

Universidade Brasil  
Curso de Engenharia Civil, Campus Descalvado

Jorge Augusto de Almeida  
Rafael José Donizeti Gonçalves

**CLASSIFICAÇÃO VISUAL DA MADEIRA SERRADA**  
Visual Classification of Lumber

Descalvado, SP  
2017

A448c Almeida, Jorge Augusto de  
Classificação visual da madeira serrada = visual classification of lumber / Jorge Augusto de Almeida, Rafael José Donizeti Gonçalves. – Descalvado: [s.n.], 2017.  
49f. : il. ; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Gisele Cristina Antunes Martins

1. Classes estruturais. 2. Classificação visual. 3. Confé-  
fera. 4. Nós. 5. Pinus. I. Gonçalves, Rafael José Donizeti.  
II. Título.

CDD 624.184

Jorge Augusto de Almeida  
Rafael José Donizeti Gonçalves

## CLASSIFICAÇÃO VISUAL DA MADEIRA SERRADA

Orientador(a): Prof.(a.). Dr.(a.) Gisele Cristina Antunes Martins

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Descalvado, SP  
2017

Autorizo, exclusivamente, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial deste TCC, por processos xerográficos ou eletrônicos.

Assinatura do aluno:

Data:

**JORGE AUGUSTO DE ALMEIDA  
RAFAEL JOSÉ DONIZETI GOLÇALVES**

**CLASSIFICAÇÃO VISUAL DA MADEIRA SERRADA**

**Trabalho de Conclusão apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, à Universidade Brasil, desenvolvido sob a orientação da Prof.<sup>a</sup> Dra Eng.<sup>a</sup> Gisele Cristina Antunes Martins.**


Aprovado em 27 de outubro de 2017.

Com Nota 9,9

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>a</sup> Dra Eng.<sup>a</sup> Gisele Cristina Antunes Martins

  
Prof. Eng. Geraldo Antonio Traldi Júnior

  
Prof.<sup>a</sup> Dra Valéria Peruca de Melo

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos às nossas famílias e amigos, que de alguma forma contribuíram para essa realização, em especial a nossa orientadora e professora Gisele Cristina Antunes Martins, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desse trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Desejamos expressar nossos agradecimentos, primeiramente à Deus, aos colegas de faculdade, a todos os professores, à empresa Palue Madeiras que cedeu o material para o experimento e a todos que, de uma forma ou de outra, participaram dessa etapa de nossas vidas.

## **Resumo**

A classificação visual de peças de madeira é um método antigo e amplamente utilizado para avaliar imperfeições existentes nos elementos. O método consiste em avaliar as quatro faces e as extremidades das peças, localizando e distinguindo a natureza de nós e demais características aparentes na superfície da madeira, avaliando todo o comprimento da peça. A classificação visual de peças de madeiras tem como finalidade a separação destas em classes de resistência para aplicação como elementos estruturais. No presente trabalho foram avaliadas peças serradas de madeira da espécie *Pinus sp.* com dimensões de 2,5 cm por 20 cm na seção transversal e 300 cm de comprimento. As peças foram cedidas pela empresa Palue Madeiras, localizada na cidade de Descalvado / SP. Nas peças analisadas não foram observadas rachaduras anelares, fendas, encurvamento ou encanoamento. Entre as peças analisadas, 58% foram classificadas como Estrutural Especial (SS), 8,3% das peças N°2, 8,3% das peças N°3 e 25,4% das peças como não estruturais. Não houve peças que se classificaram como N°1.

**Palavras-chave:** Classes Estruturais, Classificação Visual, Conífera, Nós e Pinus.



## **Abstract**

The visual classification of pieces of wood is an ancient method and widely used to evaluate existing imperfections in the elements. The method consists in evaluating the four faces and ends of the pieces, locating and distinguishing the nature of knots and other apparent characteristics on the surface of the wood, evaluating the whole length of the piece. The visual classification of pieces of wood has the purpose of separating them into resistance classes for application as structural elements. In the present work, sawed pieces of wood of the species *Pinus* sp. with dimensions of 2.5 cm by 20 cm in the cross section and 300 cm in length. The pieces were supplied by Palue Madeiras, located in the city of Descalvado / SP. No cracks, cracks, bending or recessing were observed in the analyzed articles. Among the pieces analyzed, 58% were classified as Special Structural (SS), 8.3% of pieces N°2, 8.3% of pieces N°3 and 25,4% of the pieces as non-structural. There were no pieces that were classified as N°1.

**Keywords:** Structural Classes, Visual Classification, Conifer, Nodes and *Pinus*.

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Grupos de espécies e agências de classificação norte-americanas...	24
Quadro 2 - Identificação da classe em que a peça se encaixa em relação à presença de nós .....	46
Quadro 3 - Resultados Finais.....	50

## Lista de Figuras

Figura 1 - Ilustração de tipos de nós presentes na madeira serrada .....	27
Figura 2 - Ilustração de nós individuais.....	27
Figura 3 - Ilustração de um conjunto de nós.....	27
Figura 4 - Ilustração de um nó na borda de uma peça .....	28
Figura 5 - Medição de um nó na face estreita da peça, feito pelo método de equivalência. ....	28
Figura 6 - Medição de um nó que aparece nas duas faces de uma peça sem medula .....	29
Figura 7 - Medição de um nó na face larga .....	29
Figura 8 - Medição de um nó de canto em uma peça sem medula .....	30
Figura 9 - Medição de um nó de canto e peça contendo medula .....	30
Figura 10 - Diâmetro dos nós em uma viga .....	31
Figura 11 - Diâmetro dos nós em uma coluna .....	32
Figura 12 - Medição do diâmetro dos nós em tábuas .....	32
Figura 13 - Ilustração da inclinação de fibras .....	33
Figura 14 - Ilustração da forma de medir uma rachadura anelar .....	34
Figura 15 - Ilustração de uma fenda que atravessa a peça em espessura .....	34
Figura 16 - Ilustração de um encurvamento .....	35
Figura 17 - Ilustração do encanoamento em uma peça de madeira .....	36
Figura 18 - Ilustração de um arqueamento em uma peça de madeira .....	36
Figura 19 - Ilustração do torcimento em uma peça de madeira .....	37
Figura 20 - Linha radial representativa em peças contendo medula (a) e em peças não contendo medula (b).....	38
Figura 21 - Medição de nó em tábua de <i>Pinus sp.</i> .....	41
Figura 22 - Divisão das seções da peça .....	42
Figura 23 - Gabarito demonstrando as máximas dimensões admissíveis para nós.....	42
Figura 24 - Medida do número de anéis de crescimento em 2,5 cm.....	43
Figura 25 - Representação da medida das fibras em uma peça analisada .....	44
Figura 26 - Relação entre o número de anéis e a densidade.....	48
Figura 27 - Representação da classe de densidade da peça em porcentagem ....	49

Figura 28 - Representação dos resultados obtidos em porcentagem ..... 50

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Classes de qualidade visual .....	22
Tabela 2 - Classificação de acordo com a densidade .....	37
Tabela 3 - Classificação da densidade .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>AC</b>	Alaska Cedar
<b>ACR</b>	Redwood
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>AS</b>	Australian Standard
<b>cm</b>	centímetros
<b>CSP</b>	Canadian Spruce Pine
<b>DFL</b>	Douglas Fir Larch
<b>DFS</b>	Douglas Fir South
<b>ES</b>	Eastern Spruce
<b>FPL</b>	U.S. Forest Products Laboratory
<b>HF</b>	Hem Fir
<b>Kmod3</b>	coeficiente de modificação
<b>MOE</b>	Módulo de Elasticidade
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>ND</b>	Não densa
<b>NDS</b>	National Design Specification for Wood Construction
<b>NELMA</b>	Northeastern Lumber Manufacturers Association
<b>NLGA</b>	National Lumber Grades Authority
<b>USDA</b>	United States Department of Agriculture
<b>SP</b>	Southern Pine
<b>SPIB</b>	Southern Pine Inspection Bureau

<b>SPF</b>	Spruce Pine Fir
<b>SS</b>	Select Structural
<b>SW</b>	Softwood Species

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	18
1.1 - Objetivo.....	18
1.2 - Justificativa.....	19
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 - Histórico.....	20
2.2 - Divisões de classes visuais.....	21
2.2.1 - Regras de classificação visual.....	21
2.2.2 - Grupos de Espécies.....	23
2.2.3 - Regras de Classificação e Inspeção do SPIB.....	24
2.2.4 - Classificação Quanto ao Uso.....	25
2.2.5 - Critérios para Limitação dos Defeitos.....	25
2.2.6 - Medição das Características de Crescimento.....	26
2.2.6.1 - Nós.....	26
a) Nós em caibros e pranchas.....	28
b) Nós em vigas e longarinas.....	31
c) Nós em postes e colunas.....	31
d) Nós em tábuas.....	32
2.2.6.2 - Inclinação das fibras.....	33
2.2.6.3 - Racha anelar e fenda.....	34
2.2.6.4 - Empenamento.....	35
a) Encurvamento.....	35
b) Encanoamento.....	36
c) Arqueamento.....	36
d) Torcimento.....	37
2.2.7 - Densidade.....	37
2.2.8 - Regras e Normas no Brasil.....	38
2.2.9 - Curiosidades e Avanços.....	39
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 - Materiais.....	41
3.2 - Métodos.....	41
3.2.1 - Classificação Visual.....	41



3.2.2 - Densidade .....	43
3.2.3 - Fibras .....	43
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1 - Resultados referentes a classificação dos nós .....	45
4.2 - Resultados referentes ao empenamento .....	47
4.3 - Resultados referentes a densidade .....	47
4.4 - Resultados referentes às fibras .....	49
4.5 - Resultados Finais.....	49
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52

## **1. INTRODUÇÃO**

A classificação visual da madeira é a identificação dos defeitos presentes nas peças, sendo o método mais antigo e amplamente utilizado para avaliações das imperfeições e que tais características podem ser vistas e julgadas pelo olho humano.

Segundo Carreira e Dias (2005), a madeira serrada é uma tora, independente da espécie e dimensão, cujas propriedades mecânicas são bastante variáveis. É comum encontrar diferenças acima de trezentos por cento de uma peça para outra da mesma espécie e mesma dimensão. Existem duas razões para isto, sendo a primeira é devido à forte correlação existente entre a resistência e a densidade da madeira, apresentando grande variação das características entre as árvores de uma mesma espécie. E a segunda razão são as características naturais de crescimento, em particular os nós, que têm um efeito adverso na resistência, extensão, localização e a dimensão deles, os quais diferem em cada peça da madeira.

O máximo de economia do material é obtido quando a variação das características em uma determinada classe é limitada, e todas as peças são utilizadas com todo seu potencial.

Todo o processo de classificação consiste não apenas em separar e utilizar as peças livres de defeitos, mas também levar em consideração a qualidade da madeira. A condição da madeira de primeira categoria somente pode ser admitida se todas as peças forem classificadas como isentas de defeitos, por meio de método visual normatizado, e submetidas a uma classificação mecânica que garanta a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote.

### **1.1 Objetivo**

O presente trabalho tem como objetivo aplicar o método de classificação visual em peças de madeira serrada com identificação dos defeitos: presença de nós, fendas, rachaduras superficiais e inclinação, bem como definir as classes (Estrutural Especial – SS; Estrutural N° 1; Estrutural N° 2; Estrutural N° 3 e “Não Estruturais”) de acordo com a Norma ASTM D245 (1993) (Standard Practice for Establishing Structural Grades and

Related Allowable Properties for Visually graded Lumber) em função da presença desses defeitos.

## **1.2 Justificativa**

O presente trabalho justifica-se pelo constante uso da madeira no ramo da Engenharia Civil, principalmente de forma estrutural, o que gera a necessidade do uso de material de qualidade, tornando, assim, a classificação visual imprescindível para a definição do uso, ou não, de uma peça.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Gurfinkel (1973) e Leicester (1981), citados por Iwakiri (1988), a classificação visual da madeira consiste no método mais antigo e amplamente utilizado para se avaliar as imperfeições existentes neste material. A localização, quantificação e natureza dos defeitos são parâmetros que definem as classes de esforços.

Segundo Bendsten & Yongs (1981), citados por Iwakiri (1988), o estabelecimento de classes de qualidade possibilita o direcionamento da procura de tipos de madeiras adequadas para os fins desejados. As classes de esforços são estabelecidas com relação às propriedades de resistência, considerando-se os efeitos de vários fatores, tais como: massa específica, teor de umidade, defeitos de várias naturezas e variabilidade da madeira livre de defeitos.

Basicamente, a classificação visual divide-se em duas etapas distintas:

- Na primeira, a partir da identificação visual das características de crescimento da peça, atribui-se uma classe.
- Na segunda etapa, determinam-se as propriedades de resistência e rigidez para cada classe de uma determinada espécie.

Antes do aprofundamento no tema, se faz necessário uma breve apresentação histórica, a fim de entender a evolução dessa classificação com o passar dos anos.

### 2.1 Histórico

Segundo Carreira e Dias, o sistema de classificação visual estrutural da madeira foi desenvolvido como resultado da busca dos projetistas por tensões admissíveis do material, que atendessem às necessidades de segurança e economia.

Em 1923, surgiu o primeiro conjunto de regras básicas de classificação visual da madeira, regida pelo United States Department of Agriculture (USDA) Forest Service e o Forest Products Laboratory, com alguns valores de resistência. Esses valores foram usados essencialmente sem modificações durante 20 anos.

Durante a 2ª Guerra Mundial, o exército americano fez uma modificação nessas regras, adotando um acréscimo de 85% nas resistências de projeto.

No período pós-guerra, os países necessitavam de reconstrução, o que ocasionou um aumento na demanda da madeira. Essa necessidade fez com que houvesse novas modificações no método visual de classificação, objetivando um uso mais eficiente dos recursos florestais.

Em novembro de 1970 foi instituída a norma PS 20-70 (American Softwood Lumber Standard), que incorporou várias características de classificação, incluindo as dimensões de verde e seca para a determinação da retração da madeira.

Baseando-se nessa mesma norma, foi criada a regra nacional de classificação National Grading Rule, que determinava características uniformes de classificação para todas as espécies de coníferas na dimensão de caibros e pranchas.

Em 1978, um grande projeto de pesquisa chamado In-Grade Test Program, desenvolvido em parceria com a indústria madeireira e o U.S. Forest Products Laboratory (FPL), tinha o objetivo de testar peças de madeira visualmente classificadas. Nesse trabalho, aproximadamente 73000 peças com dimensões estruturais foram submetidas a esforços de flexão, tração e compressão paralela às fibras. Dentre as peças testadas estavam as principais espécies de madeira dos Estados Unidos e do Canadá. Para auxílio da regulamentação desses testes foram criadas duas Normas, a American Society for Testing and Materials ASTM D1990 e a ASTM D4761.

Em 1991, a norma norte-americana de dimensionamento de elementos estruturais National Design Specification for Wood Construction (NDS) passou a adotar como valores de projeto para caibros e pranchas os resultados obtidos no In-Grade Test Program, também conhecido como programa In-Grade. Para peças com dimensões maiores, como exemplo os postes, os valores de projeto ainda são determinados levando em consideração a resistência de pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos.

## **2.2 Divisões de Classes Visuais**

### **2.2.1 Regras de classificação visual**

A norma ASTM D245 (1993) (Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber) não fornece as

regras de classificação visual, porém, estabelece os critérios para medida dos defeitos e os meios para limitar os defeitos em função de uma razão de resistência. Essa norma limita-se somente a classificação visual.

Segundo Madsen (1992), estima-se em torno 235.000.000 m<sup>3</sup>/ ano a quantidade de material classificado baseando-se nessa norma, com um valor de aproximadamente 10 bilhões de dólares.

Na América do Norte, a determinação visual da madeira voltada para a aplicação estrutural é realizada por meio de regras de classificação, desenvolvidas por uma associação de indústrias que representam uma área onde as espécies são recolhidas.

Frequentemente, esse conjunto de indústrias é também fornecedor de um serviço de qualidade, bem como responsável pela supervisão do material classificado nas serrarias associadas, de acordo com as regras pré-determinadas. Essas regras são escritas por agências e publicadas em livros. Dentre as principais agências internacionais de classificação estão: a Southern Pine Inspection Bureau (SPIB), a National Lumber Grades Authority (NLGA) e a Northeastern Lumber Manufacturers Association (NELMA).

Segundo Green e Kretschmann (1999), citados por Carreira e Dias (2005), a National Grading Rule fornece as linhas gerais para elaboração das regras para a classificação da madeira, em peças na faixa de dimensão de caibros e pranchas, especificando as características de classificação para cada classe. Para outras dimensões (postes), as regras de classificação podem variar de agência para agência.

A Tabela 1 apresenta as classes visuais descritas na norma National Grading Rule, demonstrando também a razão de resistência à flexão mínima associada a cada classe, fornecendo um índice para comparação da qualidade.

Tabela 1: Classes de qualidade visual

<b>Dimensões</b>	<b>Classe</b>	<b>Razão de resistência a flexão (%)</b>
Caibros e Pranchas	SS	67
	Nº 1	55
	Nº 2	45
	Nº 3	26
Postes	SS	65
	Nº 1	55
	Nº 2	45
	Nº 3	26

Fonte: “Southern Pine Inspection Bureau” (1994) apud Carreira e Dias (2005)

Os princípios básicos da classificação visual apresentados na norma ASTM D245 (1993) permitem a avaliação de qualquer peça de madeira em termos de uma razão de resistência à flexão. A norma implica que esse conceito ocorre a partir da comparação entre a resistência de uma peça com defeitos de crescimento, o que interfere na sua resistência, e a resistência de um corpo de provas livre de defeitos. Entretanto, para Madsen (1992), citado por Carreira e Dias (2005), esse conceito é hipotético, visto que os efeitos das características de crescimento não são completamente compreendidos, mas somente aproximados, usando algumas considerações grosseiras.

Os resultados satisfatórios obtidos com a norma ASTM D245 fizeram com que ela se tornasse referência para normas de classificação visual de outros países, como por exemplo a norma Australian Standard (AS) 2858-86, da Austrália.

### **2.2.2 Grupos de Espécies**

Na América do Norte, a maioria das espécies de madeira é subdividida em grupos, sendo que madeiras obtidas a partir de espécies pertencentes ao mesmo grupo são consideradas equivalentes.

Segundo Green e Kretschmann (1999), citado por Carreira e Dias (2005), o critério para divisão dos grupos leva em consideração as propriedades mecânicas, de aparência e conveniência de comercialização.

Na classificação visual por resistência, a Norma ASTM D255-96 (Standard Test Methods for Establishing Clear Wood Strength Values) estabelece os procedimentos para a determinação das propriedades de resistência e rigidez de corpos de prova isentos de defeitos, para grupos de espécies norte-americanas. O Quadro 1 relaciona esse grupo de espécies com as respectivas agências de classificação.

Quadro 1: Grupos de espécies e agências de classificação norte-americanas

<b>Grupos de espécies</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Espécies que podem ser incluídas no grupo</b>	<b>Agências de Classificação</b>
Alaska Cedar	AC	Alaska Cedar	WCLIB, WWPA
Redwood	ACR	Redwood	RIS
Canadian Spruce Pine	CSP		NLGA
Douglas - Fir Larch	DF-L	Douglas Fir, Western Larch	WCLIB, WWPA
Douglas - Fir South	DFS	Douglas Fir South	WWPA
Eastern Spruce	ES	Black Spruce, Red Spruce, White Spruce	NELMA, NSLB
Hem - Fir	HF	California Red Fir, Grand Fir, Noble Fir, Pacific Silver Fir, Western Hemlock, White Fir	WCLIB, WWPA
Softwood Species (Western Woods e Outras)	SW	Alpine Fir, Balsam Fir, Black Spruce, Douglas Fir, Douglas Fir South, Engelmann Spruce, Idaho White Pine, Jack Pine, Lodgepole	WCLIB, WWPA
Southern Pine	SP	Loblolly Pine, Longleaf Pine, Shortleaf Pine, Slash Pine	SPIB
Spruce - Pine - Fir (South)	SPF	Balsam Fir, Black Spruce, Engelmann Spruce, Jack Pine, Lodgepole Pine, Red Spruce, White Spruce	NELMA, NSLB, WCLIB, WWPA

Fonte: “American Institute of Timber Construction” AITC – 117 “Manufacturing” (2001) apud Carreira (2003)

### **2.2.3 Regras de Classificação e Inspeção do SPIB**

Segundo Carreira e Dias, o Southern Pine Inspection Bureau, representado pela sigla SPIB, é uma instituição sem fins lucrativos que se dedica à manutenção de normas de qualidade para a indústria Southern Pine dos Estados Unidos.

A função do SPIB é formular e publicar regras para a classificação da madeira serrada obtida do Southern Pine. A instituição possui uma equipe de supervisores de qualidade, que auxiliam na inspeção das práticas de classificação da madeira nas serrarias associadas.

Por exigência da National Grading Rule, todas as regras de classificação visual da madeira em vigor nos Estados Unidos se baseiam na norma ASTM D245, incluindo as regras do SPIB.



### 2.2.4 Classificação Quanto ao Uso

A resistência da madeira depende tanto da extensão dos defeitos, quanto do uso ao qual a peça é destinada. De acordo com a norma ASTM D245 (1993), uma classificação visual eficiente requer que as peças sejam classificadas em função de suas dimensões e de seu uso. Essas regras são voltadas para as seguintes peças:

- **Caibros e pranchas:** peças com seção transversal retangular, com dimensões variando entre 38 e 89 mm e com largura maior ou igual a 89 mm. São classificadas para resistirem principalmente a esforços de flexão em relação aos eixos de maior e menor inércia.
- **Vigas e longarinas:** peças retangulares, possuindo espessura maior ou igual a 114 mm e uma altura maior ou igual a 165 mm. São classificadas para resistirem a esforços de flexão em relação aos eixos de maior e menor inércia.
- **Postes e colunas:** ambos os lados da seção retangular da peça são maiores ou iguais a 114 mm, sendo que o maior lado deve ter menos de 38 mm superior ao de menor lado. Essas peças são classificadas para resistirem a esforços de compressão.
- **Tábuas:** peças com seção retangular com espessura inferior a 38 mm, largura maior ou igual a 38 mm e altura menor que 140 mm. São classificadas para serem usadas, ou não, de forma estrutural.

### 2.2.5 Critérios para Limitação dos Defeitos

Segundo a norma ASTM D245 (1993), na classificação visual avalia-se as quatro faces e as duas extremidades da peça, analisando, ao longo de todo o seu comprimento, a localização e a natureza dos nós, a inclinação de fibras, os empenamentos e as fendas, atribuindo um nível de qualidade visual em função da dimensão dos defeitos.

Os princípios básicos de classificação visual estrutural descritos nessa norma possibilitam avaliar qualquer peça em termos de uma razão de resistência para cada propriedade avaliada.

As razões de resistência associadas a nós em elementos fletidos derivam da relação teórica entre a capacidade de resistência de uma peça com a seção transversal reduzida devido ao diâmetro do maior nó, para a capacidade resistente de um elemento sem defeitos (corpo de prova).

A dimensão máxima permitida para os nós em cada classe é calculada a partir de equações teóricas, fornecidas pela norma ASTM D245 (1993), em função da razão de resistência à flexão fornecida pela National Grading Rule.

Seguindo as premissas dessa norma, fendas e rachaduras reduzem somente a resistência ao cisalhamento devido à flexão da peça.

A resistência das fibras é pouco afetada em compressão normal, considerando-se uma razão de resistência de 100%.

A razão de resistência à tração da madeira foi relacionada com a resistência de flexão, e a razão de resistência à flexão foi determinada a partir do experimento feito por Doyle e Markwardt (1967).

## **2.2.6 Medição das Características de Crescimento**

Nesse método, a forma de se medir e avaliar os defeitos é totalmente visual, ou seja, sem o auxílio de nenhuma ferramenta. Esse trabalho tem como objetivo apresentar tais critérios e, portanto, é apresentada a seguir as principais características observadas na classificação visual da madeira.

### **2.2.6.1 Nós**

Os nós são defeitos de origem anatômica, ou seja, defeitos decorrentes da própria espécie. Na avaliação são medidos os nós de maior diâmetro posicionados respectivamente no centro da face larga, na borda da face larga e, por fim, na face estreita, como ilustra a Figura 1.

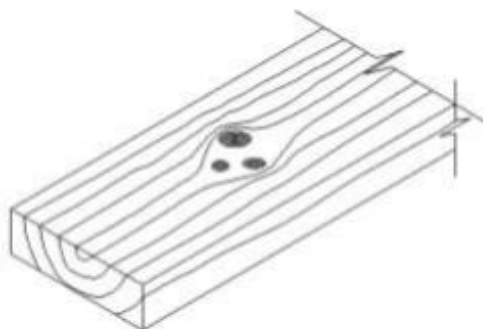
Figura 1: Ilustração de tipos de nós presentes na madeira serrada.



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira e Dias (2005)

Um conjunto de nós é considerado como um nó individual. Sendo assim, considera-se a soma do diâmetro de todos os nós, como mostra a Figura 2.

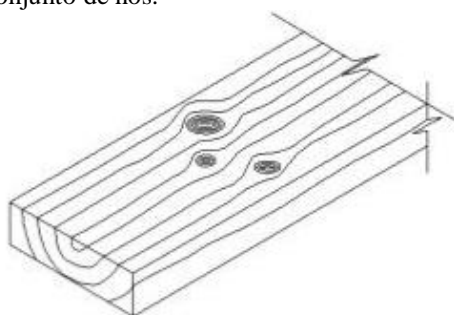
Figura 2: Ilustração de nós individuais.



Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

Observa-se, entretanto, que no caso de haver dois ou mais nós próximos, com fibras inclinadas em torno de cada nó individualmente (Figura 3), não se deve considerar como um conjunto de nós.

Figura 3: Ilustração de um conjunto de nós.

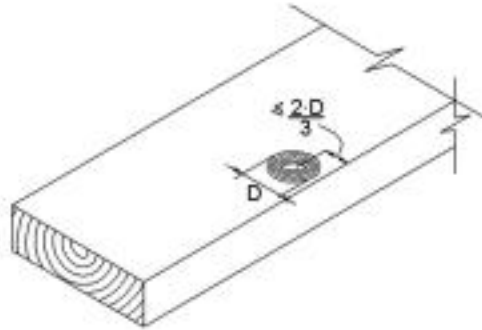


Fonte: ASTM D245(1993) apud Carreira (2003)

Os nós afetam a continuidade das fibras, comprometendo a resistência e o aspecto visual das peças, tornando extremamente importante a sua medida. A qualidade da peça está relacionada ao diâmetro do nó.

Um nó presente na face larga de um elemento fletido ou tracionado é considerado um nó de borda se a distância do centro do nó até a borda for igual ou menor à  $\frac{2}{3}$  do diâmetro do nó. A Figura 4 ilustra um nó na borda de uma peça.

Figura 4: Ilustração de um nó na borda de uma peça.

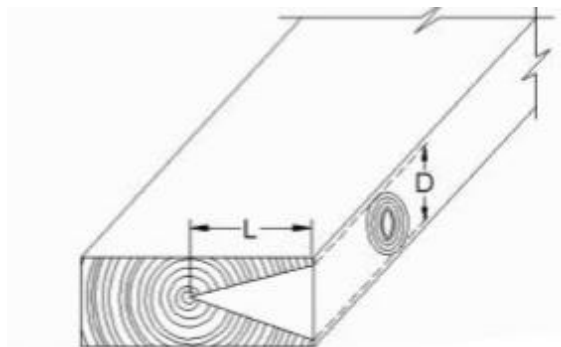


Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

#### a) Nós em caibros e pranchas

Em caibros e pranchas, os nós podem ser medidos diretamente na superfície da peça, ou também podem ser medidos pelo método de equivalência, onde a proporção da seção transversal da peça ocupada pelo nó é multiplicada pela largura real da face em que ocorre para determinar o diâmetro do nó equivalente. A Figura 5 representa a medida de um nó na face estreita da peça, feito pelo método de equivalência.

Figura 5: Medição de um nó na face estreita da peça, feito pelo método de equivalência.

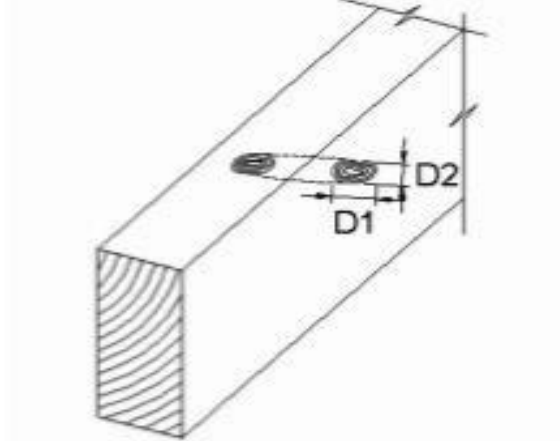


Fonte: SPIB (1994) apud Carreira (2003)

Com relação à profundidade de um nó, o SPIB especifica que a medida deve ser feita levando em consideração a posição da medula na peça. A medula localiza-se mais ou menos no centro do tronco, e é constituída por tecidos menos resistentes do que os do lenho que a circunda. A presença da medula em uma peça serrada prejudica sua resistência mecânica e a torna mais suscetível a ataques biológicos.

O tamanho de um nó na face larga é medido pelo seu menor diâmetro. Nós que aparecem simultaneamente na face estreita e na face larga de uma peça (sem intersecção das duas faces) sem a presença de medula, deve ser medido e classificado na face larga, sendo seu diâmetro igual à medida da maior e da menor dimensão da peça (Figura 6).

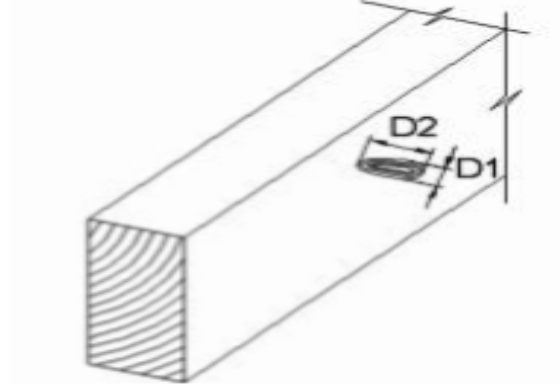
Figura 6: Medição de um nó que aparece nas duas faces de uma peça sem medula.



Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

A dimensão de um nó na face larga é obtida a partir da média entre a maior e menor dimensão, conforme mostra a Figura 7.

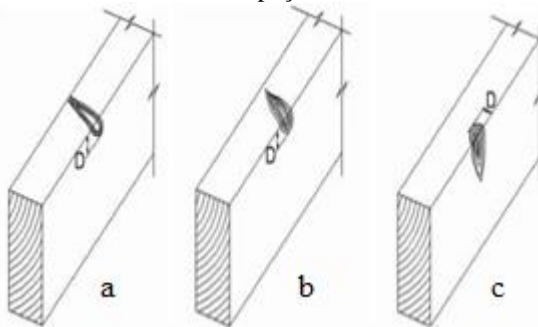
Figura 7: Medição de um nó na face larga.



Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

Uma peça sem a presença de medula, contendo um nó que faz intersecção com as duas faces da peça, incluindo um nó que se estenda por toda a largura da face, deve ser considerado um nó de canto. A medida de um nó de canto é feita pelas linhas paralelas as bordas da peça, e sua classificação é feita em relação à face em que é medido (Figura 8).

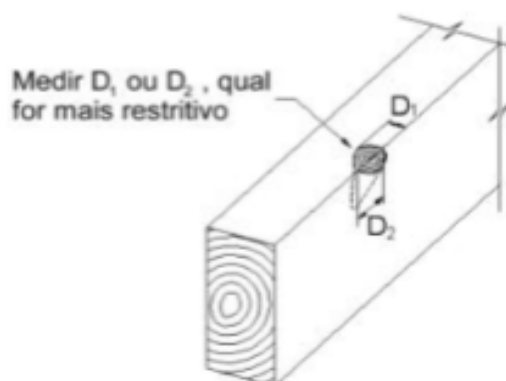
Figura 8: Medição de um nó de canto em uma peça sem medula.



Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

A medida de um nó localizado no canto de uma peça sem medula é feita por sua largura na face estreita entre as linhas paralelas as bordas, ou pelo seu menor diâmetro na face larga, sempre utilizando o maior diâmetro (Figura 9).

Figura 9: Medição de um nó de canto e peça contendo medula.



Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

Segundo a norma ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003), para caibros e pranchas, a soma de todas as medidas dos nós em uma peça contendo 152 mm de comprimento não deve ultrapassar a duas vezes a dimensão do maior nó permitido para aquela determinada classe.

Dois ou mais nós com a dimensão máxima, ou próxima da dimensão máxima permitida para aquela determinada classe, não devem ser admitidos na mesma face de uma peça com 152 mm de comprimento. Qualquer combinação de nós, que no julgamento do classificador torne a peça inadequada, não deve ser utilizada.

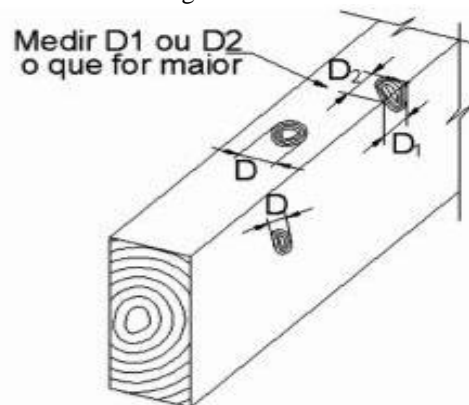
### b) Nós em vigas e longarinas

Para essas peças, o diâmetro de um nó na face estreita corresponde à largura entre as linhas que cercam o nó. Essas linhas são paralelas às bordas da peça.

Nós posicionados na face estreita de uma peça sem medula, que tem uma parte do seu diâmetro ultrapassando para a face larga da peça, ocupando  $\frac{1}{4}$  da mesma, tem a medida feita na face larga.

Quando o nó se localiza na borda da face larga, é limitado à mesma dimensão como um nó na face estreita. A Figura 10 ilustra o método de medição de nó em uma viga.

Figura 10: Diâmetro dos nós em uma viga.



Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

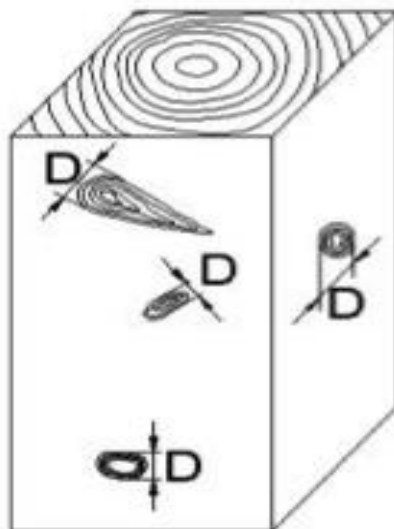
### c) Nós em postes e colunas

O diâmetro de um nó posicionado em qualquer face de um poste ou uma coluna é tomado como o diâmetro de um nó circular, o menor dos dois diâmetros de um nó oval, ou o maior diâmetro perpendicular ao comprimento de um nó diagonal.

Um nó de canto é medido em toda área que seu diâmetro atinja o verdadeiro diâmetro do galho que lhe deu origem.

Em peças comprimidas, onde a largura é maior que a espessura, a dimensão dos nós nas faces larga e estreita não devem ultrapassar a dimensão aceitável na face larga (Figura 11).

Figura 11: Diâmetro dos nós em uma coluna.



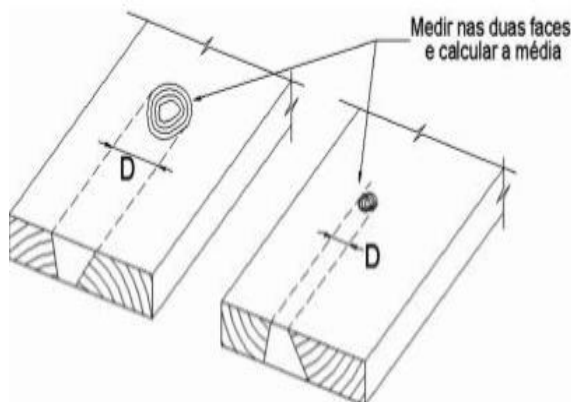
Fonte: ASTM D245 (1993) apud Carreira (2003)

#### d) Nós em tábuas

A medida dos nós é feita pela média dos diâmetros nas duas faces opostas, e cada diâmetro é representado pela distância entre as linhas paralelas às bordas da tábua.

A medição dos nós na face estreita só é feita se eles aparecerem também em uma ou em ambas as faces largas da tábua. A Figura 12 ilustra o método de medição de nós presentes em tábuas.

Figura 12: Medição do diâmetro dos nós em tábuas.



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira (2003)



Grande parte das tábuas usadas na engenharia civil não são para uso estrutural. Uma parte é usada em revestimento de paredes, e outra parte em assoalhos. Com isso, essas peças não são classificadas levando-se em consideração a sua resistência, mas sim a sua aparência.

De acordo com o SPIB (1994), as classes de aparência e, portanto, não estruturais, para as tábuas são: N°1, N°2, N°3 e N°4. Porém, essas classes não têm nenhuma relação com as definidas pela National Grading Rule, apresentada no tópico 2.1.1 (Regras de classificação visual), Tabela 2.

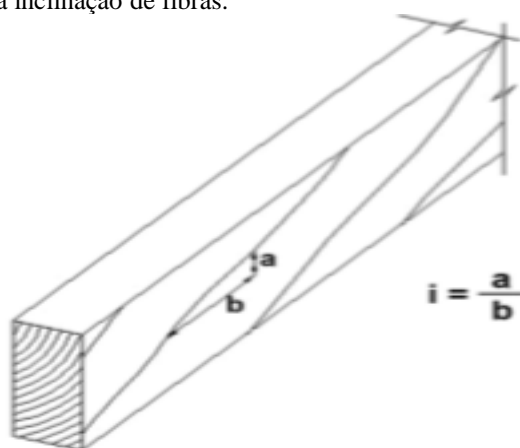
Segundo o SPIB (1994), as classes estruturais para as tábuas são a Industrial 55, a Industrial 45 e a Industrial 26.

#### 2.2.6.2 Inclinação das fibras

A inclinação das fibras resultante de serragem diagonal, fibras espiral ou torcida na árvore é medida pelo ângulo de inclinação das fibras com relação à extremidade da peça observada, desconsiderando o desvio em torno dos nós. Os desvios localizados somente são considerados quando a peça tiver menos de 89 mm de largura, ou altura inferior a 38 mm.

A medida é feita nas quatro faces e na área que apresentar maior inclinação geral. Quanto menor o ângulo de inclinação da fibra, maior será a resistência da peça. A Figura 13 demonstra o cálculo de inclinação das fibras.

Figura 13: Ilustração da inclinação de fibras.



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira e Dias (2005)

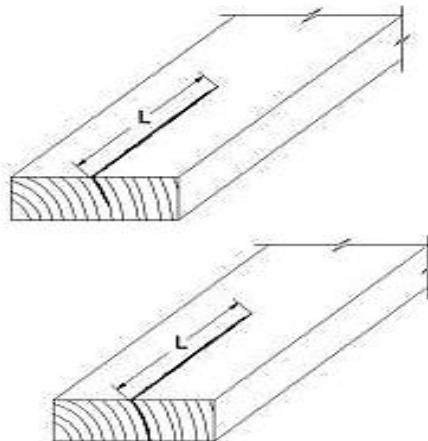
### 2.2.6.3 Racha anelar e fenda

Segundo a norma ASTM D245-(1993), o tamanho de uma racha anelar é igual ao seu comprimento ao longo da curvatura do anel de crescimento em que ocorre. Se a racha atravessar a espessura da peça, o tamanho da racha é igual ao seu comprimento médio, medido paralelamente ao comprimento da peça.

As fendas superficiais são medidas pela profundidade média, medida pelas linhas que a cercam, e que são paralelas às faces largas da peça.

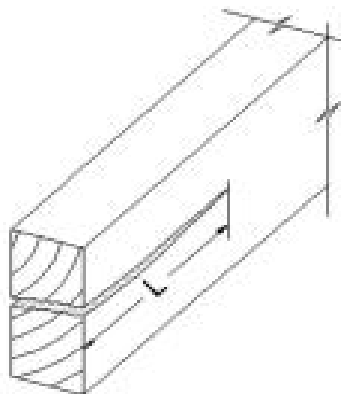
O SPIB (1994) uniformiza o método de medição das rachas e fendas. Para a instituição, as rachas entre os anéis de crescimento e as fendas devem ser medidas pelo seu comprimento, paralelo ao comprimento da peça. As Figuras 14 e 15 demonstram, respectivamente, um exemplo de rachadura anelar e fenda.

Figura 14: Ilustração da forma de medir uma rachadura anelar.



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira e Dias (2005)

Figura 15: Ilustração de uma fenda que atravessa a peça em espessura.



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira e Dias (2005)

#### 2.2.6.4 Empenamento

O empenamento é um defeito que pode ser causado pela deficiência no sistema de secagem da madeira, pelo armazenamento inadequado ou pelo uso inadequado da peça.

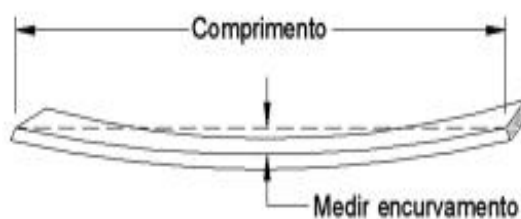
Segundo as regras do SPIB (1994), o termo empenamento refere-se a qualquer desvio na forma inicial de uma peça de madeira, incluindo encurvamento, encanoamento, arqueamento e torcimento.

A norma ASTM D245 (1993) não apresenta nenhum tipo de restrição com relação ao empenamento, porém, para os tipos mais frequentes de empenamento existentes nas peças de madeira, o SPIB (1994) apresenta algumas limitações. Os próximos tópicos apresentados no trabalho demonstrarão quais são essas limitações.

##### a) Encurvamento

O encurvamento é definido como o empenamento em relação ao eixo de menor inércia de uma peça, medindo o ponto de maior deslocamento em relação à linha reta que une as duas extremidades da peça, como mostra a Figura 16.

Figura 16: Ilustração de um encurvamento.



Fonte: SPIB(1994) apud Carreira (2003)

Segundo as premissas do SPIB, o encurvamento máximo em uma classe é determinado da seguinte forma:

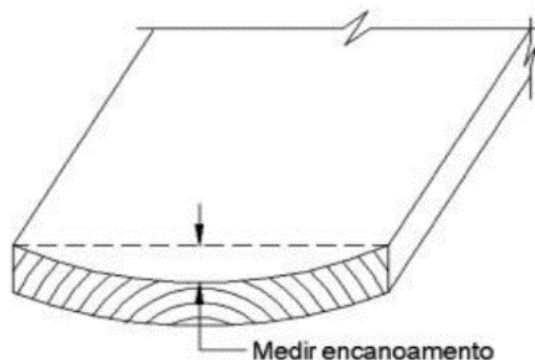
- Para peças com espessura inferior a 38 mm, é admitido um encurvamento de, no máximo, três vezes o arqueamento máximo para peças com largura de 38 mm;

- Para peças com espessura entre 38 e 64 mm, o máximo encurvamento permitido é igual a duas vezes o arqueamento máximo para peças com 38 mm de largura;
- Para peças com espessura maior ou igual a 64 mm, é permitido um encurvamento máximo equivalente ao arqueamento máximo para peças com esta espessura.

#### b) Encanoamento

O encanoamento é outro tipo de limitação especificado pelo SPIB (1994), sendo este o tipo de empenamento onde a seção transversal da peça apresenta um lado côncavo e outro convexo, conforme demonstra a Figura 17.

Figura 17: Ilustração do encanoamento em uma peça de madeira.

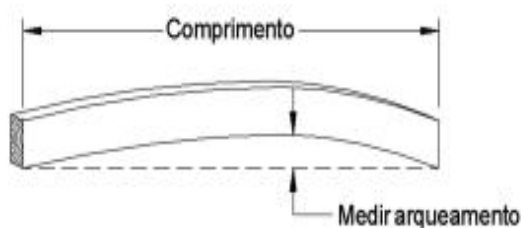


Fonte: SPIB (1994) apud Carreira (2003)

#### c) Arqueamento

O arqueamento é definido como um empenamento em relação ao eixo de maior inércia de uma peça de madeira (Figura 18).

Figura 18: Ilustração de um arqueamento em uma peça de madeira.

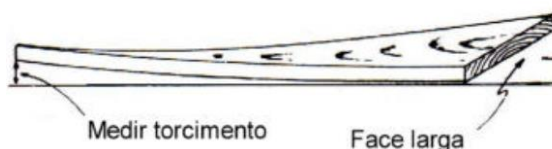


Fonte: "Southern Pine Inspection Bureau" (1994) apud Carreira (2003)

#### d) Torcimento

O torcimento é uma combinação de empenamentos em relação aos eixos de maior e menor inércia da peça de madeira de forma espiralada (Figura 19).

Figura 19: Ilustração do torcimento em uma peça de madeira.



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira (2003)

### 2.2.7 Densidade

A densidade é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira. Baseando-se na norma norte-americana ASTM D245 (1993), a densidade na madeira divide-se em três classes: densa, média e baixa. O critério para classificação leva em consideração a quantidade de madeira de inverno presente na peça e o número de anéis de crescimento existentes em uma extensão de 2,5 cm medida na direção radial.

Para ser considerada como densa, a peça deve ter seis ou mais anéis de crescimento, e mais de um terço da sua seção transversal contendo madeira de inverno. Peças com quatro ou mais anéis de crescimento e mais da metade da seção transversal com madeira de inverno também são consideradas densas. Uma peça, para ser considerada de média densidade, deve possuir quatro ou mais anéis de crescimento, sendo que, se possuir menos que essa quantidade, é considerada de baixa densidade. A Tabela 2 representa a classificação de acordo com a densidade.

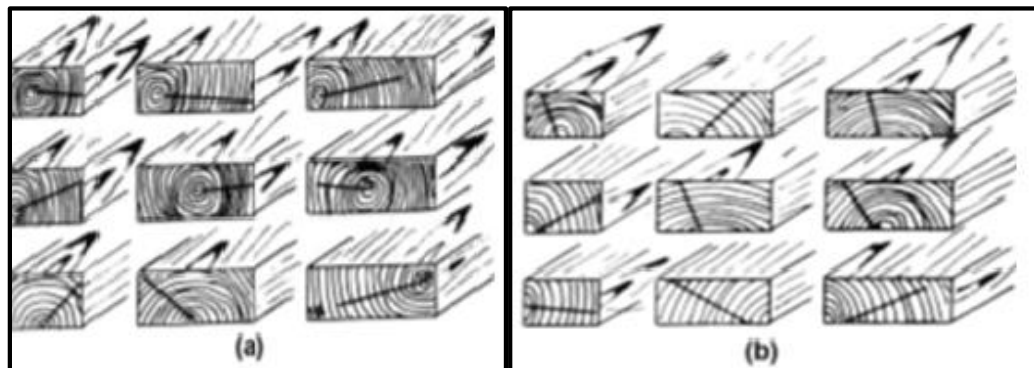
Tabela 2: Classificação de acordo com a densidade

Classe	Anéis / 2,5 cm	Quantidade de madeira de inverno
Densa	$\geq 6$	$>1/3$
Média	$\geq 4$	$>1/2$
Baixa	$< 4$	

Fonte: National Grading Rule (1970) apud Carreira e Dias (2005)

Na literatura as classes média e baixa são agrupadas, recebendo o nome de não densa, designada pela sigla ND. A Figura 20 representa as possíveis formas de se medir a densidade em peças de madeira com ou sem medula.

Figura 20: Linha radial representativa em peças contendo medula (a) e em peças não contendo medula (b).



Fonte: SPIB (1994) apud Carreira e Dias (2005)

A árvore cresce no sentido vertical e diametral. Em cada ano há um novo crescimento vertical e a formação de novas camadas que vão se sobrepondo ao redor das camadas mais antigas. Num corte transversal do tronco, essas camadas aparecem como anéis de crescimento. Cada anel é formado por duas camadas, uma se forma no período de primavera-verão e a outra no período de outono-inverno. A camada formada no período de primavera-verão possui coloração mais clara e células dotadas de paredes mais finas. Nessa fase, dá-se o crescimento rápido da madeira. A camada formada no período de outono-inverno também conhecida como madeira de inverno (latewood) tem coloração escura, células pequenas e crescimento lento. (SZÜCS et al., 2015)

### 2.2.8 Regras e Normas no Brasil

As normas técnicas foram elaboradas para garantir a padronização de peças serradas, garantir a qualidade e nortear o comércio de madeira serrada.

A norma em vigência no Brasil é a NBR 7190 (ABNT,1997), “Projeto de Estruturas de Madeira”, que substituiu a NB 11/1951, que apresentava critérios ultrapassados e incompletos.

Entretanto, a norma NBR 7190 (ABNT,1997) não apresenta os procedimentos para a classificação estrutural de peças de madeira. Portanto, o dimensionamento é feito levando em consideração o coeficiente parcial de modificação  $K_{mod3}$  (coeficiente de

modificação), adotando-se o valor de coeficiente 1 para madeira de primeira categoria e 0,8 para madeira de segunda categoria.

Segundo a norma NBR 7190 (ABNT,1997), somente pode ser admitida a condição de primeira categoria a peças estruturais classificadas como isentas de defeitos, por meio do método visual normatizado. Essas peças devem ser submetidas também a uma classificação mecânica que garanta a homogeneidade da rigidez desse lote.

Mesmo com a carência de normas específicas voltadas para a classificação visual da madeira no país, existem diversos trabalhos realizados em território nacional que tratam sobre a aplicação desse método. Dentre esses trabalhos, destaca-se o realizado por Carreira e Dias (2005), que se basearam nas regras de classificação da Southern Pine Inspection Bureau para avaliação de peças da espécie *Pinus* sp provenientes da região de Lages, Santa Catarina.

### **2.2.9 Curiosidades e Avanços**

Um dos grandes avanços obtidos nos últimos anos na caracterização de materiais, tanto do ponto de vista visual mecânico quanto de qualidade, é a aplicação de técnicas acústicas, destacando-se, dentre elas, o ultrassom na detecção de defeitos em peças de madeira serrada.

À exemplo da classificação visual, o ultrassom também é uma técnica não destrutiva que apresenta diversas vantagens, dentre elas: o baixo custo de aquisição do equipamento quando comparado com o custo de máquinas de classificação automática e facilidade de treinamento da mão de obra para a utilização, podendo ser utilizada pelas indústrias para melhorar o controle de qualidade dos processos através de uma maior uniformidade na matéria-prima e seus derivados.

A determinação das propriedades mecânicas da madeira usando a técnica de ultra som é baseada na relação entre a velocidade do som, o módulo de elasticidade e a densidade (OLIVEIRA, 2005).

O ultrassom se apresenta como um processo de análise de diversificada finalidade, variando desde a determinação da existência de nós, presença de ataque de micro-organismos ou insetos, direcionamento das fibras, decomposição, passando pela

avaliação de elementos estruturais de madeira em uso, até a determinação de parâmetros como módulos de elasticidade e ruptura. (GORNIAK; MATOS, 2000)



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

O experimento foi realizado utilizando tábuas de madeira da espécie *Pinus* sp, que apresentam dimensões nominais de 2,5cm x 20cm x 300cm.

As peças utilizadas foram cedidas pela empresa Palue Madeiras, localizada na cidade de Descalvado/SP, e comercializadas em todo o interior do estado de São Paulo. A madeira analisada é proveniente do estado do Paraná e foi extraída de árvores com idade em torno de 30 anos.

#### 3.2 Métodos

##### 3.2.1 Classificação Visual

Foram separadas 12 peças aleatórias, que representa o número mínimo definido pela ASTM D245 (1993) para classificação visual, pelo método SPIB.

Realizou-se a inspeção visual das faces, bordas e laterais das peças, catalogando as medidas dos nós, as quais foram obtidas com o uso do paquímetro, conforme a Figura 21.

Figura 21: Medição de nó em tábua de *Pinus* sp.

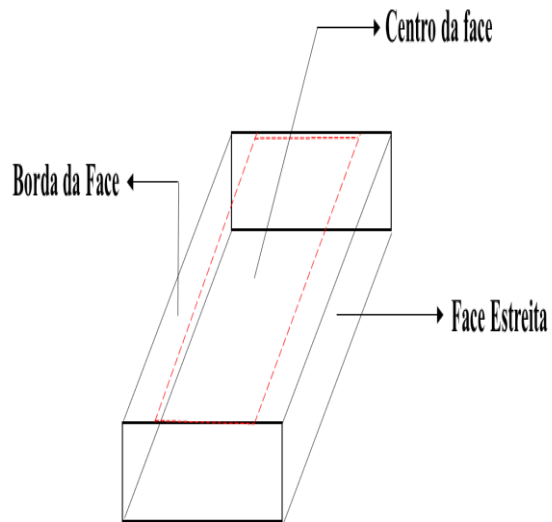


Fonte: Arquivo pessoal

Para a limitação e, conseqüentemente, classificação dos defeitos (nós) encontrados nas peças, levou-se em consideração a normatização do SPIB (1994), dividindo as medidas obtidas em classes: SS (Select Structural), N°1, N°2 e N°3. Peças

que ultrapassaram os limites especificados na classe 3, foram definidas como “Não Estrutural”, e descartadas. Cabe salientar que as classes variam de limite conforme a seção em que o nó se localiza na peça. A Figura 22 demonstra a divisão adotada.

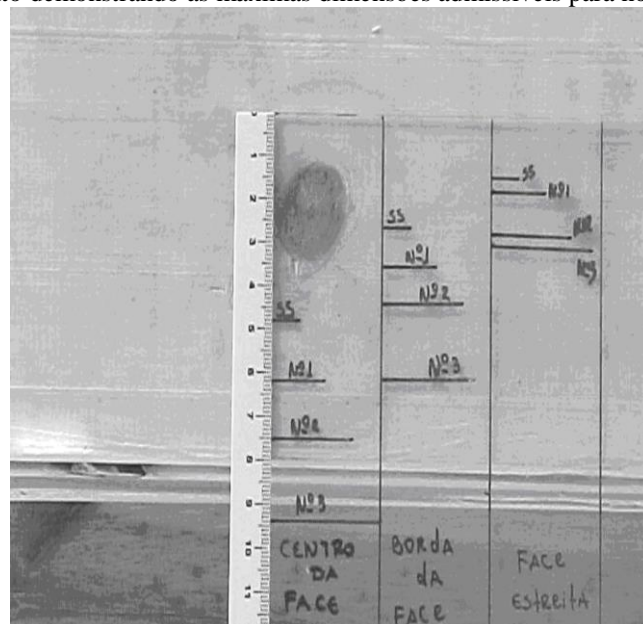
Figura 22: Divisão das seções da peça.



Fonte: Arquivo pessoal

Para facilitar o método de medição e divisão de classes foi utilizado um gabarito de acrílico criado por Carreira e Dias (2005). A Figura 23 demonstra detalhadamente o gabarito.

Figura 23: Gabarito demonstrando as máximas dimensões admissíveis para nós.

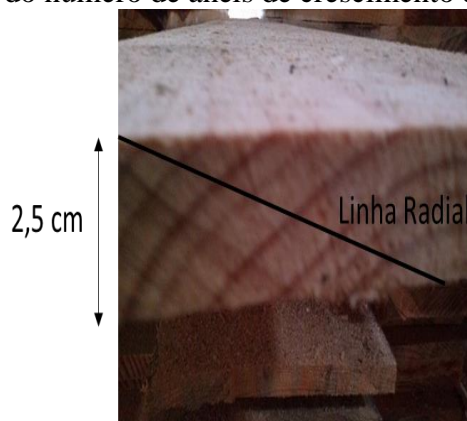


Fonte: Carreira e Dias (2005)

### 3.2.2 Densidade

As doze peças foram classificadas quanto à densidade de anéis de crescimento em uma polegada (2,5cm), medida na direção radial, com o auxílio do paquímetro, considerando também a quantidade de madeira de inverno presente na peça. A Figura 24 representa a medida feita na peça número nove do trabalho.

Figura 24: Medida do número de anéis de crescimento em 2,5 cm.



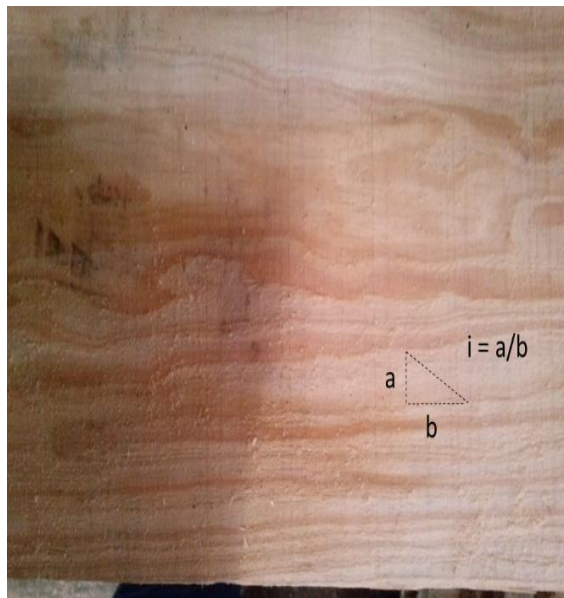
Fonte: Arquivo pessoal

Em seguida, foi utilizada uma balança de precisão para efetuar a pesagem das doze peças, e a partir da relação entre a massa ( $m$ ) e o volume ( $V$ ) da peça, a 12% de umidade, valor de referência segundo a maioria das normas internacionais, inclusive a NBR 7190 (ABNT,1997), obteve-se o valor da densidade ( $\rho$ ). Conforme cita a norma ASTM D245 (1993), a densidade da madeira se divide em três classes: densa, média e baixa, influenciando diretamente na resistência mecânica da peça.

### 3.2.3 Fibras

As fibras não são um defeito inerente da própria árvore, mas sim do modo como o corte é feito. No lote analisado para medida das inclinações das fibras, foi seguida a norma NBR 7190 (ABNT,1997), que indica que a influência das fibras com inclinações abaixo de  $6^\circ$  são desconsideradas. Inclinações próximas a nós também devem ser desconsideradas. O cálculo da inclinação resulta da equação  $i = a/b$ , como demonstrada na Figura 25, representada em uma das amostras analisadas.

Figura 25: Representação da medida das fibras em uma peça analisada.



Fonte: Arquivo pessoal

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Resultados referentes a classificação dos nós**

Os resultados obtidos a partir da medida do diâmetro dos nós encontrados no lote analisado, e as classes à qual as peças se encaixam, são apresentados no Quadro 2. A definição da classe ocorre a partir do nó predominante, ou seja, o nó de maior medida.

Durante as medidas foram encontrados nós que ultrapassavam de um lado para o outro da peça, enfraquecendo ainda mais aquele ponto. Esses nós estão identificados como “transpasse”.

Quadro 2: Identificação da classe em que a peça se encaixa em relação à presença de nós.

Peça (n°)	Face A (mm)			Face B (mm)			Nó Predominante (mm)	Classe
	Centro da face	Borda da Face	Face Estreita	Centro da face	Borda da Face	Face Estreita		
1	28	-	-	20 (transpasse)	-	-	87	Nº3
	42	-	-	30 (transpasse)	-	-		
	87	-	-	11 (transpasse)	-	-		
	-	32	-	-	62 (transpasse)	-		
	16	-	-	-	-	-		
	-	-	-	45	-	-		
	-	-	-	-	35	-		
	-	-	-	-	32	-		
2	65	-	-	66 (transpasse)	-	-	80	Não estrutural
	22	-	-	26 (transpasse)	-	-		
	-	50	-	-	80 (transpasse)	-		
	-	52	-	-	-	-		
	20	-	-	-	-	-		
	11	-	-	-	-	-		
	75	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	65	-		
	32	-	-	-	-	-		
25	-	-	-	-	-			
21	-	-	-	-	-			
3	95	-	-	101	-	-	101	Não estrutural
4	Não possui nós						-	SS
5	Não possui nós						-	SS
6	Não possui nós						-	SS
7	30	-	-	56 (transpasse)	-	-	105	Não estrutural
	50	-	-	45 (transpasse)	-	-		
	38	-	-	33 (transpasse)	-	-		
	-	92	-	-	87 (transpasse)	-		
	-	-	-	-	105	-		
8	72	-	-	-	-	-	72	Nº2
9	Não possui nós						-	SS
10	34	-	-	41 (transpasse)	-	-	47	SS
	31	-	-	36 (transpasse)	-	-		
	36	-	-	36 (transpasse)	-	-		
	47	-	-	47 (transpasse)	-	-		
	17	-	-	24 (transpasse)	-	-		
11	21	-	-	17 (transpasse)	-	-	29	SS
	26	-	-	29 (transpasse)	-	-		
	22	-	-	25 (transpasse)	-	-		
	-	26	-	-	-	-		
	13	-	-	-	-	-		
12	19	-	-	27 (transpasse)	-	-	34	SS
	26	-	-	26 (transpasse)	-	-		
	34	-	-	34 (transpasse)	-	-		
	27	-	-	27 (transpasse)	-	-		
	23	-	-	25 (transpasse)	-	-		
	-	32	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-	30		
	-	-	-	-	-	24		
			19					

Fonte: Arquivo pessoal

## 4.2 Resultados referentes ao empenamento

Nenhuma das doze tábuas analisadas possuía rachadura anelar, fenda, empenamento, encurvamento ou encanoamento, facilitando, assim, a análise visual, mostrando que as peças são de qualidade e que estão aptas ao uso estrutural.

## 4.3 Resultados referentes à densidade

Os resultados mostraram que as peças que tinham o maior número de anéis, possuíam maior massa e conseqüentemente, maior densidade. A peça número oito, por exemplo, pesou 13,7 Kg. Essa massa, dividida pelo volume ( $0,015\text{m}^3$ ), que é o mesmo para todas as peças pois, todas possuem a mesma dimensão (2,5cm x 20cm x 300cm), resultou em uma densidade de  $913,33\text{ kg/m}^3$ , sendo esta a peça mais densa em todo lote analisado e, conseqüentemente, a que possui o maior número de anéis. Em todas as peças analisadas foi considerado o teor de umidade de 12%, valor de referência segundo as normas internacionais e a NBR 7190 (1997). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

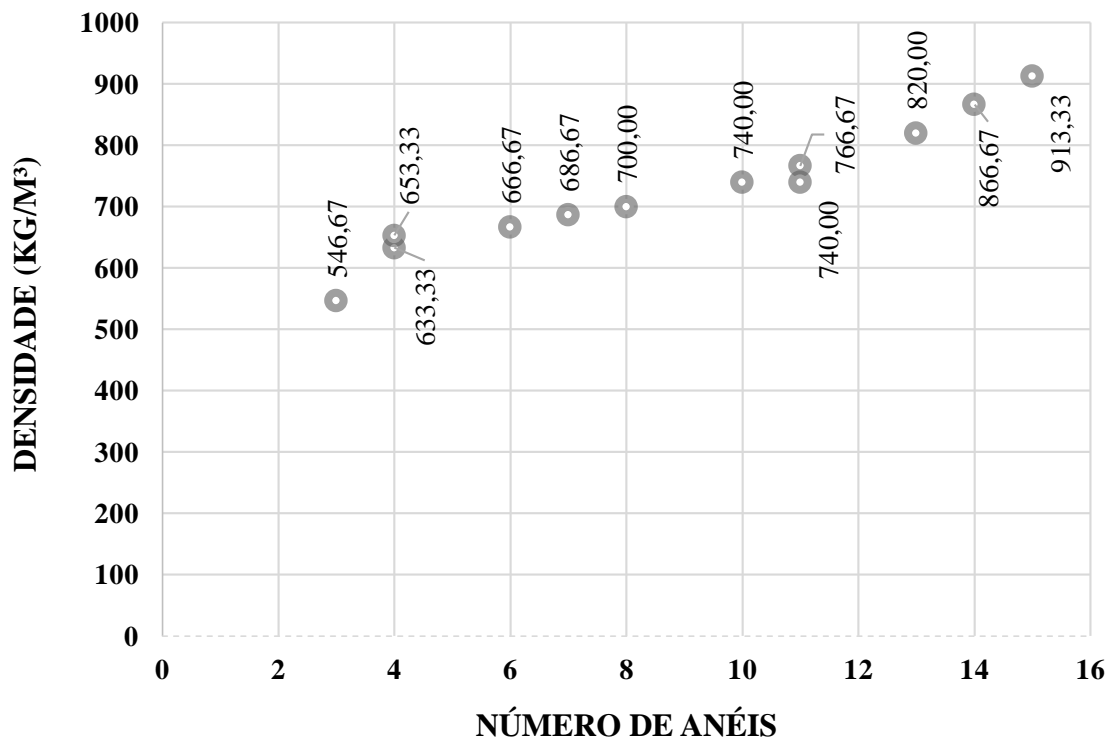
Tabela 3: Classificação da densidade

Peça nº	Massa (kg)	Número de anéis	Densidade ( $\text{kg/m}^3$ )	Classe
1	12,3	13	820,00	Densa
2	10	6	666,67	Densa
3	11,5	11	766,67	Densa
4	13	14	866,67	Densa
5	8,2	3	546,67	Baixa
6	9,5	4	633,33	Média
7	10,3	7	686,67	Média
8	13,7	15	913,33	Densa
9	10,5	8	700,00	Densa
10	9,8	4	653,33	Média
11	11,1	11	740,00	Densa
12	11,1	10	740,00	Densa

Fonte: Arquivo pessoal

A Figura 26 relaciona os valores do número de anéis e da densidade demonstrados na tabela 5. Observa-se que quanto maior o número de anéis, maior é a densidade da peça.

Figura 26: Relação entre o número de anéis e a densidade.

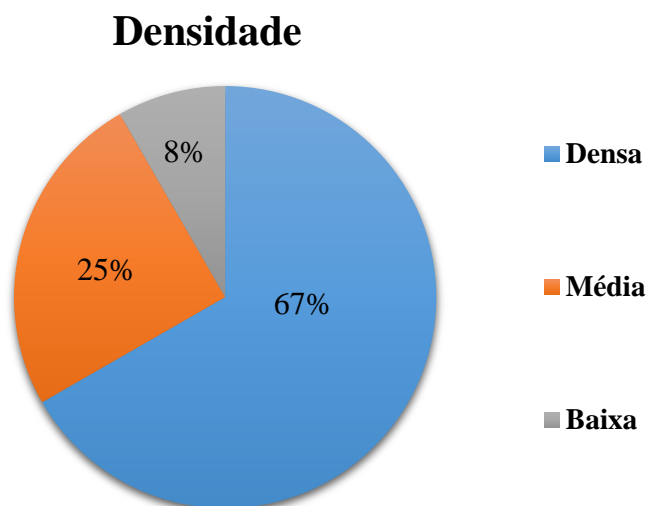


Fonte: Arquivo pessoal

Dentre os resultados obtidos, 66,7% das peças foram classificadas como densas, 25% das peças possuem uma densidade média e somente 8,3% das peças possuem uma densidade considerada baixa (Figura 27).



Figura 27: Representação da classe de densidade da peça em porcentagem.



Fonte: Arquivo pessoal

#### 4.4 Resultados referentes a inclinação das fibras

A resistência do lote analisado não foi prejudicada pelas fibras, pois pontos de inclinação foram raros nas peças do experimento. Havia pouca variação na direção das fibras, sendo que todas as peças analisadas possuíam inclinação abaixo de  $6^\circ$ , portanto foram desconsideradas as inclinações em fibras.

#### 4.5 Resultados Finais

O Quadro 3 demonstra de um modo geral todos os resultados obtidos referentes ao método de classificação visual, e as classes em que cada uma das peças se encaixaram.

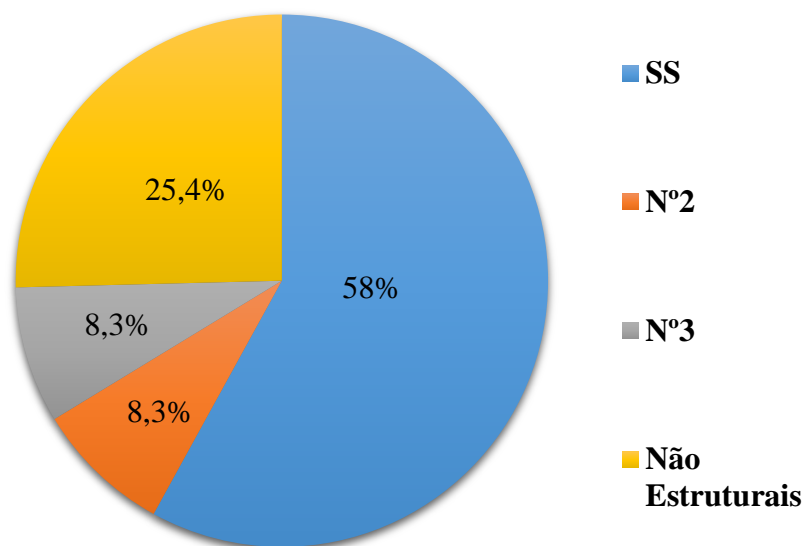
Quadro 3: Resultados Finais

Peça nº	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Classe
1	820,00	Nº3
2	666,67	Não estrutural
3	766,67	Não estrutural
4	866,67	SS
5	546,67	SS
6	633,33	SS
7	686,67	Não estrutural
8	913,33	Nº2
9	700,00	SS
10	653,33	SS
11	740,00	SS
12	740,00	SS

Fonte: Arquivo pessoal

Os resultados podem ser representados em termos de porcentagens entre as classes sendo: 58% foram classificadas como SS, 8,3% das peças Nº 2, 8,3% das peças Nº 3, e 25,4% das peças como Não Estruturais. Não houve peças classificadas como Nº 1. A divisão de classes está representada na Figura 28.

Figura 28: Representação dos resultados obtidos em porcentagem.



Fonte: Arquivo pessoal

## 5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados conclui-se que o objetivo foi alcançado, pois, a classificação visual mostrou-se um método objetivo e eficaz na análise do lote de doze peças da espécie *Pinus sp.* A partir dele foram identificadas as imperfeições existentes no material, divididas as classes e determinado a viabilidade do uso da maior parte das peças do lote.

No desenvolvimento do trabalho as peças classificadas como SS foram as de melhor qualidade estrutural, ou seja, peças com menores falhas observadas visualmente. As peças classificadas como N° 3 são as peças onde se observa um número maior de defeitos. Não houve peças que se enquadraram na classe N° 1. As peças classificadas como Não Estruturais foram automaticamente descartadas. Sendo assim, em termos de qualidade, pode-se classificar em ordem decrescente em SS > N° 2 > N° 3.

A análise visual mostrou-se uma ótima avaliação preliminar do lote, com a qual podemos descartar as peças sem finalidade estrutural. Recomenda-se que, após passarem pela análise visual, as peças sejam submetidas a realização de ensaios mecânicos, por exemplo, para a determinação do módulo de elasticidade (MOE), à fim de determinar a rigidez do material. Esse tipo de parâmetro pode ser determinado através de ensaios não destrutivos.

As perspectivas para o futuro do uso da madeira no ramo da engenharia civil no Brasil são as melhores possíveis, porém, é necessário modernizar-se, haver uma reformulação na normatização e introduzir procedimentos de classificação de suas peças visando igualar-se aos mercados americano e europeu.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D245 Standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. West Conshohoken: 1993.

ASTM D255-96 Standard Test Methods for Establishing Clear Wood Strength Values.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

CARDIN, Viviane de Salles. Ensaio não destrutivo aplicado à madeira serrada e estruturas: técnicas potenciais para uso no Brasil. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos: UFSCar, 2012.

CARREIRA, Marcelo Rodrigo. Critérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus. 2003. 164 p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Campus de São Carlos, 2003.

CARREIRA, Marcelo Rodrigo; DIAS, Antonio Alves. Classificação Visual de coníferas: análise de aplicação do método norte-americano às espécies de Pinus sp plantadas no Brasil. *Scientia Florestalis*, Ed.67, p.78-87, abr. 2005.

CARREIRA, Marcelo Rodrigo; DIAS, Antonio Alves; CALIL JUNIOR, Carlito. Proposta de método para classificação visual estrutural de coníferas. *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, v. 5, n. 13, Quadrimestral, maio/agosto 2004.

DOYLE, D. V.; MARKWARDT, L. J. (1967). *Tension Parallel-to-Grain Properties of Southern Pine Dimension Lumber*. Research Paper FLP 84, Forest Products Laboratory.

GORNIK, E.; DE MATOS, J. L. M. **Métodos não-destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira**. In: VII Encontro Brasileiro em Madeira e em Estrutura de Madeira, São Carlos. Anais do VII Encontro Brasileiro em Madeira e em Estrutura de Madeira. São Carlos: USP, 2000.

IWAKIRI, Setsuo. CLASSIFICAÇÃO MECÂNICA NÃO DESTRUTIVA EM VIGAS DE MADEIRAS TROPICAIS. *Acta Amazonica*, v.18, p.133-146, mar. /jun. 1988.

MADSEN, B. (1992). **Structural Behaviour of Timber**. Timber Engineering Ltd. Vancouver, Canada.

OLIVEIRA, F. G. R. **Contribuição ao estabelecimento de parâmetros para ensaios não destrutivos em madeira serrada por meio de ondas de ultra som**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2005.

SZÜCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; do VALLE, Ângela; de MORAES, Poliana Dias. **Estruturas de Madeira**. Março de 2015. Notas de Aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil.