

CLASSIFICAÇÃO VISUAL E MECÂNICA SIMPLIFICADA DA MADEIRA DE *PINUS SPP.*

SIMPLIFIED VISUAL AND MECHANICAL GRADING OF PINE LUMBER IN STRUCTURAL SIZES

André Simões Ballarin ⁽¹⁾, Adriano Wagner Ballarin ⁽²⁾ (A), Carlito Calil Júnior ⁽³⁾

(1) Aluno de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

(2) Prof. Dr., Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Brasil

(3) Prof. Dr., Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

Endereço de contato: andre.ballarin@usp.br; (A) Apresentador

Código de identificação: T3-01

Resumo

A utilização do pinus de reflorestamentos na indústria madeireira brasileira é extensiva. Particularmente para o uso estrutural, o *Pinus spp* vem ganhando espaço, sobretudo com emprego em estruturas de cobertura pré-fabricadas. A produção dessa madeira em ciclos mais curtos tem tornado comum o decréscimo constante na oferta de árvores adultas com grandes diâmetros. A madeira disponível no mercado apresenta incidência muito grande de nós e outros defeitos, comprometedores de seu desempenho físico-mecânico e sua qualidade. Entretanto, a norma brasileira para o projeto de estruturas de madeira não contempla procedimentos para a classificação visual da madeira serrada para uso estrutural. O texto de revisão desse código normativo, ainda em discussão, propõe quatro níveis de qualidade (SS; S1, S2 e S3). Tendência internacional recente, como os propostos pelo SPIB e pela norma argentina, reduz o número de classes visuais, facilitando o processo classificatório, desempenhado muitas vezes por graduadores humanos. Este trabalho teve como objetivo estudar a adequação de regras simplificadas de classificação, com redução de quatro para três classes. Os resultados confirmaram a adequação geral das três classes propostas; Em todas as análises foi constatada diferença estatística entre as classes propostas, sobretudo entre as extremas. O ensaio de flexão foi o mais sensível na diferenciação entre as classes propostas. Com uso de uma maior amostra, o critério com três classes poderá ser otimizado, para diferenciação estatística entre valores de resistência à tração e compressão paralela às fibras das classes propostas.

Palavras chave: defeitos, nós, *Pinus spp.*, classificação visual, propriedades mecânicas

Abstract

The use of wood for structural purposes is growing in Brazil. Particularly for structural uses, Pinus spp. has been gaining space, specially with use in prefabricated roof structures. The production of this wood in shorter cycles is decreasing the supply of adult trees with large diameters. The wood available for structural use has the incidence of defects that compromise the mechanical performance of the timber wood. However, the country does not have current standards that govern the visual classification of lumber for such use. The draft standard, still under discussion, includes four distinct visual classes. Recent international trends, such as those proposed by SPIB and the Argentine standard, reduce the number of visual classes, facilitating the process, often performed by human graders. This study aims to check adequacy of simplified procedures for visual grading of Pinus spp., which reduce the four classes originally proposed to three classes. The results confirmed the general adequacy of the propose. They show statistical difference between the proposed classes, especially between the extreme classes. With the use of a large sample, the study can be optimized, to obtain statistical difference for all analyzed properties.

Keywords: defects, knots, *Pinus spp.*, visual grading, mechanical properties

1. INTRODUÇÃO

O uso estrutural da madeira de *Pinus sp.* tem sido crescente no Brasil, sobretudo pela indisponibilidade de madeiras nativas, tradicionalmente usadas nesse segmento e também por razões mercadológicas, que tornam a madeira de *Pinus sp.* uma boa opção, sobretudo quando do uso de estruturas pré-fabricadas. A produção dessa madeira em ciclos mais curtos tem tornado comum o decréscimo constante na oferta de árvores adultas com grandes diâmetros. Além do aspecto da juvenildade, nota-se que a madeira hoje disponível para uso industrial e comercial apresenta uma incidência muito grande de nós e outros defeitos, que podem comprometer significativamente seu desempenho físico mecânico e sua qualidade [1].

O Brasil ainda não adota sistematicamente a classificação (visual e mecânica) de peças de madeira para uso estrutural. Essa prática, aplicada em muitos países, apesar de referenciada no código nacional vigente – NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira [2], não é nele detalhada em termos de seus procedimentos. A qualidade da madeira é contabilizada indiretamente, por meio de um coeficiente de ponderação de resistências (k_{mod3}), igual a 1,0 no caso de madeira de 1ª categoria e 0,8, no caso de 2ª categoria.

Dentre os diversos trabalhos científicos recentes sobre o assunto, pode-se citar o de Carreira [3], que verificou, para os condicionantes nacionais, a adequação das regras do Southern Pine Inspection Bureau [4,5] às madeiras de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* destinadas ao uso estrutural. O método estudado contemplava quatro níveis de qualidade baseados nos defeitos visualmente detectados, que podem comprometer o desempenho estrutural das peças, e dois níveis de densidade, foi considerado eficaz.

Essas constatações serviram de base para a redação de Projeto de norma - Classificação visual de madeira serrada de coníferas, propondo quatro classes de qualidade (SS; S1, S2 e S3), estabelecidas com base nos defeitos visualmente detectados e dois níveis de densidade (D – densa; ND – pouco densa).

Entretanto, constata-se, em tendências mundiais recentes, a simplificação do método de classificação visual das peças, como no caso dos órgãos normativos do Chile [6], da Argentina [7] e do próprio SPIB [8].

Essa postura se justifica pois, na maioria da vezes, o exaustivo trabalho de classificação visual é desempenhado por graduadores humanos. A adoção de um menor número de classes facilita o trabalho e pode minimizar os erros de classificação, causados por confusão entre classes ou mesmo pelo estresse de jornadas de trabalho mais longas. Além disso, no caso brasileiro, a adoção de um padrão nacional mais afinado aos padrões já estabelecidos em países sul-americanos poderia facilitar o mercado internacional entre eles.

Este trabalho tem como objetivo principal a verificação da adequação de regras simplificadas de classificação visual da madeira de *Pinus sp.* a serem adotadas no Brasil, buscando a redução das quatro classes originalmente propostas no projeto de norma (SS, S1, S2 e S3), para três classes visuais (C1, C2 e C3), visando o alinhamento mercadológico entre os países sul-americanos e também a facilitação da prática de classificação visual das peças de madeiras a serem adotadas nas empresas brasileiras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As peças utilizadas no programa experimental foram doadas pela empresa BERNECK, estabelecida em Curitiba-PR, Brasil. Todas tiveram o seu módulo de elasticidade dinâmico (MOE_{din}) previa e não destrutivamente determinado na empresa com uso da máquina Viscan da Microtec®, medindo-se a frequência de vibração longitudinal com interferômetro a laser.

Toda classificação visual e os ensaios mecânicos (não destrutivos e destrutivos) foram realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos (SET/EESC/USP).

2.1. Material

Foram amostradas 125 peças com dimensões nominais de 400 cm x 8,9 cm x 3,85 cm, produzidas a partir de árvores de *Pinus spp.* de plantios comerciais no sudoeste do estado de São Paulo, Brasil. Procurou, na medida do possível, obter quantidades balanceadas de peças em cada uma das quatro classes visuais do SPIB [4,5], ou seja, cerca de 30 peças por classe (SS, S1, S2 e S3).

2.2. Métodos

Classificação Visual

As 125 peças foram classificadas visualmente de acordo com três critérios distintos:

- classificação proposta pelo SPIB [4,5] e já adotada por Carreira [3], aqui referida simplesmente como “SPIB” com 4 classes visuais, denominadas SS, S1, S2 e S3;
- classificação proposta pelo LaMEM/EESC-USP, aqui referida como “Proposta”, com 3 classes visuais, denominadas C1, C2 e C3;
- classificação proposta pela norma argentina Norma Argentina CIRSOC 601 (IRAM, 2013) [7], aqui referida como “Norma Argentina”, com 2 classes visuais denominadas A1 e A2.

A Tabela 1 sumariza os requisitos do Critério “Proposta” em cada uma das suas três classes.

Tabela 1: Quantidade de peças avaliadas visual e mecanicamente

Defeito	Classe C1	Classe C2	Classe C3
Medula	Não se admite		
Nós	1/4	1/2	2/3
Inclin. das fibras (mm/mm)	1/9	1/6	1/3
Fissuras não passantes (m)	O comprimento das fissuras não deve ser maior que 1,0 m e nem 1:4 da comprimento da peça		
Fissuras passantes (m)	Somente se permitem as fissuras passantes nos extremos e o comprimento não deve ser maior do que a largura da peça		

Os critérios escolhidos, apesar de possuírem, no geral, métodos semelhantes para a análise dos defeitos, propositadamente possuem diferentes quantidades de classes visuais, permitindo, assim, uma avaliação da relação entre critérios e suas classes.

A classificação visual foi conduzida analisando-se os defeitos facilmente verificados por graduadores humanos. Foram observadas a presença, dimensões e localização de nós, pequenas fissuras e inclinação das fibras. Não foram incluídas no lote de 125 peças aquelas contendo empenamento excessivo, presença de medula, grandes fissuras e podridão.

O critério SPIB foi utilizado como base para a organização do processo de classificação visual e, depois de sua aplicação, as vigas foram analisadas segundo os outros dois critérios. Utilizaram-se três gabaritos de acrílicos, com as regras de classificação visual correspondentes a cada critério. As vigas foram marcadas (pintura) com a classe atribuída dentro de cada critério.

Ensaio mecânicos

Foram realizados os ensaios mecânicos destrutivos de compressão, tração e flexão, para a determinação das respectivas resistências e, complementarmente, da rigidez à flexão (MOE_{est}). Todos os ensaios realizados seguiram a metodologia preconizada na ISO 13910 [9] que descrevem ensaios utilizando corpos de prova com dimensões estruturais, apresentando um resultado mais verossímil para as peças destinadas a essa função. A Tabela 2 resume a quantidade de peças avaliadas visual e mecanicamente, por classe visual e por ensaio.

Em todos os ensaios, as peças tiveram seu comprimento inicial ajustado, para se adaptarem às prescrições dos códigos normativos. A parte da peça com maior incidência de defeitos foi posicionada nas regiões críticas de cada ensaio, para potencializar a influência dos defeitos no desempenho mecânico.

Tabela 2: Quantidade de peças avaliadas visual e mecanicamente

Critério de classif. visual	Classe	Análise visual e MOE _{din}	Ensaio mecânico			
			Compressão	Tração	MOE _{est}	MOR
SPIB	SS	32	7	8	14	14
	S1	31	7	5	16	16
	S2	31	6	7	15	15
	S3	31	6	7	13	13
Proposta	C1	42	11	9	17	17
	C2	40	7	10	22	22
	C3	43	8	8	19	19
Norma Argentina	A1	50	12	12	20	20
	A2	75	14	15	38	38

Análise dos Resultados

Com os resultados dessas avaliações e ensaios foram realizadas as seguintes análises estáticas:

- Análise de Correspondência Múltipla – técnica multivariada para avaliar a associação entre os resultados dos três critérios de classificação visual, identificando visualmente as possíveis associações simultâneas entre as categorias das três variáveis não métricas analisadas;
- Teste de comparação das propriedades de resistência e rigidez (estática e dinâmica) entre as classes visuais C1, C2 e C3 da “Proposta”.
- Determinação dos valores característicos de resistência e rigidez, segundo o método descrito na ISO 13910 [9].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Classificação visual atribuída às peças

Os resultados da classificação visual das peças estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Quantidade e percentual de peças por classe visual nos critérios utilizados

Critério de classif. visual	Classe	Quantidade	Perc. no grupo (%)
SPIB	SS	32	25,6
	S1	31	24,8
	S2	31	24,8
	S3	31	24,8
Proposta	C1	42	33,6
	C2	40	32,0
	C3	43	34,4
Norma Argentina	A1	50	40,0
	A2	75	60,0

A quantidade equilibrada de peças por classe do critério SPIB, assumida como um condicionante inicial, foi também constatada no critério da “Proposta”, com cerca de um terço de peças em cada

uma de suas três classes. No caso da norma Argentina, observou-se uma concentração maior de peças em sua segunda classe.

No processo de classificação visual, a presença de nós de canto e de borda foi o defeito observado com maior frequência, presente em quase todas as peças, influenciando, majoritariamente, na definição da classe visual. Os esmoados bem como a inclinação das fibras não foram tão condicionantes na classificação visual, situando-se, normalmente, aquém do limite estabelecido para cada classe visual.

3.2. Módulo de elasticidade dinâmico das peças

Nas tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados dos módulos de elasticidade dinâmico das peças.

Pode-se notar a grande variabilidade de valores para o MOE dinâmico, constatado pelos altos valores obtidos para o desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude dos resultados, (máximo e mínimo, encontrados nas classes C1 e C3, respectivamente). Os valores de MOE_{din} médio mais altos pertencem às classes visuais com menos defeitos, isto é, SS, C1 e A1.

Para o critério SPIB, o valor médio obtido para a classe S3 foi maior que o valor médio obtido para a classe S2, contrariando o que era esperado. Já para o critério de classificação visual denominado “Proposta”, os valores obtidos para o MOE_{din} médio das classes C2 e C3 foram muito próximos. Com isso, pode-se concluir que a influência dos defeitos para o MOE dinâmico diminui, conforme a presença dos defeitos aumenta.

Tabela 4: Estatística descritiva dos resultados do módulo de elasticidade dinâmico

Estatística descritiva	
Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	
Valor médio	8170
Desvio Padrão	2730
Coef. Variação	33,41%
Valor mínimo	3631
Valor máximo	17855
Quantidade de peças	125

Tabela 5: Módulo de elasticidade dinâmico médio em cada uma das classes visuais

Critério de classif. visual	Classe	Quantidade	MOE _{din} médio (MPa)
FPL	SS	32	9668
	S1	31	8284
	S2	31	7173
	S3	31	7506
Proposta	C1	42	9332
	C2	40	7691
	C3	43	7481
Norma Argentina	A1	50	8990
	A2	75	7624

3.3. Resistência à compressão paralela das peças

As tabelas 6 e 7 reportam os resultados obtidos para o ensaio de compressão.

Tabela 6: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de compressão paralela às fibras

Estatística descritiva	
Resistência à compressão paralela às fibras (MPa)	
Valor médio	22,53
Desvio Padrão	5,87
Coef. Variação	26,07%
Valor mínimo	12,52
Valor máximo	33,09
Quantidade de peças	26

O coeficiente de variação elevado e os modos de ruptura observados nos ensaios evidenciam a influência dos defeitos na resistência à compressão da madeira. De fato, para lotes de corpos de prova com presença de defeitos e com dimensões estruturais [9], é esperado um coeficiente de variação das propriedades mecânicas superior àquele de lotes com corpos de prova de pequenas dimensões e isentos de defeitos (C.V. \approx 15%).

Tabela 7: Resistências médias à compressão paralela às fibras em cada uma das classes visuais

Critério de classif. visual	Classe	Quantidade	Resistência média à compressão paralela às fibras (MPa)
SPIB	SS	7	28,24
	S1	7	24,79
	S2	6	16,25
	S3	6	19,53
Proposta	C1	11	25,37
	C2	7	22,10
	C3	8	19,00
Norma Argentina	A1	12	25,54
	A2	14	20,19

O modo de ruptura observado com maior frequência foi a ruptura por esmagamento na região dos nós. Observou-se uma gradual redução das resistências médias para cada classe dentro de cada critério, demonstrando a influência dos defeitos nos valores médios de resistência na madeira ($f_{c0,C1} = 25,84$ MPa; $f_{c0,C2} = 22,10$ MPa; $f_{c0,C3} = 19,00$ MPa). O valor médio encontrado para resistência à compressão paralela às fibras (22,53 MPa) é próximo daquele obtido para a classe intermediária (C2) do critério proposto (22,10 MPa), evidenciando a distribuição centrada das resistências, em torno da classe intermediária.

3.4. Resistência à tração paralela das peças

Na tabela 8 são apresentados os resultados estatísticos da resistência à tração das peças.

De maneira mais acentuada que a observada nos ensaios de compressão, evidenciou-se o elevado coeficiente de variação dos resultados do lote ensaiado à tração. Os defeitos visualmente detectados, principalmente os nós soltos e fissuras, afetaram muito a resistência à tração da madeira. Nos ensaios foi possível associar os menores valores de resistência à tração à presença desses dois defeitos citados.

Tabela 8: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de tração paralela às fibras

Estatística descritiva	
Resistência à tração paralela às fibras (MPa)	
Valor médio	26,69
Desvio Padrão	20,04
Coef. Variação	75,06%
Valor mínimo	10,21
Valor máximo	91,93
Quantidade de peças	27

A Tabela 9 sumariza as resistências médias à tração paralela às fibras em cada uma das classes visuais dos critérios estudados. Observa-se novamente uma grande influência dos defeitos analisados na média amostral da resistência à tração paralela às fibras, com sua redução conforme a maior incidência de defeitos, de acordo com os valores médios de resistência para as três classes ($f_{0,C1} = 42,12$ MPa; $f_{0,C2} = 20,92$ MPa; $f_{0,C3} = 16,56$ MPa).

Uma boa compatibilidade entre o método de classificação proposto e a distribuição das peças é confirmada pelo fato da classe visual intermediária de defeitos (C2) apresentar um valor de resistência (20,92 MPa) próximo do valor médio de resistência (26,69 MPa).

Tabela 9: Resistências médias à tração paralela às fibras em cada uma das classes visuais.

Critério de classif. visual	Classe	Quantidade	Resistência média à tração paralela às fibras (MPa)
SPIB	SS	8	47,86
	S1	5	25,45
	S2	7	14,25
	S3	7	15,84
Proposta	C1	9	42,12
	C2	10	20,92
	C3	8	16,56
Norma Argentina	A1	12	39,35
	A2	15	16,57

3.5. Resistência e Rigidez à flexão das peças

Na tabela 10 e 11 são apresentados os valores de resistência e rigidez (MOE_{est}) obtidos no ensaio de flexão das 58 peças.

Tabela 10: Estatística descritiva dos resultados do ensaio de flexão

Estatística descritiva – ensaio de flexão estática		
	MOE (MPa)	MOR(MPa)
Valor médio	7434	36,87
Desvio Padrão	2152	15,18
Coef. Variação	28,95%	41,17
Valor mínimo	3520	12,88
Valor máximo	13310	84,80
Quantidade de peças	58	58

Tabela 11: Valores médios de MOR e MOE para cada uma das classes visuais

Critério de classif. visual	Classe	Quantidade	MOE _{est} (MPa)	MOR (MPa)
SPIB	SS	8	8941	51,75
	S1	5	7733	39,07
	S2	7	6772	31,46
	S3	7	6208	24,36
Proposta	C1	9	9052	48,49
	C2	10	7267	36,22
	C3	8	6177	27,79
Norma Argentina	A1	12	8699	46,11
	A2	15	6769	32,00

Os valores máximos e mínimos de MOE e MOR são, respectivamente, das peças pertencentes às classes C1 e C3. Observa-se a grande variabilidade dos resultados tanto para o MOE como para o MOR, representados pelo alto valor do coeficiente de variação.

A influência dos defeitos visuais foi maior para as características de resistência do que para as características de rigidez. Peças com a presença de grandes nós soltos e fissuras na região central das peças (região de máxima tensão) tiveram suas resistências diminuídas, resultando, muitas vezes, na ruptura no local do defeito analisado.

Os valores médios de MOR e MOE do lote (Tabela 10) são muito próximos daqueles obtidos para a classe C2 (Tabela 11). Como esperado, percebe-se uma gradual redução do valor médio de MOE e MOR com a queda de classe devido a presença de defeitos mais críticos.

3.6. Análise de Correspondência Múltipla entre as classes

A técnica multivariada de Análise de Correspondência Múltipla foi empregada com o objetivo de avaliar a associação entre os resultados dos três critérios, identificando visualmente as possíveis associações simultâneas entre suas classes (variáveis não métricas).

Foram consideradas três variáveis categóricas, correspondentes aos três critérios de classificação:

- SPIB: com as seguintes classes: SS, S1, S2 e S3
- Proposta: com as seguintes classes: C1, C2, C3
- IRAM: com as seguintes classes: A1 e A2

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 1. As duas coordenadas consideradas explicam 88,1% da variabilidade total dos dados, sendo que a primeira apresenta a maior proporção da variabilidade explicada (64,8%).

Na primeira coordenada, observa-se um contraste entre o grupo de classes formado por (A1, C1 e SS – classes superiores) em relação ao grupo formado por (C3, S3 e A2 – classes inferiores), que denota heterogeneidade entre estes grupos. A classe C1 apresenta proporções elevadas das categorias A1 e SS, enquanto a classe C3 apresenta proporções elevadas de categorias S3 e A2. Destaca-se também que a primeira coordenada expressa adequadamente a posição intermediária da classe C2 – Proposta – em relação a esses dois grupos – superior e inferior.

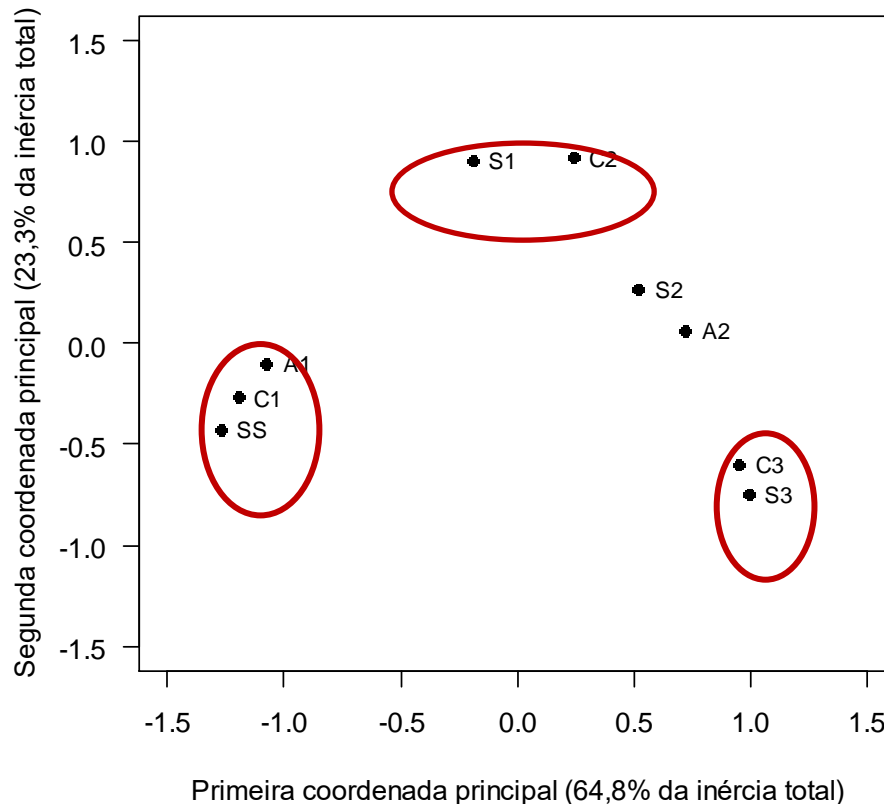


Figura 1: Análise de correspondência múltipla

Da mesma forma, na segunda coordenada, percebe-se uma heterogeneidade entre S1 e C2 com as categorias C3 e S3. Observa-se que a classe A2, da norma argentina, posicionou-se entre as classes C2 e C3 da proposta e mais próxima de S2 do que de S3 do critério SPIB.

Esses resultados confirmam a expectativa inicial de que a classe C1 proposta estivesse bem associada a SS e A1 (classes superiores dos outros dois critérios), enquanto a classe C3 tivesse associação forte com S3 (classe inferior do critério SPIB). A posição intermediária da classe C2 – Proposta – foi também detectada na análise de correspondência utilizada.

3.7. Comparação das propriedades entre as classes propostas

A Tabela 12 apresenta os resultados do teste de Kruskal Wallis para comparação dos resultados de cada uma das propriedades dentro das classes propostas (C1, C2 e C3). O teste de Kruskal Wallis é não paramétrico e foi utilizado devido à não adequação dos dados às suposições de normalidade ou homocedasticidade de variâncias, complementado com o teste de comparações múltiplas.

Para todas as propriedades, foi observada diferença estatística entre as classes extremas (C1 e C3). Observa-se, ainda, que as propriedades MOE e MOR foram estatisticamente diferentes em todas as três classes. O mesmo não ocorreu com as propriedades MOE_{din}, resistência à compressão paralela e resistência à tração paralela. Nessas últimas propriedades, houve igualdade estatística entre as classes C2 e C3. Particularmente para a resistência à compressão paralela houve também igualdade estatística entre as classes C1 e C2, ou seja, essa propriedade só revelou diferença estatística dos valores entre as classes extremas (C1 e C3).

Do ponto de vista tecnológico, pode-se afirmar que a classificação proposta foi efetiva na diferenciação das propriedades de flexão (resistência e rigidez) das classes.

Tabela 12: Valores das propriedades em cada classe da proposta: média (desvio padrão) e mediana (Q1-Q2)

Propriedade	Classes da Proposta			Valor p
	C1	C2	C3	
MOEdin (GPa)	9,33 (3,30) 8,93 (6,81-11,79) a	7,69 (1,94) 7,58 (6,44-8,73) b	7,48 (2,41) 7,38 (5,80-8,44) b	0,017
MOE (GPa)	9,05 (2,52) 8,57 (7,39-11,20) a	7,27 (1,55) 7,37 (6,11-7,84) b	6,18 (1,44) 6,19 (5,26-7,14) c	<0,001
MOR (MPa)	48,49 (24,65) 48,54 (34,46-58,73) a	36,22 (14,12) 32,96 (25,47-41,28) b	27,79 (8,81) 26,07 (22,62-34,61) c	0,002
Comp. (MPa)	25,37 (5,87) 25,04 (22,81-29,52) a	22,10 (5,90) 21,47 (17,89-25,49) ab	19,01 (4,13) 21,47 (16,10-21,47) b	0,041
Tração (MPa)	42,12 (24,65) 35,61 (28,60-46,99) a	20,92 (15,12) 17,22 (11,30-20,79) b	16,56 (5,66) 16,05 (11,02-21,89) b	0,015

3.8. Valores característicos de resistências e rigidezes para as classes do critério proposto

Os valores característicos de resistências e rigidezes, calculados pela ISO 13910 [9] mostraram sobreposição entre as três classes visuais propostas (Tabelas 13 e 14). Esse comportamento esteve associado à reduzida quantidade de peças ensaiadas em cada classe, promovendo grande amplitude nas suas definições (limites superior e inferior). Resultados adicionais, em fase de consolidação, permitirão realizar um ajuste nesses intervalos de cada uma das classes propostas (C1, C2 e C3). Nessa nova condição, o processo poderá ser mais facilmente aplicado no país, facilitando o mercado internacional.

Tabela 13: Valores característicos de resistência (limite inferior e limite superior do 5 percentil) das classes propostas

Valores característicos de resistência			
Classe	Compressão (MPa)	Tração (MPa)	MOR (MPa)
Quantidade	26	27	58
C1	(15,88 - 21,68)	(6,69 - 21,07)	(24,00 - 35,03)
C2	(11,25 - 18,33)	(5,52 - 16,66)	(16,87 - 25,07)
C3	(9,57 - 15,29)	(6,83 - 13,48)	(11,26 - 16,38)

Tabela 14: Valores característicos das rigidezes (5-percentil e valor médio) das classes propostas

Valores característicos de rigidez		
Classe	MOEdin (MPa)	MOEst (MPa)
Quantidade	125	58
C1	(4839,6 - 9335,9)	(4884,2 - 9052,4)
C2	(4427,0 - 7691,3)	(5042,0 - 7266,8)
C3	(4543,3 - 7482,1)	(3875,5 - 6176,8)

4. CONCLUSÕES

A conclusão maior obtida com este trabalho é que os resultados confirmaram a adequação geral das três classes propostas e que o objetivo de redução do número de classes visuais para três foi atingido com o critério proposto. Ela está amparada pelas seguintes constatações:

- houve distribuição equilibrada das peças nas três classes propostas;
- houve boa correspondência múltipla entre as classes extremas dos três critérios (SS, C1 e A1; S3, C3 e A2), que denota heterogeneidade entre estes grupos.
- os valores (medianas) representativos das propriedades de flexão nas classes possibilitaram suas diferenciações estatísticas;
- o critério proposto conseguiu segregar bem a influência dos defeitos visuais (em função da severidade) na qualidade estrutural da madeira.

Os valores característicos de resistências e rigidezes, calculados pela ISO 13910 [9] mostraram sobreposição entre as três classes visuais propostas, comportamento condicionado, sobretudo, à reduzida quantidade de peças ensaiadas em cada classe, promovendo grande amplitude nas suas definições (limites superior e inferior).

Pode-se afirmar que as classes visuais escolhidas pelo critério “Proposta”, obtiveram uma boa correspondência com as normas de classificação visual já existentes. Além disso, conseguiram dividir as peças amostradas, de acordo com a classificação visual, em lotes equilibrados e com características físico-mecânicas diferentes, verificadas estatisticamente pelo teste de Kruskal-Wallis. Sendo assim, a proposta de classificação visual conseguiu segregar lotes de peças visualmente e mecanicamente diferentes.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Ballarin, A.W. e Lara Palma, H. A. ‘Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de Pinus taeda L’. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 371-380, 2003.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7190/97: ‘Projeto de estruturas de madeira’, 1997.
- [3] Carreira, M.R. ‘Critérios para a classificação de peças estruturais de Pinus sp’. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). EESC-USP, 2003.
- [4] Southern Pine Inspection Bureau (SPIB). ‘Standard grading rules for southern pine lumber’. Pensacola, Fla. 1994
- [5] Southern Pine Inspection Bureau (SPIB). ‘Standard grading rules for southern pine lumber’. Pensacola, Fla. 1999.
- [6] NCh 1207: 1990 – Pino Radiata – ‘Clasificación visual para uso estructural’ – especificaciones de los grados de calidad.
- [7] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Norma IRAM 9662-3: ‘Madera laminada encolada estructural: Clasificación visual de las tablas por resistencia: Parte 3 - Tablas de pino taeda y elliotti (Pinus taeda y elliottii)’. Buenos Aires, 2013.
- [8] Southern Pine Inspection Bureau (SPIB). ‘Standard grading rules for Southern Pine lumber’. Pensacola, Fl: SPIB, 2014. 247 p.
- [9] International Organization for Standardization - ISO 13910 – ‘Structural timber – Characteristic values of strength – graded timber – Sampling, full-size testing and evaluation’. 2005