

**AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE OS DEFEITOS NATURAIS E A RIGIDEZ NA  
FLEXÃO DE *Pinus sp.***

**EVALUATION OF THE RELATION BETWEEN NATURAL DEFECTS AND BENDING  
RIGIDITY OF *Pinus sp.***

**Jairo Ribas de Andrade Junior**

**Guilherme Correa Stamato**

**Campus de Itapeva-UNESP. Rua Geraldo Alckmin, 519, CEP 18409-010, TEL: 15 3524 9100.**

**E-mail: [jairoribas@grad.itapeva.unesp.br](mailto:jairoribas@grad.itapeva.unesp.br), [gstamato@itapeva.unesp.br](mailto:gstamato@itapeva.unesp.br)**

**RESUMO**

Este trabalho apresenta o estudo das características das madeiras de *Pinus Taeda* e *Pinus Elliottii* da região de Itapeva, com o objetivo de fornecer parâmetros para uma análise estatística da influência dos defeitos naturais ou de processamento nas propriedades mecânicas para a melhor utilização dessa madeira, seja na indústria de painéis, de molduras ou em estruturas. Esse estudo foi o primeiro passo para o desenvolvimento de um controle de qualidade e de processos para elaboração de produtos de maior valor agregado e para a aplicação mais criteriosa desse material em estruturas. Os resultados desse estudo estão sendo utilizados na definição dos critérios de dimensionamento de estruturas de madeira utilizando coníferas, por ocasião da revisão da NBR 7190/1997, “Projeto de Estruturas de Madeira”. Neste trabalho é feita a classificação visual e mecânica da madeira serrada de pinus, segundo os critérios de classificação proposto para a revisão da norma brasileira de “Projetos de estruturas de madeira”.

**Palavras-chave:** Estruturas de madeira, Pinus, classificação visual, defeitos naturais.

**ABSTRACT**

This work presents the study of the wooden properties of *Pinus Taeda* and *Pinus Elliottii* from Itapeva-SP, Brazil, with purpose to provide support for statistics analysis of the natural or processing defects influence on the mechanical properties to a better use of this wood, in panels industry, moldings or structures. This study was the first step to a quality and process control development to elaborate best aggregate value products and to apply rigorous use of these materials in wooden structures. The results of this study will be use in wooden structures grading rules for conifers, to be proposed for the NBR 7190/1997, “Projeto de Estruturas de Madeira” revision. In this work it was carried on the lumber visual and mechanical grading of the southern pine, according the brazilian rules classification proposed for the NBR 7190 revision.

**Keywords:** Wooden Structure, Southern pine, Visual grading, naturals defects.

## INTRODUÇÃO

A utilização das madeiras de coníferas como elemento estrutural vem se difundindo tanto na construção civil quanto para móveis e painéis, por ser uma madeira de reflorestamento, de baixo custo e grande disponibilidade nas regiões sul e sudeste do Brasil. Apesar de apresentar grande variabilidade de suas propriedades mecânicas e grande incidência de defeitos, as coníferas são uma opção economicamente vantajosa se forem aplicadas técnicas que controlem a influência dessas características na eficiência estrutural. Esse trabalho tem como objetivo a definição dessas técnicas, para que as indústrias do setor madeireiro possam aplicá-las de forma simples, podendo agregar valor à madeira e aos seus produtos, mesmo sem a necessidade de investimento em equipamentos.

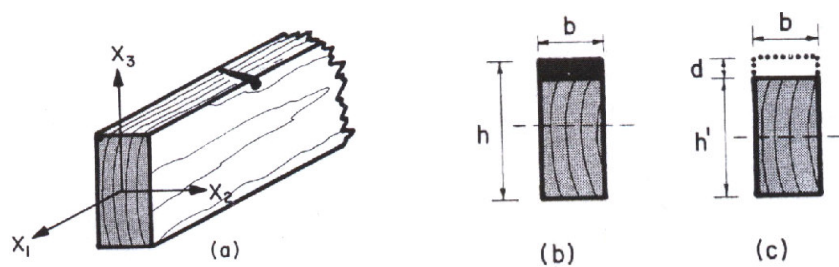
## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Razão de resistência

A madeira utilizada em estruturas com defeitos tem a resistência mecânica ajustada pelo fator  $kd$ , chamado de *razão de resistência*. O valor de  $kd$  é obtido para um teste de uma peça com defeitos, usando o mesmo valor de razão para as peças de dimensões semelhantes sem defeitos. Madeiras estruturais são usualmente agrupadas em um número de amplo de categorias baseados no  $kd$ .

Select Structural: 0,67; S1: 0,57 ; S2: 0,47; S3: 0,26.

A maioria das razões de resistência é dada por médias experimentais. A redução da resistência devido a defeitos simples fornece uma base simplificada para o cálculo da razão. Por exemplo, se uma peça é submetida a uma carga axial na direção  $X_1$ . Duas equações simples podem ser escritas para a diminuição do carregamento máximo, uma para uma peça livre de defeitos e outra para o membro da figura 5:



**fig. 5 - (a)** Madeira com um nó de borda; **(b)** Seção transversal incluindo o nó; **(c)** Seção transversal excluindo o nó.

$$P_{all} = \sigma_t \cdot A_I = \sigma_t \cdot b \cdot h \quad (1)$$

$$P'_{all} = \sigma_t \cdot A'_I = \sigma_t \cdot b \cdot (h' - d) \quad (2)$$

Onde:

$P_{all}$  = Tração permissível de carga sem defeito.

$P'_{all}$  = Tração permissível de carga com defeito.

$\sigma_t$  = Tração permissível para madeira sem defeitos.  $d$  = Diâmetro da borda do nó.

A Razão de resistência é:  $k_d = P'_{all} / P_{all}$  (3)

Substituindo para a equação (2) e simplificando, temos:  $k_d = (h' - d) / h$  (4)

O nó reduzirá a capacidade de resistência à flexão. Duas equações de momento podem ser escritas – uma para peças livres de defeitos e uma com a presença de um nó: sendo a razão de resistência:

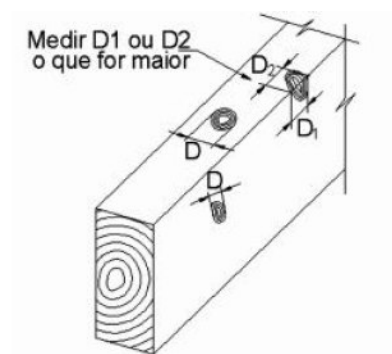
$$k_d = M'_2 / M_2 = (h - d)^2 / h^2. \quad (5)$$

A localização do nó de borda na viga reduz a flexão de resistência mais do que a carga axial. A localização de um nó interfere na razão de resistência na flexão, um nó de borda pode aumentar este valor.

Segundo a NBR 7190/1997, a resistência da madeira é definida como sendo a aptidão da madeira a suportar tensões. A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova isentos de defeito, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral estes fenômenos são de ruptura ou de deformação específica excessiva.

### Nós em vigas

O tamanho de um nó na face estreita de uma viga corresponde à largura entre as linhas que cercam o nó, sendo que estas linhas são paralelas às bordas da peça. Quando um nó na face estreita de uma peça sem medula se estende até  $1/4$  da largura da face larga, este nó é medido na face larga. Já o tamanho de um nó na face larga é medido pelo seu menor diâmetro.



**fig. 2** – Medida do diâmetro dos nós em uma viga. Fonte: CARREIRA (2002)

Um nó de canto contendo medula pode ser medido por sua largura na face estreita entre as linhas paralelas as bordas ou por seu menor diâmetro na face larga, o que for maior, um nó de canto em uma peça sem a presença de medula é medido pelo menor destes dois.

A soma das dimensões de todos os nós contidos em metade do comprimento de uma face em uma viga com 6,10 m (20 ft) ou menos de comprimento, quando medido como especificado para a face em consideração, não deve exceder quatro vezes o maior nó permitido nesta face. Esta restrição em uma viga com mais de 6,10m deve ser aplicada em qualquer 3,0 m (10 ft) de comprimento contido em metade do comprimento da peça.

Quando a peça de madeira se destina à aplicações de flexão em um único vão, as dimensões dos nós na face estreita e na borda da face larga podem ser incrementadas gradativamente, do tamanho máximo permitido no terço central do comprimento, para duas vezes este tamanho nas extremidades da peça, exceto que o tamanho deste nó não deve exceder o tamanho permitido no centro da face larga. O tamanho do nó na face larga pode ser incrementado proporcionalmente ao tamanho permitido na borda para o tamanho permitido no centro.

Quando a peça é destinada para aplicações de flexão em vãos contínuos, as restrições para os nós no terço central devem ser aplicadas para os dois terços laterais do seu comprimento.

### Classes de densidade

Além da classificação com relação a defeitos, a norma ASTM D245-93 também estabelece classes de densidade para a madeira, em função da taxa de crescimento da madeira serrada. O termo taxa de crescimento se refere à quantidade de anéis de crescimento presentes em 2,5 cm (1”), medida em uma linha radial representativa. As classes de densidades definidas pela ASTM D245-93 são apresentadas na tabela 1, a seguir:

**Tab. 1** – Classes definidas na ASTM D245-93, apud CARREIRA (2002).

Classe	Anéis / 2,5 cm	Proporção de madeira de inverno
Densa	$\geq 6$	$> 1/3$ da seção
	$\geq 4$	$> 1/2$ da seção
Média	$\geq 4$	
Baixa	$\leq 4$	

### METODOLOGIA

Os materiais analisados foram peças de *Pinus* das espécies *elliotti* e *taeda* cedidos por serrarias da região de Itapeva. O grupo de trabalho efetuou a classificação visual das amostras de peças serradas do estoque pré-embarque onde também foi feita a análise das propriedades mecânicas dessa madeira, fornecendo parâmetros para uma análise estatística da influência dos defeitos naturais ou

de processamento nas propriedades mecânicas da madeira. Nessa etapa foram quantificadas as peças que se enquadraram em cada classe de qualidade, e foram anotados quais os defeitos mais frequentes apresentados por essas peças.

Para atingir esses objetivos foi necessário o desenvolvimento de etapas complementares, que foram: Classificação visual das peças serradas de pinus; ensaio mecânico não destrutivo de flexão estática e ensaios mecânicos destrutivos de peças selecionadas com defeitos predominantes para determinação da resistência da peça e da influência dos defeitos nessa resistência.

Devido à grande variabilidade de defeitos presentes nas madeiras de coníferas, foi necessário um grande número de peças para garantir resultados mais consistentes. Considerando que os processos de desdobro e secagem variam de empresa para empresa, bem como a forma de manejo das árvores, o que resulta em diferentes distribuições de defeitos.

### Método de ensaio

Todas as peças foram visualmente classificadas, de acordo com os procedimentos do SPIB. Assim, foram limitados os diâmetros dos nós presentes na face larga, na borda da face larga e na face estreita, bem como a inclinação das fibras e a presença de fendas e rachas.

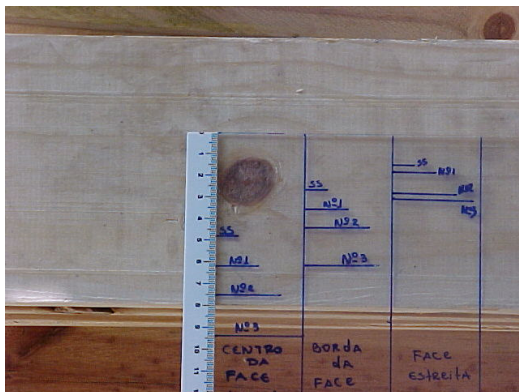
A Tabela 2 apresenta as dimensões permitidas dos defeitos em cada classe. Para flexão de vão-simples, rachas e fendas são restritas para extremidades das vigas. Em vãos-múltiplos com peças de flexão, defeitos são restritos para todo o comprimento na metade central da face larga.

**Tab. 2** – Dimensões admitidas dos defeitos em cada classe. Fonte: CARREIRA (2002).

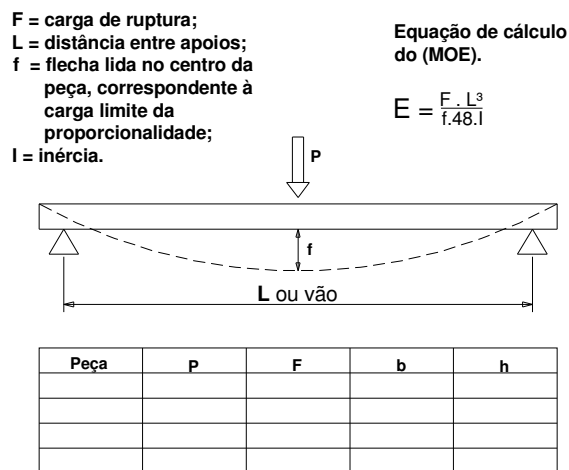
Classe visual	Nós		Inclinação das fibras	Rachas anelares		Fendas
	Face estreita e canto da face larga.	Centro da face larga.		Passantes	Superficial	
SS	20%	35%	1 : 12	1 vez larg.	até 60 cm	1 vez larg.
nº 1	25%	45%	1 : 10	1 vez larg.	até 60 cm	1 vez larg.
nº 2	33%	50%	1 : 08	1,5 vez. larg.	até ¼ comp.	1,5 vez.
nº 3	~50%	75%	1 : 04	1/6 comp. peça	sem limites	1/6 comp. peça

Para auxiliar a classificação visual foi utilizada uma “régua” onde são marcadas as dimensões permitidas pra nós, conforme modelo desenvolvido por Carreira (2002), apresentado na figura 3.

Para cada peça foram anotados o vão, as dimensões da seção transversal (b.h), a carga aplicada (P) e a flecha (f) causada por essa carga, utilizando uma planilha como a apresentada na figura 4:



**fig. 3** – Régua para classificação visual. Fonte: CARREIRA (2002)



**fig. 4** – Esquema estático e Planilha para o cálculo do MOE.

O cálculo do módulo de elasticidade na flexão (MOE) é posteriormente relacionado com a classe de resistência e densidade da madeira segundo a NBR 7190/1997. Sendo calculado na equação (6):

$$MOE = \frac{(P L^3)}{(48 f b h^3)} \dots\dots\dots (6)$$

Uma análise estatística foi realizada após a classificação visual do último lote de madeira. Essa análise estatística foi conduzida de forma a encontrar a incidência de madeiras de melhor e de pior qualidade, bem como a separação por defeitos a fim de determinar os defeitos mais frequentes que pioram a classificação da madeira.

## MATERIAIS

Foram classificadas peças de Pinus com dimensão de aproximadamente 140 x 40 mm, com o auxílio da “régua” (desenvolvida como o modelo já citado), que contém as classificações necessárias, e o Módulo de Elasticidade (MOE) que foi obtido com a análise de flexão mecânica não destrutiva das mesmas peças, com medições realizadas pelo grupo no local.

## ANÁLISE DOS DADOS

Relacionando a densidade, a classificação visual e os resultados obtidos no cálculo do MOE, fica evidente como a resistência mecânica varia conforme a densidade e a classe de densidade da amostra. Como é possível ver nos gráficos das figuras 5, 6 e 7.

A Figura 7 representa um resumo geral dos dados com a relação entre a rigidez e as influências das diferentes classes visuais e a respectiva densidade de todas as amostras ensaiadas durante o projeto.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de amostras que se enquadrou em cada classe e densidade, encontradas na classificação visual.

**Tab. 3** – Quantidade de amostras enquadradas em cada classe e densidade

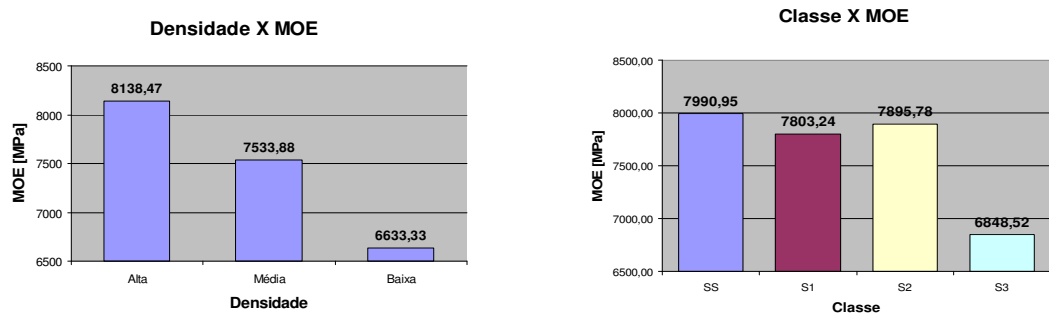
		Densidade		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
Classe	S3	6	4	5
	S2	18	15	22
	S1	20	35	26
	SS	16	30	43

## DISCUSSÕES

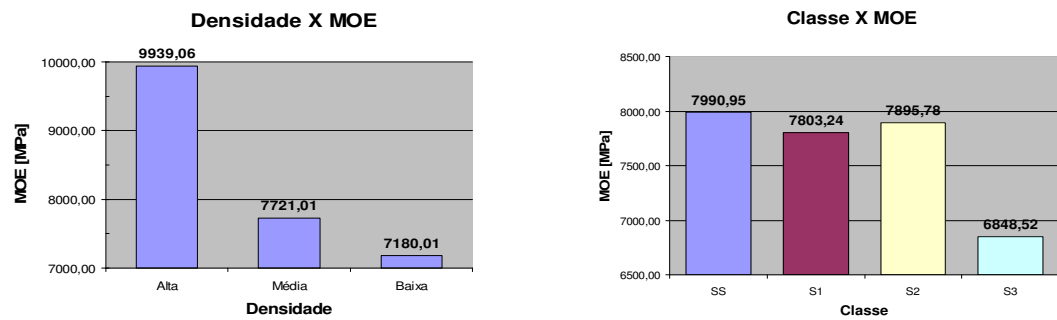
A classificação visual demonstra algumas relações importantes entre os diversos defeitos apresentados nas madeiras serradas na região de Itapeva, como grande quantidade de nós e peças com presença de medula, o que interfere muito na densidade e rigidez das amostras. Esta grande quantidade de defeitos demonstra a falta de um manejo adequado e controle de qualidade nas serrarias da região, já que várias peças apresentavam defeitos de secagem e empenamentos acentuados.

A classificação visual complementada pela classificação mecânica, também comprovou que densidade é um dos fatores mais importantes da relação de classe visual e rigidez da peça, sendo as peças mais densas também mais rígidas à flexão. A presença da medula leva a baixa densidade da peça devido ao crescimento rápido nos primeiros anos de vida da árvore.

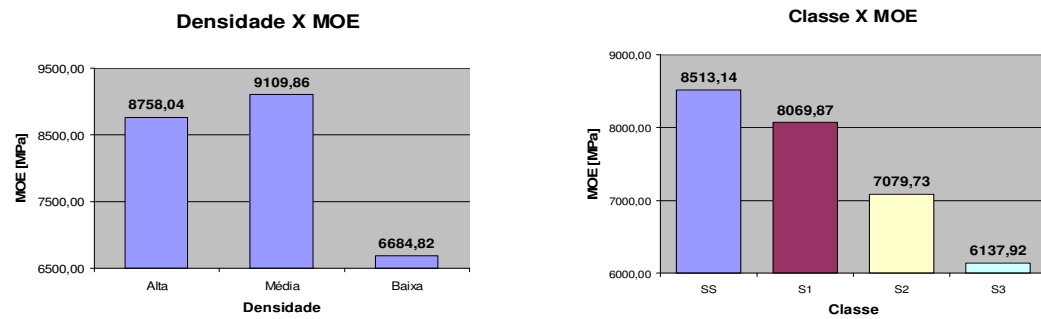
Empresa 1:



Empresa 2



Empresa 3



Empresa 4

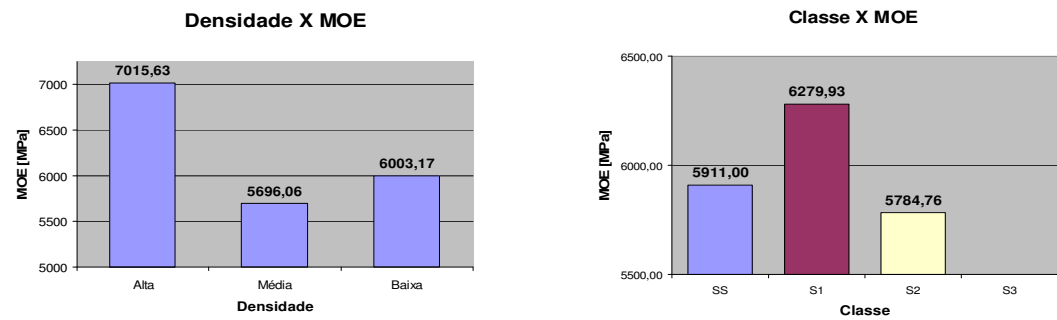
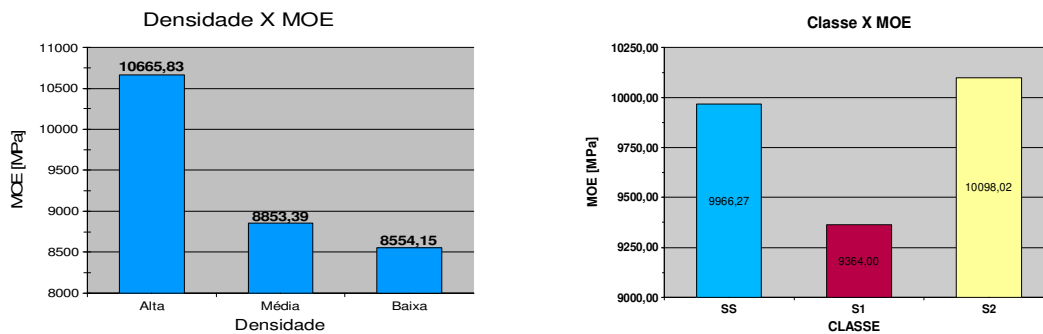


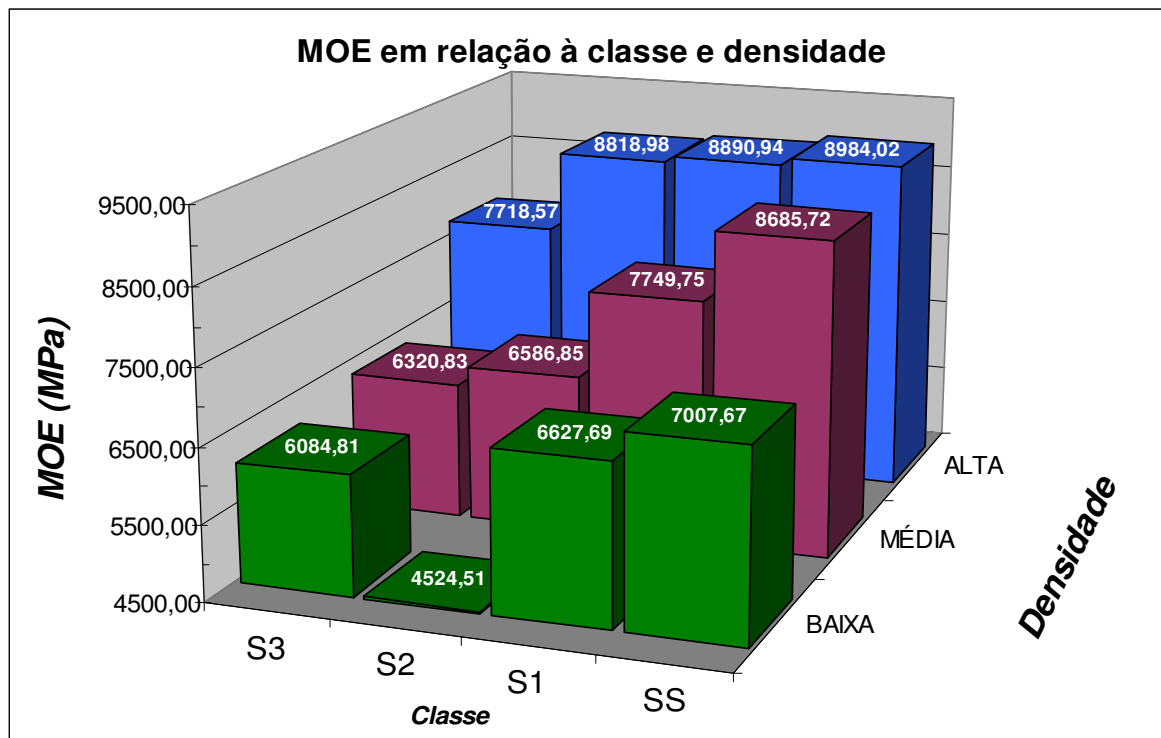
fig. 5 – Gráficos da Relação de densidade com o MOE (esquerda) e relação entre as classes e o MOE (direita) das empresas 1 à 4.



## Empresa 5



**fig. 6** – Gráficos da Relação de densidade com o MOE (esquerda) e relação entre as classes e o MOE (direita) das empresa 5.



**fig. 7** – Relação da rigidez entre as diferentes classes e a respectiva densidade das amostras

Nos três primeiros lotes, a classe estrutural S2 apresentou dados surpreendentes de módulo de elasticidade, isto se deve a alta concentração de peças densas nesta classe nas primeiras visitas. Na disposição final, separando-se por classe visual e por densidade de anéis, as peças S2 apresentaram rigidez proporcional ao esperado, comparativamente às outras classes.

A tabela 3 demonstra que aproximadamente 13% do total das peças estão enquadradas na classe S3 ou S2 de baixa densidade, todas estas não indicadas pela bibliografia para fins estruturais.

Na disposição geral apresentada na Figura 7, os resultados são satisfatórios comprovando a eficiência da classificação visual nas propriedades mecânicas dos *Pinus*. A única peculiaridade fica por conta das amostras com alta densidade, que não apresentaram grande disparidade, tendo alta rigidez em todas as classes visuais.

## CONCLUSÃO

Com os estudos sobre classificação visual de madeiras observamos a variação das características da madeira serrada de *Pinus* com dimensões estruturais e os defeitos mais frequentes na madeira encontrada nessa região, e como a variação pode afetar a resistência mecânica destas peças.

Os resultados obtidos nas empresas mostram que as peças de madeira que apresentam grande índice de defeitos ou densidade baixa possuem rigidez inferior às apresentadas por peças sem defeitos ou com alta densidade.

Os resultados de rigidez comparados à classe de densidade e às classes visuais, mostraram que para as madeiras de alta densidade, a classe visual de defeitos não interfere fortemente na rigidez, já nas médias densidades, as classes visuais passam a interferir fortemente na rigidez das peças.

A correlação entre as propriedades de rigidez e as classificações visuais e de densidade mostram que o uso de técnicas de classificação visual representa uma boa indicação das propriedades de rigidez de peças de *pinus*.

Como próximo passo, será avaliada a influência da classificação visual por defeitos e por densidade de anéis na correlação com a resistência à tração paralela às fibras em peças estruturais, com o objetivo de avaliar os fatores de resistências que podem ser utilizados em função de cada classe.

## BIBLIOGRAFIA BÁSICA

BODIG, J.; JAYNE, B.A. (1982). **Mechanics of Wood and wood composites**. New York, Ed.

Van Nostrand Reinhold Company, 712p.

BREYER, D.E.; FRIDLEY, K. J.; COBEEN, K. E. (1998). ***Design of Wood Structures***. Fourth Edition. McGraw Hill, New York. NY.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (1997) NBR 7190. ***Projeto de Estruturas de Madeira***. Rio de Janeiro, ABNT.

CARREIRA, M. R.. (2003) **Critérios para classificação visual de peças estruturais de *pinus sp.***

Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem à Reitoria UNESP pela bolsa PIBIC e aos colaboradores dessa pesquisa, Marcos Cesar de Moraes Pereira, Frederico de Oliveira Santos e Aires Corrêa de Oliveira Junior.