

cimad '04
1º congresso ibérico

a madeira na construção

25 e 26 de Março 2004 | Universidade do Minho | Guimarães Portugal

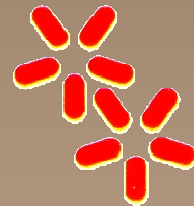


AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO COMO FERRAMENTA DO CONTROLO DA QUALIDADE EM VIGAS LAMELADAS COLADAS EM MADEIRA



**

UNIVERSIDADE DO MINHO



departamento de
engenharia mecânica

*José Santos **

*Marques Pinho ***

*



DMTP - Departamento Materiais

Apresentação em 3 partes

I - Considerações teóricas sobre o módulo de elasticidade

II - Descrição de ensaios laboratoriais

III - Novas perspectivas de desenvolvimento

I - Objectivos do estudo de avaliação do módulo de elasticidade

- ❖ **Explorar as potencialidades do módulo de elasticidade como método não destrutivo de avaliação das propriedades mecânicas da madeira**
- ❖ **Melhorar a previsão das deformações reais de componentes estruturais**
- ❖ **Avaliar a interferência de defeitos da madeira ou de fabrico de componentes no comportamento mecânico**

Conceitos de segurança cálculo estrutural

Outros materiais

Coeficiente de segurança

$$X_d = \frac{X_m}{CS}$$

x_d – valor de cálculo

X_m – valor máximo do material

cs - coeficiente de segurança



Madeira

Factor de correcção K_{mod}

$$k_d = \frac{k_{mod} x_k}{cps}$$

x_d – valor de cálculo

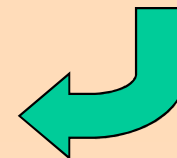
k_{mod} – coeficiente tabelado (0,45 a 1,2)

x_k – valor característico

cps - coeficiente parcial segurança
(tabelado - 1,0 a 1,4)

Na situação mais desfavorável de k_{mod} e cps

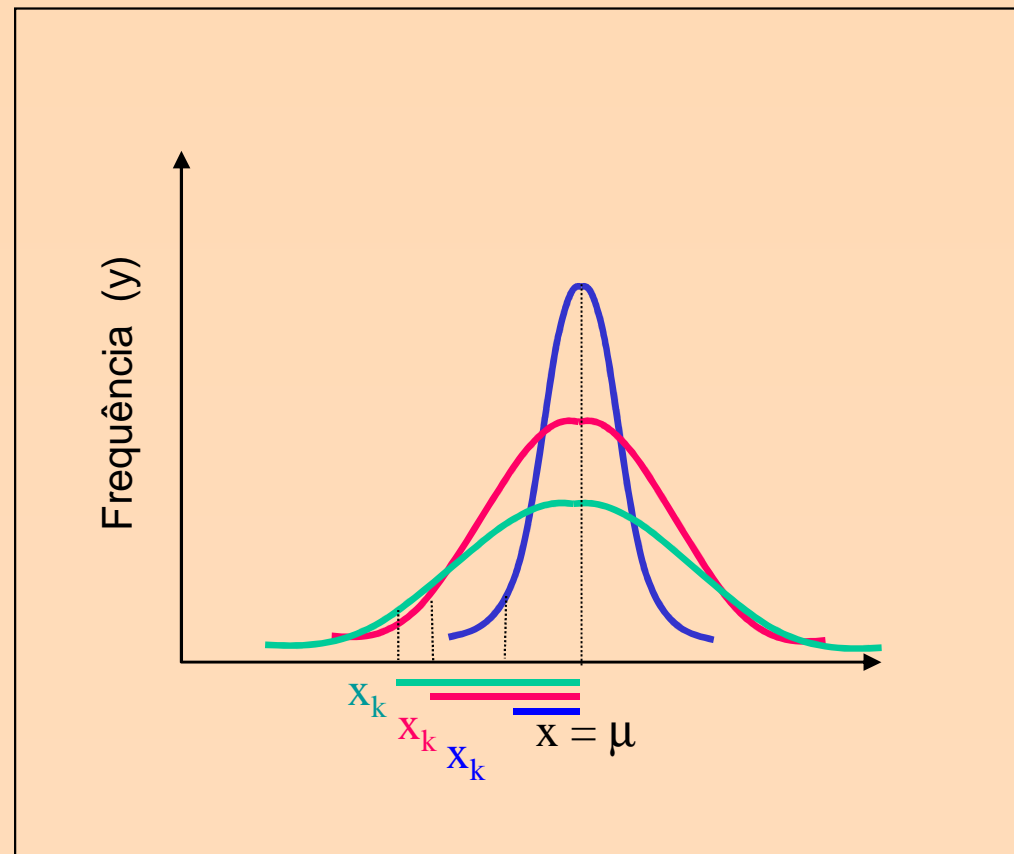
$$x_d = \frac{x_k}{3,1}$$



No caso do aço $CS = 1,35$

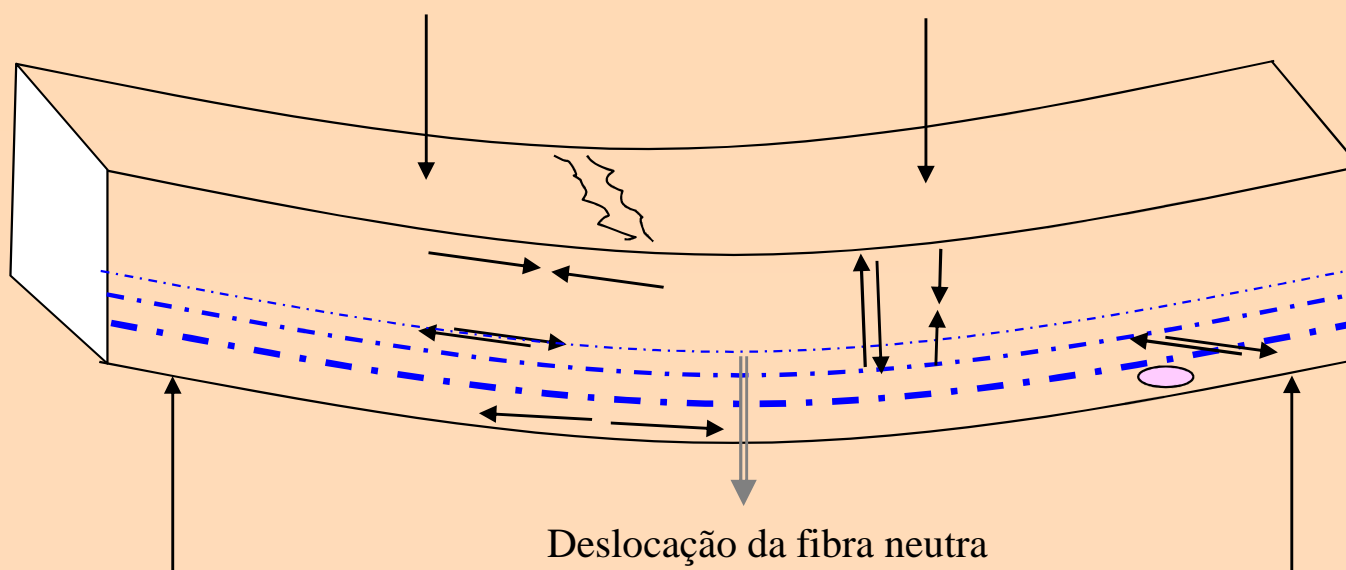
Diminuir a variabilidade:

- A classificação e controlo ajudam a diminuir a diferença entre o valor característico a o valor médio

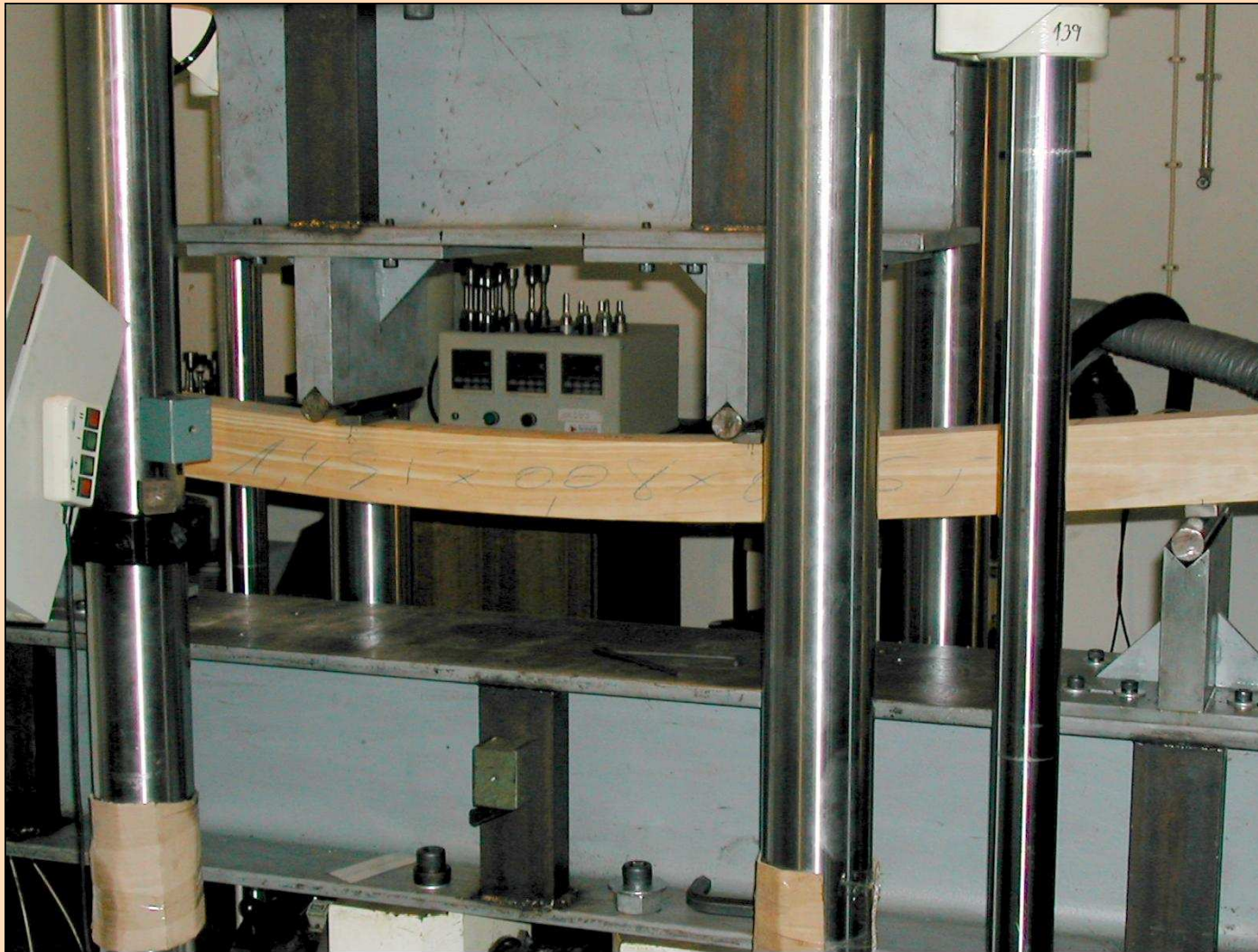


Complexidade da flexão estática

Tracção ! Compressão ! Corte ! - várias direcções



Muito elevada deformação antes da cedência

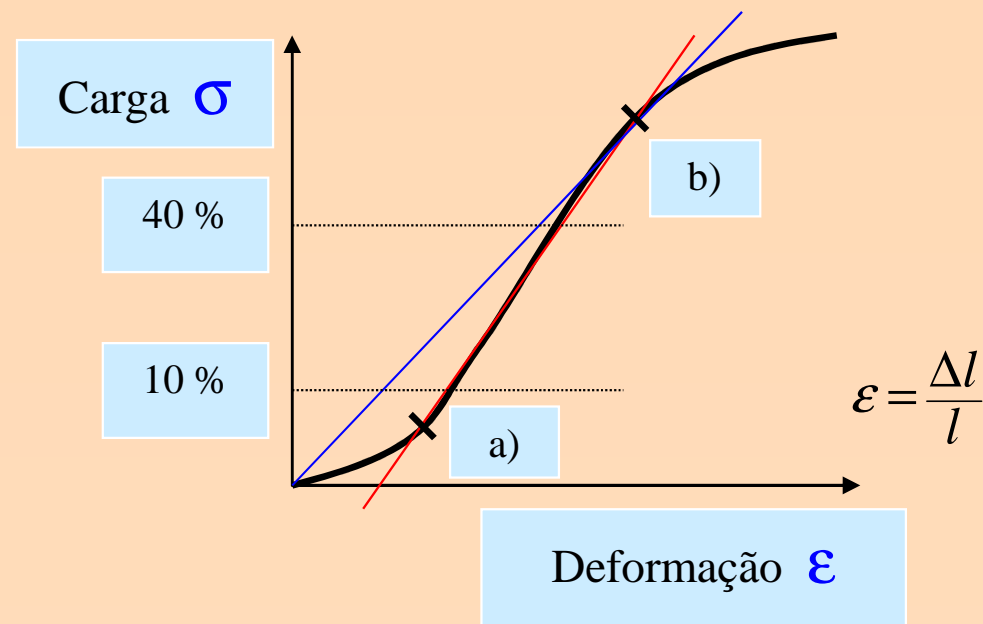


- Prejudicial esteticamente
- Vantagem como indicação do nível de tensões e aviso de rotura próxima

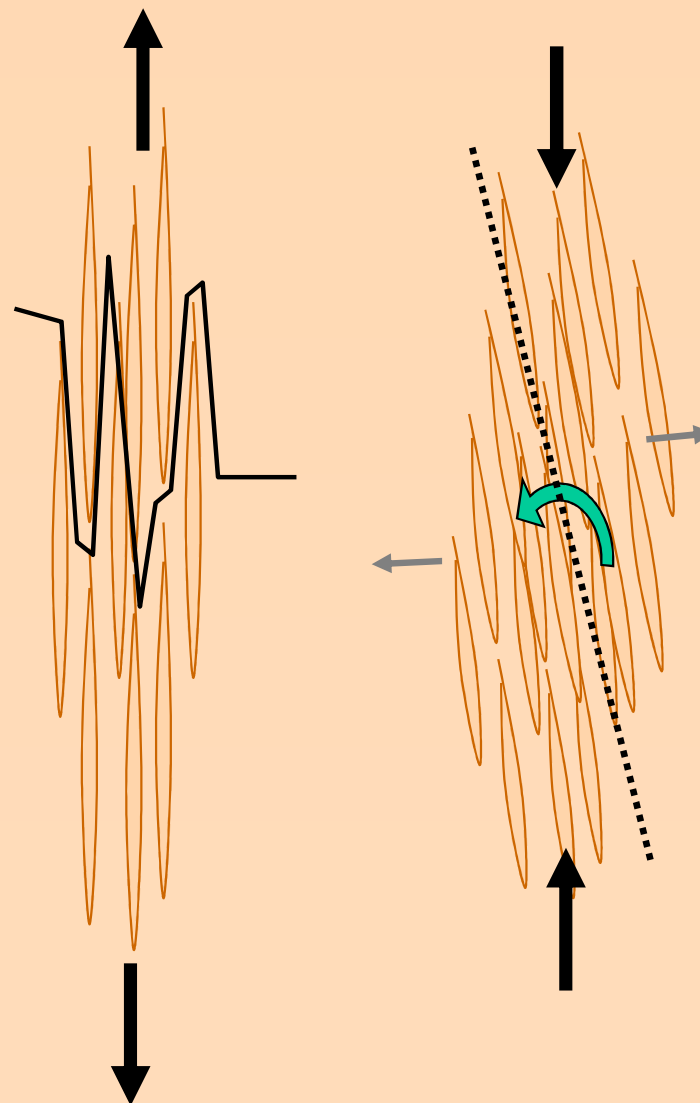
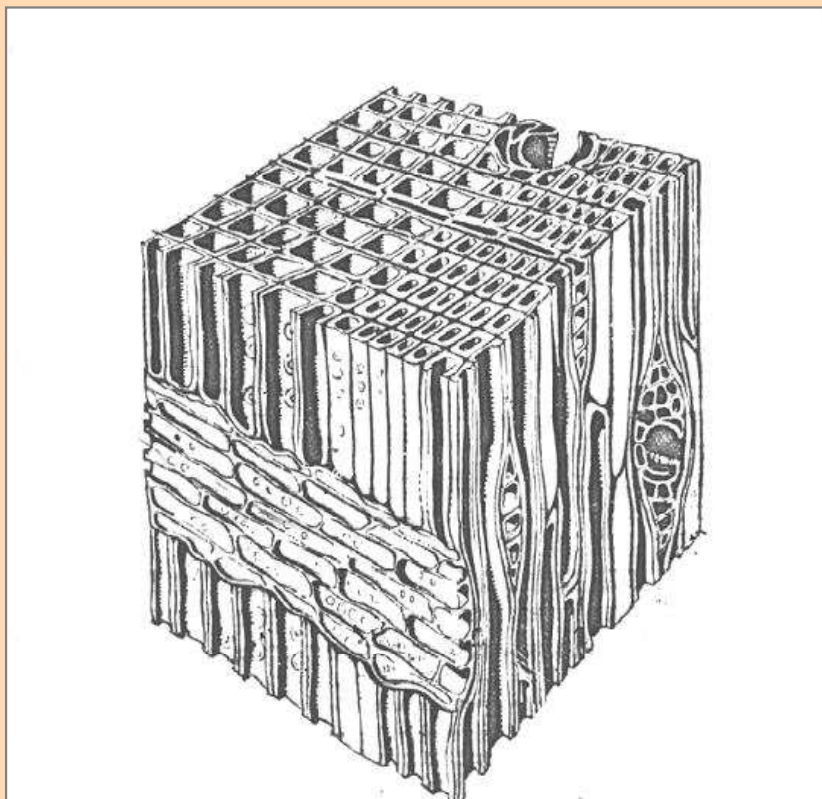
módulo de elasticidade

coeficiente angular da curva carga-deformação

Lei de Hook $\sigma = \varepsilon \cdot E$



Mecanismos da fractura



II - Parte

Ensaaios laboratoriais de um lote de 90 vigas de madeira lamelada colada MLC, produzidas industrialmente

Cálculo do módulo de elasticidade

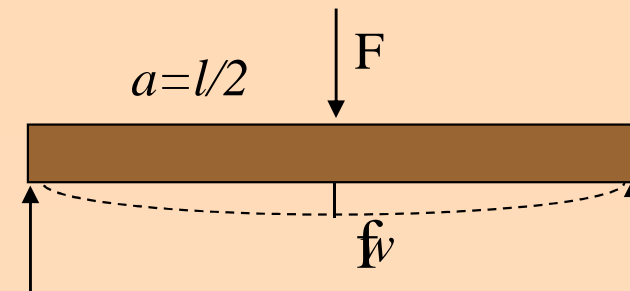
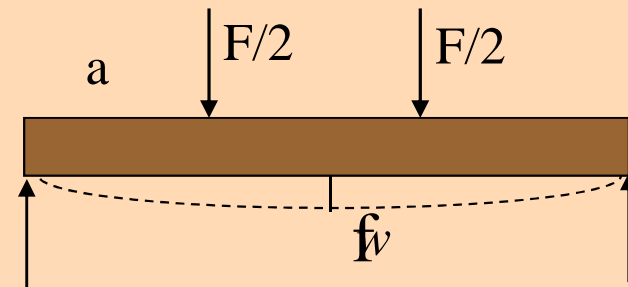
Equações mais comuns

$$E = \frac{l^3 (F_2 - F_1)}{bh^3 (w_2 - w_1)} \left[\left(\frac{3a}{4l} \right) - \left(\frac{a}{l} \right)^3 \right]$$

EN 408:2003 / BS 373

$$E_{ap} = \frac{l^3 (F_2 - F_1)}{4bh^3 (w_2 - w_1)}$$

EN 408:2003 / ASTM D 143 / BS 373



Flexão estática
Viga de MLC
de abeto



Condições de ensaio à flexão

EN 408:2003

- Velocidade de aplicação da carga $\approx 0,003 \times h$ (mm/s)
(atingir o fim do ensaio entre 300 ± 120 s)
- Distância entre apoios $18 \times h$ (mm)
- Ensaio em 4 pontos - módulo de elasticidade global E
- Ensaio em 3 pontos – módulo de elasticidade local
ou módulo aparente de elasticidade MOE.

Vigas MLC

8 camadas
de 28mm

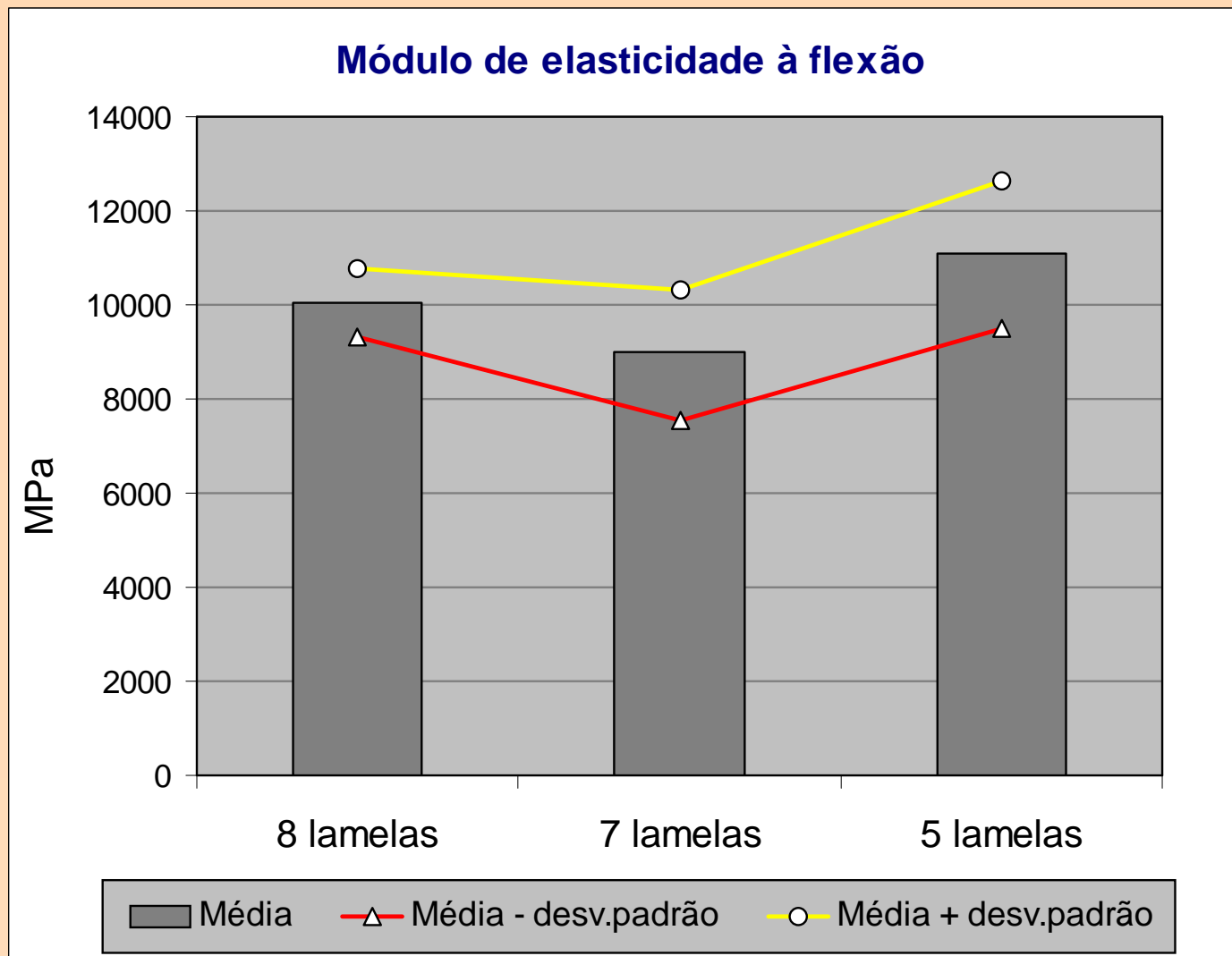
ou

5 camadas
de 45mm

?




Cortesia: SOTRIM



Conclusões

A b e t o


	Módulo de elasticidade (MPa)	Tensão de rotura (MPa)
8 camadas	10 040 $\mu = 730$	33 $\mu = 8$
5 camadas	11 071 $\mu = 1583$	40 $\mu = 9$

Conclusões - lamelas na mesma secção

O **aumento do número de lamelas** na composição de um componente MLC:

- ❖ Diminui o desvio padrão
(menor dispersão dos resultados)
- ❖ Menores tensões nos planos de colagem devidos a empenos das lamelas
 - **Diminuiu ligeiramente a rigidez**
 - **Maior tempo de operação de colagem**
 - **Aumento do consumo de cola**

Conclusões – efeito de escala

	Módulo de elasticidade (MPa)	Tensão de rotura (MPa)
Vigas MLC	10 200	36,5
Pequenos provetes madeira limpa	13 500*	99,5**

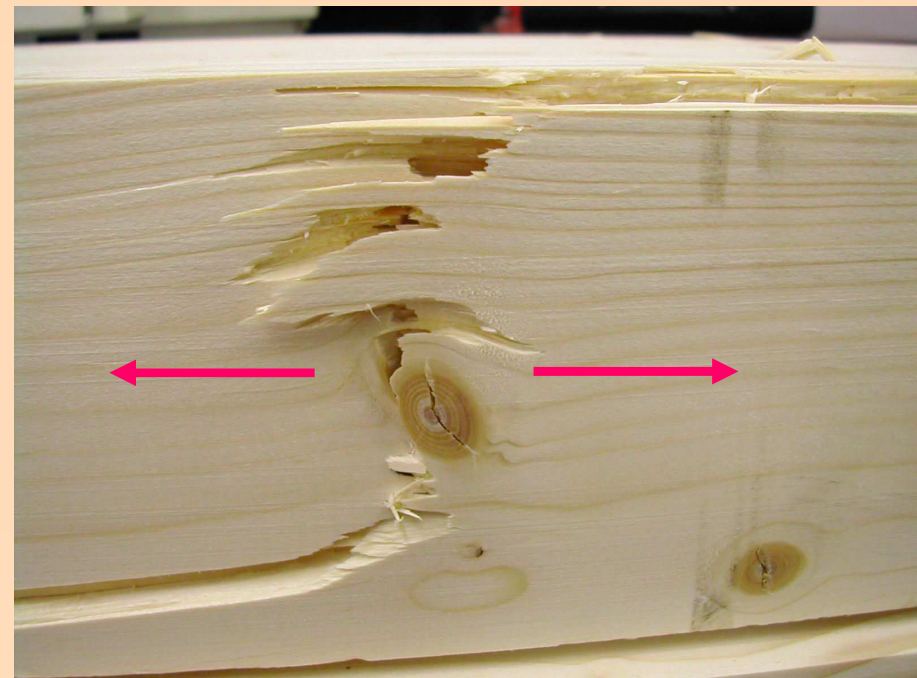
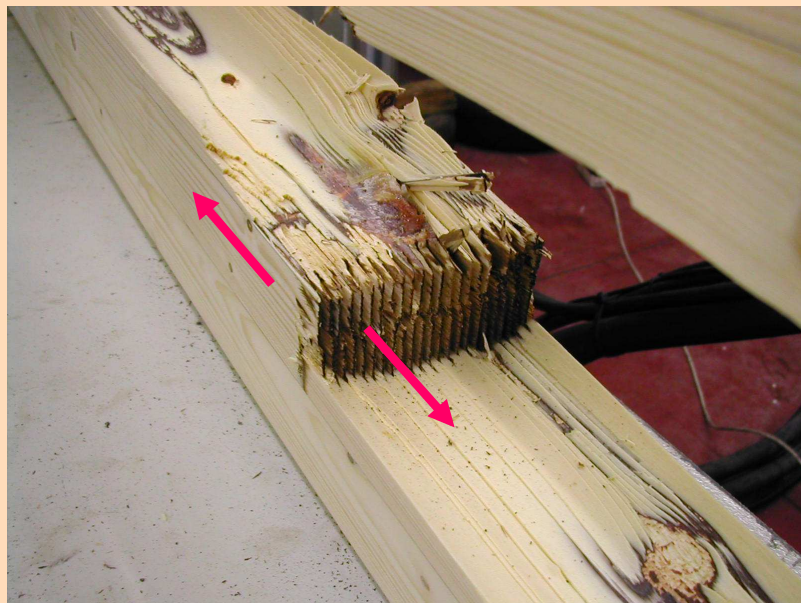
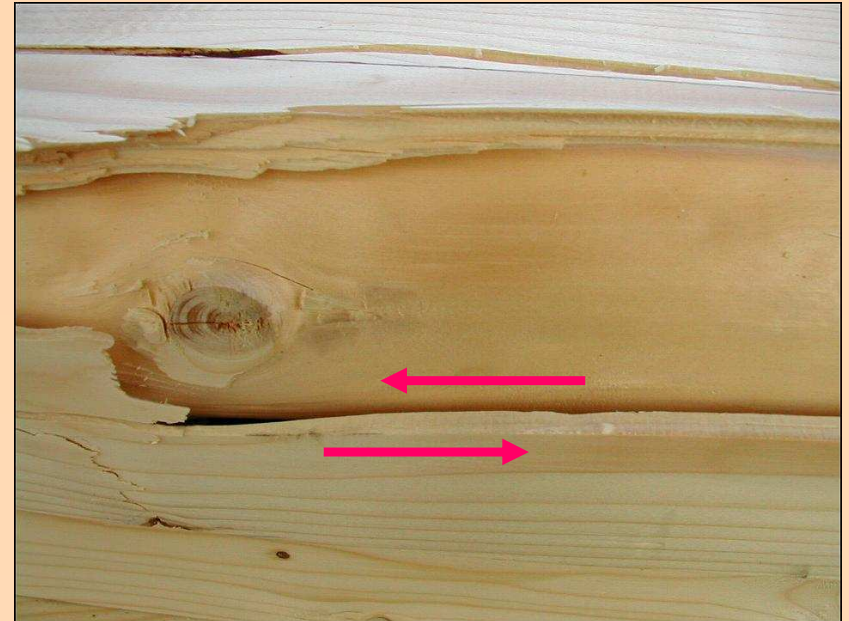
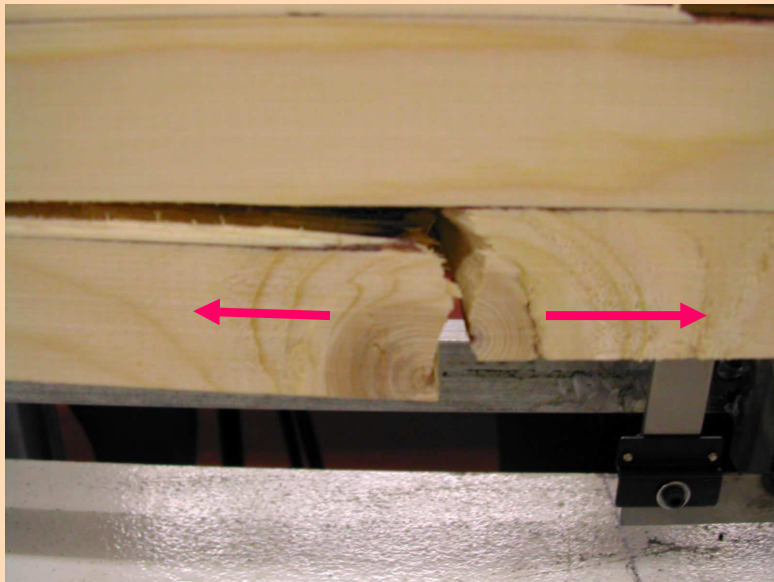
* Ensaios

** Albino Carvalho

Outras conclusões

- 1 Os módulos de elasticidade de peças de grandes dimensões tendem a dar valores inferiores aos de pequenos provetes de madeira limpa**
- 2 As tensões de rotura à flexão de MLC são cerca de 1/3 dos valores em madeira limpa de pequenas dimensões**
- 3 Os locais mais habituais da rotura são na camada inferior em nós horizontais, na ligação colada ou rotura frágil lenho juvenil.**
- 4 Não é certa uma correlação entre o módulo de elasticidade e a tensão máxima.**

Constatações:
- pontos de início da rotura



Vantagem das vigas MLC



Viga MLC de:

- 4250mm de comprimento
- 224 x 90mm² secção
- 42 kg de massa

Suporta na zona elástica

(mais ou menos 50% da rotura) :

- 20kN (2039kgf)
- flecha de 25mm



III - Novas perspectivas de desenvolvimento MLC

- Componentes estruturais MLC em madeira de eucalipto
- Utilização de resinas epoxy para produção de MLC
- Avaliação do módulo de elasticidade à compressão por métodos de elevada precisão - extensometria

Alguns resultados de estudos ainda em curso

	Módulo de elasticidade (MPa)	Tensão de rotura (MPa)
Vigas MLC em abeto	10 200	36,5
Vigas MLC em eucalipto	18 000	95

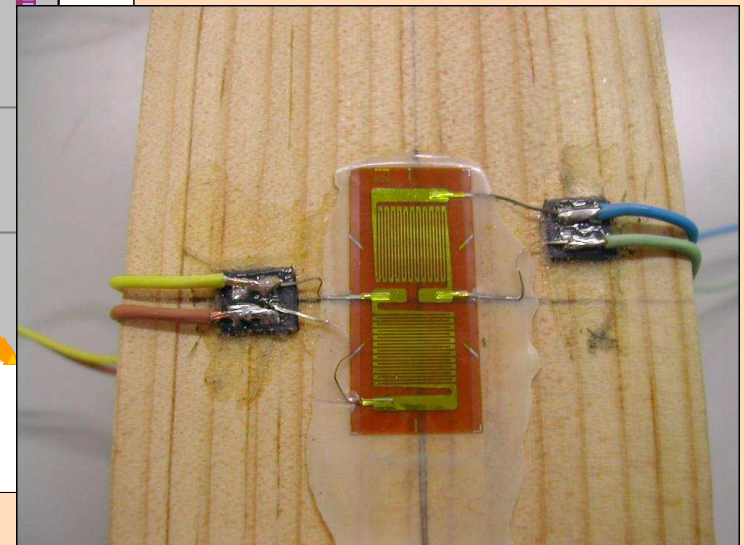
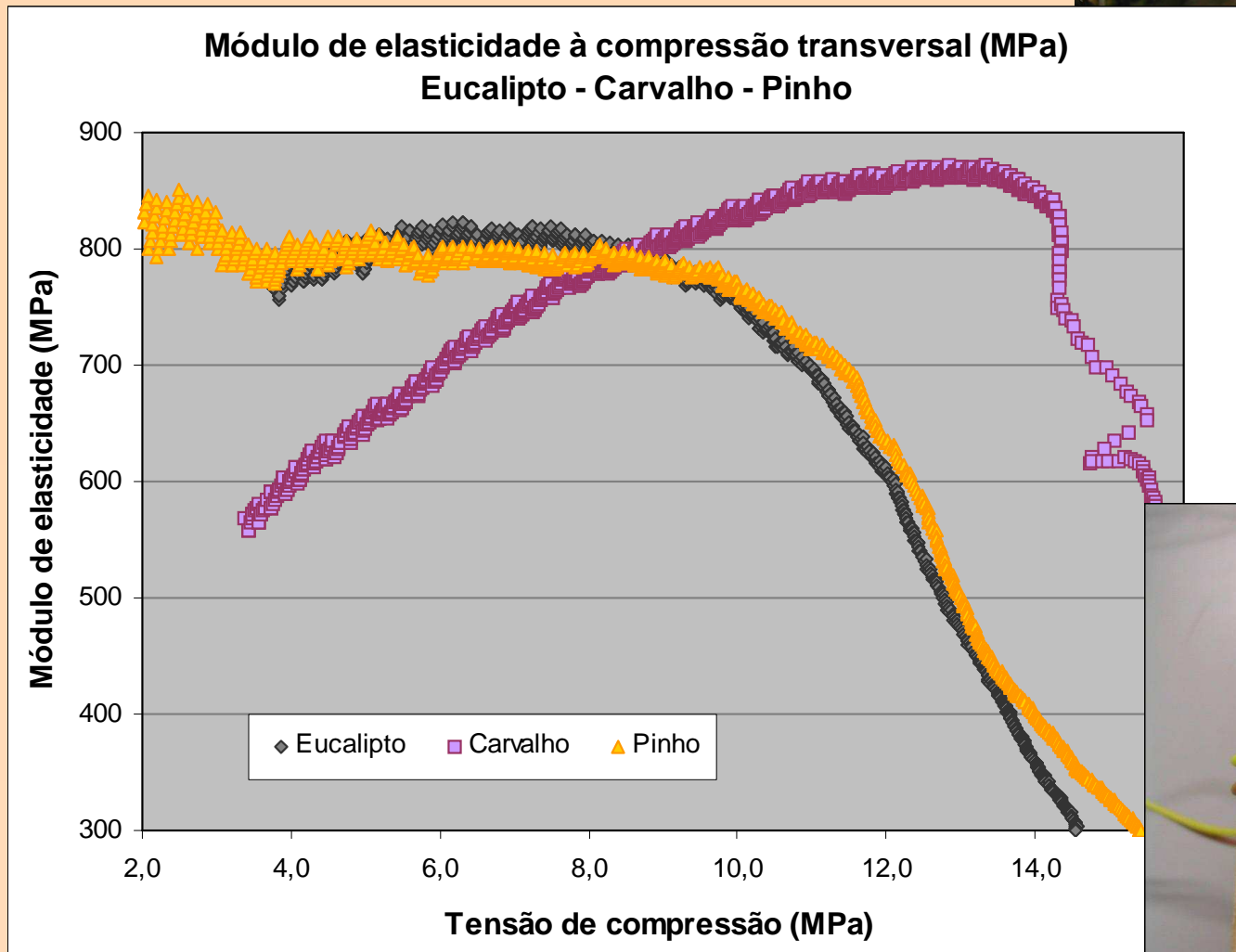
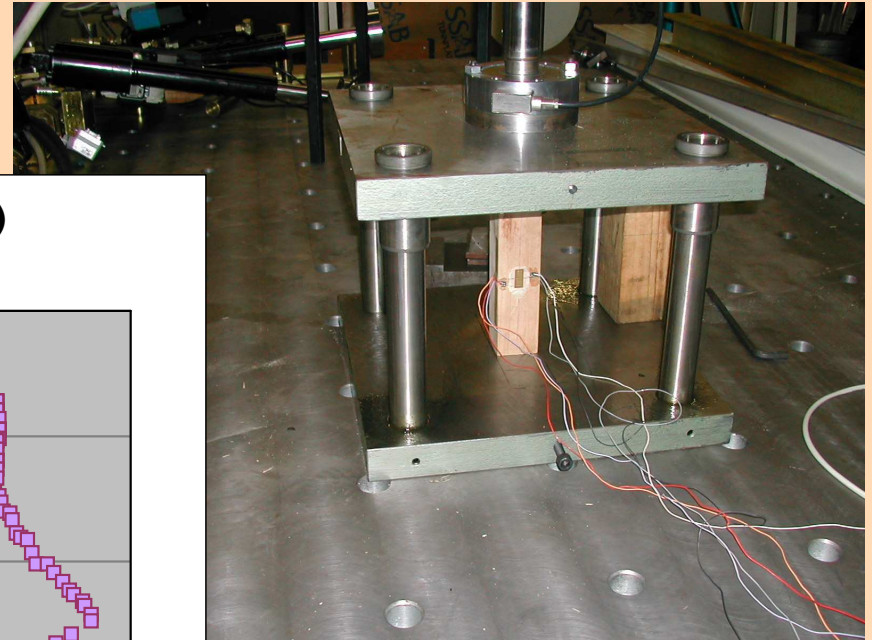
Lamelados colados com cola epoxy

- ❖ Admite junta de colagem espessa
 - ❖ Não necessita de rigorosa preparação mecânicas das superfícies (calibração em espessura)
 - ❖ Apresentam boa resistência à água
 - ❖ Não necessidade de elevada pressão de prensagem
 - ❖ Tempo de espera da prensagem longo
 - ❖ Tensões de rotura semelhantes aos das colas estruturais
-
- **Elevado consumo de cola**
 - **Cola relativamente cara**



Lamelados colados eucalipto com cola epoxy

Uso de extensómetros



1º congresso ibérico

a madeira na construção

Obrigado pela vossa atenção.