





# Estruturas de Madeira



UCDB – 2026 A

Prof. Willian de Araujo Rosa, M.Sc.



Livro-texto

**NBR 7190 / 2022**

Projeto de  
Estruturas de  
Madeira



# ESTRUTURAS DE MADEIRA

Walter Pfeil  
Michèle Pfeil

SEXTA EDIÇÃO

LTC



# Ementa resumida

- 1. A madeira como material de construção**
- 2. Produtos de madeira e sistemas estruturais**
- 3. Propriedades mecânicas – bases de cálculo**
- 4. Ligações de peças estruturais**
- 5. Peças tracionadas**
- 6. Vigas**
- 7. Peças comprimidas – Flambagem**
- 8. Vigas em treliça**

# Vantagens

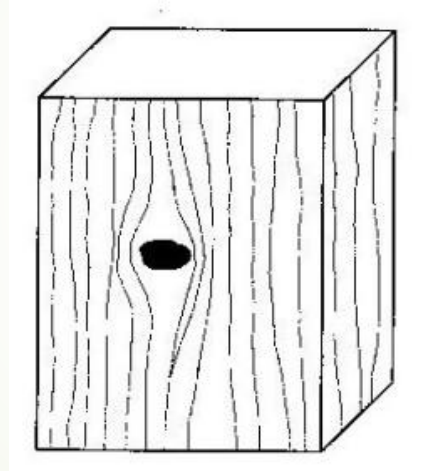
- Na flexão resiste tanto a esforços de tração como de compressão;
- Baixo peso próprio e grande resistência mecânica;
- Grande capacidade de absorver choques;
- Boas características de isolamento térmico e acústico;
- Grande variedade de padrões;
- Facilidade de ser trabalhada;
- Ligações fáceis e simples
- Custo de produção reduzido ⇒ reservas renováveis.

# Desvantagens

- Material heterogêneo e anisotrópico;
- Formas limitadas: alongadas e de seção transversal reduzida;
- Deterioração fácil;
- Combustível;
- Variações volumétricas x Variação de umidade

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

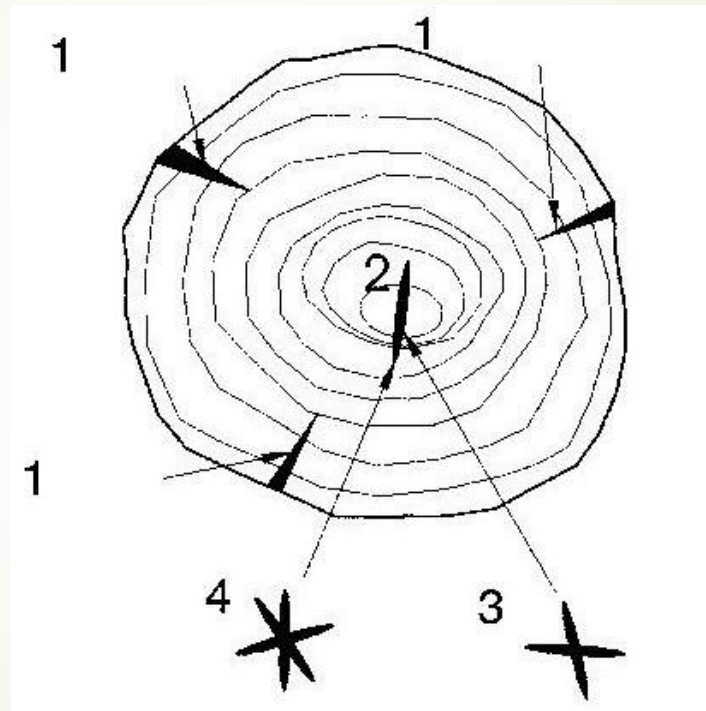
**Nós**



imperfeições da madeira nos pontos dos troncos onde existiam galhos

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

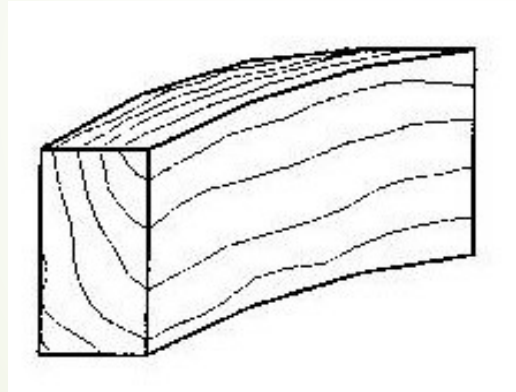
## Fenda



são aberturas nas extremidades das peças originadas pela secagem rápida da superfície

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

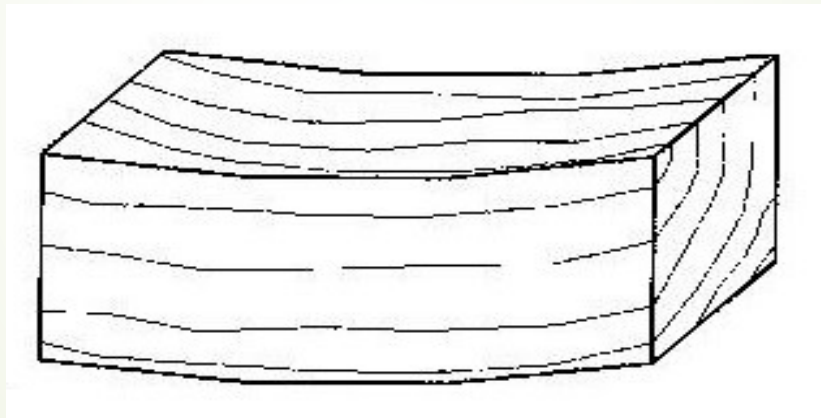
## Abaulamento



é o encurvamento na direção da largura da peça

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

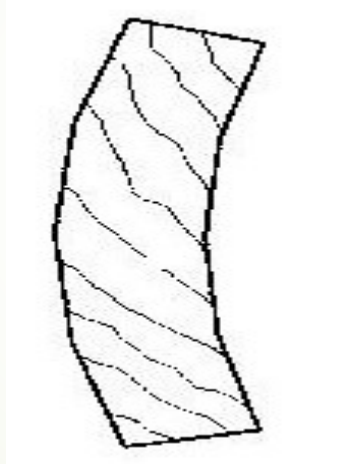
## Arqueadura



é o encurvamento na direção longitudinal, ou seja, no comprimento da peça

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

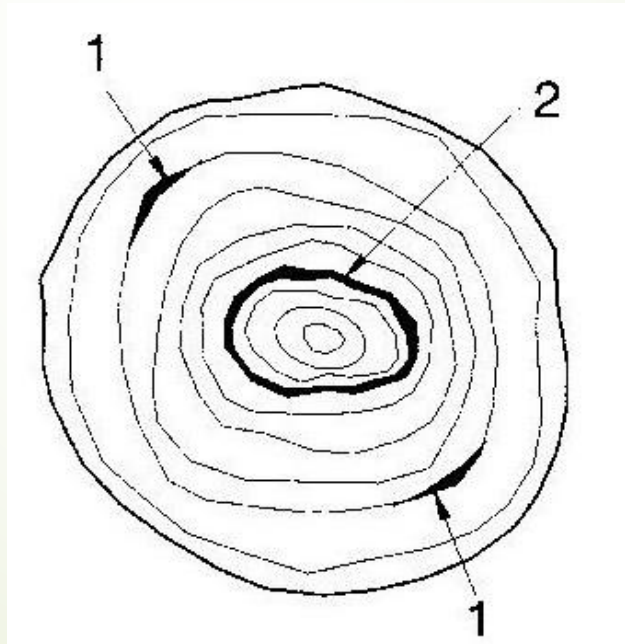
## Empenamento



é o encurvamento no sentido transversal da peça

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

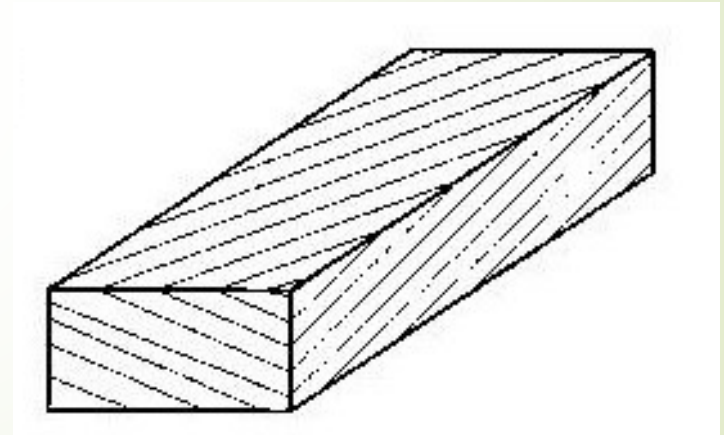
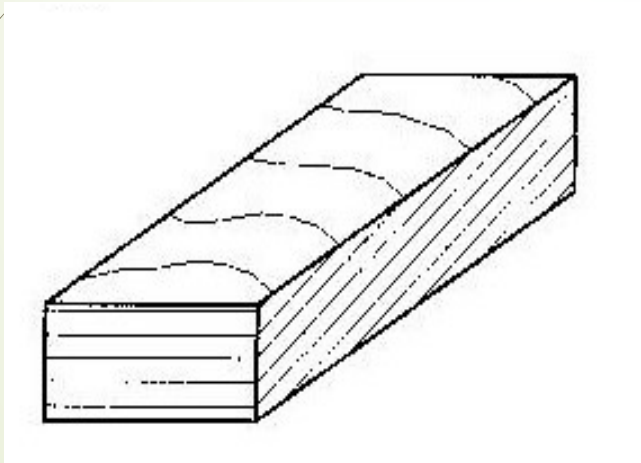
## Gretas ou ventas



é a separação entre os anéis anuais

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

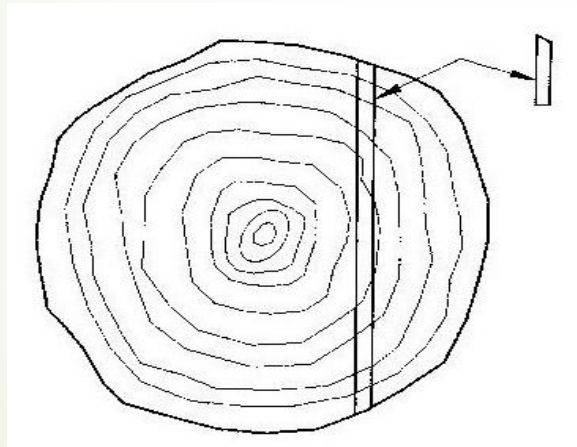
## Fibras reversas



são fibras não paralelas ao eixo da peça

# PRINCIPAIS DEFEITOS DA MADEIRA

## Esmoada ou quina morta



é o canto arredondado formado pela curvatura natural do tronco

# Bambu em estruturas



# Madeira roliça



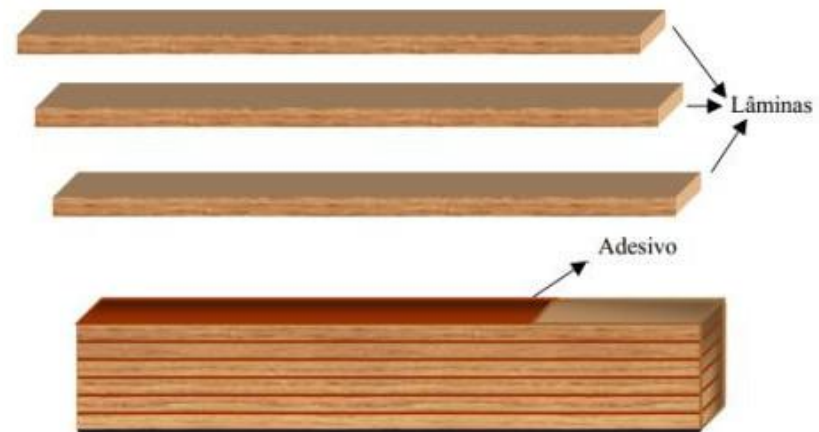
# Madeiras Industrializadas

- **MDP** é a abreviação de Medium Density Particleboard.
- **MDF** significa Medium Density Fiberboard.
- O **Compensado** é um painel de madeira industrializada, feito de lâminas de madeira coladas, cujo sentido vai sendo alternado em 90°.
- **OSB** - Oriented Strand Board é material derivado da madeira, composto por pequenas lascas de madeira orientadas em camadas cruzadas seguindo uma determinada direção, que lhe conferem alta resistência e rigidez.

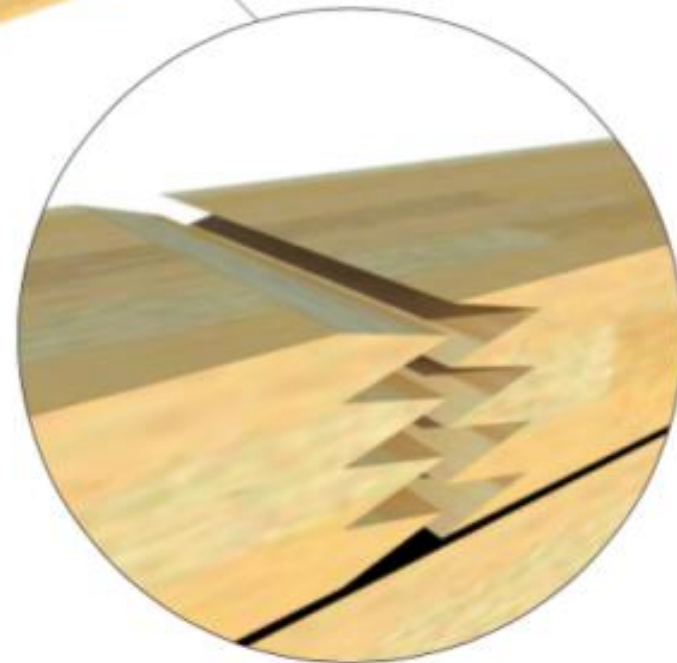
# Madeira Lamelada Colada

- ➔ **MLC** também conhecida como Glulam (por seu nome inglês '*Glued Laminated Timber*'), é um material estrutural fabricado através da união de segmentos individuais de madeira, colados com adesivos industriais. As peças resultantes oferecem alta durabilidade e resistência à umidade, podendo vencer grandes vãos e conformar formas únicas. **Indicada para utilização em vigas, pilares, pergolados, coberturas, passarelas, escadas, painéis e em revestimentos diversos.**

# Estruturas de Madeira



# Estruturas de Madeira



Detalhe emenda dentada

# Estruturas de Madeira



# Classificação das árvores

- **Madeiras duras**
  - dicotiledôneas
  - Angiospermas – folhas achatadas e longas
  - Crescimento lento
  - Peroba, ipê, aroeira, carvalho
- **Madeiras macias**
  - coníferas
  - Gimnospermas – folhas agulhadas ou escamadas
  - Crescimento rápido
  - Pinheiro-do-paraná, pinheirinho, pinus

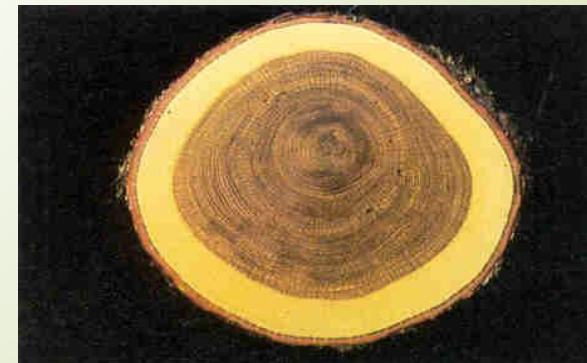
# Classificação das madeiras

## ► Classificação tecnológica

- Madeiras finas → marcenaria: Louro, Cedro
- Madeiras duras ou de lei → construção: Cabriúna, Grápia;
- Madeiras resinosas → construções provisórias: Pinho;
- Madeiras brandas → pequena durabilidade: Timbaúva.

# Crescimento das árvores

- **Casca**
  - Protege as árvores contra agentes externos
- **Alburno ou branco**
  - Camada formada por células vivas que conduzem seiva das raízes para as folhas
- **Cerne ou durâmen**
  - Parte resistente das árvores – células inativas
- **Medula**
  - Miolo central, mole
  - Vestígio do vegetal jovem



# Propriedades físicas e mecânicas da madeira

## Umidade

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100$$

onde  $m_i$  é a massa inicial da madeira e  $m_s$  é a massa da madeira seca.

# A umidade na madeira

<b>Denominação</b>	<b>Teor de umidade</b>
Madeira verde	$U > 30\%$
Madeira comercialmente seca	$18 \leq U < 23\%$
Madeira seca ao ar	$12 \leq U < 18\%$
Madeira dessecada	$U < 12\%$

Abaixo de 23% de umidade pode-se considerar que a madeira está ao abrigo do ataque dos agentes de destruição (fungos e bactérias)

# Propriedades físicas e mecânicas da madeira

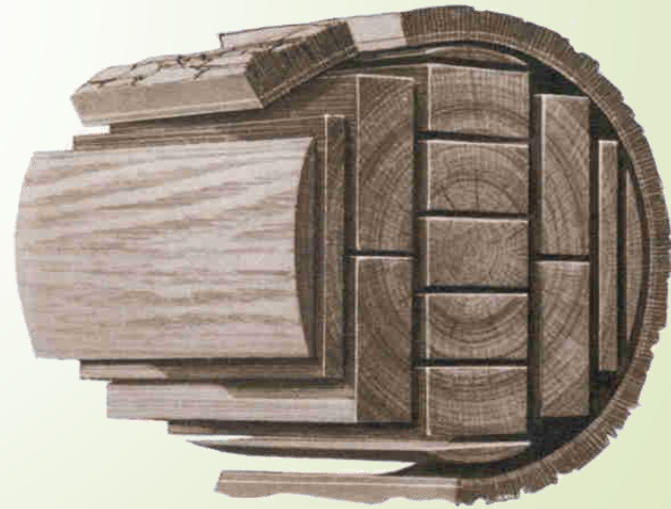
## Umidade

**Quadro 1 - Classes de umidade**

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente $U_{amb}$	Umidade de equilíbrio da madeira $U_{eq}$
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

# Produção

- Desdobro
  - Obtenção de peças estruturais de madeira maciça

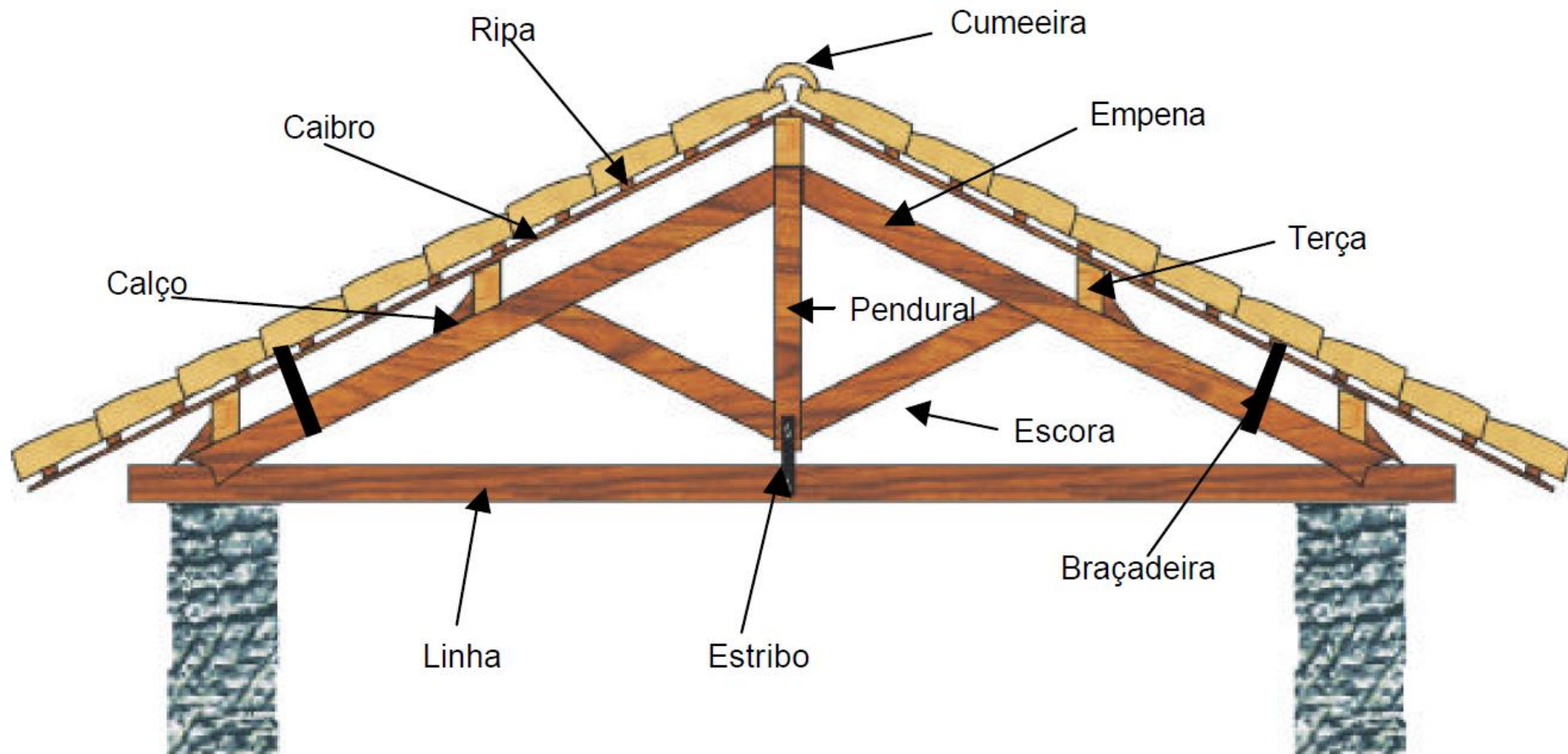


# Aparelhamento ou bitolagem

Nomenclatura de peças de madeira serradas

Nome	Espessura (cm)	Largura (cm)
Pranchão	> 7,0	> 20,0
Prancha	4,0 - 7,0	> 20,0
Viga	>4,0	11,0 - 20,0
Vigota	4,0 - 8,0	8,0 - 11,0
Caibro	4,0 - 8,0	5,0 - 8,0
Tábua	1,0 - 4,0	> 10,0
Sarrafo	2,0 - 4,0	2,0 - 10,0
Ripa	< 2,0	< 10,0

# Treliça Clássica – Tesoura



## Estado Limite Último

$$S_d < R_d$$

$S_d$  – Solicitação de projeto

$R_d$  – Resistência de projeto

## Resistência de cálculo, $f_d$

$$f_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_w}$$

$$k_{\text{mod}} = k_{\text{mod}1} \cdot k_{\text{mod}2}$$

## Resistência Característica, $f_k$

A resistência mínima é fixada estatisticamente, admitindo-se uma certa porcentagem dos resultados possa ficar abaixo do mínimo.

Em geral **adota-se 5%** para essa porcentagem.

$$f_k = f_m - 1,645\sigma$$

$f_m$  – resistência média

$\sigma$  – desvio padrão

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

**Tabela 3.1** – Variação estatística dos resultados de ensaios de peças isentas de defeitos. Relação entre resistência característica e resistência média (ASTM D2555, 1992)

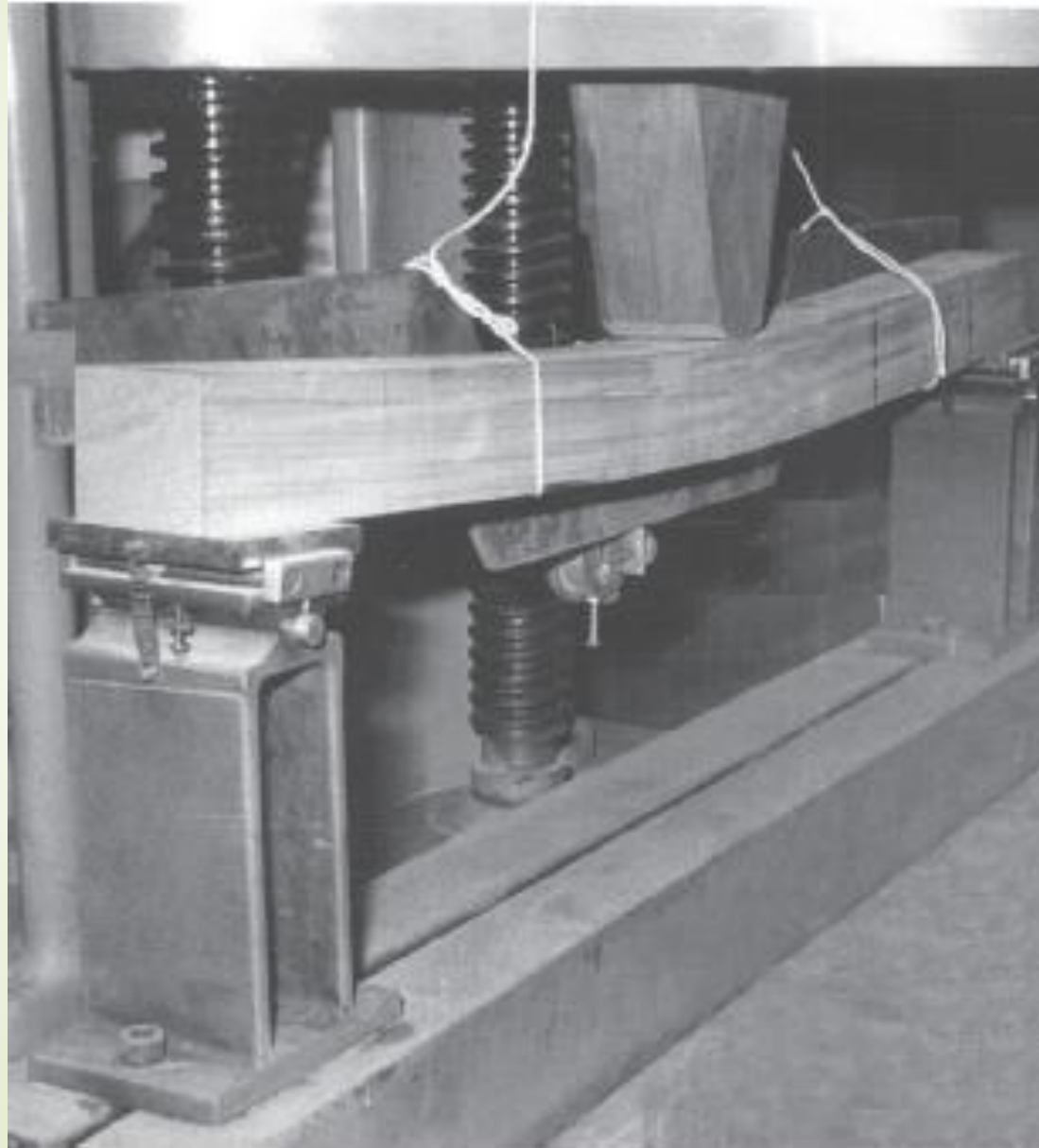
Propriedades medida em ensaios	Coefficiente de variação ( $\delta$ )	$f_k/f_m$
Resistência à flexão ( $f_M$ )	16%	<b>0,74</b>
Módulo de elasticidade (E)	22%	<b>0,64</b>
Resistência à compressão paralela às fibras ( $f_c$ )	18%	<b>0,70</b>
Resistência à compressão perpendicular às fibras ( $f_{cn}$ )	28%	<b>0,54</b>
Resistência ao cisalhamento ( $f_v$ )	14%	<b>0,77</b>
Peso específico ( $\gamma$ )	10%	<b>0,84</b>

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

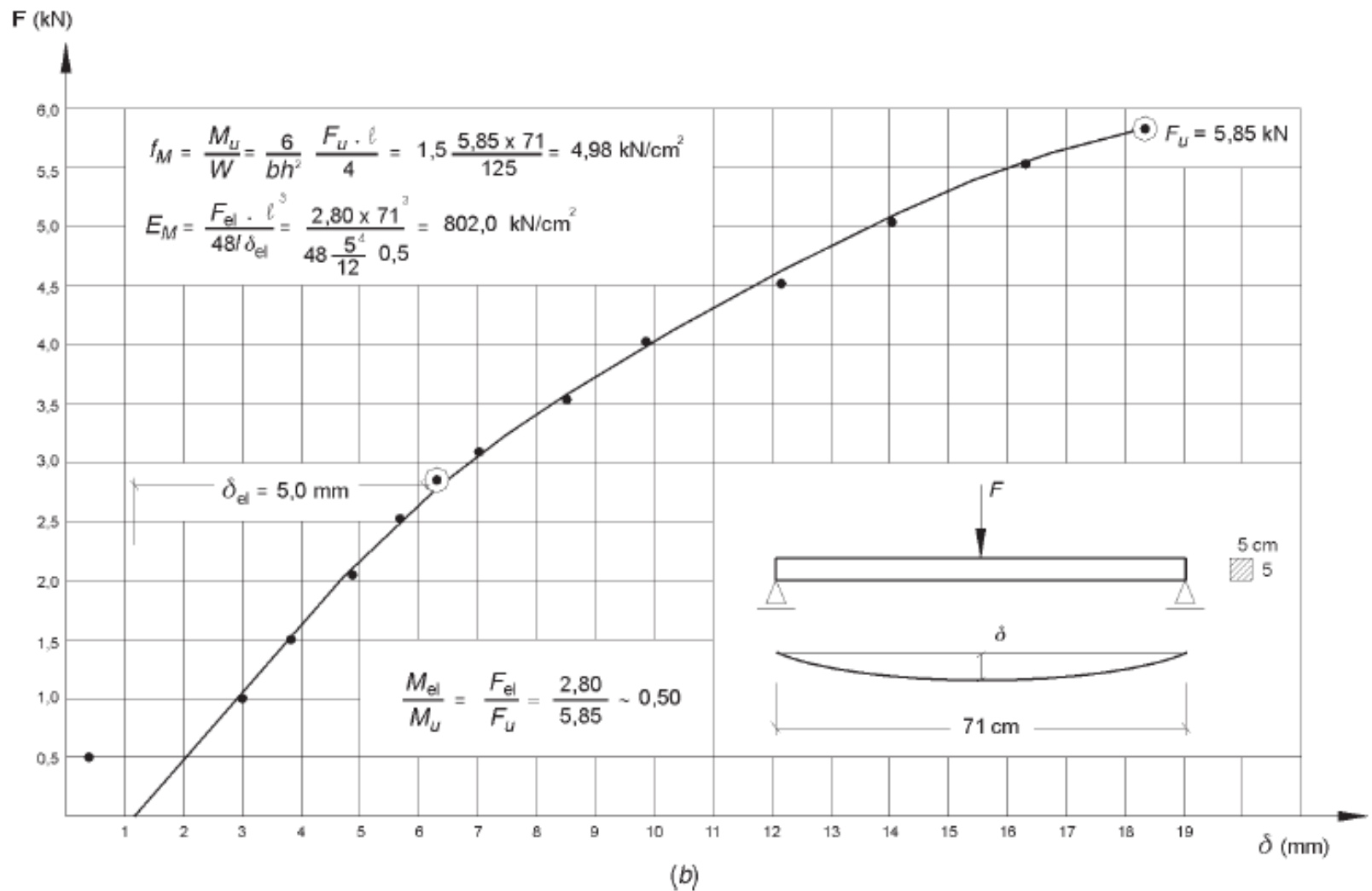
**Tabela 3.2** – Relação entre valores característicos de tensões resistentes (**NBR 7190**)

$f_{c,k} / f_{t,k}$	<b>0,77</b>
$f_{M,k} / f_{t,k}$	<b>1,00</b>
$f_{cn,k} / f_{c,k}$	<b>0,25</b>
$f_{v,k} / f_{c,k}$ (conífera)	<b>0,15</b>
$f_{v,k} / f_{c,k}$ (dicotiledôneas)	<b>0,12</b>

# Propriedades Mecânicas – Ensaio de Flexão



# Propriedades Mecânicas – Ensaio de Flexão



# Propriedades Mecânicas – Valores médios

**TABELA A.1.1** Valores médios de resistência e módulo de deformação longitudinal, para U = 12%, de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap}(12\%)$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_c$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	$f_m$ (MPa)	$f_v$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
Angelim-araroba	<i>Vataireopsis araroba</i>	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876
Angelim-ferro	<i>Hymenolobium</i> spp	1170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827
Angelim-pedra	<i>Hymenolobium petraeum</i>	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912
Angelim-pedra Verdadeiro	<i>Dinizia excelsa</i>	1170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694
Branquilha	<i>Termilalia</i> spp	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13481
Cafearana	<i>Andira</i> spp	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098
Canafistula	<i>Cassia ferruginea</i>	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613
Sucupira	<i>Diptotropis</i> spp	1106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19583

As propriedades de resistência e rigidez apresentadas neste anexo foram determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo.

$\rho_{ap}(12\%)$  = massa específica aparente a 12% de umidade

$f_c$  = resistência à compressão paralela às fibras

$f_t$  = resistência à tração paralela às fibras

$f_m$  = resistência à tração normal às fibras

$f_v$  = resistência ao cisalhamento

$E_c$  = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

# Propriedades Mecânicas – Valores médios

TABELA A. 1.2 Valores médios de resistência e do módulo de deformação longitudinal, para U = 12%, de madeiras coníferas nativas e de florestamento (NBR7190, 1996)

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap}(12\%)$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_c$ (MPa)	$f_t$ (MPa)	$f_{tn}$ (MPa)	$f_v$ (MPa)	$E_c$ (MPa)
Pinho-do-paraná	<i>Araucaria angustifolia</i>	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225
Pinus caribea	<i>Pinus caribea var.caribea</i>	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8431
Pinus bahamensis	<i>Pinus caribea var.bahamensis</i>	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110
Pinus elliottii	<i>Pinus elliottii var.elliottii</i>	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889
Pinus hondurensis	<i>Pinus caribea var.hondurensis</i>	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868
Pinus oocarpa	<i>Pinus oocarpa shiede</i>	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904
Pinus taeda	<i>Pinus taeda L.</i>	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304

$\rho_{ap}(12\%)$  = massa específica aparente a 12% de umidade

$f_c$  = resistência à compressão paralela às fibras

$f_t$  = resistência à tração paralela às fibras

$f_{tn}$  = resistência à tração normal às fibras

$f_v$  = resistência ao cisalhamento

$E_c$  = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

Coefficiente de variação para resistências a solicitações normais  $\delta = 18\%$

Coefficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais  $\delta = 28\%$

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

**Correção Umidade** - 12% como padrão de referência

$$f_{12} = f_{U\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

**Tabela 3.8** – Relação  $f_k/f_m$  entre as resistências características a média e o valor do coeficiente  $\gamma_w$

<b>Esforço</b>	<b><math>f_k/f_m</math></b>	<b><math>\gamma_w</math></b>
compressão paralela às fibras	<b>0,70</b>	<b>1,4</b>
tração paralela às fibras	<b>0,70</b>	<b>1,8</b>
cisalhamento paralelo às fibras	<b>0,54</b>	<b>1,8</b>

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

## Valores de $k_{mod,1}$

Tabela 4 – Definição de classes de carregamento e valores de  $k_{mod1}$

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

## Umidade

**Quadro 1 - Classes de umidade**

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente $U_{amb}$	Umidade de equilíbrio da madeira $U_{eq}$
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190/97

# Propriedades Mecânicas – Bases de Cálculo

## Valores de $k_{mod,2}$

Tabela 5 – Valores de  $k_{mod,2}$

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70 <sup>a</sup>	0,90

<sup>a</sup> Não é permitido o uso do MLCC para classe de umidade (4).