

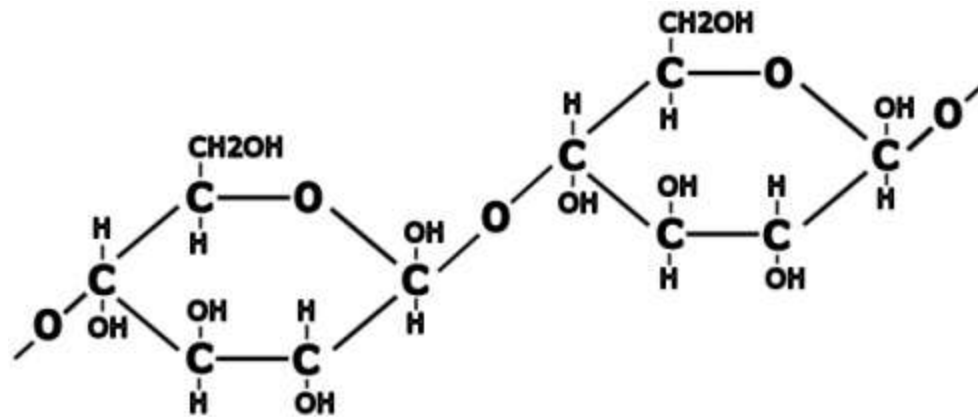
# Movimentos da água na madeira



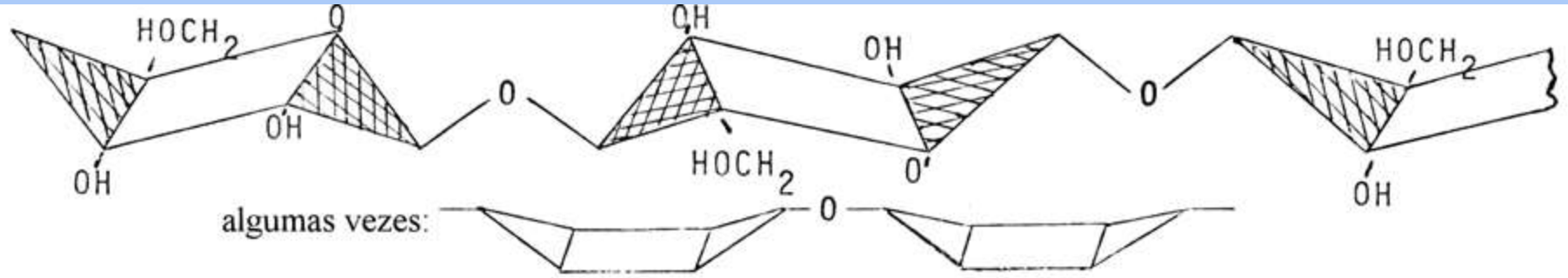
## **CAPILARIDADE E DIFUSÃO**

**PROFA. GHISLAINE MIRANDA BONDUELLE**

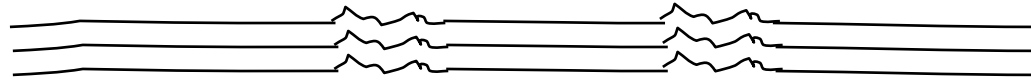
# Moléculas de celulose



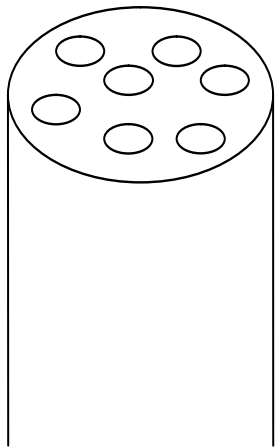
# Cadeias de celulose



# Pared celular



FIBRILA  $\pm$  40 MOLÉCULAS



10 A 20 FIBRILAS  $\rightarrow$  MICROFIBRILA



20 MICRO

MACRO  $\rightarrow$  L. M.

# Tipos de água na madeira

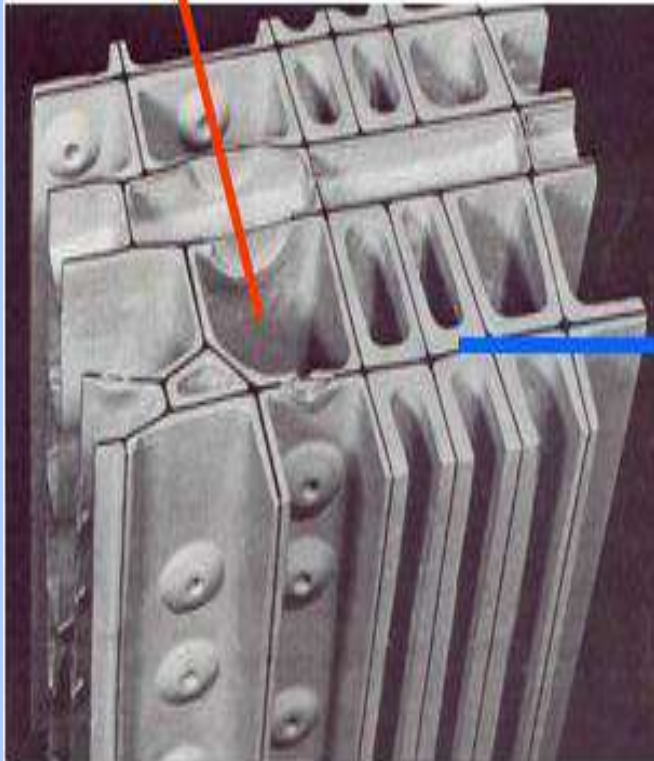


1. Água Livre ou de capilaridade (CAPILARIDADE)
  
2. Água na parede celular (DIFUSÃO):
  - 2.1. Água de impregnação
  - 2.2. Água química

# O que consideramos como matéria lenhosa?



LUME - ÁGUA CAPILAR



PAREDE

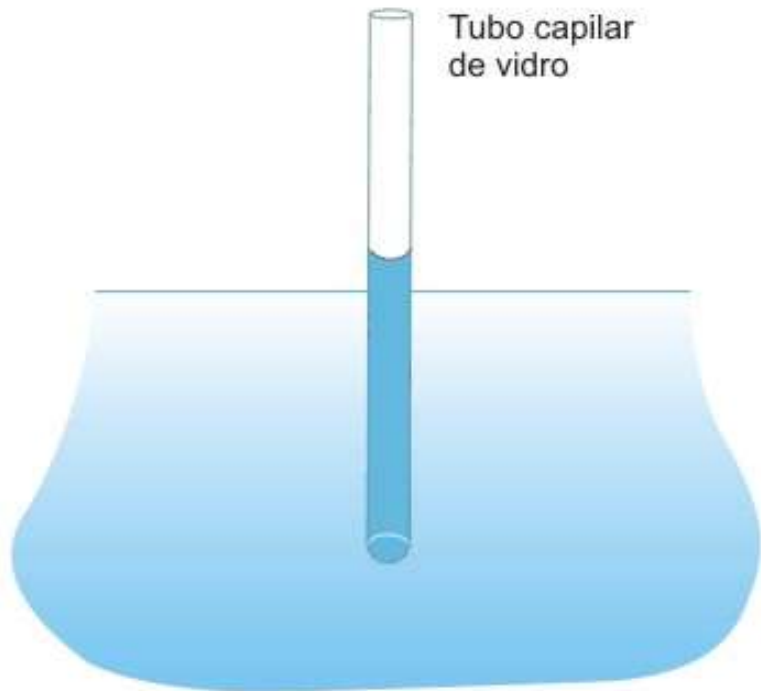
CELULOSE

HEMICELULOSES

LIGNINA

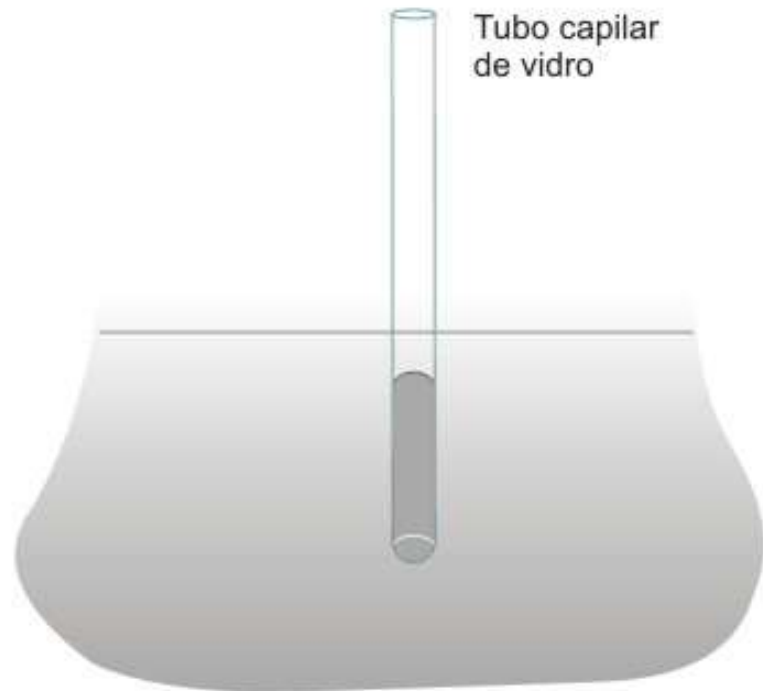
EXTRATIVOS

ÁGUA HIGROSCÓPICA



Tubo capilar  
de vidro

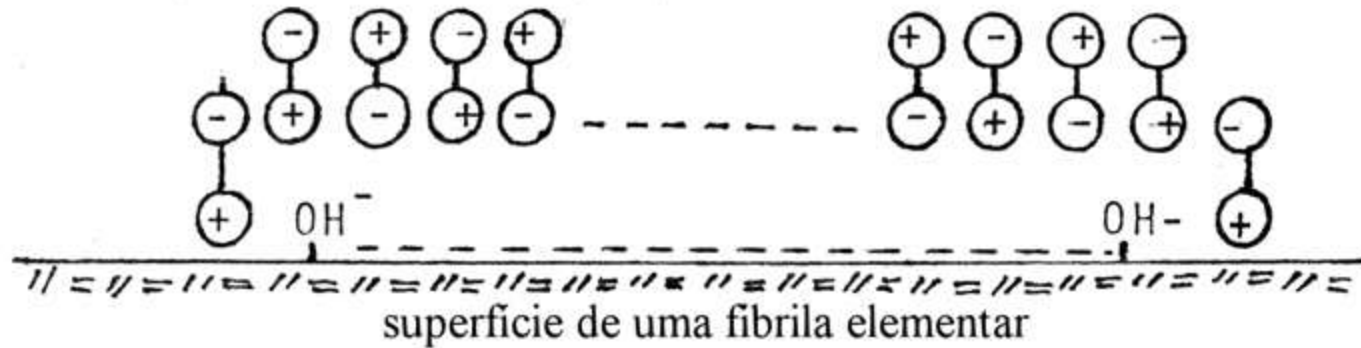
Água



Tubo capilar  
de vidro

Mercúrio

# Ligação da água de impregnação na parede celular

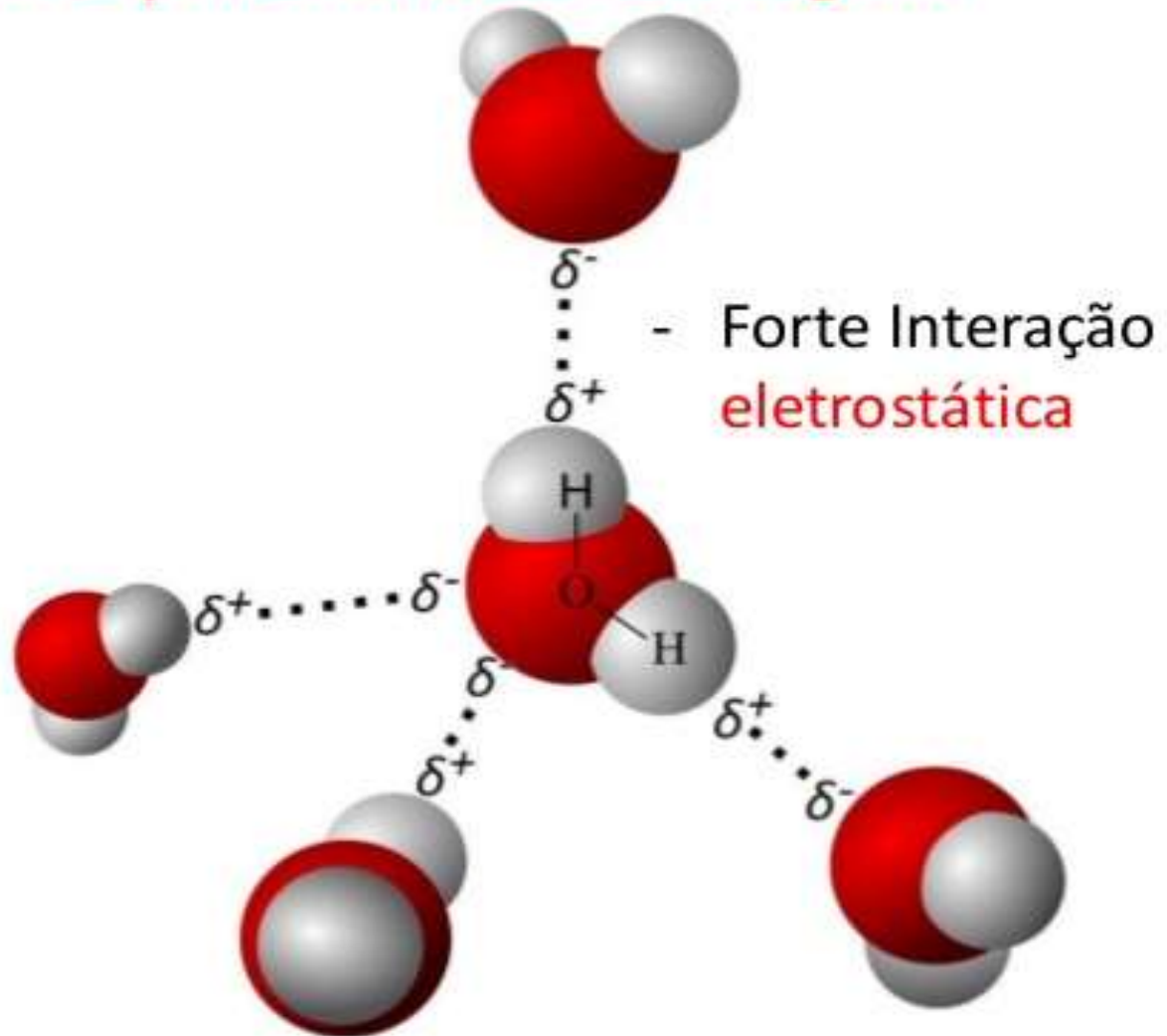




## 3.2-Propriedades da água

#Pontes de  
Hidrogênio

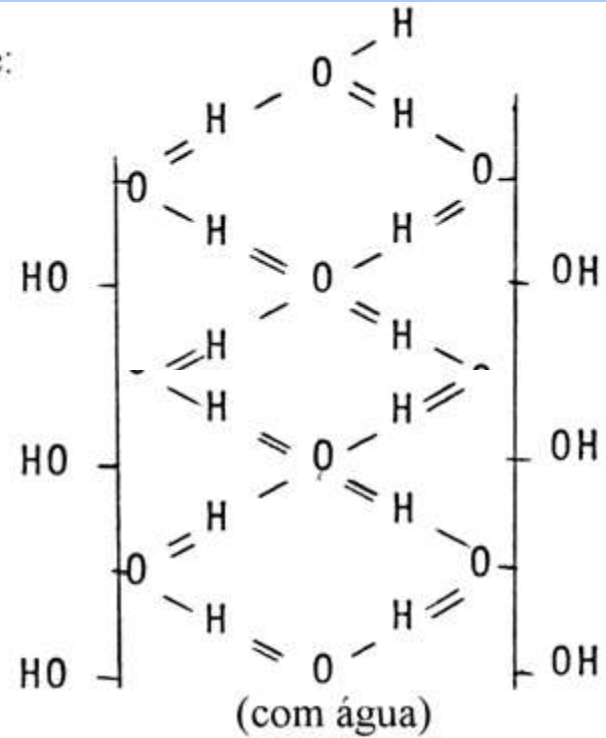
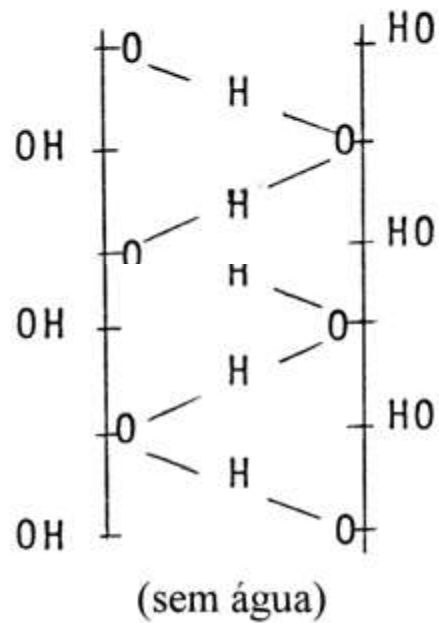
#Coesão



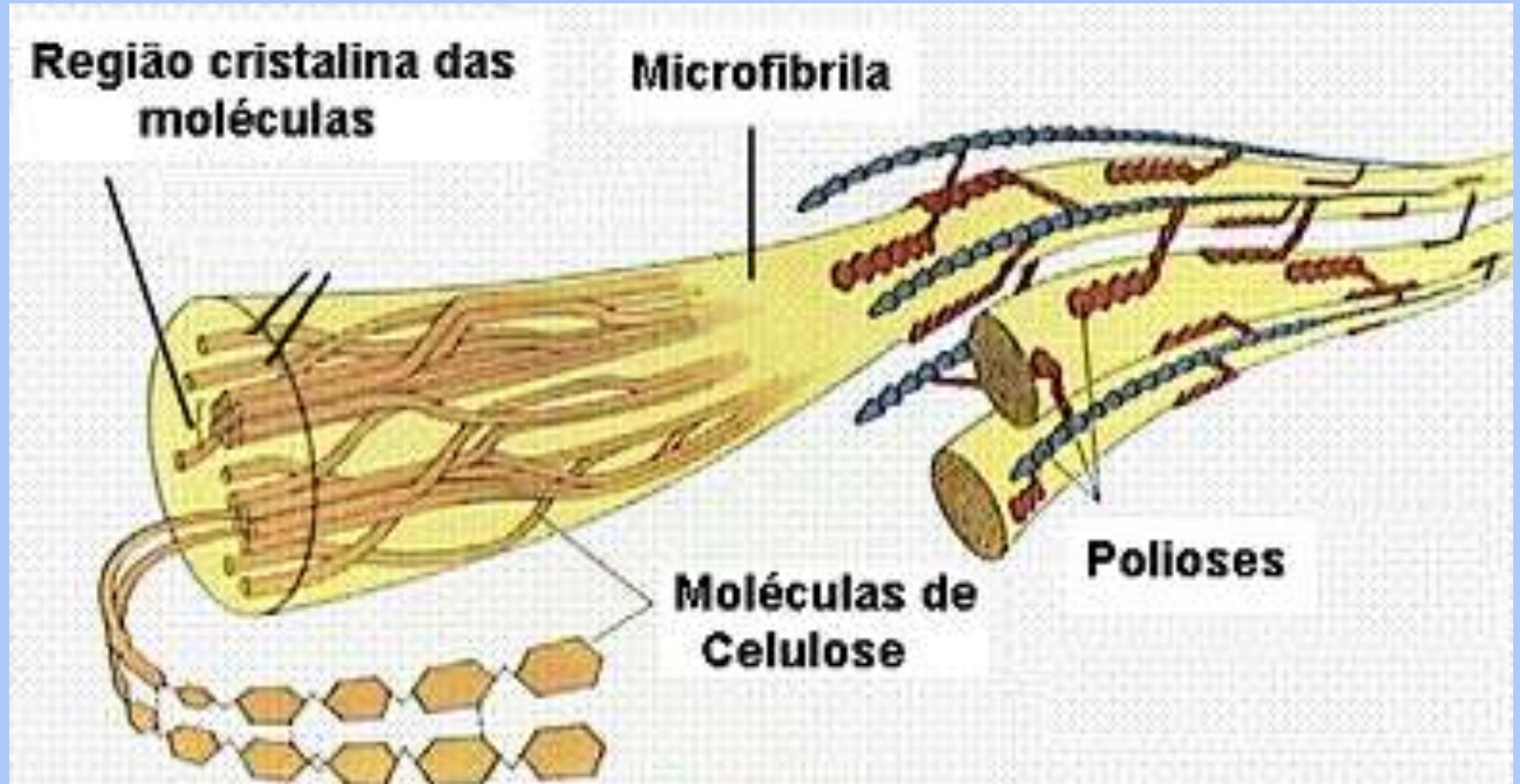
# Ligação da água química na parede celular



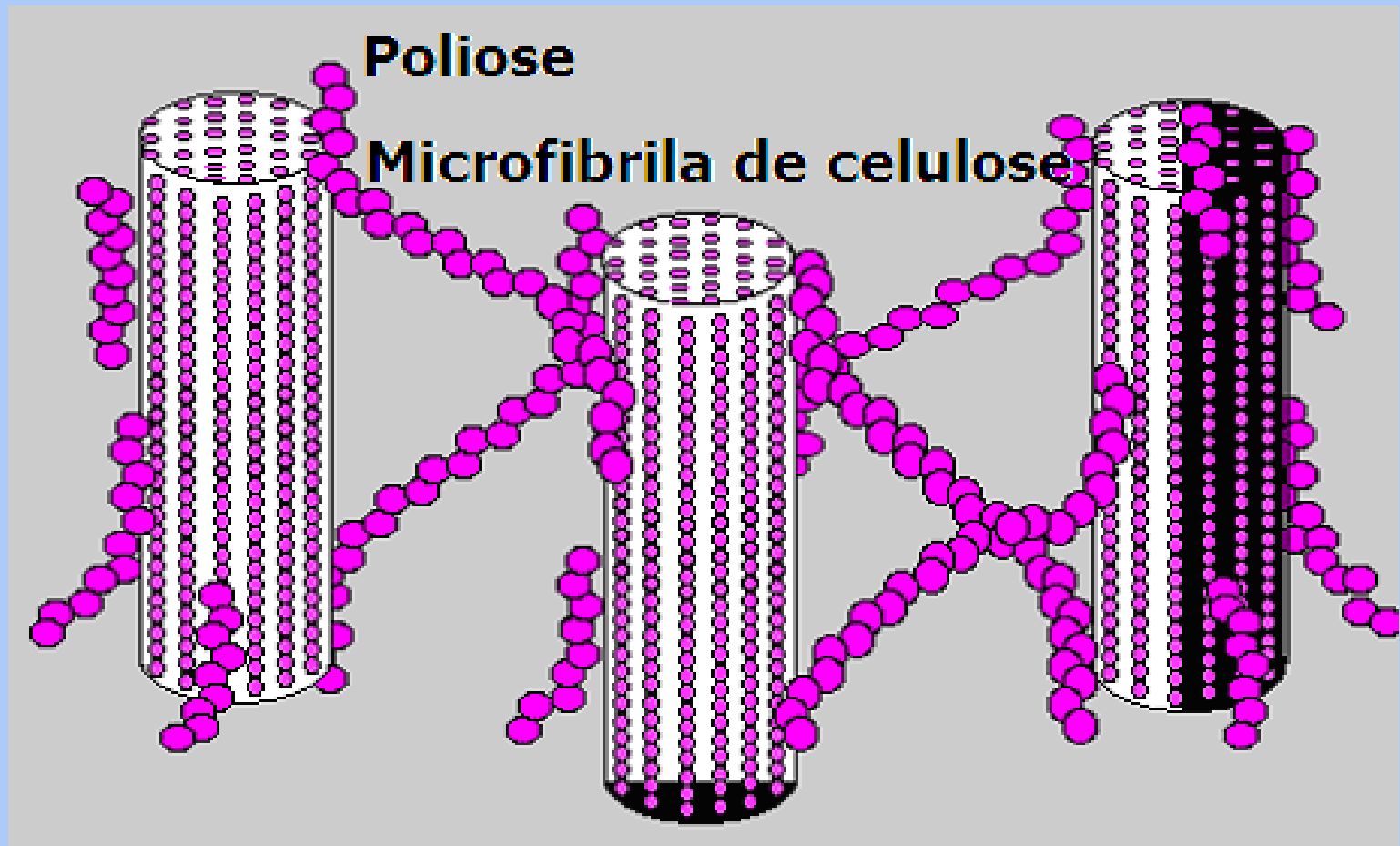
Pontes de hidrogênio entre moléculas de celulose:



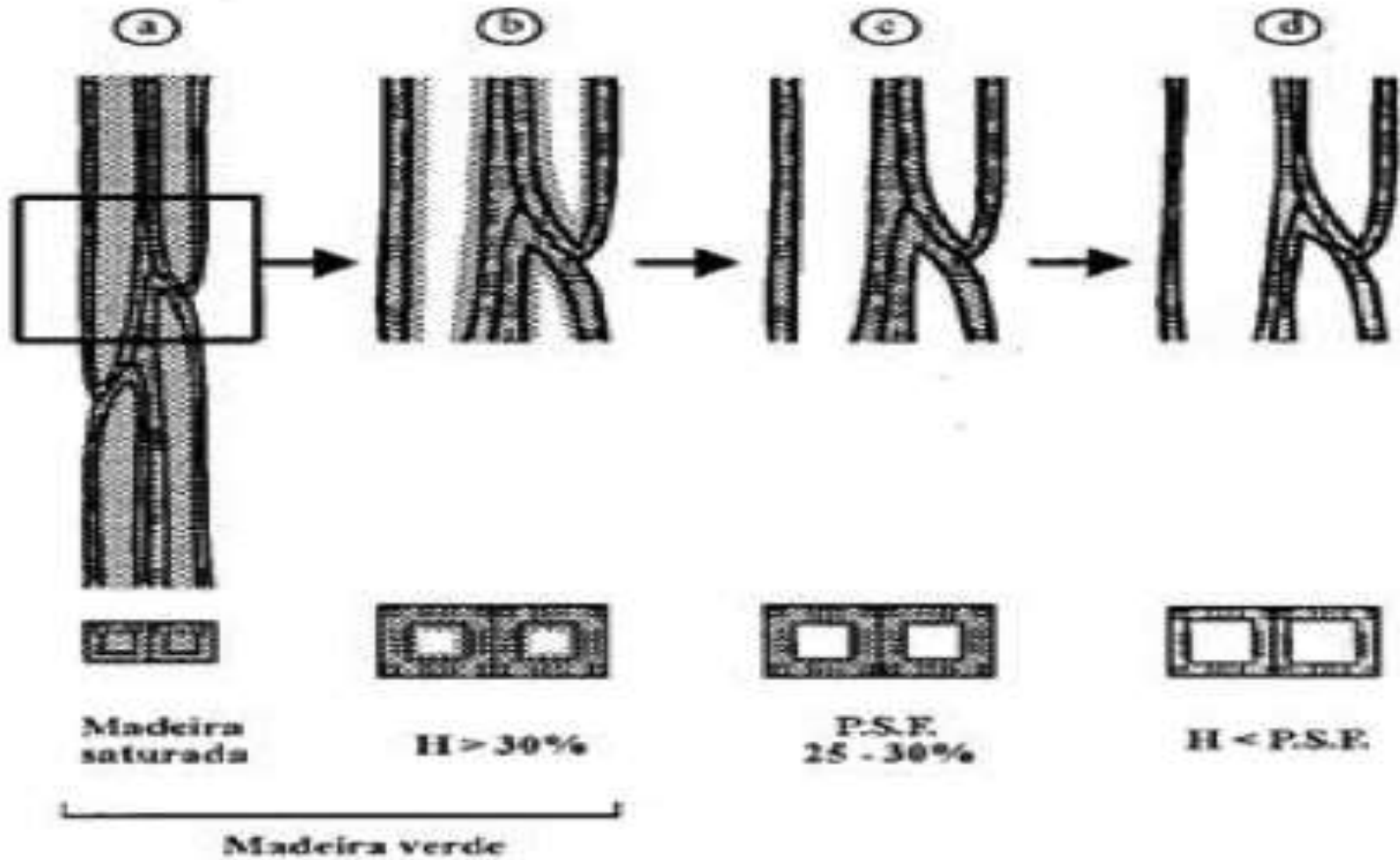
# Interação entre as moléculas de celulose



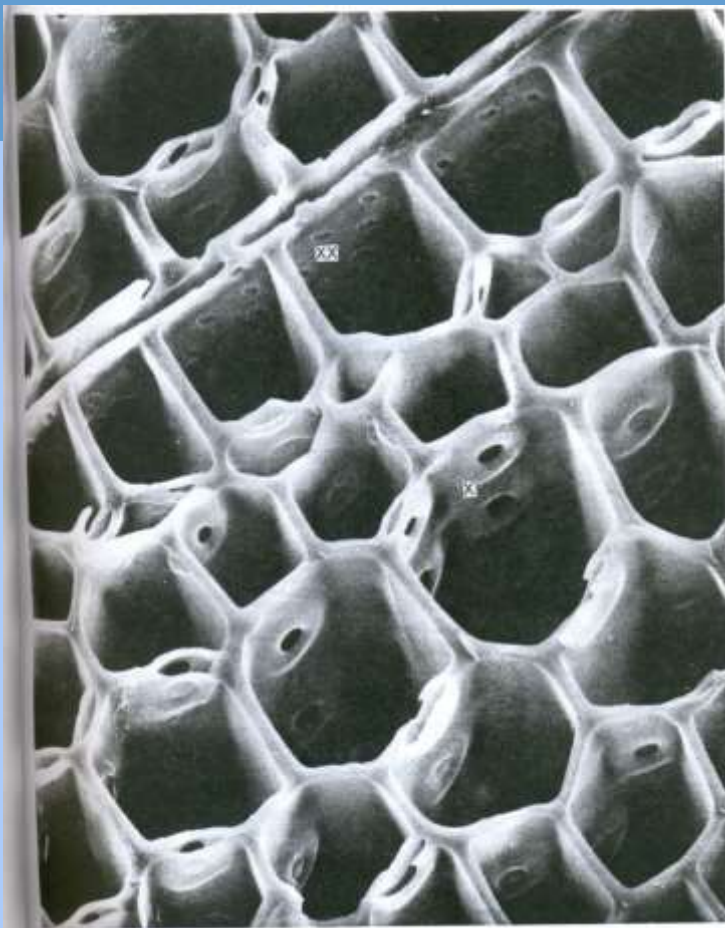
# Interação entre as polioses (hemiceluloses) e as microfibrilas de celulose



# Localização da água na madeira

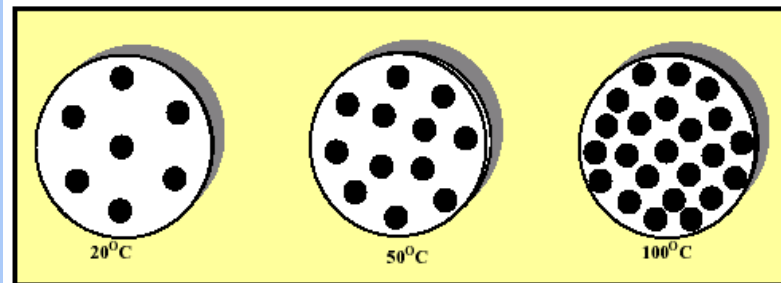


# Estrutura da Madeira

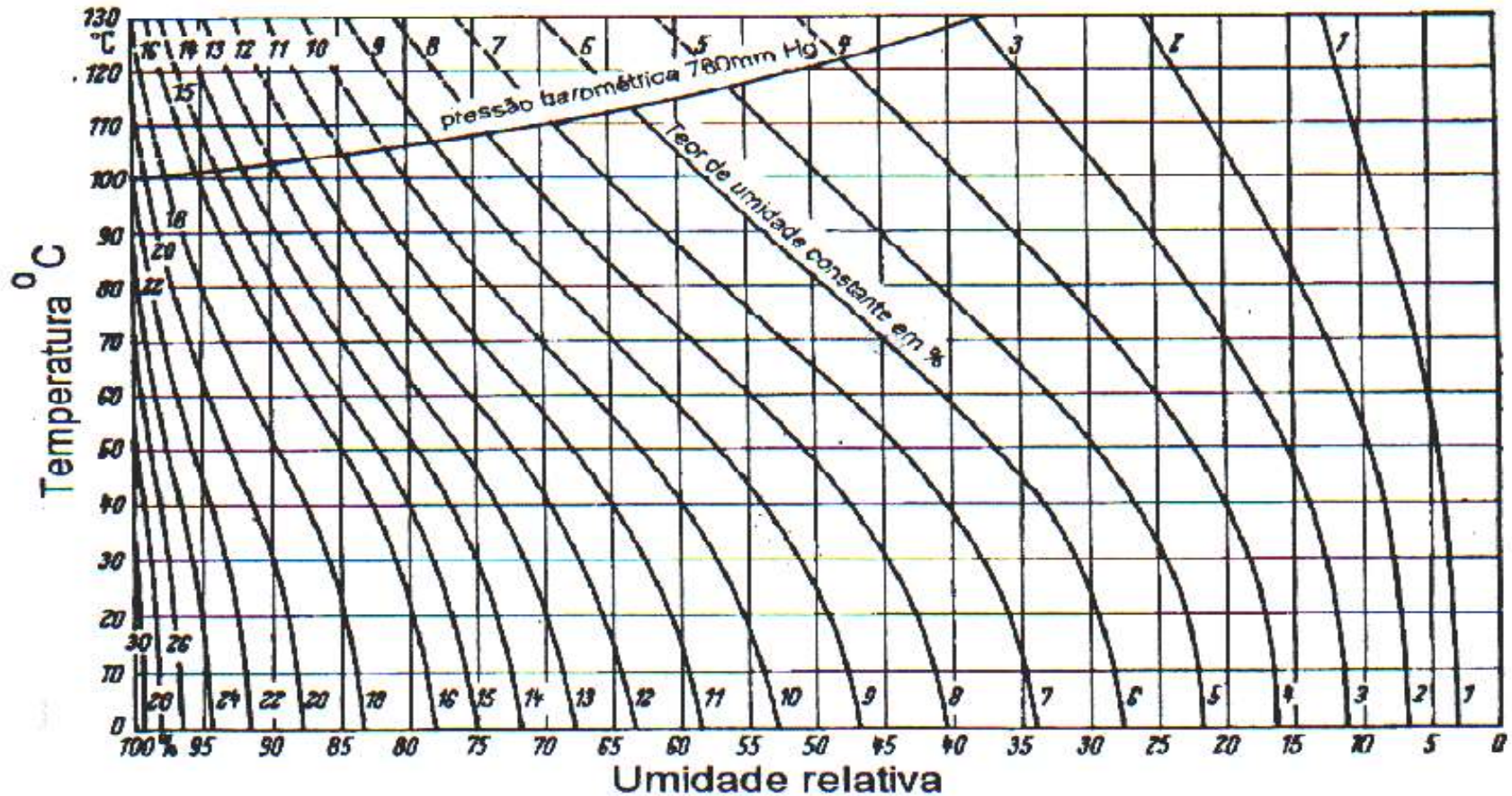


## Material higroscópico

FIGURA 08 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA VARIAÇÃO DA CAPACIDADE DO AR EM ABSORVER VAPOR D'ÁGUA NA SUA ESTRUTURA EM MESMO AMBIENTE VARIANDO SOMENTE A TEMPERATURA



# Umidade de equilíbrio da madeira



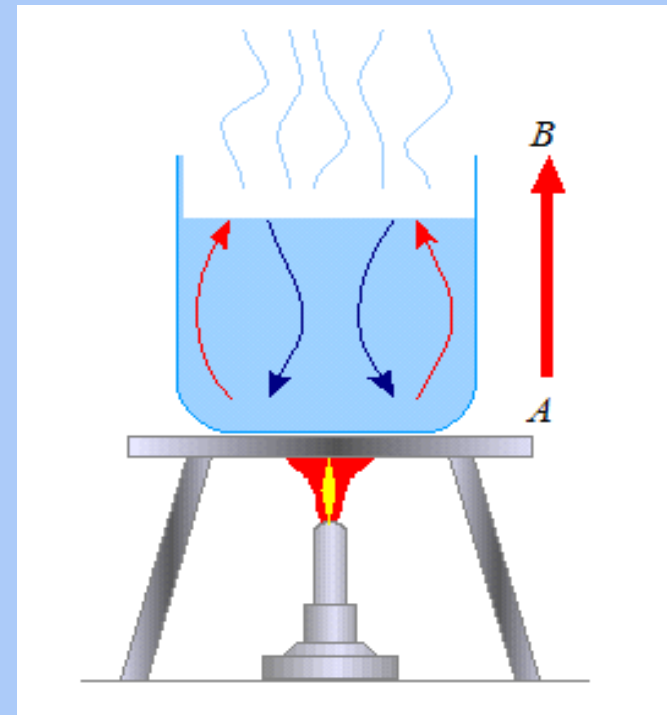
# UMIDADE DE EQUILÍBRIO



## UMIDADE RELATIVA DO AR

TEMPERATURA	25°C	25°C	25°C
QUANTIDADE DE VAPOR D'ÁGUA	5 g/kg	10 g/kg	20 g/kg
CAPACIDADE	20g/kg	20g/kg	20g/kg
UMIDADE RELATIVA	$5/20 = 25\%$	$10/20 = 50\%$	$20/20 = 100\%$

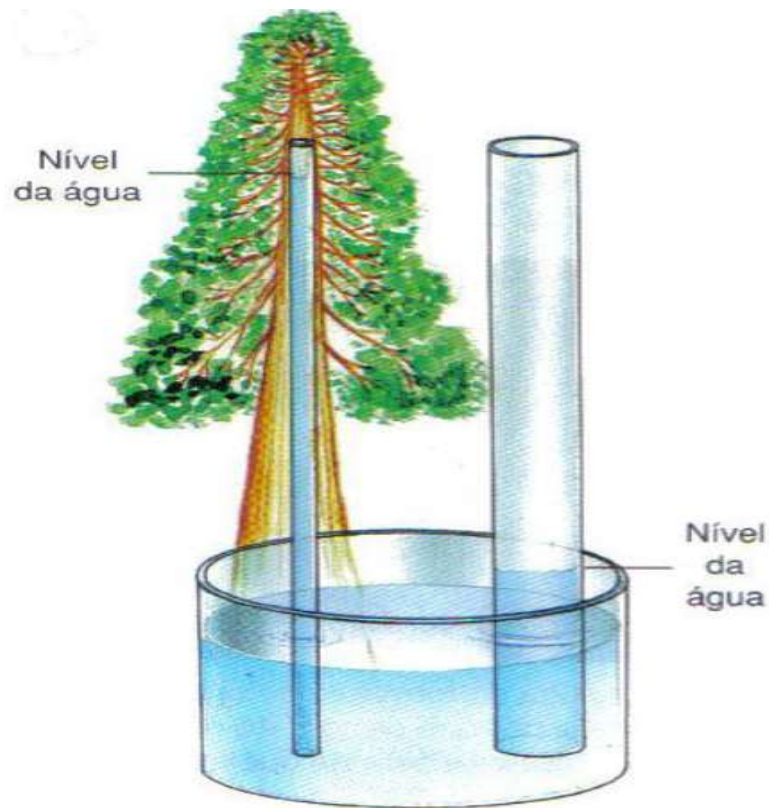
## TEMPERATURA



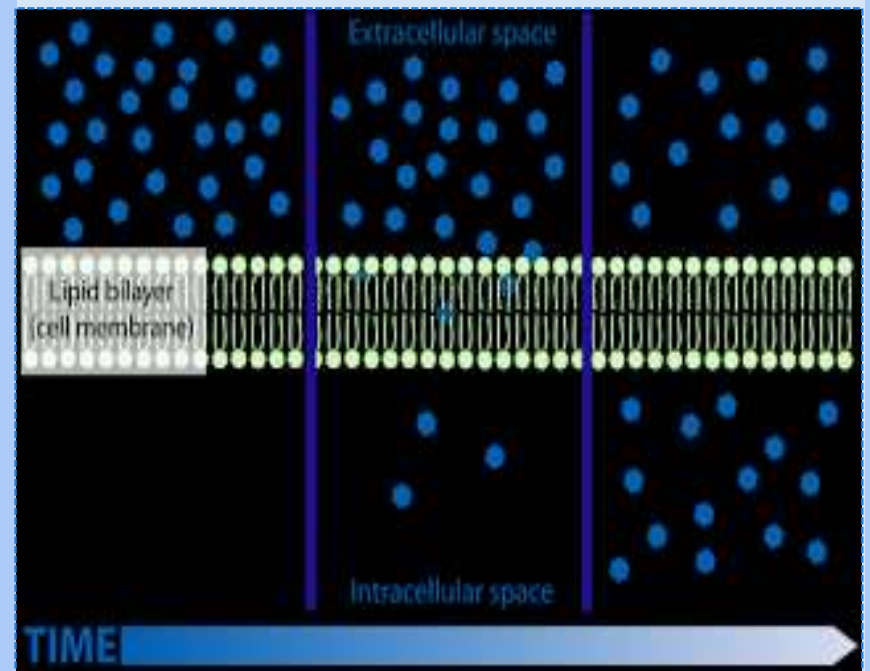


# MOVIMENTOS DA ÁGUA

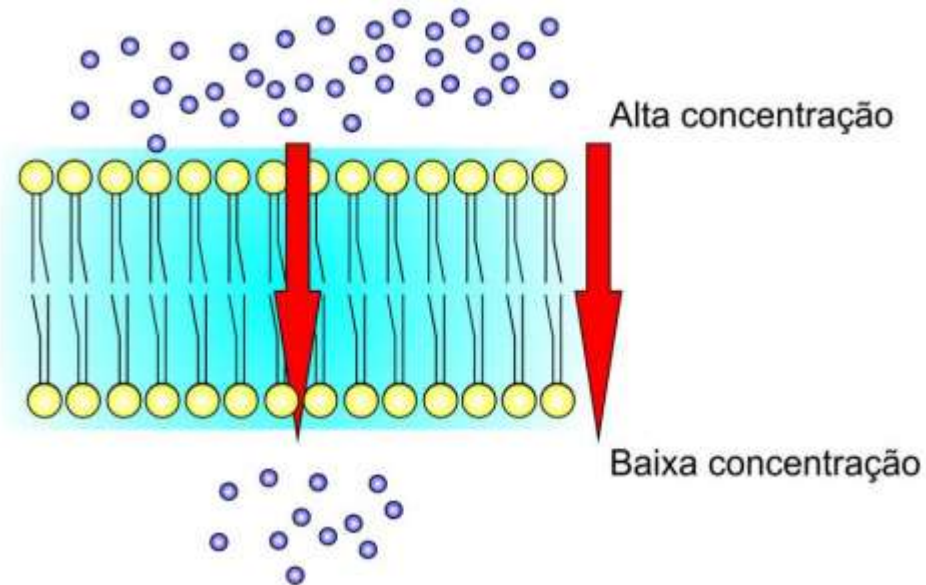
## CAPILARIDADE



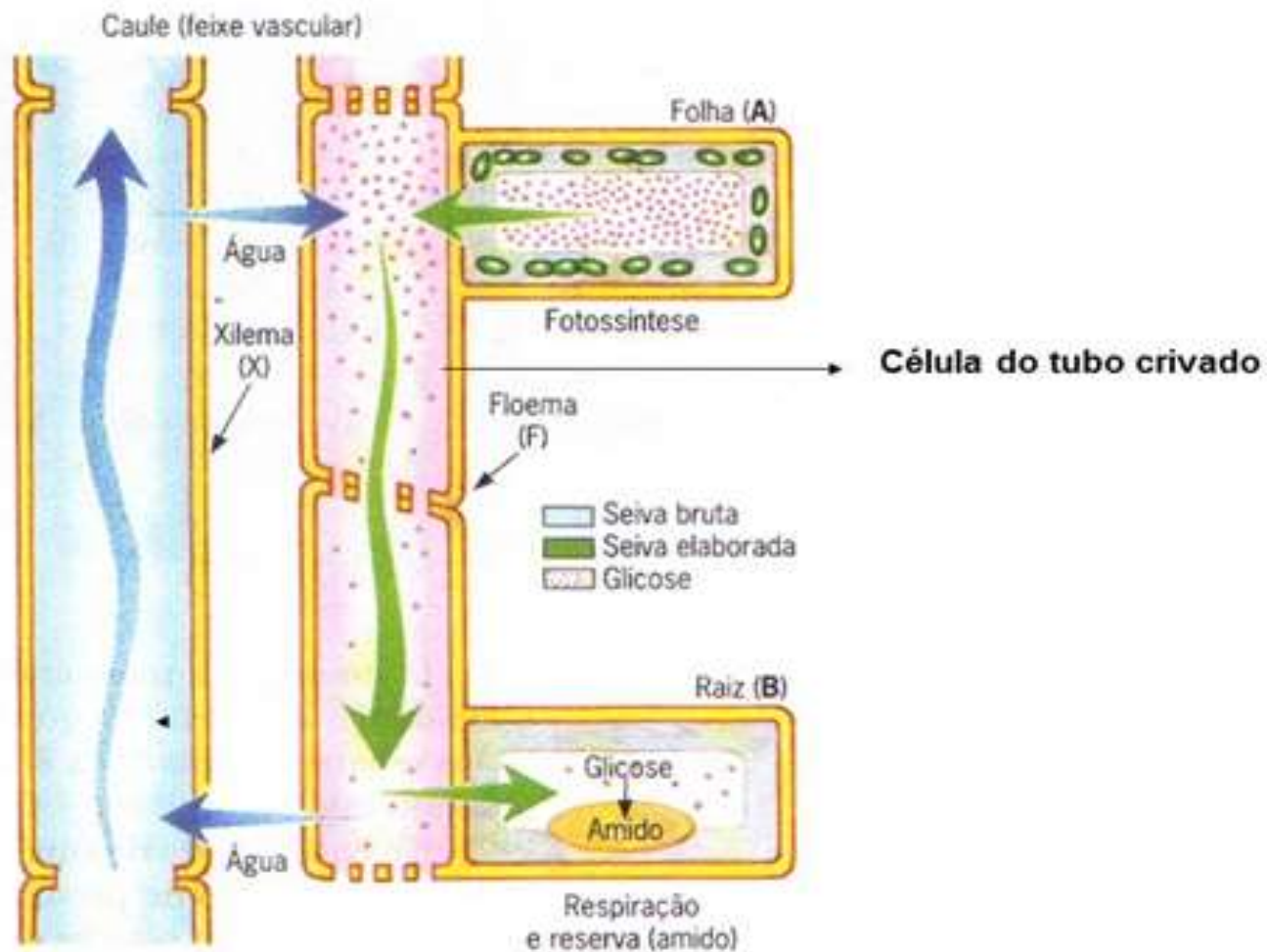
## DIFUSÃO



# DIFUSÃO



# DIFUSÃO+CAPILARIDADE

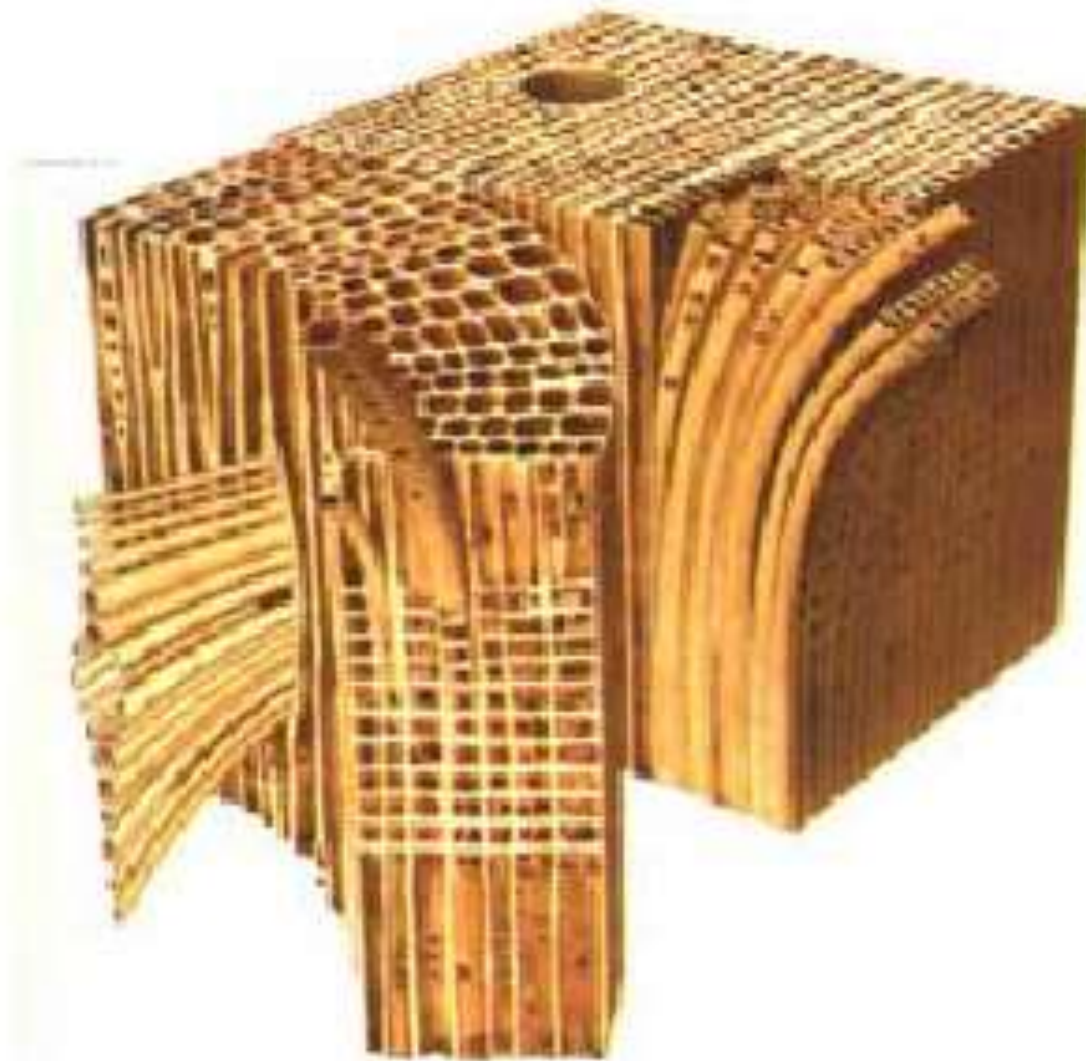


# Capilaridade

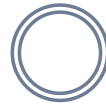


- Ocorre devido a tensão superficial do líquido e ao raio do menisco
- Quanto menor o raio do menisco , maior será a tensão capilar

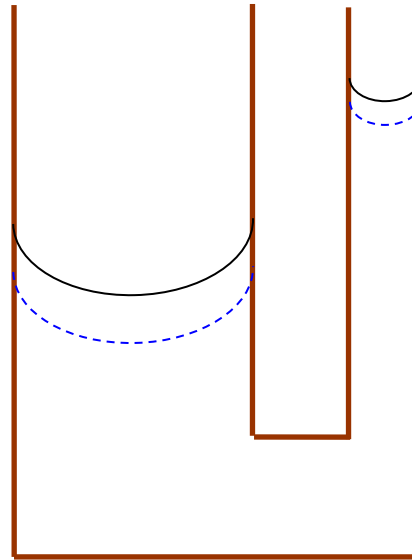
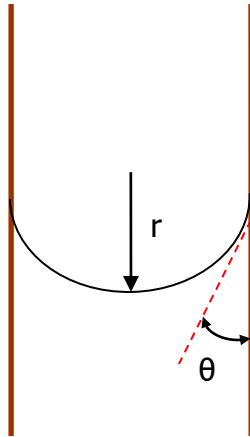
# CAPILARES



# Movimento capilar

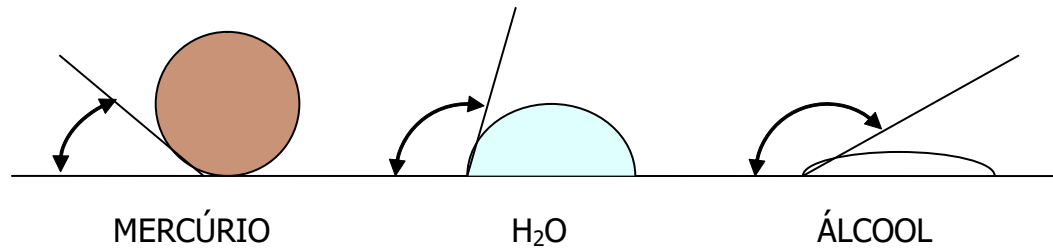


Pela tensão superficial ele se eleva



Precisa – energia p/ evaporar H<sub>2</sub>O

# Tensão superficial do líquido



LÍQUIDO EM CONTATO  
C/ O AR  
ÁLCOOL ETÍLICO  
ÁGUA  
MERCÚRIO

T (°C)

20

TENSÃO SUPERFICIAL  
(DIN CM<sup>-1</sup>)

22,3

72,8

63,1

# LEI HAGEN-POUSEUILLE



Num capilar cheio, o movimento da água capilar é produzido pelas diferenças em tensão devido as forças existentes na superfície do menisco dentro do capilar.

Esta tensão "T", num menisco balanceado dentro de um capilar de raio "r" pode ser determinada através da equação abaixo:

$$TC = H.d = (2\sigma/d.r)d =$$

$$\mathbf{TC = 2 \sigma / r}$$

Onde:

TS = tensão superficial g/cm<sup>3</sup>

TC = tensão capilar, g/cm<sup>3</sup>

H = altura de ascensão do líquido no capilar em, cm

d = densidade da água, g/cm<sup>3</sup>

r = raio do capilar, cm

$\sigma$  = tensão superficial do líquido, g/cm



# Difusão



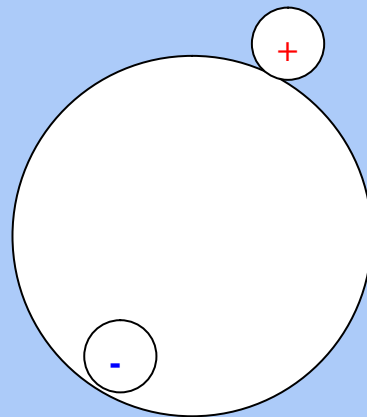
- Ocorre devido a um gradiente de umidade
- Regido pela 2<sup>a</sup>. Lei de Fick:
- $dm/dt = Dg(d^2.M/dx^2)$
- Onde:
- $dm/dt$  = quantidade de umidade removida (m) na unidade de tempo (t)
- $Dg$  = coeficiente de difusão médio ( $cm^2/s$ )
- $(d^2 M/dx^2)$  = variação da umidade na distância (x).

# DIFUSÃO

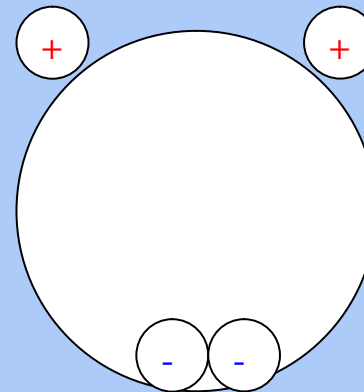


- Três caminhos:
  - Parede – cavidade – parede – superfície
  - Parede – superfície
  - Cavidade - Superfície

# Ligação de água na parede: forças elétricas polares



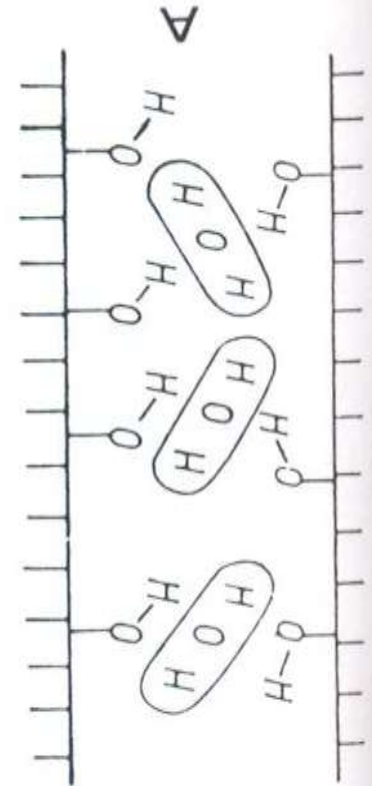
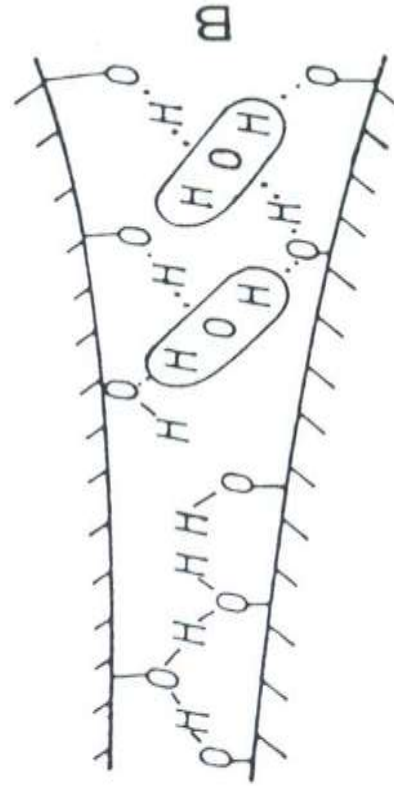
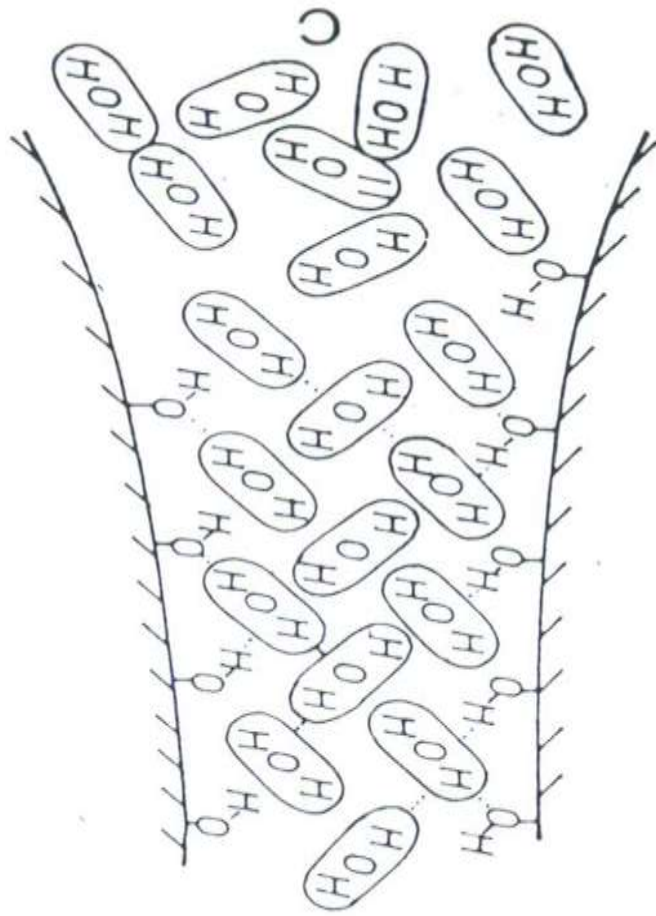
HIDROXILA (OH)



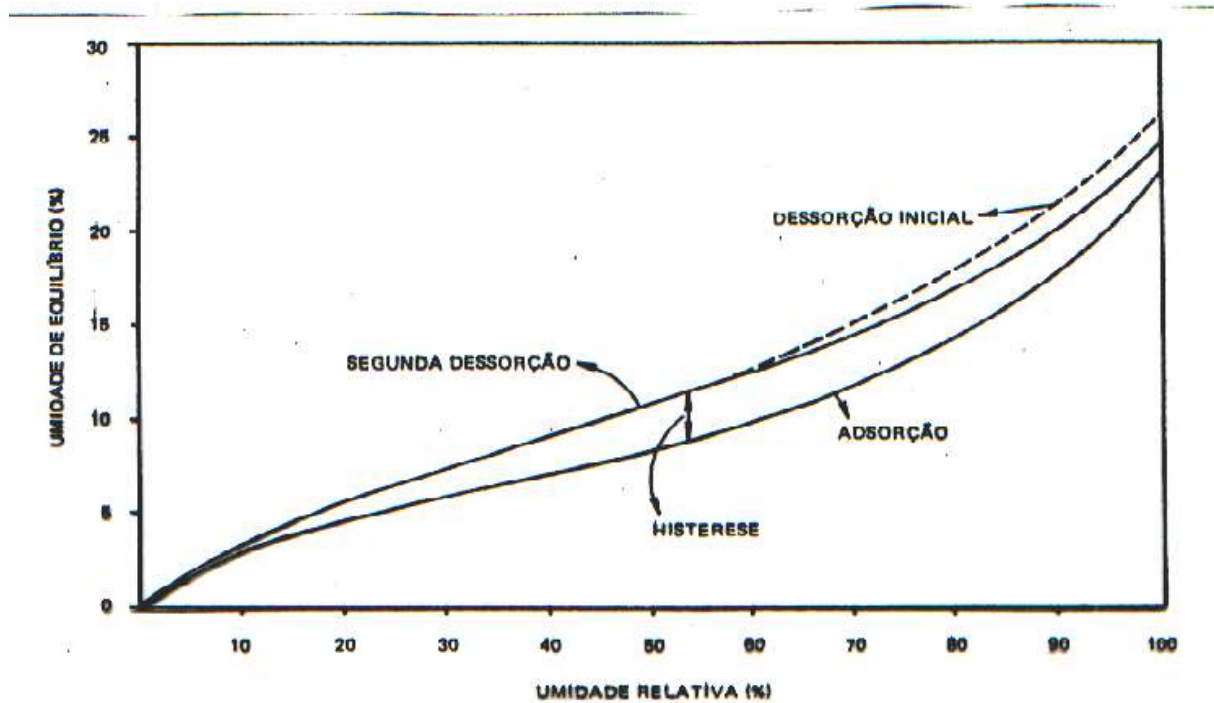
MOLÉCULA DE H<sub>2</sub>O

Forças polares

# Ligação de água na parede: pontes de hidrogênio



# Histerese

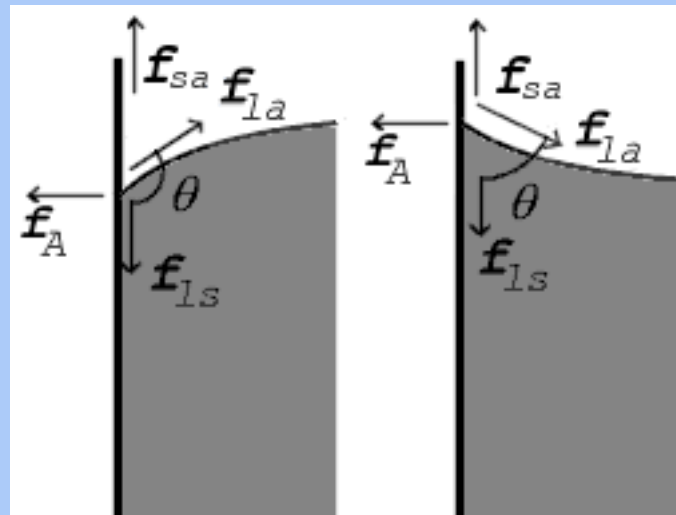


# CAUSAS DA HISTERESE



- Paredes dos capilares secas na absorção subsequente
- Formação de pontes de hidrogênio irreversíveis na secagem

# CAUSAS DA HISTERESE



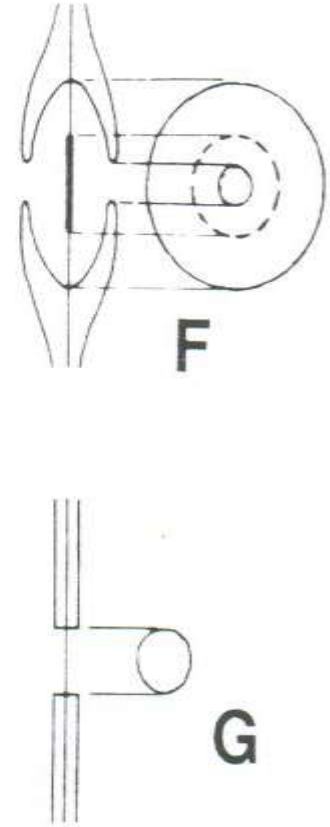
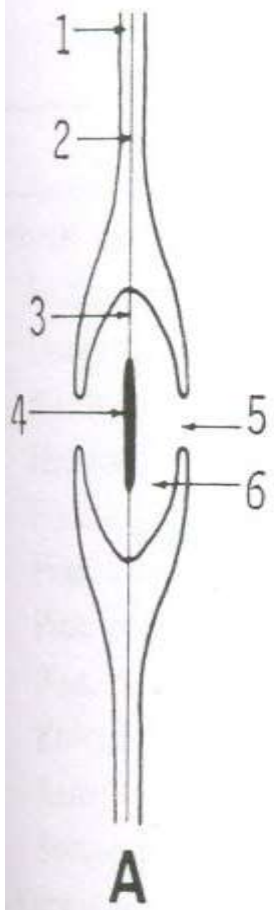
# Defeitos que ocorrem acima do PSF



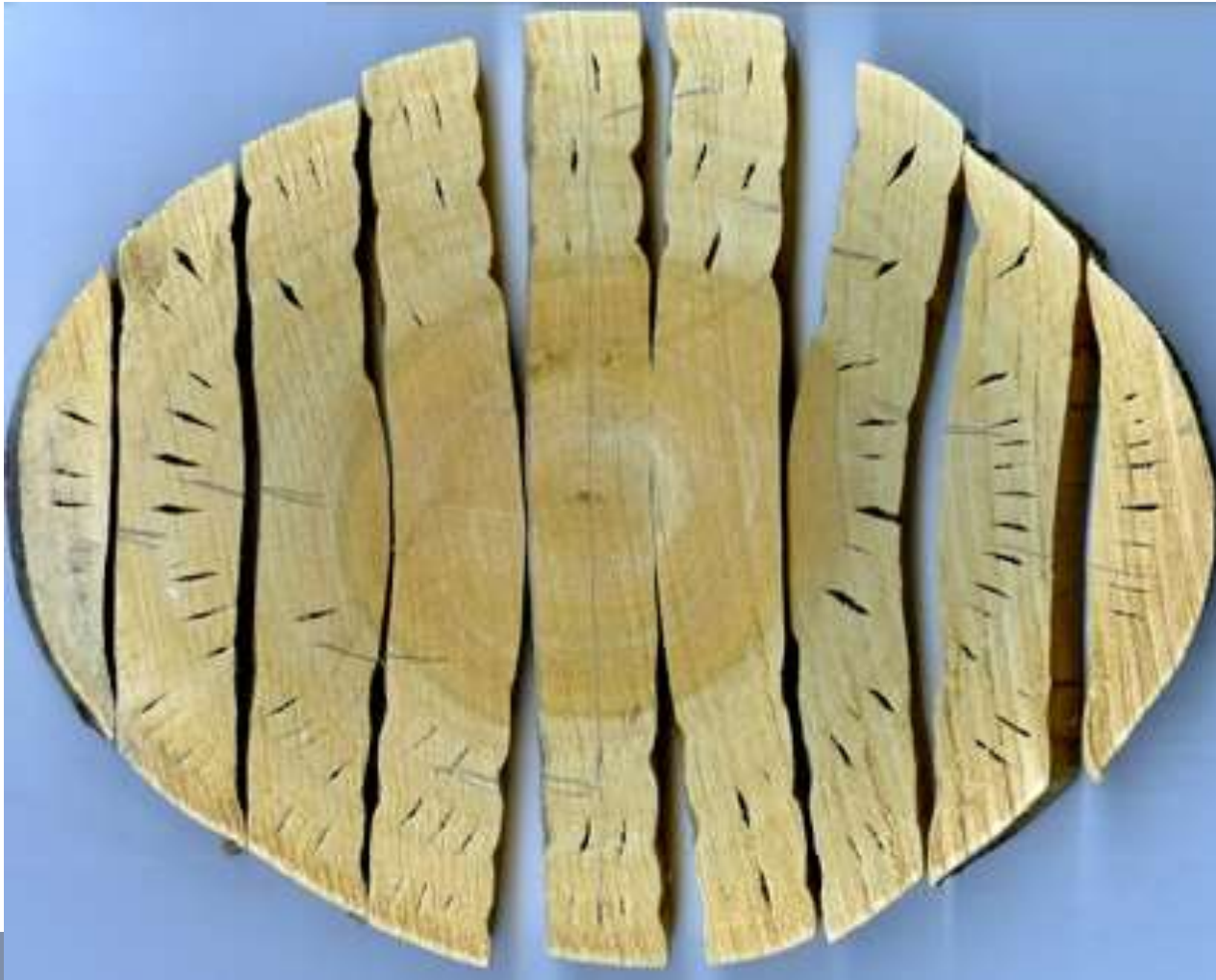
- **Aspiração de pontuações (coníferas)**
  - ✦ Reduz a permeabilidade da madeira
  
- **Colapso da Madeira (folhosas)**
  - ✦ Causa deformações, achatamento das células e gretas alveolares



# ASPIRAÇÃO DE PONTUAÇÕES



# Colapso na Madeira



# COLAPSO EM MADEIRAS

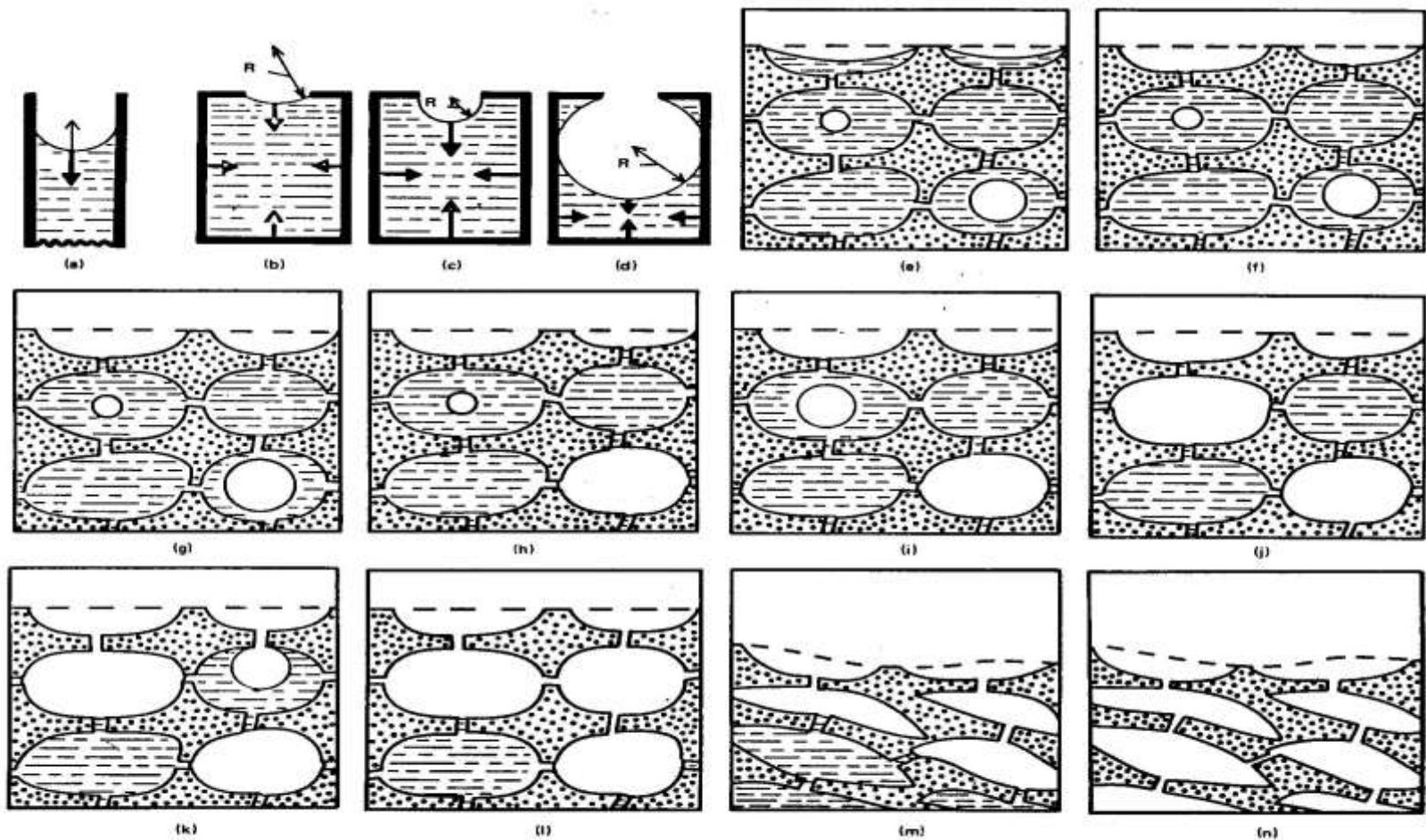


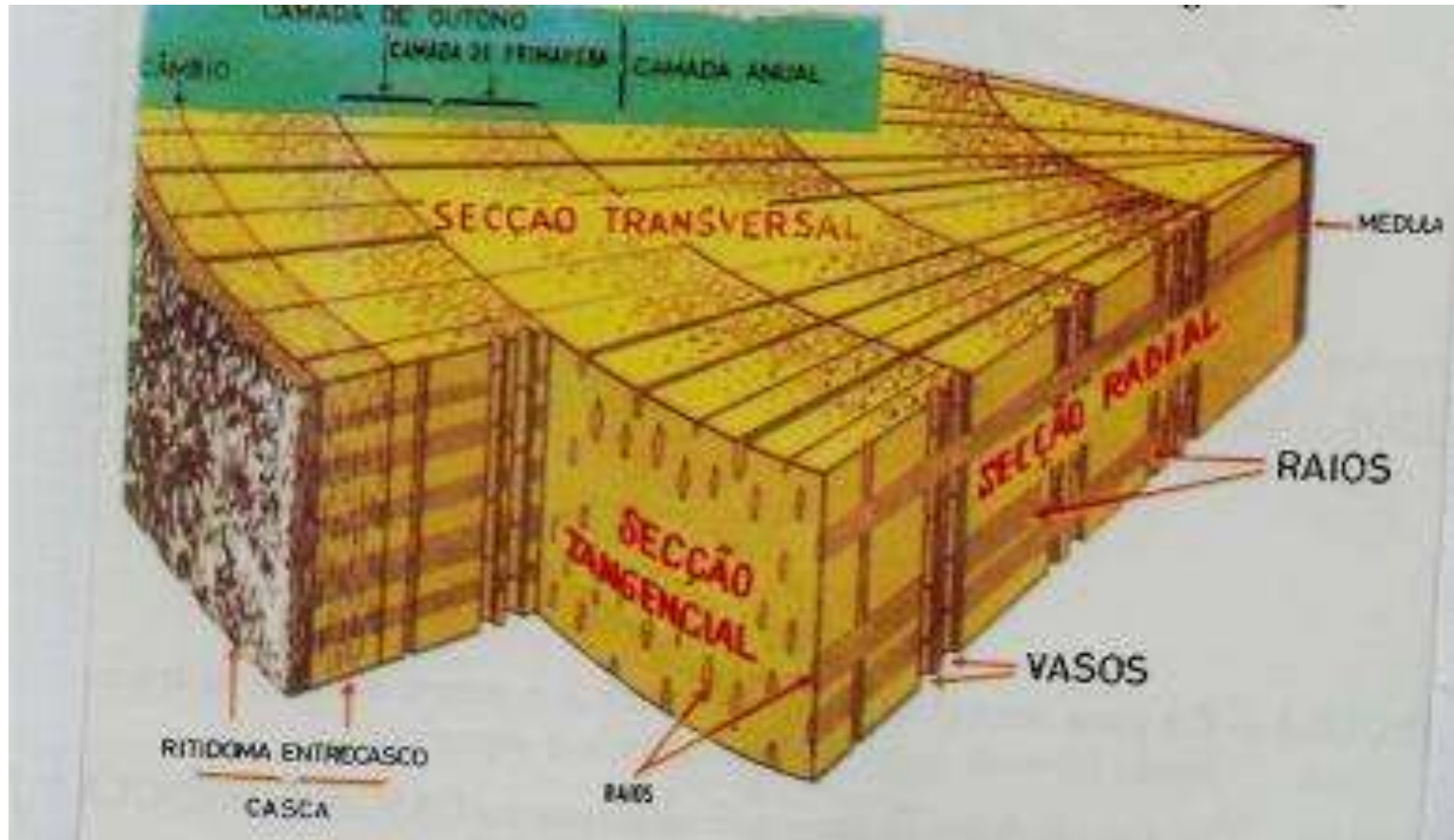
Fig. 20 Ilustra a evaporação da água capilar da madeira (original de Skar 1964).

# ANISOTROPIA

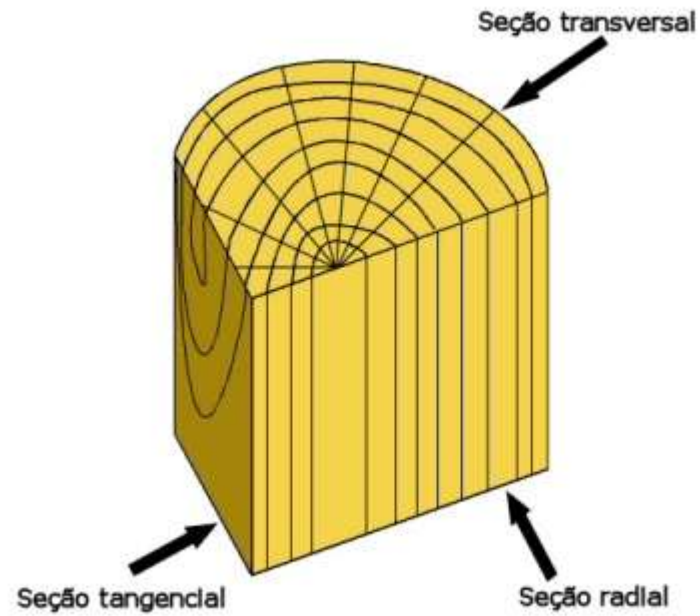


- De contração e de inchamento
- AC= contração tangencial/contração radial
- Ai= inchamento tangencial/inchamento radial
- **Tangencial > radial >> longitudinal**  
**2 : 1 : 0,1**

# Eixos da madeira



# Eixos da Madeira

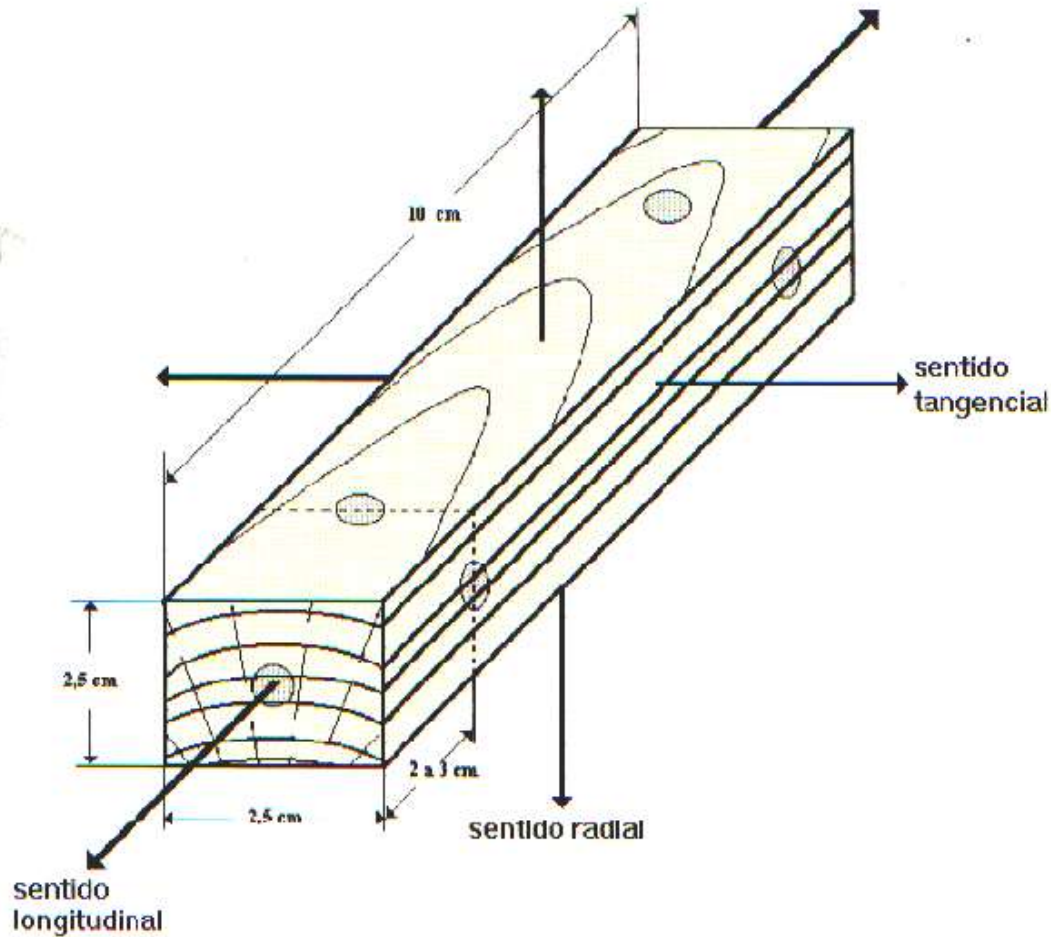


# ANISOTROPIA - CAUSAS



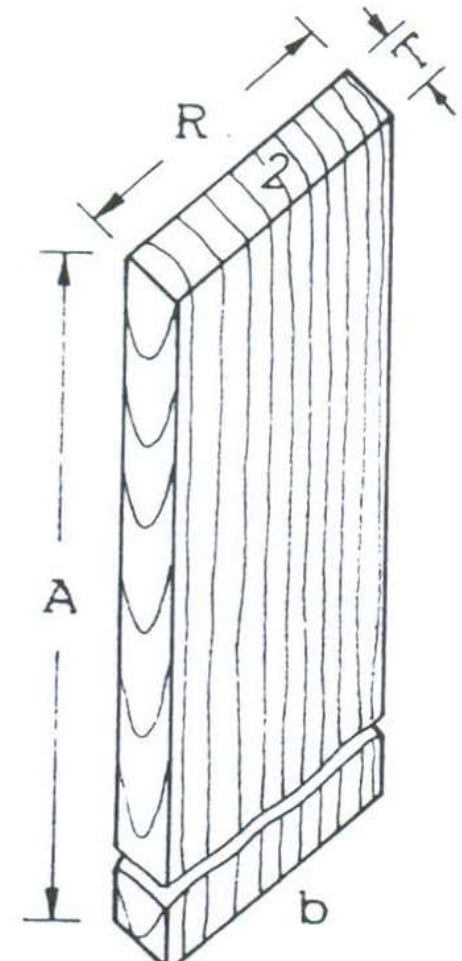
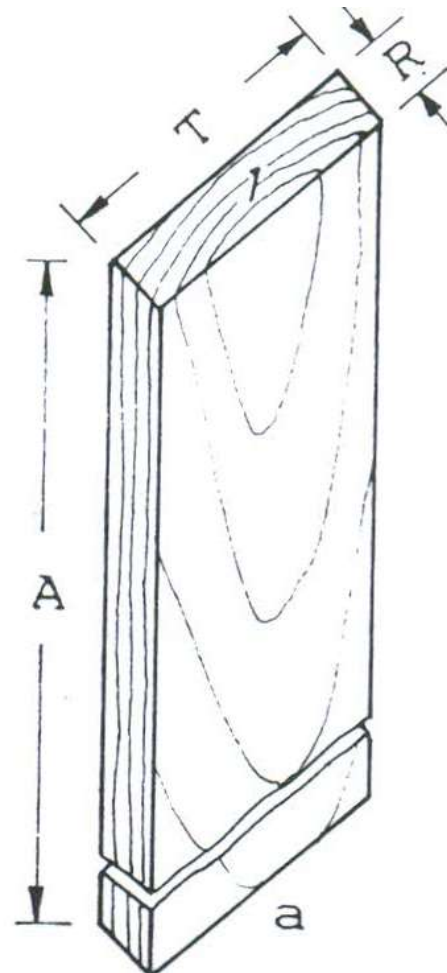
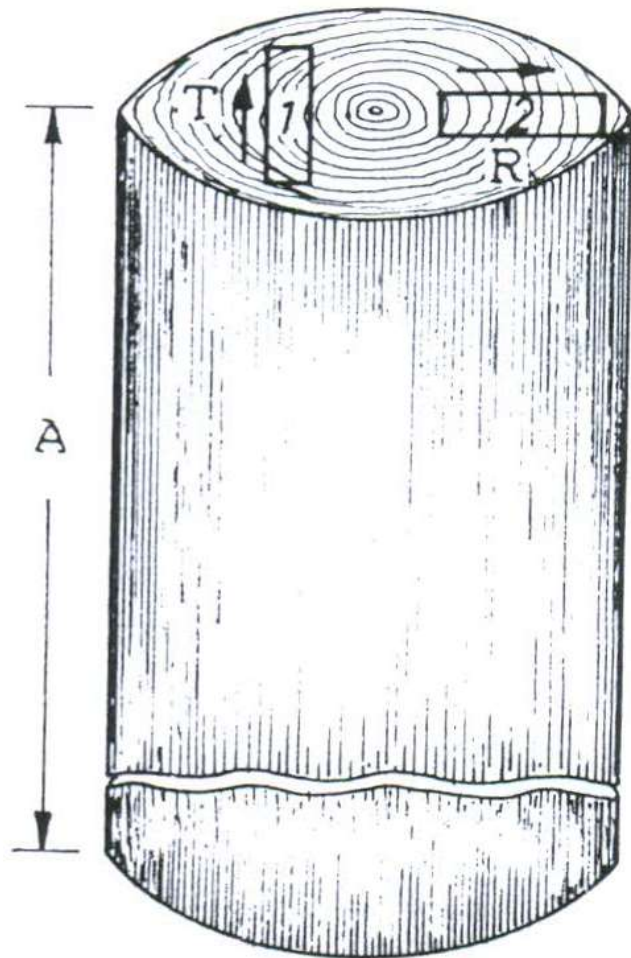
- **No sentido longitudinal:**
  - Regiões cristalinas e amorfas
  - Menor número de paredes no sentido longitudinal
- **No sentido tangencial versus radial:**
  - Alternância entre lenho tardio e lenho inicial
  - Raio orientado perpendicularmente ao eixo da árvore
  - Maior número de pontuações nas paredes da face radial

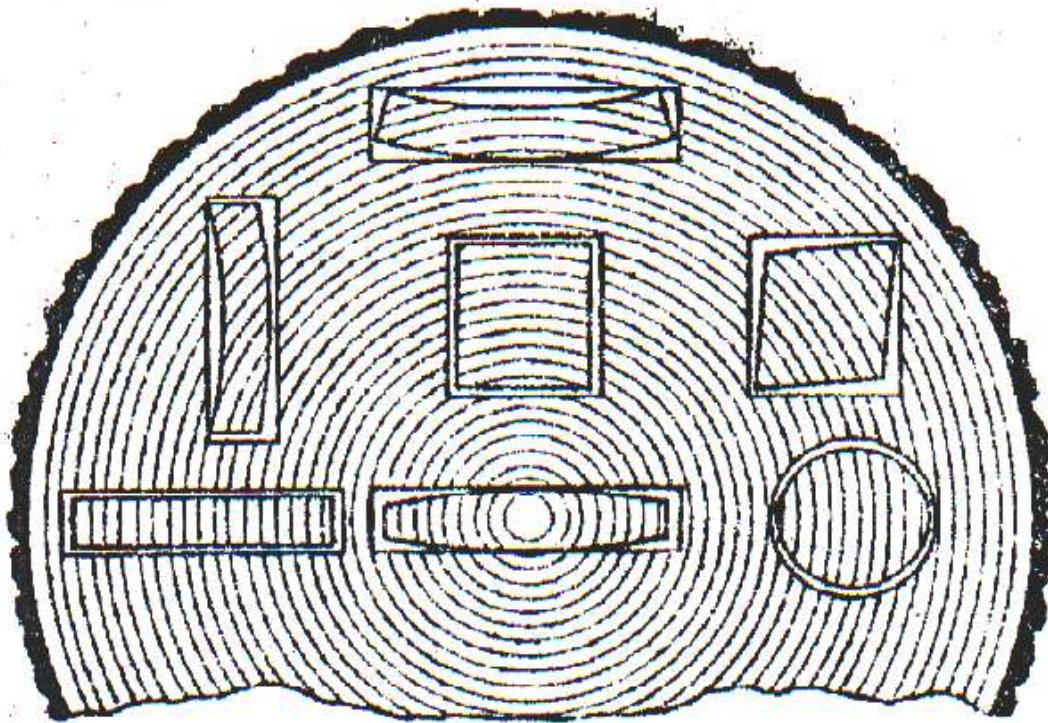
# Eixos da Madeira e aplicações práticas



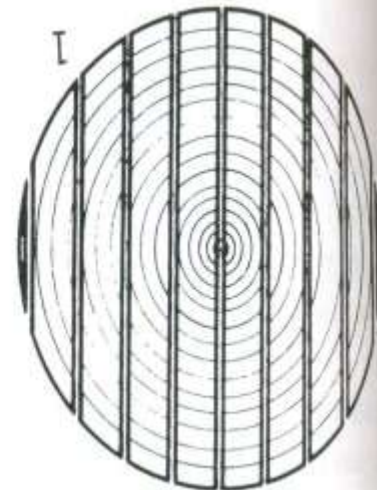
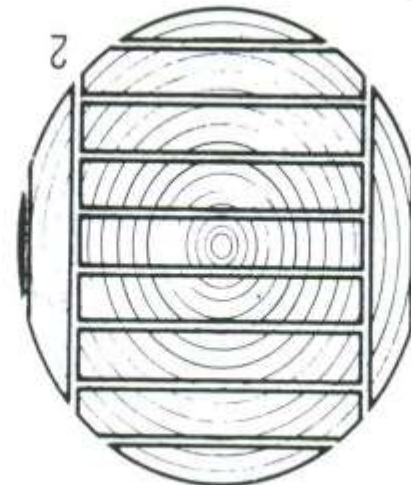
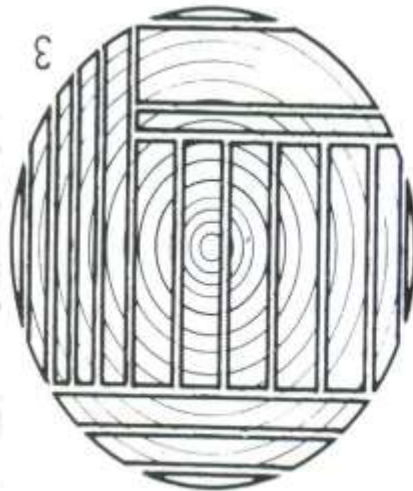
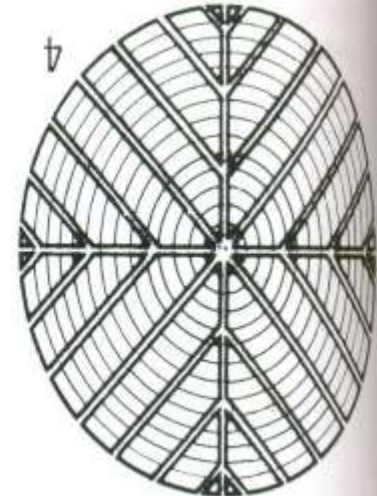
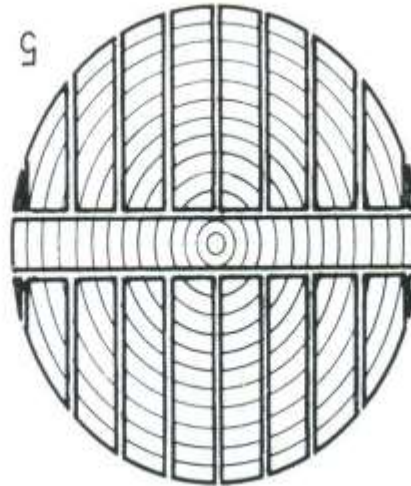
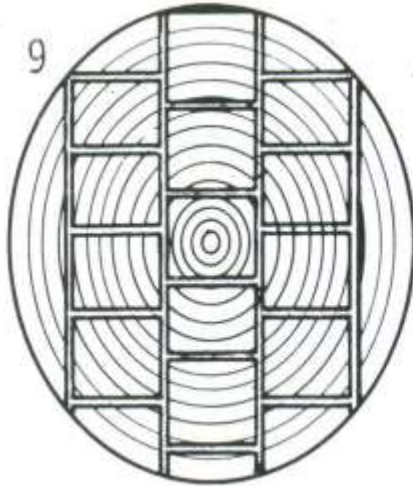


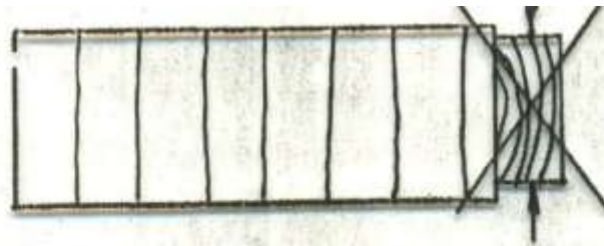
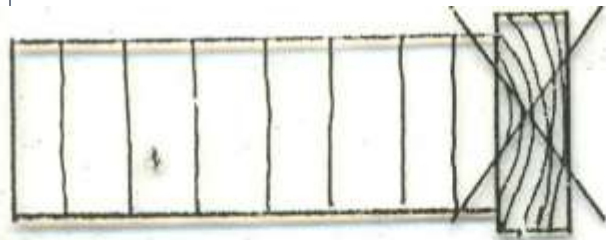
# Cortes tangenciais e radiais



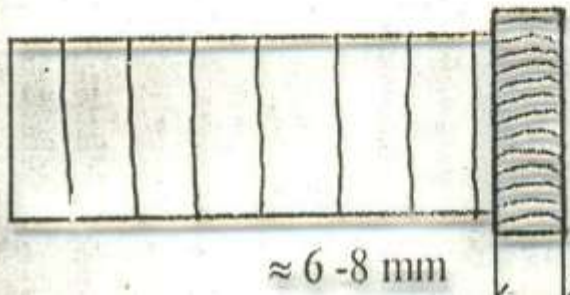


# TIPOS DE CORTES

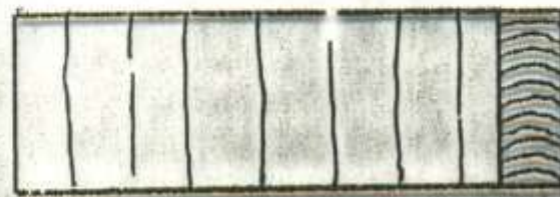




**Colagem de bordas**

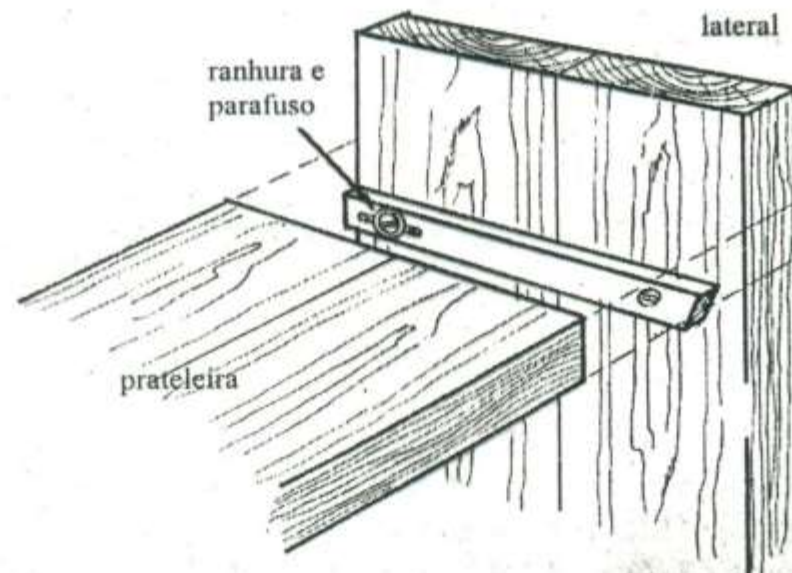
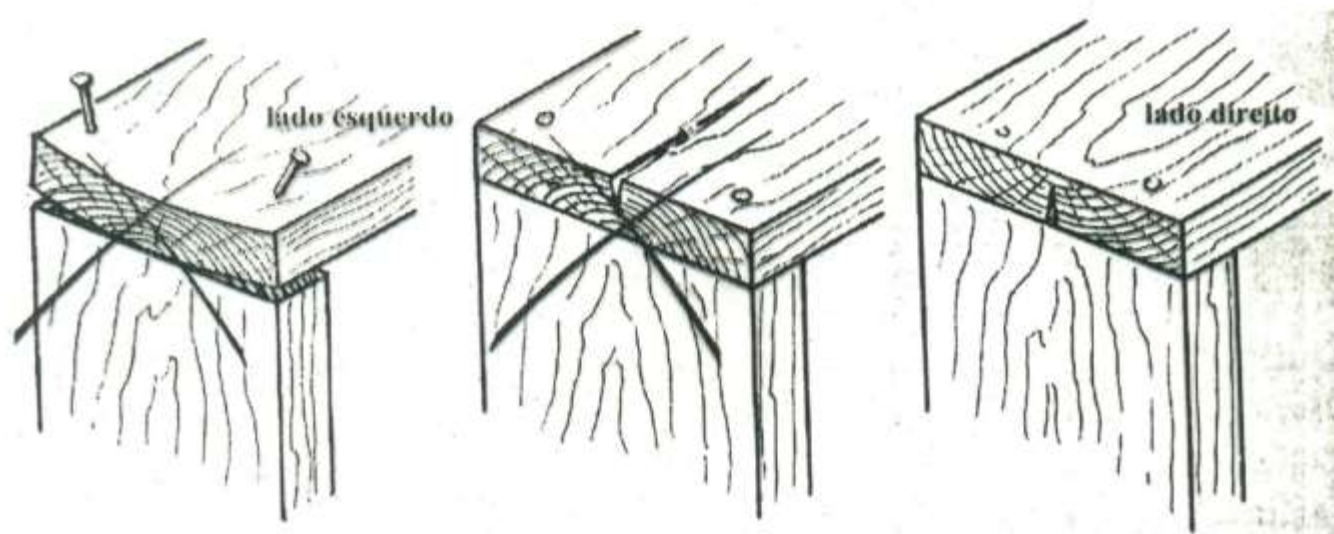


≈ 6-8 mm



4 - 5 mm

## Prevenções construtivas para diminuir os efeitos do trabalho da madeira



**Nunca colar a ripa!  
Explique o porquê!**

