

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS

# INSTABILIDADE DIMENSIONAL DA MADEIRA: CONTRAÇÃO E INCHAMENTO

Prof. Gilmara Pires de Moura Palermo



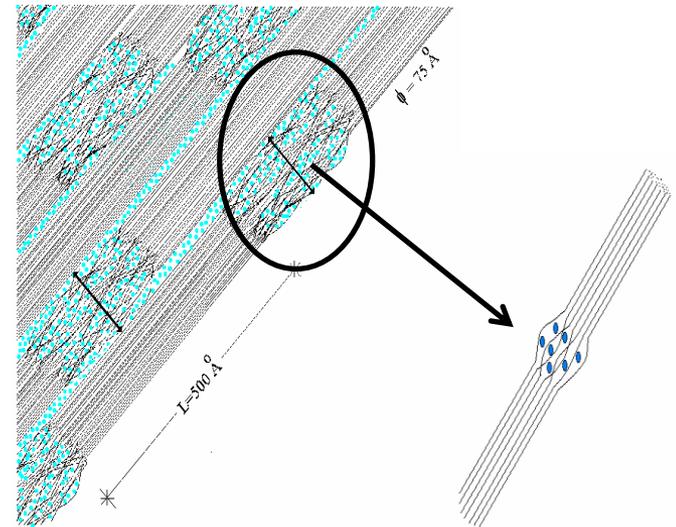
# ALTERAÇÕES DIMENSIONAIS DA MADEIRA

- Abaixo do PSF, a madeira muda suas dimensões quando ela ganha (incha) e perde (contrai) umidade. A esse fenômeno que ocasiona mudanças dimensionais na madeira dá-se o nome de

**INSTABILIDADE DIMENSIONAL DA MADEIRA**

# ● Contração ou retração (RETRATIBILIDADE DA MADEIRA)

- É a redução das dimensões em uma peça da madeira pela saída da água de impregnação.
- **É A DIMINUIÇÃO DO VOLUME (CONTRAÇÃO)** devido à retirada das moléculas de água dos espaços submicroscópicos das paredes celulares, ocasionando a aproximação das micelas (microfibrilas) e das moléculas que as constituem, e a consequente retração da madeira.

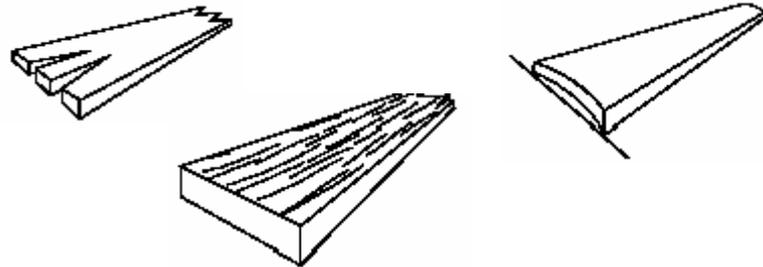


## Inchamento ou entumescimento

- **É O AUMENTO DO VOLUME (INCHAMENTO)** devido principalmente à inclusão de moléculas de água nos espaços submicroscópicos, entre as microfibrilas (feixes formados por moléculas de celulose) e nas suas regiões amorfas, afastando-as e, conseqüentemente, alterando as dimensões da madeira.

# IMPORTÂNCIA DE SE DETERMINAR A CONTRAÇÃO E O INCHAMENTO DA MADEIRA

- A contração e inchamento resulta em deformação, rachaduras e saída de cabos de ferramentas e problemas de desempenho que prejudicam o uso da madeira.



# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

## ● Coeficiente de inchamento volumétrico

- Inchamento volumétrico máximo - O coeficiente de inchamento volumétrico máximo é dado pela diferença entre os volumes da madeira no estado saturado de umidade (≥PSF) e no estado absolutamente seco (0%U), relacionada ao volume a 0% U, como apresentado pela fórmula a seguir:

$$\alpha_{max} = \frac{(V_u - V_0)}{V_0} \times 100 \quad \text{Onde,}$$

max = máximo inchamento volumétrico (%)

$V_u$  = volume da madeira no estado saturado de umidade.

$V_0$  = volume da madeira em estado seco (0% U).

# DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DA MADEIRA

## ● Coeficiente de Inchamento volumétrico

- Inchamento volumétrico máximo - Como o aumento em volume é aproximadamente proporcional ao aumento do teor de umidade entre 0 e 28% (PSF), e também proporcional à massa específica ( $\rho_0$ ) da madeira, o fator de inchamento volumétrico pode ser calculado pela fórmula a seguir:

$$\alpha_{max} = 28 \times \rho_0 (\%)$$

Onde,

$\alpha_{max}$  = máximo inchamento volumétrico (%)

$\rho_0$  = densidade a 0% de umidade

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

## ● Coeficiente de Contração volumétrica

- Contração volumétrica máxima - O coeficiente de contração volumétrica máxima é dada pela diferença entre as dimensões no estado saturado de umidade e no estado absolutamente seco, em relação às dimensões da madeira no estado saturado, como apresentado pela fórmula:

$$\beta_{max} = \frac{(V_u - V_0)}{V_u} \times 100 \quad \text{Onde,}$$

$\beta_{max}$  = máxima contração volumétrica (%)

$V_u$  = volume da madeira no estado saturado de umidade.

$V_0$  = volume da madeira em estado seco (0% U).

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

- **Coeficiente de Contração e inchamento volumétrico máximo** - Pelo fato dos valores de contração e inchamento serem obtidos pelo relacionamento do volume da madeira em diferentes estados (secos e saturado de umidade), eles nunca poderão ser iguais. Contudo é possível a determinação da contração máxima com base no inchamento volumétrico máximo e vice-versa.

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

● **Coeficiente de contração e inchamento volumétrico máximo** - As seguintes relações entre o fator de inchamento máximo e contração máximo são descritas pelas fórmulas a seguir:

$$\beta \text{ max} = \left( \frac{\alpha \text{ max}}{(1 + \alpha \text{ max})} \right) \times 100$$

$$\alpha \text{ max} = \left( \frac{\beta \text{ max}}{(1 + \beta \text{ max})} \right) \times 100$$

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

● **Coeficiente de contração e inchamento volumétrico máximo** - Para a aplicação das fórmulas anteriores, os coeficientes de contração e de inchamento são utilizados em % dividida por 100.

Ex.:

$$\beta_{\max} = ?$$

$$\alpha_{\max} = 15\%$$

$$\beta_{\max} = \frac{0,15}{1 + 0,15} \times 100 = 13\%$$

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

## ● Coeficiente de Contração e inchamento

**volumétrico máximo** - Tratando-se de um cubo de madeira, cujos lados estejam orientados segundo seus eixos anatômicos, a contração e o inchamento volumétrico será o somatório das contrações e inchamentos lineares nos sentidos tangencial, radial e longitudinal ou seja:

$$\alpha \text{ max} = \alpha_{\text{tan g}} + \alpha_{\text{rad}} + \alpha_{\text{long}}$$

$$\beta \text{ max} = \beta_{\text{tan g}} + \beta_{\text{rad}} + \beta_{\text{long}}$$

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

- **Coefficiente de Contração e Inchamento lineares** - É a alteração das dimensões em um sentido definido (**TANGENCIAL, RADIAL E LONGITUDINAL**) durante o acréscimo ou diminuição do teor de umidade.

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

➤ **Coefficiente Inchamento linear máximo** – O Inchamento linear é a alteração da dimensão “l” em um sentido definido, durante o acréscimo do teor de umidade da madeira de U1 para U2, ou seja, entre 0%U e o PSF, relacionada à dimensão no estado seco. A fórmula geral, abaixo, expressa o coeficiente de inchamento linear da madeira como:

$$\alpha l = [ (lu1 - lu2) / lo ] . 100 (\%), \text{ ou}$$

$$\alpha l = [ (DVT - D_0) / D_0]. 100 (\%)$$

**Onde:** **lu2:** Dimensão a 0% de Umidade; **lu1:** Dimensão no PSF; **DVT:** Dimensão verde saturada (PSF), **D<sub>0</sub>:** Dimensão a 0% de Umidade

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

## ➤ **Coeficiente Inchamento linear máximo -**

Considerando que as dimensões da madeira só se alteram abaixo do PSF (28%U) e até 0%U, o **coeficiente de inchamento linear máximo** é, conseqüentemente:

$$\alpha_{lmax.} = [ ( l_{(28\%)} - l_0 ) / l_0 ] \cdot 100 (\%)$$

**Onde:**  $l_{28\%}$ : Dimensão no PSF;  $l_0$ : Dimensão a 0% de Umidade;

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

## ➤ Coeficiente de Contração linear máxima - 0

coeficiente de contração linear máxima é dado pela maior alteração da dimensão “l” durante a diminuição do teor de umidade de U2 para U1, ou seja, entre PSF e 0% U, relacionada à dimensão verde

(PSF), ou seja:  $\beta_{lax.} = \beta_l = [ ( l_{u2} - l_{u1} ) / l_{(28\%)} ] \cdot 100$  , ou

$$\beta_l = [ ( D_{Vt} - D_0 ) / D_{Vt} \cdot 100 (\%) , \text{ ou}$$

$$\beta_{lax.} = \beta_l = [ ( l_{(28\%)} - l_0 ) / l_{(28\%)} ] \cdot 100 (\%)$$

**Onde:**  $l_{u2}$ : Dimensão no PSF;  $l_{u1}$ : Dimensão a 0% de Umidade;  $l_{28\%}$ : Dimensão no PSF;  $D_{Vt}$ :

Dimensão verde saturada (PSF),  $D_0$ : Dimensão a 0% de Umidade.

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

## ➤ Coeficiente de Contração LINEAR

**NORMAL:** mede-se quanto a madeira se contrai desde o estado verde (saturado) até atingir o teor de umidade de 12-15% (câmara climática).

$$\beta n = \frac{DV_{t-D_{12}}}{DV_t} \times 100$$

Onde:

$\beta n$  = Contração linear normal (%);

$D_{12}$  = Dimensão a 12% de umidade;

$DV_t$  = Dimensão verde saturada;

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

- **Coeficiente de contração LINEAR PARCIAL:** mede-se quanto a madeira se contrai desde 12% de umidade até atingir 0% de umidade.

$$\beta p = \frac{D_{12} - D_0}{D_{12}} \times 100$$

**Onde:**  $\beta p$  = Contração linear parcial (%);

$D_{12}$  = Dimensão a 12% de umidade;

$D_0$  = Dimensão seca a 0% de umidade.

# DETERMINAÇÃO DE COEFICIENTE DE CONTRAÇÃO E INCHAMENTO DA MADEIRA

- **Coeficiente de Contração linear volumétrica:**  
mede-se quanto a madeira se contrai desde o estado verde (saturado) até atingir o teor de umidade de 12-15% (câmara climática).

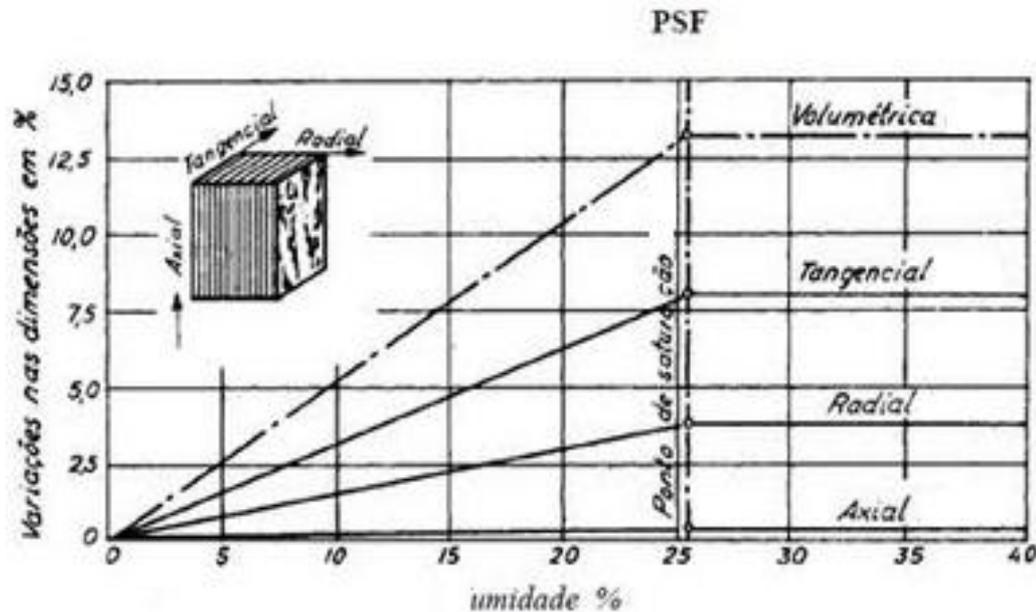
$$\beta v = \frac{V_v - V_{12}}{V_v} \times 100$$

Onde:

$\beta v$  = Contração linear volumétrica (%);

$V_v$  = Volume saturado;

# DIAGRAMA DE RETRAÇÕES

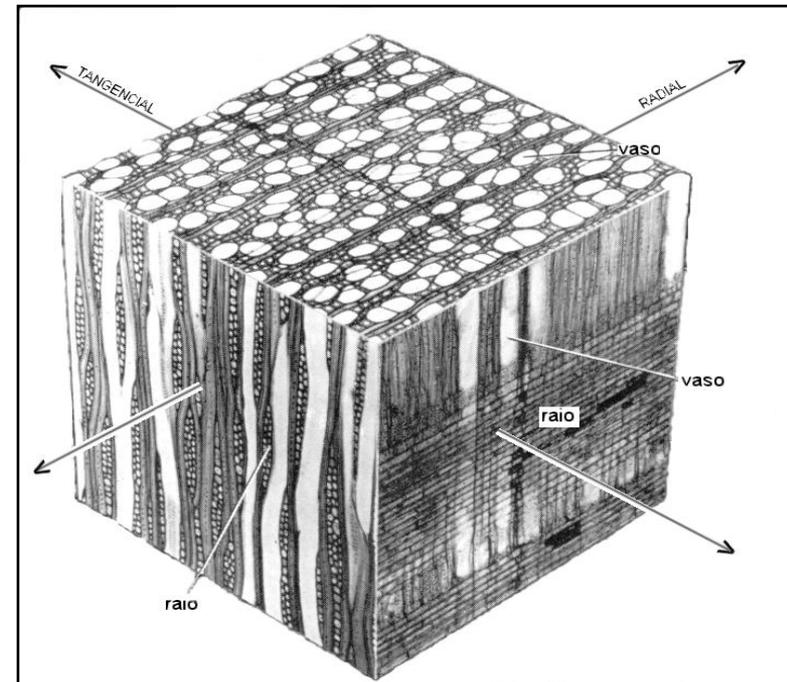


- PONTO DE SATURAÇÃO DAS FIBRAS: CRUZAMENTO DA RETA INCLINADA, QUE REPRESENTA AS CONTRAÇÕES OCORRIDAS COM A EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DE ADESÃO E HIGROSCÓPICA E A RETA PARALELA AO EIXO DAS UMIDADES, QUE REPRESENTA A NÃO EXISTÊNCIA DE RETRAÇÕES COM A EVAPORAÇÃO DA ÁGUA LIVRE.

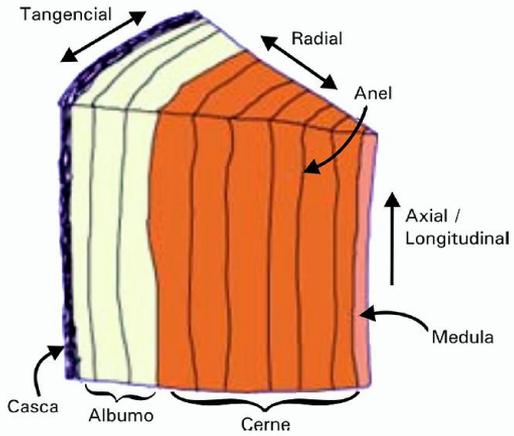
# ANISOTROPIA

● **Anisotropia da madeira** - A estrutura e as propriedades da madeira variam nas diferentes direções estruturais.

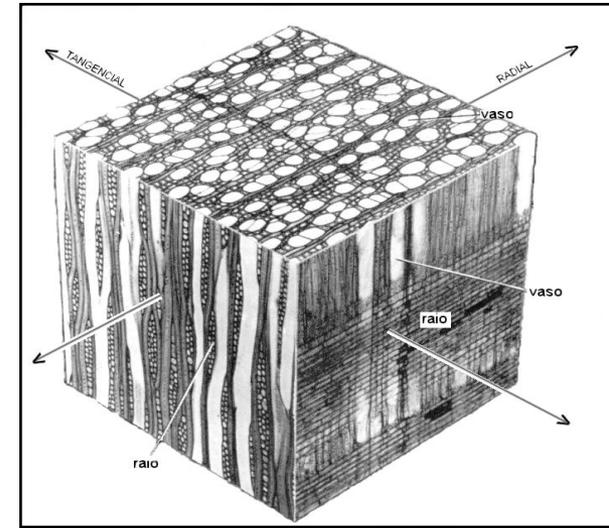
● Devido a ANISOTROPIA, a madeira apresenta um comportamento tecnológico diferente de acordo com as direções estruturais da madeira.



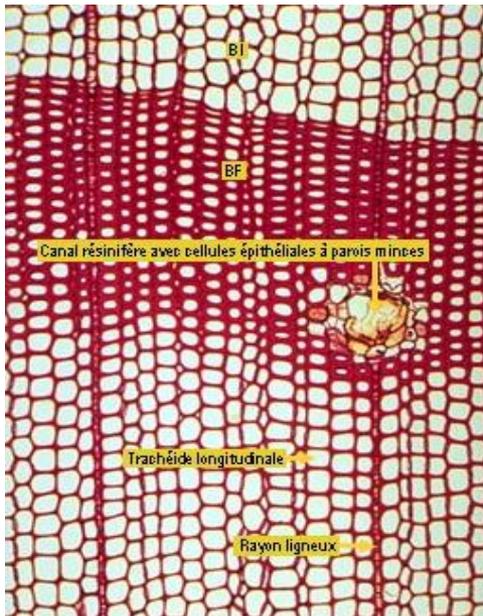
# ANISOTROPIA



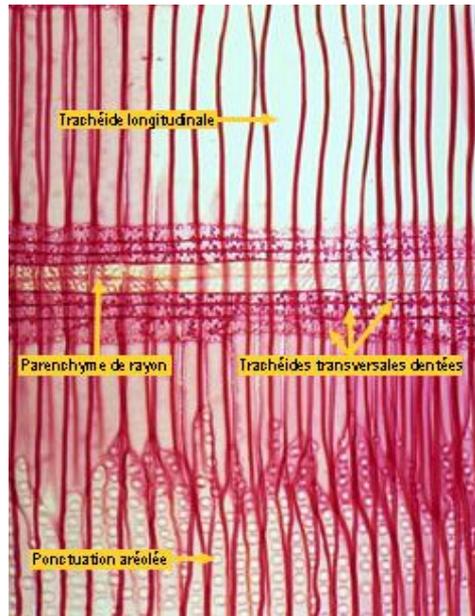
Cunha de madeira mostrando os três planos dimensionais.



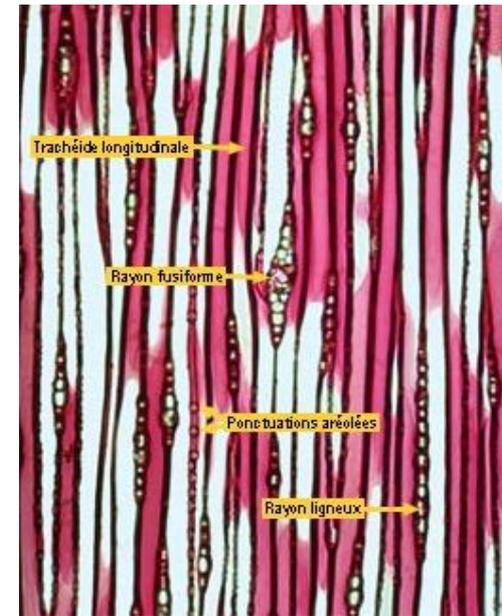
(A) Plano transversal



(B) Plano longitudinal radial

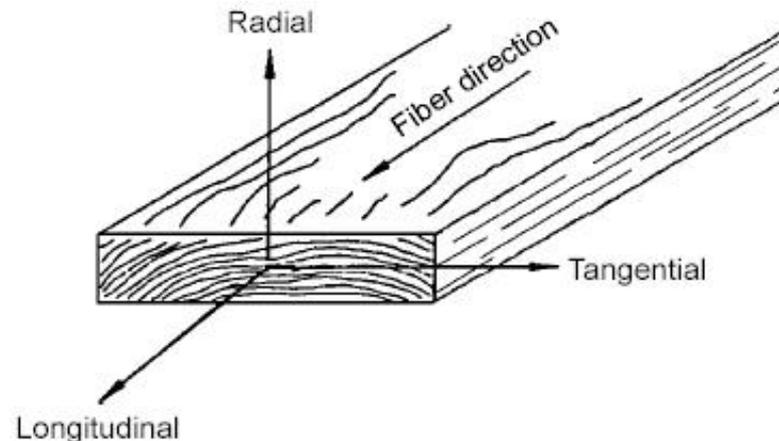


(C) Plano longitudinal tangencial



# ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

- **Anisotropia dimensional:** Refere-se a contração e inchamento que são diferentes nas três direções estruturais, ou seja, a madeira incha e contrai desigualmente de acordo com os sentidos anatômicos tangencial, radial e longitudinal.



# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

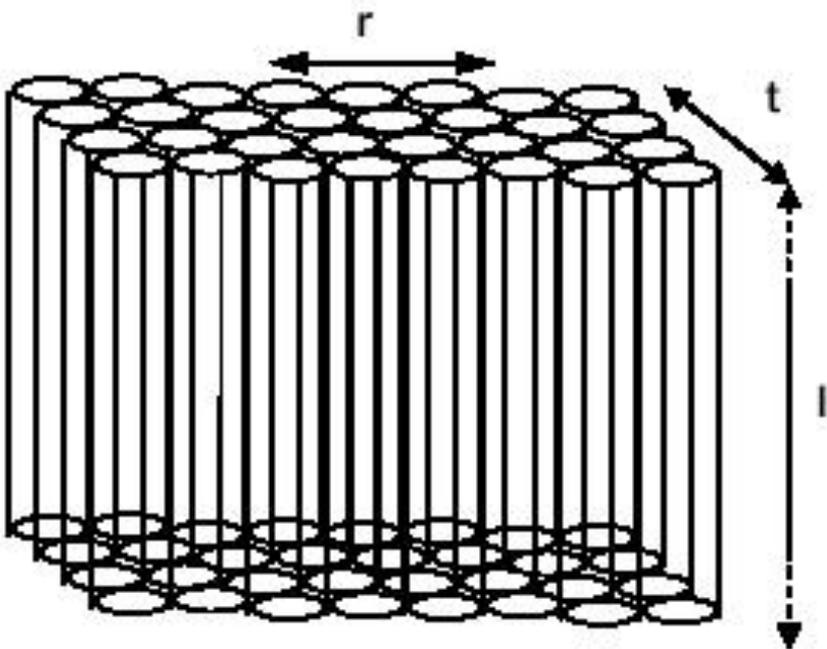
- ❖ A grande diferença nas grandezas de contração e inchamento da madeira, nos seus três sentidos anatômicos, deve-se às **ESTRUTURA ANATÔMICA MICROSCÓPICA E MACROSCÓPICA DA MADEIRA.**

# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

## ❖ **Variação no sentido longitudinal:**

- LONGITUDINAL - Explica-se pelo fato de que a maioria dos elementos que constituem a madeira estão organizados verticalmente, o que faz com que o **número de paredes celulares** por unidade de distância **seja bem menor neste sentido e torne** **ÍNFIMA ALTERAÇÃO DA DIMENSÃO** neste sentido.

# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA



A Figura mostra uma representação esquemática do maior número de paredes celulares por unidade de distância, entre os diferentes sentidos anatómicos da madeira.

➤ Considerando que a contração ( $\beta$ ) e o inchamento ( $\alpha$ ) são causados devido a desorção ou à adsorção de água pelas paredes celulares,

➤ O menor número de paredes celulares no sentido longitudinal por unidade de distância torna  $\beta$  e  $\alpha$  praticamente negligenciável na direção da grã da madeira.

➤ Ângulo das microfibrilas: na camada  $S_2$  da parede secundária (mais espessa), as microfibrilas estão orientadas  $\pm$  na longitudinal

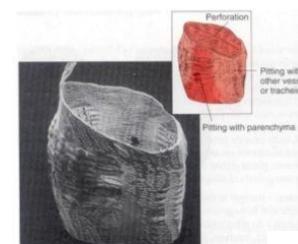
# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

## ❖ **Variação no sentido transversal:**

➤ TRANSVERSAL - Nos sentidos transversal tangencial e radial as variações dimensionais são explicadas:

- a) Pela estrutura microscópica da madeira
- b) Pela estrutura sub-microscópica
- c) Pela estrutura macroscópica

# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA



## ❖ Variação no sentido transversal:

### ➤ TRANSVERSAL

#### a) Pela estrutura microscópica da madeira

**RAIOS** - Único tecido ORIENTADO HORIZONTALMENTE no fuste da árvore, o que restringe a contração e o inchamento no sentido radial;

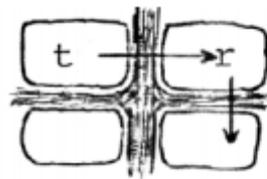
**PONTUAÇÕES** - Comenta-se que o menor movimento no sentido radial, em parte pode ser explicado pela menor orientação das fibrilas das paredes celulares voltadas para os raios da madeira, se comparada às suas faces voltadas para a face anatômica tangencial. Esta hipótese se deve à maior concentração de pontuações nas paredes voltadas à face radial, cujo fato resulta grande desorientação das fibrilas ao seu redor



# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

## ❖ **Variação no sentido transversal:**

### ➤ TRANSVERSAL



A figura ilustra os sentidos tangencial e radial da madeira (t e r), com maior espessura da lamela média nas faces radiais das células da madeira.

## b) Pela estrutura submicroscópica da madeira

LAMELA MÉDIA E PAREDE PRIMÁRIA - Devido a lamela média e parede primária apresentar **MAIOR ESPESSURA NA FACE (PLANO DE CORTE) RADIAL** da célula, a **CONTRAÇÃO** ou o **INCHAMENTO AUMENTAM NO SENTIDO TANGENCIAL**. A **lamela média** contém um **elevado teor de pectina** (substância altamente higroscópica).

# COMO EXPLICAR A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

## ❖ Variação no sentido transversal:

### ➤ TRANSVERSAL

#### c) Estrutura macroscópica

## ALTERNANCIA DO LENHO

## TARDIO E INICIAL - A

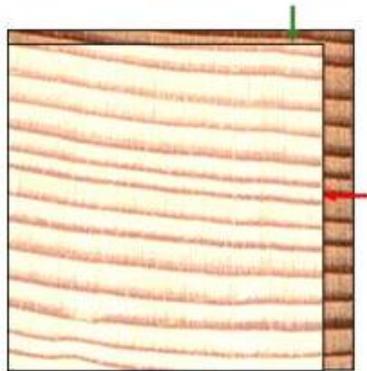
Alternância dos lenhos tardio e inicial: lenho tardio é mais denso, mais resistente e se contrai mais do que o lenho inicial



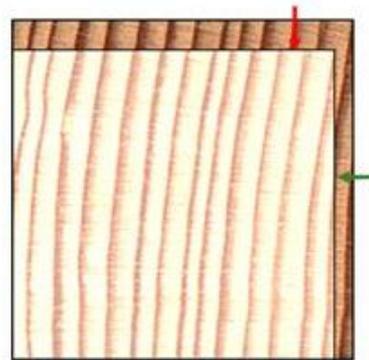
➤ Na direção tangencial eles são paralelos, portanto o lenho tardio obriga o lenho inicial a se contrair na mesma proporção

➤ Na direção radial, os dois estão em série, a contração será a média de contração ocorrida em cada um deles e por isso será menor

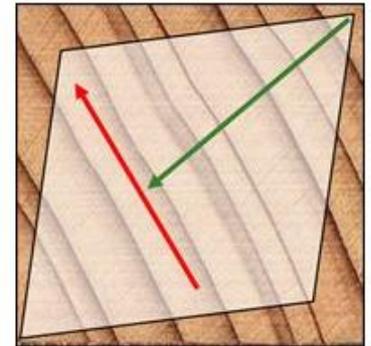
## CONTRAÇÃO E DILATAÇÃO DA MADEIRA



Perda perpendicular aos anéis de crescimento aproximadamente a metade da perda na direção dos anéis de crescimento.



Perda na direção dos anéis de crescimento aproximadamente o dobro do que perda perpendicular aos anéis de crescimento.



Perda perpendicular aos anéis de crescimento é aproximadamente a metade da perda na direção dos anéis de crescimento.

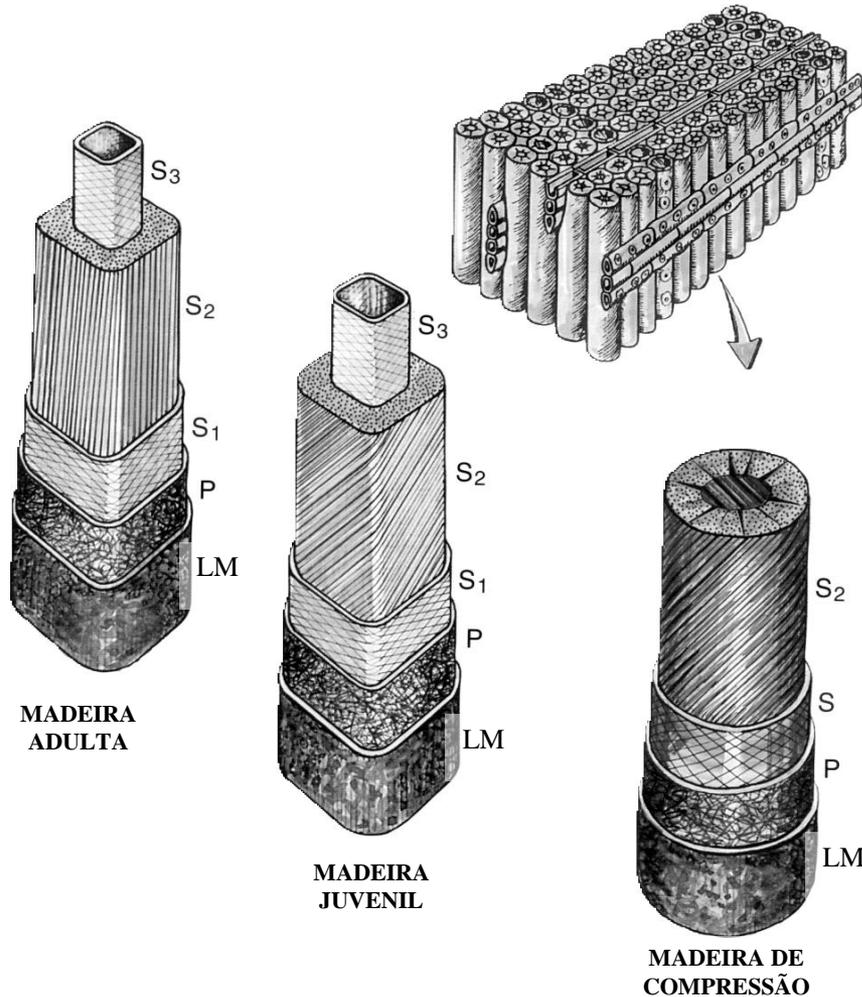
# ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

- ❖ Variação da contração dimensional e volumétrica nas diferentes direções estruturais da madeira:
  - Direção longitudinal (L): 0,1 a 0,9% (contração total)
  - Direção radial (R): 2,4 a 11%
  - Direção tangencial (T) : 3,5 a 15%
  - Volumétrica (V): 6 a 27%

# INFORMAÇÕES RESUMIDAS SOBRE A ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

- 1) As variações dimensionais na direção longitudinal são pequenas, com coeficientes entre 0,1 e 0,3%
- 2) A madeira juvenil (retirada próximo à medula) e madeira de reação podem apresentar maior contração longitudinal devido ao maior ângulo microfibrilar da camada  $S_2$  e células mais curtas.
- 3) As variações na direção tangencial podem ser até 2 vezes maior do que na direção radial
- 4) A contração anisotrópica tem um importante efeito no processamento da madeira porque a madeira se contrai mais na direção tangencial do que na radial. (PEÇAS COM FACES NO PLANO TANGENCIAL E RADIAL IRÃO CONTRAIR DIFERENTEMENTE PODENDO EMPENAR E RACHAR)
- 5) Responsável pelo desenvolvimento de defeitos na madeira durante a secagem ou acondicionamento. Ex. rachaduras, torções e empenamentos

# Anisotropia dimensional da madeira



- **Madeira normal:** ângulo microfibrilar  $\cong 10^\circ$
- **Madeira juvenil e madeira de compressão:** ângulo microfibrilar  $\cong 30^\circ$  (alta contração longitudinal)

➤ A contração longitudinal também é maior em madeiras com grã irregular

# COEFICIENTE DE ANISOTROPIA

- A diferença de contração nos diferentes eixos é chamada de Anisotropia de Contração e tem grande importância prática:

$$A_c = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

# COEFICIENTE DE ANISOTROPIA

- A diferença de inchamento nos diferentes eixos é chamado de **ANISOTROPIA DIMENSIONAL DE INCHAMENTO.**

$$AC = \frac{\alpha_t}{\alpha_r}$$

# ORDEM DE GRANDEZA DA ANISOTROPIA DIMENSIONAL DA MADEIRA

$$\beta_t > \beta_r \gg \beta_l$$

$$\alpha_t > \alpha_r \gg \alpha_l$$

## FATORES DE ANISOTROPIA E RESPECTIVAS CLASSES DE QUALIDADE DA MADEIRA

FATOR A	QUALIDADE DA MADEIRA
1,2 a 1,5	- Madeiras consideradas excelentes - procuradas para usos que não permitem empenamentos, torções, etc. (janelas, móveis, instrumentos musicais, ... ).
1,6 a 1,9	- Madeiras consideradas normais.
≥ 2,0	- Madeiras de baixa qualidade - inapropriada para várias utilizações, mas algumas ainda de grande interesse comercial por reunirem outras propriedades desejadas.

# RESUMO – Fator de anisotropia

- ❖ Determinado pela relação entre a variação na direção tangencial e radial (T/R);
- ❖ Índice importante no estudo das contrações pois quanto maior este fator, maior é a tendência ao fendilhamento e ao empenamento da madeira;
- ❖ Quanto menor o fator, melhor será a qualidade da madeira;
- ❖ Fator de anisotropia ideal seria de 1,0 - Impossível para a madeira.

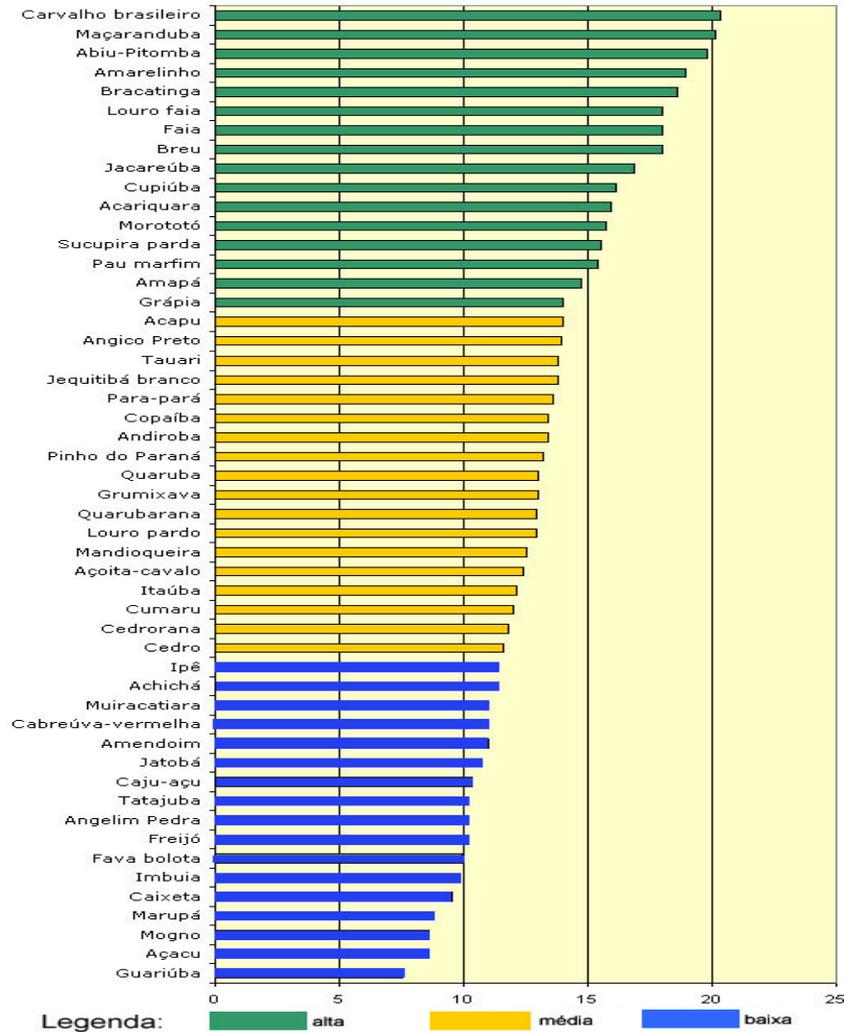
# Fator de anisotropia

ESPÉCIE	$\beta_i$	$\beta_r$	$\beta_t$	$\beta_v$	m.e.	$\beta_t / \beta_r$
<i>Ochroma lagopus</i> (Balsa)	0,6	3,0	3,5	7,1	0,16	1,17
<i>Populus sp.</i>	0,7	3,0	7,1	11,8	0,39	2,37
<i>Cedrela sp.</i> (Cedro)	*	4,0	6,0	12,0	0,52	1,50
<i>Araucaria angustifolia</i>	*	4,0	8,0	13,0	0,54	2,0
<i>Pinus echinata</i>	0,4	4,4	7,7	12,5	0,58	1,75
<i>Ocotea porosa</i> (Imbuia)	*	2,7	6,3	9,8	0,67	2,33
<i>Tectona grandis</i> (Teca)	0,6	3,0	5,8	9,4	0,67	1,93
<i>Paratecoma peroba</i> (Ipê, Peroba)	*	4,0	7,0	11,0	0,70	1,75
<i>Aspidosperma sp.</i> (Peroba rosa)	*	4,0	7,5	13,0	0,80	1,87
<i>Bowdichia virgilioides</i> (sucupira)	*	5,3	8,4	15,5	0,90	1,58
<i>Guaiacum officinale</i> (guaiaco)	0,1	5,6	9,3	15,0	1,23	1,66

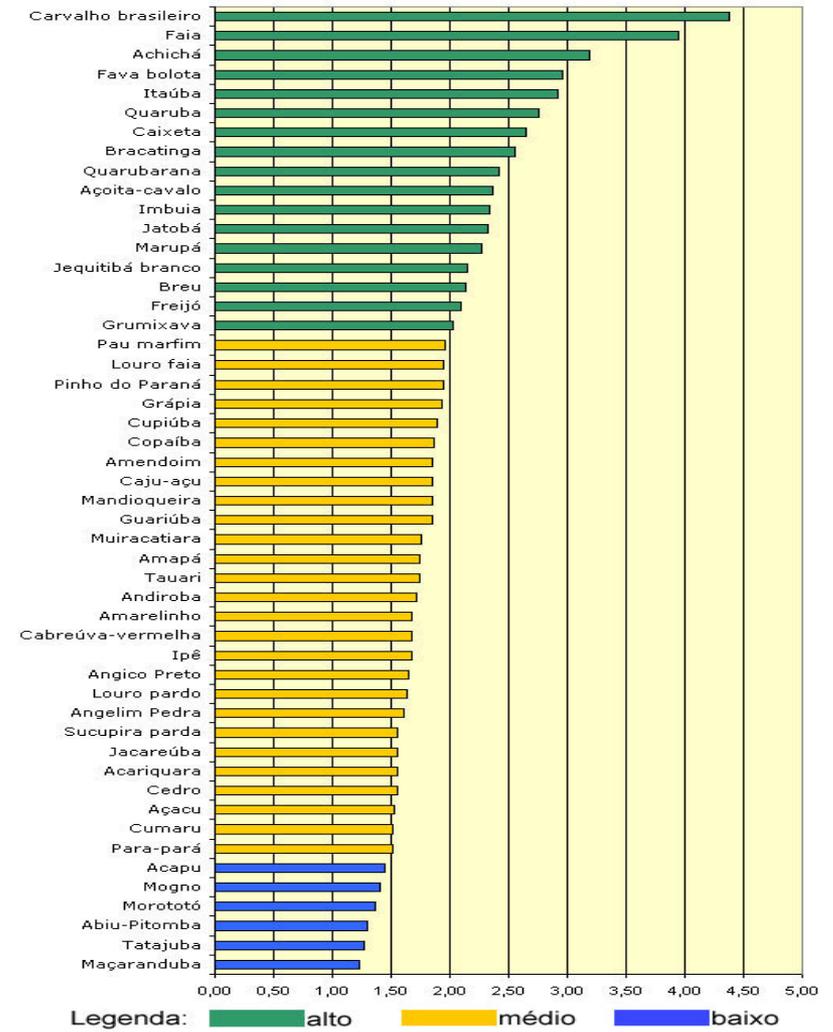
- Espécies consideradas ideais para a fabricação de móveis finos.

- Espécies que provavelmente terão defeitos durante a secagem.

## CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA



## FATOR DE ANISOTROPIA DIMENSIONAL



# Considerações finais

- A madeira é um material higroscópico e anisotrópico
- As variações dimensionais variam entre as espécies e dependem das características do material (Ex. madeira juvenil, madeira de reação, madeira com grã irregular apresentam maior contração longitudinal)
- A anistropia tem um efeito importante no processamento da madeira porque a madeira se contrai mais na direção tangencial do que na radial e é responsável pelo desenvolvimento de defeitos na madeira durante a secagem ou acondicionamento (Ex. rachaduras, torções e empenamentos)
- Na prática, a determinação dos coeficientes de contração e inchamento permitem indicar a melhor forma de utilização das diferentes espécies de madeira.

# APLICAÇÃO PRÁTICA DO ESTUDO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL

- ❖ POSSIBILITA O USO INTELIGENTE NA CONSTRUÇÃO DE PRODUTOS DOTADOS DE MAIOR ESTABILIDADE COMO O COMPENSADO.
- ❖ DESDOBRO DE TORAS PODE SER FEITO COM MELHOR TÉCNICA RESULTANDO MATERIAL MAIS ESTÁVEL