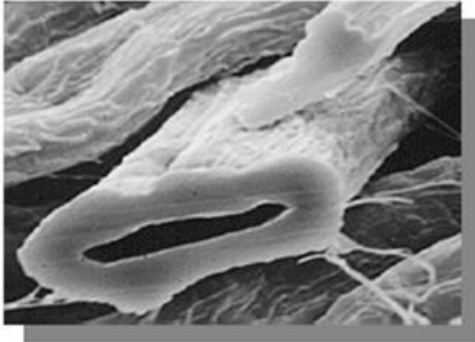


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)



Um mecanismo proposto de como a **fibrilação interna** pode ser criada por uma ação de compressão. A compressão na região A achata e comprime a fibra e causa uma ruptura na região B, resultando numa quebra nas ligações entre microfibrilas.

## Colapsamento das fibras e estrutura do papel



# Efeitos secundários da refinação

## **Sobre as fibras:**

- Aumento do volume específico
- Aumento da superfície específica
- Aumento de flexibilidade
- Diminuição do comprimento das fibras

## **Sobre o sistema fibra-água:**




- Resistência ao fluxo
- Resistência ao rasgo
- Resistência da folha úmida
- Tensões durante a secagem

## **Sobre as propriedades do papel:**

- Área de ligações
- Densidade
- Resistência à tração
- Alongamento
- Módulo elástico
- Energia de ruptura
- Deslizamento
- Índice de rasgo
- Resistência às dobras

## Correlação entre efeitos primários e secundários na refinação

<b>EFEITOS SECUNDÁRIOS</b>	<b>EFEITOS PRIMÁRIOS</b>			
	<b>FIBRILAÇÃO INTERNA</b>	<b>FIBRILAÇÃO EXTERNA</b>	<b>PRODUÇÃO DE FINOS</b>	<b>CORTE DAS FIBRAS</b>
VOLUME ESPECÍFICO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO
FLEXIBILIDADE	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
SUPERFÍCIE ESPECÍFICA	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO
COMPRIMENTO DA FIBRA	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
ABSORÇÃO DE ÁGUA	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
POROSIDADE	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO
TENSÕES DURANTE A SECAGEM	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO
UNIÃO POR PONTES DE HIDROG.	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
DENSIDADE	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO
ENERGIA DE RUPTURA	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
LISURA	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO	FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO
ÍNDICE DE RASGO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
ALONGAMENTO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO
DOBRAS DUPLAS	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO	FRACA CORRELAÇÃO

	<b>FORTE CORRELAÇÃO</b>
	<b>FRACA CORRELAÇÃO</b>
	<b>FRAQUÍSSIMA CORRELAÇÃO</b>

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

## **Efeitos secundários da refinação**

**Estas propriedades são mais ou menos importantes para cada tipo de papel a ser fabricado.**

Por exemplo:

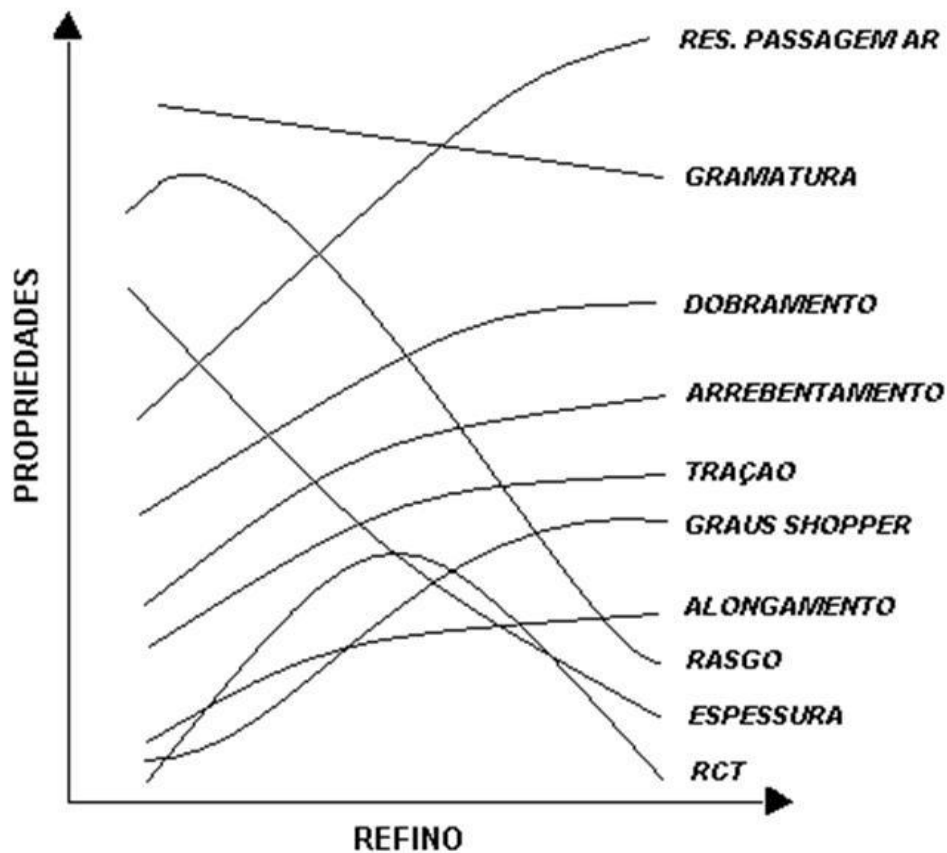
Papéis para embalagem: resistência ao rasgo, resistência ao estouro, rigidez;

Papéis para imprimir e escrever: opacidade, “bulk”, alvura;

Papéis imprensa: resistência à tração, opacidade;

Papéis “tissue”: maciez

# Desenvolvimento de propriedades do papel em função do nível de refino



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

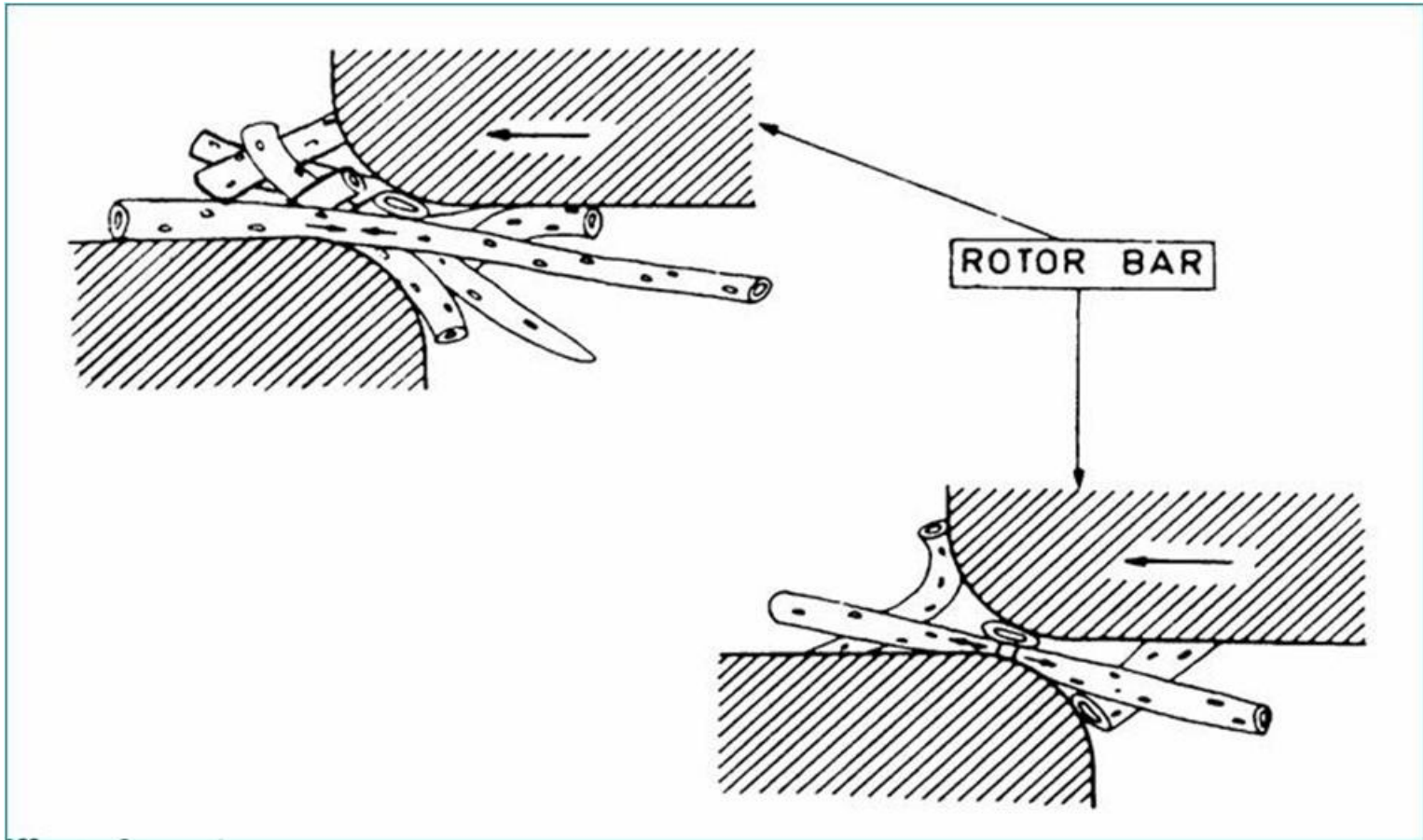


## Fatores de influência e afetados pela refinação

Fatores que influenciam no processo			Fatores afetados pelo processo
Variáveis da matéria-prima	Variáveis do equipamento	Variáveis do processo	Alterações desejáveis na estrutura da fibra
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	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”)	Temperatura pH Consistência Pressão específica Entreferro Vazão da massa Energia aplicada Consumo específico Carga específica de lâmina (ou aresta) Arranjo dos refinadores	Flexibilidade Colapsamento Fibrilação Relação adequada entre corte e fibrilação.

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

## Efeito da consistência sobre a refinação



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

## Carga específica de lâminas

**Specific Edge Load (SEL) =>**

**“Quantidade de energia transferida às fibras, quando do cruzamento de 1m de facas”.**

$$\text{SEL} = (P - P_o) / n \cdot Z_r \cdot Z_s \cdot l \quad (\text{w.s/m})$$

n: velocidade do motor,

P: Potência aplicada;

Z<sub>r</sub>: número de facas do rotor;

P<sub>o</sub>: Potência em vazio.

Z<sub>s</sub>: número de facas no estator;

l: comprimento das facas;

## Fator “C”

$$C = 8 * \pi^2 * G * D * \rho * CF * L * n^3 * \omega * (1 + 2 * \tan \varphi) * (R2^3 - R1^3) / 3 * w * (1 + D)$$

Onde:

n = número de barras por unidade de comprimento de arco (m<sup>-1</sup>)

D = profundidade das fendas

G = largura das fendas

L = comprimento das fibras

CF = consistência das fibras (fração)

$\omega$  = velocidade rotacional do refinador (rev/s)

R1 = raio interno da zona de refinação (m)

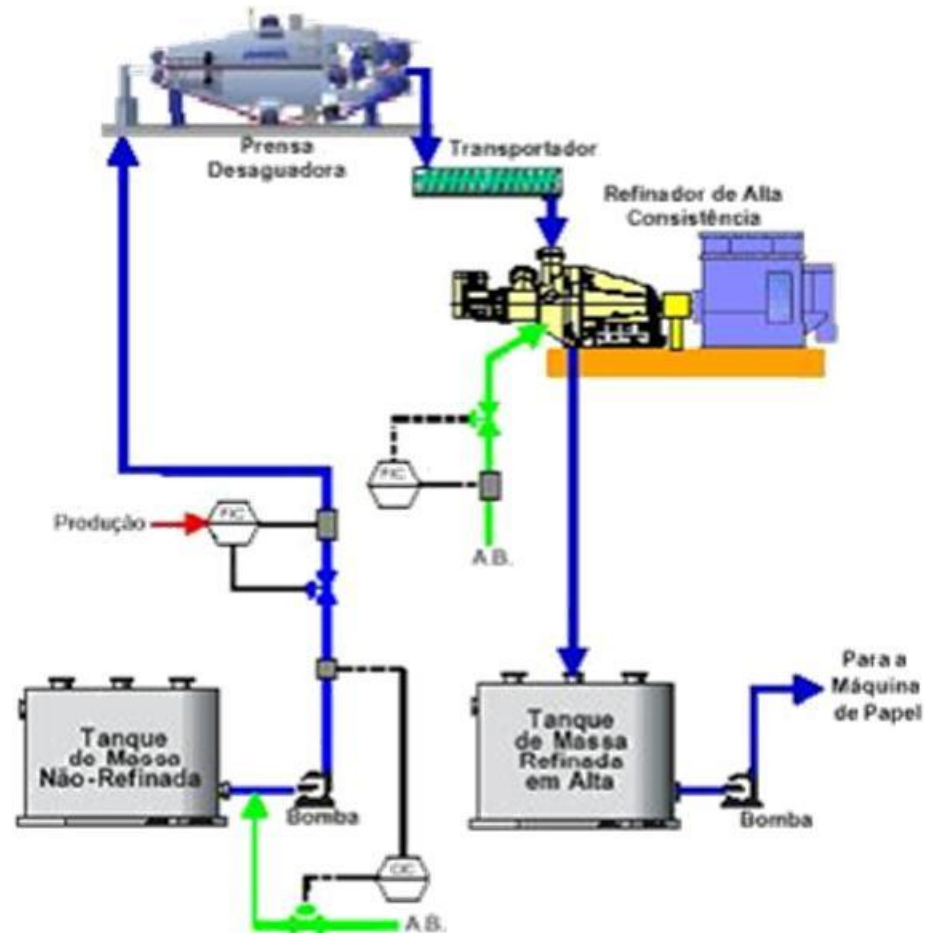
R2 = raio externo da zona de refinação (m)

W = largura da barra (m)

$\varphi$  = ângulo da barra

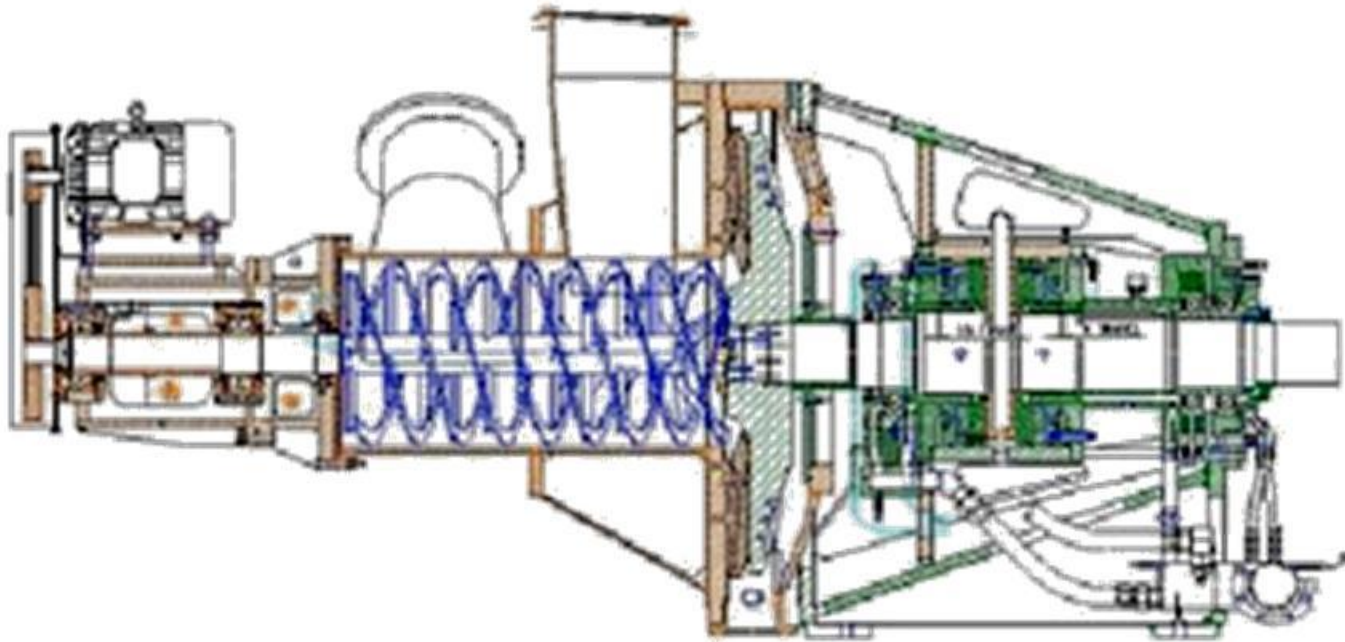
$\rho$  = densidade da suspensão de polpa (aprox. 1000 kg/m<sup>3</sup>)

## Refinação em alta consistência



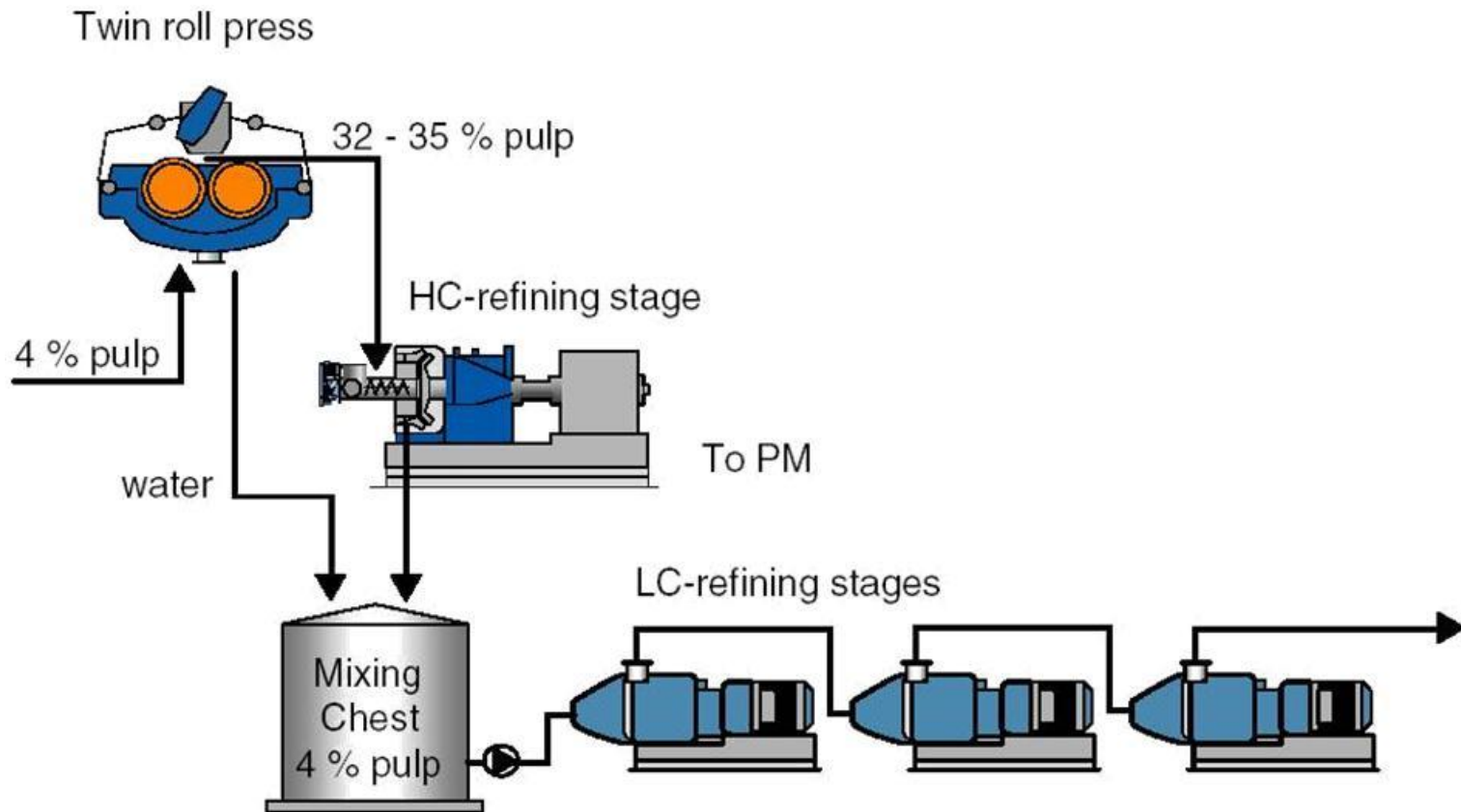
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Refinador de alta consistência (RAC)



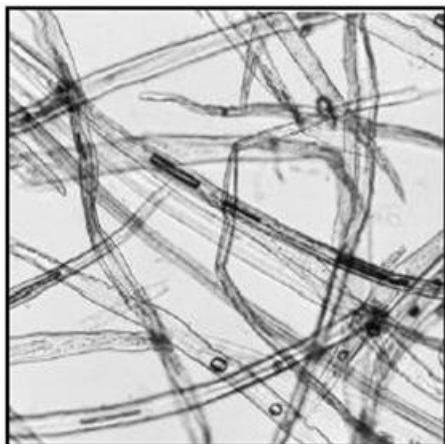
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Típico circuito em alta consistência

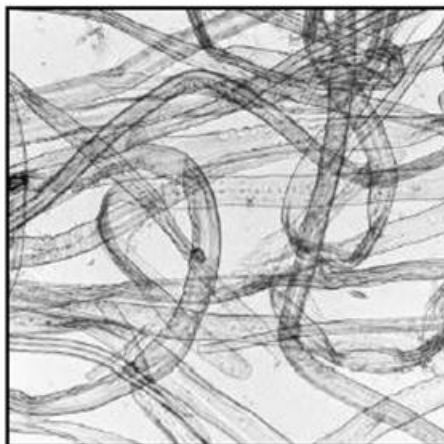


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

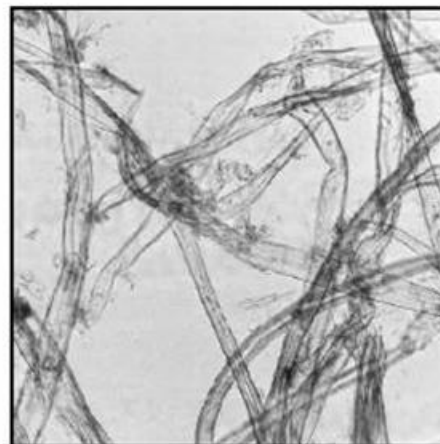
## Influências da refinação em alta consistência



Unrefined



After HC-refining  
220 kWh/bdmt



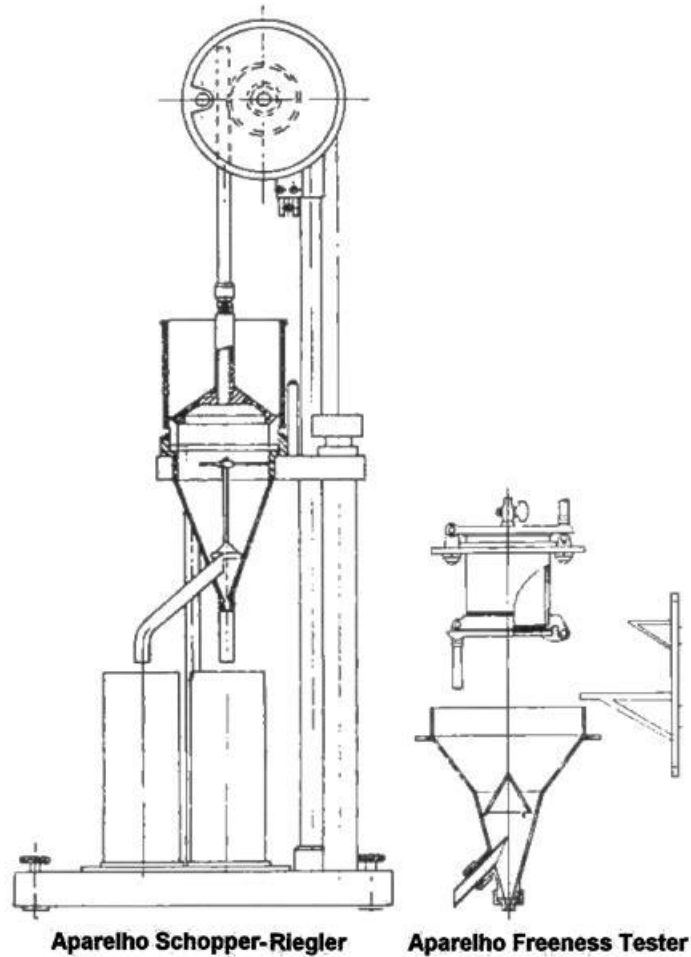
After LC-refining  
110 kWh/bdmt

	Unrefined	After HC	After LC
• Freeness, mL/°SR	705/15.7	700/15.8	550/21.6
• Bulk, cm <sup>3</sup> /g	2.23	1.93	1.68
• Fiber length, mm	2.30	2.11	2.25
• Tensile index, Nm/g	46.0	44.0	84.0
• Tear index, mNm <sup>2</sup> /g	19.3	18.8	12.2
• TEA, J/g	0.9	1.0	2.0
• Gurley, s	0.3	0.3	3.0

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



## Medição de grau de refino

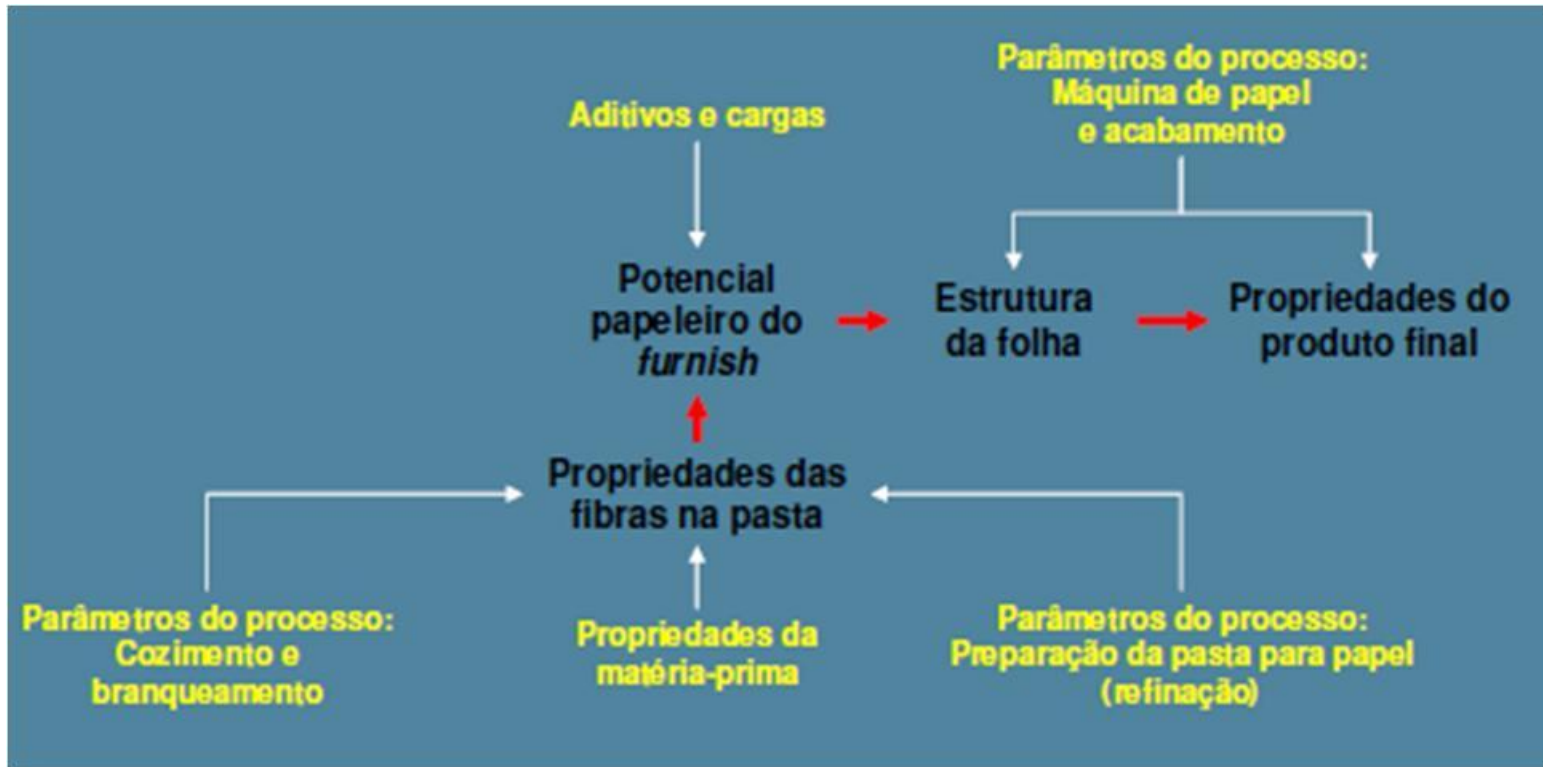


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

# 10

## **INFLUÊNCIA DE FORMULAÇÕES DIVERSAS NA QUALIDADE DO PAPEL**

# Parâmetros que afetam as propriedades do papel



Obrigatoriamente usado	
Pode ser usado como substituto ou complemento	
Não necessita ser usado	

Aditivo funcional	Propriedade esperada	Impressão e escrita	Papel higiênico	Papel toalha	Guardanapo	Papel facial	Imprensa	Corrugado (capa)	Corrugado (miolo)	Kraftliner	Bíblia	Papel para sacaria
Cola de breu e sulfato de alumínio	Resistência à absorção de água											
Colas sintéticas (ASA ou AKD)	Resistência à absorção de água											
Amido (uso na massa)	Resistência a seco											
Amido (uso superficial)	Resistência superficial											
Resinas de resistência a úmido	Resistência a úmido											
Carga mineral (carbonato de cálcio)	Melhorar lisura e aumentar opacidade											
Caulim	Melhorar lisura e aumentar opacidade											
Dióxido de titânio	Aumento signific. da opacidade											
Alvejante óptico	Aumentar brancura do papel											
Matizantes e corantes	Ajustar parâmetros “L”, “a” e “b”											
Fibra química longa	Aumento signif. das resistências											
Fibra química curta	Melhorar formação, opacidade e maciez											
Pasta de alto rendimento (P.A.R.)	Melhorar “bulk”, opacidade e reduzir custos											
Fibras secundárias (recicl.)	Reduzir custos											

FONTE: Montagem E.S.Campos



# 11

## **LABORATÓRIO E CONTROLE DE QUALIDADE DA POLPA E DO PAPEL**

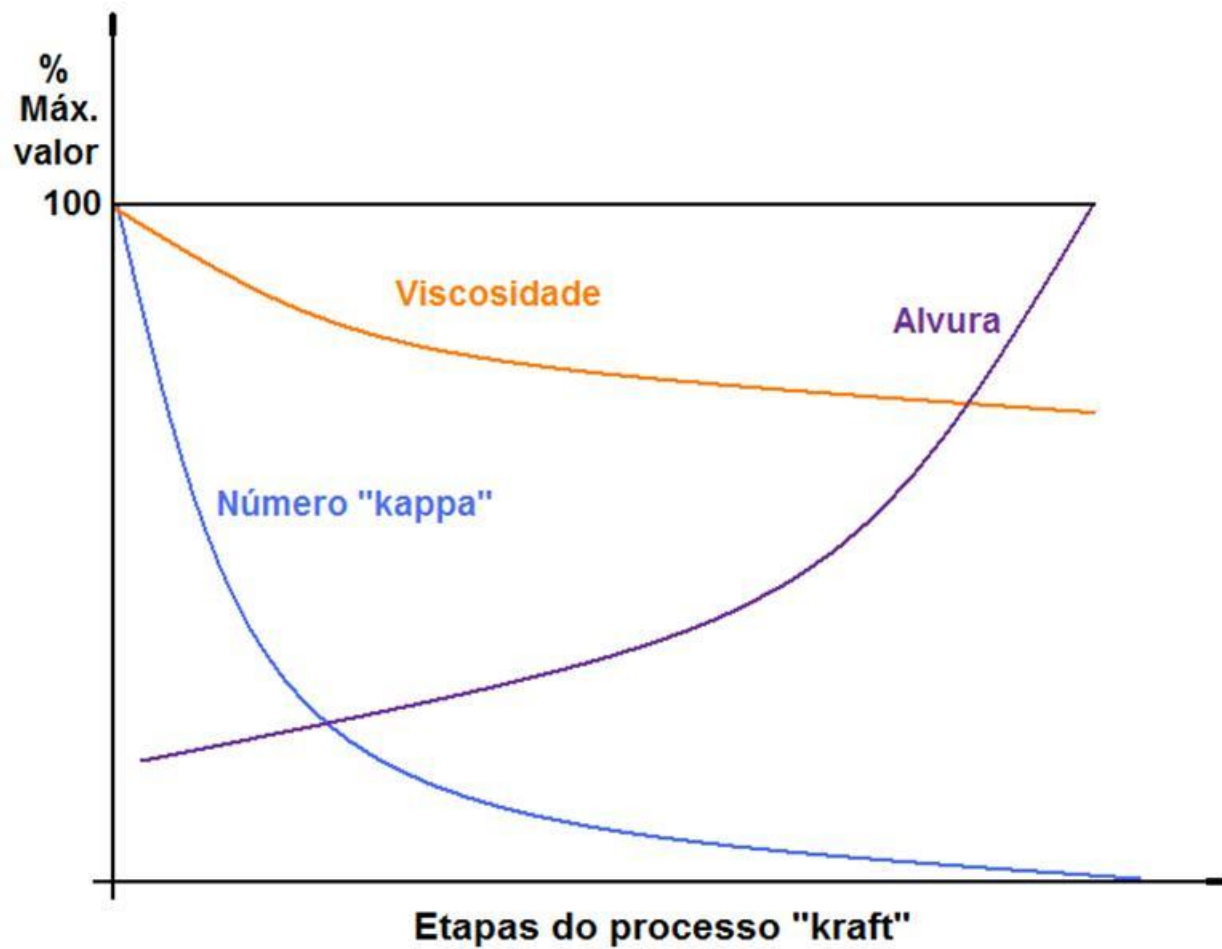
## **Análise de rotina da fabricação de celulose**

Análises padrão (número “kappa”, viscosidade, alvura, etc.)

Consumo específico de químicos ( $\text{kg/t}_{\text{sa}}$ ) .

Extrativos, ácidos hexanurônicos, carboidratos, ácido oxálico, TOC, COD, BOD, íons metálicos.

Propriedades físico-mecânicas da polpa após refino.





## **Análises do papel: Gramatura (Basis Weight)**

Gramatura é definida como a massa em gramas de um metro quadrado de papel ( $\text{g/m}^2$ ). Possivelmente a gramatura seja um dos parâmetros mais conhecidos do papel posto que influi bastante sobre as características do produto acabado e devido ao fato do papel ser normalmente comprado a “peso” (na realidade o termo correto é “massa”).



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

## Espessura (Caliper)

A espessura ou "caliper" é definida como a distância perpendicular entre as superfícies principais do papel e papelão (cartão) sob condições específicas.

Aparelho: micrômetro, caliper

Unidade:  $\mu\text{m}$



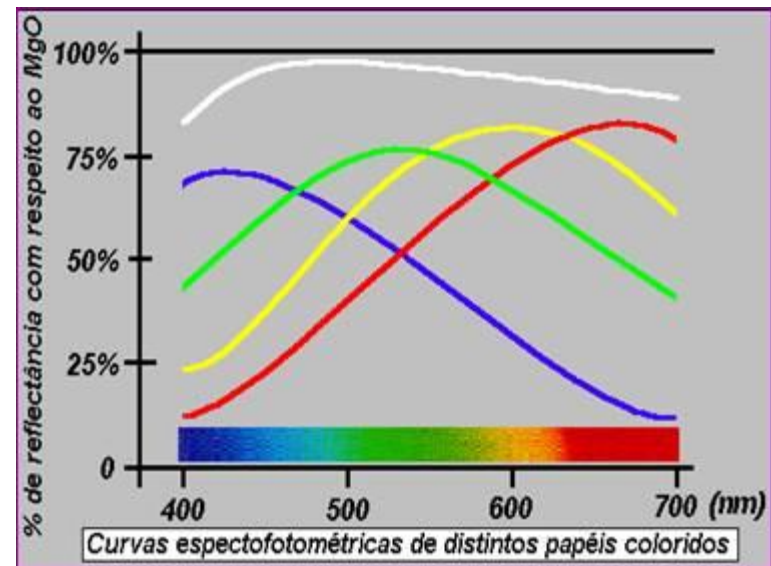
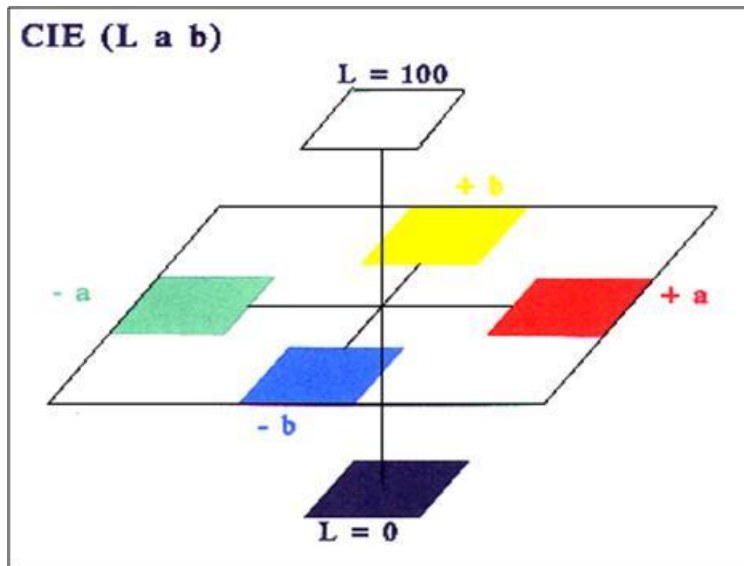
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Cor (Color)

Cor: sensação que a luz provoca no órgão de visão humana, e que depende, primordialmente, do comprimento de onda das radiações.

Aparelhos de medição: **espectofotômetro**, colorímetros.

Unidade: Fatores **L**, **a** e **b**.



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

## Brancura e Alvura (Whiteness and Brightness)

Brancura (papéis): é a maior e mais uniforme reflectância do papel a todos comprimentos de onda do espectro visível.

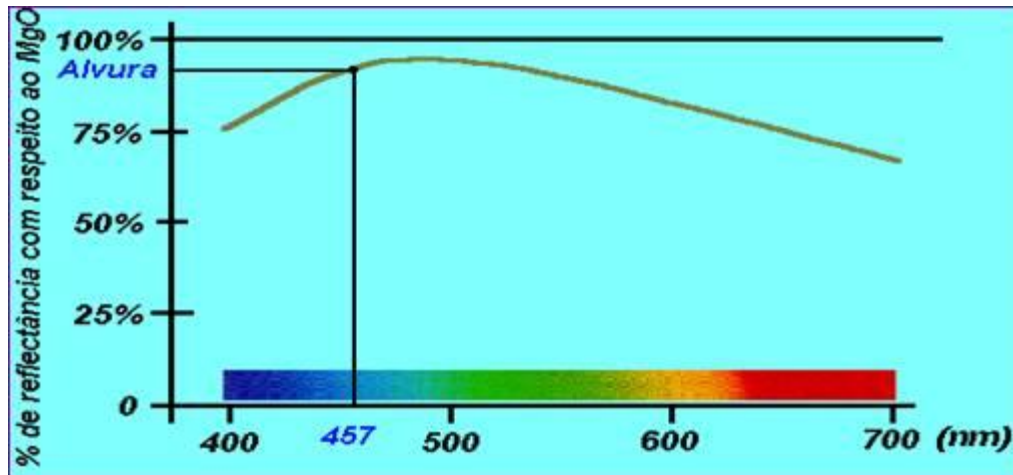
Unidade: Grau de brancura CIE, Stensby, Ganz.

Aparelhos de medição: espectrofotômetro (Elrepho).

Alvura: é o fator de reflectância difusa medida a um comprimento de onda de 457 nm..

Aparelhos de medição: **Photovolt, Elrepho.**

Unidade: % ISO.



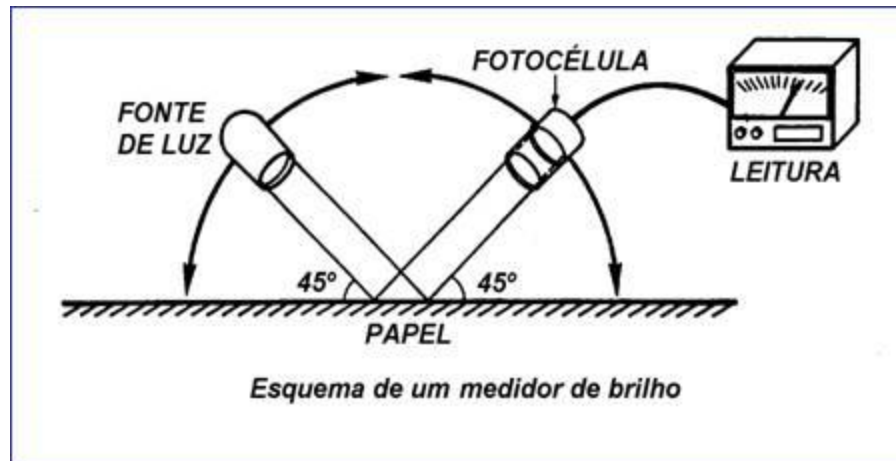
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Brilho (Specular Gloss)

Brilho: é o conjunto de propriedades reflectantes em uma determinada direção que tem por objetivo fazer aparecer mais ou menos reflexos luminosos ou imagens de objetos sobrepostos na superfície.

Aparelhos de medição: **Photovolt.**

Unidade: %.



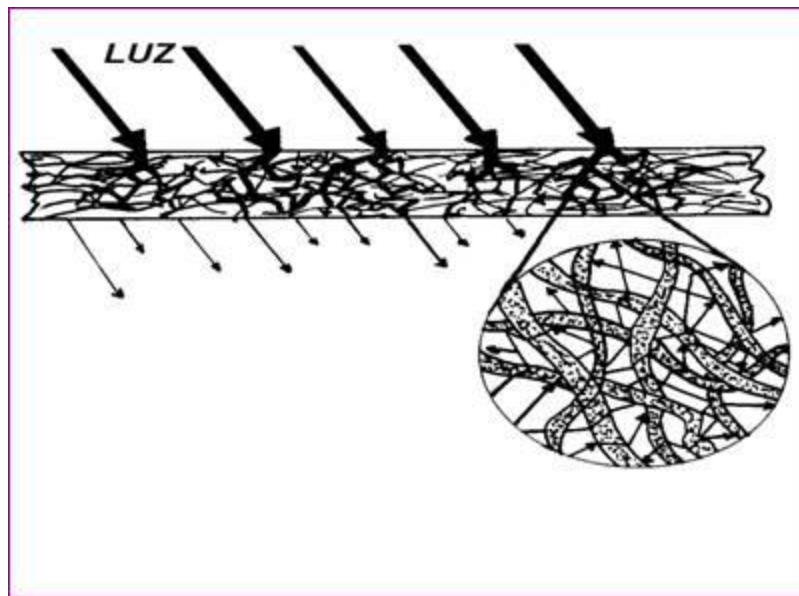
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Opacidade (Opacity)

Opacidade: é a propriedade relacionada com a quantidade de luz transmitida através do papel.

Aparelhos de medição: Opacímetros (Elrepho, **Dacolor**).

Unidade: %.



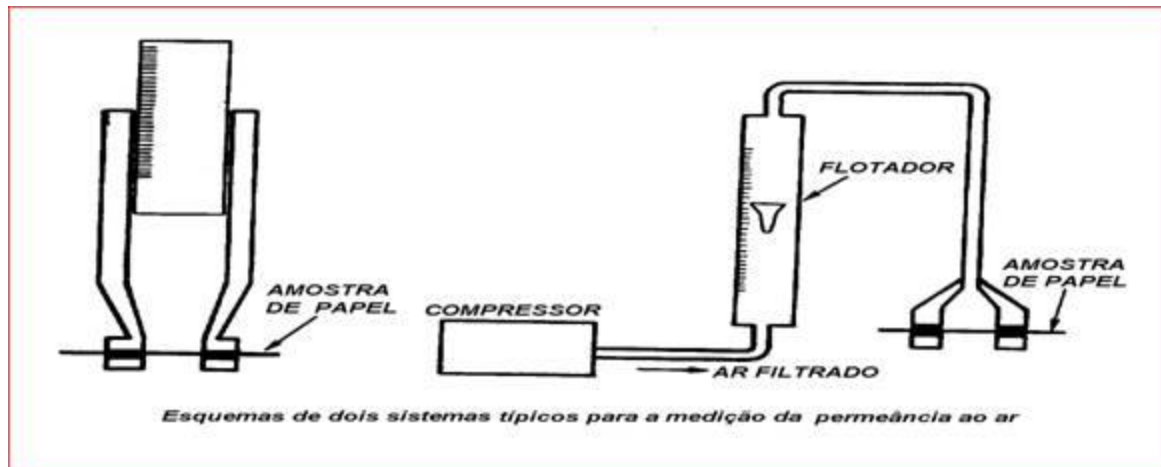
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Permeância ao Ar (Air Permeability)

Permeância ao ar: é a propriedade do papel que permite fluir um volume de ar através de uma folha de papel, sob uma diferença de pressão conhecida.

Aparelhos de medição: Schopper, Bendtsen, Sheffield, **Gurley**, Bekk, Vaso de Mariotte.

Unidade: ml/s, s/100 ml (resistência ao ar),  $\mu\text{m}/\text{Pa}\cdot\text{s}$

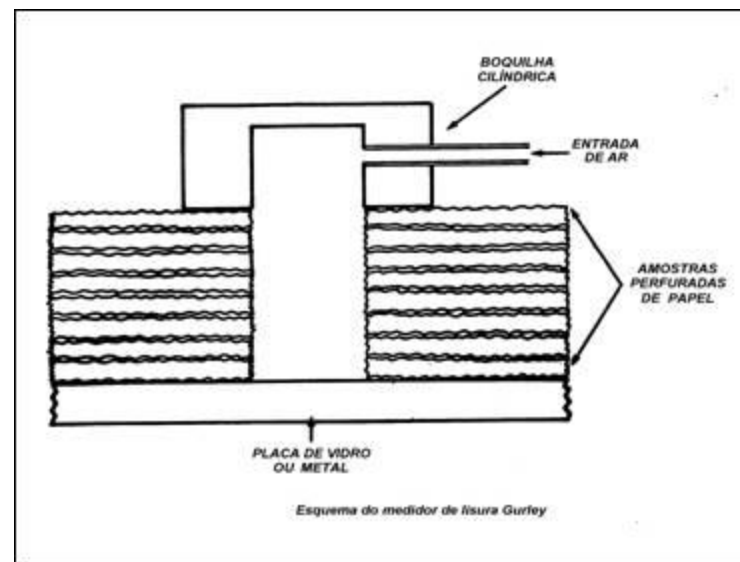
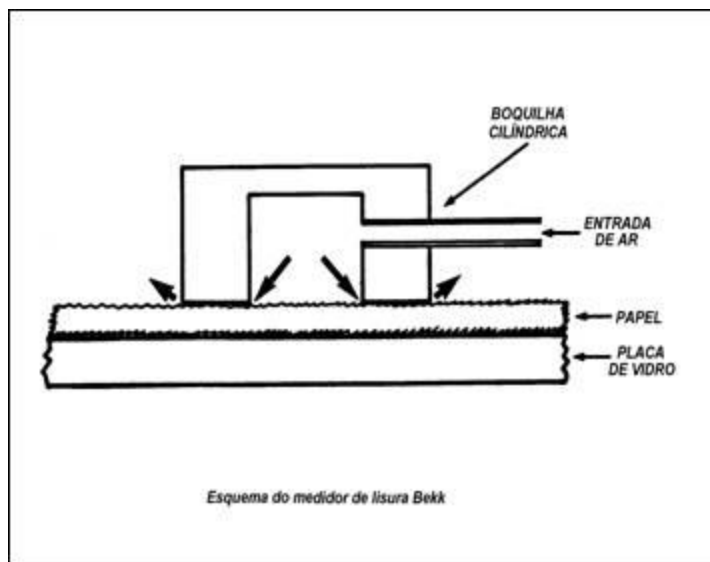


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Aspereza (Roughness)

Aspereza é o grau de desuniformidade da superfície do papel.

Aparelhos de medição: Bekk, **Bendtsen**, Gurley, Sheffield, IGT, Microcountour test, Ipreig, Prisma de Chapman, Print Surf, Taly Surf. Unidades: ml/s, s/100 ml(lisura).



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

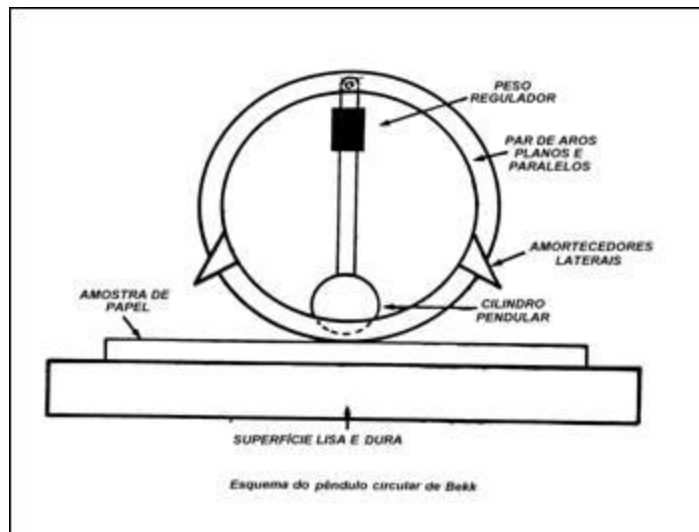


## Compressibilidade (Softness)

Compressibilidade define a redução de espessura que acusa o papel sob uma força de compressão recebida desta força exterior.

Aparelhos de medição: Gurley, Prensa de Schopper, **Pêndulo Circular de Bekk.**

Unidades: ml/s,  $\mu\text{m}$ , s



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

## Colagem interna (Cobb Test)

É a resistência à penetração de água. A colagem é importante nos papéis para impressão “offset”, flexografia ou outros novos processos produtivos, onde a água se faz presente. Em outras palavras, a colagem é muito importante para papéis que terão de entrar em contato com algum líquido. Unidade: g/m<sup>2</sup>

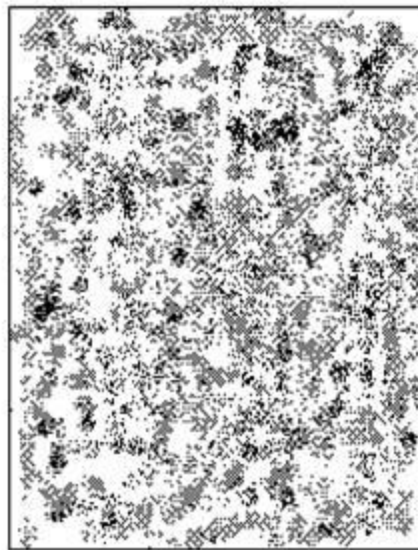


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

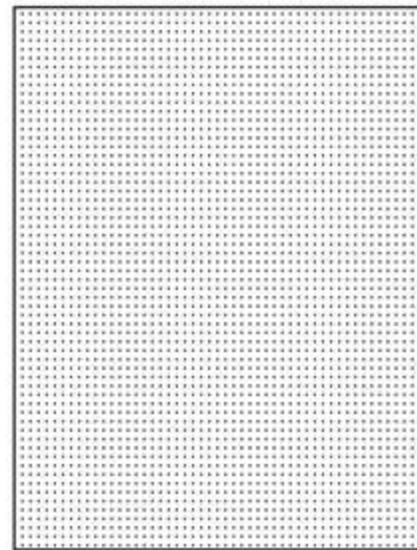
## Formação (Formation)

Formação: é a estrutura interna do papel definida como grau de dispersão com o qual as fibras e demais constituintes são distribuídos no papel.

Aparelhos de medição: Formation Tester (M/K Systems, Inc)



*MÁ FORMAÇÃO*



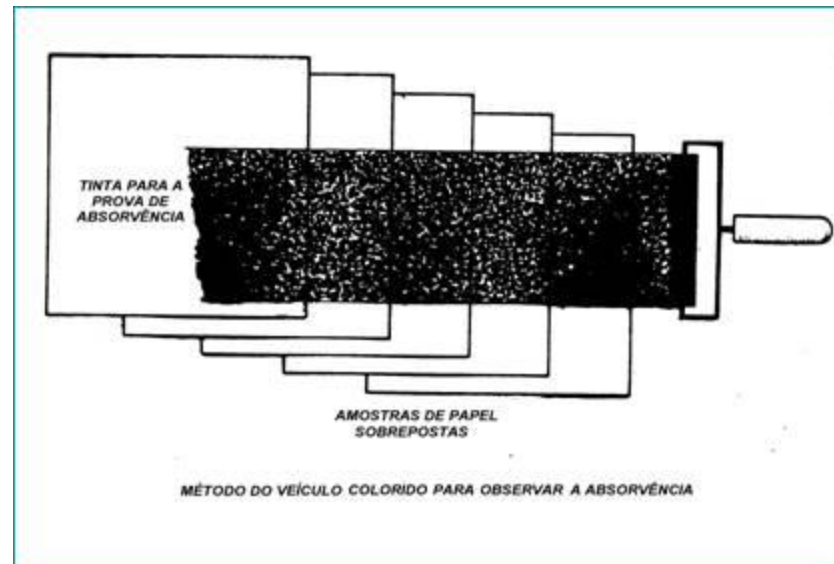
*BOA FORMAÇÃO*

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

## Absorvência (Absorvency)

Absorvência: é a velocidade com que a tinta penetra no papel e a quantidade relativa que passa da superfície para o interior do papel, uma vez que a blanqueta da máquina offset depositou a película de tinta que forma a imagem.

Aparelhos de medição: IGT, “teste K & N”



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

## Acidez ou Alcalinidade (pH)

pH: corresponde a um símbolo matemático que expressa a acidez ou alcalinidade de uma solução.

Aparelhos de medição: pHmetro.

pH superficial:

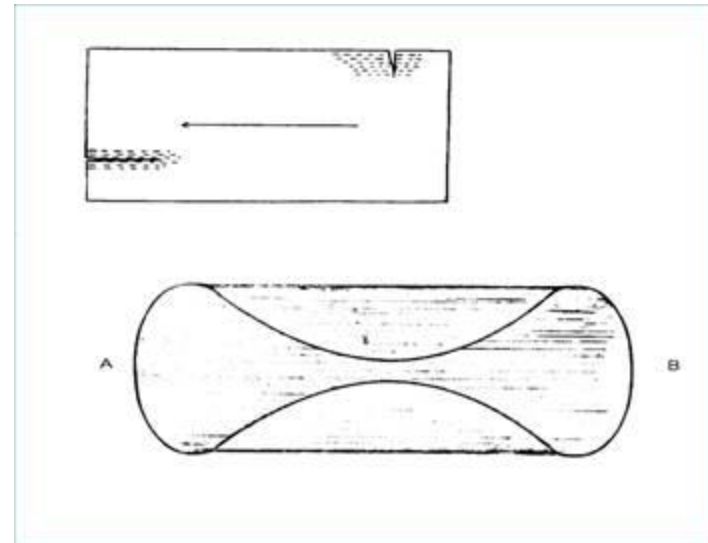
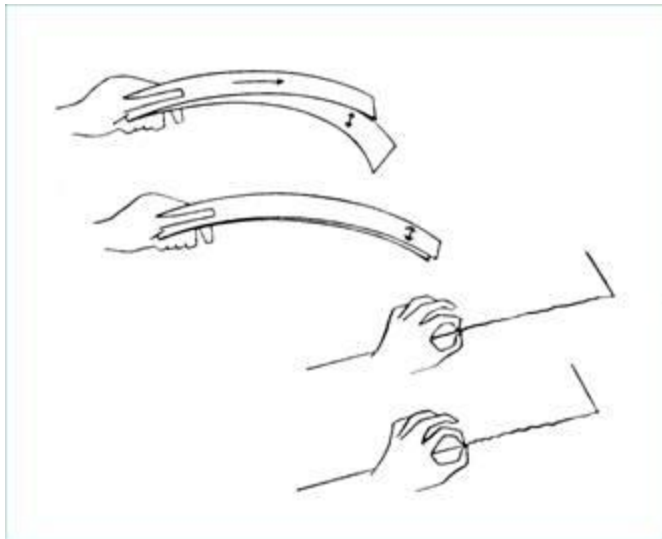
Papel offset com colagem ácida: 4,5 a 5,5.

Papel offset com colagem alcalina: 7,5 a 9,0.

Papel couchê: 7,5 a 9,0.

## Direcionalidade (Directionality)

Os termos direção de máquina (em inglês: Machine Direction - MD) e direção da fibra são definidos como a direção do papel paralela ao movimento longitudinal da tela da máquina de papel, enquanto que a direção perpendicular à direção da fibra é denominada direção transversal da fibra (em inglês: Cross Direction - CD).



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

## Resistência à tração (Tensile Strength)

Resistência à tração é a força de tensão direta, necessária para arrebentar o papel, quando aplicada longitudinal ou transversalmente.

Aparelho: dinamômetro

Unidade: kN/m



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

## Resistência ao rasgo (Tear)

A resistência ao rasgo interno é a quantidade de trabalho necessário para rasgar uma amostra de papel através de uma distância determinada, depois de ter sido iniciado o rasgo na borda.

Aparelho: Elmendorf

Unidade:  $\text{mNm}^2/\text{g}$

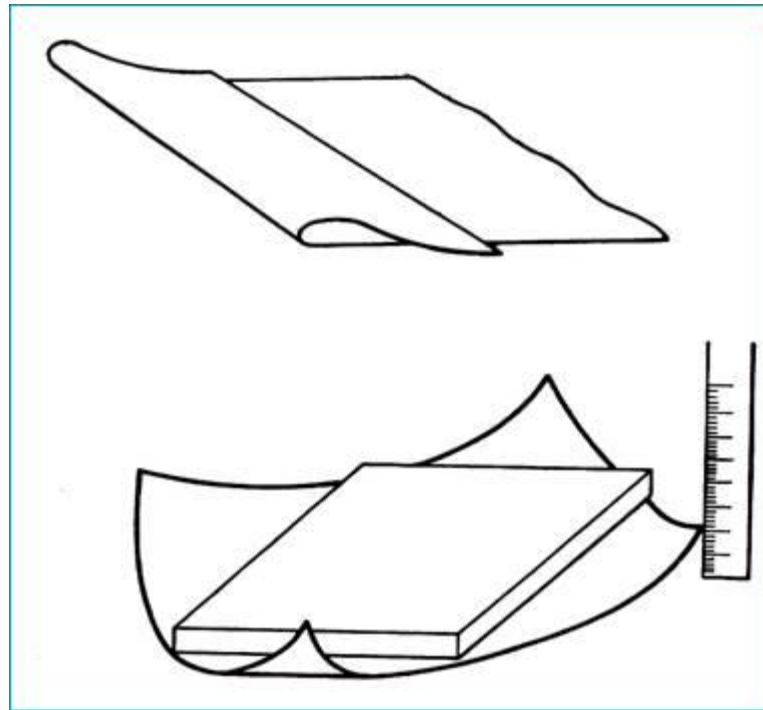


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)



## Dupla Face (Two Sidedness)

Dupla Face: é a diferenciação que ocorre entre os dois lados de uma mesma folha de papel.



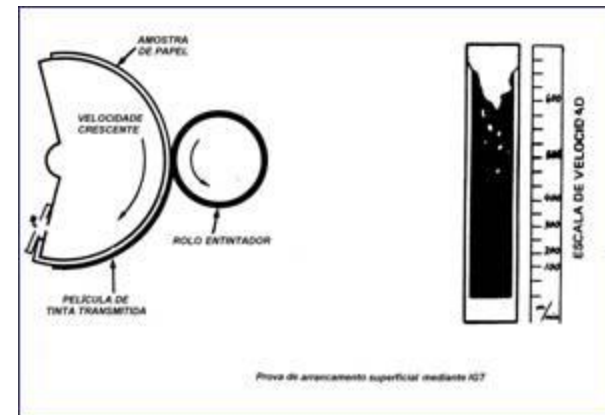
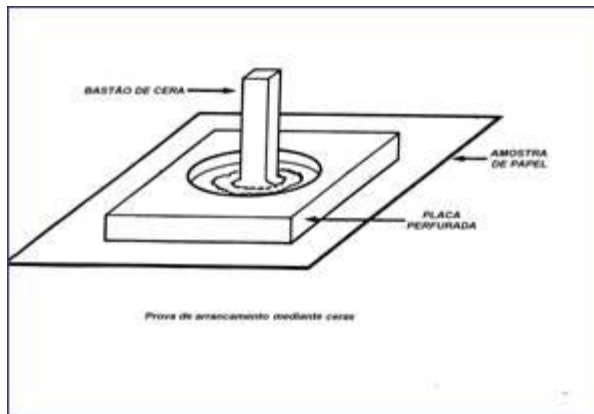
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Resistência ao Arrancamento Superficial (Picking Resistance)

Resistência ao Arrancamento Superficial: é a capacidade do papel de se opor ao rompimento e a remoção de fragmentos na sua superfície, quando em contato com algum material.

Aparelhos de medição: IGT, “cera Dennison”.

Unidades: nº de cera Dennison.



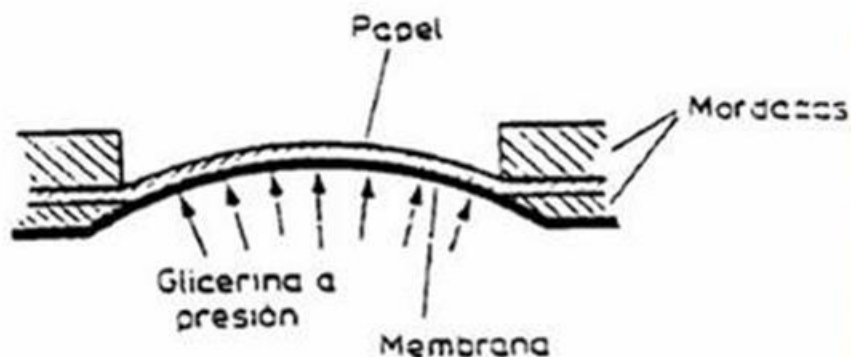
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Resistência ao arrebitamento (Mullen Test)

A resistência ao arrebitamento é definida como a pressão necessária para produzir o arrebitamento do material, ao se aplicar uma pressão uniformemente crescente, transmitida por um **diafragma elástico, de área circular**.

**Aparelho: Mullen**

Unidade:  $\text{kgf/m}^2$



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

## Rigidez à flexão (Stiffness)

A rigidez à flexão, ou simplesmente rigidez, é a capacidade que tem o papel de se opor ao arqueamento ou curvatura. Em outras palavras, é a habilidade que tem o papel ou cartão de resistir a deformação sob tensões de flexão. Um papel não rígido é aquele que se curva facilmente.

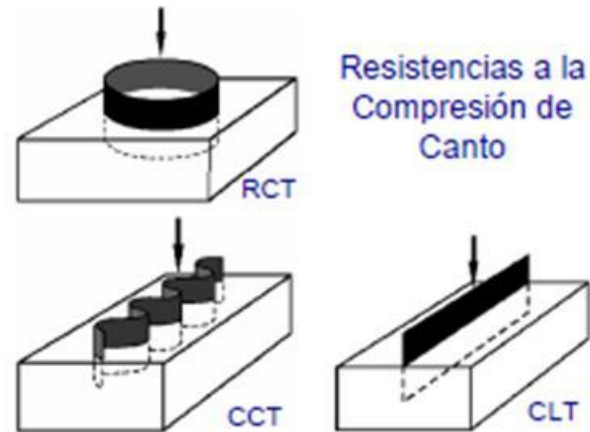
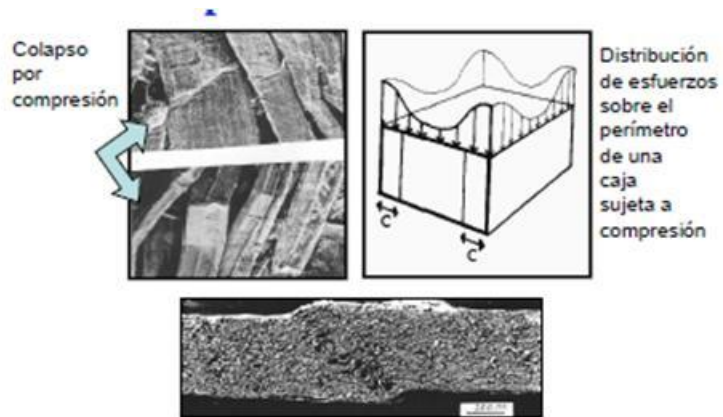
Aparelho: Gurley, **Taber** e Clark

Undade: gf

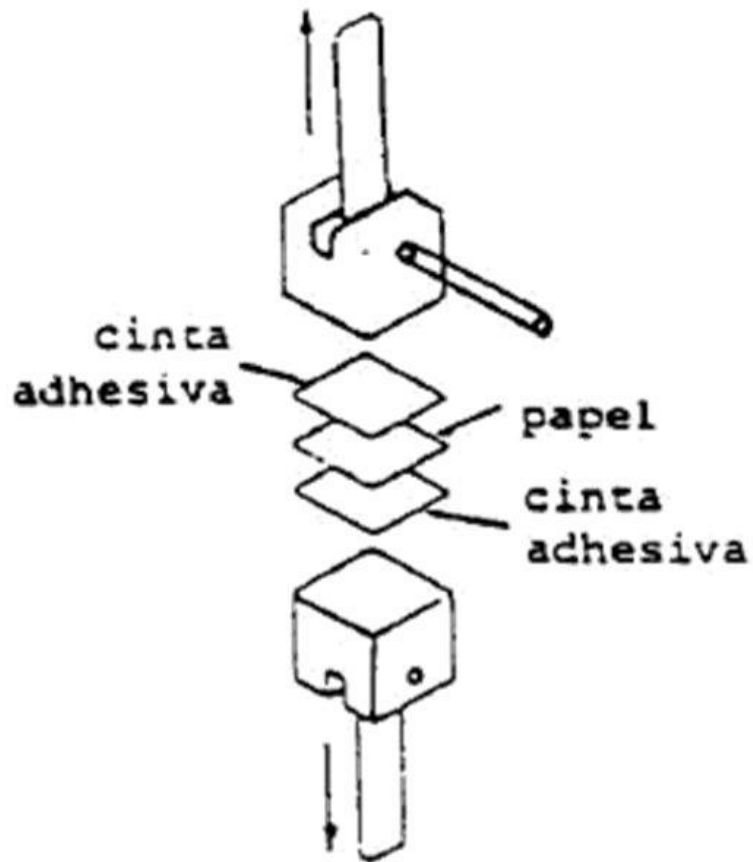


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

# Capacidade de empilhamento



## Resistência à delaminação

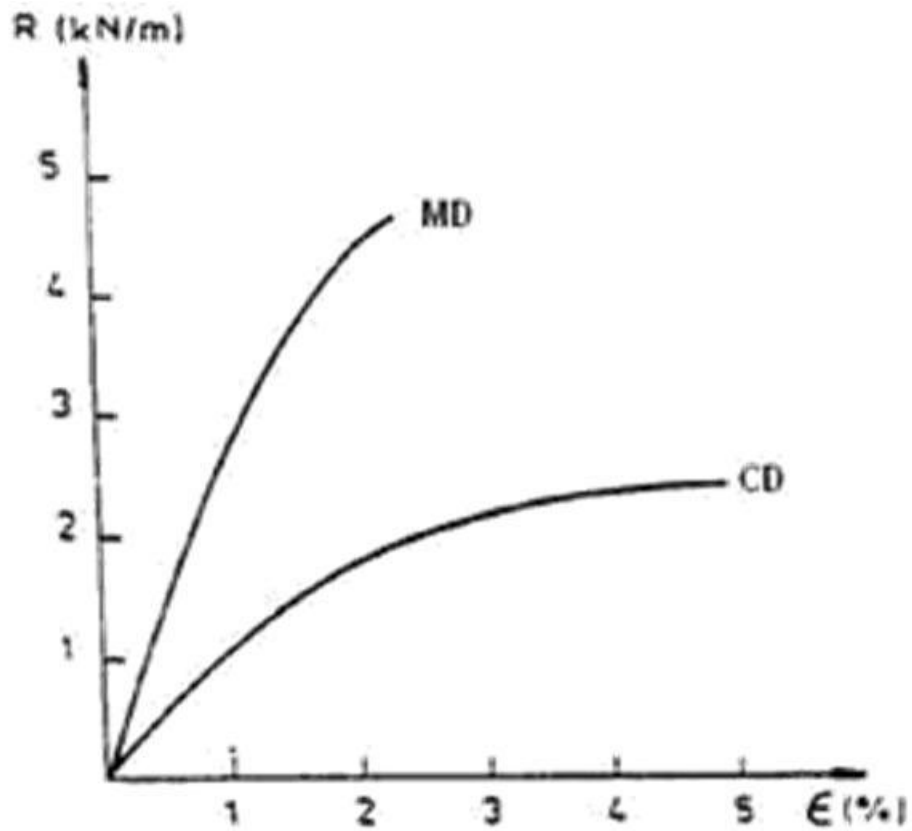


FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

## Resistência à compressão ou esmagamento



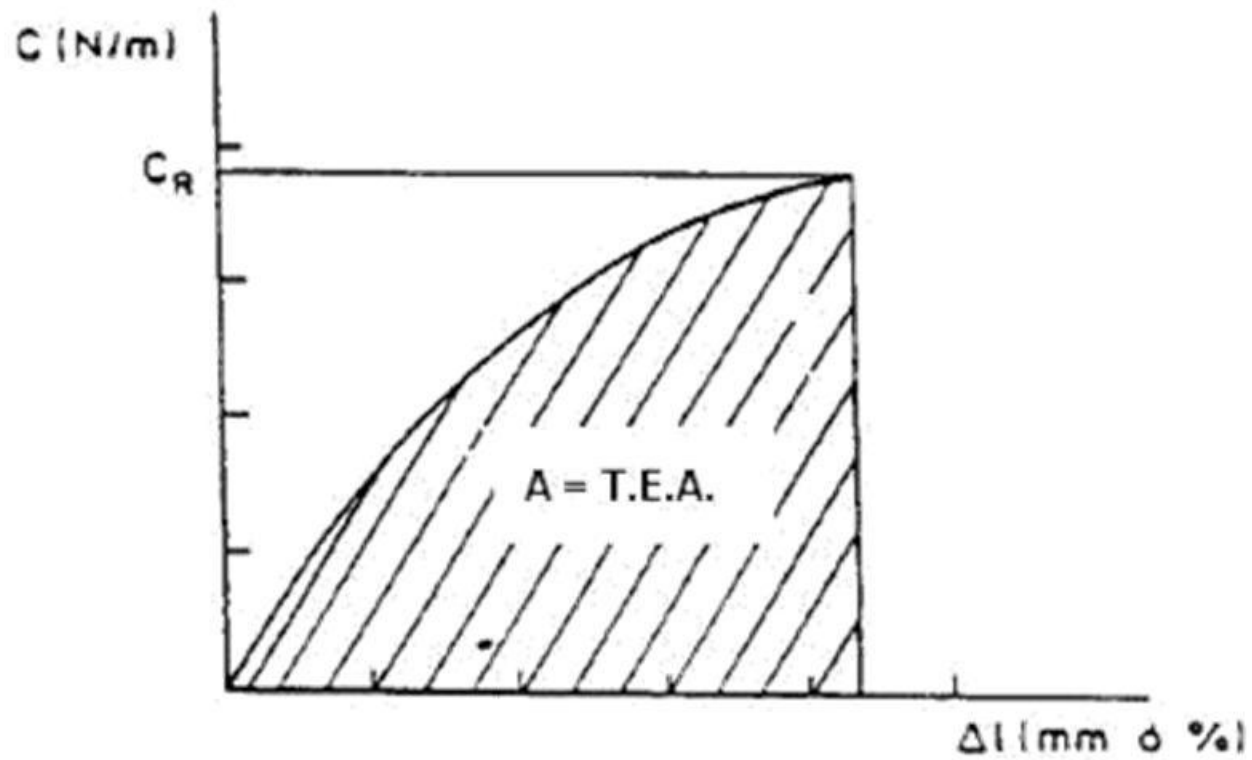
## T.E.A.



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



## T.E.A.



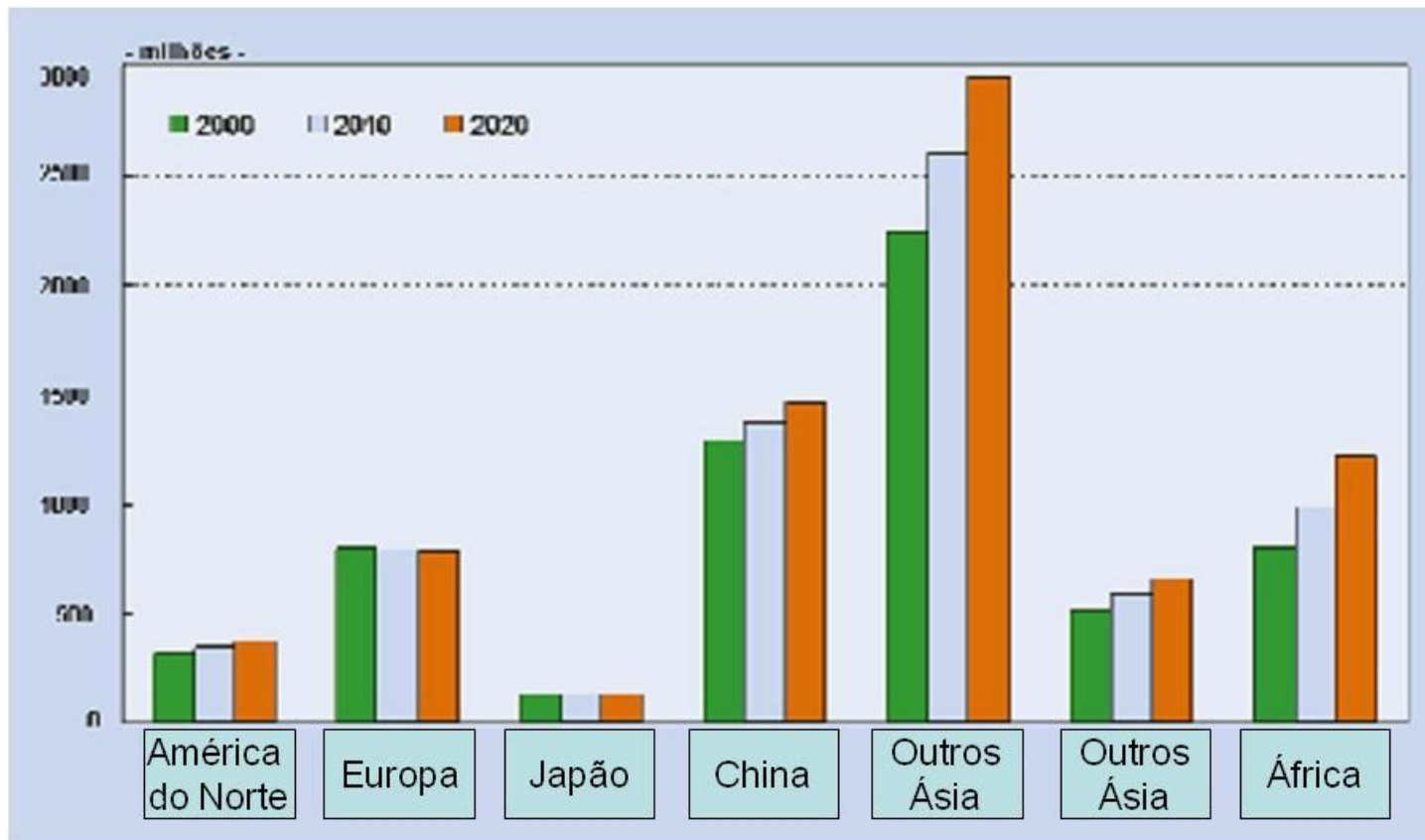
FONTE: Curso de fabricação de papel (E. S. Campos)

# 12

## **TENDÊNCIAS E AMEAÇAS NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL**

## População mundial (2000-2020)

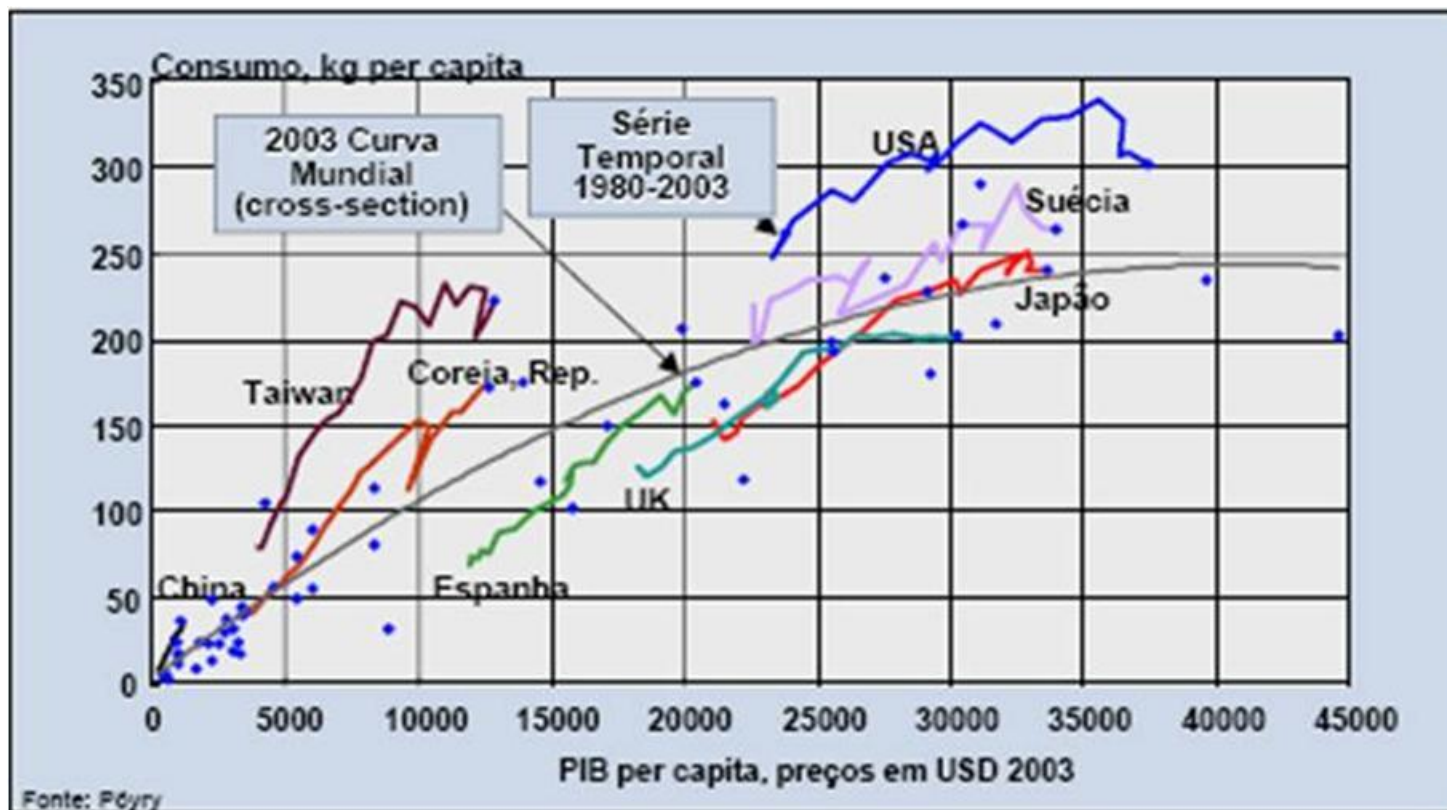
A população mundial continuará crescendo. Seremos cerca de 7,6 bilhões em 2020; um aumento de 1,5 bilhão desde 2000



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## PIB e consumo de papel – “per capita”

Existe uma relação clara entre o consumo de papel e o PIB “per capita”. Essa relação é válida tanto quando se compara países, como quando se faz relação ao tempo. No entanto, o índice de elasticidade da renda/consumo de papel está declinando com o tempo. Já se atingiu o ponto de saturação em alguns mercados desenvolvidos.



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## Consumo aparente Per Capita de papel 2007

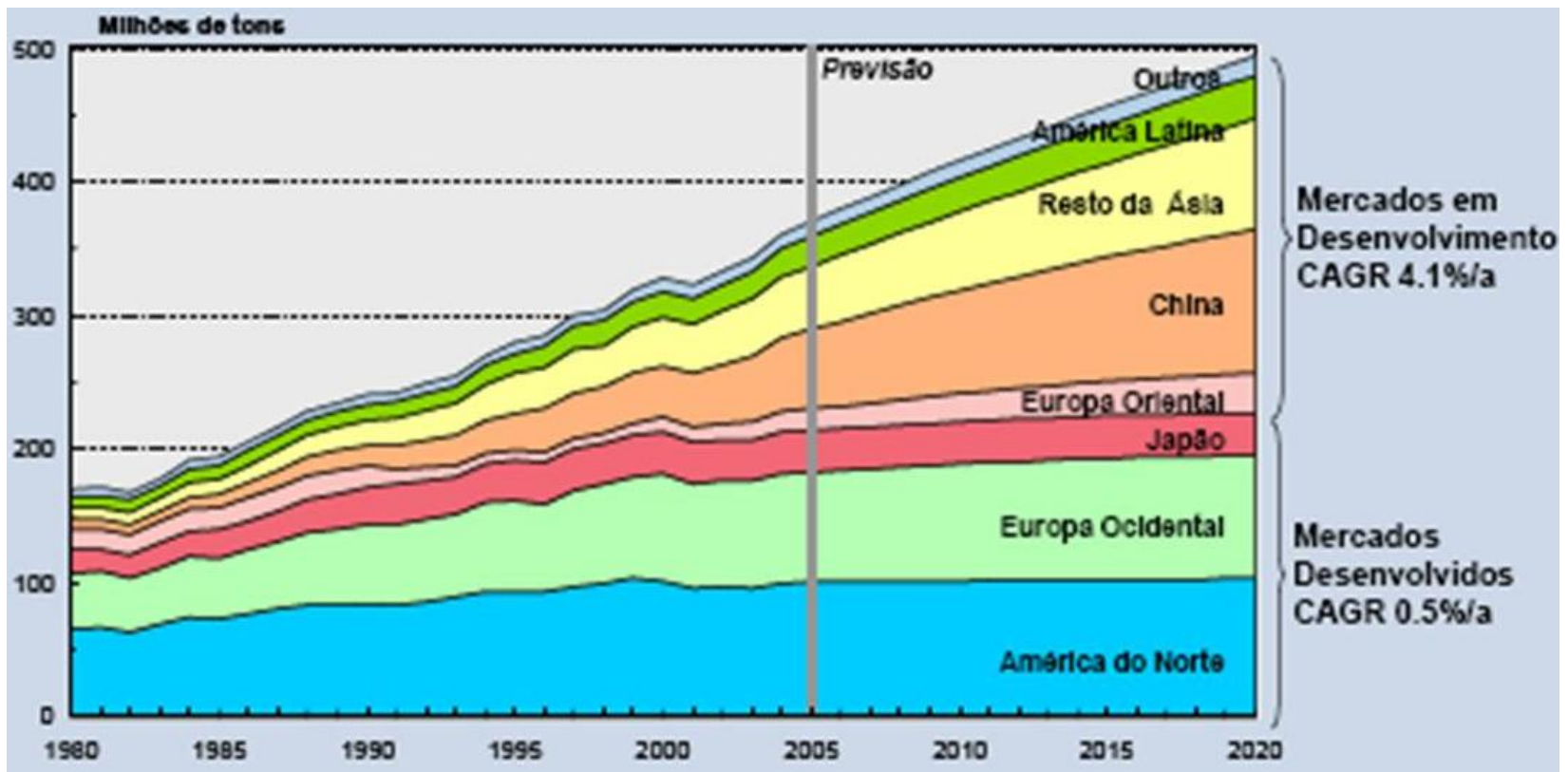


Fonte: RISI

FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)

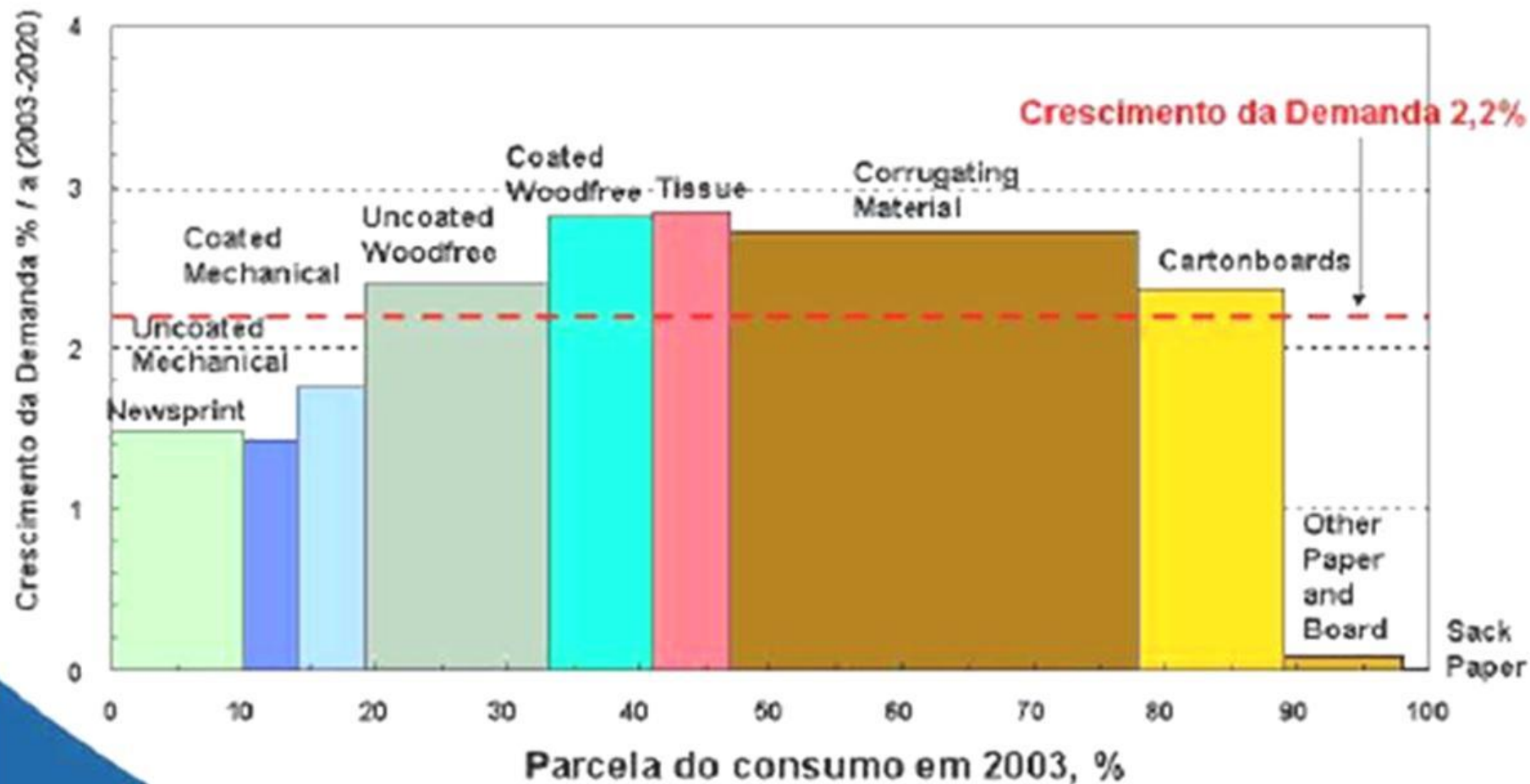
## Consumo mundial de papel e cartão 1980-2020

Os mercados em desenvolvimento terão uma participação maior no consumo de papel como resultado da melhoria do seu padrão de vida e aumento demográfico.



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

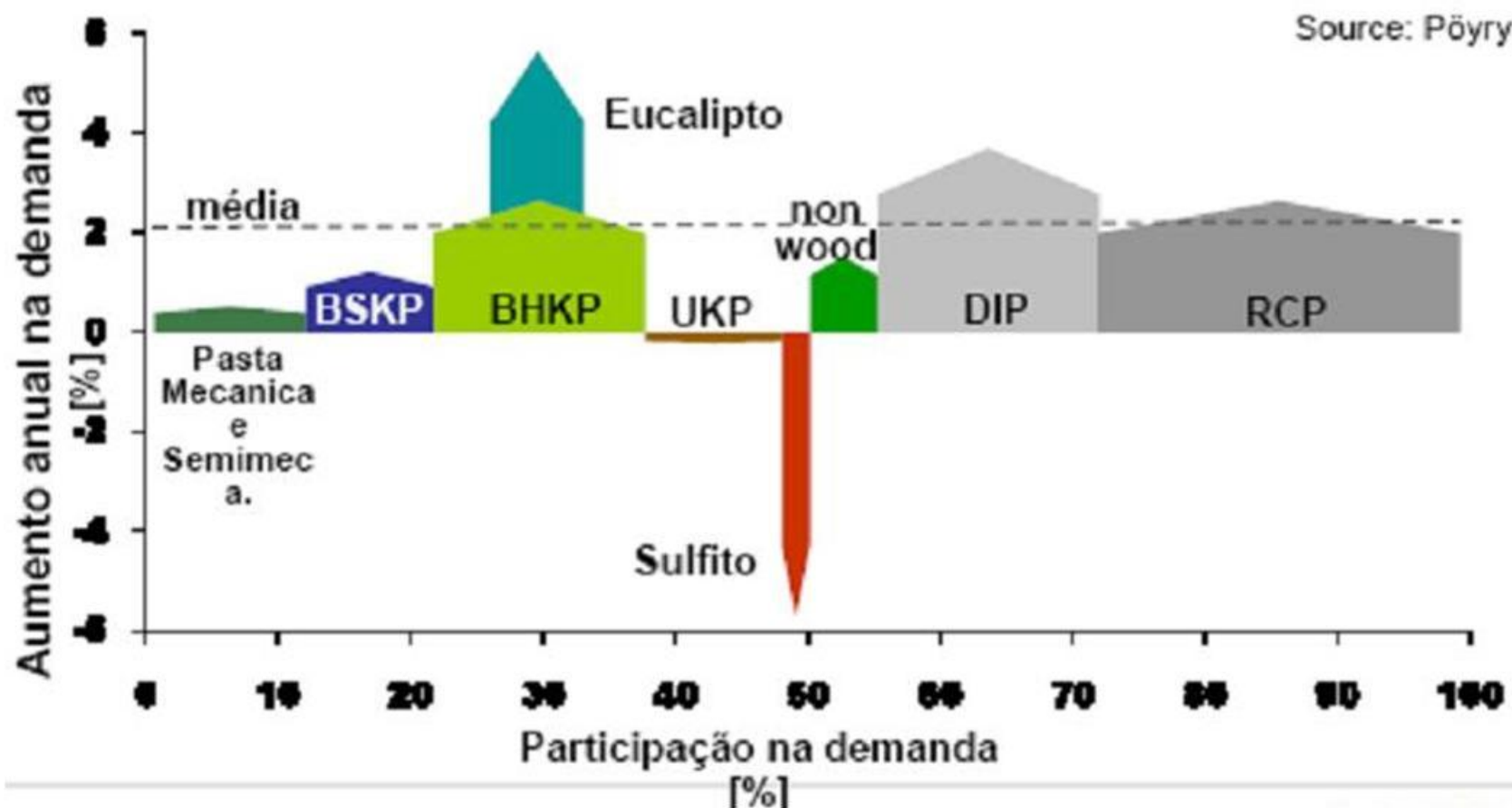
## Crescimento da demanda de papel e cartão (% / ano)



FONTE: Pöyry

# Crescimento previsto da demanda global de celulose

Aumento anual na demanda (de 2006 a 2010: previsão)

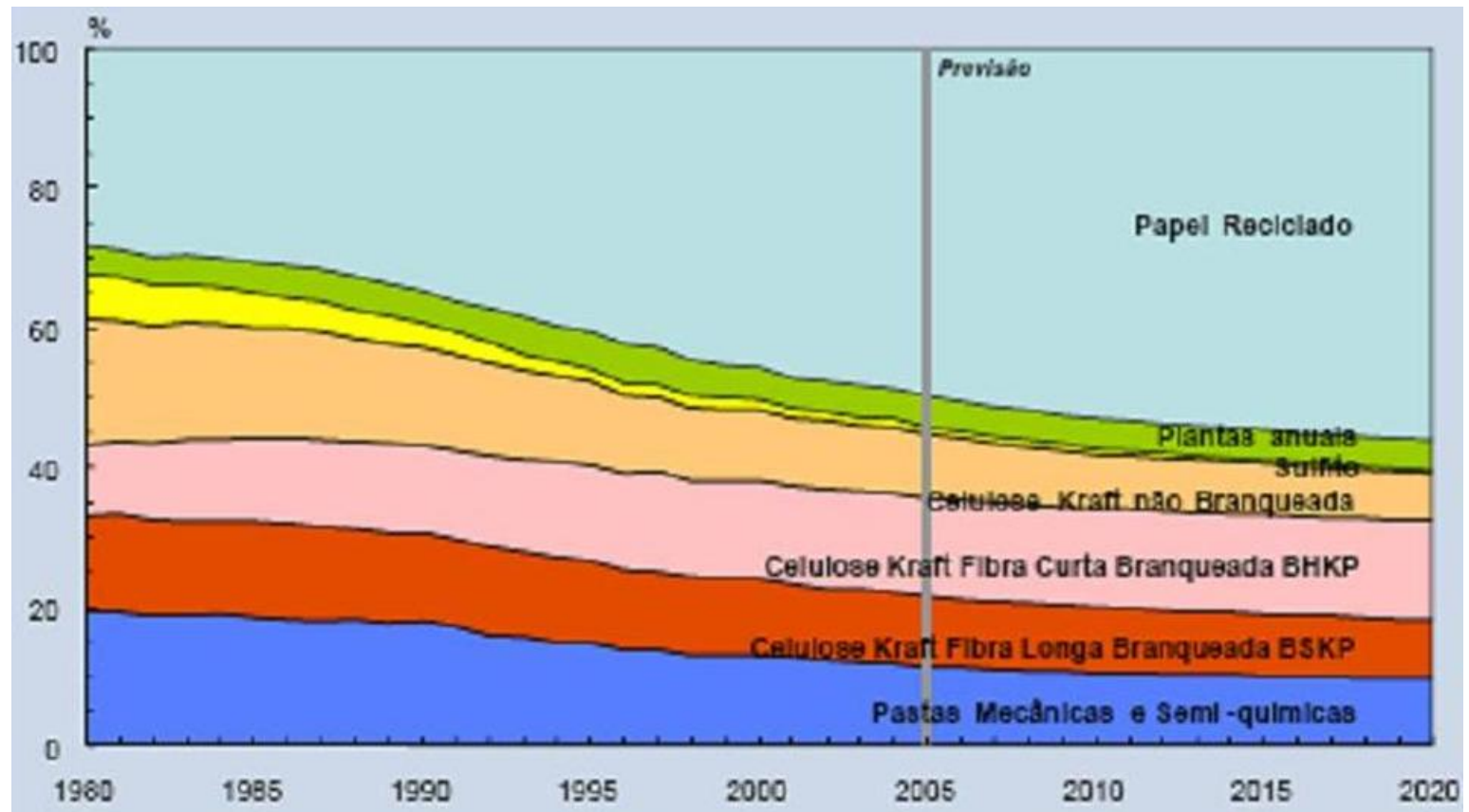


FONTE: A influência da celulose de eucalipto no mercado de papel europeu (Kurt Brandauer)



## Consumo mundial de fibra celulósica de papel 1980-2020

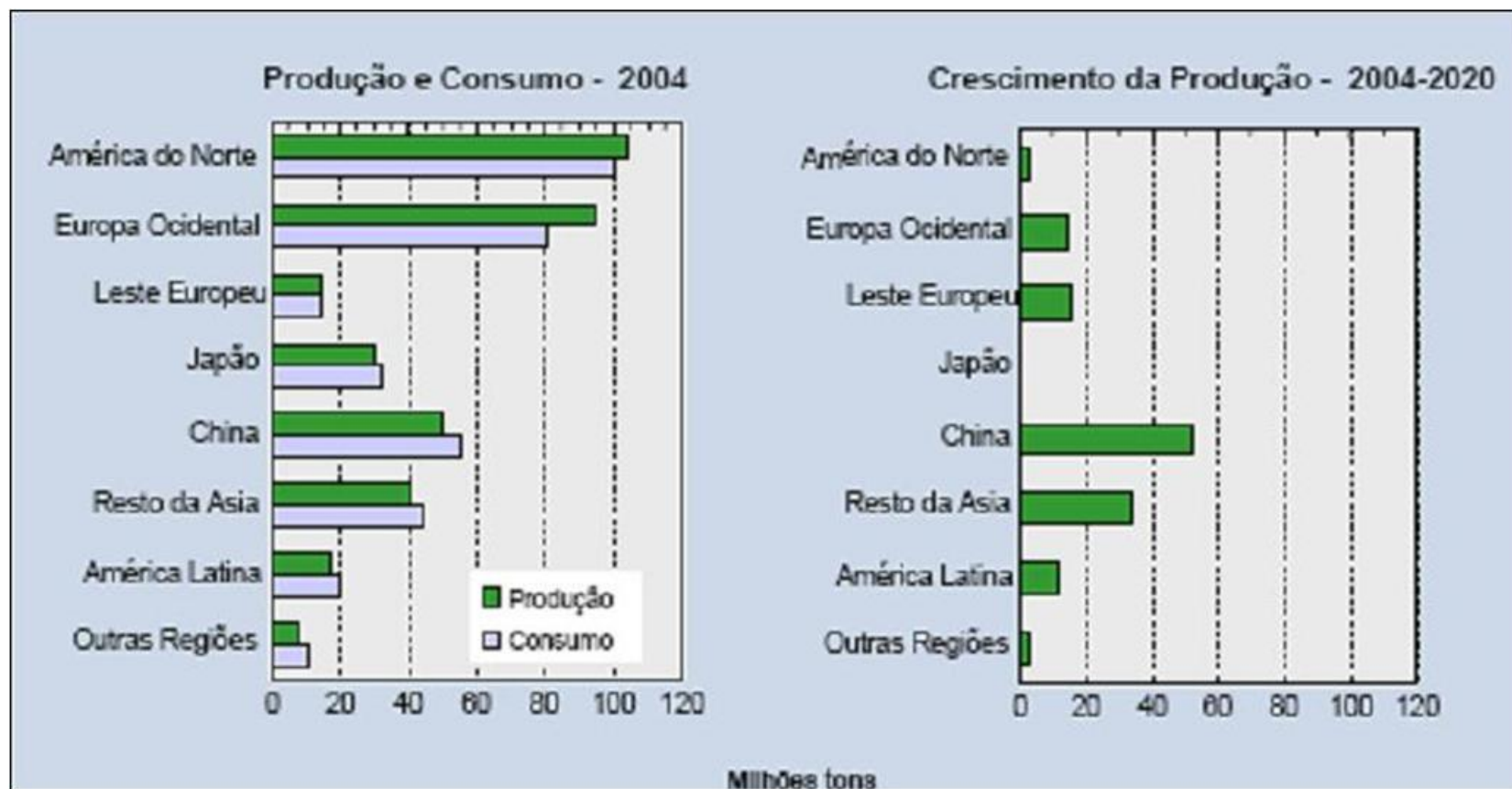
O aumento de consumo de fibras celulósicas para papel será mais rápido nos casos de papel reciclado e celulose de fibra curta baseada em plantações de crescimento rápido.



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## Panorama da produção mundial de papel e cartão 2004-2020

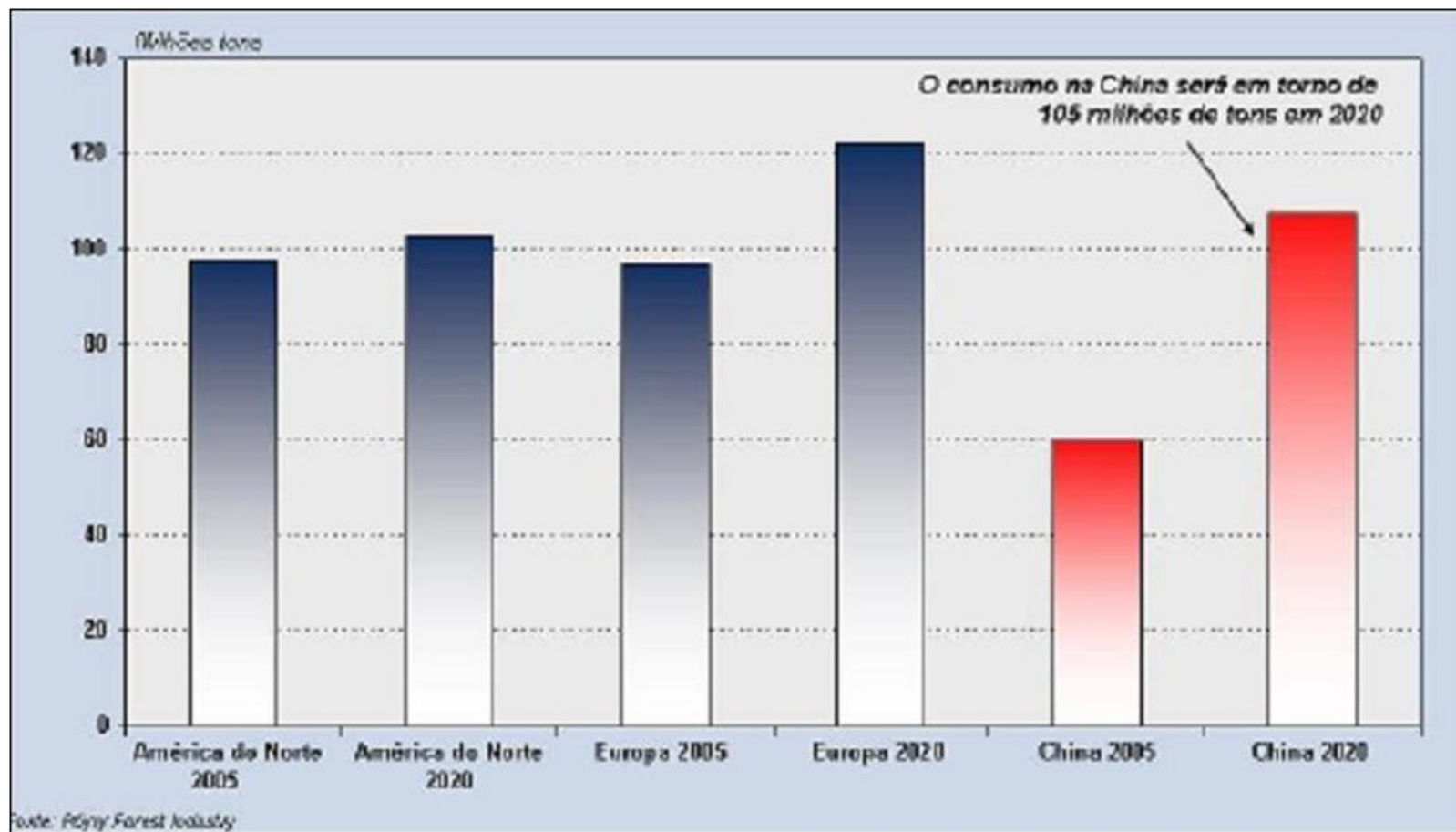
Espera-se um forte crescimento da produção de papel na China e em outras economias asiáticas emergentes. Esse crescimento é impulsionado por uma demanda local crescente, associada ao acesso a insumos de baixo custo e tecnologia de alta qualidade.



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## Consumo global de papel e cartão - 2020

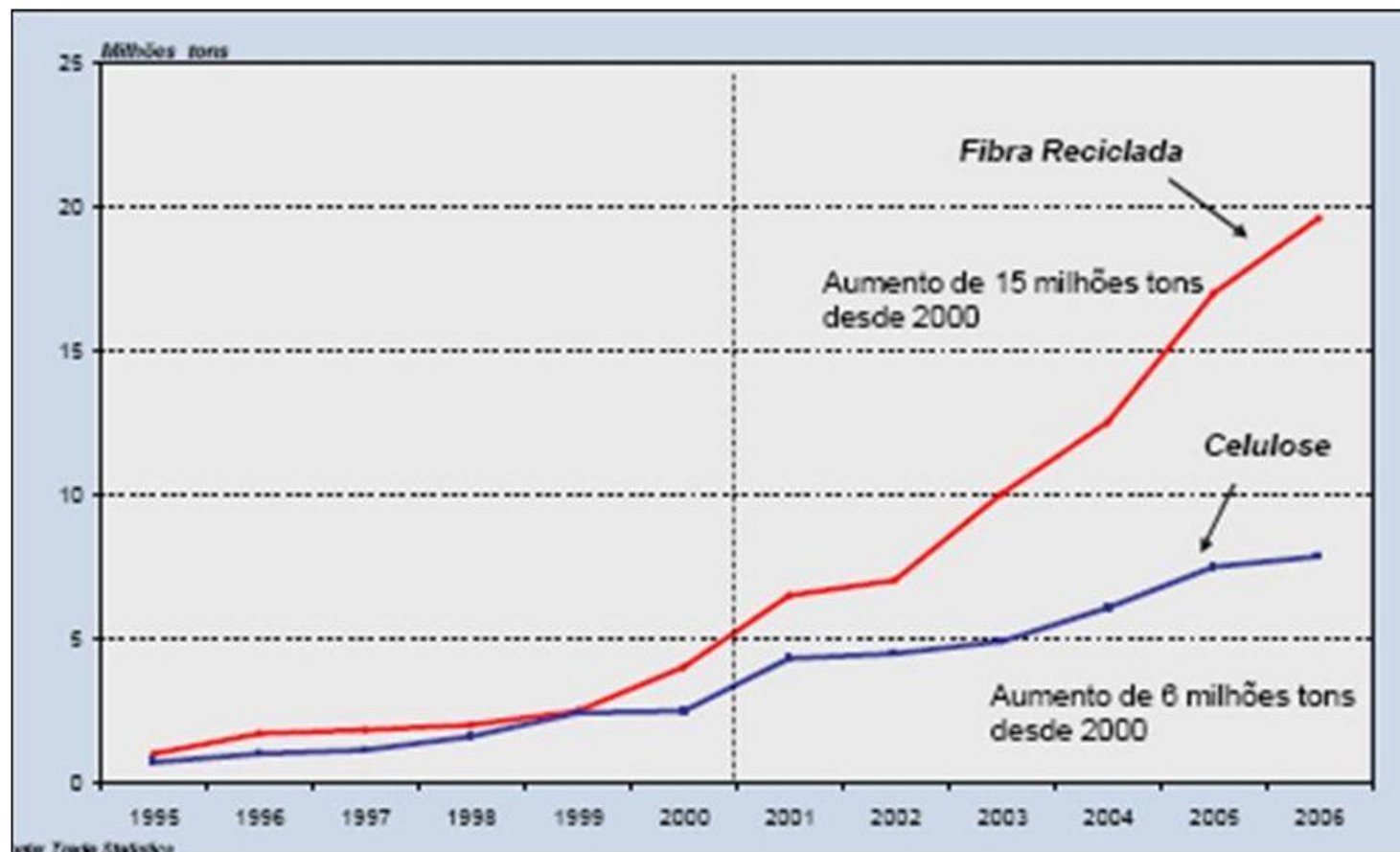
Durante a próxima década, a China se tornará o maior consumidor de papel no mundo.



FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## Importação de celulose e fibra reciclada - China

A importação de fibras cresceu mais de 20 milhões de tons nos últimos seis anos na China.



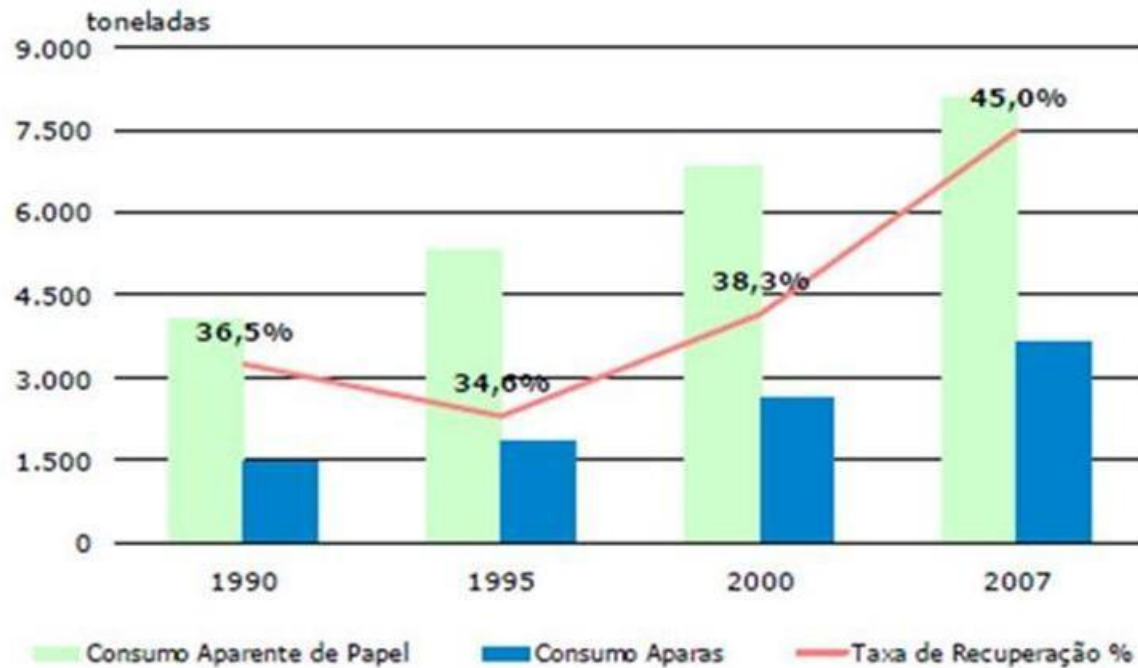
FONTE: Celulose e papel no mundo (Carlos Farinha e Silva – Pöyry)

## Papéis recicláveis 2007

Países Selecionados	Taxa de Consumo	Taxa de Recuperação
Alemanha	75,0%	72,8%
Espanha	73,7%	63,8%
França	68,9%	80,7%
China	68,9%	37,9%
México	64,2%	47,1%
Japão	61,6%	73,7%
Malásia	57,5%	50,7%
Índia	47,9%	28,1%
Itália	46,9%	51,8%
<b>Brasil</b>	<b>45,3%</b>	<b>45,0%</b>
Finlândia	39,6%	43,7%
Argentina	38,1%	35,5%
Estados Unidos	34,5%	54,4%
Reino Unido	32,7%	70,9%
Rússia	30,2%	32,8%

# Reciclagem

## Taxa de recuperação de papéis recicláveis



FONTE: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br)

## Bibliografia sugerida

- ANNIKKI, H. LEVLIN, J-E., HANNU, P. Principles and methods in pulp characterization: basic fiber properties. In: EUCEPA CONFERENCE, 24., 1990, Stockholm. **Proceedings** ... Stockholm, The Swedish Association of Pulp and Paper Engineers, 1990, p. 174-187.
- ASTALS, F. Imprimibilidad de los papeles. In: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE BARCELONA. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE TERRASSA. CATEDRA DE TECNOLOGIA PAPELERA. Relaciones tinta-papel, III, IV, V. Terrassa: Universidad Politécnica da Catalunya, 1988. 431 p. Cap. 1, p. 1-31.
- BARBADILLO, P., TAGLE, J.L. Contribución al estudio de los papeles sin estucar para impresión en offset. Investigación y técnica del papel, v. 24, n. 91, p. 11-26. Ene. 1987.
- BARRICHELLO, L.E.G., BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. Brasília: PNUD/FAO/IBDF/BRA, 1976. 145 p. (Série Divulgação, 13).
- BARROTTI, S. L. B., BERGMAN, S. Celulose e papel: tecnologia de fabricação de celulose. 2. ed. São Paulo: Escola Senai Theobaldo de Nigris/IPT, 1988. Cap. 7, p.818-842: Propriedades do papel e ensaios para sua avaliação.
- BRADWAY, K.E. Factors which affect the printing smoothness of handsheets. Tappi, v. 56, n. 8, p. 118-120. Jul.1973.
- BRITT, K.W. Handbook of pulp and paper technology. New York: Van Nostrand Reinhold, 1970, 795 p. Cap. 6-2, p. 401-418: Paper machine forming section.
- CASALS, R. Características del papel. Barcelona: Howson - Algraphy, 1985, 174 p.
- CLARK, J. d'A. Pulp technology and treatment for paper. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman Publications, 1985, 878 p., Cap. 3, p.452-629: Fiber properties and tests.
- COWAN, W.F., COWDREY E. J. K. Evaluation of paper strength components by short-span tensile analysis. Tappi, v. 57, n.2, p. 90-93, Feb. 1974.
- D'ALMEIDA, M.L.O. Viscosidade de uma pasta celulósica e a resistência do papel formado. O papel, p. 39-42, Ago. 1986.



- DASGUPTA, S. Mechanism of paper tensile-strength development due to pulps beating. Tappi Journal, v. 77, n. 6, p.158-166, Jun. 1994.
- EQUIPE DEPDEC. Medição do mínimo comprimento de fibra de Eucalyptus saligna e Eucalyptus grandis. Guaíba: Riocell, 1989, 12 p. (Nota Técnica).
- ESCOLA SENAI THEOBALDO DE NIGRIS. Características desejáveis dos papéis para policromia em função do sistema de impressão. São Paulo: Escola Senai Theobaldo de Nigris , 1981, 21 p.
- GALLAY, W. Stability of dimensions and form of paper: part 1. Tappi, v. 56, n. 11, p. 54-63, Nov. 1973.
- HORTAL, J.G. Constituyentes fibrosos de pastas y papeles. Terrassa: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa, 1988, 186 p. Cap. 2, p. 11-36: Composición química y estructura de la fibra.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Paper and board: measurement of diffuse blue reflectance factor (ISO brightness). Genève, 1977. 4p. (ISO 2470 : 1977).
- \_\_\_\_\_. Cellulose in dilute solutions: determination of limiting viscosity number. Part 1 : Method in cupriethylene- diamine (CED) solution. Genève, 1981. 11p. (ISO 5351-1 : 1981).
- \_\_\_\_\_. Paper and board: determination of grammage. Genève, 1979, 4p. (ISO 536 : 1979).
- \_\_\_\_\_. Paper and board: determination of opacity- Diffuse reflectance method. Genève, 1977, 5p. (ISO 2471 : 1977).
- \_\_\_\_\_. Paper and board: determination of tensile properties. Part 1 : constant rate of loading method. Genève, 1992. 5p. (ISO 1924-1 : 1992).
- \_\_\_\_\_. Paper and board: determination of tensile properties. Part 2: constant rate of elongation method. Genève, 1992. 6p. (ISO 1924-2 : 1994).
- \_\_\_\_\_. Paper: determination of tearing resistance (Elmendorf method). Genève, 1980. 8p. (ISO 1974 : 1990).
- \_\_\_\_\_. Pulps: determination of alkali solubility. Genève, 1982. 4p. (ISO 692 : 1982).
- \_\_\_\_\_. Pulps: determination of drainability. Part 1: Schopper-Riegler method. Genève, 1979. 5p. (ISO 5267-1 : 1979).



\_\_\_\_. Pulps: Laboratory beating. Part 2: PFI mill method. Genève, 1979. 5p. (ISO 5264-2 : 1979).

JIMÉNEZ, J.R. Los controles en la fabricación del papel. Madrid: Blume, 1970. 361 p. Cap.12, p.199-249: Relación entre las características de las pastas y los papeles.

KAJAANI. FS-100 user's manual. 2 ed. Atlanta, 1983. 50 p.

KEREKES, R. J., SCHELL, C.J. Effects of fiber length and coarseness on pulp flocculation. Tappi Journal, v.78, n.2, p.133-139, Feb. 1995.

KOLSETH, P., RUVO, A. Paper structure and properties. Stockholm: Marcel Dekker, 1986. Cap. 1, p. 3-25: The cell wall components of wood pulp fibers.

KROGH, G. Aspectos sobre a tecnologia de fabricação de celulose no Brasil. In: Convenção anual da ABCP, 7., 1974, São Paulo. Anais... São Paulo: ABCP, 1974. p. 31 a 39.

LEE, J. Relationships between properties of pulp-fibre and paper. Toronto: Faculty of Forestry, University of Toronto, 1993. 214 p. Thesis (Ph. D.)

LEVLIN, J-E. The characterization of papermaking pulps. Tappi, v.58, n.1, p. 71-74, Jan. 1975.

LIBBY, C.E. Pulp and paper science and technology: paper. New York: McGraw-Hill, 1977. 517p. Cap. 7, p. 209-260: The fourdrinier paper machine.

MATUSSEK, H., PAPPENS, R. A., KENNY, J. Unlucky 13th year for world production growth? Pulp and paper international. p. 22-25, jul. 1996.

MURAKAMI, K., IMAMURA, R. Handbook of physical and mechanical testing of paper and paperboard. New York: Marcel Dekker, 1984. v. 2. 508 p. Cap. 17, p. 57-101: Porosity and gas permeability.

NEVELL T.P., ZERONIAN S.H. Celulose chemistry and its applications. New York: John Wiley & Sons, 1985.

ORTIGÜELA, A. M. O papel como suporte para a impressão. Anave, v. 14, n. 58, p. 23-24, jan./fev.1990.

PAPER CHEMISTRY LABORATORY. Dynamic paper chemistry jar and hand-sheet model operating manual. New York, 1991. 79 p.

RETULAINEN, E. Fibre properties as control variables in papermaking?: part 1 - fibre properties of key importance in the network. Paperi ja puu, v. 78, n. 4, p. 187-193, Apr.1996.

\_\_\_\_. Fibre properties as control variables in papermaking?: part 2 - strengthening interfibre bonds and reducing grammage. Paperi ja puu, v. 78, n. 5, p. 305-312, May 1996.

RETULAINEN, E., EBELING, K. Fibre bonding and ways of characterizing bond strength. Appita, v. 46, n. 4, p. 282-288. Jul.1993.

RIBEIRO Jr., A. Considerações gerais sobre o uso de celulose de eucalipto na fabricação de papel. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 9., 1976, São Paulo. Anais ... São Paulo: ABCP, 1976. p. 47 a 49.

RIOCELL Papel: espessura e volume. Guaíba, 1994, 6p. (DT 8020-07-113-3).

\_\_\_\_. Polpa: ascensão capilar. Guaíba, 1997, 5p. (DT 8020-07-172-3).

SALMÉN, N. L. Celulose chemistry and its applications. New York: John Wiley & Sons, 1985. 552 p. Cap. 20, p. 505-530: Mechanical properties of wood fibers and paper.

SAUCEDO, J. J., GONZÁLEZ, S.F. Identificación y efecto de las hemicelulosas sobre las propiedades físicas de la celulosa y papel. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE CELULOSA Y PAPEL, 2., 1981, Torremolinos. Anais ... Torremolinos: Asociación de Investigación Técnica de la Industria Papelera Española, 1981. p. 143-151.

SCOTT, W. E., TROSSET, S. Properties of paper: an introduction. Atlanta: Tappi, 1989. 170 p.

SETH, R. S. The importance of fibre coarseness for pulp properties. In: ANNUAL MEETING, 77., 1991, Montreal. Proceedings ... Montreal: Canadian Pulp and Paper Association, 1991. p. 251-252.

SMOOK, G. A. Handbook for pulp and paper technologists. Atlanta: Angus Wilde Publications, 1987. 4 ed., 395 p., Cap.2, p.9-19: Characteristics of wood and wood pulp fibres.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. Air resistance of paper. Atlanta: Tappi, 1994. 3 p. (T460 om-88).

\_\_\_\_. Bursting strength of paper. Atlanta: Tappi, 1994. 4 p. (T403 om-91).

\_\_\_\_. Forming handsheets for physical tests of pulp. Atlanta: Tappi, 1994. 3 p (T205 om-88).

\_\_\_\_. Sampling and accepting a single lot of paper, paperboard, fiberboard ou related product. Atlanta: Tappi, 1989. 5 p (T400 om-85).

\_\_\_\_. Thickness (caliper) of paper, paperboard and combined board. Atlanta, 1989. 3 p. (T411 om-89).

WATTY, E. L. Causas de la inestabilidad dimensional en papeles finos. ATCP, v. 10, n.6, p. 450-456, 19--.

YOUNG, J. H. Pulp and paper: chemistry and chemical technology. 3 ed., New York: John Wiley & Sons, 1980, 1446 p., Cap. 6: Fiber preparation and approach flow. 1980.