

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PEÇAS COM DIMENSÕES ESTRUTURAIS DE *Pinus* spp: CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO VISUAL¹

Juliano Fiorelli², Antônio Alves Dias³ e Bruno Coiado⁴

RESUMO – A redução da disponibilidade de espécies de madeiras nativas e seus efeitos na economia, associada ao fortalecimento dos conceitos de preservação ambiental, criou a necessidade de desenvolvimento de alternativas viáveis para utilização racional de espécies de reflorestamento. E uma das opções é a realização de classificação visual das peças. Autores de trabalhos desenvolvidos nessa linha de pesquisa verificaram a adequação das regras de classificação visual do *Southern Pine Inspection Bureau (SPIB)* dos EUA à madeira de *Pinus* do Brasil e apresentaram proposta para normalizar o processo de classificação visual dessa madeira. Nessa classificação, os aspectos com maior influência são: presença de nós, desvio de grã em relação ao eixo da peça e densidade de anéis de crescimento. Assim, esta pesquisa apresenta um estudo experimental que consistiu na classificação visual e determinação da resistência à tração de 85 peças de *Pinus* spp e um estudo teórico, que propôs uma equação para determinar a resistência à tração média de peças estruturais em função da classificação visual. Com este trabalho, foi possível observar a influência dos nós e dos anéis de crescimento sobre a resistência à tração das peças analisadas.

Palavras-chave: Classificação visual, resistência à tração e *Pinus*.

MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL PIECES OF *Pinus* spp: RELATIONSHIP BETWEEN TENSILE STRENGTH AND VISUAL GRADING

ABSTRACT – *The reduction in the availability the native lumber species and its effects on the economy, associated to the invigoration of the concepts of environmental preservation created the necessity of the development of viable alternatives for rational use of reforestation species. One of the options is the accomplishment of visual grading of the pieces. Research works verified the adaptation of the rules of visual grading of Southern Pine Inspection Bureau (SPIB) of the USA for the Brazilian lumber *Pinus*, presenting a proposal to normalize the process of visual grading of this lumber. In this classification, the most important aspects are the presence of knots, the inclination of the grain in relation of the axis of the piece and the density of growth rings. Therefore, the current work presents an experimental study consisting of a visual grading and determination of the stress strength of 85 *Pinus* spp pieces and a theoretical study that presents an equation to establish the average strength strain of structural pieces according to the visual grading. With this work, it was possible to observe the influence of the knots and growth rings in stress strength of the analyzed pieces.*

Keywords: Visual grading, stress strength and *Pinus*.

1. INTRODUÇÃO

A produção de madeira para fins estruturais vem aumentando, e torna-se cada dia mais evidente a importância do respectivo material no contexto mundial. A redução da disponibilidade de espécies de madeiras nativas e seus efeitos na economia, associada ao

fortalecimento dos conceitos de preservação ambiental, criou a necessidade do desenvolvimento de alternativas viáveis para a utilização racional de espécies provenientes de florestas plantadas. No Brasil, o solo e as condições climáticas (luz e umidade) são altamente favoráveis para a formação de florestas de *Pinus*, as

¹ Recebido em 28.09.2007 e aceito para publicação em 29.05.2009.

² Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (USP). E-mail: <julianofiorelli@usp.br>.

³ Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC/USP. E-mail: <dias@sc.usp.br>.

⁴ Graduando em Engenharia Civil da EESC/USP.



quais apresentam produtividades médias variando de 20 a 28 m³/ha.ano e 25 a 35 m³/ha.ano, podendo chegar até 40 m³/ha.ano (EMBRAPA, 2008). No entanto, como resultado desse crescimento acelerado, a madeira proveniente dessas florestas apresenta baixa densidade e muitos nós, tornando imprescindível a realização de uma classificação antes de ser utilizada como componente estrutural (CARREIRA e DIAS, 2005).

Uma classificação simples de ser realizada e eficiente para selecionar peças de madeira é a visual, pela qual são identificados defeitos como nós, desvio de grã, rachaduras e presença de medula, os quais afetam negativamente as propriedades mecânicas da madeira.

Carreira e Dias (2005) propuseram um método de classificação visual para a madeira do gênero *Pinus* do Brasil, baseado no Southern Pine Inspection Bureau (SPIB) dos EUA. A classificação proposta consiste no exame das quatro faces e das duas extremidades (seções transversais) de cada peça. Nas faces são avaliados o comprimento das peças, a localização e a natureza dos nós, o desvio de grã, os empenamentos e as fendas, sendo atribuído um nível de qualidade visual em função da ocorrência e dimensão desses defeitos. Nas extremidades das peças são observadas as quantidades de anéis de crescimento, concomitantemente com a quantidade de madeira de lenho inicial ou primaveril presente em 2,5 cm, medidos em uma linha radial representativa, atribuindo à peça um nível de densidade de anéis. Portanto, a classificação visual avalia tanto a qualidade visual – denotada pela quantidade de defeitos, enquadrando as peças em quatro classes: Estrutural Especial (SE), Estrutural nº 1 (S1), Estrutural nº 2 (S2) e Estrutural nº 3 (S3) – quanto a densidade de anéis da madeira: Densa (D) e Não Densa (ND).

Segundo Calil Junior et al. (2003), quanto maior a densidade da madeira, maior a quantidade de madeira por volume e, como consequência, a resistência aumenta. O desvio de grã da madeira em relação a uma linha paralela à borda também influencia significativamente as propriedades da madeira, e os nós, que são originários dos galhos existentes nos troncos das árvores, também reduzem sua resistência pelo fato de interromperem a continuidade e a direção das fibras. Entretanto, essa influência varia de acordo com o tamanho do nó, localização, forma, firmeza e tipo de tensão considerada.

Em relação às propriedades mecânicas de peças com dimensões estruturais, atualmente as principais

pesquisas em desenvolvimento na área da madeira e os principais documentos normativos nacionais e internacionais utilizam valores de resistência, determinados por meio de ensaios em corpos-de-prova de pequenas dimensões. Essas avaliações, apesar de serem mais fáceis de execução e de exigirem um recurso financeiro menor, principalmente em relação a equipamento de ensaio e material, não retratam a realidade das propriedades mecânicas do material.

Um exemplo da utilização de corpos-de-prova de pequenas dimensões foi apresentado por Trevisan et al. (2007), que avaliaram algumas propriedades físicas e mecânicas de várias espécies de madeira, seguindo as recomendações estabelecidas na norma NBR 6230/40 – Ensaios físicos e mecânicos de madeiras.

Lobão et al. (2004) realizaram um estudo para determinar as propriedades mecânicas de madeira da espécie *Eucalyptus*. Foram realizados ensaios para determinar a resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão perpendicular às fibras, resistência à tração paralela às fibras, resistência ao cisalhamento paralelo às fibras e resistência à flexão. A caracterização mecânica foi realizada de acordo com as recomendações da Norma NBR 7190/97 – Projeto de Estruturas de Madeira, por meios de ensaios com corpos-de-prova de pequenas dimensões.

Coiado (2004) inovou o processo de caracterização mecânica da madeira e quantificou a influência dos nós, da densidade e do desvio da grã na resistência à tração de peças estruturais de *Pinus*. Como resultados, esse autor afirmou que em peças defeituosas, na maioria das vezes, a ruptura ocorre na região dos defeitos.

Baseando-se na premissa de que as propriedades mecânicas de peças estruturais diferem dos corpos-de-prova isentos de defeitos em função da presença de características de crescimento que podem ser notadas e avaliadas pelo olho humano, este trabalho apresenta uma avaliação da resistência à tração paralela às fibras de peças de *Pinus* ssp, com dimensões estruturais, relacionando-a com a classificação visual efetuada segundo o critério recomendado por Carreira e Dias (2005). Posteriormente, foi realizado um estudo que correlaciona a resistência à tração de peças estruturais e de peças isentas de defeitos, possibilitando quantificar a diferença entre elas. A finalidade deste estudo foi obter correlação significativa que permita prever a resistência média à tração de peças com dimensões

estruturais, em função dos anéis de crescimento e da porcentagem de defeitos nela presentes e também correlacionar a resistência à tração de peças estruturais com corpos-de-prova isentos de defeitos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizada inicialmente uma avaliação visual de um lote de 85 peças de madeira do gênero *Pinus* spp, proveniente de florestas plantadas, da região de Lages, Santa Catarina. As peças apresentavam dimensões nominais de 38 mm x 120 mm x 2.500 mm. Inicialmente, as peças de madeira foram, então, classificadas visualmente, seguindo os procedimentos estabelecidos por Carreira e Dias (2005). Posteriormente, foram realizados ensaios de tração paralela às fibras da madeira, nas peças com dimensões estruturais, sendo obtida a resistência à tração de cada peça. Após a realização desses ensaios, foram extraídos corpos-de-prova de tração paralela às fibras, isentos de defeitos. As dimensões dos corpos-de-prova e o método de avaliação seguiram as recomendações da Norma Brasileira de Madeiras – NBR-7190/97 – Projeto de Estruturas de Madeiras, da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Os itens seguintes apresentam, de maneira detalhada, os procedimentos adotados para a classificação visual e para a realização dos ensaios.

2.1. Classificação visual

A classificação visual foi realizada seguindo os procedimentos estabelecidos por Carreira e Dias (2005). Por meio da observação das peças de madeira, foram avaliadas a quantidade de anéis de crescimento e a proporção de madeira de lenho primaveril presente em sua seção transversal, bem como o desvio de grã e a proporção da área da seção transversal ocupada pelos nós mais críticos, em cada peça.

2.2. Ensaios em peças estruturais

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo (USP), utilizando o equipamento para ensaio de tração em peças com dimensões estruturais da marca Metriguard, modelo 422, capacidade para 1.000 kN. Além da carga de ruptura, foi observada a ocorrência de defeitos na região de ruptura, como: (nós, desvio de grã etc.). Os ensaios foram conduzidos segundo os procedimentos

da ASTM D-198/97 – Methods of Static Tests of Timbers in Structural Sizes, da American Society for Testing and Materials, por não haver no Brasil norma equivalente para avaliação de peças estruturais.

2.3. Ensaio de tração em corpos-de-prova isentos de defeitos

Os corpos-de-prova isentos de defeitos foram extraídos das peças estruturais após o ensaio de tração paralela às fibras, de locais que não foram danificados na 1ª avaliação. Para os ensaios de tração foi determinada a resistência dos corpos-de-prova, seguindo-se os procedimentos da Norma NBR 7190/97. Todos os ensaios com corpos-de-prova foram realizados na Máquina Universal de Ensaios AMSLER, com capacidade para 250 kN.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item foram descritos os resultados obtidos na avaliação experimental [classificação visual, resistência à tração em peças com Dimensão Estrutural (DE) e resistência à tração em corpos-de-prova isentos de defeitos (ID)]. Na Tabela 1 são apresentados dados obtidos durante a avaliação experimental, referente aos corpos-de-prova de dimensão estrutural (DE) e isentos de defeitos (ID), como: quantidade de anéis de crescimento, classificação visual, carga de ruptura dos corpos-de-prova de dimensão estrutural, existência de defeitos, área da seção transversal de corpos-de-prova de dimensão estrutural, resistência à tração dos corpos-de-prova de dimensões estruturais, tipo de ruptura dos corpos-de-prova de dimensões estruturais e proporção da área transversal ocupada pelo defeito (K_a), área de seção transversal de corpos-de-prova isentos de defeitos, carga de ruptura dos corpos-de-prova isentos de defeitos e resistência de corpos-de-prova isentos de defeitos. A Figura 1 ilustra alguns tipos de rupturas comentados.

3.1. Correlação entre classificação visual e tipo de ruptura

A classificação visual do lote de madeira avaliado permitiu agrupá-lo em diferentes classes, proporcionando a formação de lotes menos heterogêneos. Uma análise das peças de madeira com dimensões estruturais avaliadas possibilita afirmar que as madeiras com maior densidade de anéis e com nós apresentaram ruptura, na grande maioria dos casos, com relação a esse defeito. Isso demonstra a importância da classificação visual da madeira do gênero *Pinus*, reforçando a ideia de se utilizarem peças estruturais classificadas.

Tabela 1 – Resultados experimentais
Table 1 – Experimental results

Dimensão Madeira	Estrutural								Isentos de Defeitos		
	Nº de anéis	Classif. Visual	Carga Rup. (KN)	Defeito DE	Área (cm ²) DE	Resistência DE (MPa)	Tipo de ruptura	Ka (%)	Área ID (mm ²)	Carga Rup. (KN)	Resist. ID (MPa)
1	6	SE-D	268	Não	45,85	58,45	Normal	0,00	392,94	16,5	41,99
2	6	SE-D	221	Não	44,8	49,33	Garra	0,00	320,95	18,6	57,95
3	6	S1-D	192	Não	50,92	37,71	Normal	0,00	364,91	13,5	37
4	6	SE-D	361	Não	44,2	81,67	Normal	0,00	354,88	40,1	113
5	6	SE-D	225	Não	46,62	48,26	Normal	0,00	361,15	24,3	67,29
6	6	SE-D	311	Não	46,99	66,18	Normal	0,00	347,44	27,0	77,71
7	3	S1-ND	100	Não	42,57	23,49	Garra	0,00	393,03	19,8	50,38
8	5	SE-D	166	Sim	48,24	34,41	Nó	0,15	322,86	19,8	61,33
9	3	S1-ND	87	Sim	45,22	19,24	Nó	0,25	328,22	20,8	63,37
10	7	SE-D	145	Sim	44,54	32,56	Nó	0,23	332,45	21,2	63,77
11	7	SE-D	378	Não	42,84	88,24	Normal	0,00	379,36	45,7	120,47
12	5	SE-D	346	Não	41,91	82,56	Normal	0,00	366,62	36,7	100,1
13	4	SE-ND	165	Sim	43,89	37,59	Nó	0,28	334,36	13,5	40,38
14	9	SE-D	255	Sim	42,56	59,92	Normal	0,00	339,28	36,0	106,11
15	5	SE-D	194	Não	45,22	42,9	Normal	0,00	371,69	21,8	58,65
16	5	SE-D	173	Sim	42,56	40,65	Nó	0,10	393,81	21,6	54,85
17	5	SE-D	310	Sim	46,24	67,04	Nó	0,05	392,24	24,4	62,21
18	4	SE-D	123	Sim	44,45	27,67	Nó	0,23	383,76	13,7	35,7
19	6	SE-D	313	Não	47,25	66,24	Normal	0,00	289,66	25,0	86,31
20	5	SE-D	302	Não	46,44	65,03	Normal	0,00	416,38	27,5	66,05
21	6	SE-D	264	Não	41,92	62,98	Normal	0,00	377,82	34,9	92,37
22	4	SE-D	190	Não	43,52	43,66	Normal	0,00	370,51	23,8	64,24
23	4	SE-D	142	Sim	42,88	33,12	Nó	0,30	311,8	27,6	88,52
24	4	SE-D	326	Não	45,22	72,09	Normal	0,00	323,61	22,5	69,53
25	7	S2-D	139	Sim	45,56	30,51	Nó	0,21	332,85	37,0	111,16
26	4	SE-D	156	Sim	43,23	36,09	Nó	0,10	286,12	31,2	109,04
27	4	S2-D	128	Sim	46,44	27,56	Nó	0,08	350,45	12,0	34,24
28	3	SE-ND	168	Sim	44,55	37,71	Nó	0,40	239,93	22,1	92,11
29	3	SE-ND	166	Não	45,9	36,17	Garra	0,00	320,22	20,2	63,08
30	6	SE-D	175	Não	43,89	39,87	Normal	0,00	411,22	44,5	108,21
31	5	SE-D	207	Sim	42,24	49,01	Normal	0,00	351,47	20,5	58,33
32	4	SE-D	282	Não	43,23	65,23	Normal	0,00	416,33	30,7	73,74
33	5	SE-D	294	Não	43,23	68,01	Normal	0,00	343,47	33,0	96,08
34	4	SE-D	355	Não	41,6	85,34	Normal	0,00	369,04	69,5	188,33
35	5	SE-D	211	Não	43,23	48,81	Normal	0,00	411,35	20,0	48,62
36	8	SE-D	356	Sim	42,16	84,44	Nó	0,05	385,48	51,4	133,34
37	6	S1-D	148	Sim	44,88	32,98	Nó	0,23	371,5	27,5	74,02
38	7	SE-D	165	Sim	45,22	36,49	Nó	0,19	383,45	40,0	104,31
39	5	SE-D	273	Sim	47,6	57,35	Nó	0,00	308,22	30,0	97,33
40	1	S2-SC	20	Sim	45,56	4,39	Nó	0,30	320,31	11,0	34,34
41	5	S3-D	41	Sim	43,23	9,48	Nó	0,70	401,44	28,2	70,25
42	6	SE-D	159	Não	44,88	35,43	Fibra	0,00	369,27	3,3	8,94
43	5	SE-D	233	Sim	44,54	52,31	Nó	0,15	385,27	24,8	64,37
44	7	SE-D	196	Sim	46,24	42,39	Nó	0,10	368,44	33,5	90,92
45	5	S1-D	262	Não	45,9	57,08	Normal	0,00	360,42	28,5	79,07
46	6	SE-D	272	Sim	44,55	61,05	Nó	0,15	387,51	24,0	61,93
47	5	SE-D	228	Sim	39,04	58,4	Normal	0,00	392,71	34,2	87,09
48	6	SE-D	275	Sim	40,92	67,2	Nó	0,10	385,76	73,5	190,53

Continua ...
Continued ...

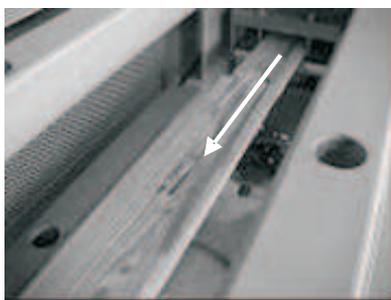
Tabela 1 – Cont.

Table 1 – Cont.

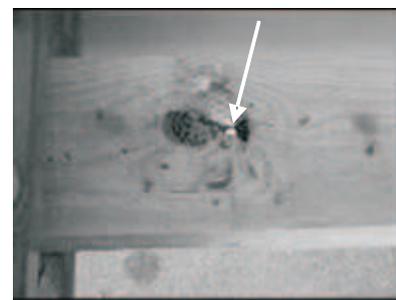
Dimensão Madeira	Nº de anéis	Classif. Visual	Carga Rup. (KN)	Estrutural					Isentos de Defeitos		
				Defeito DE	Área (cm ²) DE	Resistência DE (MPa)	Tipo de ruptura	Ka (%)	Área ID (mm ²)	Carga Rup. (KN)	Resist. ID (MPa)
49	4	SE-ND	110	Sim	43,18	25,47	Nó	0,30	421,12	18,5	43,93
50	6	SE-D	323	Não	45,9	70,37	Normal	0,00	416,82	61,8	148,27
51	5	SE-D	230	Sim	43,86	52,44	Normal	0,00	403,69	46,0	113,95
52	7	SE-D	323	Não	43,52	74,22	Normal	0,00	368,28	55,5	150,7
53	6	SE-D	125	Sim	46,08	27,13	Nó	0,15	400,06	43,5	108,73
54	2	SE-ND	80	Sim	46,58	17,17	Nó	0,50	383,35	18,0	46,95
55	3	SE-ND	34	Sim	48,65	6,99	Nó	0,15	370,11	14,0	37,83
56	3	S3-ND	43	Sim	46,92	9,16	Nó	0,80	339,58	15,0	44,17
57	4	S3-ND	65	Sim	46,24	14,06	Nó	0,80	370,48	15,0	40,49
58	3	S1-D	47	Sim	49,68	9,46	Nó	0,45	432,51	15,0	34,68
59	2	S1-ND	69	Sim	44,55	15,49	Nó	0,15	376,21	11,8	31,37
60	3	S2-ND	74	Sim	49,32	15	Normal	0,00	372,07	17,8	47,84
61	2	S2-ND	37	Sim	47,26	7,83	Nó	0,40	385,94	14,6	37,83
62	3	S3-D	85	Sim	51,06	16,65	Nó	0,50	318,93	7,50	23,52
63	4	SE-D	162	Sim	46,24	35,03	Nó	0,22	306,22	21,0	68,58
64	1	S3-SC	30	Sim	46,92	6,39	Normal	0,00	369,15	10,5	28,44
65	2	S3-ND	39	Sim	52,06	7,49	Nó	0,40	321,44	5,50	17,11
66	1	S3-ND	23	Sim	49,68	4,63	Normal	0,00	401,29	10,4	25,92
67	2	S1-ND	86	Sim	46,24	18,6	Fibra	0,00	380,13	9,60	25,25
68	4	S3-ND	102	Sim	44,88	22,73	Nó	0,30	387,43	18,6	48,01
69	2	S1-ND	79	Sim	44,88	17,6	Nó	0,35	313,36	16,2	51,7
70	2	S3-D	21	Sim	45,21	4,64	Nó	0,30	355,06	13,5	38,02
71	4	S2-D	118	Sim	48,6	24,28	Nó	0,30	395,85	15,6	39,41
72	3	S1-ND	70	Sim	46,58	15,03	Normal	0,00	381,83	13,1	34,31
73	3	S2-ND	40	Sim	47,95	8,34	Nó	0,40	404,56	21,0	51,91
74	2	S3-ND	14	Sim	46,58	3,01	Normal	0,00	404,15	13,2	32,66
75	3	S3-ND	36	Sim	47,95	7,51	Nó	0,70	415,19	17,3	41,67
76	2	S3-ND	17	Sim	48,65	3,49	Normal	0,00	367,36	13,0	35,39
77	4	S3-ND	82	Sim	46,92	17,48	Fibra	0,00	362,68	17,0	46,87
78	3	S2-ND	20	Sim	47,6	4,2	Nó	0,40	349,51	10,8	30,9
79	4	S1-ND	102	Sim	46,92	21,74	Nó	0,30	430,39	22,9	53,21
80	3	S3-ND	37	Sim	50,04	7,39	Nó	0,80	373,77	14,3	38,26
81	3	S3-D	85	Sim	45,87	18,53	Garra	0,00	347,53	14,7	42,3
82	2	S3-ND	33	Sim	47,6	6,93	Nó	0,25	389,92	16,5	42,32
83	2	S3-ND	50	Sim	45,54	10,98	Nó	0,40	380,31	17,8	46,8
84	4	S1-ND	55	Sim	46,24	11,89	Nó	0,40	371,91	30,7	82,55
85	2	S3-D	22	Sim	47,95	4,59	normal	0,00	389,68	13,7	35,16



Ruptura na medula



Ruptura nas fibras inclinadas



Ruptura no nó

Figura 1 – Tipos de rupturas.

Figure 1 – Rupture types.

A mesma análise das madeiras menos densas, pertencentes ao lote avaliado, identificou que a ruptura nem sempre ocorreu nos defeitos, mas sim em seções sem defeitos, por se tratar de madeiras menos resistentes.

3.2. Determinação da correlação entre classificação visual e resistência à tração de peças com dimensão estrutural

Este item apresenta um estudo teórico, realizado por meio de uma análise estatística de regressão que considerou a influência do número de anéis de crescimento e do percentual da área transversal ocupada pelos nós sobre a resistência à tração de peças de madeira com dimensões estruturais. A análise foi realizada utilizando-se o software MINITAB, versão 13. A primeira análise utilizou 85 valores obtidos nos ensaios experimentais, apresentados na Tabela 1, e forneceu os resultados que estão descritos na Tabela 2.

Com esses valores, foi possível gerar a equação de regressão (1), que descreve a relação da resistência à tração em função do número de anéis de crescimento e do percentual ocupado pelo defeito.

$$\text{Resistência DE (MPa)} = 5,28 + 8,56 * N^{\circ} \text{ de anéis de crescimento} - 39,5 * K_a (\%) \quad (1)$$

em que:

Resistência DE = resistência de corpos-de-prova de dimensão estrutural; e

K_a = proporção da área transversal ocupada pelo defeito.

O software gerou uma análise de variância visando verificar a consistência, isto é, o nível de relacionamento dessas variáveis, tendo em vista que o coeficiente de correlação apenas indica um grau de associação como um único número, podendo este não implicar real relação entre as variáveis estudadas. Os resultados encontrados apresentaram significância $p < 0,01$, com base nos quais foram gerados os gráficos da Figura 2.

Pelo gráfico do teste da normal e pelo histograma, é possível notar que os dados descrevem uma distribuição

normal, atendendo ao pressuposto inicial para a realização do teste de regressão. Verifica-se também, nesse gráfico, que o p-valor calculado é inferior ao nível de significância utilizado no teste ($p < 0,05$), evidenciando uma relação estatisticamente significativa, em que as condições impostas pelo modelo (variáveis independentes) são necessárias para descrever o comportamento da resistência das peças (variável dependente), tendo em vista que a correlação ajustada (R-Sq) é muito próxima da correlação calculada (R-Sq adj). É possível verificar ainda que, na equação de regressão (1), quanto maior o número de anéis de crescimento (maior densidade de anéis), maior a resistência da madeira e, quanto maior a influência (percentual) dos nós sobre a peça, menor a sua resistência, concordando com o Método de Classificação Visual proposto por Carreira e Dias (2005). Pelos diagramas de resíduos e pelas observações não usuais apresentadas ao final do teste, pode-se notar uma variação considerada constante, no entanto de grande amplitude, fato que induz conclusões equivocadas ou distorcidas, com valores irreais. Assim, foram desconsiderados os valores extremos da primeira análise e realizada uma nova avaliação, com o objetivo de melhorar a representatividade da equação de regressão.

A regressão (2) avaliou o valor da resistência à tração de peças com dimensões estruturais, em função do número de anéis de crescimento e do percentual da área transversal ocupada pelo nó, sendo desconsideradas as sete observações não usuais identificadas na análise anterior. Os resultados estão descritos na Tabela 3.

A equação de regressão 2 descreve a relação da resistência à tração, em função do número de anéis de crescimento e do percentual ocupado pelo defeito, com exclusão dos valores extremos.

$$\text{Resistência DE (MPa)} = 1,94 + 8,83 * N^{\circ} \text{ de anéis de crescimento} - 35,7 * K_a (\%) \quad (2)$$

em que:

Resistência DE = resistência de corpos-de-prova de dimensão estrutural; e

K_a = proporção da área transversal ocupada pelo defeito.

Tabela 2 – Resultados obtidos na 1ª análise de regressão
Table 2 – Results of the 1st regression analysis

Variáveis	Valor do Coeficiente	SE Coef.	T	P
Constante de regressão	5,280	5,096	1,04	0,303
Coeficiente de regressão (Anéis de Crescimento)	8,5597	0,9870	8,67	0,000
Coeficiente de regressão defeitos- K_a (%)	-39,541	8,032	-4,92	0,000

S = 14,80 R-Sq = 63,8% R-Sq(adj) = 62,9%

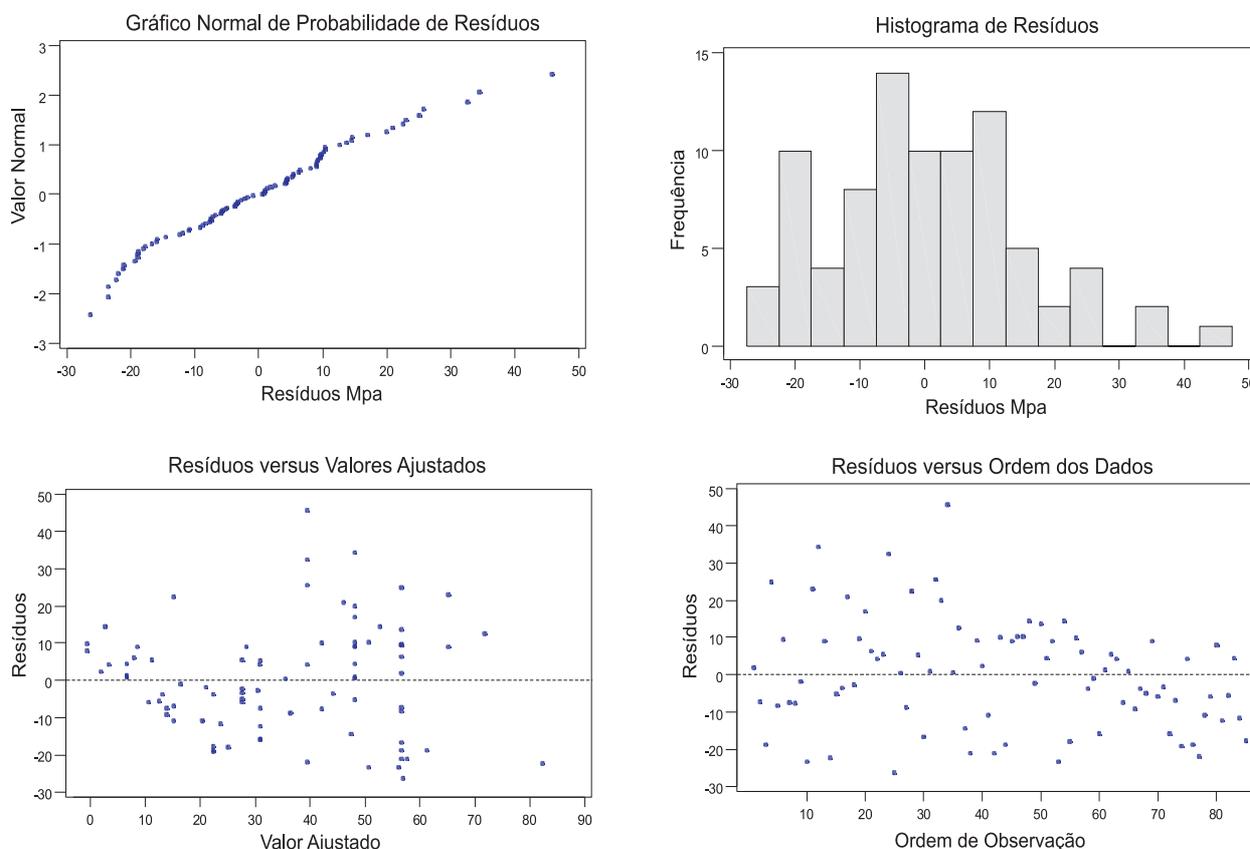


Figura 2 – Gráficos de anéis de crescimento e nós (%) versus – 1ª regressão.
Figure 2 – Graphics of growth rings and knots versus strength – 1st regression

Tabela 3 – Resultados obtidos na 2ª análise de regressão
Table 3 – Results of the 2nd regression analysis

Variáveis	Valor do Coeficiente	SE Coef.	T	P
Constante de regressão	1,943	4,827	0,40	0,688
Coeficiente de regressão(Anéis de Crescimento)	8,8324	0,9052	9,76	0,000
Coeficiente de regressão defeitos-Ka (%)	-35,655	9,624	-3,70	0,000

S = 13,19 R-Sq = 68,1% R-Sq(adj) = 67,2%
 em que:

S – Desvio Padrão; SE Coef. – Erro padrão do coeficiente; R-Sq – Correlação calculada; T – Valores Estatística “T”;
 R – Sq (adj) – Correlação ajustada; e P – p-valor.

A nova análise de variância gerada pelo novo teste indicou que os resultados encontrados apresentaram significância $p < 0,01$. Com base nos resultados desse teste, foram gerados os gráficos da Figura 3.

Com relação aos resultados da regressão 2, é possível afirmar que as conclusões obtidas na análise anterior são válidas, exceto para o histograma, que não apresenta mais descontinuidade e, sim, simetria

mais adequada ao modelo normal. Já os diagramas de resíduos diminuíram significativamente sua amplitude de variação, evidenciando-se a validade do novo teste realizado e apresentando a homocedasticidade necessária ao modelo. Verificou-se também, nesse teste, que a correlação entre as variáveis aumentou cerca de 4%, e as observações não usuais diminuíram, tanto em quantidade quanto em amplitude.

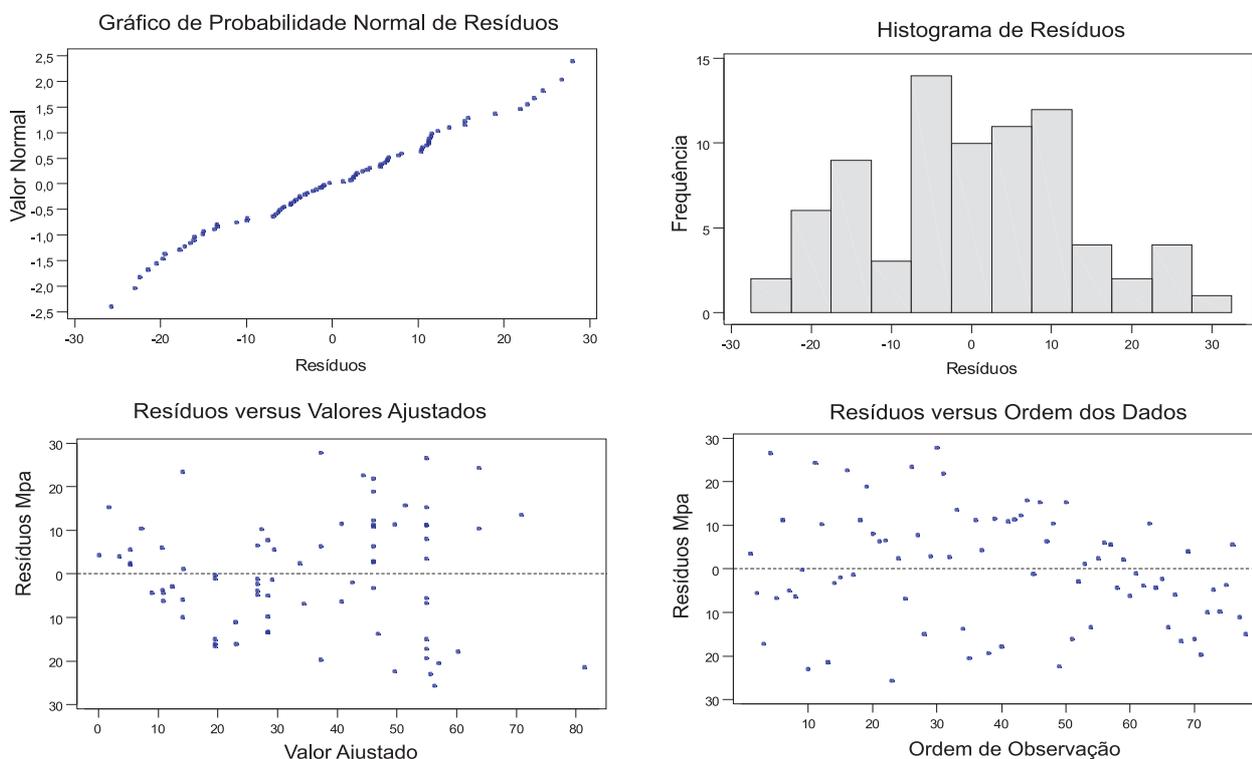


Figura 3 – Gráficos de anéis de crescimento e nós (%) versus resistência – 2ª regressão.
Figure 3 – Graphics of growth rings and knots versus strength – 2nd regression.

Uma terceira regressão foi realizada em virtude de a segunda ter apresentado valores extremos não usuais e uma considerável variação. No entanto, na terceira análise não houve alterações significativas na equação de regressão, em sua correlação e nas amplitudes de variações. Dessa forma, a análise 2 foi estabelecida como ideal.

3.3. Correlação entre resistência à tração de corpos-de-prova isentos de defeitos (ID) e de dimensões estruturais (DE)

Este item apresenta análise da variância e da correlação, visando estabelecer relações entre a resistência de corpos-de-prova Isentos de Defeitos (ID) e corpos-de-prova com Dimensões Estruturais (DE). Calculando o índice de correlação de Pearson entre as resistências, foi encontrado o valor de 0,716 para um p-valor de 0,00.

Foi realizado um teste para as médias baseado no Desvio-Padrão de Pooled (Pooled StDev) em um nível de significância de 95%, com o objetivo de comparar as diferenças estatísticas entre as resistências dos corpos-de-prova Isentos de Defeitos e dos corpos-

de-prova com Dimensões Estruturais, gerando os valores apresentados na Tabela 4 e na Figura 4.

Como o p-valor é menor do que o nível de significância (0,05) selecionado para o teste, é possível concluir que, estatisticamente, há diferenças significativas na resistência dos corpos-de-prova com Dimensões Estruturais (DE) e dos corpos-de-prova Isentos de Defeitos (ID). Isso pode ser evidenciado por meio do coeficiente de correlação calculado por Pearson e pelo Desvio-Padrão de Pooled, em que a resistência de peças de madeira com dimensão estrutural é inferior em cerca 30%, quando comparada com a resistência dos corpos-de-prova isentos de defeitos.

Tabela 4 – Teste de desvio-padrão de Pooled
Table 4 – Pooled Standard deviation test

Nível	N	Mediana	StDev
Resistência DE	85	35,39	24,29
Resistência ID	85	66,18	36,04
Pooled StDev = 30,73			

em que:
 N – Número de amostras
 StDev – Desvio padrão

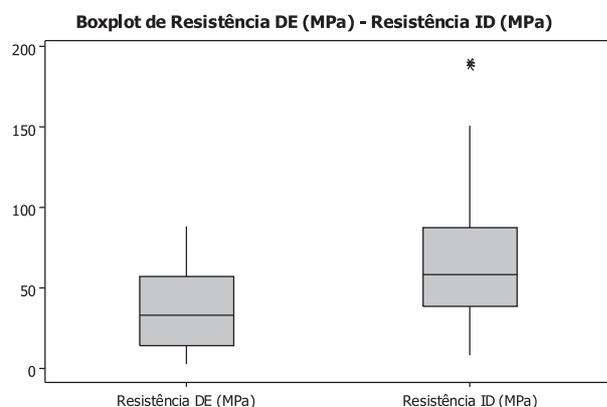


Figura 4 – Boxplot de resistência DE e resistência ID.
Figure 4 – Boxplot of DE Strength and ID Strength.

4. CONCLUSÕES

A classificação visual realizada de acordo com as normas propostas por Carreira e Dias (2005) apresentou bons resultados, mostrando-se adequada para a madeira do gênero *Pinus* e ser possível verificar que madeiras com maior densidade de anéis, maior resistência e que apresentam nós tiveram a ruptura, na grande maioria dos casos, nesse defeito. Já nas madeiras com menor densidade de anéis a ruptura nem sempre ocorreu nos defeitos, e na maioria das peças desse lote isso aconteceu em seções sem defeito, pelo fato de se tratar de madeiras menos resistentes.

Foi possível notar, também, forte correlação entre o número de anéis de crescimento, o percentual da área transversal ocupada pelo nó e a resistência à tração nas peças de madeira com dimensões estruturais ensaiadas, confirmando a eficiência do método de classificação visual proposto.

Com base no coeficiente de correlação e nas demais análises realizadas, a equação (2) permite prever, com maior confiabilidade, a resistência média à tração do lote de peças de *Pinus* spp com dimensão estrutural avaliada. Na análise em questão, a correlação entre a resistência média experimental e a teórica foi de 4%. Cabe salientar que os valores de resistência média determinados estão em um nível superior de verificação de segurança, somente devendo ser utilizado para dimensionamento, após atender às considerações da norma NBR 7190/97 – Projeto de Estruturas de Madeira, quanto aos coeficientes de modificação e ao coeficiente de segurança de elementos estruturais solicitados por tração.

Pela análise realizada, foi possível estabelecer correlação ente resistência à tração de corpos-de-prova com DE e corpos-de-prova isentos de defeitos.

Finalmente, é importante salientar que os resultados apresentados são válidos para o grupo de madeira analisado no trabalho e que a classificação visual não tem a finalidade de determinar a resistência da madeira, mas sim agrupá-la em lotes menos heterogêneos.

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo auxílio a esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D198(1997). Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes.** Philadelphia: 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190(1997). Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro: 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **MB 26 (NBR 6230), Ensaio físico e mecânico de madeiras.** Rio de Janeiro: 1940. 9p.
- CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira.** Barueri: Manole, 2003. 152p.
- CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A. Classificação visual de coníferas: análise da aplicação do método norte-americano às espécies de *Pinus* sp plantadas no Brasil. **Scientia Forestalis**, n.67, p.78-87, 2005.
- COIADO, B. **Avaliação da resistência à tração paralela às fibras em peças de madeira de Pinus sp com dimensões estruturais e classificadas visualmente.** São Carlos: USP, 2004. (Relatório de Iniciação Científica, Escola de Engenharia de São Carlos).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo de pinus: coeficientes técnicos e custo de produção.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 27 jul. 2008.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

TREVISAN, H. et al. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, v.31, n.1, p.93-101, 2007.